İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOYOL TRAFİĞİ YÖNETİMİNDE AKILLI SİSTEM YAKLAŞIMI: KATILIM DENETİMİ ÖRNEĞİ ve FARKLI DENETİM ALGORİTMALARININ BAŞARIM SINAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çağlar DEMİRAL
501091433

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hilmi Berk ÇELİKOĞLU

EKİM 2011

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **501091433** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Çağlar DEMİRAL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"OTOYOL TRAFİĞİ YÖNETİMİNDE AKILLI SİSTEM YAKLAŞIMI: KATILIM DENETİMİ ÖRNEĞİ ve FARKLI DENETİM ALGORİTMALARININ BAŞARIM SINAMASI"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

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

Doç. Dr. İsmail ŞAHİN .....
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 12 Eylül 2011

Savunma Tarihi : 14 Ekim 2011

Babama,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans hayatım boyunca iki kere danışmanım sayın Doç.Dr. Hilmi Berk ÇELİKOĞLU'nun sözünü dinlemedim. Bunlardan birincisi İnşaat Mühendisleri Odası 9.Ulaştırma Kongresi'ne 'Önce, Varolan Köprü Trafiğini Yönetmek: Katılım Denetimi ve Uygulamaları' ismiyle gönderdiğim bildiriye, sayısal uygulama eklememek oldu ki; bunun bedeli bildirinin yayınlanmaması oldu.

İkincisi ise, tezimde, ilk trafik tekniği dersinde, daha sonra da akıllı ulaştırma sistemleri dersinde karşılaştığım ve ilgimi gerçekten çeken 'Katılım Denetimi' üzerine çalışmaktı ve bunun bedelini de fazlasıyla ödediğimi düşünüyorum. Defalarca değişen bir uygulama bölümü ve sürekli tatminsizlik…

En sonunda sonuç bölümünde, mutlu sona ulaştığımı düşünürken yazdığım bu önsöz'de, yüksek lisans hayatım boyunca sorularıma ve sorunlarıma büyük bir sabırla yaklaşıp anlayışla karşılayan, sadece akademik hayatımda değil, iş hayatımda da disiplinini her zaman örnek almaya çalışacağım, hocam Doç. Dr. Hilmi Berk ÇELİKOĞLU'na yürekten teşekkür ederim.

Kıymetli vakitlerini ayırarak, cevaplarıyla ufkumu açan değerli hocalarım Prof. Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU ve Doç. Dr. İsmail ŞAHİN'e de teşekkürü bir borç bilir saygılarımı sunarım.

Ekim 2011

Çağlar Demiral
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR LİSTESİ ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
2. TRAFİK TEKNİĞİ ve TRAFİK YÖNETİMİ **3**
2.1. Trafik Tekniği 3
2.1.1. Trafik Akımı Değişkenleri, İlişkileri ve Temel Akım Eğrileri 3
2.1.1.1. Asal Değişkenler 3
2.1.1.2. Türetilmiş Değişkenler 9
2.1.1.3. Türetilmiş Değişkenlerin İlişkileri ve Temel Eğriler 14
2.1.2. Trafik Akım Modellemesinde Temel Yaklaşımlar 17
2.1.2.1. Kaba-Boyut Modelleme Yaklaşımı 17
2.1.2.2. İnce-Boyut Modelleme Yaklaşımı 18
2.1.2.3. Karma-Boyut Modelleme Yaklaşımı 18
2.2. Trafik Yönetimi 19
2.2.1. Trafik Yönetiminde Geleneksel Yöntemler 19
2.2.1.1. Kanallama 19
2.2.1.2. Sabit Zaman Ayarlı Sinyalizasyon 20
2.2.2. Trafik Yönetiminde Akıllı Sistem Yaklaşımı 21
2.2.2.1. Bölgesel Sürücü Bilgilendirme 22
2.2.2.2. Şerit Yönetimi 22
2.2.2.3. Tekrarlı Olmayan Tıkanıklık Durumlarında Akıllı Sistemlerle Trafik Yönetimi 23
3. KATILIM YÖNETİMİ ve İZLEMLERİ **25**
3.1. Katılımların Trafik Akım Koşullarına Etkisi 25
3.2. Katılım Yönetim İzlemleri 26
3.2.1. Katılım Kapatma İzlemleri 26
3.2.2. Katılım Denetimi İzlemleri 27
3.2.2.1. ABD'de Katılım Denetimi 27
3.2.2.2. Avrupa Ülkelerinde Katılım Denetimi 29
3.2.2.3. Diğer Ülkelerde Katılım Denetimi 31
3.2.2.4. Katılım Denetiminin Getirileri ve Götürüleri 31
3.2.3. Özel Durum Uygulamaları 31
3.2.4. Katılım Sınırlama Uygulamaları 32
4. KATILIM DENETİMİ **33**
4.1. Katılımların Geometrik Özellikleri 33
4.1.1. Tek Şeritli Katılımlar 33

4.1.2. Çok Şeritli Katılımlar 33
4.1.3. Otoyoldan Otoyola olan Bağlantıların Denetimi 34
4.1.4. Depolanma Alanı 34
4.1.5. Durma Çizgisi Yeri 35
4.2. Katılım Denetimi Temel Elemanları 35
4.2.1. Algılayıcılar 35
4.2.1.1. Anakol Algılayıcıları 36
4.2.1.2. Talep ve Koridor Algılayıcıları 36
4.2.1.3. Katılım Kuyruk Algılayıcıları 36
4.2.1.4. Katılım Girişi Algılayıcıları 36
4.2.2. Denetleyiciler 36
4.2.3. İleri Düzey Uyarım 37
4.3. Katılım Denetimi Türleri 38
4.3.1. Önceden Zaman Ayarlı Denetim 38
4.3.2. Gerçek Zamanlı (Dinamik) – İzole Denetim 39
4.3.3. Gerçek Zamanlı (Dinamik) – Eşgüdümlü Denetim 39
4.3.4. Denetim Türlerine Göre Sistemlerin Getiri ve Götürüleri 40
4.4. Katılım Denetimi Algoritmaları 42
4.4.1. Tepkisel Algoritmalar 43
4.4.1.1. Tepkisel İzole Algoritmalar 43
4.4.1.2. Tepkisel Eşgüdümlü Algoritmalar 45
4.4.2. Tedbirsel Algoritmalar 45
4.4.3. Algoritmaların Uygulama Örnekleri 46
5. SAYISAL UYGULAMA 51
5.1. Yapılan Varsayımlar 51
5.1.1. Yol Kesimi ve Akım Özelliklerine İlişkin Yapılan Varsayımlar 51
5.1.2. Senaryolara İlişkin Yapılan Varsayımlar 52
5.1.3. Algoritma Uygulamalarında Yapılan Varsayımlar ve Hesap Adımları 54
5.2. Başarım Çözümlemeleri 65
5.2.1. Senaryo 1 65
5.2.2. Senaryo 2 67
5.2.3. Senaryo 3 68
6. SONUÇ ve ÖNERİLER 73
KAYNAKLAR 76

KISALTMALAR

ALINEA	: Asservissement Linéaire d`Entrée Auotroutière
AUS	: Akıllı Ulaştırma Sistemleri
BEEX	: Balance Equity and Efficiency
CALTRANS	: California Departmant of Transportation
HCM	: Highway Capacity Manual
DMS	: Dinamik Mesaj Sistemleri
ITE	: The Instutute of Transportation Engineers
EURAMP	: EUropean RAmp Metering Project
EHA	: England Highway Agency
SWARM	: System Wide Adaptive Ramp Metering
LWR	: Lighthill ile Whitham ve Richards
US DOT FHWA	:United States, Departmant of Transportation, Federal Highway Administration
YDOT	: Yüksek Doluluk Oranlı Taşıt
WATSIM	: Wide Area Traffic Simulator

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Algılayıcılar yardımıyla elde edilen veriler 21

Çizelge 3.1 ABD Katılım Denetimi Uygulamaları (Kachroo ve Özbay, 2003) 27

Çizelge 3.2 TwinCities Katılım Denetiminin Yıllık Faydası (Friedrichs ve diğ. 2000) 29

Çizelge 3.3 Bölgelere Göre Hollanda Katılım Denetimi Uygulamalarının Başarım Değerlendirmesi (Taale ve Middelham, 2000) 30

Çizelge 4.1 Tasarlanan Denetimli Katılımlar İçin Önerilen Şerit ve Banket Genişlikleri 34

Çizelge 4.2 Denetim Türlerine Göre Sistemlerin Getiri ve Götürüleri 41

Çizelge 5.1 Düzenli Fonksiyon İçeren Senaryolarda Kullanılan Talep Değerleri..... 52

Çizelge 5.2 Talep - Kapasite Yöntemi Hesap Adımları 1 56

Çizelge 5.3 Talep - Kapasite Yöntemi Hesap Adımları 2 57

Çizelge 5.4 Talep - Kapasite Yöntemi Hesap Adımları 3 57

Çizelge 5.5 Talep - Kapasite Yöntemi Hesap Adımları 4 58

Çizelge 5.6 Talep - Kapasite Yöntemi Hesap Adımları 5 59

Çizelge 5.7 Talep - Kapasite Yöntemi Hesap Adımları 6 59

Çizelge 5.8 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 1 60

Çizelge 5.9 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 2 60

Çizelge 5.10 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 3 61

Çizelge 5.11 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 4 61

Çizelge 5.12 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 5 62

Çizelge 5.13 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 6 62

Çizelge 5.14 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 7 63

Çizelge 5.15 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 8 63

Çizelge 5.16 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 9 64

Çizelge 5.17 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 10 64

Çizelge 5.18 Aşağı Akım Hacmi Başarım Çözümlemesi 72

Çizelge 5.19 Aşağı Akım Kuyruklanma 72

Çizelge 5.20 Katılımdaki Kuyruklanma 72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Yol – Zaman Eğrileri (Daganzo, 1997). 4
Şekil 2.2 Yol - Zaman Eğrileri (Cassidy, 1999). 5
Şekil 2.3 Uzunluk Cinsinden Taşıt İzleme Aralıklarının Gösterimi 6
Şekil 2.4 Eklenik Taşıt Fonksiyonun Elde Edilmesi 7
Şekil 2.5 İki Gözlem İstasyonunda Yapılan Sayımlar Sonucu Elde Edilen Eklenik Taşıt Fonksiyonları 8
Şekil 2.6 Kaydırılmış Eklenik Taşıt Sayısı Eğrisi Yöntemi 9
Şekil 2.7 1 Numaralı Şerit İçin 02.02.2009 Tarihinde Zirve Saatlerdeki Eklenik ve Ölçeklendirilmiş Taşıt Sayısı Eğrileri (Güngör ve diğ., 2009) 9
Şekil 2.8 Hız - Yoğunluk İlişkisi 15
Şekil 2.9 Akım Hacmi– Yoğunluk İlişkisi 16
Şekil 2.10 Hız - Akım Hacmi İlişkisi 16
Şekil 3.1 Örnek Katılım Kesimi 25
Şekil 4.1 Katılım Denetimi Temel Elemanları 35
Şekil 4.2 İleri Düzey Uyarım Sinyal Konumları 37
Şekil 4.3 Katılım Denetimi Türlerinin Sınıflandırılması 38
Şekil 4.4 Önceden Zaman Ayarlı Denetim 39
Şekil 4.5 Gerçek Zamanlı (Dinamik) - İzole Katılım Denetimi 40
Şekil 4.6 Gerçek Zamanlı (Dinamik) – Eşgüdümlü Katılım Denetimi 40
Şekil 4.7 Trafiğe Duyarlı Denetim Algoritmaları 42
Şekil 4.8 Talep - Kapasite Algoritmasının İşleyişi 43
Şekil 4.9 ALINEA Algoritmasının İşleyişi 44
Şekil 4.10 Temel Diyagram 44
Şekil 5.1 Yol Kesimi 51
Şekil 5.2 Senaryo 1 53
Şekil 5.3 Senaryo 2 53
Şekil 5.4 Senaryo 3 53
Şekil 5.5 Senaryo 4 54
Şekil 5.6 Temel Diyagramla İlgili Yapılan Varsayım 54

SEMBOL LİSTESİ

$o_{çık}$	: Aşağı Akım İşgali
o_{gir}	: Yukarı Akım İşgali
o_{kr}	: Kritik İşgal
q_{kap}	: Yol Kapasitesi
q_{gir}	: Yukarı Akım Hacmi
$q_{çık}$	: Aşağı Akım Hacmi
r	: Katılım Akım Hacmi
r_{min}	: En küçük denetim hacmi
r_{kap}	: Katılım Kolu Kapasitesi
r(k)	: Katılımdaki akım (taşıt/saat), (denetim hacmi)
r(k-1)	: Bir önceki zaman aralığında katılımdaki akım (bir önceki zaman aralığındaki denetim hacmi)
$o_{çık}$ (k-1)	: Bir önceki zaman aralığındaki işgal (bütün şeritlerdeki ortalama)
K_R	: Düzenleyici katsayı
ô	: Aşağı akımda istenen işgal (%)
x	: Uzunluk
t	: Zaman
N	: Trafik birimi sayısı
u_i	: i taşıtının nokta hız değeri
h	: Zaman cinsinden taşıt izleme aralığı
s	: Uzunluk cinsinden taşıt izleme aralığı
q	: Akım hacmi
w	: Gecikme
k	: Yoğunluk
u	: Hız
o	: İşgal
u_F	: Serbest akım hızı
Ñ	: Eklenik taşıt sayısı
Q(t)	: t Anındaki Akım Şartlarına Bağlı Fazlalık Taşıt Sayısı
$\overline{u_t}$	: Zaman Ortalamalı Hız
$\overline{u_s}$	: Uzunluk Ortalamalı Hız
t_t	: Toplam Gözlem Süresi
k_j	: Tıkanıklık Yoğunluğu
u_{opt}	: En Uygun Hız Değeri
k_{opt}	: En Uygun Yoğunluk Değeri
q_{maks}	: En Büyük Akım Hacmi

OTOYOL TRAFİĞİ YÖNETİMİNDE AKILLI SİSTEM YAKLAŞIMI: KATILIM DENETİMİ ÖRNEĞİ ve FARKLI DENETİM ALGORİTMALARININ BAŞARIM SINAMASI

ÖZET

1960'lı yıllardan bugüne dünya bilim çalıştaylarında en çok önemsenen ilke sürdürülebilirliktir. Dünyadaki gelişmiş ülkeler politikalarını sürdürülebilirlik merkezli planlamaya çalışmaktadır. Ulaştırma, yakıt tüketimi ve yarattığı çevre kirliliği gibi özellikleri ile planlamada sürdürülebilirlik ilkesinin en ön aşamasında yer alması gereken sektörlerden birisidir. Sürdürülebilirlik merkezli ulaştırma politikalarında, yeni yollar, köprüler, katlı kavşaklar inşa edilerek taşıt odaklı trafik oluşturmaktan ziyade, toplu taşıma sistemlerinin güçlendirilmesi, ulaştırma taleplerinin daha verimli yönetilmesi ya da akıllı ulaşım sistemleri ile kapasitenin verimli kullanılması gibi izlemler kullanılmalıdır.

Katılım denetimi, 1970'li yıllardan itibaren kullanılan tekrarlı tıkanıklığı önlemeye yönelik yaygın bir trafik yönetim izlemidir. Bu yöntemin uygulamasının; trafik güvenliğini arttırması, yolculuk hızını arttırması ve dolayısıyla yolculuk süresini azaltması, hizmet düzeyini arttırması, enerji ve çevre verimliliğini arttırması ve kullanıcı memnuniyetini arttırması gibi birçok faydalı sonucu gözlemlenmiştir. İlk olarak sadece otoyol katılımları için önerilen katılım denetimi izlemi, teknolojiye bağlı olarak akıllı ulaştırma sistemlerinin gelişmesi ile birlikte trafik talebi daha fazla olan ve daha kısa aralıklı katılımlar bulunan çevre yollarında da uygulanmaya başlamıştır.

Bu çalışma, çeşitli katılım denetimi algoritmalarını farklı talep senaryoları altında değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. İlk bölümde trafik akımına ilişkin temel tanımlamalar ve trafik yönetim izlemleri anlatılmıştır. İkinci bölümde, katılım yönetimi ve katılım yönetimi izlemleri, dünyadaki uygulamalara atıf yapılarak açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, katılım denetiminin geometrik tasarımları, temel elemanları, türleri ve algoritmaları anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, ALINEA algoritması, talep – kapasite algoritması ve denetimsiz durum için başarım çözümlemesi gerçekleştiren bir sayısal uygulama yapılmıştır. Sonuç bölümünde, genel çıkarım ve sonuçlar tartışılmıştır.

INTELLIGENT SYSTEMS APPROACH IN FREEWAY TRAFFIC MANAGEMENT: RAMP CONTROL CASE AND PERFORMANCE EVALUATION OF CONTROL ALGORITHMS

SUMMARY

The present study aims to evaluate selected ramp metering algorithms under various demand scenarios. The first section contains basic definitions of traffic flow and traffic management strategies. The frequently used ramp management strategies are reviewed in the second section. The geometric design, basic equipments, modes, and algorithms of ramp metering are summarised in the third section. The forth section contains a numerical implementation to evaluate ALINEA algorithm, demand – capacity algorithm with respect to no metering situation. The final section concludes the study with findings and discussions.

Since from the beginning of 1960ies, sustainability has been being pointed out as an important criterion in development which made developed countries adapt sustainability originated policies. Transportation is one of the sectors that sustainability has to be perceived as a planning principle especially when the energy consumption and the consequent environmental impacts are considered. In order to increase the efficiency of present transportation systems, the sustainable policies of transportation necessitate the prioritisation of public transit and the utilisation of traffic management strategies, such as intelligent systems, instead of constructing new infrastructure together with new roads, bridges, interchange junctions, etc.

Ramp control is an effective management strategy that has been employed to prevent recurrent traffic congestion on freeways since 1970ies. With the deployment of ramp control applications, several benefits of ramp management, including, i.e., increase on the level of traffic safety, increase on travelling speeds and consequently decrease on travelling times, the increase on the level-of-service, increase on energy consumption efficiency, decrease on environmental impacts, and increase on user satisfaction, have been experienced.

Ramp management is the application of control devices, such as traffic signals, signing, and gates to regulate the number of vehicles entering or leaving the freeway, in order to achieve operational objectives. Those objectives usually are stated similarly to the following: Balance freeway demand and capacity; maintain optimum freeway operation by reducing incidents that produce traffic delays, improve safety. Ramp management strategies can be classified as ‘Ramp Closure’, ‘Ramp Metering’, ‘Special Use Treatments’, ‘Ramp Terminal Treatments’.

Ramp meters are used to regulate the flow of traffic entering freeways according to current traffic conditions. They are intended to reduce congestion on the freeway in two aspects, (1) control the traffic volume entering the freeway, regulate freeway demand, and keep it under its capacity and (2) break up the platoons of vehicles released from an upstream traffic signal, to provide a safe merge.

Ramp metering, when properly applied, is a valuable tool for efficient traffic management on freeways and freeway networks. Ramp metering algorithms may be classified into: (a) Reactive algorithms (tactical level) aiming at maintaining the freeway traffic conditions close to pre-specified set (desired) values by the use of real-time measurements and (b) Proactive algorithms (strategic level) aiming at specifying optimal traffic conditions for a whole freeway or a freeway network based on demand and model predictions over a sufficiently long time horizon. Both kinds of metering algorithms may be combined within a hierarchical control structure, whereby a proactive network-wide strategy delivers optimal traffic conditions to be used as set (desired) values by sub-ordinate reactive algorithms.

Reactive ramp metering strategies may be local or coordinated. Local strategies make use of traffic measurements in the vicinity of each ramp, to calculate the corresponding individual ramp metering values, while coordinated strategies may use available traffic measurements from greater portions of a freeway. Local strategies are far easier to design and implement; nevertheless, they have proved non-inferior to more sophisticated coordinated approaches under recurrent traffic congestion conditions. Demand – Capacity Algorithm, Occupancy – Capacity Algorithm and Gap Acceptance (Feed–forward); ALINEA and derivatives, Neural Networks (Feedback); and Zone Algorithm are the examples of Local Reactive Algorithms. Helper, Linked (cooperative), Compass, Bottleneck, SWARM, FLOW (competitive), Coordinated ALINEA, Stratified Zone Algorithm are coordinated reactive algorithms.

Proactive ramp metering algorithms are usually coordinated. Model Predictive Metering and Nonlinear Optimal Metering could be local or coordinated. Sperry Algorithm, Linear Programming Algorithm, METALINE, FHWA, ARMS are the examples of proactive metering algorithms.

Numeric analysis has been done to investigate ramp metering usability. Four demand scenarios have implemented to simple merging ramp figure for twenty four hours, Demand-Capacity and ALINEA algorithm adapted to study site. Study section consists of four lane mainline and two lane ramp. Mainline and ramp demands are constant loading in scenario 1; multimodal loading has been enforced in scenario 2;

loading as a sinus curve applied in scenario 3 and real time data taken from rtms numbered 2 in Istanbul has been used scenario 4.

Finally, performance analysis of implemented algorithms and no metering situation evaluated for each demand scenarios. Performance analysis has been considered as outputs of mainline downstream, queues at mainline and queues at ramp, in three different conclusions. All conclusions are compared and examine the best performance.

1. GİRİŞ

Kentiçi ulaştırma sistemlerinin çoğu zaman omurgasını oluşturan karayolu ulaştırması, gerek plansız gelişen kentlerde gerekse düzensizce yayılan metropoliten alanlarda, düzensizliğin hem nedeni hem de sonucu olma özelliğini taşımaktadır. Arazi kullanımın özelliklerindeki fonksiyonel değişikliklerle çekiciliklerin arttırılması, diğer ulaştırma türlerinin geliştirilmesindeki dengesizlikler ve dolayısıyla toplu taşıma ve özel taşıt kullanımı gibi yolculuk tür tercihlerindeki dengesizlikler ve verimsizlikler, karayolu ulaştırmasını kentsel alanlarda büyük bir sorun haline getiren en önemli etkenlerdir. Söz konusu sorunun gerek gerçek hayattaki gerekse trafik mühendisliğindeki karşılığı ise 'tıkanıklık' kavramıdır. Tıkanıklık, temelde; yolun verimsiz kullanımı ya da yolun talep karşısında yetersiz kalması olarak tanımlanabilir ve farklı yol türlerinde farklı biçimlerde belirebilir. Yol kapasitelerinin daha verimli kullanımı ilkesi gözetilerek tıkanıklık sorununa yönelik geliştirilen çözüm yaklaşımlarının tümü; ister bir ulaştırma ağı gibi büyük, isterse bir kavşak gibi küçük ölçekte olsun, talep yönetimi temellidir. Bu çalışmada otoyol ağlarında katılım bulunan kesimlerde trafik akımını düzenlemek ve dolayısıyla otoyol trafiğini yönetmek için faydalanılan katılım denetimi yaklaşımı ve bu yaklaşım kapsamında geliştirilmiş denetim algoritmaları incelenmiştir. Seçilen yöntemlerin farklı akım koşulları altındaki başarımları, göreli olarak karşılaştırılmış ve katılım denetimi yaklaşımının, uygulama alanlarına ve akım koşullarına ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

Trafik akımına ilişkin temel tanımlamalar ve akımı ifade etmede kullanılan temel gösterimler ve yaklaşımlar açıklanarak karayolu trafiği yönetimine yönelik yaklaşımlar çalışmanın ikinci bölümde özetlenmiştir. Otoyol trafiği yönetiminde faydalanılan katılım yönetimi yöntemleri, çalışmanın üçüncü bölümünde farklı ülkelerdeki uygulama örneklerine atıf yapılarak özetlenmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde katılım denetimi yöntemi ayrıntılı olarak açıklanarak, yöntem kapsamında geliştirilen algoritmalar özetlenmiştir. Çalışmanın sayısal uygulama

bölümünde ise seçilen algoritmaların, farklı akım koşulları altındaki denetim başarımları karşılaştırılmıştır.

2. TRAFİK TEKNİĞİ ve TRAFİK YÖNETİMİ

2.1.Trafik Tekniği

Artan taşıt sayısı beraberinde trafik tıkanıklığı sorununu meydana getirmiş ve trafik mühendisliği ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Trafik mühendisliği, trafik tekniği ile trafik akımının çeşitli değişkenlerini tanımlamış ve birçok akım modeli geliştirmiştir.

2.1.1. Trafik Akımı Değişkenleri, İlişkileri ve Temel Akım Eğrileri

Trafik akımında temelde iki tür değişken olduğu söylenebilir. Bunlardan birincisi daha küçük parçalara ayrılamayan birimler olan *asal değişkenler*, diğeri ise asal değişkenlerden faydalanarak türetilmiş, *türetilmiş değişkenler*dir.

Bu kısımda, ilk olarak asal değişkenlerden bahsedilmiş, daha sonra asal değişkenleri gösterim yöntemleri ve bu gösterimlerden nasıl faydalanıldığı açıklanmıştır. Ardından türetilmiş değişkenler ayrıntılı olarak anlatılmış ve son olarak türetilmiş değişkenlerin birbirleri ile olan ilişkileri irdelenmiştir.

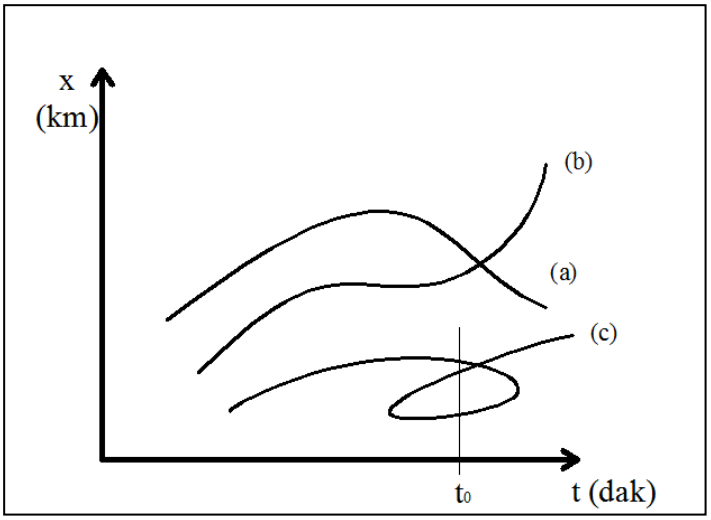
2.1.1.1. Asal Değişkenler

Trafik akımına ilişkin gözlem yapılması gerektiğinde, üç farklı değişken için veri toplanabilir. Bu veriler; uzunluk (x), (m, km vb.), zaman (t), (sn, dk, saat) ve trafik birimi sayısı (N), (taşıt) olarak adlandırılır ve 'trafik akımının asal değişkenleri' olarak ifade edilir. Trafik akımının asal değişkenleri tek başlarına anlamlı değildirler ve yeterli bilgi vermezler. Başka bir deyişle asal değişkenler yardımıyla matematik modeller oluşturulamaz. Yalnızca değerlerinin girdi olduğu benzetim modelleri kalibre edilebilir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).

Asal değişkenlerin analitik düzleme taşınması ile elde edilen şekiller, trafik akımına ilişkin çeşitli çıkarımlar yapılmasında kullanılmaktadır. Bu bölümde *'Yol – Zaman'* eğrileri ve *'Eklenik Taşıt Sayısı – Zaman'* eğrileri tanımlanmış, bu eğrilerden elde edilebilen değerlerden ve kavramlardan kısaca bahsedilmiştir. Söz konusu kavramlar, daha sonraki *2.1.1.2.* alt başlığında daha ayrıntılı bir biçimde ele alınmıştır.

Yol – Zaman Eğrisi: Trafik birimi (taşıt, yaya, yük) hareketleri, zamana (t) ve uzunluğa (x) bağlı düzlemde koordinatlara bağlı tanımlanabilir (Cassidy, 1999). Yatay eksenin zamanı, düşey eksenin de uzunluğu ifade etmesi durumunda, x(t), x' in t' ye bağlı fonksiyonunun, (t,x) düzleminde gösterimi olan eğriye **yörünge** denir (Daganzo, 1997).

Şekil 2.1'de gösterilmiş iki eğri tek boyutlu taşıt hareketini açık biçimde ifade etmektedir. Örneğin (a) eğrisi ile ifade edilen taşıt hareketi, belirli bir (pozitif) yönde ilerlemekte, daha sonra yavaşlamakta ve son olarak yönünü değiştirip ters yönde ilerlemektedir. Diğer (b) eğrisi ile ifade edilen taşıt hareketi, belirli bir (pozitif) yönde ilerlerken belli bir süre neredeyse durmuş daha sonra hareketine aynı yönde devam etmiştir. Şekilde, (a) ve (b) eğrileri yörünge olarak değerlendirilirken, t_0 gibi bir anda birden fazla konumda görünen (c) eğrisi yörünge olarak değerlendirilemez. Geçerli bir taşıt yörüngesi her 't' değeri için ayrı bir 'x' değeri ortaya koymalıdır (Daganzo, 1997).



Şekil 2.1 Yol – Zaman Eğrileri (Daganzo, 1997).

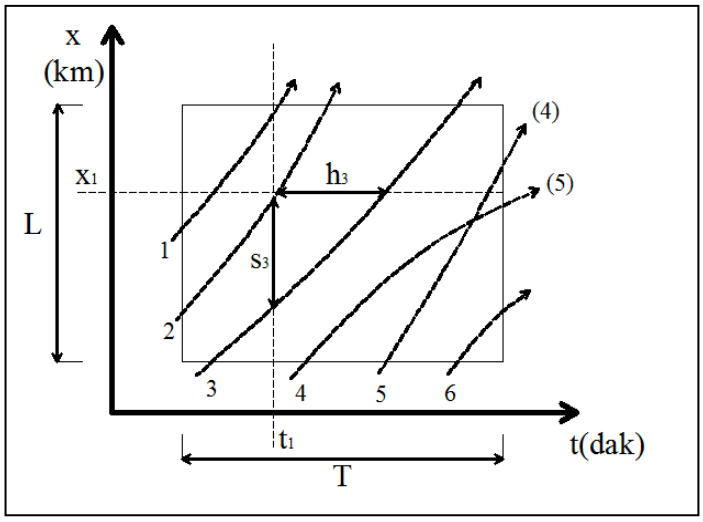
Taşıt yörüngesine herhangi bir noktada çizilen teğetin eğimi, başka bir değişle o noktadaki türevi, taşıtın söz konusu kesitte ve söz konusu anda sahip olduğu 'nokta hız' değerini ya da 'yolculuk hızını' vermektedir. İkinci türev ise anlık ivmeyi ifade etmektedir. Bağıntı (2.1), *i* taşıtının nokta hız değerinin (u_i), uzunluğun zamana göre türevi olduğunu göstermektedir. Bağıntı (2.2) ise, *i* taşıtının anlık ivmesini veren eşitliktir.

$$u_i = \frac{dx}{dt} = \lim\ (t_2 - t_1) \to 0\ \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \qquad \textbf{(2.1)}$$

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

Şekil 2.2'de L uzunluğundaki kesimde T zaman aralığı boyunca taşıt, yaya ya da yük olarak tanımlanabilecek trafik birimlerinin yörüngelerini ifade etmektedir. Her yörünge, istasyonda gözlemcinin gözlemlediği sıra ile yükselen sayılarla isimlendirilmiştir. Eğer bir birim diğerini yakalayıp geçerse, 4. ve 5. yörüngede olduğu gibi isimleri de değişir (Cassidy, 1999).

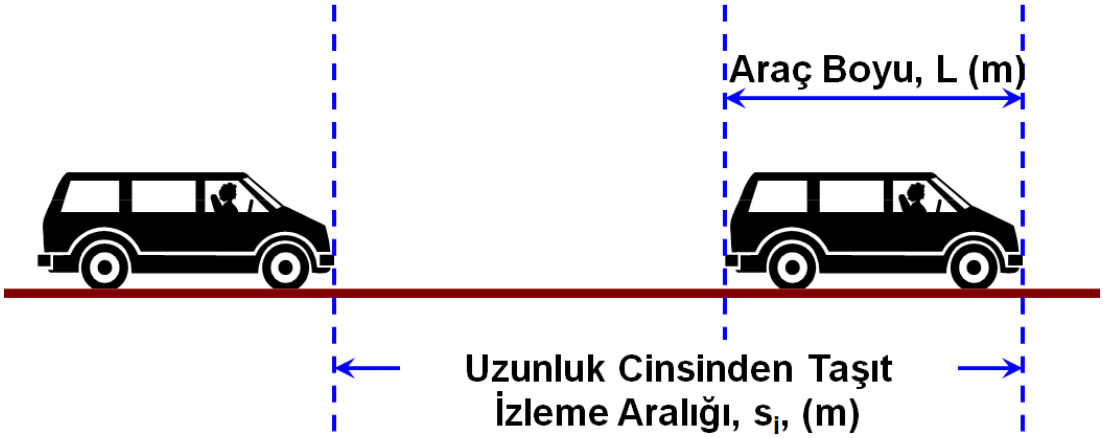
Yol – Zaman eğrilerinden sadece nokta hız ve ani ivme değerleri elde edilmez. Birden fazla yörüngenin bulunduğu şekillerde, ilerideki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılan *Zaman Cinsinden Taşıt İzleme Aralığı (headway)* ve *Uzunluk Cinsinden Taşıt İzleme Aralığı (spacing)* değerleri elde edilebilir. Bu iki değer, türetilmiş değişkenler olan *akım hacmi* ve *yoğunluk* değerlerinin hesaplanmasında rol oynamaktadır. Şekil 2.2, bu kavramları görsel olarak ifade etmektedir.



Şekil 2.2 Yol - Zaman Eğrileri (Cassidy, 1999).

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

Şekil 2.3' de, öndeki aracın ön tamponu ile arkadaki aracın ön tamponu arasındaki aralığı ifade eden zaman cinsinden taşıt izleme aralığı ve uzunluk cinsinden taşıt izleme aralığı gösterilmiştir.



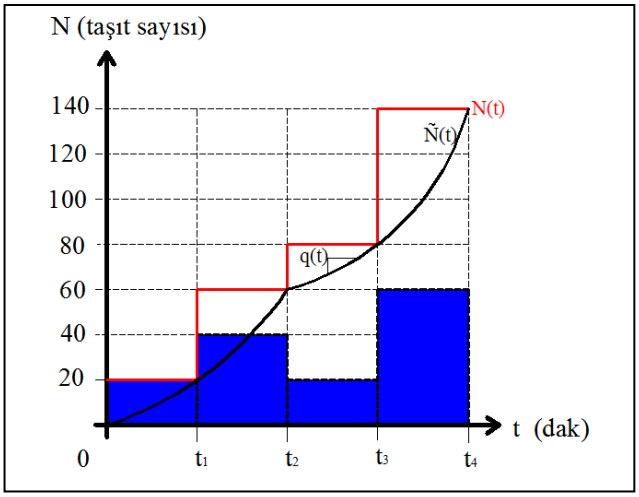
Şekil 2.3 Uzunluk Cinsinden Taşıt İzleme Aralıklarının Gösterimi

Literatür, Yol – Zaman eğrilerinin yaklaşık olarak çizildiğinde, ulaştırmada sıkça ortaya çıkan sorunların çözümünde kullanıldığını gösterir. Daganzo (1997), yörünge çizimlerinin demiryolu ve denizyolu ulaştırmasında istenilen programlamaya nasıl yardımcı olduğunu göstermiştir. Newell (1979) , Yol – Zaman eğrilerini kullanarak havaalanı pisti kapasitesi bağıntıları türetmiştir. Newell (1989) ayrıca, geniş ölçüde ana yollar boyunca trafik sinyallerinin eşgüdümünde Yol – Zaman eğrilerinden faydalanmıştır.

Eklenik Taşıt Sayısı – Zaman Eğrisi: Eklenik Taşıt Sayısı – Zaman eğrileri, küçük zaman dilimlerinde, bir noktadan geçen taşıt sayılarının toplanarak zamana bağlı sürekli bir fonksiyon haline getirilmesi yoluyla oluşturulmaktadır. Bu yaklaşım, hidroloji biliminde ilk rezarvuarların kapasitelerini belirlemek amacı ile 'kütle eğrisi analizi' (mass curve analysis) adı altında temel bir yöntem olarak kullanılmıştır (Linsley ve Franzini, 1955). Ulaştırma alanında ise ilk kez CALTRANS (Kaliforniya Ulaştırma Birimi) çalışanı mühendis Karl Moskowitz (Moskowitz, 1954) ve daha sonra Gazis ve Potts (1965) tarafından kullanılmıştır. Eklenik taşıt sayısı eğrilerinin irdeleme aracı olarak ilk kullanılması ise Gordon Newell'in kuyruklanma kuramı çalışması kapsamındadır (Newell, 1971, 1982). Newell (1993), daha sonra eklenik taşıt sayısı eğrileri ile Trafik Akım Kuramı'nı yenilemiştir.

Şekil 2.4, pratik olarak eklenik taşıt fonksiyonun $\tilde{N}(x,t)$ nasıl elde edildiğini göstermektedir. Mavi bölge, birim zaman diliminde gözlem istasyonundan geçen taşıt sayılarını ifade eden histogram gösterimdir. Örneğin Şekil 2.4'e göre, '0 – t_1'

birim zaman dilimlinde gözlenen toplam taşıt sayısı 20, 't_1 – t_2' birim zaman diliminde gözlenen taşıt sayısı 40'tır. Kırmızı ile gösterilmiş basamak fonksiyon N(t), taşıt sayılarını ifade eden çubukların eklenik temsili gösterimidir. Yani, t_1 ve t_2 süresi boyunca gözlem istasyonundan gözlenmiş olan toplam taşıt sayısı 60'tır.

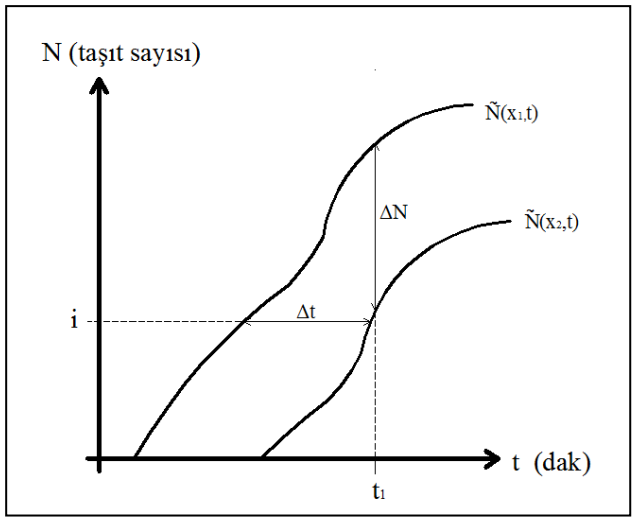


Şekil 2.4 Eklenik Taşıt Fonksiyonun Elde Edilmesi

Hem küçük zaman aralıklarındaki değişimin kolay izlenebilmesi için, hem de diferansiyel hesap yapabilme özelliğinin ortaya çıkmasından dolayı, basamak fonksiyon interpolasyon yolu ile düzeltilmiş fonksiyon *Ñ(t)* haline getirilir. (Şekil 2.4) (Daganzo, 1997). *Ñ(t)* sürekli fonksiyonunun t'ye göre türevi, anlık akım hacmi *q(t)*'yi (2.3)'de verildiği gibi ifade etmektedir.

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

Aynı zaman aralıklarında iki veya daha fazla istasyonda yapılan sayımlar sonucu çizilen eğrilerin aynı analitik düzleme taşınması ile eğriler arasında yataydaki fark *i* taşıtının yolculuk süresi Δt'yi, düşeydeki fark ise herhangi bir t anında iki istasyon arası var olan taşıt sayısı ΔN'yi vermektedir (Şekil 2.5). Şekil 2.5'de $\tilde{N}(x_1,t)$ 1 numaralı istasyondaki gözlem sonucu elde edilen eklenik taşıt fonksiyonunu, $\tilde{N}(x_2,t)$ ise 2 numaralı istasyondaki gözlem sonucu elde edilen eklenik taşıt fonksiyonunu ifade etmektedir.

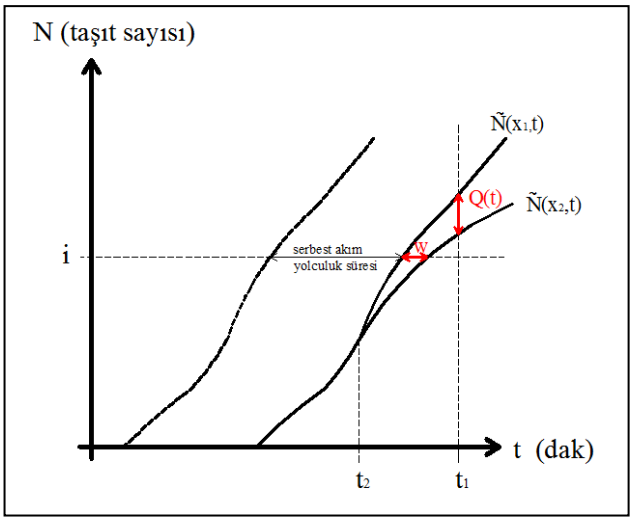


Şekil 2.5 İki Gözlem İstasyonunda Yapılan Sayımlar Sonucu Elde Edilen Eklenik Taşıt Fonksiyonları

Eklenik taşıt sayısı eğrisinin, serbest akımda yolculuk süresi kadar bir aralıkta ötelenmesiyle de 'gecikme' ve 'akım şartlarına bağlı fazla taşıt sayısı' gibi değerler elde edilebilir (Şekil 2.6). Kaydırılmış $\tilde{N}(x_1,t)$ ile $\tilde{N}(x_2,t)$ arasındaki yatay uzunluk, i taşıtının gecikmesi, w'yi, düşey uzunluk ise t anındaki akım şartlarına bağlı fazla taşıt sayısı, Q(t) değerini ifade eder (Şekil 2.6).

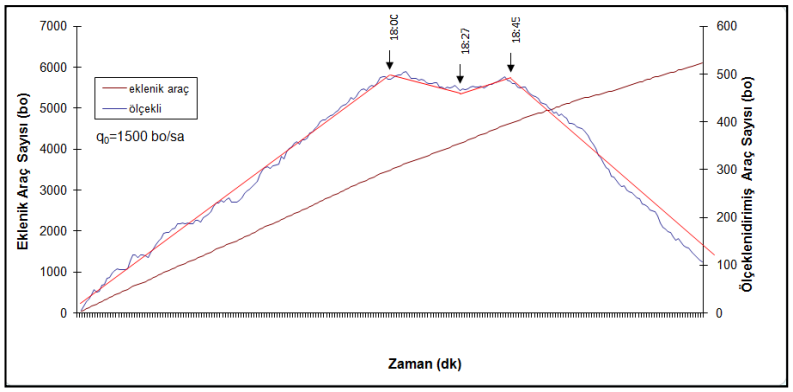
Birim zaman aralığının kısa ve gözlem süresinin uzun olduğu durumlarda, grafik üzerinde her bir zaman dilimi verisine karşılık gelen noktalar birbirine çok yakın olacağı için, $\tilde{N}(x,t)$ eğrilerinden taşıt sayısı değişimine ilişkin çıkarım yapmak zor olmaktadır. Gözlem süresi kısa olsa da, bu yöntemle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

Eklenik taşıt sayısı eğrisini ölçeklendirme basit ve etkili bir yöntemle gerçekleştirilir. Bunun için öncelikle gözlem süresi içinde kesitten birim zamanda geçen ortalama akım değeri (taşıt/sa) q_0 hesaplanır. Ardından sayımın başlangıcında t=0 olmak üzere, her birim zaman artışına karşılık gelen N(x,t) değerinden, sayımın başlangıcından t anına kadar kesitten geçen ortalama taşıt sayısı, q_0t, değeri çıkarılır. Elde edilen $N(x,t) - q_0t$ değerine ait farklar eğrisi çizilir. Bu eğri ilkinin ölçeklendirilmiş hali olup, akımdaki zamana bağlı değişimleri belirlemeye olanak verir (Şahin ve diğ., 2004).



Şekil 2.6 Kaydırılmış Eklenik Taşıt Sayısı Eğrisi Yöntemi

108M299 TÜBİTAK bilimsel ve teknolojik araştırma projesi (Çelikoğlu ve diğ, 2008) kapsamında yapılan gözlemlere dayanarak hazırlanan, *'Otoyol Kesimlerinde Kapasite Çözümlemesi ve Hizmet Düzeyinin Belirlenmesi'* başlıklı İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü bitirme ödevinden (Güngör ve diğ., 2009) alınmış Şekil 2.7, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü yaklaşımı Armutlu köprüsü üzerinden çekilmiş orta ayırıcıya yakın şerit için 02.02.2009 tarihinde zirve saatlerdeki eklenik ve ölçeklendirilmiş taşıt sayılarını göstermektedir.



Şekil 2.7 1 Numaralı Şerit İçin 02.02.2009 Tarihinde Zirve Saatlerdeki Eklenik ve Ölçeklendirilmiş Taşıt Sayısı Eğrileri (Güngör ve diğ., 2009)

2.1.1.2. Türetilmiş Değişkenler

Asal değişkenlerin trafik akımını istenilen düzeyde ifade edememesi, bu üç değişkenden herhangi birinin sonsuz küçük olduğu varsayılarak, diğer ikisi arasındaki ilişkinin incelenmesi ile farklı değişkenler türetilmesi gereksinimini ortaya koymuştur. Örneğin; yol uzunluğu asal değişkeni x, sonsuz küçük varsayıldığında N

ve t asal değişkenleri arasındaki ilişki ile 'akım hacmi' türetilmiş değişkeni (2.4)'de verildiği gibi elde edilmiştir Aynı yaklaşımla (2.5) ve (2.6) bağıntılarında, 'yoğunluk' ve 'hız' değişkenlerini ifade eden ilişkiler gösterilmiştir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).

$$(x \rightarrow \Delta x) \Rightarrow q = n/t \quad \textbf{(2.4)}$$

$$(t \rightarrow \Delta t) \Rightarrow k = N/x \quad \textbf{(2.5)}$$

$$(N \rightarrow \Delta N) \Rightarrow u = x/t \quad \textbf{(2.6)}$$

Akım Hacmi: Akım hacmi q, belirli bir süre içinde (genellikle 1 saat), bir yolun bir kesitinden geçen taşıt sayısıdır (2.4). Yolun tamamı ya da bir şeridi için hesaplanabilir. Birimi taşıt/saat' tir. Akım hacmi kesit ölçümlerinden elde edilir.

Taşıtların birbirlerini güvenle izlemeleri için ardı ardına iki taşıt arasında güvenle bulunması gereken zaman cinsinden aralığa *Zaman Cinsinden Taşıt İzleme Aralığı (headway)* denir. Akım içerisinde sürücülerin izleme aralıklarının birbirine yakın olması sürücü davranışların birbirine benzer olduğu anlamına gelir. Dolayısı ile akım hacmi ile zaman cinsinden taşıt izleme aralığının doğrudan ilişkileri bulunmaktadır. Toplam gözlem süresi olan T, bağıntı (2.7)'de belirtildiği gibi her taşıt için zaman cinsinden taşıt izleme aralıklarının h_i toplamından oluşmaktadır.

$$T = \sum_{i=1}^{N} h_i \quad \textbf{(2.7)}$$

Bağıntı (2.4) ve (2.7) birlikte kullanıldığında zaman cinsinden taşıt izleme aralığı ile akım hacmi arasındaki bağıntı, (2.8)'de gösterildiği gibi yazılabilir.

$$q = \frac{N}{T} = \frac{N}{\sum_{i=1}^{N} h_i} = \frac{1}{\frac{1}{N}\sum_{i \in N} h_i} = \frac{1}{\overline{h}} \quad \textbf{(2.8)}$$

Sürekli sayım sırasında bir saat boyunca geçen trafik hacmi daha küçük zaman dilimlerinde (5dk'lık, 15dk'lık gibi) ele alındığında her dilimde taşıt sayısının değişken olduğu görülür. Herhangi bir saatlik zaman içerisinde, söz konusu daha küçük zaman dilimlerine göre yapılan sayımda, dilimlerde sayılan en büyük değerin saatlik eşdeğeri *'Akım Oranı'* olarak adlandırılmaktadır. Hesaba temel olacak sayım yapılan küçük zaman dilimlerinin akım oranını nasıl değiştirdiği Rothrock ve Keefer (1957) tarafından gösterilmiştir. Ayrıca, söz konusu küçük zaman dilimlerinin 15 dakikalık alınmasını HCM (2000)'de önerilmiştir.

Sayım eğer zirve saatlerde yapılmışsa, değişkenin adı da *zirve akım oranı* olarak değişmektedir. Zirve saatte gözlenen akım hacminin, zirve akım oranına bölünmesi ile elde edilen değere *'Zirve Saat Katsayısı'* denir (HCM, 2000).

Hız: Hız, bir trafik biriminin zamana göre yer değiştirmesidir. Birimi genellikle km/saat, mil/saat veya m/sn olarak kullanılır. Bu değişkenin, nokta hız, ticari (ortalama) hız, akım hızı, yolculuk hızı gibi farklı tanımları bulunmaktadır. Nokta hız, bir taşıtın herhangi bir anda sahip olduğu hızdır. Bu tanıma en yakın ölçümü radar ve mikrodalga algılayıcıları ile elde etmek olağandır. Nokta hızın, Yol – Zaman çizimlerinde taşıt yörüngelerine göre hesaplanması *2.1.1.2* alt başlığında (2.6) bağıntısı ile verilmiştir.

Taşıt hızları, birbirine yakın (FHWA (Amerika Federal Otoyol Yönetimi), 6 metre önerir (Gibson ve diğ., 2007)) iki endüksiyon halkası ile bir yol kesitinde ölçülebilir. Bu durumda elde edilen değer nokta hız olmasa da, ona yakın bir değer olacaktır (ani artan ve ani azalan ivmeler ihmal edilir).

Literatürde bir grup aracın ortalama hızını hesaplayıp ifade etmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan ilki gözlenen nokta hız değerlerinin (2.9)'da verildiği gibi aritmetik ortalamalarını alarak elde edilir ve 'zaman anlamlı hız' ($\overline{u_t}$) olarak isimlendirilir.

$$\overline{u_t} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} u_i \qquad \textbf{(2.9)}$$

Ortalama hızı diğer ifade yolu ise 'uzunluk anlamlı hız' olarak bilinmektedir. Zaman içerisinde iki farklı temel uzunluk anlamlı hız tanımından bahsetmek mümkün olmuştur. Birinci tanım, Lighthill ve Whitham (1955)'ın, Wardrop (1952)'un çalışmasına ilişkilendirdikleri; 'Uzunluk anlamlı hız, x uzunluğu ile bu x uzunluğunu t_i yolculuk süresinde tamamlayan taşıtların, yolculuk sürelerinin ortalamalarına bölümünden elde edilen değerdir' tanımıdır. Bu tanıma göre uzunluk anlamlı hız (2.10)'da verildiği gibi hesaplanır.

$$\overline{u_s} = \frac{x}{\frac{1}{N}\sum_i t_i} \qquad \textbf{(2.10)}$$

Bağıntı (2.11)'de t_i, i taşıtının x uzunluğunu katettiği süredir (2.11),

$$t_i = \frac{x}{u_i} \qquad \textbf{(2.11)}$$

Benzer tanımlamalara, Ulaştırma Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Transportation Engineers) yayınlarda (ITE, 1976; ITE, 1992), May (1990) ve HCM (2000)'de rastlanabilir. ITE (1976), uzunluk anlamlı hızı, toplam yolculuğun, toplam yolculuk süresine bölünmesi olarak tanımlamıştır. Bu tanım Yol – Zaman çizimlerinden türetilmiştir. Burada hız değerlerinin uzunluklar üzerinde hesaplanması, bağıntı (2.8) ile benzerlik gösterir. İki yöntemin birbirinden farkı, Lighthill ve Whitham (1955)'da ölçüm için seçilen taşıtlar x kesimini tamamlamak zorundadır. ITE'nin tanımladığı yöntemde böyle bir zorunluluk yoktur.

Wardrop (1952)'tan başlayarak süre gelen bazı çalışmalar kapsamında bağıntı (2.10) ile bağıntı (2.11) bir arada kullanılarak uzunluk ortalama hızın bağıntı (2.12)'de verildiği gibi tek taşıt hızlarının harmonik ortalaması olduğu ispatlanmıştır.

$$\overline{u_s} = \frac{x}{\frac{1}{N}\sum_i t_i} = \frac{x}{\frac{1}{N}\sum_i \frac{x}{u_i}} = \frac{1}{\frac{1}{N}\sum_i \frac{1}{u_i}} \qquad \textbf{(2.12)}$$

Sonuç olarak, Wardrop (1952), Ligththill ve Whitnam (1955) ve Edie (1974) gibi birçok araştırmacı, uzunluk anlamlı hızın, herhangi bir noktada yapılan hız ölçümlerinin harmonik ortalaması ile hesaplandığını ileri sürmüşlerdir.

Uzunluk ortalama hıza ait ikinci tanım, yol kesimi boyunca bulunan taşıtların anlık hızlarının ortalamasını almak biçimindedir (Hall, 1994). Haight (1963), 'bütün taşıtların üzerinde hız göstergeleri var kabul ederek çekilmiş bir hava fotoğrafı' şeklinde tanımı açıklamaya çalışmıştır. Leutzbach (1972, 1987) da benzer örnekler kullanmıştır. Kennedy ve diğ. (1973) daha gerçekçi bir yaklaşımla arka arkaya çekilmiş iki hava fotoğrafı yardımıyla taşıt hızlarını elde etmeye çalışmıştır. Ardekani ve Herman (1987), uzunluk ortalamalı hız yöntemini kullanarak hız, akım hacmi ve yoğunluk arasındaki ilişki üzerine çalışmıştır.

Haight (1963), aritmetik olarak toplanan hızların dağılımlarının, gerçek hız dağılımları olduğunu göstermek için çalışmış fakat toplanan hızların dağılımlarının eşleşmediği görülmüştür. Haight (1963), 'her taşıt, Yol – Zaman eğrisinde doğrusal bir yörünge izler ve bir taşıt diğer taşıtı geçerken hızını değiştirmez' şeklinde *izoveloksik* model olarak adlandırılan varsayımı kullanmıştır (Hall, 1994). Bu varsayım, hız dağılımının konuma göre değişmemesi ile denktir (Hurdle, 1994). İzoveloksik olmayan fakat yukarıdakilere benzer bir tanım Gerlough ve Chappelle

(1964) tarafından yapılmıştır: 'Uzunluk ortalamalı hız, belirli bir anda belirli kesimi işgal eden taşıtların hızlarının aritmetik ortalamasıdır' (Hall, 1994).

Sonuç olarak tanım ne olursa olsun, ortalama hızları (uzunluk ortalama hız ve zaman ortalama hız) içeren hesaplamalar kuramsal olarak doğrudur. Uzunluk ortalama hız, zaman ortalamalı hıza göre daha gerekli bir ölçümdür. Bunun nedeni ileriki bölümlerde açıklanmıştır.

Serbest akan trafik şartlarında iki ortalama hızın (uzunluk anlamlı hız ve zaman anlamlı hız) arasında önemli bir fark bulunmadığından bağıntı (2.1) kullanılabilir. Trafiğin dur – kalk hareketi sık olan durumlarında, sinyalize yol ağlarında ya da tıkanıklık olan otoyollarda iki ortalama hızı ayırt edebilmek önemlidir. Wardrop (1952), iki ortalama hız arasındaki fark, varyans, σ^2_s ile uzunluk ortalama hızın oranı şeklinde bir bağıntı (2.13) ifade etmiştir.

$$\overline{u_t} \approx \overline{u_s} + \frac{\sigma^2_s}{\overline{u_s}} \qquad \textbf{(2.13)}$$

Taşıt hızları arasında büyük farklılıklar olduğunda iki ortalama hız arasındaki fark da artmaktadır. Wardrop (1952), en küçük 8 km/sa ile en büyük 100 km/sa arasında hızlardan oluşan bir gözlemde, uzunluk ortalamalı hızı 48,6 km/saat ve zaman ortalamalı hızı 54 km/saat olarak hesaplamıştır. Buna benzer birçok çalışmada zaman ortalama hızın, uzunluk ortalama hızdan %6 ile %12 arasında oranlarda büyüklük gösterdiği sonucu elde edilmiştir (Hall, 1994).

Tıkanıklık olmayan trafikte, taşıtların hız büyüklükleri birbirlerine daha benzer olacaktır. Dolayısıyla, varyansın daha küçük olmasıyla, ortalama hızlar arasındaki fark azalacaktır. Gerlough ve Huber (1975), hızları 35.397 km/sa'ten 45.33 km/sa'e kadar değişen 184 araca ait gözlem değerlerini irdelemiş ve aritmetik ortalamaları 39.862km/sa, harmonik ortalamaları da 39.769 km/sa olarak hesaplamıştır. Beklendiği gibi sonuçlar aynı değildir, fakat, birbirlerine yakındır.

Yoğunluk: Yoğunluk (k), yolun belirli bir kesiminde (genellikle 1 km), belirli bir anda bulunan taşıt sayısı olarak tanımlanır. Elde edilişi bağıntı (2.5)'te gösterilmiştir. Aynı akım hacmi gibi bu değer de yolun tamamı ya da belli bir şeridi için kullanılabilir ve genellikle birimi taşıt / km' dir.

Taşıtların birbirlerini güvenle izlemeleri için ardı ardına iki taşıt arasında bulunması gereken uzunluk cinsinden aralığa '*Uzunluk Cinsinden Taşıt İzleme Aralığı*

(spacing)' denir. Yoğunluk ile uzunluk cinsinden taşıt izleme aralığının doğrudan ilişkileri bulunmaktadır. Gözlemi yapılan toplam yol uzunluğu, X, her taşıt için uzunluk cinsinden taşıt izleme aralıklarının, (s_i), bağıntı (2.14)'te verildiği gibi toplamından oluşmaktadır.

$$x = \sum_{i=1}^{N} s_i \qquad \textbf{(2.14)}$$

Bağıntı (2.5) ve (2.14) birlikte kullanıldığında, uzunluk cinsinden taşıt izleme aralığı ile yoğunluk arasında (2.15)'de verilen bağıntı ortaya çıkmaktadır.

$$k = \frac{N}{x} = \frac{N}{\sum_{i=1}^{N} s_i} = \frac{1}{\frac{1}{N}\sum_{i \in N} s_i} = \frac{1}{\bar{s}} \qquad \textbf{(2.15)}$$

Yoğunluğun, ölçülmesi ve belirlenmesi zor olan bir değişken olması, Athol (1965) tarafından işgal, o, kavramının geliştirilmesine neden olmuştur. İşgal, bir anda bir yolda bulunan taşıtların boylarının toplamının, yolun boyuna oranı olarak tanımlanabilir. Bugünkü teknolojide algılayıcılar ile belirlenen taşıtların boylarının, ya da algılayıcılar üzerinde (hareketli) taşıt bulunma sürelerinin, t_i, toplam gözlem süresine, t_t, bölünmesi ile (2.16)'da verildiği gibi elde edilmektedir.

$$o = \frac{1}{t_t}\sum_{i=1}^{N} t_i \qquad \textbf{(2.16)}$$

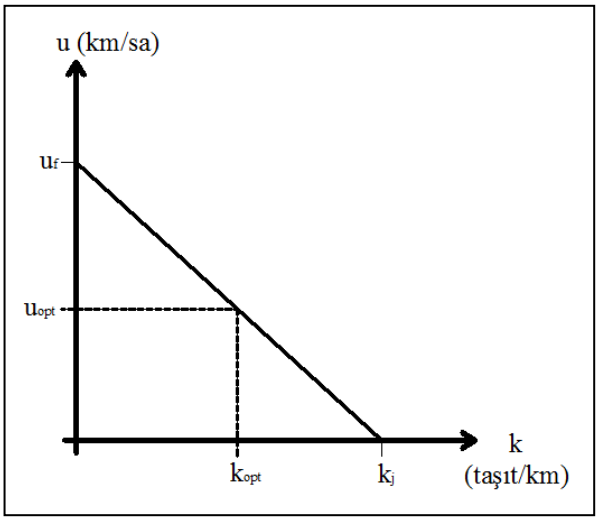
2.1.1.3. Türetilmiş Değişkenlerin İlişkileri ve Temel Eğriler

Trafik akımını tanımlamak için kullanılan türetilmiş değişkenlerin (hız, akım hacmi, yoğunluk) arasında, q = u.k olarak yazılabilen, geçerli bir bağıntı vardır (Daganzo, 1997). Bu bağıntı, trafik akımının temel bağıntısı olarak adlandırılır.

Hız – Yoğunluk (u – k) İlişkisi: Bir taşıtın ya da taşıt kümesinin, yol boş iken yapabileceği en yüksek hız, yol geometrisinin ya da taşıt motorunun izin verdiği kadardır. Eğer yolda herhangi bir kısıt, engel gibi hız azalmasına bir neden yoksa akımın erişebileceği bu en büyük hıza 'serbest akım hızı' u_f denir. Serbest akım hızına erişilebilmesi için yolda çok az taşıt olması, taşıtların birbirlerini etkilememesi gerekir. Bu durumda yoğunluğun yaklaşık olarak sıfır olduğu kabul edilebilir. Bu an, u-k eksen takımında (u_f, 0) noktası olarak tanımlanır (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).

Yolda taşıtların tampon tampona olmaları, başka bir deyişle yolun tam dolu olması durumunda ise yoldaki hız yaklaşık sıfır olarak kabul edilebilir. Taşıtların hızları bu

durumda zaman zaman sıfıra çok yakın veya sıfır olur. Ancak gerçekte akım hızı sıfır olmamakla birlikte akım duruyor gibi görünür. Bu durumda u – k eksen takımında (0, k_j) noktası, tıkanıklık yoğunluğu k_j değeridir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).



Şekil 2.8 Hız - Yoğunluk İlişkisi

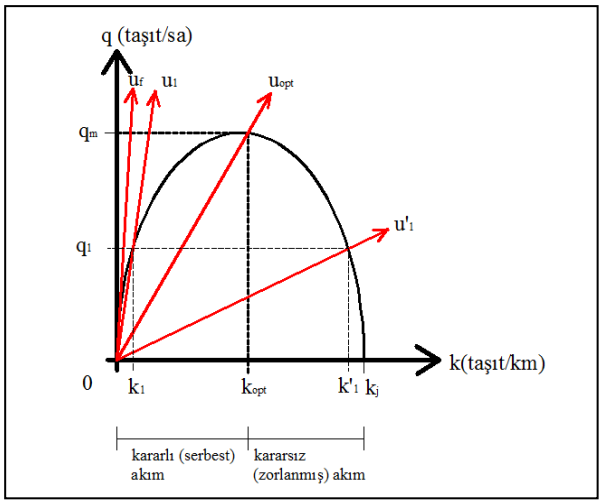
Serbest akım hızı ve tıkanıklık yoğunluğu noktalarından geçen bir u – k ilişkisi (eğrisi) vardır. Bu eğrinin kutupsal eksen takımının (+,+) çeyreğinde ekstremumu (türevinin eğimi sıfır olan nokta) olamaz. Bu durumda, belirlenmiş iki noktadan geçen bir eğri çizilebilir. Örneğin en basit olanı, bu iki noktayı birleştiren doğru parçasıdır (Şekil 2.8), (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).

Akım Hacmi – Yoğunluk İlişkisi: u – k ilişkisini ifade eden bağıntı, ana bağıntıda yerine konur ve 'k' bağımsız olacak biçimde çözülürse, q – k arasındaki bağıntı, (2.17)'de verildiği biçimde türetilir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).

$$q = f(k) \Rightarrow q = u.k \wedge u = a.k + b \Rightarrow q = (a.k + b).k \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q = a.k^2 + b.k \qquad \textbf{(2.17)}$$

q = f (k) eğrisi; q = 0 (başka bir deyişle yolda yok denecek kadar az taşıt olduğunda) ve dolayısıyla k = 0 olan (0,0) noktadan başlayan ve k = k_j (başka bir deyişle yol dolduğu anda) olduğu durum için akımın durma noktasına geldiği (başka bir deyişle taşıt sayısının yaklaşık olarak yine sıfır olduğu, q = 0) anda (0, k_j) noktasından geçen ve ikisinin arasında bir en büyük yapan eğridir (Şekil 2.9), (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2009).



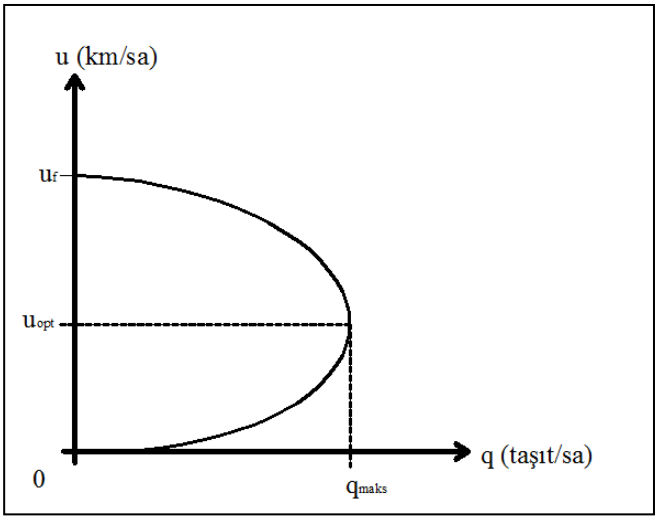
Şekil 2.9 Akım Hacmi– Yoğunluk İlişkisi

Hız – Akım Hacmi (u – q) İlişkisi: Belirlenen u – k ilişkisine göre u – q ilişkisi türetilir ve ana bağıntıda yerine konarak 'u' bağımsız değişken olacak biçimde çözülürse; U – q arasında geçerli (2.18) bağıntısı elde edilir.

$$q = f(u) \Rightarrow q = u.k \ \wedge \ k = a'.u + b' \Rightarrow q = (a'.u + b').u \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad q = a'.u^2 + b'.u \qquad \textbf{(2.18)}$$

q = f (k) eğrisi; q = 0 (başka bir deyişle hacim yaklaşık olarak sıfır) iken, yolun boş olmasından dolayı $u = u_f$ (hızın serbest) olduğu $(0, u_f)$, noktasından başlayan ve yol dolduğu zaman (yani akımın durma noktasına geldiği an), yoldan geçen taşıt sayısının yaklaşık olarak yine sıfır olduğunda (q = 0) akım hızının da yaklaşık sıfır olduğu (0,0) noktalarından geçen ve ikisinin arasında bir en büyük yapan eğridir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Hız - Akım Hacmi İlişkisi

2.1.2. Trafik Akım Modellemesinde Temel Yaklaşımlar

Mühendislik, matematik, yöneylem araştırması ve fizik gibi pek çok farklı disiplinden araştırmacılar, 1950'li yıllardan beri farklı yaklaşımlardan faydalanarak sayısız trafik akım modeli geliştirmiştir. 1950'lerde akım içerisindeki şok dalgası yayılımlarını kinematik dalga kuramıyla irdelemeye yarayan ve trafik akımını sıkıştırılabilir bir akışkan varsayıp kaba-boyut (makroskopik) bir çözümleme yapabilen akışkan-dinamik model benzeşimlerinden faydalanılmıştır. 1960'larda, önündeki aracı izleme davranışını irdeleyen ince-boyut (mikroskopik) modeller, 1970'lerde ise bu modellerin farklı varyasyonları olan ve hızın konum-zamana göre değişimini irdeleyen gaz kinetik modelleri önerilmiştir. 1980'lerde, özellikle pratik olarak atama problemlerine uyarlanabilirliğinden faydalanılan ve bağ dinamiklerini belirlemeye yarayan kaba-boyut akışkan-dinamik model uygulamaları sıkça çalışılmıştır. 1990'lardan günümüze dek ise; trafik akım modellemesi ve önceki yıllarda önerilen modellerin dinamik çözümlemeleri için gerçek-zamanda kullanılabilecek karma yapıda benzetim modelleri çalışılagelmektedir. Günümüzde ağ ölçeğinde ve gerçek-zamanda, her ne kadar gerçekçi, etkin ve tutarlı çözümlemeler yapabilen modeller henüz var olmasa da, gerçek-zamanlı ağ başarımı hesaplamasına yönelik fazla sayıda yaklaşım geliştirilmiştir. İleride, temel trafik akımı modelleme yaklaşımları özetlenmiştir.

2.1.2.1. Kaba-Boyut Modelleme Yaklaşımı

Kaba-boyut trafik akımı modelleme yaklaşımında; trafik akımı akışkan-dinamik modellerdeki gibi sürekli bir akışkan olarak ele alınır ve toplu taşıt dinamikleri yoğunluk, akım hacmi ve hız gibi toplulaştırılmış değişken boyutunda tanımlanır. Taşıt kümelerini irdelemekte ve düşük yoğunluklu akımlar için uygun olan çok sayıda kaba-boyut model vardır.

Kaba-boyut yaklaşımda taşıtlar, akışkan akımına benzer şekilde; hacim ve yoğunluk değişkenlerinin, zaman ve yol içerisinde parçalı sürekli fonksiyonları ile modellenir. Matematik temeli, anlık tek-boyutlu akışkan dinamiklerine dayanan, yol ve zaman boyutu içerisindeki diferansiyel denklemler ile ifade edilen bu modellerin çözümü için sonlu fark yöntemlerinden (Lebacque, 1996; Mesmer ve Papageorgiou, 1990; Daganzo, 1994 ve 1995a) faydalanılabilir. Korunum yasalarına ve dengede bir hız-yoğunluk ilişkisine sahip olduğu varsayımına göre geliştirilen ilk kinematik dalga

kuramını Lighthill ve Whitham ile Richards (Lighthill ve Whitham, 1955; Richards, 1956) önermiştir. İlgili literatürde LWR kuramı olarak da bilinen bu kaba yaklaşım; denge hızının anlık olarak uyarlanması gibi gerçek dışı bir varsayım ile oluşturulduğu için, karmaşık trafik akımı yapılarını tanımlamada başarısız olmuştur. Akım hacmi-yoğunluk ilişkisinin de kullanılması ile bu modeller, ağır hesaplama yükü oluşturmalarına karşın gerçekçi sonuçlar üretebilmiştir. En basit kaba-benzetim trafik modelleri, sürekli yol-zaman boyutu içerisinde verilen bir noktadaki trafiğin, yalnızca bu noktaya komşu olan yerel trafiklerden etkilendiği varsayımı ile oluşturulmuştur (Daganzo, 1995b ve c). Bu modellere temel olan akım hacmi-yoğunluk ilişkisi, hacim ve yoğunluğa ilişkin yapılan basit ölçümlerin ilişkilendirilmesi yolu ile elde edilmektedir. Bu modellerin çözümlerinin sayısal açıdan çok karmaşık olması, modellerin uygulanabilirliğini özellikle uygulama çalışmalarında kısıtlamaktadır.

2.1.2.2. İnce-Boyut Modelleme Yaklaşımı

İnce-boyut trafik akımı modelleme yaklaşımıyla, tek taşıt boyutunda hareket ve bunların etkileşimlerinin dinamikleri irdelenir (Forbes, 1963). Bu yaklaşımla geliştirilen modeller, tek taşıt (trafik birimi) boyutunda irdeleme yaparak çıkarım yapmaya yarar. Genellikle; 'taşıt-izleme' ya da 'önderi-izle' modelleri olarak adlandırılırlar (Gazis ve diğ., 1959 ve 1961; Pipes, 1966; Gipps, 1981). Modellere girdi olan sürücü davranışları; boyuna ve yanal sürücü davranışları olarak iki başlıkta kümelendirilir.

Kalibrasyonlarının zor olmasına karşın, trafik denetim uygulamalarının etkilerinin değerlendirilmesinde ya da olası senaryolardaki trafik akımı gelişimini kestirimde ince-boyut yaklaşımla oluşturulmuş modeller faydalıdır. Bu modeller ile yalnız bir sürücü davranışı etkisi göz önüne alınarak, park etme, sollama, şerit değiştirme ve benzeri gibi trafik içerisindeki bazı davranışların benzetimi yapılabilmektedir (Barcelo, 1996; Rillet ve diğ., 1994; Van Aerde ve diğ., 1987). Kavşaklar ve koridorlar gibi özel trafik denetimi gerektiren durumlar için, uygulamaya yönelik çok sayıda incebenzetim yazılımı oluşturulmuştur.

2.1.2.3. Karma-Boyut Modelleme Yaklaşımı

Karma-boyut trafik akım modellemesi yaklaşımında; ince-boyut yaklaşımıyla belirlenen taşıt dinamikleri, kaba-boyut ölçeğinin bir fonksiyonu gibi tanımlanır.

Başka deyişle, taşıt hareketleri ince boyutta, söz konusu taşıtların oluşturdukları trafiğin, yolculuk süresi, akım hacmi, hız ve işgal gibi, başarımlarının değişimi ise kababoyutta çözümlemeye alınır. İlgili literatürde; yapılan varsayım ve çözüm için uygulanan yöntemlerin oldukça çeşitlileştiği, karma-boyut yaklaşımıyla geliştirilmiş çok sayıda model vardır (Leonard ve diğ., 1978; Cascetta ve diğ., 1991; Jayakrishnan ve diğ., 1994; Ben-Akiva ve diğ., 1998; Celikoglu ve diğ., 2009).

2.2. Trafik Yönetimi

Trafik talebini yönlendirmek, trafik tıkanıklığını önlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bölüm 2.2'de trafik yönetimi yöntemleri anlatılmıştır.

2.2.1. Trafik Yönetiminde Geleneksel Yöntemler

Kanallama yöntemleri ve sabit zaman ayarlı sinyalizasyon kapasitenin artması ve güvenliğin artmasını sağlayan uygulamalardır ve trafik yönetiminde geleneksel yöntemler olarak isimlendirilirler.

2.2.1.1. Kanallama

Kavşaklarda ve gerekli görülen ara noktalarda, yol veya kavşağın kapasitesini arttırmak, ayrıca trafik güvenliğini sağlamak amacı ile taşıt ve yaya hareketlerinin hız, yörünge vb. yönlerden denetim altına alınması gerekir ve buna kanallama adı verilir. Kanallama yöntemi olan ayırıcı ada ile yanyol hareketleri sınırlanabilir. Kavşaktan doğrudan karşı kola olan gidişleri, istenmeyen ya da yanlış yöne girme hareketlerini caydırıcı veya yasaklayıcı düzenlemeler yapılabilir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2008).

Yol/şerit daraltma, saptırma, dik duruma getirme, dönüş yarıçapı küçültme gibi yöntemlerle kavşağa yaklaşan akımların hızlarını azaltmalarını sağlayacak biçimde taşıt yörüngesi tanımlayan düzenlemeler yapılabilir. Kavşağa yaklaşan akımın hızını azaltmak için şeritler daraltılabilir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2008).

Yanyol sürücüsünü durmaya zorlayarak, yanyola sağ dönmeyi kolaylaştırarak, sol dönüş cebine girene uzun yavaşlama şeridi tasarlayarak, sağa dönüp yanyola girenlere yaya çatışması yoksa geniş varsa dar dönüş yarıçapı tasarlayarak, anayollarda istenen, güvenilen hızı sağlayacak düzenlemeler yapılabilir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2008).

Uzun yavaşlama şeritleri ve sağa dönüş şeritleri tasarlamak, anayol boyunca bazı erişim kesimlerinde, yanyol bağlantılarında sol dönüş yasağı uygulamak gibi yöntemlerle çatışma noktalarını olabildiğince ayırmak sağlanabilir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2008).

Dönüş ceplerini gerekiyorsa arttırarak, dönüş cep ve şeritlerine yardımcı şeritler ekleyerek hâkim (fazla olan) akım yönünü kolaylaştırıp, yanyol erişimlerinin zorlaştırılmasının sağlanması da bir kanallama yöntemidir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2008).

Kavşaklarda, denetim biçimine uygun (sinyalize, denetimsiz) düzenlemeler yapılmalıdır. Sola dönüş cepleri sinyalli kavşaklarda kolaylıklar sağlar. Adalar, işaretlerin yerleştirilmesi, ışıklı işaretler için direklerin yerleştirilmesi, yayaların korunması vb. işlevler için çok kullanışlıdır (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2008).

Yavaşlayan, duran ya da yavaş akımlar, doğru (hızlı) akımlardan ayrılmalıdır. Bunun için düzenleme yapılması gereklidir. Dönüş cep ve şeritleri yardımcı şeritler bu amaçla kullanılır. Dönüş şeridi yoksa büyük dönüş yarıçapları uygulanır. Hızın düşük olduğu kentiçi anayollarda dönüş cepleri uygulaması, (olası) kuyrukta bekleyen taşıtları trafikten uzaklaştırır. Dönüş cepleri, ana trafik akışını etkilemeden sola dönenlere yönelik, dönüş sinyali için ya da uygun geçiş aralığını seçebilmek için bekleme olanağı sağlamaktadır (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2008).

Ayırıcı ada ile geniş (çok şeritli) anayollarda yayaların karşıdan karşıya geçerken yayalara güvenli beklemeleri için yer sağlanması, sağa dönüş şeritlerini ayıran adalar ile yaya geçidi düzenlemelerinde kullanılan yaya bekleme alanları sağlanması, yayalara, güvenli alanlar sağlamak için yapılabilecek düzenlemelerdir (Gedizlioğlu ve Çelikoğlu, 2008).

2.2.1.2. Sabit Zaman Ayarlı Sinyalizasyon

Sinyalizasyon, taşıtlar ve yayalar için gecikmeyi ve olası kaza çatışmalarını enküçükleyerek, kapasite ve güvenliği arttırmayı amaçlamak için kullanılan bir yöntemdir. Gerçek zamanlı ve sabit zaman ayarlı sinyalizasyon olarak ikiye ayrılabilir. Gerçek zamanlı sinyalizasyonda, algılayıcılar yardımıyla elde edilen verilere göre, dinamik olarak devre süresini hesaplanır ve uygulanır. Sabit zaman ayarlı sinyalizasyon ise, sinyalize edilecek kesimin akım özelliklerinin önceden

yapılan gözlemlere göre modellenerek, devre sürelerinin önceden hesaplanması ve uygulanması yöntemidir.

2.2.2. Trafik Yönetiminde Akıllı Sistem Yaklaşımı

Gerçek zamanlı trafik izleme, artan taşıt sayısı ve trafik tıkanıklığı ile birlikte çeşitli alanlarda uzmanların ilgi odağı olmuştur. Özellikle akıllı ulaştırma sistemlerinin hayata geçirilebilmesinin şartlarından biri de gerçek zamanlı trafik izlemedir (Tseng ve diğ., 2002). Algılayıcılar yardımıyla trafik şartlarının gerçek zamanlı tanımlanması sağlanır. Nam ve Drew (1995)'den alınıp, Lawrence (2006) ile güncellenmiş olan Çizelge – 2.1, algılayıcıları teknolojisine göre sınıflandırıp, yapılan işlemi kısaca tanımlayarak, algılayıcı tipine göre elde edilebilen verileri göstermektedir.

Çizelge 2.1 Algılayıcılar yardımıyla elde edilen veriler

Teknoloji	İşlem	Ölçme Kapasitesi	Açıklama
Ultrasonik Algılayıcılar	İnsan duyusunun altında ses dalgaları yayılması	Akım, İşgal, Mevcudiyet, Kuyruk Uzunluğu	Nokta Ölçümlerdir, hava durumuna bağlıdır.
Aktif Kızılötesi Algılayıcılar	Yüksek frekansta lazer ışını sinyali yayılması	Akım, İşgal, Sınıflandırma, Nokta Hız, Mevcudiyet	Nokta Ölçümlerdir, hava durumuna bağlıdır.
Pasif Kızılötesi Algılayıcılar	Nesneler tarafından yayılan kızılötesi enerjinin ölçülmesi	Akım, İşgal, Mevcudiyet	Nokta Ölçümlerdir, hava durumuna bağlıdır.
Mikrodalga radar Algılayıcılar	Aktif Kızılötesine benzer biçimde fakat daha düşük frekansta sinyal yayılması	Akım, Mevcudiyet, Nokta Hız	Nokta Ölçümlerdir, insan sağlığıyla ilişkili
Akustik Algılayıcılar	Taşıt tarafından yaratılan trafik seslerini algılama	Akım, Mevcudiyet, taşıt sınıflandırması	Nokta Ölçümlerdir, çevresel sese bağlıdır.
Video – Görüntü İşleme	Teçhizat ve yazılımlarla video görüntülerinin doğrudan bağlantılı analizi	Akım, işgal, hız, kuyruk uzunluğu, Mevcudiyet	Kapsamlı bilgisayar işidir, sınırlı gözetim alanı vardır
Havadan- Video-Görüntü İşleme	Havadan çekilmiş video görüntülerinin analizi	Akım, Yoğunluk, Kuyruk Uzunluğu	Geniş alanlı gözetim, hava durumuna bağlıdır.
Endüksiyon Halkası	Endüksiyondaki değişimi belirleyerek taşıt geçişi ya da varlığının gösterimi	Akım, İşgal, Mevcudiyet, nokta hız.	Nokta ölçümlerdir, yaygın kullanılır, altyapı problemlerine neden olur
GPS	Enaz dört uydudan alınan ve alıcıya iletilen sinyalin süresi, yolculuk süresi	Seyahat Süresi, uzunluk ortalamalı hız.	Geniş-alanda taşıt yörüngelerinin gösterimi, diferansiyel GPS ile doğrulaştırma
Otomatik Taşıt Tanımlayıcı	Taşıt içi birim ile yol biriminin iletişimi	Akım, uzunluk ortalamalı hız, seyahat süresi, taşıt sınıflandırma	Ücret toplama, özel yaşamla ilişkili

2.2.2.1. Bölgesel Sürücü Bilgilendirme

'Bölgesel Sürücü Bilgilendirme', akıllı ulaştırma sistemleri (AUS) ile otoyol yönetim yöntemlerinden bir tanesidir. 'Bölgesel Sürücü Bilgilendirme', yolculuk öncesi bilgilendirme, yolculuk sırasında bilgilendirme olarak kümelenebilir. Yolculuk öncesi bilgilendirme, kablolu tv, interaktif tv, radyo, internet ve özel yol bilgilendirme telefon servisleri aracılığıyla trafik durumu, hava durumu, yol bakım onarım çalışmaları gibi bilgilerin yayılmasını sağlar. Yolculuk öncesi bilgilendirme, kullanıcılara, güzergah seçimi, yolculuk türü seçimi (toplu taşım ya da özel taşıt), yolculuk başlangıç saati seçimi ya da yolculuğu iptal etme gibi olanaklar sağlar. Yolculuk sırasında bilgilendirme, taşıt içi bilgilendirme sistemleri, dinamik mesaj sistemleri (DMS), radyo, özel yol bilgilendirme telefon servisleri aracılığıyla kullanıcıya alternatif güzergâh seçimi, beklenen varış süresinin bilinmesi gibi olanaklar sağlar (Celikoglu, 2009).

2.2.2.2. Şerit Yönetimi

'Katılım Yönetimi' ve 'Şerit Yönetimi' akıllı ulaşım sistemleri ile otoyol yönetimi yöntemleridir. 'Katılım Yönetimi', tezin 3. bölümünde ayrıntılı olarak anlatılmıştır. 'Şerit Yönetimi', yüksek doluluk oranlı taşıt şeritleri (YDOT), yüksek doluluk oranlı taşıt ücretli şeritleri, erişimi toplu taşıma taşıtları ile sınırlandırılmış şeritler, talebe göre trafik yönü değiştirilebilen şeritler, ücretlendirilmiş şeritler gibi çeşitli uygulamalarla gerçekleştirilir. Yüksek doluluk oranlı taşıt şeritleri, taşıt içerisindeki yolcu sayısının en az ikiden fazla olması durumunda taşıtların kullanabildiği şeritlerdir. Yüksek doluluk oranlı taşıt ücretli şeritleri, yalnızca sürücülerin olduğu taşıtların da ücret ödeyerek kullanabildiği yüksek doluluk oranlı taşıt şeritleridir. Erişimi toplu taşıma taşıtlarıyla sınırlandırılmış şeritler, yalnızca toplu taşıma taşıtlarının kullanabildiği şeritlerdir. Talebe göre trafik yönü değişebilen şeritler, değişken bariyerler yardımıyla trafik güzergâhlarına ek kullanım alanı sağlayabilen şeritlerdir. Ücretlendirilmiş şeritler, kullanımı belirli bir ücret karşılığında mümkün olan şeritlerdir (Celikoglu, 2009)

.

2.2.2.3. Tekrarlı Olmayan Tıkanıklık Durumlarında Akıllı Sistemlerle Trafik Yönetimi

'Kaza – Olay Yönetimi', 'Acil Durum Yönetimi' ve 'Hava Şartlarına göre Trafik Yönetimi', tekrarlı olmayan tıkanıklık durumlarında otoyol yönetimi yöntemleridir. 'Kaza – Olay Yönetimi', algılayıcılarla elde edilen verilerin algoritmalara girdi olarak kullanılmasıyla kaza – olayın erken tespit edilerek, müdahalenin daha hızlı bir şekilde yapılabilmesini ve 'Bölgesel Sürücü Bilgilendirme' sistemi ile tıkanıklık oluşacak bölgeye olan talebin alternatif güzergâhlara yönlendirilmesini sağlamaktadır. 'Acil Durum Yönetimi', zararlı madde yayılması ve afet durumlarının tespit edilerek, acil durum yönetim ve iletişim merkezleri tarafından önceden belirlenmiş senaryoların uygulanması veya bölgeye göre senaryo oluşturarak uygulanmasını sağlamaktadır. 'Bölgesel Sürücü Bilgilendirme' sistemi ile bölgeye olacak talep alternatif güzergâhlara yönlendirilir. 'Hava Şartlarına göre Trafik Yönetimi', özel çevresel algılayıcı istasyonları ve yol hava durumu haberleşme sistemleri yardımıyla elde edilen verilere göre 'Bölgesel Sürücü Bilgilendirme' sistemi ile trafik talebini yönlendirerek ya da hız düşürülmesi gerektiğini belirterek, tekrarlı olmayan trafik tıkanıklığının önlenmesini sağlamaktadır (Celikoglu, 2009).

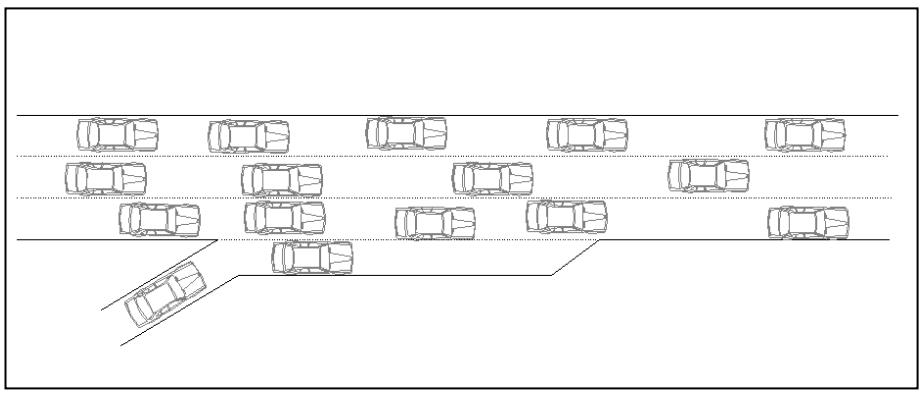
3. KATILIM YÖNETİMİ ve İZLEMLERİ

Katılımlar işlevleri nedeniyle güzergâhlarda tekrarlı tıkanıklara neden olabilen yol kesimleridir. Bu bölümde katılımların tıkanıklıklardaki yerinden bahsedilmiş, daha sonra, tıkanıkları önlemek ve azaltmak için önerilen 'Katılım Yönetim İzlemleri' anlatılmıştır. Katılım yönetim izlemleri (stratejileri), 'Katılım Kapatma, Katılım Denetimi, Özel Kullanım Uygulamaları ve Katılım Sınırlama Uygulamaları' olmak üzere dört başlıkta kümelenmiş, her bir yöntemin getirileri ve götürüleri irdelenmiştir.

3.1. Katılımların Trafik Akım Koşullarına Etkisi

Şişeboynu kesimlerinin temelde üç nedenden dolayı meydana geldiği söylenebilir; yol geometrisindeki enkesit değişiklikleri, kazalar nedeniyle ortaya çıkan yol daralmaları, bakım – onarım çalışmaları nedeniyle yapılan daraltmalar (Gedizlioğlu ve Akad, 1992). Bu nedenlerden birincisi tekrarlı tıkanıklığa, diğer ikisi ise tekrarlı olmayan tıkanıklığa neden olmaktadır.

Katılımlar, yapıları itibarı ile hızlanma şeridi sonunda ya da doğrudan katılan kolların çatışma kollarında, yol geometrisindeki enkesit değişikliklerine benzerlik gösteren tekrarlı tıkanıklıklara ve dolayısıyla güvenli olmayan trafik akım koşullarına neden olur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Örnek Bir Katılım Kesimi

Katılımların işlevi ve geometrisinden kaynaklanan söz konusu olumsuzlukların önüne geçmek için, dünyada 1960'lı yıllardan beri katılım yönetim izlemleri uygulanmaktadır.

3.2. Katılım Yönetim İzlemleri

Katılım yönetimi; trafik ışıkları, işaretleme ve kapatma kapıları gibi denetim aygıtları ile anakola katılan ya da anakoldan ayrılan taşıt sayılarını düzenlemek amacıyla uygulanan izlemlerdir (Neudorff ve diğ., 2003). Birçok katılım yönetim izlemi, anakola olan istem ile anakolun kapasitesini dengeleyerek, var olan gecikmeleri en aza indirmek için tasarlanır. Katılım yönetimi aynı zamanda, katılımdan anakola doğru kümelenmiş halde katılan taşıt kümelerini bölerek, katılım kesiminde güvenliği sağlar. Katılım yönetim izlemleri 'Katılım Kapatma', 'Katılım Denetimi', 'Özel Kullanım Uygulamaları' ve 'Katılım Sınırlama Uygulamaları' olmak üzere temelde dört başlıkla incelenmektedir (Jacobson ve diğ., 2006).

3.2.1. Katılım Kapatma İzlemleri

Katılım Kapatma, seyrek uygulanan ve trafik akımını etkileme potansiyeli en fazla olan uzun dönemli bir izlemdir. Bu izlemde katılım (ya da ayrım); geçici olarak, zaman zaman ya da kalıcı olarak, trafik birimlerinin tamamına ya da belirli taşıt sınıflarına kapatılabilir. Kalıcı katılım kapatmaları, sürekli güvenlik sorunu olan katılımlarda son çare olarak başvurulan bir yöntemdir. Geçici ya da planlı katılım kapatmaları, bakım onarım çalışmaları, kaza – olaylar (incident), acil durumlar ya da özel durumlar gibi kapasite kullanımını düşürücü etkenlerin söz konusu olduğu zamanlarda uygulanabilir (Jacobson ve diğ., 2006).

Yapılan çalışmalarda katılım kapatmalarının; toplam kaza sayılarında, özellikle arkadan ve yandan çarpma kaza oranlarında azalma olması, anakoldaki taşıt hızlarında artış sağlanması, bölgedeki yakıt emisyonu gibi olumsuz çevresel etkilerde azalmalar gibi faydalar sağladığı gözlemlenmiştir (Jacobson ve diğ., 2006). Prevedouros (1999), Detroit John C. Lodge otoyolunun 5 km'lik kesiminde yaptığı gözlemde, katılım kapatmanın akım hacminde %3,5 ile 13,7 arasında bir artış sağladığını, ortalama yolculuk hızının gündüz zirve saatte 43 km/sa'ten 60 km/sa'e; akşam zirve saatte ise 41 km/sa'ten 62 km/sa'e yükseldiğini ifade etmiştir.

Güzergâhlarda sapmalar, bu sapmalara bağlı olarak uzayan yolculuklar nedeniyle fazla tüketilen yakıt, katılım kapatmalarının olumsuz etkileri olarak sıralanabilir.

3.2.2. Katılım Denetimi İzlemleri

Katılım Denetimi, yol ağı, güzergâh ya da anakolda var olan trafik koşullarına bağlı olarak, ana kola katılan akım hacmini düzenlemek için kullanılan bir izlemdir. Çalışmanın 4. bölümünde katılım denetiminin temellerine ilişkin irdelemeler yapılmıştır. Aşağıdaki alt başlıklar boyunca katılım denetiminin günümüze dek tarihsel süreci incelenmesi, hangi ülkelerde (veya bölgelerde) katılım denetimi uygulandığı, uygulamalardaki getiriler ve götürüler, çeşitli çalışma sonuç raporları ve önce-sonra durum belirleme raporlarından faydalanılarak örneklerle irdelenmiştir.

Katılım denetimi, ABD başta olmak üzere, Avrupa'da Almanya, Fransa, Hollanda, İngiltere gibi birçok ülkede, Japonya, Yeni Zelanda ve Avustralya'da uygulanmış ve birçok gelişmekte olan ülkenin trafik yönetimi gündeminde olan yaygın bir trafik denetim izlemidir.

3.2.2.1. ABD'de Katılım Denetimi

İlk 1963 yılında Chicago'da polis memurlarının otoyol katılımında bekleyip yan kol akımını durdurarak önceden belirlenmiş hacim kadar taşıtın anakola katılıma izin vermesi ile gerçekleştirilen katılım denetimi (McDermott ve diğ., 1979; Piotrowicz ve Robinson, 1995), bugün ABD başta olmak üzere birçok ülkede yaygın bir izlem olarak kullanılmaktadır. Los Angeles, Minneapolis, New York, Portland, San Diego ve Seattle gibi şehirler başta olmak üzere toplam 2200'ün üzerinde katılımda denetim uygulanmaktadır (Kunkel, 1999). Minneapolis son haliyle 336 km otoyolda 430 katılım denetimi uygulamış bilinen en geniş bölgedir (Michalopoulos ve Hourdakis, 2006). Çizelge – 3.1'de bölgelerle birlikte katılım denetimi uygulanan kesim sayıları verilmiştir.

Çizelge 3.1 ABD Katılım Denetimi Uygulamaları (Kachroo ve Özbay, 2003)

Uygulanan Bölge	Sayı	Uygulanan Bölge	Sayı	Uygulanan Bölge	Sayı
Minneapolis	427	Seattle	99	Salt Lake City	9
San Diego	252	Houston	97	Colombus	8
San Francisco	190	New York	81	Philadelphia	6
Los Angles	152	Sacramento	75	Dallas	5
Phoenix	122	Detroit	60	Atlanta	5
Chicago	113	Fresno	29	El Paso	2
Milwaukee	113	LA, Anaheim	20	SLC, Odgen	1
Portland	100	Allentown	14	NY, N.N. Jersey	1

Austin, Texas'ta I-35 yolunun kuzey kesiminde gündüz zirve saatler için üç katılımda denetim uygulanmıştır. Uygulamadan sonra akım hacminde %7,9 ve ortalama hızda %60 artma gözlemlenmiştir. Söz konusu kesim geometrik olarak genişletildikten sonra denetim kaldırılmıştır (Jacobson ve diğ., 2006).

Houston, Texas, I-10 Katy otoyolunda yapılan önce (1996) - sonra (1997) durum belirleme raporlarında hesaplanan günlük yolculuk süresi faydası 2875 saattir. Her saat için hesaplanan zaman değeri 12,88$ ve bu yolculuk süresi faydasının toplam kazancı günlük 37.030$' dır (Jacobson ve diğ., 2006).

1970'lerin sonunda Denver' da katılımların denetlenmesine I-25 yolunda 5 katılımla başlanmıştır, 1981 ve 1982 yıllarında geometrik düzenlemelerle iyileştirmeler yapılmıştır. İyileştirmelerin uygulanmasından sonra ortalama hız %58 artmış, yolculuk süreleri %37 azalmış, emisyon egzoz gazı tüketimi %24 artmış ve kaza sayısı %5 azalmıştır. Denetim sonrası ana akım kolunda şerit başına düşen hacim 2450 taşıt/sa/şerit'tir (Jacobson ve diğ., 2006).

Detroit, Michigan'da katılım denetimi, gözetim sistemi ve sürücü bilgilendirme sistemi ile geniş bir ağda bütünleşik olarak çalışmaktadır. İlk olarak 1982 yılında doğudaki I-94 yolunda 6 katılımda uygulanmış, daha sonra ise bu sayı oldukça artmıştır. Ortalama hız %8 artmış, akım hacmi 5600 taşıt/sa'ten 6400 taşıt/sa'e yükselmiştir. Toplam kaza sayısı yaklaşık %50 azalmış, yaralanmalı kaza sayısı ise %71 azalmıştır (Jacobson ve diğ., 2006).

New York, Long Island Otoyolu'nda 1987-1990 yılları arasında Sürücü Bilgilendirme Projesinin bir parçası olarak toplam 60 katılımda denetim uygulanmıştır. Uygulama sonucu anakoldaki ortalama yolculuk süreleri 26 dakikadan 22 dakikaya düşmüş, ortalama hız 46 km/sa'ten 56 km/sa'e yükselmiştir. Gündüz zirve saatlerde, hız okuyan algılayıcıların 48 km/sa'ten daha yavaş okudukları taşıt sayısı %50 azalmıştır. Yapılan anketler sonucu kullanıcı memnuniyeti değerlendirmesinde, memnun olanlar %40 ve olmayanlar %40'tır (Jacobson ve diğ., 2006).

Minneapolis, St. Paul, Minnesota'da katılım denetimi, Twin Cities Şehir Merkezi Otoyol Yönetim Sistemi'nin bir parçası olarak 1970'li yıllarda I – 35 E otoyolunun büyük bir kesiminde uygulamaya başlanmıştır. 14 yıllık işletimin ardından sunulan

raporda, zirve saatlerdeki yolculuk hızının %16 arttığı (59 km/sa'ten 69 km/sa'e), zirve saatlerdeki ortalama akım hacminin %25 arttığı ifade edilmiştir. Zirve saatlerdeki kazalar %24 civarında azalmıştır (Jacobson ve diğ., 2006). Çizelge - 3.2, Twin Cities katılım denetiminin sağladığı 2000 yılına ait faydaları göstermektedir.

Çizelge 3.2 TwinCities Katılım Denetiminin Yıllık Faydası (Friedrichs ve diğ. 2000)

Başarım Ölçütü	**Yıllık Fayda**	**Yıllık Kazanç $**
Yolculuk Süresi	25.121 saat yolculuk süresi faydası	247,000$
Yolculuk Süresi Güvenilirliği	2.583.620 saat gecikmelerin azalması	25,449,000$
Kazalar	1.041 kaza azalmıştır.	18,198,000$
Emisyon Tüketimi	1.161 ton tüketimi azalmıştır.	4,101,000$
Yakıt Tüketimi	21 milyon litre tüketim azalmıştır.	7,967,000$
Toplam Yıllık Kazanç		40,028,000$

Portland, Oregon'da 1981 yılında önemli bir ticaret yolu olan I-5'te 16 adet katılımda denetim uygulamasına başlanmıştır. Uygulama ile birlikte ortalama hız 26 km/sa'ten, 66 km/sa'e yükselmiştir. Zirve saat kazalarında %43 azalma belirlenmiştir (Jacobson ve diğ., 2006).

Seattle, Washington 1981 yılının başında FLOW programının bir parçası olarak, Washington Ulaştırma Birimi, I -5 otoyolunun 11 km'lik kesiminde 17 katılımda gündüz zirve saatlerde, 5 katılımda ise akşam zirve saatlerde altı yıl boyunca çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar sonucu ortalama yolculuk süresi 22 dakikadan, 11,5 dakikaya düşmüştür. Kesimin kuzeyinde akım hacmi %86, güneyinde ise %62 artma göstermiştir. Kaza sayıları %39 azalmıştır ve ortalama denetim gecikmeleri yaklaşık 3 dakika olarak belirlenmiştir (Arnold, 1998).

3.2.2.2. Avrupa Ülkelerinde Katılım Denetimi

Avrupa'da katılım denetimi uygulanmaları ABD'ye göreli olarak daha geç başlamıştır. İngiltere ilk 1986 yılında M6 otoyolunda katılım denetimi uygulamıştır (Kunkel, 1999). Şişeboynu kapasitesi, uygulama sonucu %3,2 artmış, bununla birlikte günlük 107 saat yolculuk süresi faydası ortaya çıkmıştır. İngiltere Otoyol Kurumu (England Highway Agency), adayı 12 stratejik bölgeye ayırmış, bu bölgelerin 7 tanesinde denetim uygulanmış, uygulanan bölgelerin 6 tanesinde denetim alanlarının geliştirilmesini planlamış, 3 bölgede de yeni denetimlerin uygulamaya konulmasını tasarlamıştır (EHA, 2008).

Katılım denetimi, Hollanda'da da kabul edilmiş trafik yönetim stratejilerinden birisidir. 1998 yılının sonunda 20 adet katılım denetimi uygulaması, Amsterdam Rotterdam ve Utrecht şehirlerinde bulunmaktaydı (Taale ve Middelham, 2000). Uygulanmadan sonra şişeboynu kapasitesi %3 artmıştır, yolculuk süreleri de 13,8 dakikadan 12,0 dakikaya düşmüştür. Çizelge - 3.3, bölgelere göre Hollanda katılım denetimi uygulamalarının çeşitli çalışmalar sonucu, başarım değerlendirmesini çeşitli başlıklar altında ifade etmektedir. '-' sembolü çalışmada söz konusu başlığa dair bir çıktı bulunmadığını; '=' sembolü uygulama öncesi ve sonrası herhangi bir değişiklik olmadığını, '<' sembolü söz konusu değerde uygulama sonrası düşüş olduğunu; '>' sembolü söz konusu değerde uygulama sonrası artış olduğunu ifade etmektedir. '≈' değerin yaklaşık olarak aynı kaldığını ifade etmektedir.

Çizelge 3.3 Bölgelere Göre Hollanda Katılım Denetimi Uygulamalarının Başarım Değerlendirmesi (Taale ve Middelham, 2000)

Bölge	Şişeboynu Kapasitesi	Yolculuk Hızı	Katılım Kullanma Oranı	Toplam Gecikme (taşıt zaman)	Yolculuk Süresi	Kırmızı Işık İhlali
Coentunnel (1 katılım	=	+30 km/sa	%-50	-	-	%5-6
Coentunnel (4 katılım)	%+1-2	+20 km/sa	≈	%-20	-	-
Delft-Zuid (1.değerlendirme)	%+5	-	=	<	-	%15
Delft-Zuid (2.değerlendirme)	%+4	-	=	<	-	%15
Zoetermeer	%+3	-	=	-	%-6	%13
Schiedam-Noord	>	+20 km/sa	%-8	-	%-6	%3
Barendrecht	%+5	+20 km/sa	%-35	-	%-10	%2
Kolkweg	=	+4 km/sa	%-10	-	%-3	%6
Vianen	%+5	+5 km/sa	%-36	-	-	%5
Muiden/Muiderslot	-	-	≈	-	=	%6-7

Fransa'da, 1970' de Paris Otoyolunda 35 katılımda hafta boyunca sabah zirve saatlerde ve hafta sonları dönüş istikametinde uygulama denenmiştir. Aralık 1997'de CERTU'nun (Fransa Otoyol Teşkilatı) yayınladığı raporda Paris, Marsilya ve Bordo olmak üzere üç test bölgesinin seçildiği ifade edilmiştir (Kunkel, 1999).

İngiltere, Hollanda, Fransa dışında, Almanya, Belçika, İskoçya, İsrail (EURAMP - **EU**ropean **RA**mp **M**etering **P**roject- kapsamındadır) de Avrupa'da katılım denetimi uygulanan ülkelerdir.

3.2.2.3. Diğer Ülkelerde Katılım Denetimi

Başta Japonya olmak üzere, Yeni Zelanda, İran, Çin ve Arap ülkelerinde katılım denetimi için benzetim programları ile akademik çalışmalar yürütülmektedir. Yeni Zelanda Ulaştırma Bakanlığı, hükümet politikasında katılım denetimi izlemini uygulama kararı almış, yaptığı planlamalarda yük taşıtı (kamyon, kamyonet) ve toplu taşım taşıtları öncelikli katılım denetimini uygulamaya koyacaklarını belirtmişlerdir (URL-1).

3.2.2.4. Katılım Denetiminin Getirileri ve Götürüleri

Katılım denetimi uygulamaları sonucu, anakolun daha verimli kullanılabilir hale gelmesi, hizmet düzeyinin artması, hızın artması, gecikmelerin azalması, sık ivme değişimlerinin (dur–kalklar) azalması, yakıt tüketiminin ve hava kirliliğinin azalması, akım içi hareketlerde güvenliğin artması, kaza sayısının azalması gibi birçok fayda sağlanır.

Katılım denetimi uygulaması sonucu katılımlarda meydana gelen kuyruklanmaları gören sürücülerin güzergâh değiştirerek farklı güzergâhları kullanması veya yolculuk mesafesini uzatması katılım denetiminin götürülerinden bir tanesidir. Böyle bir durumda sürücülerin seçtiği farklı güzergâhların sapmış trafiği taşıyabilecek yeterliliği yok ise, tıkanıklık probleminin artması olasıdır. Katılımların depo alanlarının yeterli olmaması durumunda, kuyruklanmanın katılımın ayrıldığı anakola kadar uzanarak yeni bir tıkanıklık durumu oluşturması, katılım denetiminin bir diğer götürüsüdür. 2000'li yıllarla birlikte, Minneapolis Twin Cities'te katılımlardaki kuyruk gecikmelerinin 20 dakikanın üzerine çıkması sonucu katılım denetimi kapatılmıştır. Bu deneyim katılım denetiminin bir diğer götürüsünün 'eşitlik ilkesine uymaması' olarak yeni bir tartışma oluşturmuştur (Zhang ve Levinson, 2005). Katılım denetiminin genel özellikleri 4.bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

3.2.3. Özel Durum Uygulamaları

Özel Durum Uygulamaları, katılım denetimi uygulamalarında, yüksek doluluk oranlı taşıtlara (YDOT), toplu taşımaya, kamyonet – kamyon gibi yük taşıtlarına ayrıcalık sağlayan bir izlemdir. Farklı taşıt türüne (ya da türlerine) göre geçiş hakkı doğrudan sağlanabilmekte ya da farklı ışık eşgüdümüyle öncelik tanınabilmektedir.

Yüksek doluluk oranlı taşıtlara ayrıcalık sağlanarak yolculuk sürelerinin azaltılması gibi faydalar, bu tür kullanıma olan istemi arttırmaktadır. Bunun sonucu, yakıt

tüketiminde azalma elde edilir. Özel taşıt sınıflarının, yolculuk sürelerinin azalması, çeşitli taşıt sınıflarını birbirinden ayırarak güvenliğin artması, gecikmelerin azalması ve kaza – olay durumlarına müdahalenin kolaylaşması, Özel Kullanım Uygulamalarının diğer getirileri olarak sıralanabilir.

Diğer yandan, katılımlarda Özel Kullanım Uygulamaları sonucu özel şeritle, normal şerit arasında kullanıcılardan kaynaklı karmaşıklıklar oluşabilir. Bu durum güvenliğin azalmasına neden olan bir götürüdür.

3.2.4. Katılım Sınırlama Uygulamaları

Katılım Sınırlama Uygulamaları, katılımlara çeşitli sınırlamalar koyarak ya da sinyalizasyon ayarlamaları yaparak kuyruklanmaları ve akımı düzenleyen yöntemlerdir. Sinyal süresi ve faz ayarlamaları, katılım kanallaması, dönüş hareketi ve depolanma alanlarında değişiklikler veya eklemeler, işaretleme ve şerit çizgilerinde değişiklikler veya eklemeler Katılım Sınırlama Uygulamalarından yöntemlerinden bazılarıdır. Gecikmelerin ve kuyruklanmaların azalması, güvenliğin artması gibi getirileri bulunmaktadır (Jacobson ve diğ., 2006).

4. KATILIM DENETİMİ

Katılım denetimi, var olan trafik koşullarına bağlı olarak, ana akım koluna katılan akımı düzenlemek için kullanılan bir izlemdir. Temelde iki amaca yönelik uygulanır. Bunlardan birincisi, anakola katılan trafik hacmini denetim altına alarak, anakola olan talebi düzenlemek ve bu talebi kapasitenin altında tutmaya çalışmak; diğeri ise, katılımda oluşan taşıt gruplarını parçalara bölerek anakola güvenli giriş sağlamaktır (Mirchandani ve Zou, 2006).

4.1. Katılımların Geometrik Özellikleri

Denetim uygulanması için tasarlanan katılımların geometrik özellikleri, projenin uygulanmasından sonra gelecek 20 yılın zirve saat akım hacmine göre belirlenir. Var olan katılımlarda denetim uygulanması durumunda katılımın yeterliliğinin irdelenmesi ise, var olan durumdaki zirve saat hacimleri ile hesaplanır. Eğer elde veri varsa, en fazla iki yıl öncesine ait olabilir, daha eski verilerin kullanılması uygun değildir. Veri yoksa da uygun sayım kurallarına göre trafik gözlenerek zirve saatlerdeki akım hacmi değerleri sayılır.

4.1.1. Tek Şeritli Katılımlar

Akım hacmi 900 taşıt/saat'e kadar olan katılımların tek şeritli olması önerilir. Ağır taşıt oranının %5'ten daha dazla olması durumlarında en az 150 m uzunluğunda yardımcı şerit önerilir (Davis ve diğ., 2000).

4.1.2. Çok Şeritli Katılımlar

Katılımlardaki akım hacimleri 900 taşıt/saat'in üzerine çıktıklarında ya da YDOT şeridi gerekli olduğunda iki ya da üç şeritli katılımlar önerilir. Çok şeritli katılımlarda, bütün şeritlerin denetimli olması gibi durumlarda sağ şeridin diğerlerinden geniş olması –ağır taşıtlar için- uygulamalarda karşılaşılan bir durumdur. Bu tip katılımların, görüş mesafesinin azalmaması açısından kurp yarıçaplarının 90 m'den küçük olmaması önerilir. Çizelge 4.1 denetim yapılan

katılımlarda önerilen şerit genişliklerini ve banket genişliklerini göstermektedir (Davis ve diğ., 2000).

Çizelge 4.1 Tasarlanan Denetimli Katılımlar İçin Önerilen Şerit ve Banket Genişlikleri

Denetim Yapılan Katılım	Platform Genişliği		
	Şerit(ler) Toplam Genişliği	Banket	
		İç	Dış
1 Şeritli	3,6 m	1,2 m	2,4 m
2 Şeritli	7,2 m	1,2 m	2,4 m
3 Şeritli	10,8 m	0,6 m	0,6 m

Ağır taşıt oranın %5'ten daha fazla olması durumlarında ya da akım hacminin 1500 taşıt/saat'i aşması durumlarında en az 300 m uzunluğunda yardımcı şerit önerilir. Katılım sonrası anakol ile birleşimlerde 50:1 (50 m uzunluğundaki bir kesimde 1 metre daralacak oranda) hızlanma şeridi önerilir (Davis ve diğ., 2000).

4.1.3. Otoyoldan Otoyola olan Bağlantıların Denetimi

Yol ağının tasarımına göre otoyol anakolları bir diğer otoyol anakoluna katılım kolu olarak eklenebilir. İhtiyaç duyulduğunda otoyoldan otoyola olan bağlantılar denetim altına alınabilir. Bu karayolu elemanlarında standart şerit ve banket genişlikleri önerilir. Elemanın tasarımı ise en az 80 km/saat'lik hız göz önünde bulunarak yapılır. Bağlantıların anakol ile birleşimlerinde ise 50:1 hızlanma şeridi eklenmesi önerilmiştir (Davis ve diğ., 2000).

4.1.4. Depolanma Alanı

Katılım denetiminin uygulamada verimli uygulanabilmesi için göz önünde bulunması gereken önemli şartlardan birisi depolanma alanının yeterliliğidir. Denetim uygulanacak katılımlarda en az 240 taşıt/sa/şerit en fazla 900 taşıt/sa/şerit akım hacmi sınırlaması bulunmaktadır. Bu değerlerin dışında denetimin çok verimli olduğu söylenemez. Bununla birlikte zirve saat hacim değerlerinin 500 taşıt/sa ile 900 taşıt/sa arasında olduğu durumlarda, ikili depolanma amacı ile çift şeritli denetim uygulanabilir. Katılımın özelliğine göre depolanma alanının uzunluğu ve şerit sayısı belirlenir. Kuyruklanmaların katılımın komşu koluna uzanması durumunda ek trafik tıkanıklıkları meydana gelebilir (Davis ve diğ., 2000).

4.1.5. Durma Çizgisi Yeri

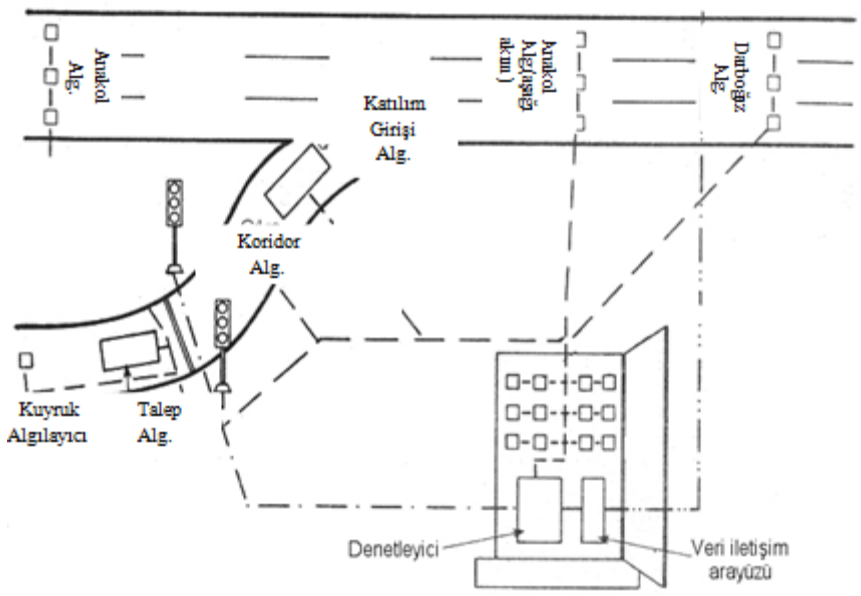
Amerikan ve Avrupa şartnamelerinde durma çizgisi, anakol ile katılım kolu arasındaki mesafenin 7 m olduğu noktadan, yukarı akıma doğru en az 23 m mesafede konumlandırılır. Sadece denetim olan şeritlerde, 300 mm kalınlıkta mat beyaz çizgi kullanılır (Davis ve diğ., 2000).

4.2.Katılım Denetimi Temel Elemanları

İlk uygulamalarında otoyollar için tasarlanan katılım denetimi, gözetim teknolojisinin bugünkü şartlarda daha güvenilir veri elde etmesi ve bu verilerin gerçek zamanlı işlenerek sonuç elde edilebilmesi sayesinde daha yoğun talep altında olan ve katılımların daha sık aralıklı olduğu çevre yollarında da uygulanmaya başlamıştır. Katılım denetiminin temel elemanları olan algılayıcılar, denetleyiciler ve ileri düzey uyarım sistemleri bu bölümde açıklanmıştır.

4.2.1. Algılayıcılar

Katılım denetiminde, sistemin çeşidine (izole, eşgüdümlü), kullanılacak algoritmaya, maliyete ve coğrafi kısıtlara göre algılayıcı çeşidi ve algılayıcıların kullanılacağı yerler değişebilir. Anakol Algılayıcıları, Talep Algılayıcıları, Katılım Kuyruk Algılayıcıları, Katılım Girişi Algılayıcıları, Koridor Algılayıcıları gibi zorunlu ya da seçime bağlı birçok algılayıcı kullanılabilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Katılım Denetimi Temel Elemanları

4.2.1.1. Anakol Algılayıcıları

Anakol algılayıcılarından elde edilen işgal, hız veya akım hacmi gibi veriler bütün denetim algoritmalarda ihtiyaç duyulan bir girdi olduğundan kullanılması zorunlu algılayıcılardır (Şekil 4.1). Bu algılayıcılar aynı zamanda kaza – olay algoritmalarına da veri temin ederek olay yönetimine katkıda bulunabilir. Amerikan Şartnamelerinde (Davis ve diğ., 2000), kullanılacak anakol algılayıcısı endüksiyon halkası ise 1,8 m kenara sahip, şeritlere ortalanmış ve aralarındaki açıklık 6,1 m olacak şekilde uygulanması önerilir.

4.2.1.2. Talep ve Koridor Algılayıcıları

Talep algılayıcıları, özel kullanım uygulamalarında sadece denetim yapılan şeritlerde durma çizgisinin önünde kullanılmaktadır. Koridor Algılayıcıları, katılımlardan anakola giren taşıt sayısını veri olarak toplayan algılayıcılardır (Şekil 4.1). Durma çizgisine göre aşağı akımda konumlandırılırlar (Jacobson ve diğ., 2006). Amerikan şartnamelerinde (Davis ve diğ., 2000), talep ve koridor algılayıcılarının genişliğinin 3.6 m'den fazla olması önerilir.

4.2.1.3.Katılım Kuyruk Algılayıcıları

Katılım Kuyruk Algılayıcıları, katılım depo alanı kapasitesini aşmasını önlemek amacıyla katılımların yukarı akımını irdelemek için kullanılır (Şekil 4.1).

Kuyruklanma miktarının katılım arkasındaki arteri etkileme olasılığını ortadan kaldırmak için algılayıcılardan gelen veri, doğrudan algoritmaya girdi olarak kullanılır.

4.2.1.4. Katılım Girişi Algılayıcıları

Katılım Girişi Algılayıcıları, eşgüdümlü, gerçek zamanlı ağ sistemlerinde kullanılan bir araçtır. Bu algılayıcılar denetim yapılacak yol ağındaki bütün katılımlarda kullanılır. Katılımda denetim olup olmaması önemli değildir (Şekil 4.1), (Jacobson ve diğ., 2006).

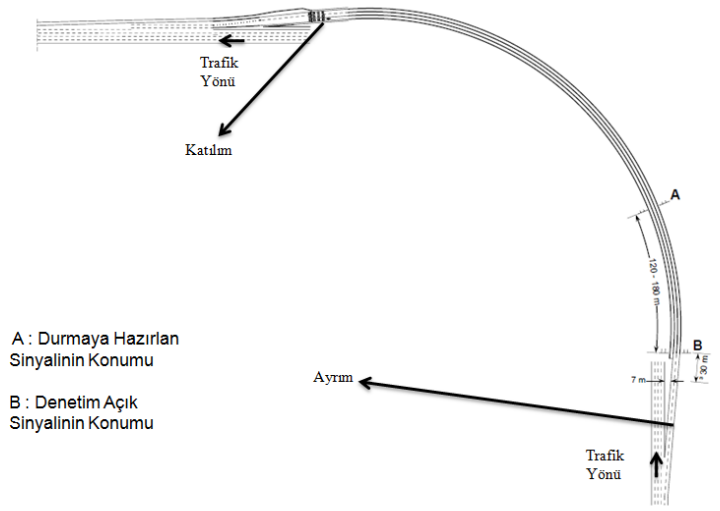
4.2.2. Denetleyiciler

Katılım denetimi izlemlerinin bir diğer önemli bileşeni algılayıcıların, sinyalizasyonun ve çözümleyicilerin bağlı olduğu *denetleyici*lerdir (kontrolör), (Şekil 4.1). Denetleyici, algılayıcılardan gelen verileri çözümler, algoritmalarla katılım denetim hacmini hesaplar ve buna göre sinyal sürelerini belirleyerek uygular.

Denetleyici yerleştirilmesinde, denetleyici kabininin taşıtların görüş mesafesini engellemeyecek şekilde, yoldan çıkan taşıtların zarar veremeyeceği şekilde ve bakım – onarım çalışmalarında erişimin kolay olacağı şekilde yerleştirilmesine dikkat edilmelidir (Jacobson ve diğ., 2006).

4.2.3. İleri Düzey Uyarım

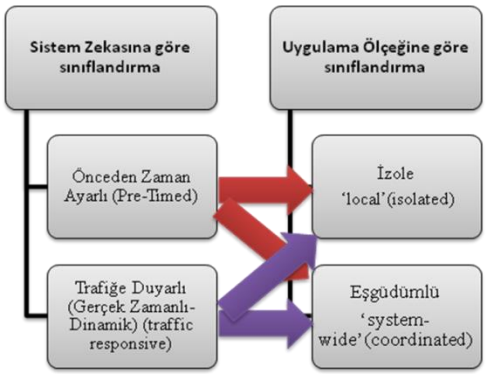
Katılım denetimi, trafiğe duyarlı olduğu durumlarda, tıkanıklığa göre; önceden zaman ayarlı olduğu durumlarda ise daha önce yapılmış gözlemlerden yola çıkarak belirlenen saatlerde işletime sokulur. Sistemlerin bu özelliği, sürücülerin denetim olup olmadığına ilişkin bir uyarı alması gerekliliği ortaya koyar. Uygulamalarda, 'Denetim Açık' (Meter On) ve 'Durmaya Hazırlan' (Prepare to Stop) sinyalleri olmak üzere iki tip uyarı uygulanmaktadır. Amerikan şartnamelerine göre, 'Denetim Açık' sinyali anakol ile ayrımın arasında 7 m olduğu noktadan, aşağı akıma doğru en az 30 m mesafede (katılım kolunun yukarı akımı) ya da durma çizgisinden 300 m yukarı akım yönünde konumlandırılır. 'Durmaya Hazırlan' sinyali ise 'Denetim Açık' sinyalinin aşağı akım yönünde 120 m ile 180 m arasında konumlandırılır (Şekil 4.2). İki tip sinyalde 300 mm mercekli ışıklı sinyaller kullanılmaktadır (Davis ve diğerleri, 2000).



Şekil 4.2 İleri Düzey Uyarım Sinyal Konumları

4.3. Katılım Denetimi Türleri

Katılım denetimi türleri sistem zekâsına göre ve uygulama ölçeğine göre olmak üzere iki ölçüte göre sınıflandırılabilir (Şekil 4.3). Sistem zekâsına göre sınıflandırma, sistemin verileri yorumlama zekâsına göre yapılır. Önceden Zaman Ayarlı katılım denetim yöntemlerinde, yapılan eski trafik sayımlarına göre çıkarımlar yapılarak denetim oranları belirlenir ve sinyal süreleri hesaplanarak uygulanır. Gerçek Zamanlı katılım denetimi yöntemlerinde ise o anda var olan trafik durumuna göre hesap yapılan zaman dilimi için katılım denetim oranları belirlenir ve sinyal süreleri hesaplanarak uygulanır. Bir diğer sınıflandırma şekli uygulama ölçeğine göredir. Katılımların tek başına denetlenmesi durumunda izole katılım denetimi, birden fazla katılımın aynı algoritmada değerlendirilerek, katılım denetim oranlarının belirlendiği sistem bazlı denetimlere de eşgüdümlü katılım denetimi denmektedir (Şekil 4.3).



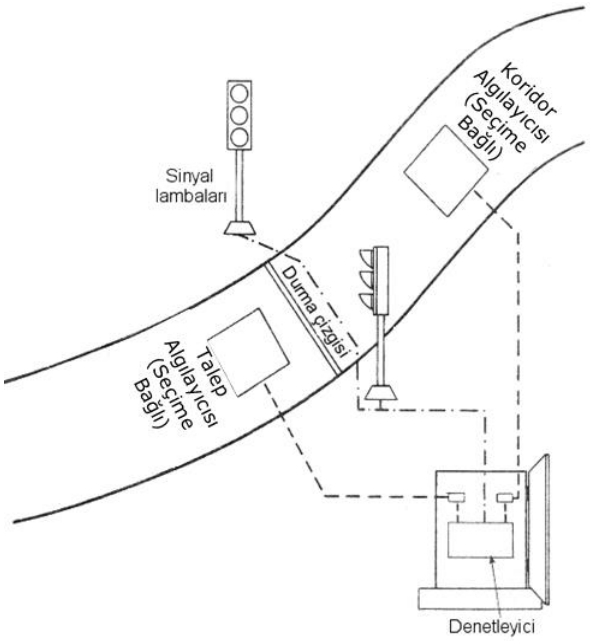
Şekil 4.3 Katılım Denetimi Türlerinin Sınıflandırılması

Bir katılım denetimi sisteminin türünü tanımlayabilmek için bu iki sınıflandırma kullanılır. Yani bir katılım denetimi, 'Önceden Zaman Ayarlı – İzole', 'Önceden Zaman Ayarlı – Eşgüdümlü', Trafiğe Duyarlı (Gerçek Zamanlı ya da Dinamik) – İzole' veya 'Trafiğe Duyarlı (Gerçek Zamanlı ya da Dinamik) – Eşgüdümlü' olabilir.

4.3.1. Önceden Zaman Ayarlı Denetim

Önceden Zaman Ayarlı – İzole katılım denetimlerinde kesimde algılayıcılara gerek yoktur fakat trafik talebindeki değişime (3 aylık – 6 aylık – 1 yıllık – 3 yıllık) göre sistemin sürekli güncelleme gereksinimi vardır. Olay yönetiminde etkin değildir. Tıkanıklık maliyetleri, trafiğe duyarlı sistemlere göre çok daha yüksektir. Önceden Zaman Ayarlı – Eşgüdümlü katılım denetimleri ağ ölçekli, seyrek kullanılan sistemlerdir ve literatürde çoğu kaynakta sınıflandırmanın içerisinde yer almamaktadır. İki yöntemde de (önceden zaman ayarlı izole ve eşgüdümlü) algılayıcı

kullanımı zorunlu değildir. İstenilen durumlarda sadece katılım üzerinde kullanılabilirler. Bu algılayıcılar katılımda taşıt bulunması halinde sinyalizasyonu etkin hale getirirler (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Önceden Zaman Ayarlı Denetim

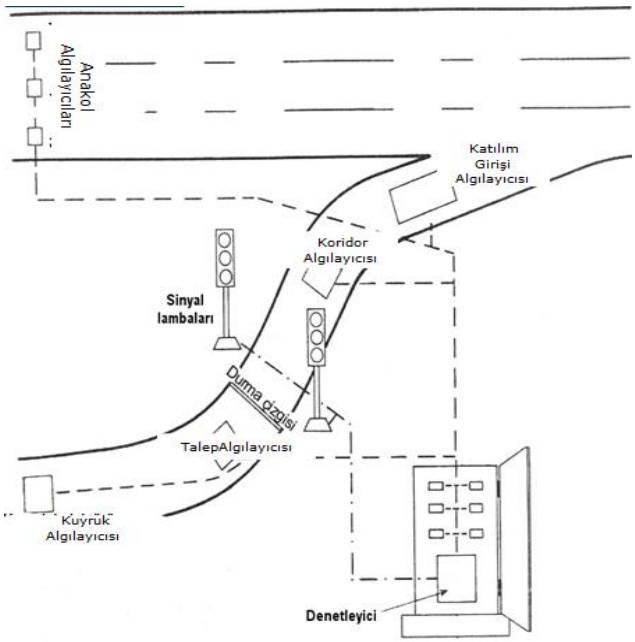
4.3.2. Gerçek Zamanlı (Dinamik) – İzole Denetim

Gerçek Zamanlı (Dinamik) - İzole katılım denetimlerinde kesimde algılayıcılara gereksinim vardır. Yapım ve bakım maliyetleri önceden zaman ayarlı sistemlere göre daha fazladır. Kesimdeki akım koşullarına duyarlı olduğundan tıkanıklık maliyeti bakımından önceden zaman ayarlı sistemlere göre çok daha fazla fayda sağlar. Anakol algılayıcıları ve diğer algılayıcılardan denetleyiciye gelen veriler, algoritmalara girdi olur ve değişken sinyal periyotları ile denetim sağlanmış olur (Şekil 4.5).

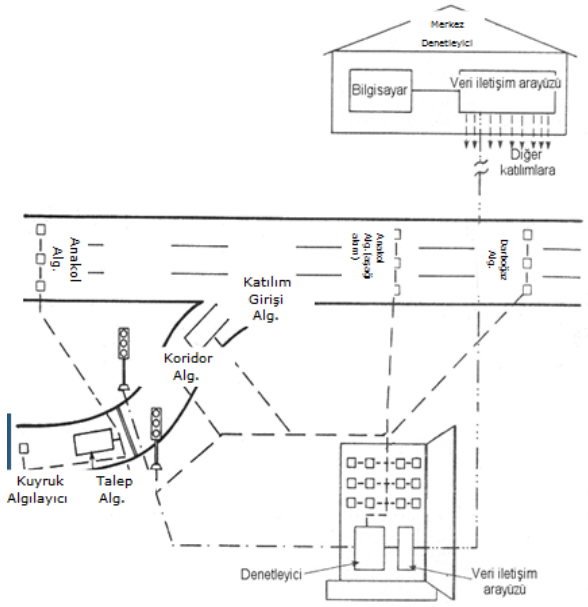
4.3.3. Gerçek Zamanlı (Dinamik) – Eşgüdümlü Denetim

Gerçek Zamanlı (Dinamik) - Eşgüdümlü katılım denetimleri günümüzde en çok kullanılan ve en etkin denetim türüdür. Algılayıcılara gereksinim vardır. Yapım maliyetleri ve bakım maliyetleri çok yüksek olmasına karşın, en çok faydayı sağlayan sistemdir. Her katılımın kendisine ait bir denetleyicisi bulunmaktadır ve bu denetleyiciler bir merkez denetleyicisine bağlıdırlar. Algılayıcılardan gelen veriler, denetleyicilerden merkezi denetleyicilere gönderilerek her katılım için periyodik katılım denetim oranları belirlenir ve sinyal süresine dönüştürülerek uygulanır. Yol

ağı boyunca algılayıcı sayısı ne kadar fazla olursa, tekrarlı olmayan tıkanıklık durumlarında sistemin verimli çalışması o kadar sağlanabilir. Bu nedenle katılım sonrası anakol üzerine aşağı akım algılayıcıları ve darboğaz algılayıcıları kullanılabilir (Şekil 4.6).



Şekil 4.5 Gerçek Zamanlı (Dinamik) - İzole Katılım Denetimi



Şekil 4.6 Gerçek Zamanlı (Dinamik) – Eşgüdümlü Katılım Denetimi

4.3.4. Denetim Türlerine Göre Sistemlerin Getiri ve Götürüleri

Çizelge 4–2'de denetim türlerine göre sistemlerin getiri ve götürüleri ifade edilmiştir. Denetim türü seçiminde söz konusu tıkanıklık sorunu nedeninin iyi irdelenmesi ve

buna göre tür seçimi yapılması gerekse de en önemli etken maliyettir. Kurulacak sistemin uygulama ölçeği büyüdükçe ve sistem zekâsı arttıkça maliyeti artmakta buna doğru orantılı olarak elde edilen fayda da artmaktadır.

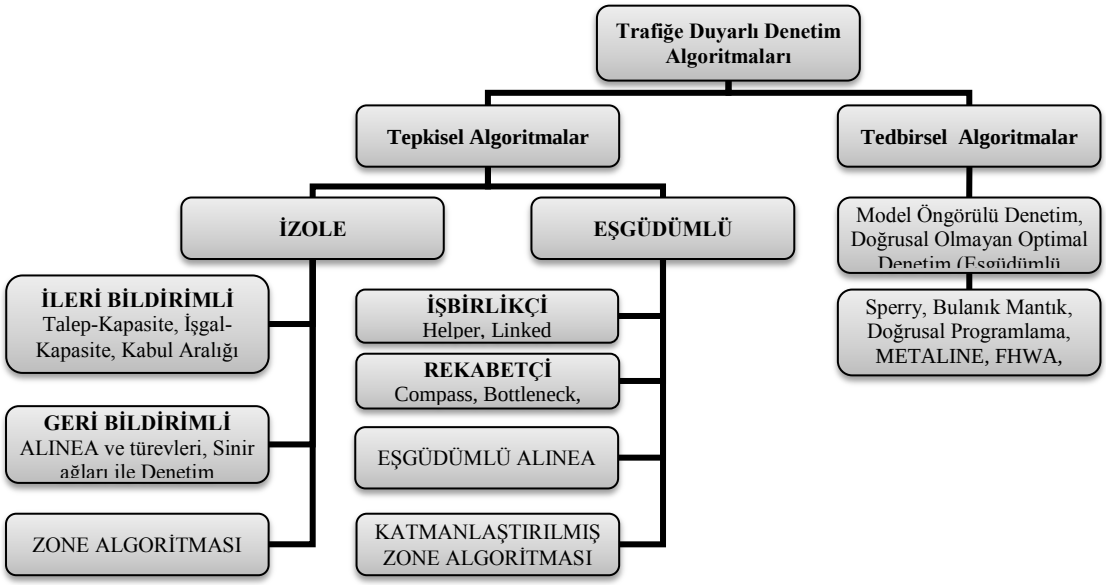
Çizelge 4.2 Denetim Türlerine Göre Sistemlerin Getiri ve Götürüleri

Denetim Türü	Getiriler	Götürüler
Önceden Zaman Ayarlı (İzole – Eşgüdümlü)	Anakol algılayıcılarına gerek yoktur. Trafik Yönetim Merkezleri ile iletişim kurmaya gerek yoktur. Diğer türlerle karşılaştırıldığında teçhizat kurulumu daha basittir. Anakola katılan taşıt guruplarını parçalara ayırarak güvenlik sağlar. Eğer tekrarlı tıkanıklık sürekli benzerlik gösteriyor ise etkili olur.	Denetim oranları, trafik şartlarına göre ayarlandığından sık sık gözleme gereksinim duyulur. Tekrarlı olmayan tıkanıklık gibi olağan dışı durumlara duyarlı değildir. Kuyruklanma ve gecikmelere neden olan fazla kısıtlayıcı denetim oranları görülür.
Gerçek Zamanlı Dinamik – İzole	Önceden zaman ayarlı türlere göre trafiği çok daha iyi yönetir. (özellikle tekrarlı olmayan tıkanıklık durumlarında) Tıkanıklık maliyeti, önceden zaman ayarlı türe göre daha azdır, dolayısıyla zaman ile kendi maliyetini karşılayabilir.	Önceden zaman ayarlı türlere göre yapım ve bakım maliyetleri fazladır. Kullanılan algılayıcılardan dolayı bakım artar. Tepkiseldir. Gelişmeler, sorun meydana gelmeden önce değil de, olaydan sonra yapılır. Otoyol komşu kesimi (kesim öncesi ve sonrası) dikkate almaz.
Gerçek Zamanlı Dinamik – Eşgüdümlü	Güzergah ya da koridorun gerçek zamanlı verilerine göre optimum denetim hacmi sağlanır. Bulanık mantık algoritması gibi algoritmalar ile çok amaçlı (tıkanıklık, kuyruklanma) çalışabilme durumları olağandır.	Anakol algılayıcılarına gereksinim vardır. (yukarı akım ve aşağı akımda) İletişim için merkezi bilgisayara gereksinim vardır. Sistemin kalibrasyonu ve gelişimi için teknik uzmanlığa gereksinim vardır. Trafiğe duyarlı izole türlere göre çok daha yüksek maliyetlidir.

4.4. Katılım Denetimi Algoritmaları

Katılım denetiminde, sinyal sürelerini belirleyen 'denetim oranları' algoritmalar tarafından hesaplanır. Algılayıcıların gözlemlediği veriler algoritmalara girdi olur ve denetim oranları hesaplanır. Denetim oranları da denetleyici tarafından sinyal süresine çevrilerek uygulamaya konur. Trafiğe duyarlı denetim algoritmalarının sınıflandırılması Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Literatürde birçok sınıflandırma çeşidi bulunmaktadır. Zhang ve diğerleri (2001), Şekil 4.7'dekine benzer bir sınıflandırma yaparken; Bogenberger ve May (1999), 'Uygulanmış Algoritmalar', 'Önerilen Algoritmalar' ve 'Gelişmekte Olan Algoritmalar' olmak üzere üç ayrı başlıkta sınıflandırmışlardır. Trafiğe duyarlı denetim algoritmaları Tepkisel ve Tedbirsel algoritmalar olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilir.

Tepkisel algoritmalar, trafik şartlarına bağlı olarak önceden belirlenmiş (hedeflenen) değerleri, gerçek zamanlı ölçümlerle sürdürmeyi amaçlar. Tedbirsel algoritmalar, uzun vadede tüm güzergahın talep ve model tahminlerine dayanarak optimum trafik şartlarını sürdürmeyi amaçlar. Her iki algoritma türü hiyerarşik bir yapı ile birleştirilebilir. Tepkisel algoritmalarda girdi olarak kullanılan hedeflenen değerler, tedbirsel algoritmalarda yol ağının optimum trafik şartlarında belirlediği değerler olabilir (Smaragdis ve Papageorgiu, 2003). Bu bölümde tepkisel algoritmalar ayrıntılı olarak anlatılmış, tedbirsel algoritmalarda ise sınıflandırılmış ve 4.4.3 bölümünde sadece uygulaması yapılan algoritmalarla ilgili kısa bilgiler verilmiştir.



Şekil 4.7 Trafiğe Duyarlı Denetim Algoritmaları

4.4.1. Tepkisel Algoritmalar

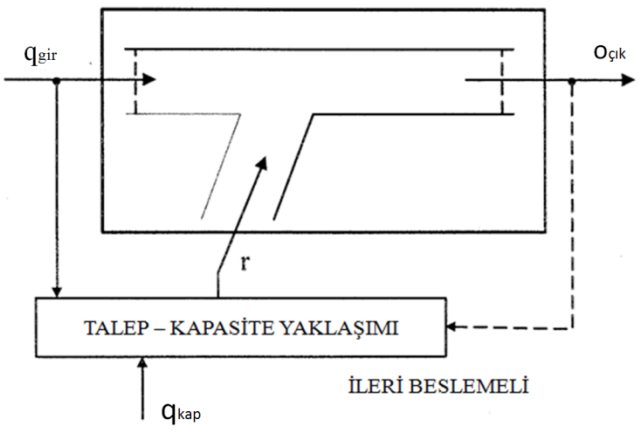
Tepkisel algoritmalar, izole ya da eşgüdümlü olabilirler. İzole algoritmalarda, denetim yapılan her katılım çevresinde yapılan ölçümlerle denetim hacimleri belirlenirken, eşgüdümlü algoritmalarda güzergâhın büyük bir bölümünde ölçümler yapılır. Papageorgiou, izole algoritmaların tasarım ve uygulamasının basit olması ile birlikte, tekrarlı tıkanıklık durumlarında eşgüdümlü yaklaşımlara yakın sonuçlar verdiğini ifade etmiştir (Papageorgiou ve diğ., 1997).

4.4.1.1. Tepkisel İzole Algoritmalar

En çok kullanılan tepkisel izole algoritmalar 'Talep – Kapasite' algoritması (Masher ve diğ., 1975), 'İşgal – Kapasite' algoritması (Masher ve diğ., 1975), 'ALINEA' algoritması (Papageorgiou ve diğ., 1991) ve Zone algoritmasıdır (Bogenberger ve May, 1999). 'Kabul Aralığı' yaklaşımı, 'Sinir Ağları ile Denetim' diğer bazı tepkisel izole yaklaşımlardır (Zhang ve diğ., 2001). Bu bölümde, Talep – Kapasite algoritması, ALINEA algoritması anlatılmıştır

Talep – Kapasite Algoritması

Uygulanma çeşidine göre, önceden yapılan gözlemlerle belirlenen 'yol kapasitesi' ve 'kritik işgal' değerlerine göre, (4.1) ile verilen algoritmaya girdi olan diğer değerlerin ölçülmesi sonucu denetim oranları belirlenir (Şekil 4.8) (Masher ve diğ., 1975). Kritik işgal o_{kr}, yol enbüyük akım hacminde okunan işgal değeridir.



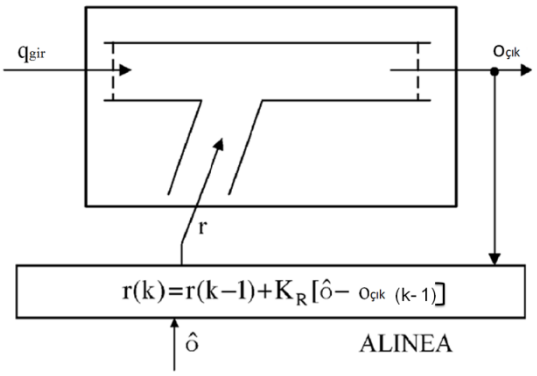
Şekil 4.8 Talep - Kapasite Algoritmasının İşleyişi

$$r(k)=\begin{cases} q_{kap} - q_{gir}(k-1), & \text{eğer } o_{çık} \le o_{kr} \text{ ;} \\ r_{min}, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad \textbf{(4.1)}$$

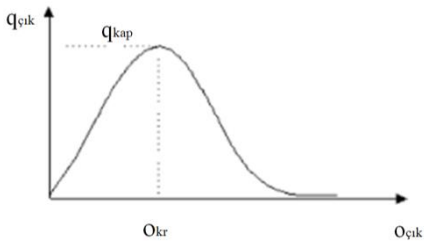
(4.1)'e göre; k, zaman sayacı; $o_{çık,}$ aşağı akım işgali; $o_{gir,}$ yukarı akım işgali; o_{kr}, kritik işgal; q_{kap}, yol kapasitesi; $q_{gir}(k)$: yukarı akım hacmi; r_{min}, en küçük denetim hacmi; r(k), denetim hacmi olarak tanımlanır.

ALINEA

ALINEA, başta Avrupa olmak üzere dünyada en yaygın kullanılan ve en başarılı olarak kabul edilen tepkisel izole denetim algoritmasıdır (Şekil 4.9). Önceki zaman aralığındaki denetim hacmini de algoritmanın içinde barındırdığı için geri beslemeli olarak isimlendirilir (Papageorgiou ve diğ., 1991). ALINEA ile denetim hacmi hesabı bağıntı (4.2)'de verilmiştir.



Şekil 4.9 ALINEA Algoritmasının İşleyişi



Şekil 4.10 Akım Hacmi İşgal Temel Eğrisi

$$r(k) = r(k-1) + K_R.[(\hat{o} - o_{çık}(k-1)] \quad \textbf{(4.2)}$$

(4.2)'ye göre; k, zaman sayacı (k = 1,2,…); r(k), katılımdaki akım (taşıt/saat), (denetim hacmi); r(k-1), bir önceki zaman aralığında katılımdaki akım (taşıt / saat),

(bir önceki zaman aralığındaki denetim hacmi); $o_{çık}(k-1)$, bir önceki zaman aralığındaki işgal (%) (bütün şeritlerdeki ortalama); K_R, düzenleyici katsayı ($K_R > 0$); ô, aşağı akımda arzu edilen işgal (%), olarak tanımlanır.

K_R düzenleyici katsayısı, uygulamalarda kullanılmış ve 70 taşıt/sa biriminin en uygun değer olduğu gözlemlenmiştir (Papageorgiou ve diğ., 1997). 'ô' hedeflenen işgal değeri, Şekil 4.9'da gösterilen temel diyagramda da belirtildiği gibi, 'q_{kap}' aşağı akımın kapasitesi kabul edildiğinde, 'o_{kr}' kritik işgal değeri kullanılabilir. Başka bir deyişle, uygulamalarda ô= o_{kr} 'dir.

Smaragdis ve Papageorgiou (2003), katılımlardaki kuyruklanmaları da denetim hacminin hesaplanmasına dâhil ederek algoritmayı daha kullanışlı hale getirmiştir. ALINEA' yı geliştirmek üzere yapılan çalışmalar devam etmektedir. AU-ALINEA, AD-ALINEA gibi türevleri ortaya çıkmıştır (Smaragdis ve diğ., 2004).

4.4.1.2. Tepkisel Eşgüdümlü Algoritmalar

İşbirlikçi algoritmalarda toplanan verilere göre denetim hacmi hesaplanır ve sistemin şartlarına göre ayarlanır (Zorer, 2003), Helper ve Linked algoritmaları işbirlikçi algoritmalar olarak sınıflandırılır.

Rekabetçi algoritmalar, izole ve eşgüdümlü ölçeklerde denetim hacimleri hesaplanır ve kısıtlayıcı olan kullanılır (Zorer, 2003). Compass algoritması, Bottleneck algoritması, SWARM algoritması ve FLOW algoritması rekabetçi algoritmalar olarak sınıflandırılır.

Eşgüdümlü ALINEA ve katmanlaştırılmış Zone algoritması da tepkisel eşgüdümlü yaklaşımlara örnektir. Bölüm 4.4.3'te bazı tepkisel eşgüdümlü yaklaşımların uygulama örneklerinden bahsedilmiştir.

4.4.2. Tedbirsel Algoritmalar

'Model Öngörülü Denetim Algoritması', 'Doğrusal Olmayan Optimal Denetim Algoritması', 'Sperry Algoritması', 'Bulanık Mantık Algoritması', 'Doğrusal Programlama Algoritması', 'METALINE', 'FHWA' ve 'ARMS' algoritmaları tedbirsel algoritmik yaklaşımlardır. Bunlardan ilk ikisi izole olarak da kullanılabilirler. Diğerleri eşgüdümlü yaklaşımlardır. Bölüm 4.4.3'te bazı tedbirsel izlemlerin uygulama örneklerinden bahsedilmiştir.

4.4.3. Algoritmaların Uygulama Örnekleri

Helper Algoritması, 1981' de Denver' da I-25 otoyolunda uygulanmıştır. Uygulama sonrası anakoldaki yolculuk hızı 90 km/sa'i aşmıştır. 1998'den beri yapılan yeniliklerle toplam 31 adet katılımda denetim uygulanmaktadır. Linked Algoritması uygulanmaya 1968 yılında San Diego'da başlamıştır. Daha sonra 200 mil otoyolda yaklaşık 240 katılımda denetim uygulanmaktadır.

Compass Algoritması ilk 1975 yılında Canada Toronto'da Queen Elizabeth Way'de uygulanmaya başlamıştır. Sistem bugünkü durumunda 19 km boyunca, 50 denetleyici ve 18 kamera barındırmaktadır. Yapılan çalışmalarda, denetim olan katılım sayısı 43'e çıkarılması ve 401 otoyoluna yeni bir sistem planlanmaktadır. Bottleneck Algoritması, Seattle I-5'te 6,9 millik test koridorunda 1981 yılında uygulanmaya başlamıştır. SWARM Algoritması, Orange Country'de 1996 yılından beri uygulanmakta ve geliştirilmektedir. 1200'ün üzerinde katılımda denetim yapılması planlanmaktadır. Katmanlaştırılmış Zone algoritması, 1970 yılında Minneapolis/St. Paul I-35 doğusunda kullanılmaya başlanmıştır. Sistem dönemsel olarak güncellenmiş ve 1974 yılında I-35 batı bölgesinde 39 katılım denetimi, 16 kapalı devre televizyon kamerası, 380 algılayıcı ve bilgisayar denetim sistemi ile gelişmiştir. Sonraki on yılda 300 adet denetim yapılan katılım eklenmiş, 1988'den 1995'e kadar neredeyse 400 adet katılımda denetim uygulanmıştır.

Sperry Algoritması, 1985 yılından beri I–395, I–66 Kuzey Virginia'da 26 katılım denetiminde uygulanmaktadır. Bulanık Mantık Algoritması, 1999 yılında Seattle' da ve 1989 yılında Zoometer Hollanda'da kullanılmaya başlanmıştır. Seattle I-405'te 15 katılımda kullanılan bu algoritma zamanla aynı güzergâh üzerindeki Bottleneck algoritması kullanılan algoritmaların da dönüştürülmesiyle toplam 55 adet olmuştur. Doğrusal Programlama algoritması, Japonya, Kobe, Hanshin Çevreyolunda, 1970 yılından beri uygulanmaktadır. Sistem 500 m'de bir bulunan algılayıcılarla desteklenmektedir.

Uygulamaların dışında, algoritmalar üzerinden uygulamaya yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar genellikle benzetim programları kullanarak, algoritma seçimine dayandırılır. Bir diğer çalışma türü algoritmaların birleştirilmesi veya daha verimli hale gelmesi için geliştirme çalışmalarıdır. Aşağıda seçilmiş bazı çalışmalarla ilgili anlatımlar yapılmıştır.

Zheng ve diğerleri (2009), çevreyollarına olan talebin otoyollardan daha fazla olması, çevreyollarında komşu katılımlar arasındaki mesafelerin otoyollardan daha az olması gibi nedenlerden dolayı Shanghai Şehir Çevreyolu'nda Wuyi katılımı için ALINEA' nın yetersiz olacağını ifade etmişlerdir. ALINEA, eşik denetimi ve kuyruk uzunluğu kısıtlayıcı modeli birleştirerek katılım denetimi uygulaması önermişlerdir. Eşik denetimi, denetimsiz, denetimli ve katılımı kapatma durumları arasında seçim yapmaya yarayan çizelgedir.

2000'li yıllarla birlikte, Minneapolis Twin Cities'te katılımlardaki kuyruk gecikmelerinin 20 dakikanın üzerine çıkması sonucu katılım denetimi sekiz hafta kadar kapatılmıştır. Bu deneyim katılım denetimi uygulamalarında 'verim' dışında 'eşitlik' ilkesinin önemini ortaya koymuştur. Zhang ve Levinson (2005), katılım denetiminin olumsuz özelliklerinden birisini 'eşitliğe negatif etkileri olması' olarak yorumlamışlardır. Yaptıkları çalışma, 'ağırlıklı yolculuk süresini' en küçükleyerek verim ve eşitliği dengelemeye çalışmaktadır. Bu yaklaşımı ispatlamak için, çeşitli eşitlik derecelerine bağlı olarak BEEX (Balance Efficency and Equity) isimli yeni bir denetim izlemi kullanılmıştır (Zhang ve Levinson, 2005).

Hernandez ve diğerleri (2005), WATSIM ile Salt Lake City' de yaptıkları çalışmada Denetimsiz durum ile İzole Denetim Algoritmalarını ve Bottleneck, Minnesota Zone, Helper algoritmalarını akşam zirve saat için mevcut trafik durumuna göre (1998) ve %20 fazlalaştırılmış haliyle kıyaslamışlardır. 10 millik kesime göre başarım değerlendirmesi yapıldığında toplam yolculuk süresinde %1 ile %2 arasında bir azalma kaydedilmiştir. Sadece tıkanıklık görülen kesim 15 dakikalık zaman aralıkları ile incelendiği zaman yolculuk sürelerindeki azalma %0 ile %30 arasındadır. Katılım başarım çözümlemesi yapıldığında en kısıtlayıcı algoritmanın Bottleneck algoritması olduğu görülmüştür. Bütün denetim yöntemleri katılımdaki gecikmeyi %30 ile %100 arasında arttırmıştır. Denetimsiz duruma göre izole denetim algoritmaları toplam yolculuk süresinde %1,21 azalma, Helper algoritması %1,90 azalma Minnesota Zone algoritması %1,49 azalma ve Bottleneck algoritması %1,73 azalma meydana getirmiştir. Trafiğin %20 artması durumunda azalmalar aynı sıra ile %1,92, %1,00, %0,74 ve %1,62'dir.

Chu ve diğerleri (2004), PARAMICS ile California I-405 yolunda önce, ALINEA, Bottleneck, Zone algoritmalarını değerlendirmiş ve ALINEA' nın tekrarlı ve tekrarlı olmayan tıkanıklık durumları için iyi performans gösterdiğini ifade etmiş, daha sonra

da Bottleneck ve Zone algoritmalarını ALINEA kullanarak revize etmiş ve revize edilen algoritmaların ALINEA' dan daha verimli gözlemlediklerini ifade etmiştir.

Yasar ve diğerleri (2006), C – Mixcros ve D – Mixcros isimli iki yeni geri besleme tabanlı eşgüdümlü katılım denetimi stratejisini, farklı talep koşullarına göre kaba boyut ve ince boyut benzetim ortamlarında değerlendirerek, katılım kuyruklarını da hesaba katarak önermiştir. Önerilen eşgüdümlü katılım denetimi, eşgüdümlü METALINE ve yerel üç diğer strateji – ALINEA, newcontrol ve MIXCROS aynı yol ağına uygulamaları karşılaştırılmıştır. İnce boyut ve kaba boyut her iki yaklaşımda da C – Mixcros ve D – Mixcros bütün talep senaryolarında diğerlerine üstünlük sağlamıştır. Toplam yolculuk süresinde METALINE, C – MIXCROS'a göre %22 daha büyük değer vermiştir. Mixcros'ta katılımdaki kuyrukların da her katılım için makul seviyede kalması başarılı olmuştur. Mixcros'un eşgüdümlü sürümlerinin yol ağı düzeyinde daha verimli sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Katılım denetimi konusu üzerine Türkiye'de iki yüksek lisans tezi yapılmıştır. Bunlardan ilki Balta (2002) 'Otoyol Girişi Denetimi' isimli tez, diğeri ise Zorer (2003) 'Katılım Kontrolü Similasyonu: Boğaziçi Köprüsü ve Çevre Yolunda Bir Uygulama' isimli tezdir.

Balta (2002), köprü katılımlarında yalnızca Beylerbeyi katılımında 'Talep – Kapasite' algoritması ile denetim uygulanması senaryosunu incelemiştir. Beylerbeyi katılımında denetim uygulanması halinde beklenen kapasite 8200 taşıt/sa ve kullanım artışı %3 olarak hesaplamıştır. Balta (2002) ayrıca tezin sonuç ve öneriler bölümünde gişeler bölgesindeki dördüncü şerit kapasitesinin daha verimli kullanılması gerektiğini; katılımlardaki kuyruklanmalara dikkat edilmesi gerektiğini; sadece bir katılıma değil, çoğu katılıma denetim uygulanması gerektiğini, ayrıca avrupa yakası Beşiktaş katılımı için hem katılım denetimi hem de kanallama yöntemlerinin kullanabileceğini ifade etmiştir.

Zorer (2003), Boğaziçi Köprüsü çevre yolu katılımlardan üçüne (Kısıklı, Altunizade ve E80) denetim uygulamış, Beylerbeyi'ne herhangi bir denetim uygulamamıştır (Denetim uygulanmamasının nedenleri, Beylerbeyi katılımından sonra ek şeridin açılması; Beylerbeyi'nde uygulanan denetimin köprüden çıkan taşıt sayısını düşürdüğünün görülmesi olarak sıralanmıştır). Kalibrasyon işleminden sonra benzetim programı çalıştırılıp anakola girebilen ve anayoldan çıkan taşıt sayıları

‘Denetimsiz durum’, ‘Talep – Kapasite’ algoritması ve ‘ALINEA’ algoritmasına göre hesaplanmıştır. ‘Talep – Kapasite’ algoritması ve ‘ALINEA’ algoritması benzer sonuçlar verirken, denetimsiz duruma göre üstünlük sağlanmıştır. Anakol üzerindeki algılayıcı verileri değerlendirilerek de ALINEA algoritmasının diğer yöntemlere üstünlük sağladığı söylenebilir. Talep – Kapasite yaklaşımı da Denetimsiz duruma göre üstünlük sağlamıştır. Zorer (2003) ayrıca çalışma alanını kesimlere ayırıp, her yöntem için hız ve yoğunluk değerlerini irdelemiştir. Bu iki karşılaştırmada da en iyi sonucu ALINEA algoritması, bir sonrakini ‘Talep – Kapasite’ algoritması, sonuncuyu ise denetimsiz durum vermiştir. Kuyruklanma karşılaştırmasına göre ALINEA katılım kolları üzerindeki kuyruklanmayı arttırmış, Talep – Kapasite ise çok daha olumlu sonuçlar vermiştir. Ortalama yolculuk süreleri karşılaştırıldığında denetimli sistemler denetimsize göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Talep – Kapasite yolculuk süreleri toplamında %7,48 azalma, ortalama hızlarda %10,12 artış; ALINEA aynı değerlerde %10,85 azalma, %14,86 artış meydana getirmiştir.

5. SAYISAL UYGULAMA

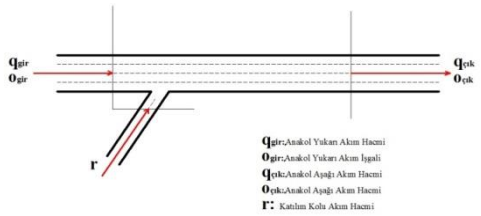
Dört şeritli anakol ve iki şeritli katılımdan oluşan bir yol kesimine, 00:59 – 23:59 saatleri arasındaki zaman süreci boyunca dört farklı talep senaryosu uygulanmıştır. Yol kesiminin, aşağı akım hacimleri ($q_{çık}$), aşağı akımda oluşan kuyruklanma ve katılımda oluşan kuyruklanma; denetimsiz durum, Talep – Kapasite yaklaşımı ve ALINEA algoritması kullanılarak dört senaryoda başarım çözümlemesi yapılıp, tam günlük süreçte karşılaştırılmıştır.

5.1.Yapılan Varsayımlar

Uygulamadaki senaryolardan ilk üç tanesi kuramsal yüklemelere göre, dördüncü ise İstanbul 2 numaralı RTMS'den elde edilen verilere göre oluşturulmuştur. Uygulamadaki yol kesimi ve akım özelliklerine, kullanılan senaryolara, algoritma uygulamalarına ve çıkan akım hacmine yönelik bazı varsayımlar yapılmıştır.

5.1.1. Yol Kesimi ve Akım Özelliklerine İlişkin Yapılan Varsayımlar

Yol geometrisi dört şeritli ana akım kolu ve iki şeritli katılım olarak kabul edilmiş olup (Şekil 5.1), uygulamada, anakol kapasitesinin, q_{kap} = 6888 taşıt/sa; katılım kolu kapasitesi, r_{kap} = 2964 taşıt/sa; olduğu varsayılmıştır. Kullanılan senaryolarda anakol yukarı akım hacmi değerleri gözlem kesitiyle, aşağı akım hacmi değerleri gözlem noktası arasındaki mesafe ve yolculuk süresi dikkate alınmamıştır. Gözlem kesimine, senaryolarda olduğu gibi tam günlük süreç boyunca devamlı yükleme yapılmıştır. Gözlemlerde akım korunumu ilkesi gözetilmiştir.



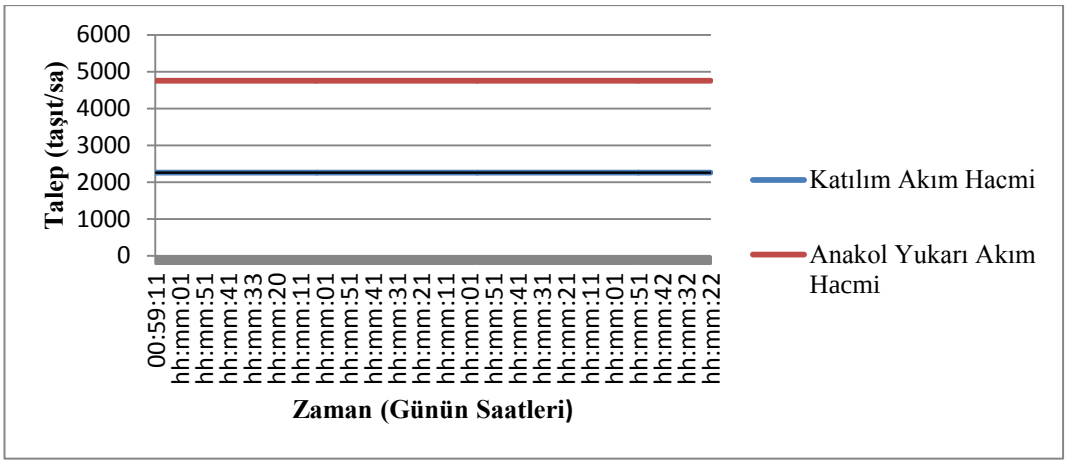
Şekil 5.1 Yol Kesimi

5.1.2. Senaryolara İlişkin Yapılan Varsayımlar

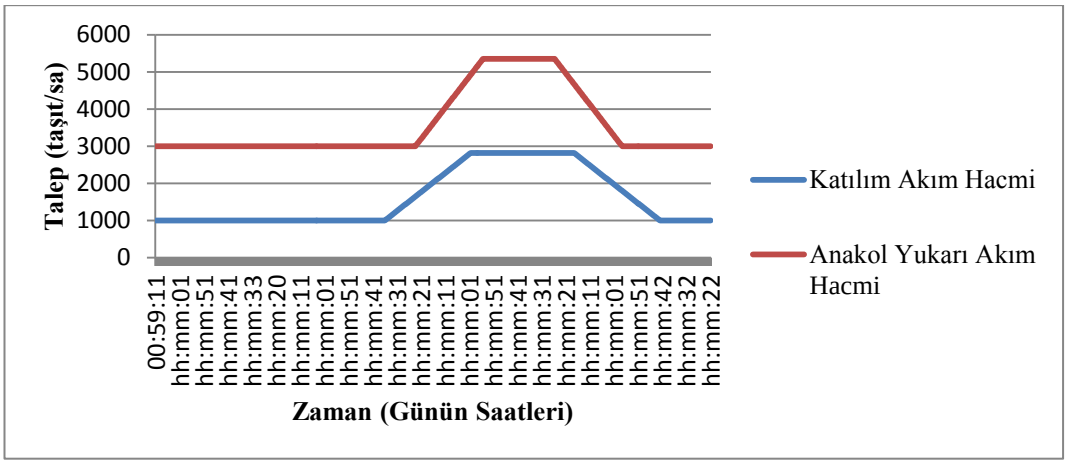
Aynı yol geometrisinde kullanılan farklı veri kümeleri 'Senaryo – 1, 2, 3, 4' olarak isimlendirilmiş ve değerleri belirli fonksiyonlara bağlı olarak atanmıştır. Senaryo – 1'de akım anakolu ve katılım kolu sabit fonksiyonları ifade etmektedir (Şekil 5.2). Senaryo – 2'de her iki yüklemede parçalı değişken fonksiyonlar kullanılmıştır (Şekil 5.3). Senaryo – 3'de veri kümeleri sinüs fonksiyonuna benzer fonksiyonlar olarak seçilmiştir ve değerleri rastgele atanmıştır (Şekil 5.4). Senaryo – 4'de veri kümleri İstanbul 2 numaralı RTMS'den elde edilmiştir (Şekil 5.5). Senaryo 1 ve Senaryo 2'de kullanılan fonksiyonlar ile Senaryo 3'de kullanılan fonksiyonların sınır değerleri Çizelge - 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Düzenli Fonksiyon Söz Konusu Olan Senaryolarda Kullanılan Talep Değerleri

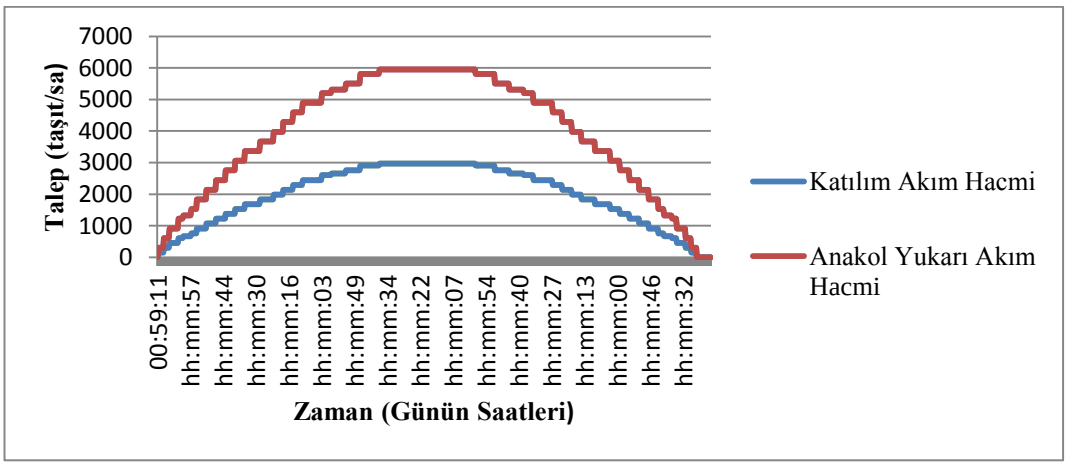
<table>
<tr><th colspan="10">Kullanılan Talep Fonksiyonları ve Sınır Değerler (taşıt/sa)</th></tr>
<tr><td colspan="5">Anakol</td><td colspan="5">Katılım</td></tr>
<tr><td colspan="5">Senaryo 1 - Sabit Fonksiyon</td><td colspan="5">Senaryo 1 - Sabit Fonksiyon</td></tr>
<tr><td colspan="5">y = 4755</td><td colspan="5">y = 2257</td></tr>
<tr><td colspan="5">Senaryo 2 - Parçalı Değişken Fonksiyon</td><td colspan="5">Senaryo 2 - Parçalı Değişken Fonksiyon</td></tr>
<tr><td>Sabit Fonksiyon</td><td>Artan Fonksiyon</td><td>Sabit Fonksiyon</td><td>Azalan Fonksiyon</td><td>Sabit Fonksiyon</td><td>Sabit Fonksiyon</td><td>Artan Fonksiyon</td><td>Sabit Fonksiyon</td><td>Azalan Fonksiyon</td><td>Sabit Fonksiyon</td></tr>
<tr><td>y = 3000</td><td>y = 13,982x-6088</td><td>y = 5349</td><td>y = 8,73x-4824</td><td>y = 3000</td><td>y = 1000</td><td>y = 8,50x-3884</td><td>y = 2821</td><td>y = 5,98x-8530</td><td>y = 1000</td></tr>
<tr><td colspan="5">Senaryo 3 -Sinüs Eğrisi Biçiminde Fonksiyon</td><td colspan="5">Senaryo 3 -Sinüs Eğrisi Biçiminde Fonksiyon</td></tr>
<tr><td colspan="2">Başlangıç – Bitiş Değerleri</td><td colspan="3">Tepe Noktası Değerleri</td><td colspan="2">Başlangıç – Bitiş Değerleri</td><td colspan="3">Tepe Noktası Değerleri</td></tr>
<tr><td colspan="2">0</td><td colspan="3">5950</td><td colspan="2">0</td><td colspan="3">2975</td></tr>
</table>



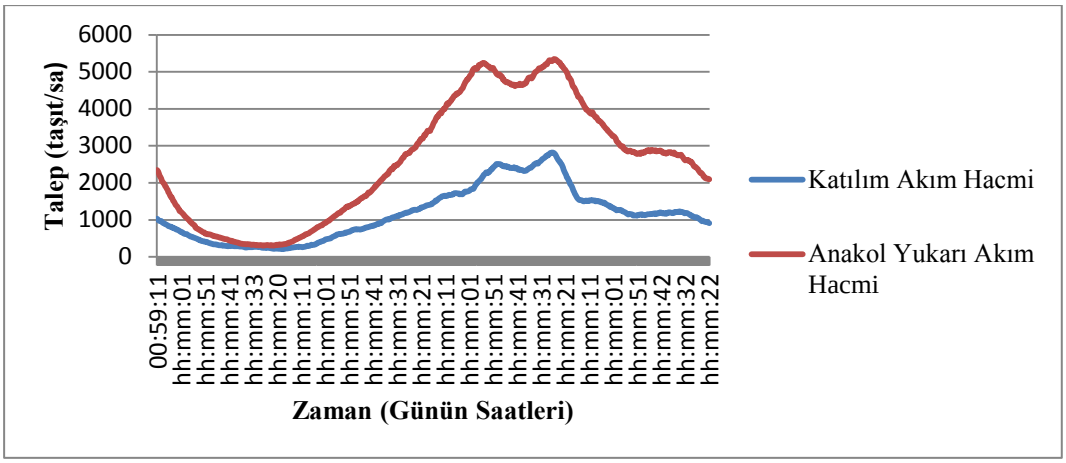
Şekil 5.2 Senaryo 1



Şekil 5.3 Senaryo 2



Şekil 5.4 Senaryo 3

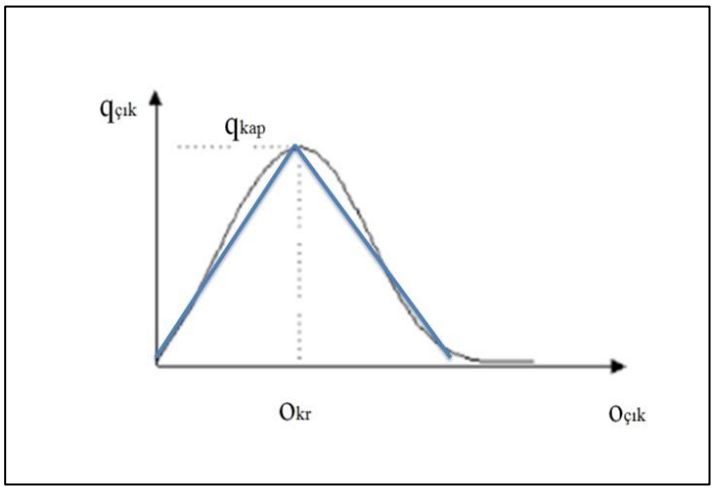


Şekil 5.5 Senaryo 4

5.1.3. Algoritma Uygulamalarında Yapılan Varsayımlar ve Hesap Adımları

Uygulamada başarım sınamaları, denetimsiz durum, Talep – Kapasite yöntemi ve ALINEA algoritmalarında hesaplanan çıktılarla yapılmıştır. Her bir hesap yönteminde aşağı akım hacmi ($q_{çık}$) değerleriyle aşağı akım işgal ($o_{çık}$) değerleri arasında Şekil 5.6'daki gibi doğrusal bir bağıntı olduğu varsayılmış ve hesaplamalar bağıntı (5.1) üzerinden yapılmıştır.

$$q_{çık} = \begin{cases} (q_{kap}/o_{kr}) \cdot o_{çık}\,, & \text{eğer,} \quad o_{çık} \leq o_{kr}\,; \\ q_{kap}\,, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \qquad \textbf{(5.1)}$$



Şekil 5.6 Temel Diyagramla İlgili Yapılan Varsayım

Katılımdaki kuyruklanmanın, (r_k) ve aşağı akımda kuyruklanmanın, (q_k) 'taşıt/sa' cinsinden ifade edilmiş *eklenik* değerleri' de, çıktı olarak başarım çözümlemelerinde karşılaştırılmıştır. Denetimsiz durumda r_k, katılıma olan talebin, katılım kapasitesinden büyük olması durumunda oluşur ve bağıntı (5.2) ile hesaplanmıştır. Ayrıca hesaplamalarda $r_k(0)$ değeri için (5.3) bağıntısı şart koşulmuştur. Bağıntılarda k, zaman sayacıdır.

$$r_k(k) = \begin{cases} [r_{gir}(k) - r_{kap}] + r_k(k-1); & \text{eğer, } r_k(k-1) \geq 0 \\ 0; & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad \textbf{(5.2)}$$

$$r_k(0) = \begin{cases} 0; & \text{eğer, } r_{gir}(0) < r_{kap} \\ r_{gir}(k) - r_{kap}; & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad \textbf{(5.3)}$$

Denetimsiz durumda, anakol yukarı akım hacmi, (q_{gir}) ve katılım kolu akım hacmi, (r_{gir}) değerleri toplanarak toplam talep değerleri, q_t, (bağıntı 5.4)hesaplanmıştır. Bağıntı (5.5) ve (5.6) koşulları bağıntı (5.4)'de yerine koyularak bağıntı (5.7) elde edilmiş ve q_t değerinin sınır koşulu belirlenmiştir.

$$q_t = q_{gir} + r_{gir} \quad \textbf{(5.4)}$$

$$q_{gir} \leq q_{kap} \quad \textbf{(5.5)}$$

$$r_{gir} \leq r_{kap} \quad \textbf{(5.6)}$$

$$q_t \leq q_{kap} + r_{kap} \quad \textbf{(5.7)}$$

Aşağı akımda kuyruklanmanın, (q_k) 'taşıt/sa' cinsinden ifade edilmiş '*eklenik* değerleri', q_t değerinin q_{kap} değerinden büyük olması durumunda oluşur ve bağıntı (5.8) ile hesaplanmıştır. Ayrıca hesaplamalarda $q_k(0)$ değeri için (5.9) bağıntısı şart koşulmuştur. Bağıntılarda k, zaman sayacıdır.

$$q_k(k) = \begin{cases} [q_t(k) - q_{kap}] + q_k(k-1); & \text{eğer, } q_k(k-1) \geq 0 \\ 0; & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad \textbf{(5.8)}$$

$$q_k(0) = \begin{cases} 0; & \text{eğer, } q_k(0) < q_{kap}(0) \\ q_t(k) - q_{kap}; & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad \textbf{(5.9)}$$

Talep – Kapasite yönteminde denetim hacmi belirlenen bağıntının (4.1) hesap adımları Çizelgeler 5-2, 5-3, 5-4, 5-5, 5-6, 5-7'de gösterilmiştir. Papageorgiou ve diğ., 2008, Smaragdis ve diğ., 2004 gibi bir çok çalışmada, algoritma uygulamalarında r_{min} değeri tek şeritli katılım için 400 taşıt/sa kabul edildiğinden, uygulamadaki çift şeritli katılım için r_{min} = 800 taşıt/sa değeri seçilmiştir. İlgili algılayıcıdan elde edilen verilerde r_{kap} = 2964 taşıt/sa olarak gözlemlenmiştir.

Çizelge 5-2'de çizelgeye senaryolardaki anakol akım hacmi değerleri (q_{gir}), katılım kolu akım hacmi değerleri (r_{gir}) ve anakol kapasite değeri (q_{kap}) yerleştirilmiştir. Anakol kapasite değeri ilgili algılayıcıdan elde edilen verilerde q_{kap}= 6888 taşıt/sa olarak gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.2 Talep - Kapasite Yöntemi Hesap Adımları 1

Zaman (Günün Saatleri	r(k)	qkap-qgir(k-1)	qkap	qgir(k-1)	qgir	r(k)2	rgir	rson	AraSütun	rk	qt	oçık	AraSütu	AraSütu	qçık	Arasütun	qk
00:59:11			6888		2345		1032										
01:01:10			6888		2314		1011										
01:03:10			6888		2267		979										
01:05:10			6888		2195		975										
01:07:09			6888		2164		967										
01:09:09			6888		2113		968										
01:11:08			6888		2051		946										
01:13:08			6888		2022		924										
01:15:08			6888		1991		913										
01:17:07			6888		1967		904										
01:19:07			6888		1917		890										
01:21:07			6888		1892		876										
01:23:07			6888		1843		866										
01:25:07			6888		1807		851										
01:27:07			6888		1752		834										
01:29:06			6888		1712		826										
01:31:06			6888		1670		826										
01:33:05			6888		1623		816										
01:35:05			6888		1619		799										
01:37:05			6888		1572		796										
01:39:04			6888		1519		782										
01:41:04			6888		1491		778										
01:43:04			6888		1454		769										
01:45:03			6888		1406		759										
01:47:03			6888		1386		743										
01:49:03			6888		1365		740										
01:51:02			6888		1329		729										
01:53:03			6888		1293		714										
01:55:01			6888		1244		700										
01:57:01			6888		1233		682										
01:59:01			6888		1216		677										
02:01:00			6888		1192		665										

Çizelge 5-3'te, (4.1) bağıntısının '$o_{çık}(k) \leq o_{kr}$' koşulu tüm zaman dilimlerinde geçerliymiş gibi kabul edilerek $q_{gir}(k-1)$ değerleri yerleştirilmiş ve 'q_{kap}- $q_{gir}(k-1)$' sütunundan her zaman dilimi için denetim hacmi, r(k), değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3 Talep - Kapasite Yöntemi Hesap Adımları 2

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	qkap-qgir(k-1)	qkap	qgir(k-1)	qgir	r(k)2	rgir	rson	AraSütun	rk	qt	oçık	AraSütu	AraSütu	ççık	Arasütun	qk
00:59:11	6888	6888	6888	0	2345		1032										
01:01:10	4543	4543	6888	2345	2314		1011										
01:03:10	4574	4574	6888	2314	2267		979										
01:05:10	4621	4621	6888	2267	2195		975										
01:07:09	4693	4693	6888	2195	2164		967										
01:09:09	4724	4724	6888	2164	2113		968										
01:11:08	4775	4775	6888	2113	2051		946										
01:13:08	4837	4837	6888	2051	2022		924										
01:15:08	4866	4866	6888	2022	1991		913										
01:17:07	4897	4897	6888	1991	1967		904										
01:19:07	4921	4921	6888	1967	1917		890										
01:21:07	4971	4971	6888	1917	1892		876										
01:23:07	4996	4996	6888	1892	1843		866										
01:25:07	5045	5045	6888	1843	1807		851										
01:27:07	5081	5081	6888	1807	1752		834										
01:29:06	5136	5136	6888	1752	1712		826										
01:31:06	5176	5176	6888	1712	1670		826										
01:33:05	5218	5218	6888	1670	1623		816										
01:35:05	5265	5265	6888	1623	1619		799										
01:37:05	5269	5269	6888	1619	1572		796										
01:39:04	5316	5316	6888	1572	1519		782										
01:41:04	5369	5369	6888	1519	1491		778										
01:43:04	5397	5397	6888	1491	1454		769										
01:45:03	5434	5434	6888	1454	1406		759										
01:47:03	5482	5482	6888	1406	1386		743										
01:49:03	5502	5502	6888	1386	1365		740										
01:51:02	5523	5523	6888	1365	1329		729										
01:53:03	5559	5559	6888	1329	1293		714										
01:55:01	5595	5595	6888	1293	1244		700										
01:57:01	5644	5644	6888	1244	1233		682										
01:59:01	5655	5655	6888	1233	1216		677										
02:01:00	5672	5672	6888	1216	1192		665										

Çizelge 5-3'te hesaplanan r(k) değerinin, r_{min} ve r_{kap} sınır koşulları, çizelge 5-4'de r(k)2 sütununda konmuştur. Bu koşullara göre 2964 taşıt/sa'ten fazla olan değerler 2964 taşıt/sa'e, 800 taşıt/sa'ten az olan değerler 800 taşıt/sa'e çekilmiştir. Katılım koluna olan talebi 'r_{gir}', denetim mekanizmasının belirlediği hacmi 'r(k)2' ifade ettiğinden, 'r_{son}' sütununda 'r(k)2' ve 'r_{gir}' değerlerinden küçük olan seçilerek, anakola katılan taşıtların akım hacmi belirlenmiştir.

Çizelge 5.4 Talep - Kapasite Yöntemi Hesap Adımları 3

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	qkap-qgir(k-1)	qkap	qgir(k-1)	qgir	r(k)2	rgir	rson	AraSütun	rk	qt	oçık	AraSütun	AraSütun	ççık	Arasütun	qk
00:59:11	6888	6888	6888	0	2345	2964	1032	1032									
01:01:10	4543	4543	6888	2345	2314	2964	1011	1011									
01:03:10	4574	4574	6888	2314	2267	2964	979	979									
01:05:10	4621	4621	6888	2267	2195	2964	975	975									
01:07:09	4693	4693	6888	2195	2164	2964	967	967									
01:09:09	4724	4724	6888	2164	2113	2964	968	968									
01:11:08	4775	4775	6888	2113	2051	2964	946	946									
01:13:08	4837	4837	6888	2051	2022	2964	924	924									
01:15:08	4866	4866	6888	2022	1991	2964	913	913									
01:17:07	4897	4897	6888	1991	1967	2964	904	904									
01:19:07	4921	4921	6888	1967	1917	2964	890	890									
01:21:07	4971	4971	6888	1917	1892	2964	876	876									
01:23:07	4996	4996	6888	1892	1843	2964	866	866									
01:25:07	5045	5045	6888	1843	1807	2964	851	851									
01:27:07	5081	5081	6888	1807	1752	2964	834	834									
01:29:06	5136	5136	6888	1752	1712	2964	826	826									
01:31:06	5176	5176	6888	1712	1670	2964	826	826									
01:33:05	5218	5218	6888	1670	1623	2964	816	816									
01:35:05	5265	5265	6888	1623	1619	2964	799	799									
01:37:05	5269	5269	6888	1619	1572	2964	796	796									
01:39:04	5316	5316	6888	1572	1519	2964	782	782									
01:41:04	5369	5369	6888	1519	1491	2964	778	778									
01:43:04	5397	5397	6888	1491	1454	2964	769	769									
01:45:03	5434	5434	6888	1454	1406	2964	759	759									
01:47:03	5482	5482	6888	1406	1386	2964	743	743									
01:49:03	5502	5502	6888	1386	1365	2964	740	740									
01:51:02	5523	5523	6888	1365	1329	2964	729	729									
01:53:03	5559	5559	6888	1329	1293	2964	714	714									
01:55:01	5595	5595	6888	1293	1244	2964	700	700									
01:57:01	5644	5644	6888	1244	1233	2964	682	682									
01:59:01	5655	5655	6888	1233	1216	2964	677	677									
02:01:00	5672	5672	6888	1216	1192	2964	665	665									

Çizelge 5-5'deki 'Ara sütun'da '$r_{gir} - r_{son}$' bağıntısıyla hesaplanan fazlalık taşıt sayısı, her bir zaman diliminde hesaplanarak daha sonraki zaman dilimlerinde r_{son} değerine eklenmiştir. Böylelikle, r_{son} değeri kalibre edilerek gerçek değerlere ulaşılmıştır. Çizelge 5-5'deki 'r_k' sütunundaki değerler katılımda kuyruklanan taşıt sayısını ifade etmektedir. Talep – Kapasite yönteminde r_k, katılıma olan talebin, denetim hacmi hesaplanması ile belirlenen r_{son} değerinden büyük olması durumunda

oluşur ve bağıntı (5.10) ile hesaplanmıştır. Ayrıca hesaplamalarda $r_k(0)$ değeri için (5.11) bağıntısı şart koşulmuştur. Bağıntılarda k, zaman sayacıdır.

$$r_k(k) = \begin{cases} [r_{gir}(k) - r_{son}] + r_k(k-1); \text{ eğer, } r_k(k-1) \geq 0 \\ 0; \qquad \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad \textbf{(5.10)}$$

$$r_k(0) = \begin{cases} 0; \qquad \text{eğer, } r_{gir}(0) < r_{son} \\ r_{gir}(k) - r_{son} \qquad \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad \textbf{(5.11)}$$

Çizelge 5-5'deki senaryoya göre katılımdaki kuyruklanma saat 14.10'da başlamış ve 18.08'e kadar devam etmiştir. Saat 18.08'den 21.09'a kadar taşıtlar salınmış ve 21.09'dan sonra katılımda hiçbir kuyruklanma gözlemlenmemiştir.

Çizelge 5.5 Talep - Kapasite Yöntemi Hesap Adımları 4

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	qkap-qgir(k-1)	qkap	qgir(k-1)	qgir	r(k)2	rgir	rson	AraSütun	rk	qt	oçık	AraSütun	AraSütun	qçık	Arasütun	qk
00:59:11	6888	6888	6888	0	2345	2964	1032	1032	0	0							
01:01:10	4543	4543	6888	2345	2314	2964	1011	1011	0	0							
01:03:10	4574	4574	6888	2314	2267	2964	979	979	0	0							
01:05:10	4621	4621	6888	2267	2195	2964	975	975	0	0							
01:07:09	4693	4693	6888	2195	2164	2964	967	967	0	0							
01:09:09	4724	4724	6888	2164	2113	2964	968	968	0	0							
01:11:08	4775	4775	6888	2113	2051	2964	946	946	0	0							
01:13:08	4837	4837	6888	2051	2022	2964	924	924	0	0							
01:15:08	4866	4866	6888	2022	1991	2964	913	913	0	0							
01:17:07	4897	4897	6888	1991	1967	2964	904	904	0	0							
01:19:07	4921	4921	6888	1967	1917	2964	890	890	0	0							
01:21:07	4971	4971	6888	1917	1892	2964	876	876	0	0							
01:23:07	4996	4996	6888	1892	1843	2964	866	866	0	0							
01:25:07	5045	5045	6888	1843	1807	2964	851	851	0	0							
01:27:07	5081	5081	6888	1807	1752	2964	834	834	0	0							
01:29:06	5136	5136	6888	1752	1712	2964	826	826	0	0							
01:31:06	5176	5176	6888	1712	1670	2964	826	826	0	0							
01:33:05	5218	5218	6888	1670	1623	2964	816	816	0	0							
01:35:05	5265	5265	6888	1623	1619	2964	799	799	0	0							
01:37:05	5269	5269	6888	1619	1572	2964	796	796	0	0							
01:39:04	5316	5316	6888	1572	1519	2964	782	782	0	0							
01:41:04	5369	5369	6888	1519	1491	2964	778	778	0	0							
01:43:04	5397	5397	6888	1491	1454	2964	769	769	0	0							
01:45:03	5434	5434	6888	1454	1406	2964	759	759	0	0							
01:47:03	5482	5482	6888	1406	1386	2964	743	743	0	0							
01:49:03	5502	5502	6888	1386	1365	2964	740	740	0	0							
01:51:02	5523	5523	6888	1365	1329	2964	729	729	0	0							
01:53:03	5559	5559	6888	1329	1293	2964	714	714	0	0							
01:55:01	5595	5595	6888	1293	1244	2964	700	700	0	0							
01:57:01	5644	5644	6888	1244	1233	2964	682	682	0	0							
01:59:01	5655	5655	6888	1233	1216	2964	677	677	0	0							
02:01:00	5672	5672	6888	1216	1192	2964	665	665	0	0							

Çizelge 5-6'da 'q_{gir}' ve 'r_{son}' değerleri toplanarak 'q_t' değerleri elde edilmiştir. (4.1) bağıntısının '$o_{çık}(k) \leq o_{kr}$' koşuluna bağlı olarak r_{son} değerleri tekrar kalibre edilmiş buna bağlı olarak r_k değerleri de yenilenmiştir.

Çizelge 5.6 Talep - Kapasite Yöntemi Hesap Adımları 5

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	qkap-qgir(k-1)	qkap	qgir(k-1)	qgir	r(k)2	rgir	rson	AraSütun	rk	qt	oçık	AraSütun	AraSütun	qçık	Arasütun	qk
00:59:11	6888	6888	6888	0	2345	2964	1032	1032	0	0	3377	0,09805					
01:01:10	4543	4543	6888	2345	2314	2964	1011	1011	0	0	3325	0,09654					
01:03:10	4574	4574	6888	2314	2267	2964	979	979	0	0	3246	0,09425					
01:05:10	4621	4621	6888	2267	2195	2964	975	975	0	0	3170	0,09204					
01:07:09	4693	4693	6888	2195	2164	2964	967	967	0	0	3131	0,09091					
01:09:09	4724	4724	6888	2164	2113	2964	968	968	0	0	3081	0,08946					
01:11:08	4775	4775	6888	2113	2051	2964	946	946	0	0	2997	0,08702					
01:13:08	4837	4837	6888	2051	2022	2964	924	924	0	0	2946	0,08554					
01:15:08	4866	4866	6888	2022	1991	2964	913	913	0	0	2904	0,08432					
01:17:07	4897	4897	6888	1991	1967	2964	904	904	0	0	2871	0,08336					
01:19:07	4921	4921	6888	1967	1917	2964	890	890	0	0	2807	0,0815					
01:21:07	4971	4971	6888	1917	1892	2964	876	876	0	0	2768	0,08037					
01:23:07	4996	4996	6888	1892	1843	2964	866	866	0	0	2709	0,07866					
01:25:07	5045	5045	6888	1843	1807	2964	851	851	0	0	2658	0,07718					
01:27:07	5081	5081	6888	1807	1752	2964	834	834	0	0	2586	0,07509					
01:29:06	5136	5136	6888	1752	1712	2964	826	826	0	0	2538	0,07369					
01:31:06	5176	5176	6888	1712	1670	2964	826	826	0	0	2496	0,07247					
01:33:05	5218	5218	6888	1670	1623	2964	816	816	0	0	2439	0,07082					
01:35:05	5265	5265	6888	1623	1619	2964	799	799	0	0	2418	0,07021					
01:37:05	5269	5269	6888	1619	1572	2964	796	796	0	0	2368	0,06876					
01:39:04	5316	5316	6888	1572	1519	2964	782	782	0	0	2301	0,06681					
01:41:04	5369	5369	6888	1519	1491	2964	778	778	0	0	2269	0,06588					
01:43:04	5397	5397	6888	1491	1454	2964	769	769	0	0	2223	0,06455					
01:45:03	5434	5434	6888	1454	1406	2964	759	759	0	0	2165	0,06286					
01:47:03	5482	5482	6888	1406	1386	2964	743	743	0	0	2129	0,06182					
01:49:03	5502	5502	6888	1386	1365	2964	740	740	0	0	2105	0,06112					
01:51:02	5523	5523	6888	1365	1329	2964	729	729	0	0	2058	0,05976					
01:53:03	5559	5559	6888	1329	1293	2964	714	714	0	0	2007	0,05828					
01:55:01	5595	5595	6888	1293	1244	2964	700	700	0	0	1944	0,05645					
01:57:01	5644	5644	6888	1244	1233	2964	682	682	0	0	1915	0,0556					
01:59:01	5655	5655	6888	1233	1216	2964	677	677	0	0	1893	0,05497					
02:01:00	5672	5672	6888	1216	1192	2964	665	665	0	0	1857	0,05392					

Çizelge 5-7'de bağıntı (5.1) yardımıyla $q_{çık}$ değerleri hesaplanmıştır. (5.9) ve (5.10) bağıntıları yardımıyla da q_k değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 5.7 Talep - Kapasite Yöntemi Hesap Adımları 6

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	qkap-qgir(k-1)	qkap	qgir(k-1)	qgir	r(k)2	rgir	rson	AraSütun	rk	qt	oçık	AraSütun	AraSütun	qçık	Arasütun	qk
00:59:11	6888	6888	6888	0	2345	2964	1032	1032	0	0	3377	0,09805		0,098054588	3377		0
01:01:10	4543	4543	6888	2345	2314	2964	1011	1011	0	0	3325	0,09654		0,096544715	3325		0
01:03:10	4574	4574	6888	2314	2267	2964	979	979	0	0	3246	0,09425		0,094250871	3246		0
01:05:10	4621	4621	6888	2267	2195	2964	975	975	0	0	3170	0,09204		0,092044135	3170		0
01:07:09	4693	4693	6888	2195	2164	2964	967	967	0	0	3131	0,09091		0,090911731	3131		0
01:09:09	4724	4724	6888	2164	2113	2964	968	968	0	0	3081	0,08946		0,08945993	3081		0
01:11:08	4775	4775	6888	2113	2051	2964	946	946	0	0	2997	0,08702		0,087020906	2997		0
01:13:08	4837	4837	6888	2051	2022	2964	924	924	0	0	2946	0,08554		0,08554007	2946		0
01:15:08	4866	4866	6888	2022	1991	2964	913	913	0	0	2904	0,08432		0,084320557	2904		0
01:17:07	4897	4897	6888	1991	1967	2964	904	904	0	0	2871	0,08336		0,083362369	2871		0
01:19:07	4921	4921	6888	1967	1917	2964	890	890	0	0	2807	0,0815		0,081504065	2807		0
01:21:07	4971	4971	6888	1917	1892	2964	876	876	0	0	2768	0,08037		0,080371661	2768		0
01:23:07	4996	4996	6888	1892	1843	2964	866	866	0	0	2709	0,07866		0,078658537	2709		0
01:25:07	5045	5045	6888	1843	1807	2964	851	851	0	0	2658	0,07718		0,0771777	2658		0
01:27:07	5081	5081	6888	1807	1752	2964	834	834	0	0	2586	0,07509		0,075087108	2586		0
01:29:06	5136	5136	6888	1752	1712	2964	826	826	0	0	2538	0,07369		0,07369338	2538		0
01:31:06	5176	5176	6888	1712	1670	2964	826	826	0	0	2496	0,07247		0,072473868	2496		0
01:33:05	5218	5218	6888	1670	1623	2964	816	816	0	0	2439	0,07082		0,070818815	2439		0
01:35:05	5265	5265	6888	1623	1619	2964	799	799	0	0	2418	0,07021		0,070209059	2418		0
01:37:05	5269	5269	6888	1619	1572	2964	796	796	0	0	2368	0,06876		0,068757259	2368		0
01:39:04	5316	5316	6888	1572	1519	2964	782	782	0	0	2301	0,06681		0,066811847	2301		0
01:41:04	5369	5369	6888	1519	1491	2964	778	778	0	0	2269	0,06588		0,065882695	2269		0
01:43:04	5397	5397	6888	1491	1454	2964	769	769	0	0	2223	0,06455		0,064547038	2223		0
01:45:03	5434	5434	6888	1454	1406	2964	759	759	0	0	2165	0,06286		0,06286295	2165		0
01:47:03	5482	5482	6888	1406	1386	2964	743	743	0	0	2129	0,06182		0,061817654	2129		0
01:49:03	5502	5502	6888	1386	1365	2964	740	740	0	0	2105	0,06112		0,06112079	2105		0
01:51:02	5523	5523	6888	1365	1329	2964	729	729	0	0	2058	0,05976		0,059756098	2058		0
01:53:03	5559	5559	6888	1329	1293	2964	714	714	0	0	2007	0,05828		0,058275261	2007		0
01:55:01	5595	5595	6888	1293	1244	2964	700	700	0	0	1944	0,05645		0,056445993	1944		0
01:57:01	5644	5644	6888	1244	1233	2964	682	682	0	0	1915	0,0556		0,055603949	1915		0
01:59:01	5655	5655	6888	1233	1216	2964	677	677	0	0	1893	0,05497		0,054965157	1893		0
02:01:00	5672	5672	6888	1216	1192	2964	665	665	0	0	1857	0,05392		0,053919861	1857		0

ALINEA algoritmasında denetim hacmi belirlenen bağıntının (4.2) hesap adımları Çizelgeler 5-8, 5-9, 5-10, 5-11, 5-12, 5-13, 5-14, 5-15, 5-16 ve 5-17'de gösterilmiştir. ALINEA algoritmasında da denetim hacmini sınırlayan değerler r_{min} = 800 taşıt/sa, r_{maks} = 2964 taşıt/sa (katılım kapasitesi) kabul edilmiştir. Düzenleyici katsayı K_R = 70 kabul edildiğinde birçok uygulamada olumlu sonuçlar ortaya koymuştur (Papageorgiou ve diğerleri, 2008), uygulamada da bu değer kullanılmıştır. Hedeflenen işgal değeri, ô; 0,18 ile 0,31 arasında değişen bir değerdir (Papageorgiou ve diğerleri, 2008) ve uygulamada 0,20 kabul edilmiştir.

Çizelge 5-8'de düzenleyici katsayı K_R, hedeflenen işgal ô ve anakol akım hacmi değerleri (q_{gir}) ile katılım kolu akım hacmi (r_{gir}) değerleri sütunlara yerleştirilmiştir.

Çizelge 5.8 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 1

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	r(k-1)	Kr	ô	oçık(k-1)	r(k)2	rgir	rson	rfazlalik	qgir	qçık	ara	ara2	oçık	toplam
00:59:11			70	0,2			1032			2345					
01:01:10			70	0,2			1011			2314					
01:03:10			70	0,2			979			2267					
01:05:10			70	0,2			975			2195					
01:07:09			70	0,2			967			2164					
01:09:09			70	0,2			968			2113					
01:11:08			70	0,2			946			2051					
01:13:08			70	0,2			924			2022					
01:15:08			70	0,2			913			1991					
01:17:07			70	0,2			904			1967					
01:19:07			70	0,2			890			1917					
01:21:07			70	0,2			876			1892					
01:23:07			70	0,2			866			1843					
01:25:07			70	0,2			851			1807					
01:27:07			70	0,2			834			1752					
01:29:06			70	0,2			826			1712					
01:31:06			70	0,2			826			1670					
01:33:05			70	0,2			816			1623					
01:35:05			70	0,2			799			1619					
01:37:05			70	0,2			796			1572					
01:39:04			70	0,2			782			1519					
01:41:04			70	0,2			778			1491					
01:43:04			70	0,2			769			1454					

Çizelge 5-9'da q_{gir} ve r_{gir} değerleri toplanarak q_t değerleri 'toplam' sütununda elde edilmiştir. Çizelge 5-10'da, (5.1) bağıntısı yardımıyla geçici $o_{çık}$ değerleri hesaplanmış daha sonraki hesap adımlarında bu değerler algoritmada hesaplanan denetim hacmi değerlerine göre yenilenmiştir.

Çizelge 5.9 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 2

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	r(k-1)	Kr	ô	oçık(k-1)	r(k)2	rgir	rson	rfazlalik	qgir	qçık	ara	ara2	oçık	toplam
00:59:11			70	0,2			1032			2345					3377
01:01:10			70	0,2			1011			2314					3325
01:03:10			70	0,2			979			2267					3246
01:05:10			70	0,2			975			2195					3170
01:07:09			70	0,2			967			2164					3131
01:09:09			70	0,2			968			2113					3081
01:11:08			70	0,2			946			2051					2997
01:13:08			70	0,2			924			2022					2946
01:15:08			70	0,2			913			1991					2904
01:17:07			70	0,2			904			1967					2871
01:19:07			70	0,2			890			1917					2807
01:21:07			70	0,2			876			1892					2768
01:23:07			70	0,2			866			1843					2709
01:25:07			70	0,2			851			1807					2658
01:27:07			70	0,2			834			1752					2586
01:29:06			70	0,2			826			1712					2538
01:31:06			70	0,2			826			1670					2496
01:33:05			70	0,2			816			1623					2439
01:35:05			70	0,2			799			1619					2418
01:37:05			70	0,2			796			1572					2368
01:39:04			70	0,2			782			1519					2301
01:41:04			70	0,2			778			1491					2269
01:43:04			70	0,2			769			1454					2223

Çizelge 5.10 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 3

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	r(k-1)	Kr	ô	oçık(k-1)	r(k)2	rgir	rson	rfazlalik	qgir	qçık	ara	ara2	oçık	toplam
00:59:11			70	0,2			1032			2345				0,0981	3377
01:01:10			70	0,2			1011			2314				0,0965	3325
01:03:10			70	0,2			979			2267				0,0943	3246
01:05:10			70	0,2			975			2195				0,092	3170
01:07:09			70	0,2			967			2164				0,0909	3131
01:09:09			70	0,2			968			2113				0,0895	3081
01:11:08			70	0,2			946			2051				0,087	2997
01:13:08			70	0,2			924			2022				0,0855	2946
01:15:08			70	0,2			913			1991				0,0843	2904
01:17:07			70	0,2			904			1967				0,0834	2871
01:19:07			70	0,2			890			1917				0,0815	2807
01:21:07			70	0,2			876			1892				0,0804	2768
01:23:07			70	0,2			866			1843				0,0787	2709
01:25:07			70	0,2			851			1807				0,0772	2658
01:27:07			70	0,2			834			1752				0,0751	2586
01:29:06			70	0,2			826			1712				0,0737	2538
01:31:06			70	0,2			826			1670				0,0725	2496
01:33:05			70	0,2			816			1623				0,0708	2439
01:35:05			70	0,2			799			1619				0,0702	2418
01:37:05			70	0,2			796			1572				0,0688	2368
01:39:04			70	0,2			782			1519				0,0668	2301
01:41:04			70	0,2			778			1491				0,0659	2269
01:43:04			70	0,2			769			1454				0,0645	2223

Çizelge 5-11 ve 5-12'de (4.2) bağıntısına ait girdiler yerine konarak denetim hacmi değerleri hesaplanmıştır. '$o_{çık}$(k-1)' sütunundaki ilk değerin '0' olmasının nedeni taşıt sayımından önceki zaman diliminde (saat 00.59'dan önce) yol kesiminden taşıt geçmediği varsayımıdır. Bu varsayım aynı zamanda Çizelge 5-12'de 'r(k-1)' sütunundaki ilk değerin r_{min} olarak atanmasını da açıklamaktadır.

Çizelge 5.11 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 4

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	r(k-1)	Kr	ô	oçık(k-1)	r(k)2	rgir	rson	rfazlalik	qgir	qçık	ara	ara2	oçık	toplam
00:59:11			70	0,2	0		1032			2345				0,0981	3377
01:01:10			70	0,2	0,098054588		1011			2314				0,0965	3325
01:03:10			70	0,2	0,096544715		979			2267				0,0943	3246
01:05:10			70	0,2	0,094250871		975			2195				0,092	3170
01:07:09			70	0,2	0,092044135		967			2164				0,0909	3131
01:09:09			70	0,2	0,090911731		968			2113				0,0895	3081
01:11:08			70	0,2	0,08945993		946			2051				0,087	2997
01:13:08			70	0,2	0,087020906		924			2022				0,0855	2946
01:15:08			70	0,2	0,08554007		913			1991				0,0843	2904
01:17:07			70	0,2	0,084320557		904			1967				0,0834	2871
01:19:07			70	0,2	0,083362369		890			1917				0,0815	2807
01:21:07			70	0,2	0,081504065		876			1892				0,0804	2768
01:23:07			70	0,2	0,080371661		866			1843				0,0787	2709
01:25:07			70	0,2	0,078658537		851			1807				0,0772	2658
01:27:07			70	0,2	0,0771777		834			1752				0,0751	2586
01:29:06			70	0,2	0,075087108		826			1712				0,0737	2538
01:31:06			70	0,2	0,07369338		826			1670				0,0725	2496
01:33:05			70	0,2	0,072473868		816			1623				0,0708	2439
01:35:05			70	0,2	0,070818815		799			1619				0,0702	2418
01:37:05			70	0,2	0,070209059		796			1572				0,0688	2368
01:39:04			70	0,2	0,068757259		782			1519				0,0668	2301
01:41:04			70	0,2	0,066811847		778			1491				0,0659	2269
01:43:04			70	0,2	0,065882695		769			1454				0,0645	2223

Çizelge 5.12 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 5

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	r(k-1)	Kr	ô	oçık(k-1)	r(k)2	rgir	rson	rfazlalik	qgir	qçık	ara	ara2	oçık	toplam
00:59:11	807,1362	800	70	0,2	0		1032			2345				0,0981	3377
01:01:10	814,378	807,1362	70	0,2	0,098054588		1011			2314				0,0965	3325
01:03:10	821,7805	814,378	70	0,2	0,096544715		979			2267				0,0943	3246
01:05:10	829,3374	821,7805	70	0,2	0,094250871		975			2195				0,092	3170
01:07:09	836,9736	829,3374	70	0,2	0,092044135		967			2164				0,0909	3131
01:09:09	844,7114	836,9736	70	0,2	0,090911731		968			2113				0,0895	3081
01:11:08	852,6199	844,7114	70	0,2	0,08945993		946			2051				0,087	2997
01:13:08	860,6321	852,6199	70	0,2	0,087020906		924			2022				0,0855	2946
01:15:08	868,7297	860,6321	70	0,2	0,08554007		913			1991				0,0843	2904
01:17:07	876,8943	868,7297	70	0,2	0,084320557		904			1967				0,0834	2871
01:19:07	885,189	876,8943	70	0,2	0,083362369		890			1917				0,0815	2807
01:21:07	893,563	885,189	70	0,2	0,081504065		876			1892				0,0804	2768
01:23:07	902,0569	893,563	70	0,2	0,080371661		866			1843				0,0787	2709
01:25:07	910,6545	902,0569	70	0,2	0,078658537		851			1807				0,0772	2658
01:27:07	919,3984	910,6545	70	0,2	0,0771777		834			1752				0,0751	2586
01:29:06	928,2398	919,3984	70	0,2	0,075087108		826			1712				0,0737	2538
01:31:06	937,1667	928,2398	70	0,2	0,07369338		826			1670				0,0725	2496
01:33:05	946,2093	937,1667	70	0,2	0,072473868		816			1623				0,0708	2439
01:35:05	955,2947	946,2093	70	0,2	0,070818815		799			1619				0,0702	2418
01:37:05	964,4817	955,2947	70	0,2	0,070209059		796			1572				0,0688	2368
01:39:04	973,8049	964,4817	70	0,2	0,068757259		782			1519				0,0668	2301
01:41:04	983,1931	973,8049	70	0,2	0,066811847		778			1491				0,0659	2269
01:43:04	992,6748	983,1931	70	0,2	0,065882695		769			1454				0,0645	2223

Çizelge 5-12'de hesaplanan r(k) değerinin, r_{min} ve r_{kap} sınır koşulları, Çizelge 5-13'de r(k)2 sütununda konmuştur. Bu koşullara göre 2964 taşıt/sa'ten fazla olan değerler 2964 taşıt/sa'e, 800 taşıt/sa'ten az olan değerler 800 taşıt/sa'e çekilmiştir. Katılım koluna olan talebi 'rgir', denetim mekanizmasının belirlediği hacmi 'r(k)2' ifade ettiğinden, 'rson' sütununda 'r(k)2' ve 'rgir' değerlerinden küçük olan seçilerek, anakola katılan taşıtların akım hacmi belirlenmiştir (Çizelge 5-14).

Çizelge 5.13 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 6

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	r(k-1)	Kr	ô	oçık(k-1)	r(k)2	rgir	rson	rfazlalik	qgir	qçık	ara	ara2	oçık	toplam
00:59:11	807,1362	800	70	0,2	0	807,1362	1032			2345				0,0981	3377
01:01:10	814,378	807,1362	70	0,2	0,098054588	814,378	1011			2314				0,0965	3325
01:03:10	821,7805	814,378	70	0,2	0,096544715	821,7805	979			2267				0,0943	3246
01:05:10	829,3374	821,7805	70	0,2	0,094250871	829,3374	975			2195				0,092	3170
01:07:09	836,9736	829,3374	70	0,2	0,092044135	836,9736	967			2164				0,0909	3131
01:09:09	844,7114	836,9736	70	0,2	0,090911731	844,7114	968			2113				0,0895	3081
01:11:08	852,6199	844,7114	70	0,2	0,08945993	852,6199	946			2051				0,087	2997
01:13:08	860,6321	852,6199	70	0,2	0,087020906	860,6321	924			2022				0,0855	2946
01:15:08	868,7297	860,6321	70	0,2	0,08554007	868,7297	913			1991				0,0843	2904
01:17:07	876,8943	868,7297	70	0,2	0,084320557	876,8943	904			1967				0,0834	2871
01:19:07	885,189	876,8943	70	0,2	0,083362369	885,189	890			1917				0,0815	2807
01:21:07	893,563	885,189	70	0,2	0,081504065	893,563	876			1892				0,0804	2768
01:23:07	902,0569	893,563	70	0,2	0,080371661	902,0569	866			1843				0,0787	2709
01:25:07	910,6545	902,0569	70	0,2	0,078658537	910,6545	851			1807				0,0772	2658
01:27:07	919,3984	910,6545	70	0,2	0,0771777	919,3984	834			1752				0,0751	2586
01:29:06	928,2398	919,3984	70	0,2	0,075087108	928,2398	826			1712				0,0737	2538
01:31:06	937,1667	928,2398	70	0,2	0,07369338	937,1667	826			1670				0,0725	2496
01:33:05	946,2093	937,1667	70	0,2	0,072473868	946,2093	816			1623				0,0708	2439
01:35:05	955,2947	946,2093	70	0,2	0,070818815	955,2947	799			1619				0,0702	2418
01:37:05	964,4817	955,2947	70	0,2	0,070209059	964,4817	796			1572				0,0688	2368
01:39:04	973,8049	964,4817	70	0,2	0,068757259	973,8049	782			1519				0,0668	2301
01:41:04	983,1931	973,8049	70	0,2	0,066811847	983,1931	778			1491				0,0659	2269
01:43:04	992,6748	983,1931	70	0,2	0,065882695	992,6748	769			1454				0,0645	2223

Çizelge 5.14 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 7

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	r(k-1)	Kr	ô	oçık(k-1)	r(k)2	rgir	rson	rfazlalik	qgir	qçık	ara	ara2	oçık	toplam
00:59:11	807,1362	800	70	0,2	0	807,1362	1032	807,1362		2345				0,0981	3377
01:01:10	814,378	807,1362	70	0,2	0,098054588	814,378	1011	814,378		2314				0,0965	3325
01:03:10	821,7805	814,378	70	0,2	0,096544715	821,7805	979	821,7805		2267				0,0943	3246
01:05:10	829,3374	821,7805	70	0,2	0,094250871	829,3374	975	829,3374		2195				0,092	3170
01:07:09	836,9736	829,3374	70	0,2	0,092044135	836,9736	967	836,9736		2164				0,0909	3131
01:09:09	844,7114	836,9736	70	0,2	0,090911731	844,7114	968	844,7114		2113				0,0895	3081
01:11:08	852,6199	844,7114	70	0,2	0,08945993	852,6199	946	852,6199		2051				0,087	2997
01:13:08	860,6321	852,6199	70	0,2	0,087020906	860,6321	924	860,6321		2022				0,0855	2946
01:15:08	868,7297	860,6321	70	0,2	0,08554007	868,7297	913	868,7297		1991				0,0843	2904
01:17:07	876,8943	868,7297	70	0,2	0,084320557	876,8943	904	876,8943		1967				0,0834	2871
01:19:07	885,189	876,8943	70	0,2	0,083362369	885,189	890	885,189		1917				0,0815	2807
01:21:07	893,563	885,189	70	0,2	0,081504065	893,563	876	876		1892				0,0804	2768
01:23:07	902,0569	893,563	70	0,2	0,080371661	902,0569	866	866		1843				0,0787	2709
01:25:07	910,6545	902,0569	70	0,2	0,078658537	910,6545	851	851		1807				0,0772	2658
01:27:07	919,3984	910,6545	70	0,2	0,0771777	919,3984	834	834		1752				0,0751	2586
01:29:06	928,2398	919,3984	70	0,2	0,075087108	928,2398	826	826		1712				0,0737	2538
01:31:06	937,1667	928,2398	70	0,2	0,07369338	937,1667	826	826		1670				0,0725	2496
01:33:05	946,2093	937,1667	70	0,2	0,072473868	946,2093	816	816		1623				0,0708	2439
01:35:05	955,2947	946,2093	70	0,2	0,070818815	955,2947	799	799		1619				0,0702	2418
01:37:05	964,4817	955,2947	70	0,2	0,070209059	964,4817	796	796		1572				0,0688	2368
01:39:04	973,8049	964,4817	70	0,2	0,068757259	973,8049	782	782		1519				0,0668	2301
01:41:04	983,1931	973,8049	70	0,2	0,066811847	983,1931	778	778		1491				0,0659	2269
01:43:04	992,6748	983,1931	70	0,2	0,065882695	992,6748	769	769		1454				0,0645	2223

Çizelge 5-15'deki 'rfazlalık' sütunundaki değerler katılımda kuyruklanan taşıt sayısını ifade etmektedir ve 'r_{gir} – rson' işlemiyle elde edilmiştir. Çizelgedeki senaryoya göre katılımdaki kuyruklanma saat 00.59'da başlamış ve 01.21'e kadar devam etmiştir. Saat 01.21'den 01.41'e kadar taşıtlar salınmış ve 01.41'den sonra katılımda hiçbir kuyruklanma gözlemlenmemiştir.

Çizelge 5.15 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 8

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	r(k-1)	Kr	ô	oçık(k-1)	r(k)2	rgir	rson	rfazlalik	qgir	qçık	ara	ara2	oçık	toplam
00:59:11	807,1362	800	70	0,2	0	807,1362	1032	807,1362	224,863821	2345				0,0981	3377
01:01:10	814,378	807,1362	70	0,2	0,098054588	814,378	1011	814,378	196,621951	2314				0,0965	3325
01:03:10	821,7805	814,378	70	0,2	0,096544715	821,7805	979	821,7805	157,219512	2267				0,0943	3246
01:05:10	829,3374	821,7805	70	0,2	0,094250871	829,3374	975	829,3374	145,662602	2195				0,092	3170
01:07:09	836,9736	829,3374	70	0,2	0,092044135	836,9736	967	836,9736	130,026423	2164				0,0909	3131
01:09:09	844,7114	836,9736	70	0,2	0,090911731	844,7114	968	844,7114	123,288618	2113				0,0895	3081
01:11:08	852,6199	844,7114	70	0,2	0,08945993	852,6199	946	852,6199	93,3800813	2051				0,087	2997
01:13:08	860,6321	852,6199	70	0,2	0,087020906	860,6321	924	860,6321	63,3678862	2022				0,0855	2946
01:15:08	868,7297	860,6321	70	0,2	0,08554007	868,7297	913	868,7297	44,2703252	1991				0,0843	2904
01:17:07	876,8943	868,7297	70	0,2	0,084320557	876,8943	904	876,8943	27,1056911	1967				0,0834	2871
01:19:07	885,189	876,8943	70	0,2	0,083362369	885,189	890	885,189	4,81097561	1917				0,0815	2807
01:21:07	893,563	885,189	70	0,2	0,081504065	893,563	876	893,563	-17,563008	1892				0,0804	2768
01:23:07	902,0569	893,563	70	0,2	0,080371661	902,0569	866	902,0569	-36,056911	1843				0,0787	2709
01:25:07	910,6545	902,0569	70	0,2	0,078658537	910,6545	851	910,6545	-59,654472	1807				0,0772	2658
01:27:07	919,3984	910,6545	70	0,2	0,0771777	919,3984	834	919,3984	-85,398374	1752				0,0751	2586
01:29:06	928,2398	919,3984	70	0,2	0,075087108	928,2398	826	928,2398	-102,23984	1712				0,0737	2538
01:31:06	937,1667	928,2398	70	0,2	0,07369338	937,1667	826	937,1667	-111,16667	1670				0,0725	2496
01:33:05	946,2093	937,1667	70	0,2	0,072473868	946,2093	816	946,2093	-130,20935	1623				0,0708	2439
01:35:05	955,2947	946,2093	70	0,2	0,070818815	955,2947	799	955,2947	-156,29472	1619				0,0702	2418
01:37:05	964,4817	955,2947	70	0,2	0,070209059	964,4817	796	964,4817	-168,48171	1572				0,0688	2368
01:39:04	973,8049	964,4817	70	0,2	0,068757259	973,8049	782	973,8049	-191,80488	1519				0,0668	2301
01:41:04	983,1931	973,8049	70	0,2	0,066811847	983,1931	778	930	-152	1491				0,0659	2269
01:43:04	992,6748	983,1931	70	0,2	0,065882695	992,6748	769	769	0	1454				0,0645	2223

Çizelge 5-16'da 'q_{gir}' ve 'rson' değerleri toplanarak 'q_t' değerleri elde edilmiştir. Şekil 5.1'deki temel diyagramdan yola çıkarak yapılan varsayımda $q_{çık}$ ve $o_{çık}$ değerleri arasında bağıntı (5.1) kabul edilmiştir. Çizelge 5-16 ve 5-17'de Şekil 5.12'deki yapılan varsayımla $q_{çık}$ ve $o_{çık}$ değerleri ara adımlarla o_{kr}=0,2 ve q_{kap}=6888 taşıt/sa olacak biçimde orantılanmış ve yeni $o_{çık}$ değerleri hesaplanmış, bununla birlikte denetim hacimleri de yenilenerek algoritma hesap adımlarındaki bütün değerler tekrar hesaplanmıştır.

Çizelge 5.16 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 9

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	r(k-1)	Kr	ô	oçık(k-1)	r(k)2	rgir	rson	rfazlalik	qgir	qçık	ara	ara2	oçık	toplam
00:59:11	807,1362	800	70	0,2	0	807,1362	1032	807,1362	224,863821	2345	3152,14			0,0981	3377
01:01:10	814,378	807,1362	70	0,2	0,098054588	814,378	1011	814,378	196,621951	2314	3128,38			0,0965	3325
01:03:10	821,7805	814,378	70	0,2	0,096544715	821,7805	979	821,7805	157,219512	2267	3088,78			0,0943	3246
01:05:10	829,3374	821,7805	70	0,2	0,094250871	829,3374	975	829,3374	145,662602	2195	3024,34			0,092	3170
01:07:09	836,9736	829,3374	70	0,2	0,092044135	836,9736	967	836,9736	130,026423	2164	3000,97			0,0909	3131
01:09:09	844,7114	836,9736	70	0,2	0,090911731	844,7114	968	844,7114	123,288618	2113	2957,71			0,0895	3081
01:11:08	852,6199	844,7114	70	0,2	0,08945993	852,6199	946	852,6199	93,3800813	2051	2903,62			0,087	2997
01:13:08	860,6321	852,6199	70	0,2	0,087020906	860,6321	924	860,6321	63,3678862	2022	2882,63			0,0855	2946
01:15:08	868,7297	860,6321	70	0,2	0,08554007	868,7297	913	868,7297	44,2703252	1991	2859,73			0,0843	2904
01:17:07	876,8943	868,7297	70	0,2	0,084320557	876,8943	904	876,8943	27,1056911	1967	2843,89			0,0834	2871
01:19:07	885,189	876,8943	70	0,2	0,083362369	885,189	890	885,189	4,81097561	1917	2802,19			0,0815	2807
01:21:07	893,563	885,189	70	0,2	0,081504065	893,563	876	893,563	-17,563008	1892	2785,56			0,0804	2768
01:23:07	902,0569	893,563	70	0,2	0,080371661	902,0569	866	902,0569	-36,056911	1843	2745,06			0,0787	2709
01:25:07	910,6545	902,0569	70	0,2	0,078658537	910,6545	851	910,6545	-59,654472	1807	2717,65			0,0772	2658
01:27:07	919,3984	910,6545	70	0,2	0,0771777	919,3984	834	919,3984	-85,398374	1752	2671,4			0,0751	2586
01:29:06	928,2398	919,3984	70	0,2	0,075087108	928,2398	826	928,2398	-102,23984	1712	2640,24			0,0737	2538
01:31:06	937,1667	928,2398	70	0,2	0,07369338	937,1667	826	937,1667	-111,16667	1670	2607,17			0,0725	2496
01:33:05	946,2093	937,1667	70	0,2	0,072473868	946,2093	816	946,2093	-130,20935	1623	2569,21			0,0708	2439
01:35:05	955,2947	946,2093	70	0,2	0,070818815	955,2947	799	955,2947	-156,29472	1619	2574,29			0,0702	2418
01:37:05	964,4817	955,2947	70	0,2	0,070209059	964,4817	796	964,4817	-168,48171	1572	2536,48			0,0688	2368
01:39:04	973,8049	964,4817	70	0,2	0,068757259	973,8049	782	973,8049	-191,80488	1519	2492,8			0,0668	2301
01:41:04	983,1931	973,8049	70	0,2	0,066811847	983,1931	778	930	-152	1491	2421			0,0659	2269
01:43:04	992,6748	983,1931	70	0,2	0,065882695	992,6748	769	769	0	1454	2223			0,0645	2223

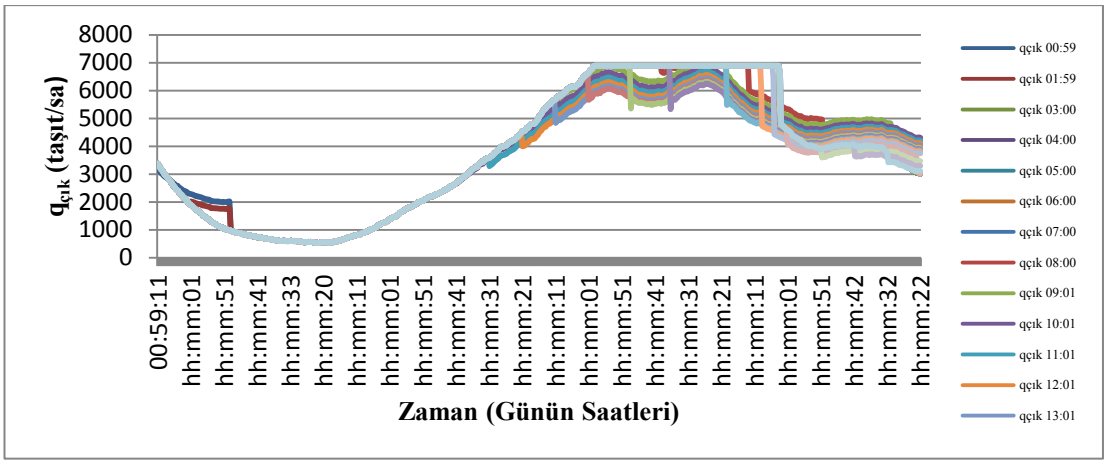
Çizelge 5.17 ALINEA Algoritması Hesap Adımları 10

Zaman (Günün Saatleri)	r(k)	r(k-1)	Kr	ô	oçık(k-1)	r(k)2	rgir	rson	rfazlalik	qgir	qçık	ara	ara2	oçık	toplam
00:59:11	807,5932	800	70	0,2	0	807,5932	1032	807,5932	224,406781	2345	3152,59	-23,758	-7E-04	0,0915	3377
01:01:10	815,2347	807,5932	70	0,2	0,091525441	815,2347	1011	815,2347	195,765273	2314	3129,23	-39,598	-0,001	0,0908	3325
01:03:10	822,9567	815,2347	70	0,2	0,0908356	822,9567	979	822,9567	156,043282	2267	3089,96	-64,443	-0,002	0,0897	3246
01:05:10	830,8097	822,9567	70	0,2	0,089685845	830,8097	975	830,8097	144,190309	2195	3025,81	-23,364	-7E-04	0,0878	3170
01:07:09	838,7102	830,8097	70	0,2	0,087814675	838,7102	967	838,7102	128,289849	2164	3002,71	-43,262	-0,001	0,0871	3131
01:09:09	846,6985	838,7102	70	0,2	0,087136283	846,6985	968	846,6985	121,301457	2113	2959,7	-54,091	-0,002	0,0859	3081
01:11:08	854,7969	846,6985	70	0,2	0,085880121	854,7969	946	854,7969	91,203124	2051	2905,8	-20,988	-6E-04	0,0843	2997
01:13:08	862,9379	854,7969	70	0,2	0,084309521	862,9379	924	862,9379	61,0621323	2022	2884,94	-22,902	-7E-04	0,0837	2946
01:15:08	871,1254	862,9379	70	0,2	0,083700119	871,1254	913	871,1254	41,874591	1991	2862,13	-15,835	-5E-04	0,083	2904
01:17:07	879,3451	871,1254	70	0,2	0,083035124	879,3451	904	879,3451	24,654864	1967	2846,35	-41,705	-0,001	0,0826	2871
01:19:07	887,6496	879,3451	70	0,2	0,082575328	887,6496	890	887,6496	2,35037015	1917	2804,65	-16,626	-5E-04	0,0814	2807
01:21:07	895,9879	887,6496	70	0,2	0,081364374	895,9879	876	895,9879	-19,987916	1892	2787,99	-40,506	-0,001	0,0809	2768
01:23:07	904,4085	895,9879	70	0,2	0,08088162	904,4085	866	904,4085	-38,408532	1843	2747,41	-27,402	-8E-04	0,0797	2709
01:25:07	912,8848	904,4085	70	0,2	0,079705485	912,8848	851	912,8848	-61,884845	1807	2719,88	-46,256	-0,001	0,0789	2658
01:27:07	921,4552	912,8848	70	0,2	0,078909828	921,4552	834	921,4552	-87,455173	1752	2673,46	-31,159	-9E-04	0,0776	2586
01:29:06	930,0888	921,4552	70	0,2	0,077566736	930,0888	826	930,0888	-104,08883	1712	2642,09	-33,073	-1E-03	0,0767	2538
01:31:06	938,7897	930,0888	70	0,2	0,076662016	938,7897	826	938,7897	-112,78971	1670	2608,79	-37,957	-0,001	0,0757	2496
01:33:05	947,5677	938,7897	70	0,2	0,075701703	947,5677	816	947,5677	-131,56774	1623	2570,57	5,08537	0,0001	0,0746	2439
01:35:05	956,3354	947,5677	70	0,2	0,074599575	956,3354	799	956,3354	-157,33544	1619	2575,34	-37,813	-0,001	0,0747	2418
01:37:05	965,18	956,3354	70	0,2	0,074747233	965,18	796	965,18	-169,17999	1572	2537,18	-43,677	-0,001	0,0736	2368
01:39:04	974,1133	965,18	70	0,2	0,073649295	974,1133	782	974,1133	-192,11331	1519	2493,11	-72,262	-0,002	0,0724	2301
01:41:04	983,1935	974,1133	70	0,2	0,072381094	983,1935	778	930	-152	1491	2421	-198	-0,006	0,0703	2269
01:43:04	992,6761	983,1935	70	0,2	0,070282897	992,6761	769	769	0	1454	2223	-58	-0,002	0,0645	2223

Son olarak hesaplanan $q_{çık}$ değerleri, ALINEA algoritması kullanılarak denetim uygulanması sonucu aşağı akım hacmi değerlerini ifade etmektedir.

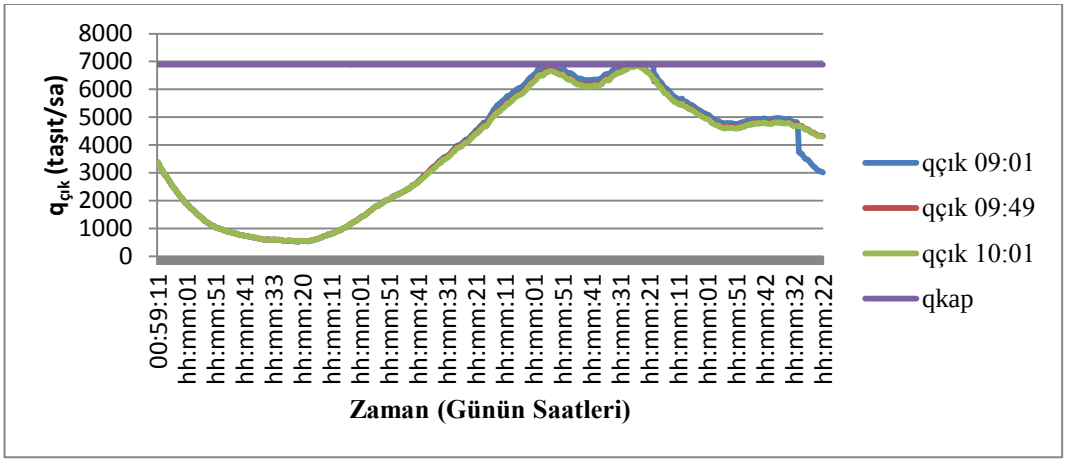
ALINEA, geri beslemeli bir algoritma olduğundan, denetimin ilk başlayacağı zaman dilimi önemlidir ve seçilen zaman dilimi, hesaplanan çıktıları büyük ölçüde değiştirmektedir. Bu nedenle ALINEA algoritmasını, Talep – Kapasite yöntemi ve denetimsiz durumla karşılaştırmadan önce, denetimin başlayacağı zaman dilimlerine göre kendi içerisinde bir başarım çözümlemesi yapılması gerekmektedir.

Şekil 5-7'de, senaryo 4 verileri kullanılarak her saat başı denetimin ayrı ayrı başlatılması sonucu hesaplanan ALINEA çıktılarının en iyi sonuç veren durumu araştırılmıştır. Şekil 5-7 ALINEA uygulanması durumunda $q_{çık}$ değerlerini denetim başlama saatine göre ifade etmektedir.



Şekil 5.7 ALINEA Algoritmasında denetimin farklı saatlerde başlatılarak en iyi aşağı akım hacmi değerlerinin araştırılması

09:01 ve 10:01 saatleri arasında ALINEA algoritmasıyla denetim başlatıldığında en iyi sonuçlar elde edilmektedir. Bu nedenle en iyi denetim başlama saati, saat 09:01 ve 10:01 arasında irdelenerek 09:49 olarak bulunmuştur (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 ALINEA Algoritmasında denetimin en iyi saatlerde başlatılarak en iyi aşağı akım hacmi değerlerinin araştırılması

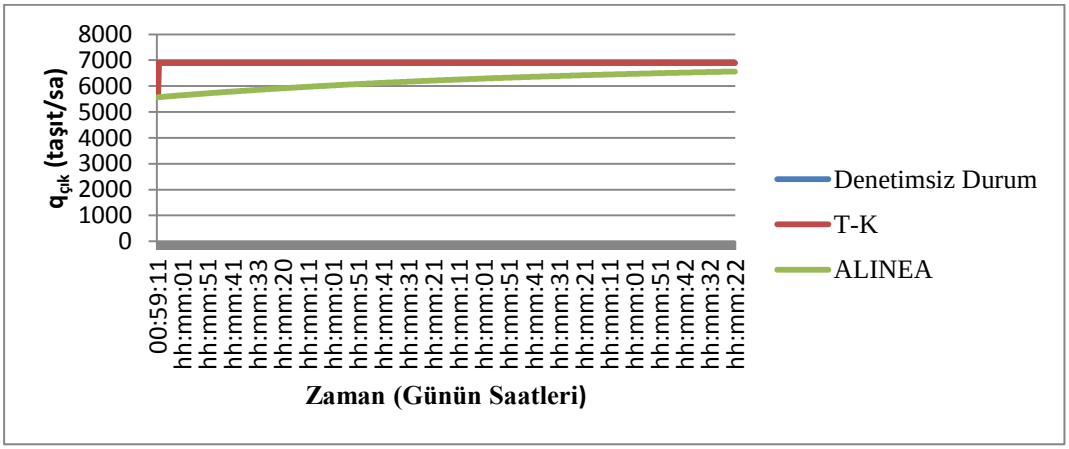
5.2.Başarım Çözümlemeleri

Bölüm 5.2'de her bir senaryodaki denetimli ve denetimsiz durumlar için başarım çözümlemeleri yapılmıştır.

5.2.1. Senaryo 1

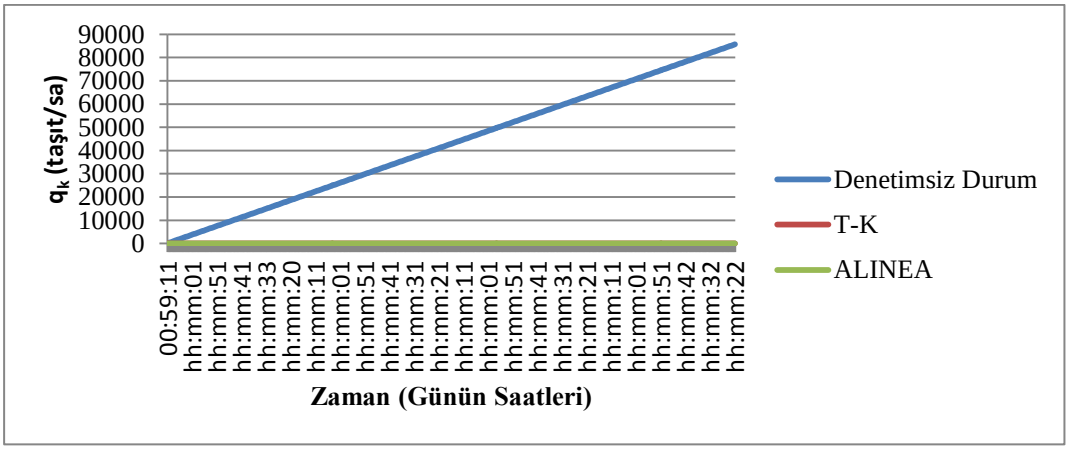
Senaryo – 1 için denetimsiz durum, ALINEA Algoritması ve Talep – Kapasite Yöntemi uygulaması ile aşağı akım hacmi çıktılarını ifade eden fonksiyonları Şekil – 5.9'da, aşağı akımdaki kuyruklanmayı Şekil 5.10'da ve katılımdaki kuyruklanma Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Anakol aşağı akım hacmi karşılaştırmalarında Senaryo –

1'de ALINEA algoritması en olumsuz akım koşullarını yansıtmıştır, denetimsiz durum en iyi akım koşullarını sağlarken ve Talep – Kapasite başarımda ikinci sırayı almıştır.



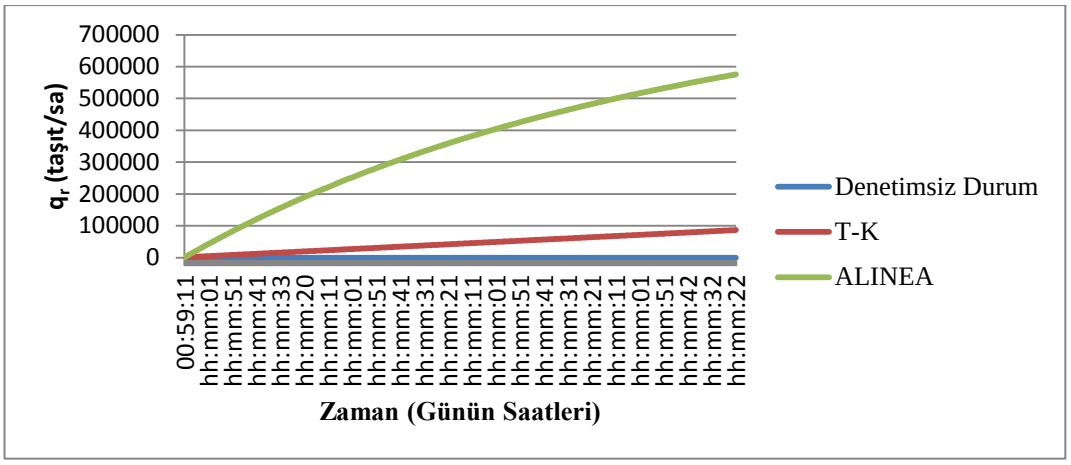
Şekil 5.9 Senaryo 1 Başarım Çözümlemesi – Aşağı Akım Hacmi

Şekil 5.10'a göre aşağı akımdaki eklenik kuyruklanma miktarları karşılaştırıldığında denetimsiz durumda en çok kuyruklanma meydana gelirken, ALINEA ve Talep – Kapasite algoritmalarında herhangi bir kuyruklanma oluşmamıştır.



Şekil 5.10 Senaryo 1 Başarım Çözümlemesi – Aşağı Akımdaki Eklenik Kuyruklanma

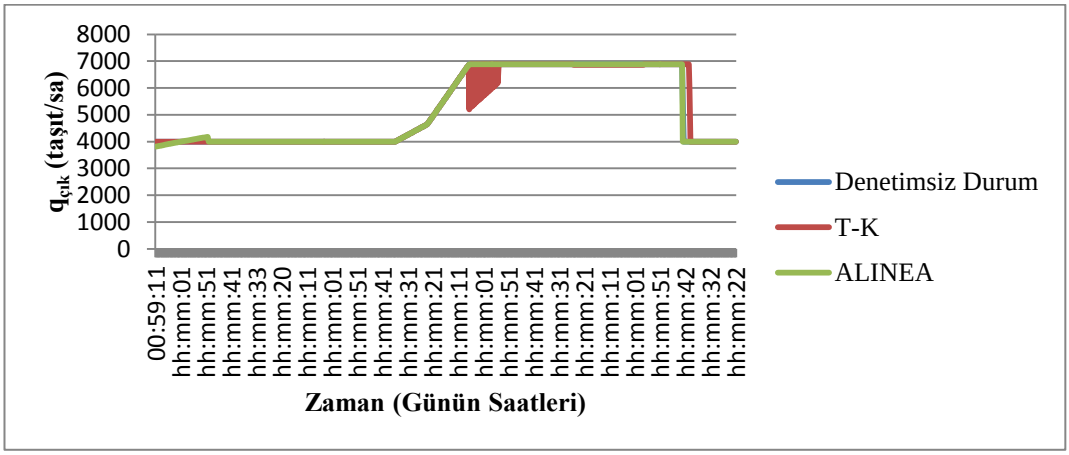
Şekil 5.11'de katılımdaki eklenik kuyruklanma miktarları karşılaştırıldığında ALINEA algoritmasında en çok kuyruklanma meydana gelirken, Talep – Kapasite algoritmasında daha az kuyruklanma meydana gelmiştir, denetimsiz durumda herhangi bir kuyruklanma oluşmamıştır.



Şekil 5.11 Senaryo 1 Başarım Çözümlemesi – Katılımdaki Eklenik Kuyruklanma

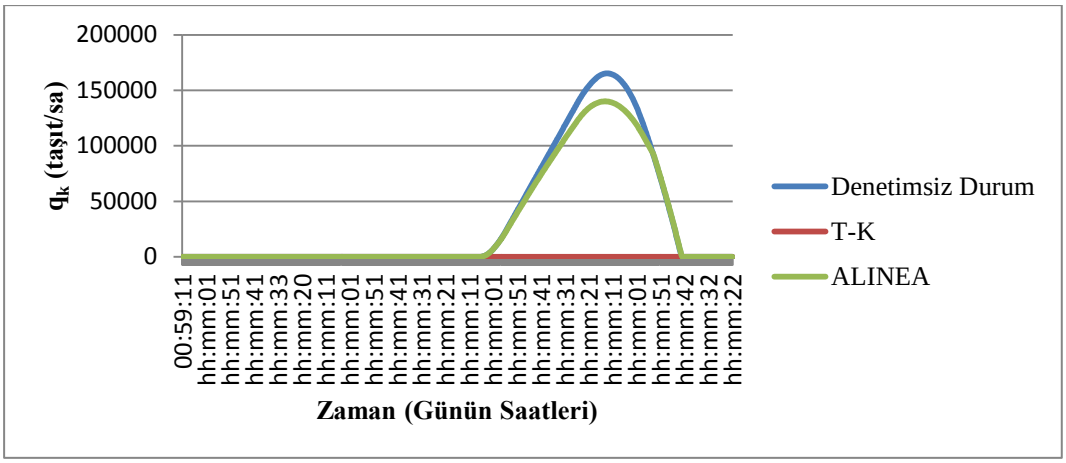
5.2.2. Senaryo 2

Senaryo – 2 için denetimsiz durum, ALINEA Algoritması ve Talep – Kapasite Yöntemi uygulaması ile aşağı akım hacmi çıktılarını ifade eden fonksiyonları Şekil 5.12'de, aşağı akımdaki kuyruklanmayı Şekil 5.13'te ve katılımdaki kuyruklanma Şekil 5.14'de gösterilmiştir. Anakol aşağı akım hacmi karşılaştırmalarında Senaryo – 2'de Talep – Kapasite yöntemi en olumsuz akım koşullarını yansıtmıştır. Denetimsiz durum en iyi akım koşullarını sağlarken, ALINEA algoritması başarımda ikinci sırayı almıştır.



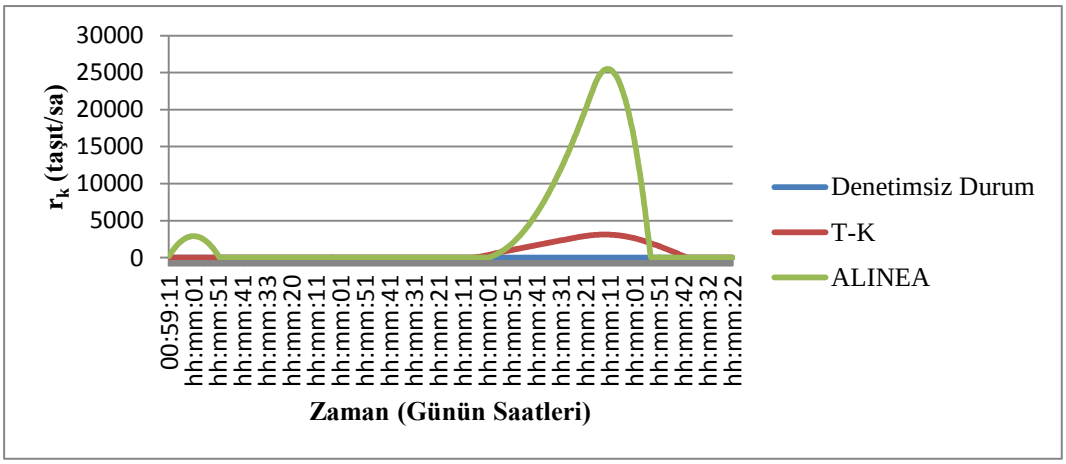
Şekil 5.12 Senaryo 2 Başarım Çözümlemesi – Aşağı Akım Hacmi

Şekil 5.13'e göre aşağı akımdaki eklenik kuyruklanma miktarları karşılaştırıldığında denetimsiz durumda en çok kuyruklanma meydana gelirken, ALINEA algoritmasındaki kuyruklanma ikinci sırada yer almış ve Talep – Kapasite algoritmasında herhangi bir kuyruklanma oluşmamıştır.



Şekil 5.13 Senaryo 2 Başarım Çözümlemesi – Aşağı Akımdaki Eklenik Kuyruklanma

Şekil 5.14'de katılımdaki eklenik kuyruklanma miktarları karşılaştırıldığında ALINEA algoritmasında en çok kuyruklanma meydana gelirken, Talep – Kapasite algoritmasında daha az kuyruklanma meydana gelmiştir, denetimsiz durumda herhangi bir kuyruklanma oluşmamıştır.

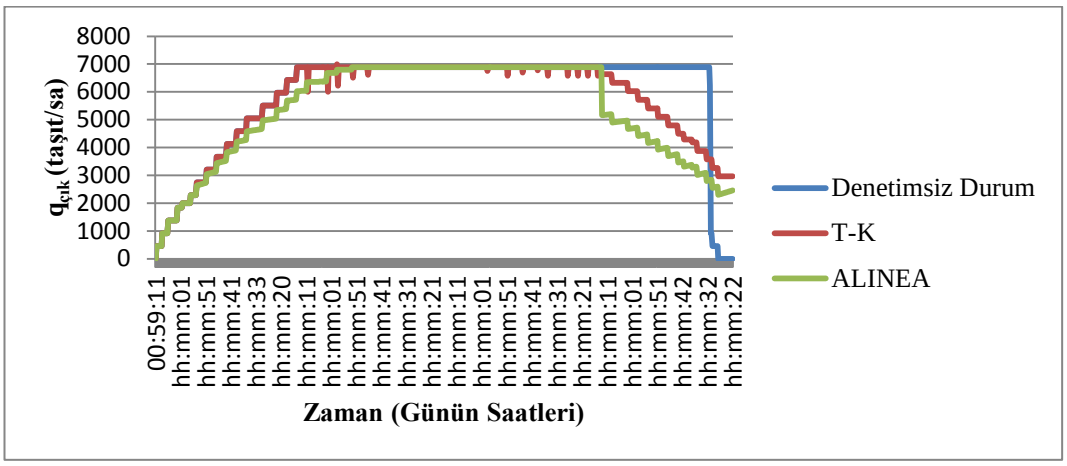


Şekil 5.14 Senaryo 2 Başarım Çözümlemesi – Katılımdaki Eklenik Kuyruklanma

5.2.3. Senaryo 3

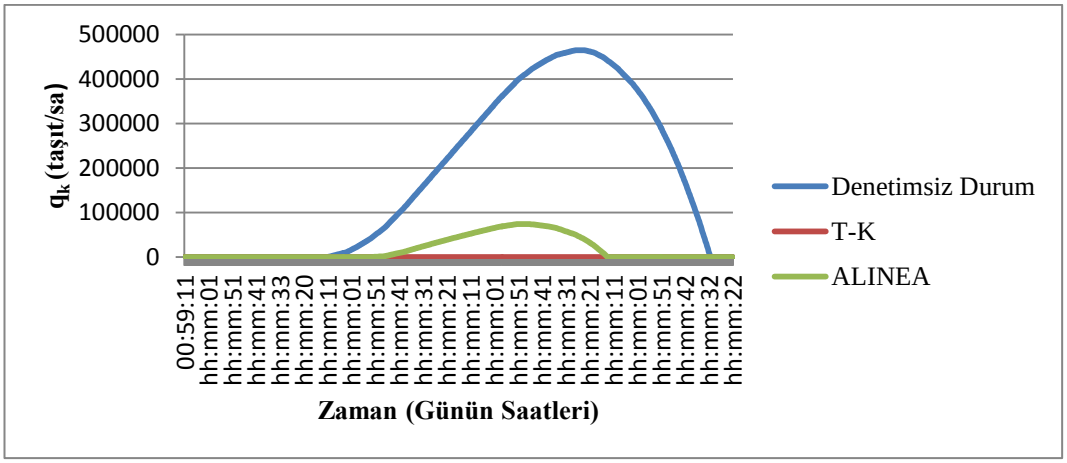
Senaryo – 3 için denetimsiz durum, ALINEA Algoritması ve Talep – Kapasite Yöntemi uygulaması ile aşağı akım hacmi çıktılarını ifade eden fonksiyonları Şekil 5.15'de, aşağı akımdaki kuyruklanmayı Şekil 5.16'te ve katılımdaki kuyruklanma Şekil 5.17'de gösterilmiştir. Anakol aşağı akım hacmi karşılaştırmalarında Senaryo – 3'de ALINEA algoritması en olumsuz akım koşullarını yansıtmıştır, denetimsiz

durum en iyi akım koşullarını sağlarken, Talep - Kapasite yöntemi başarımda ikinci sırayı almıştır.



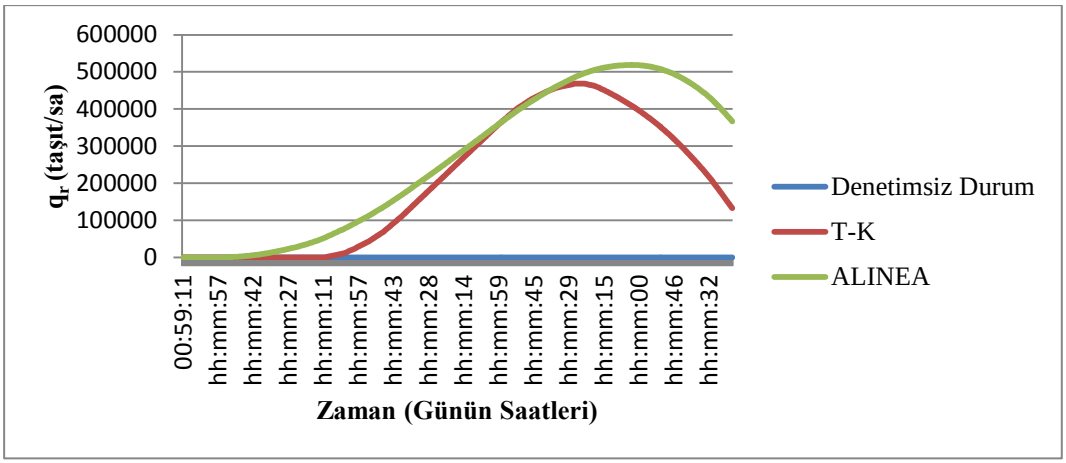
Şekil 5.15 Senaryo 3 Başarım Çözümlemesi – Aşağı Akım Hacmi

Şekil 5.16'da aşağı akımdaki eklenik kuyruklanma miktarları karşılaştırıldığında denetimsiz durumda en çok kuyruklanma meydana gelirken, ALINEA algoritmasındaki kuyruklanma ikinci sırada yer almış ve Talep – Kapasite algoritmasında herhangi bir kuyruklanma oluşmamıştır.



Şekil 5.16 Senaryo 3 Başarım Çözümlemesi – Aşağı Akımdaki Eklenik Kuyruklanma

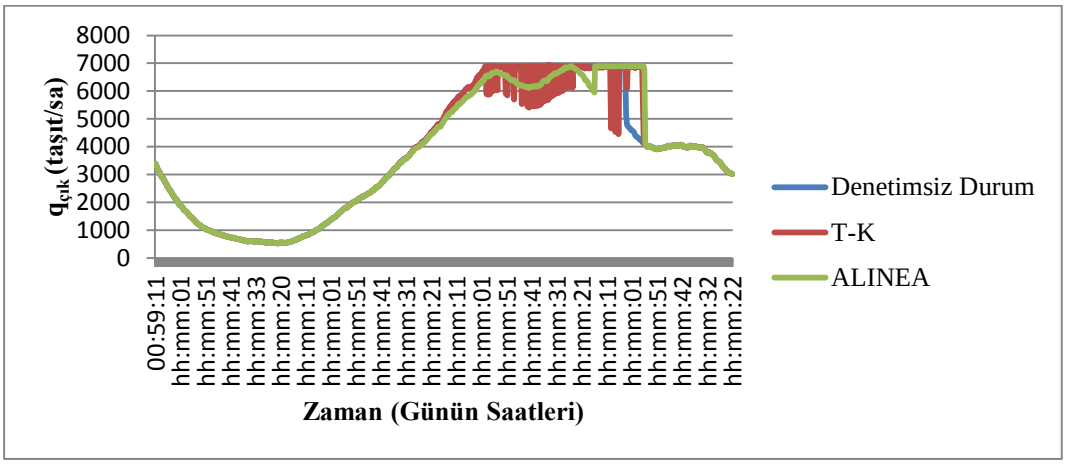
Şekil 5.17'de katılımdaki eklenik kuyruklanma miktarları karşılaştırıldığında ALINEA algoritmasında en çok kuyruklanma meydana gelirken, Talep – Kapasite yönteminde daha az kuyruklanma meydana gelmiştir, denetimsiz durumda herhangi bir kuyruklanma oluşmamıştır.



Şekil 5.17 Senaryo 3 Başarım Çözümlemesi – Katılımdaki Eklenik Kuyruklanma

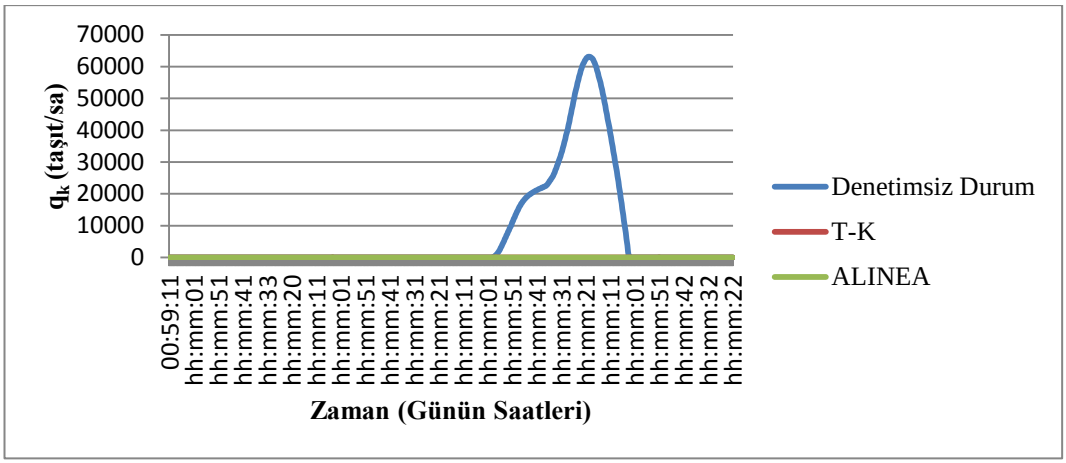
5.2.4. Senaryo 4

Senaryo – 4 için denetimsiz durum, ALINEA Algoritması ve Talep – Kapasite Yöntemi uygulaması ile aşağı akım hacmi çıktılarını ifade eden fonksiyonları Şekil 5.18'de, aşağı akımdaki kuyruklanmayı Şekil 5.19'da ve katılımdaki kuyruklanma Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Anakol aşağı akım hacmi karşılaştırmalarında Senaryo – 3'de Talep - Kapasite yöntemi en olumsuz akım koşullarını yansıtmıştır, ALINEA algoritması en iyi akım koşullarını sağlarken, denetimsiz durum başarımda ikinci sırayı almıştır.



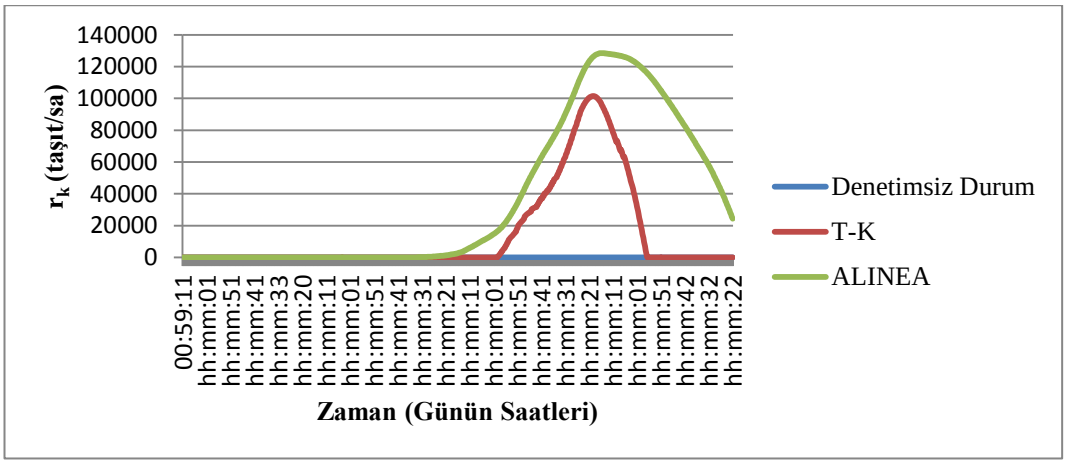
Şekil 5.18 Senaryo 4 Başarım Çözümlemesi – Aşağı Akım Hacmi

Şekil 5.19'da aşağı akımdaki eklenik kuyruklanma miktarları karşılaştırıldığında denetimsiz durumda en çok kuyruklanma meydana gelirken, ALINEA algoritmasında ve Talep – Kapasite yönteminde herhangi bir kuyruklanma oluşmamıştır.



Şekil 5.19 Senaryo 4 Başarım Çözümlemesi – Aşağı Akımdaki Eklenik Kuyruklanma

Şekil 5.20'de katılımdaki eklenik kuyruklanma miktarları karşılaştırıldığında ALINEA algoritmasında en çok kuyruklanma meydana gelirken, Talep – Kapasite yönteminde daha az kuyruklanma meydana gelmiştir, denetimsiz durumda herhangi bir kuyruklanma oluşmamıştır.



Şekil 5.20 Senaryo 4 Başarım Çözümlemesi – Katılımdaki Eklenik Kuyruklanma

Yapılan hesaplamalar sonucunda başarım çözümlemeleri Çizelge 5-18, Çizelge 5-19, çizelge 5–20'de değerlendirilmiştir. Çizelge 5-18 aşağı akım hacmi başarım çözümlemesini, Çizelge 5-19 aşağı akımdaki kuyruklanmayı, Çizelge 5-20 katılımlardaki kuyruklanmaları ifade etmektedir.

Çizelge 5.18 ‘q/c’ Oranına Göre Aşağı Akım Hacmi Başarım Çözümlemesi

Senaryolar	En iyi başarım	İkinci iyi başarım	En olumsuz koşullar
Senaryo – 1	Denetimsiz Durum	Talep - Kapasite	ALINEA
Senaryo – 2	Denetimsiz Durum	ALINEA	Talep - Kapasite
Senaryo – 3	Denetimsiz Durum	Talep - Kapasite	ALINEA
Senaryo – 4	Talep - Kapasite	Denetimsiz Durum	ALINEA

Çizelge 5.19 Aşağı Akım Kuyruklanma

Senaryolar	En çok kuyruklanma	İkinci Kuyruklanma	En az Kuyruklanma
Senaryo – 1	Denetimsiz Durum	-	Talep – Kapasite, ALINEA
Senaryo – 2	Denetimsiz Durum	ALINEA	Talep - Kapasite
Senaryo – 3	Denetimsiz Durum	ALINEA	Talep - Kapasite
Senaryo – 4	Denetimsiz Durum	-	Talep – Kapasite, ALINEA

Çizelge 5.20 Katılımdaki Kuyruklanma

Senaryolar	En çok kuyruklanma	İkinci Kuyruklanma	En az Kuyruklanma
Senaryo – 1	ALINEA	Talep – Kapasite	Denetimsiz Durum
Senaryo – 2	ALINEA	Talep – Kapasite	Denetimsiz Durum
Senaryo – 3	ALINEA	Talep – Kapasite	Denetimsiz Durum
Senaryo – 4	ALINEA	Talep – Kapasite	Denetimsiz Durum

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Trafik yönetimi, teknolojik olanakların artması, akıllı ulaştırma sistemlerinin gelişmesi ile birlikte dünyanın gelişmiş ülkelerinde gerçek zamanlı olarak yapılandırılmaktadır. Trafik yönetim izlemlerinden beklenen faydalar 'güvenliğin artması, hızın artması, yolculuk süresinin azalması, servis düzeyinin artması, enerji ve çevre verimliliğinin artması, kullanıcı memnuniyetinin artması' şeklinde özetlenebilir.

Katılım denetimi 60'lı yıllardan beri birçok ülkede kullanılan yaygın bir trafik yönetim izlemidir ve beklenen faydaları sağladığı birçok uygulamada görülmüştür.

Bu çalışmada otoyol ağlarında katılım bulunan kesimlerde trafik akımını düzenlemek ve dolayısıyla otoyol trafiğini yönetmek için faydalanılan katılım denetimi yaklaşımı ve bu yaklaşım kapsamında geliştirilmiş denetim algoritmaları incelenmiştir. Seçilen yöntemlerin farklı akım koşulları altındaki başarımları, göreli olarak karşılaştırılmış ve katılım denetimi yaklaşımının, uygulama alanlarına ve akım koşullarına ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

Dört şeritli anakol ve iki şeritli katılımdan oluşan bir yol kesimine, 00:59 – 23:59 saatleri arasındaki zaman süreci boyunca dört farklı talep senaryosu uygulanmıştır. Uygulamadaki senaryolardan ilk üç tanesi kuramsal yüklemelere göre, dördüncü ise İstanbul Büyükdere Caddesi'ndeki RTMS'den elde edilen gerçek zamanlı verilere göre oluşturulmuştur. Yol kesiminin, aşağı akım hacimleri ($q_{çık}$), aşağı akımda oluşan kuyruklanma ve katılımda oluşan kuyruklanma; denetimsiz durum, Talep – Kapasite yaklaşımı ve ALINEA algoritması kullanılarak dört senaryoda başarım çözümlemesi yapılıp, tam günlük süreçte karşılaştırılmıştır.

Yapılan uygulamada kullanılan senaryolar düzenli ve düzensiz veri grupları olarak kümelendiği durumda, ilk üç senaryodaki bütün talep değerleri anakol ve katılım kolu kapasite değerinin altında ve belirli bir düzene sahip fonksiyonlardır. Senaryo – 4 ise gözlemlenmiş gerçek akım koşullarını içermektedir. Uygulamada yapılan

varsayıma göre, her bir senaryodaki t = 0 anında katılım kesiminin tamamı boştur, 23 saatlik yükleme sonunda ise yükleme kesilmiştir.

İlk üç senaryoda, algoritmalar, aşağı akım hacmi değerlerinde, denetimsiz duruma üstünlük sağlayamamış, başka bir deyişle katılım denetimi herhangi bir fayda ortaya koymamıştır. Bu durumda, anakol akım hacmi ve katılım akım hacminin belirli bir düzende artması, azalması ya da sabit olması durumlarında katılım denetimi fayda sağlamamaktadır. Söz konusu senaryolarda ALINEA algoritması katılım akım hacmini kısıtlayarak çıkan taşıt sayısını düşürmüştür.

Gerçek gözlem değerleri ile yapılan hesaplamalarda ise (Senaryo – 4) aşağı akım hacmi değerlerinde en iyi sonucu Talep – Kapasite yöntemi verirken, denetimsiz durum da ALINEA algoritmasına üstünlük sağlamıştır.

Aşağı akımdaki kuyruklanmalar değerlendirildiğinde her senaryoda en çok kuyruklanma denetimsiz durumda oluşmuşken, ikinci büyük miktardaki kuyruklanma senaryo – 2 ve senaryo – 3'te ALINEA algoritması uygulandığında gerçekleşmiştir. Senaryo – 1 ve Senaryo – 4'te ALINEA algoritması ve Talep – Kapasite yöntemlerinde herhangi bir kuyruklanma oluşmamıştır.

Katılımdaki kuyruklanmalar değerlendirildiğinde her senaryo için ALINEA algoritmasında en çok kuyruklanma meydana gelmiştir. Talep – Kapasite yönteminde katılımda ikinci en çok kuyruklanma gözlemlenmiştir. Denetimsiz durumda katılımlarda kuyruklanma oluşmamıştır.

Literatürde, gerçek zamanlı verilerle, ALINEA algoritmasının diğer yöntemlere üstün gelen bir uygulama olmasına karşın, Senaryo – 4'te ALINEA algoritması üstünlük sağlayamamıştır. İşgal tabanlı olan ALINEA algoritmasında akım hacmi ve işgal arasındaki eğrisel ilişkinin, uygulama gözleme dayalı yapılmadığından doğrusal kabul edilmesi ve senaryolarda işgal hesaplanırken doğrusal interpolasyon kullanılması bir ALINEA algoritmasının başarımını etkileyen bir diğer varsayımdır. Her bir senaryodaki t = 0 anında katılım kesiminin tamamı boş olması varsayımı ise iki algoritmanın da ilk değerlerinin belirlenmesinde etkilidir. Fakat ALINEA algoritmasında belirlenen denetim hacminin ilk değerinin, en küçük denetim hacmi değerine eşit olmasına neden olmuştur ki; ALINEA geri beslemeli bir yapıya sahip olduğundan, ilk denetim hacmini takip eden bütün denetim hacimleri etkilenmiştir.

Katılımdaki kuyruklanmalarda en çok kuyruklanma ALINEA algoritmasında görülmüştür. Bu durum, algoritmanın kısıtlayıcılığı nedeniyle olağandır.

Sonuç olarak katılım denetimi, trafik akım şartlarına benzer şartlarda, başka bir deyişle düzenli olmayan yüklemelerde olumlu sonuçlar vermektedir.

İstanbul çevre yolları başta olmak üzere ülkemizin tekrarlı tıkanıklık yaşanan birçok güzergâhta akıllı sistemlerle trafik yönetim izlemlerinin hayata geçirilmesine gereksinim duyulduğu, üzerinde durulması gereken bir konudur. Katılım denetimi izlemi için oluşturulacak altyapının aynı zamanda kaza – olay yönetimi izlemleri için de kullanılabileceği, karar vericilerin dikkatle irdelemesi gereken bir noktadır.

KAYNAKLAR

Ardekani, S. and Herman R. H., 1987: Urban Network-wide Traffic Variables and their Relations, Transportation Science 21, pp. 1-16.

Arnold E.D., 1998: Ramp Metering: A Review of The Literature, Virginia Transportation Research Council, Technical Assistance Report, VTRC 99-TAR5, Charlottesville, Virginia, December 1998.

Athol, P., 1965: Interdependence of Certain Operational Characteristics Within a Moving Traffic Stream, Highway Research Record, 72, pp. 58-87.

Balta, H.C., 2002: Otoyol Girişi Denetimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Ocak 2002.

Barcelo, J., 1996: The parallelization of AIMSUN2 microscopic traffic simulator for ITS applications. The 3rd World Conference on Intelligent Transport Systems, Orlando, USA, October 14-18.

Ben-Akiva, M.E., Bierlaire, M., Koutsopoulos, H.N., Mishalani, R.G., 1998: DynaMIT: a simulation-based system for traffic prediction and guidance generation. Paper presented at TRISTAN III, San Juan, Porto Rico.

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

Cascetta, E., Cantarella, G.E., Di Gangi, M., 1991: Evaluation of control strategies through a doubly dynamic assignment model. Transportation Research Record 1306, 1-13.

Cassidy, M. J., 1999: Traffic Flow and Capacity, in Handbook of Transportation Science. Edited by R. W. Hall, Kluwer Academic Publishers, USA, ISBN 1-4020-7246-5.

Celikoglu H.B. and Dell'Orco M., 2007: Mesoscopic simulation of a dynamic link loading process, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 15, no. 5, pp. 329-344, Oct. 2007

Celikoglu H.B., Gedizlioglu E., and Dell'Orco M., 2009: A node-based modeling approach for the continuous dynamic network loading problem., IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 10, no.1, pp.165-174.

Celikoglu H.B., 2009: Intelligent Transportation Systems., unpublished lecture notes, Fall 09-10, Istanbul Technical University,2009.

Chu, L., Liu, H.X., Recker W., Zhang, M., 2004: Performance Evaluation of ITS Strategies Using Microscopic Simulation, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 130, No. 3, May 1, 2004, ASCE.

Coifman, B., Beymer, D., McLauchlan, P., and Malik, J., 1998: A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 6, no. 4, pp. 271-288, Aug. 1998.

Çelikoğlu, H.B., Gürcanlı, G.E. ve Cığızoğlu, H.K., 2008: 'Karayolu Güvenliği Düzenlemeleri için Karma Yapay Sinir Ağı Yöntemleri: Güvenlik İndeksi Kalibrasyonu ve Akıllı Ulaşım Sistemleri Temelli Güvenlik Denetimi.' TÜBİTAK MAG projesi, proje no 108M299, 1. Gelişme raporu, Nisan 2009.

Çelikoğlu, H.B., 2009: Trafik Akım Kuramı dersi yayınlanmamış ders notları, İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Mühendisliği Lisansüstü Programı.

Daganzo, C. F., 1994: The cell transmission model: a simple dynamic representation of highway traffic. Transportation Research, Vol. 28B, No. 4, pp. 269-287.

Daganzo, C. F., 1995a: Requiem for second-order approximations of traffic flow. Transportation Research, Vol. 29B, No. 4, pp. 277-286.

Daganzo, C. F., 1995b: The cell transmission model, part II: network traffic. Transportation Research, Vol. 29B, No. 2, pp. 79-93.

Daganzo, C. F., 1995c: Properties of link travel time functions under dynamic loads. Transportation Research, Vol. 29B, No. 2, pp. 93-98.

Daganzo, C. F., 1997: Fundamentals of Transportation and Traffic Operations, Elsevier Science Ltd., ISBN 0-08-042785-5.

Dailey, D. J., Cathey, F. W., and Pumrin, S., 2000: An algorithm to estimate mean traffic speed using uncalibrated cameras., IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems, vol. 1, no. 2, pp. 98-107, Jun. 2000.

Davis,G., Contresas,M., Medina, J., 2000: Ramp Meter Design Manual, Traffic Operation Program, Department of California Highway Patrol, January 2000.

Edie, L. C., 1974: Flow Theories, in Traffic Science, D. C Gazis, Editor, Wiley, New York.

England Highway Agency, EHA, 2008: Ramp Metering: Keeping Traffic Running Smoothly, England Highway Agency, Publications Code: PR225/08.

Forbes, T.W., 1963. Human factor considerations in traffic flow theory. Highway Research Record, no. 15, pp. 60–66.

Friedrichs N.K. Consulting, Inc., Cambridge Systematics, Inc. with SRF Consulting Group, Inc. (2000), '*Twin Cities Ramp Meter Evaluation, Executive Summary'*, Minnesota Department of Transportation, Chapter 479, HF289, 2000.

Gazis, D.C., Herman, R., and Potts, R.B., 1959. Car-following theory of steady-state traffic flow. Operations Research, vol. 7, pp. 499–505.

Gazis, D.C., Herman, R., and Rothery, R.W., 1961. Nonlinear follow-the-leader models of traffic flow. Operations Research, vol. 9, pp. 545–567.

Gazis, D. C. and Potts, R. B., 1965: The over-saturated intersection', Proceeding of Second International Symposium on the Theory of Road Traffic Flow, (J. Almond, editor), pp 221-237, OECD, Paris, France.

Gedizlioğlu, E., Akad, M. (1992), 'Kentiçi Şişeboynu Kesimlerde Kapasite Kullanma; Boğaziçi Köprüsü Örneği', 2. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, İTÜ İnş. Fak. İstanbul, İnşaat Müh. Odası İst. Şubesi, 16-18 Aralık 1992, 323-338.

Gedizlioğlu, E., Çelikoğlu, H.B., 2008: Trafik Yönetimi dersi yayınlanmamış ders notları, İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Mühendisliği Lisansüstü Programı.

Gedizlioğlu, E., Çelikoğlu, H.B., 2009: Trafik Tekniği ve Etüdü dersi yayınlanmamış ders notları, İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Mühendisliği Lisansüstü Programı.

Gerlough, D. L. and Huber M. J., 1975: Traffic Flow Theory: a Monograph. Special Report 165, Transportation Research Board (Washington DC: National Research Council).

Gibson, D., Mills, M. K., and Klein, L. A., 2007: A new look at sensors. Public Roads magazine (FHWA-HRT-08-001), vol. 71, no. 3, Nov./Dec. 2007.

Gipps, P.G., 1981. A behavioural car following model for computer simulation. Transportation Research Part B, vol. 15, pp. 105–111.

Gupte, S., Masoud, O., Martin, R. F. K., and Papanikolopoulos, N. P., 2002: Detection and classification of vehicles. IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems, vol. 3, no. 1, pp. 37-47, Mar. 2002.

Güngör, B., Baytekin, D., Pamuk, E., Arslan, U. 2009: Otoyol Kesimlerinde Kapasite Çözümlemesi ve Hizmet Düzeyinin Belirlenmesi, İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Lisans Bitirme Ödevi.

Haight, F. A., 1963: Mathematical Theories of Traffic Flow, (New York: Academic Press)

Hall, F. L., 1994: *'Traffic Stream Characteristics'*, in Traffic Flow Theory (Edited by H. Lieu), Transportation Research Board Special Report to Federal Highway Administration.

Hernandez, S., Saito, M., Yedlin, M., Neyysen, J., Sherman, S.E., 2005: Evaluating The Benefits of Coordinated Ramp Metering Algorithms Using WATSIM, Journal of Transportation Engineering, 2005, ASCE.

Hurdle, V. F., 1994: Personal communication of Fred L. Hall, in Traffic Stream Characteristics.

Highway Capacity Manual, HCM, 2000: Transportation Research Board, National Academy of Sciences, ISBN 0-309-06681-6.

ITE, 1976: Institute of Transportation Engineers, Transportation and Traffic Engineering Handbook, J.E. Bearwald, Editor. Prentice-Hall.

ITE, 1992: Institute of Transportation Engineers, Traffic Engineering Handbook, 4th Edition, J.L. Pline, Editor. Prentice-Hall.

Jacobson, L., Stribiak, J., Nelson, L., Sallman, D., 2006: Ramp Management and Control Handbook', Federal Highway Admistration, U.S. Department of Transportation, January 2006, Report No: FHWA-HOP-06-001

Jayakrishnan, R., Mahmassani, H., Hu, T., 1994: An evaluation tool for advanced traffic information and management systems for urban networks. Transportation Research C 2, 129-147.

Kachroo, P., Ozbay, K., 2003: Feedback Ramp Metering in Intelligent Transportation Systems, Kluver Academic/ Plenum Publishers, Newyork 223 Spring Street, Newyork 10013, ISBN: 0-306-47801-3

Kennedy, N., J. H. Kell, and Homburger W., 1973: Fundamentals of Traffic Engineering, 8th edition. Institute of Transportation an Traffic Engineering, Berkeley, CA.

Kunkel, F., 1999: Ramp Metering: Applications In France, CERTU (Centre d'Etudes sur les Rdseaux, les Transports, I'Urbanisme et les constructions publiques), 1999.

Lawrance, A.K., 2006: Traffic Detection Handbook: Third Edition Volume 1-2, Federal Highway Admistration, U.S. Department of Transportation, October 2006, Report No: FHWA-HRT-06-108

Lebacque, J. P., 1996: The Godunov scheme and what it means for first order traffic flow models. Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory (ISTTT), Lyon, July 24-26, pp. 647-677.

Leonard, D. R., Tough, J. B. and P. C. Baguley, 1978: CONTRAM: A traffic assignment model for predicting flows and queues during peak periods. TRRL Report, 841, Crowthorne.

Leutzbach, W., 1972: Einffuhrung in die Theorie des Verkehrsflusses, Springer, Berlin.

Leutzbach, W., 1987: Introduction to the Theory of Traffic Flow, Springer-Verlag, New York.

Lighthill, M. J., Whitham G.B., 1955: On Kinematik Waves. I flow movement in long rivers. II A theory of traffic flow on long crowded roads. Proceedings of the Royal Society A 299 No. 1178 pp. 281-345.

Linsley, R. K., Franzini, J.B., 1955: *'Elements of Hydraulic Engineering'*, Mc-Graw Hill, New York, N.Y.

Masher, D. P., Ross, D. U. , Uong. P. J, Tuan, P. L, Zeidler. Peracek, S., 1975: Guidelines for design and operating of ramp control systems, Report of Standford Research Institut, Menid Park, California

May, A. D., 1990: Traffic Flow Fundamentals, Prentice-Hall, ISBN 0-13-926072-2.

Messmer, A., Papageorgiou, M., 1990. METANET: a macroscopic simulation program for motorway networks. Traffic Engineering & Control 31, 466-470 and 549.

McDermott, J.M., Kolenko, S.J., and Wojcik RJ., 1979: Chicago Area Expressway Surveillance and Control: Final Report, Illinois DOT, March 1979.

Michalopoulos, P.G., Hourdakis, J., 2006: Requirements and Procedures for Employing Simulation in ITS Applications, Applications of Advanced Technology in Transportation, ASCE, Sayfa 795-802, 2006

Mirchandani, P., Zou, N., 2006: Analytical Modeling of Meter Systems, Proceedings of the IEEE ITSC 2006, Toronto, Canada, September 17-20, 2006.

Moskowitz, K., 1954: Waiting for a gap in a traffic stream, Proceeding of Highway Research Board, 33, 385-395.

Nam, H., Drew, D.R., 1996: Traffic Dynamics: Method For Estimating Freeway Travel Times in Real Time From Flow Measurements, Journal of Transportation Engineering, Vol. 122, No.3, May/June, 1996, ASCE.

Neudorff, L.G., Randall, J.E., Reiss, R., Gordon, R., 2003: Freeway Management and Operations Handbook. Publication FHWAOP-04-003. FHWA, U.S. Department of Transportation. September 2003.

Newell, G. F., 1971: Applications of Queuing Theory, Chapman Hall, London.

Newell, G. F., 1979: Airport Capacity and Delays', Transportation Science 13, 201-241.

Newell, G. F., 1989: Theory of Highway Traffic Signals, Insutute of Transportation Studies UCB-ITS-CN-89-1, University of California, Berkeley, USA.

Newell, G. F., 1982: Applications of Queuing Theory, 2nd edition, Chapman Hall, London.

Newell, G. F., 1993: A Simplified theory of kinematic waves in highway traffic, I general theory,II queuing at freeway bottlenecks,III multi destination flows. Transortation Research, 27Bi 281-313.

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

Papageorgiou, M., Kosmatopoulos, E.B., Papamichail, I., Wang, Y., 2008: A Misapplication of the Local Ramp Metering Strategy ALINEA. ;IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems(2008)360-365

Piotrowicz, G. and Robinson, J., 1995: 'Ramp Metering Status in North America';1995 Update. Publication DOT-T-95-17. Federal Highway Administration (FHWA), U.S. Department of Transportation. June 1995.

Pipes, L.A., 1966. Car following models and the fundamental diagram of road traffic. Transportation Research, vol. 1, no. 1, pp. 21–29.

Prevedouros, P.D., 1999: *H-1 Freeway Ramp Closure: Simulation and Realworld Experiment*. Transportation Research Board 78th Annual Meeting. January 1999.

Richards, P. I., 1956: Shockwaves on the highway. Operations Research, Vol. 4, pp. 42-51.

Rilett, L., Benedek, C., Rakha, H. and VanAerde M., 1994: Evaluation of IVHS options using CONTRAM and INTEGRATION. First World Congress on Applications Transport Telematics and Intelligent Vehicle Highway Systems, Paris, France, November 30 – December 3.

Rothrock, C. A. and Keefer, L. A., 1957: Measurement of Urban Traffic Congestion, Highway Research Board Bulletin 156, pp. 1-13.

Smaragdis, E., Papageorgiou, M., 2003: A series of new local ramp metering strategies', 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, Paper No. 03-3171.

Smaragdis, E., Papageorgiou, M., Kosmatopoulos, E., 2004: A Flow Maximizing Adaptive Local Ramp Metering Strategy, Transportation Research Part B 38 (2004), 251-270.

Soh, J., Chun, B. T., and Wang, M., 1995: Analysis of road image sequences for vehicle counting. Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics: Intelligent Systems for the 21st Century, 22-25 Oct. 1995, Vancouver, BC, Canada, vol. 1, pp. 679-683.

Şahin, İ., 2001: İstanbul Boğaziçi Köprüsü Bağlantı Yollarında Kapasite Kullanım Düzeylerinin Araştırılması, TMMOB İMO 5. Ulaştırma Kongresi, 30 Mayıs – 1 Haziran 2001.

Şahin, İ., Akyıldız, G., Zorer, A., Gedizlioğlu, E., 2004: Uzun Otoyol Kuyruklarının İncelenmesi ve İyileştirme Stratejilerinin Araştırılması, TÜBİTAK PROJESİ, Proje No: İÇTAG-I920, Ocak 2004, İstanbul.

Taale, H. and Middelham, F., 2000: Ten Years of Ramp Metering in the Netherlands, 10th International Conference on Road Transport Information and Control, IEE, London, April 2000, Conference Publication No. 472, IEE 2000.

Tseng, B. L., Lin, C. Y., and Smith, J. R., 2002: Real-time video surveillance for traffic monitoring using virtual line analysis. Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME '02), vol. 2, pp. 541- 544.

Van Aerde, M., Yagar, S., Ugge, A. and Case E. R., 1987: A review of candidate freeway arterial corridor traffic models. Transportation Research Record, Vol. 1132, pp. 53-65.

Wardrop, J. G., 1952: Some theoretical aspects of road traffic research, Proceedings of the Institution of Civil Engineers., Part II, pp. 325-362; Discussion, 362-378.

Yaşar, I., Ozbay, K., Kachroo, P., 2006: Evaluation of New coordinated feedback based freeway ramp metering strategy using macroscopic and microscopic simulation models, AATT 2006, ASCE.

Zhang, M., Kim, T., Nie, X., Jin, W., 2001: Evaluation of On-ramp Control Algorithms, California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2001-36

Zhang, L., Levinson D., 2005: Balancing Efficiency and Equity of Ramp Meters, Journal of Transportation Engineering, Vol. 131, No. 6, June 1, 2005, ASCE.

Zheng, F., Du, Y., Sun, L., 2009: ALINEA-Based Urban Expressway On-ramp Local Metering Strategy, ICCTP 2009: Critical Issues in Transportation Systems Planning, Development, and Management, 2009, ASCE.

Zorer, A., 2003: Katılım Kontrolü Simülasyonu: Boğaziçi Köprüsü ve Çevreyolunda (0-1) Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, YTU, 2003

URL-1 < www.transit.gov.nz >, alındığı tarih, 04.12.2010.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Çağlar DEMİRAL

Doğum Yeri ve Tarihi: Kocaeli / 07.01.1985

Adres: Sanayi Mah. Kiptaş 3. Etap Konutları A5 Blok Daire 33

E-Posta: ucyapidanismanlik@gmail.com

Lisans: Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller: U-Art Müşavirlik Ltd, Fi Yapı Sanayi ve Tic. Ltd. Şti, Dost İnşaat ve Proje Yönetimi Ltd. Şti, Uç Yapı Danışmanlık ve Proje Yönetimi Ltd. Şti.