

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOYOL VE EKSPRES YOLLARDA KATILIM DENETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS  
Gökçe YASLAN**

**Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği Anabilim  
Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Programı : Ulaştırma Programı**

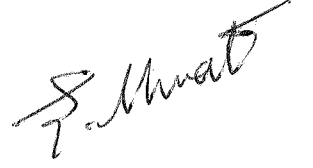
**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yetiş Şazi MURAT**

**HAZİRAN 2012**

## YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 091131047 nolu öğrencisi Gökçe YASLAN tarafından hazırlanan “OTOYOL VE EKSPRES YOLLARDA KATILIM DENETİMİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı :** Doç. Dr. Yetiş Şazi MURAT (PAÜ)  
(Jüri Başkanı)



**Eş Danışman :**


**Jüri Üyesi :** Doç. Dr. Serdar İPLİKÇİ (PAÜ)



**Jüri Üyesi :** Yrd. Doç. Dr. Sabit KUTLUHAN (PAÜ)



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01/08/2022.. tarih ve ...19/22..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**  
**Prof. Dr. Nuri KOLSUZ**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı : Gökçe YASLAN

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada otoyol ve ekspres yollarda katılım denetiminin detaylarına, bu konuyla ilgili önceki çalışmalara ve SIDRA analizlerine yer verilmiştir. Ülkemizde uygulamasına çok fazla rastlanmayan bir uygulama olduğu için önceki çalışmalar örnek olarak alınmış ve bunun doğrultusunda yeni veriler üreterek sağlıklı sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. İngiliz Yöntemi ve Bulanık Mantık Yöntemi ile analiz yapılarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın sonucunda bulanık mantık esaslı katılım denetimi önerilmiştir.

Tez çalışması sırasında her açıdan bana yardımcı olan danışmanım Doç. Dr. Yetiş Şazi MURAT' a teşekkür ederim. Diğer taraftan analizleri oluşturmamda bana çok yardımcı olan Araştırma Görevlisi Ziya ÇAKICI'ya teşekkür ederim.

Beni tez çalışmam boyunca teşvik eden ve her zaman arkamda olduklarını bildiğim sevgili annem, babam ve ablama çok teşekkür ederim.

Haziran 2012

Gökçe YASLAN  
(İnşaat Mühendisi)

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>x</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.2 Tezin Kapsamı.....	2
<b>2. OTOYOL VE EKSPRES YOLLARDA KATILIM DENETİMİ</b> .....	<b>3</b>
2.1 Katılım Denetiminin Amacı .....	5
2.2 Katılım Denetiminin Yaratabileceği Etkiler.....	5
2.3 Katılımların Anayola Etkileri .....	6
2.4 Katılım Denetiminin Üstünlükleri ve Sakıncaları .....	6
2.5 Uygulanmasına Göre Katılım Stratejileri.....	9
2.5.1 Tek şerit her yeşilde bir taşıt .....	9
2.5.2 Tek şerit her yeşilde çok taşıt.....	9
2.5.3 Çift şeritli katılım .....	9
2.6 Katılım Denetimi Türleri.....	10
2.6.1 Önceden zaman ayarlı denetim .....	11
2.6.2 Yerel uyarmalı denetim.....	13
2.6.3 Sistem bazlı denetim .....	15
2.7 Denetim Türünün Seçimini Etkileyen Faktörler .....	17
<b>3. ÖNCEKİ ÖRNEK KATILIM DENETİMİ UYGULAMALARI</b> .....	<b>20</b>
<b>4. BULANIK MANTIK ESASLI KATILIM DENETİMİ</b> .....	<b>26</b>
4.1 Bulanık Mantık Denetim Aşamaları .....	26
4.2 Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Otoyol Katılım Denetimi Modeli .....	29
4.2.1 Otoyoldaki akımın geliş aralığı.....	29
4.2.2 Katılım kolundaki kuyruk uzunluğu .....	30
4.2.3 Katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı .....	30
4.2.4 Katılım kolu için kırmızı sinyal süresi kararı.....	31
<b>5. SIDRA ANALİZLERİ</b> .....	<b>35</b>
<b>6. SONUÇLAR</b> .....	<b>44</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>45</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>47</b>

## **KISALTMALAR**

<b>FIFO</b>	: First In First Out
<b>O-D</b>	: Origin-Destination
<b>KKO</b>	: Katılım Kontrol Oranı
<b>LP</b>	: Linear Programme
<b>WJC</b>	: Wooton & Jeffreys Consultant

## TABLO LİSTESİ

### Tablolar

2.1 : İşgal yüzdesi ve katılım kontrol oranının ilişkilendirilmesi .....	14
5.1 : Trafik hacim değerleri. ....	36
5.2 : Sinyalsiz tasarım sonuçları. ....	37
A.1 : Karşılaştırmalı performans sonuçları.....	47
A.2 : Karşılaştırmalı performans sonuçları-kavşak. ....	49
A.3 : Karşılaştırmalı doygunluk ve etkin kavşak kapasite değerleri. ....	50

## ŞEKİL LİSTESİ

### Şekiller

2.1 : Denetim için algılayıcıların yerleri.....	4
2.2 : Yol geometrisinden (a) ve katılımdan (b) kaynaklanan darboğaz etkisi .....	6
2.3 : Katılım kontrol stratejilerinin kalitesi.....	10
2.4 : Önceden zaman ayarlı kontrol uygulaması.....	12
2.5 : Bölge bazlı kontrol uygulaması.....	15
2.6 : Sistem bazlı denetim uygulaması.....	16
2.7 : Katılım denetimi türlerinin genel çalışma prensipleri... ..	17
3.1 : Hanshin Otoyolu denetim aşamaları.....	21
3.2 : M6 Otoyolu 10 nolu denetim yapılan katılımı... ..	23
4.1 : Bulanık mantık denetim aşamaları... ..	27
4.2 : Duyarlılığın (i) bulanık, (ii) klasik gösterilişi.....	28
4.3 : Otoyoldaki akımın geliş aralığı parametresine ait üyelik fonksiyonu... ..	29
4.4 : Katılım kolundaki kuyruk uzunluğu parametresine ait üyelik fonksiyonu.	30
4.5 : Katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı parametresine ait üyelik fonksiyonu.....	30
4.6 : Otoyol katılım denetimi modeli çıktı parametresinin üyelik fonksiyonu... ..	31
5.1 : Şematize edilmiş kavşak modeli.....	35
5.2 : Sinyalsiz tasarımda gecikme grafiği.....	37
5.3 : Sinyalsiz tasarımda işletme maliyeti grafiği.....	38
5.4 : Sinyalsiz tasarımda yakıt tüketimi grafiği... ..	38
5.5 : Sinyalsiz tasarımda CO <sub>2</sub> emisyonu grafiği.....	39
5.6 : Karşılaştırmalı ortalama gecikme grafiği... ..	40
5.7 : Karşılaştırmalı işletme maliyeti grafiği... ..	41
5.8 : Karşılaştırmalı seyahat süresi grafiği.....	41
5.9 : Karşılaştırmalı seyahat hızı grafiği.....	42
5.10 : Karşılaştırmalı kuyruk uzunluğu grafiği (taşıt cinsinden)... ..	42
5.11 : Karşılaştırmalı kuyruk uzunluğu grafiği (mesafe cinsinden)... ..	43
5.12 : Karşılaştırmalı devir süresi grafiği ... ..	43



## SEMBOL LİSTESİ

$\ddot{u}_A(x_i)$  : n elemanlı A kümesinin i. Elemanı  $x_i$ ' nin üyelik derecesi

## ÖZET

### OTOYOL VE EKSPRES YOLLARDA KATILIM DENETİMİ

Bu çalışmada, şehir içi ulaşımında önemli rol oynayan ve otoyol ve ekspres yolların kapasitelerini daha verimli kullanabilmek için geliştirilmiş olan kapasite paylaşım yöntemlerinden otoyol ve ekspres yollarda katılım denetimi konu edilmiştir. Öncelikle otoyol ve ekspres yol kapasitesinin verimli kullanımının önemi ve gerekliliği üzerinde durulmuştur. Katılım denetiminin üstünlükleri, sakıncaları, amacı, anayola etkisi ve yaratabileceği etkiler incelenmiştir. Katılım denetimi türleri üzerinde durulmuş ve şekillerle uygulamaları açıklanmıştır. Önceki çalışmalar incelenerek bulanık mantıkla katılım denetimi modeli geliştirilmiştir.

Son olarak çift kollu bir kavşak modeli tasarlanmış ve karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Analizler sonucunda, Bulanık Mantık Denetim Modeli'nin geleneksel yaklaşımlara göre daha etkin olduğu belirlenmiş ve Bulanık Mantık Yöntemi ile katılım denetimi önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Katılım Denetimi, Bulanık Mantık Yöntemi

## **SUMMARY**

### **RAMP METERING IN HIGHWAYS AND EXPRESSWAYS**

In this work, ramp metering in highways and expressways which acts important role in urban transportation and which is a kind of capacity-sharing method is investigated. Primarily, efficiently use of highway and expressway capacity's is emphasized. The ascendancies, inconveniences, purposes and possible impacts of ramp metering are examined. In addition to this, ramp metering types are discoursed and these ramp metering type's applications are explained with different figures. Namely, previous studies are examined, then ramp metering model is darified via fuzzy logic.

Eventually, the junction model which has two leg is designed and comparative analysis applied. As a result, ramp metering which is rely on fuzzy logic method is suggested.

**Key Words:** Ramp Metering, Fuzzy Logic Method

## 1. GİRİŞ

Büyük şehirlerde ulaşımın en önemli parçası şehir içi otoyollardır. Şehir içi otoyollardaki trafik sorunu tüm şehirdeki ulaşımı etkilemektedir. Trafik sorununun çözümü ve en aza indirgenmesi için yeni yollar yapmak kadar mevcut altyapıyı da iyi işletmek gerekir. Şehir içi otoyolun kapasitesini verimli kullanmak bu açıdan önemlidir. Kapasite kullanımını düşüren en önemli sorun oluşan tıkanıklıklardır. Zirve saatlerde tekrar eden tıkanmalar akım hacmini düşürür ve otoyol altyapısının verimsiz kullanılmasına sebep olur.

Otoyola giriş yolunda oluşan talebin kapasiteden fazla olması durumunda tıkanıklıklar oluşmaktadır. Bu çalışmada katılım girişlerinin denetimi sayesinde otoyol kapasitesi kullanımının iyileştirilmesine çalışılmıştır.

### 1.1 Tezin Amacı

Tezin amacı; ülkemizde uygulama olarak örneğine çok fazla rastlanmayan otoyol katılım denetiminin detaylarıyla incelenmesi ve daha etkin bir model geliştirilmesidir.

Gerçek zamanlı sayımlar elde edilemediği için örnek sayımlar türetilmiştir. Otoyoldaki akımın geliş aralığı, katılım kolundaki kuyruk uzunluğu, katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı parametreleri kullanılarak katılım kolu için kırmızı sinyal süresi kararının verilmesi amaçlanmıştır. İngiliz Yöntemi ve Bulanık Mantık Yöntemi ile örnek model üzerinde karşılaştırılmalı analiz yapılarak en ideal çözüm elde edilmeye çalışılmıştır.

Günümüzde, taşıtların her geçen gün arttığı göz önünde bulundurulursa trafik tıkanıklığı ilerleyen zamanlarda daha da önemli bir problem haline gelecektir. Bunun doğrultusunda yeni yol ihtiyacı da artacaktır. Yeni yol yapım maliyeti düşünülürse, mevcut yolların iyileştirilmesi için çözüm üretilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada da mevcut yolların en iyi şekilde kullanılabilmesi için yeni çözümler elde edilmesi amaçlanmıştır.

## 1.2 Tezin Kapsamı

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, giriş, tezin amacı ve tezin kapsamı bulunmaktadır.

İkinci bölümde, otoyol ve ekspres yollarda katılım denetimi ile ilgili ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Katılım denetiminin amacı, etkileri, üstünlükleri ve sakıncaları ve türlerinden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, önceki katılım denetimi uygulamalarına ait örneklere yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, bulanık mantık esaslı katılım denetimi anlatılmıştır. Katılım kolu için kırmızı sinyal süresi kararı aşamasında, otoyol katılım denetimi modeli geliştirilerek kural tabanı belirlenmiştir.

Beşinci bölümde, SIDRA analizlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı grafikleriyle anlatılmıştır. İngiliz Yöntemi ve Bulanık Mantık Yöntemi ile değerlendirme yapılarak sonuçlarına yer verilmiştir.

Altıncı bölümde, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, otoyol ve ekspres yollarda iyileştirme sağlamak için öneriler sunulmuştur.

## **2. OTOYOL VE EKSPRES YOLLARDA KATILIM DENETİMİ**

Otoyol ve ekspres yollarda FIFO (First In First Out) sistemi yaygın olarak kullanılır. Buna göre otoyola ilk giren taşıt ilk olarak çıkmaktadır. Oysa FIFO olmayan sistemlerin kullanımının otoyoldaki darboğaz kapasitesini %50'lere varan oranlarda arttırdığı görülmüştür. Bu FIFO olmayan sistemlerin başlıcalarından birisi katılımların denetimidir. (Daganzo ve diğ. , 2002).

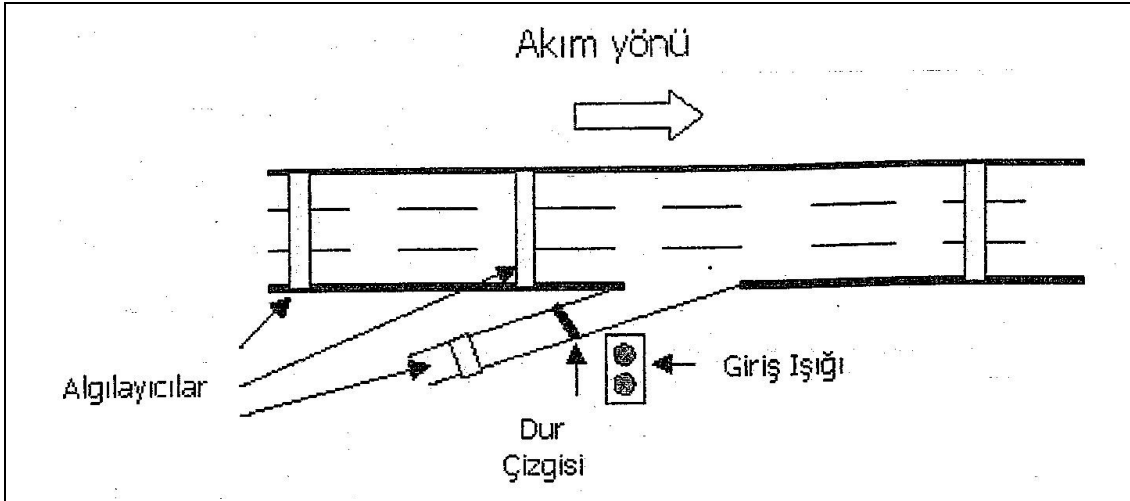
Şehir içi caddelerde trafik akımı (trafik ışıkları vasıtasıyla) gruplandırılarak yönetilir. Şehir içi otoyollarda ve ekspres yollarda ise gruplanma istenmez. Çünkü oluşacak hız farkları altyapı kapasitesinin kullanımını azaltır. Altyapı kapasitesini en uygun şekilde kullanacağından otoyol akımında kararlı akım şartları hüküm sürmelidir (Balta, 2002).

Katılım denetimi yeni bir trafik yönetim kavramı değildir; yaklaşık olarak 40 yıldır kullanılan etkin bir denetim aracıdır. Katılım denetiminin basit özeti, otoyol girişine yerleştirilecek trafik ışığı sayesinde girişteki araçların otoyola kontrollü katılmalarının sağlanmasıdır. Otoyol ve ekspres yollarda katılım denetimi, kapasite paylaşım yöntemlerinden birisidir. Uygulama, otoyol girişlerinde araçların otoyola erişimini denetleyerek akıcı olan otoyola artık kapasitesi kadar araç katılımına izin verip kapasiteden fazlasının girmesine engel olmaktır. Bir veya çok sayıda otoyol girişinin denetimi, otoyola giren araçları sınırlayarak, giren trafik hacmini denetleyerek ve giren taşıtları aralıklara bölerek otoyolun kapasitesinin verimli kullanımını sağlar. Katılım denetimi uygulayarak, dur-kalk gecikmelerinin azaltılması, otoyol veya girişlerinden kaynaklı kaza gecikmelerinin azaltılması, planlı güzergah değişimlerinin özendirilmesi ve altyapının istenen hizmet düzeyine ulaştırılması amaçlanır. Uygulamanın başarısı, anayol akımının hızını düşürmeden, akıma katılabilecek en yüksek hacimden sonra otoyol girişi hacimlerini sınırlandırmasına, düzenlemesine ve taşıtların uygun zamanlamayla katılmalarına izin vermesine bağlıdır (Carlson ve Lari, 1978).

Katılım girişine gelen araçlar belirli bir süre veya anayol akımı belli bir hacim değerine düşünceye kadar bekletilirler. Artık kapasite anayoldaki araçların çıkışlardan anayolu terk etmeleri ile gerçekleşir (Balta, 2002).

Katılım denetimi için otoyol girişinde trafik ışığı, katılım yolu ile otoyolda algılayıcılar ve denetim donanımı gereklidir (Şekil 2.1). Otoyol algılayıcılarından gelen bilgi, denetim donanımı ile işlenir, otoyolun artık kapasitesi bulunur, trafik ışığı ve girişteki algılayıcı sayesinde artık kapasite varsa, giriş yolundan aracın anayola katılmasına izin verilir (Balta, 2002).

Basit bir katılım denetimi için üç adet algılayıcı gereklidir: Anayol sağ şeritte aralık algılayıcısı, katılım yolunda talep algılayıcısı ve otoyol ana algılayıcısı. Aralık algılayıcısı, anayol en sağ şeridinde taşıtlar arasındaki aralıkları ölçen ve otoyol trafik ışığı için gerekli bilgiyi aktaran ana algılayıcıdır. Talep algılayıcısı, katılım yolunda dur çizgisi arkasında bekleyen araç sayısını belirleyen algılayıcıdır. Anayol algılayıcısı, otoyol şeritlerinin doluluğunu belirleyen algılayıcıdır (Carlson ve Lari, 1978).



Şekil 2.1 : Denetim için algılayıcıların yerleri

Öncelikle hesaplanmış otoyol kapasitesi ile anayol algılayıcısı sayesinde ölçülen yukarı akım hacminin farkı (artık kapasite) bulunur. Artık kapasite aynı zamanda otoyola katılabilecek araç sayısıdır ve belirlenecek zaman aralıkları boyunca güncellenir. Aralık algılayıcısı sayesinde araçlar arası uygun boşluk bulunur. Bu boşluk için hesaplanan araç sayısına uygun yeşil ışık girişte yakılır ve denetim

hacminin (otoyol girişinde denetimli erişimi sağlanan akımın) akıma katılması sağlanır (Balta,2002).

## **2.1 Katılım Denetiminin Amacı**

Katılımların denetimi şu iki amacı gerçekleştirmeye yöneliktir:

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

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

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

## **2.2 Katılım Denetiminin Yaratabileceği Etkiler**

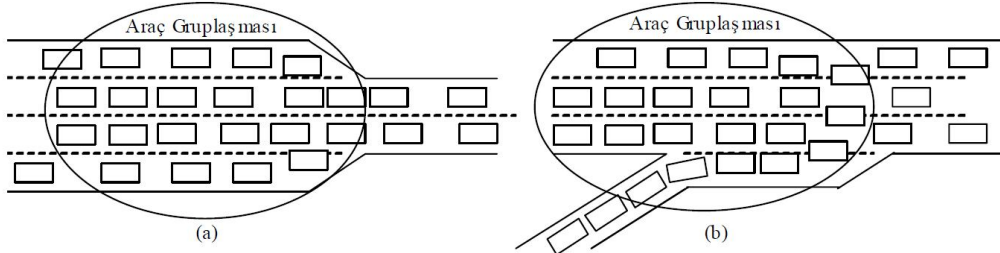
Yapılacak her yeni bir uygulamada olduğu gibi katılım denetiminin de uygulanabilmesi için fizibilite çalışmasının yapılması gerekir. Bu çalışmalar, denetimin darboğaza etkileri, yol geometrisi, trafikte meydana getireceği sapma, kazalar, halkın kabulü ve fiyat analizleri şeklinde özetlenebilir (Blumentritt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

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



### 2.3 Katılımların Anayola Etkileri

Katılımların özellikle zirve saatlerde, yani talebin yol kapasitesini aştığı saatlerde anayoldaki trafiğin düzgün seyrini bozabilecek etkileri vardır. Trafik güvenliği açısından da tehlike yaratabilmektedirler; araçların katılımları sırasında oluşacak kazalar gibi. Bunların dışında yarattığı en büyük etkilerden biri anayolda darboğaz oluşumuna yol açmasıdır. Darboğaz oluşumuyla trafikteki akım büyük ölçüde azalacaktır. Şekil 2. 2(a)' da geometrik nedenle oluşmuş bir darboğazın yarattığı etkinin bir benzerini, Şekil 2. 2(b)' de katılımdan gelen araçların yarattığını görmekteyiz. Katılımdan gelen araçlar anayoldaki araçlarla birleşmeleri sırasında bir türbülans oluşturacaktır. Katılımın yarattığı bu türbülansın etkisiyle bir taşıt gruplaşması oluşacaktır. Bu taşıt gruplaşması da darboğazı oluşturacaktır. Bu gruplaşma varlığını uzun süre ( akım yukarı yönden gelen talep kapasitenin altına düşünceye kadar) sürdürecektir. Sonuç olarak katılımın darboğaz oluşumunu tetikleyici bir etkisi vardır. Eğer katılımın kontrollü bir şekilde anayola girmesine izin verilirse, oluşacak türbülans, dolayısıyla darboğaz oluşumu önlenmiş olur ( Zorer, 2003).



Şekil 2.2 : Yol geometrisinden (a) ve katılımdan (b) kaynaklanan darboğaz etkisi

### 2.4 Katılım Denetiminin Üstünlükleri ve Sakıncaları

Yapılan teorik araştırmalar ve bölgesel uygulamalar ortaya koymuştur ki katılım denetimi uygulaması;

- Tekrar eden veya tekrar etmeyen otoyol tıkanıklıklarını azaltır,
- Otoyoldaki bekleme sürelerini azaltarak toplam yolculuk süresini iyileştirir,
- Otoyolda hizmet verilen toplam araç sayısını arttırarak kapasite kullanım oranını yükseltir.

Katılım denetimi, anayol akım hızlarını arttırarak ve tıkanıklıkları azaltarak otoyol ve ekspres yolların verimliliğini arttırır. Maliyeti (özellikle yeni yol yapımı ve yol genişletilmesi gibi kapasite artırımı yöntemlerine göre) düşüktür. Uygulamanın mevcut altyapıya uyumu kolaydır. Oldukça esnektir, katılımın şartlarına göre varolan sınırlar içerisinde çözüm oluşturur. Araçlar arası boşlukları doldurduğundan otoyol ve ekspres yollarda gruplanmayı önleyicidir, dur-kalk gecikmelerini, kazaları azaltıcı etkisi vardır, güzergâh değişikliklerini özendiricidir, geçici uygulamalar ve acil şartlarda aktif müdahaleler için oldukça uygun bir kapasite paylaşım yöntemidir (Balta, 2002).

Gruplanmayı önlemesi sayesinde araçların hız farklarını azaltması ve girişlerin otoyola katılımlarını düzenlemesi dolayısıyla otoyol güvenliğini arttırır. Özellikle katılım bölgelerinde (giriş akımını sınırlandırarak) oluşan kaza ve şişe boynu kesiti sorunlarını en aza indirir (Balta, 2002).

Katılım denetiminin otoyolda tıkanıklıkları önlerken veya azaltırken şehir içi yollara olumlu ve olumsuz etkileri olabilir. Otoyol ve ekspres yol girişi kuyruklanmaları sürücülerini farklı güzergâh seçmeye yönlendirebilir (ki bu şehir içi yollara talebi arttırır) veya otoyolda tekrar eden tıkanıklıkların azaltılması, önlenmesi daha fazla sürücünün otoyolu kullanmasını sağlayabilir (bu da şehir içi yollarda talebin azalmasına yol açar). Bu farklı iki etki otoyol ağının yapısına ve kapasitesine, bireysel başlangıç-son (O-D) taleplerine, günün saatine ve seçilen denetim yönteminin o otoyol sistemindeki verimliliğine bağlıdır. Yapılan teorik araştırmalar ve saha testleri ortaya koymuştur ki katılım denetiminin, şehir yol ağında toplamda trafik gecikmelerini azaltarak olumlu etkisi olmuştur (Papageorgiou ve diğ. , 1997).

Otoyol ve ekspres yol katılım denetimi, zirve saatlerde, artmayı sürdüren talebe karşı trafik akımını güzergâh seçeneklerine kaydırarak rahatlama sağlar ( Zhang ve diğ. , 1996). Farklı güzergâhlara yeterli araç kaydırılırsa, azalan talep otoyol ve ekspres yol tıkanıklıklarını azaltabilecek hatta ortadan kaldıracaktır. Bununla birlikte otoyol ve ekspres yollar, kent ulaşım ağının parçası olduğu için seçenekler arası geçişi sağlayan yolların kapasiteleri bu güzergâhlara kaydırılan trafiği taşıyabilecekse kaydırma yararlıdır. Aksi halde yapılan tek etki tıkanıklığın otoyoldan uzaklaştırılıp şehir içi caddelere kaydırılmasıdır (Balta, 2002).

Denetim yapılan girişte, tüm kullanıcılara eşit davranılmasına (yani otoyolda artık kapasite oldukça anayola “ ilk gelen ilk hizmet alır” ilkesi uyarınca katılımlara izin verilmesine, denetim önceden ayarlı ise kullanıcıların eşit süre bekletilmesine) rağmen kullanıcıların zamana verdikleri değerlerinin farklı olması eşitsizlik oluşturmaktadır. Başka güzergâh seçme şansı olmayan ve denetim yapılan zaman aralığında katılım girişini kullanmak zorunda olan zaman değeri yüksek kullanıcılar için eşitsizlik söz konusudur (Balta, 2002).

Maliyet, dikkat edilmesi gereken bir başka husustur. Mevcut katılım denetiminin değiştirilmesi, mevcut denetim sisteminin özellikle belirli bir merkezden denetimli olması durumunda sisteme entegrasyon nedeniyle yüksek maliyetli olabilir (Balta, 2002).

Yakıt tüketimi ve hava kirliliği emisyon değerleri açısından değişik sonuçlar söz konusudur. Sistem geneline bakıldığında anayolda artan hız ve azalan yolculuk süreleri ( araç. saat) nedeniyle azalan yakıt tüketimi ve dolayısıyla azalan hava kirliliği söz konusu iken katılım kuyruklarında beklemelerin artması ile, bekleyen araçların yakıt tüketimi ve hava kirliliği artmaktadır (Balta, 2002).

Otoyola ve ekspres yollara şehrin merkezi olmayan bölgelerinden giriş yapacak olanlar ya hiç beklemeyecek ya da merkezi bölgelerden giriş yapanlara göre daha az bekleyeceklerdir ve otoyolun tüm imkanlarından daha fazla yararlanacaklardır. Merkezi bölgelerden otoyola giriş yapanlar için bu da eşitsizlik olarak öne çıkmaktadır ve halkın uygulamayı kabulünü zorlaştırmaktadır (Piotrowicz ve Robinson, 1995).

Katılım denetimlerinde kırmızı ışık ihlallerinin yüksek oranlara ulaşması uygulamanın yararını perdeleyecek diğer bir etkidir.

Denetim yapılan otoyol kesiminde doygun akım üç çeşit senaryo ile oluşabilir:

1. Günlük zirve saatlerde olduğu gibi, denetimli otoyol kesiminde otoyola katılım talebi, bu kesimi denetim süresince tı kayabilecek kadar yüksektir.
2. Otoyol kesimi kısadır, düşük katılım talebini yüksek yukarı akım engellemektedir ve tıkanıklık yüksek anayol talebinden dolayı oluşmaktadır.
3. Kontrol edilen kesim, ağır bir kaza sonucu oluşan şişe boynu bir kesitin hemen önündedir.

Bu üç durumun gerçekleşmesinin ardından araçları geçici olarak otoyol girişinde bekletmek, otoyol sistemini tıkanıklıktan kurtarmayacak ancak otoyolda yolculuk süresini azaltacaktır (Papageorgiou ve diğ. , 1991). Aynı zamanda önlenemez olarak otoyol katılımlarında gecikme süreleri uzayacaktır. Bu uzama anayol yolculuk süresinde meydana gelen azalmayı dengeleyecek hatta kendi yönünde bozacaktır. Bu yüzden tıkanıklıklar oluşmadan önlemlerin alınması en kısa zamanda ve en fazla araca hizmet vermek için gereklidir (Stephanes ve Chang, 1993).

## **2.5 Uygulanmasına Göre Katılım Stratejileri**

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

### **2.5.1 Tek şerit her yeşilde bir taşıt**

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

### **2.5.2 Tek şerit her yeşilde çok taşıt**

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

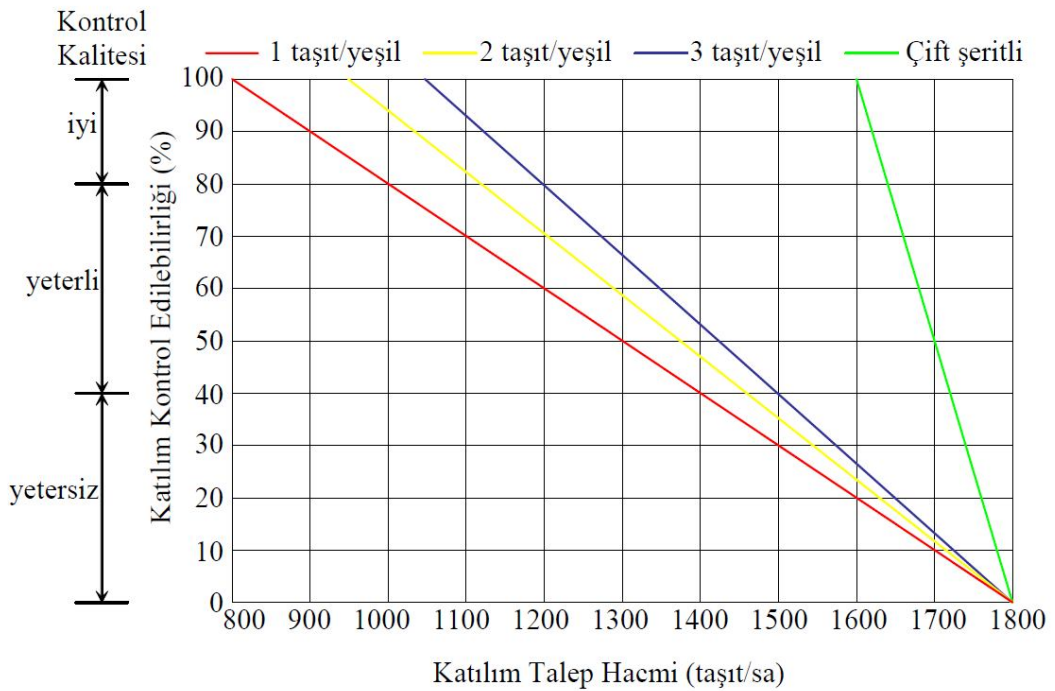
### **2.5.3 Çift şeritli katılım**

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

katılım kolunun daha fazla taşıt depolamasını sağlayacaktır (Chaudhary ve Messer, 2000).

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

Bu üç strateji doğrultusunda Şekil 2. 3 hangi katılım denetim stratejisinin, değişik katılım taleplerine göre uygun olacağını göstermektedir (Chaudhary ve Messer, 2000).



Şekil 2.3 : Katılım kontrol stratejilerinin kalitesi (Chaudhary ve Messer, 2000)

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

## 2.6 Katılım Denetimi Türleri

Katılım denetimi için üç temel tür vardır:

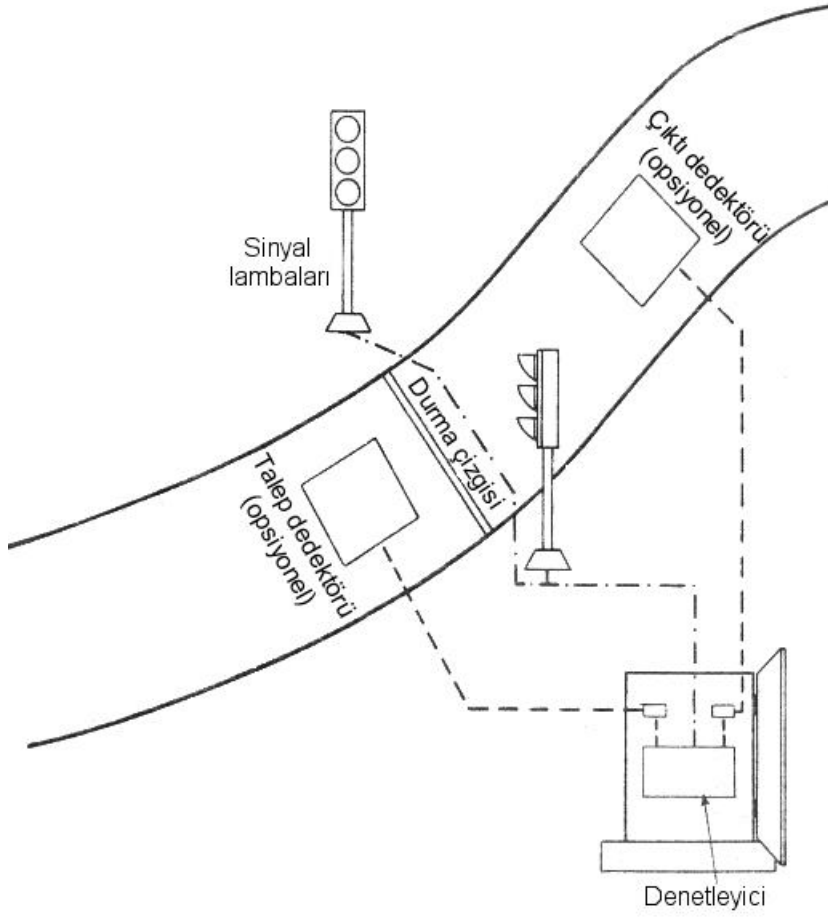
1. Önceden zaman ayarlı denetim (pretimed control)

2. Yerel uyarmalı denetim ( local actuated control)
3. Sistem bazlı denetim (system control) (Blumentritt ve diğ. , 1981)

### **2.6.1 Önceden zaman ayarlı denetim**

Katılımdan gelen taşıtların anayol trafiğinin şartlarından doğrudan etkilenmediği katılım sistemidir. Trafik gözlemleri ve ölçümlerden faydalanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilir; günün saatine, haftanın gününe, veya özel durumlara bağlı olarak otoyol ve ekspres yol girişindeki trafik ışığının uygun devre süreleri hesaplanır (Blumentritt, 1981).

Önceden zaman ayarlı denetimde algılayıcı gerekli değildir; girişin özelliklerine göre konulup konulmayacağına karar verilir. Eğer giriş hacmi çok azalıyor ise sadece araç mevcudiyetinde trafik ışığının çalışması için, girişte oluşan kuyruk şehir içi caddelere taşıyor ise bunu belirleyip daha yüksek hacmin otoyola katılmasını sağlamak için algılayıcı kullanılabilir (Balta, 2002). Katılım üzerindeki ışıkların periyotları daha önce yolda yapılmış gözlemlerle ve O-D (Origin-Destination/Başlangıç-Son) matrisi çalışmalarıyla belirlenir. Bu kontrol modu birden fazla katılıma uygulanabilir. Ancak bu katılım denetimleri birbirinden bağımsız olarak çalışacaktır. Şekil 2.4'te önceden zaman ayarlı denetime ilişkin bir uygulama görülmektedir ( Blumentritt ve diğ. , 1981).



Şekil 2.4 : Önceden zaman ayarlı kontrol uygulaması (Blumentritt ve diğ., 1981)

Önceden zaman ayarlı denetimde katılım talebine göre tekil veya çoklu katılım kullanılır. Tek araçlık denetimde yeşil süresi bir aracın katılımına izin verecek süreden, (1,5 – 2 sn) fazla olmamalıdır. 900 araç/saat’i geçen katılım talebi varsa çoklu katılım (her yeşil süresinde iki yada daha çok aracın katılımına izin vermek) gerekir. Çoklu katılımda otoyol girişi eğer tek şeritse araçlar tandem (ard arda) olarak, iki şerit ise çoklu olarak anayola katılırlar. Tek şeritli bir katılımdan tandem olarak en fazla 1100 araç/saat akım hacmi geçirilebilirken (denetim hacmi) , iki şeritten çoklu katılımı 1700 araç/saat’lik hacme ulaşabilmektedir (James ve diğ., 1997).

Çoklu katılımlar, tek araçlık denetimlerden daha karmaşık olduğundan sürücülerini şaşırtabilir ve girişlerde istenmeyen tıkanıklıklara yol açabilir. Bu yüzden talep yüksek olmadıkça tek araçlık denetimler kullanılmalıdır. Ayrıca algılayıcısız girişlerde tavsiye edilen en küçük denetim hacmi 3 araç/dakika’dır (James ve diğ., 1997).

Başka otoyol girişleriyle etkileşim bu seçenekte mevcut değildir. Bu sebepten olağan dışı talep değişikliklerine ve olağan dışı trafik koşullarına uygun değildir.

### **2.6.2 Yerel uyarmalı denetim**

Yerel uyarmalı denetimde önceden zaman ayarlı denetimden farklı olarak kontrol sırasında sistem anayoldaki trafikten doğrudan etkilenir. Otoyol akımının değişkenleri denetlenen kesimde sürekli olarak ölçülmektedir. Bu ölçüm değerleri altyapının artık kapasitesini ve yeni denetim hacmini belirlemede kullanılmaktadır. Yerel uyarmalı denetimde karar verici mekanizma, otoyoldaki akımdan, algılayıcıların aldığı bilgilerle eşzamanlı etkilenir ve tepki verir. Trafik akımı değişkenlerinin trafik koşulları arasındaki geçiş değerleri saptanır. Bu sınırlar içindeki koşullara uygun denetim hacimleri belirlenir. Katılım akımının, önceden belirlenmiş sınırlarına uygun denetim hacimleri kadar otoyola katılmasına izin verilir (Balta, 2002).

Yerel uyarmalı denetim türünü kullanan çeşitli denetim yöntemlerinde sınırların belirlenmesi için farklı trafik değişkenleri kullanılmaktadır. Yukarı akımın, hacmi kapasitesi ile, yoğunluğu doymuş akım yoğunluğu ile, doluluk oranları kapasite doluluğu ile karşılaştırılabilmektedir; hatta her üç değişkeni de kullanan yöntemler bulunmaktadır. Aslında seçimi yapılacak denetim yöntemi eldeki imkanlara göre belirlenmekte, kullanılan denetimin eksiklikleri belirlendikçe o doğrultuda geliştirme yapılmaktadır (Balta, 2002).

Örnek olarak anayoldaki trafik arttığında talebin kapasiteyi aşmaması için katılımdan gelen trafik kısıtlanır. Anayoldaki trafiğin durumunun belirlenmesi için anayol üzerinde dedektörlerle gerçek zamanlı sayım yapılır ve bu sayımlardan elde edilen veriler (hız, hacim, işgal, yoğunluk gibi) analiz edilerek katılımda uygulanacak sinyal süreleri tespit edilip uygulanır. Genelde anayol işgal yüzdesi, katılım kontrol oranı (KKO) ile ilişkilendirilir (Tablo 2.1). (Blumentritt ve diğ., 1981).

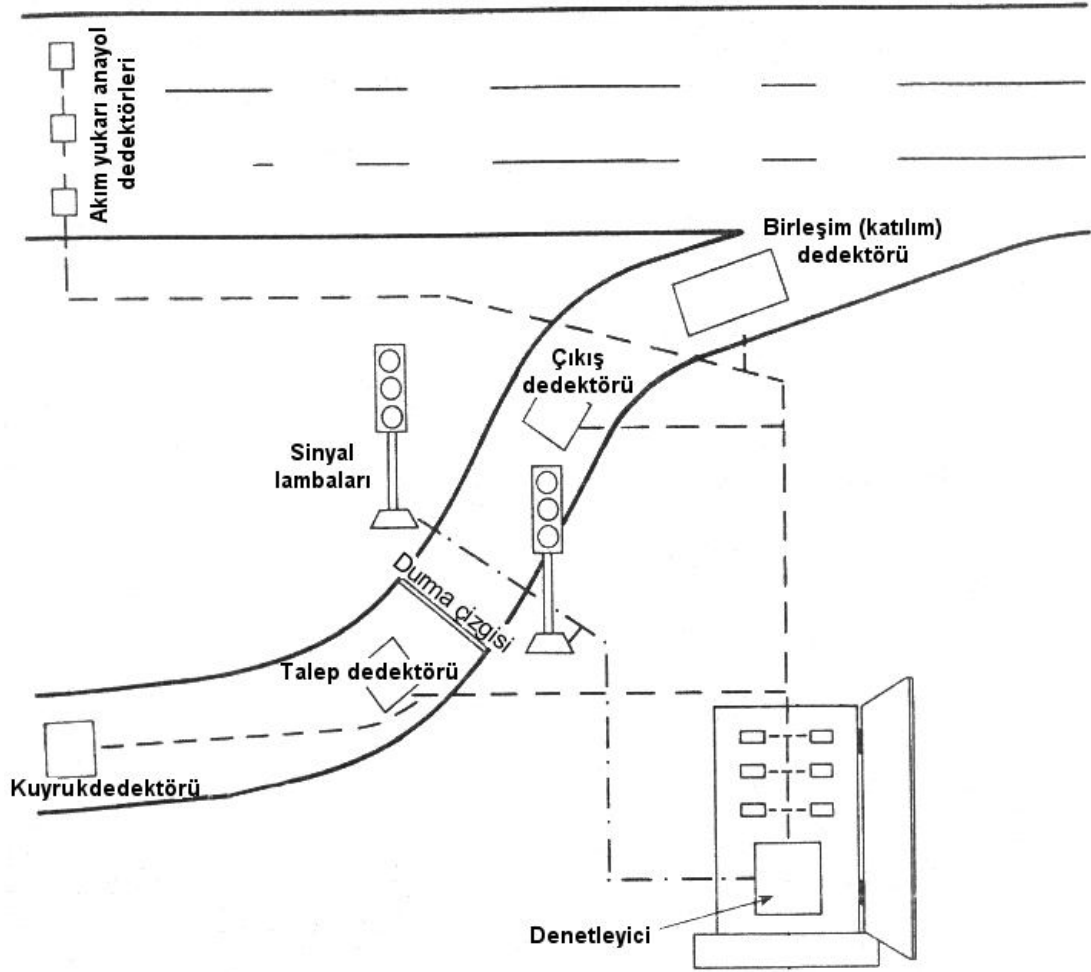


Tablo 2.1: İşgal Yüzdesi ve katılım kontrol oranının ilişkilendirilmesi

Anayol İşgal Yüzdesi (%)	Katılım Kontrol Oranı (taşıt/dak)
$\leq 10$	12
11-16	10
17-22	8
23-28	6
29-34	4
$\geq 34$	3

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

Şekil 2.5' te bölge bazlı kontrol uygulamasına ait şematik gösterim bulunmaktadır (Blumentritt ve diğ., 1981).



Şekil 2.5 : Bölge bazlı kontrol uygulaması (Blumentritt ve diğ., 1981)

### 2.6.3 Sistem bazlı denetim

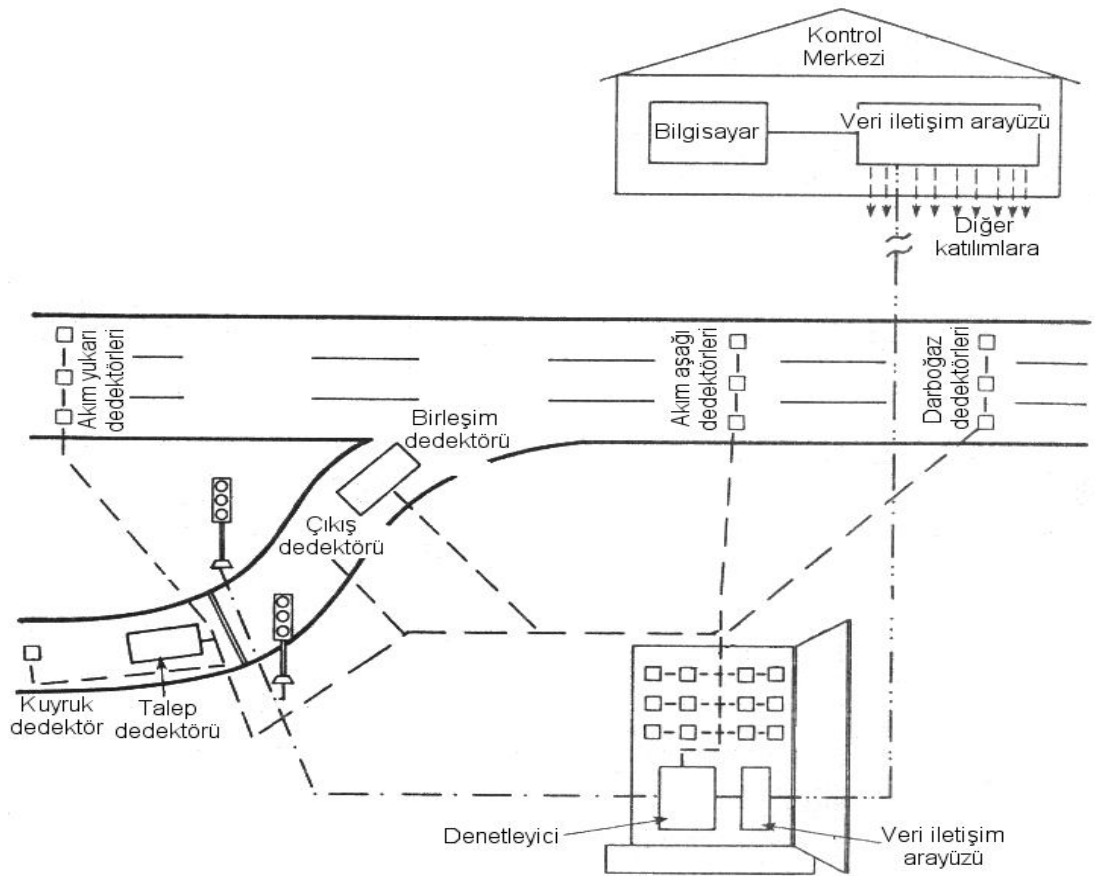
Sistem bazlı denetim, anayol akımından gerçek zamanlı bilgiler alan, giriş akımlarının hacimlerini (birden fazla girişin denetimi yapılmaktadır) istenilen hizmet düzeyinde sınırlandıran, koordinasyon sağlayan denetim seçeneğidir (Balta, 2002). Doğal olarak böyle bir işlem için merkezi bir kontrol mekanizması (bilgisayar kontrolü) gereklidir. Bütün sistemden toplanan veriler bu kontrol mekanizmasında işlenir ve bu kontrol mekanizmasıyla da verilen kararlar sistemde uygulanır. Birden fazla kontrol mekanizması da bulunabilir. Bunlar birbirleriyle ilişki içinde çalışabilirler. Bu sistemin en önemli özelliği anayolda oluşan değişimlerin sistem stratejisini etkilemesidir. Böylece bu kontrol modunda sistem bazında bir optimizasyon gerçekleştirilebilir. Genelde elde edilen katılım kontrol periyotlarının en küçüğü kullanılır (Blumentritt ve diğ., 1981).

Bu tip denetimlerin özelliği bir denetim merkezinden bir çok otoyol girişine, denetim hacimlerinin aktarılmasıdır. Sistem bazlı denetimde katılım denetimi, bir noktadan düzenlenen ağır parçasıdır ve otoyolda birden fazla katılım denetlenmektedir.

Otoyol trafik akım şartları otoyolun bir çok noktasından algılayıcılar vasıtasıyla ana denetim noktasına iletilir. Merkezi kontrol, bir bütünün parçaları olarak trafik değişkenlerini değerlendirir ve algoritmasına uygun olarak her giriş için denetim hacimleri hesaplar. Belirlenen denetim algoritmasına göre tüm otoyol girişlerindeki denetim değerleri istenilen plana göre eş zamanlı olarak ayarlanabilir (Balta, 2002).

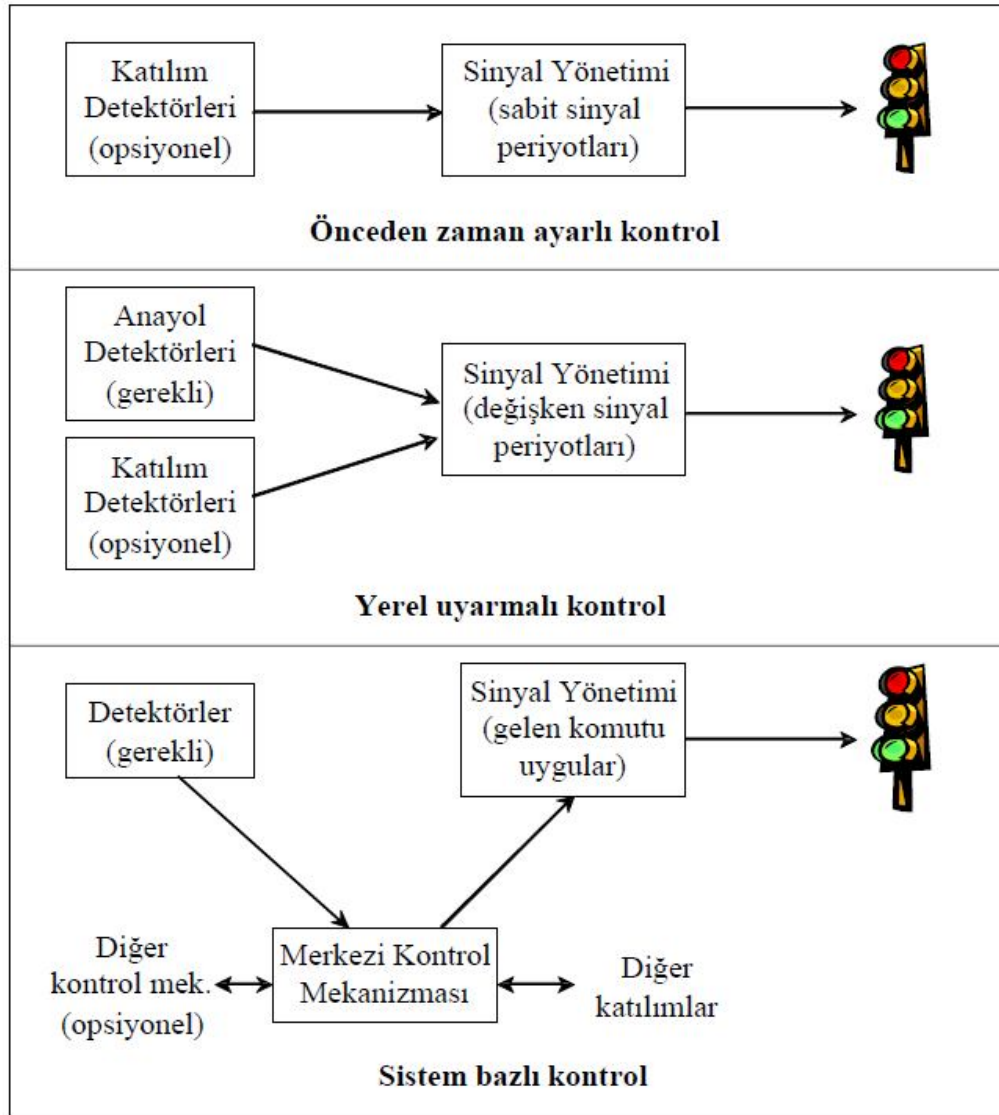
Bu denetim türünün kurulumu ve yönetimi diğer türlere göre daha karmaşık ve zordur. Dolayısıyla böyle bir sistemin maliyeti de yüksek olacaktır (Blumentritt ve diğ., 1981).

Şekil 2.6'da sistem bazlı denetim uygulamasına ait şematik gösterim bulunmaktadır.



Şekil 2.6 : Sistem bazlı denetim uygulaması (Blumentritt ve diğ., 1981)

Her üç kontrol türünün (modunun) genel çalışma prensipleri Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Katılım denetimi türlerinin genel çalışma prensipleri (Blumentritt ve diğ., 1981)

## 2.7 Denetim Türünün Seçimini Etkileyen Faktörler

Katılım denetimi türü seçimini etkileyecek faktörler arasında şunlar sayılabilir:

- 1) Anayoldan gelen trafik hacminin ya da talebin zirve saat boyunca değişip değişmediği,
- 2) Katılımdan gelen hacmin ya da talebin zirve saat boyunca değişip değişmediği,

- 3) Anayol kapasitesinin değişiklikler gösterip göstermemesi,
- 4) Zirve saat boyunca değişen şartlar.

Özellikle zirve saatlerde gerçekleşen talep değişimleri denetim türü seçiminde önemli rol oynarlar. Katılımdan ya da anayoldan gelen talepler çeşitli sebeplerle değişkendir. Bunların içinde olağan değişiklikler, kazalar, taşıt arızaları, haftanın değişik günleri, özel günler, hava koşulları gibi bir çok neden sayılabilir. Kaza gibi olaylar bu talep değişimlerini aniden yaratabilirler. Önceden zaman ayarlı denetim, diğer türlere göre bu gibi durumlarda daha dezavantajlı olacaktır. Eğer anayoldan ve katılımdan gelen talep değişmiyor, yol kapasitesi sabit ve zirve saat boyunca da çok sık değişen şartlar oluşmuyorsa, önceden zaman ayarlı denetim modu kullanılabilir. Bu sayılanların dışında oluşan durumlarda yerel uyarmalı ya da sistem bazlı denetim modu uygulanması daha iyi bir çözüm getirecektir. Bu iki mod arasındaki seçimde de modun uygulanacağı yol kesiminin özellikleri ve yapılacak yatırım rol oynayacaktır. Olaya ekonomik yönden bakılırsa, yaklaşık değerlerle önceden zaman ayarlı denetim modu için harcanan para 1 lira varsayılırsa, yerel uyarmalı denetim modu için harcanacak para 1.25 lira, sistem bazlı denetim için 2 lira olacaktır (Blumentritt ve diğ., 1981).

Mod seçiminden önce elde edilmesi gereken veriler şu şekilde sıralanabilir:

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

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

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

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

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

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

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

### 3. ÖNCEKİ ÖRNEK KATILIM DENETİMİ UYGULAMALARI

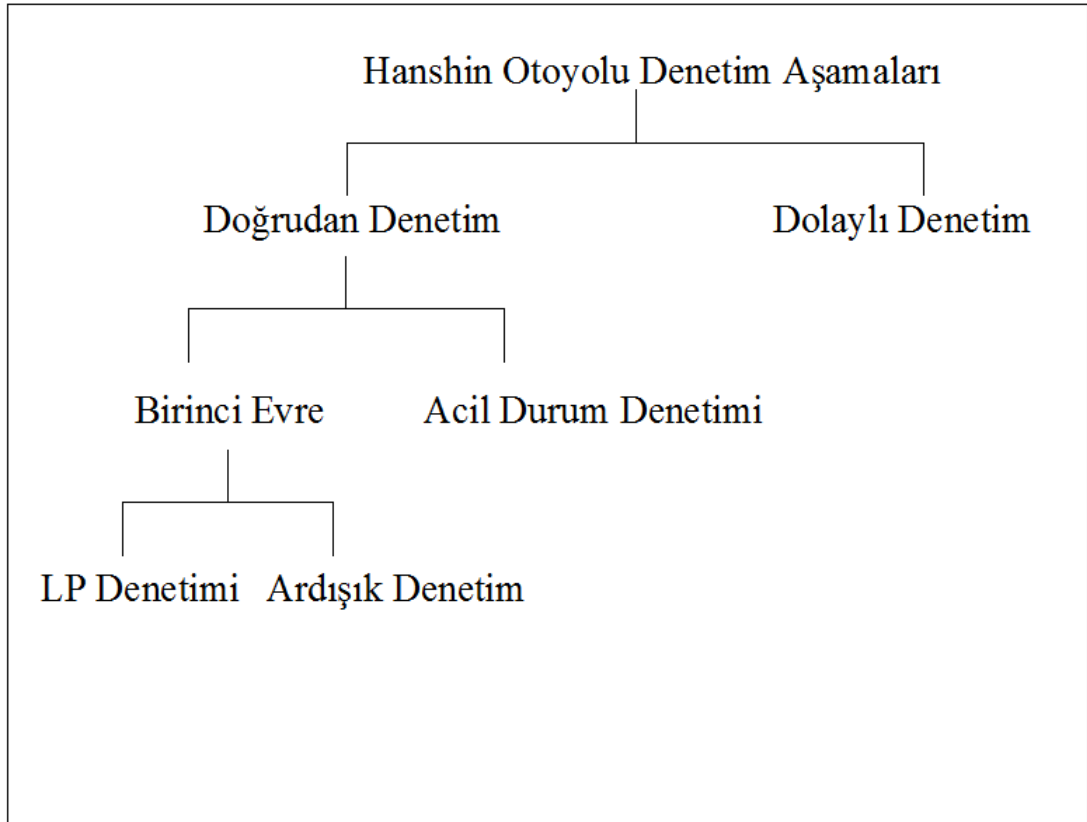
Kuzey Amerika' da 23 büyük şehirde otoyol katılım denetimi yapılmaktadır. İlk denetimli katılım, 1963' de Chicago' da (Eisenhower Otoyolunda) New York tünelleri girişindeki başarılı denemelerin ve Detroit' te otoyol girişi kapama çalışmalarının sonucunda gerçekleştirilmiştir. Bu ilk uygulamada polis memurunun otoyol girişinde bekleyip katılım akımını durdurarak ve belirlenmiş hacim değerlerindeki taşıtın otoyola ve ekspres yola erişimine izin vermesi ile denetim sağlanmıştır (Piotrowicz ve Robinson, 1995).

Los Angeles' te katılım denetimi 1968 yılında başlamıştır. Sistem gelişimini günümüze kadar devam ettirmiş, 800 katılım denetimi ile Los Angeles Bölgesi Kuzey Amerika' nın en büyük sistemi haline gelmiştir (Piotrowicz ve Robinson, 1995).

1966' da Hanshin Expressway Public Corporation Osaka- Kobe bölgesinde otoyol işletmeye açmış ve aynı yıl trafik kontrolü için özel bir komite oluşturmuştur. Komite, iki yıl sonra şirketin otoyoldan gelirini maksimize etmek için, otoyola araç girişini optimize edecek ve otoyolda herhangi bir noktada tıkanıklığı önleyici otomatik kontrol sistemini geliştirmiştir. Şirket 1970' de otomatik trafik denetim sistemini işletmeye başlayarak Japonya' da ilk otoyol katılım denetimini uygulamaya sokmuştur ( Yoshino ve diğ., 1995).

Hanshin Otoyolu sistemi, iki ana denetim yöntemine dayalıdır; doğrudan ve dolaylı denetim.Hanshin Otoyolu denetim aşamaları Şekil 3.1' de gösterilmiştir. Doğrudan denetim yöntemi, akım hacminin otoyol girişlerinde herhangi bir kesitte tıkanıklığın önüne geçmek için sınırlandırılması, dolaylı denetim yöntemi ise kullanıcılara en sağlıklı, hızlı ve doğru biçimde otoyola ait bilgilerin ulaştırılmasıdır. Bu sayede kullanıcılar uygun güzergaha, uygun zamana, yolculuğu yapıp yapmamaya karar verebilirler (Balta, 2002).

Doğrudan denetim metodunun iki evresi vardır. İlk denetim evresinde sistem tıkanıklıkları engelleyerek düzgün akım şartlarını sağlamak için ayarlanmıştır. İkinci evre ise acil durum denetimidir. Amacı kaza durumunda oluşacak etkilerden kısa sürede kurtulmaktır. İlk denetim evresinin iki alt basamağı vardır. Birinci basamakta sistem, her beş dakikada bir trafik hacmini, otoyolun doluluğunu, akım hızını ölçen algılayıcılardan aldığı gerçek zamanlı verilerden oluşmuş doğrusal programlama (LP), eşitliğini çözmektedir. Bu basamağa LP Denetimi denmektedir. Sistem tıkanmaya yakın olduğunda ya da bazı bölgelerde tıkanmalar başladığında LP Denetimi işlerliğini yitirecektir. Bu evrede ikinci basamak, Ardışık Denetim devreye girer. Otoyolun pratik kapasitesi oluşan (veya oluşmak üzere olan) tıkanıklık nedeniyle oldukça düşmüştür. Otoyol sistemi tıkanıklığı dağıtmak için (sıkışıklığın etkisine göre) girişleri kapatabilir. Bu basamakta sistem otoyolda tıkanıklıkların önüne geçmek için kaç adet ve hangi otoyol girişlerinin kapanacağı yahut sınırlanacağına karar vermektedir. Acil durum evresinde sistem gerekirse tıkanık kesime yaklaşan sürücülere otoyoldan çıkartır, ayrıca bilgi levhaları ve otoyol radyosu ile kesim hakkında sürücülere bilgilendirir (Balta, 2002).



Şekil 3.1 : Hanshin Otoyolu Denetim Aşamaları (Balta, 2002)

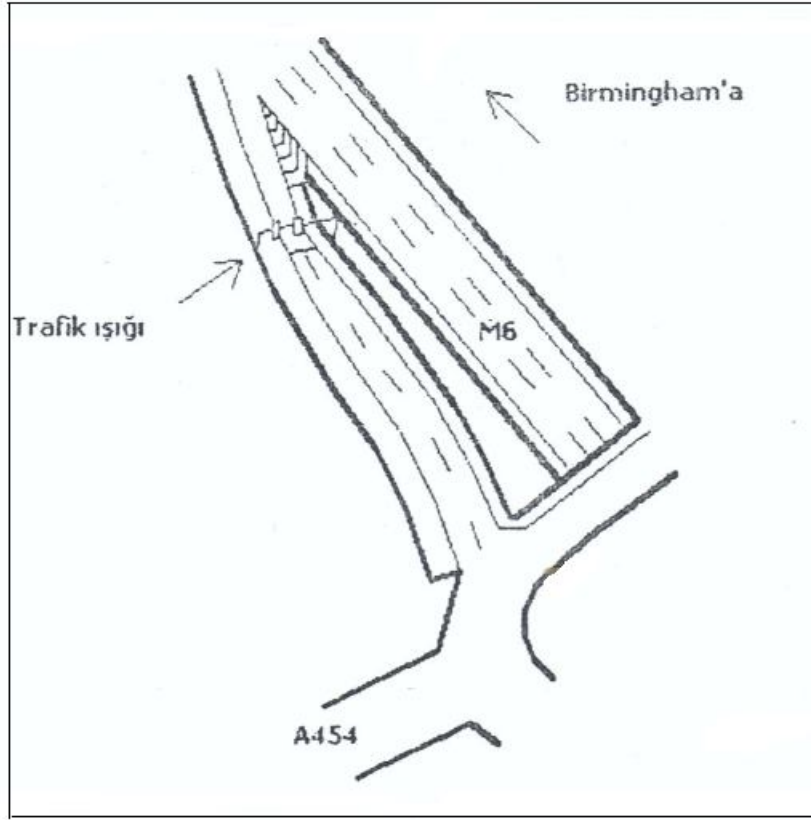


1970'de Minnesota Bölgesi'nde St Paul şehri I-35 E otoyolunda önceden zaman ayarlı otoyol katılımı denetimine başlanmıştır. Önceden zaman ayarlı denetimli iki adet girişe, ertesi yıl dört tane daha giriş eklenip sistem bölgesel ayarlı denetime geçirilmiştir. Yedi senelik araştırma sonuçlarına göre zirve saat hacminde %8 ve zirve periyodu hacminde %18, zirve saat hızında ortalama %16 (çeşitli sapmalar olmasına rağmen) artış olmuştur. Otoyol zirve saat kaza oranında ortalama %33' lük azalma olmuş, %99,1 kullanıcı memnuniyeti sağlanmıştır ( Carlson ve Lari, 1978). On dört senelik araştırma sonuçlarına göre zirve saat hızlarındaki ortalama %16' lık artış aynı kalmıştır (60 km/ saatten 69 km/ saate) . Artan taleple zirve periyodu hacminde %25' lik artışa ulaşılmıştır. Zirve zaman diliminde kaza sayısı ortalama %24 ve kaza oranı %38 azalmıştır ( Piotrowicz ve Robinson, 1995). Proje oldukça yüksek kar/maliyet oranına sahip iken alternatif yol denetim uygulamasından negatif etkilenmiştir.

1974' te ise yine Minnesota Bölgesi St Paul şehri I-35W yolunun 27 km' lik kesiminde otoyol denetim projesi başlatılmıştır. Sistem, 39 otoyol katılımı denetimine ek olarak 16 kapalı devre televizyon kamerası, 5 adet çeşitli bilgilendirme levhası, otoyol radyosu, 380 algılayıcı ve bilgisayar destekli denetim içermektedir. Sisteme ekspres otoyol hattı ve 11 giriş denetiminde yüksek dolulukta araçlara geçiş şeridi de dahil edilmiştir. 10 yıllık süre sonunda otoyol hızlarında %35 ( 55 km/ saat' ten 74 km/ saat' e) artma, zirve periyodu hacminde %32 artma, zirve periyodu kaza sayısında ortalama %27 ve kaza oranında %38' lik azalma oluşmuştur. Yol kullanıcılarının maddi kazançlarının, azalan kaza ve tıkanıklık dolyısıyla yıllık bir milyon dolardan fazla olduğu hesaplanmıştır. Zirve periyodu hava kirliliği, ( karbonmonoksit, hidrokarbonlar ve nitrojen oksitlerin toplamı, ) yıllık iki milyon kilogram azalmıştır ( Carlson ve Lari, 1978).

İngiltere' nin ilk otoyol katılım denetimi uygulaması 1986 yılında M6 Otoyolunda Birmingham yakınlarında 10 numaralı kavşakta faaliyete başlamıştır (Şekil 3.2). Sabah zirve saatlerinde tekrar eden tıkanıklığın önüne geçmek, kazaları azaltmak amacıyla bölgesel ayarlı katılım denetimi yapılmaktadır. Katılımın bir diğer özelliği 250 metrelik kuyruk uzunluğu ile sınırlanmış olmasıdır. Planlanmak istenen kuyruğun kavşaktaki akımı rahatsız etmemesidir. Sistem tam otomatik olarak yukarı akım seviyesine göre devreye girmekte ve her sabah 09: 30' da devreden çıkmaktadır. Sistem için U.K. Department of Transport' a Wooton & Jeffreys

Consultant tarafından hazırlanan katılım denetim yöntemi (WJC) kullanılmıştır. WJC yöntemi toplanan hız ve akım bilgilerini kritik kapasiteyle kıyaslar, otoyol akımı sınır kapasiteye ulaşmıyca kadar veya katılma şeridi hızları belirli değerin altına düşünceye kadar yeşil ışığın yanmasını sağlar. Otoyolda, kuyrukta ve katılma şeridindeki algılayıcılar aracılığı ile alınan veriler eşzamanlı olarak denetim bilgisayarına aktarılmakta ve işlenen veriler sayesinde yeşil ve kırmızı ışık süreleri hesaplanmaktadır (Owens ve Schofield, 1998).



Şekil 3.2 : M6 Otoyolu 10 nolu denetim yapılan katılımı

Bir yıllık gözlem sonuçları ortaya koymuştur ki kapasite kullanımı arttırılmış ve yolculuk süreleri azaltılmıştır. Katılımlarda bekleme süreleri beklenildiği üzere bazı aralıklarda ortalama 1, 5 dakikaya yakın artmıştır. Sonuç olarak sistem çapında yolculuk süreleri azalmıştır. Girişte ve tüm yolda kapasite kullanımı artışı söz konusudur. Şehir içi yol otoyol denetiminden negatif etkilenmemiştir. %5 oranında katılım kuyruklanmasından dolayı güzergah değiştirmeler olmuş bu da şehir içi yolu etkilememiştir. Günlük ortalama gecikmede toplamda 71 araç - saat azalma yaşanmıştır. Bu azalmanın yıllık 67, 000 £ tasarruf sağladığı hesap edilmiştir

(1986 fiyatlarına göre). Ayrıca kazalar önlenememişse de aşağı ve yukarı akım kesimlerinde tıkanıklıklar ve tıkanıklık süreleri azalmıştır ( Bojadziev, 1995).

2001 yılında İsmail Şahin ve Adnan Zorer tarafından yapılan çalışmada Boğaziçi Köprüsü bağlantı yıllarındaki ardışık katılımların analizi yapılmış ve kapasite kullanım düzeyi araştırılmıştır. İstanbul Boğaziçi Köprüsü yoluyla (O – 1 karayolu) sabah ve akşam zirve saatlerinde yapılan yolculuklar, tekrarlı trafik tıkanıklığına ve kilometrelerce uzunlukta kuyruklanmaya maruz kalmaktadır. O – 1 karayolunun belirli kesimlerinde sabah zirve saatlerinde yapılan sayım ve gözlemlerle, yolu kullanan trafik akımının bazı özellikleri, darboğazın yeri ve oluşma zamanı saptanmıştır. Yolun darboğaz kesiminde yapılabilecek iyileştirmelerden söz edilmiştir. Kapasite kullanım düzeyinin arttırılmasına yönelik iyileştirme önerilerinin hayata geçirilmesi durumunda kuyruklanma sonucu oluşan zaman kayıpları, yakıt harcamaları, çevre kirliliği, sürücü ve yolcuların psikolojik yorgunlukları ve taşıt yıpranmaları azaltılmış olacaktır. Bu çalışmada darboğaz oluşumu deneysel bir çalışma ile de gösterilmiştir. Darboğaz oluşumu, yol geometrisi iyileştirilerek, O -1 karayolunun Boğaziçi Köprüsü' ne bağlanan kesimlerinin ve bu yolu kullanan trafiğin özelliklerine uygun trafik yönetim teknikleri geliştirilerek önlenebilir. Söz konusu iyileştirme ve tekniklerin uygulanması sonucunda darboğaz oluşmasının önüne geçilebilir ya da darboğazın kapasitesi arttırılabilir, trafik tıkanıklığı rahatlatılabilir, yolun kapasitesinden daha üst düzeyde faydalanılabilir. Bütün bunlardan sonra elde edilecek sosyal ve ekonomik faydalar/ tasarruflar, iyileştirme ve geliştirme çalışmalarına başlamak için yeter sebeplerdir. 29 Mayıs 2001 günü yapılan sayımlar sırasında 2, 5 saat boyunca köprü çıkışında yaklaşık 15. 350 taşıt sayılmıştır. Bu taşıtların büyük bölümü kuyruklanmaya maruz kalmıştır. Yapılacak iyileştirmeler sonucunda her bir taşıtın kuyrukta kalma süresinin sadece “ 1 dakika” kısaltılması durumunda dahi, gözlenen taşıtlar için tasarruf edilken toplam süre 15. 350 dakika, yan, “10 gün” den fazla olacaktır. Tek başına bu basit hesap dahi, sorunun çözülmesi/ rahatlatılması sonucundaki potansiyel faydaları ortaya koymaktadır. Ayrıca, ulaştırma sistemini genişletme maliyetinin oldukça yüksek olduğu düşünüldüğünde, mevcut altyapının etkin ve etkili ( verimli) kullanımı günümüz koşullarında son derece önemli olup, öncelikli sorunlar arasında yer almaktadır (Şahin ve Zorer, 2001).

2002 yılında Mehmet Cemal Balta tarafından yapılan çalışmada Boğaziçi köprüsü sabah zirve saati kapasite kullanımını belirlemek için yapılan gözlem irdelenmiştir. Bu gözlemin Beylerbeyi katılım kesiti giriş ve anayol, köprü çıkış kesiti anayol sabah zirve saat taşıt sayım verileri kullanılmıştır. Anadolu yakası Beylerbeyi katılımı taşıt sayım verileri değerlendirilerek girişin otoyol üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Beylerbeyi katılımı için katılım denetimi çeşitlerinden Talep – Kapasite katılım denetimi önerilip denetim hacimleri belirlenmiştir. Talep – Kapasite katılım denetiminde otoyolun kapasitesinden, yolu kullanmakta olan akım hacmi çıkarılarak bulunan akım hacmi kadar taşıtın girişten otoyola katılmasına izin verilir. Bu katılım denetimi yöntemi uygulandığında gerçekleşecek gelişmeler ortaya konmuştur. Boğaziçi köprüsü Avrupa yakası kapasite kullanımı belirleyebilmek için gişe verileri incelenmiştir. Akşam zirve saatte köprü kapasitesinin sabah zirve saatteki kadar verimli kullanılmadığı gösterilmiştir. Bu verimsizliği gidermek ve köprü kapasite kullanımını daha da verimli hale getirmek için katılım denetimi önerilmiştir.

2007 yılında Amir Hosein Ghods, Ashkan Rahimi Kian ve Masoud Tabibi tarafından otoyol katılımı ve hız sınırı kontrolü incelenmiştir. Yapılan çalışmada zirve saatteki sıkışıklığı azaltmak amacıyla, bulanık mantık yaklaşımıyla otoyol katılım denetimi ve değişken hız sınırlarının kontrolü önerilmiştir. Otoyol katılım denetimiyle trafik ağı içinde geçirilen toplam süreyi en aza indirmek amaçlanmıştır. Bulanık kontrolün kalibrasyonunu kolaylaştırmak, otoyol katılımının performansı ve hız limitlerini geliştirmek ve bulanık küme parametrelerini ayarlamak için genetik algoritma uygulanmıştır.

2010 yılında Xuwen Chen ve Aoshuang Tian tarafından yapılan çalışmada bulanık mantık yaklaşımıyla otoyol katılım denetimi iyileştirmesi incelenmiştir. Bu çalışmada katılımdan otoyola giren araç sayısını ayarlamak için bulanık mantık yaklaşımı önerilmiştir. Üyelik fonksiyonları katılımdaki aşağı akım hızı, yukarı akım hızı ve kuyruk uzunluğu bilgilerine dayalı olarak tasarlanmıştır. Araştırma sonucu böyle bir yaklaşımın trafik tıkanıklığını önlemekte pratik ve etkili olduğunu göstermektedir.

#### **4. BULANIK MANTIK ESASLI KATILIM DENETİMİ**

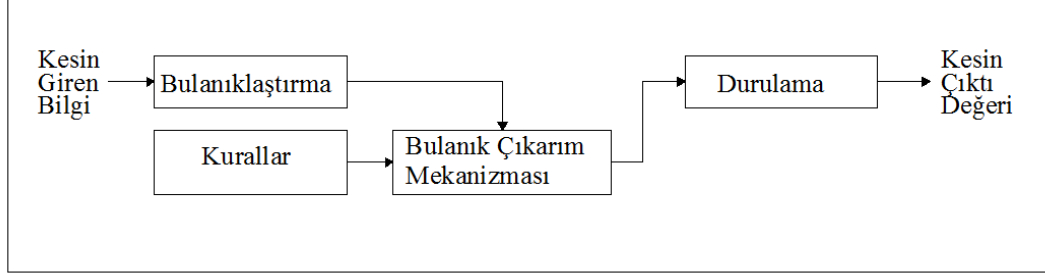
Bulanık mantık, L. A. Zadeh' in 1965 yılında kapısını açtığı modelleme kuramıdır (Balta, 2002). Bulanık mantık, bir bulanık küme mantığına dayanır. Bulanık küme, kümeye aitlik derecesi üyelik değeri ile tanımlanmış olan kümeyi ifade eder. Klasik küme kavramında bir eleman bir kümenin üyesidir veya değildir. Bulanık mantıkta küme aitlik derecesi, 0 ile 1 arasında değişir. 0 kümeye ait olmamayı, 1 ise kesin olarak o kümenin üyesi olmayı gösterir. Küme aitlik derecesi üçgen, yamuk, Gauss eğrisi gibi standart fonksiyonlarla tanımlanabildiği gibi çok farklı fonksiyonlarda oluşturulabilir (Ulukut ve diğ., 2005).

Bulanık mantığı etkili kılan, dille ilgili ifadeleri ve dilsel terimleri inceleyebilmesi, modelde kullanabilmesi, kullanılan değişkenleri ikili mantıktan farklı olarak üyelik dereceleriyle sınıflandırmasıdır (Kandel, 1986). Dilsel terimler; doğal veya yapay bir dildeki, değerleri sayı ile değil kelimeler ile ölçebilen ifadelerdir ( Zadeh, 1973). İkili mantık, dilsel terimleri kesin sınırlar içerisinde değerlendirmektedir. Gerçek dünya, modellerdeki kadar kesin değildir, sınırları muğlak, etkenler daha belirsizdir. Mühendislik problemlerinin çoğu ikili mantığın hata oranının yükseldiği sınır koşullarının belirlenmesiyle ilgilidir (Kandel, 1986).

Bulanık mantıkla katılım denetimi, bulanık mantığın sınır değerlerindeki esnekliğini kullanmaktadır. Akımın tıkanmaya doğru geçtiği sınır değerlerini belirlemek yerine akım değişkenlerinin her değerinin tıkanmaya etkisini belirler. Sonuca tüm değişkenlerin etkilerini göz önüne alarak ulaşılır (Balta, 2002).

##### **4.1 Bulanık Mantık Denetim Aşamaları**

Bulanık mantık denetim aşamaları bulanıklaştırma, kuralların uygulanmasıyla sonuç bulma ve durulaştırma işlemidir. Bulanık mantıkla denetim için gereken bilgiler ( hacim, yoğunluk ve hız bilgileri), bulanık mantık aşamalarından geçerler(Taylor ve diğ., 1997). Bulanık mantık denetim aşamaları Şekil 4.1' de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Bulanık mantık denetim aşamaları

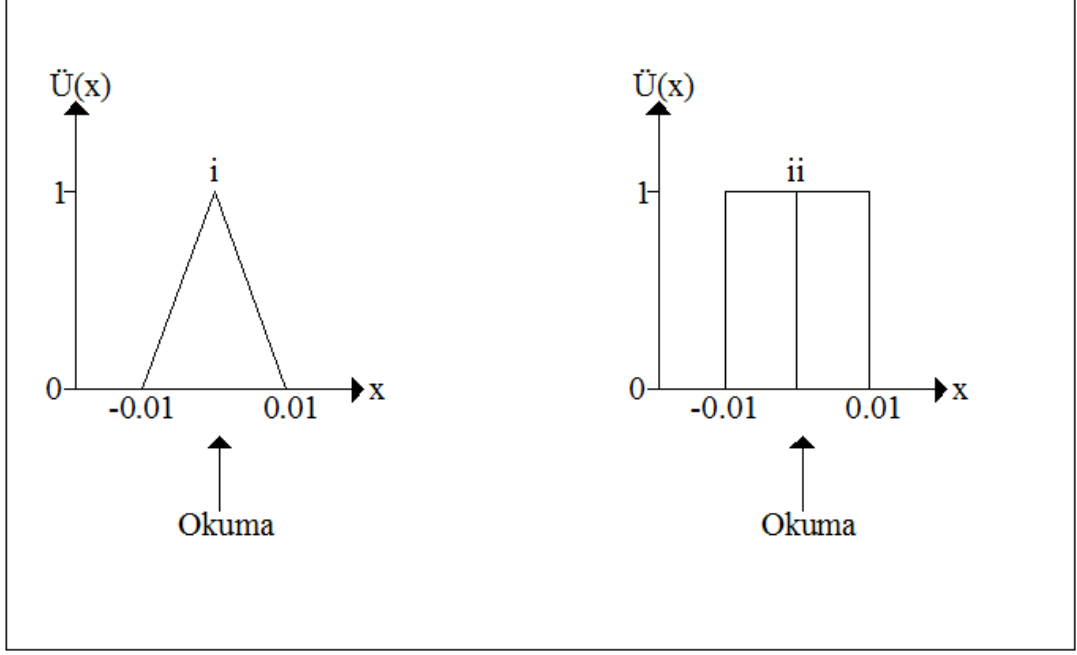
Bulanıklaştırma işlemi her değişkeni kümelere (üyelik fonksiyonlarına) ayırır. Bu aşamada, değişkenlerin ölçülen verilerinin bu kümelere üyelikleri 0 – 1 arasında değerler alacak şekilde atanırlar (Taylor ve diğ., 1997).

Bulanık küme, bulanık elemanların yüzdelerle dahil oldukları birlikteliğin ifadesidir. Klasik küme elemanları 0 veya 1 değerlerinden birini alırken, bulanık küme elemanları  $[0, 1]$  kapalı aralığında herhangi bir değeri alabilmektedir. Bulanık küme elemanları ve üyelik dereceleri aşağıdaki gibi gösterilebilir (Murat, 2001).

$$\sum_{i=1}^n \ddot{u}_A(x_i) / x_i = \ddot{u}_A(x_1) / x_1 + \ddot{u}_A(x_2) / x_2 + \dots + \ddot{u}_A(x_n) / x_n \quad (4.1)$$

$\ddot{u}_A(x_i)$ : n elemanlı A kümesinin i. elemanı  $x_i$ ' nin üyelik derecesi

Kullanılacak her verinin üyelik derecesi belirlenerek bulanıklaştırılır. Örneğin duyarlılığı  $\pm\%1$  olan bir cihazla yapılan okumanın bulanıklaştırılması Şekil 4. 2' de gösterilmiştir (Murat, 2001).



Şekil 4.2 : Duyarlılığın (i) bulanık, (ii) klasik gösterilişi (Murat, 2001)

Bulanıklaştırılan veriler kurallarla işlenerek sonuca ulaşılır. Kurallar, gerçek dünyadaki etkiler karşısında yapılacak olanın belirlenmesidir. Bulanık mantık denetimi işleminin kalbi bu aşamada atmaktadır. Kurallar, uzman görüşlerine, deneyimlere ve sistem bilgisine dayanmaktadır. Bulanık kurallara karar vermede en kolay yöntem, örnek veriler kullanmak ve bulanık çıkarım yöntemleri ile gerekli kuralları oluşturmaktır (Balta, 2002).

Bulanık sonucun gerçek dünyada kullanılabilmesi için durulanması gerekmektedir. Durulaştırma, bulanıklaştırma işleminin tersidir. Kurallarla ulaşılan bulanık sonucun, gerçek dünyada kullanılabilir sonuca dönüştürülmesidir (Balta, 2002).

Durulaştırmada en yaygın kullanılan ağırlık merkezi (sentroid) yöntemi; sonuç grafiği şeklinin ağırlık merkezinde yer alan üyelik derecesine karşılık gelen sayının bulunması ilkesine dayanmaktadır.

$$x = \frac{\int \ddot{u}_A(x) \cdot x dx}{\int \ddot{u}_A(x) dx} \quad (4.2)$$

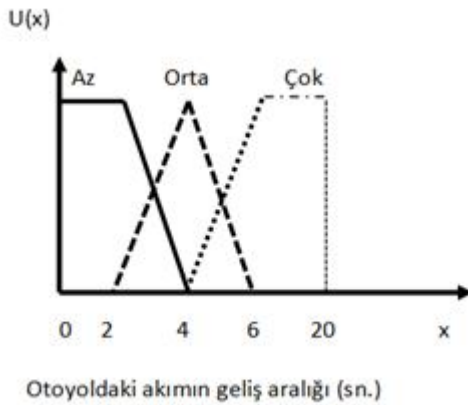
## 4.2 Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Otoyol Katılım Denetimi Modeli

Bu çalışmada katılım kolundaki akımların aşırı gecikmelerinin engellenmesi ve sinyal sürelerinin ayarlanması için bulanık mantık yaklaşımı ile bir model geliştirilmiştir. Bu modelde katılım kolundaki kırmızı sinyal süresi, parametreler ve kural tabanı ile belirlenmiştir. Modelde kullanılan parametreler aşağıda tanımlanmıştır:

- Otoyoldaki akımın geliş aralığı
- Katılım kolundaki kuyruk uzunluğu
- Katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı
- Katılım kolu için kırmızı sinyal süresi kararı

### 4.2.1 Otoyoldaki akımın geliş aralığı

Otoyoldaki akımın geliş aralığı otoyol katılım denetimi modelindeki giriş parametrelerinden biri olarak kabul edilmiştir. Geliş aralığı, katılım kolundaki kırmızı sinyal süresinin kararında kullanılmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının sınırları, önceki araştırmalar ve saha çalışmaları dikkate alınarak belirlenir (Murat ve Gedizlioğlu, 2005). Otoyoldaki akımın geliş aralığı parametresine ait üyelik fonksiyonu Şekil 4.3' te gösterilmiştir.

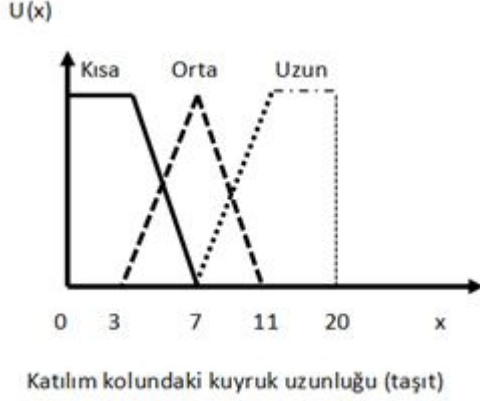


Şekil 4.3 : Otoyoldaki akımın geliş aralığı parametresine ait üyelik fonksiyonu



#### 4.2.2 Katılım kolundaki kuyruk uzunluğu

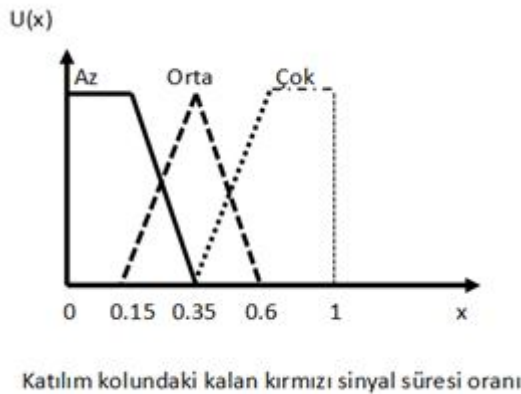
Katılım kolundaki kuyruk uzunluğu karar vermede önemli parametrelerden birisidir. Katılım kolundaki kırmızı sinyal süresinin kararı katılım kolundaki kuyruk uzunluğu ve otoyoldaki akımın geliş aralığıyla ilişkilidir. Bu parametre otoyol katılım denetimi modelinde girdi olarak dikkate alınır. Katılım kolundaki kuyruk uzunluğu parametresine ait üyelik fonksiyonu Şekil 4.4' te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Katılım kolundaki kuyruk uzunluğu parametresine ait üyelik fonksiyonu

#### 4.2.3 Katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı

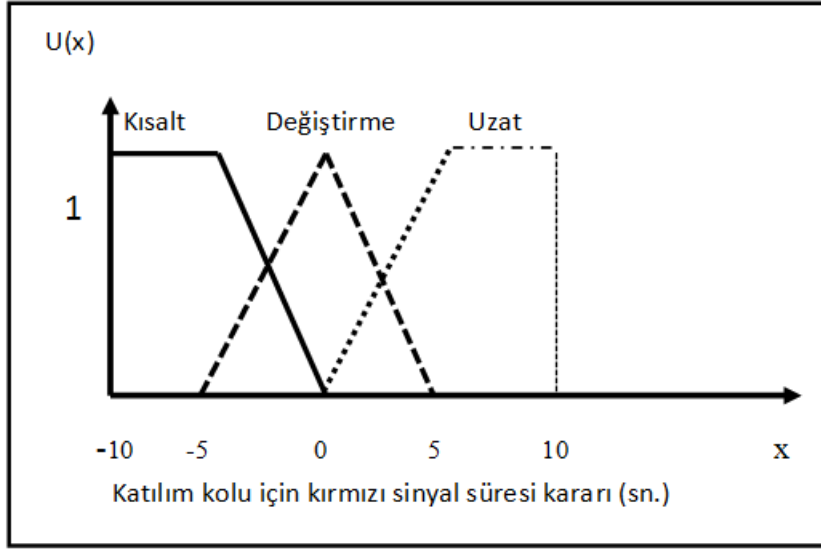
Katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı, sinyal süresinin kararındaki bir kontrol parametresidir. Bu parametre aynı zamanda otoyol katılım denetimi modelinde, giriş parametresi olarak kabul edilir. Katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı parametresine ait üyelik fonksiyonu Şekil 4.5' te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı parametresine ait üyelik fonksiyonu

#### 4.2.4 Katılım kolu için kırmızı sinyal süresi kararı

Katılım kolu için kırmızı sinyal süresi kararı, otoyol katılım denetimi modelinde çıktı parametresi olarak kabul edilmiştir. Katılım kolu için kırmızı sinyal süresi kararı, girdi parametreleri ve kural tabanı dikkate alınarak verilir. Bu çıktı parametresine ait üyelik fonksiyonu Şekil 4.6’ da gösterilmiştir. Otoyol katılım denetimi modeli kural tabanı aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.



Şekil 4.6 : Otoyol katılım denetimi modeli çıktı parametresinin üyelik fonksiyonu

1. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı çok> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu uzun> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı az> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “DEĞİŞTİRME” >
2. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı çok> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu uzun> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı orta> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “KISALT” >
3. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı çok> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu uzun> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı çok> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “KISALT” >
4. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı çok> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu orta> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı az> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “DEĞİŞTİRME” >

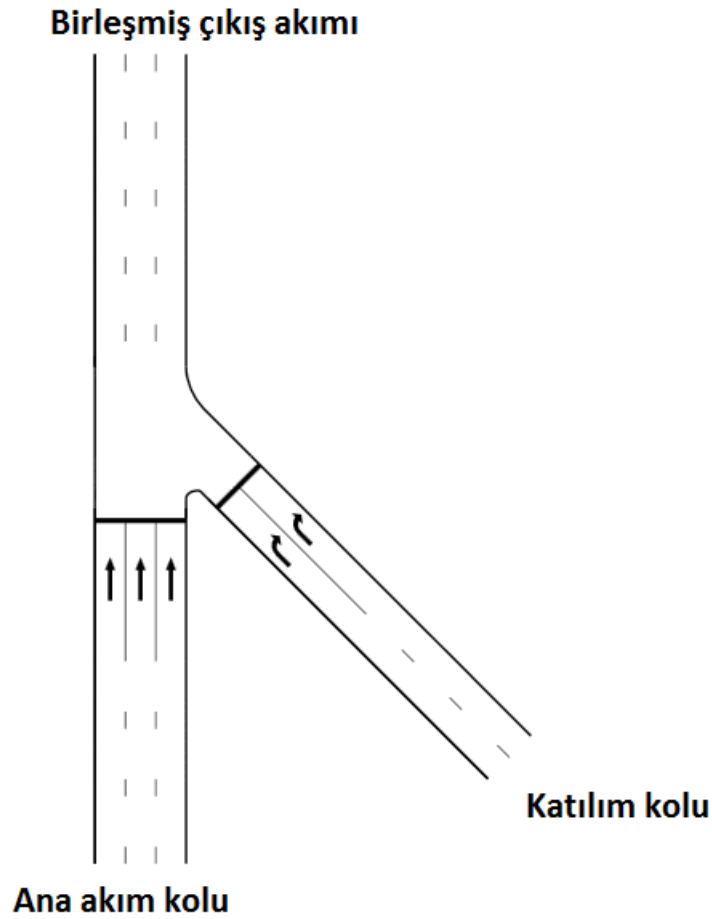
5. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı çok> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu orta> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı orta> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “KISALT” >
6. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı çok> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu orta> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı çok> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “KISALT” >
7. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı çok> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu kısa> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı az> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “DEĞİŞTİRME” >
8. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı çok> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu kısa> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı orta> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “KISALT” >
9. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı çok> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu kısa> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı çok> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “KISALT” >
10. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı orta> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu uzun> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı az> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “DEĞİŞTİRME” >
11. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı orta> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu uzun> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı orta> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “KISALT” >
12. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı orta> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu uzun> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı çok> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “KISALT” >
13. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı orta> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu orta> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı az> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “DEĞİŞTİRME” >
14. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı orta> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu orta> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı orta> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “DEĞİŞTİRME” >

15. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı orta> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu orta> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı çok> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “KISALT” >
16. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı orta> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu kısa> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı az> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “UZAT” >
17. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı orta> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu kısa> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı orta> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “DEĞİŞTİRME” >
18. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı orta> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu kısa> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı çok> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “DEĞİŞTİRME” >
19. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı az> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu uzun> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı az> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “DEĞİŞTİRME” >
20. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı az> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu uzun> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı orta> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “KISALT” >
21. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı az> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu uzun> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı çok> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “KISALT” >
22. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı az> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu orta> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı az> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “UZAT” >
23. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı az> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu orta> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı orta> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “DEĞİŞTİRME” >
24. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı az> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu orta> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı çok> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “KISALT” >

25. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı az> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu kısa> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı az> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “UZAT” >
26. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı az> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu kısa> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı orta> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “DEĞİŞTİRME” >
27. EĞER <otoyoldaki akımın geliş aralığı az> VE <katılım kolundaki kuyruk uzunluğu kısa> VE <katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı çok> İSE <katılım kolu için kırmızı sinyal süresini “KISALT” >

## 5. SIDRA ANALİZLERİ

Bu çalışmada otoyol katılım denetiminin iyileştirilmesi için araştırma yapılmış ve örnek olarak çift kollu bir kavşak düşünülmüştür. Söz konusu kavşakta ana akımın bulunduğu kısım 3 şerit, katılım kolunun bulunduğu kısım ise 2 şerit olarak tasarlanmıştır. Şekil 5.1’ de tasarlanan kavşağın şematize edilmiş hali gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Şematize edilmiş kavşak modeli

Öncelikle tasarlanan kavşak modeli için sinyalsiz tasarım yapılarak SIDRA INTERSECTION programı kullanılarak farklı hacim değerleri için gecikme, maliyet, yakıt tüketimi ve karbondioksit emisyonu değerleri bulunmuştur. Daha sonra elde

edilen bu sonuçlardan 15 tane örnek baz alınmıştır. Hacim değerleri varsayımlar üzerine oluşturulmuştur ve gerçek zamanlı sayımlar bulunmadığı için eldeki verilerle en ideal çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Tablo 5.1’de hacim değerleri sırasıyla verilmiştir.

Tablo 5.1: Trafik hacim değerleri

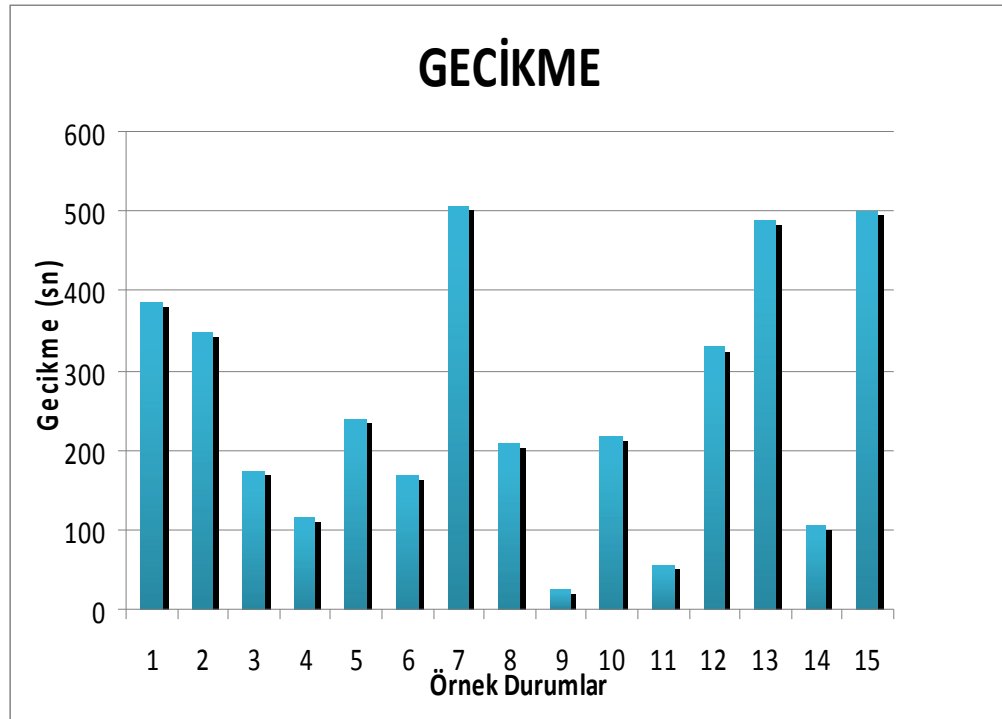
Sayım No	Trafik Hacimleri	
	Otoyol	Katılım Kolu
1	2400	1500
2	2550	1300
3	2700	900
4	2850	700
5	2850	900
6	3000	700
7	3000	1100
8	3100	700
9	3300	300
10	3300	600
11	3500	300
12	3500	600
13	3700	600
14	3800	300
15	3800	600

Öncelikle sinyalsiz tasarım yapılarak seçilen 15 tane örnek trafik hacimlerine ait gecikme, işletme maliyeti, yakıt tüketimi, CO<sub>2</sub> emisyonu sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlara ait grafikler Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de ve grafiklere ait değerler Tablo 5.2’de gösterilmiştir. Sinyalsiz tasarımdan elde edilen sonuçlara baktığımızda sayımlar somut olmamasına rağmen sinyalli tasarımın büyük oranda iyileştirme sağladığını görebilmekteyiz.

Tablo 5.2: Sinyalsiz tasarım sonuçları

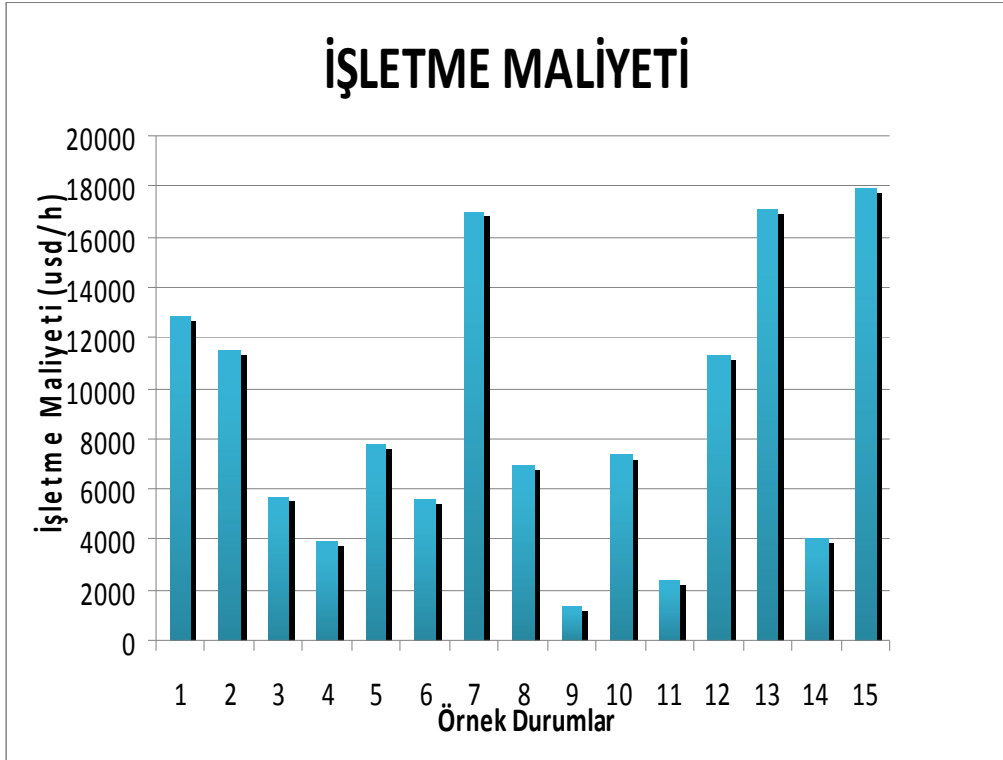
Örnek Durumlar	Gecikme (sn.)	İşletme Maliyeti(usd/h)	Yakıt Tüketimi(L/h)	CO <sub>2</sub> Emisyonu(kg/h)
1	386.9	12811.8	761.4	1903.5
2	349.4	11453.8	678.8	1697.1
3	172.7	5669.3	366.9	917.1
4	115.1	3946.8	270.5	676.2
5	239	7817.8	473.3	1183.2
6	167.8	5614.1	353.8	884.4
7	505.8	17040.4	936.1	2340.3
8	209.4	6983.7	421.4	1053.6
9	25.2	1383.6	126.8	317
10	218	7391.2	436.9	1092.2
11	56.2	2369.6	177.7	444.3
12	328.6	11263.8	626.6	1566.6
13	488.1	17102.7	911.6	2278.9
14	104.6	4086.2	265	662.5
15	500.6	17922.3	952.5	2381.4

Tablo 5.2’ de sinyalsiz tasarımdaki gecikme, işletme maliyeti, yakıt tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyonu sonuçlarının değerleri 15 adet örnek durum için ayrı ayrı gösterilmiştir. Bu değerlerin sinyalli tasarıma göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

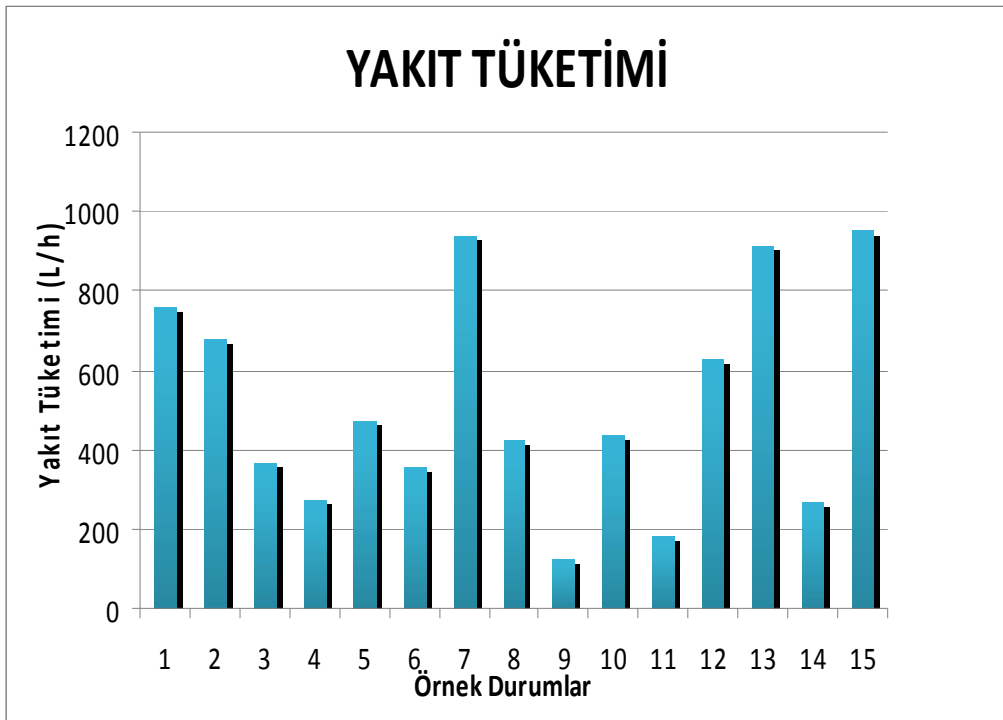


Şekil 5.2 : Sinyalsiz tasarımda gecikme grafiği

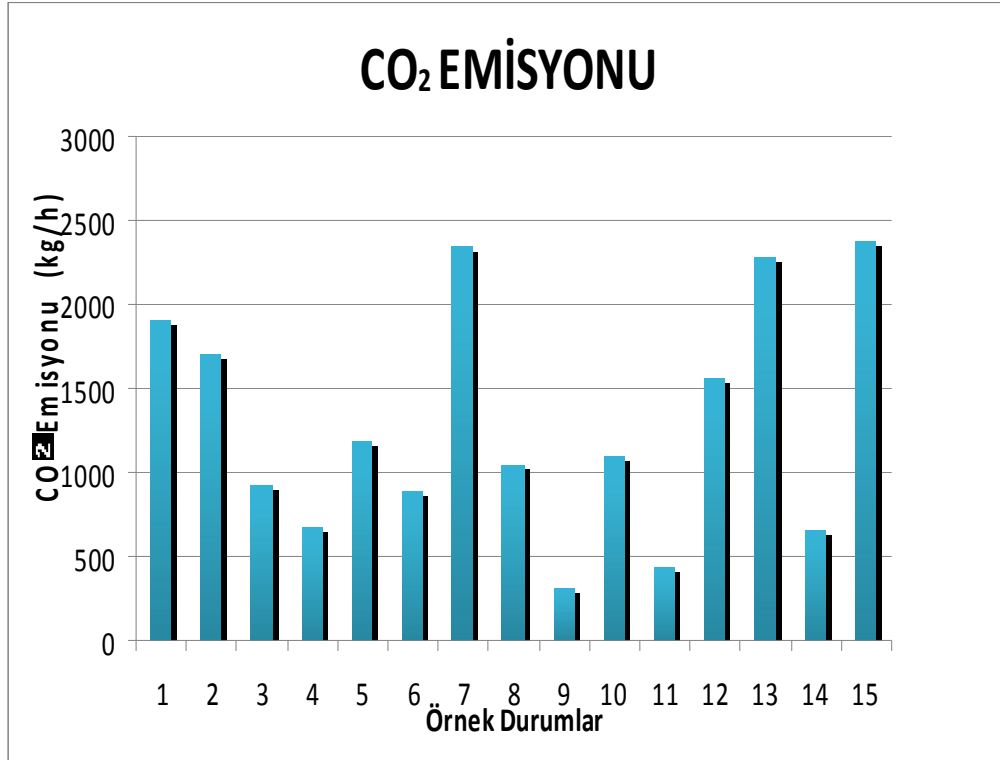




Şekil 5.3 : Sinyalsız tasarımda işletme maliyeti grafiği



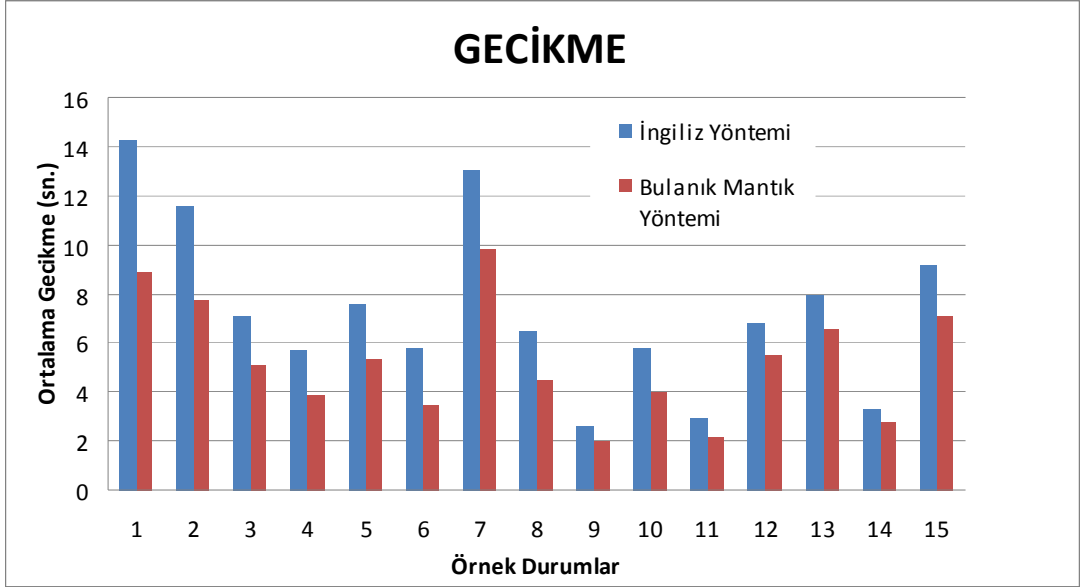
Şekil 5.4 : Sinyalsız tasarımda yakıt tüketimi grafiği



Şekil 5.5 : Sinyalsiz tasarımda CO<sub>2</sub> emisyonu grafiği

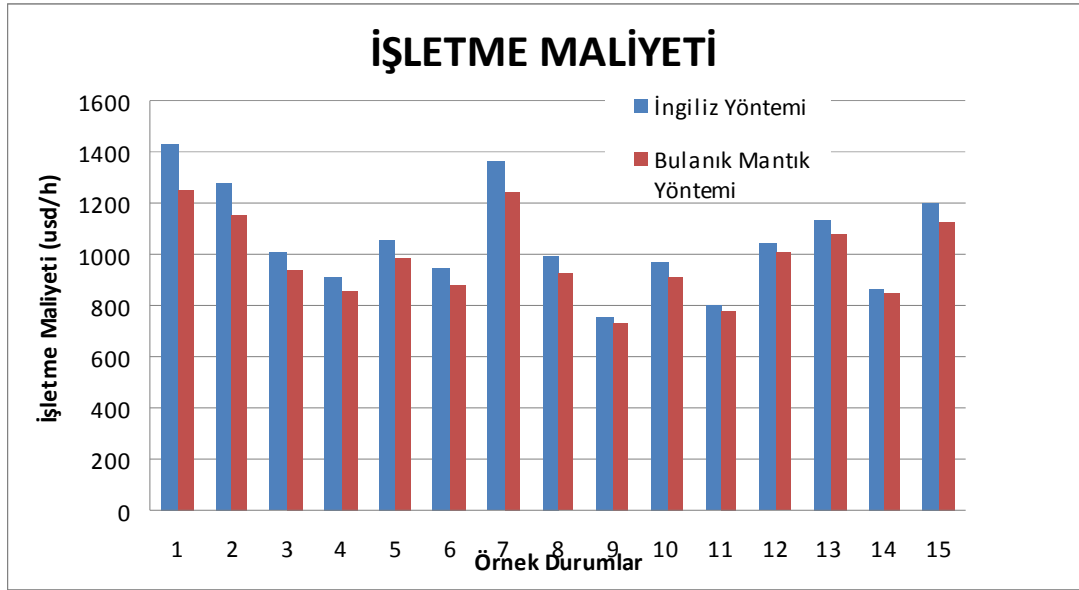
Seçilen 15 tane örnek İngiliz (Webster) Yöntemi ve Bulanık Mantık Yöntemi ile sinyalli olarak tasarlanıp SIDRA INTERSECTION programı yardımıyla çözülmüştür. Sinyalli tasarımda ana akımın bulunduğu kolda sinyal kullanılmamış, sadece katılım kolunda sinyal kullanılmıştır. Çözümler bu iki yöntemle yapıldıktan sonra elde edilen karşılaştırmalı sonuçlar yorumlanmıştır. Tablo A.1' de SIDRA INTERSECTION programı ile elde edilen Bulanık Mantık ve İngiliz Yöntem'lerinin sonuçları ele alınmıştır. Bu tabloda sinyal süreleri, otoyol ve katılım kolundaki; ortalama gecikme, işletme maliyeti, CO<sub>2</sub> emisyonu, yakıt tüketimi karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Tablo A.2' de ise kavşaktaki karşılaştırmalı performans sonuçları ele alınmıştır. Bu tabloda ortalama gecikme, işletme maliyeti, seyahat süresi, seyahat hızı, taşıt cinsinden ve mesafe cinsinden kuyruk uzunluğu, devir süresi karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar oldukça dikkat çekmektedir. Bulanık Mantık Yöntemi ile yapılan çözümün İngiliz Yöntemi ile yapılan çözüme göre bütün kriterlerde daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bulanık Mantık Yöntemi ve İngiliz Yöntemi ile elde edilen sonuçların karşılaştırmaları ayrıca şekillerle anlatılmıştır.

Tablo A.3' de Bulanık Mantık ve İngiliz Yöntemleri'nin karşılaştırmalı doygunluk değerleri ana hat, katılım kolu ve kavşak için ayrı ayrı gösterilmiş ve aynı zamanda karşılaştırmalı etkin kavşak kapasite değerlerine de yer verilmiştir.



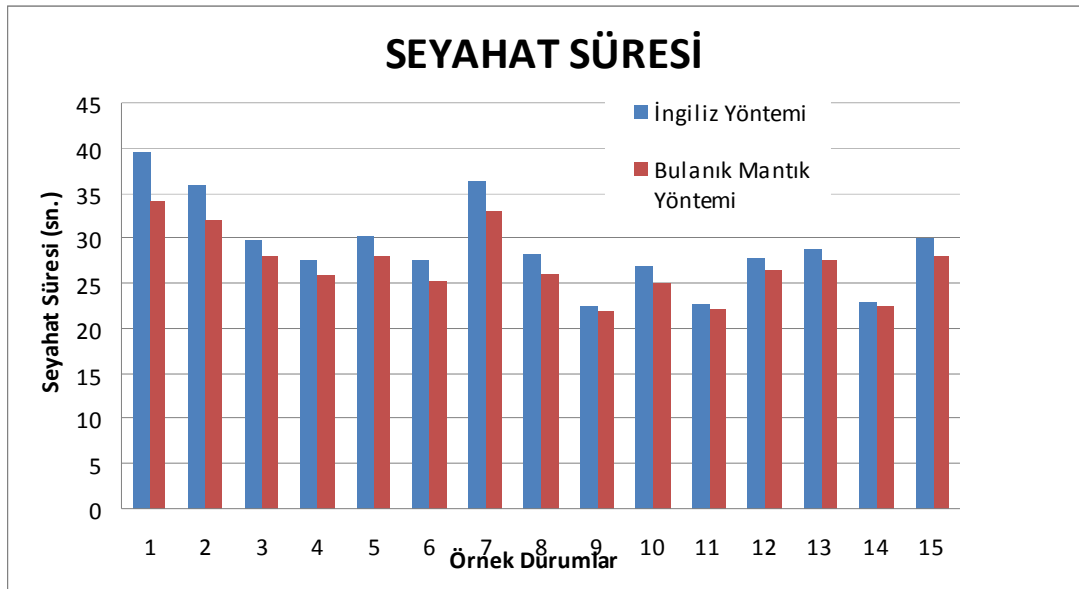
Şekil 5.6 : Karşılaştırmalı ortalama gecikme grafiği

Bulanık Mantık Yöntemi ile İngiliz Yöntemi' nin sonuçları karşılaştırıldığında bulanık mantık yaklaşımı ile yapılan çözümlemede ortalama araç gecikmesinin İngiliz Yöntemi ile yapılan çözümlmeye göre yaklaşık % 30 geliştirildiği görülmüştür. Günümüz koşullarında her geçen gün zamanın insan hayatındaki değerinin arttığı göz önünde bulundurulursa %30'luk bir gelişimin göz ardı edilemeyeceği muhakkaktır. Şekil 5.6' da her iki çözümlemenin sayısal değerleri mevcuttur.



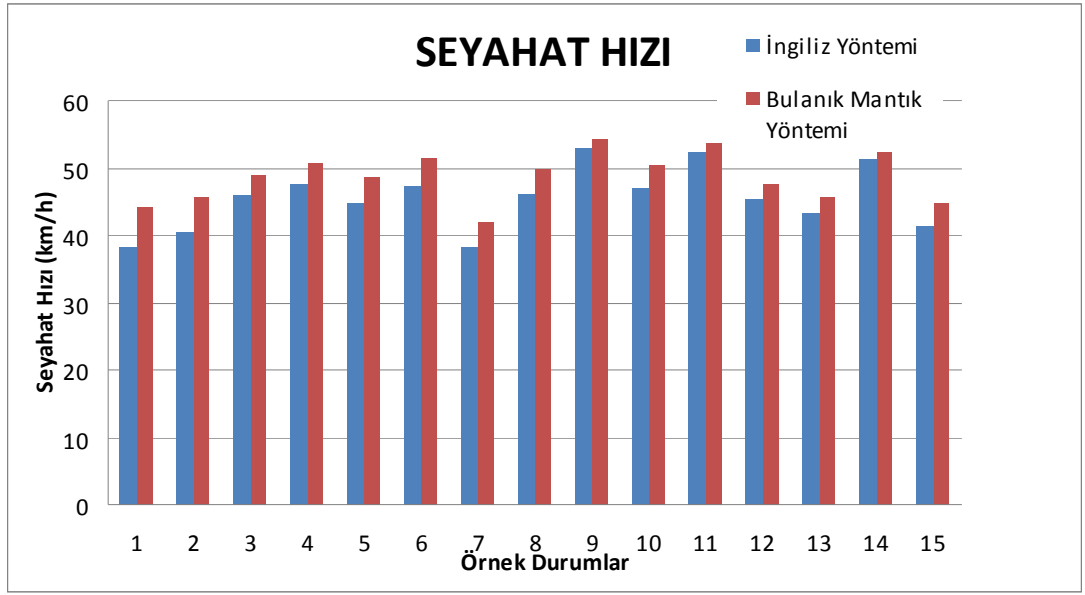
Şekil 5.7 : Karşılaştırmalı işletme maliyeti grafiği

Bulanık Mantık Yöntemi ile İngiliz Yöntemi' nin sonuçları karşılaştırıldığında bulanık mantık yaklaşımı ile yapılan çözümlemelerde işletme maliyetinin İngiliz Yöntemi ile yapılan çözümlemeye göre yaklaşık % 10 düştüğü görülmüştür. Şekil 5.7' de her iki çözümlemenin sayısal değerleri mevcuttur.



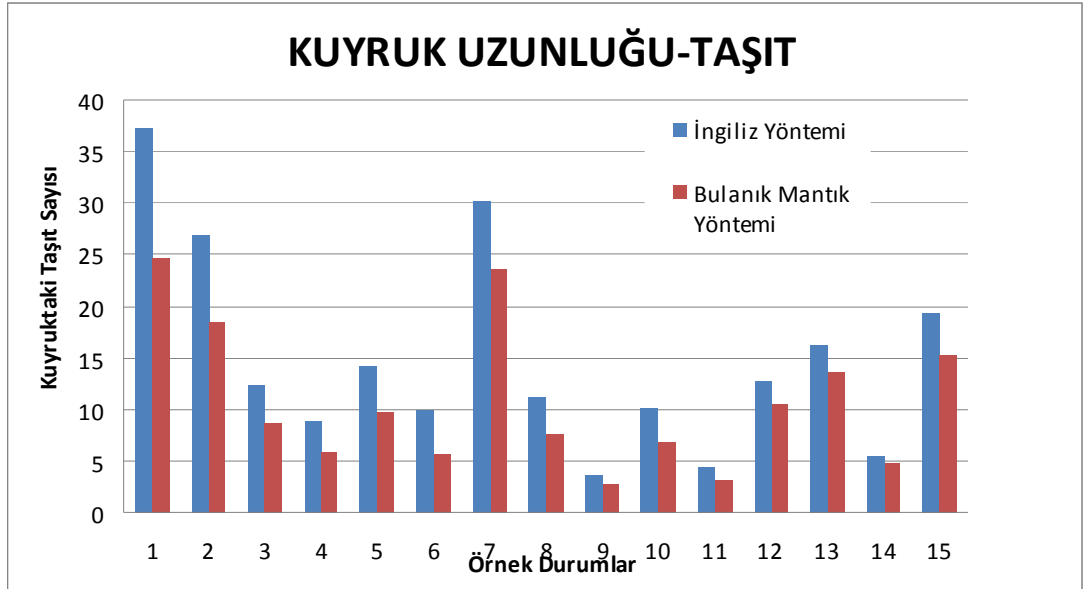
Şekil 5.8 : Karşılaştırmalı seyahat süresi grafiği

Bulanık Mantık Yöntemi ile İngiliz Yöntemi' nin sonuçları karşılaştırıldığında bulanık mantık yaklaşımı ile yapılan çözümlemelerde seyahat süresinin İngiliz Yöntemi ile yapılan çözümlemeye göre yaklaşık % 10 düştüğü görülmüştür. Şekil 5.8' de her iki çözümlemenin sayısal değerleri mevcuttur.



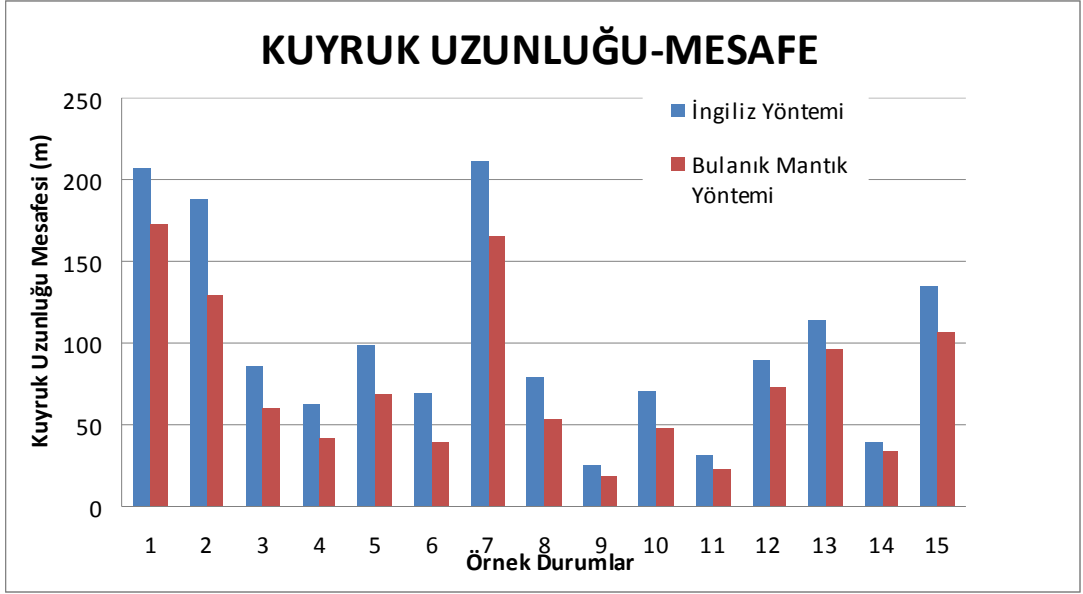
Şekil 5.9 : Karşılaştırmalı seyahat hızı grafiği

Bulanık Mantık Yöntemi ile İngiliz Yöntemi' nin sonuçları karşılaştırıldığında bulanık mantık yaklaşımı ile yapılan çözümlemede seyahat hızının İngiliz Yöntemi ile yapılan çözümlmeye göre yaklaşık % 10 arttığı görülmüştür. Şekil 5.9' da her iki çözümlemenin sayısal değerleri mevcuttur.



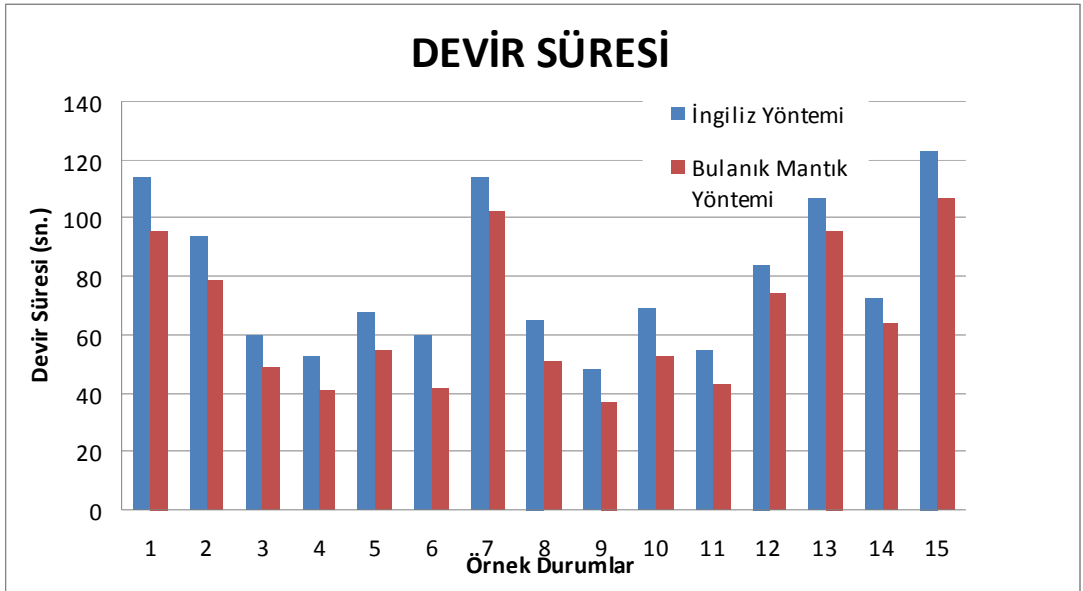
Şekil 5.10 : Karşılaştırmalı kuyruk uzunluğu grafiği (taşıt cinsinden)

Bulanık Mantık Yöntemi ile İngiliz Yöntemi' nin sonuçları karşılaştırıldığında bulanık mantık yaklaşımı ile yapılan çözümlemede taşıt cinsinden kuyruk uzunluğunun İngiliz Yöntemi ile yapılan çözümlmeye göre yaklaşık % 30 azaldığı görülmüştür. Şekil 5.10' da her iki çözümlemenin sayısal değerleri mevcuttur.



Şekil 5.11 : Karşılaştırmalı kuyruk uzunluğu grafiği (mesafe cinsinden)

Bulanık Mantık Yöntemi ile İngiliz Yöntemi' nin sonuçları karşılaştırıldığında bulanık mantık yaklaşımı ile yapılan çözümlemelerde mesafe cinsinden kuyruk uzunluğunun İngiliz Yöntemi ile yapılan çözümlemeye göre yaklaşık % 25 azaldığı görülmüştür. Şekil 5.11' de her iki çözümlemenin sayısal değerleri mevcuttur.



Şekil 5.12 : Karşılaştırmalı devir süresi grafiği (sn.)

Bulanık Mantık Yöntemi ile İngiliz Yöntemi' nin sonuçları karşılaştırıldığında bulanık mantık yaklaşımı ile yapılan çözümlemelerde devir süresinin İngiliz Yöntemi ile yapılan çözümlemeye göre yaklaşık % 17 azaldığı görülmüştür. Şekil 5.12' de her iki çözümlemenin sayısal değerleri mevcuttur.

## 6. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, otoyol katılım denetimi incelenmiştir. Çalışmaya yön vermesi açısından bu konuyla ilgili önceki çalışmalar araştırılmıştır. Önceki çalışmalarda genel olarak tıkanıklık süresi, talep-kapasite ve zirve saat hacimleri kullanılmıştır. Bu çalışmada ise; otoyoldaki akımın geliş aralığı, katılım kolundaki kuyruk uzunluğu ve katılım kolundaki kalan kırmızı sinyal süresi oranı parametreleri kullanılmıştır. Bulanık Mantık Yöntemi kullanılarak bir model oluşturulmuş ve bu model karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu modelden elde edilen sonuçlara göre bulanık mantık esaslı katılım denetiminin kullanılabilir olduğu görülmüştür. Bulanık mantık esaslı katılım denetimi modeli ortalama gecikme, işletme maliyeti, seyahat süresi, seyahat hızı, taşıt cinsinden kuyruk uzunluğu ve mesafe cinsinden kuyruk uzunluğu açısından önemli faydalar sağlamıştır. Ayrıca bu modelde CO<sub>2</sub> emisyonu ve yakıt tüketimi açısından az da olsa fayda sağlanmıştır.

Bu olumlu etkilere ek olarak bulanık mantık esaslı katılım denetimi modelinin sonucunda, katılım kolu için sinyal sürelerini ayarlanmış ve katılım denetimi için önemli bir parametre olan taşıt gecikmelerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Tüm olumsuz etkileri azaltan bu modelin kullanımı enerji verimliliği sağlamakta ve çevre dostu bir uygulama olarak kullanılabilir. Model gerçek zamanlı sayımlara dayalı olarak yapılmamakla birlikte, gerçek simülasyon teknikleri kullanılarak analiz yapılmıştır. Seçilen 15 tane örnek için kukla simülasyon Microsoft Excel üzerinde yapılmıştır. Bu model bulanık mantığa dayalı kontrol yazılımı geliştirilerek alanda uygulanabilir ve farklı parametrelerle geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- Balta, M. C.**, 2002: Otoyol Giriş Denetimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Blumentritt C. W.**, 1981: Guidelines for Selection: Ramp Control Systems, *Transportation Research Board Research Report*, NCHRP Report 232, Mayıs 1981, Washington, USA.
- Bojadziev, G., Bojadziev, M.**, 1995, Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Applications, World Scientific Pub. Co. Pte. Ltd, Singapore.
- Carlson G. C., Lari A. Z.**, 1978: Ramp control on I-35E Review of operational Experience 1970-1977, Pb-292 358, Federal Highway Division, Ağustos 1978, Washington, USA.
- Chaudhary, N. A., Messer, C. J.**, 2000: Design Criteria For Ramp Metering: APPENDIX To Txdot Roadway Design Manual, Texas Transportation Institute, Report 2121-3, Texas.
- Chen, X., Tian, A.**, 2010, Research on Fuzzy On-ramp Metering and Simulation in Urban Expressway based on Matlab Toolbox, 2010 Second International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing, China.
- Daganzo, C. F., Laval, J., Munoz, J. C.**, 2002: Ten Strategies for Freeway Congestion Mitigation with Advanced Technologies, University of California, Berkley, *California PATH Research Report*, UCB-ITS-PRR-2002-3.
- Ghods, A. H., Kian, A.R., Tabibi, M.**, 2007, A Genetic-Fuzzy Control Application to Ramp Metering and Variable Speed Limit Control, IEEE, Tehran, Iran.
- James D. Carwell, Jr., Kevin Balke, Jerry Ullman, Katherine Fitzpatrick, Lewis Nowlin, Christoper Brehmer**, 1997: Freeway Management Handbook, US Department of Transportation, FHWA-SA-97-064, Washington, USA.
- Kandel, A.**, 1986, Fuzzy Mathematical Techniques with Applications, Addison-Wesley Publishing Co, Canada.
- Murat, Y. Ş.**, 2001, Sinyalize kavşaklarda bulanık mantık tekniği ile trafik uyumlu sinyal devre modeli, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bil. Enst., İstanbul.
- Murat, Y. Ş., Gedizlioğlu E.**, 2005, A fuzzy logic multi-phased signal control model for isolated junctions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 13/1, pp 19-36.



- Owens D., Schofield M. J.**, 1998, Access Control M6 Motorway: Evaluation Of Britain's First Ramp-Metering Scheme, *Traffic Engineering Control*, 29, 616-623.
- Papageorgiu M., Haj-Salem H., Middelham F.**, 1997: ALINEA Local Ramp Metering Summary of Field results, *Transportation Research Record*,1603, 90-98.
- Piotrowicz G., Robinson J.**, 1995: Ramp Metering Status In North America 1995 Update, *U.S. Department of Transportation Federeal Highway Administration Final Report*, Haziran, DOT-T-95-17.
- Stephanes, Y. J., Chang K.K.**, 1993: Optimal Control of Freeway Corridor, *Journal of Transportation Engineering*, 119. 4, 43-55.
- Şahin İ., Zorer A.**, 2001, Boğaziçi Köprüsü Bağlantı Yollarındaki Ardışık Katılımların Analizi ve Kapasite Kullanım Düzeyinin Araştırılması, "İstanbul' da Kent İçi Ulaşım Sempozyumu" Bildiriler Kitabı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Atatürk Kültür Merkezi, İstanbul, 28-29-30 Haziran 2001, 243-250.
- Taylor C., Meldrum D., Jacobson L.**, 1997, Fuzzy Ramp Metering: Design Overview And Simulation Results, Transportation Research Board Report, Preprint 980722, Washington, USA.
- Ulukut Ö., Özkaya U., Çömlekçi S.**, 2005, Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Trafik Akımlarının Kontrolü, Elektrik Mühendisleri Odası, Türkiye.
- Yoshino T., Sasaki T., Hasegawa T.**, 1995: The traffic-Control System On the Hanshin Expressway, *Interfaces*, 25,94-108.
- Zadeh, L. A.**, 1973: The Concept Of A Linguistic Variable And Its Application To Approximate Reasoning, *Memerandum ERL-411*, October 1973, Berkeley, USA.
- Zhang H., Ritchie S. G., Recker W. W.**, 1996: Some Genral Results on The Optimal Ramp Control Problem, *Transportation Research Part C*, 4, 2, 51-69 Washington, USA.
- Zorer, A.**, 2003: Katılım Kontrolü Simülasyonu: Boğaziçi Köprüsü ve Çevreyolunda (O-1) Bir Uygulama, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**EKLER:Tablo A.1: Karşılaştırmalı performans sonuçları**

Sayım No	Trafik Hacimleri (Otoyol-Katılım Kolu)	Performans Sonuçları (Bulanık Mantık Yöntemi / İngiliz Yöntemi)										
		Sinyal Süreleri			Otoyol				Katılım Kolu			
		Kırmızı Süre (sn.)	Yeşil Süre (sn.)	Devir Süresi (sn.)	Ortalama Gecikme (sn.)	İşletme Maliyeti (\$/h)	CO <sub>2</sub> Emisyonu (kg/h)	Yakıt Tüketimi (l/h)	Ortalama Gecikme (sn.)	İşletme Maliyeti (\$/h)	CO <sub>2</sub> Emisyonu (kg/h)	Yakıt Tüketimi (l/h)
1	2400 – 1500	41/59	55/55	96/114	0/0	410.9/410.9	130.8/130.8	52.3/52.3	23.3/37.3	838.1/1015.1	276.4/299.4	110.5/119.8
2	2550 – 1300	38/53	41/41	79/94	0/0	436.6/436.6	138.9/138.9	55.6/55.6	22.8/34.3	721.5/848.5	239.1/255.7	95.6/102.3
3	2700 – 900	29/40	20/20	49/60	0/0	462.2/462.2	147.1/147.1	58.8/58.8	20.2/28.3	482/542.8	163.6/171.8	65.4/68.7
4	2850 – 700	27/39	14/14	41/53	0/0	487.9/487.9	155.3/155.3	62.1/62.1	20/28.7	373.9/424.3	127.2/134.1	50.9/53.6
5	2850 – 900	33/46	22/22	55/68	0/0	487.9/487.9	155.3/155.3	62.1/62.1	22.1/31.8	494.9/568.7	165.2/175	66.1/70
6	3000 – 700	26/44	16/16	42/60	0/0	513.6/513.6	163.5/163.5	65.4/65.4	18.8/30.8	367/435.5	126.2/135.3	50.5/54.1
7	3000 – 1100	62/74	40/40	102/114	0/0	513.6/513.6	163.5/163.5	65.4/65.4	36.6/49	730.5/851.5	217.7/233.2	87.1/93.3
8	3100 – 700	35/49	16/16	51/65	0/0	530.7/530.7	168.9/168.9	67.6/67.6	24.2/35.3	396.7/461.9	130.1/138.9	52.1/55.6
9	3300 – 300	31/42	6/6	37/48	0/0	565/565	179.8/179.8	71.9/71.9	24.3/31.8	170.3/188	55.9/58.3	22.4/23.3
10	3300 – 600	38/54	15/15	53/69	0/0	565/565	179.8/179.8	71.9/71.9	25.8/37.5	347.7/405.5	112.5/120.2	45/48.1
11	3500 – 300	37/49	6/6	43/55	0/0	599.2/599.2	190.7/190.7	76.3/76.3	28.3/37.1	179.7/200.7	57.2/60	22.9/24

Tablo A.1 (Devam): Karşılaştırmalı Performans Sonuçları

<b>12</b>	3500 – 600	57/67	17/17	74/84	0/0	599.2/599.2	190.7/190.7	76.3/76.3	37.6/46.3	404.6/448.4	119.8/125.6	47.9/50.2
<b>13</b>	3700 – 600	75/86	21/21	96/107	0/0	633.5/633.5	201.6/201.6	80.6/80.6	47.4/57.3	451/501.2	125.5/131.9	50.2/52.8
<b>14</b>	3800 – 300	56/64	8/8	64/72	0/0	650.6/650.6	207/207	82.8/82.8	38.9/44.7	204.7/218.4	60.3/62.1	24.1/24.8
<b>15</b>	3800 – 600	84/100	23/23	107/123	0/0	650.6/650.6	207/207	82.8/82.8	52.3/67.8	473.9/553	128.3/138.4	51.3/55.3

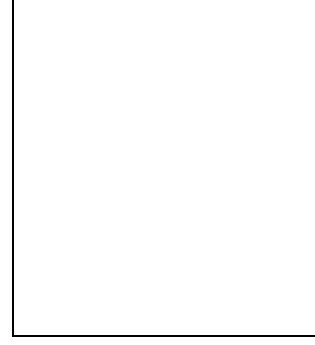
Tablo A.2: Karşılaştırmalı Performans Sonuçları -Kavşak

Sayım No	Trafik Hacimleri	Karşılaştırmalı Performans Sonuçları (Bulanık Mantık Modeli / İngiliz Modeli)- Kavşak						
		Ortalama Gecikme (sn.)	İşletme Maliyeti (usd/h)	Seyahat Süresi (sn.)	Seyahat Hızı (km/h)	Kuyruk Uzunluğu-Taşıt	Kuyruk Uzunluğu-Mesafe (m.)	Devir Süresi (sn.)
1	2400 – 1500	8.9 / 14.3	1249.0 / 1426.0	34.1 / 39.5	44.3 / 38.2	24.7 / 37.2	173.0 / 206.6	96 / 114
2	2550 – 1300	7.7 / 11.6	1158.1 / 1285.0	32.0 / 35.9	45.6 / 40.7	18.4 / 26.9	128.9 / 188.0	79 / 94
3	2700 – 900	5.1 / 7.1	944.2 / 1005.1	27.9 / 29.9	49.1 / 45.8	8.6 / 12.3	60.2 / 86.3	49 / 60
4	2850 – 700	3.9 / 5.7	861.8 / 912.2	25.8 / 27.5	50.8 / 47.7	5.9 / 8.9	41.4 / 62.3	41 / 53
5	2850 – 900	5.3 / 7.6	982.8 / 1056.6	27.9 / 30.3	48.6 / 44.9	9.7 / 14.2	68.2 / 99.4	55 / 68
6	3000 – 700	3.5 / 5.8	880.6 / 949.1	25.3 / 27.6	51.6 / 47.3	5.7 / 9.9	39.6 / 69.2	42 / 60
7	3000 – 1100	9.8 / 13.1	1244.1 / 1365.2	33.0 / 36.3	42.1 / 38.3	23.6 / 30.3	165.5 / 211.8	102 / 114
8	3100 – 700	4.5 / 6.5	927.4 / 992.7	26.1 / 28.1	49.8 / 46.1	7.6 / 11.3	53.3 / 79.1	51 / 65
9	3300 – 300	2.0 / 2.6	735.3 / 753.0	21.9 / 22.5	54.4 / 52.9	2.7 / 3.7	18.8 / 26.0	37 / 48
10	3300 – 600	4.0 / 5.8	912.7 / 970.4	25.1 / 26.9	50.5 / 47.1	6.9 / 10.2	48.1 / 71.4	53 / 69
11	3500 – 300	2.2 / 2.9	778.9 / 799.9	22.0 / 22.7	53.9 / 52.3	3.2 / 4.4	22.7 / 30.9	43 / 55
12	3500 – 600	5.5 / 6.8	1003.8 / 1047.7	26.5 / 27.7	47.5 / 45.3	10.5 / 12.8	73.4 / 89.7	74 / 84
13	3700 – 600	6.6 / 8.0	1084.4 / 1134.6	27.5 / 28.8	45.5 / 43.4	13.7 / 16.3	96.0 / 114.4	96 / 107
14	3800 – 300	2.8 / 3.3	855.2 / 869.0	22.5 / 23.0	52.4 / 51.4	4.8 / 5.6	33.9 / 39.3	64 / 72
15	3800 – 600	7.1 / 9.2	1124.4 / 1203.6	27.9 / 30.0	44.7 / 41.5	15.3 / 19.3	107.1 / 135.3	107 / 123

Tablo A.3: Karşılaştırmalı doygunluk ve etkin kavşak kapasite değerleri

Sayım No	Örnekler	Karşılaştırmalı Doygunluk Değerleri (Bulanık Mantık Modeli / İngiliz Yöntemi)			Karşılaştırmalı Etkin Kavşak Kapasite Değerleri (vph) (Bulanık Mantık Modeli/İngiliz Yöntemi)
		Ana Hat	Katılım	Kavşak	Kavşak
1	2400 – 1500	0.438 / 0.438	0.694 / 0.824	0.694 / 0.824	5619 / 4732
2	2550 – 1300	0.465 / 0.465	0.664 / 0.790	0.664 / 0.790	5798 / 4873
3	2700 – 900	0.492 / 0.492	0.585 / 0.716	0.585 / 0.716	6159 / 5030
4	2850 – 700	0.520 / 0.520	0.543 / 0.703	0.543 / 0.703	6532 / 5053
5	2850 – 900	0.520 / 0.520	0.596 / 0.737	0.596 / 0.737	6287 / 5085
6	3000 – 700	0.547 / 0.547	0.487 / 0.696	0.547 / 0.696	6764 / 5317
7	3000 – 1100	0.547 / 0.547	0.744 / 0.831	0.744 / 0.831	5514 / 4933
8	3100 – 700	0.565 / 0.565	0.591 / 0.754	0.591 / 0.754	6424 / 5041
9	3300 – 300	0.602 / 0.602	0.490 / 0.636	0.602 / 0.636	5983 / 5658
10	3300 – 600	0.602 / 0.602	0.562 / 0.732	0.602 / 0.732	6481 / 5330
11	3500 – 300	0.638 / 0.638	0.570 / 0.729	0.638 / 0.729	5954 / 5213
12	3500 – 600	0.638 / 0.638	0.692 / 0.786	0.692 / 0.786	5922 / 5217
13	3700 – 600	0.675 / 0.675	0.727 / 0.810	0.727 / 0.810	5914 / 5306
14	3800 – 300	0.693 / 0.693	0.636 / 0.716	0.693 / 0.716	5917 / 5728
15	3800 – 600	0.693 / 0.693	0.740 / 0.851	0.740 / 0.851	5946 / 5173

05.01.1988 tarihinde doğan Gökçe YASLAN, lise eğitimini Muğla Anadolu Lisesi'nde görmüştür.2005 yılında Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazanmış ve 2009 yılı Eylül ayında mezun olmuştur.Daha sonra yine Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır.



**Ad Soyad: Gökçe YASLAN**

**Doğum Yeri ve Tarihi: Muğla 05.01.1988**

**Adres: Konak Mah. Nevzat Özsoy Caddesi, No:18, Kat:1, Yatğan/MUĞLA**