

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDEN AYRILAN**  
**ARAÇLARIN TAKİP ARALIĞI DAĞILIMININ**  
**İNCELENMESİ**

**S. Pelin ÇALIŞKANELLİ**

**Aralık, 2010**

**İZMİR**

# **SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDEN AYRILAN ARAÇLARIN TAKİP ARALIĞI DAĞILIMININ İNCELENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Doktora Tezi**

**İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı**

**S. Pelin ÇALIŞKANELLİ**

**Aralık, 2010**

**İZMİR**

## DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**S. PELİN ÇALIŞKANELLİ**, tarafından **DOÇ. DR. SERHAN TANYEL** yönetiminde hazırlanan “**SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDEN AYRILAN ARAÇLARIN TAKİP ARALIĞI DAĞILIMININ İNCELENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Serhan TANYEL

Yönetici

Doç. Dr. Yetiş Şazi MURAT

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Yavuz ŞENOL

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Ayhan İNAL

Jüri Üyesi

Yrd. Doç.Dr. Ali Payidar AKGÜNGÖR

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve doktora öğrenimim süresince tüm akademik çalışmalarında büyük desteği ve emeği bulunan, çalışmalarımın her aşamasında bilgi birikimini ve ilgisini benden esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Serhan TANYEL'e gösterdiği yakın ilgi, sonsuz yardım ve sabır için şükranlarımı sunarım.

Tez izleme çalışmalarım esnasında, tezimin ilerlemesi açısından son derece yol gösterici önerilerde bulunan değerli hocalarım Sn. Doç Dr. Yetiş Şazi MURAT ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Yavuz ŞENOL'a ilgi ve desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın son aşamalarında elde ettiğim sonuçları yorumlamam ve karşılaştığım problemlerin üstesinden gelmem için benden zamanını ve bilgi birikimini esirgemeyen, bütün sorularımı sabırla cevaplamaya çalışan değerli hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Umay UZUNOĞLU KOÇER'e yardımları için çok teşekkür ederim.

Özellikle doktora tezimin yazım aşamasında benden bilgi birikimini, zamanını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bölümde sorumlu olduğum iş yükünü büyük ölçüde hafifleterek bana yardımcı olan sevgili oda arkadaşım Sn. Araş. Gör. Dr. Mustafa ÖZUYSAL'a yardım ve destekleri için çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans ve doktora eğitimim süresince benden destek ve ilgilerini esirgemeyen görev yaptığım Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı öğretim üyeleri Sn. Doç. Dr. Burak Şengöz ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Ali TOPAL'a, Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü öğretim üyesi Sn. Yrd. Doç. Dr. Yıldırım ORAL'a gösterdikleri ilgi ve yakınlıktan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana olan güvenini bir gün bile eksik etmeyen ve bu güven duygusunu bana sürekli hissettirerek başarılı olmamı sağlayan babam Atilla ÖZKAYA'ya, her zaman yanımda olan ve karşılaştığım her sıkıntıda yanımda olup bana koşulsuz destek sağlayan, çalışmamı tamamlamamda çok büyük emeği bulunan annem Jale ÖZKAYA'ya bugünlere gelmem için verdikleri emeklerden dolayı sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimimin başından, doktora tez çalışmamın tamamlandığı son güne kadar benden desteğini esirgemeyen eşim Cenk ÇALIŞKANELLİ'ye gösterdiği sabır ve verdiği büyük sevgi için çok teşekkür ederim. Ayrıca yaşantıma renk katan, mutluluk kaynağım, oğlum Ali Yağız ÇALIŞKANELLİ'ye hayatıma girdiği için çok teşekkür ederim.

Küçük oğlum, bu zorlu süreçte beni yalnız bırakmadın. İyi ki varsın. Sağlıkla gel.

S. Pelin ÇALIŞKANELLİ

# SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNDEN AYRILAN ARAÇLARIN TAKİP ARALIĞI DAĞILIMININ İNCELENMESİ

## ÖZ

Şehiriçi trafiğinde en önemli problem, farklı doğrultudaki yol ağlarının kesişmesi ile oluşan kavşak noktaları ve bu noktalarda trafik akımında oluşan değişikliklerdir. Şehiriçi kavşak noktalarının denetiminde genellikle sinyalizasyon sistemlerinden yararlanılmaktadır. Sinyalizasyon sistemleri hem yaya ve taşıt güvenliğini sağlamak hem de kavşak kapasitesini arttırmak amacıyla oluşturulmaktadır. Ancak yanlış tasarlanan sinyalizasyon sistemleri kazalara sebep olmakta, kavşak kapasitesini düşürmekte, yaklaşım kollarındaki kuyruklanma ve gecikme sürelerinin artmasına sebep olmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, sinyalize arterlerde hareket etmekte olan araçlar arasındaki takip aralığı değerleri incelenmiştir. İncelemeler araçların konumlarına göre; sinyalden belirli bir mesafe öncesinde (400 metreye kadar), sinyalden belirli bir mesafe sonrasında (400 metreye kadar) ve tam sinyal çıkış noktasında gerçekleştirilmiştir. İncelemelerde amaç, araçlar arasındaki takip aralığı değerlerini modellemek, serbest ve grup halinde hareket eden araç oranlarını belirleyebilmektir. Buna bağlı olarak sinyal noktasına yakın mesafede yerleşik bir denetimsiz kavşak / yanyol bağlantısı olması durumunda kavşak noktasının kapasitesi belirlenebilecektir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, trafik akımı ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve şehiriçi trafik yönetiminde kullanılan kavşak türleri genel hatları ile tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde, araç takip aralıklarının incelenmesi amacıyla kullanılan genel trafik akım modellerinden ve istatistiksel dağılımlardan bahsedilmiştir. Takip aralıklarının uygunluğu araştırılan Cowan M3 dağılımı tanıtılmış, parametreleri ve parametre hesap yöntemleri belirtilmiştir. Tez çalışmasının dördüncü bölümünde, inceleme yapılan sinyalize arterler tanıtılmış ve serbest araç oranının belirlenebilmesi amacıyla elde edilen bağıntılar verilmiştir. Daha sonra elde edilen bağıntılar

denetimsiz bir yanyol bağlantı noktasının kapasitesinin belirlenmesi amacıyla kullanılmış ve elde edilen sonuçlar yazılan simülasyon programı yardımıyla irdelenmiştir. Beşinci bölümde sinyal noktasındaki araçlar arasındaki takip aralığı değerleri incelenmiş ve uygun olan istatistiksel dağılım araştırılmıştır. Oluşturulan hipotezler yardımıyla doymuş takip aralığı değeri araştırılmış ve incelenen kavşakları temsil eden doymuş akım değeri belirlenmiştir. Tezin altıncı bölümü olan son bölümünde ise elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve çeşitli öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** araç takip aralığı, sinyalizasyon kavşakları, denetimsiz kavşak kapasitesi, doymuş akım.

# **INVESTIGATION OF THE HEADWAY DISTRIBUTION OF THE VEHICLES DEPARTING FROM SIGNALIZATION SYSTEMS**

## **ABSTRACT**

The most important traffic problem in urban cities is intersections which occur by the road networks in different directions and the flow changes at these intersections. Signalization systems are frequently used in urban traffic as a control device. Signalization systems ensure safety of pedestrians and vehicles as well as being created in order to increase the capacity. However some mistakes in design process of the signalized intersections cause accidents, delay and decrease the capacity.

In this thesis, the headway of the following vehicles was investigated at signalized arterials. Headways were investigated by their positions to the signalization points, before the signalization (up to 400 meters), after the signalization (up to 400 meters) and on the signalization stop-line. Aims of this study are modeling of vehicle headways and determine the proportion of the free following and bunched vehicles. Therefore capacity of an unsignalized intersection which placed near the signalization point could be determined.

In the second section of the thesis, provides general information about traffic flow and urban traffic management is introduced with general outline of the types of intersections.

In the third section, the general traffic flow models used to examine the vehicle headways and statistical distributions are discussed. Compliance with headways investigated Cowan M3 distribution introduced, given the parameters and parameter calculation methods.

In the forth chapter, the review of the observation sites are introduced and relations are obtained in order to determine the proportion of the free vehicles. Then, the



equations obtained by the observations are used to determine the capacity of an uncontrolled intersection and the results obtained with the help of the simulation program are discussed.

In the fifth chapter, discharge headways at the signal point were examined and the appropriate statistical distribution was investigated. Saturated headway value is investigated with the help of the hypotheses are generated and saturation flow value of the junctions were analyzed. In the last part of the thesis, the results are interpreted, and presented several recommendations.

**Keywords:** headways, signalized intersections, unsignalized intersection capacity, saturation flow.

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	v
ABSTRACT.....	vii

### **BÖLÜM BİR – GİRİŞ .....**

**1**

### **BÖLÜM İKİ – TRAFİK AKIMI VE KAVŞAK SİSTEMLERİ .....**

**4**

2.1 Eşdüzey Kavşaklar .....	4
2.1.2 Eşdüzey Kavşakların Düzenlenmesi ve Planlanmasında Dikkat Edilecek Hususlar .....	4
2.2 Eşdüzey Kavşak Türleri .....	6
2.2.1 Denetimli Eşdüzey (Sinyalize) Kavşaklar .....	6
2.2.1.1 Sinyalizasyon Sisteminin Oluşturulması .....	7
2.2.1.2 Sinyalize Kavşaklar İle İlgili Bazı Tanımlar .....	8
2.2.1.3 Sinyalize Kavşaklarda Kapasite.....	9
2.2.1.4 Sinyalize Kavşaklarda Trafik Yoğunluğunun Değişimi.....	11
2.2.2 Denetimsiz Eşdüzey Kavşaklar .....	12
2.2.3 Dönel Kavşaklar .....	14

### **BÖLÜM ÜÇ – SİNYALİZE ARTERLERDE ARAÇ TAKİP**

### **ARALIKLARININ İNCELENMESİ.....**

**16**

3.1 Genel .....	16
3.2 Makroskopik Trafik Akım Modelleri.....	18

3.3 Mikroskopik Trafik Akım Modelleri .....	19
3.3.1 Basit İstatistiksel Dağılımlar.....	20
3.3.2 Karmaşık İstatistiksel Dağılımlar .....	23
3.4 Cowan M3 Dağılımı .....	25
3.4.1. Cowan M3 Dağılımının Parametreleri.....	26
3.4.1.1 Minimum Zaman Cinsinden Aralık Değeri ( $\Delta$ ).....	26
3.4.1.2 “ $\lambda$ ” Parametresi .....	27
3.4.1.3. Serbest Araç Oranı ( $\alpha$ ).....	27
3.4.2 Cowan M3 Dağılımına ait Parametreleri Belirlemek Amacıyla Kullanılan Hesap Yöntemleri .....	32
3.4.2.1 Momentler Yöntemi.....	32
3.4.2.2 Maksimum Olabilirlik Yöntemi.....	33
3.4.2.3 En Küçük Kareler Yöntemi .....	34
3.4.3 Cowan M3 Dağılım Parametreleri ve Hesap Yöntemleri ile İlgili Genel Değerlendirmeler .....	36

## **BÖLÜM DÖRT – SİNYALİZE ARTERLERDE SERBEST ARAÇLARA AİT TAKİP ARALIKLARININ MODELLENMESİ .....**

**37**

4.1 Gözlem Yapılan Kavşaklar ve Verilerin Elde Edilmesi.....	38
4.2 Gözlem Verilerinin Değerlendirilmesi .....	41
4.3 Serbest Araç Oranı “ $\alpha$ ” ve Hacim “ $q$ ” Arasındaki İlişkinin İncelenmesi .....	42
4.4 Serbest Araç Oranı “ $\alpha$ ” ve “ $\Delta q$ ” Arasındaki İlişkinin İncelenmesi .....	46
4.5 Elde Edilen Verilerin Akçelik Yöntemi ile Değerlendirilmesi .....	49
4.6 Elde Edilen Modellerin Karşılaştırılması .....	51
4.7 Yanyol Kapasitesi Üzerine Bir Tartışma.....	54
4.8 Benzetim (Simülasyon) Çalışması .....	58

## **BÖLÜM BEŞ – SİNYALİZE KAVŞAKLARDA ARAÇ TAKİP ARALIKLARININ İNCELENMESİ.....**

**66**

5.1 Sinyal Noktalarındaki Araç Hareketleri .....	66
--	----

5.2 Takip Aralığı Kavramı .....	69
5.2.1 Takip Aralığı Değerini Etkileyen Faktörler.....	70
5.3 Doygun Akım Hesap Yöntemleri.....	71
5.3.1 Doygun Akım Değerinin Belirlenmesi Üzerine Yapılmış Olan Çalışmalar .....	74
5.4 Gözlem Yapılan Kavşaklar ve Verilerin Elde Edilmesi.....	76
5.5 Gözlem Yapılan Kavşaklara Ait Reaksiyon Sürelerinin İncelenmesi.....	78
5.6 Gözlem Yapılan Kavşaklara Ait Takip Aralığı Değerlerinin İncelenmesi .....	84
5.6.1 Sinyal Noktalarındaki Takip Aralıklarının İstatistiksel Değerlendirilmesi .....	90
5.7 Gözlem Yapılan Kavşaklara Ait Doygun Akım Değerinin Belirlenmesi .....	95
5.8 Elde Edilen Doygun Akım Değerinin SIDRA Yöntemi ile Değerlendirilmesi .....	102
<b>BÖLÜM ALTI – SONUÇ.....</b>	<b>109</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>112</b>

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Ulaşım insan hayatındaki en önemli olgulardan bir tanesidir. Başlarda yalnızca beslenmek ve barınmak gibi temel yaşamsal ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yolculuk yapan insanoğlu, zaman içerisinde geçimini sürdürebilmek, yeni yerler görmek ve keşfetmek gibi çeşitli amaçlar doğrultusunda yolculuk yapmaya başlamıştır. Temel ihtiyaçlar doğrultusunda başlayan ulaşım ihtiyacı, hızla artan nüfus, kentleşme, gelişen teknoloji ve ekonomik değişiklikler nedeniyle günümüzde hayatın içinde her gün yaşanan ciddi bir problem şekline dönüşmüştür. Gelişmiş ve büyümekte olan kentlerde, mevcut sorunlara bir de artan otomobil sahipliği, çarpık kentleşme ve kentiçi yol altyapısına yapılan plansız müdahaleler eklenmiş, ulaşım problemi iyice başa çıkılması zor bir hal almıştır.

Ulaşım talebindeki hızlı artış özellikle şehiriçi ulaşımında trafik problemlerini de beraberinde getirmiştir. Sanayi, teknoloji ve ekonomideki gelişmeler sonucunda motorlu araç miktarındaki hızlı artış, trafik tıkanıklığı ve trafik kazaları başta olmak üzere birçok sorun yaratmış, bu sorunlara çözüm arayışı trafik mühendisliğinin doğmasına neden olmuştur. Trafik mühendisliği *“Kentiçi ve kent dışı yolların trafik işletmesi ve bu yolların şebekeleri, terminalleri, bitişik arazileri ve diğer ulaşım türleri ile olan ilişkilerinin planlanması ve geometrik tasarımı için uğraşan ulaşım mühendisliğinin bir uygulaması”* olarak tanımlanmaktadır (Tunç, 2003).

Şehiriçi trafik akım özelliklerinin incelenmesi, çeşitli akım yönetim şekillerinin oluşturulması ve kavşak düzenleme uygulamaları trafik mühendisliğinin ana çalışma konuları arasında yer almaktadır. Bu çalışmalar sayesinde akım hareketinin devamlılığının sağlanması, gecikme miktarlarının kabul edilebilir düzeylerde tutulması, yaya güvenliğinin sağlanması ve trafik kazalarının önlenmesi amaçlanmaktadır.

Şehiriçi kavşaklarda en sık kullanılan yönetim şekli sinyalizasyon sistemleridir. Sinyalizasyon sistemleri hem yaya ve taşıt güvenliğini sağlamak hem de kavşak kapasitesini arttırmak amacıyla oluşturulmaktadır. Ancak yanlış tasarlanan sinyalizasyon sistemleri kazalara sebep olmakta, kavşak kapasitesini düşürmekte, yaklaşım kollarındaki kuyruklanma ve gecikme sürelerinin artmasına sebep olmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, sinyalize arterlerde hareket etmekte olan araçlar arasındaki takip aralığı değerlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Takip aralığı değerleri araçların arter üzerindeki konumlarına bağlı olarak farklı noktalar da incelenmiştir. İncelemeler araçlar sinyal-dur çizgisinden ayrıldıktan sonra, sinyal-dur çizgisine varmadan önce ve sinyal dur-çizgisinde yapılmıştır. İncelemeler kapsamında araçların arter üzerindeki takip aralığı değerlerinin modellenmesi, serbest ve grup halinde hareket eden araç oranlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. İncelemeler sonucunda yakın mesafede yerleşik bir denetimsiz kavşak / yanyol bağlantısı olması durumunda kavşak noktasının kapasitesi belirlenebilecektir. Ayrıca çalışma sırasında incelenen kavşaklardan yola çıkarak sinyalizasyon sistemlerinin analizinde kullanılacak doygun akım değeri için bir hesap yöntemi ve incelenen kavşakları temsil edebilecek bir doygun akım değerinin hesaplanması hedeflenmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, trafik akımı ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve şehiriçi trafik yönetiminde kullanılan kavşak türleri genel hatları ile tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde, araç takip aralıklarının incelenmesi amacıyla kullanılan genel trafik akım modellerinden ve istatistiksel dağılımlardan bahsedilmiştir. Takip aralıklarının uygunluğu araştırılan Cowan M3 dağılımı tanıtılmış, parametreleri ve parametre hesap yöntemleri belirtilmiştir. Tez çalışmasının dördüncü bölümünde, inceleme yapılan sinyalize arterler tanıtılmış ve serbest araç oranının belirlenebilmesi amacıyla elde edilen bağıntılar verilmiştir. Daha sonra elde edilen bağıntılar denetimsiz bir yanyol bağlantı noktasının kapasitesinin belirlenmesi amacıyla kullanılmış ve elde edilen sonuçlar yazılan simülasyon programı yardımıyla irdelenmiştir. Beşinci bölümde sinyal noktasındaki araçlar arasındaki takip aralığı değerleri incelenmiş ve uygun olan istatistiksel dağılım araştırılmıştır. Oluşturulan

hipotezler yardımıyla doygun takip aralığı değeri araştırılmış ve incelenen kavşakları temsil eden doygun akım değeri belirlenmiştir. Tezin altıncı bölümü olan son bölümünde ise elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve çeşitli öneriler sunulmuştur.

## BÖLÜM İKİ

### TRAFİK AKIMI VE KAVŞAK SİSTEMLERİ

#### 2.1 Eşdüzey Kavşaklar

Karayolu ulaştırma sisteminin altyapısını farklı doğrultudaki yollar ve bu yollar üzerinde hareket eden trafik akımları oluşturur. Farklı yönlerden gelen bu trafik akımlarının ortaklaşa kullanmak zorunda oldukları yol alanlarına kavşak adı verilir. Ortak kullanılan bu alanlar trafik akımlarının kesişmelerini önlemek için farklı düzeylere alınmışlar ise katlı kavşak, aynı düzeyde oluşturulmuşlar ise eşdüzey kavşak adını alırlar.

Kavşak noktaları ortak kullanım özellikleri sebebi ile özellikle şehirçi ulaşımında trafiğin durma ve yavaşlamalarla en çok gecikmeye uğradığı, güvenlik düzeyinin en aza indiği ve kaza olasılığının en yoğun bulunduğu bölgelerdir (Gedizlioğlu, 1979; Yayla, 2004). İstatistiklere göre hemen her ülkede, kentiçi ve kırsal yollarda trafik kazalarının %40 - %60'ı birden fazla yolun birleşmesi ya da kesişmesi ile oluşan eşdüzey kavşaklarda meydana gelmektedir. Diğer yandan, özellikle kentiçi ulaşımında, gecikmelerin %70'inden fazlasının yine bu tip kavşaklardaki duraklamalardan ileri geldiği gözlemlerle ortaya çıkmıştır (Yayla, 2004).

#### *2.1.2 Eşdüzey Kavşakların Düzenlenmesi ve Planlanmasında Dikkat Edilecek Hususlar*

Eşdüzey kavşak düzenlemeleri, özellikle kavşak bölgesinin topoğrafik durumu; kavşaklardaki görüş uzunlukları, kavşağın inşa maliyeti, kavşağı birleştiren yolların eğimleri ve birleşme açıları açısından oldukça önemlidir. Bu sebeplerle, eşdüzey kavşaklar, çevre koşulları ile uyum gösterecek, tesis ve bakım masrafları az olacak, buna karşılık yüksek kapasite sağlayacak şekilde planlanıp inşa edilmelidir (Yayla, 2004).



Yukarıda bahsedilenler ışığında eşdüzey kavşak planlamasında dikkat edilmesi gereken hususlar şöyle sıralanabilir (Yayla, 2004).

- Planlama sırasında, kavşağa girecek sürücüleri şaşırtacak karışık düzenlemelerden kaçınılmalıdır. Sürücü, diğer yollardan gelen taşıtlar ile bu taşıtların hangi yönlere gidebileceğini yeterli mesafeden açık bir şekilde görüp anlayabilmelidir.
- Trafik akımlarının kavşak içindeki hareketleri kesin bir şekilde sınırlandırılmalı, birleşme, ayrılma ve kesişme açıları güvenliği ve kapasiteyi arttıracak şekilde düzenlenmelidir.
- Eşdüzey kavşaklardaki köşe yarıçapları taşıtların sürekli bir hareketle kolayca dönebilmelerine yeterli olmalıdır. Köşelerde otobüs ve kamyon gibi ağır taşıtlar için 10,0 m, otomobille için 5,0 m lik dönüş yarıçapları yeterli olmaktadır. Dönüşlerde, taşıtların diğer şeride taşmaması için kavşağın bulunduğu şeritlerde genişletme yapılabilir.
- Farklı yollardan kavşağa yaklaşan taşıt sürücüleri birbirleri kolaylıkla görebilmelidir. Eğer kavşak noktasında gerekli görüş uzunlukları herhangi bir nedenle sağlanamıyorsa, kavşağa yaklaşım kollarında hız sınırlaması yapılmalıdır. Yollardan birinin mutlak geçiş üstünlüğü varsa, yanyolun kavşağa birleşen yerine “DUR” veya “YOL VER” işaretleri konulmalı, ayrıca kaplama üzerine “DUR” çizgisi çizilmelidir.
- Kapasite ve özellikle güvenlik açısından eşdüzey kavşaklarda işaretleme ve aydınlatmaya özel önem verilmelidir.

## 2.2 Eşdüzey Kavşak Türleri

Eşdüzey kavşaklar, kavşağı oluşturan yolların sayısı ile bu yolların birleşme şekillerine, diğer bir deyişle geometrik durumlarına, ayrıca kavşaklardaki denetim tarzına göre değişik tiplere ayrılırlar (Tanyel, 2001).

Eşdüzey kavşaklar denetim şekillerine bağlı olarak üç ana gruba ayrılabilir:

- 1- Denetimli eşdüzey (sinyalize) kavşaklar
- 2- Denetimsiz eşdüzey kavşaklar
- 3- Dönel Kavşaklar

### 2.2.1 Denetimli Eşdüzey (Sinyalize) Kavşaklar

Kavşaktan hangi trafik akımının hangi sırayla geçeceğini açık ve net olarak, ışıklı özel donanımlarla belirtildiği kavşaklara sinyalize denetimli kavşaklar adı verilir. Bu tip kavşaklar, trafik talebinin fazla olduğu yollarda kullanılır. Bu tip kavşaklarda düzenli bir akım elde edilebildiğinden kapasiteyle birlikte güvenlikte artmaktadır. Trafik akımında düzenin sağlanmasıyla birlikte karşı karşıya ve yandan çarpma gibi kaza türlerinde büyük oranda azalma görülür. Meydana gelen kazalar genellikle arkadan çarpma kazalarıdır fakat taşıtlar arasındaki hız farkı az olduğundan meydana gelen zarar ve ölüm riski düşüktür (Yayla, 2004; Gedizlioğlu, 2002).

Trafik akımlarını düzenlemek, kavşaklarda güven, konfor ve kapasite gereklilerini sağlamak için kurulmalarına rağmen sinyalize kavşakların bazı olumsuz yanları da bulunmaktadır.

Bunlar kısaca şu şekilde sıralanabilir.

- Sabit yatırım masrafı
- İşletme, bakım ve onarım masrafları
- Anayolda seyreden araçların gereksiz yere durdurulup bekletilmesi sonucu enerji, zaman ve amortisman masrafları

- Seyahat konforunun azalması
- Çevre kirliliğinin artması (Murat, 1996)

### 2.2.1.1 Sinyalizasyon Sisteminin Oluşturulması

Genel olarak sinyalizasyon sistemleri kontrolsüz kavşaklarda kontrolü sağlamak ve aynı zamanda kavşakta meydana gelebilecek kazaları önleyerek, gecikmeleri azaltmak amacı ile kullanılır. Bununla birlikte gerekli kriterlere uyulmadan kurulan bir sinyalizasyon sistemi hem gecikmelerin uzamasına, hem de kaza sayısının artmasına neden olabilir. Fakat bazı durumlarda sinyalizasyon sisteminin yapılmaması daha kötü sonuçlar doğurabilir.

Bu durumlar şu şekilde sıralanabilir;

- Yanyoldan kavşağa katılmak isteyen araçlar, gerekli zaman boşluklarını bulamamakta, anayoldan gelen araçlar buna izin vermemektedir.
- Kavşaklardaki işaretlemelere rağmen, ulaşım güvenliği sağlanamamakta, sürekli veya birbirine benzer karakteristikte kazalar oluşmaktadır.
- Kavşaklardaki trafik hareketleri beklemelere, sıkışıklıklara, tıkanıklıklara ve gecikmelere yol açmakta; dolayısıyla kavşağın ekonomik kullanımı azalmakta, enerji ve zaman kayıpları oluşmaktadır.
- Kavşak kapasitesinden yeterince yararlanılamamaktadır.
- Yayalar emniyetle hareket olanağı bulamamaktadır (Ayfer, 1977).

Yukarıda belirtilen durumlardan biri ya da bir kaç kavşakta gözlenir ise, bu kavşağın sinyalize edilmesi gerekebilir. Bu sayede aşağıda belirtilen faydalar sağlanabilir.

- Ulaşım güvenliği artar.
- Kapasite kullanımında artış gözlenir.
- Gecikme sürelerinde azalmalar gözlenir.
- Yavaşlama ve durmalar sebebi ile meydana gelen karbon monoksit fazlalığı ve gürültünün azalması sebebiyle çevre şartlarının iyileşmesi sağlanmış olur (Ayfer, 1977).

### 2.2.1.2 Sinyalize Kavşaklar İle İlgili Bazı Tanımlar

**Faz:** Kavşakta en az bir akıma geçiş hakkının verildiği toplam süreye faz denir. Bir akımın ilk yeşil almaya başladığı andan itibaren diğer akımın yeşil almasına kadar geçen süre bir fazdır.

**Devre:** Kavşakta her akıma en az bir defa geçiş hakkının verildiği toplam süreye devre denir.

**Yeşil süre:** Bir fazda, yeşil sinyalin verilme süresine yeşil süre adı verilir.

**Kırmızı Süre:** Bir fazda, kırmızı sinyalin verilme süresine kırmızı süre adı verilir.

**Sarı Süre:** Bir fazda, sarı sinyalin verilme süresine sarı süre adı verilir.

**Yeşiller Arası Süre:** Kavşaktaki akımlardan birine verilen yeşil sinyalin bittiği andan yani faz değişim noktasından, diğer faz için yeşil sinyalin verilmeye başlandığı ana kadar geçen süreye yeşiller arası süre denir. Yeşiller arası süre, iki faz arasındaki, tüm kırmızı ve sarı sürelerin toplamıdır ( Kutlu, 1964; Gedizlioğlu, 2002).

**Optimum Devre:** Uzun devre süreleri, kavşakta bir saatte daha fazla taşıta hizmet verilebilmesini sağlar, fakat mevcut trafik hacmi için yeterli olandan uzun bir devre süresi, yüksek ortalama gecikmelere yol açmaktadır. Kavşaktaki toplam gecikme süresini, en aza indirecek uygun devre süresini hesaplanabilmesi için Webster tarafından aşağıdaki model geliştirilmiştir (Wilshire, 1992).

$$D_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - Y_1 - Y_2 - \dots - Y_n} \quad (2.1)$$

Burada;

$D_0$  = Optimum devre süresi (saniye),

$L$  = Bir devredeki kayıp zaman (saniye),

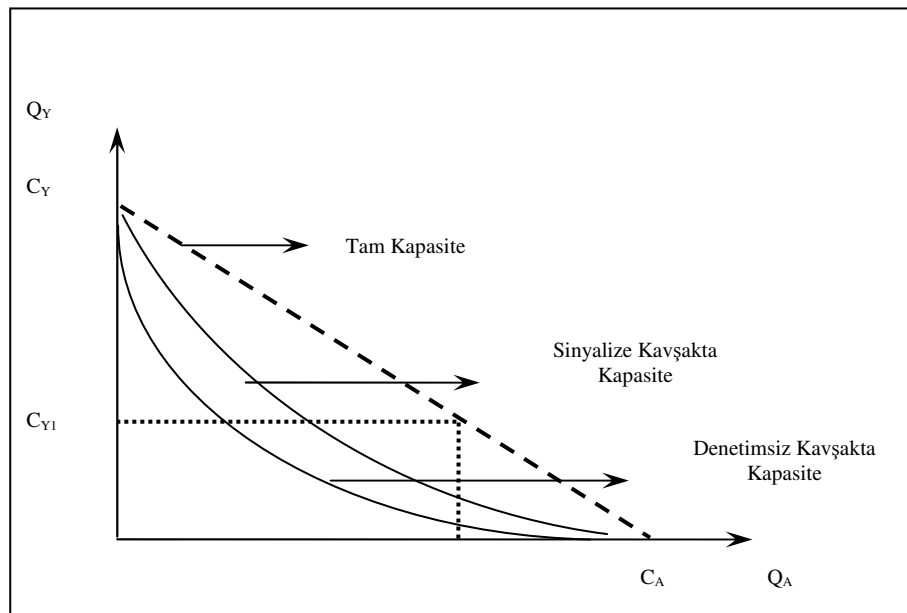
$Y$  =  $n$  fazındaki kritik yaklaşım için (hacim/ doygun akım) oranı,

$n$  = Devredeki faz sayısıdır.

Sinyalize denetimli kavşaklarda ne kadar çok faz düzenlenmek zorunda kalırsa kapasite de o kadar azalır. Bu tür kavşaklarda sinyalizasyonun trafik talebine uygun olarak düzenlenmesi gerekir; yanlış sinyalizasyon sürücülerin itaatsiz davranmalarına neden olabilir (Wilshire, 1992).

### 2.2.1.3 Sinyalize Kavşaklarda Kapasite

Sinyalize kavşaklarda, kırmızı ışıktaki taşıtlar biriktirilip, yeşil ışıktaki düzenli olarak hareket etmeleri sağlandığı için kapasite kaybı kontrol edilebilir ve kavşak daha fazla kullanılır. Bu da denetimsiz kavşaklara göre %50'lere varan oranda kapasite artışı sağlanmasına neden olur. Kavşak türlerine göre kapasitenin değişimi Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Gedizlioğlu, 2002). Şekil 2.1'de dikey eksen üzerinde yanyoldan giriş yapacak olan araçlara ait hacim değerleri, yatay eksen üzerinde ise anayoldan giriş yapacak olan araçlara ait hacim değerleri görülmektedir.



Şekil 2.1 Kavşak tiplerine bağlı olarak kapasite değişimi (Gedizlioğlu, 2002)

Sinyalizasyon sistemlerinde kırmızı sinyalin yandığı süre boyunca, geçişe izin verilmediğinden, araçlar dur çizgisinin gerisinde birikmeye başlarlar ve kuyruk oluşur. Yeşil faza geçildiği zaman, araçlar harekete geçerler ve kuyruk boşalmaya başlar. Araçlar ilk olarak harekete geçtikleri zaman, akımın boşalma değeri en yüksek değerinde bir süre sabit kalır; bu sabit değer doygun akım değeridir. Doygun akım, hâkim yol ve trafik şartlarında, her zaman yeşil sinyalin verildiği ve zaman kaybının olmadığı kabul edilerek, bir kavşak yaklaşımından geçebilecek kuyruklanmış taşıtların, bir saatlik en yüksek akım değeridir (Sönmez, 2005; Çalışkanelli, 2006).

Doygun akım değeri, kuyruk eriyene kadar veya sarı sinyal verilene kadar devam edebilir. Eğer kuyruk biterse trafik akım değeri, gelen taşıtların akım değerine düşer. Eğer kuyruk bitmezse, sarı faza geçilene kadar, akımın boşalma değeri, doygun akım seviyesinde kalır ve yeşil ışık tümüyle kullanılır. Sarı ışık yandığı zaman trafik akım değeri azalmaya başlar ve kırmızı faza geçildiğinde sıfıra düşer. Her devre süresince, gelen trafik akımına bağlı olarak, bu değişim kendini tekrar eder (Sönmez, 2005).

Kapasiteyi hesaplayabilmek için, doygun akım değerinin ve doygun akım değerine ulaşılan zaman diliminin bilinmesi gerekir.

$$C = s \times \left( \frac{g}{D} \right) \quad (3.2)$$

C = Kapasite (taşıt/saat)

g = Etkin yeşil süre (saniye)

D = Devre süresi (saniye)

S = Doygun akım değeri (taşıt/saat)

Bilinen bir doygun akım değerinden kapasiteyi hesaplamamanın en zor kısmı, etkin yeşil sürenin tayin edilmesidir ( May, 1990; Webster ve Cobbe, 1966).

Etkin yeşil süre, sinyal süreleriyle şu bağıntıyla ilişkilendirilir:

$$g = G + a - (l_s + l_e) \quad (3.3)$$

Burada;

$g$  = etkin yeşil süre (saniye)

$G$  = gerçek yeşil süre (saniye)

$a$  = sarı süre (saniye)

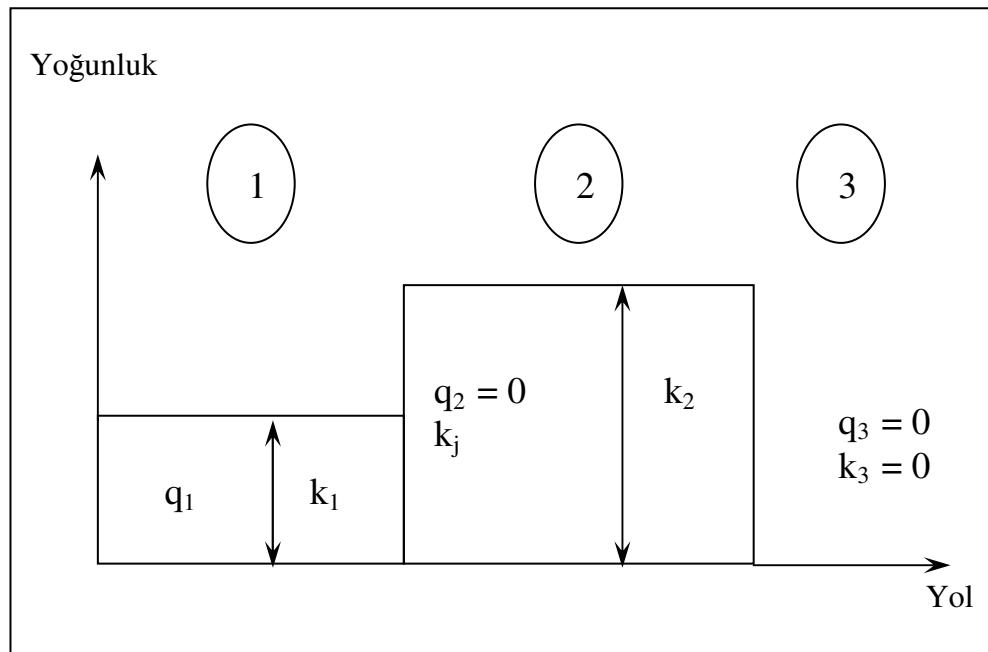
$l_s$  = başlangıç kaybı(saniye)

$l_e$  = son kazancı (saniye)

Başlangıç ve son kaybı, genellikle sarı süreye eşittir; dolayısıyla etkin yeşil süre, gerçek yeşil süreye eşit alınabilir (May, 1990).

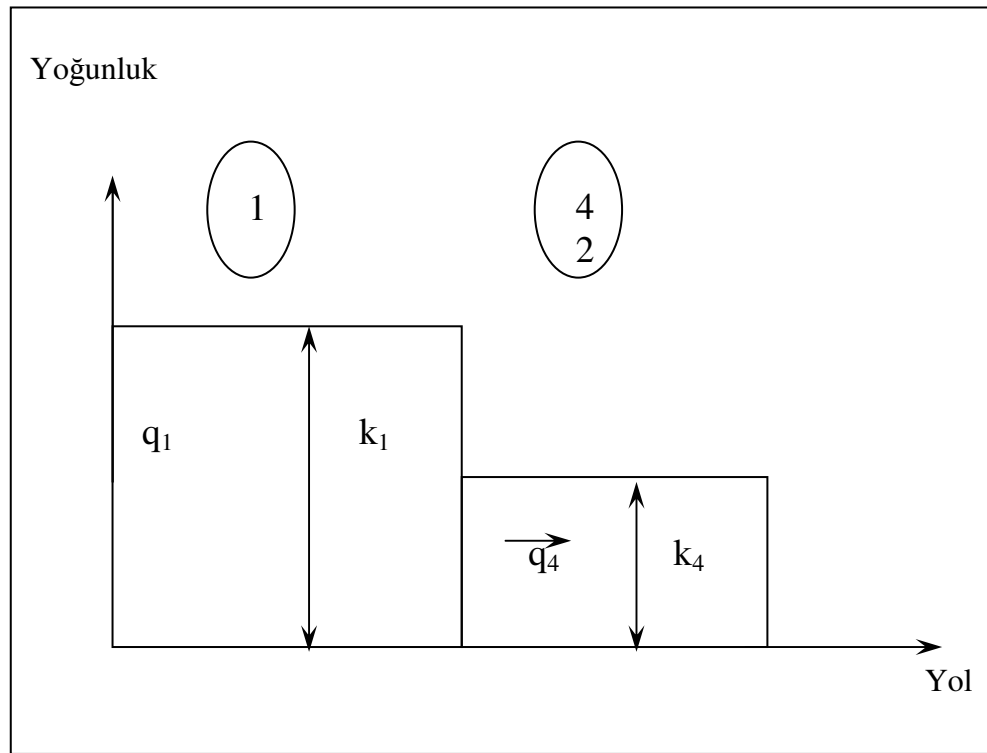
#### 2.2.1.4 Sinyalize Kavşaklarda Trafik Yoğunluğunun Değişimi

Bir sinyalize kavşakta, kırmızı ışıktaki durmakta olan bir trafik akımı, yeşil ışıkla birlikte harekete geçmeden hemen önce, dur çizgisinin gerisindeki ve ilerisindeki akım- yoğunluk durumu Şekil 2.2 ve 2.3'de gösterilmiştir (Huber, 1982).



Şekil 2.2 Duran trafik akımına ait akım-yoğunluk durumu (Huber,1982)

Başlangıçta, trafik akımının durduğu kesitten sonra  $q_3$ ,  $k_3$  akım-yoğunluk durumu, kesit arkasında  $q_2$ ,  $k_2$  akım-yoğunluk durumu ve ona yaklaşıp kuyruğa giren  $q_1$ ,  $k_1$  akım-yoğunluk durumu vardır. 2 durumunda trafik akımı dur çizgisinin gerisinde tıkanma yoğunluğunda bulunmaktadır ve trafik hacmi sıfırdır. 3 durumunda ise kavşağın ileri kesimlerinde hiç taşıt bulunmadığından hacim ve yoğunluk sıfırdır. Taşıtların kavşaktan ayrılmalarıyla birlikte, 3 durumunda sıfır olan trafik hacmi ve yoğunluğu artar ve 4 akım-yoğunluk durumu meydana gelir (Huber, 1982).



Şekil 2.3 İlk harekete başlayan trafik akımına ait akım-yoğunluk durumu (Huber,1982)

### 2.2.2 Denetimsiz Eşdüzey Kavşaklar

Farklı doğrultudaki taşıt hareketlerinin ışısız trafik işaretleri ile düzenlendiği kavşaklar denetimsiz eşdüzey kavşak adını alırlar. Denetimsiz eşdüzey kavşakların düzenlenmesinde, kavşağa bağlanan yollardan birisi, hacim ya da geometrik özelliklerine göre diğerlerinden daha önemli kabul edilir ve “anayol” adını alır. Diğeri ya da diğeri “yanayol” adını alırlar (Gedizlioğlu, 1979).

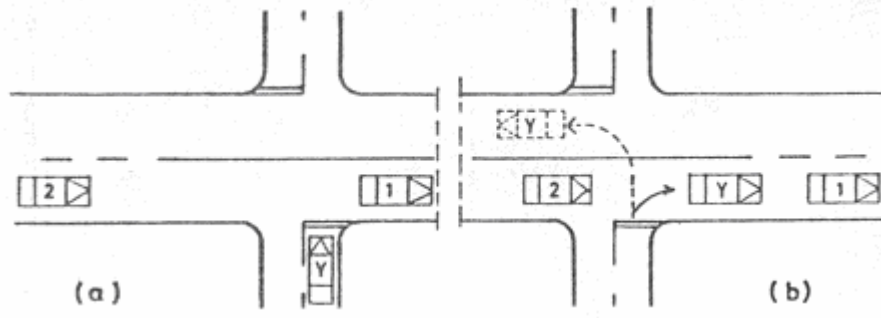


Denetimsiz kavşaklarda, trafik düzeninin sağlanması için kavşağın anayol yaklaşımına kavşağa gelinmekte olduğunu belirten bir tehlike uyarı işareti ve bu yolun anayol olduğunu belirten bir bilgi işareti konur. Yanyolda ise bu düzenleme “yol-ver” veya “dur” işareti konularak sağlanır.

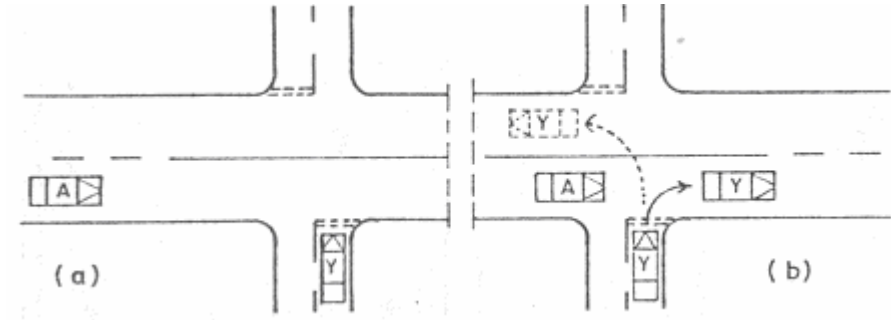
Yanyolda “yol-ver” işareti varsa yanyol sürücüleri, kavşağa yaklaşırken hızlarını azaltıp anayolu gözlemek, anayolda kavşağa yaklaşan taşıt varsa ilk geçiş hakkını bu taşıtlara bırakmak zorundadır. Ancak durma zorunluluğu yoktur. Dolayısıyla yanyol sürücüleri, bu tip bir kavşağa yaklaşırken hızlarını görüşe ve anayoldaki trafik durumuna göre ayarlayıp durmadan sürekli bir hareket ile kavşağa girebilirler. Yanyol girişinde “dur” işareti varsa, yanyol sürücüsü kavşağa giriş noktasında tam olarak durmak ve anayolu iyice denetlemek zorundadır (Gedizlioğlu, 1979).

Yanyoldan kavşağa yaklaşan bir taşıt sürücüsü için kavşak içinde üç çeşit manevra söz konusudur. Bunlar; sağa dönüşle anayoldaki yakın şerit akımına katılma, sola dönüşle anayol yakın şerit akımını kesip uzak şerit akımına katılma ya da her iki yöndeki anayol akımını keserek karşıdaki yanyol akımına girme şeklinde olabilir (Varlıorpak, 2003).

Yanyoldan kavşağa yaklaşan sürücü kavşağa daha önce giriş yapmış bir anayol sürücüsü varsa bu taşıtın kavşağı boşaltmasını bekleyecek ve bir sonraki anayol taşıtını gözlemleyecektir. İki anayol sürücüsü arasındaki bu aralık, yanyol sürücüleri için “araya giriş” aralığı olarak tanımlanır. Yanyol sürücüsü, kavşağa geldiğinde kavşakta taşıt yok fakat anayolda yaklaşmakta olan bir taşıt var ise anayoldaki taşıt ile arasındaki uzaklığın yapmak istediği manevra için yeterli olup olmadığına karar verip kavşağa bu koşul altında giriş yapar. Bu durumda da anayol taşıtının kavşağa, dolayısıyla yanyol taşıtına olan uzaklığına “öne giriş” aralığı adı verilir (Gedizlioğlu, 1979). Araya giriş ve öne giriş aralıkları, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Denetimsiz kavşaklarda araya giriş aralığı (Gedizlioğlu, 1979)



Şekil 2.5 Denetimsiz kavşaklarda öne giriş aralığı (Gedizlioğlu, 1979)

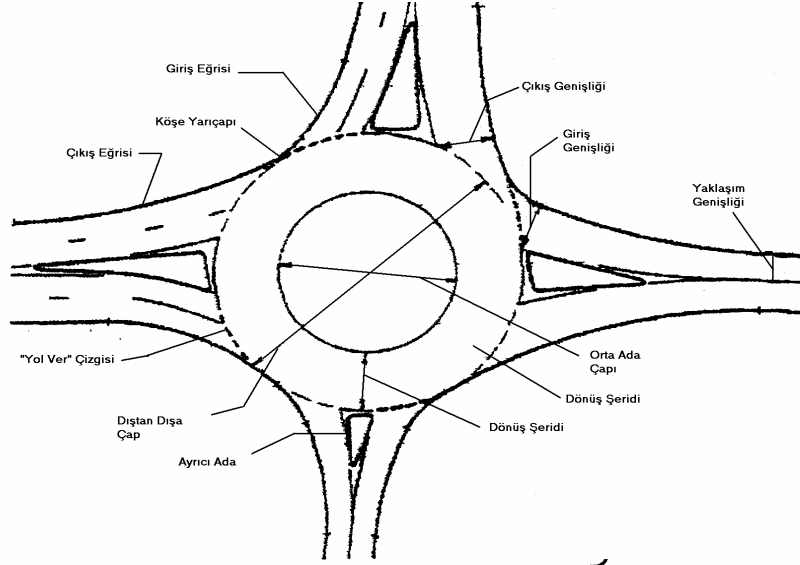
### 2.2.3 Dönel Kavşaklar

Tanım olarak dönel kavşak, merkezi bir trafik adası etrafında trafiğin saat yönünün tersine (eğer trafik sağdan akıyorsa) veya saat yönünde (eğer trafik soldan akıyorsa) hareket ettiği, yönlendirilmiş kavşaklardır (Janssens, 1994).

Dönel kavşakların geometrik özellikleri, kavşak performansı üzerinde önemli rol oynamaktadır. Kavşağın iyi projelendirilmesi durumunda, kapasitesi ve güvenliğinde belirgin bir artış görülecektir. Dönel kavşakların projelendirilmesinde dikkate alınacak geometrik elemanlardan bazıları Şekil 2.6 üzerinde gösterilmiştir.

Dönel kavşakların en önemli özelliği, kavşağa girişte araçların yavaşlamaya ya da durmaya mecbur edilmeleri ve kavşakta dönüş hareketi yapan ana akım içinde buldukları bir aralıkta giriş yapabilmeleridir. Bu amaçla, kavşak girişlerinde sürücülerin rahatça görebilecekleri yerlere “yol-ver” işaretlerinin konulması ve

kaplama üzerine de bekleme hattını belirten çizgilerin çizilmesi büyük önem taşımaktadır (Tanyel, 2001).



Şekil 2.6 Dönel kavşaklarda dikkate alınan geometrik elemanlar (Taekratok, 1998)

## BÖLÜM ÜÇ

### SİNYALİZE ARTERLERDE ARAÇ TAKİP ARALIKLARININ İNCELENMESİ

#### 3.1 Genel

Araçlar arasındaki takip aralıklarının modellenmesi trafik mühendisliğinin en temel konularından bir tanesidir. Trafik akımındaki takip aralığı değerleri;

- Denetimsiz kavşak ve dönel kavşak kapasite analizlerinde özellikle yanyol araçlarına ait kabul aralıklarının belirlenebilmesinde,
- Sinyalize kavşak noktalarında kırmızı süre boyunca oluşan kuyruklanma sürecinin ve yeşil süre boyunca oluşan boşaltım sürecinin incelenmesinde,
- Sinyal noktalarındaki gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerinin incelenmesinde,
- Sinyalizasyon sistemlerinin koordinasyonu gibi çalışmalarda kilit rol oynamaktadır.

Birbiri ardı sıra hareket eden araçlar arasındaki takip aralığı değeri, sabit konum yaklaşımı ya da sabit zaman yaklaşımı kullanılarak incelenebilir. Genel tanımlar ışığında birbirini takip eden araçlar arasındaki aralık değeri iki şekilde ifade edilebilir:

1-Mesafe cinsinden aralık değeri (s)

2-Zaman cinsinden aralık değeri (t)

Mesafe cinsinden aralık (s), "x" aracının ön tamponu ile takip eden "x+1" aracının ön tamponu arasındaki mesafedir (Şekil 3.1). Zaman cinsinden aralık (t) değeri için ise çalışmanın amacına bağlı olarak farklı tanımlamalar yapılabilmektedir. Sinyalize arterlerdeki takip aralıklarının incelenmesi planlanan çalışmanın bu aşamasında araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değeri (t) "x" aracının ön tamponunun belirli bir noktayı geçtiği anla, takip eden "x+1" aracının ön tamponunun aynı

noktayı geçtiği an arasındaki zaman farkı şeklinde belirlenmiştir (Şekil 3.2). Zaman cinsinden aralık değeri, mesafe cinsinden aralık değerine oranla çalışmalarda daha fazla dikkate alınmaktadır (Tanyel, 2001). Bunun sebebi şu şekilde sıralanabilir:

**i-** İnceleme yapılan trafik akımına ait zaman cinsinden aralık değerlerinin ortalaması biliniyor ise söz konusu akıma ait hacim değeri bulunabilmektedir. Zaman cinsinden aralık değeri ile hacim değeri arasında aşağıdaki doğrusal ilişki bulunmaktadır.

$$q = \frac{1}{\bar{t}} \quad (3.1)$$

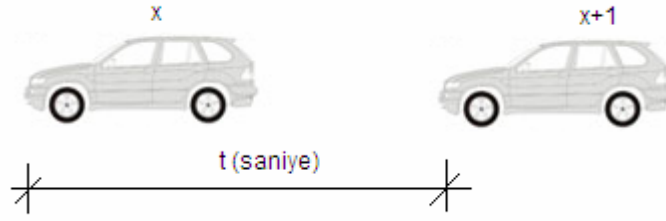
Burada,  $q$ ; hacim (araç/zaman),  $\bar{t}$ : ortalama zaman cinsinden aralık (saniye) değeridir. Benzer bir ilişki yoğunluk ile uzunluk cinsinden mesafe değeri arasında da bulunmaktadır. Ancak hacim değeri, trafiği tanımlamak için daha anlamlı ve daha kolay ölçülebilir bir parametredir.

**ii-** Trafik çalışmalarında kullanılan veriler genellikle arazi üzerinde çıplak göz ve çeşitli ekipmanlar kullanılarak ya da video kamera yardımı ile çekim yaparak elde edilmektedir. Mesafe cinsinden aralık verilerini bu gözlemler yardımı ile elde edebilmek zaman cinsinden aralık değerini belirleyebilmekten çok daha zordur.

**iii-** Mesafe cinsinden aralık değeri, hız sabit kabul edilerek hız ve zaman cinsinden aralık değerleri yardımıyla hesaplanabilir (Tanyel, 2001).



Şekil 3.1 Mesafe cinsinden aralık (metre)



Şekil 3.2 Zaman cinsinden aralık (saniye)

Genel takip aralığı tanımlamaları ışığında, çalışmanın ilerleyen aşamalarında trafik akımlarını incelemek amacıyla oluşturulmuş olan akım modelleri ve bu modelleme çalışmalarında kullanılan bazı istatistiksel dağılımlar incelenmiştir.

Trafik akımlarının modellenmesinde iki ana modelleme tekniği kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Makroskopik Trafik Akım Modelleri
2. Mikroskopik Trafik Akım Modelleridir.

Her iki modelde de çeşitli istatistiksel dağılımlar kullanılmaktadır. Makroskopik modellerde, Poisson, Binom veya Negatif Binom dağılımları kullanılırken; Mikroskopik modellerde araçlar arasındaki aralıkları incelemek amacıyla, Negatif Üssel, Ötelenmiş Negatif Üssel, Gamma, Erlang, Pearson Tip III gibi dağılımlar kullanılmaktadır (Tanyel, 2001).

### 3.2 Makroskopik Trafik Akım Modelleri

Makroskopik modelde trafik akımı bir bütün olarak ele alınır ve akım, hız ( $v$ ), yoğunluk ( $k$ ) ve hacme ( $q$ ) bağlı olarak tanımlanmaya çalışılır.

Yolun belirli bir kesitindeki taşıt geçişlerinin birbirinden bağımsız ve rastgele olduğu kabul edilirse; birim zamanda geçen ortalama taşıt sayısı " $q$ " ve gözlem süresi " $t$ " ise, bu süre içerisinde bu kesitten geçebilecek taşıt sayısı " $q.t$ " olarak bulunacaktır. Ancak, gelişlerin rastgele olması, her " $t$ " aralığındaki araç sayısının birbirinden farklı

olması sonucunu doğurmaktadır. Yapılan araştırmalar, bir kesitten belirli bir "t" süresi içerisinde "x" sayıda taşıt geçme olasılığının Poisson, Binom veya Negatif Binom dağılımlarından birisine uyduğunu göstermektedir. Burada dağılımı belirleyen parametre, ortalama ve varyans arasındaki ilişkidir. Poisson dağılımının ortalaması varyansına eşittir ve genelde rastgele hareket eden trafik akımını en iyi şekilde temsil ettiği söylenebilir. Bu dağılım yasanına göre bir kesitten t sresinde x taşıt geçme olasılığı  $P(x)$ ;

$$P(x) = \frac{e^{-m} m^x}{x!} \quad (3.2)$$

şeklinde olacaktır. Burada; m, t sürede geçecek ortalama taşıt sayısıdır.

Bir şeritte hareket etmekte olan trafik akımı inceleme yapılan noktadan önce herhangi bir kesintiye uğramıyor ise serbest hareket ediyordur ve Poisson dağılımına uyduğu söylenebilir (Gedizlioğlu, 1979). Ancak özellikle son yıllarda hızla artan şehiriçi trafiğinin genelde serbest akım özellikleri taşımadığı bilinmektedir. Bunun sebebi, incelenen kesitten önce sinyalize bir kavşak veya akımı kesintiye uğratabilecek başka bir engelin mevcut bulunmasıdır. İnceleme yapılan kesimden önce sinyalize bir kavşak bulunması durumunda, sinyale olan uzaklığa ve sinyalin faz planına bağlı olarak elde edilen verilerin varyansı oldukça yüksek olacaktır. Bunun dışında şehiriçi yol kesimlerinde özellikle zirve saatlerde inceleme yapılan kesitten geçen araçların sayısı ve dolayısıyla ortalaması çok yüksek olacaktır. Bu zaman diliminde elde edilecek verilerin varyansı da çok düşük olacaktır. Yukarıda açıklanan koşullar altında hareket eden akımların, Poisson dağılımı ile temsil edilebilmesi mümkün olmamaktadır (Gedizlioğlu, 1979).

### 3.3 Mikroskopik Trafik Akım Modelleri

Mikroskopik modelde, yol üzerinde hareket etmekte olan her aracın ayrı ayrı davranışları ele alınmakta ve taşıt hareketinin bazı genel karakteristikleri incelenmektedir (Luttinen, 1996). Trafik hacminin düşük olduğu durumlar dışında her taşıtın hareketi, önündeki araçla sınırlanmaktadır. Bu sınırlamalar, araç

hareketlerinin temel karakteristikleriyle ilgili olduğundan, araç takibi teorisi kullanılarak incelenebilir (Inose ve Hamada, 1975).

Mikroskopik modeller, her taşıtın hareketini ayrı olarak incelediklerinden daha karmaşık olarak kabul edilebilirler. Bir taşıtın hareketinin tahmin edilmesinde değişik sürücü davranışları sebebiyle çok sayıda değişkenle ilgilenilmesi gerekmektedir. Bu değişkenler içerisinde en önemli olanı, birbirini takip eden taşıtlar arasındaki aralıktır. Araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin istatistiksel olarak incelenmesi, taşıt hareketlerinin tanımlanabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Tanyel, 2001).

Zaman cinsinden aralık değerlerinin istatistiksel olarak incelenmesi, iki ana istatistiksel dağılım türü kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bunlar:

1. Basit İstatistiksel Dağılımlar
2. Karmaşık İstatistiksel Dağılımlar

Basit istatistiksel dağılımlara örnek olarak Negatif Üssel, Ötelenmiş Negatif Üssel, Gamma, Erlang, Pearson Tip III, Lognormal dağılımlar gösterilebilir. Karmaşık istatistiksel dağılımlar ise Hyperekspansiyel, Hyperlang, M/D/1 kuyruk modeli, Genelleştirilmiş Kuyruk Modeli ve Yarı-Poisson Modeli olarak sıralanabilir (Çalışkanelli, 2006).

### **3.3.1 Basit İstatistiksel Dağılımlar**

Basit istatistiksel dağılımlara örnek olarak Pearson Tip III dağılımı gösterilebilir. Bu dağılımına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(t) = \frac{\varpi}{\Gamma(K)} [\varpi(t - \Delta)]^{K-1} e^{-\varpi(t-\Delta)} \quad (3.3)$$

şeklinindedir. Burada;  $f(t)$ : dağılıma ait olasılık yoğunluk fonksiyonu;  $\varpi$ : ortalama aralık değeri ile kullanıcı tarafından belirlenen K ve a parametrelerinin bir



fonksiyonu;  $K$ : dağılımın şeklini etkileyen ve kullanıcı tarafından seçilen, “0” ile “ $\infty$ ” arasında değişen bir parametre;  $\Delta$ : kullanıcı tarafından seçilen, sıfır ya da daha büyük bir değer alan, dağılımın ötelenmesini etkileyen bir parametre (saniye);  $t$ : incelenen aralık değeri (saniye);  $\Gamma(K)$ :  $(K-1)!$ 'e denk gamma fonksiyonudur (Tanyel, 2001).

Pearson Tip III dağılımı bir dağılım ailesidir. Dağılım parametrelerinden  $K$  ile  $\Delta$  nın farklı değerler alması ile karmaşık gözüken fonksiyon daha basit dağılımlar şekline dönüştürülebilir.

3.3 ile verilen bağıntı  $\Delta$  değerinin sıfır olması ( $\Delta=0$ ) ve  $K$ 'nın pozitif herhangi bir değer alması halinde Gamma dağılımına dönüşür ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir: (May, 1990)

$$f(t) = \frac{\varpi}{\Gamma(K)} (\varpi \cdot t)^{K-1} e^{-\varpi \cdot t} \quad (3.4)$$

Gamma dağılımındaki  $K$  değerinin birer tam sayı olması halinde ise Erlang dağılımı elde edilir:

$$f(t) = \frac{\varpi}{(K-1)!} (\varpi \cdot t)^{K-1} e^{-\varpi \cdot t} \quad (3.5)$$

$K=1$  ve  $\Delta = 0$  olması halinde ise dağılım, negatif üssel dağılım halini almaktadır.

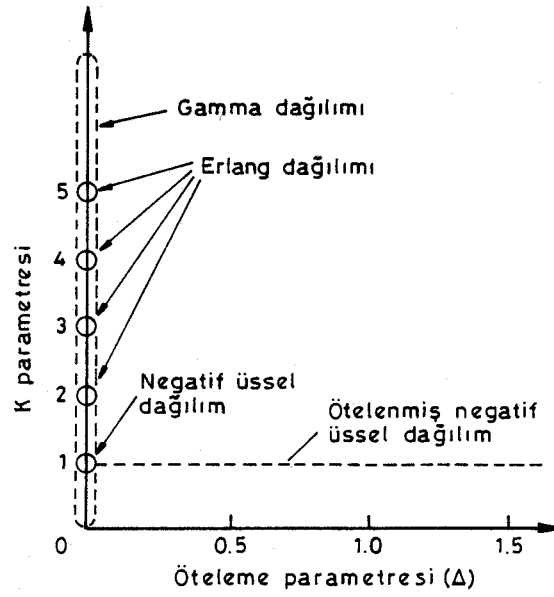
$$f(t) = \varpi \cdot e^{-\varpi \cdot t} \quad (3.6)$$

$K=1$  ve  $\Delta > 0$  olması durumunda ise dağılım, ötelenmiş negatif üssel dağılım halini almaktadır. Bu dağılım, özellikle zaman cinsinden aralık değerlerinin sıfır

olamayacağı göz önüne alındığında, rastgele hareket eden araçlar arasındaki zaman cinsinden aralıkların incelenmesi durumunda geçerlilik kazanmaktadır (May, 1990).

$$f(t) = \varpi \cdot e^{-\varpi \cdot (t-\Delta)} \quad (3.7)$$

Şekil 3.3'te,  $\Delta$  ve  $K$  katsayılarına bağlı olarak yukarıda belirtilen dağılımların yerleri görülmektedir.



Şekil 3.3 " $\Delta$ " ve " $K$ " katsayılarına bağlı olarak basit dağılımların grafik gösterimi (May, 1990)

Taşıtlar arasındaki aralıkları temsil etmek için seçilen dağılımların hepsi (negatif üssel dağılım dışında) orijinden başlayıp aralık boyutundaki küçük artımlara karşı olasılık değeri hızla artan, orijine yakın bir noktada en büyük değerine ulaşan simetrik olmayan dağılımlardır. Gedizlioğlu, 1979, bu ortak özelliği göz önünde tutarak taşıtlar arasındaki aralıkların lognormal dağılım ile de temsil edilebileceğini söylemiştir. Lognormal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln(t) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3.8)$$

Burada;  $\mu$  ve  $\sigma$  değişkenin logaritma değerleri için ‘‘ortalama’’ ve ‘‘standart sapma’’ değerleridir.

Zaman cinsinden aralık modellerinin teorik değerlendirilmesinde üç unsur dikkate alınmaktadır:

1. Uygunluk,
2. Kullanılabilirlik
3. Geçerlilik (Luttinen, 1996).

Basit dağılımlar, genel olarak kullanımları basit olmasına rağmen, zaman cinsinden aralık değerlerinin tanımlanmasında yetersiz kalabilmektedirler. Bu durum zaman cinsinden aralık değerlerinin tanımlanabilmesi için farklı özelliklere sahip dağılımların kullanılması zorunluluğunu doğurmaktadır.

### ***3.3.2 Karmaşık İstatistiksel Dağılımlar***

Basit dağılımlarla ilgili en önemli problem, zaman cinsinden aralık dağılımının zirve ve kuyruk kısımlarını tanımlamalarındaki yetersizliktir. Yapılan incelemeler akımın çok düşük olduğu durumlarda araçların genelde birbirlerini büyük aralıklarla (uzak mesafeli) takip ettiğini göstermektedir. Ancak düşük akım koşullarında bile birbirlerini küçük aralıklar ile (yakın mesafeli) takip eden araçlar bulunmaktadır. Bu durum trafik akımı içerisinde seyretmekte olan iki tür araç grubu olduğunu göstermektedir. Bunlar;

- 1- Serbest hareket eden araçlar
  - 2- Grup halinde hareket eden araçlar
- olarak sınıflandırılabilir.

Araçlar özellikle kırmızı ışık noktalarında grup halinde harekete başlarlar. Ancak her grup içinde hızını gruptan farklı olarak arttıran ve gruptan ayrı hareket etme eğiliminde olan araçlar bulunur. Bu araçlar, serbest hareket eden araçlar olarak adlandırılır. Akım içerisindeki araçlardan hangilerinin grup halinde hangilerinin serbest hareket ettiğini belirleyebilmek amacıyla birçok araştırmacı çeşitli çalışmalar yapmıştır.

Troutbeck (1997) birbirlerini dört saniye ve üzerinde zaman cinsinden aralıklarla takip eden araçların serbest hareket eden araç olarak kabul edilebileceğini söylemiştir. Diğer araçlar grup halinde hareket eden araçlar olacaktır.

Bu tip iki araç grubuna sahip bir akımın istatistiksel olarak modellenmesinde, basit istatistiksel dağılımlar yetersiz kalmaktadırlar. Bu durumda hem serbest hem de grup halinde hareket eden araçları tanımlayabilen bir dağılıma ihtiyaç duyulmaktadır. Genel yaklaşım, iki gruptaki araçların bulunduğu bir akımın zaman cinsinden aralıklarının modellenmesi için iki olasılık dağılım modelinin birleşmesinden meydana gelen yeni bir dağılımın kullanılmasıdır.

Akım içerisinde hareket etmekte olan iki farklı tip araçta ifade edebilecek olan dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$f(t) = \alpha f_1(t) + (1 - \alpha) f_2(t) \quad (3.9)$$

Burada;  $\alpha$ ; akımda hareket etmekte olan serbest araç oranı,  $f_1(t)$ ; serbest hareket etmekte olan araçlara ait olasılık yoğunluk fonksiyonu,  $(1-\alpha)$ ; grup halinde hareket etmekte olan araç oranı,  $f_2(t)$ ; grup halinde hareket eden araçlara ait olasılık yoğunluk fonksiyonudur.

Günümüzde, farklı araç tiplerinin davranışlarını modelleyebilmek ve kapasite analizlerinde de kullanabilmek amacıyla çeşitli ülkelerde en fazla kabul gören karmaşık dağılımlardan biri, Cowan M3 dağılımıdır.

### 3.4 Cowan M3 Dağılımı

Trafikte hareket etmekte olan araçlara ait zaman cinsinden aralık dağılımlarının kuyruğu üssel formdadır ve akım içerisinde serbest hareket eden araçlar tarafından oluşturulur. Akım içerisinde serbest olarak hareket eden bu araçların modellenebilmesi, kontrolsüz kavşak ya da dönel kavşakların incelenmesi açısından önemli olduğu kadar sinyalize arterlerdeki performans düzeyinin belirlenmesinde, yakın mesafeli sinyalize kavşakların koordinasyonunun sağlanmasında ve gecikmelerin belirlenmesinde, sinyalize bir arter üzerinde yer alan yanyol katılımının kapasitesinin belirlenmesinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Serbest araç oranının belirlenmesi amacıyla en yaygın olarak kullanılan dağılımlardan bir tanesi Cowan M3 dağılımıdır (Sullivan ve Troutbeck, 1994; 1997).

Cowan (1975), zaman cinsinden aralık değerini ( $t$ ) aşağıdaki şekilde ifade etmektedir:

$$t = v + u \quad (3.10)$$

Burada;  $v$ ; birbirini takip eden ve grup halinde hareket eden araçlar arasındaki aralık;  $u$ : serbest hareket eden araçlar arasındaki aralıktır.

Cowan (1975), zaman cinsinden aralıkları modelleyebilmek amacıyla dört ayrı model önermiştir. Bu modellerden birincisi M1 modelidir ve negatif üssel dağılımı ifade etmektedir. Bu durum, gözlem noktasına gelen araçların gelişlerinin Poisson dağılımına uyduğunu göstermektedir. Bu durumda araçlar arasında gruplanma olmayacak ve zaman cinsinden aralık değerinin " $v$ " bileşeni sıfır olacaktır. M2 dağılımı, ötelenmiş negatif üssel dağılımdır. Dağılımdaki öteleme miktarı akım içerisindeki minimum zaman cinsinden takip aralığı değeridir. Öteleme durumundan sonra serbest araç oranının negatif üssel dağılıma uyduğu kabul edilmektedir. M3 ve M4 dağılımları ise iki aşamalı zaman cinsinden aralık modelleridir (Tanyel, 2001).

M3 dağılımında, grup halinde hareket eden araçların, önlerindeki araçları belirlenen bir minimum takip aralığı değeri  $\Delta$  ile izlediği kabul edilmektedir. Bu araçlar, grup

halinde hareket ediyor kabul edilebilirler. Akım içindeki diğer araçlar ise serbest bir şekilde ve  $\Delta$  aralığından daha büyük zaman cinsinden aralıklarla hareket etmektedirler ve serbest hareket eden araçlar olarak tanımlanırlar. Bu tanımlama, yoldaki trafik akımının bir seri grup ve aralık olarak tanımlanabilmesini sağlamaktadır. Grup halinde hareket eden araçların akım içindeki oranı sıfır olduğunda, model M2 modeline indirgenmektedir. M4 modeli, M3 modelinin geliştirilmiş şeklidir (Sullivan ve Troutbeck, 1994, Tanyel, 2001).

Akım içerisinde grup halinde hareket eden araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değeri ( $\Delta$ ) sabit ve serbest hareket eden araçlara ait takip aralığı değeri ötelenmiş negatif üssel dağılıma uygun ise Cowan tarafından önerilmiş olan M3 modeline ait eklenik olasılık dağılım fonksiyonu aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < \Delta \\ 1 - \alpha e^{-\lambda(t-\Delta)} & t > \Delta \end{cases} \quad (3.11)$$

Burada,  $\alpha$ ; serbest hareket eden araç oranı,  $\Delta$ ; birbirini takip eden araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değeri,  $\lambda$ ; şekil parametresidir.

$\lambda$  değeri aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir:

$$\lambda = \frac{q\alpha}{1 - q\Delta} \quad (3.12)$$

Burada,  $\alpha$ ; serbest hareket eden araç oranı,  $q$ ; akım oranıdır.

### **3.4.1 Cowan M3 Dağılımının Parametreleri**

#### *3.4.1.1 Minimum Zaman Cinsinden Aralık Değeri ( $\Delta$ )*

Minimum zaman cinsinden aralık değeri ( $\Delta$ ) dağılım parametreleri içinde en önemlilerindedir.  $\Delta$  değerinin doğru olarak belirlenmesi özellikle serbest araç

oranının modellenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Yapılan araştırmalar, " $\Delta$ " katsayısının 0,5 saniye ile 2,5 saniye arasında değiştiğini göstermektedir (Akçelik ve Chung, 1994; Hagring, 1998). 1,0 saniyeden daha küçük aralıkların genel olarak, akımda birden fazla şerit bulunması durumunda, farklı şeritlerdeki araçlar arasında olabileceği kabul edilmektedir (Hagring, 1996b). Trafik akımın tek şerit olması durumunda, " $\Delta$ " değerinin 1,5 saniye ile 2,0 saniye arasında değiştiği hesaplarda dikkate alınmaktadır (Akçelik ve Chung, 1994).

$\Delta$  değerinin, gözlenmiş bir değer olmadığı unutulmamalıdır. Diğer parametreler gibi, gözlenen verilerin ortalama, varyans ve çarpıklık katsayıları kullanılarak hesaplanan bir değerdir. Böylece, gözlenen dağılımı en iyi ifade eden " $\Delta$ " değerinin hesaplanması amaçlanmaktadır.

#### 3.4.1.2 " $\lambda$ " Parametresi

" $\lambda$ " Parametresi Cowan M3 dağılımına ait parametreler içinde en belirsiz olan parametredir. Çeşitli araştırmacılar bu parametreyi farklı şekillerde tanımlamışlardır. Troutbeck (1991), " $\lambda$ " katsayısını, bir azaltma faktörü olarak tanımlamıştır. Akçelik ve Chung (1994), " $\lambda$ "nın bir model parametresi olduğunu belirtmişlerdir. Hagring (1998), bir dağılımın üssel kısmının etkisi olarak " $\lambda$ " parametresini açıklamaya çalışmıştır.

Tanyel (2001), çalışmasında Troutbeck tarafından önerilmiş olan serbest araç oranı bağıntısından yola çıkarak " $\lambda$ " parametresini "serbest araç oranı değişiminin, ana akım üzerindeki etkisi" olarak tanımlamıştır.

#### 3.4.1.3 Serbest Araç Oranı ( $\alpha$ )

Serbest araç oranı " $\alpha$ ", Cowan M3 dağılımının yapısını etkileyen belki de en önemli parametredir. Ana akım içindeki serbest araç sayısının doğru olarak belirlenmesi; Cowan M3 dağılımının gözlenen dağılıma uygunluğunu da belirleyen önemli bir

unsurdur. Bunun yanı sıra, birden fazla bağıntıyla hesaplanabilmesi, bu parametrenin daha detaylı bir şekilde incelenmesi gereğini ön plana çıkarmaktadır.

" $\alpha$ " değerinin belirlenmesinde karşılaşılan en önemli problem, birbirlerini hangi uzunlukta bir aralıkla takip eden araçların grup halinde hareket eden araçlar olarak; hangilerinin de serbest hareket eden araçlar olarak tanımlanabileceğidir. Troutbeck(1997), 2 saniyeden daha küçük aralıklarda, araçların büyük olasılıkla grup halinde hareket ettiklerini, 4 saniyeden daha büyük aralıklarda ise, araçların serbest olarak kabul edilebileceklerini belirtmiştir.

Trafik akımı içerisindeki serbest araç oranı değeri minimum takip aralığı ile son derece yakın ilişkilidir. Bunun dışında serbest araç oranı değeri, trafik akım miktarı arttıkça azalmakta, akım miktarı azaldıkça artmaktadır (Çalışkanelli ve Tanyel, 2001).

Serbest araç oranının belirlenebilmesi için birçok bilim insanı çeşitli araştırmalar yapmış ve çeşitli modeller önermişlerdir. Önerilmiş olan bağıntılar üssel ya da doğrusal formlarda oluşturulmuşlardır. Ayrıca bağıntılardan bazıları yalnızca trafik akımı ile ilgili iken, bazıları hem trafik akımı hem de minimum takip aralığı değerine bağlı olarak üretilmiştir.

Serbest araç oranı ile ilgili olarak önerilmiş olan ilk bağıntı Tanner (1962) tarafından önerilmiş olan bağıntıdır.

$$\alpha = 1 - \Delta q \quad (3.13)$$

Tanner (1962), serbest araç oranının, doğrusal bir şekilde değiştiğini kabul etmektedir. Yapılan incelemeler Tanner tarafından önerilmiş olan bağıntının serbest araç oranı değerini düşük akım koşullarında düşük, yüksek akım koşullarında ise yüksek tahminlediğini göstermiştir (Plank, 1982). Ancak Tanner'ın bağıntısının,



incelenen bağıntılar arasında ideal bir değer verdiği kabul edilir ve bu bağıntının genelde bir üst sınır oluşturduğu söylenebilir.

AUSTROADS'da Tanner tarafından önerilen bağıntıdan elde edilen değerlerin %75'inin gerçek serbest araç oranını verdiği öne sürülmüştür (Akçelik, 1998):

$$\alpha = 0,75 \cdot (1 - \Delta q) \quad (3.14)$$

Troutbeck (1989) serbest araç oranını belirleyebilmek amacıyla aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$\alpha = 0,8 - 0,0005 \left( \frac{Q}{n} \right) \quad (3.15)$$

Burada; Q; trafik hacmi (araç/saat) ve n; şerit sayısıdır. Ancak bu bağıntı 1600 araç/saat/şerit'lik trafik akımına kadar kullanılabilir (Sullivan ve Troutbeck, 1997).

Brillon serbest araç oranını belirleyebilmek amacıyla üssel dağılım kullanarak aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$\alpha = e^{-Aq} \quad (3.16)$$

Burada; A; 6-9 arasında değişen bir parametre, q; trafik hacmi (araç/saniye)dir (Sullivan ve Troutbeck, 1997).

Bir arter üzerindeki serbest araç araç oranı değerinin belirlenebilmesi amacıyla yapılmış olan en detaylı çalışmalardan bir tanesi Troutbeck ve Sullivan (1997) tarafından yapılmış olan çalışmadır. Çalışmada serbest araç oranı şerit tipi, şerit genişliği ve akım hacmine bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

Sağ şerit için serbest araç oranı (şerit genişliğine bağlı olarak);

$$\alpha = e^{(-6,5q)} \quad L < 3,00 \text{ m} \quad (3.17a)$$

$$\alpha = e^{(-5,25q)} \quad 3,00 \text{ m} \leq L \leq 3,50 \text{ m} \quad (3.17a)$$

$$\alpha = e^{(-3,4q)} \quad L \geq 3,50 \text{ m} \quad (3.17a)$$

Sol Şerit için serbest araç oranı (şerit genişliğine bağlı olarak);

$$\alpha = e^{(-7,5q)} \quad 3,00 \leq L \leq 3,50 \text{ m} \quad (3.18)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada L şerit genişliğini ifade etmektedir. Araştırmacılar orta şerit için sağ şerit bağıntılarının kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Akçelik (1998) serbest araç oranının bir üssel eğriye uyduğunu öne sürmüştü ancak araçlar arasındaki minimum takip aralığı değerini de bağıntıda kullanmıştır.

$$\alpha = e^{-b \cdot \Delta q} \quad (3.19)$$

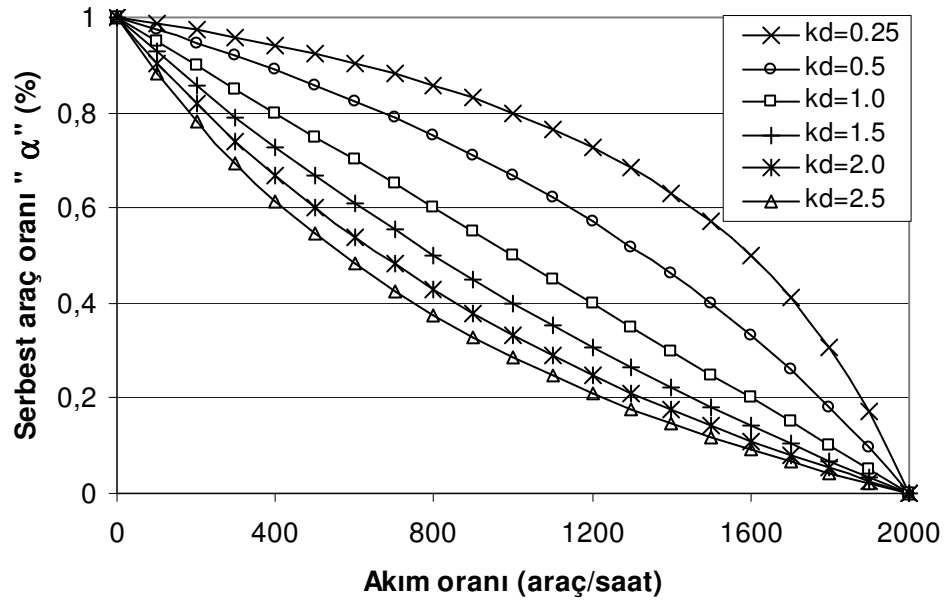
Burada "b", gruplanma model parametresidir. Kesintisiz akımlar için 0,5 ile 0,8 arasında değer alan "b" parametresi, dönel kavşaklar için 2,5 değerini almaktadır.

Akçelik (2003), serbest araç oranını modelleyebilmek amacıyla yeni bir bağıntı önermiştir. Bu bağıntı aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$\alpha = (1 - \Delta q) / [1 - (1 - k_d) \Delta q] \quad (3.20)$$

Burada;  $k_d$ : gruplanma miktarına bağlı bir parametre,  $\Delta$ , minimum takip aralığı (saniye) ve  $q$ ; hacim (araç/saniye) değeridir.

Akçelik tarafından önerilen (3.20) bağıntısı  $k_d$  parametresinin farklı değerlerine bağlı olarak serbest araç oranının değişen değerleri için ( $\alpha=0$  olduğu noktada ( $\Delta q=1$ ) ile  $\alpha=1$  olduğu noktada ( $\Delta q=0$ ) arasında) bir eğri ailesi oluşturmaktadır (Şekil 3.4). Modelin en etkin yönü,  $k_d$  parametresinin farklı değerlerine karşı farklı trafik akım özelliklerine bağlı olarak serbest araç oranı değerlerinin irdelenebilmesidir (kesintisiz akım koşulları için  $k_d=0,20$  ve dönel kavşaklar için  $k_d=2,20$  gibi).



Şekil 3.4 Farklı  $k_d$  değerlerine bağlı olarak Akçelik modelinin değişimi

Yukarıda bahsedilen modeller dışında Plank (1982) tarafından önerilen üçüncü dereceden bağıntı ve Tanyel ve Yayla (2003) tarafından Tanner'ın bağıntısına alternatif olarak üretilen, anayolda rastgele hareket eden araçlar için üretilmiş olan bağıntılar serbest araç oranının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Çalışkanelli ve Tanyel, 2010).

### 3.4.2 Cowan M3 Dağılımına ait Parametreleri Belirlemek Amacıyla Kullanılan Hesap Yöntemleri

Cowan M3 dağılımına ait parametreleri belirleyebilmek amacıyla kullanılan farklı hesap yöntemleri bulunmaktadır. Dağılım parametreleri genel olarak üç şekilde hesaplanabilir:

1. Momentler Yöntemi
2. Maksimum Olabilirlik Yöntemi
3. En Küçük Kareler Yöntemi

#### 3.4.2.1 Momentler Yöntemi

Cowan M3 dağılımına ait parametreleri belirlemek amacıyla kullanılacak en basit ancak geçerliliği en çok tartışılan yöntem Momentler Yöntemidir. Eğer veri setine ait ortalama ( $M$ ), varyans ( $\sigma^2$ ) ve çarpıklık katsayısı ( $\alpha_3$ ) gibi değerler biliniyor ise aşağıdaki bağıntılar kullanılarak dağılıma ait parametreler hesaplanabilir.

$$M = \frac{1}{q} = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad (3.21)$$

Yukarıdaki ifadenin integrali alınarak, ortalama zaman cinsinden aralık aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$M = \Delta + \frac{\alpha}{\lambda} \quad (3.22)$$

Gözlem verilerinin ikinci momenti alınarak, zaman cinsinden aralık değerlerinin varyansı bulunabilir:

$$\sigma^2 = \frac{\alpha(2-\alpha)}{\lambda^2} \quad (3.23)$$

Çarpıklık katsayısı için ise aşağıdaki bağıntı kullanılabilir (Luttinen, 1999):

$$\alpha_3(T) = \frac{2[3-\alpha(3-\alpha)]}{\sqrt{\alpha(2-\alpha)^3}} \quad (3.24)$$

#### 3.4.2.2 Maksimum Olabilirlik Yöntemi

Maksimum olabilirlik yönteminde Cowan M3 dağılımına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu minimum takip aralığı ( $\Delta$ ) değerine bağlı olarak aşağıdaki bağıntılar yardımıyla belirlenmektedir (Tanyel, 2001).

$$f(t) = (1-\alpha) \quad t=\Delta \quad (3.25)$$

$$f(t) = \alpha\lambda e^{-\lambda(t-\Delta)} \quad t>\Delta \quad (3.26)$$

Olabilirlik fonksiyonu “ $l'$ ”, yukarıdaki bağıntılar kullanılarak şu şekilde elde edilebilir:

$$l' = \prod_{t=\Delta} (1-\alpha) \prod_{t>\Delta} \alpha\lambda e^{-\lambda(t-\Delta)} \quad (3.27)$$

Logaritmik olabilirlik fonksiyonu ise:

$$l^* = \sum_{t=\Delta} (\ln(1-\alpha)) + \sum_{t>\Delta} (\ln \lambda + \ln \alpha - \lambda(t_i - \Delta)) \quad (3.28)$$

$$\frac{\partial l^*}{\partial \lambda} = 0 \quad (3.29)$$

olduğundan

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\sum_{t>\Delta} t_i / n - \Delta} \quad (3.30)$$

bulunur (Tanyel, 2001).  $\lambda$  parametresi, yukarıdaki bağıntıdan hesaplandığına göre; kalan iki parametreden biri sabit tutularak diğer parametre bağıntı (3.28)'den bulunabilmektedir.  $\Delta$  parametresi, trafik hacmine en az bağımlı parametre olduğundan, sabit tutulan parametre olarak  $\Delta$ 'nın seçilmesi uygundur (Hagring, 1998). Bağıntı (3.30) aşağıdaki şekilde düzenlenebilir:

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\sum_{t>\Delta} t_i / n - \xi} \quad (3.31)$$

Burada  $\xi$  akımda serbest hareket eden araçlar arasındaki en küçük takip aralığı değeridir. Daha öncede bahsedildiği  $\xi$  değeri için çeşitli araştırmacılar farklı değerler önermişlerdir. Örneğin Troutbeck  $\xi$  değeri için 4 saniyenin uygun olduğunu belirtirken, Hagring (1998)  $\xi$  değeri için 3 saniyeyi kullanmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan hesaplamalarda  $\xi$  için 4 saniye değeri kullanılmıştır.

### 3.4.2.3 En Küçük Kareler Yöntemi

Maksimum Olabilirlik Yönteminin en zayıf yönlerinden biri, " $\Delta$ " katsayısını sabit bir değer olarak almasıdır. Ancak değişik trafik koşulları altında, değişik " $\Delta$ " değerleri bulunabilir (Tanyel, 2010). En Küçük Kareler Yöntemine göre  $t > \xi$  için, 3.11 bağıntısı, şu şekilde yeniden yazılabilir:

$$F(t) = 1 - \alpha e^{-\lambda(t-\Delta)} = 1 - \gamma e^{-\lambda t} \quad (3.31)$$

Burada

$$\gamma = \alpha e^{\lambda \Delta} \quad (3.32)$$

olarak yazılabilir. Eğer gözlenen ve tahmin edilen kümülatif dağılımlar arasındaki farkın karelerinin toplamı "J" ile tanımlanırsa; bu durumda:

$$J = \sum_i \{F(t_i) - H(t_i)\}^2 \quad (3.33)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada  $H(t_i)$  gözlenen,  $F(t_i)$  tahmin edilen kümülatif dağılımlardır. "J" değeri;

$$\gamma = \frac{\sum_i \{1 - H(t_i)\} e^{-\lambda \Delta_i}}{\sum_i e^{-2\lambda \Delta_i}} \quad (3.34)$$

olduğunda minimum değerini alabilir (Troutbeck, 1997).

" $\gamma$ " değeri belirlendikten sonra " $\alpha$ " ve " $\Delta$ " değerleri, 3.31 bağıntısından da yararlanılarak hesaplanabilir :

$$\alpha e^{-\alpha} = \gamma e^{-\lambda/q} \quad (3.35)$$

$$\Delta = \frac{1}{q} - \frac{\alpha}{\lambda} \quad (3.36)$$

### ***3.4.3 Cowan M3 Dağılım Parametreleri ve Hesap Yöntemleri ile İlgili Genel Değerlendirmeler***

Sullivan ve Troutbeck (1997) Cowan M3 dağılımının kullanılması ve parametrelerinin hesaplanması sırasında bazı hususlara dikkat edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu hususlardan en önemlisi trafik akımları içerisinde aynı hacim değerine karşılık farklı  $\alpha$  değerlerinin bulunabileceğidir. Bu durumda araçlar arasındaki ortalama takip aralıkları değerinin aynı olmasına karşın ortalamalara karşılık gelen varyans değerleri değişebilir ve bu durum serbest araç oranının farklı olması sonucunu doğuracaktır. Bunun dışında göz önünde bulundurulması gereken diğer bir önemli husus " $\alpha$ " ve " $\Delta$ " parametrelerinin birbiri ile son derece yakın ilişkide olan parametreler olduğudur.  $\alpha$  ve  $\Delta$  arasındaki bu yakın ilişki zaman zaman  $\alpha$  ya da  $\Delta$  ile ilgili önemli özellikleri kamufle edebilir. Bu sebeple hesaplanan serbest araç oranı değerlerinin belirlenen bir  $\Delta_c$  (grup halinde hareket eden araçlara ait takip aralığı değerinden ( $\xi$ ) küçük) değeri ile düzeltilmesi gerekebilmektedir. Sullivan ve Troutbeck (1994, 1997) yaptıkları çalışmalarla  $\Delta_c$  değerinin 2 saniye alınması ile dağılımın takip aralığı değerlerine son derece uygun sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Parametre hesap yöntemlerini inceleyen çeşitli araştırmacılar yöntemlerin kullanımları üzerinde farklı değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Hagring (1996b), Maksimum Olabilirlik Yönteminin sonuçlarının, gözlenen dağılıma uymadığını; Momentler Yöntemi ile daha uygun sonuçlar elde edildiğini öne sürmüştür. Troutbeck (1997), özellikle " $\Delta$ " değerinin belirlenmesinde ve " $\Delta$ " parametresine bağlı olarak diğer parametrelerin hesaplanmasında En Küçük Kareler Yönteminin uygulanmasının, iyi sonuçlar verdiğini öne sürmüştür.

Luttinen (1999) ise, Troutbeck gibi, " $\Delta$ " parametresinin, En Küçük Kareler Yöntemi ile hesaplanmasının daha uygun olacağını öne sürmüştür. Ayrıca Luttinen (1999) ve Akçelik ve Chung (1994), bazı durumlarda " $\Delta$ " değerinin sabit seçilmesinin uygun olabileceğini fakat farklı trafik ortamlarında farklı " $\Delta$ " değerlerinin hesaplanmasının daha sağlıklı olacağını söylemişlerdir.



## BÖLÜM DÖRT

### SİNYALİZE ARTERLERDE SERBEST ARAÇLARA AİT TAKİP ARALIKLARININ MODELLENMESİ

Bir önceki bölümde de bahsedildiği gibi trafik akımı içerisinde hareket etmekte olan araçlara ait takip aralıkları trafik mühendisliğinin en ilgi çeken ve üzerinde araştırma yapılan konularından birisidir. Akım içerisindeki araçların sinyalizasyon sistemlerine gelişleri, sinyal dur-çizgisinden ayrılma davranışları, sinyalizasyon sistemlerinin analizinde özellikle kapasite hesaplarında en etkin parametre olan doygun akım değerinin belirlenmesi, akım içerisinde yer alan ağır araçlara ait eşdeğer otomobil birimi değerlerinin hesaplanması gibi konular araçlar arasındaki takip aralıklarının incelenmesi sonucunda belirlenebilmektedir.

Yukarıda bahsedilen konuların dışında, kontrolsüz kavşaklara ait kapasite hesaplamalarında, hem anayolda hareket eden araçlar arasındaki aralıkların modellenebilmesi hem de yan yoldan anayola katılmak için yaklaşan araçların davranışlarının belirlenebilmesi açısından araçlar arasındaki takip aralıklarının incelenmesi gerekmektedir.

Önceki bölümde de değinildiği gibi araçlar arasındaki aralıkları modelleyebilmek amacıyla birçok istatistiksel dağılım ve bu dağılımları kullanabilmek amacıyla yararlanılan hesap yöntemi bulunmaktadır. Çalışmanın bu aşamasında sinyalize arterler üzerinde hareket etmekte olan serbest araçlara ait takip aralıklarının incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan incelemelerde Cowan M3 dağılımının en önemli parametrelerinden olan serbest araç oranı ( $\alpha$ ) parametresi çeşitli bağıntılar yardımıyla modellenmeye çalışılmıştır. Elde edilen modeller sinyalize kavşakların bulunduğu bir arter üzerinde yer alan kontrolsüz bir kavşakta kapasite değerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Kontrolsüz kavşak kapasitesi üzerine yapılan çalışmada Cowan M3 dağılımı ve araç takip aralıklarının incelenmesinde en yaygın kullanılan dağılımlardan olan negatif üssel dağılım kullanılmıştır.

#### 4.1 Gözlem Yapılan Kavşaklar ve Verilerin Elde Edilmesi

Çalışmanın sinyalize arter üzerinde hareket etmekte olan serbest araç oranının modellenmesini amaçlayan bu bölümünde kullanılan veriler iki grupta toplanabilir.

Bunlar;

- 1- Denizli’de yer alan dört ayrı sinyalize kavşaktan elde edilen veriler.
- 2- İzmir’deki önemli sinyalize arterler üzerinde yer alan dokuz ayrı noktada video kamera kullanılarak yapılan çekimlerden elde edilen veriler.

Verilerin büyük bir kısmını İzmir’deki sinyalize arterler üzerinde video kamera kullanılarak yapılan çekimler oluşturmaktadır. Denizli’den elde edilen veriler Doç.Dr. Y.Şazi MURAT tarafından kendi doktora tez çalışmasında kullandığı verilerin bir kısmından oluşmaktadır. Denizli’deki sinyalize kavşaklardan elde edilen veriler özellikle modelleme aşamasındaki düşük trafik hacmi durumunda serbest araç oranı değerlerini belirleyebilmek açısından son derece yararlı olmuştur.

Video kamera ile gözlem yapılan noktalar İzmir’de yüksek trafik yükü taşıyan önemli sinyalize arterler üzerinde yer almaktadır. Çekimlerin çoğu iki video kamera kullanılarak, gözlem noktalarını görebilen yüksek binalardan gerçekleştirilmiştir. Gözlem noktaları sinyalize arterler üzerinde yer alan, sinyal dur-çizgisine 60 metre ila 400 metre mesafedeki yol kesimlerini görebilecek şekilde belirlenmiştir. Her gözlem noktası için en az 45 dakika çekim yapmak suretiyle veri toplanmıştır. Yapılan çekimler bilgisayara aktarılarak araçlar arasındaki takip aralığı değerleri saniye cinsinden, araç tipine bağlı olarak ve şerit bazında çıkartılmıştır.

Sinyal noktasından ayrılan araçların takip aralığı değerlerini ve buna bağlı olarak akım içerisindeki serbest hareket eden araçların oranının incelenmesi amaçlanan çalışmada gözlemler hava koşullarının uygun olduğu (yağışsız) hafta içi günlerinde ve trafik akımının en yoğun olduğu sabah 8:00-9:00 ve akşam 18:00-19:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. İzmir ve Denizli’de inceleme yapılan bütün kavşaklara ait genel bilgiler Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1 İzmir'deki gözlem noktaları

Gözlem Noktaları	Şerit Tipi	Trafik Hacmi (araç/saat))	Şerit Genişliği (m)
Fahrettin Altay	Sol	874	3,25
Kavşaağı	Orta	909	3,25
/Üçkuyular	Sağ	481	3,25
ESBAŞ(Ege	Sol	836	3,20
Serbest	Orta	835	3,20
Böl.)/Gaziemir	Sağ	598	3,20
Gazi İlköğretim	Sol	587	3,00
Okulu /Alsancak	Sağ	420	3,00
Mustafa Kemal	Sol	1259	3,50
Sahil Bul/Karataş	Orta	1196	3,50
Kavşaağı	Sağ	854	3,50
İnönü Caddesi	Sol	877	3,00
/Üçyol Kavşaağı	Sağ	588	3,00
İnönü Caddesi	Sol	713	3,00
/Susuzdede	Sağ	498	3,00
Kavşaağı	Sağ	498	3,00
İnönü Caddesi	Sol	585	3,00
/Tansaş Kavşaağı	Sağ	371	3,00
İnönü Caddesi	Sol	660	3,25
/Hıfzıssıhha Ens	Sağ	437	3,25
Kavşaağı..	Sağ	437	3,25
İnönü Caddesi	Sol	411	3,00
Dokuz Eylül			
Ünv. Hastanesi	Sağ	262	3,00
Kavşaağı	Sağ	262	3,00
/Narlidere			

Tablo 4.2 Denizli'deki gözlem noktaları

Gözlem Noktaları	Şerit Tipi	Trafik Hacmi (araç/saat)	Şerit Genişliği (m)
Çınar	Sol	261	3,00
	Sağ	275	3,00
Öğretmenevi	Sol	250	2,95
	Sağ	246	2,95
Halley Otel	Sol	481	2,90
	Sağ	364	2,90
İtfaiye	Sağ	216	3,00

Gözlem noktaları aşağıdaki özellikleri göz önüne alınarak belirlenmiştir.

- Kavşaklar yüksek trafik yükü taşıyan önemli arterler üzerinde yer almaktadır.
- Gözlem yapılan saat ve kesimlerde sinyal noktası yakınında araçların takip aralığı değerlerini etkileyebilecek şekilde parklanmaya izin verilmemektedir.
- Sinyal noktaları yakınında (400 metre mesafeye kadar) araçların hareketlerini etkileyebilecek otobüs durak noktası bulunmamaktadır.
- Gözlem yapılan noktalarda veriler araç tipine bağlı olarak çıkarılmıştır. Ancak modelleme aşamasında ağır araç etkisi dikkate alınmamış, yalnızca binek otomobillere ait takip aralığı değerleri incelenmiştir.
- Çalışmada hareket şeritlerine ait genişlik verileri toplanmıştır. Ancak araçlar arasındaki takip aralığı değerleri ve şerit genişliği arasındaki ilişkiyi ifade edebilen anlamlı bir model oluşturulamamıştır.
- Çalışmada orta şeride ait sınırlı sayıda veri toplanabilmiştir. Bu sebeple orta şeride ait herhangi bir analiz yapılmamıştır.

## 4.2 Gözlem Verilerinin Değerlendirilmesi

Video kamera yardımı ile gözlem noktalarından elde edilen veriler şerit bazında değerlendirilmiştir. Daha öncede bahsedildiği gibi Cowan M3 dağılımına ait parametreler gözlem yapılan bölgeye ve sürücü özelliklerine göre değişmektedir. Bunun yanında parametreleri belirleyebilmek amacıyla farklı yöntemler kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında Cowan M3 dağılımına ait parametreleri belirleyebilmek amacıyla “En Küçük Kareler Yöntemi” kullanılmıştır.

Dağılımın en belirleyici parametrelerinden olan minimum zaman cinsinden aralık değeri ( $\Delta$ ) ve serbest araç oranı ( $\alpha$ ) değerleri her bir veri seti için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan minimum zaman cinsinden aralık değeri ( $\Delta$ ) farklı noktalardan elde edilen veri setlerinin bir arada değerlendirilebilmesi amacıyla sabit bir  $\Delta'$  değeri ile düzeltilmiş ve modellemede kullanılan serbest araç oranı değeri ( $\alpha$ ) bu düzeltilmiş serbest araç oranına bağlı olarak hesaplanmıştır. Serbest araç oranı ( $\alpha$ ) değerleri aşağıdaki bağıntı yardımıyla düzeltilmiştir (Sullivan ve Troutbeck (1994, 1997)).

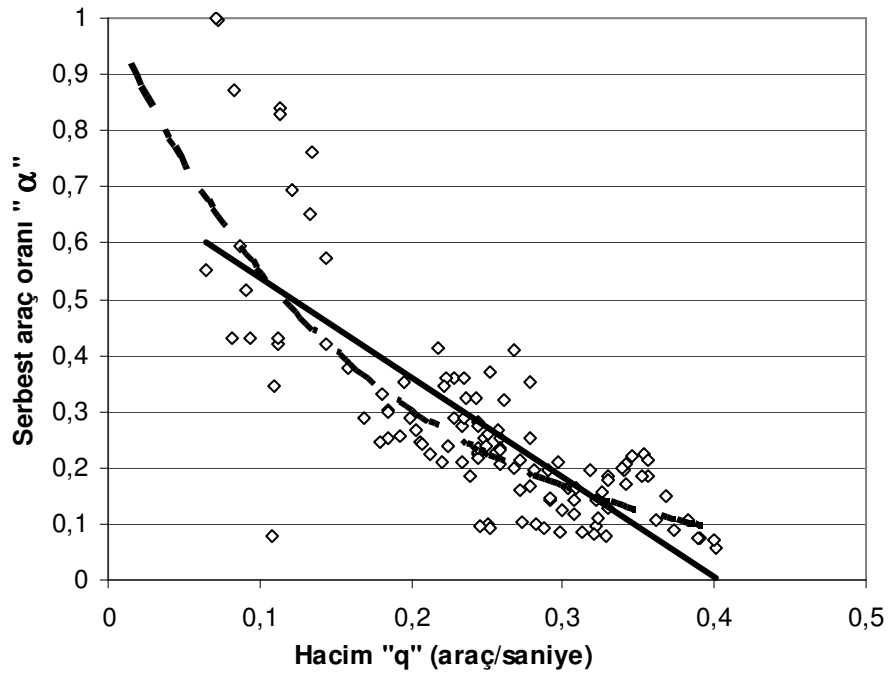
$$\alpha' = \alpha e^{\lambda(\Delta - \Delta')} \quad (4.1)$$

Burada;  $\alpha'$ ; düzeltilmiş serbest araç oranı,  $\alpha$ ; hesaplanan serbest araç oranı,  $\lambda$ ; düzeltme parametresi,  $\Delta$ ; minimum zaman cinsinden aralık değeri,  $\Delta'$ ; minimum zaman cinsinden aralık değeri için düzeltme değeridir. ( Çalışmada  $\Delta'$  değeri literatürdeki çalışmalara paralellik sağlaması açısından 2 saniye olarak alınmıştır. ) Modelleme aşamasında kullanılan serbest araç ve minimum zaman cinsinden aralık değerleri düzeltilmiş değerlerdir (Sullivan ve Troutbeck (1994, 1997)).

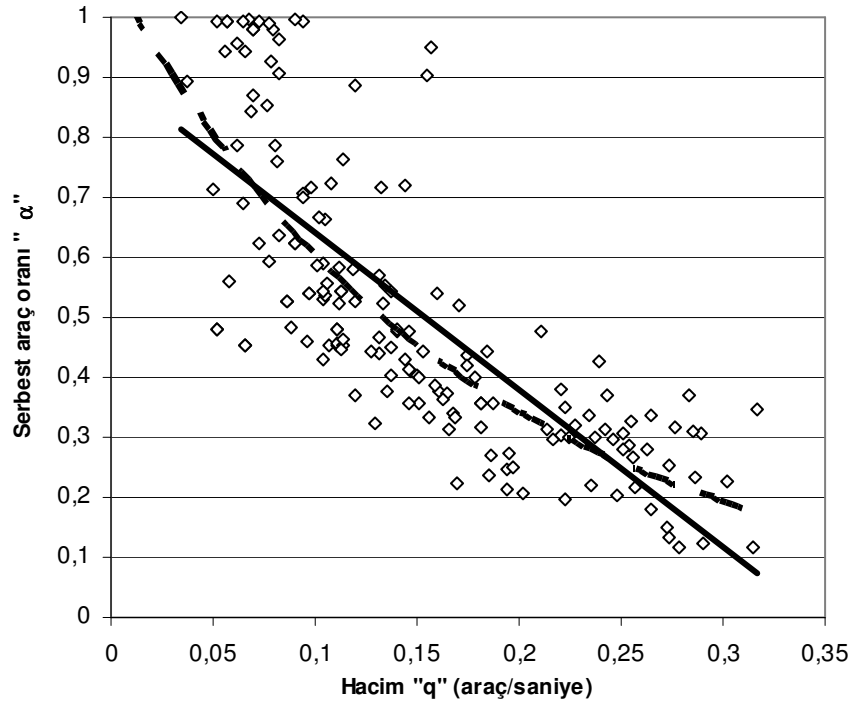
### 4.3 Serbest Araç Oranı “ $\alpha$ ” ve Hacim “q” Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Daha önceki bölümde de belirtildiği gibi serbest araç oranı ve hacim arasındaki ilişki birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Sullivan ve Troutbeck (1997) serbest araç oranı ve hacim arasında üssel bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca iki parametre arasında doğrusal bir ilişki de araştıran yazarlar, anlamlı doğrusal bir bağıntıya ulaşamamışlardır.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gözlem noktalarında sol ve sağ şeritteki hacim (q) değerlerine bağlı olarak elde edilmiş olan serbest araç oranı ( $\alpha$ ) değerleri gösterilmiştir. Ayrıca bağıntıları ifade etmek amacıyla kullanılan eğriler yine aynı şekiller üzerinde gösterilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi serbest araç oranı ( $\alpha$ ) ve hacim (q) arasındaki ilişkinin her iki şerit için de üssel ilişki ile daha iyi temsil edilebileceği söylenebilir. Her iki şeritten elde edilen veriler için hem üssel hem de doğrusal ilişkiyi belirlemek amacıyla regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi ile elde edilmiş olan doğrusal ve üssel bağıntılar şerit tipine bağlı olarak bağıntı 4.2-4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Sol şeritteki araçlar için hacim “q” ve serbest araç oranı “ $\alpha$ ” arasındaki ilişki



Şekil 4.2 Sağ şeritteki araçlar için hacim “q” ve serbest araç oranı “ $\alpha$ ” arasındaki ilişki

Sol şerit için önerilen doğrusal bağıntı; (MLq Modeli)

$$\alpha = 0,72 - 1,78q \quad r = 0,77 \quad (4.2)$$

Sağ şerit için önerilen doğrusal bağıntı; (KLq Modeli)

$$\alpha = 0,90 - 2,62q \quad r = 0,77 \quad (4.3)$$

Sol şerit için önerilen üssel bağıntı; (MEq Modeli)

$$\alpha = 0,95e^{(-5,82q)} \quad r = 0,78 \quad (4.4)$$

Sağ şerit için önerilen üssel bağıntı; (KEq Modeli)

$$\alpha = 1,07e^{(-5,72q)} \quad r = 0,83 \quad (4.5)$$

4.2-4.5 bağıntıları incelendiğinde regresyon analizleri sonucunda ulaşılan hem doğrusal, hem de üssel bağıntıların sinyalizasyon arterleri üzerinde hareket etmekte olan serbest araçları ifade etmek amacıyla kullanılabilirliği görülmüştür. Üssel bağıntılara ait korelasyon katsayıları incelendiğinde doğrusal bağıntılara oranla bir miktar daha yüksek olduğu söylenebilir. Ayrıca serbest araç oranı parametresi olan  $\alpha$  değerinin akım içerisinde hareket etmekte olan bir kısım araç tipi olduğu göz önüne alınacak olur ise, bu değer “1” den daha yüksek olamayacağı açıktır. Her iki şerit içinde önerilmiş olan üssel bağıntılar incelendiğinde sabit terimlerin “1”e son derece yakın olduğu görülmektedir. Korelasyon katsayıları birbirine çok yakın olmasına rağmen şerit bazında önerilen ifadeler incelendiğinde doğrusal bağıntılara ait sabit terimlerin üssel bağıntılara kıyasla “1”e daha uzak olduğu söylenebilir.

Şerit bazında, hacim değerlerine bağlı olarak önerilmiş olan serbest araç oranı ( $\alpha$ ) modelleri için yapılmış olan istatistiksel analizler Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4 3 Hacim“q” miktarına bağlı olarak önerilen modellere ait istatistikler

Model Adı	Model İstatistikleri		Parametre İstatistikleri					
	F	r	Sabit Terim			Bağımsız Değişken		
			$\beta$	t	P(t)	$\beta$	t	P(t)
MLq	170,247	0,774	0,715	20,107	0,000	-1,780	-13,048	0,000
KLq	244,258	0,774	0,901	32,553	0,000	-2,617	-15,629	0,000
MEq	178,840	0,781	0,955	8,809	0,000	-5,824	-13,373	0,000
KEq	356,018	0,828	1,071	19,955	0,000	-5,722	-18,868	0,000

M:Sol Şerit, K:Sağ Şerit, L:Doğrusal, E:Üssel, q:hacim

Tablo 4.3’de önerilmiş olan üssel ve doğrusal ifadeleri incelemeye yönelik yapılan istatistiksel analizlere ait sonuçlar görülmektedir. Önerilen üssel ve doğrusal bağıntılara ait F testi sonuçları incelendiğinde üssel modeller için hesaplanan değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Sabit terim ile ilgili olarak yapılan hesaplamalarda doğrusal modeller için hesaplanan t-değerlerinin üssel modeller için hesaplanan t-değerlerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum doğrusal ifadelerle önerilen modellerin sabit terime bağımsız değişkene kıyasla daha çok bağlı olduğu şeklinde yorumlanabilir. Bağımsız değişken olan hacim için



hesaplanan t-değerleri incelendiğinde sol şerit için önerilen üssel ve doğrusal modellerin birbirine oldukça yakın sonuçlar veridiği görülmektedir. Ancak sağ şerit için bağımsız değişken ile ilgili olarak hesaplanan t-değerleri üssel model lehinde yüksek sonuç vermektedir.

Yapılan hesaplar ve incelenen istatistiksel parametreler doğrultusunda önerilen üssel modellerin gözlem yapılan sinyalize arterler üzerinde hareket etmekte olan serbest araç oranını modelleyebilmek açısından uygun sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında bulunan üssel modeller Brillon tarafından önerilen ve 3.Bölüm'de Bağntı 3.16 ile verilen genel forma dönüştürülmeye çalışılmıştır. Formül 4.4 ve 4.5 ile verilen bağıntıları Bağntı 3.16 formuna getirebilmek ve söz konusu formüldeki en uygun "A" parametresini sinyalize kavşaklar için bulabilmek amacıyla Sullivan ve Troutbeck (1997) tarafından önerilen aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$S = \sum (e^{(-Aq)} - \alpha)^2 \quad (4.6)$$

Düzenlenen üssel bağıntılar Formül 4.7 ve 4.8 ile aşağıda verilmiştir. Elde edilen üssel bağıntıları değerlendirebilmek amacıyla F testi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Sol şerit için ;

$$\alpha = e^{(-5,99q)} \quad r = 0,76 \quad F(222,93) \quad (4.7)$$

Sağ şerit için ;

$$\alpha = e^{(-5,35q)} \quad r = 0,81 \quad F(295,90) \quad (4.8)$$

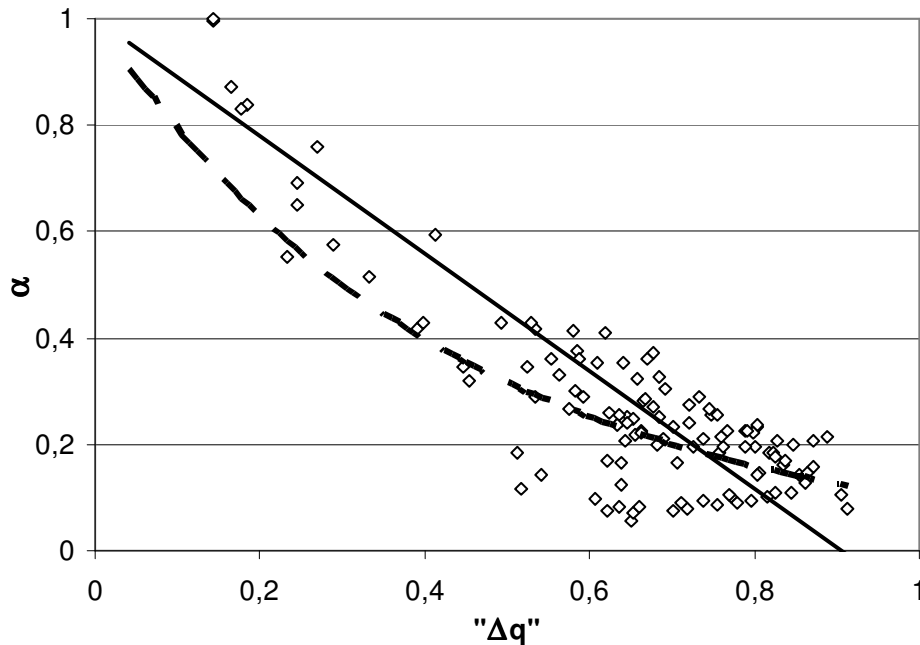
Bağıntı 4.7 ve 4.8 için hesaplanan F değerleri incelendiğinde, bağıntıların eldeki veriler ile değerlendirildiğinde uygulanabilir bağıntılar olduğu düşünülmektedir.

#### 4.4 Serbest Araç Oranı “ $\alpha$ ” ve “ $\Delta q$ ” Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

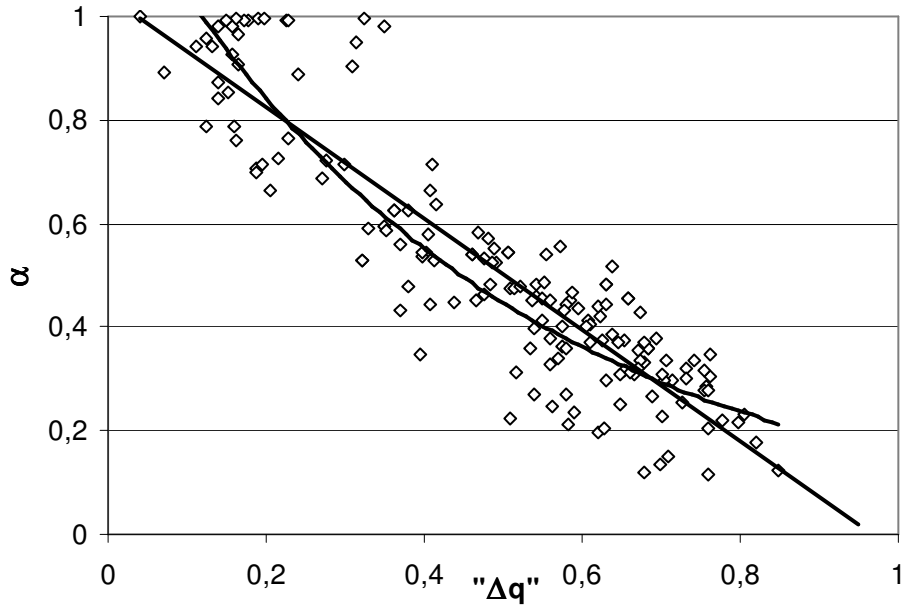
Üçüncü bölümde de bahsedildiği gibi serbest araç oranı ( $\alpha$ ) ile ilgili üretilmiş olan bağıntıların bazıları, “ $\alpha$ ” parametresinin minimum takip aralığı ( $\Delta$ ) değerinden ayrı düşünülmemeyeceği kabulü ile belirlenmektedir. Tanner (1962), Akçelik (1998, 2003), Plank (1982) gibi birçok araştırmacı “ $\alpha$ ” ve “ $\Delta q$ ” arasındaki ilişkiyi araştırmıştır.

Sinyalize arterlerdeki serbest araç oranı değerinin modellenmesi amaçlanan çalışmanın bu kısmında gözlem verileri kullanılarak “ $\Delta q$ ” ve “ $\alpha$ ” arasındaki ilişki şerit bazında araştırılmıştır. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 üzerinde sağ ve sol şerit için “ $\Delta q$ ” ve “ $\alpha$ ” değerlerine ait gözlem verileri görülmektedir. Regresyon analizi sonucunda elde edilen üssel ve doğrusal grafikler yine aynı şekiller üzerinde gösterilmiştir.

Regresyon analizlerinden elde edilen üssel ve doğrusal bağıntılar Formül 4.9-4.10’da verilmektedir.



Şekil 4.3 Sol şeritteki araçlar için “ $\Delta q$ ” ve serbest araç oranı “ $\alpha$ ” arasındaki ilişki



Şekil 4.4 Sağ şeritteki araçlar için “ $\Delta q$ ” ve serbest araç oranı “ $\alpha$ ” arasındaki ilişki

Sol şerit için önerilen doğrusal bağıntı; (ML $\Delta q$  Modeli)

$$\alpha = 0,86 - 0,91\Delta q \quad r = 0,85 \quad (4.9)$$

Sağ şerit için önerilen doğrusal bağıntı; (KL $\Delta q$  Modeli)

$$\alpha = 1,04 - 1,08\Delta q \quad r = 0,91 \quad (4.10)$$

Sol şerit için önerilen üssel bağıntı; (ME $\Delta q$  Modeli)

$$\alpha = 1,15e^{(-2,51\Delta q)} \quad r = 0,73 \quad (4.11)$$

Sağ şerit için önerilen üssel bağıntı; (KE $\Delta q$  Modeli)

$$\alpha = 1,29e^{(-2,11\Delta q)} \quad r = 0,87 \quad (4.12)$$

Elde edilen bağıntılar incelendiğinde doğrusal modellere ait korelasyon katsayılarının üssel modellere kıyasla daha yüksek olduğu söylenebilir. Sol şerit için

üssel ve doğrusal modellere ait sabit terimlerin 1'e olan uzaklığı birbirine çok yakındır. Ancak sağ şerit için doğrusal modelin sabit terimi 1'e çok daha yakın ve korelasyon katsayısı değeri daha yüksektir.

Regresyon analizi hesaplamaları ile önerilen üssel ve doğrusal bağıntıların geçerliliklerini araştırabilmek amacıyla çeşitli istatistiksel analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçlarına ilişkin değerler Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4 “ $\Delta q$ ” değerine bağlı olarak önerilen modellere ait istatistikler

Model Adı	Model İstatistikleri		Parametre İstatistikleri					
	F	r	Sabit Terim			Bağımsız Değişken		
			$\beta$	t	P(t)	$\beta$	t	P(t)
ML $\Delta q$	291,684	0,848	0,861	24,193	0,000	-0,906	-17,079	0,000
KL $\Delta q$	736,010	0,905	1,039	49,316	0,000	-1,077	-27,130	0,000
ME $\Delta q$	126,354	0,725	1,149	6,674	0,000	-2,509	-11,241	0,000
KE $\Delta q$	496,768	0,868	1,285	19,888	0,000	-2,113	-22,288	0,000

M:Sol Şerit, K:Sağ Şerit, L:Doğrusal, E:Üssel,  $\Delta$ ;minimum takip aralığı, q:hacim

Tablo 4.4 incelendiğinde hem sağ hem de sol şerit için önerilen doğrusal bağıntılara ait F testi sonuçlarının üssel bağıntılara kıyasla çok daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca denklemlerde bağımsız değişken olan “ $\Delta q$ ” değeri için hesaplanan T istatistikleri doğrusal modeller lehinde daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Yapılan hesaplar ve incelenen istatistiksel parametreler doğrultusunda önerilen doğrusal modellerin inceleme yapılan sinyalize arter üzerinde hareket etmekte olan serbest araç oranını “ $\Delta q$ ” değerine bağlı olarak modelleyebilmek açısından uygun sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında akım içerisindeki serbest araç oranı değerinin ( $\alpha$ ) 1'den daha büyük olamayacağı göz önüne alınarak, doğrusal modeller için önerilen bağıntılardaki sabit terimler 1'e eşitlenmiştir. Bu işlem sonucunda daha önce elde edilmiş olan Bağıntı 4.9 ve 4.10 aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

Sol şerit için ;

$$\alpha = 1 - 1,11\Delta q \quad r = 0,83 \quad F(291,68) \quad (4.13)$$

Sağ şerit için ;

$$\alpha = 1 - 1,01\Delta q \quad r = 0,90 \quad F(736,01) \quad (4.14)$$

Elde edilen bağıntılar F testi yardımı ile değerlendirilmiş ve elde edilen gözlem verilerini ifade etmek açısından uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca Formül (4.14) ile verilen bağıntının Tanner (1962) tarafından önerilen bağıntı ile (Bkz. Bölüm 3, Formül 3.13) son derece yakın olduğu da elde edilen önemli bulgulardan birisidir.

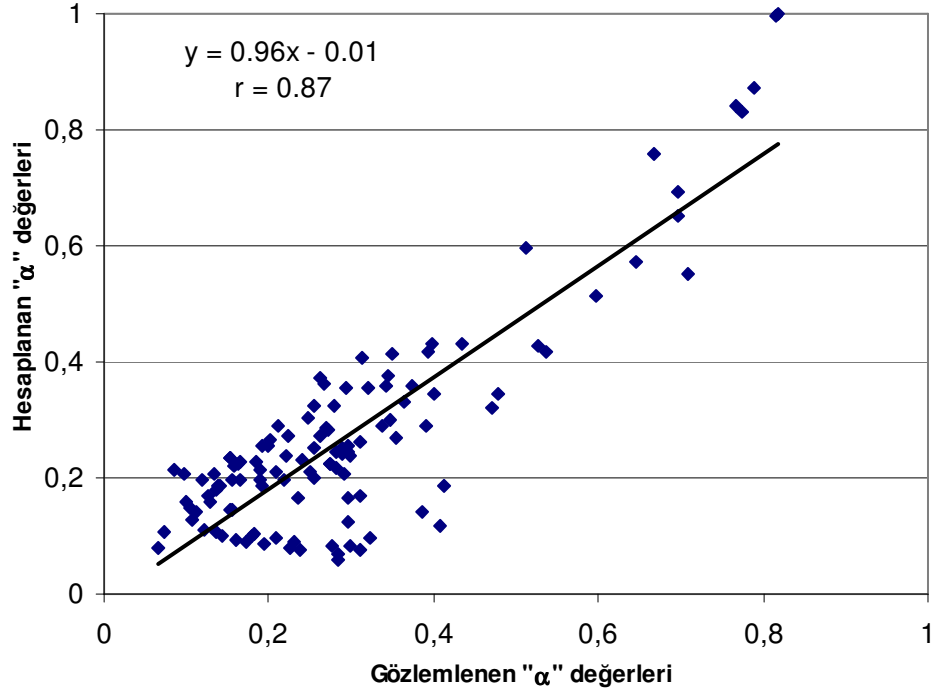
#### 4.5 Elde Edilen Verilerin Akçelik Yöntemi ile Değerlendirilmesi

Çalışmanın üçüncü aşamasında Akçelik (2003) tarafından önerilen bağıntının sinyalize arterler üzerindeki serbest araç oranı değerini modelleyebilmek amacıyla kullanımı incelenmiştir. Öncelikli olarak Bölüm 3'te Formül 3.20 ile verilen bağıntıda kullanılan ve araçlar arasındaki gruplanma miktarını akım özelliklerine göre ifade eden  $k_d$  parametresi sinyalize arterler için elde edilmeye çalışılmıştır.

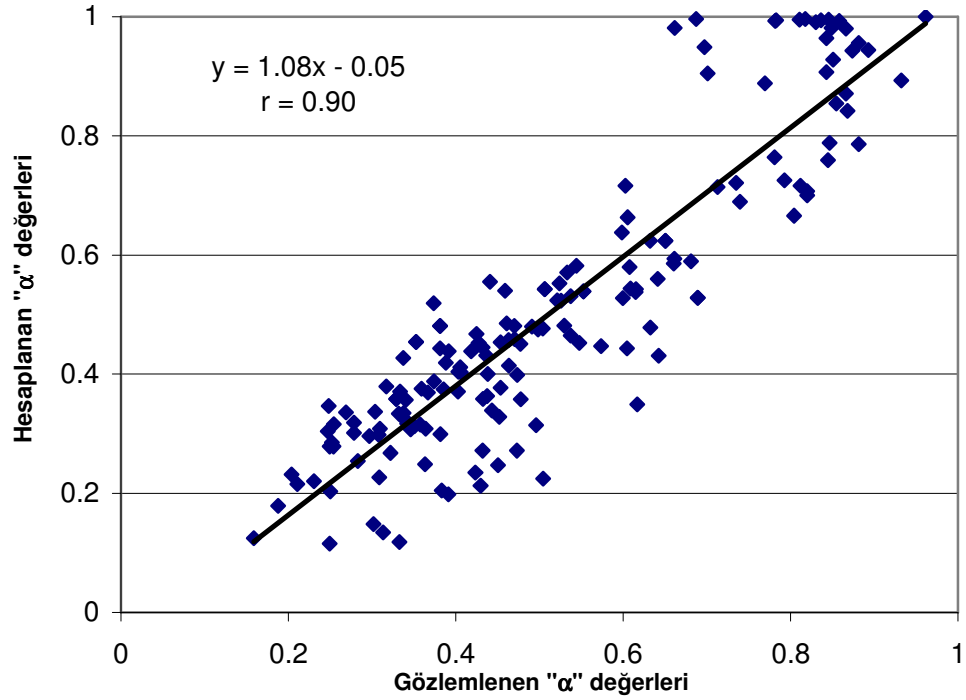
Akım koşullarına ve şeritlere bağlı olarak  $k_d$  parametresini belirleyebilmek amacıyla sayısal bir analiz yöntemi uygulanmıştır. Yöntemde  $k_d$  değeri için 0,1'den başlayarak 0,1 artımla farklı değerler atanmıştır. Atanan  $k_d$  değerlerine bağlı olarak Bağıntı 3.20 yardımıyla hesaplanan serbest araç oranı ( $\alpha$ ) değerleri ile "En Küçük Kareler Yöntemi" ile elde edilen serbest araç oranı ( $\alpha$ ) değerleri karşılaştırılmıştır. İki farklı hesap yöntemi ile hesaplanan ( $\alpha$ ) değerlerinin farklarının karesini minimum yapan değer çalışmada kullanılan sinyalize arter verileri için en uygun  $k_d$  değeri olarak kabul edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda sağ şerit için uygun  $k_d$  parametresi 0,95, sol şerit için uygun  $k_d$  parametresi ise 1,35 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.5 ve 4.6'da sağ ve sol

şerit için Akçelik (2003) bağıntısı ve gözlem verilerine bağlı olarak hesaplanan serbest araç oranı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.5 Sol şeritteki araçlar için gözlenen ve hesaplanan "α" değerleri



Şekil 4.6 Sağ şeritteki araçlar için gözlenen ve hesaplanan "α" değerleri

Şekil 4.5 ve 4.6’da da görülebileceği gibi elde edilen  $k_d$  değerlerine bağlı olarak hesaplanan serbest araç oranı değerleri ( $\alpha$ ) gözlemlenen serbest araç oranı ( $\alpha$ ) değerlerine oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Bu durum Akçelik (2003) tarafından önerilen bağıntıda kullanılmak üzere şerit bazında belirlenen  $k_d$  değerlerinin, eldeki veriler ile uyumlu sonuçlar verdiği ve kullanımının uygun olabileceğini göstermektedir.

#### 4.6 Elde Edilen Modellerin Karşılaştırılması

Sinyalize arterler üzerinde hareket etmekte olan araçlar içerisindeki serbest araç oranı değerini incelemeyi amaçlayan çalışmanın bu kısmında şeritlere bağlı olarak farklı modeller incelenmiştir. Oluşturulan modeller incelendiğinde serbest araç oranı değerinin hacim değerine ya da hacim ve minimum takip aralığı değerlerinin çarpımına göre modellenebildiği görülmüştür. Gözlem noktalarında elde edilen veriler yukarıda bahsedilen iki farklı yaklaşım yardımı ile incelenmiş ve sinyalize arterler üzerindeki serbest araç oranı değerini belirleyebilmek amacıyla Tablo 4.5’de özetlenen modeller oluşturulmuştur. Bu modeller dışında Akçelik (2003) tarafından önerilen bağıntının, sinyalize arterler üzerindeki serbest araç oranı değerini incelemek amacıyla kullanımı araştırılmış ve yine Tablo 4.5’de verilen bağıntılara (MK3, MMd3) ulaşılmıştır.

Tablo 4.5 Sinyalize arterlerdeki trafik akımı için önerilen serbest araç oranı ( $\alpha$ ) bağıntıları

Şerit Tipi	Model Adı	Bağıntı
<i>Sağ Şerit</i>	MK1	$\alpha = e^{(-5,35q)}$ (4.15)
	MK2	$\alpha = 1 - 1,01\Delta q$ (4.16)
	MK3	$\alpha = (1 - \Delta q) / (1 - (1 - 0,95)\Delta q)$ (4.17)
<i>Sol Şerit</i>	MMd1	$\alpha = e^{(-5,99q)}$ (4.18)
	MMd2	$\alpha = 1 - 1,11\Delta q$ (4.19)
	MMd3	$\alpha = (1 - \Delta q) / (1 - (1 - 1,35)\Delta q)$ (4.20)

Analizler sonucunda hacim ve minimum takip aralığı değerlerine bağlı olarak elde edilen üssel ve doğrusal modellerin geçerliliğini belirleyebilmek amacıyla çeşitli istatistiksel analizler yapılmış, elde edilen sonuçlar Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6 Önerilen serbest araç oranı ( $\alpha$ ) modellerinin istatistiksel değerlendirilmesi

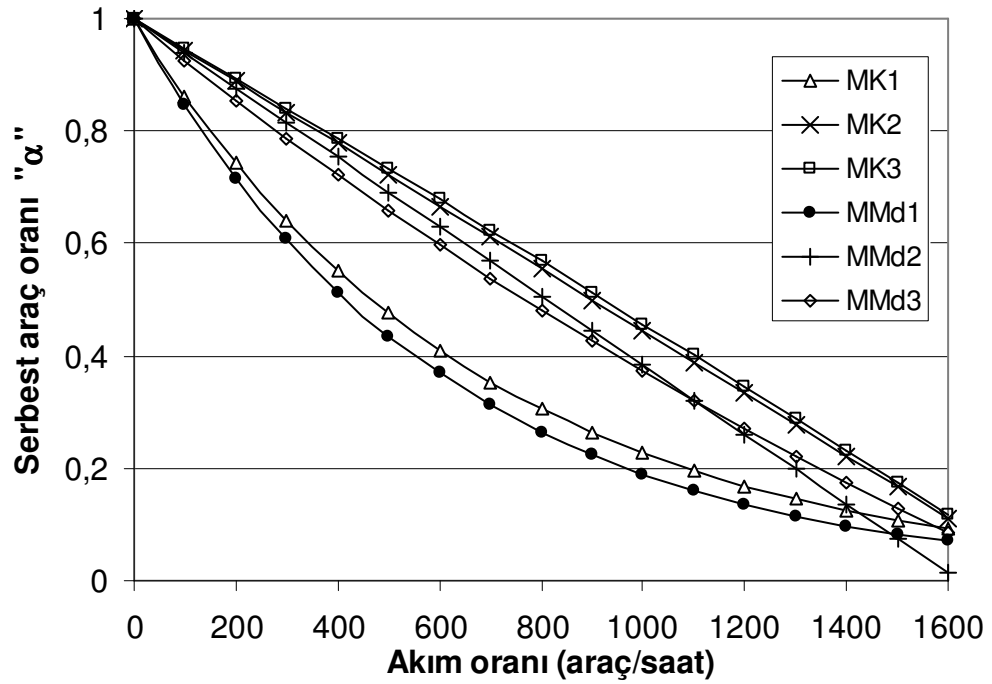
Model Adı	Model İstatistikleri		Parametre İstatistikleri					
	F	r	Sabit Terim			Bağımsız Değişken		
			$\beta$	t	P(t)	$\beta$	t	P(t)
MK1	298,282	0,804	0,200	11,163	0,000	0,550	17,271	0,000
MK2	736,010	0,905	0,121	7,705	0,000	0,760	27,130	0,000
MK3	728,413	0,904	0,135	8,576	0,000	0,755	26,989	0,000
MMd1	223,848	0,814	0,091	6,717	0,000	0,609	14,962	0,000
MMd2	292,128	0,848	0,040	2,308	0,000	0,880	17,092	0,000
MMd3	345,443	0,867	0,081	5,787	0,000	0,782	18,586	0,000

Tablo 4.6 incelendiğinde elde edilen modellerin istatistiksel açıdan oldukça geçerli modeller olduğu söylenebilir. Sağ şerit için önerilen modellere ait değerler incelendiğinde F testi sonuçları ve t-istatistiğine ait değerler açısından en uygun modelin hacim ve minimum takip aralığına bağlı olarak önerilen MK2 modeli olduğu söylenebilir. Ayrıca önerilen bağıntı Tanner (1962) tarafından verilen bağıntıya son derece benzerdir.

Sol şerit için önerilen modeller incelendiğinde F testi sonuçları ve bağımsız değişkene ait t-istatistiği değerlerine göre MMd3 modelinin en elverişli sonuçları verdiği söylenebilir.

Elde edilen bağıntılar ayrıca Şekil 4.7 üzerinde de gösterilmiştir. Sağ ve sol şerit için önerilen modeller trafik hacmi ile ilişkilidir. Doğrusal modellerde kullanılan minimum takip aralığı ( $\Delta$ ) değeri için karşılaştırma yapabilmek amacıyla 2 saniye kabul edilmiştir.





Şekil 4.7 Elde edilen serbest araç oranı modellerinin karşılaştırılması

Şekil 4.7 incelendiğinde elde edilen bütün modellerin sağ şerit için sol şeride kıyasla daha büyük serbest araç oranı ( $\alpha$ ) değerleri verdiği görülmektedir. Bu duruma sağ şeritte daha fazla ağır araç miktarının bulunmasının ve bu sebeple araçlar arasındaki takip aralığı değerinin daha büyük olmasının neden olduğu düşünülmektedir.

Sağ şerit için elde edilen doğrusal bağıntı incelendiğinde Tanner (1962) tarafından önerilen bağıntıya çok yakın bir bağıntı olduğu görülmektedir. Bu durumda Tanner (1962) tarafından önerilen bağıntının sinyalizasyon arterler için de geçerli olabileceği düşünülmektedir. Bunun yanında Akçelik (2003) tarafından önerilen ve gruplanma parametresi ( $k_d$ ) çalışma kapsamında uyarlanan bağıntının Tanner (1962) bağıntısı ile son derece yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bu durumun Akçelik (2003) bağıntısının ve önerilen gruplanma parametrelerinin ( $k_d$ ) geçerliliğini destekler bir sonuç olarak yorumlanmıştır.

Yalnızca hacim değerine bağlı olarak bir inceleme yapılması durumunda üssel modellerin doğrusal modellere kıyasla daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Ayrıca sol

şerit için önerilmiş olan üssel bağıntı incelendiğinde (Formül 4.7) Brilon tarafından “6” olarak önerilen A parametresine çok yakın bir değer elde edildiği görülmektedir.

#### 4.7 Yanyol Kapasitesi Üzerine Bir Tartışma

Çalışmanın önceki bölümünde trafik akımında hareket etmekte olan araçlara ait takip aralığı değerlerinin istatistiksel incelenmesinde yaygın olarak kullanılan dağılımlardan bahsedilmişti (Bkz. Bölüm 3). Sinyalize arter üzerinde hareket etmekte olan araçların takip aralıklarını incelemeyi amaçlayan bu bölümde öncelikli olarak araç takip aralıklarının modellenmesinde kullanılan karmaşık istatistiksel dağılımlardan Cowan M3 dağılımı araştırılmıştır. Çalışmanın bu kısmında ise elde edilen bağıntılar yardımı ile sinyalize arter üzerinde yer alan bir yanyol bağlantısına ait kapasite değeri incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla araç takip aralıklarının incelenmesinde en sık kullanılan basit dağılımlardan olan negatif üssel ve Cowan M3 dağılımlarına bağlı olarak yanyol katılımlarının kapasiteleri hakkında bir tartışma yapılması planlanmıştır.

Denetimsiz kavşaklar Gedizlioğlu (1979) tarafından “Farklı doğrultudaki taşıt hareketlerinin ışiksiz trafik işaretleri ile düzenlendiği kavşaklar” olarak tanımlanmaktadır. Denetimsiz eşdüzey kavşakların düzenlenmesinde, kavşağa bağlanan yollardan birisi, hacim ya da geometrik özelliklerine göre diğerlerinden daha önemli kabul edilir ve “anayol” adını alır; diğeri ise yanyol olarak adlandırılır.

Denetimsiz bir kavşakta bir yanyol bağlantısının başarımı büyük ölçüde, yanyoldaki sürücülerin anayoldaki araçlar arasında buldukları aralıkları değerlendirerek kavşağa güvenli bir giriş yapmalarına bağlıdır. Yanyoldan kavşağa yaklaşan sürücü kavşağa daha önce giriş yapmış bir anayol sürücüsü varsa bu taşıtın kavşağı boşaltmasını bekleyecek ve bir sonraki anayol taşıtını gözlemleyecektir. İki anayol sürücüsü arasındaki bu aralık, yanyol sürücüleri için “araya giriş” aralığı olarak tanımlanır. Yanyol sürücüsü, kavşağa geldiğinde kavşakta taşıt yok fakat anayolda yaklaşmakta olan bir taşıt var ise anayoldaki taşıt ile arasındaki uzaklığın yapmak istediği manevra için yeterli olup olmadığına karar verip kavşağa bu koşul altında giriş yapar.

Bu durumda da anayol taşıtının kavşağa, dolayısıyla yanyol taşıtına olan uzaklığına “öne giriş” aralığı adı verilir (Gedizlioğlu, 1979).

Denetimsiz kavşaklarda bir yanyol bağlantısının kapasitesi, en basit haliyle aşağıdaki şekilde bulunabilir (Troutbeck ve Brilon, 1995):

$$q_e = q_p \int_0^{\infty} f(t) g(t) dt \quad (4.21)$$

Burada  $q_e$ , yanyoldan girebilecek en yüksek araç sayısı (kapasite) (araç/saniye),  $q_p$ , anayoldaki trafik hacim değeri (araç/saniye);  $f(t)$ , ana akım içindeki aralıkların olasılık yoğunluk dağılımı ve  $g(t)$  ana akım içindeki bir “ $t$ ” aralığını kabul ederek kavşağa giriş yapabilecek araç sayılarının olasılık yoğunluk fonksiyonudur.

Anayol akımındaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin negatif üssel dağılıma uygun olduğu kabulü yapıldığında ve 4.21 bağıntısında  $f(t)$  yerine, negatif üssel dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu (Bölüm 3, Formül 3.6) konulduğunda, (4.21) bağıntısı aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$q_e = \frac{q_p e^{-q_p T}}{1 - e^{-q_p T_0}} \quad (4.22)$$

Burada  $q_e$  ve  $q_p$ , daha önce de belirtildiği gibi sırasıyla, yanyol kapasitesi (araç/saat) ve anayoldaki trafik hacim (araç/saat) değerleridir. “ $T$ ”, yanyoldan anayola katılmaya çalışan araçların, anayoldaki araçlar arasında kabul edebilecekleri en uygun zaman cinsinden aralık değeri, “ $T_0$ ” ise, yanyoldan kavşağa giriş yapan araçlar arasındaki en küçük takip aralığı değeridir.

Benzer şekilde, (4.21) bağıntısında  $f(t)$  yerine aşağıda verilen Cowan M3 dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu yerleştirilebilir.

$$f(t) = \alpha \lambda e^{-\lambda(t-\Delta)} \quad (4.23)$$

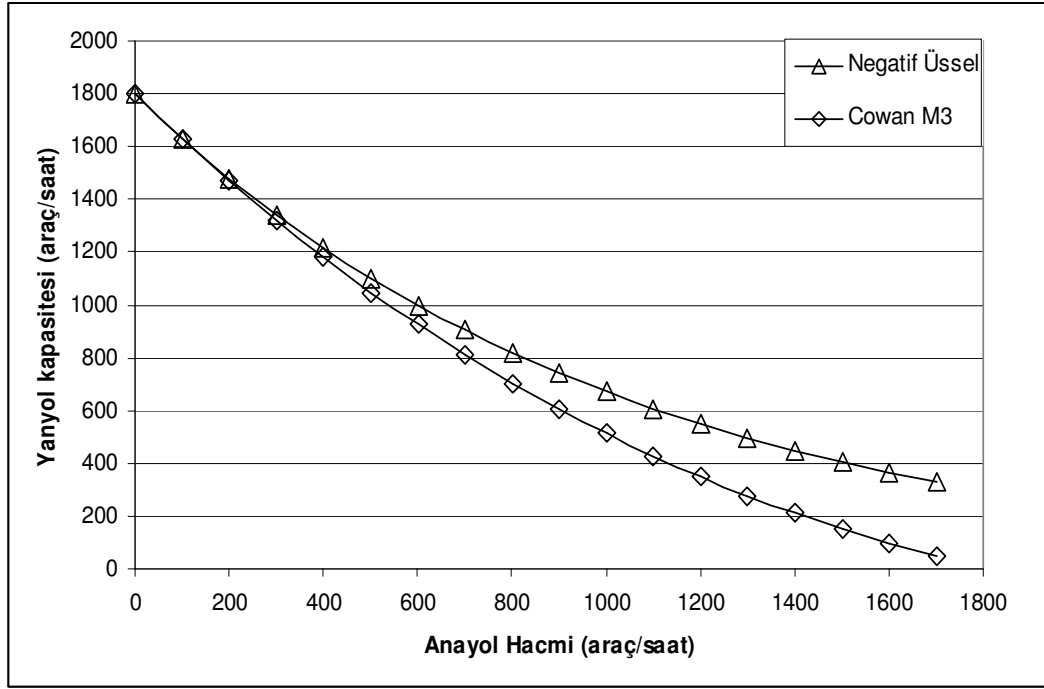
Bağıntı (4.23), bağıntı (4.21)'de yerine konulduğunda, kapasite bağıntısı aşağıdaki şekle dönüşür:

$$q_e = \frac{q_p \alpha e^{-\lambda(T-\Delta)}}{1 - e^{-\lambda T_0}} \quad (4.24)$$

Yapılan çalışmada araçlar arasındaki serbest araç oranı değerinin Tablo 4.5 yardımıyla bulunabileceği belirtilmişti. Bu aşamada, Cowan M3 dağılımına bağlı kapasite hesaplarında Tablo 4.5'te verilmiş olan (4.17) ve (4.20) bağıntıları kullanılmıştır.

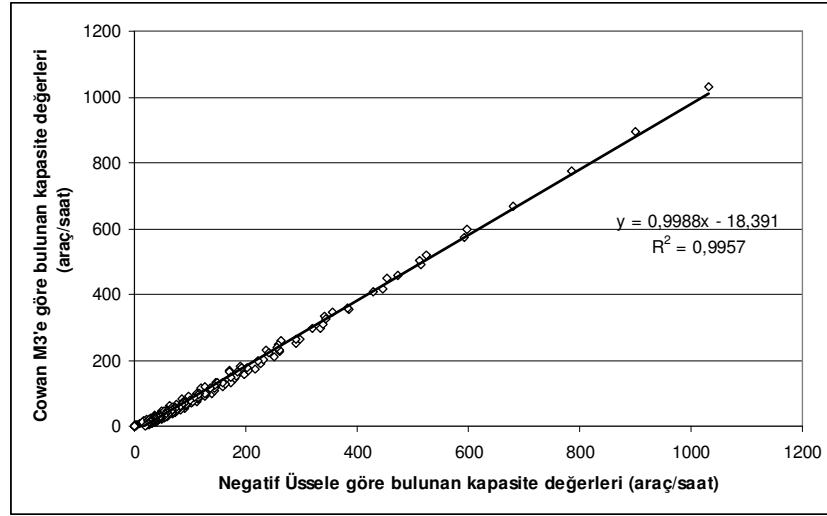
İlk adım olarak, anayol ve yanyolda bir şerit bulunduğu; yanyoldaki sürücülere ait kritik aralık kabul değerinin (T), 4,5 saniye; yanyoldan kavşağa giriş yapan araçlar arasındaki en küçük zaman cinsinden aralık değerinin ( $T_0$ ) 2,0 saniye olduğu; anayoldaki araçlar arasındaki en küçük takip aralığının da ( $\Delta$ ) benzer şekilde 2,0 saniye olduğu kabul edilmiştir. Bu kabuller doğrultusunda yanyol kapasitesi (4.22) ve (4.24) bağıntıları ile hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, negatif üssel dağılım kullanılarak elde edilen bağıntının, Cowan M3 dağılımı kullanılarak elde edilen bağıntıya oranla daha yüksek kapasite değerleri verdiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak, Cowan M3 dağılımında trafik akımını tanımlayıcı daha fazla parametrenin bulunması gösterilebilir.

Şekil 4.8'de yapılan karşılaştırma, her ne kadar iki dağılıma bağlı olarak yapılan hesaplamaların farklılıklarını göstermek açısından yararlı olsa da, sadece yanyoldan sağa dönüş yapan araçlara ait kapasite değişimleri hakkında bir fikir edinilebilmesi mümkün olmuştur. Ancak, anayolda iki veya daha fazla şerit bulunması koşullarında, özellikle yanyoldan sola dönüş yapan araçlara ait kapasitenin değişimini tanımlamakta yetersiz kalmaktadır.



Şekil 4.8 Anayolda tek şerit bulunması koşulu için kapasite bağıntılarının karşılaştırılması

Negatif üssel dağılım, şerit bazında hacimlerdeki değişikliği tanımlamak açısından uygun bir dağılım değildir. En zayıf yönlerinden birisi, aynı şeritteki araçların birbirlerini “sıfır saniye” aralıklarla takip edebileceklerinin kabul edilmesidir ki, gerçekte bu mümkün değildir. Ancak birden fazla şerit olması durumunda, farklı şeritlerden geçen araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin “sıfır” olması mümkündür ve anayolda birden fazla şerit bulunması durumunda negatif üssel dağılımın kullanılabilirliği artmaktadır. Anayolda bulunan iki şeritten geçen araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerleri, şerit farklılığı gözetmeksizin tek veri grubu haline dönüştürüldüğü takdirde, negatif üssel dağılım ile Cowan M3 dağılımının kullanıldığı (4.22) ve (4.24) kapasite bağıntılarının birbirlerine çok yakın değerler vermesi beklenebilir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Negatif üssel ve Cowan M3 dağılımlarına bağlı hesaplanan kapasite değerlerinin karşılaştırılması

Hagring (1998), anayolda birden fazla şerit bulunması durumu için, anayoldaki araçlar arasındaki aralıkların Cowan M3 dağılımı ile tanımlanabileceği kabulü ile, aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

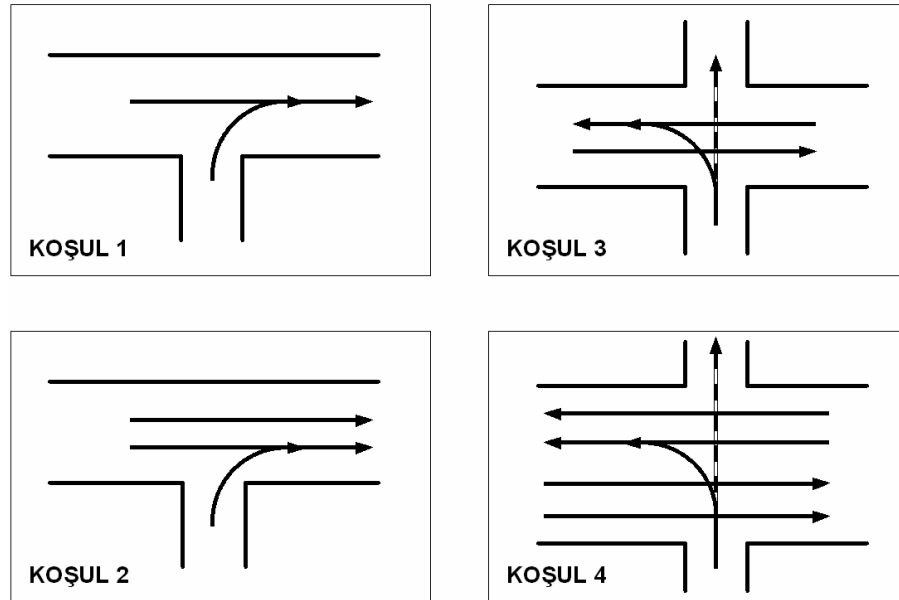
$$q_e = \Lambda \prod_i \frac{\alpha_i q_{pi}}{\lambda_i} \frac{e^{-\Lambda T}}{e^{-\Lambda \Delta} (1 - e^{-\Lambda T_0})} \quad (4.25)$$

Bu bağıntıda  $q_{pi}$ , "i"inci şeride ait trafik akımını;  $\lambda_i$ , "i"inci şeritteki akıma ait  $\lambda$  katsayısını;  $\alpha_i$ , "i"inci şeritteki serbest araç oranını ifade etmektedir. " $\Lambda$ " ise " $\lambda_i$ " değerlerinin toplamıdır.

#### 4.8 Benzetim (Simülasyon) Çalışması

Çalışmanın bir sonraki aşamasında, basit bir benzetim (simülasyon) programı hazırlanarak değişik koşullar için sinyalizasyon arterler üzerinde bulunan denetimsiz kavşakların kapasiteleri tartışılmaya çalışılmıştır. Benzetim programının temeli Troutbeck (1998) tarafından hazırlanan yine basit bir benzetim programına dayanmaktadır. Programda dikkate alınmış olan bazı hususlar ile yapılmış olan kabuller aşağıda sıralanmıştır:

- a) Program kapsamında yanyolda sadece bir tek şerit bulunduğu kabul edilmiştir.
- b) Anayolda, incelenen koşullara bağlı olarak aşağıdaki bir ila dört şeridin bulunduğu düşünülmüştür. Buna göre, yanyoldan anayola katılacak bir sürücünün, Şekil 4.10 ve Tablo 4.7’de gösterildiği şekilde anayoldaki diğer akımlarla etkileşim içinde olacağı düşünülmüştür. Tablo 4.7’de ayrıca, kavşağa giriş yapan yanyol akımının, hangi anayol akımlarından etkileneceği hakkında yapılan kabuller de belirtilmiştir.



Şekil 4.10 Çalışmada dikkate alınan, anaakım-yanyol katılım şekilleri

Tablo 4.7 Çalışmada dikkate alınan, anaakım-yanyol katılım şekilleri

Manevra	Anayoldaki Şerit Sayısı	Anayol Akım Özelliği	Engelleyici Akım				Kritik Aralık Kabul Değeri		
			Q1	Q2	Q3	Q4	En Küçük	En Büyük	
Sağa Dönüş	Koşul 1	1	Tek Yön	X				3.0	6.0
	Koşul 2	2	Tek Yön	X	X			3.0	6.0
Sola Dönüş	Koşul 3	2	Çift Yön	X	X			5.0	8.0
	Koşul 4	4	Çift Yön	X	X	X		5.0	8.0
Doğru Geçiş	Koşul 3	2	Çift Yön	X	X	X		5.0	8.0
	Koşul 4	4	Çift Yön	X	X	X	X	5.0	8.0

- c) Ana akımdaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralıkların Cowan M3 dağılımına uydukları kabul edilmiştir.
- d) Yanyolda sürekli olarak kavşağa girmek için bekleyen ve mevcut bütün öne ve araya giriş aralıklarını değerlendirecek araçların bulunduğu öngörülmüştür.
- e) Araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değerlerinin ( $\Delta$ ) özellikle şeritler bazında değişiklikler gösterebileceği göz önüne alınmalıdır. Ancak bu değerler literatürde genelde 2,0 saniye kabul edildiği görülmektedir (Tanyel, 2001). Programda, " $\Delta$ " değerinin 1,8 saniye ile 2,5 saniye arasında değiştiği öngörülmüştür.
- f) Kimber'in (1980) da belirttiği gibi  $T_0$  ve  $T$  değerlerinin sabit bir değer olarak alınması gerçekçi değildir. Çalışmada  $T_0$  değerinin 1.8 saniye ile 2.4 saniye arasında değiştiği kabulü yapılmıştır.
- g)  $T$  değerinin, sürücülerden sürücüye değişeceği bilinmektedir. Yanyoldaki sürücülerin kabul ettikleri aralık değerleri, bir dağılıma uygun olacaktır. Çalışmada bu değerlerin Erlang dağılımına uydukları kabul edilmiştir. Dağılımın ortalamasının, sağa dönen araçlar için 3.0~6,0 saniye; sola dönen ve/veya direkt geçiş yapan araçlar için 5,0~8,0 saniye arasında değiştiği öngörülmüş ve buna göre kritik aralık kabul değerleri türetilmiştir.
- h) Ana akımda bir şerit olması durumunda bu şeritten en yüksek 1200 araç/saat, iki veya daha fazla şerit olması durumunda ise bir şeritten en yüksek 750 araç/saat trafik hacminin geçtiği kabul edilmiştir.
- i) Şeritlerdeki serbest araç oranlarının hesaplanması amacıyla Tablo 4.5'de (Formül 4.17) ve (Formül 4.20) ile verilen bağıntılar kullanılmıştır.



- j) Ana akıma ait zaman cinsinden aralık değerlerinin elde edilmesi için Hagring (1998) tarafından tanımlanmış "n-şeritli süperpoze dağılım" kullanılmıştır. Dağılımın temelini tek şeritli akım için kullanılan Cowan M3 dağılımı oluşturmaktadır. Dağılımın olasılık dağılım fonksiyonu "H(t)", aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$H(t) = 1 - \beta_n \cdot e^{-\Lambda(t-\Delta)}, t \geq \Delta \quad (4.26)$$

$$\beta_n = \frac{\Lambda}{Q} \prod_i \frac{q_i \cdot \alpha_i}{\lambda_i} \quad (4.27)$$

Burada  $Q = \sum_i q_i$ ,  $\Lambda = \sum_i \lambda_i$ ,  $\alpha_i$ , i'inci şeritteki akım içindeki serbest araç oranı,  $q_i$ , i'inci şeritteki araç sayısı (araç/saniye),  $\lambda_i$  ise i'inci şerite ait "λ" katsayısıdır.

- k) Bir zaman cinsinden aralık değerinin altında kalma olasılığının "H(t)" yerine, 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı konulduğu takdirde, bu rastgele değere karşılık gelen zaman cinsinden aralık değeri (t) aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilmektedir:

$$t = \Delta - \frac{\ln\left(\frac{Rnd}{\beta_n}\right)}{\Lambda} \quad (4.28)$$

Burada  $Rnd$ , 0 ile 1 arasında rastgele atanmış bir değerdir.

Her bir koşul için 1000 adet zaman cinsinden aralık değeri üretilmiştir. İlk 50 değer dikkate alınmamıştır. Bu zaman içinde sistemin denge halini aldığı ve başlangıç koşullarının etkisinin azaldığı kabul edilmektedir. Kritik aralık kabulü değerinin türetilmesi için de, Dawson ve Chimni (1968) tarafından önerilmiş olan, aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır:

$$T = -\frac{k}{(T_{ort} - \Delta)} \ln\left(\prod_{i=1}^k r_i\right) \quad (4.29)$$

Burada k, Erlang Dağılımına ait şekil parametresi;  $r_i$ , 0 ile 1 arasında rastgele türetilen sayılar;  $T_{ort}$ , kritik aralık kabulü değerlerinin ortalaması; T, türetilen kritik aralık kabulü değeridir. Fessman (1997), "k" değerinin "5" olarak alınmasını önermiştir. Gedizlioğlu (1979) ise çalışmasında bu değer "7"ye kadar çıktığını belirtmiştir. Çalışmada, "k" değeri "7" olarak alınmıştır.

Benzetim programı çıktılarından yararlanılarak, regresyon analizi yardımıyla yanyol kapasite bağıntıları elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen bağıntılar, aşağıda sırasıyla verilmektedir.

Sağa Dönüş/Koşul 1/ örnek sayısı = 981

$$Q_e = 3343 - 1,37Q_1 - 94,39T - 576,32T_0 \quad R^2 = 0,952 \quad (4.30)$$

Sağa Dönüş / Koşul 2 / örnek sayısı = 6860

$$Q_e = 3038,52 - 1,08Q_1 - 1,04Q_2 - 132,11T - 402,19T_0 \quad R^2 = 0,951 \quad (4.31)$$

Sola Dönüş + Direkt geçiş / Koşul 3 / örnek sayısı = 6860

$$Q_e = 2685,01 - 1,19Q_1 - 1,20Q_2 - 94,36T - 300,44T_0 \quad R^2 = 0,924 \quad (4.32)$$

Sola Dönüş / Koşul 4-1 / örnek sayısı = 48020

$$Q_e = 2144,21 - 0,81Q_1 - 0,76Q_2 - 0,76Q_3 - 88,47T - 187,77T_0 \quad R^2 = 0,881 \quad (4.33)$$

Direkt Geçiş / Koşul 4-2 / örnek sayısı = 191909

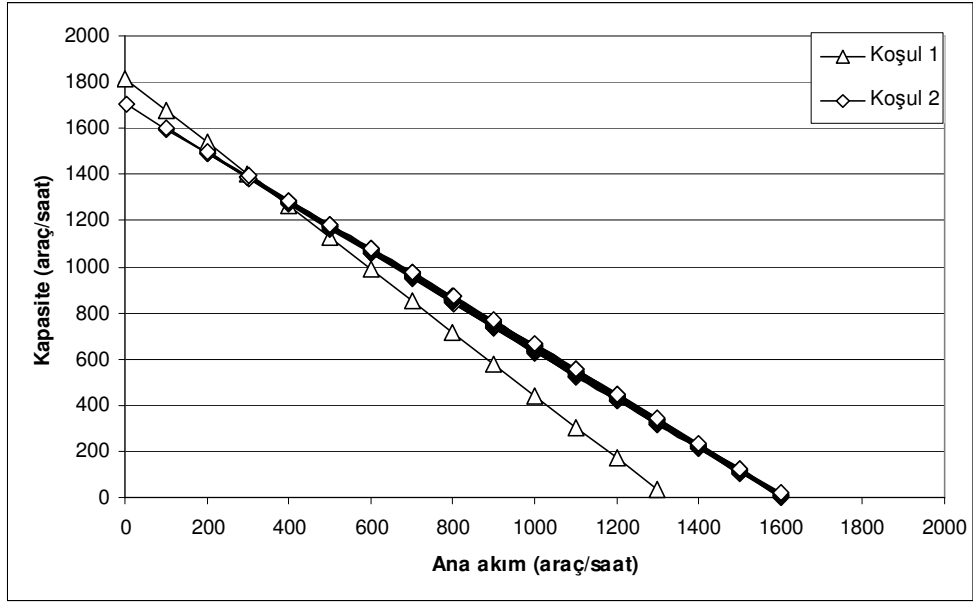
$$Q_e = 1863 - 0,64Q_1 - 0,61Q_2 - 0,61Q_3 - 0,64Q_4 - 82,77T - 142T_0 \quad R^2 = 0,860 \quad (4.34)$$

Bağıntılar incelendiğinde, yanyoldan kavşağa giren araçlar arasındaki en küçük takip aralığının ( $T_0$ ), yanyol kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, özellikle sağ şeritteki araçların, yanyol kapasitesi üzerinde daha etkili oldukları söylenebilir.

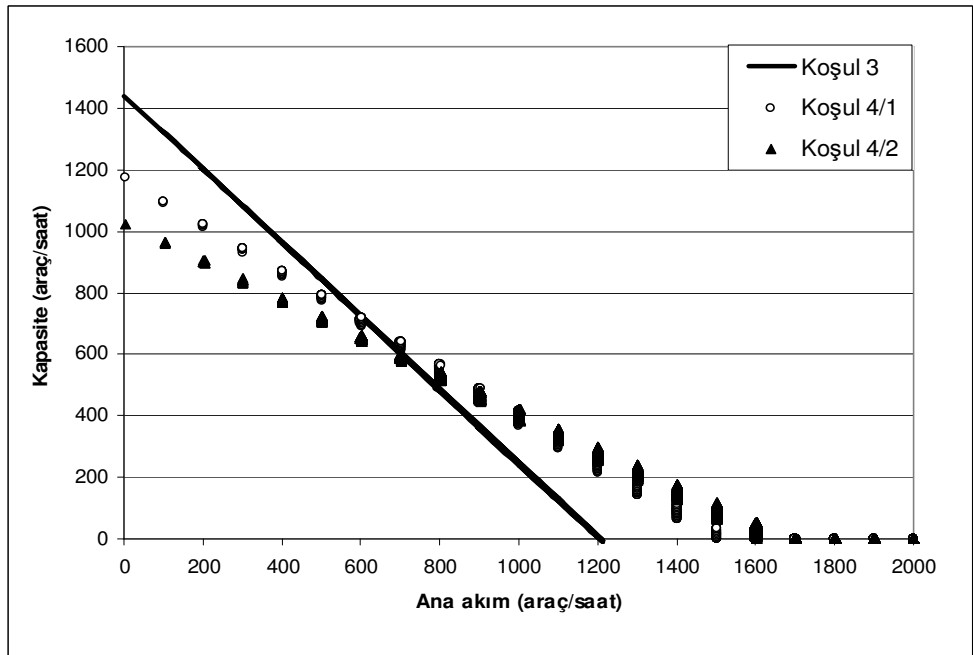
Yanyoldan sağı dönüş yapan trafik akımlarının kapasiteleri hakkında daha sağılıklı bir fikir edinmek amacıyla bağıntı (4.30) ve (4.31) kullanılarak Şekil 4.11 elde edilmiştir. Hesaplamalarda T değeri 5 saniye,  $T_0$  değeri de 2 saniye alınmıştır. Şekil incelendiğinde, anaakımda tek şerit bulunması durumunda, düşük anaakım değerleri için daha yüksek bir yanyol kapasitesi elde edildiğı görülmektedir. Ancak yüksek anaakım değerlerinde, anaakımda iki şerit bulunması durumunda yanyol kapasitesinin daha yüksek olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar, düşük akımlarda yanyoldaki sürücülerin anaakımdaki iki şeritte hareket eden taşıtlar arasına katılmakta tereddüt yaşadıklarını ancak anaakım değeri arttıkça, trafik akımının birden fazla şeride yayılması sebebiyle kavşağı daha rahat giriş yapabildiklerini göstermektedir.

Şekil 4.12'de, yanyoldan sola dönüş yapan ve direkt geçen araçlara ait kapasite değerleri görülmektedir. Anayolda farklı yönlerden gelen iki akım olması koşulu için (Koşul 3), sağı dönüş yapan araçlara benzer şekilde bir doğruya yakın kapasite değerleri elde edildiğı görülmektedir. Ancak anayolda 4 şerit olması durumunda (Koşul 4) sola dönüş ve direkt geçiş kapasiteleri anaakımın saatlik 700 araç/saat'lik değerine kadar, 2 şeritli anaakıma (Koşul 3) kıyasla çok daha düşük kapasite değerleri vermektedir. Anaakımın 700 araç/saatlik değeri geçmesi durumunda ise anaakımdaki şerit sayısının artması yanyol araçları için kapasiteyi arttırıcı bir sonuç ortaya koymaktadır. Sonuçlar aynı zamanda 4 şeritli bir anayolda akımın yaklaşık 800 araç/saat'lik değerine kadar sola dönüş kapasitesinin direkt geçişlere kıyasla nispeten daha yüksek olduğunu göstermiştir. 800 araç /saat'lik ana akım değerinden sonra yanyol kapasitesinin sola dönen ve direkt geçen araçlar için çok yakın olduğu söylenebilir.

Ayrıca Şekil 4.12 incelendiğinde, farklı şerit kullanımının (bu çalışma kapsamında sağı ve sol şeritler arasındaki kullanım farklılıklarının) yanyol kapasitesi üzerinde önemli oranda etkili olabileceğı görülmüştür.



Şekil 4.11 Yanyoldan sağa dönüş manevrasına ait kapasitenin değişimi



Şekil 4.12 Yanyoldan sola dönüş ve direkt geçiş manevralarına bağlı olarak kapasitenin değişimi

Çalışmanın bu aşamasında sinyalizasyon arterler üzerinde bulunan denetimsiz yanyol katılımlarının kapasiteleri hakkında bir inceleme yapılmış ve değişik koşullar için bağıntı önerilmesi hedeflenmiştir. İncelenmiş olan Cowan M3 dağılımı ve negatif

üssel dağılıma bağılı olarak yapılmış olan hesaplamalarda, bulunan kapasite değerleri ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Her ne kadar, özellikle anaakım içinde birden fazla şerit bulunması durumunda yanyol katılımlarının kapasitelerinin hesaplanmasında negatif üssel dağılım ile Cowan M3 dağılımı çok yakın sonuçlar verseler de; Cowan M3 dağılımı trafik akımı hakkında daha tanımlayıcı bilgiler içerdiğinden (serbest araç oranı, minimum takip aralığı değeri gibi) sistemin sağlıklı bir şekilde tanımlanabilmesi açısından tercih edilebilir. Yine de ilk yaklaşım olarak hesap kolaylığı açısından negatif üssel dağılımın kullanılması uygun kabul edilebilir.
- Şerit sayısındaki artışın, kapasite üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Düşük anaakım değerlerinde yanyol sürücülerinin kavşağa girişte daha temkinli davrandıkları söylenebilir. Bu sonuç, anaakımdaki araçların şeritlerdeki dağılımları ve birbirlerini takip aralıklarıyla da yakından ilişkilidir. Diğer yandan anaakımdaki araç sayısı arttıkça, anayoldaki şerit sayısının fazla olmasının, yanyol kapasitesini artırıcı bir unsur haline dönüştüğü anlaşılmaktadır.

## BÖLÜM BEŞ

### SİNYALİZE KAVŞAKLARDA ARAÇ TAKİP ARALIKLARININ İNCELENMESİ

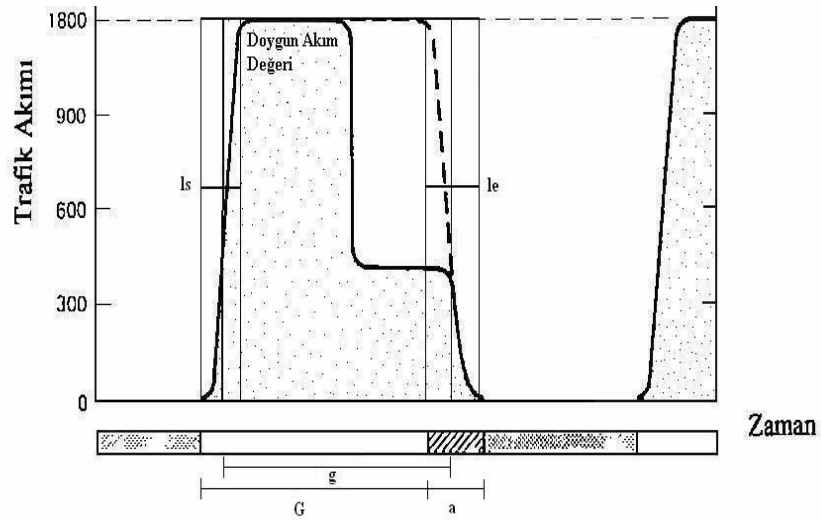
#### 5.1 Sinyal Noktalarındaki Araç Hareketleri

Sinyalizasyon sistemleri özellikle şehiriçi trafiğinde trafik akımının en sık kesintiye uğradığı noktalardır. Trafik davranışının ve akım özelliklerinin büyük değişikliğe uğradığı bu noktalar, trafik mühendisliği için en önemli çalışma kesimlerindedir. Araçlar arasındaki takip aralıklarının incelenmesi, reaksiyon sürelerinin belirlenmesi, gecikme miktarı ve kuyruk uzunluğu değerlerinin hesaplanması, bunlara bağlı olarak devre süresi ve hizmet düzeyinin belirlenmesi, sinyalizasyon sistemleri ile ilgili yapılan en önemli çalışmalardır.

Sinyalize kavşakların değerlendirilmesinde kullanılan en önemli performans parametreleri gecikme miktarı ve kuyruk uzunluğu değerleridir. Gecikme miktarı ve kuyruk uzunluğu değerlerinin belirlenebilmesi için farklı ülkelerde, çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiş olan birçok hesap yöntemi ve farklı yazılımlar kullanılmaktadır. Bu yöntem ve yazılımlardan en yaygın olarak kullanılanları; Amerikan Yöntemi (Highway Capacity Manual) (TRB, 2000), Avustralya-Akçelik Yöntemi (SIDRA) (Akçelik, 1982), İngiliz Yöntemi (Kimber ve diğer., 1986), Kanada Yöntemi (Teply ve diğer., 1995) ve TRANSYT (FHWA, 1995, Vitoşoğlu ve diğer., 2004) paket programı olarak sıralanabilir. Kullanılan analiz yöntemlerinin hepsi, araçlar arasındaki takip davranışının bir sonucu olan doygun akım kavramına bağlı olarak oluşturulmuştur.

Doygun akım değeri, sinyalize bir kavşakta sinyal yeşile döndükten sonra maksimum miktarda boşaltılabilecek olan araç sayısıdır. Başka bir ifade ile sinyal kolunda sürekli bir kuyruk bulunması ve sinyalin bir saat süreyle yeşil yanması durumunda bir şeritten geçebilecek olan en yüksek araç sayısıdır (TRB, 2000).

Sinyalize bir kavşakta trafik akım değerinin zaman içerisindeki değişimi Şekil 5.1’de gösterilmiştir. (May, 1990). Şekilde, faz süreleri yatay eksen üzerinde, trafik akım değerleri ise dikey eksen üzerinde gösterilmiştir. Kırmızı sinyalin yandığı süre boyunca, geçişe izin verilmediğinden, araçlar dur çizgisinin gerisinde birikmeye başlarlar, yeşil faza geçildiği zaman, araçlar harekete geçerler ve kuyruk boşalmaya başlar. Araçlar ilk olarak harekete geçtiklerinde, akımın boşalma değeri yükselmeye başlar ve belirli bir değere geldiğinde bir süre sabit kalır; bu sabit değer doymuş akım değeridir. Şekil 5.1 üzerinde verilmiş olan kavşak noktası için doymuş akım değeri 1800 araç/saat’tir.



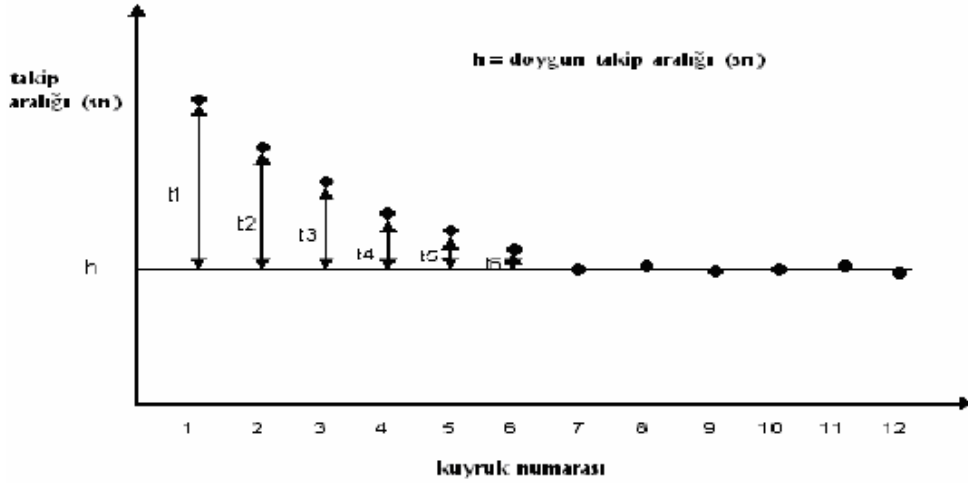
Şekil 5.1 Sinyalize bir kavşakta trafik akımının değişimi

Sinyalin yeşile dönmesi ile kuyrukta ilk sırada bekleyen araç sürücüleri sinyal değişimini gözlemleyerek harekete geçme kararı alacakları için kuyrukta daha gerilerde beklemekte olan araçlara kıyasla daha fazla gecikmeye maruz kalırlar. Genellikle ilk üç ila altı aracın maruz kaldığı kabul edilen bu gecikme miktarına başlangıç gecikmesi adı verilir. Şekil 5.2’de görülebileceği gibi ilk aracın arkasında hareket eden araçların takip aralığı değeri ikinci araçtan itibaren düşmeye başlar ve yaklaşık altıncı araçtan itibaren sabit kalır (Bester ve Meyers, 2007). Araçlar arasında sabit kaldığı kabul edilen ve kavşaktan bir saat içinde geçirilebilecek olan maksimum araç sayısını belirlemek amacıyla kullanılan bu sabit değere doymuş takip aralığı adı verilir.

Doygun takip aralığına bağlı olarak, doygun akım değeri;

$$S = 3600 / h \quad (5.1)$$

şeklinde hesaplanır. Burada S; doygun akım miktarı (araç/saat), h; ortalama doygun takip aralığı (saniye) değeridir.



Şekil 5.2 Kuyruk numarasına bağlı olarak takip aralığı değerlerinin değişimi (Bester ve Meyers, 2007)

Doygun akım miktarı, başlangıç gecikmesine uğrayan araçların ve doygun takip aralığı değerinin belirlenmesindeki zorluklar sebebiyle tanımlanması zor bir kavramdır. Bölgesel gözlemler olmadan, çeşitli yöntemlerde öngörülen/varsayılan değerler kullanılarak yapılan analizler çoğunlukla sinyalizasyon sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde gerçekçi sonuçlar verememektedir (Akova, 1979). Bu sebeplerle birçok araştırmacı çeşitli çalışmalarla kendi çalışma bölgelerindeki sinyalizasyon sistemleri için doygun akım değerini belirlemeye çalışmışlardır.

Doygun akım değeri hesaplamalarda kullanılırken genellikle inceleme yapılan kavşak noktasındaki trafik akım ve yönetim özelliklerine, şerit özelliklerine, topoğrafik özelliklere, yaya hareketliliğine ve kavşağın bulunduğu bölgenin



özelliklerine bağlı olarak çeşitli düzeltme faktörleri ile çarpılarak düzeltilir (TRB, 2000).

Tez çalışmasının bu bölümünde arter üzerinde yer alan bir sinyalizasyon sisteminin trafik akımı üzerinde yarattığı etkileri inceleyebilmek amacıyla dur-çizgisinde biriken araçların, sinyalin yeşile dönmesi ile oluşan hareketleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında sinyal dur-çizgisinden harekete geçen araçların, reaksiyon süreleri ve takip aralığı değerleri incelenmiş, bunlara bağlı olarak gözlem yapılan kavşaklar için temel doygun akım değeri belirlenmeye çalışılmıştır.

## 5.2 Takip Aralığı Kavramı

Takip aralığı kavramı sinyalizasyon kavşaklarının incelenmesi açısından oldukça önemli, bir o kadar da karmaşık bir kavramdır. Kavram içerisinde sürücü özellikleri, araç özellikleri ve trafik koşullarını içermektedir. Takip aralığı kavramından yola çıkarak sinyalizasyon kavşakları için; minimum takip aralığı (Bonneson, 1992), doygun akım değeri (Nuttymaki ve Pursula 1996) ve eşdeğer otomobil birimi “EOB” (Molina, 1987) değerleri belirlenebilmektedir.

Genel olarak sinyalizasyon kavşaklarında takip aralığı, birbirini takip eden ardışık iki aracın sinyal-dur çizgisinden (ya da herhangi bir referans noktasından) geçişleri arasındaki zaman farkı olarak tanımlanır (Tnog ve Hung, 2002). Çeşitli çalışmalarda, araştırma yapılan konuya bağlı olarak takip aralığı kavramı ile ilgili farklı tanımlamalara rastlanmaktadır (Teply ve Jones, 1991). Eğer takip aralığı değeri araçların ön tamponlarının geçişleri dikkate alınarak belirleniyorsa, takip aralığı değeri önden giden aracın karakteristiklerine bağlı olarak şekillenecektir. Başka bir ifadeyle önden giden aracın uzun bir araç olması arkadan gelen aracın takip aralığı değerini büyütecektir. Bu durumda otobüs arkasında hareket etmekte olan bir binek otomobiline ait takip aralığı değeri, binek otomobilini takip etmekte olan bir otobüse göre çok daha büyük olacaktır.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında temel doygun akım değerini belirlemeyi amaçlayan bu çalışmada, araçlar arasındaki takip aralığı değeri, birbirini ardışık olarak takip etmekte olan araçların arka tamponlarının dur-çizgisini geçişleri arasındaki zaman farkı olarak dikkate alınmıştır.

### ***5.2.1 Takip Aralığı Değerini Etkileyen Faktörler***

Sinyalizasyon sistemlerindeki takip aralığı değerini incelemek amacıyla yapılmış en eski çalışmalarda birisi Greenshields ve diğerleri (1947) tarafından yapılmış olan çalışmadır. Araştırmacılar çalışmada, kuyruk pozisyonuna bağlı olarak ortalama araç takip aralıklarını incelemişler ve ortalama takip aralığı değerinin kuyruktaki ilk araçtan, beşinci araca kadar düşüş gösterdiğini, altıncı araçtan sonra ise kuyruktaki son araca kadar yaklaşık olarak sabit kaldığını bulmuşlardır.

Carstens (1971) tarafından yapılan çalışmada, sinyalize kavşaklarda değişik araç tipleri için başlangıç gecikmesi ve araç takip aralığı değerleri incelenmiş, kuyruk pozisyonuna bağlı olarak takip aralığı değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Bunun yanında sinyal noktasından doğru geçiş yapan kamyonlar ve sağa dönüş yapan araçlar için eşdeğer otomobil birimi değerleri hesaplanmıştır.

Lu (1984) çalışmasında, küçük araçların, takip aralığı değerlerinin daha küçük olduğunu göstermiş ve kuyruğun ilk sırasında bulunan aracın büyüklüğünün, kuyruktaki diğer araçların takip aralıkları üzerinde büyük etkisi olduğunu belirtmiştir.

Lee ve Chen (1986), kavşak çizgisinden doğru geçiş yapan araçların takip aralıklarını etkileyen faktörleri incelemişler ve takip aralığı değerinin kuyruk uzunluğu ve yaklaşım kolundaki hız limitinden önemli ölçüde etkilendiğini belirtmişlerdir.

Parker (1996) çalışmasında, ağır araçların arkalarından hareket etmekte olan araçların, takip aralıklarını incelemiştir. Çalışma sonunda araç tipinin takip aralıkları

üzerinde önemli etkisinin olduğu bulunmuş, otomobillerin arkalarından gelen araçların takip aralıklarını en az etkileyen araç tipi olduğunu belirlemişlerdir.

Tong ve Hung (2002), yapay sinir ağları yöntemini ve çeşitli analitik modelleri kullanarak yaptıkları çalışmalarında, sinyalize kavşaklarda araçlar arasındaki takip aralığı değerinin kuyruk pozisyonu, araç tipi ve reaksiyon sürelerinden etkilendiğini belirlemişlerdir.

Genel olarak çalışmalar incelendiğinde, sinyal noktasında araçlar arasındaki takip aralığı değerini en çok etkileyen faktörlerin, kuyruk pozisyonu, araç tipi (ya da büyüklüğü) ve hareket doğrultusu (düz geçiş, sağa dönüş, sola dönüş gibi) olduğu görülmektedir.

### **5.3 Doygun Akım Hesap Yöntemleri**

Sinyal kapasite ve hizmet düzeyi hesaplarında en etkin parametre olan doygun akım miktarının belirlenmesi ile ilgili olarak yapılmış olan birçok çalışma ve kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Yöntemlerin hepsinde doygun akım oranının doygun yeşil süre içinde sabit olduğu kabul edilmektedir (Tarko ve Tracz, 2000). En çok kabul gören yöntemlerden üç tanesi; a) Takip Aralığı Yöntemi, b) Regresyon Analizi Yöntemi ve c) TRL Yöntemi olarak sıralanabilir.

a) Takip Aralığı Yönteminde; sinyal yeşile döndüğünde, ilk sırada bekleyen birkaç araç göz ardı edilerek kuyruktan boşalan araçların, sinyal-dur çizgesindeki ortalama takip aralığı değeri hesaplanır. Doygun akım değeri hesaplanan ortalama takip aralığına bağlı olarak belirlenir (Greenshields ve diğerleri, 1947, TRB, 1997, Tarko ve Tracz, 2000).

Takip aralığı yönteminin benimsendiği ve doygun akım değerinin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan hesap prosedürü Highway Capacity Manual (HCM) 2000'de (TRB, 2000), sinyal çizgisinde beklemekte olan araçların takip aralıklarının

dördüncü sıradaki araçtan sonra istikrarlı/sabit düzeye geldiği kabul edilir. HCM 2000'e göre araçlar arasındaki doymun takip aralığı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$h_s = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=5}^n h_{ij}}{\sum_{i=1}^m (n_i - 4)} \quad (5.2)$$

Burada,  $h_s$ ; doymun takip aralığı (saniye),  $h_{ij}$ ; i inci devrede, kuyruktaki j inci aracın kuyruğu boşaltma takip aralığı (saniye),  $n_i$ ; i inci devrede kuyruktaki araç sayısı ( $n_i > 4$ ),  $m$ ; gözlemlenen devre sayısıdır.

Takip aralığı yönteminin benimsendiği bir başka hesap prosedürü olan ARR 123 metodunda (Akçelik, 1981), yeşil süre 3 kısma ayrılarak doymun akım miktarı hesaplanmaya çalışılır. Yeşil sürenin ilk 10 saniyesi ilk aralık, ilk 10 saniye ile doymun yeşil süre arasındaki fark ikinci aralık ve yeşilden sonra yanan sarı ve kırmızı süre ise üçüncü aralık olarak adlandırılır. Yeşil süre boyunca belirlenen aralıklarda geçen araç sayıları kullanılarak doymun akım miktarı hesaplanır. Yöntemde kullanılan hesap tablosunun bir örneği aşağıda verilmiştir (Tablo 5.1).

Tablo 5.1 ARR 123 Yöntemi örnek hesap tablosu

Devre No	Kuyruktan Ayrılan Araç Sayıları			Doymun Süre (sn)	Yeşil Süre (sn)
	İlk Aralık (10 sn)	Orta Aralık	Son Aralık		
1					
2					
3					
...					
...					
...					
Toplam	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
Veri Sayısı	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$n_5$

Yukarıda açıklanan yöntemde doymun akım miktarının belirlenebilmesi için en az 25-30 adet devre gözlemlenmek gerekmektedir. ARR 123 metodunda doymun takip aralığı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$s = \frac{x_2}{x_4 - 10n_4} \quad (5.3)$$

Burada,  $s$ ; doygun takip aralığı (araç/saniye),  $x_2$ ; orta aralıkta geçen toplam araç sayısı,  $x_4$ ; toplam doygun yeşil süre,  $n_4$ ; gözlem yapılan devre sayısıdır.

Bunun dışında kuyrukta ilk sırada yer alan araçların başlangıç gecikmesini ve yeşil sürenin sonundaki sarı süreyi kullanan araçları dikkate almayan başka bir takip aralığı yöntemine dayanan hesap prosedürü de doygun akım değerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır (Akçelik ve diğerleri, 1999). Bu yöntemde kuyruk oluşturan ve yeşil süre içinde sinyal yaklaşım kolunu boşaltan bütün araçlar doygun takip aralığı hesaplamalarına dahil edilmektedir.

Ayrıca kuyrukta bekleyen araçların, kuyruk pozisyonuna bağlı olarak ağırlıklı ortalamalarının alınarak, en küçük takip aralığı değerinin belirlenmesi de doygun akım değerini belirleyebilmek amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılan bir yöntemdir (Akçelik ve diğerleri, 1999).

b) Regresyon Analizi Yönteminde, doygun yeşil süre, farklı tipteki araç oranları ve çeşitli geometrik parametrelere bağlı olarak doygun akım değerinin belirlenebilmesi amacıyla bağıntı üretilmeye çalışılır (Branston ve Gipps, 1981, Nittymaki ve Pursula, 1996, Tarko ve Tracz, 2000, Cartegen ve Tarko, 2005).

c) TRL Yönteminde, doygun yeşil süre üç bölüme ayrılır ve her bölümde sinyalden ayrılan araç sayısı belirlenir. Doygun akım miktarı orta doygun kısımda geçiş yapan araç sayısının, doygun süre uzunluğuna oranlanması ile hesaplanır (TRRL, 1963).

### 5.3.1 Doymun Akım Değerinin Belirlenmesi Üzerine Yapılmış Olan alışmalar

Her ũlkede hatta şehirde şerit kullanımı, şerit kapasitesi, taşıt takip aralığı ve sũrũcũ davranışı gibi faktŕler değişkendir (Murat, 2001). Bu sebeplerle, çeşitli araştırmacılar, yaptıkları çalışmalarla farklı ũlkelerde kullanılmak ũzere geçerli olabilecek doymun akım değerini belirlemeye çalışmışlardır.

Niittymaki ve Pursula (1996), çalışmalarında çeşitli ũlkelerde kullanılmakta olan doymun akım değerlerini belirtmişler (Tablo 5.1) ve kendi ũlkelerinde kullanılmakta olan doymun akım değerini (doğru giden araçlar için) 1940 araç/saat olarak gũncellemiřlerdir.

Tablo 5.2 çeşitli ũlkelerdeki doymun akım değerleri (Niittymaki ve Pursula,1996)

<b>eşitli ũlkelerde Kullanılan Doymun Akım Değerleri</b>			
İngiltere	ideal	2080 eob	Kimber,1986
Kanada	max	1900 araç	Teply,1991
Avustralya	max	2475 araç	Troutbeck,1994
Avustralya	ideal	2000 araç	Troutbeck,1995
İsrail	ort.	2176 araç	Hakkert, 1994
Polonya	ideal	1890 araç	Tracz,Tarko 1991
Yugoslavya	ideal	2290 eob	Stanic, 1994
Gũney Afrika	ideal	1928 araç	Stander, 1994
Endonezya	ideal	600 eob/m	Bang, 1994
Almanya	ideal	2000 araç	Brillon,1994
Hong Kong	ideal	1895 araç	Lam,1994
Litvanya	max	2045 araç	Noreika,1994
Japonya	ideal	2000 eob	Fujiwara, 1994
HCM 1994	ideal	1900 eob	TRB 1994
Finlandiya	ort.	1940 araç	Niittymaki,Pursula, 1995

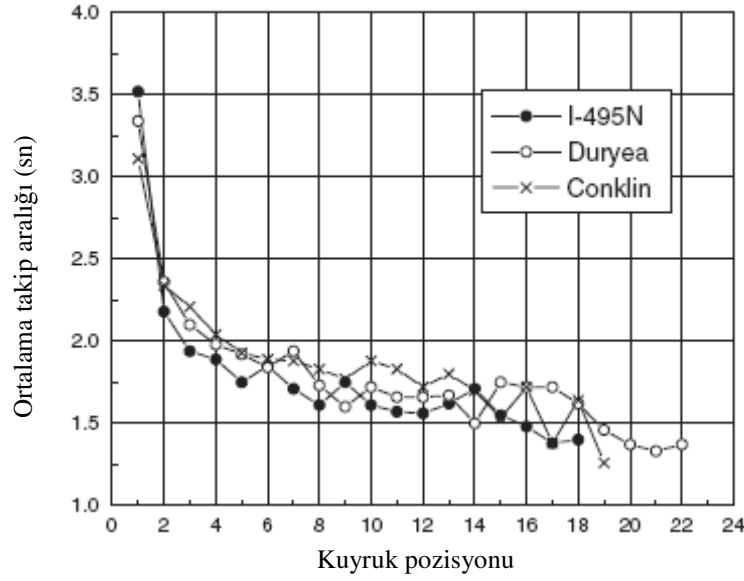
Lın ve Tseng (2005) HCM 2000'de (TRB, 2000) ŕnerilen modelin doğruluğunu Tayvan ve Havai'de topladıkları verileri kullanarak irdelemişlerdir. Kuyruktaki araçları ũerli gruplar halinde inceleyip, gruplara ait ortalama takip aralıklarını belirlemişlerdir. Araçlar arasındaki takip aralıklarının sabit bir dũzeye ulaşmadığını belirleyen araştırmacılar kuyruk pozisyonu arttıa doymun akım oranının yũkselmeye devam ettiğini gŕmũřlerdir.

Joseph ve Chang (2005) çalışmalarında 11 tane kavşak noktasında arazi gözlemleri yapmış ve araştırma yaptıkları bölgedeki kullanıcı özelliklerini de dikkate alarak, kavşak planlama analizlerinde kullanılmak üzere doygun akım değeri ve maksimum kritik şerit hacim değerini belirlemeye çalışmışlardır.

İncelenen kavşak noktalarında öncelikli olarak araçlar arasındaki takip aralığı değerleri belirlenmiştir. Araçların kuyruğu boşaltmaları sırasında doygun rejimin kavşak noktasına bağlı olarak 3 üncü ile 7 inci araçtan itibaren başladığını bulan araştırmacılar, doygun akım değerini de 1900 ile 2200 araç/saat arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Rahman ve diğer. (2005), inceledikleri kavşaklar için doygun akım rejiminin tek şeritli yollarda kuyruktaki 4üncü araçta, iki şeritli yollarda, iç şeritte 3üncü araçta, dış şeritte 5inci araçta, üç şeritli yollarda ise doygun akım rejiminin 3 üncü, 5 inci ve 6 ıncı araçtan itibaren başladığını bulmuşlardır. Belirledikleri doygun rejimlere göre hesapladıkları doygun akım değerlerini HCM 2000’de önerilen yöntem sonuçları ile karşılaştıran araştırmacılar, hesapladıkları doygun akım miktarlarının önerilen yöntemle göre daha büyük olduğunu belirtmişlerdir.

Lin ve Thomas (2005) tarafından yapılan çalışmada New York’taki üç farklı kavşakta araçların kuyruk boşalımı sırasındaki takip aralığı değerleri incelenmiştir. Literatürde yaygın olarak kabul edilen araçlar arasındaki ortalama takip aralığı değerinin dördüncü araçtan sonra sabit olup olmadığını inceleyen araştırmacılar, gözlem yaptıkları kavşaklar için yeşil sinyalin başlaması ile kuyruk pozisyonuna bağlı olarak araçlar arasındaki takip aralığı değerlerinin düşmeye başladığını belirlemişler ve kuyruktaki onbeşinci araçtan sonra bile takip aralığı değerinin düşmeye devam ettiğini göstermişlerdir.



Şekil 5.3 Kuyruk pozisyonuna bağlı olarak araçlar arasındaki ortalama takip aralığı değerinin değişimi (Lin ve Thomas, 2005)

Rahman, Hasan ve Nakamura (2008) çalışmalarında, sinyalize kavşak kapasite hesaplarında kullanılan temel doygun akım değerinin hakim trafik koşullarındaki durumunu incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan veriler trafik akımında yüksek oranda taksi içeren sekiz ayrı kavşak noktasından elde edilmiştir.

Taksi sürücülerinin profesyonel olmaları ve kullandıkları bölgelere alışkın olmalarının, bu araçlara ait takip aralığı değerlerini etkileyeceğini belirten araştırmacılar, yüksek oranda taksi içeren akımlarda doygun akım değerinin %20 oranında arttığını bulmuşlardır.

#### 5.4 Gözlem Yapılan Kavşaklar ve Verilerin Elde Edilmesi

Tez çalışmasının bu aşaması için İzmir’de bulunan dokuz adet izole sinyalize kavşak noktasında video kamera kullanarak ve arazide yerinde gözlem yaparak veri elde edilmeye çalışılmıştır. Reaksiyon süresi özelliklerinin, kuyruk boşalımı sırasında araçlar arasındaki takip aralığı değerlerinin ve temel doygun akım miktarının incelenmesi amaçlanan çalışmada, gözlem yapılan kavşaklar aşağıdaki özellikleri göz önüne alınarak seçilmiştir:



- Kavşaklar yüksek trafik yükü taşıyan önemli arterler üzerinde yer almaktadır.
- Kavşaklara ait yaklaşım kollarında boyuna eğim değeri % 1'den küçüktür.
- Yaklaşım kollarında özellikle gözlem yapılan zirve saatlerinde parklanmaya izin verilmemektedir.
- Sinyal noktalarında araçların hareketlerini etkileyebilecek mesafede otobüs durak noktası bulunmamaktadır.
- Gözlem yapılan kavşaklarda inceleme yapılan yaklaşım kolu için en az 25 devre gözlem yapılmıştır.
- Gözlem yapılan kavşaklarda kuyruk boşalmasını engelleyecek aşağı akım kuyrukları ya da yaya hareketliliği bulunmamaktadır.

Belirlenen kavşaklardan dört tanesinde kavşak kollarını görebilen yüksek binalardan kamera kullanılarak çekim yapılmış ve arazide kronometre yardımıyla veri grupları elde edilmiştir. Video kamera ile gözlem yapılan kavşaklar;

- Mustafa Kemal Sahil Bulvarı üzerinde yer alan, Göztepe Giriş Kavşağı,
- Mustafa Kemal Sahil Bulvarı üzerinde yer alan Göztepe Çıkış Kavşağı,
- Talatpaşa Caddesi üzerinde yer alan Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlük Kavşağı,
- Sakarya Caddesi üzerinde yer alan Tansaş Kavşağı'dır.

Gözlem yapılan beş kavşakta video kamera ile gözlem yapma imkanı olmadığı için veriler arazide kronometre yardımıyla toplanmıştır. Bu kavşaklar;

- Mithatpaşa Caddesi üzerinde yer alan Göztepe Giriş Kavşağı(Göztepe-1),
- Mithatpaşa Caddesi üzerinde yer alan Göztepe Çıkış Kavşağı(Göztepe-2),
- Gaziler Caddesi üzerinde yer alan Boğaziçi Kavşağı,
- Doğuş Caddesi üzerinde yer alan BucaKoop Giriş-1 Kavşağı
- Doğuş Caddesi üzerinde yer alan BucaKoop Giriş-2 Kavşağı'dır.

Gözlemler, hava koşullarının uygun olduğu (yağışsız) hafta içi günlerinde ve genelde trafiğin en yoğun olduğu 18:00-19:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. İnceleme yapılan bütün kavşaklara ait genel bilgiler Tablo 5.2’de verilmiştir.

Gözlem yapılan kavşaklar için analizlerde kullanılmak üzere aşağıdaki veriler toplanmıştır.

- Kuyrukta ilk sırada duran araçlar için reaksiyon süresi değerleri.
- İnceleme yapılan yaklaşım kollarında her devre için kuyrukta duran araç sayıları.
- Kuyruktaki araçların yaklaşım kolunu boşaltma süreleri.
- Kuyruktaki araçlar arasındaki takip aralığı değerleri.

Her devrede kuyruk oluşturan araç sayısı, kuyruğun yaklaşım kolunu boşaltma süresi ve araçlar arasındaki takip aralığı değerleri doygun akım hesaplarında kullanılmak üzere toplanmıştır. Gözlemler genellikle iki kamera kullanılarak, kavşağı görebilen yüksek binalardan, her bir kavşakta yaklaşık 1’er saatlik çekim yapılarak gerçekleştirilmiştir.

### **5.5 Gözlem Yapılan Kavşaklara Ait Reaksiyon Sürelerinin İncelenmesi**

Sürücülerin kavşak noktalarındaki davranışları ve trafik kurallarına uygun olmayan hareketleri ( kırmızı ışık ihlali, dur çizgisi ihlali, yanlış şerit kullanımı, şerit çizgisi ihlali gibi ) araçların kavşağı boşaltma hızları ve kuyruk boşaltımı sırasındaki takip aralığı değerlerini büyük oranda etkilemektedir. Sürücü özelliklerinin ve sürüş alışkanlıklarının bir göstergesi olan ve özellikle etkin yeşil süre değerinin belirlenmesinde kullanılan reaksiyon süresi bilgileri önemli bir davranış faktörü olarak ön plana çıkmaktadır.

Tez çalışmasının sinyalizasyon noktalarındaki araç hareketlerini araştırmayı amaçlayan bu bölümünde, çalışma kapsamında yer alan kavşaklara ait verilerden yola çıkarak İzmir’deki sürücülerin sinyal noktalarındaki reaksiyon süresi değerleri incelenmiştir.

Tablo 5.3 Gözlem yapılan kavşaklara ait özellikler

Kavşak Adı	Bulunduğu İlçe	Şerit Sayısı	Şerit Tipi	Sinyal Süreleri (sn)	Şerit Genişliği (m)
Tansaş Kavşağı**	Bornova	3	3 D	k+s:25+2, y:45, s:3	3,00
			D	k+s:37+2, y:38, s:3	3,00
			D	k+s:37+2, y:38, s:3	4,00
Boğaziçi Kavşağı	Konak	5	SL	k+s:60+2, y:12, s:3	3,40
			SL	k+s:60+2, y:15, s:3	4,35
			SG	k+s:60+2, y:15, s:3	4,35
Mithatpaşa Cad.Göztepe Giriş Kavşağı	Konak	3	D	k+s:25+2, y:40, s:3	4,95
			D	k+s:25+2, y:40, s:3	4,35
			1SL-SG	k+s:45+2, y:20, s:3	4,35
Mithatpaşa Cad. Göztepe Çıkış Kavşağı	Konak	3	D	k+s:30+2, y:36, s:3	4,45
			D	k+s:12+2, y:53, s:3	3,75
			SL	k+s:24+2, y:41, s:3	3,75
			2D	k+s:48+2, y:30, s:3	3,35
BucaKoop. Girişi-1 Kavşağı	Buca	6	SL	k+s:70+2, y:7, s:3	4,95
			SG	k+s:35+2, y:43, s:3	4,90
			D	k+s:12+2, y:68, s:3	3,30
			2D	k+s:60+2, y:25, s:3	3,00
			SL	k+s:78+2, y:7, s:3	3,50
BucaKoop. Girişi-2 Kavşağı	Buca	6	SG	k+s:78+2, y:7, s:3	3,50
			D	k+s:13+2, y:72, s:3	3,85
			D	k+s:43+2, y:42, s:3	3,85
			SG	k+s:45+2, y:20, s:3	3,70
			SL	k+s:45+2, y:20, s:4	3,00
Dokuz Eylül Rektörlük Kavşağı**	Konak	6	D	k+s:25+2, y:40, s:3	3,50
			D	k+s:25+2, y:40, s:3	3,00
			D	k+s:25+2, y:40, s:3	3,50
			D	k+s:25+2, y:40, s:3	3,00
MKS.Bulvarı-Göztepe Giriş K.**	Konak	3	D	k+s:22+2, y:43, s:3	3,50
MKS.Bulvarı-Göztepe Çıkış K.**	Konak	3	D	k+s:25+2, y:40, s:3	3,50

-\*\* Kamera ile gözlem yapılan kavşak noktalarıdır.

- D: doğru geçiş şeridi, SG: sağa dönüş şeridi, SL: sola dönüş şerididir.

Reaksiyon süresi verileri; inceleme yapılan yaklaşım kollarında, kuyrukta ilk sırada duran araçlar için toplanmıştır.

Toplanan 1429 adet reaksiyon süresi verisinden 126 tanesi bayan sürücülere aittir. Bayan sürücülere ait reaksiyon sürelerinin ortalaması 1,47 saniye ve standart sapma değeri 0,84 saniyedir. Bayan sürücülere ait araçların hepsi otomobil tipi araçlardır. Erkek sürücülere ait verilerin araç tiplerine bağlı olarak ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3 Erkek sürücüler için reaksiyon süresi değerlerine ait temel istatistikler

Araç Tipi	Otomobil	Minibüs	K-ağır araç	Otobüs	Körüklü otobüs	Kamyon
ORTALAMA	1,38	1,40	1,57	1,64	1,78	1,60
STANDART SAPMA	0,94	0,74	0,78	0,78	0,99	0,61
VERİ SAYISI	986	101	69	48	39	60

Sürücülerin sinyalin kırmızıdan sarıya dönmesi ile harekete geçişleri arasındaki süre üzerinde etkili olabilecek faktörler araştırılmış ve en etkili parametreler regresyon analizi yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır.

Her veri grubu için aşağıdaki özellikler belirlenmiştir:

- araç tipi (otomobil, minibüs, küçük-ağır araç, kamyon, otobüs, körüklü otobüs),
- şerit tipi (sağ şerit, sol şerit, orta şerit),
- dönüş tipi (sağa dönüş, sola dönüş, doğru geçiş),
- şerit genişliği,
- sinyal özellikleri, (yeşil süre, devre süresi)
- sürücü cinsiyeti.

Reaksiyon süresi üzerinde etkili olduğu düşünülen ve regresyon analizi yardımıyla ilişkileri araştırılan değişkenler Tablo 5.4’de verilmiştir. Tablo 5.4’ün en sol

kolonunda araştırılan değişkenlere ait kısaltmalar verilmiştir. Şerit tipi, dönüş tipi ve araç tipi değişkenleri kendi içinde alt değişkenlere ayrılmaktadır.

Tablo 5.4 Reaksiyon süresi üzerinde etkisi araştırılan değişkenler

<i>Lsag</i>	Şerit Tipi	Sağ Şerit
<i>Lsol</i>		Sol Şerit
<i>Ltek</i>		Tek Şerit
<i>Dsag</i>	Dönüş Tipi	Sağa Dönüş
<i>Dsol</i>		Sola Dönüş
<i>Tmini</i>	Araç Tipi	Minibüs
<i>Thag</i>		K.Ağır Araç
<i>Tbus</i>		Otobüs
<i>Tkbus</i>		Körüklü Otobüs
<i>Tkam</i>		Kamyon
<i>Cns</i>	Cinsiyet	
<i>Gnsl</i>	Şerit Genişliği	
<i>Krm</i>	Kırmızı Süre	
<i>DvrS</i>	Devre Süresi	
<i>K/D</i>	Kırmızı Süre / Devre Süresi	

Analizlerde öncelikli olarak modelleme çalışmalarında kullanılması düşünülen bağımsız değişkenler ile reaksiyon süresi arasındaki korelasyon ilişkisi araştırılmıştır. Regresyon analizine alınarak modelde kullanılacak bağımsız değişkenler ile reaksiyon süresi arasında iyi bir korelasyon ilişkisi olması beklenmektedir. Korelasyon katsayısının büyük olması (1'e mümkün olduğunca yakın) değişken ile reaksiyon süresi arasındaki ilişkinin yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca korelasyon katsayısının anlamlılığının 0,05'den küçük olması iki değişken arasında kabul edilebilir doğrusal bir ilişki olduğunu düşündürmektedir.

Tablo 5.5'de reaksiyon süresi ile reaksiyon süresi üzerinde etkili olduğu düşünülen değişkenler arasındaki korelasyon ve anlamlılık değerleri verilmiştir. Değişkenlere birebir bağlı olarak verilen korelasyon ve anlamlılık değerleri incelendiğinde özellikle cinsiyet (sürücünün erkek olması durumu), kırmızı süre, kırmızı sürenin devre süresine oranı, devre süresi, araç tipi (körüklü otobüs) ve sola dönüş

parametrelerinin reaksiyon süresi ile doğrusal açıdan daha yüksek ilişkide olduğu söylenebilir.

Tablo 5.5 Reaksiyon süresi ile ilişkisi araştırılan bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon ve anlamlılık değerleri

Bağımsız Değişken		Reaksiyon Süresi	
ŞERİT TİPİ	Lsag	Korelasyon Kts	-0,0215
		Anlamlılık	0,4059
	Lsol	Korelasyon Kts	0,0114
		Anlamlılık	0,6591
	Ltek	Korelasyon Kts	-0,0172
		Anlamlılık	0,5049
DÖNÜŞ TİPİ	Dsag	Korelasyon Kts	-0,0176
		Anlamlılık	0,4956
	Dsol	Korelasyon Kts	-0,1010
		Anlamlılık	0,0001
ARAÇ TİPİ	Tmini	Korelasyon Kts	-0,0270
		Anlamlılık	0,2955
	Tkag	Korelasyon Kts	0,0393
		Anlamlılık	0,1283
	Tbus	Korelasyon Kts	0,0331
		Anlamlılık	0,1997
	Tkbus	Korelasyon Kts	0,0664
		Anlamlılık	0,0101
Tkam	Korelasyon Kts	0,0346	
	Anlamlılık	0,1811	
Cns(Erkek Sürücü)		Korelasyon Kts	-0,0884
		Anlamlılık	0,0006
Gnsl		Korelasyon Kts	0,0014
		Anlamlılık	0,9570
Krm		Korelasyon Kts	-0,1335
		Anlamlılık	0,0000
DvrS		Korelasyon Kts	-0,0537
		Anlamlılık	0,0376
K/D		Korelasyon Kts	-0,1458
		Anlamlılık	0,0000

Modelleme aşamasında reaksiyon süresi ile yüksek doğrusal ilişkiye sahip olduğu düşünülen değişkenler kullanılan analiz programı yardımıyla f değerlerine bakılarak birer birer regresyon analizine dahil edilmiştir. Bağımsız değişkenler f değerinin 0,05'den küçük ve eşit olması durumunda modele dahil edilmiş, f değerinin 0,100'den büyük ve eşit olması durumunda modelden çıkarılmıştır. Yapılan analizler sonucunda önerilen bağıntı aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$R_s = 0,0255Dvrs - 0,0130Krm + 0,2424L_{tek} + 0,4676T_{kbus} - 0,1911Cns \quad (5.3)$$

Burada;  $R_s$ ; reaksiyon süresi,  $D_{vrs}$ ; devre süresi;  $K_{rm}$ ; kırmızı süre,  $L_{tek}$ ; yolun tek şeritli olması,  $T_{kbus}$ ; araç tipinin körüklü otobüs olması,  $C_{ns}$ ; cinsiyet (sürücünün erkek olması) durumlarını ifade etmektedir. Oluşturulan modele ait regresyon katsayısı  $R^2=0,865$  olarak hesaplanmıştır. Yine modele ilişkin yapılan F-testi analizinde F-değeri 892,455 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde hesaplanan regresyon katsayısının 1'e oldukça yakın ve F-testi değerinin de oldukça yüksek olduğu söylenebilir.

Analizler sonucunda modele dahil edilen bağımsız değişkenlerin kendi aralarındaki doğrusal ilişkiyi gösteren korelasyon katsayıları ve anlamlılık değerleri Tablo 5.6'da verilmiştir. Modele dahil edilen bağımsız değişkenler arasında düşük korelasyon ilişkisi olması gerekmektedir. Tablo 5.6'dan da görülebileceği gibi değişkenler arasında hesaplanan korelasyon katsayıları oldukça düşük değerlerdedir. Dolayısıyla anlamlılıkları yüksek ( 0'a oldukça yakın değerler) ve korelasyonları 0,5'in altındaki inceleme yapılan bağımsız değişkenlerin aynı modelde bağımsız değişken olarak kullanılmasında sakınca görülmemektedir.

Tablo 5.6 Modele dahil edilen değişkenler arasındaki korelasyon ve anlamlılık değerleri

		$L_{tek}$	$C_{ns}$	$T_{kbus}$	$K_{rm}$	$D_{vrs}$
$L_{tek}$	Korelasyon katsayısı	1	0,1008	-0,0438	0,3419	-0,1815
	Anlamlılık	.	0,0001	0,0898	0,0000	0,0000
$C_{ns}$	Korelasyon katsayısı	0,1008	1	0,0583	0,1926	0,1968
	Anlamlılık	0,0001	.	0,0239	0,0000	0,0000
$T_{kbus}$	Korelasyon katsayısı	-0,0438	0,0583	1	0,0877	0,0459
	Anlamlılık	0,0898	0,0239	.	0,0007	0,0757
$K_{rm}$	Korelasyon katsayısı	0,1265	0,1926	0,0877	1	0,3523
	Anlamlılık	0,0000	0,0000	0,0007	.	0,0000
$D_{vrs}$	Korelasyon katsayısı	-0,1815	0,1968	0,0459	0,3523	1
	Anlamlılık	0,0000	0,0000	0,0757	0,0000	.

Tablo 5.7'de modele dahil edilen parametrelere ait regresyon katsayıları verilmiştir. Tablo 5.7 incelendiğinde, reaksiyon süresi üzerinde en yüksek etkinliğe sahip değişkenlerin devre süresi (  $t = 25,8703$ , anlamlılık = 0,0000 ) ve kırmızı süre (  $t = -9,3786$ , anlamlılık = 0,0000 ) olduğu belirlenmiştir. Devre süresi sürücülerin

Tablo 5.7 Model değişkenlerinin parametre istatistikleri

Bağımsız değişkenler	B katsayısı	Standart hata	t	Anlamlılık
DvrS	0,0255	0,0010	25,8703	0,0000
Krm	-0,0130	0,0014	-9,3786	0,0000
Ltek	0,2424	0,0464	5,2286	0,0000
Tkbus	0,4676	0,1287	3,6329	0,0003
Cns (Erk. S.)	-0,1911	0,0643	-2,9711	0,0030

reaksiyon sürelerini arttırıcı bir etken olarak görülmektedir. Kırmızı sürenin artmasının, sürücüleri sabırsızlığa itmesi sebebiyle reaksiyon süresini azaltıcı bir etki yarattığı düşünülmektedir. Ayrıca şerit tipi reaksiyon süresi üzerinde etkili olan parametrelerden birisidir. Model sonuçlarına göre yolun tek şeritli olması durumunda reaksiyon süresi uzamaktadır. Bu durum sürücülerin yan şeritlerinde bulunan sürücülerin davranışlarından etkilendiğini ve sağında ya da solunda araç bulunmaması durumunda daha temkinli davrandıklarını göstermektedir. Analizler sürücü cinsiyetinin de reaksiyon süresi üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Sürücünün erkek olması, reaksiyon süresini azaltıcı bir etken olarak ortaya çıkmaktadır.

## 5.6 Gözlem Yapılan Kavşaklara Ait Takip Aralığı Değerlerinin İncelenmesi

Çalışma kapsamında temel doğun akım değerini belirleyebilmek için öncelikli olarak araçlar arasındaki takip aralığı değerleri şerit bazında incelenmiş ve araçlar arasındaki doğun takip aralığı değeri belirlenmeye çalışılmıştır.

Takip aralığı değerlerini incelemek için video kamera ile gözlem yapılan kavşaklar kullanılmıştır. Çekimler genellikle iki kamera kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tek kamera ile gerekli verileri toplayabilmek için uygun açı sağlanamadığı durumlarda, bir kamera ile kuyrukta duran araç sayılarını belirleyebilmek amacıyla yaklaşım kolundaki kuyruk uzunluğu diğer kamera ile sinyal dur-çizgisi gözlemlenmiştir. Her bir devrede kuyruk oluşturan araç sayıları belirlendikten sonra kuyruktaki araçlar arasındaki takip aralıkları, ardarda hareket eden araçların arka tamponlarının dur-



çizgisini geçişleri baz alınarak belirlenmiştir. Diğer araçlardan farklı olarak kuyrukta ilk sırada duran araçlar için takip aralığı değeri sinyalin kırmızıdan sarıya dönmesi ile aracın arka tamponunun dur-çizgisini geçişi arasındaki zaman farkı alınarak ölçülmüştür.

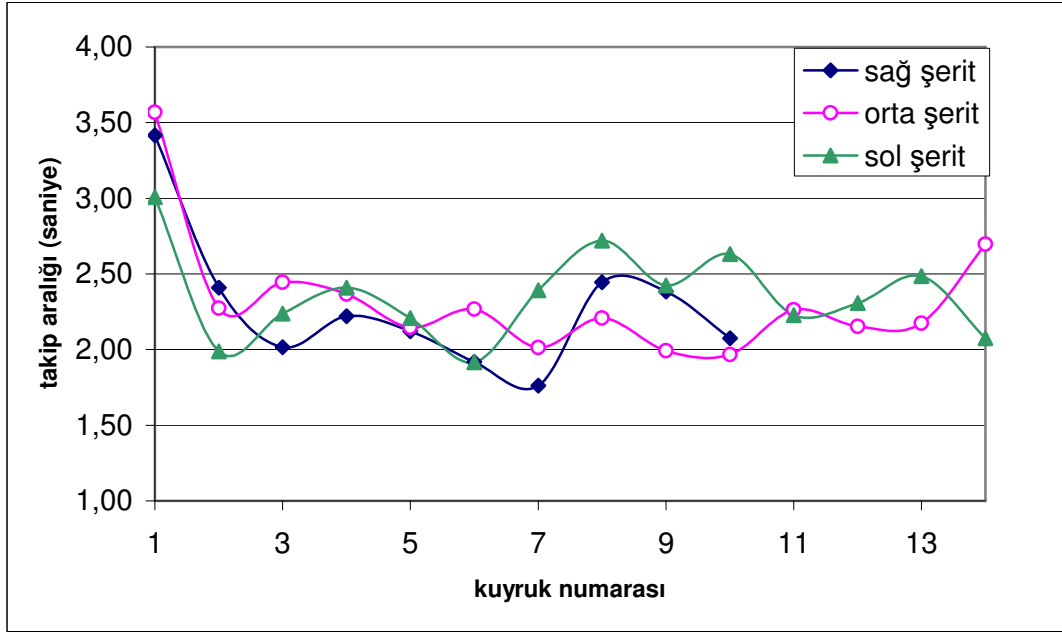
Takip aralığı değerleri araç tiplerine bağlı olarak toplanmıştır. Ancak temel takip aralığı değeri ve buna bağlı olarak temel doygun akım değerinin belirlenmesi amaçlanan bu bölüm kapsamında, ağır araçlara ait takip aralığı değerleri dikkate alınmamış yalnızca otomobillere ait veriler kullanılmıştır.

Tablo 5.8' de takip aralığı değerlerinin gözlemlendiği kavşak noktalarına ait yaklaşım kolu özellikleri ve yaklaşım kollarına ait şerit sayıları belirtilmiştir. Ayrıca inceleme yapılan yaklaşım kolları için gözlemlenen en uzun ve en kısa kuyruk uzunlukları yine Tablo 5.8' de görülmektedir.

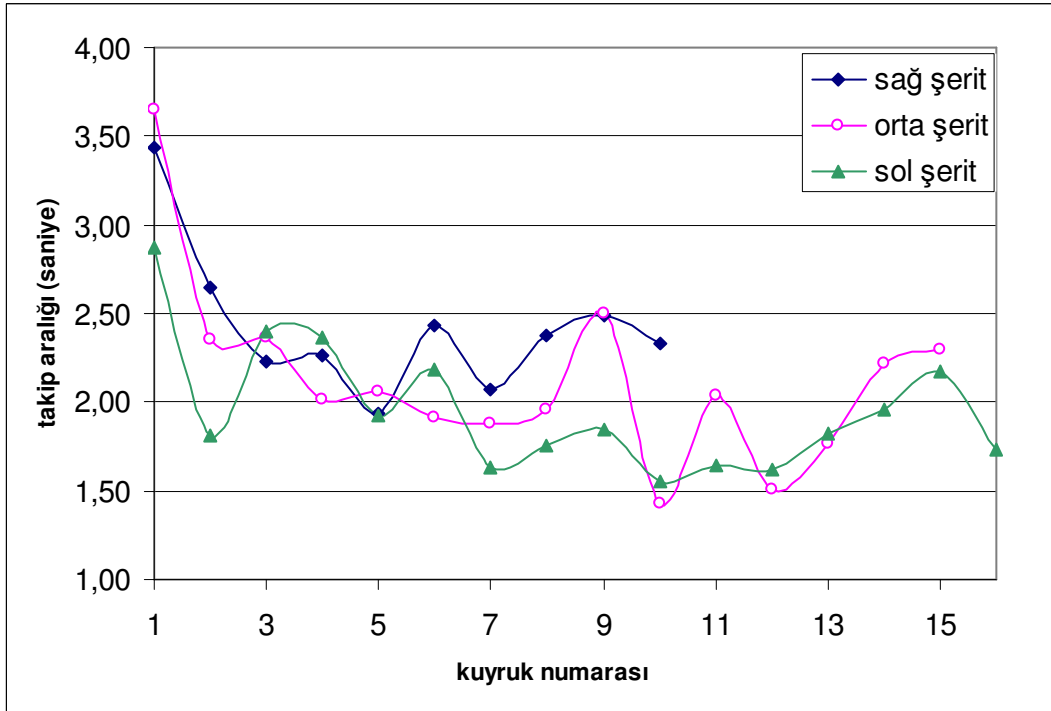
Tablo 5.8 Doygun akım çalışmaları için çekim yapılan kavşaklar

No	Kavşak Adı / Gözlem Yapılan Yaklaşım Kolu	Devre Süresi(sn)	Şerit Sayısı	Gözlenen Kuyruk Uzunlukları(arac)
1	9 Eylül Rektörlük Kavşağı/Konak Yaklaşımı	70	2	3-19
2	Sakarya Caddesi-Tansaş Kavşağı/Salhane Yaklaşımı	75	3	2-10
3	Mustafa K.Sahil Bul.-Göztepe Çıkış Kavşağı/Üçkuyular Yaklaşımı	70	3	4-15
4	Mustafa K.Sahil Bul. - Göztepe Giriş Kavşağı/ Konak Yaklaşımı	70	3	4-17

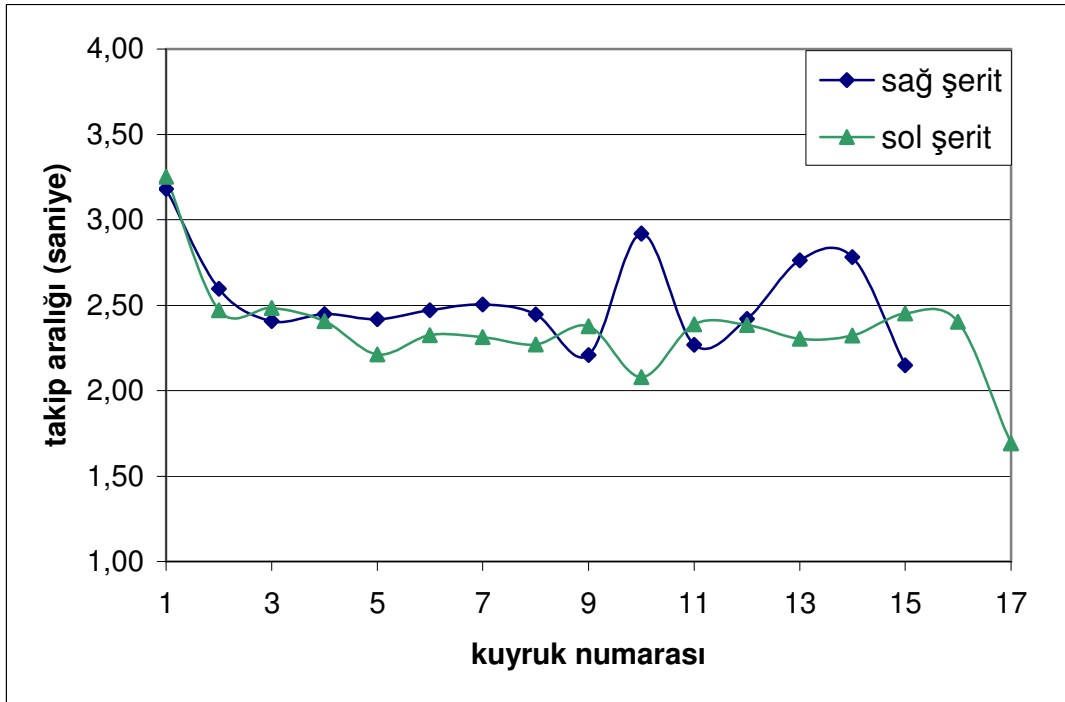
Gözlem yapılan kavşaklara ait şerit bazındaki takip aralığı değerlerinin ortalaması, standart sapması ve gözlemlenen veri sayıları Tablo 5.9 - Tablo 5.12'de verilmiştir. Ayrıca kavşaklardaki takip aralığı değerleri kuyruk numarasına bağlı olarak Şekil 5.4 - Şekil 5.7'de görülmektedir.



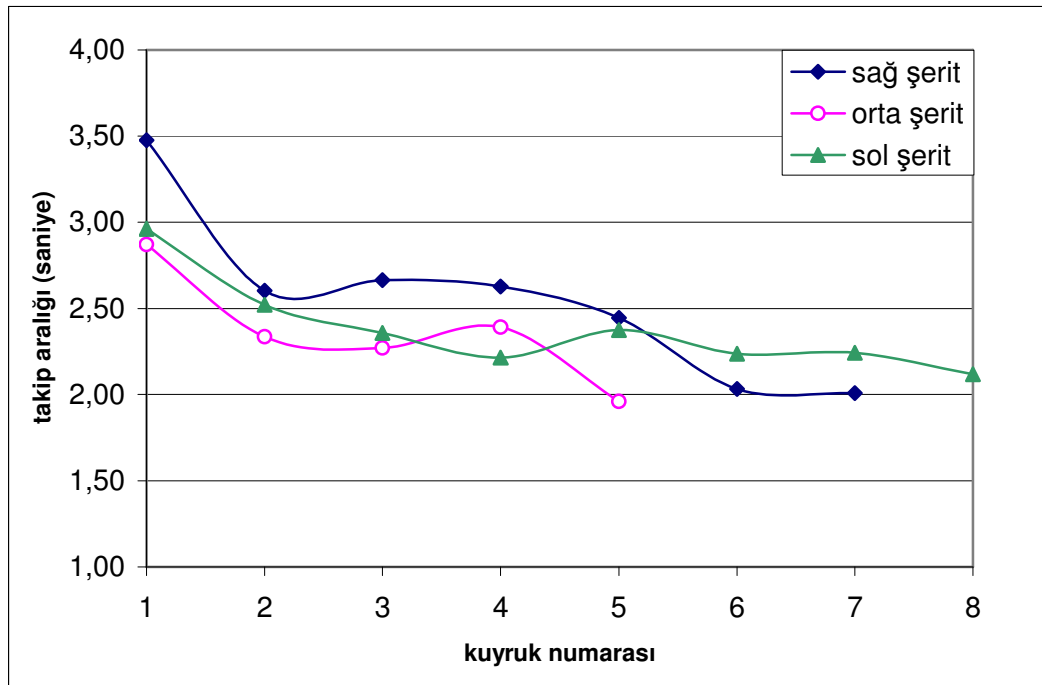
Şekil 5.4 Mustafa Kemal Sahil Bulvarı Güztepe Giriş Kavşağı takip aralığı değerleri



Şekil 5.5 Mustafa Kemal Sahil Bulvarı Güztepe Çıkış Kavşağı takip aralığı değerleri



Şekil 5.6 9 Eylül Rektörlük Kavşağı takip aralığı değerleri



Şekil 5.7 Sakarya Caddesi Tansaş Kavşağı takip aralığı değerleri

Tablo 5.9 Mustafa Kemal Sahil Bulvarı Göztepe Giriş Kavşağı takip aralığı değerleri

Kuyruk SıraNo	Sağ Şerit			Orta Şerit			Sol Şerit		
	Ortalama (sn)	S.S. (sn)	Veri Sayısı	Ortalama (sn)	S.S. (sn)	Veri Sayısı	Ortalama (sn)	S.S. (sn)	Veri Sayısı
1	3,42	0,79	17	3,57	0,65	23	3,01	1,02	32
2	2,41	0,72	17	2,27	0,87	23	1,99	0,70	32
3	2,02	0,53	17	2,45	0,76	23	2,24	0,62	32
4	2,22	0,69	17	2,37	1,03	23	2,41	0,98	32
5	2,12	0,72	16	2,15	0,78	23	2,21	0,64	32
6	1,92	0,79	13	2,27	0,96	23	1,92	0,49	32
7	1,76	0,29	10	2,01	0,92	23	2,39	0,70	31
8	2,45	1,28	9	2,21	0,83	23	2,72	0,88	31
9	2,38	0,80	7	1,99	0,68	23	2,42	1,06	30
10	2,07	0,54	4	1,97	0,59	23	2,63	1,36	27
11	3,49	1,01	2	2,26	0,86	23	2,23	1,06	25
12	1,81	0,20	2	2,15	1,13	21	2,31	0,88	21
13				2,17	0,87	19	2,48	1,10	20
14				2,70	1,28	17	2,07	1,09	19
15				1,80	0,40	11	2,17	0,86	14
16				1,91	0,57	5	2,61	1,78	9
17							3,72	1,67	4

Tablo 5.10 Mustafa Kemal Sahil Bulvarı Çıkış Kavşağı takip aralığı değerleri

Kuyruk Sıra No	Sağ Şerit			Orta Şerit			Sol Şerit		
	Ortalama (sn)	S.S. (sn)	Veri Sayısı	Ortalama (sn)	S.S. (sn)	Veri Sayısı	Ortalama (sn)	S.S. (sn)	Veri Sayısı
1	3,44	0,79	8	3,65	1,22	9	2,87	1,31	9
2	2,64	0,99	8	2,35	0,49	9	1,81	0,86	9
3	2,23	0,44	8	2,37	0,60	9	2,40	0,78	9
4	2,26	0,67	7	2,02	0,66	9	2,37	0,60	9
5	1,93	0,59	5	2,06	0,66	9	1,92	0,45	8
6	2,44	0,42	4	1,91	0,32	8	2,19	0,96	8
7	2,07	0,30	4	1,88	0,35	8	1,63	0,19	7
8	2,38	0,54	3	1,96	0,80	5	1,75	0,26	7
9	2,49	0,29	3	2,50	0,79	4	1,84	0,54	5
10	2,33	0,81	3	1,42	0,22	4	1,55	0,28	5
11	3,60	1,54	2	2,04	0,41	4	1,64	0,28	4
12	2,08	1,08	2	1,51	0,37	2	1,62	0,55	4
13				1,77	0,47	2	1,83	0,44	4
14				2,22	0,96	2	1,95	0,49	4
15				2,30	0,15	2	2,17	0,47	3
16							1,73	0,10	3

Tablo 5.11 9 Eylül Rektörlük Kavşağı takip aralığı değerleri

Kuyruk Sıra No	Sağ Şerit			Sol Şerit		
	Ortalama (sn)	S.S. (sn)	Veri Sayısı	Ortalama (sn)	S.S. (sn)	Veri Sayısı
1	3,18	0,83	37	3,25	0,76	43
2	2,60	0,73	37	2,47	0,68	43
3	2,41	0,52	37	2,48	0,70	43
4	2,45	0,77	35	2,41	0,78	42
5	2,42	0,65	33	2,21	0,69	40
6	2,47	0,70	30	2,32	0,93	38
7	2,50	0,86	26	2,31	0,63	33
8	2,45	0,92	21	2,27	0,69	29
9	2,21	0,70	16	2,38	0,77	26
10	2,92	0,88	11	2,08	0,89	25
11	2,27	0,66	10	2,39	0,62	20
12	2,42	0,66	9	2,38	0,60	18
13	2,76	0,98	5	2,30	0,75	14
14	2,78	0,45	4	2,32	0,84	10
15	2,15	0,43	2	2,45	0,62	9
16	1,55	0,20	2	2,40	0,89	8
17				1,69	0,49	5
18				2,30	1,42	4

Tablo 5.12 Sakarya Caddesi Tansaş Kavşağı takip aralığı değerleri

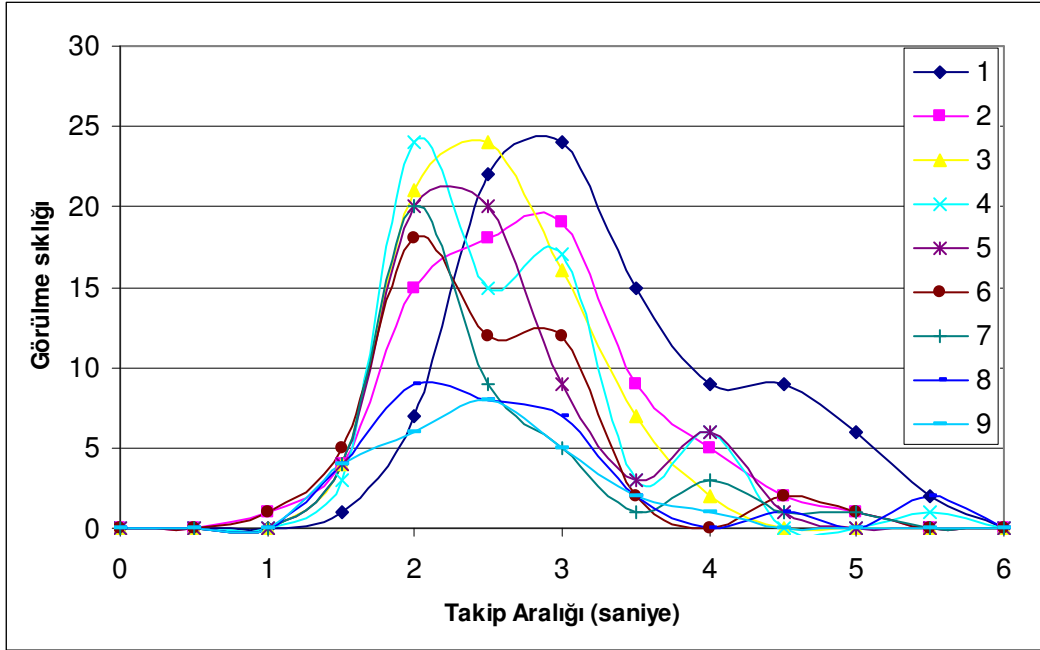
Kuyruk Sıra No	Sağ Şerit			Orta Şerit			Sol Şerit		
	Ortalama (sn)	S.S. (sn)	Veri Sayısı	Ortalama (sn)	S.S. (sn)	Veri Sayısı	Ortalama (sn)	S.S. (sn)	Veri Sayısı
1	3,48	0,65	12	2,87	0,89	12	2,96	0,97	40
2	2,60	0,95	12	2,33	0,54	12	2,52	0,79	40
3	2,66	0,59	12	2,27	0,53	12	2,36	0,77	39
4	2,63	0,82	10	2,39	0,45	9	2,22	0,57	34
5	2,44	0,79	9	1,96	0,80	4	2,38	0,68	30
6	2,03	0,76	6	1,56	0,32	2	2,24	0,64	27
7	2,01	0,79	4				2,24	0,76	19
8							2,12	0,47	14
9							2,74	1,07	9
10							1,94	0,89	3

Gözlemler genel beklenti doğrultusunda, ilk sırada yer alan araçların, kuyruktaki diğer araçlara kıyasla daha büyük takip aralığı değerleri ile harekete başladığını göstermiştir. Kuyrukta ilk sırada bekleyen araçlar için sol şeridi kullanan araçların takip aralığı değeri genelde diğer şeritlere nazaran daha düşük değerlerdedir. Sol şeritte kuyrukta ilk sıradaki araçlar için takip aralığı değeri yaklaşık 3,0 saniye civarındadır. Bu değer orta ve sağ şeritteki birinci sıra araçlar için ise yaklaşık 3,5 saniye civarında olmaktadır.

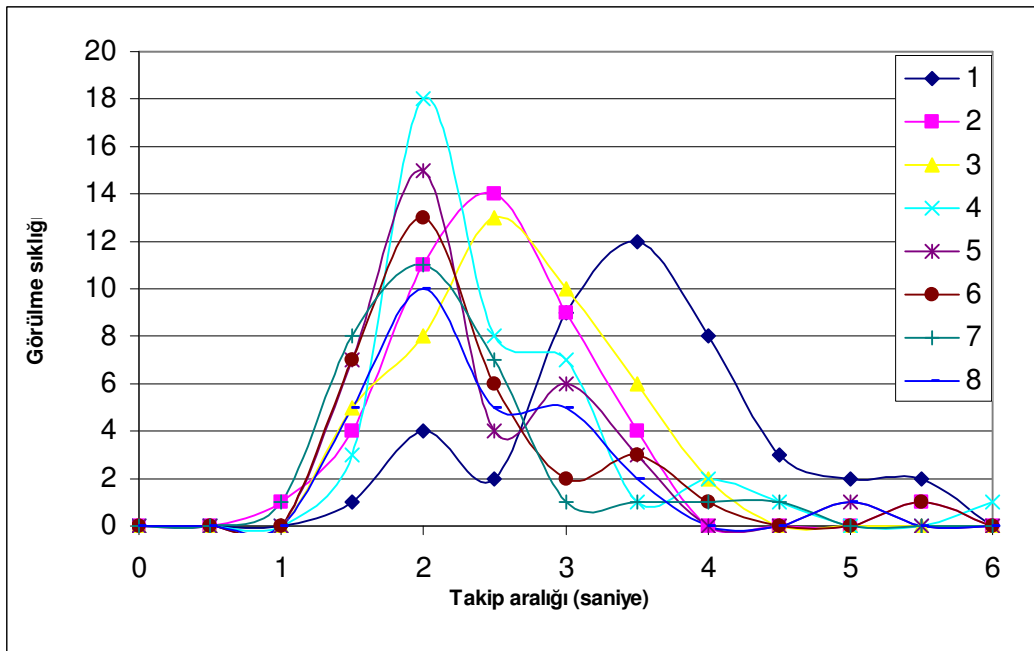
Takip aralığı değerleri genelde sol şeritteki araçlar için diğer şeritlere kıyasla ilk sırada olan araçlar gibi daha düşüktür. Araçlar arasındaki takip aralığı değerleri kuyruktaki ikinci sırada yer alan araçlardan itibaren, inceleme yapılan üç şerit tipi içinde (sol şerit, orta şerit ve sağ şerit) son derece dalgalı bir seyir izlemektedir. Veriler kuyruk numarasının artması ile beklenen düşüş eğilimini göstermemiş, genelde takip aralığı değerleri sol şeritte daha düşük olmakla birlikte her üç şerit tipi içinde 2,0 – 2,5 saniye civarında gözlemlenmiştir.

### ***5.6.1 Sinyal Noktalarındaki Takip Aralıklarının İstatistiksel Değerlendirilmesi***

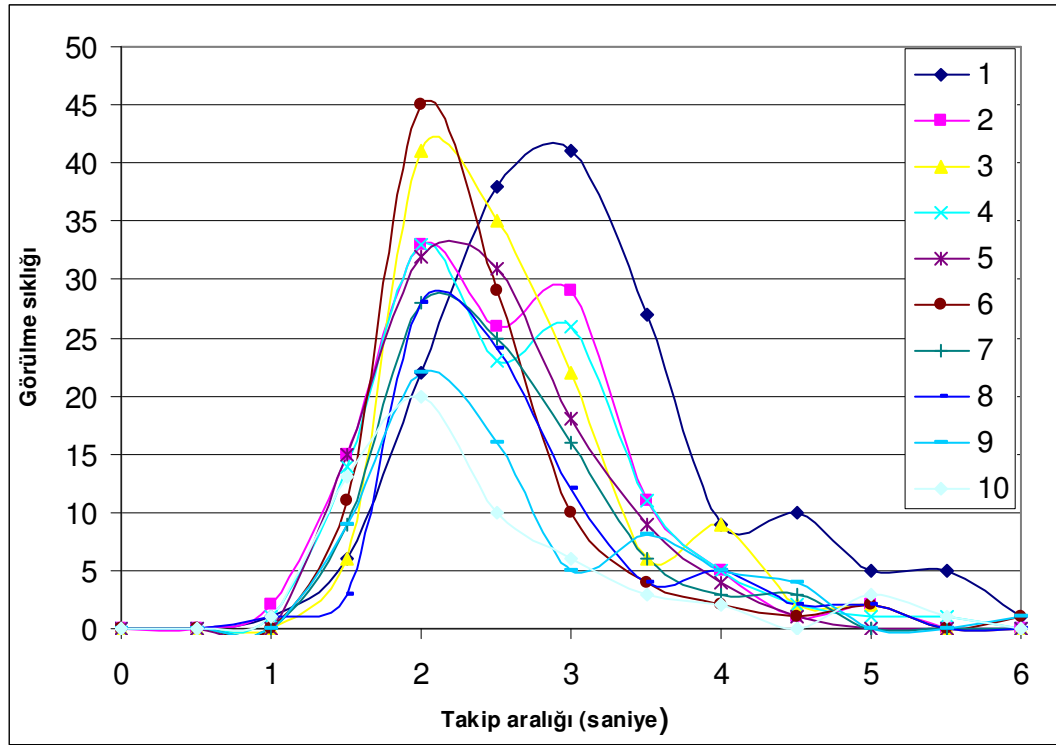
Sinyalizasyon sistemlerindeki kuyruk boşaltım aralıkları sinyal sisteminin kapasitesinin incelenmesi ve sinyal sürelerinin belirlenmesi açısından son derece önemlidir. Yapılan çalışmalar genellikle ortalama kuyruk boşaltım değerlerinin belirlenmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır (Nittymaki ve Pursula (1996), Joseph ve Chang (2005), Lin ve Tseng (2005)). Çalışmanın bu aşamasında sinyalizasyon noktalarında duruştan harekete geçen araçların arasındaki takip aralıkları değeri istatistiksel açıdan incelenmiş ve takip aralıklarının uygun olabileceği dağılımlar araştırılmıştır. Gözlem noktalarından toplanan veriler şerit bazında bir arada değerlendirilmiştir. Sinyal noktalarından elde edilen takip aralıkları ve takip aralıklarına bağlı görülme sıklığı değerlerine ait diyagramlar Şekil 5.8 - 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.8 Sağ şeritte kuyruk oluşturan araçların kuyruk numaralarına göre takip aralığı değerleri



Şekil 5.9 Orta şeritte kuyruk oluşturan araçların kuyruk numaralarına göre takip aralığı değerleri



Şekil 5.10 Sol şeritte kuyruk oluşturan araçların kuyruk numaralarına göre takip aralığı değerleri

Şerit bazında elde edilen histogramlar incelendiğinde takip aralıklarının uygun olabileceği düşünülen bazı dağılımlar belirlenmiştir. Bu dağılımlar gama dağılımı, log-normal dağılım ve normal dağılımlardır. Araç takip aralıklarının bahsedilen dağılımlara uygunluğu araştırılmış ve elde edilen uygunluk değerleri % 95 güven düzeyi için test edilmiştir. Yapılan analizlerde gözlemlerin öngörülen dağılımlara uygunluğu “ki-kare uygunluk testi kullanılarak belirlenmiştir.

Sağ şerit, orta şerit ve sol şerit için kuyruk numarasına bağlı olarak araçlar arasındaki takip aralıkları değerlerinin ki-kare testine göre gama, log-normal ve normal dağılımlara uygunluk değerleri Tablo 5.13- 5.15’de verilmiştir. Tablolarda gri renk ile işaretlenen hücreler incelenen dağılıma uyumsuzluğu göstermektedir. Gözlenen verilere bağlı olarak hesaplanan ki-kare değeri ve kritik ki-kare değerinin olasılığına karşılık gelen “p” değerleri tablolar üzerinde gösterilmiştir. Dağılımlara uygunluk daha öncede belirtildiği gibi % 95 güven düzeyi için değerlendirilmiştir. “p” değerinin 0,05’den büyük olarak hesaplandığı durumlarda incelenen dağılımın uygun



olduğu, 0,05'den küçük olarak hesaplandığı durumlarda ise dağılımlın uygun olmadığı belirtilmiştir.

Tablo 5.13 Sağ şeritte bulunan araçların kuyruk boşaltım aralıklarının istatistik dağılımlara uygunluk testi

KUYRUK SIRA NO	GAMA DAĞILIMI		LOG-NORMAL DAĞILIM		NORMAL DAĞILIM	
	$\chi^2_{HESAP}$	$p$	$\chi^2_{HESAP}$	$p$	$\chi^2_{HESAP}$	$p$
1	5.215	0.266	3.215	0.522	11.141	0.011
2	6.351	0.499	7.761	0.354	7.629	0.366
3	5.479	0.360	6.737	0.241	3.858	0.570
4	7.028	0.318	6.752	0.344	11.000	0.088
5	5.573	0.473	3.716	0.591	9.985	0.125
6	3.869	0.145	3.062	0.080	7.597	0.022
7	5.335	0.149	4.363	0.359	15.254	0.002
8	0.048	0.827	0.074	0.785	0.515	0.473
9	1.197	0.274	1.453	0.228	0.739	0.390

Tablo 5.13 incelendiğinde sağ şeritte kuyrukta duran araçlardan elde edilen sinyali boşaltım aralıklarının kuyrukta yer alan her araç grubu için incelenen dağılımlardan hem gama hemde log-normal dağılım ile uyumlu olduğu söylenebilir. Ancak normal dağılıma kuyrukta 1 inci sırada, 6 ıncı sırada ve 7 inci sırada duran araçlar uygunluk göstermemektedir.

Tablo 5.14 incelendiğinde orta şeritte kuyrukta duran araçlardan elde edilen sinyali boşaltım aralıklarının kuyrukta yer alan her araç grubu için incelenen dağılımlardan yalnızca log-normal dağılım ile uyumlu olduğu söylenebilir. Orta şeritte yer alan araçlardan kuyrukta 5 inci sırada bulunan araçlar gama ya da normal dağılıma uygunluk göstermemişlerdir.

Tablo 5.14 Orta şeritte bulunan araçların kuyruk boşaltım aralıklarının istatistik dağılımlara uygunluk testi

KUYRUK SIRA NO	GAMA DAĞILIMI		LOG-NORMAL DAĞILIM		NORMAL DAĞILIM	
	$\chi^2_{HESAP}$	$p$	$\chi^2_{HESAP}$	$p$	$\chi^2_{HESAP}$	$p$
1	2.224	0.329	3.451	0.178	1.707	0.426
2	2.744	0.433	2.251	0.522	0.651	0.722
3	2.455	0.483	3.158	0.370	1.357	0.716
4	7.476	0.058	6.844	0.077	4.382	0.111
5	5.674	0.017	5.466	0.065	6.430	0.040
6	0.868	0.352	0.533	0.466	2.213	0.137
7	0.472	0.492	0.537	0.464	0.426	0.514
8	0.685	0.408	0.601	0.438	0.600	0.439

Tablo 5.15 Sol şeritte bulunan araçların kuyruk boşaltım aralıklarının istatistik dağılımlara uygunluk testi

KUYRUK SIRA NO	GAMA DAĞILIMI		LOG-NORMAL DAĞILIM		NORMAL DAĞILIM	
	$\chi^2_{HESAP}$	$p$	$\chi^2_{HESAP}$	$p$	$\chi^2_{HESAP}$	$p$
1	19.092	0.120	16.451	0.172	29.051	0.006
2	13.333	0.064	12.955	0.073	13.331	0.064
3	15.799	0.045	14.502	0.070	26.180	0.001
4	13.169	0.106	11.307	0.185	18.488	0.030
5	9.182	0.240	9.653	0.290	22.448	0.004
6	9.567	0.008	5.799	0.055	22.252	0.0004
7	12.791	0.047	11.605	0.071	19.334	0.007
8	11.447	0.076	9.676	0.139	23.053	0.001
9	10.939	0.141	7.690	0.360	17.435	0.026
10	3.934	0.139	2.502	0.286	18.703	0.0003

Tablo 5.15 incelendiğinde sol şeritte kuyrukta duran araçlardan elde edilen sinyali boşaltım aralıklarının kuyrukta yer alan her araç grubu için incelenen dağılımlardan yalnızca log-normal dağılım ile uyumlu olduğu söylenebilir. Sol şeritteki kuyrukta bulunan araçlara ait takip aralıkları normal dağılım açısından son derece uyumsuz bulunmuştur. Bunun yanında gama dağılımının da kuyruktaki araç aralıklarına uygun olmadığı görülmektedir.

Öngörülen dağılımlara ait uygunlukların verildiği tablolar incelendiğinde sağ, orta ve sol şeritte yer alan tüm sıra numaralarına ait takip aralıkları için belirlenen dağılımlardan en uygununun log-normal dağılım olduğu belirlenmiştir.

### **5.7 Gözlem Yapılan Kavşaklara Ait Doygun Akım Değerinin Belirlenmesi**

Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi kuyrukta ilk sırada bulunan araçlar gerilerde yer alan araçlara nazaran daha büyük takip aralıkları ile hareket ederler. Başlangıçta gecikmeye maruz kalan araç sayısı ve gecikme miktarı genellikle analiz yapılan bölgeye, kavşak ve sürücü özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Doygun akım hesap yöntemlerinde genellikle gecikmeye uğrayan ilk birkaç araçtan sonra araçlar arasındaki takip aralıklarının sabit olduğu düşünülmektedir.

Çalışmada inceleme yapılan kavşaklardaki doygun akım değerini belirleyebilmek için öncelikli olarak araçlar arasındaki takip aralığı değerlerinden yola çıkarak doygun akım rejiminin kuyruktaki kaçınıcı araçtan itibaren başladığı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla her devre için toplanmış olan takip aralığı değerleri, şerit bazında;

- Kuyruğun 1 inci sırasındaki araçlara ait takip aralıkları,
- Kuyruğun 2 nci sırasındaki araçlara ait takip aralıkları,
- Kuyruğun3 üncü sırasındaki araçlara ait takip aralıkları,
- .....
- Kuyruğun n.inci sırasındaki araçlara ait takip aralıkları şeklinde gruplandırılmıştır.

Gruplandırılmış olan takip aralığı verileri kullanılarak; doygun rejimin başlangıç pozisyonunu bulabilmek amacıyla varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Doygun rejimin başladığı kuyruk pozisyonunu belirleyebilmek için önerilen sıfır hipotezi her bir kuyruk numarasına ait araçların ortalama takip aralığı değerlerinin birbirine eşit olduğudur. Kuyruktaki 1. araçtan başlayarak bütün araçlar bir arada düşünülmüş ve grup ortalamalarının birbirinin aynı olup olmadığı araştırılmıştır. Grup ortalamalarının aynı olduğu noktadan itibaren akımın doygun rejime ulaştığı öngörülmektedir.

Her bir kuyruk numarasına ait ortalama takip aralığı değerinin eşit olduğu öngörülen hipotez aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$  “kuyrukta 1.sırada, 2.sırada, 3.sırada..... n.sırada duran araçlara ait takip aralığı ortalamaları birbirine eşittir.”

$H_1$ : “kuyrukta 1.sırada, 2.sırada, 3.sırada..... n.sırada duran araçlara ait takip aralığı ortalamalarından en az bir tanesi diğerlerinden farklıdır.”

Kurulan hipotezler dört ayrı kavşaktan şerit bazında elde edilen veriler ile test edilmiştir. Ortalamaların birbirinden farklı olup olmadığı F testi ile test edilmiştir. Hesaplanan değerler % 95 güven düzeyi için değerlendirilmiştir. %95 güven düzeyi için yapılan analizlerde hesaplanan olasılık değerlerinin %5'den küçük olması durumunda  $H_0$  hipotezi reddedilmekte, %5'den büyük olması durumunda ise  $H_0$  hipotezi reddedilememektedir. Analizlerde hesaplanan olasılık değerleri “p” harfi ile gösterilmiştir.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında;

$p < 0,05$  değeri için  $H_0$  reddedilip,

$p > 0,05$  için  $H_0$  reddedilememektedir.

Tablo 5.16'da F testi sonuçlarına bağlı olarak belirlenen olasılık değerleri verilmiştir. Analizlerin ilk aşamasında kuyruktaki tüm araç grupları bir arada incelenmiştir. Tüm araçlar bir arada incelendiğinde  $H_0$  hipotezi tüm veri grupları için reddedilmiştir.

Analizlerin ikinci aşamasında kuyrukta 1 inci sırada bulunan araçlar hesaplama dışında tutulmuştur. Kuyruktaki 2 nci sıradaki araçlardan itibaren takip aralıkları bir arada incelendiğinde  $H_0$  hipotezi Mustafa Kemal Sahil Bulvarı Göztepe giriş kavşağı sol şerit verileri hariç tüm veri grupları için kabul edilmiştir. (M.K. S.B. Göztepe giriş kavşağı için  $H_0$  hipotezi kuyruktaki 3 üncü sıradaki araçlar itibari ile reddedilememektedir.) Tablo 5.16'da kuyruktaki 2 nci araçtan itibaren ve 3 üncü araçtan itibaren yapılan F testi ve sonuçlara bağlı olarak hesaplanan olasılık değerleri verilmiştir.

Tablo 5.16 Kuyruk grupları için F testi sonuçları

Kavşak Adı	Şerit	Kuyruktaki Bütün Araçlar için "p"	Karar	Kuyruktaki 2. Araçlardan İtibaren "p"	Karar	Kuyruktaki 3. Araçlardan İtibaren "p"	Karar
Göztepe Giriş Kavşağı	Sağ	0,000	Ho red	0,111	Ho kabul		
	Orta	0,000	Ho red	0,434	Ho kabul		
	Sol	0,000	Ho red	0,007	Ho red	0,125	Ho kabul
Göztepe Çıkış Kavşağı	Sağ	0,022	Ho red	0,238	Ho kabul		
	Orta	0,000	Ho red	0,244	Ho kabul		
	Sol	0,017	Ho red	0,182	Ho kabul		
Rektörlük Kavşağı	Sağ	0,000	Ho red	0,201	Ho kabul		
	Sol	0,000	Ho red	0,772	Ho kabul		
Tansaş Kavşağı	Sağ	0,005	Ho red	0,474	Ho kabul		
	Orta	0,045	Ho red	0,273	Ho kabul		
	Sol	0,000	Ho red	0,297	Ho kabul		

*% 95 güven düzeyi için  $\alpha=0,05$   $p<0,05$  için Ho,red ;  $p>0,05$  için Ho reddedilemez.*

Yapılan analizler kuyrukta bulunan araçlara ait takip aralıkları değerlerinden yalnızca 1 inci sırada yer alan araçlara ait ortalama değerlerin diğer ortalamalardan farklı olduğunu, kuyruktaki diğer araçların ortalamalarının aynı kabul edilebileceğini göstermektedir. Bu hesaplamalar doğrultusunda doygun akım değerinin belirlenmesi için kuyrukta bulunan bütün araçların ortalama takip aralıklarının alınması ve bulunan ortalama takip aralığı değerlerine bağlı olarak doygun akım değerinin belirlenmesinin doğru olacağı düşünülmektedir.

Her kavşakta şerit bazında yapılan analizlerde kuyrukta bulunan bütün araçlar dikkate alınarak belirlenen ortalama doygun takip aralığı değerleri, kullanılan veri setlerine ait standart sapma değerleri ve şerit bazında doygun akım değerleri hesaplanmıştır.

İncelenen yaklaşım kollarına ait doygun takip aralığı değerleri kavşak ve şeritlere bağlı olarak 2,208 saniye ile 2,677 saniye arasında değişmektedir. Doygun takip aralığı değerlerine bağlı olarak hesaplanan doygun akım değerlerinin ise 1345 araç/saat ile 1630 araç/saat arasında değiştiği görülmüştür.

Daha öncede bahsedildiği gibi doygun akım hesap yöntemleri incelendiğinde en yaygın olarak kullanılan yöntemin HCM 2000 (TRB, 2000) tarafından önerildiği görülmektedir. Yöntemde kuyrukta duran ilk dört araçtan sonra takip aralığı değerlerinin sabit olduğu ve trafik akımının doygun akım rejimine ulaştığı kabul edilmektedir. Eldeki veriler HCM 2000’de önerilen yöntem ile değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 5.17’de verilmiş. Ayrıca yine birçok araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanılan ARR 123 yöntemi de elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Ancak daha öncede bahsedildiği gibi yöntem en az 25-30 devrelik veri grubu incelenmesi durumunda etkin sonuçlar vermektedir. Bazı şerit gruplarında yeterli sayıda veri bulunmadığı için ARR 123 metodu ile sonuç elde edebilmek mümkün olmamıştır. Sonuçlar Tablo 5.17’de verilmiş, hesap yapılamayan şeritler tablo üzerinde belirtilmiştir.

Gözlenen veriler HCM 2000’de önerilen yöntem doğrultusunda değerlendirildiğinde doygun akım değerinin 1478 araç/saat ile 2030 araç/saat arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler önerilen yöntemle göre oldukça yüksek sonuçlar vermektedir. Bu duruma incelenen kavşaklarda, kuyrukta bulunan araçlara ait takip aralığı değerinin 4 üncü araca kadar düşüş gösterdiği ve 4 üncü araç itibari ile stabil bir duruma geçmemesinin sebep olduğu düşünülmektedir. Ancak gözlem verileri değerlendirildiğinde birçok noktada bu yaklaşım mantığının gözlem yapılan kavşaklardaki sürücü ve akım özelliklerini yansıtamadığı söylenebilir.

Tablo 5.17 Önerilen yöntemin ve HCM yöntemi ile karşılaştırılması

Kavşak Adı	Şerit	Doğun Takip Aralığı (sn) (SS)	Doğun Akım (araç/saat)	HCM		ARR 123 (araç /saat)
				Doğun Takip Aralığı (sn)	Doğun Akım (araç/saat)	
Göztepe Giriş Kavşağı	Sağ	2,500 (0,316)	1440	2,179 (0,259)	1652	1476
	Orta	2,387 (0,331)	1508	2,261 (0,351)	1592	1476
	Sol	2,361 (0,229)	1525	2,337 (0,337)	1540	1418
Göztepe Çıkış Kavşağı	Sağ	2,654 (0,286)	1356	2,390 (0,260)	1506	***
	Orta	2,240 (0,314)	1607	1,881 (0,192)	1914	***
	Sol	2,208 (0,218)	1630	1,773 (0,155)	2030	***
Rektörlük Kavşağı	Sağ	2,552 (0,261)	1411	2,436 (0,389)	1478	1667
	Sol	2,403 (0,265)	1498	2,175 (0,760)	1655	1520
Tansaş Kavşağı	Sağ	2,677 (0,384)	1345	2,320 (0,647)	1552	***
	Orta	2,444 (0,278)	1473	2,360 (0,793)	1525	***
	Sol	2,423 (0,285)	1486	2,376 (0,499)	1515	***

\*\*\* ARR 123 Yöntemi ile hesap yapılamayan şeritler.

ARR 123 yöntemi kullanılarak yapılabilen hesaplamalarda önerilen yöneme göre elde edilen sonuçlara yakın sayılabilecek sonuçlar verdiği söylenebilir.

Sonuçlardan da görülebildiği gibi her kavşak için elde edilen doğun akım değerleri geniş sayılabilecek bir aralıkta yer almaktadır. Çalışmanın son aşamasında gözlem yapılan kavşaklardan yola çıkarak incelenen kavşaklardaki sürücü davranışlarını temsil edebilecek tek bir doğun takip aralığı değeri ve incelenen sinyalizasyon sistemi hesaplamalarında kullanılabilecek doğun akım değeri hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla dört farklı kavşaktan elde edilen 11 veri seti ayrı gruplar olarak ele alınarak yeni bir varyans analizi uygulanmıştır. Uygulanan analizde amaç, elde edilmiş olan 11 farklı değerden yararlanarak tek bir doğun takip aralığı değeri önermektir.

Değerlendirme; 11 ayrı yaklaşım kolundan elde edilen ortalama değerlerin aynı kabul edilip edilemeyeceğinin belirlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Araştırılan hipotez dört ayrı kavşaktan elde edilmiş şeritlere bağlı ortalama takip aralığı değerlerinin birbirine eşit olduğudur. Hipotezin onaylanması durumunda eldeki

verilerin ortalama değerinin belirlenmesi ile doğgun takip aralığı değeri hesaplanabilecektir.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında nerilen  $H_0$  hipotezi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$H_0$ : “Farklı kavşaklardan elde edilmiş ortalama takip aralıkları birbirine eşitir.”

$H_1$ : “Farklı kavşaklardan elde edilmiş olan ortalama takip aralıklarından en az bir tanesi diğerlerinden farklıdır.”

İfade edilen sıfır hipotezi elde edilen verilerle F testi kullanılarak test edilmiş ve elde edilen F değerlerine karşılık gelen olasılık değerleri hesaplanmıştır. Sıfır hipotezinin reddedilip edilemeyeceğine %95 güven düzeyinde karar verilmiştir. %95 güven düzeyi için yapılan analizlerde hesaplanan olasılık değerlerinin %5’den kk olması durumunda  $H_0$  hipotezi reddedilmekte, %5’den büyük olması durumunda ise  $H_0$  hipotezi reddedilememektedir. Analizlerde hesaplanan olasılık değerleri “p” harfi ile gösterilmiştir.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında;

$p < 0,05$  değeri için  $H_0$  reddedilip,

$p > 0,05$  için  $H_0$  reddedilememektedir.

Oluşturulan hipotezi test etmek amacıyla yapılan analizlerde hesaplanan F değerine karşılık gelen olasılık değeri 0,210 olarak bulunmuştur. Bulunan olasılık değeri ışığında  $H_0$  hipotezi analiz grubu için reddedilememektedir. Analiz sonuçları gözlem yapılan 4 adet kavşaktan elde edilmiş olan ortalama takip aralığı değerlerinin birbirinden istatistiksel olarak anlamlı lde farklı olmadığını ve 11 adet veri grubunun genel ortalaması olan 2,433 saniye (standart sapma 0,280 saniye) değerinin incelenen kavşakları temsil etmek amacıyla kullanılabilceğini göstermiştir. Bu durumda 2,433 saniye olarak bulunmuş olan doğgun takip aralığı değerinin saatlik karşılılığı olan 1480 araç/saat değerinin inceleme yapılan sinyalizasyon sistemleri için doğgun akım değeri olarak kullanılabilceği düşülmektedir.



Çalışma kapsamında yapılan inceleme ve analizler kısaca özetlenecek olursa aşağıdaki sonuçlara ulaşıldığı söylenebilir;

- Sol şeritteki kuyruklarda yer alan ilk araçlar için takip aralığı değerleri sağ ve orta şeritteki ilk sıradaki araçların takip aralıklarına göre daha küçüktür. Sağ şerit için ilk araç takip aralığı ortalama olarak yaklaşık 3,5 saniye, sol şerit için ilk araç takip aralığı ortalama olarak yaklaşık 3,0 saniye civarındadır.
- Kuyrukta bekleyen araçlar, pozisyon numaralarına göre ele alındıklarında takip aralıklarında (kuyrukta duran ilk araçlar hariç) istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir. Söz konusu kavşaklarda sürücü özelliklerinin de dikkate alınması ile tanımlanan doygun rejim durumuna hiç geçemediği söylenebilir. Bu durumda kuyrukta bekleyen bütün araçların takip aralıklarını kullanarak doygun akım değerinin belirlenmesinin doğru olduğu düşünülmektedir.
- Elde edilen veriler doğrultusunda araçlar arasındaki doygun takip aralığı değeri 2,208 saniye ile 2,677 saniye arasında değişmekte, buna bağlı olarak doygun akımın saatlik değeri 1345 araç/saat ile 1630 araç/saat civarında olmaktadır.
- Veriler HCM 2000’de (TRB, 2000) önerilen yöntem doğrultusunda değerlendirildiğinde elde edilen doygun akım miktarları çok yüksek değerlere ulaşmakta, yöntem inceleme yapılan kavşaklardaki doygun takip aralıklarını belirleyebilmek açısından etkin görülmemektedir.
- Önerilen yöntem ile elde edilen takip aralıkları değeri için uygulanan hipotez testi sonucuna göre 2,433 saniye değerinin incelenen kavşaklar için ortalama doygun takip aralığı olarak kullanılabilceği ve saatlik doygun akım değerinin 1480 araç/saat olduğu belirlenmiştir.

### 5.8 Elde Edilen Doygun Akım Değerinin SIDRA Yöntemi ile Değerlendirilmesi

Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi doygun akım değeri sinyalize kavşaklarda özellikle kapasite ve kuyruk uzunluğu gibi ana performans parametrelerinin belirlenmesinde son derece etkili bir unsurdur. Çalışmanın bu son aşamasında gözlem yapılan kavşaklardan analizler sonucu elde edilen doygun akım değerinin SIDRA hesap yöntemi kullanılarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. Değerlendirme esnasında amaç, hesaplanmış olan düşük doygun akım değerinin kavşak performansı açısından ne gibi sonuçlar doğurduğunu belirleyebilmek ve doygun akım değerinin bazı performans ölçütleri üzerindeki etkisini vurgulayabilmektir.

Analizler örnek olarak oluşturulmuş tek yönlü, 2 şeritli bir “Örnek” caddesi üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.11). Şekil 5.11’de görülebileceği gibi “Örnek” caddesi üzerinde sabit zamanlı sinyalize bir yaya geçidi bulunmaktadır.

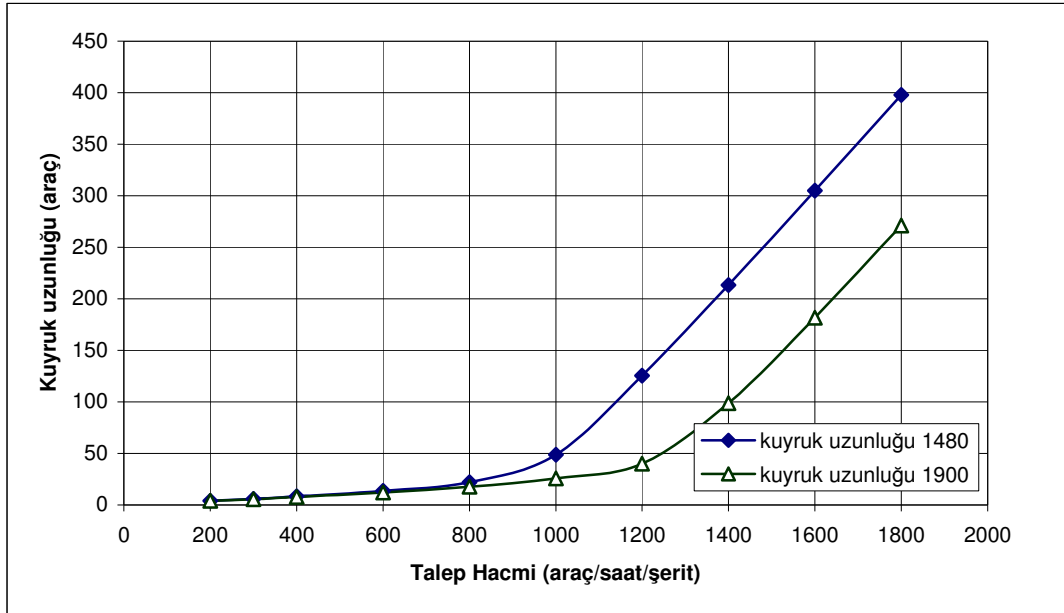
Caddedeki şerit genişlikleri 3,30 metre olarak kabul edilmiştir. Hesaplar sırasında sinyal noktasına yakın bir otobüs durağı ya da park noktasının olmadığı ve akım içerisindeki ağır araç oranının “0” olduğu kabul edilmiştir.

Sabit zamanlı çalışan sinyalizasyon sisteminde 100 saniyelik devre süresi öngörülmüş ve yayalar için 20 saniye, taşıtlar için ise 80 saniyelik faz süreleri ayrılmıştır. Her iki faz için de sarı süreler eşit ve 3 saniye, her yöne kırmızı süre ise 2 saniye olarak ayarlanmıştır. Sistemde karşıdan karşıya geçmek isteyen saatlik 120 adet yaya bulunduğu öngörülmektedir.

Belirlenen sistem üzerinde doygun akım değerinin birinci durumda 1480 araç/saat ve ikinci durumda 1900 araç/saat olması halinde çeşitli senaryolar oluşturulmuştur. “Örnek” caddesi üzerinde karşıdan karşıya geçmek isteyen sabit 120 yaya/saat’lik akım değeri için sinyalizasyon sistemine gelen araç miktarı şerit bazında 2400 araç/saat değerine kadar saatlik 100’er araç arttırılmıştır. Girilen hacim değerlerine bağlı olarak ilk durum (doygun akım 1480 araç/saat) ve ikinci durum (doygun akım

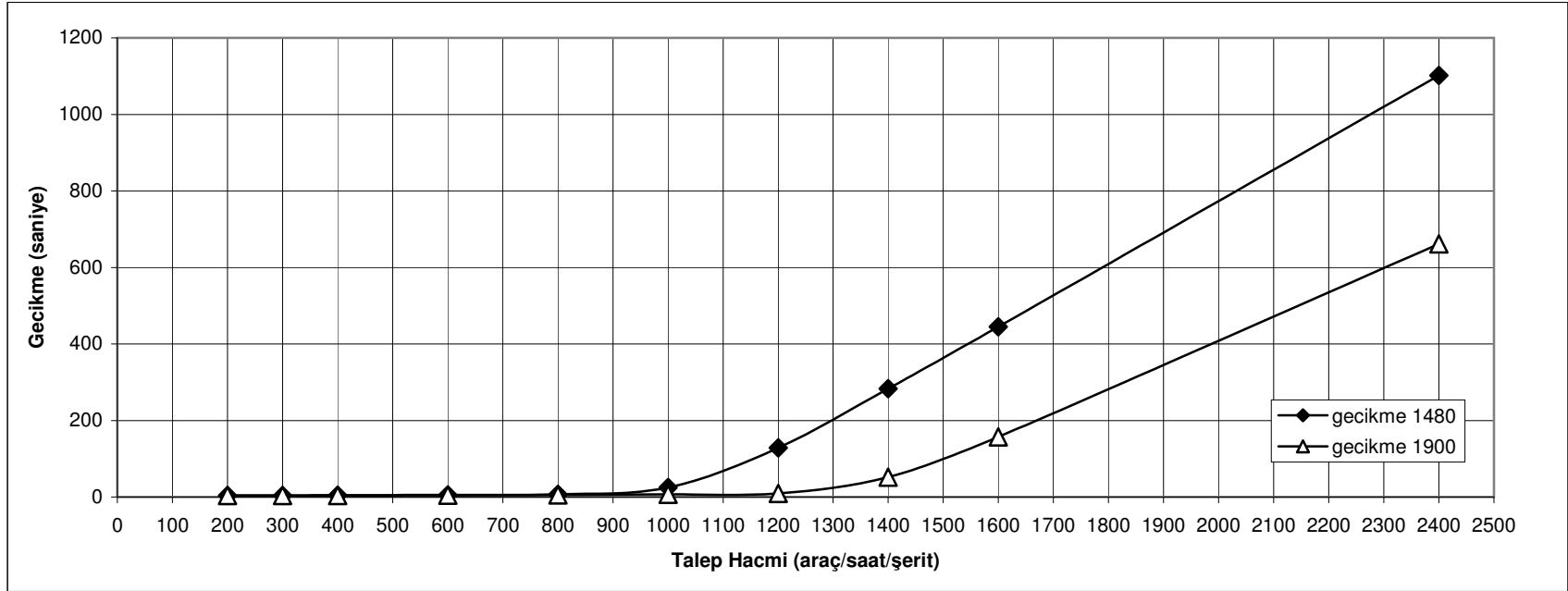


Şekil 5.12 ve 5.13 incelendiğinde düşük hacim koşulları için yapılan hesaplamalarda doymun akım değerinin gecikme ve kuyruk uzunluğu değeri üzerinde pek fazla etki yaratmadığını ve yaklaşık aynı sonuçları verdiği görülmüştür. Ancak hacim değerinin 1000 araç/saat/şerit değeri geçtiği durumlarda, gecikme ve kuyruk uzunluğu değeri ciddi farklılaşmalar oluşmaktadır. Doymun akım değerinin 1480 araç/saat olması durumunda şerit kapasitesine çok daha önce erişmekte ve gecikme değeri de o oranda büyümektedir. Şekil 5.14’de doymun akımın 1480 araç/saat ve 1900 araç/saat değeri için hesaplanan gecikme değeri oranları ve doymunluk derecesi arasındaki ilişki gösterilmiştir.

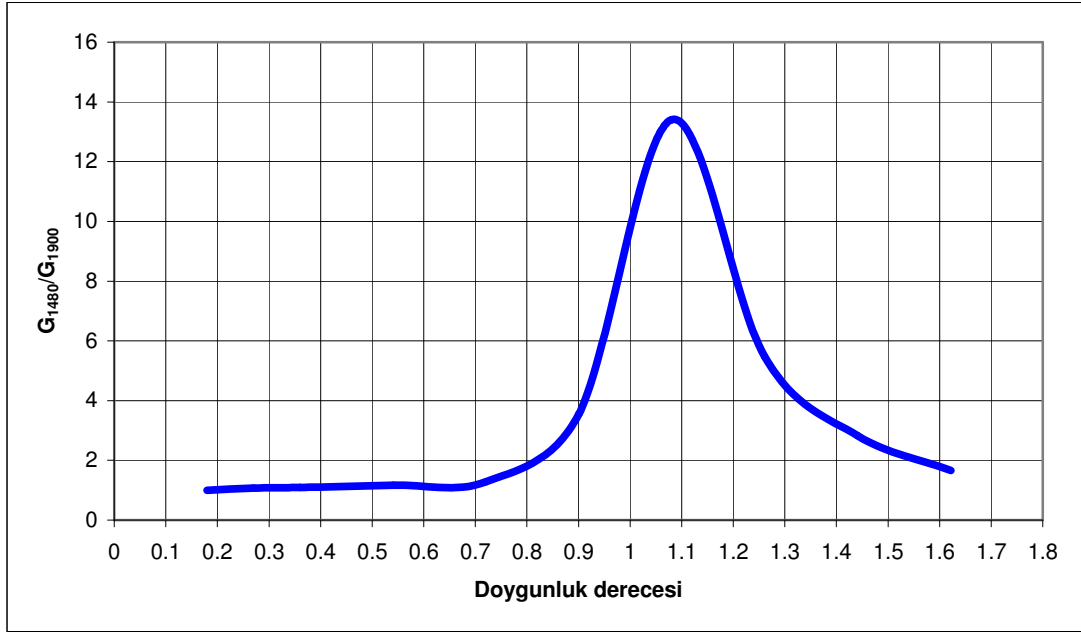


Şekil 5.12 Doymun akım miktarının 1480 araç/saat ve 1900 araç/saat olması durumları için kuyruk uzunluğu değeri

Doymun akım değerinin düşük olması beraberinde kapasite değerin de daha düşük olması sonucunu doğurmaktadır. Buna bağlı olarak Şekil 5.14’de de görülebileceği gibi düşük doymun akım koşullarında (düşük şerit kapasitesi durumu) şerit doymunluk derecesine çok daha önce erişmekte ve doymun durumdan sonra düşük kapasitedeki şerit için gecikme değeri çok daha hızlı büyümektedir.



Şekil 5.13 Doygun akım miktarının 1480 araç/saat ve 1900 araç/saat olması durumları için gecikme değerleri

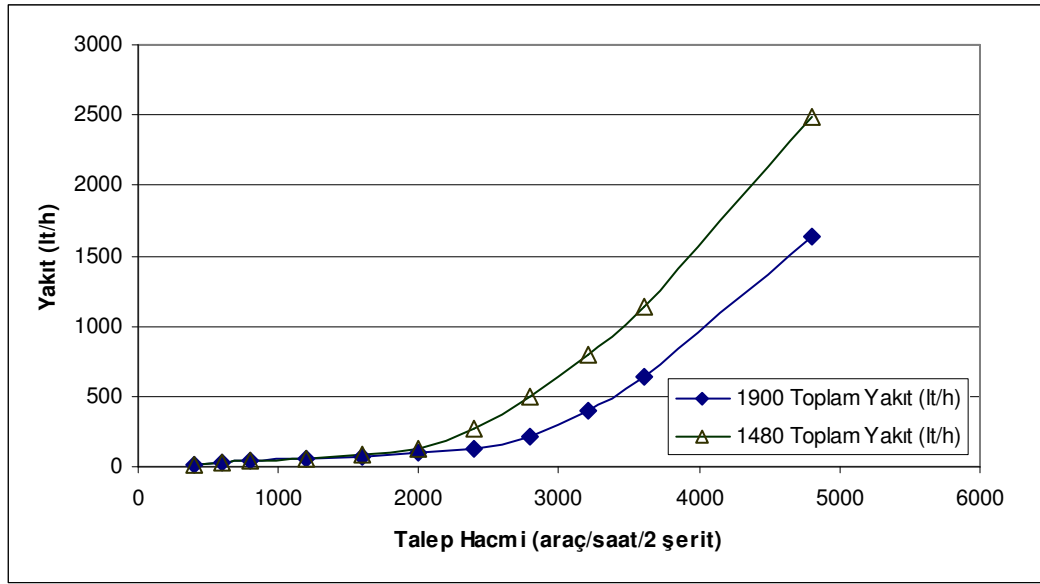


Şekil 5.14 Doğunluk akımının 1480 araç/saat ve 1900 araç/saat değerine bağlı olarak elde edilen gecikme değeri oranları ile doğunluk derecesi arasındaki ilişki

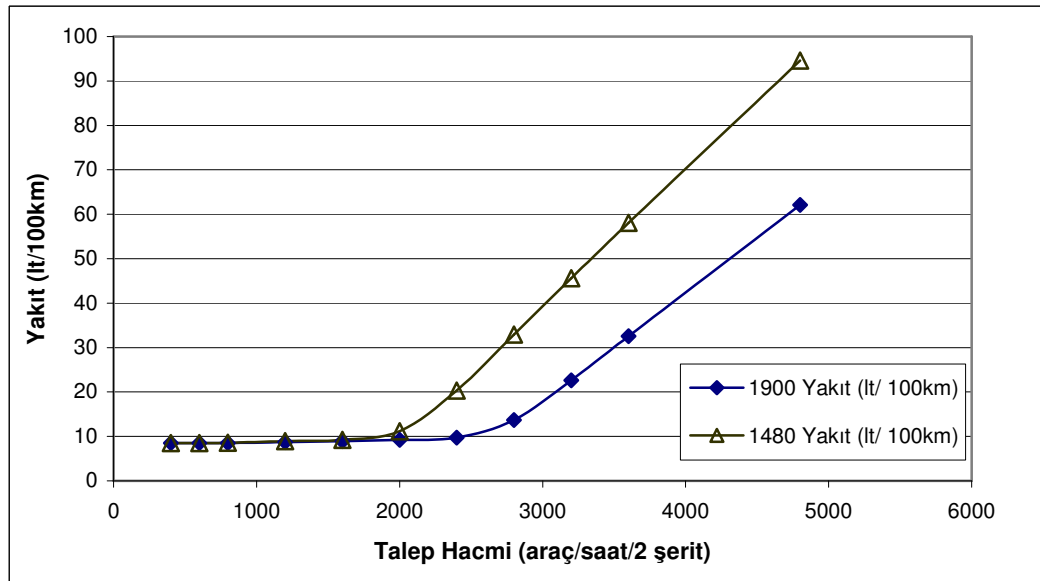
Doğunluk akım değerinin kavşak performansı açısından incelenmesi amacıyla yapılan çalışmanın ikinci aşamasında SIDRA analiz yöntemi kullanılarak kavşak bazında elde edilen yakıt tüketim masrafları ve emisyon salınım değerleri hesaplanmıştır.

Doğunluk akım değerine bağlı olarak elde edilen yakıt tüketim miktarları Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde doğunluk akım değerinin gecikme ve kuyruk uzunluğu süreçlerinde olduğu gibi düşük hacim değerlerinde yakıt tüketimi açısından herhangi bir farklılık yaratmadığını ancak talep miktarının arttığı durumda doğunluk akım değerine bağlı olarak yakıt tüketim miktarlarının büyük oranda farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

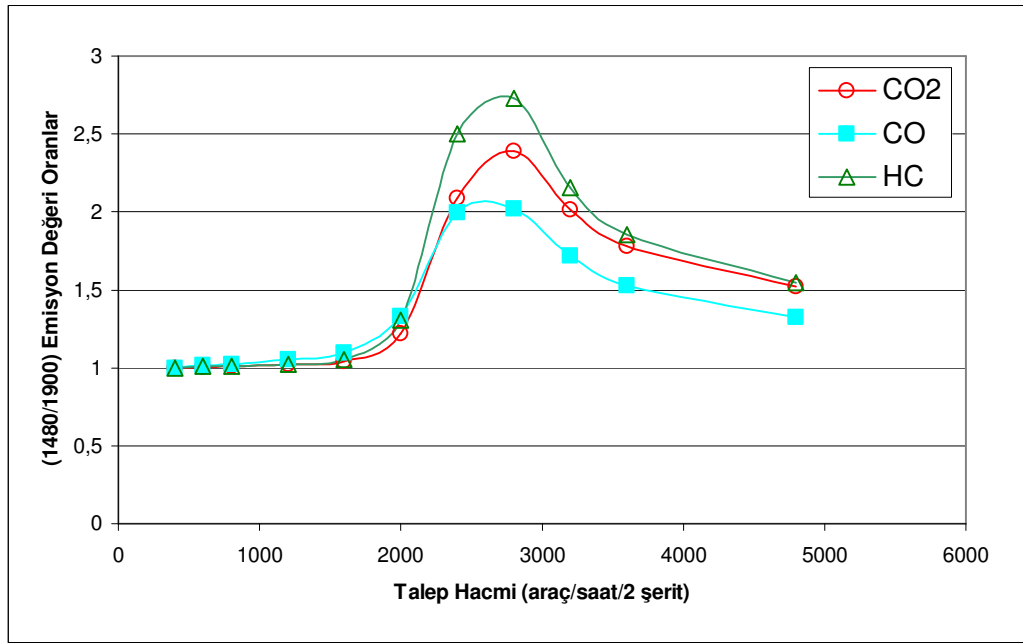


Şekil 5.15 Doygun akım değerine bağlı olarak hesaplanan yakıt tüketim miktarları



Şekil 5.16 Doygun akım değerine bağlı olarak hesaplanan yakıt tüketim miktarları

Şekil 5.17’de doygun akımın 1480 araç/saat ve 1900 araç/saat değerlerine karşılık hesaplanan insan ve çevre sağlığı açısından tehlikeli bazı gazların salınım oranları verilmiştir. İncelenen emisyon oranlarının incelenen diğer parametrelerde olduğu gibi talep miktarının düşük değerlerinde birbirine çok yakın seyrettiği ancak hacim değerinin artmasıyla değerler arasındaki farkın büyük oranda açıldığı görülmektedir.



Şekil 5.17 Doygun akım oranına bağlı olarak emisyon salınım oranları



## BÖLÜM ALTI

### SONUÇ

Bu çalışmada, sinyalizasyondan ayrılan araçların takip aralıkları incelenmiş ve uygun oldukları dağılımlar araştırılmıştır. Sinyalden ayrılarak belirli bir mesafe kat eden araçlar arasındaki serbest araç oranı modellenmeye çalışılmıştır. Elde edilen modeller sinyalizasyon sistemine yakın yerleşik bir yanyol bağlantısının kapasitesini belirlenmek amacıyla kullanılmıştır.

Sinyal dur-çizgisinde araçlar arasındaki takip aralıklarını incelemek amacıyla yapılan çalışmalarda doygun takip aralığı değeri belirlenmeye çalışılmış ve inceleme yapılan kavşakları temsil ettiği düşünülen doygun akım değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan doygun akım değeri SIDRA analiz programı ile değerlendirilip elde edilen farklılıklar vurgulanmaya çalışılmıştır.

Bu genel tespitler ışığında elde edilmiş olan sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Yapılan gözlemlerden elde edilen veriler incelendiğinde sinyalize bir arter üzerinde hareket etmekte olan araçlar arasındaki takip aralığı değerlerinin Cowan M3 dağılımı kullanılarak incelenebileceği düşünülmektedir. Ancak sinyal çıkış noktasındaki araçlar arasındaki takip aralığı değerleri lognormal dağılım ile ifade edilebilmektedir.
- Sinyalden ayrılan araçlar arasındaki serbest araç oranı değerini ifade etmeyi amaçlayan analizlerde serbest araç oranı değerinin hacim değerine yada hacim ve minimum takip aralığı değerlerinin çarpımına göre ifade edilebildiği görülmüştür. Gözlemlerden elde edilen veriler bu bağlamda incelenmiş ve şeritlere bağlı olarak altı farklı model önerilmiştir.

- Sağ şerit için önerilen modellere ait değerler incelendiğinde en uygun modelin hacim ve minimum takip aralığına bağlı olarak önerilen model olduğu belirlenmiştir. Ayrıca önerilen bağıntı Tanner (1962) tarafından verilen bağıntıya son derece benzemektedir. Sol şerit için önerilen modeller incelendiğinde Akçelik yöntemi kullanılarak geliştirilen modelinin en elverişli sonuçları verdiği söylenebilir. Serbest araç oranının yalnızca hacim değerine bağlı olarak incelemesi durumunda üssel modellerin doğrusal modellere kıyasla daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Ayrıca sol şerit için önerilmiş olan üssel bağıntı incelendiğinde Brilon tarafından “6” olarak önerilen A parametresine çok yakın bir değer elde edildiği görülmektedir.
- Özellikle sinyalizasyon sistemine yakın bir yanyol bağlantısı bulunması durumunda, kapasite hesaplarında negatif üssel dağılım ile Cowan M3 dağılımı çok yakın sonuçlar verseler de; Cowan M3 dağılımı trafik akımı hakkında daha tanımlayıcı bilgiler içerdiğinden (serbest araç oranı, minimum takip aralığı değeri gibi) sistemin sağlıklı bir şekilde tanımlanabilmesi açısından tercih edilebilir. Yine de ilk yaklaşım olarak hesap kolaylığı açısından negatif üssel dağılımın kullanılması uygun kabul edilebilir.
- Sinyalize bir arter üzerinde yeralan yanyol katılımı için yapılan analizlerde şerit sayısındaki artışın, kapasite üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Düşük anaakım değerlerinde yanyol sürücülerinin kavşağa girişte daha temkinli davrandıkları söylenebilir. Bu sonuç, anaakımdaki araçların şeritlerdeki dağılımları ve birbirlerini takip aralıklarıyla da yakından ilişkilidir. Diğer yandan anaakımdaki araç sayısı arttıkça, anayoldaki şerit sayısının fazla olmasının, yanyol kapasitesini arttırıcı bir unsur haline dönüştüğü anlaşılmaktadır.
- Sinyal çıkış noktasında yapılan analizlerde sol şeritteki kuyruklarda yer alan ilk araçlar için takip aralığı değerleri sağ ve orta şeritteki ilk sıradaki araçların takip aralıklarına göre daha küçük olduğu belirlenmiştir. Sağ şerit için ilk araç takip aralığı ortalama olarak yaklaşık 3,5 saniye, sol şerit için ilk araç takip aralığı ortalama olarak yaklaşık 3,0 saniye civarındadır.

- Kuyrukta bekleyen araçlar, pozisyon numaralarına göre ele alındıklarında takip aralıklarında (kuyrukta duran ilk araçlar hariç) istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir. Bu durumda kuyrukta bekleyen bütün araçların takip aralıklarını kullanarak doygun akım değerinin belirlenmesinin doğru olduğu düşünülmektedir. Yapılan analizlerde 2,433 saniye değerinin incelenen kavşaklar için ortalama doygun takip aralığı olarak kullanılabileceği ve saatlik doygun akım değerinin 1480 araç/saat olduğu belirlenmiştir.
- Elde edilen doygun akım değerinin etkilerinin araştırılması amacıyla yapılan analizlerde düşük doygun akım durumlarında şeritlerin kapasitesine çok daha önce eriştiği ve özellikle yüksek hacim koşullarında gecikme ve kuyruk uzunluğu değerlerinin katlanarak büyüdüğü belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akçelik, R. (1981). Traffic signals: capacity and timing analysis. *Australian Road Research Board*, Research Report 123.
- Akçelik, R. (1982). *Traffic signal: capacity and timing analysis, Report No: 123*. Victoria: Australian Road Research Board.
- Akçelik, R. (1998). *Roundabouts: capacity and performance analysis, ARRB research report ARR 321*. ARRB: Vermont, Australia.
- Akçelik, R. (2003). *Speed-flow and bunching relationships for uninterrupted flows*. In Proceedings of 25th Conference of Australian Institute of Transportation Research (CAITR 2003), University of South Australia, Adelaide, Australia.
- Akçelik, R., Besley, M., & Roper, R. (1999). Fundamental relationships for traffic flows at signalized intersections. *ARRB Transportation Research Ltd.*, Research Report ARR 340.
- Akçelik, R., & Chung, E. (1994). Calibration of the bunched exponential distribution of arrival headways. *Road & Transport Research*, 3, 42-59.
- Akova, M. (1979). *Kavşak sinyalizasyon hesabında duruş, kalkış ve boşaltma koşullarının etkisi, hesap yöntemleri ve ülkemiz gerçeklerine uygun yöntem araştırılması*. Doktora tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Ayfer, M. Ö. (1977). *Trafik sinyalizasyonu*. Ankara: Bayındırlık Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü.
- Bester, C. J., & Meyers, W. L. (2007). *Saturation flow rates*. In Proceedings of the 26<sup>th</sup> Southern African Transport Conference (560-568), Pretoria.

- Branston, D., & Gipps, P. (1981). Some experiences with a multiple regression method of estimating parameters at the traffic departure procedure. *Transportation Research Part A*, 15 (6), 445-458.
- Carstens, R. L. (1971). Some traffic parameters at signalized intersection. *Traffic Engineering*, 41, (11), 33-36.
- Cowan, R. C. (1975). Useful headway models. *Transportation Research*, 9, 371-375.
- Çalışkanelli, S. P. (2006). *Yakın mesafeli sinyalize kavşaklarla kontrolsüz kavşak etkileşimleri*. Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Çalışkanelli, S. P., & Tanyel, S. (2010). Investigation of vehicle bunching at signalized arterials in Turkey. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37 (3), 380-388.
- Dawson, R. F., & Chimini, L. A. (1968). The Hyperlang probability distribution: a generalized traffic headway model. *Highway Research Record*, 230, 1-14.
- Fessman, V. (1997). *Unsignalized intersection simulation model INTERSIM*. In the Proceedings of Third International Symposium on Intersections Without Traffic Signals (88-99). Portland, Oregon.
- Gedizlioğlu, E. (1979). *Denetimsiz kavşaklarda yanyol sürücülerinin davranışlarına göre pratik kapasite saptanması için bir yöntem*. Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Gedizlioğlu, E.(2002). *Trafik yönetimi ders notları*. İstanbul.
- Greenshields, B. D., Schapiro, D., & Ericksen, E. L. (1947). *Traffic performance at urban intersections*. Saugatuck, Conn.: Eno Foundation for Highway Traffic Control.

- Hagring, O. (1996). The use of Cowan M3 distribution for modelling roundabout flow. *Traffic Engineering & Control*, 37 (5), 328-332
- Hagring, O. (1998). *Vehicle-vehicle interactions at roundabouts and their implications for the entry capacity*, Bulletin 159. Lund: Department of Traffic Planning and Engineering.
- Huber, M.J. (1982). Traffic Flow Theory. *Transportation and Traffic Engineering Handbook*, pp. 437-469 Institute of Transportation Engineers, Prentice Hall, New Jersey.
- Inose, H., & Hamada, T. (1975). *Road traffic flow*. Tokyo: University of Tokyo.
- Joseph, J., & Chang, G. L. (2005). Saturation flow rates and maximum critical lane volumes for planning applications in Maryland. *Journal of Transportation Engineering, ASCE 131* (12), 946-952.
- Kimber, R. M. (1980). *The traffic capacity of roundabouts*. TRRL Laboratory Report 942. Crowthorne, Berkshire, UK: Transport and Road Research Laboratory.
- Kimber, R. M., McDonald, M., & Hounsell, N. B. (1986). *The prediction of saturation flows for road junctions controlled by traffic signals*, TRR Research Report 67. Crowthorne, Berkshire: Transport and Road Research Lab.
- Kutlu, K. (1964). *Trafik tekniği*. İstanbul: İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Lee, J., & Chen, R. L. (1986). Entering headway at signalized intersections in a small metropolitan area. *Transportation Research Record 1572*, 24-32.
- Lin, F. B., & Thomas, D. R. (2005). Headway compression during queue discharge at signalized intersection. *Journal of the Transportation Research Board*, 1920, 81-85.

- Lin, F. B., & Tseng, P. Y. (2005). Fallacies and implications of conventional saturation flow model of queue discharge behavior at signalized intersections. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 1610-1623.
- Lu, Y. J. (1984). A study of left-turning maneuver time for signalized intersections. *ITE Journal*, 58 (10), 42-47.
- Luttinen, R. T. (1996). *Statistical analysis of vehicle time headways*. Teknillien korkeakoulu, Liikennetekniikka. Julkaisu. Otaniemi.
- May, A. D. (1990). *Traffic Flow Fundamentals*, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Molina, C. J. (1987). Development of passenger car equivalences for large trucks at signalized intersections. *Intelligent Transportation Engineering Journal*, 19, 42-65.
- Murat, Y. Ş. (1996). *Denizli şehiriçi kavşaklarındaki trafik akımlarının bilgisayarla incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi.
- Murat, Y. Ş. (2001). *Sinyalize kavşaklarda bulanık mantık tekniği ile trafik uyumlu sinyal devre modeli*. Doktora tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Nıttymaki, J., & Pursula, M. (1996). Saturation flows at signal-group-controlled traffic signals. *Transportation Research Record 1572*, Paper No: 970233.
- Parker, M. T. (1996). The effect of heavy goods vehicles and following behaviour on capacity at motorway roadwork sites. *Traffic Engineering Control*, 37, 524-531.
- Perez-Cartagena, R. I., & Tarko, A. P. (2005). Calibration of capacity parameters for signalized intersections in Indiana. *Journal of Transportation Engineering, ASCE*, 134 (12), 904-911.

- Plank, A. W. (1982). The capacity of a priority intersection-two approaches. *Traffic Engineering and Control*, 23 (2), 88–92.
- Rahman, M. M., Ahmed, S. N., & Hassan, T. (2005). *Comparison of saturation flow rate at signalized intersections in Yokohama and Dhaka*. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5, 959-966.
- Rahman, M. M., Hasan, T., & Nakamura, F. (2008). Development of professional driver adjustment factors for the capacity analysis of signalized intersections. *Journal of Transportation Engineering, ASCE* 134 (12), 532-536.
- Sönmez, C. (2005). *Sinyalize kavşaklarda trafik akımının modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Sullivan, D. P., & Troutbeck, R. (1994). The use of Cowan's M3 distribution for modeling urban traffic flow. *Traffic Engineering & Control*, 35 (7/8), 445-450.
- Sullivan, D. P., & Troutbeck, R. (1997) An exponential relationship for the proportion of free vehicles on arterial roads. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 31 (1): 21–33.
- Taekratok, T. (1998). *Modern roundabouts for Oregon*. Salem, Oregon: Oregon Department of Transportation Research Unit.
- Tanner, J. C. (1962). A theoretical analysis of delays at an uncontrolled intersection,. *Biometrika*, 49 (1-2), 163-170
- Tanyel, S. (2001). *Türkiye'deki dönel kavşaklar için kapasite hesap yöntemi*. Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.



- Tarko, A. P., & Tracz, M. (2000). *Uncertainty in saturation flow predictions*. Transportation Research Circular E-C018: 4<sup>th</sup> International Symposium on Highway Capacity, 310-321.
- Telpey, S., Allingham, D. I., Richardson, D. B., & Stephenson, B. W. (1995). *Canadian capacity guide for signalized intersections*. District 7, Toronto: Canadian Institute of Transportation Engineers.
- Telpey, S., & Jones, A. M. (1991). Saturation flow: do we speak the same language? *Transportation Research Record, 1320*, 144-153.
- Tong, H. Y., & Hung, W. T. (2002). Neural network modelling of vehicle discharge headway at signalized intersection: model descriptions and results. *Transportation Research Part A, 36*, 17-40.
- Transportation and Road Research Laboratory (1963). *A method of measuring saturation flow at traffic signals*. London: Road Note No. 34
- Transportation Research Board (1997). *Special report 209: highway capacity manual*, Washington, D.C: National Research Council.
- Transportation Research Board (TRB). (2000). *Highway capacity manual*. Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.
- Troutbeck, R. (1991). *Unsignalized intersections and roundabouts in Australia: recent developments*. In Proceedings of Intersections Without Traffic Signals II (238-257), Bochum, Germany.
- Troutbeck, R. (1998). *The capacity of a limited priority merge*. Physical Infrastructure Centre Research Report 98-4, Brisbane, Australia: Queensland University of Technology, School of Civil Engineering.

Troutbeck, R., & Brilon, W. (1995). *Unsignalized intersection theory*, in *Traffic Flow Theory: A State of Art Report* (8.1–8.44), Eds. Gartner, N., Messer, C.J & Rathi, A. K.

Tunç, A. (2003). *Trafik mühendisliği ve uygulamaları*. Ankara: Asil Yayın Dağıtım.

Varlıorpak, Ç. (2003). *Trafik I ders notları*. İzmir.

Vitoşoğlu, Y., Güler, H., & Alpkokin, P. (2004). *Use of TRANSYT's platoon dispersion model in assesing the impact of headway control on some performance measures*. In *Proceedings of 6<sup>th</sup> International Congress on Advances in Civil Engineering (1888-1898)*, İstanbul.

Webster, F. V., & Cobbe, B. M. (1966). *Traffic signals, Road Research Technical Paper No. 56*. London: Her Majesty's Stationary Office.

Wilshire, R.L. (1992). *Traffic signals*. In *Traffic enginnering handbook* (278-309), Institute of Transportation Engineers. New Jersey: Prentice Hall.

Yayla, N. (2004). *Karayolu Mühendisliği*. İstanbul: Birsen Yayınevi