

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

**OTOBÜSLERİN SİNYALİZE KAVŞAKLARIN**  
**KAPASİTESİNE ETKİLERİNİN**  
**MODELLENMESİ**

**Kiarash GHASEMLOU**

**Haziran, 2012**

**İZMİR**

**OTOBÜSLERİN SİNYALİZE KAVŞAKLARIN  
KAPASİTESİNE ETKİLERİNİN  
MODELLENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı**

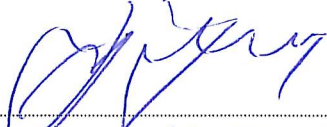
**Kiarash GHASEMLOU**

**Haziran, 2012**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

KİARASH GHASEMLOU, tarafından DOÇENT DR. Ali TOPAL yönetiminde hazırlanan “OTOBÜSLERİN SİNYALİZE KAVŞAKLARIN KAPASİTESİNE ETKİLERİNİN MODELLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

  
Doç.Dr. Ali TOPAL


Danışman

  
Doç.Dr. Serhan TANYEL

Jüri Üyesi

  
Doç.Dr. Zeki KIRAL

Jüri Üyesi

  
Prof.Dr. Mustafa SABUNCU  
Müdür  
Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlık aşamasında değerli bilgi birikimi ve önerilerinden yararlandığım, çalışmamın oluşmasında büyük katkısı olan danışmanım Doç. Dr. Ali TOPAL'a yardımları için en derin teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda tezimin her aşamasında beni yönlendiren ilgi ve desteğinin hiçbir zaman esirgemeyen Doç. Dr. Serhan TANYEL'e ve bana emeği geçen ve manevi desteklerinden dolayı Doç. Dr. Burak ŞENGÖZ, Arş.Gör. Dr. Mustafa ÖZUYSAL, Arş.Gör Dr. Pelin ÇALIŞKANELLİ, Yrd. Doç. Dr. Mahmut YILDIRIM ORAL ve Yrd. Doç. Dr. Umay Zeynep UZUNOĞLU KOÇER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamın özellikle son şekline getirilmesinde benden yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Arş Gör İnşaat. Mühendisi. Metin Mutlu Aydın, İnşaat.Yüksek. Mühendisi. Özlem Ceyhan YİĞİTER, Yrd. Dr. Hüseyin YİĞİTER, İnşaat Mühendisi Işıl ERDEM ve İnşaat. Mühendisi. Alper DERİ'ye gösterdikleri ilgi ve yakınlıktan dolayı teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda bu vasıtaıyla Türkiye'deki arkadaşlarım İnşaat.Yüksek. Mühendisi Çağrı GÖRKEM, İnşaat Mühendisi Peyman AGHAZADEH DOKANDARI, İnşaat Mühendisi. Jülide OYLUMLUOGLU, İnşaat. Mühendisi Amir ONSORİ, Psikolog Tulay YILDIRIM, Psikolog Melis ÖZTÜRK, Psikolog Elvan ARIKAN, Şehir Plancısı Aylin KALPAKCI ve Kimya Mühendisi Saba GHAFOURİ'ye destekleri için teşekkür ederim.

Son olarak her zaman karararıma saygı duydukları ve beni maddi ve manevi olarak destekleyen aileme çok teşekkür ederim.

Kiarash GHASEMLOU

# OTOBÜSLERİN SİNYALİZE KAVŞAKLARIN KAPASİTESİNE ETKİLERİNİN MODELLENMESİ

## ÖZ

Trafik akımına ağır araçların da katılmasıyla, akım içerisindeki araçlar arasındaki olumsuz etkileşimler kavşaklarda kapasitenin ve hizmet düzeyinin düşmesi gibi sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle şehir içi trafiğin bir parçası olan otobüslerin diğer araçlar ile olan etkileşimleri bir yana, trafik akımı içerisinde yolcu bindirme ve indirme amacı ile durmaları akım karakteristiklerinin değişmesine sebep olmaktadır. Kavşakların trafik koşullarına uygun şekilde düzenlenmesi ve/veya sinyalizasyon sistemlerinin etkin olarak saptanabilmesi için ağır araç hareketlerinin ve etkilerinin incelenmesi gereği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada şehir içi sinyalize kavşaklarda ağır araç olarak tanımlanan otobüslerin sinyalize kavşaklar üzerindeki etkisi, eşdeğer otomobil birimi (PCE) ve sinyalize kavşaklara yakın duraklarda otobüsün durması sebebiyle oluşturdukları etki açısından aralık oranı yöntemi (HR) yönünden incelenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda ağır araç düzeltme faktörü için yeni bir model oluşturulmuş ve aynı zamanda otobüs durak etkisi de iki açıdan değerlendirilmiştir. Bunlar sırası ile HCM yer alan otobüs engelleme düzeltme faktörü ve onun parametresi olan otobüs engelleme süresi olmaktadır. Elde edilen sonuçlar yolcu talebi, durak ve yol genişliğinin de engelleme süresi içersine dahil edilmelerinin gerektiğini göstermiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Ağır araç düzeltme faktörü, sinyalize kavşakların kapasitesi, otobüs durakları.

# **MODELLING THE EFFECT OF BUSES ON SIGNALIZED INTERSECTION CAPACITY**

## **ABSTRACT**

Passenger car equivalents are used to represent the varying effects of mixed vehicle types such as buses on saturation flows by converting a traffic stream comprising of various vehicle types into an equivalent traffic stream comprising entirely of passenger cars (PCE). However Buses do not necessarily have the same effects as trucks in urban facilities. Buses stopping to load and unload passengers are expected to produce longer delays. According to Highway Capacity Manual (HCM), if there is a bus stop which is close to a signalized intersection, a correction factor is used for calculating the capacity of this signalized intersection.

This study is focused on the operational non-operational performance of buses and quantifies their impacts in traffic streams, particularly at signalized intersections in urban areas. The methodologies presented in this study are based on headway ratio (HR) for evaluating PCE and bus blockage factor for signalized intersections.

**Keywords:** Bus blockage factor capacity of signalized intersection, heavy vehicle, bus.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZ SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BÖLÜM BİR – GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.2 Çalışma Planı .....	3
<b>BÖLÜM İKİ – TRAFİK VE SİNYALİZE KAVŞAKLAR HAKKINDA</b>	
<b>GENEL BİLGİ .....</b>	<b>5</b>
2.1 Trafik Akımı ve Genel Özellikleri .....	5
2.2 Trafik Akım Modelleri .....	7
2.3 Sinyalize Kavşaklar .....	10
2.3.1 Sinyalizasyon Sistemlerinin Gerekliliği .....	12
2.4 Sinyalizasyon Sistemleri .....	13
2.4.1 İzole Sinyalizasyon Sistemleri.....	14
2.4.1.1 Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi .....	14
2.4.1.2 Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi .....	15
2.4.1.2.1 Yarı-Trafik Uyarmalı Sistemler .....	15
2.4.1.2.2 Tam-Trafik Uyarmalı Sistemler .....	15
2.4.1.3 Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi .....	15
2.4.1.4 El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi.....	16
2.4.2 Koordine Sinyalizasyon Sistemleri.....	16
2.4.2.1 Senkronize (Eş Zamanlı) Sistem .....	18
2.4.2.2 Progresif (Kesintisiz) Sistemler .....	19

2.4.2.3 Alternatif Sistem .....	20
2.4.2.4 Bölge Trafik Kontrol Sistemi.....	21
2.5 Otobüs Duraklarının Özellikleri ve Tipleri .....	21
2.5.1 Otobüs Duraklarının Şekillendirilmesi ve Fiziki Özellikleri.....	22
2.5.2 Otobüs Durakları Türk Standardı ve Yurt Dışındaki Uygulamalar.....	25
2.5.2.1 Bölünmemiş Yollardaki Durak Yerleri .....	26
2.5.2.2 Kavşak Giriş Kolundaki Duraklar .....	26
2.5.2.2.1 Işık Kontrollü (Sinyalize) Kavşaklardaki Duraklar	
Işık kontrollü .....	27
2.6.2.2.2 Otobüs Öncelikli Işık Kontrollü ( Sinyalizasyonlu )	
Kavşaklardaki Duraklar .....	28
2.6.2.2.3 Kavşak Çıkış Kolundaki Duraklar .....	28
2.6.2.2.4 Üç Kollu Kavşaklardaki Durak Yerleri .....	27
2.6.2.2.5 Yeşil Dalga Sistemindeki Durak Yerleri.....	29
2.6.2.2.6 Türkiye Dışındaki Ülkelerde Kavşak ve Otobüs Durak	
Yerleri İlişkisi .....	29
<b>BÖLÜM ÜÇ – KAPASİTE VE DOYGUM AKIM HESABI.....</b>	<b>33</b>
3.1 Kapasitenin Hesaplanması .....	33
3.2 Doymuş Akım .....	33
3.2.1 Doymuş Akım Hesap Yöntemleri .....	36
<b>BÖLÜM DÖRT – OTOBÜSLERİN SİNYALİZE KAVŞAKLAR</b>	
<b>ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ .....</b>	<b>39</b>
4.1 Ağır Araç Etkisi Olarak Ele Alınması Durumu .....	39
4.1.1 Webster Yöntemi .....	41
4.1.2 Regresyon Yöntemi .....	42
4.1.3 Aralık Oranı Yöntemi (Headway Ratio Method:HR.....	44
4.1.4 Highway Capacity Manual Yöntemi .....	46
4.1.5 D-PCE (Gecikmeye Dayalı Eşdeğer Otomobil Birimi) Yöntemi.....	48



4.1.6 Geliştirilmiş Zaman Cinsinden Aralık Oranı (Hr) Olasılık Yöntemi .....	52
4.2 İşletme Karakteristiklerinin Ele Alınması Durumu.....	53
4.2.1 Highway Capacity Manual (HCM) Yöntemi .....	54
4.2.2 Hücresel Otomasyon Yöntemi .....	55
4.2.3 Rodriquez-Seda Ve Benkkohal Yöntemi.....	58
4.2.4 Wong v.d. Yöntemi.....	60
4.2.5 Holt ve Fetter çalışması .....	61
4.2.6 Genişletilmiş HCM Yöntemi .....	63
4.2.6.1 Engellenme Süresi.....	70
4.2.6.1.1 İvmelenme /Ters ivmelenme Gecikme Süresi.....	70
4.2.6.1.2 Otobüs Durma Süresi(Dwell time).....	70
<b>BÖLÜM BEŞ – GÖZLEM VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ .....</b>	<b>75</b>
5.1 Araçların Kavşaktan Geçerken Takip Aralıkları.....	75
5.2 Otobüslerin Durakta Bekleme Süreleri .....	78
5.3 Durakta Otobüs Olma ya da Olmama Durumuna Ait Akım Özellikler .....	79
<b>BÖLÜM ALTI – KULLANILAN VERİLER DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>	<b>83</b>
6.1 Genişletilmiş Yeni Aralık Yöntemine Bağlı Ağır Araç Oranı Etkisinin Belirlenmesi.....	83
6.2 Otobüs Bekleme Süresinin Analizi .....	86
6.3 Otobüs Engelleme Modelinin Parametrelerinin Hesaplanması.....	90
<b>BÖLÜM YEDİ-OTOBÜS ENGELLME ETKİSİNİN AİMSUN BENTEZİM PROGRAMI KULLANILARAK İRDENLENMESİ .....</b>	<b>94</b>
<b>BÖLÜM SEKİZ- SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>98</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>100</b>

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Türkiye gibi özel araç kullanımının fazla olduğu aynı zamanda toplu ulaşımın (taşıma) çok fazla gelişmediği ülkelerde trafik sıkışıklığı, çevre kirliliği, fazla yakıt tüketimi gibi olumsuz etkileri meydana gelmektedir. Bu nedenle toplumu yaygın bir şekilde toplu taşıt kullanımına teşvik etmek için toplu taşıma sistemlerine yatırım yapmak aynı zamanda sistemin özelliklerini doğru bir şekilde tanımak gerekmektedir.

Toplu taşıma sistemlerinin önemli bir parçası da otobüs taşımacılığıdır. Bu sistemin yarattığı etki hem toplu ulaşım yönünden hem de trafik açısından tanımlanması çok büyük bir önem taşımaktadır. Otobüsler duraklarda ve sinyalize kavşaklarda diğer araçlara göre farklı davranışlara sahiptirler. Bu durum, diğer araçların da farklı davranış göstermelerine sebep olmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında, sinyalize kavşaklar açısından otobüs ve otobüs duraklarının trafik akımı üzerinde meydana getirdiği etkiler irdelenmeye çalışılmıştır. Bu irdeleme araç takip modelleri yardımı ile değerlendirilmiştir. Aynı zamanda toplu ulaşımında kullanılan otobüslerin, duraklarda durmak üzere yaptıkları hız değişiminin trafik akımı üzerindeki etkisi araştırılmaya çalışılmıştır. Öncelikle, araç takip aralıkları yönünden yeni bir yöntem kullanılarak, otobüslerin doygun akım üzerindeki etkisi İzmir ilindeki kavşaklardan elde edilen çekim verileri yardımı ile hesaplanmaya çalışılmıştır. Daha sonra, sinyalize kavşağa yakın otobüs duraklarının, otobüslerin duraklarda durması nedeniyle akımda meydana getirdiği kesinti ve engellemenin, Dwell time ve durağın sinyalize kavşaktan uzaklığı yönünden İzmir İli'ndeki kavşaklardan elde edilen çekim verileri ile otobüs duraklarına ait binen/inen yolcu verileri yardımı ile hesaplanmaya çalışılmıştır.

İnsan hayatındaki en önemli faktörlerden biri de ulaşım"dır. Ulaşımın gelişimi, insanlığın kültürel ve teknik etkileşimlerinin gelişmesiyle paralellik göstermektedir. Nüfus artışı ile beraber araç sayısı ve trafik problemleri de artmaktadır.

Bu yüzden, trafikte oluşan bu problemlerin, insanların sağlığı ve düzenli bir yaşam sürdürebilmeleri için çözüme ulaştırılma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bölgemizde nüfus artışı ile birlikte ulaşım talebinin artması sonucu, araç sayısında belirgin bir artış görölmektedir. Ayrıca, yolculuk talepleri özellikle şehir içlerinde otobüsler ve bazen de minibüsler ile karşılanmaktadır. Ancak, şehirlerde özellikle zirve saatlerde, karayolu trafiğinde sıkışıklıklar ve tıkanmalar yaşanmakta olup, bu durum kavşaklarda daha net olarak görölmektedir. Farklı yönlerde akmakta olan trafik akımlarının ortak olarak ve sıra ile kullanmak zorunda oldukları sinyalize kavşaklardaki akımlar, trafiğin belirli aralıklarında durması gerekmektedir. Yoğun akım koşulları sebebiyle hızları oldukça düşük gösteren trafik akımlarının kesiştiği sinyalize kavşaklarda tıkanmaların ve gecikmelerin olması kaçınılmaz hale gelmektedir. Trafikteki araç kompozisyonu içinde yer alan araçların (otomobil, otobüs, kamyon, vb.) oranı ve sistem içerisindeki davranışları kavşakların kapasitelerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Trafik akımına ağır araçların da katılmasıyla, akım içerisinde araçlar arasındaki olumsuz etkileşimler kavşaklarda kapasitenin düşmesi, hizmet düzeyinin düşmesi gibi sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle şehir içi trafiğin bir parçası olan otobüsler diğer araçlar ile etkileşimleri bir yana trafik akımı içerisinde yolcu bindirme ve indirme amacı ile durmaları, akım karakteristiklerinin değişmesine sebep olmaktadır. Kavşakların trafik koşullarına uygun şekilde düzenlenmesi ve/veya sinyalizasyon sistemlerinin etkin olarak saptanabilmesi için, ağır araç hareketlerinin ve etkilerinin incelenmesi gereği ortaya çıkmaktadır.

## **1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Bu çalışmada şehir içi sinyalize kavşaklarda ağır araç olarak tanımlanan otobüslerin sinyalize kavşaklar üzerindeki etkisi, eşdeğer otomobil birimi (EBO) ve sinyalize kavşaklara yakın duraklarda otobüsün durması sebebiyle oluşturdukları etki açısından incelenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda ağır araç düzeltme faktörü için yeni bir model oluşturulmuştur. Aynı zamanda otobüs durak etkisi de iki açıdan değerlendirilmiştir. Bunlar sırası ile HCM2010'da yer alan otobüs engelleme

düzeltilme faktörü (Fbb) ve onun parametresi olan otobüs engelleme süresi olmaktadır. Aynı zamanda diğer araştırmacıların elde ettikleri verilerden de model parametrelerinin hesaplanmasında yararlanılmıştır. Bunun yanı sıra video çekimleri vasıtası ile elde edilen veriler de bu amaçla kullanılmıştır.

## 1.2 Çalışma Planı

İçerik olarak çalışmanın ilk bölümünde genel bilgiler verilerek çalışmanın amacından söz edilmiştir. Tez çalışmasının ikinci bölümünde, trafik akımı ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve şehir içi trafik yönetiminde kullanılan kavşak türleri genel hatları ile tanıtılmıştır. Ayrıca otobüs durak özellikleri ayrıntılı bir şekilde verilmeye çalışılmıştır.

Üçüncü bölümde, sinyalize kavşakların verim ve kapasitelerinin belirlenmesinde etken olan parametreler tanıtılmıştır. Özellikle Birleşik Devletler yol kapasitesi el kitabının (HCM, Highway Capacity Manual 2010) önerdiği sinyalize kavşakların hesaplanması amacı ile kullanılan parametrelerden bahsedilmiştir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde, otobüslerin sinyalize kavşakların kapasiteleri üzerindeki etkileri iki faktör açısından araştırılmıştır. Birincisi, otobüslerin otomobillerle etkileşimleri sonucunda sinyalize kavşak kapasitesi üzerinde oluşturdukları kapasite kaybı ve kapasite kaybının, eşdeğer otomobil birimi olarak hesaplanması amacı ile kullanılan yöntemler tanıtılmıştır. Ayrıca bu etkinin daha doğru belirlenmesi amacı ile yeni bir model oluşturulmuştur. İkinci faktör olarak, otobüslerin sinyalize kavşaklara yakın duraklarda durmaları sonucunda kapasitesinde oluşturdukları kapasite kaybı incelenmiştir. Bu etkinin belirlenmesi amacı ile yapılan bazı çalışmalar anlatılmıştır. Ayrıca bu faktörün kapasite hesaplanması için HCM(2010)'da önerilen model geliştirilerek yeni bir model üretilmiş ve bu modele ait parametreler tanıtılmıştır. Özellikle bu parametreler arasında büyük öneme sahip olan "otobüs durma süresi" ayrıntılı olarak incelenmiş olup, bu parametrenin hesaplanması amacı ile önerilen yöntemler anlatılmıştır.

Tez çalışmasının beşinci bölümünde, modellerde kullanılan veriler tanıtılmıştır. Ayrıca bu verilerin elde edilme biçimleri ve ait oldukları bölgeler de tanıtılmıştır.

Altıncı bölümde, kullanılan veriler değerlendirilerek, kurulan modellere ait parametreler hesaplanmıştır ve önerilen modellerin sonuçları, gözlemlerden elde edilen sonuçlar ile HCM'nin önerdiği modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yedinci bölümde ise modellerin karşılaştırılmasından elde edilen sonuçlar açıklanmış ve modellerin zayıf noktaları gösterilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, gelecekte bu konuda yapılacak çalışmalar için de önerilerde bulunulmuştur.

## **BÖLÜM İKİ**

### **TRAFİK VE SİNYALİZE KAVŞAKLAR HAKKINDA GENEL BİLGİ**

Sinyalize olmayan kavşaklarda olduğu gibi, sinyalize kavşaklarda da trafik akımı içerisinde farklı araç tiplerinin olması kavşak verimini etkilemektedir. Bir otobüs otomobilden daha geniş, daha uzun ve daha ağır olduğu için yaklaşım kolu üzerinde daha büyük bir alan kapladığı gibi, daha ağır hareket etmesi ve kalkış ivmesinin otomobillere nazaran daha düşük olması nedeniyle de trafik akımı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Canseven, 2002). Aynı zamanda, otobüslerin kavşağa yakın duraklarda durması da trafik akımı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Otobüsün durakta durması şişe boynu etkisi yapmakta ve yaklaşım yönünün kapasitesinin azalmasına sebep olmaktadır. Bütün bu faktörler, otobüslerin yol ve sinyal tesis verimine olumsuz etkilerde bulunmasına yol açmaktadır.

Bu bölümde trafik akım modelleri, kavşak ve durak tipleri, özellikleri genel hatları ile Bölüm 4’de değinilen modellerin anlaşılabilmesi amacı ile anlatılmıştır.

#### **2.1 Trafik Akımı ve Genel Özellikleri**

Trafik akımı ( $q$ ), bir şerit üzerinde yolun belirli bir kesitinden, belirli bir zaman aralığında geçen taşıt sayısıdır. Boyutu taşıt/saat-şerit’tir. Bir saatlik trafik akımı, trafik hacmi olarak ifade edilir. Trafik akımının özel değeri, akımın maksimum ( $q_m$ ) değeridir ve bu değer kapasite olarak adlandırılır. Kapasite, hakim yol, trafik ve kontrol şartlarında, bir yolun belirli bir kesitinden bir saat içinde geçirilebilecek en yüksek taşıt sayısı olarak tanımlanır. Trafik akım değişkenleri trafik akımı, akım hızı ve yoğunluktan oluşur (Şahin ve ark., 2004). Trafik akımının ana elemanları aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

- a. Hız ( $u$ ) (km/saat)
- b. Yoğunluk ( $k$ ) (araç/km/şerit)
- c. Hacim ( $q$ ) (araç/saat)

Trafik akımı değerlerinden biri biliniyor ise diğerlerine geçiş yapılabilir. Trafik akımının değişkenleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler birbirine bağlıdır. (Şahin ve ark., 2004).

Hız ( $v$ ), trafiği meydana getiren taşıtların toplu halde oluşturdukları akımın birim zamanda aldığı yoldur. Buradaki birim zaman, genellikle, 1 saat ve 1 saniye olarak kullanılır. Trafik akım hızı ( $u$ ), akımın ortalama sürati olarak tanımlanır ve km/sa olarak ifade edilir. Hız parametresinin iki özel değeri vardır. Bunlar, serbest akım hızı ( $u_f$ ) ve optimum hız ( $u_o$ ) değerleridir. Serbest akım hızı, trafik akım değerinin sifıra yaklaştığı serbest akım koşullarında erişilen hızdır. Optimum hız ise maksimum akım koşullarında görülen hıza verilen addır (Nehir, 2009).

Taşıtların tek tek hızlarından söz edilebileceği gibi, burada olduğu gibi trafik akımının hızından da bahsedilebilir. Temel değişkenlerden faydalanarak  $v = x/t$  olarak ifade edilir. Buna göre,  $x$  alınan yolun uzunluğu olduğunda, hız = yol/zaman birimi elde edilir. (Nehir, 2009).

Trafik yoğunluğu ( $k$ ), yolun birim uzunluğunda (genellikle 1 kilometre) herhangi bir anda bulunan taşıt sayısı olarak ifade edilir. Boyutu taşıt/kilometre-şerit'tir. İki özel yoğunluk vardır: Bunlar, tıkanma yoğunluğu ( $k_j$ ) ve optimum yoğunluktur ( $k_o$ ). Tıkanma yoğunluğu, trafik akım hızı sifıra yaklaştığında oluşan yoğunluktur. Optimum yoğunluk ise maksimum akım koşullarına ulaşıldığında meydana gelen yoğunluktur. Trafik yoğunluğu değeri sifirdan araçların tampon tampona durdukları aşamaya kadar değişik değerler alabilir. Bu üst sınıra 'Tıkanma Yoğunluğu' denir. Yoğunluk ve işgal yüzdesine dayanan trafik akım koşulları ve hizmet düzeyleri Tablo 2.1 gösterilmiştir (Nehir, 2009).

Hacim ( $q$ ), belirli bir yolun bir kesitinden birim zamanda geçen araç veya insan sayısıdır. Buradaki birim zaman genellikle 1 saat olarak kullanılır. Yolun belirli bir kesitindeki tüm şeritlerin toplamı veya bir şeridi için tanımlanabilir. Trafiğin temel değişkenleri kullanılarak  $q = n/t$  olarak ifade edilir; burada,  $n$  taşıt sayısı ve  $t$  zaman

olduğundan, hacim = araç/zaman birimi elde edilir (Nehir, 2009). Hacim, hız ve yoğunluğa bağlı olarak Bağıntı 2.1 ile hesaplanabilmektedir.

$$q = k.v \quad (2.1)$$

Tablo 2.1 Yoğunluk ve işgal yüzdesine dayanan trafik akım koşulları. (Nehir, 2009)

Yoğunluk (taşıt/km-şerit)	Yolun İşgal Yüzdesi(%)	Hizmet Düzeyi	Akım Durumu	
0-8	0-5	A	Serbest Akım	Tıkanmamış Akım Koşulları
8-12	5-8	B	Kararlı Akım Başlangıcı	
12-19	8-12	C	Kararlı Akım	
19-26	12-17	D	Kararlı Akım Alt Sınır	
26-42	17-28	E	Kapasite Akımı	<b>Kapasite Akım Koşulları</b>
42-62	28-42	F	Zorlanmış Akım	<b>Zorlanmış Akım Koşulları</b>

## 2.2 Trafik Akım Modelleri

Trafik akımlarının modellenmesinde iki ana modelleme tekniği kullanılmaktadır:

- Makroskopik
- Mikroskopik

Makroskopik Model, trafiğin genel karakteristikleri olan hız (v), yoğunluk (k) ve hacme (q) bağlı olarak tanımlanmasıdır. Bu şekilde bir tanımlamada, akım bir bütün olarak ele alınır ve belirli zaman aralıklarında araç sayımları, hız ölçümleri ve/veya yoğunluk ölçümleri yapılarak trafik akımı tanımlanmaya çalışılır (Tanyel, 2001).

Mikroskopik modelde ise, yol üzerindeki taşıtların hareketleri tanımlanmaktadır (Luttinen, 1996). Bu modelde, her aracın ayrı ayrı davranışları ele alınmakta ve taşıt hareketinin bazı genel karakteristikleri incelenmektedir. 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).



Her iki modelde de bazı istatistiksel incelemelerin yapılması zorunludur. Makroskopik modellerde, Poisson, Binom veya Negatif Binom dağılımları kullanılırken; Mikroskopik Modellerde, Negatif Üssel, Ötelenmiş Negatif Üssel, Gamma, Erlang, Pearson Tip III gibi dağılımlar kullanılmaktadır.

Mikroskopik modeller, her taşıtın hareketini ayrı olarak incelediklerinden daha karmaşık olarak kabul edilebilirler. Bu nedenle mikroskopik modeller, trafik mühendisleri açısından büyük önem taşımaktadır. 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 (Tanyel, 2001). Birbirini takip eden araçlar arasındaki aralık ise mesafe cinsinden ve zaman cinsinden ikiye ayrılabilir:

Mesafe cinsinden aralık (s), "i" aracının ön tamponu ile takip eden "i+1" aracının ön tamponu arasındaki mesafedir (Şekil 2.1.a). Zaman cinsinden aralık (t) ise, "i" aracının ön tamponun belirli bir noktayı geçtiği anla, takip eden "i+1" aracının ön tamponunun aynı noktayı geçtiği an arasındaki zaman farkıdır (Şekil 2.1.b). Zaman cinsinden aralık değeri, mesafe cinsinden aralık değerine oranla çalışmalarda daha fazla dikkate alınmaktadır. Bunun sebebi şu şekilde sıralanabilir:

a- Zaman cinsinden aralık değerleri ile hacim değeri arasında doğru bir ilişki bulunmaktadır. (May, 1990, S.54).

$$q = 3600/\bar{h} \quad (2.2)$$

Burada;

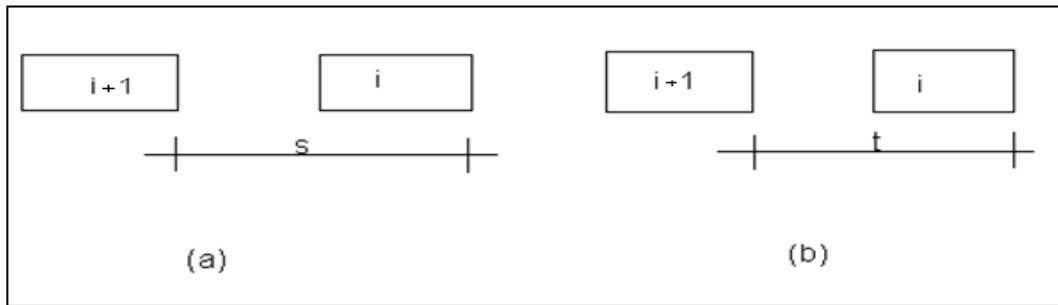
q: hacim (araç/saat)

$\bar{h}$ : ortalama zaman cinsinden aralıktır. (saniye)

Benzer bir ilişki yoğunluk ile uzunluk cinsinden aralık arasında da bulunmaktadır. Ancak hacim değeri, trafiği tanımlamak için daha anlamlı ve daha kolay ölçülebilir bir parametredir.

Takip eden sürücü, güvenlik sebebiyle önündeki araçla arasında belirli bir mesafe bırakmak zorundadır. Bu mesafe, sürücünün reaksiyon süresi ile yakından ilişkilidir. İki araç arasındaki mesafenin uzunluğundan daha çok, iki araç geçişi arasındaki süreyi tahmin etmek daha kolaydır (Çalışkanelli, 2006).

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



Şekil 2.1 Mesafe ve zaman cinsinden aralıklar (Tanyel, 2001).

Takip aralığı kavramı sinyalize kavşakların incelenmesi açısından oldukça önemli, aynı zamanda karmaşık bir kavramdır. Kavram içerisinde sürücü özellikleri, araç özellikleri ve trafik koşullarını içermektedir. Takip aralığı kavramından yola çıkarak sinyalize kavşaklar için; minimum takip aralığı (Bonneson, 1992), doymun akım değeri (Nittymaki ve Pursula 1996) ve eşdeğer otomobil birimi “EOB” (Molina, 1987) değerleri belirlenebilmektedir. Genel olarak sinyalize kavşaklarda 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).

### 2.3 Sinyalize Kavşaklar

Sinyalizasyon, kavşaklarda araçların ve yayaların yolu kullanma sıralarını ve sürelerini belirleyen bir uygulamadır (Varlıorpak, 1982). Sinyalizasyon uygulamaları için bazı temel trafik ve sinyalizasyon terimleri aşağıda özetlenmiştir:

**Trafik:** “Herhangi bir yolu ulaşım, yük taşıma, gezme, vb. belli bir amaçla kullanan tek veya çok sayıda insan, binili veya sürü halindeki hayvan, motorlu ya da motorsuz araçların yüksüz veya yükleri ile beraber yaptıkları her türlü hareket”(Yayla, 1993, S.89).

**Araç Kompozisyonu:** “Belli bir noktadan geçmekte olan değişik araç cinslerinin (otomobil, kamyon, otobüs, minibüs vb.) toplam trafik hacmi içindeki oranları” (Ayfer, 1977, S.9).

**Otomobil Birimi Eşdeğeri:** Mevcut yol ve trafik şartları altında, trafik akımı içindeki bir taşıtın yerini aldığı (karşılığı) kabul edilen otomobil sayısı.

**Trafik Hacmi:** Bir yolun platformunun veya bir şeridinin belli bir kesitinden birim zaman aralığı(bir saat yada daha uzun bir süre içinde) içinde geçen araçların sayısı,

**Trafik Yoğunluğu:** “Herhangi bir anda yolun birim uzunluğu (1 km) üzerindeki araç sayısı. Buna göre trafik yoğunluğu araç/km olarak verilir” (Yayla, 1993, S.91)

**Trafik Akımı:** Bir yolun belli bir kesitinden belli bir zaman boyunca (saat, gün veya yıl) geçen araç sayısı,

**Aralık:** Birbirini takip eden iki aracın tamponları arasında belirli bir noktadan geçişleri sırasında zaman yada mesafe cinsinden mesafe farkıdır,

**Gecikme:** Ulaşım sırasında trafiğin araç sürücüsünün elinde olmayan ve dış etkenler nedenlerle tamamen durması veya yavaşlaması nedeniyle kaybedilen ve genel olarak saniye cinsinden ifade edilen zaman kaybı,

**Sabit Gecikme:** “Trafik ışıkları, dur işareti vb. elemanlar yardımı ile trafiğin düzenlenip kontrol altına alınması sonucu zorunlu olarak meydana gelen gecikme” (Yayla, 1993, S.100).

**İşletme Gecikmesi:** Trafiği oluşturan elemanların birbirine olan etkilerinden ileri gelen gecikme. Trafiğin yoğunluğu fazla olan yollarda sıkışıklıktan doğan zaman kaybı, yol kenarına park etmiş olan araçların trafik akımına katılmaları sırasında meydana gelen yavaşlamadan ileri gelen zaman kaybı vb. kayıplar işletme gecikmesine örneklerdir (Yayla, 1993, S.100).

**Kapasite:** Herhangi bir yol, kavşak veya trafik şeridinden birim zaman(bir saat) içinde geçebilen eşdeğer otomobil araç sayısı.

**Trafik Yüğü:** Bir yol üzerinde bir tek şeritten geçen ve aynı yöne gitmekte olan araçların birim zaman içindeki sayısı.

**Trafik Sinyali:** Trafik düzenlemelerinde kullanılan ve el ile ya da mekanik olarak edevatın çalıştırılması sonucu belirli anlamları olan değişik renklerde ışık vermek suretiyle trafiğin durmasını veya hareket etmesini sağlayan cihaz,

**Sinyal Devresi:** Birbirini izleyen ışıklı sinyallerin bir devri,

**Devre:** Sinyallerde, değişik renklerdeki ışıkların birer defa yanması ile oluşan toplam zaman,

**Faz:** Bir sinyal devresinin bir veya birkaç aralığını kapsayan ve bir ya da birden fazla trafik akımının hareketine olanak veren bölümü,

**Taşıt Uzatma Süresi:** Bir ışıklı işarette yeşil ışık süresinin, araçların kavşaktan güvenli bir şekilde geçmesini sağlamak amacıyla, sabit bir miktar kadar veya, detektörler yardımı ile taşıt miktarına bağlı olarak uzadığı süre,

**Her Yönde Kırmızı Süre:** Bir sinyalizasyon tesisindeki ışıklı ünitenin bütün cephelerinde kırmızı ışığın yandığı süre.

**Seyir Hızı:** Aracın hareket halinde geçen süre içinde belirli bir mesafe üzerinde yaptığı ortalama hızdır. Bu hıza işletme hızı da denilir (Varlıorpak, 1982).

**Seyahat Hızı:** Belirli bir uzunluğun seyahat için toplam zamana bölünmesiyle elde edilen hızdır. Yolda geçen dinlenme ve gecikmelerin zamanı dahil edilir. Genel ulaşım sisteminin hızı seyahat hızı olarak ifade edilir (Varlıorpak, 1982).

### ***2.3.1 Sinyalizasyon Sistemlerinin Gerekliği***

Sinyalizasyon sistemlerinin amacı, kontrolsüz kavşaklarda kontrolü sağlamak, kaza ihtimalini azaltmak ve uygun kapasite elde etmek şartıyla trafik akımlarının birbirini kesmeden ya da birbirini takiben geçmelerini sağlayarak azaltmaktır (Varlıorpak 1982). Diğer bir deyişle kavşaklarda konfor, kapasite ve güvenin sağlanması amacıyla sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır. Sinyalize sistemler gelişigüzel ve gereklilik kriterlerine uyulmadan kurulmamalıdır. Kavşaklarda sinyalizasyon sisteminin kurulmasının faydalı olabileceği durumlar:

- Tali yollardan ana yola katılmak isteyen araçların gerekli aralıkları bulamaması,
- Kavşaklardaki işaretlere rağmen, ulaşım güvenliğinin sağlanamaması, sürekli veya birbirine benzer karakteristikteki kazaların oluşması,
- Kavşaklardaki düzensiz hareketlerin beklemelere, tıkanıklıklara ve gecikmelere yol açması dolayısıyla kavşağın ekonomik kullanımının azalması enerji ve zaman kaybına neden olması,
- Yayaların, emniyetli hareket olanağı bulamaması,

- Kavşağın fiziki ve geometrik yapısının bir ışıklı işaretlemeyi gerektirmesi, olarak sıralanabilir (Varlıorpak 1982).

Kavşaklarda sinyalizasyon sisteminin kurulmasının sakıncalı olabileceği durumlar;

- Trafiğin seyrek olduğu saatlerde gereksiz bekleme süresinin oluşması,
- Belirli kaza tiplerinde artmalar olması (Örneğin; Arkadan çarpmalar),
- Sinyalizasyon hatalarında sürücülerin sinyale olan uyumsuzluklarının artması,
- Işık süreleri doğru olarak ayarlanmamışsa meydana gelen gecikmelerden dolayı sürücülerde sabırsızlanma sonucunda ihlallerin artması, olarak sıralanabilir (Varlıorpak 1982).

Bir kavşakta, yukarıda belirtilen durumlardan bir veya bir kaçının gözlenmesi durumunda, bu kavşağın sinyalize edilmesi gerekliliği doğmaktadır. Sinyalize edilecek kavşakların aynı güzergah üzerinde bulunması durumunda ise akımın her kavşakta ayrı ayrı kesintiye uğramasının ve gecikmelerin önlenmesi amacıyla, bu kavşakların koordine edilmesi gerekmektedir (Canseven, 2002).

## **2.4 Sinyalizasyon Sistemleri**

Sinyalizasyon sistemleri iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar:

1. İzole sinyalizasyon sistemleri,
2. Koordine sinyalizasyon sistemleridir.

Bu sistemler, alt bölümlerde sırasıyla ifade edilmeye çalışılacaktır.

### **2.4.1 İzole Sinyalizasyon Sistemleri**

İzole sinyalize kavşaklar, yakın diğer sinyalize kavşaklar ile herhangi bir bağıntısı bulunmayan ve bu kavşaklardan etkilenmeyen sinyalize kavşaklardır. İzole

sinyalize kavşaklar dört değişik sinyalizasyon sistemi ile oluşturulabilir. (Canseven, 2002) Bu sinyalizasyon sistemleri;

1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi,
2. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi,
3. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi,
4. El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi,

olarak ifade edilir.

#### *2.4.1.1 Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi*

Sabit zamanlı sistemler, önceden zamanları saptanan bir programla faz sıralarının düzenlendiği sistemlerdir (Varlıorpak, 1982). Diğer bir deyişle, bu sistemler kavşağa farklı yönlerden yaklaşan taşıt ve yaya trafiğine önceden hazırlanmış zaman programlarına uygun olarak sıra ile geçiş hakkı verebilmektedirler. Çeşitli yönlerden kavşağa yaklaşan trafiğe verilecek geçiş hakkı süreleri (yeşil süreler) ortalama trafik yükü değerine göre saptanır. Bu nedenle bu sistemin başarılı olabilmesi için olabildiğince çok sayıda ve dikkatli trafik sayımlarının yapılması gerekmektedir. Yaklaşık olarak her kavşaktaki trafik akımları günün farklı saatlerinde farklı özellikler göstermektedir. Bu nedenle, sabit zamanlı bir sinyalizasyon sisteminde bu farklı özellikler dikkate alınmalı ve günün belirli saatlerinde değişen ayrı ayrı birkaç program uygulanmalıdır.

Sabit zamanlı sinyalize kavşaklar sürekli olarak kontrol altında tutulmalı, mevsimsel ve zamanla değişen trafik koşullarına uygun olarak zaman programları düzeltilmelidir. Aksi halde, bu kavşaklarda gereksiz gecikmeler oluşabilmektedir.

Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinin avantajları;

- Trafik hacimlerinin sık sık ve düzensiz değişimler göstermediği kavşaklarda,

- Anayol-tali yol kavşaklarında anayoldaki trafiğinin süre olarak kesintisiz ve devamlı bir akıma kavuşturulmasında daha verimli olmaları (Varlıorpak, 1982), olarak ifade edilebilir.

#### 2.4.1.2 Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi, devre süresi ile kırmızı ve yeşil ışık süreleri kavşağa giren ve detektörler yardımı ile belirlenen trafik yoğunluklarına göre ayarlanan sistemdir (Yayla, 1993). Bu sistem genel olarak iki türlü uygulanmaktadır:

*2.4.1.2.1 Yarı-Trafik Uyarmalı Sistemler.* Bu sistemlerde detektör sadece tali yolda kullanılmakta ve böylelikle ana yoldaki trafiğin minimum gecikme ile yolu kullanması planlanmaktadır. Tali yoldaki yeşil zaman, taşıtların detektörden geçişi ile uzamakta ancak maksimum periyodu geçmemektedir. Bu sistemde tali yoldan kavşağa giren taşıtlar ana yoldaki trafik için belirsiz ve şaşırtıcı bir durum yaratmaktadır. Bu nedenle, yarı-trafik uyarmalı sistemlerde kaza oranları diğerlerine nazaran daha fazladır (Varlıorpak, 1985).

*2.4.1.2.2 Tam-Trafik Uyarmalı Sistemler.* Bu tip sinyalizasyon sistemlerinde kavşaktaki bütün yollardan sürekli olarak uyarı alınır ve geçiş hakkı, devre ve faz süreleri bütün yollardan gelen trafik yoğunluklarına göre değiştirilerek otomatik olarak düzenlenir. Tam-trafik uyarmalı sistemler, trafik yoğunluklarının hemen hemen gerçek değerlerine göre geçiş hakkı sağladıklarından, toplam gecikmeleri minimuma indiren en ideal sistemler olarak görülebilir.

#### 2.4.1.3 Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Yaya uyarmalı sinyalizasyon tesisleri, genellikle kavşaklarda, bazı bağlantı yollarının giriş çıkışlarında ve kavşak olmayan yaya geçitlerinde kurulmaktadır. Kavşaklardan uzak olan ve yaya akımının düşük olduğu bölgelerdeki yaya geçitlerinde sürekli olarak ya da günün belirli saatlerinde, yayalara güvenli geçiş



hakkı sağlamak üzere yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi uygulanabilir. Bu sistemlerde taşıtlara verilen geçiş hakkı yayaların GEÇ butonuna basarak yaptıkları uyarı ile kesilir. Yaya uyarmalı sistemler kavşaklarda da kullanılabilir. Bu uyarılar, tam ve yarı trafik uyarmalı olarak düzenlenmiş bir sistemin kapsamına alınabileceği gibi, sabit zamanlı olarak çalışan kavşaklarda da yararlı olabilir. Özellikle bazı sabit zamanlı kavşaklarda, zaman kaybını önlemek ve gecikmeleri azaltmak için yayalardan herhangi bir talep gelmediği sürece bazı yaya cepheleri sürekli olarak kırmızı ışıklı sinyal vermektedir. Bu geçitleri kullanmak isteyen yayalar, geçiş hakkı sağlamak için butona basmak ve beklemek zorundadırlar (Canseven, 2002).

#### *2.4.1.4 El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi*

Herhangi bir kavşaktaki bütün ışıklı cephe grupları bir kumanda çizelgesine bağlanarak ışıklı sinyallerin dışarıdan yönetilmesini sağlar. Bu sistem, özellikle sabit zamanlı olarak tesis edilmiş bulunan fakat bazı zamanlardaki trafik akımlarının ortalama değerden büyük sapmalar ve dalgalanmalar gösterdiği kavşaklarda kullanılır. Bu sistem taşıt ve yaya uyarmalı sistemlere benzemekte, fakat talepler dışarıdan gözlem ile belirlenmektedir (Canseven, 2002).

#### *2.4.2 Koordine Sinyalizasyon Sistemleri*

Ana yolların birbirine çok yakın sinyalizasyon kavşaklarında, trafik akımının her kavşakta ayrı ayrı kesintiye uğramasının ve gecikmelerinin önlenmesi amacıyla bu kavşakların kendi aralarında koordine edilmeleri gerekmektedir. Koordine sistemler genellikle anayol üzerindeki kavşaklardan, tali yol trafiğini de zorlamaksızın, birim zaman içinde mümkün olan en yüksek sayıda aracın durmadan geçirilmesi amacıyla düzenlenmektedir. Ayrıca birbirine çok yakın olan sinyalizasyon kavşaklarda biriken araç kuyruklarının kavşak alanlarına taşmamaları için de bir koordinasyon tesis edilebilir. Koordine sistemler öncelikle anayol trafiği için uygulanmakla birlikte, bazı durumlarda bütün yönlerdeki toplam gecikmenin minimuma indirilmesi olanakları da araştırılır. Bu sistemler ayrıca ardışık sinyalizasyon kavşakları bulunan bir yol şebekesinin bütün akımları için bilgisayar kontrollü olarak düzenlenebilir. Böylece

araçların durma, bekleme ve yol verme zamanları ayarlanmaya çalışılır (Canseven, 2002). Bu sayede:

- Ulaşım güvenliğinin artması,
- Kapasite kullanımı,
- Gecikme zamanlarının azalması,
- Ekonomiklik,
- Ulaşım akımlarının iyileşmesi, bunun sonucu olarak da seyahat süresinin azalması ve konforun artması, yakıt tasarrufları,
- Durma ve bekleme yüzünden meydana gelen karbondioksit fazlalığı ve durma kalkmalardan meydana gelen gürültünün azalması sayesinde çevre şartlarının iyileşmesi, sağlanmış olur.

İki kavşağın sinyalizasyon edilirken aralarında bir koordinasyon kurulabilmesi için, kavşakların birinde kırmızı ışıklı sinyalde bekledikten sonra geçiş hakkı elde ederek diğer kavşağa doğru yaklaşan araçların dalga hareketlerinin bozulmaması, diğer bir deyişle iki kavşak arasındaki trafik akımının gelişigüzel dağılmış değil gruplar halinde olmaları durumunun sağlanmasıdır. Sinyalizasyon edilen iki kavşak arasındaki uzaklık 750 m den az ise, dalga hareketleri bozulmayacağından, bu kavşaklar arasında bir koordinasyon kurulması gerekebilir. Koordine sistemler daha uzak kavşaklar arasında da kurulabilmekle birlikte, bunun başarısı dalga hareketinin bozulmamasını sağlamak için araç hızlarının istenilen mertebede tutulabilmesi olanağına bağlıdır (Ayfer, 1977).

Koordine sinyalizasyon sistemi değişik şekillerde uygulanabilir:

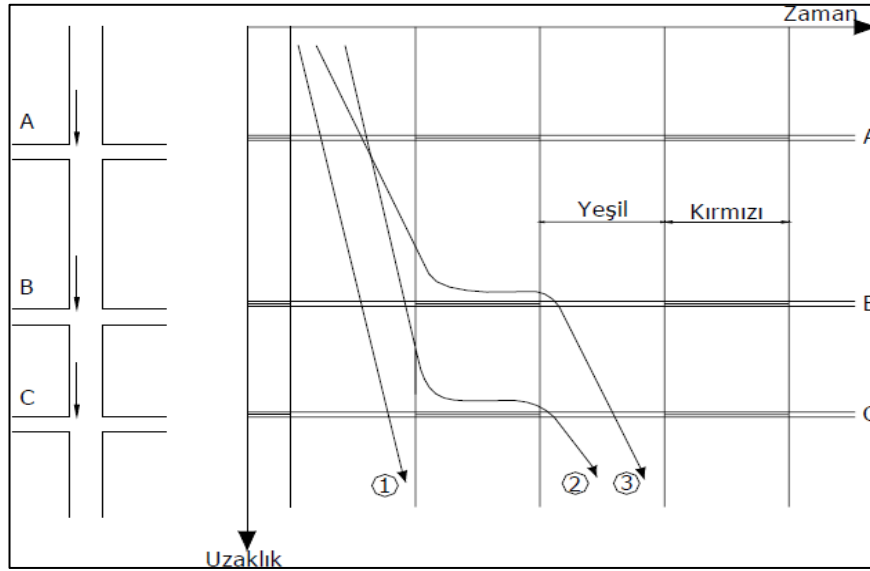
- Senkronize (Eş Zamanlı) Sistem
- Alternatif Sistem
- Progresif (Kesintisiz) Sistem
- Bölge Trafik Kontrol Sistemi

Bu sistemler alt bölümlerde ifade edilmeye çalışılmıştır.

### 2.4.2.1 Senkronize (Eş Zamanlı) Sistem

“Senkronize sistem, bir yol üzerinde bulunan kavşaklardaki ışıklı işaretlerde anayol üzerindeki araç cephelerine aynı anda aynı işareti veren sistemdir” (Ayfer, 1977). Şekil 2.2’de bir anayol üzerinde senkronize sistemle sinyalizasyon edilmiş üç kavşak görülmektedir. Normal hızla seyreden (1) numaralı araç her üç kavşaktan da geçmekte, oldukça yavaş bir hıza seyreden (2) numaralı araç ise (A) kavşağından geçtikten sonra (B) kavşağından geçememektedir. Başlangıçta (2) numaralı aracın gerisinde bulunan (3) numaralı araç ise (A) kavşağında (2) numaralı aracı geçerek daha hızlı gittiğinden (B) kavşağındaki yeşil ışığa yetişebilmektedir (Canseven, 2002).

Senkronize sistemde, araç sürücülerinin kırmızı ışıkta beklememek için hızlı gitmelerini sağlama amaçlanmaktadır. Ancak, anayol üzerindeki araç trafiğinin doygunluk derecesi bire yakın ise tali yollara geçiş hakkı verilirken her kavşakta biriktirilecek ana trafik akımı yükünün hemen hemen aynı olmasını sağlamak bakımından senkronize sistem yararlı olabilmektedir.



Şekil 2.2 Senkronize sistem (Ayfer, 1977)

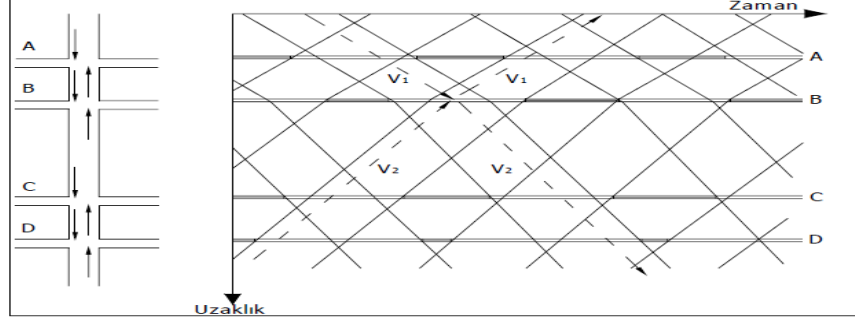
### 2.4.2.2 Progresif (Kesintisiz) Sistemler

Bu sistemlerde, anayol üzerindeki bütün kavşaklarda ışıklı sinyallerin devre süreleri aynı olmakla birlikte, gerekli yeşil süreler araçlar için ortalama bir işletme hızı kabul edilerek, bu hıza uygun olarak seyreden bir aracın bütün kavşaklardan kırmızı ışıkta beklemeden geçebilmesini sağlamak amacıyla ayarlanabilmektedir. Progresif (kesintisiz) sistemler aşağıdaki şekilde ayrılır (Canseven, 2002).

1. Basit Progresif (Kesintisiz) Sistem,
2. Fleksibl Progresif (Kesintisiz) Sistem.

Basit progresif (kesintisiz) sistem, araç gruplarına belli bir yol boyunca, öngörülen bir hızla ve bir zaman programına göre sürekli bir hareket sağlamak amacı ile yoldaki ışıklı işaret cephelerinin birbiri ardınca GEÇ işareti vermesine imkan veren bir sinyalizasyon sistemi olarak tanımlanabilir. Hız, sistemin değişik kesimlerinde farklı olabilir. Fleksibl progresif (kesintisiz) sistem ise en uygun durumu oluşturmak üzere, kavşaklardaki ışıklı işaretlere ait aralıkların trafik miktarına göre bağımsız olarak ayarlanabildiği sinyalizasyon sistemi olarak ifade edilebilir (Canseven, 2002).

Şekil 2.3’de basit bir progresif sistem gösterilmeye çalışılmıştır. Anayolun her iki yönündeki karşılıklı trafik akımına aynı ışıklı sinyallerin verileceği kabul edilen bu sistemde, (A) ve (B) kavşakları arasında araçların hızı  $V_1$ , (B)-(C) ve (C)-(D) kavşak aralarında ise  $V_2$  olarak kabul edilmiştir. (A) kavşağında yeşil fazda geçen bir araç (B) kavşağına kadar  $V_1$  hızı ile seyrettikten sonra hızını  $V_2$ ’ye yükseltirse (C) ve (D) kavşaklarından da durmadan geçecektir. (D) kavşağı yönünden mertebesinde  $V_2$  bir hızla (B) kavşağına doğru gelen bir araç ise (A) kavşağında durmamak için hızını  $V_1$ ’e düşürmek zorunda kalacaktır. (Canseven, 2002).

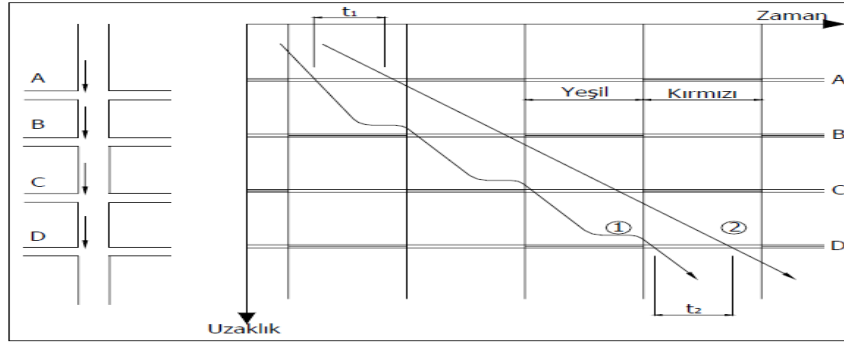


Şekil 2.3 Basit progresif sistem (Ayfer, 1977, 36)

Özellikle progresif (kesintisiz) sistemlerde belirli hız limitleri dışına çıkmadan seyreden araçların birbiri ardınca her kavşakta durmadan geçiş hakkı elde edebilmeleri için zaman-mesafe diyagramı üzerinde içinde bulunmaları gereken alana yeşil dalga adı verilmektedir (Ayfer, 1977, s37). Diğer bir deyişle, zaman mesafe diyagramında yeşil dalga içinde seyreden bir araç her kavşakta kesinlikle yeşil ışıklı sinyal bulabilecektir. Şekil 2.3’de görülen verev çizgiler yeşil dalganın sınırlarını göstermektedir.

#### 2.4.2.3. Alternatif Sistem

Bu sistemde bir anayol boyunca birbirini izleyen kavşaklarda arka arkaya zıt ışıklı sinyaller verilir. Şekil 2.4’de gösterilen alternatif sistemin amacı, araçların iki kavşak arasındaki uzaklığı ışıklı sinyallerin bir devresinin yarısı kadar zamanda almalarını sağlamak, böylece araçların anayol boyunca belirli bir hızla seyretmelerini olanaklı kılmak olduğu söylenebilir. Şekil 2.3’de görülebileceği gibi (2) numaralı araç proje hızına yakın bir hızda seyrettiğinden bütün kavşaklarda yeşil ışık bularak geçmekte, kalkışından sonra yüksek hızla seyreden (1) numaralı araç ise her kavşakta durmak zorunda kalmaktadır. (A) kavşağında (2) numaralı araç (1) numaralı aracın  $t_1$  saniye gerisinde iken (D) kavşağı geçildiğinde bu zaman farkı ancak  $t_1-t_2$  kadar artmaktadır. Dolayısıyla alternatif sistem, hızlı giden araçları beklemeye zorladığından araç hızlarında bir düşme olacağı söylenebilir (Canseven, 2002).



Şekil 2.4 Alternatif sistem (Ayfer, 1977, S.36)

Alternatif bir sistemin iyi sonuç verebilmesi için kavşak aralıklarının belirli uzaklıklar arasında ve ardışık kavşaklar arasındaki uzaklıkların birbirine yakın değerlerde olması gerekmektedir. Kavşaklar arasındaki uzaklıkların alt ve üst limitleri sinyal devresindeki yeşil ve kırmızı süreler ile araçlar için öngörülen ortalama seyir hızına bağlı olarak değişeceği söylenebilir.

#### 2.4.2.4 Bölge Trafik Kontrol Sistemi

Yukarıda ifade edilmeye çalışılan sistemler, aynı doğrultu üzerinde yer alan kavşaklar arasındaki gecikmeleri azaltmak veya en uygun işletmeyi gerçekleştirmek amacı ile bir yeşil dalga tesis etmek amacıyla uygulanmaktadır. Ancak, birçok farklı doğrultu üzerindeki trafik akımları için aynı ilkenin uygulanması söz konusu olursa, kesişmeler nedeniyle basit bir koordinasyon sistemi kurularak çözüme ulaşılması mümkün olmamaktadır. Sinyalizasyon sistemlerinin tümü arasında genel olarak gecikmelerin optimize etmek üzere, özellikle şehir içi yollarda belirli bir bölgeye ait kavşaklardaki ışıklı işaret tesislerinin tümü arasında bir koordinasyon sağlayıp düzenleme ve kontrolün bilgisayar kullanılarak yürütüldüğü sistemlere bölge trafik kontrolü adı verilmektedir. (Canseven, 2002).

## 2.5 Otobüs Duraklarının Özellikleri ve Tipleri

“Otobüs taşımacılığı sistemi yerine getirdiği önemli ve vazgeçilmez görevlerinin yanı sıra, kent trafiği üzerinde yarattığı etki açısından da oldukça

dikkatli incelenmesi gereken bir sistemdir. Özellikle yol üzeri durak noktalarının oluşturulması gerek kaldırımı kullanan yayalar, gerek bineceği otobüsü bekleyen yolcular gerekse de trafikte bir otobüs arkasında ilerlemekte olan trafik akımı açısından büyük bir öneme sahiptir. Bunun yanı sıra otobüs durak yerleri, trafik ana kontrol noktaları olarak değerlendirilebilecek sinyalizasyon kavşakları açısından da oldukça önemli etkiler yaratmaktadır. Otobüs durakları sinyalden hemen önce, hemen sonra ya da uzak bir noktada oluşturulabilmektedir” (Nehir, 2009).

### **2.5.1 Otobüs Duraklarının Şekillendirilmesi ve Fiziki Özellikleri**

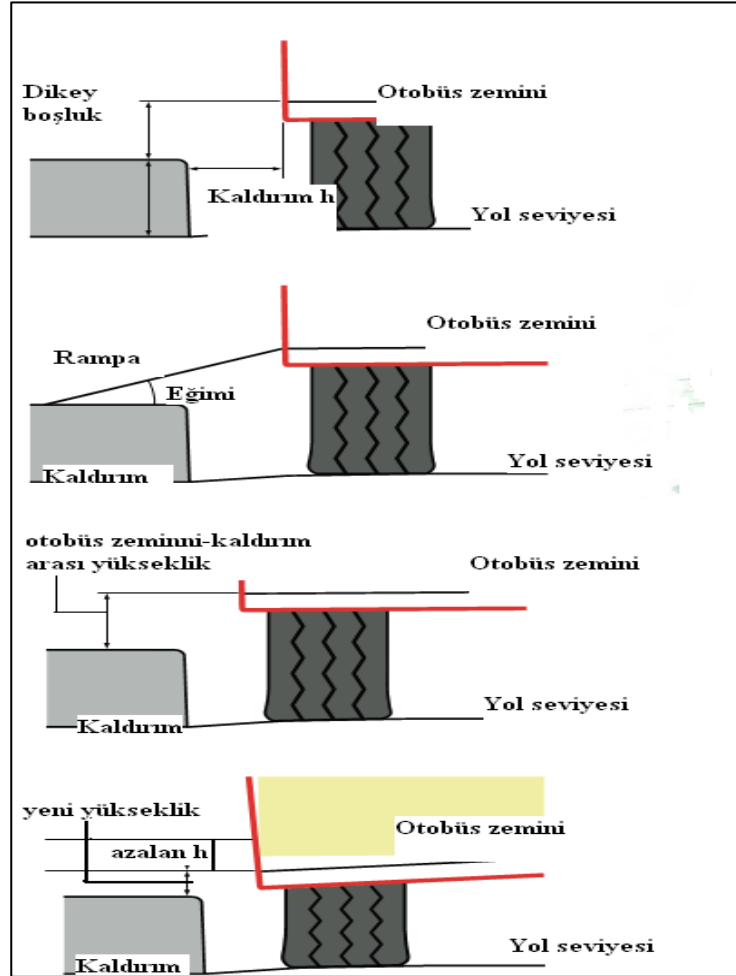
“Otobüs durağı yerinin belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar; taşıt kapasitesi, trafikte diğer araçlarla yaşanan uyumsuzluklar, yolcuların yürüme mesafeleri, sinyalizasyon zamanı, diğer fiziksel engeller, ulaşım miktarıdır. Sağa dönüşlerde kavşağa yakın otobüs durağı, sola dönüşlerde ise kavşağı geçtikten sonraki otobüs durakları tercih edilmelidir.” (Nehir, 2009).

Düşük zeminli otobüsler, kaldırım ve otobüs zemini arasındaki yükseklik farklılıklarını azaltmaktadır (Transport for London, 2006). Engelli ve diğer tüm yolcular için erişimde kolaylık sağlamaktadır. Buna örnek Şekil 2.5’de gösterilmektedir. Aynı zamanda düşük zeminli otobüsler yolcu binışı ve iniş sürelerinde de illeştirmeye yardımcı olmaktadır.



Şekil 2.5 Düşük zeminli otobüsün faydası (Transport for London, 2006).

Otobüs ve kaldırım arasındaki ölçüler oldukça önemlidir. Kaldırım ve otobüs zemini arasındaki dikey mesafe rampanın eğiminden etkilenmektedir. Eğer bu eğim çok fazla ise, tekerlekli sandalye kullanıcıları otobüse iniş ve binışı gerçekleştiremeyecektir. Yeni otobüslerde bu yetersizliklerin kaldırılması için, 1.8 ya da %12 eğim ve en az 125 mm kaldırım yüksekliği olarak belirtilmiştir. Genel kabul gören kaldırım yüksekliği 125mm'dir. Şekil 2.6'de bu oranlar gösterilmektedir (Transport for London, 2006 ).



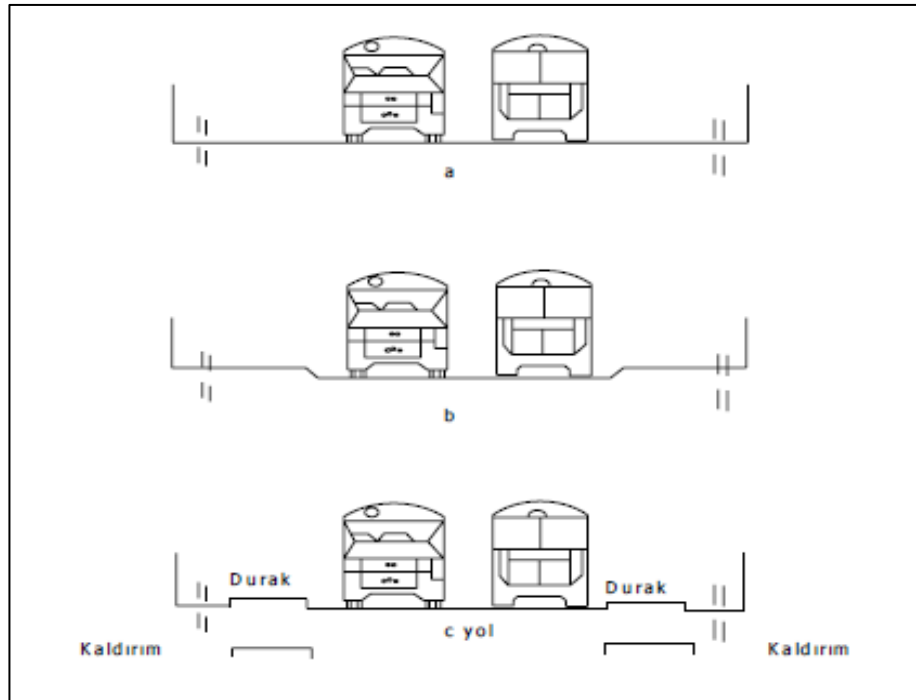
Şekil 2.6 Otobüs ve kaldırım arasındaki ilişki (Transport for London, 2006 ).

Yaya bölgelerinde yapılacak otobüs duraklarında üç türden biri uygulanabilir (TSE 11783, 1995). Bunlar;



- Çözümünde, yol ve kaldırım aynı seviyede (zeminde) dir. Burada yolculara ve özürllere indi-bindi kolaylığının sağlanması için otobüslerin basamakları özel tertibat ile azaltılmalıdır.
- Çözümünde yol ve kaldırımın birbirinden ayrılması düşünüldüğünde maksimum kaldırım yüksekliği 7 cm olmalıdır.
- Çözümünde yol ve kaldırım aynı seviyededir. Burada durak yerleri yükseltilerek yaya bölgesindeki diğer yayaların duraktaki bekleme alanını kullanmaları önlenmelidir.

Bu çözümler Şekil 2.7 görülebilmektedirler, yukarda anlatılan son çözümünde yükseltilmiş durak yerlerinin önüne ve arkasına, çiçeklik, kanepeler vb. elemanların konulması ile durak alanı korunarak, yürüyen yayaların durak dışına yönlendirilmesi sağlanmalıdır (TSE 11783, 1995).



Şekil 2.7 Yaya bölgelerindeki durak türlerinin en kesitleri (TSE 11783, 1995).

Otobüs durakları ideal olarak yolcuların güvenli ve elverişli bir şekilde inme ve binme yapmalarına imkan tanıyacak şekilde yerleştirilmelidir. Özellikle alışveriş

merkezi, kütüphaneler, kulüpler, sağlık işletmeleri, barınma evlerine yakın olmalıdır (Transport for London, 2006 ).

Otobüs durakları, otobüslerin yolcu indirme bindirme yaptıkları, sadece durağın yerini gösteren bir tabela olmaktan çok, insanları beklerken yağmur, güneş gibi dış etkilere karşı koruyacak, kısa süreli de olsa dinlenmeyi sağlayacak yerler olmalıdırlar. Bunu sağlarken de kent içindeki dolaşımı engellemeyecek biçimde uygun konum ve kullanım yoğunluğuna göre de uygun boyutlarda olmalıdır (Nehir, 2009).

Planlama açısından bakıldığında ise, durak sayısının olması, binen/inen yolcu sayısı o oranda fazla olacaktır. Bu da uzun binme zamanları ve uzun yolcu ilerleme zamanlarına neden olacaktır. Diğer taraftan otobüs durak sayısının fazla olması ise otobüsün seyahat hızını, yavaşlaması ve hızlanmasını azaltmaktadır. Buna ek olarak otobüs durak sayısının artması trafik akım hızının da düşmesine sebep olacaktır. Bunun yanında iniş ve biniş basamakları da yolcuların iniş ve biniş süreleri üzerinde etki yapan bir başka etkendir.

Kaliteli ve akılcı bir tasarımda uygun alanlara uygun durak tiplerinin düşünülmesi kaçınılmazdır. Otobüs duraklarının sayısı ve tipi yoldaki trafik akımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tipik olarak üç çeşit otobüs durağı vardır (Koshy ve Arasan, 2005).

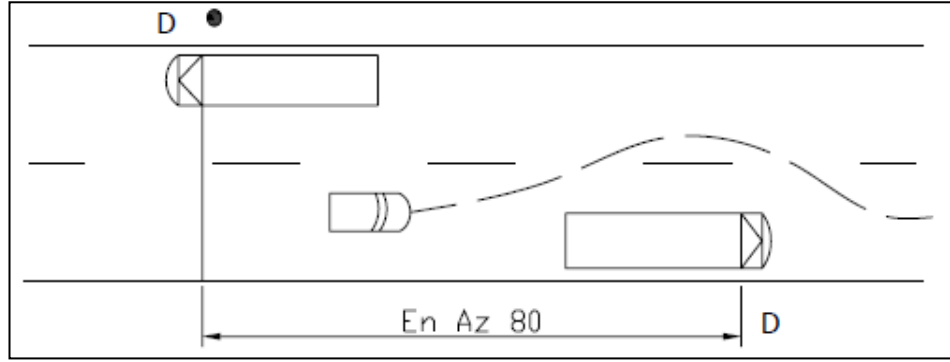
- Kaldırım kenarı otobüs durağı (curbside stops)
- İçeriye girişli otobüs durağı (bus bays)
- Genişletilmiş durak (bus boarders/ bus bulbs/ curb extension)

### ***2.5.2 Otobüs Durakları Türk Standardı ve Yurt Dışındaki Uygulamalar***

Durakların yapısı, yerleşimleri, durak tipleri vb. konularda Türkiye ve diğer ülkeler de yapılan çalışmalar incelenmiştir.

### 2.5.2.1 Bölünmemiş Yollardaki Durak Yerleri

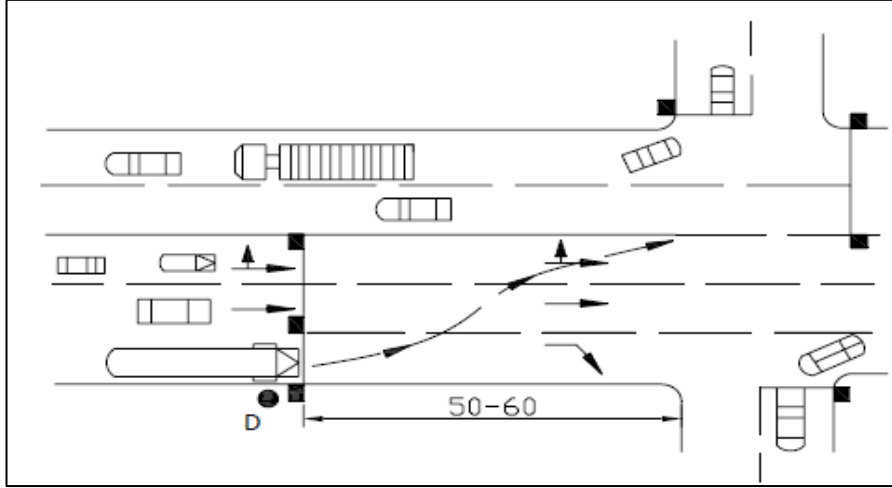
Bölünmemiş yollarda (orta refüjü olmayan) yol kenarı duraklar yapılması durumunda aynı yöndeki diğer trafiğe en az bir şerit bırakılmalıdır. Bunun sağlanabilmesi için durak yapılacak yolun kaplama genişliği 9-10 m olmalıdır. Yolun kaplama genişliği 6-7 m ise, oradan otobüs hattı geçiyorsa ve durak yapma mecburiyeti var ise bu taktirde yol, tek yön yapılmalıdır. Bölünmemiş yollarda iki ayrı yöndeki duraklar diğer trafiği aksatmaması için karşı karşıya bulunmamalı; duraklar, gidiş yönünde birbirlerini en az 80 m geçecek şekilde olmalıdır (TSE 11783, 1995).



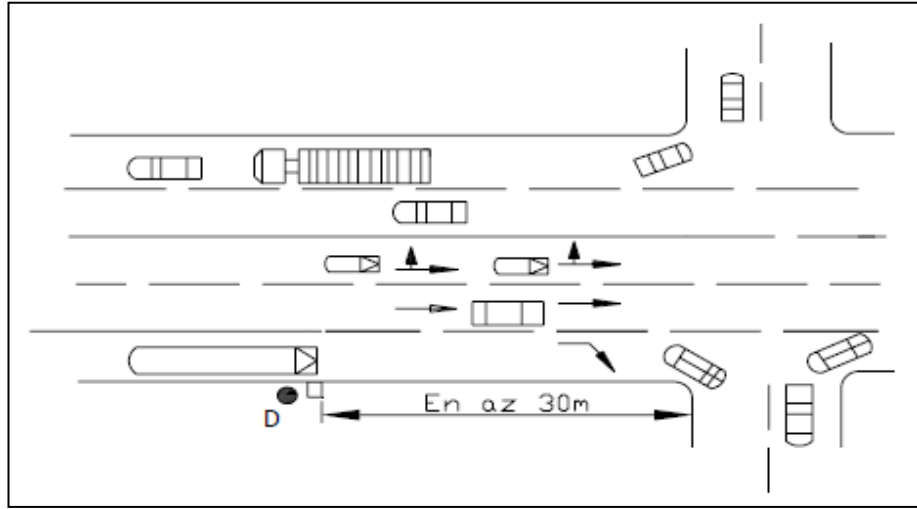
Şekil 2.8 Bölünmemiş yollardaki duraklar (TSE 11783, 1995).

### 2.5.2.2 Kavşak Giriş Kolundaki Duraklar

**2.5.2.2.1 Işık Kontrollü (Sinyalize) Kavşaklardaki Duraklar.** Işık kontrollü (sinyalize). kavşaklarda otobüs, öncelikli sinyalizasyon yoksa, durağın sola dönüş yapacak otobüslere kolaylık sağlayabilmesi için 50-60 m önce olması gereklidir. Kavşaktan sağa dönüş yapacak otobüslere ait duraklar, kavşaktan en az 30 m önce olmalıdır. Kavşaktan hem sağa ve hem de sola dönüş yapacak otobüslerin olması halinde, Şekil 2.9 ve 2.10'da görüldüğü üzere kavşak giriş kolundaki durak, kavşağa en az 35 m mesafede olmalıdır (TSE 11783, 1995).

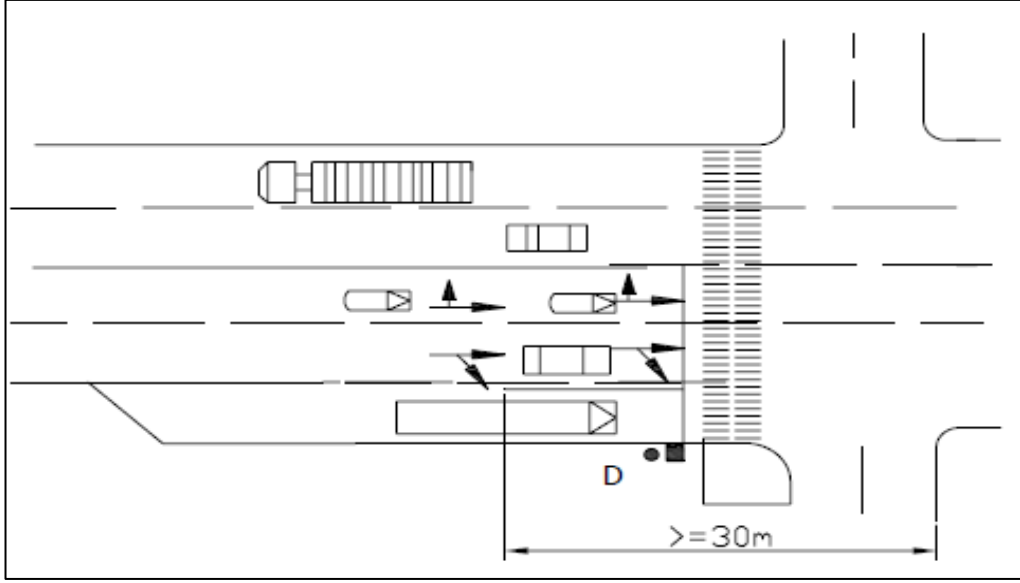


Şekil 2.9 Işık kontrollü kavşakta sola dönüş yapacak durak yeri (TSE 11783, 1995).



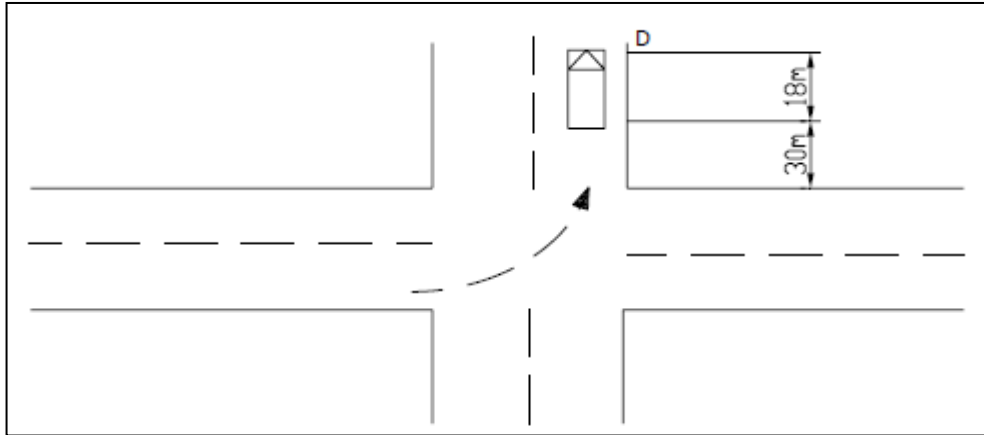
Şekil 2.10 Işık kontrollü kavşakta sağa dönüş yapacak durak yeri (TSE 11783, 1995).

**2.5.2.2.2 Otobüs Öncelikli Işık Kontrollü ( Sinyalizasyonlu ) Kavşaklardaki Duraklar.** Sola dönüş yapan otobüsler için kavşakta “özel ve öncelikli” sinyalizasyon sistemi varsa, kavşağa girişteki yolun sağında cepli durak yapılabilir.



Şekil 2.11 Otopüs öncelikli sinyalizasyona sahip kavşaklardaki duraklar (TSE 11783, 1995).

2.5.2.2.3 *Kavşak Çıkış Kolundaki Duraklar.* Sola dönüş yapan otobüsler için, kavşakta öncelikli sinyalizasyon sistemi yoksa ve sola dönüş yapıldıktan sonra kavşak çıkış kolundaki trafik yoğunluğu az ise, durak burada yapılabilir. Karşıdan karşıya geçen yolcuların otobüslerin arkasından geçmelerinin sağlanması için, bu tip duraklar, kavşak çıkışından en az 48-50 m ileride yapılmalıdır.



Şekil 2.12 Kavşak çıkış kolundaki otobüs durakları (TSE 11783, 1995).

2.5.2.2.4 *Üç Kollu Kavşaklardaki Durak Yerleri.* Üç kollu kavşaklardaki durak yerleri, kesinlikle kavşaktan sonra, kavşak çıkış kolunda yer almalıdır. Durağa





Bu durak yaklaşımlarının avantaj ve dezavantajları kıyaslandığında sonuçların şu şekilde olduğu görülmüştür (TCRP, 1996).

#### Kavşak Sonrası Durakların Avantajları:

- Sağa dönen otobüs ve araçlar arasındaki karmaşıklığı en aza indirmesi,
- Trafikte ulaşılır kaldırım şeridi yapılmasıyla sağa dönüş kapasitesinde artış sağlaması,
- Kavşak yaklaşımlarında görme kısıtlarını en aza indirmesi,
- Yayaların otobüsün arkasından karşıya geçişine imkan tanınması,
- Yayaların otobüsün arkasından karşıya geçişine imkan tanınması,
- Otobüsün hızını azaltmasıyla otobüs için hız azaltma mesafesini düşürmesi,
- Otobüs şoförleri için kavşakta trafik akımında boşluk yaratılmasıyla sonuçlanmasıdır.

#### Kavşak Sonrası Durakların Dezavantajları:

- Pik süre boyunca kavşakta otobüsün durmasıyla oluşan kısıtlamalara neden olabilmesi,
- Karşıya geçen araçlar için görüş mesafesini engelleyebilmesi,
- Karşıya geçen yayalar için görüş problemlerinin artmasına neden olabilmesi,
- Kavşak sonrası duraktan sonra otobüsün kırmızı ışıkta durmasıyla otobüs işletimi ve diğer trafik için karışıklık yaratılmasına neden olabilmesi,
- Otobüs şoförünün beklenmedik durumda tekrar kırmızı ışıkta durmasıyla arka tampon kazalarının sayısının artmasıyla sonuçlanabilmesi,
- Otobüs trafik şeridinde durduğunda kavşağa doğru trafikte kuyruklanmayla sonuçlanabilmesidir.

#### Kavşak Öncesi Durakların Avantajları:

- Kavşakta kavşak sonrası trafik ağır olduğunda engelleri minimize etmesi,
- Otobüsün kaldırıma en yakın şekilde yolcuların erişimine imkan tanınması,



- Şoförün kaldırımdan ayrılmasıyla kavşağın genişlemesini sağlamasıyla sonuçlanabilmesi,
- Potansiyel durmaları iki kat elimine etmesi,
- Otobüs kırmızı ışıkta durduğunda yolcuların inme ve binmelerine izin vermesi,
- Akan trafikte şoföre diğer otobüsler ve potansiyel yolcuları kapsayan fırsat sağlamasıdır.

#### Kavşak Öncesi Durakların Dezavantajları:

- Sağa dönen araçlarda karmaşıklıkları arttırması,
- Karşıya geçen yayalar ve kaldırım trafik kontrol işaretlerinin duran otobüsler için belirsizlik yaratabilmesi,
- Karşıya geçen araçların durmasıyla sağa dönen otobüsler için görüş mesafesinde belirsizliğe neden olabilmesi,
- Pik süre boyunca otobüs kuyruklanmasıyla şeride doğru kısıtlama oluşturabilmesi,
- Karşıya geçen yayalar için görüş mesafesi problemlerini arttırabilmesidir.

#### Kavşak Ortası Durakların Avantajları:

- Araçlar ve yayalar için görüş mesafesi problemlerini en aza indirmesi,
- Bekleyen yolcuların yayalardan daha az karmaşıklıkla karşılaşmasıyla sonuçlanabilmesi.

#### Kavşak Ortası Durakların Dezavantajları:

- Park yapılmaz kısıtlamalarından ötürü ilave mesafe gerektirmesi,
- Orta kısımdan karşıya geçişler için kullanıcıları cesaretlendirmesi,
- Kavşakta karşıya geçen kullanıcılar için yürüme mesafesini arttırması.

## BÖLÜM ÜÇ

### KAPASİTE VE DOYGUM AKIM HESAB YÖNTEMLERİ

#### 3.1 Kapasitenin Hesaplanması

Şerit grubuna ait kapasite, bir yaklaşım kolu için Bağntı 3.1 ile hesaplanabilir (HCM, 2010).

$$c = N.S. \frac{g}{C} \quad (3.1)$$

Burada;

- c: Kapasite( araç/saat),
- S: Doygun akım değeri(aracı/saat)
- C: Devre süresi (saniye),
- g: Efektif yeşil süre,

olmaktadır.

Kapasitenin doygun akım değerine bağlı olduğundan doygun akım değerinin hesaplanması büyük önem taşımaktadır.

#### 3.2 Doygun Akım

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 (HCM, 2000).

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.

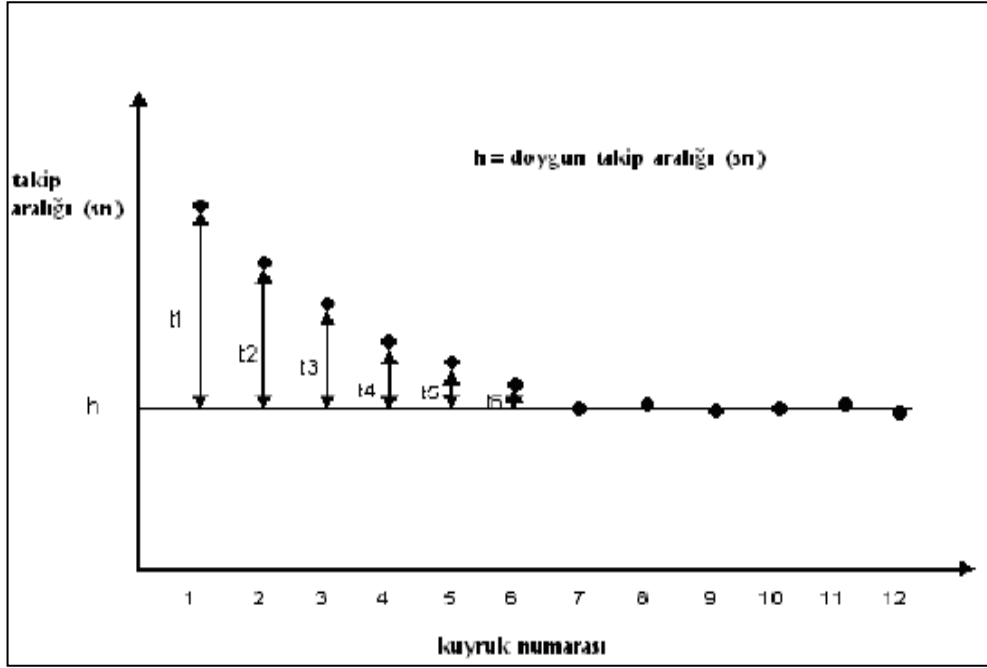
Şekil 3.1’de görülebileceği gibi ilk aracın arkasında hareket eden araçların takip aralığı değeri ikinci araçtan itibaren düşmeye başlar ve yaklaşık altıncı araçtan itibaren sabit kalır (Bester ve Meyers, 2007). Araçlar arasında sabit kaldığı kabul edilen ve kavşaktan bir saat içinde geçirilebilecek olan maksimum araç sayısını belirlemek amacıyla kullanılan bu sabit değere doymun takip aralığı adı verilir.

Burada;

S: Doymun akım miktarı (araç/saat),

H: Ortalama doymun takip aralığı (saniye)

olarak tanımlanır.



Şekil 3.1 Kuyruk numarasına bağlı olarak takip aralığı değerlerinin değişimi (Bester ve Meyers, 2007)

Doymun akım miktarı, başlangıç gecikmesine uğrayan araçların ve doymun takip aralığı değerinin belirlenmesindeki zorluklar sebebiyle tanımlanması zor bir kavramdır. Bölgesel gözlemler olmadan, çeşitli yöntemlerde öngörülen/varsayılan değerler kullanılarak yapılan analizler çoğunlukla sinyalizasyon sistemlerinin başarımının 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, akım içerisindeki ağır araç oranına, şerit özelliklerine, topoğrafik özelliklere, yaya hareketliliğine ve kavşağın bulunduğu bölgenin özelliklerine bağlı olarak çeşitli düzeltme faktörleri ile çarpılarak düzeltir (HCM, 2000). Kapasite analiz hesaplarında kullanılan doygun akım değeri için ideal şartlar altında 1900 araç/şerit/saat değeri kullanılmaktadır (HCM, 2000). Ancak ideal şartların geçerli olmadığı pratik şartlar altında bu değer aşağıdaki bağıntı yardımıyla küçültülerek kullanılır. Sinyalize kavşaklarda bir şerit grubuna ait doygun akım değeri aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir (HCM, 2000):

$$S = S_0 \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_g \times f_p \times f_{pb} \times f_{bb} \times f_a \times f_{RT} \times f_{LT} \times f_{Lpb} \times f_{Rpb} \quad (3.2)$$

Burada;

- S: Doygun akım değeri,
- S<sub>0</sub>: Temel doygun akım değeri,
- N: şerit sayısı,
- f<sub>w</sub>: şerit genişlik faktörü,
- f<sub>HV</sub>: Ağır araç faktörü,
- f<sub>g</sub>: Yaklaşım kolu eğim faktörü,
- f<sub>p</sub>: Parklaşma düzeltme faktörü,
- f<sub>pb</sub>: Parklaşma tıkanma faktörü,
- f<sub>bb</sub>: Otobüs tıkanma faktörü,
- f<sub>a</sub>: Bölge tipi faktörü,
- f<sub>RT</sub>: Sağa dönüş faktörü,
- f<sub>LT</sub>: Sola dönüş faktörü,
- f<sub>Lpb</sub>: Sola dönüşler için yaya düzeltme faktörü,
- f<sub>Rpb</sub>: Sağa dönüşler için yaya düzeltme faktörüdür.

olmaktadır.

### 3.2.1 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
- c) TRL Yöntemi olarak sıralanabilir.

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; HCM, 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 (HCM, 2000), sinyal çizgisinde beklemekte olan araçların takip aralıklarının dördüncü sıradaki araçtan sonra istikrarlı/sabit düzeye geldiği kabul edilir. HCM 2000'e göre araçlar arasındaki doygun takip aralığı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$h_s = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=5}^n h_{ij}}{\sum_{i=1}^m (n-4)} \quad (3.3)$$

Burada,

$h_s$  : Doygun takip aralığı (saniye),

$h_{ij}$  : i. devrede, kuyruktaki j. aracın kuyruğu boşaltma takip aralığı (saniye),

$n_i$  : i. devrede kuyruktaki araç sayısı ( $n_i > 4$ ),

$m$  : Gözlemlenen devre sayısı,

olmaktadır.

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.

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

$$S = \frac{x_2}{x_4 - 10n_4} \quad (3.4)$$

Burada,

- S : Doymun takip aralığı (araç/saniye),
- $x_2$ : Orta aralıkta geçen toplam araç sayısı,
- $x_4$ : Toplam doymun 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 doymun akım değerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır (Akçelik ve diğerleri, 1999). Bu yöntemde kuyruk oluşturan ve yeşil süre içinde sinyal yaklaşım kolunu boşaltan bütün araçlar doymun takip aralığı hesaplamalarına dâhil edilmektedir.

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

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 a ve Tarko, 2005).

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).

## **BÖLÜM DÖRT**

### **OTOBÜSLERİN SİNYALİZE KAVŞAKLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

Otobüsler, fiziksel büyüklüklerinden ve düşük operasyon yeteneklerinden dolayı özellikle sinyalize kavşaklarda trafik akım verimini olumsuz yönde etkilemektedirler. “Otomobil birimi eşdeğeri – PCE” değeri, otobüs ve benzeri ağır araçların trafik akımı üzerindeki bu olumsuz etkisini yansıtabilmek amacıyla kullanılmaktadır.

Toplu taşımacılık amacı ile şehir için de kullanılan otobüsler yukarıda bahsi geçen etkiye ek olarak sinyalize kavşaklara yakın duraklarda durmaları sebebiyle yol ve durak özelliklerine bağlı olarak akımı engellemektedirler.

Genel olarak otobüslerin sinyalize kavşakları üzerindeki etkileri iki farklı açıdan incelenebilmektedir. Bunlar:

- Ağır araç etkisi olarak ele alınması durumu
- İşletme karakteristiklerinin ele alınması durumu

#### **4.1 Ağır Araç Etkisi Olarak Ele Alınması Durumu**

Ağır araç etkisi olarak ele alınması durumunda değişik araç türlerinin trafik üzerindeki etkisini daha kolay ve basit tanımlamak amacıyla bir otomobil bir birim araç olarak alınmaktadır. Mevcut trafik şartları ve yol özellikleri altında herhangi bir aracın trafik akımı içinde yerini aldığı otomobil sayısına o aracın eşdeğeri otomobil birimi denilmektedir ve literatürde kısaca PCE (Passenger Car Equivalent) olarak gösterilmektedir.

Ağır araçlar, fiziksel büyüklüklerinden ve düşük hızlanma ve/veya yavaşlama kabiliyetlerinden dolayı, özellikle kavşaklarda trafik akım verimini olumsuz yönde etkilemektedirler. Ağır araçlar kavşaktan geçerken otomobillere nazaran daha büyük zaman cinsinden mesafeye sahip olduklarından dolayı kendilerini takip eden araçların daha fazla gecikmesine neden olmaktadır (Molina, 1987).



Ağır araç oranınin hesaplanması amacıyla farklı ülkelerde farklı yöntemler ve farklı PCE değerleri kullanılmaktadır. Şehir içi ve Őehirlerarası yolcu ve yük taşımacılığının büyük oranda karayolu ile yapıldığı ülkelerde ağır araç etkisinin önemi, aynı oranda artmaktadır.

Kavşak performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri de araç tiplerinin dağılımıdır. Kavşaklarda ağır araçlar trafiği üç Şekilde etkilerler:

- a) Ağır araçlar, otomobillere nazaran fiziksel olarak daha büyük olduklarından otomobillere göre daha geniş bir yol kesimini kaplamaktadırlar.
- b) Ağır araçların otomobillere oranla daha zayıf manevra yeteneğine sahip olmaları nedeniyle: Özellikle hızlanma, yavaşlama ve yokuş yukarı hızlarını koruma kabiliyetleri daha zayıftır (Lake ve ark., 2002; Ramsey ve Bunker, 2003; Ramsey ve ark., 2004).
- c) Ağır araçların psikolojik olarak da diğer sürücüler üzerinde etkileri olmakta ve onların takip aralıklarını değiştirmektedirler.

“b” maddesinde anlatılmaya çalışılan etki en kritik olanıdır. Ağır araçların ivmelenme süreleri genellikle otomobillerden daha uzun olduğundan: kavşakta dönüş manevralarıyla doldurulması zor olan geniş aralıklar oluştururlar ve bu da kavşak alanını kullanımında verimsizlik yaratır. Diğer ülkelerde, genellikle ağır araç sınıfına dahi sokulmayan minibüsler, Türkiye’de yolcu taşıma amacıyla kullanılması nedeniyle ağır araç olarak nitelendirilebileceği düşünülmüştür. Çeşitli araç tipleri, uzunluklarına göre aşağıdaki tabloda belirtildiği gibi sınıflandırılabilir (Sorensen, 1998; Canseven, 2002).

Setti ve Demarchi (1996) ise araç tiplerini uzunluklarına göre sınıflandırırken, otomobillerin uzunluğunun en fazla 6,0 m, otobüslerin uzunluğunu ise 13,2 m olabileceğini öne sürmüşlerdir.

Tablo 4.1 Sorensen' in uzunluklarına göre araç sınıflandırması

Araç Cinsi	Uzunluk
Otomobil	2,5-4,8 m
Hafif taşıma aracı	4,8-6,0 m
Kamyonet	6,0-7,0 m
Kamyon	7,0 m- 12,0 m
Römorklu Kamyon	12,0 m- 22,0 m
Otobüs	22,0 m- 24,0 m

Ağır araçların otomobil birimi değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler şöyle sıralanabilir:

- 1- Webster Yöntemi
- 2- Regresyon Yöntemi
- 3- Aralık Oranı Yöntemi(Headway Ratio Method:HR)
- 4- “Highway Capacity Manual” Yöntemi
- 5- D-PCE (Gecikmeye Dayalı Eşdeğer Otomobil Birimi) Yöntemi

Bu yöntemlere ek olarak bu tez ‘de “Aralık Oranı“ yöntemi temel alınarak yeni bir model oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu model de araçlar takip ettikleri ya da edildikleri araçlarla değerlendirilmişlerdir ve araçların bulunduğu pozisyonun olasılığı ve aralığı baz alınarak model kurulmuştur. Oluşturulan bu model Bölüm 4.1.6’da ayrıntılı olarak tanıtılacaktır.

#### **4.1.1 Webster Yöntemi**

Webster, trafik akımı içerisinde kontrollü kamyon deneyi yaparak yük taşıyan araçlar için PCE değerini hesaplamıştır. Webster araçları iki gruba ayırmıştır (Webster, 1958):

1. Hafif Araçlar (özel otomobil, taksi vb.),
2. Yük taşıyan araçlar (otobüs, kamyon, çift katlı otobüs, tır vb.):
  - a) Orta hafiflikteki ticari araçlar,
  - b) Ağır ticari araçlar.

Webster (1966), yük taşıyan araçlar için PCE değerini, 12 ardışık sinyal devresinden elde ettiği verileri gruplandırarak ve her devre grubu için devredeki yük taşıyan ortalama araç sayısı  $\left[\bar{n}_g = \frac{1}{N} \sum n_g\right]$ - devredeki ortalama hafif araç sayısı  $\left[\bar{n}_l = \frac{1}{N} \sum n_l\right]$  grafiği çizerek belirlemiştirler.

Burada:

$\bar{n}_g$ : Bir devrede gelen ortalama yük taşıyan araç sayısı

$\bar{n}_l$ : Bir devrede gelen ortalama hafif araç sayısını.

N: Veri grubundaki devre sayısını,

ifade etmektedir.

Bu grafikte  $\bar{n}_g$ ,  $\bar{n}_l$  değerleri arasında göz ile düz bir çizgi çizilecek kadar küçük bir dağınıklık vardır. PCE değeri ise iki taraflı (karşılıklı) eğim olarak belirlenmiştir. Webster ve Cobbe (1966) doğru giden hareket için doymuş akımda farklı araç tipleri için PCE değerlerini Tablo 4.2'deki gibi vermişlerdir.

Tablo 4.2 Doğru giden araçlar için PCE değerleri (Webster ve Cobbe, 1966)

Araç Tipi	PCE
Ağır veya orta ağırlıktaki yük taşıyan araçlar	1,75
Otobüs	2,25
Tramvay	2,50
Hafif yük taşıyan araçlar	1,00
Motosiklet, motorlu bisiklet	0,33
Bisiklet	0,20

#### 4.1.2 Regresyon Yöntemi

Braston ve Gipps (1981), sinyalizasyon kavşaklarında PCE değerini de içeren parametreleri hesaplamak amacı ile çoklu lineer regresyon yöntemini önermişlerdir. Bu yöntem, belirli bir yaklaşıma ait yeşil zamanın sırasıyla ilk, orta ve son olarak üç bölüme ayrılması ile uygulanmıştır. Bu üç zaman aralığı, yeşil sürenin başında

doygun akımın oluşmaya başlaması (ilk durum ), doygun akımın sabit olarak gözlemlendiği süre (orta durum) ve sarı ışıkta doygun akımda görülen azalma (son) olarak açıklanabilir. Bu yöntemde, araç gelişleri rastgele bir anda başlayan ve biten (T) zaman aralığında kaydedilmiştir. Daha sonra, modelin  $B_0$  ve  $B_i$  katsayılarını belirlemek amacıyla otomobil sayısı ( $n_t$ ), (i) tipi araçların sayısı ( $n_i$ ) ve (T) zaman aralığı üzerinde regresyon analizi yapılmıştır (Branston ve Gipps, 1981).

$$n_t = B_0 T - \sum_{i \neq 1} B_i n_i + \varepsilon \quad (4.1)$$

Burada:

$B_0$ : Doygun akım oranı(birim zamandaki otomobil sayısı cinsinden)

$B_i$ : i tipi aracın PCE değeri,

$n_i$ : i tipi araçların sayısı

$\varepsilon$ : i tipi araçların sayısı

değerlerini ifade etmektedir.

Bu yöntemde, araç gelişleri eş zamanlı ve eş zamanlı olmayan zaman aralıklarında Tablo 4.3'te görülmektedir.

Tablo 4.3 Regresyon Yöntemi ile elde edilen PCE değerleri (Branston ve Gipps, 1981)

Araç Tipi	Yöntem	
	Eşzamanlı Olmayan	Eşzamanlı
Doğru Giden Otomobil	1,00	1,00
Kamyonet	1,14	1,28
Otobüs	1,79	1,61
Kamyon	1,74	1,59
Motosiklet	0,04	0,08
Sağa Döner Otomobil	0,89	0,89

Regresyon yöntemi, başlangıç ve geçiş kayıp zamanını hesaba katmadan pratikte sadece doğru giden trafik ve ana akımın doygun akım trafiğinde uygulanmıştır. Ayrıca,  $B_0$  doygun akım oranı, teorik olarak bulunmuştur.

#### 4.1.3 Aralık Oranı Yöntemi (Headway Ratio Method; HR)

HR yöntemi ilk olarak Greenshilds ve diğerleri (1947) tarafından bulunmuştur. Bu yöntem, ağır araçların ve otomobillerin ortalama zaman cinsinden aralık değerlerinin hesaplanması temeline dayanmaktadır. Araç sınıflarına göre PCE değerleri bu iki zaman cinsinden aralık değerlerinin oranı olarak tanımlanmıştır. Bu da aşağıdaki gibi bir bağıntı ile ifade edilir:

$$PCE_t = \frac{\bar{h}_t}{h_c} \quad (4.2)$$

Burada ;

$PCE_t$  : t sınıfı araçlar için PCE değerini,

$h_t$  : t sınıfı araçların arasındaki efektif ortalama zaman cinsinden aralık değerini,

$h_c$  : Otomobiller arasındaki ortalama zaman cinsinden aralık değerini, ifade etmektedir.

HR yöntemi, sinyalize kavşaklarda PCE değerini bulmak amacıyla en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, basit ve açık olmasına rağmen, ağır araçların gecikme üzerindeki olumsuz etkilerini ve kuyruktaki konumlarını dikkate almaz.

Evans ve Rothery araç büyüklüğünün ve performansının aşırı yüklü bir sinyalize kavşağın doygun akımını nasıl etkilediği konusunda bir araştırma yapmışlardır. Kavşakta dur çizgisinden 15 metre öteye kayıt cihazı yerleştirilerek birer saatlik çekimler yapılarak konu incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda bulunan bulgular aşağıda ifade edildiği gibidir (Evans ve Rothery, 1981):

1. Fiziksel olarak daha küçük araçlar yüksek kavşak doymun akımını vermiştir,
2. Kuyruk başlangıcında düşük performanslı araç bulunması durumunda, doymun akım düşmüştür,
3. Düşük performanslı araçlar doymun akımı düşürmüştür,
4. Kuyrukta lider konumunda olan geniş kamyonlar temsil edilenin üstünde çıkmıştır.

HR yöntemi uygulanırken, kuyrukta lider konumunda olmayan ve üç ve/veya daha fazla akslı olarak tanımlanan bir ağır kamyon için PCE değeri 2,63 olarak bulunmuştur. Buna karşın kuyrukta lider konumundaki bir ağır kamyon için bu değer 4,05 olarak elde edilmiştir.

Molina, ağır araçların arkasında kalan kuyruktaki diğer araçların aralık değerlerinin artışı gözönünde bulundurarak düzeltilmiş aralık oranı yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntemle göre PCE değeri şu şekilde hesaplanmaktadır (Molina, 1987):

$$PCE_t = \frac{(h_t + \Delta H)}{h_c} \quad (4.3)$$

$$PCE_t = 1 + \frac{(TT_t - TT_c)}{h_c} \quad (4.4)$$

Burada  $PCE_t$ , “t” tipi aracın PCE:  $\Delta H$ , ağır araçların neden olduğu kuyruğun toplam aralık değeri artışı:  $TT_c$ , ağır araç kuyruğunun toplam tahliye zamanı:  $h_c$ , otomobil doymun akım aralık ve  $h_t$ , “t” tipi aracın aralık değerlerini açıklamaktadır.

Molina (1987), iki-üç veya tek akslı ağır araçlar için kuyruktaki konumlarının, PCE değerine önemli bir etkisi olmadığını bulmuştur. Bunun yanında: kuyruktaki araç pozisyonunun, beş akslı ağır araçların PCE değerine dikkate değer bir etkisi vardır. Molina'nın çalışması, doğru hareket eden trafik ve sadece kuyruktaki tek akslı ağır araç ile sınırlı kalmıştır. Trafik hacmi ve ağır araç yüzdesi gibi diğer faktörler göz önünde bulundurulmamıştır. Molina'nın tavsiye ettiği PCE değeri hafif araçlar ve ağır araçlar için sırasıyla 1,7 ve 3,7 dir (Canseven, 2002).

Molina'nın yöntemi, kuyruktaki ağır araçların konumlarını bir şekilde hesabına dahil ettiğinden HR yöntemindeki en son gelişme olarak alınabilir. Ancak, Molina'nın hesaplarında yalnızca aralık artışı dikkate alınmakta, diğer araçların kuyrukta ağır araçların arkasında kalması sonucu oluşacak ilave gecikme tam olarak dikkate alınmamaktadır. Bu yöntemde kuyrukta 8'inci sırada bulunan araca kadar aralık artışı dikkate alınır. 8'inci sıradan daha geride bir araç varsa, bu aracın PCE değerinin etkilemeyeceği düşünülmüştür (Canseven, 2002).

West ve Thurgood, Molina'nın yöntemini sola dönen hafif ve ağır araçlar için PCE değerini elde etmek amacıyla incelemişler ve hafif ağır araçlar için 1,7, ağır araçlar için 4,4 değerini bulmuşlardır (West ve Thurgood, 1995).

#### ***4.1.4 Highway Capacity Manual Yöntemi***

HCM, sinyalize kavşaklarda ağır araçların PCE değerlerini doğrudan kullanmamaktadır. Ağır araçların etkisini dikkate almak amacıyla ideal doygun akım oranına düzeltme faktörü uygular (HCM, 2010):

Bağıntı (4.5)'de bulunan ağır araç düzeltme faktörü, genel olarak aşağıdaki şekilde gibi hesaplanabilir:

$$\square F_{HV} = \frac{1}{(1 + P(PCE - 1))} \quad (4.5)$$

Burada P, ağır araç oranıdır. Transportation Research Board (HCM) tarafından hazırlanan Yolların Kapasitesi El Kitabı 2010'de (Highway Capacity Manual 2010, HCM2010) sinyalize kavşaklarda tüm ağır araçlar için PCE=2,0 olarak kabul edilmektedir. Aynı kabul Akçelik (1991) tarafından da yapılmıştır.

Her araç tipinin etkisinin diğer araçlardan farklı olacağı açıktır. Nitekim Kockelman ve Shabih (2000), (4.5) bağıntısını geliştirerek aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir:

$$F_{HV} = \frac{1}{\left(1 + \sum_i P_i (\text{PCE}_i - 1)\right)} \quad (4.6)$$

Burada  $P_i$ , “i” aracının akım içerisindeki yüzdesini;  $\text{PCE}_i$  ise “i” aracının eş değer otomobil birimini ifade etmektedir.

Doğrudan belirtilmemiş olmasına rağmen, HCM(2010) ve Kockelman ve Shabih (2000) tarafından kullanılan düzeltme faktör bağlantısı aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

$$S = \frac{1}{\bar{h}_A} \cdot F_{HV} \quad (4.7)$$

$$S = \frac{1}{\bar{h}} \quad (4.8)$$

$$\bar{h} = \sum_i^j P_i h_i \quad (4.9)$$

$$\bar{h} = P_A \cdot \bar{h}_A + P_B \cdot \bar{h}_B \quad (4.10)$$

$$S = \frac{1}{\bar{h}} = \frac{1}{P_A \cdot \bar{h}_A + P_B \cdot \bar{h}_B} \quad (4.11)$$

$$\frac{1}{\bar{h}_A} \cdot F_{HV} \rightarrow F_{HV} = \frac{\bar{h}_A}{P_A \cdot \bar{h}_A + P_B \cdot \bar{h}_B} \quad (4.12)$$

$$F_{HV} = \frac{\bar{h}_A}{\bar{h}_A \cdot (P_A + P_B \frac{\bar{h}_B}{\bar{h}_A})} = \frac{1}{1 - P_B + P_B \cdot \text{PCE}} = \frac{1}{1 + P_B \cdot (\text{PCE} - 1)} \quad (4.13)$$

Burada:

$P_i$ : “i” tip aracın akım içerisindeki oranı,

$S$ : Doygun akım değeri,

$h_i$ : “i” tipi aracın ortamla zaman cinsinden aralığı,

$F_i$ : “i” tipi aracın ortamla zaman cinsinden aralığı,

$\bar{h}$ : Kapasite durumunda ortamla zaman cinsinden aralık.

$\text{PCE}$ : Eşdeğer otomobil birimi,

Olarak tanımlanmıştır.



#### 4.1.5 D-PCE (Gecikmeye Dayalı Eşdeğer Otomobil Birimi) Yöntemi

Benekohal ve Zhao(1996), ağır araçların gecikme üzerinde yarattığı etkileri dikkate alabilmek amacıyla, gecikme temeline dayanan PCE değerini hesaplamak için D\_PCE (Delay Based Passenger Car Equivalent) yöntemini geliştirmişlerdir. D\_PCE en basit haliyle, ağır araçların neden olduğu gecikmenin otomobil gecikmesine oranı olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir

$$D\_PCE = 1 + \frac{\Delta d_i}{d_0} \quad (4.14)$$

Burada  $\Delta d_i$ , “i” tipi aracın neden olduğu ilave gecikme:  $d_0$ , sadece otomobillerden oluşan trafik akımındaki ortalama araç gecikmesi değerlerini ifade etmektedir.

D\_PCE değeri, trafik akımında ağır aracın yerine geçebilecek ve mevcut trafik akımındaki toplam gecikme değerine eşit olan gecikme değerini verebilecek toplam otomobil sayısını vermektedir. Sinyalize kavşaklarda, kırmızı faz sırasında kavşağa yaklaşan araçlar kavşak DUR çizgisinde durup kuyruğa katılmak zorunda kalacaklardır. Oluşan kuyrukta ağır araçların bulunması durumunda, ağır araçların olumsuz etkileri önem kazanacaktır. Trafik verimliliğin kötüye gitmesi kuyruk tahliye zamanının uzamasına ve araçların ilave bir gecikmeye maruz kalmasına neden olacaktır. D\_PCE yönteminde, trafik akımının sadece otomobillerden oluştuğu duruma ‘baz durum’ adı verilmektedir ve bu araçların gecikmesi de ‘baz gecikme’ olarak kabul edilmektedir. Trafik akımda en az bir ağır aracın bulunması halinde bu duruma ‘karışık durum’ adı verilmektedir ve oluşacak kuyruğa ise ‘karışık trafik kuyruğu’ denilmektedir. Trafik akımının baz ve karışık durumu için gecikmeler bilindiği takdirde:

$$D\_PCE = 1 + \frac{\left\{ \frac{(D_t - D_0)}{V_t} \right\}}{d_0} \quad (4.15)$$

$D_t = V \times d_t$ ,  $D_0 = V \times d_0$  ve  $V_t = V \times P_H$  olarak ifade edildiğinden yukarıdaki bağıntı şu şekilde gösterilebilir:

$$D\_PCE = 1 + \frac{(d_t - d_0)}{(P_H \times d_0)} \quad (4.16)$$

Burada:

- $D_t$  : Karışık trafik durumu için toplam gecikme (san),
  - $D_0$  : Baz trafik durumu için toplam gecikme (san),
  - $d_0$  : Baz trafik durumu için ortalama gecikme (san/araç),
  - $P_H$  : Ağır araç yüzdesi,
  - $V$  : Toplam trafik hacmi (araç/saat),
  - $V_t$  : Toplam ağır araç hacmi (araç/saat)
- değerlerini göstermektedir.

Baz trafik durumu için geliş oranı, doymun akım oranı ve sinyal bilgileri bilindiği takdirde ortalama kuyruk uzunluğu (kuyruktaki araç sayısı)  $n_q$  aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$n_q = \frac{R \times q_s}{(s - q)} \quad (4.17)$$

Baz trafik durumu için bir devredeki toplam kuyruk gecikmesi ise aşağıdaki gibi bulunmaktadır:

$$D_0 = 0,5 \times R^2 q \frac{s}{(s - q)} \quad (4.18)$$

Bu iki bağıntıda:

- $q$  : Geliş oranı (araç/sn),
  - $s$  : Doymun akım oranı (araç/sn),
  - $n_q$  : Kuyruktaki ortalama otomobil sayısı,
  - $R$  : İncelenen yaklaşım kolu için efektif kırmızı zaman (sn),
- değerlerini ifade etmektedir.

Otomobiller için ortalama gecikme diğerk bir deyişle baz gecikme şu şekilde hesaplanabilir:

$$d_0 = \frac{D_0}{n_0} = 0,5 \times \frac{R^2}{n_0} \times q \frac{s}{(s-q)} \quad (4.19)$$

ve

$$d_0^q = \frac{D_0}{n_q} = 0,5 \times \frac{R^2}{n_q} \times q \frac{s}{(s-q)} = 0,5 \times R \quad (4.20)$$

Bu bağıntılarda;

$d_0$  : Ortalama otomobil gecikmesi (baz gecikme),

$d_0^q$  : Ortalama otomobil kuyruğı gecikmesi (baz kuyruk gecikmesi),

$n_0$  : Devredeki toplam otomobil sayısı,

değerlerini ifade etmektedir.

İlave gecikme, ağır araçlar kuyruktaki bulunduğı zaman oluşmaktadır. Toplam ilave gecikme değeri, ağır aracın arkasındaki her bir aracın gecikmesinin toplamı olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\sum \Delta d_i = \sum_{j=p}^m d_j \quad (4.21)$$

Burada;

$d_j$  : Karışık kuyruktaki j'inci sırada bulunan aracın ilave gecikme değeri,

P : Karışık kuyruktaki ağır aracın konumunu (sırası),

m : Kuyruktaki son aracın sırasını,

ifade etmektedir.

$d_j$  kavramı, kuyruktaki i'inci sırada bulunan aracın ilave zamanıdır ve mevcut durum ile baz durum arasındaki kuyruk tahliye zamanı farkı alınarak hesap edilir.

$$d_j = TT_j^t - TT_j^0 \quad (4.22)$$

Burada;

$TT_j^t$  : Karışık kuyruktaki j'inci aracın seyahat zamanı,

$TT_j^0$  : Otomobil kuyruğundaki j'inci aracın seyahat zamanı,

Değerlerini ifade etmektedir.

Alternatif olarak,  $d_j$  değeri p'inci sıradaki araca kadar aralık değerlerinin toplamı olarak da ifade edilebilir.

$$d_j = \sum_{k=p}^j t_k \quad (4.23)$$

Burada;

$t_k$  : Kuyruktaki ağır aracın arkasında bulunan k'inci aracın ilave aralık değerini,

$p$  : Ağır aracın konumunu (sirasını),

ifade etmektedir.

Araçların aralık değerlerinin artışı aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$t_k = h_k^t - h_k^0 \quad (4.24)$$

Burada;

$h_k^t$  : Karışık kuyrukta ağır aracın arkasında bulunan k'inci sıradaki araç için aralık,

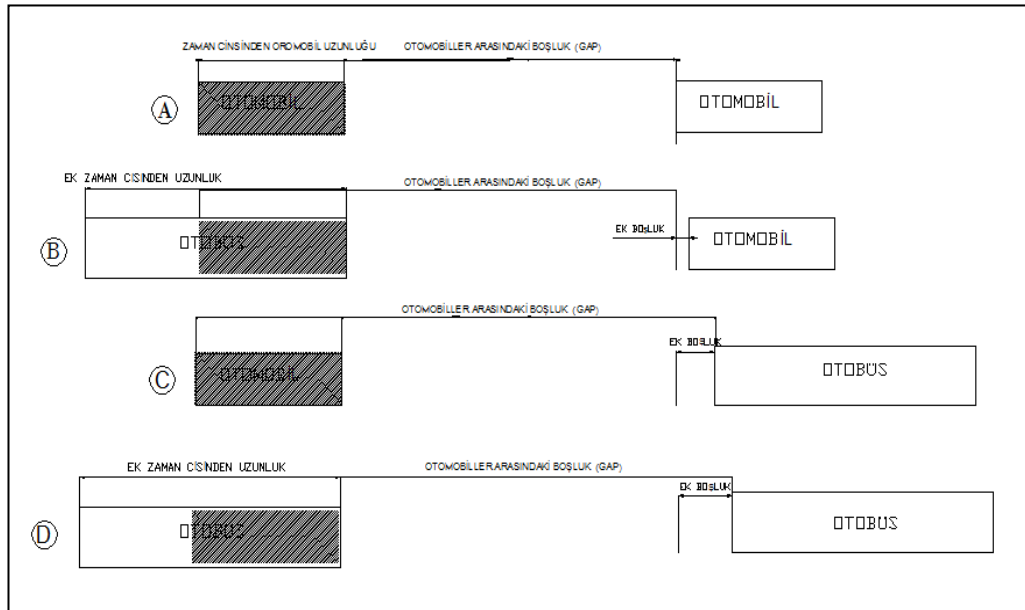
$h_k^0$  : Otomobil kuyruğunda k'inci sırada bulunan araç için aralık, değerlerini ifade etmektedir.

Böylece, kuyrukta oluşan toplam ilave gecikme değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\Delta d = \sum_{j=p}^m \sum_{k=p}^j (h_k^t - h_k^0) \quad (4.25)$$

#### 4.1.6 Geliştirilmiş Zaman Cinsinden Aralık Oranı (HR) Olasılık Yöntemi

Bu model Greenshields ve diğerleri tarafından (1947) bulunmuş ağır araçların ve otomobillerin ortalama zaman cinsinden aralık değerlerinin hesaplanması temeline dayanmaktadır. Bu yönteminden diğer yöntemlerden farkı, farklı araç tiplerinin birbirini takip etme olasılığına dayanmasıdır. Örneğin; ağır aracı takip eden araçlar, otomobili takip eden araçlara göre farklı zaman cinsinden takip aralıklarına sahiptir. Şekil 4.1'de sadece otomobil ve otobüs (ağır araç) olması durumunda bu aralıklar gösterilmiştir:



Şekil 4.1 Otomobil-Otobüs Etkileşimlerine ait zaman cinsinden aralıkları.

Burada;

- A: Otomobilin otomobili takip etme durumu,
- B: Otobüsün otomobili takip etme durumu,
- C: Otomobilin Otobüsü takip etme durumu,
- D: Otobüsün Otobüsü takip etme durumu,

Olarak tanıtılmıştır.

A, B, C ve D durumunun oluşma olasılığı ve ortalama zaman cinsinden araç takip mesafesi sırasıyla  $(P_A, \bar{h}_A)$ ,  $(P_B, \bar{h}_B)$ ,  $(P_C, \bar{h}_C)$  ve  $(P_D, \bar{h}_D)$  olmaktadır. Buna bağlı olarak  $F_{HV}$  düzeltme faktörü (4.7:4.8:4.9) bağıntıları ve aşağıdaki bağıntı (4.26-4.27) kullanılarak, bağıntı 4.28 şeklinde elde edilmiştir.

$$\bar{h} = P_A \cdot \bar{h}_A + P_B \cdot \bar{h}_B + P_C \cdot \bar{h}_C + P_D \cdot \bar{h}_D \quad (4.26)$$

$$S = \frac{1}{\bar{h}} = \frac{1}{P_A \cdot \bar{h}_A + P_B \cdot \bar{h}_B + P_C \cdot \bar{h}_C + P_D \cdot \bar{h}_D} \quad (4.27)$$

$$S = \frac{1}{\bar{h}_A} \cdot F_{HV} \rightarrow F_{HV} = \frac{\bar{h}_A}{P_A \cdot \bar{h}_A + P_B \cdot \bar{h}_B + P_C \cdot \bar{h}_C + P_D \cdot \bar{h}_D} \quad (4.28)$$

Buradaki  $P_i$  değerleri gözlemlerden ve ya da rastgele oluşabilecek “i” durumunun olasılığı olarak tanımlanmıştır. Bu yöntemin diğer modellere göre farkı, ağır araçların akım içersindeki pozisyonlarının da akım içersindeki etkisinin de ele almasıdır. Buna bağlı olarak ağır araçların yüzdesi arttıkça ağır araçların birbirini takip etme olasılığı da artmaktadır. Ayrıca, ağır araç yüzdesi 100 olduğunda yolda sadece ağır araç bulunduğundan, ağır araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık sadece düzeltme faktörü içersinde yer alacaktır.

## 4.2 İşletme Karakteristiklerinin Ele Alınması Durumu

Bu durum işletim sisteminin neden olduğu etkenleri içermektedir. Yolcu taşımacılığı yapan otobüsler, dolmuşlar ve dolmuş taksiler bu kapsam içersinde yer alabilmektedirler. Zira yolcu alma ve indirme amacı ile yaptıkları hız değişimi ve manevralar yol akımı üzerinde etki yapmakta ve yol kapasitesini düşürmektedir. Bu faktörün sinyalizasyon kavşak kapasitesi üzerindeki etkisini belirlemek amacı ile farklı araştırmacılar farklı yöntemler kullanarak özellikle durakta duran otobüslerin etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Bu yöntemler ve çalışmaların bazıları aşağıda verilmiştir:

- 1- Highway Capacity Manual (HCM) Yöntemi
- 2- Hücre otomasyon Yöntemi
- 3- Rodriquez-Seda ve Benkkohal gecikme Yöntemi (D-PCE)

- 4- Wong ve ark. Gecikme Yöntemi
- 5- Holt ve Fetter çalışması

HCM yönteminin temel alınarak bu çalışma kapsamında yeni bir model oluşturulmuştur. Bu model de otobüslerin durak tiplerine bağlı olarak durağa yakın şeridin, durakta duran otobüs etkisi ile kısmen veya tamamen kapanması durumlarına göre şerit kapasiteleri üzerinde etkisi olduğu gösterilmeye çalışılmıştır. Bu model Bölüm 4.2.6'da ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

#### 4.2.1 Highway Capacity Manual (HCM) Yöntemi

Otobüs engelleme faktörü HCM'de analiz süresi içinde lokal (yerel) otobüs durağında yolcu indirme ya da bindirme yapan ve grup içi hareket eden trafik akımını durduran ya da bloke eden otobüs sayısı olarak tanımlanmaktadır. Otobüs durağı kavşaktan önce ya da sonra olmakta ve eğer otobüs sayısı bir saat içinde 250 araç/saat'i aşarsa (objektif olarak 250 ile sınırlandırılır) analiz süresi denklemde kullanmak amacı ile saatlik araç sayısına dönüştürülmektedir. Otobüs engelleme faktörü  $F_{BB}$ , yerel yolcu otobüslerinin yolcu bindirme ya da indirme sebebiyle durması sonucunda kavşak çizgisinin en fazla 70 metre mesafesinde olan duraklar için aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilmektedir (HCM 2010).

$$F_{BB} = \frac{N - \frac{14,4N_B}{3600}}{N} \geq 0,05 \quad (4.29)$$

Burada;

- $F_{BB}$ : Otobüs engelleme faktörü,
- $N_B$  : Yeşil süre içerisinde saatlik otobüs durağında duran otobüs sayısı,
- $N$  : Şerit sayısı,

Aynı denklem HCM (2000)'de de yer almaktadır. HCM(2000)'de bu faktör, analizde ana parametre olarak kullanılacak ise HCM (2000)'deki Bölüm 27'den hesaplanması tavsiye edilmektedir (HCM, 2000).

#### 4.2.2 Hücresel Otomasyon Yöntemi

Zhoa ve ark. (2007) hücresel otomasyon yöntemi kullanılarak kavşak öncesi ve sonrası otobüs duraklarının etkisini belirlemeyi çalışmışlar ve aşağıda şekilde bu durumu değerlendirmişlerdir:

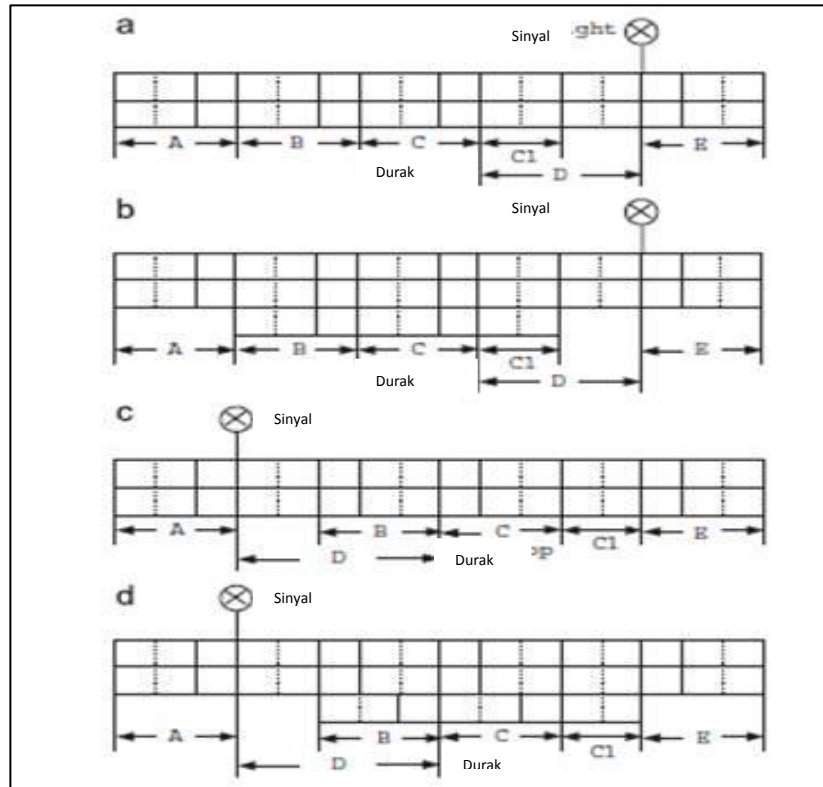
Durum 1: Sinyalden sonra yer alan durağın, özel şeridinin olması durumu

Durum 2: Sinyalden önce yer alan durağın, özel şeridinin olması durumu

Durum 3: Sinyalden sonra yer alan durağın, özel şeridinin olmaması durumu

Durum 4: Sinyalden önce yer alan durağın, özel şeridinin olmaması durumu

Aynı zamanda tanımladığı iki şeritli yolun (A,B,C,D,E,C1) altı bölümden oluştuğunu var saymıştır. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere, A bölgesi yolun başlangıcı, B bölgesi otobüs durağından önce yer alan ve şerit değiştirmenin yer alacağı bölge, C bölgesi otobüs durağının yer aldığı bölge, D otobüs durağı ve kavşak arasındaki bölge, E yol bitiş bölgesi ve C1 ise otobüs duraktan sonra yer alan bölge olarak tanımlamışlardır.

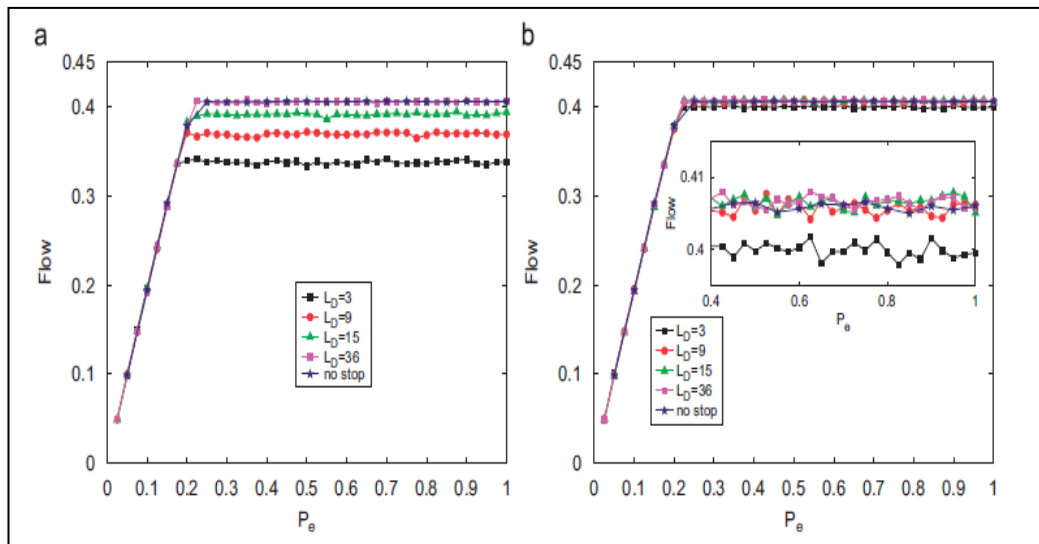


Şekil 4.2 Simülasyonda tanımlanacak yol kesitleri (X.Zhoa ve ark., 2007)



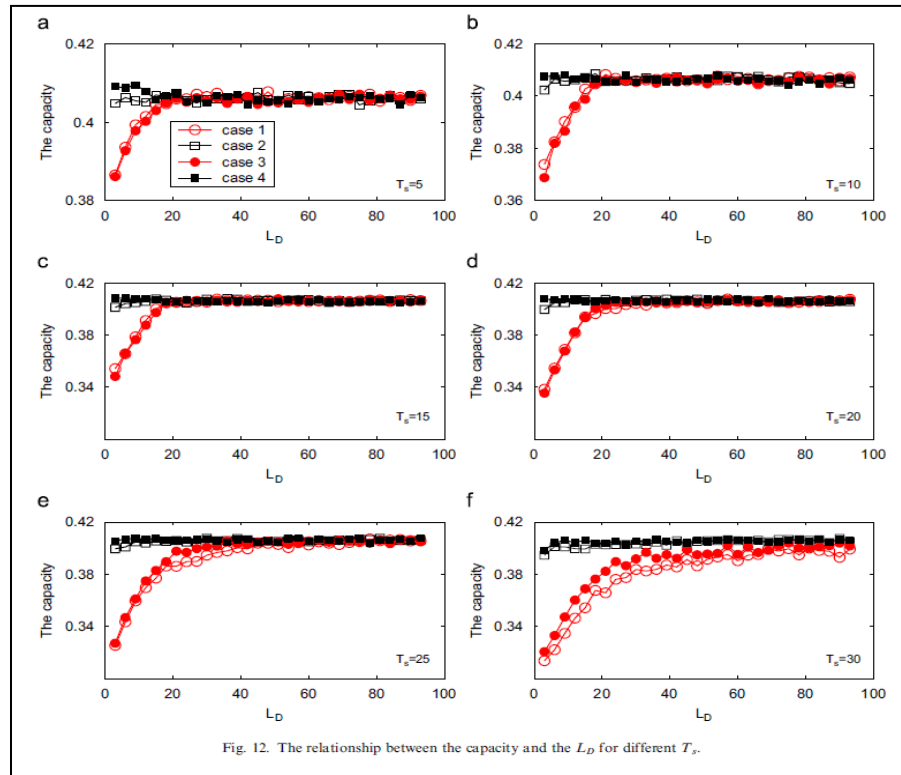
Zhoa v.d. (2007) benzetimde, geliş oranını  $P_e$ , otobüs oranını  $P_m$ , duran otobüs oranını  $P_s$ , durmayan otobüs oranını  $P_m - P_s$ , devre süresini  $T$  ve otobüs durma süresini ise  $T_s$  ile tanımlamışlardır ve her hücrelerin ya dolu yada boş olduğu aynı zamanda yolun  $L$  parçadan oluştuğu ve  $L_d$  otobüs durağının kavşak dur çizgisinden mesafesi olduğu kabul etmişlerdir.

Aşağıda durağın kavşaktan mesafesine bağlı olarak Sinyalize kavşaktan sonra yer alan (upstream) duraklar için Şekil 4.3’de geliş oranına bağlı akım grafiği a ve b durumu için çizilmiştir, “a” durumunda değişik  $L_d$  değerleri için,  $L_d$ ’nin akım değeri üzerinde çok büyük bir etkisi olduğunu görülmektedir ama “b” durumu da otobüs duraklarının özel şeride sahip olması durumunda farklı  $L_d$  değerinin akım üzerinde çok fazla etkisi olmadığını görülmüştür.

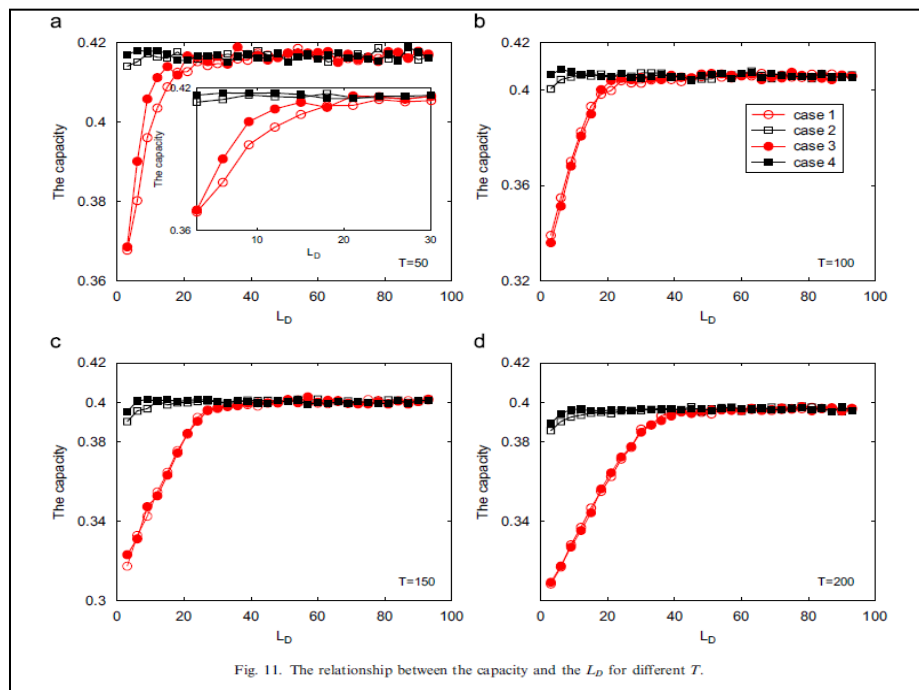


Şekil 4.3 Durak mesafesinin akım ve  $P_e$  ile ilişkisi (X.Zhoa ve ark., 2007)

Şekil 4.4 ve 4.5 ise farklı otobüs durakta bekleme (Dwell time) ve devre süreleri için  $L_d$ ’lere ait kapasite değerleri çizilmiştir. Görüldüğü üzere büyük  $L_d$ ’leri kapasite üzerinde etkisi olmadığı görülmektedir. Kritik durak mesafesi özel şeride sahip duraklar için  $L_{dc}, t_2$  değeri, Dwell time ve devre süresinin artışı ile artmamaktadır. Diğer yandan, kritik durak mesafesi özel şeride sahip olmayan duraklar için  $L_{dc}, t_1$ , otobüs durakta bekleme süresi (Dwell time) ve devre süresinin artışı ile beraber artmaktadır. Kapasitede  $L_{dc}$ ’den fazla  $L_d$ ’lerin etkisinin olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.4 Farklı Dwell time süreleri ile kapasite arasındaki ilişki (X.Zhoa ve ark., 2007)



Şekil 4.5 Farklı devre süreleri ile kapasite arasındaki ilişki (X.Zhoa ve ark., 2007)

X. Zhoa ve ark. (2007)'a göre kavşağa yakın otobüs durakları, şişe boynu gibi davranmaktadır. Akımın artmasıyla geliş oranı artmakta, bunun sonucunda doygunluk derecesine varılmakta ve kapasiteye ulaşılmaktadır. Trafik akımının serbest akım durumundan tıkanıklık durumuna geçişinde kritik geliş oranı ( $P_{ec}$ ) kritik bir nokta olup kapasite, durağın kavşaktan mesafesinin artması ile beraber artmakta ve  $Ldc$ 'de maksimum değerini almaktadır. Bu durum iki önemli parametreye: devre süresi ve  $T_s$  Otobüs bekleme süresinin değerlerine bağlıdır. Ayrıca özel şerit olmaması durumunda (Durum 1 ve 3 )  $T$  ve  $T_s$  etkisi diğer durumlara nazaran daha fazla ve daha zararlı olmaktadır.

X. Zhoa ve ark.(2007) yaptıkları karşılaştırma sonucunda, özel şerit olması hali için kapasitenin arttığını ve  $Ld$ 'nin öneminin azaldığını söylemişlerdir. Ayrıca kavşak öncesi ve sonrasına ait akım arasında kayda değer nitelik farklığı olmadığı ancak, kayda değer bir şekilde kavşak sonrası durağa ait kapasite, kavşak öncesi durağa nazaran daha düşüktür.

#### ***4.2.3 Rodriquez-Seda Ve Benkkohal Yöntemi***

Rodriquez-Seda ve Benkkohal (2006), şehir içi transit otobüslerin etkisinin gecikmeye bağlı eşdeğer otomobil birimi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Araştırmacılara göre, trafik akımı üzerinde otobüslerin etkisi ile ilgili yeterli veri mevcut değildir (D-PCE). Aynı zamanda HCM'deki otobüs için eşdeğer otomobil biriminin "2" alınması yetersizdir (duran otobüsler için) ve otobüsün konumunu ve devre içinde geliş zamanını dikkate almayı önermişlerdir. Onlara göre otobüs durak etkisi otobüs gelişleri ve çıkışlarını, devre süresi içinde fonksiyonuna bağlıdır. Çünkü sinyal fazı trafik akımını kontrol etmektedir ve devre süresi için de otobüsün her zaman durma ihtimali vardır. Bunun sonucunda otobüs durağı etkisi üzerinde devre çok büyük bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda mikro- simülasyonun otobüs durak etkisini doğru bir şekilde tahmin ettiğini iddia etmişlerdir. Ayrıca otobüslerin durması sebebiyle şerit değiştiren araçlarda ek gecikmeye sebep olmaktadır.

Rodriquez-Seda ve Benkkohal (2006)'da HCM gibi kavşak öncesi ve sonrası otobüs duraklarını tanımlarlar ama aralarında ayırım yapmazlar. Yeni bir yöntem kullanarak bu parametreyi hesaplamışlardır. Bu yöntemde, otobüs pozisyonunu zaman dilimi ya da olgu olarak 5 farklı durum da tanımlarlar (Fetter, 2007).

Durum 1: Otobüs gelir ve yolculara hizmet verdikten sonra aynı yeşil fazdan ayrılır.

Durum 2: Otobüs kırmızı ışıkta gelir ama yeşil ışık yandığında yolculara hizmet verir ve yeşil sürenin ilk bölümünü kullanır.

Durum 3: Otobüs kırmızı ışıkta gelir ve yolculara hizmet verdikten sonra ışık yeşile döndüğünde hareket eder.

Durum 4: Otobüs kırmızı ışıkta gelir ama önünde kuyruk vardır bu nedenle ışığın yeşil olmasını bekler, daha sonra yolculara hizmet verir ve aynı yeşil ışıkta kavşaktan ayrılır.

Durum 5: Otobüs kırmızı ışıkta gelir ama önünde kuyruk vardır bu nedenle ışığın yeşil olmasını bekler, daha sonra yolculara hizmet verir ve aynı yeşil ışıkta kavşaktan ayrılır.

$$D - PCE_z^b = 1 + \sum_z \sum_x^L \sum_{n=0}^{N-1} \left( \frac{d_{x,n}^{-B} \cdot P_n P_x P_z}{d_n^{-C}} \right) \quad (4.30)$$

Burada:

$d^{-B}$ : toplam otobüs neden ile kuyruktaki N aracın uğradığı ek gecikme,

$d_n^{-C}$ : ortalama kuyruktaki N aracın eşdeğer otomobil birimine göre araç başı gecikmesi,

$P_n$ : n aracın otobüs arkasında kalma olasılığı,

$P_x$ : Otobüsün x konumunda olma olasılığı,

$P_z$ : z durumunda otobüs geliş ya da çıkış olasılığı,

N: Otobüs nedeni ile kuyrukta oluşan son araç,

L: Kuyruktaki en fazla araç sayısı,

n: Otobüs arkasında kalan toplam araç sayısı.

Gözlemlenen veriler sonunda, Chicago kenti için sinyalizasyon kavşağından önce yer alan cepte oluşturulmuş otobüs duraklarında ortalama 24 otobüsün durduğu ve otobüs engelleme zamanının 14.6 olduğu görülmüştür. D-PCE değeri ise 10.2 araç olup bu değer trafik akımı içinde 10 ek aracın etkisine eşittir (Rodriquez-Seda ve Benkkohal, 2007).

#### 4.2.4 Wong v.d. Yöntemi

Wong ve ark.(1998) kavşağına yakın ve sinyalden sonra yer alan otobüs duraklarında duran otobüslerin, neden oldukları gecikmeleri elde etmişlerdir. Araştırmacılara göre, HCM doygun akım değerini azaltmaktadır. HCM yöntemi eşdeğer araç birimini kullanmaktadır ve kavşak öncesi otobüs duraklarında oluşan gecikmeyi tam olarak modelleyememektedir. Bu yüzden otobüs durağının da etkisini gecikmeye dahil etmek amacı ile Bağlantı 4.31'i önermişlerdir.

$$d = \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda.X_s)} + \frac{X_s^2}{2q.(1-X_s)} + \frac{X_b}{q.(1-X_b)} + \alpha_0.L^{\alpha_1}q^{\alpha_2}\Omega^{\alpha_3}g^{\alpha_4}c^{\alpha_5} \quad (4.31)$$

Burada:

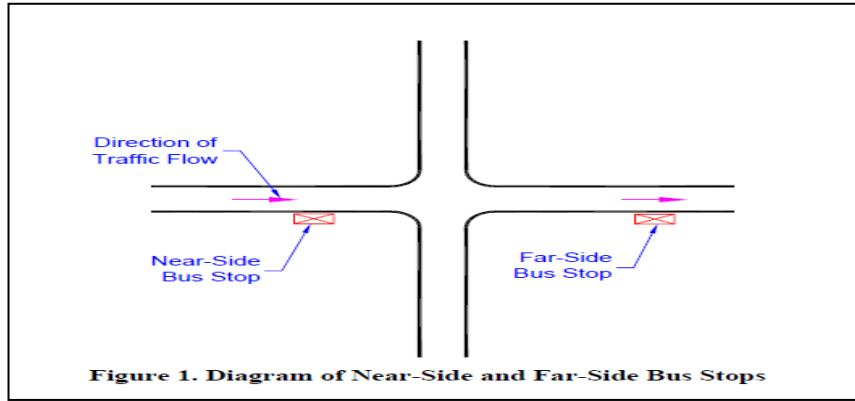
- C : Devre süresi, saniye
- $\lambda$  : Devre içinde efektif yeşil süre oranı,
- q : Trafik akım oranı (araç/saniye)
- $X_s$ : Doygunluk derecesi( $q/\lambda.S$ ),
- $X_s$ : Otobüs durağında doygunluk derecesi( $q/(1-\Omega).S$ )
- L : Dur çizgisi ve otobüs durağı arasındaki mesafe (metre),
- f : Otobüs sıklığı (araç/saniye),
- O : Ortalama bir Otobüsün durakta bekleme süresi (saniye/araç)
- $\Omega$  : Otobüs durağının engelleme süresi oranı( $f \times O$ ).
- g : Efektif yeşil süre (saniye)
- $\alpha_i$ : Bilinmeyen katsayılar.

Bahsi geçen denklem, Modsim kullanılarak kalibre edilmiştir ve parametrelerin hesaplanması için çoklu regresyon modeli kullanılmıştır. Hong Kong’da toplanan 16 veri grubu ile karşılaştırması yapılmış olup, simülasyon ve toplanan veriler arasında lineer ilişki olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada, kavşak öncesinde yer alan otobüs durağının gecikmeye neden olması durumunda, tek şeritli yaklaşım yolu için denklemdeki bilinmeyen katsayıları hesaplamışlardır (Denklem 4.32).

$$d = \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda.X_s)} + \frac{X_s^2}{2q.(1-X_s)} + \frac{X_b}{q.(1-X_b)} + 106,5.L^{-0,09}.q^{0,07}.\Omega^{1,27}.g^{-0,53}.c^{0,57} \quad (4.32)$$

#### 4.2.5 Holt ve Fetter Çalışması

Holt (2004) kullanılan hesaplama prosedürünü, doymuş akım değerinin otobüs durağı etkisinde kaldığı zaman yetersiz olduğunu söylemiştir ve HCM yönteminde  $F_{bb}$  faktörünün geliştirilmesi gerektiğini savunmuştur. Otobüs duraklarının pozisyonunu kavşaktan önce (near side) ve sonra yer alan (far-side) duraklar olarak ayırmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Sinyalize kavşak öncesi ve sonrası yer alan duraklar (Holt, 2004)

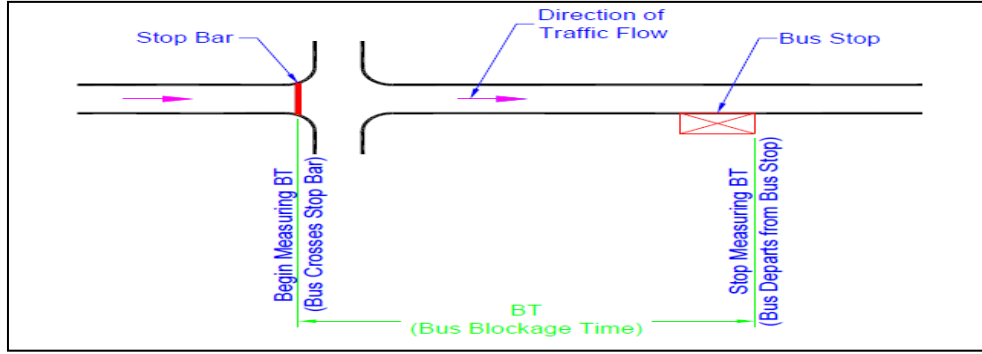
Otobüs duraklarının sinyalize kavşak üzerindeki etkisi üzerine Fetter (2007)’in yaptığı çalışma, aslında Holt (2004)’un yaptığı çalışmanın devamı niteliğindedir. Fetter (2007), doymuş akımın gecikmenin değil kapasitenin bir oranı olduğunu söylemiştir. Aynı zamanda Zaman dilimi içerisinde durak tipi, yeşil süre, akım oranı,

otobüsün durakta bekleme süresi, otobüs durağı ve dönüş yapan araç oranını sinyalize kavşak başarımı üzerinde kayda alınması gerektiğini söylemiştir.

Fetter (2007) T tipi kavşak üzerinde yaptığı çalışmada, duran otobüsün arkasında kalan araçların manevra yapması durumunu göz ardı etmiş, trafiğin sadece düz gidebileceğini, yan yol katılımının olmayacağını ve yaklaşım yönü tek şerit olduğunu ya da hiç şerit değiştirme olmadığı kabul etmiştir. Otobüs duraklarının etkisini analiz etmek için çalışmasında 3 zaman dilimi ( $P_1$ ,  $P_2$  ve  $P_3$ ) kullanmıştır.  $V_1$ ,  $V_2$  ve  $V_3$ 'ü bu dilimlere ait hacimlerdir. Bu zaman dilimleri:

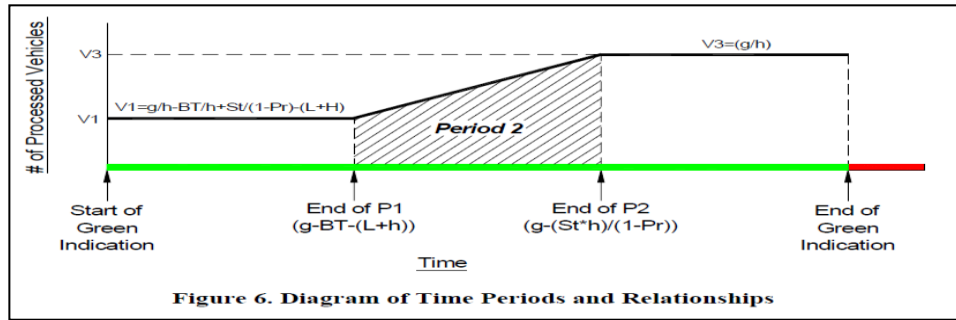
1.  $P_1$  Tam engelleme durumu (full blockage): Otobüsün yeşil sürenin başlangıcında kavşaktan ayrılması ve aynı yeşil süre içinde duraktan ayrılması,
  2.  $P_2$  Kısmi engelleme durumu (partial blockage): Yeşil zamanın ortasında gelen otobüsün arkasında kalan araçların aynı devre süresi içinde geçen araçlar engelleme süresi içinde yer alacaklardır, geçemeyen araçlar ise gecikmemiş kabul edileceklerdir. Sonuç olarak araçların bir kısmı engelleme süresi içerisinde yer alması,
  3.  $P_3$  Engellemesiz durum (no blockage): Otobüs yeşil fazın sonunda geldiği için arkasında kuyrukta kalmış araç olmayacak ve bunun sonucunda hiç engelleme zamanı yaratmayacaktır.
- şeklinde tanımlanmıştır.

Şekil 4.6'da sinyalden sonra yer alan otobüs durağını göstermektedir. Şekilde ayrıca otobüs engelleme süresinin yer aldığı bölge de tanımlanmıştır.



Şekil 4.7 Sinyalden sora yer alan duraklar için otobüs engelleme süresinin şematik gösterimi (Fetter, 2007)

Fetter (2007)'in tanımladığı 3 zaman dilimini Şekil 4.8 görülmektedir. Buna bağlı olarak geçebilecek araç hacmini, her dilime ait süreyi ve hacmi kullanarak elde etmiştir.



Şekil 4.8 Zaman dilimlerinin diyagramı ve birbiri ile ilişkileri (Fetter, 2007)

Fetter (2007), bu modeli sinyalden sora yer alan kavşaklar için simülasyonla desteklenmeye çalışmıştır. Ancak önerdiği model ne kadar mantıklı görünse de benzetim sonuçları arasında büyük farklılıklar olduğu belli olmuştur. Diğer yandan HCM'nin modeli ile benzetim sonuçları arasında daha anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür.

#### 4.2.6 Genişletilmiş HCM Yöntemi:

Sürücü karakteristikleri coğrafya, gelişmişlik düzeyi, yol koşulları, mevcut trafik işaretleri vb. etkenlere bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bu etkenler, sürücü reaksiyonlarında da farklılıklara neden olmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında



otobüslerin durağa yanaşma, yolcu indirme/bindirme ve duraktan ayrılma eylemlerini içeren süre zarfında, yol üzerinde meydana gelen mevcut otobüs etkisi çeşitli yönleriyle incelenmiştir. Bu inceleme kapsamında HCM yönteminin aşağıda belirtilen durumları içermediği saptanmış ve bu durumları da içeren yeni bir denklem önerilmiştir. Bu durumlar:

- 1- Bir otobüsün durakta beklediği (dwell time) süre içerisinde, bu otobüsün arkasında kalan araçların şerit değiştirmesi,
- 2- Otobüs durağının solunda yer alan komşu şeridi kullanan sürücülerin, durakta bekleyen otobüsün sağ şeridi engellemesi nedeniyle bu otobüsün yanından geçerken tedirgin olma, güvenlik vb. nedenlerle hızlarını azaltması,
- 3- Otobüs durağının cep formunda olması durumunda otobüsün cebe tam veya kısmi olarak yanaşması: Bunun sonucu olarak o cebe komşu olan diğer şerit genişliklerinin göreceli olarak artması ve o yolu kullanan sürücülerin daha serbest hareket imkanı bularak hızlarını arttırması,
- 4- Otobüs durağının cep formunda olması ya da yol genişliğinin fazla olması durumunda otobüsün cebe tam veya kısmi olarak yanaşmasına bağlı olarak otobüsün arkasında kalan araçların şerit değiştirmeden hareketlerine devam etmeleri durumlarıdır.

Genişletilmiş HCM yöntemi olarak adlandırılan bu yeni yöntemde yukarıda açıklanan otomobil-otobüs etkileşimlerini incelemek amacıyla aşağıda belirtilen varsayımlar yapılmıştır:

- 1- Otobüs durağında duran otobüslerin, sağa ya da sola dönüşler üzerindeki etkisi ele alınmamıştır.
- 2- Otobüslerin yeşil süre (devre süresi ) içerisinde rastgele geldikleri varsayılmıştır.
- 3- Otobüs durağının bulunduğu kesimin, şişe boynu oluşturması sebebiyle yol kapasitesini temsil ettiği varsayılmıştır.
- 4- Durakta duran otobüsün kavşaktan düz geçeceği varsayılmıştır.

- 5- Otobüsün durakta bekleme süresinin doygun akım üzerinde doğrusal bir etkisinin olduğu varsayılmıştır.
- 6- Otobüsün ivmelenme ve ters ivmelenmesinin diğer şeritlerin akımları üzerinde etkisinin olmadığı varsayılmıştır.

Sinyalize kavşaklarda kapasite, doygun akım değeri kullanılarak elde edildiği için durakta duran otobüslerin kapasite üzerinde etkilerinin belirlenmesi amacıyla doygun akımın incelenmesi gerekmektedir. Durakta otobüs olmaması durumundaki mevcut yolun doygun akım değeri ( $S_T$ ), Bağıntı 4.33 ile ifade edilen ideal doygun akım ( $S_0$ ) değerinin HCM (2010)'da belirtilen diğer düzetme faktörleri ( $F_i$ ) ve şerit sayısı ile çarpılarak elde edilmiştir (Bağıntı 4.35). Aynı zamanda durakta otobüs olmadığı durumundaki doygun akım değeri, ortalama zaman cinsinden aralık değerleri kullanılarak bağıntı 4.34 ile hesaplanabilmektedir. Bunun yanı sıra durakta duran otobüslerin etkisini de tanımlamak amacıyla otobüs engelleme faktörü ( $F_{bb}$ ) denkleme eklenmiştir (Bağıntı 4.36).

$$S_0 = \frac{3600}{\bar{h}_0} \quad (4.33)$$

$$S_T = \frac{3600}{\bar{h}} \quad (4.34)$$

$$S_T = N \cdot S_0 \cdot \prod F_i \quad (4.35)$$

$$S_E = S_T \cdot F_{bb} \quad (4.36)$$

Burada;

N: Şerit sayısı.

$\bar{h}_0$ : İdeal doygun akım durumundaki zaman cinsinden aralık değeri (saniye/araç),

$\bar{h}$ : Otobüs durağı olmadığı durumda doygun akıma karşılık gelen zaman cinsinden aralık değeri (saniye/araç),

$F_i$ : Otobüs engelleme faktörü hariç diğer düzeltme faktörleri,

$S_E$ : Otobüs engelleme etkisi dikkate alınarak hesaplanmış doygun akım değeri (araç/saat),  
olmaktadır.

Bu iki durum arasında otobüsün engelleme etkisi olması ve olmaması durumları arasında yolun kapasitesinde meydana gelen azalma, zamana bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile tanımlanabilmektedir.

$$\frac{T_{loss}}{h} = S_T - S_E \quad (4.37)$$

$T_{loss}$ , buda bir saat içersinde otobüslerin durakta durmaları sonucunda kaybedilen süredir ve toplam saatlik engelleme süresi olarak tanımlanır. Saatlik araç kaybı,  $T_{loss}$  süresinin doygun akım durumundaki araçlar arası zaman cinsinden aralığa bölünmesiyle, kaybedilen araç sayısı elde edilmektedir.

Cep bulunmayan tek şeritli bir yol için otobüs engelleme süresi Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Şekil'de otobüsün durakta durma amacı ile hızını düşürdüğü, durakta durduğu (yolcu indirdiği veya bindirdiği) ve daha sonra da duraktan ayrılıp hızlanarak yolun doygun akımdaki hızına ulaştığı varsayılmıştır. Sonuç olarak bir otobüsün toplam engelleme süresi otobüsün durağa yanaşması, ayrılması ve buna bağlı olarak hızını düşürmesi nedeniyle oluşan gecikme ile durakta beklediği süreden (Dwell time) kaynaklanan gecikmenin toplamı olarak tanımlanmış olup Bağıntı 4.38 ile hesaplanabilmektedir.

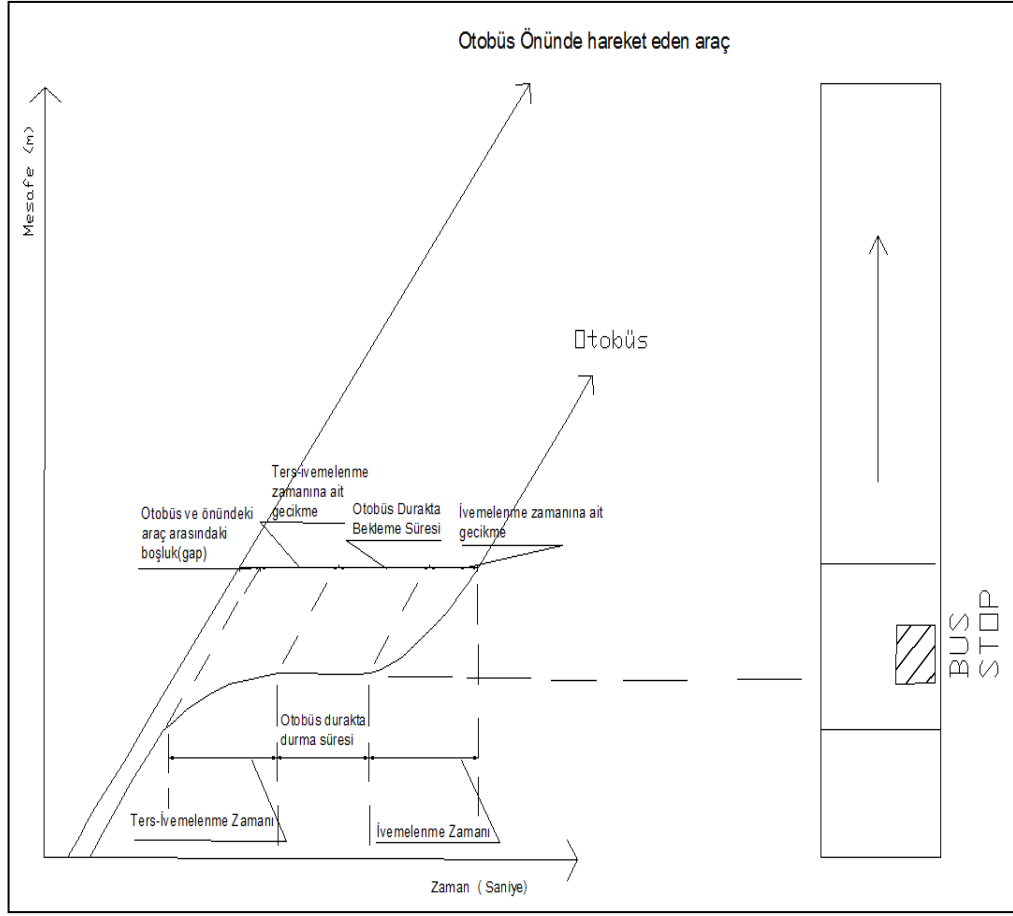
$$Engelleme\ süresi = A + D \quad (4.38)$$

Burada:

D: Yeşil sürede durakta duran otobüslerin durakta ortalama durma süreleri.(s)

A: Otobüsün ivmelenme ve ters ivmelenmesine bağlı olarak otobüs hareketinde meydana gelen gecikme süresi, (s)

olarak ifade edilir.



Şekil 4.9 Durma cebi bulunmayan tek şeritli bir yol için otobüs ve önündeki araç etkileşimi

Çok şeritli bir yolda otobüs durma süresi (Dwell Time) sağ şerit ve diğer şeritlerin yoğun akımları üzerinde farklı etki yaptığından, bu değer farklı katsayılarla çarpılması gerekmektedir. Buna bağlı olarak her bir otobüs için etkin engelleme süresi Bağıntı 4.39 ile tanımlanmıştır.

$$Efektif\ Engelleme\ süresi = A + F_1 \cdot D + F_2 \cdot D \quad (4.39)$$

Burada;

$F_1$ : Durak ve yol genişliğine bağlı olarak sağ şerit için düzeltme faktörüdür.

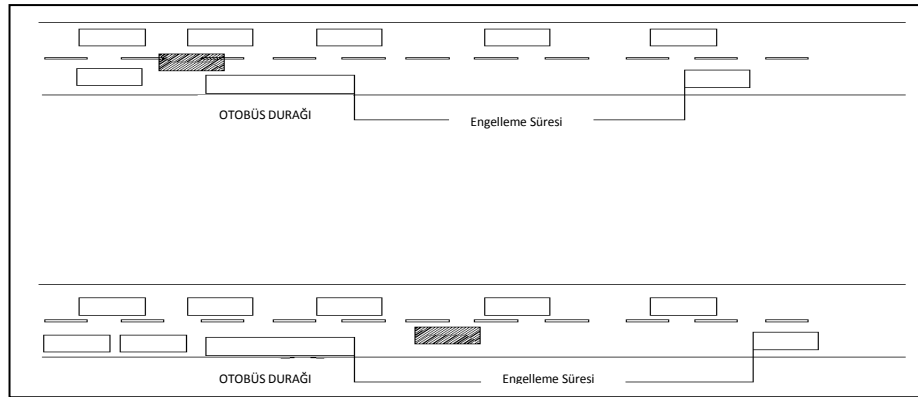
$F_2$ : Otobüsün durduğu anda, durak ve yol genişliğine bağlı olarak sağ şeride komşu şeritlerde ki kapasite değişimine ait düzeltme faktörü

$F_1$  değeri bağıntı 4.40 ile hesaplanabilmektedir. Burada  $N_C$ , doygun akım durumunda ortalama otobüs durduğu süre içerisinde, sağ şeritten geçen araç sayısı olarak tanımlanmıştır.

$$F_1 = 1 - \frac{\bar{h}.N_C}{D} \quad (4.40)$$

Bağıntı 4.40 tanımlanırken otobüsün yeşil ışıkta, sağ şeritte durduğu sürede doygun akım koşullarında otobüs arkasına da yer alan araçların otobüsü sollayarak orta şeride geçmeden yollarına devam etmeleri sonucunda oluşan durumu ele alınmıştır. Bu durumun sağ şerit engelleme süresi de iyileştirme yapılma gereğinden doğmuştur. Bu iyileştirme süresi  $N_C$  sayısının doygum akım ait zaman cinsinden aralığa çarpılması ile elde edilir. Eğer doygunluk derecesi bir ve üstündeki değerler için gözlenmiyorsa,  $F_2$  katsayısını hesaplama prosedürü  $F_1$  (Bağıntı4.41) katsayısını elde etmek için uygulanabilir.

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi şerit genişliği ve otobüs için özel cep bulunması durumunda otobüsün durması sonucu, otobüs önünde oluşan boşluk azalmış bu da engelleme süresinin azalmasına sebep olmuştur.



Şekil 4.10 Şerit genişliği ve otobüs için özel cep bulunması durumunda otobüsün durması nedeniyle otobüs önünde oluşan boşluk

Halbuki bu HCM (2010) da öngörülen otobüsün durakta durma durumunda sağ şeridin bütünüyle kapandığı varsayımı ile ters olmaktadır. Bu etkinin en basit şekilde belirlenmesi için yeşil ışık ve doygun akım durumunda yapılan gözlemlerde, otobüs

arkasında kalan araçların kaç tanesinin sağ şeridin dışına çıkmadan otobüsü sollayıp otobüsün önüne geçtiğinin belirlenmesi gerekmektedir.

$F_2$ , otobüsün durduğu anda, durak ve yol genişliğine bağlı olarak sağ şeride komşu şeritlerde ki kapasite değişimine ait düzeltme faktörü olup otobüsün durakta bir saat durması durumu ile yine aynı bir saatlik dilim içerisinde hiçbir otobüsün durakta durmadığı durum arasındaki oransal kapasite farkıdır ve bağıntı 4.41 ile hesaplanmaktadır.

$$F_2 = \frac{q_1 - q_2}{q_1} \quad (4.41)$$

Burada;

$q_1$  : Otobüsün durakta olmadığı durumdaki doymuş akım değeri.

$q_2$  : Otobüsün durakta olduğu duruma ait doymuş akım değeridir.

Diğer taraftan toplam etkin engelleme süresi, her bir otobüsün ortalama etkin engelleme süresinin, bir saatte yeşil sürede durakta duran otobüs sayısına çarpılarak elde edilmektedir.

$$T_{loss} = \text{Etkin Engelleme Süresi} \cdot N_b \quad (4.42)$$

Bağıntı 4.33 , 4.34 , 4.35 ve 4.36 kullanılarak  $F_{bb}$  düzeltme faktörü aşağıda şekilde elde edilmektedir.

$$\begin{cases} S_E = S_T - \frac{T_{loss}}{h} \\ S_T = N \cdot \frac{3600}{h_0} \cdot \prod F_i \end{cases} \longrightarrow S_E = N \cdot \frac{3600}{h_0} \cdot \prod F_i - \frac{T_{loss}}{h} \longrightarrow F_{bb} N \cdot S_0 \cdot \prod F_i = N \cdot S_0 \cdot \prod F_i - \frac{T_{loss}}{h}$$

$$F_{bb} = 1 - \frac{\frac{T_{loss}}{h}}{N \cdot \frac{3600}{h_0} \cdot \prod F_i} = 1 - \frac{T_{loss}}{N \cdot 3600} \longrightarrow F_{bb} = \frac{N - \text{Etkin Engelleme Süresi} \cdot N_b}{N} \quad (4.43)$$

#### 4.2.6.1 Engellenme süresi

Engelleme süresi otobüsün durağa yanaşması için hızını düşürdüğü andan otobüsün durakta durma zamanına kadar oluşturduğu gecikme, durakta harcadığı süre (Dwell Time) ve çıkış anından itibaren arzu ettiği hıza ulaştığı ana kadar olan toplam zaman olarak bilinmektedir. Bu durum üzerinde durak için özel cep olması ya da şerit genişliklerinin yüksek olmasının ters bir etkisi olmaktadır. Diğer yandan binen ya da inen yolcu sayısının fazla olması da bu süreyi artıracı özelliğe sahiptir.

HCM 2000 Bölüm 27’de ivmelenme ve ters ivmelenme süresi 5 saniye, otobüs durakta durma süresi ise 15-60 saniye olarak alınması önerilmiştir. Aynı zamanda kapıların açılıp kapanması için de 2-5 saniye arası süre alınması öngörülmüştür. Ama tam olarak açıklanmayan husus otobüs ivmelenme ve ter ivmelenmeden ötürü oluşan gecikme olmaktadır.

4.2.6.1.1 *İvmelenme /Ters ivmelenme Gecikme Süresi.* İvmelenme/Ters ivmelenme gecikme süresi, sabit (varsayılan) bir değer alınabilmektedir çünkü sabit seyir (trafik) hızlarında değişkenlik aralığı çok azdır. Bu süre toplam ivmelenme ve ters ivmelenme süresinin yarısı olarak alınabilir ya da kapasite hızının ivmelenme ve ters ivmelenme değerlerin iki katına bölünerek elde edilebilmektedir. ( Bağntı 3.44).

$$\text{Gecikme süresi} = \frac{v}{2a} \quad (3.44)$$

4.2.6.1.2 *Otobüs Durma Süresi(dwell time).* Otobüs durma ya da bekleme süresi otobüsün durakta durduğu süre olarak ifade edilebilmektedir. Farklı araştırmacılar ampirik modellerle binen ve inen yolcu aralıklarını hesaplamaya çalışmışlardır. Kraft ve Bergan (1974) yolcu hizmet süresinin sabah ve akşam pik periyodları arasında farklı olmadığını söylemiş ve aynı zamanda öğlen için gereken yolcu hizmet süresinin sabah ve akşam pik saatlerdeki hizmet süresinden büyük olduğunu göstermiştir (*Dueker ve ark., 2011*). Ayrıca Kraft ve Bergan (1974) binen yolcular için gereken zamanının inen yolculara nazaran daha fazla olduğunu ve ön ya da arka kapıdan inen yolcuların hizmet süreleri arasında fark olmadığını söylemiştir. Kraft

ve Bergan ücret ödeme yapısına göre (otobüs içi ücret ödeme, dış ödeme) aşağıdaki bağıntıları sırası ile önermişlerdir:

Ücret Ödeme

$$\text{Otobüs Durma Süresi} = 1,5 + 4,5 \times \text{binen yolcusayısı} \quad (4.45)$$

Dış Ödeme

$$\text{Otobüs Durma Süresi} = 1,5 + 1,9 \times \text{binen yolcusayısı} \quad (4.46)$$

Levinson's (1983) ise otobüsün durakta bekleme süresi için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$\text{Otobüs Durma Süresi} = 5 + 2,75 \times (\text{binen yada inen yolcu sayısı}) \quad (4.47)$$

Guenther ve Sinha (1983) ise 10-20 sabit süreye ek olarak binen ya da inen her yolcu için 3-5 saniye alınmasını önermiştir. Geunthner ve Hamet(1988) otobüsün durakta bekleme süresi, ücret ödeme yapısı ve kapı sayısı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Lin ve Wilson (1992) modellerini binen/inen yolcu sayısı ve ayakta duran yolcu sayısı (standees) için gözden geçirmiş ve bu parametreye bağlı olarak bir model önermişlerdir.

Beritini ve El-eneidy (2004) otobüsün durakta bekleme süresini tek bir arter (radial) rotada, sabah pik saatte analiz etmiş ve yolculuk zaman modelinin parametrelerini otobüsün durakta bekleme süresi ve binen ve inen yolcu sayısına göre hesaplamamışlardır.

Bütün duran otobüslerin durma süreleri değişkenlik gösterdiği için engelleme süreleri de değişkenlik gösterebilmektedir. TCQSM(Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2003) el kitabında otobüslerin durakta bekleme sürelerine etki yapan beş faktör aşağıda verilen şekilde belirlenmiştir. Bu faktörler şu şekilde sıralanabilir:



- Yolcu inme-binme talebi: En çok hacme sahip kapıdan hizmet alan yolcuların sayısı, tüm yolcuların hizmet alma süresini etkileyen ana faktördür. Yoğun bir şekilde kullanılan kapıda binme ve inme oranı bütün yolcuların hareketleri ile ilişkili olup, binme /inmenin ne kadar süreceği ile ilgili bilgi verir.
- Otobüs durak alanı(spacing): Durağın küçük olması bir noktadan fazla yolcu binmesini sağlar. Küçük duraklar, Yolcu yürüme mesafesinin uzamasına yolcu hizmet süresi ve ona bağlı olarak otobüs durakta bekleme süresinin artmasını sağlar
- Ücret ödeme prosedürü: Ücretin verilmesi için Ortalama zaman, her bir yolcunun binme süresi için ana etkidir. Bazı ücret alım tipleri yolcuların birden daha fazla kapıdan binmesini ve yolcuların hızlı hizmet almalarını sağlar.
- Araç tipi: Basamakların yükseltilmesi yada alçaltması biniş yada iniş de, yolcuların toplam hizmet alma süresini artırmaktadır.
- Araç içinde dolaşım: Ayakta yolcu olması durumunda binen yolcuların ücret ödeme bölgesini boşaltmaları da fazla zaman alır ve diğer yolcular arkaya gitmek zorunda kalırlar.

TCQSM (2003) el kitabına göre, Otobüs bekleme süresinin tahmin edilmesi için saha çalışması, varsayım değerleri ya da hesaplama yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemler aşağıda sırası ile verilmiştir.

Saha çalışması, belli bir rota varsa bu yöntem kullanılır ve diğer yöntemlere göre daha doğru sonuç verir. Bu yöntem de ortalama bekleme süresi ve standard sapması yapılan gözlemlerden elde edilir. Verilerin toplanmasında takip edilmesi gereken sırası ile aşağıda verilmiştir.

- 1- İncelenen durumda, her bir araç için tanımlayıcı özellikler, geliş numarası.
- 2- Aracın tam durma zamanı
- 3- Kapıların tam olarak açıldığı zaman
- 4- Binen ve inen yolcu sayısı
- 5- Binen ya da inen ana akımın bittiği zaman.(akım değerinin hesaplanabilmesi için )
- 6- ayakta kalan yolcu sayısı. (binen yolcu akımı durduğunda)
- 7- Kapıların tam olarak kapandığı an.
- 8- Aracın harekete başladığı an
- 9- Tekerlekli sandalyeli yolcuların mevcut olması gibi özel şartların da not edilmesi gerekmektedir.

Yolcu talep dalgalanması otobüs ve rotaya bağlı olmaktadır. Bu dalgalanma otobüs durma süresi üzerindeki etkisi otobüs durakta durma değişkenlik katsayısı ( $C_v$ ) ile ifade edilmekte olup aşağıdaki bağıntı 4.48 ile elde edilmektedir (TCQSM, 2003).

$$C_v = \frac{\delta}{\mu} \quad (4.48)$$

Burada;

$\mu$ : Ortalama otobüs durakta bekleme süresi

$\delta$ : Otobüs durakta bekleme süresinin Standard sapması.

olarak tanımlanmıştır.

Bu katsayı otobüs durakta bekleme süresini etkileyen diğer faktörlerden etkilenmektedir. Gözlemlerden elde edilen verilerden değişkenlik katsayısının 0.4-0.8 arasında olduğu görülmektedir (TCQSM, 2003).

Bekleme süreleri dağılımının genelde normal dağılıma uyması beklenmektedir (TCQSM, 2003). Bu süreler bazen yolcu talepleri ve yolcu rotalarına bağlı olarak normal dağılıma uymamaktadır. Bu verilerin normal dağılıma uyması durumunda,

dağılımın zirve nokta değeri ne kadar küçükse, katsayısının o kadar büyük olacağı ifade edilmektedir.

Varsayım değer yöntemi, bu yöntem planlama ya da binen/inen yolcu hacimleri belli değilse kullanılır ve en kritik otobüs durağı şehir merkezleri, aktarma merkezleri ve ana transfer hatları için 60 saniye alınır. Ana ücra bölgeler için 30 saniye ve ücra bölgeler için 15 saniye alınmaktadır (TCQSM, 2003).

Hesaplama yöntemi, binen/inen yolcu hacimleri belli ise bu yöntem bekleme süresinin tahmin edilmesi için uygundur.

Durma zamanı, otobüsün yolcuları indirip yeniden bindirdiği sürede harcadığı zaman olarak ifade edilmektedir. Otobüslerin harcadığı bu zaman doğrudan yol kapasitesini de etkilemektedir. Bu zaman azaltılabilirse yoğunluk bir nebze de olsa azaltılacaktır.

Tanımlayıcı bir denklem TCQSM el kitabında Kittelson ve Associates tarafından 2003 yılında Bağıntı 4.49 önerilmiştir. Bu yöntemde bekleme süresi için binen ve inen yolcu sayısı ilave bir sabit değer olarak tanımlanmış, kapı açılması ve kapanması arasındaki süre sayım için kullanılmıştır.

$$t_d = P_a t_a + P_b t_b + t_{oc} \quad (4.49)$$

Burada;

- $t_d$ : Ortalama otobüs durma süresi
- $P_a$ : Her otobüsten için en yoğun şekilde iniş yapılan kapıdaki inen yolcu sayısı
- $t_a$ : İnen yolculunun hizmet süresi
- $P_b$ : Her otobüsten için en yoğun şekilde biniş yapılan kapıdaki binen yolcu sayısı
- $t_b$ : Binen yolcu hizmet süresi
- $t_{oc}$ : Kapı açma ve kapma süresi, olarak tanımlanmıştır.

## **BÖLÜM BEŞ**

### **GÖZLEM VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ**

Çalışmada kullanılan veriler, çalışma için seçilmiş olan kavşaklar ve duraklardan yapılmış olan gözlemlerden ve Canseven (2002)'nin yüksek lisans tez çalışmasında elde ettiği verilerden oluşmaktadır. İzmir'de seçilen kavşaklarda yapılan gözlemler, kavşağa yakın yüksek bir noktadan ve video kamera kullanılarak, kavşakta gözlenmesi önceden planlanmış olan yaklaşım kolunda kayıt yapılmak suretiyle elde edilmiştir. Seçilen duraklardan yapılan gözlemler, yolcuların otobüse biniş ve inişleri açık bir şekilde kameraya kaydedilebilecek bir pozisyonda ayarlanmıştır. Gözlemlenen ve analizlerde kullanılan veriler üç ayrı kısımda ele alınmıştır. Bu veriler:

1. Araçların kavşaktan geçerken takip aralıkları,
2. Otobüslerin durakta bekleme süreleri,
3. Durakta otobüs olma yada olmama durumuna ait akım özellikleridir.

#### **5.1 Araçların Kavşaktan Geçerken Takip Aralıkları**

Bu kısımda, Güllük Kavşağından Canseven (2002)'in elde ettiği veriler ve bu kavşağa ait özellikler verilmiştir.

Güllük kavşağı, Antalya-Muratpaşa Belediyesi sınırları içerisinde iş merkezlerinin yoğun olarak bulunduğu bir bölgede yer almaktadır. Güllük kavşağının üzerinde bulunduğu Güllük Caddesinin güneyinde Antalya'nın ilk iş merkezlerinden Selekler İş Merkezi bulunmaktadır. Aynı zamanda, yerleşim bölgesi de olması nedeniyle yolcu taşıyan otobüs ve minibüsler ile çok sayıda otomobil bu kavşağı kullanmaktadır (Cansseven, 2002).

Cansseven (2002) yaptığı çalışmada, aralık değerleri incelenmiş, bu başlangıç aralık değeri, yeşil fazın başlangıcıyla kuyruk lideri olan aracın arka tamponunun kavşak DUR çizgisinden geçişi arasında geçen süre (sn) olarak kabul edilmiştir.

Bu gözlemler sonucu, otomobil ve ağır araçların birbirlerini takip etmesi durumları için aralık değerleri irdelenerek veri grupları hazırlanmıştır. Gruplandırma yapılırken, kuyrukta gözlenen otomobillerin ve ağır araçların birbirlerini takip etme durumları dikkate alınarak saniye cinsinden ortalama aralık değerleri belirlenmiş ve bu değerler Tablo 5.1’de gösterilmiştir. (Canseven, 2002).

Tablo 5.1 ESBAŞ ve Güllük kavşakları için ortalama aralık değerleri (Canseven, 2002)

$\bar{h}$ (sn)	Güllük Kavşağı
$\bar{h}_o^*$	2,21
$\bar{h}_m^*$	2,53
$\bar{h}_k^*$	3,07
$\bar{h}_b^*$	4,93
$\bar{h}_{oo}$	2,18
$\bar{h}_{om}$	2,29
$\bar{h}_{ok}$	2,47
$\bar{h}_{ob}$	2,27
$\bar{h}_{mo}$	2,84
$\bar{h}_{mm}$	2,93
$\bar{h}_{ko}$	3,17
$\bar{h}_{kk}$	5,31
$\bar{h}_{bo}$	3,52
$\bar{h}_{bb}$	3,77

Tablo 5.1’de, “o” alt indisi otomobili, “m” alt indisi minibüsü, “k” alt indisi kamyonu ve “b” alt indisi de otobüsü temsil etmektedir. Bu alt indisler, kuyrukta birbirini takip eden araç cinslerini ifade edebilmek amacıyla da kullanılmışlardır. İlk alt indis öndeki ikinci alt indis ise arkadaki aracın cinsini temsil etmektedir.

Burada;

$\bar{h}_o^*$  : Otomobillerin başlangıç ortalama aralık değerini,

$\bar{h}_m^*$  : Minibüslerin başlangıç ortalama aralık değerini,

$\bar{h}_k^*$  : Kamyonların başlangıç ortalama aralık değerini,

$\bar{h}_b^*$  : Otobüslerin başlangıç ortalama aralık değerini,

$\bar{h}_{oo}$  : Otomobillerin, birbirlerini takip etmesi durumunda ortalama aralık değerini,

$\bar{h}_{om}$  : Otomobillerin, minibüsleri takip etmesi durumunda ortalama aralık değerini,

$\bar{h}_{ok}$  : Otomobillerin, kamyonları takip etmesi durumunda ortalama aralık değerini,

$\bar{h}_{ob}$  : Otomobillerin, otobüsleri takip etmesi durumunda ortalama aralık değerini,

$\bar{h}_{mo}$  : Minibüslerin, otomobilleri takip etmesi durumunda ortalama aralık değerini,

$\bar{h}_{mm}$  : Minibüslerin, birbirlerini takip etmesi durumunda ortalama aralık değerini,

$\bar{h}_{ko}$  : Kamyonların, otomobilleri takip etmesi durumunda ortalama aralık değerini,

$\bar{h}_{kk}$  : Kamyonların, birbirlerini takip etmesi durumunda ortalama aralık değerini,

$\bar{h}_{bo}$  : Otobüslerin, otomobilleri takip etmesi durumunda ortalama aralık değerini,

$\bar{h}_{bb}$  : Otobüslerin, birbirlerini takip etmesi durumunda ortalama aralık değerini,

ifade etmektedir.

## 5.2 Otobüslerin Durakta Bekleme Süreleri

Durakta duran otobüslerin bekleme sürelerinin hesaplanması amacı ile üç farklı noktadan video kamera yardımı ile çekimler yapılmıştır. Bu durakların seçilme nedenlerinin en temel nedeni ana arter üzerinde yer almaları ve değişik otobüs tiplerinin durakta durmalarıdır. Bu duraklar aşağıda sıralanmıştır:

- Osman Bey Parkı: Cemal Gürsel Cad.-Karşıyaka (Şwkil 5.1):
- Atatürk Kültür Merkezi- Konak (Şekil 5.2):
- Maliye Meslek Lisesi: Mithat Paşa Cad.- Üç Kuyular –Balçova (Şekil 5.3).



Şekil 5.1 Maliye Meslek Lisesi Durağı



Şekil 5.2 Atatürk Kültür Merkezi Durağı



Şekil 5.3 Osman Bey Parkı Durağı

Elde edilen çekimler bilgisayar ortamında izlenmiş, her bir otobüs için kapı açılma/kapanma, yolcu binme / inme ve otobüs durma süreleri elde edilmiştir. Bu verilerin özetleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2 Bütün duraklara ait binme/inme istatistiksel bilgiler

İstatistiksel parametreler	Binen yolcu	İnen yolcu süresi	Kapı kapama süresi	Otobüs bekleme süresi
Ortalama	3,538	1,981	5,803	37,984
Standart Hata	0,120	0,089	0,382	4,275
Ortanca	2,663	1,550	4,951	21,528
Kip	1,904	0,936	#YOK	#YOK
Standart Sapma	3,133	1,688	3,310	38,708
Örnek Varyans	9,818	2,851	10,956	1498,317
Basıklık	26,024	23,047	2,281	6,025
Çarpıklık	4,381	4,061	1,495	2,165
En Küçük	0,833		1,000	2,873
En Büyük	31,966	14,831	17,310	223,554
Toplam	2401,963	707,329	435,258	3114,687
Sayı	679	357	75	82

### 5.3 Durakta Otobüs Olma ya da Olmama Durumuna Ait Akım Özellikler

Sinyalize kavşağa yakın durakta duran otobüslerin kavşak kapasitesi üzerinde etkisi ve bu etkiye ait düzeltme katsayısının daha iyi anlaşılması için, İzmir’de bulunan iki kavşaktan toplanan veriler kullanılmıştır. Bu kavşaklara ait geometrik özellikleri Tablo 5.3’deki gibi verilmiştir.

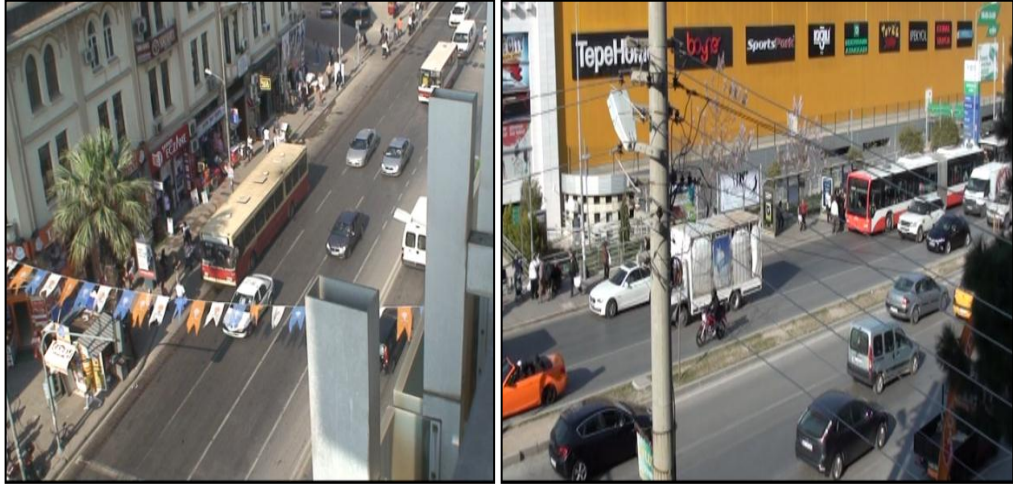


Tablo 5. 3 Balçova Kipa ve Fevzipaşa kavşaklarına ait geometrik özellikleri

Kavşak Adı	Kavşak Tip	Şerit Sayısı	Şerit Genişliği	Devre Süresi	Efektif Yeşil Süre	Durak Genişliği	Durağın Sinyalde Mesafesi
Balçova Kipa	Sinyalize	3	3,10	70	40	40	15
Konak Fevzipaşa	Sinyalize	3	3,15	70	40	-	40

Otobüs engelleme düzeltme faktörü üzerinde, farklı yol genişliği ve otobüs için özel cep bulunması durumlarının etkisinin belirlenmesi amacı ile Fevzipaşa kavşağı ve Kipa-Balçova kavşakları seçilmiştir. Bu kavşaklar İzmir'deki ana arterler üzerinde yer alan ve doğgunluk derecesi yüksek olan kavşaklardır.

Bu kavşaklardan zirve saatlerde (17.00-19.00) arası sinyalize kavşağa yakın yüksek bir bina'dan video kamera yardımıyla çekimler yapılmış ve analizlerde kullanılacak olan veriler elde edilmiştir (Şekil 5.4a ve Şekil 5.4b).

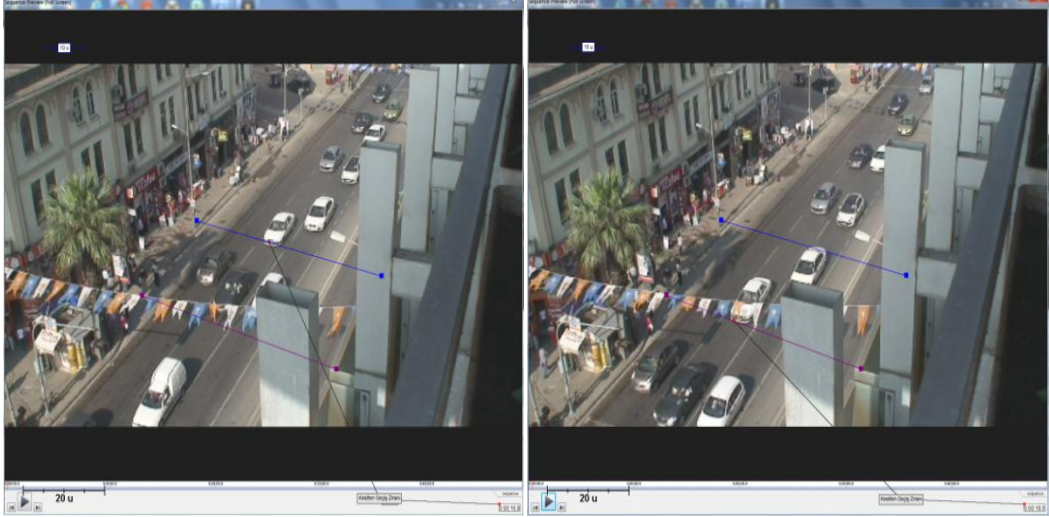


(a)

(b)

Şekil 5.4 Çekim yapılan kavşaklar, (a) Fevzipaşa kavşağı: (b) Balçova Kipa kavşağı

Otobüsün yolu engelleme durumundaki verilerin video çekimlerden elde edilmesi amacı ile VideoPad Video Editor ve MB-Ruller programları kullanılmıştır (Şekil 5.5). Aynı zamanda aşağıdaki veriler çekimlerden elde edilmiştir.



Şekil 5.5 VideoPad ve MB-Ruller yazılımı kullanılarak ham verinin elde edilmesi

Engelleme süresinin diğer şeritlerin kapasitesi üzerinde etkisinin belirlenmesi amacı ile çekimlerden yeşil fazda otobüsün araçları engellediği ya da engellemediği durumdaki süreler değerlendirmeye alınmıştır. Şeritlerde araçların belirlenmiş olan 2 kesitten geçme anındaki zamanlar kaydedilmiş ve her bir araç için kesitler arası seyahat süresi hesaplanmıştır. Elde edilen kesitler arası seyahat süresi, kesitler arası mesafeye bölünerek araçların ortalama hızları elde edilmiştir. Bu araçların zaman cinsinden aralıklarını elde etmek için de birbirini takip eden araçların kesitlerden geçme süreleri kaydedilmiş ve bu süreler arasındaki farklar araçların zaman cinsinden aralıkları olarak alınmıştır. Elde edilen verilerden çok küçük zaman periyodunda toplanan veriler elenmiştir (değerlendirilmemiştir) örneğin otobüsün çok kısa süre durması ya da durduğu sırada kırmızı ışığın yanması 8 saniyenin altında)olan durumlar değerlendirmeye alınmamıştır.

Kapasitenin hesaplanması için ilk olarak belirlenen zaman dilimlerinde geçen araçların zaman cinsinden aralıkları ve hızlarının harmonik ortalamaları hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise elde edilen zaman cinsinden ortalama aralıklardan o süreye ait hacimler elde edilmiştir. Elde edilen hacimleri, ortalama hızlara bölünerek o duruma ait yoğunluklar elde edilmiştir. Aynı zamanda her durum için toplanan verileri sayıları Tablo 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5.4 Otobüsün durakta olma ya da olmama durumları için toplanan grup veri sayısı

<b>Kavşak</b>	<b>Otobüsün durakta olmaması durumuna ait veri sayısı</b>	<b>Otobüsün durakta olması durumuna ait veri sayısı</b>
Balçova Kipa	40	51
Konak Fevzipaşa	68	60

## **BÖLÜM ALTI**

### **KULLANILAN VERİLER DEĞERLENDİRİLMESİ**

Bu tez çalışması kapsamında yapılan analizleri 3 ana bölümde değerlendirilmektedir:

1. Genişletilmiş aralık modeline bağlı olarak ağır araç oranı etkisinin belirlenmesi,
2. Otobüs bekleme süresinin analizi,
3. Otobüs engelleme modelinin parametrelerinin hesaplanması.

#### **6.1. Genişletilmiş Yeni Aralık Yöntemine Bağlı Ağır Araç Oranı Etkisinin Belirlenmesi**

Canseven (2002) yaptığı çalışmasında; Güllük kavşağı için araçların tiplerine göre zaman cinsinden takip aralıklarını Tablo 5.1’de görüldüğü gibi elde etmiştir. Bu verilerin değerlendirilmesi sonucunda yöntem de kullanılacak veriler incelenmiştir. Bunun sonucunda otomobiller arası zaman cinsinden aralıkların diğer otomobil-otobüs etkileşim durumunda oluşacak durumlardan daha küçük olduğu ve bir otomobilin bir otobüsü takip aralığının, bir otomobilin diğer otomobili takip aralığından daha büyük olduğu görülmüştür. Aynı zamanda bir otobüsün otomobili takip aralığının da bir otobüsün diğer bir otobüsü takip aralığına göre daha küçük olduğu görülmüştür. Bu durumun nedenini saptamak amacıyla sürücülerin önlerindeki araç tipine bağlı olarak aralarında boşluk (gap) bıraktıkları düşünülmüş ve bu durum sürücü davranışı kapsamında değerlendirilmiştir.

Elde edilen veriler kullanılarak yeni modelin, HR modeli ile arasındaki farklılıklar irdelenme çalışılmış ve değişik otobüs oranlarına bağlı olarak, araçların konumlarının akım içersinde rastgele oluştuğu varsayılmış ve Tablo 6.1’de verilmiştir. Bu yöntemde koşullu olasılık kullanılmıştır. Örneğin eğer ağır araç

yüzdesi 30 ise otomobillerin birbirini takip etme olasılığı yüzde 49 olarak elde edilir  $[(100 - 30)(100 - 30)/100]$ . Elde edilen bu olasılıklar ve HR yönteminde kullanılacak olasılıklar sırasıyla Bağıntı 4.28 ve 4.2'de yerleştirilerek, her iki yöntem için ağır araç düzeltme faktörü ( $f_{hv}$ ) Tablo 6.2'de görüldüğü üzere elde edilmiştir.

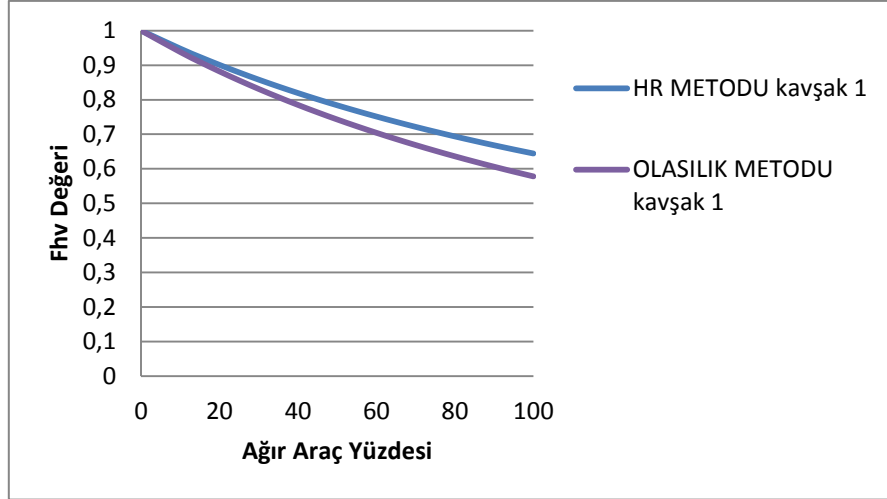
Tablo 6.1 Otomobil-Otobüs etkileşimlerinin HR ve genişletilmiş aralık oran yöntemleri için olasılığı

%	HR		Genişletilmiş Yeni Aralık Yöntemine			
	Otobüs olasılığı	Otomobil olasılığı	Otobüsün Otobüsü takip etme olasılığı	Otobüsün otomobili takip etme olasılığı	Otomobilin otobüsü takip etme olasılığı	Otomobilin otomobili takip etme olasılığı
0	0	100	100	0	0	0
10	10	90	1	9	9	81
15	15	85	2,25	12,75	12,75	72,25
20	20	80	4	16	16	64
25	25	75	6,25	18,75	18,75	56,25
30	30	70	9	21	21	49
35	35	65	12,25	22,75	22,75	42,25
40	40	60	16	24	24	36
45	45	55	20,25	24,75	24,75	30,25
50	50	50	25	25	25	25
55	55	45	30,25	24,75	24,75	20,25
60	60	40	36	24	24	16
65	65	35	42,25	22,75	22,75	12,25
70	70	30	49	21	21	9
75	75	25	56,25	18,75	18,75	6,25
80	80	20	64	16	16	4
85	85	15	72,25	12,75	12,75	2,25
90	90	10	81	9	9	1
95	95	5	90,25	4,75	4,75	0,25
100	100	0	100	0	0	0

Tablo 6.2 Ağır yüzdesine bağlı HR yöntemi ve Geliştirilmiş HR(GHR) yöntemi ait  $F_{hv}$  değerleri

Yüzde	HR	GHR
0	1,000	1,000
10	0,948	0,938
15	0,924	0,909
20	0,901	0,882
25	0,879	0,856
30	0,858	0,831
35	0,838	0,807
40	0,819	0,785
45	0,801	0,763
50	0,784	0,743
55	0,767	0,723
60	0,751	0,704
65	0,736	0,686
70	0,721	0,669
75	0,707	0,652
80	0,694	0,636
85	0,681	0,621
90	0,668	0,606
95	0,656	0,592
100	0,644	0,578

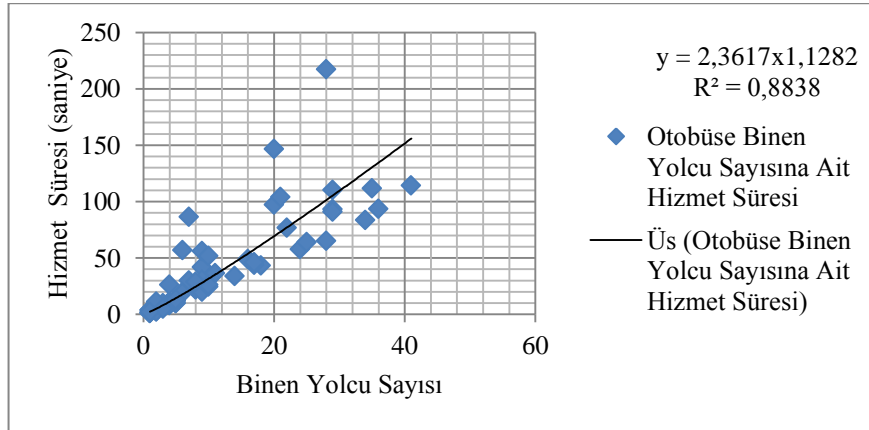
Bu model'de ağır araç oranındaki artış ile PCE değerindeki değişim Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Önerilen yeni aralık oran yöntemi(GHR), ağır araç olarak alınan otobüslerin oranlarındaki artış ile HR yöntemine göre farklı sonuçlar vermektedir. Belirtilen bu ağır araç oranındaki artış ile bu düzeltme katsayısındaki kayıp artmakta ve ağır araç oranının yüzde yüz olduğu durumdaki  $F_{hv}$  düzeltme katsayısının, önerilen yeni yöntem için 0.578 değerini vermektedir. Hâlbuki HR yöntemi kullanılarak bu değer 0.644 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.1 Ağır araç oranının artışı ile fhv katsayısında oluşan değişim.

## 6.2 Otobüs Bekleme Süresinin Analizi

Üç farklı noktadan toplanan verilerden binen/inen yolcuların hizmet süreleri hesaplanmaya çalışılmıştır. Şekil 6.2 durakta binen yolcuların sayısının artışı ile her yolcunun hizmet süresinin arttığını göstermektedir. Regresyon analizi sonucunda otobüse binecek yolcu sayısına bağlı olarak binen yolcuların hizmet süresi elde edilmiştir.



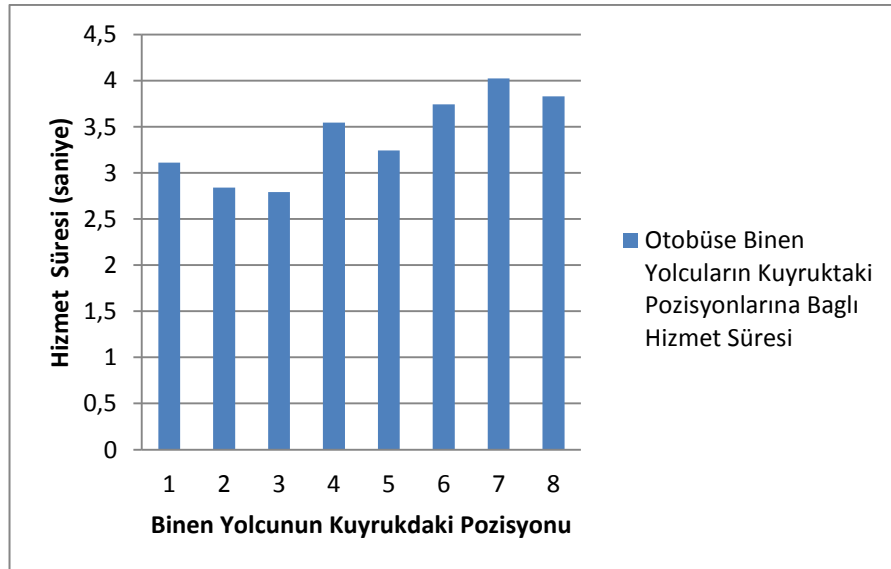
Şekil 6.2 Binen yolcu sayısına bağlı toplam biniş süresi

Tablo 6.2 de Binen yolcu aralıkları incelenmiş ve her yolcunun ortalama biniş(hizmet süresi) 3,537501 saniye olarak bulunmuştur. Bu analize ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.2 Binen Yolcuların İstatistiksel Bilgiler

Ortalama	3,537
Standart Hata	0,120
Ortanca	2,663
Kip	1,904
Standart Sapma	3,13
Örnek Varyans	9,818
Basıklık	26,024
Çarpıklık	4,381
Aralık	31,133
En Büyük	0,833
En Küçük	31,966
Toplam	2401,963
Sayı	679

Şekil 6.3’de otobüse binen yolcuların kuyrukta ki pozisyonlarına ait hizmet süreleri gösterilmiştir.



Şekil 6.3 Yolcuların kuyruktaki pozisyonlarına bağlı olarak hizmet süreleri

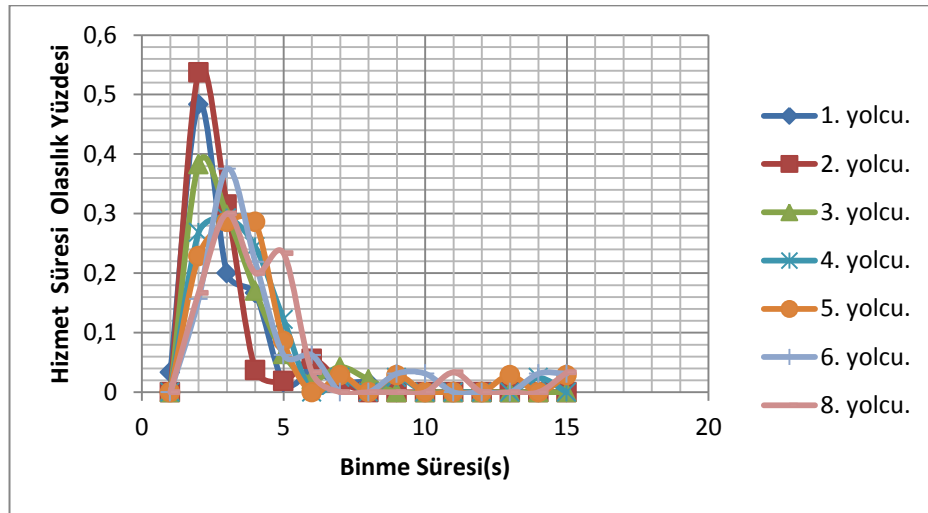
Binen yolcuların pozisyonlarına bağlı hizmet süreleri, standard sapma ve kullanılan veri sayısı Tablo 6.3’de verilmiştir.



Tablo 6.3 Binen yolcuların pozisyonlarına bağlı istatistiksel bilgiler

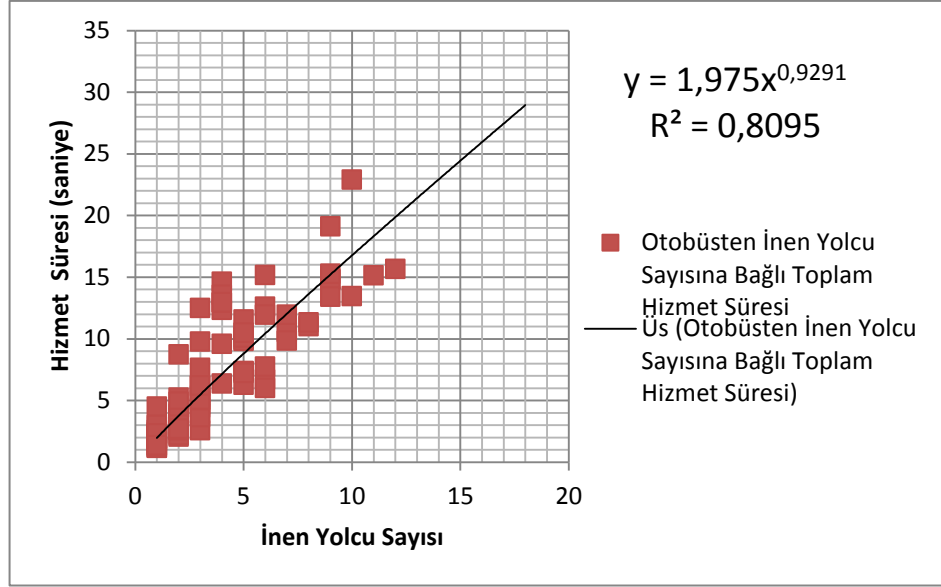
Yolcu Pozisyonu	Ortalama Hizmet süresi	Standard Sapma	Veri Sayısı
1	3,108	3,899	61
2	2,83	3,867	55
3	2,791	1,450	48
4	3,543	3,45	46
5	3,242	2,117	42
6	3,740	2,890	36
7	4,022	3,179	33
8	3,827	2,652	31

Aynı zamanda binen yolcuların pozisyonlarına bağlı değişkenliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 6.4’de her bir yolcu pozisyonuna ait hizmet süresinin dağılımı verilmiştir.



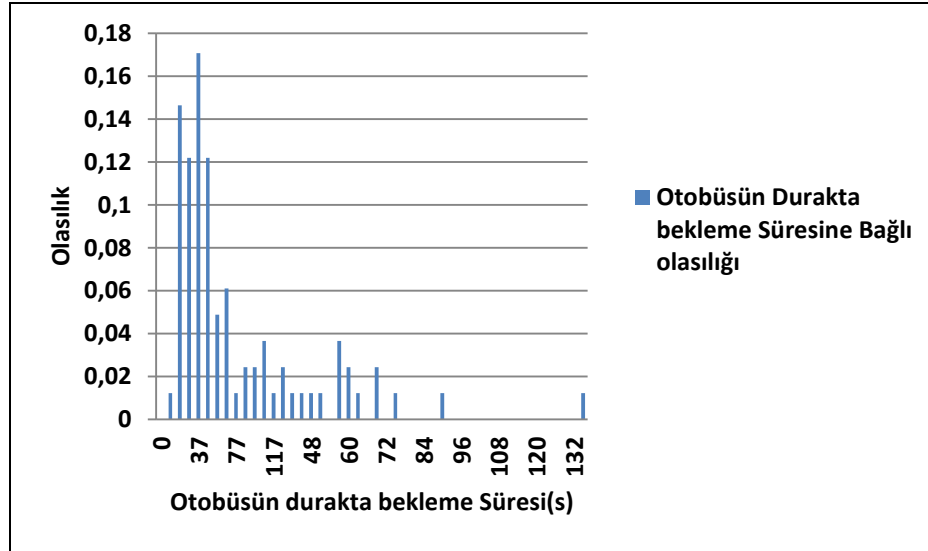
Şekil 6.4 Binen yolcuların pozisyonlarına ait hizmet sürelerinin olasılık dağılımı

Şekil 6.5’de ise inen yolcuların sayısına bağlı olarak yolcuların hizmet süresini göstermektedir. Regresyon analizi sonuç inen yolcuların sayısının artışı ile yolcu başına düşen hizmet süresinin azaldığını göstermektedir.



Şekil 6.5 İnen yolcu sayısına bağlı hizmet süresi

Elde edilen otobüs durma süresine ait verilerin olasılık dağılımı Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6 Otobüsün durakta durma süresinin olasılık dağılımı

Gözlemlerden elde edilen otobüslerin durakta durma sürelerinin istatistiksel bilgileri Tablo 6.4'de verilmiş ve ortalama otobüs durma süresi 38 saniye olarak elde edilmiştir.

Tablo 6.4 otobüs durakta bekleme süresinin istatistiksel Bilgileri

Otobüsün durakta bekleme süresinin istatistiksel bilgileri	
Ortalama	37,983
Standart Hata	4,274
Ortanca	21,528
Kip	#YOK
Standart Sapma	38,708
Örnek Varyans	1498,316
Varyasyon katsaisı	1,019
Basıklık	6,025
Çarpıklık	2,164
En Büyük	2,873
En Küçük	223,554
Toplam	3114,687
Say	82
Güvenirlilik Düzeyi(95,0%)	8,505

### 6.3 Otobüs Engelleme Modelinin Parametrelerinin Hesaplanması

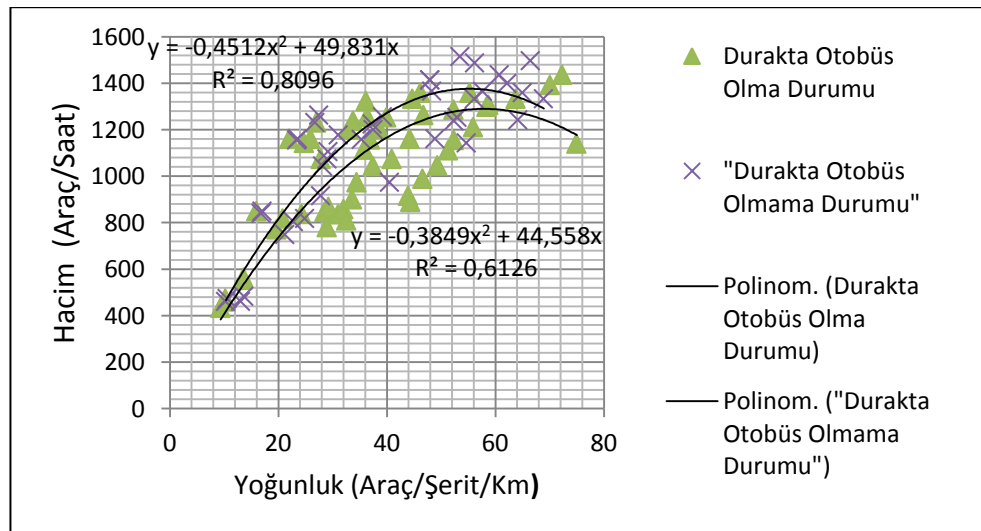
Engelleme süresinin diğer şeritlerin kapasitesi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı ile çekimlerden, yeşil fazda otobüsün trafik akımını engellemediği ya da engellediği durumdaki süreler baz alınmıştır. Şeritlerde araçların belirlenmiş olan 2 kesitten geçme anındaki zamanları kaydedilmiş ve her bir araç için belirlenen kesitler arasındaki seyahat süreleri hesaplanmıştır. Elde edilen süreler mesafeye bölünerek araçların ortalama hızları elde edilmiştir. Bu araçların zaman cinsinden aralıklarını elde etmek için de birbirini takip eden araçların kesitlerden geçtiği durumdaki zamanları kaydedilmiş ve bu zamanlar arası farklarda araçların zaman cinsinden aralıkları olarak alınmıştır. Elde edilen verilerden çok küçük zaman periyodunda toplanan veriler değerlendirmeye katılmamıştır (örneğin otobüsün çok kısa süre durması ya da durduğu anda kırmızı ışığın yanması ve 8 saniyenin altında olması).

Kapasitenin hesaplanması için ilk olarak her periyotta geçen araçların zaman cinsinden aralıkları ve hızlarının harmonik ortalamaları hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise elde edilen zaman cinsinden ortalama aralıklardan o periyoda ait hacimler elde edilmiştir. Elde edilen hacimler, ortalama hızlara bölünerek o duruma ait yoğunluklar elde edilmiş ve bu yoğunluklardan yararlanılarak da belirtilen durumlar için kapasite değerleri hesaplanmıştır.

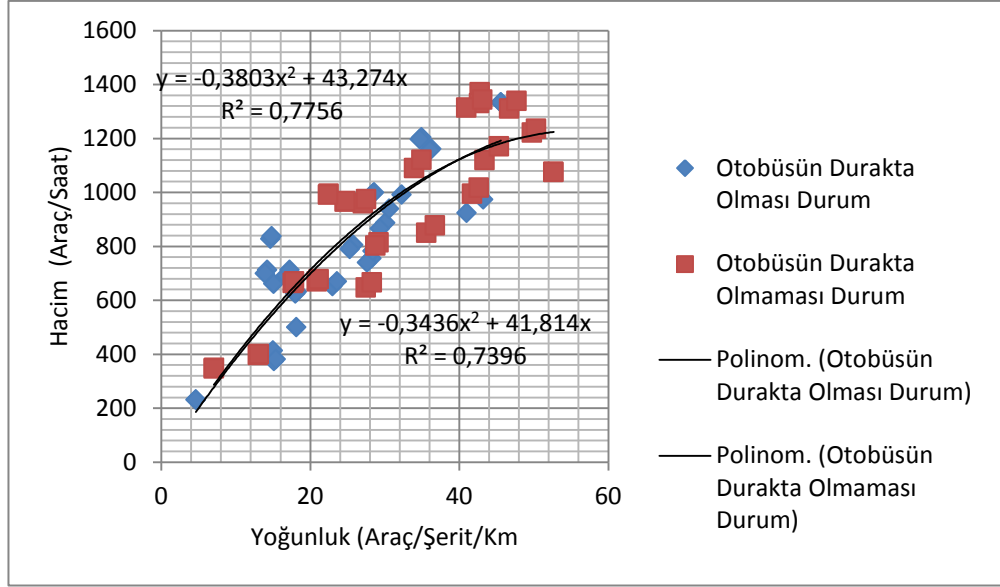
Kapasite hesabında bu hesap yönteminin seçilme nedeni, yeşil sürede duran otobüslerin durma sürelerinin farklı olması ve aynı zamanda otobüslerin durduğu süre içerisinde kırmızı ışığın yanmasından dolayı kırmızı ışık süresince otobüslerin hareket verilerinin hesaba katılmamasıdır. Yapılan çekimlerden, belirtilen nedenlerle analizlerde kullanılmak üzere sabit bir zaman periyodu (yani 45 saniye ya da bir dakika gibi sabit bir sayı) alma imkânı bulunmamaktadır.

Bu çalışma kapsamında belirlenmiş kesitlerden geçen araçlar, iki farklı durumda gruplandırılmıştır. Birinci durum, otobüsün durakta olmadığı, ikincisi ise otobüsün durakta olduğu durumdur. Aynı zamanda bu veri gruplarından 4 araçtan daha az veriye sahip olan gruplar trafik akımının gerçek özelliklerini yansıtmayacağından dolayı elenmiştir.

Bu verileri araçların otobüs durağının yer aldığı bölgede zaman cinsinden takip aralıklarını ve hızlarını içermektedir. Her bir grup verisinin ortalama aralık ve harmonik hızını elde edilmiştir. Bağıntı 2.1 yardımı ile bu durumlara ait yoğunluklar elde edilmiş ve hacim-yoğunluk grafiği incelenmiş, incelenen kavşaklarda durakta otobüs olma ya da olmama durumları için hacim-yoğunluk grafikler Şekil 6.1 ve 6.2 de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 6.7 Kipa kavşağında sağ şeride komşu şeride ait hacim-yoğunluk grafiği



Şekil 6.7 Fevzipaşa kavşağında sağ şeride komşu şeride ait hacim-yoğunluk grafiği

Yapılan regresyon analizi sonucunda Balçova kipa orta şerit kapasitesi, durakta otobüs olmadığı durum için 1375 araç/saat ve otobüsün bir saat durakta durma durumu için 1285 araç/saat olarak elde edilmiştir. Regresyon analizi sonucunda Konak Fevzipaşa bulvarında otobüsün durakta olmadığı durum için kapasite 1225 araç/ saat ve otobüsün durakta olması durumu için de 1230 araç/saat hesaplanmıştır.

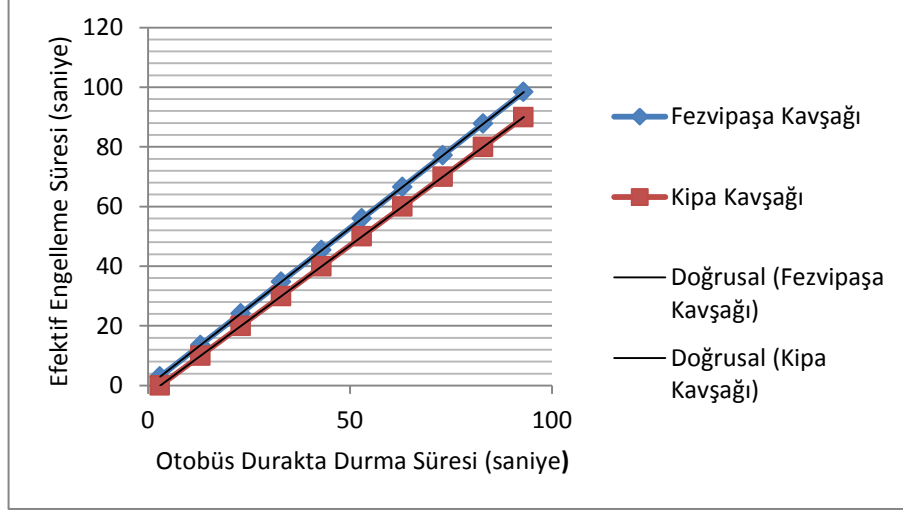
Elde edilen bu değerler sonucunda Denklem 4.41'deki  $F_2$  katsayısı hesaplanmıştır. Ayrıca  $F_1$  katsayısı her iki kavşak için otobüsün durması durumunda hiçbir aracın sağ şeritten geçemediğinden ötürü ( $N_b=0$ ),  $F_1=1$  olarak kabul edilmiştir. Kipa kavşağı için  $F_2$ , Bağlantı 4.41'de  $q_1$  ve  $q_2$  değerleri yerleştirilerek 0,065 olarak elde edilmiştir, Bu Değer Fevzipaşa kavşağı için ise 0,004 olarak hesaplanmıştır.

Otobüsün ivmelenme ve ters ivmelenme süresinin yarattığı gecikme ortalama 5 saniye olarak alınmıştır. Buna bağlı olarak efektif engelleme süresi aşağıda verilen Denklem 6.1 ve 6.2'deki gibi elde edilmiştir.

$$\text{Fevzipaşa Otobüs Engelleme Süresi} = 5 + \text{Otobüs Durma Süresi} \quad (6.1)$$

$$\text{Kipa Otobüs Engelleme Süresi} = 5 + (1 + 0,065) \cdot \text{Otobüs Durma Süresi} \quad (6.2)$$

Elde edilen otobüs engelleme bağıntıları (6.1 ve 6.2) kullanılarak Kipa ve Fevzipaşa kavşakları için otobüs durma süresinin 10-90 saniye arasında değerler almasına bağlı olarak, otobüs engelleme süresi Şekil 6.8’de verilen şekilde elde edilmiştir.

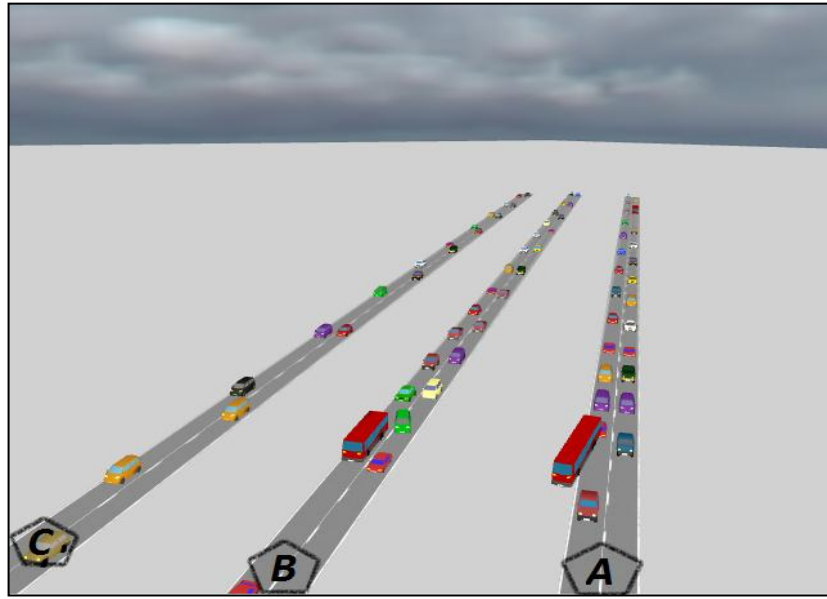


Şekil 6.8 Otobüs engelleme süresinin Kipa ve Fevzipaşa kavşakları için bekleme süresine bağlı olarak değişimi.

## BÖLÜM YEDİ

### OTOBÜS ENGELLME ETKİSİNİN AİMSUN BENTEZİM PROGRAMI KULLANILARAK İRDENLENMESİ

Otobüs duraklarında durak otobüslerin trafik akımı üzerindeki etkilerinin anlaşılması amacı ile iki şeritli bir yaklaşım yönü için AİMSUN benzetim programı kullanılmıştır. Bu kapsamda üç farklı senaryo oluşturulmuştur(Şekil 7.1).



Şekil 7.1 AİMSUN benzetim programında el alınan üç farklı durum

bunlar;

A durumu : Otobüslerin özel cep bulunan bir yolda durma durumları

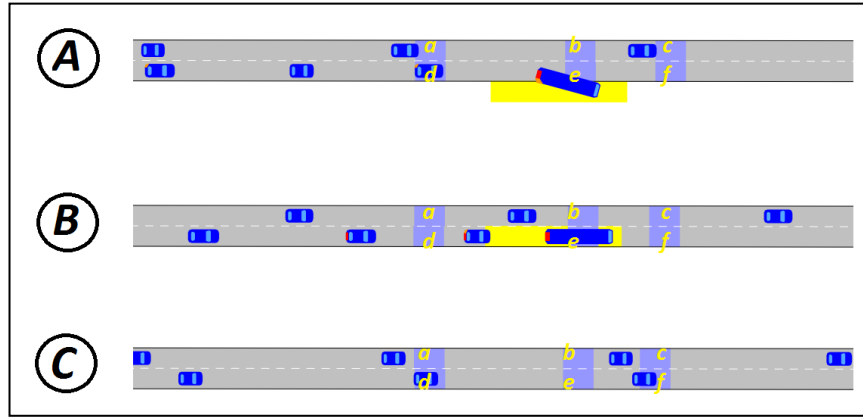
B durumu : Otobüslerin özel cep bulunmayan bir yolda durma durumları

C durumu : Otobüslerin durakta durmama durumları.

Her bir senaryo için bir O/D matrisi tanımlanmış ve her bir şerit için şerit kapasitesinden yüksek bir talep (şerit başına 2000 araç/saat) ve her bir otomobil için minimum aralık değeri 2.25 sn olarak tanımlanmıştır. Ayrıca yol genişliği ise her şerit için 3 metre olarak alınmıştır.

A ve B senaryoları için otobüs durak genişliği 30 metre ve her bir otobüsün durakta durma sıklığı 60 saniye olarak alınmıştır. Otobüslerin durakta bekleme süreleri ise 20 saniye olarak öngörülmüştür.

Şekil 7.2’de görüldüğü üzere otobüslerin akım üzerindeki etkisini incelemek amacıyla sağ ve sol şeritte duraktan önce, durakta ve durak sonra olmak üzere toplam 6 detektör tanımlanmıştır.



Şekil 7.2 AİMSUN benzetim programında yerleştirilen detektörler

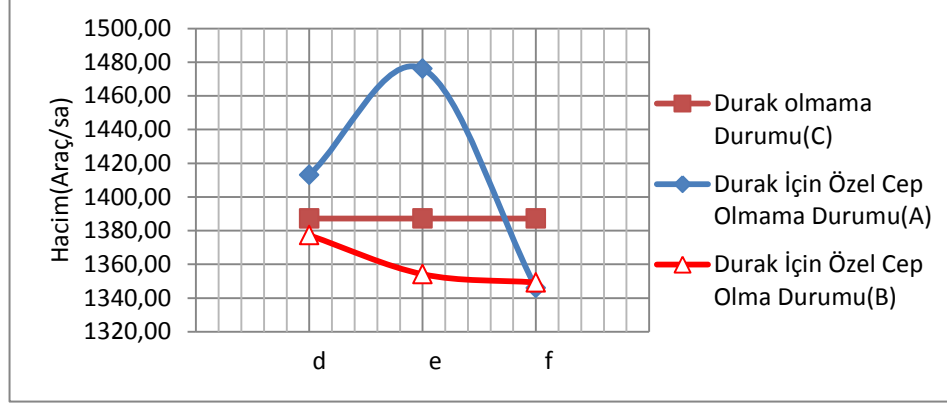
Her bir senaryo için programın çalıştırılması sonucunda detektörden temel trafik akım parametreleri olan araçların ortalama takip aralığı, ortalama hız ve ortalama yoğunluk değerleri her bir dakika için toplanmıştır ve elde edilen bu veriler kullanılarak her bir detektör için hacim-yoğunluk grafiği yardımı ile kapasite hesaplanmıştır. Elde edilen kapasite değerleri Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1 Detektörlere ait kapasite, yoğunluk ve hız değerleri

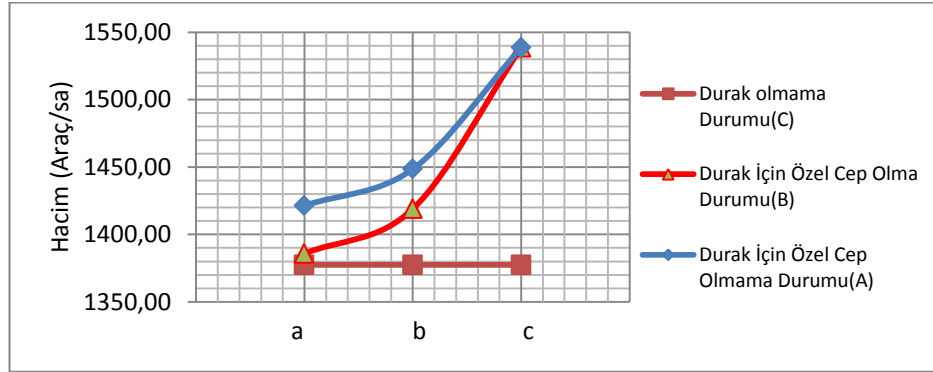
	Durak olmama Durumu(C)			Durak için Özel Cep Olmama Durumu(B)			Durak İçin Özel Cep Olma Durumu(A)		
	Kapasite (Araç/sa)	Yoğunluk (Araç/Km)	Hız (Km/Sa)	Kapasite (Araç/sa)	Yoğunluk (Araç/Km)	Hız (Km/Sa)	Kapasite (Araç/sa)	Yoğunluk (Araç/Km)	Hız (Km/Sa)
<b>a</b>	1377,4	35,9	38,2	1385,7	35,2	39,3	1421,4	41,5	34,2
<b>b</b>	1377,4	35,9	38,2	1418,9	37,1	38,2	1448,5	39,8	36,3
<b>c</b>	1377,4	35,9	38,2	1538,6	43,2	35,6	1538,6	43,2	35,6
<b>d</b>	1387,2	32,7	42,3	1377,2	43,5	31,6	1413,0	46,2	30,5
<b>e</b>	1387,2	32,7	42,3	1354,1	39,0	34,6	1476,0	49,1	30,0
<b>f</b>	1387,2	32,74	42,3	1349,2	37,2	36,2	1346,0	35,9	37,4



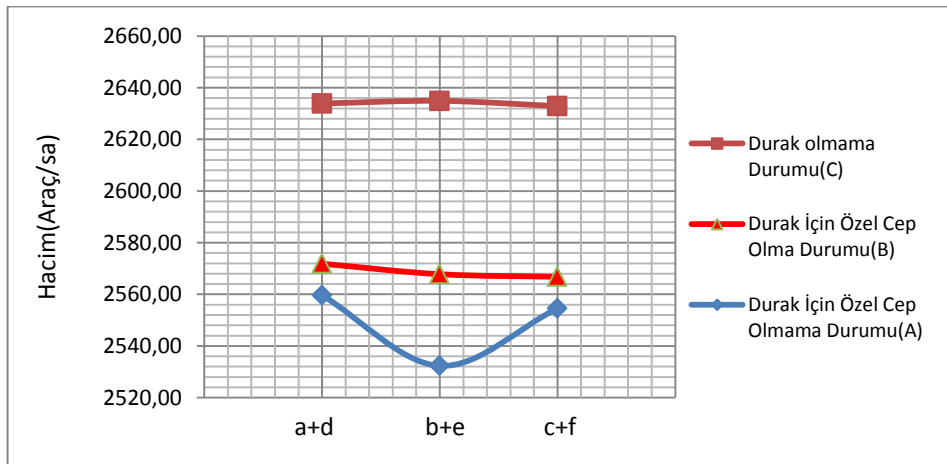
Elde edilen kapasite değerleri sağ şeride ait kesitler için Şekil 7.3'te ve sol şerit için ise Şekil 7.4'de verilmiştir. Buna ek olarak Şekil 7.5 sağ ve sol şeritten geçen toplam araç hacimlerini her bir kesit için göstermektedir.



Şekil 7.3 Her bir senaryo için sağ şerit kesitlerine ait kapasite



Şekil 7.4 Her bir senaryo için sol şerit kesitlerine ait kapasite değerleri



Şekil 7.4 Her bir senaryo için yol kesitlerine ait hacimler

Detektörlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde bir saatlik zaman diliminde yolun kapasite durumunda hizmet verdiği otobüslerin özel cep olmayan duraklarda durması sonucunda c ve f kesitlerinde %3 kapasite kaybı oluştuğunu ve özel cep olan duraklarda ise bu kapasite kaybının 2,5% olduğu görülmüştür. b ve e detektörlerinin yer aldığı kesitlerde ise özel cep olmaması durumunda bu kapasite kaybının yaklaşık %4 civarında olduğu saptanmıştır. Halbuki aynı kesite ait kapasite kaybı özel cebe sahip duraklarda %2.5 olarak elde edilmiştir. a ve d detektörlerinin yer aldığı kesitlerde ise otobüs durağının özel cebe sahip olması ve olmaması durumları için sırasıyla kapasite kaybı %2,4 ve 2,8% olarak elde edilmiştir.

Kapasitede oluşan kaybın en fazla olduğu orta kesitin gerçek kapasiteyi temsil ettiği varsayılırsa bir saatlik zaman diliminde 60 otobüsün durakta durması durumunda otobüs için özel cep olması veya olmaması durumları için sırasıyla %2,5 ve 4% kapasite kaybı oluştuğu sonucuna varılmaktadır.

## **BÖLÜM SEKİZ**

### **SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER**

Önerilen yeni genişletilmiş HR yöntemi, araç tiplerinin birbirleri ile olan etkileşimlerini ve bu etkileşimlere ait olasılıkları ele almaktadır. Buna bağlı olarak ağır araç kategorisine giren otobüslerin, otomobillerle etkileşimleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ağır araç oranının artması ile ağır aracın başka bir ağır aracı takip etme olasılığının artacağı düşünülmektedir. Ağır araçların birbirini takip aralıklarının otomobil-otobüs aralığından daha büyük olması, ağır araç oranının artışı ile HCM (2010)'da  $F_{hv}$  düzeltme katsayısının HR yöntemine göre daha fazla azalmasına neden olmaktadır. Bu yeni yöntem, otobüs aktarma noktalarına yakın ya da otobüs oranı akım içerisinde fazla olan sinyalize kavşakların verimliliğinin daha doğru hesaplanmasına katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında HCM'nin önermiş olduğu otobüs engelleme (bus blockage) faktörünün geliştirilmesi amacıyla yeni bir model kurulmuştur. Ayrıca HCM'nin önerdiği modelin diğer şeritlerin etkisini ve yol geometrisini modele dâhil etmekte yetersiz olduğu görülmüş ve bu model geliştirilerek yeni bir model önerilmiştir. Önerilen bu yeni modelin gözlem verileriyle kalibre edilmesi amacıyla İzmir'de önemli sinyalize arterler üzerinde yer alan 2 farklı noktadan gözlem yapılarak veriler toplanmış ve analiz edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen F1 ve F2 parametre değerleri modelin öngördüğü şekilde hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda yol genişliğinin daha fazla olduğu ya da otobüs durağının özel cep içerisinde yer aldığı durumlarda, sinyalize kavşaklarda otobüsün durakta durması sonucunda oluşan olumsuz etkinin azaldığı görülmektedir. Fevzipaşa kavşağında olduğu gibi otobüsler için özel cep olması durumunda, sağ şerit içerisinde otobüsün arkasında kalan araçların otobüsü sollayamamasına rağmen orta şeritte hareket eden araç sürücülerinin otobüsten etkilenmediği ve yolun kapasitesinde bir kayıp oluşmadığı görülmektedir.

Oysa Kipa kavşağında özel cep olmaması nedeni ile orta şerit kapasitesinde otobüsün bir saat durakta durması varsayımına göre yaklaşık 6% oranında bir kayıp olduğu görülmektedir. Duraklardan toplanan otobüs bekleme sürelerinin değerlendirilmesi sonucunda İzmir için binen/inen yolcu hizmet süreleri elde edilmiş olup yolcuların sayısının artışı ile toplam hizmet süresindeki değişimin, inen ve binen yolcular için farklı olduğu görülmüştür. İnen yolcuların sayısının artışı ile ortalama inen yolcu hizmet süresinin azaldığı görülmüştür. Halbuki durakta otobüse binen yolcuların sayısının artışı ile ortalama binen yolcu hizmet süresinin arttığı görülmüştür. Bunun başlıca nedenlerinden birisi otobüs içinde ayakta duran yolcu sayısının artışı ile otobüs içinde oluşan yoğunluğun yolcuların biniş sürelerinin artırması olduğu kabul edilebilir.

Çalışma sonuçlarının, İzmir dışındaki kentlerden toplanacak veriler ışığında ilerletilebileceği, otobüs engelleme faktörünün otobüs durma süresine, yolların geometrik özelliklerine, trafik koşullarına, durak tiplerine, durak yoğunluğuna ve otobüs tiplerine göre farklı değerler alacağı düşünülmektedir.

Ayrıca bu çalışma kapsamında otobüsün durakta durma süresinin doygun akım üzerinde doğrusal bir etkisinin olduğu, otobüsün ivmelenme ve ters ivmelenmesinin diğer şeritlerin akımları üzerinde etkisinin olmadığı, otobüsün kavşaktan düz geçtiği, otobüs durağında duran otobüslerin sağa ya da sola dönüşlerin üzerinde etkisinin olmadığı, otobüslerin yeşil süre(devre süresi) içerisinde rastgele geldikleri varsayımları yapılmıştır. İleride yapılacak olan çalışmalarda bu varsayımların tersi durumlar da incelenerek otobüs engelleme faktörünü etkileyen etmenler genişletilebilecek ve geliştirilebilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akçelik, R. (1981). Traffic signals: capacity and timing analysis. *Australian Road Research Board*, Research Report 123.
- Akçelik, R., Besley, M. ve Roper, R. (1999). Fundamental relationships for traffic flows at signalized intersections. *ARRB Transportation Research Ltd.*, Research Report ARR 340.
- Akova, M. (1979). *Kavşak sinyalizasyon hesabında duruş, kalkış ve boşaltma koşullarının etkisi, hesap yöntemleri ve ülkemiz gerçeklerine uygun yöntem araştırılması*. İTÜ, Doktora tezi.
- Altun, İ. (2003) *Sinyalize Kavşaklarda Trafik Akım Etkileşimleri*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek lisans Tezi
- Ayfer, M.Ö. (1977). *Trafik Sinyalizasyonu*. T.C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara
- Bertini, R. L., El-Geneidy, A. M. (2004). Modeling transit trip time using archived bus dispatch system data. *Journal of Transportation Engineering*, 130, 56
- Bester, C. J, & Meyers, W. L. (2007). Saturation flow rates. *In Proceedings of the 26th Southern African Transport Conference*. Pretoria.
- Bonneson, J.A. (1992). Study of Headway and Lost time at Single Point Urban Interchanges. *Transportation Research Record*, Washington, DC.
- Branston, D. ve Gipps, P. (1981). Some experiences with a multiple regression method of estimating parameters at the traffic departure procedure. *Transportation Research Part A*. 15, 445-458.
- Canseven, G. (2002). *Ağır Araç Oranının Sinyalize Kavşak Kapasitesine Etkisi*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek lisans Tezi

- Çalışkanelli, S. P. (2006). *Sinyalizasyon sistemlerinden ayrılan araçların takip aralığı dağılımının incelenmesi*. DEÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi.
- Dueker, K. J., et al. (2004). Determinants of Bus Dwell Time. *Journal of Public Transportation*. 7(1), 21–40.
- Fetter, William W. (2007), *Effects of far-side and side street bus stops on the saturation flow rate of signalized intersections*. North Carolina State University. Yüksek lisans Tezi
- Greenshields, B. D., Schapiro ve D., & Ericksen, E. L. (1947). Traffic performance at urban intersections. Saugatuck. *Eno Foundation for Highway Traffic Control*.
- Guenthner, R. P. and K. C. Sinha. (1983). Modeling bus delays due to passenger boardings and alightings. *Transportation Research Record*, 915, 7-13.
- Holt, D.(2004), *The Effects of Bus Stops on the Saturation Flow Rate of Signalized Intersections*, North Carolina State University. Yüksek lisans Tezi
- Inose, H. ve Hamada, T. (1975). Road traffic flow. *University of Tokyo*,Tokyo
- Koshy, R. Z.; Arasan, V. T. (2005). Influence of bus stops on flow characteristics of mixed traffic. *Journal of Transportation Engineering*. 131, 640-643.
- Kraft W. and T. Bergen. (1974). Evaluation of passenger service times for street transit systems. *Transportation Research Record*. 505, 13-20.
- Lake, M. and Ferreira, L., Towards, (2001). Quantifying the Impacts of MultiCombination Vehicles in Urban Traffic. *Physical Infrastructure Centre Research Report* , Queensland University of Technology. Brisbane, Australia.
- Lin T. and N. H. Wilson. (1992). Dwell time relationships for light rail systems. *Transportation Research Record*, 1361, 287-295.

- Luttinen, R. T. (1996). Statistical analysis of vehicle time headways. *Teknillien korkeakoulu, Liikennetekniikka, Julkaisu, Otaniemi*
- May, A. D. (1990). Traffic flow fundamentals. Printince Hall, Englewood Cliffs. *New Jersey.*
- Molina, C.J. (1987). Development of passenger car equivalences for large trucks at signalized intersections. *Intelligent Transportation Engineering Journal. 19, 42-65*
- Nehir, Y. (2009). *İzmir’de Otobüs Duraklarının Etkin Kullanımları Üzerine Bir İnceleme*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Nittymaki, J., & Pursula, M. (1996). Saturation flows at signal-group-controlled traffic signals. *Transportation Research Record. 56*, HMSO, London.
- Perez-Cartagena, R. and A.P. Tarko (2005). Calibration of Capacity Parameters for Signalized Intersections in Indiana. *ASCE Journal of Transportation Engineering.*
- Ramsay, E. D. and Bunker, J. M. (2003). Acceleration of multi-combination vehicles in urban arterial traffic corridors. *In Road System and Engineering Technology Forum*. Queensland . Brisbane.
- Ramsay, E.D., Bunker, J.M. and Troutbeck, R.J. (2004). Signalised intersection capacity reduction of trucks. *Proceedings of ICTTS, 793-802*. Beijing, China.
- Sorensen, H. (1998). *Determining passenger car equivalents for freeways*. Store Kartogers Forbrung of Motorgeves Kapacitct.
- Şahin, İ. Ve Akyıldız, G. (2004). Examination of Traffic Flows in Bosphorus Bridge Toll Plaza in Istanbul. *Advances in Civil Engineering 2004 6th International Conference, Proceedings Book.*

- Tanyel, S. (2001). *Türkiye'deki Dönel Kavşaklar İçin Kapasite Hesap Yöntemi*. Doktora Tezi. İ.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Tarko, A. P. ve Tracz, M. (2000). Uncertainty in saturation flow predictions. *Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity*.
- Tong, A. ve Hung, B. (2002). *Neural network modeling of vehicle discharge headway at signalized intersection*. Model Descriptions And Results.
- Transport for London. (2006). Accessible bus stop design guidance Bus Priority Team Technical advice note BPI/06.
- Transportation Research Board (TRB) (1997). *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C, National Research Council. Washington, D.C.
- Transportation Research Board (TRB) (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C. Transportation Research Board. National Research Council. Washington, D.C.
- Transportation Research Board (TRB) (2010). *Highway capacity manual*. Washington, D.C., Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C.
- Transportation Research Board (TRB) (1996). *Guidelines For The Location and Design of The Bus Stops*. TCRP Report 19. Washington, D.C.
- Transportation Research Board (2003). *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. Transit Cooperative Research Program. Report 100. 2nd Edition. Washington, D.C.
- Türk Standartları Enstitüsü Şehir İçi Yollar Otobüs Durakları Yer Seçimi Kuralları (1995, Temmuz). TS 11783.
- Webster, F. V. (1958). Traffic Signal Settings. *Road Research Laboratory Technical Paper 39*, HMSO, London



- Webster, F. V. ve Cobbe, B. M. (1966). Traffic Signals. *Road Research Laboratory Technical* First Edition, London.
- West, J.E. & Thurgood, G.S. (1995). Developing passenger car equivalents for left-turning trucks at compressed diamond interchanges. *Transportation Research Board Annual meeting*. 74th. Washington, D.C.
- Wong, S.C. , Yang, H., Au yeung, W.S., Cheuk, S.L. ve Lo, M. K. (1998) (1998). Delay at Signal-Controlled Intersection with Bus Stop Upstream. American Society of Civil Engineers, *Journal of Transportation Engineering*, 124(3).
- Yayla, N. (1993). Türkçe-İngilizce karayolu ve trafik terimleri sözlüğü. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.
- Zhao, W. ve Benekohal, F.R. (1996). Development of a methodology for measuring delay-based passenger car equivalent for heavy vehicles at signalized intersections. *University of Illinois*. Urbana
- Zhao, X.,Gao, Z. ve Jia, B., (2007). *The capacity drop caused by the combined effect of the intersection and the bus stop in a CA model*. *Physica A* 385, 645-658.