



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Boğaziçi Köp. Gİçe Sah. Trafik Akım. Gözl. Özell.

Yüksek Lisans Tezi

GÜZİN AKYILDIZ

Ref  
İNS  
470  
2003

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

921

BOĞAZIÇI KÖPRÜSÜ GİŞE SAHASINDAKİ TRAFİK  
AKIMLARININ GÖZLENEN ÖZELLİKLERİ

İnşaat Müh. Güzin Akyıldız

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında  
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

İSTANBUL, 2003

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON  
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC) : R150/482

Kayıt No : 1900  
Geldiği Yer : Fen Biliml. Enst.  
Tarih : 03.11.2003  
Fiyat : 4.200.000  
Fatura No :  
Aynivat No : 1/21  
Eck :

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VIII-93

BOĞAZIÇI KÖPRÜSÜ GİŞE SAHASINDAKİ TRAFİK  
AKIMLARININ GÖZLENEN ÖZELLİKLERİ

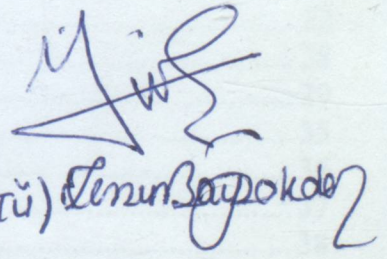
482

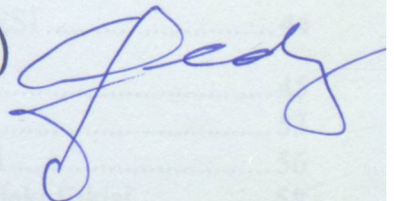
İnşaat Müh. Güzin Akyıldız

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında  
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

Prof. Dr. Zerrin BAYRAKDAR (İTÜ) 

Prof. Dr. Engin GEBİZLİOĞLU (İTÜ) 

İSTANBUL, 2003

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	iv
KISALTMA LİSTESİ .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	x
ÖNSÖZ .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. TRAFİK AKIMININ ÖZELLİKLERİ .....	2
2.1 Trafik Akımı ile İlgili Temel Tanımlar .....	2
2.2 Taşıt Boyutları ve Ağırlıkları .....	5
2.3 Trafiğin Zamana Bağlı Olarak Değişmesi .....	7
2.4 Boğaziçi Köprüsünü Kullanan Taşıt Tipleri .....	8
3. KUYRUK KAVRAMI .....	9
3.1 Kuyruk Teorisi .....	9
3.2 Kuyruk Modelleri .....	12
3.3 Gişe Sahalarında Kuyruklanma .....	17
4. YIĞIŞIMLI TAŞIT SAYISI EĞRİLERİ .....	18
4.1 Yığışimli Taşıt Sayısı Eğrilerinin Elde Edilmesi .....	18
4.2 Yığışimli Taşıt Sayısı Eğrilerinin Ölçeklendirilmesi .....	19
5. GİŞE SAHASI TASARIMI .....	21
5.1 Gişe Sahasının Elemanları .....	21
5.2 Gişe Sahasının Geometrik Özellikleri .....	22
5.2.1 Yatay Geometri .....	22
5.2.2 Düşey Geometri .....	28
5.3 Gişe Tipleri ve Kapasiteleri .....	29
5.4 Gişe Sahasında Hizmet Düzeyi .....	35
5.5 Gişe Sahasında Trafik Özellikleri .....	36
5.6 Gişe Sahası İçin Yer Seçimi .....	37
5.7 Gişelerin Yerleşim Planı .....	38
6. BOĞAZIÇI KÖPRÜSÜ GİŞE SAHASININ İNCELENMESİ .....	44
6.1 Gişe Sahası Trafik Analizi .....	45
6.1.1 Ek Şeritin Gişe Sahasındaki Trafik Üzerindeki Etkisi .....	53
6.1.2 Kapalı Gişelerin Gişe Sahasındaki Trafik Üzerindeki Etkisi .....	56
6.1.3 Görevli Performanslarının Gişe Sahasındaki Trafik Üzerindeki Etkisi .....	58
6.2 Gişe Sahasında Kuyruk Analizi .....	61
6.2.1 Gişelerin Kuyruk Kapasiteleri .....	62

6.2.2	Gişe Sahasına Geliş Oranları.....	66
6.2.3	Gişelere Ait Hizmet Oranları Ve Hizmet Süresi Dağılımları.....	67
6.2.3.1	Klasik (Manuel) Gişelere Ait Hizmet Oranları/Hizmet Değerleri .....	68
6.2.3.2	Klasik (Manuel) Gişelere Ait Hizmet Süresi Dağılımları .....	75
6.2.3.3	OGS Gişelerine Ait Hizmet Oranları.....	79
6.2.4	OGS Kullanımının Kuyruklanma Üzerindeki Etkisi.....	84
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	88

KAYNAKLAR.....	91
----------------	----

ÖZGEÇMİŞ.....	93
---------------	----

## SİMGE LİSTESİ

$A$	Gelişler ya da gelişler arası zaman dağılımı
$B$	Hizmet zamanı dağılımı
$d$	Hizmet disiplinini,
$e$	Sisteme alınabilecek en fazla müşteri sayısını,
$f$	Geliş kaynağının büyüklüğü
$h_d$	Uzunluk cinsinden izleme aralığı
$\overline{h_d}$	Uzunluk cinsinden ortalama izleme aralığı
$h_t$	Zaman cinsinden izleme aralığı
$\overline{h_t}$	Zaman cinsinden ortalama izleme aralığı
$I$	Hizmet kanallarının boş kalma olasılığı
$k$	Yoğunluk
$k_E$	Erlang parametresi
$k_j$	Tıkanma yoğunluğu
$k_m$	Kapasite yoğunluğu
$L$	Sistemde bulunan ortalama müşteri sayısı
$L_q$	Kuyrukta bulunan ortalama müşteri sayısı (kuyruk uzunluğu)
$L_T$	Yaklaşım konisinin uzunluğu
$m$	Erlang dağılımında ortalama
$N$	Sistemdeki hizmet kanallarının sayısı
$n_c$	Çıkış kanalı sayısı
$P_n$	Sistemde $n$ müşteri bulunması olasılığı
$P_{n>N}$	Kuyrukta bekleme olasılığı (sistemde bulunan müşteri sayısının hizmet kanalı sayısından fazla olma olasılığı)
$P_o$	Sistemde müşteri bulunmama olasılığı
$q$	Akım oranı
$Q$	Hacim
$q_m$	Kapasite akımı
$q_o$	Referans akımı
$S$	Önceden belirlenmiş hız veya proje hızı
$t$	Gözlem süresi
$t_b$	Başlangıç zamanı
$t_s$	Son zaman
$u$	Hız
$u_f$	Serbest hız
$u_m$	Kapasitedeki hız
$u_s$	Uzunluk anlamlı hız
$u_t$	Zaman anlamlı hız,
$W$	Sistemde ortalama bekleme süresi
$W_q$	Kuyrukta ortalama bekleme süresi
$W_T$	Ötelenme değeri
$x$	Gözlem kesiti
$\alpha$	Ölçek parametresi
$\beta$	Biçim ( $\beta$ ) parametresi
$\lambda$	Geliş oranı (arrival rate)
$\mu$	Hizmet oranı (service rate)
$\mu_L$	Lognormal dağılımda ortalama

$\rho$  Trafik yoğunluk oranı  
 $\sigma^2$  Lognormal dağılımda standart sapma

AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials  
E-PASS Elektronik Geçiş Sistemi  
FIFO İlk giren ilk çıkar kayrak dağılımı (First In First Out)  
KGM Karşılıklı Genel Müdahale  
LIFO Son giren ilk çıkar kayrak dağılımı (Last In First Out)  
MUTEX Manual On Uniform Traffic Control Devices  
OAS Otomatik Geçiş Sistemi  
NRO Karşılıklı hizmet verirken kayrak dağılımı (Non-Reciprocal Order)  
TPSM Tail Pipe Simulation  
TSS Toplam Seyir Süresi  
TSL Toplam Seyir Uzunluğu

## KISALTMA LİSTESİ

	Sayfa	
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials	1
E-PASS	Elektronik Geçiş Sistemi	11
FIFO	İlk giren ilk çıkar kuyruk disiplini (First In First Out)	13
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü	19
LIFO	Son giren ilk çıkar kuyruk disiplini (Last In First Out)	19
MUTDC	Manual On Uniform Traffic Control Devices	19
OGS	Otomatik Geçiş Sistemi	20
SIRO	Rasgele hizmet verilen kuyruk disiplini (Service In Random Order)	21
TPSIM	Toll Plaza Simulation	29
TSS	Toplam Seyir Süresi	29
TSU	Toplam Seyir Uzunluğu	32
Şekil 3.4	1997 yılı ilk aşamada OGS uygulanan	33
Şekil 3.5	1997 yılı ilk aşamada OGS uygulanan	33
Şekil 3.6	1997 yılı ilk aşamada OGS uygulanan	34
Şekil 3.7	TPSIM ile 1997 yılı ilk aşamada benzerlikten	34
Şekil 3.8	Bir OGS geçişinin değişik yerleşimleri durumunda	41
Şekil 3.9	Bir OGS geçişinin değişik yerleşimleri durumunda	42
Şekil 3.10	TPSIM'den bir OGS geçişinin yerleşimi ile ilgili	42
Şekil 3.11	Bir OGS geçişinin değişik yerleşimleri durumunda	43
Şekil 3.12	Bir OGS geçişinin değişik yerleşimleri durumunda	43
Şekil 4.1	Boğaziçi Köprüsü'ne göre tahmin edilen genel bir görünüme	44
Şekil 4.2	18 Ekim 2002 Akçe ankrajında tüm şerhler ait	46
Şekil 4.3	18 Ekim 2002 Akçe ankrajında sağ şerhler ait	46
Şekil 4.4	18 Ekim 2002 Akçe ankrajında orta şerhler ait	47
Şekil 4.5	18 Ekim 2002 Akçe ankrajında sol şerhler ait	47
Şekil 4.6	22 Ekim 2002 Akçe ankrajında tüm şerhler ait	48
Şekil 4.7	22 Ekim 2002 Akçe ankrajında sağ şerhler ait	48
Şekil 4.8	22 Ekim 2002 Akçe ankrajında orta şerhler ait	49
Şekil 4.9	22 Ekim 2002 Akçe ankrajında sol şerhler ait	49
Şekil 4.10	28 Ekim 2002 Akçe ankrajında tüm şerhler	51

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Trafik akımının temel eğrileri..... 4
Şekil 3.1	Kuyruk tipleri..... 11
Şekil 3.2	D/D/1 kuyruk modeli (Khisty ve Mohammadi, 2001) ..... 13
Şekil 4.1	Yığışımli sayım eğrisi ve yumuşatılmış yaklaşımları (Şahin ve Zorer, 2001) ..... 19
Şekil 4.2	İki kesitteki yığışımli akım (Şahin ve Zorer, 2001)..... 19
Şekil 4.3	Ölçeklendirilmiş ve ölçeklendirilmemiş yığışımli taşıt sayısı eğrileri (Şahin, 2001) ..... 20
Şekil 5.1	Gişe sahası elemanları (McDonald, 1999)..... 21
Şekil 5.2	Gişe yönlendirmeleri (McDonald, 1999)..... 29
Şekil 5.3	Klasik ve otomatik gişelerin herhangi bir güne ait saatlik hizmet değerleri (Polus ve Reshetnik, 1997) ..... 32
Şekil 5.4	5000 tş/sa'lik talep için OGS oranlarının (pazar girişi) duyarlılık analizi (Al-Deek ve Mohamed, 2000)..... 33
Şekil 5.5	6000 tş/sa'lik talep için OGS oranlarının (pazar girişi) duyarlılık analizi (Al-Deek ve Mohamed, 2000)..... 33
Şekil 5.6	7000 tş/sa'lik talep için OGS oranlarının (pazar girişi) duyarlılık analizi (Al-Deek ve Mohamed, 2000) ..... 34
Şekil 5.7	TPSIM'de 7000 tş/sa'lik talebe göre yapılan benzetimden bir görüntü (Al-Deek ve Mohamed, 2000) ..... 34
Şekil 5.8	Bir OGS gişesinin değişik yerleşimleri durumunda oluşan toplam gecikme değerleri (Al-Deek ve Mohamed, 2000)..... 41
Şekil 5.9	İki OGS gişesinin değişik yerleşimleri durumunda oluşan toplam gecikme değerleri (Al-Deek ve Mohamed, 2000)..... 42
Şekil 5.10	TPSIM'den iki OGS gişesinin yerleşimi ile ilgili bir görüntü (Al-Deek ve Mohamed, 2000) ..... 42
Şekil 5.11	Üç OGS gişesinin değişik yerleşimleri durumunda oluşan toplam gecikme değerleri (Al-Deek ve Mohamed, 2000)..... 43
Şekil 5.12	Üç OGS gişesinin değişik yerleşimleri durumunda gişe sahasından görüntüler (Al-Deek ve Mohamed, 2000) ..... 43
Şekil 6.1	Boğaziçi Köprüsü gişe sahasından genel bir görünüş..... 44
Şekil 6.2	18 Ekim 2002 Asya ankrasında tüm şeritlere ait yığışımli taşıt sayısı eğrileri ..... 46
Şekil 6.3	18 Ekim 2002 Asya ankrasında sağ şerite ait yığışımli taşıt sayısı eğrisi..... 46
Şekil 6.4	18 Ekim 2002 Asya ankrasında orta şerite ait yığışımli taşıt sayısı eğrisi..... 47
Şekil 6.5	18 Ekim 2002 Asya ankrasında sol şerite ait yığışımli taşıt sayısı eğrisi..... 47
Şekil 6.6	22 Ekim 2002 Asya ankrasında tüm şeritlere ait yığışımli taşıt sayısı eğrileri ..... 48
Şekil 6.7	22 Ekim 2002 Asya ankrasında sağ şerite ait yığışımli taşıt sayısı eğrisi..... 49
Şekil 6.8	22 Ekim 2002 Asya ankrasında orta şerite ait yığışımli taşıt sayısı eğrisi..... 49
Şekil 6.9	22 Ekim 2002 Asya ankrasında sol şerite ait yığışımli taşıt sayısı eğrisi..... 50
Şekil 6.10	23 Ekim 2002 Asya ankrasında tüm şeritlere ait yığışımli taşıt sayısı eğrileri ..... 51

Şekil 6.11	23 Ekim 2002 Asya ankrasında sağ şerite ait yığılımlı taşıt sayısı eğrisi.....	51
Şekil 6.12	23 Ekim 2002 Asya ankrasında orta şerite ait yığılımlı taşıt sayısı eğrisi.....	52
Şekil 6.13	23 Ekim 2002 Asya ankrasında sol şerite ait yığılımlı taşıt sayısı eğrisi.....	52
Şekil 6.14	18 Ekim 2002 tarihinde ek şeriti açma çalışmaları.....	54
Şekil 6.15	18 Ekim 2002 tarihinde ek şerit açıldıktan sonra gişe sahasının durumu.....	54
Şekil 6.16	22 Ekim 2002 tarihinde ek şerit açılmadan önce gişe sahasının durumu.....	55
Şekil 6.17	22 Ekim 2002 tarihinde ek şerit açıldıktan sonra gişe sahasının durumu.....	55
Şekil 6.18	13 nolu gişe hizmete açılmadan önce gişe sahasının durumu.....	56
Şekil 6.19	13 nolu gişe hizmete açıldıktan sonra gişe sahasının durumu.....	56
Şekil 6.20	9, 10, 11 ve 12 nolu OGS gişelerinde verilen hizmete ait yığılımlı taşıt sayısı eğrileri.....	57
Şekil 6.21	23 Ekim 2002 tarihinde 1 nolu gişe hizmete açılmadan önce gişe sahasının durumu.....	58
Şekil 6.22	23 Ekim 2002 tarihinde 1 nolu gişe hizmete açıldıktan sonra gişe sahasının durumu.....	58
Şekil 6.23a	22 Ekim 2002 tarihinde 17:01-17:03 saatleri arasında yapılan görevli değişiminden hemen önce gişe sahasının görünümü.....	60
Şekil 6.23b	22 Ekim 2002 tarihinde 17:01-17:03 saatleri arasında yapılan görevli değişiminden hemen sonra gişe sahasının görünümü.....	60
Şekil 6.24a	23 Ekim 2002 tarihinde 16:59-17:01 saatleri arasında yapılan görevli değişiminden hemen önce gişe sahasının görünümü.....	61
Şekil 6.24b	23 Ekim 2002 tarihinde 16:59-17:01 saatleri arasında yapılan görevli değişiminden hemen sonra gişe sahasının görünümü.....	61
Şekil 6.25	Otobüslerin 2 nolu OGS gişesine erişme zorluğu.....	62
Şekil 6.26	İstanbul Boğaziçi Köprüsü gişe sahası ve önerilen kuyruk kapasiteleri.....	64
Şekil 6.27	5, 6, 7 ve 8 nolu gişelerin kuyruklarının uzaması halinde orta ve sağ şeritlerin durumu.....	65
Şekil 6.28	13 ve 14 nolu gişelerin kuyruklarının uzaması ve 15 nolu gişenin kapalı olması durumunda sol şerit taşıtlarının gişelere erişme güçlüğü.....	65
Şekil 6.29	18 Ekim 2002 16:00-20:59 saatleri arasında klasik gişelerin saatlik hizmet oranları.....	68
Şekil 6.30	22 Ekim 2002 16:00-20:59 saatleri arasında klasik gişelerin saatlik hizmet oranları.....	68
Şekil 6.31	23 Ekim 2002 16:00-20:59 saatleri arasında klasik gişelerin saatlik hizmet oranları.....	69
Şekil 6.32	24 Ekim 2002 16:00-20:59 saatleri arasında klasik gişelerin saatlik hizmet oranları.....	69
Şekil 6.33	1 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	70
Şekil 6.34	3 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	70
Şekil 6.35	4 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	71

Şekil 6.36	5 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	71
Şekil 6.37	6 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	72
Şekil 6.38	7 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	72
Şekil 6.39	8 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	73
Şekil 6.40	13 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	73
Şekil 6.41	14 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	74
Şekil 6.42	15 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	74
Şekil 6.43	24 Ekim 2002 14:05-15:19 saatleri arasında 1 nolu gişeye ait hizmet sürelerinin Input Analyzer'a göre uyduğu dağılımlar.....	77
Şekil 6.44	24 Ekim 2002 günü 14:05-15:19 saatleri arasında 1 nolu gişenin hizmet sürelerine ait Lognormal dağılım .....	77
Şekil 6.45	24 Ekim 2002 günü 14:05-15:19 saatleri arasında 1 nolu gişenin hizmet sürelerine ait Gamma dağılımı .....	78
Şekil 6.46	24 Ekim 2002 günü 14:05-15:19 saatleri arasında 1 nolu gişenin hizmet sürelerine ait Erlang dağılımı .....	78
Şekil 6.47	18 Ekim 2002 16:00 - 20:59 saatleri arasında OGS gişelerinin saatlik hizmet oranları.....	79
Şekil 6.48	22 Ekim 2002 16:00 - 20:59 saatleri arasında OGS gişelerinin saatlik hizmet oranları.....	80
Şekil 6.49	23 Ekim 2002 16:00 - 20:59 saatleri arasında OGS gişelerinin saatlik hizmet oranları.....	80
Şekil 6.50	24 Ekim 2002 16:00 - 20:59 saatleri arasında OGS gişelerinin saatlik hizmet oranları.....	81
Şekil 6.51	2 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	81
Şekil 6.52	9 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	82
Şekil 6.53	10 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	82
Şekil 6.54	11 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	83
Şekil 6.55	12 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları.....	83

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Karayolu trafiğine çıkarılan taşıt uzunlukları (KGM resmi web sitesi) .....	5
Çizelge 2.2 Karayolu trafiğine çıkarılan taşıt ağırlıkları (KGM resmi web sitesi) .....	6
Çizelge 2.3 Karayolu trafiğine çıkarılan taşıtların toplam ağırlıkları (KGM resmi web sitesi) .....	7
Çizelge 2.4 Boğaziçi Köprüsünü kullanan taşıt sınıfları (KGM resmi web sitesi) .....	8
Çizelge 5.1 Gişe tiplerine göre önerilen şerit genişlikleri (McDonald, 1999) .....	24
Çizelge 5.2 Gişe azaltılması (McDonald, 1999) .....	26
Çizelge 5.3 D-queue benzetim programı ile bulunan gişe sayıları ve kuyruk uzunlukları (McDonald, 1999) .....	26
Çizelge 5.4 Gişe kapasiteleri (McDonald, 1999) .....	31
Çizelge 5.5 Gişe sahasında ortalama bekleme süresine bağlı olarak hizmet düzeyleri (Wanisubut, 1989) .....	35
Çizelge 5.6 Yoğunluk ve hacim/kapasiteye bağlı hizmet düzeyleri (Woo, 1990) .....	36
Çizelge 6.1 23 Ekim 2002 16:50-16:59, 17:01-17:20 ve 17:20-17:28 saatleri arasında klasik gişelerdeki hizmet süresi ortalamaları ve standart sapmaları .....	59
Çizelge 6.2 Önerilen gişe kuyruk kapasiteleri .....	66
Çizelge 6.3 10 Nisan 2003 gününde belirli zaman aralıklarına ait geliş oranlarının dağılımları .....	67
Çizelge 6.4 5 Mayıs 2003 gününde belirli zaman aralıklarına ait geliş oranlarının dağılımları .....	67
Çizelge 6.5 18, 22, 23 ve 24 Ekim 2002 tarihleri içinde klasik gişelerin hizmet verdiği en düşük, en yüksek ve ortalama taşıt sayıları .....	75
Çizelge 6.6 18, 22, 23 ve 24 Ekim 2002 tarihlerinde belirli zaman aralıklarında klasik gişelerdeki hizmet süresi dağılımları .....	76
Çizelge 6.7 18, 22, 23 ve 24 Ekim 2002 günlerine ait günlük OGS ve klasik gişe kullanıcılarının sayıları .....	84
Çizelge 6.8 4, 10, 21 ve 29 Nisan 2003 ve 5 Mayıs 2003 günlerine ait günlük OGS ve klasik gişe kullanıcılarının sayıları .....	85
Çizelge 6.9 18, 22, 23 ve 24 Ekim 2002 günlerinde 16:00-20:59 saatleri arasında OGS ve klasik gişe kullanıcı sayıları .....	86
Çizelge 6.10 4, 10, 21 ve 29 Nisan 2003 ve 5 Mayıs 2003 günlerinde 16:00-20:59 saatleri arasında OGS ve klasik gişe kullanıcı sayıları .....	86

## ÖZET

## ÖNSÖZ

Maddi ve manevi açıdan pek çok soruna ve kayıba yol açan trafik ve kuyruklanma sorunlarıyla ilgili araştırma ve incelemeleri içeren bu tezin yararlı olması umudunu taşıyorum.

Öncelikle bu tezin her aşamasında bana her türlü özveri ile yardımcı olan tez danışmanım Yard. Doç. Dr. İsmail Şahin'e en derin teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, sıkıntılı zamanlarda moralimi düzeltmeyi hep başaran ve birlikte çalışmaktan büyük keyif duyduğum hocalarım Öğr. Gör. Dr. M. Sinan Yardım'a, Araş. Gör. Dr. Mustafa Gürsoy'a ve Araş. Gör. Haluk Yüksel'e de teşekkür etmek istiyorum.

KGM 17. Bölge Müdürlüğü'ne, Boğaziçi Köprüsü Bakım İşletme Başmühendisliği'ne, Çeyre Yolları ve Boğaziçi Köprüsü Koruma Şube Müdürlüğü'ne, ASELSAN'a veri temini aşamasındaki yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışma TÜBİTAK (İÇTAG-I920) ve YTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün (22-05-01-02) desteklediği araştırma projeleri kapsamında hazırlanmıştır.

Son olarak, bana her zaman her konuda destek olan ve inançları sayesinde bu aşamalara gelebildiğim sevgili aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Bu tez onlara ithaf edilmiştir.

Güzin AKYILDIZ

## ÖZET

Yolların bakım ve onarımı için gerekli fonu sağlamak üzere gişelerden ücret alınması uygulamasına 18. yüzyılda başlanmış ve bu konuda pek çok gelişme kaydedilmiştir. Yapılan çalışmalar, sahalarda oluşan kuyruklanmayı ve gecikmeyi azaltmak amacıyla, gişe sahalarının işletimi ve geometrik tasarımı ile ilgilidir. Bu çalışmalar maddi ve psikolojik kayıpları en aza indirmeyi hedeflemektedir. Örneğin günümüz teknolojisi ile artık sürücüler, taşıtlarında bulunan bir donanım sayesinde, geçiş sırasında taşıtı durdurmadan elektronik olarak ücret ödeyebilmektedir. Bu tür gelişmiş teknoloji kullanımının gişe sahalarındaki bekleme gecikmelerini önemli ölçüde azalttığı kanıtlanmıştır.

Bu çalışmada, gişe sahalarındaki trafik ve kuyruklanma özellikleri çeşitli parametreler (örneğin hizmet süresi, kuyruklanma bölgesinin boyutları, vd.) dikkate alınarak incelenmiştir. Yapılmış bir çok çalışmadan yararlanarak gişe sahası tasarımı ölçütleri belirlenmiştir. Bunun ardından İstanbul Boğaziçi Köprüsü'ndeki trafik ve kuyruklanma özellikleri ve bunların gişe sahası performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Günde yaklaşık ortalama 94.000 taşıta hizmet vermekte olan Boğaziçi Köprüsünün gişe sahasında oluşan bekleme, kuyruk, sıkışıklık gibi sorunlar, sahanın verimli kullanılıp kullanılmadığı sorunu gündeme getirmektedir. Bu çalışma, konuyla ilgili önceden yapılmış uygulamaları gözönünde tutarak Boğaziçi Köprüsü gişe sahasının verimlilik açısından incelenmesi amacıyla hazırlanmıştır. Gişe sahasının geometrik ve işletme özelliklerinden faydalanarak bir durum tesbiti yapılmış ve bazı iyileştirme önerilerinde bulunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Boğaziçi Köprüsü, karayolu trafik akımı, kuyruklanma, ücret toplama, gişe sahaları.

## ABSTRACT

Toll plazas were first utilized in 18<sup>th</sup> century to establish necessary funding for constructing and maintaining the roads. Studies that have been conducted in this area are dealt with reducing the lengths of queues and consequent delays in the plaza region through better management and geometric design. These studies have the aim of minimizing physical and psychological losses. For example, with the help of advanced technologies, drivers can pay the toll with the help of an electronic device. This improvement is proved to have positive effects on the total delay.

In this thesis, the characteristics of traffic flow and queues in the plaza area were examined under the effects of different parameters (such as service times, the size of the queueing area etc.). In particular, the characteristics of traffic and queueing at the toll plaza of İstanbul Bosphorus Bridge and their effects on the overall performance of the toll plaza were analyzed.

The issues like waiting time, queueing and congestion at the toll plaza of İstanbul Bosphorus Bridge, which serves nearly 94.000 vehicles (customers) per day, should be questioned in connection with operational efficiency. This research is aimed to analyze the efficiency of the Bridge's toll plaza under the light of previous applications. Analyzing the effectiveness of geometric and management features of toll plaza and examining the cause of problems like delay, queueing and congestion are within the scope of this research. With the help of geometric and operational features of the concerned toll plaza, we analyzed the current state and make some suggestions for amelioration.

**Keywords:** Bosphorus Bridge, highway traffic flow, queueing, toll collection, toll plaza.

## 1. GİRİŞ

Trafik sıkışıklığı nedeniyle yaşanan problemler pek çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de günlük hayatı etkileyen unsurlar arasındadır. Yapılan çalışmalar, insanlara daha güvenli bir seyir imkanı sağlarken, yaşanan maddi kayıpları ve psikolojik etkileri en aza indirmek doğrultusundadır.

Bu çalışmada, İstanbul Boğaziçi Köprüsü gişe sahasında yaşanan kuyruklanma ve gecikme gibi performansı etkileyen sorunların nedenleri araştırılmış ve bazı önerilerde bulunulmuştur.

Tezin ikinci bölümünde günlük hayatımızın hemen her alanında etkisi görülen trafik koşulları tanımlanmakta, Trafik Akım Kuramı ve bileşenleriyle ilgili bilgiler verilmektedir. Üçüncü bölümde kuyruk özellikleri irdelenmekte ve Kuyruk Kuramı konusu incelenmektedir. Dördüncü bölümde, trafik akımlarını daha detaylı biçimde incelemeyi sağlayan Yığılımlı Taşıtların Sayısı Eğrilerinin oluşturulmasına değinilmektedir. Ardından, beşinci bölümde, uygulamalar ve tecrübeler sonucunda ortaya çıkmış olan Gişe Sahası Tasarımı ile ilgili olarak geliştirilmiş standartlar irdelenmektedir. Daha sonra, İstanbul Boğaziçi Köprüsü gişe sahası, işletme, geometri ve trafik özellikleri açısından incelenmektedir. Çalışmada öncelikle gişe sahasına yaklaşan trafik özellikleri ve trafiği etkileyen geometrik unsurlar, işletme unsurları ve bunların gişe sahası performansı üzerindeki olumlu veya olumsuz etkileri incelenmektedir.

Sonuç bölümünde ise elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Buna göre; geometrik açıdan sahaya giriş ve çıkış bölgeleri ile kuyruklanma bölgelerinin tekrar gözden geçirilmesi önerilmektedir. Taşıtların gişelere yönlendirilmesi, gişe sahasında yer kullanımı ve taşıtların çatışmalarının önlenmesi açısından yararlı olacaktır. Ayrıca, OGS gişelerinin sayısı ve konumları da gişe sahasının performansı açısından önem taşımaktadır. İşletimle ilgili gişe görevlilerinin çalışma saatlerinin düzenlenmesi ve göreve boş kasa ile başlamaları nedeniyle meydana gelen uzun hizmet sürelerinin sonucunda oluşan aksaklıkların giderilmesi önerilmektedir. Ayrıca ek şerit uygulamasının daha hassas yöntemlerle yapılmasının ve zirve trafiğine geçişte ve zirve trafiği süresince mümkün olduğunca kapalı gişe bulundurulmamasının performans üzerinde olumlu etkileri olacaktır.

## 2. TRAFİK AKIMININ ÖZELLİKLERİ

Trafik, yolları ulaşım amacıyla tek başlarına veya birlikte kullanan motorlu ve motorsuz taşıtlar ile yayaların yol üzerindeki tüm hareketleridir. Trafik konusunda yapılan çalışmaların amacı, insanların ve eşyaların, en kısa zamanda en büyük güven ve konforla yer değiştirmesini sağlamaktır. (Kutlu, 1967)

Trafik akım kuramı, matematik ve fizik bilimleri yardımıyla trafik davranışının incelenmesi ve tanımlanmasıdır. Bu kuramın en önemli özelliklerinden biri, sisteme giren taşıtların korunumudur. Bu kuram sayesinde taşıtların davranışının trafik akımına olan etkileri incelenmektedir.

Trafik akım kuramının en önemli özelliği, trafiğin makroskopik değişkenleri olan akım (oranı), yoğunluk ve hız arasında ilişki kurmuş olmasıdır. Bu ilişkinin anlaşılması trafik mühendislerince hizmet düzeyi kavramının tanımlanmasını da sağlamıştır. (Cliffs, 1976)

### 2.1 Trafik Akımı ile İlgili Temel Tanımlar

Akım Değişkenleri:

Kullanılan birimler uluslararası ölçü birimleri ile verilmiştir.

Akım oranı,  $q$ : Taşıtların yol üzerindeki bir noktadan geçme oranıdır. Akım oranı taşıt/saat birimi ile ifade edilir, ancak daha kısa gözlem süreleri için de kullanılır.

Örneğin: 15 dakika içinde 900 taşıttın gözlemlendiği bir yolda akım oranı;

$$q = \frac{900 \text{ taşıt}}{15/60 \text{ saat}} = 3600 \text{ taşıt/sa} \text{ şeklinde gösterilir.} \quad (2.1)$$

Hacim,  $Q$ : Belirli bir  $T$  süresi içinde gözlenen taşıt sayısıdır. Hacim, taşıt birimi ile gösterilir. Ör.: Yukarıdaki örnek için hacim,  $Q = 900 \text{ taşıt} / 15 \text{ dakika}$  şeklinde gösterilir.

Zaman cinsinden izleme aralığı,  $h_t$ : Yol üzerinde bir noktadan geçen taşıtlar arasındaki zamandır. Saniye birimi ile gösterilir.

Zaman cinsinden ortalama izleme aralığı,  $\bar{h}_t$ : Zaman cinsinden izleme aralıklarının ortalamasıdır. Birimi, saniye/taşıttır. Hacim veya akım oranı değeri yardımıyla bulunabilir:

$$h_t = \frac{3600}{q} \text{ saniye/taşıttır} \quad (2.2)$$

Hız Değişkenleri:

Zaman anlamlı hız,  $u_t$ : Bir yol üzerindeki taşıtların hızlarının ortalamasına bağlı olarak belirlenen hızdır. Kilometre/saat veya metre/saniye birimi ile gösterilir.

Seyir süresi: Bir taşıtın birim yolu katetmek için geçirdiği süredir.

Toplam seyir uzunluğu, TSU: Belirli bir süre zarfında tüm taşıtların seyir uzunlukları toplamıdır.

Toplam seyir süresi, TSS: Belirli bir yol kesimini kateden taşıtların toplam seyir süresidir.

Uzunluk anlamlı hız,  $u_s$ : Belirli bir yol uzunluğuna ait ortalama seyir süresine bağlı olarak belirlenen hızdır. Uzunluk anlamlı hız kilometre/saat veya metre/saniye birimi ile ifade edilir.

Yoğunluk Değişkenleri:

Yoğunluk,  $k$ : Belirli bir yol kesiminde bulunan taşıtların sayısıdır. Birimi taşıt/kilometre'dir. Ancak daha kısa yol kesimleri için de kullanılabilir.

Uzunluk cinsinden izleme aralığı,  $h_d$ : Belirli bir süre içinde birbirini izleyen taşıtların ön tamponları arasındaki mesafedir. Metre cinsinden ifade edilir.

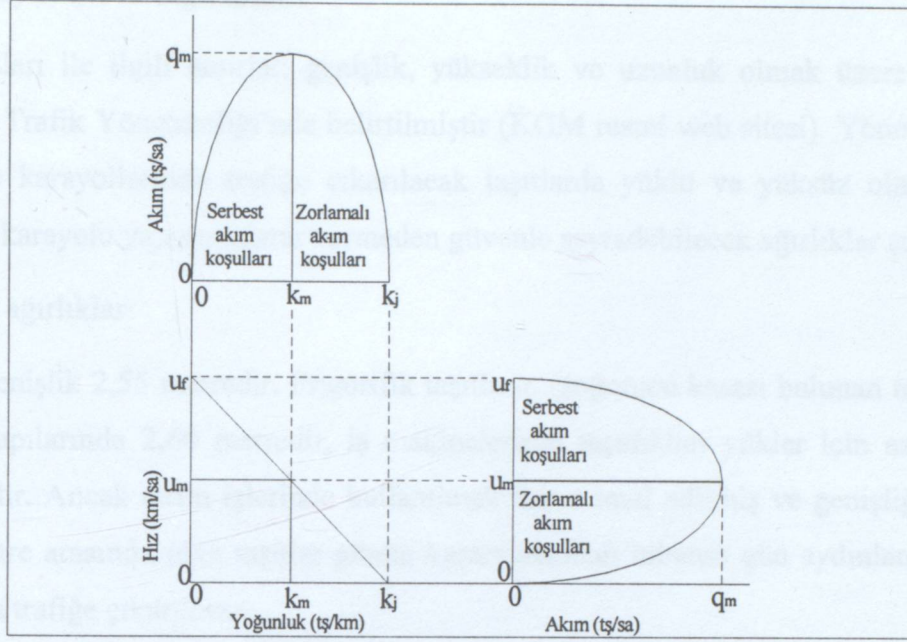
Uzunluk cinsinden ortalama izleme aralığı,  $\overline{h_d}$ : Bir yol kesimindeki uzunluk cinsinden izleme aralıklarının ortalamasıdır. Ortalama izleme aralığı metre/taşıtlar cinsinden ifade edilir. Uzunluk cinsinden ortalama taşıt izleme aralığı, yoğunluk veya zaman cinsinden ortalama izleme aralığı yardımıyla bulunabilir.

$$\overline{h_d} = \frac{1000}{k} = \overline{h_t} \cdot u \cdot \frac{1000}{3600} \text{ metre/taşıtlar} \quad (2.3)$$

(Cliffs, 1976)

### Trafik Akımının Ana Bağıntısı

Trafik akımının ana bağıntısı olan  $q = u \cdot k$  eşitliğindeki üç değişken arasındaki ilişkiler Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Trafik akımının temel eğrileri

#### Akım oranı - yoğunluk ilişkisi

Bir yoldaki trafik yoğunluğu arttıkça yoldaki trafik akım oranı artar. Bu artış yolun kapasitesine (geçebilen maksimum taşıt sayısı  $q_m$ 'ye) kadar devam eder. Bu noktadan sonra yoğunluk arttıkça trafik akım oranı azalır ve bu azalma  $k_j$  tıkanma yoğunluğuna kadar devam eder. Eğri üzerindeki herhangi bir noktayı başlangıca birleştiren doğrunun eğimi bu trafik koşullarında ( $q, k$ ) hareket eden taşıtların ortalama hızını verir.

#### Hız-yoğunluk ilişkisi

Yoldaki taşıt sayısı artış gösterdikçe taşıtların birbirine etkisi de arttığından hız düşmeye başlar. Başlangıçta yolda çok az taşıt bulunduğu için, yani taşıtların birbirine etkisi çok az olduğundan sürücüler yüksek hız yapabilirler. Buna serbest hız ( $u_f$ ) denir. Kapasitedeki yoğunluk  $k_m$ 'de elde edilen hız  $u_m$ 'dir.

#### Akım oranı - hız ilişkisi

Yoldaki akım oranı arttıkça hız azalacaktır. Hızdaki bu azalma kapasite değerine ( $q_m$ ) kadar devam eder. Kapasite değerinin bir miktar altında ve üstünde trafik akımı kararsızdır. Trafik kapasitenin üzerine çıktığında zorlamalı akım oluşmaya başlar. Bu durumda dur kalklar çokçadır ve kuyruklar oluşur. (Cliffs, 1976; Yardım, 2002)

## 2.2 Taşıt Boyutları ve Ağırlıkları

Taşıt boyutları ile ilgili sınırlar; genişlik, yükseklik ve uzunluk olmak üzere yürürlükteki Karayolları Trafik Yönetmeliği'nde belirtilmiştir (KGM resmi web sitesi). Yönetmeliğin 128. maddesinde karayollarında trafiğe çıkarılacak taşıtlarda yüklü ve yüksüz olarak uyulacak boyutlar ve karayolu yapısına zarar vermeden güvenle seyredebilecek ağırlıklar şunlardır:

Boyutlar ve ağırlıklar:

- Azamî genişlik 2,55 metredir. Frigorifik taşıtların (soğutucu kasası bulunan taşıtlar) yalnız frigorifik yapılarında 2,60 metredir, iş makinelerinin taşıdıkları yükler için azamî genişlik 3,05 metredir. Ancak tarım işlerinde kullanılmak üzere imal edilmiş ve genişliği 2,55 metre ile 3,05 metre arasında olan taşıtlar günün kararmasından itibaren gün aydınlanıncaya kadar karayolunda trafiğe çıkarılmaz
- Azamî yükseklik 4,00 metredir.
- Azamî uzunluklar

Çizelge 2.1 Karayolu trafiğine çıkarılan taşıt uzunlukları (KGM resmi web sitesi)

Taşıt cinsi	Uzunluk (m)
İki ve daha çok dingilli motorlu taşıtlar	12,00
Üç dingilli tek katlı otobüsler	12,60
Üç ve dört dingilli tek veya çift katlı otobüsler (Tip Onayı Yönetmeliği'ndeki şartlarla)	15,00
Yarı römorklu taşıtlar	16,00
Yarı römorklu taşıtlar (Tip Onayı Yönetmeliği'ndeki şartlarla)	16,50
Mafsallı (Körüklü) otobüsler	18,00
Bir römorklu katarlar	18,75
İki römorklu katarlar	22,00

- Azamî ağırlıklar: Bu ağırlıklar üstyapının projelendirilmesinde kullanılır. Sınır değerler aşıldığında Karayolları Genel Müdürlüğü'nden Özel Yük Taşıma İzin Belgesi alınması mecburidir.

Çizelge 2.2 Karayolu trafiğine çıkarılan taşıt ağırlıkları (KGM resmi web sitesi)

Dingil ve dingil grubu ağırlıkları	Ağırlık (ton)
<b>Dingil ağırlığı en çok</b>	
Tahriksiz tek dingilde	10,00
Tahrikli tek dingilde	11,50
<b>İki dingilli bir aks grubu için en çok</b>	
<i>Motorlu taşıtlarda aks grubu</i>	
Dingiller arası mesafe (d) 1 m'den az ise	11,50
Dingiller arası mesafe (d) 1 m ile 1,3 m arası ise	16,00
Dingiller arası mesafe (d) 1,3 m ile 1,8 m arası ise (Tip Onayı Yönetmeliği'ndeki şartlarla)	18,00 (19,00*)
<i>Römork ve yarı römorklarda aks grubu</i>	
Dingiller arası mesafe (d) 1 m'den az ise	11,00
Dingiller arası mesafe (d) 1 m ile 1,3 m arası ise	16,00
Dingiller arası mesafe (d) 1,3 m ile 1,8 m arası ise	18,00
Dingiller arası mesafe (d) 1,8 m'den büyük ise	20,00
<b>Üç dingilli bir aks grubu için en çok</b>	
Dingiller arası mesafe 1,3 m veya daha az ise	21,00
Dingiller arası mesafe 1,3 m ile 1,4 m arası ise	24,00

(\*) Tahrikli dingil çift lastik ile donatılmış ve havalı süspansiyon sistemine sahip ise veya her bir tahrikli dingil çift lastikli ve her bir dingilin azami yükü 9,5 tonu aşmaz ise.

Çizelge 2.3 Karayolu trafiğine çıkarılan taşıtların toplam ağırlıkları (KGM resmi web sitesi)

Toplam ağırlıklar	Ağırlık (ton)
İki dingilli motorlu taşıtlar ve römorklar	18,00
Üç dingilli motorlu taşıtlar (*Tip Onayı Yönetmeliği'ndeki şartlarla)	25,00 (26,00*)
Üç dingilli yarı römorklu taşıtlarla mafsallı otobüsler	28,00
Dört dingilli motorlu taşıtlar	32,00
Dört dingilli römorklu ve yarı römorklu taşıtlar	36,00
Dört dingilli yarı römorklu taşıtlarda yarı römork dingil grubu ağırlığı 20 ton olan taşıtlar	38,00
Beş veya daha çok dingilli yarı römorklu veya römorklu katarlar	40,00
Konteyner taşıyan yarı römorklu taşıtlar	44,00

Karayollarında yapılacak sabit veya seyyar ağırlık kontrolü esnasında, taşıtın azamî toplam ağırlığının en çok % 2'si kadar tartı toleransı tanınır. Ancak, ocaklardan çıkarılan ve ocak sahasının içinde tartılamayan madenlerin, paketlenmemiş veya herhangi bir şekilde seçilecek stok sahalarına depolanması, ziraî ürünlerin üretildiği arazi parçasından stoklama alanlarına yapılacak seri taşıma amaçlı depolamalar sırasında, her türlü karayolu üzerinde 1 kilometreye kadar yakın mesafeli taşımalarda, taşıtların hızı 60 km/sa'i geçmemek kaydı ile istiap hadlerini % 15 oranında aşabilmeleri mümkündür.

Taşıtların imal tarihine bakılmaksızın yukarıda belirtilen boyutlar ve ağırlıklar uygulanır. (KGM resmi web sitesi)

### 2.3 Trafiğin Zamana Bağlı Olarak Değişmesi

Trafik jeofizik, sosyal ve dinamik faktörlerin etkisi ile bir takım periyodik değişmeler gösterir. Trafiğin periyodik değişmeleri, zaman periyodlarına göre isimler alır. Bunlar saatlik, günlük ve mevsimsel/aylık değişmelerdir.

(\*) Tahrikli dingil çift lastik ile donatılmış ve havalı süspansiyon sistemine sahip ise veya her bir tahrikli dingil çift lastikli ve her bir dingilin azami yükü 9,5 tonu aşmaz ise.

### Saatlik Değişme

Saatlik değişme, trafiğin gün içinde saatlere göre değişimlerini ifade eder. Sabah erken saatlerde başlayan trafik saat 7:30-9:30 saatleri arasında en büyük değere ulaştıktan sonra azalır ve akşam 18:00-20:00 saatlerinde tekrar en büyük değere ulaşır. Sabah ve akşam en büyük değere ulaşan trafiğe **zirve saat trafiği** veya **pik saat trafiği** adı verilir. Gece saatlerinde ise trafik oldukça azdır.

### Günlük Değişme

Trafik hafta içindeki günlere göre değişim göstermektedir. İnsanların çalışma ve okul şartlarına bağlı olarak hafta içi yoğun, haftasonu ise nispeten daha akıcı bir trafik söz konusudur. Haftanın başlangıç ve son günleri olan Pazartesi ve Cuma günleri, diğer günlere göre trafik açısından oldukça yoğundur.

### Mevsimsel ve Aylık Değişme

Trafiğin yıl içindeki mevsimlere ve aylara göre değişmesidir. Yaz aylarında şehiriçi trafik azalır. Şehir dışında ise tatil ve gezi amaçlı yolculuklar sebebiyle trafikte artış gözlenir. (Kutlu, 1967; Yayla, 1981)

## 2.4 Boğaziçi Köprüsünü Kullanan Taşıt Tipleri

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün web sitesinden alınan bilgilere göre Boğaziçi Köprüsü'nü kullanan taşıt tipleri Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4 Boğaziçi Köprüsünü kullanan taşıt sınıfları (KGM resmi web sitesi)

TAŞIT SINIFI	TAŞIT TİPİ
1	Aks aralığı 3,20 m'den küçük iki akslı taşıtlar (Otomobil, Motosiklet, aks aralığı 3,20 m'den küçük kamyon, kamyonet ve minibüsler dahil)
3	Aks aralığı 3,20 m'den büyük her türlü iki akslı taşıtlar dahil (Kamyonet, pikap, jeep, ambulans ve cenaze arabası, küçük otobüs, büyük otobüs, kamyon) 1 ilave akslı 1. ve 2. sınıflar (Otobüs, kamyon ve treyler)
2, 4	4 ve 5 akslı her türlü taşıt (Otobüs, kamyon ve treyler) (iki ilave akslı 1. sınıflar, bir ilave akslı 2. sınıflar)
5	6 ve yukarı akslar (Römorklu kamyon ve treyler)

### 3. KUYRUK KAVRAMI

Gecikmeler ve kuyruklanma günlük hayatımızda markette, bankada, bilet satış gişelerinde veya trafikte karşılaştığımız bir sorundur. Kuyruklanma olayının özellikleri rastgele olduğundan, tam olarak tahmini oldukça zordur.

Kuyruktaki bekleme süreleri doğrusal değildir. İş yükü veya kuyrukta bulunanların sayısı iki katına çıktığında bekleme süresi 4 katına kadar çıkabilir. Bir hizmet sunucunun yükü %90 seviyelerinden daha büyük olduğunda, bekleme süresi 10 kat daha fazla olabilmektedir.

İş yükünden sonra ikinci bir etki ise değişkenlik etkisidir. Örneğin her gişeye her 5 dakikalık periyotta gelen 4 araç, eğer geliş süreleri 1 dakikalık aralarla ise ve hizmet görme süreleri de gişede 1 dakika ise, sürücüler beklemek zorunda kalmayacaklardır. Ancak eğer rastgele gelirlerse bekleme süreleri 2 dakikaya kadar çıkabilecektir (geliş aralıkları ve hizmet süreleri 1 dakikadan daha fazla olsa da). Eğer hizmet süreleri değişirse, bu ortalama süre de değişebilir. Geliş aralığındaki veya hizmet süresindeki büyük değişimler çok daha büyük bekleme sürelerine yol açabilir. Bekleme süresini azaltabilmek için hizmet süresindeki farklılıkları da en aza indirmek gereklidir (Van Dijk vd., 1999).

#### 3.1 Kuyruk Teorisi

İnsanlar ve işletmeciler açısından bekleme sorununun önemi nedeniyle sıra bekleme sistemleri için bir çok araştırma yapılmış ve çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modeller:

Kuyruk teorisi genel adı ile bilinen ve standart istatistiksel dağılımlara dayalı olarak geliştirilmiş olan matematiksel model,

Sıra bekleme sistemlerini benzetim (simülasyon) tekniği aracılığıyla inceleyen benzetim yöntemidir.

Kuyruk teorisi modelleri belirsizlik koşulları altında “stokastik faaliyet” gösteren sıra bekleme sistemlerini incelemek için geliştirilmiştir. Böylece kuyruk teorisi, tesadüfi olarak ortaya çıkan talebe hizmet edilmesi için çalışacak sistemin davranışını inceler.

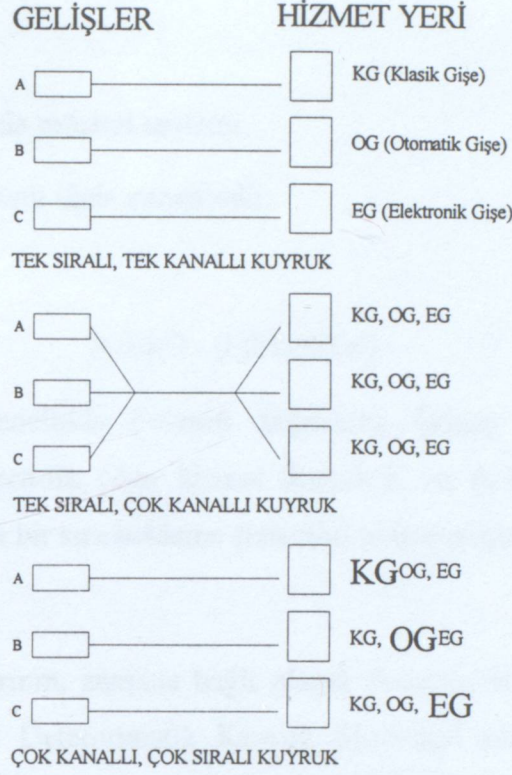
Bu teorinin 4 bileşeni vardır:

1. *Girdi Süreci*: Hizmet talebinde bulunan müşterilerin hizmet yerine geliş akışını belirtir. Gelişlerin zaman aralıklarının dağılımı ya istatistiksel bir dağılıma uyar ya da sistemin kendisine özgü ampirik bir dağılımdır. Sisteme gelen müşteri sayısı sisteme göre değişir. Gelişler ya tek tek olur ya da grup halinde olur. Belli bir zaman diliminde gelen müşteri sayısına geliş oranı (arrival rate) ( $\lambda$ ) denir (Şekil 3.1).

2. *Hizmet Mekanizması*: Sisteme giren müşterilerin istedikleri faaliyetleri belirtir. Müşterilere hizmet sunulan nokta veya yerlere hizmet kanalı denir. Bir kanalın bulunduğu sistemlere tek kanallı, birden fazla kanalın bulunduğu sistemlere de çok kanallı sistemler adı verilir. Çok kanallı sistemlerde kanal düzeni aynı hizmeti sunan paralel kanallar veya birbirini tamamlayan ve farklı hizmet sunan seri kanallar biçiminde olur (Şekil 3.1). belirli bir zaman diliminde hizmet verilen müşteri sayısına hizmet oranı (service rate) ( $\mu$ ) denir. Hizmetin zaman aralıklarının dağılımı da ya istatistiksel bir dağılıma uyar ya da sisteme özgü ampirik bir ifade ile belirtilir.
3. *Kuyruk*: Eğer hizmet verilen yerin kapasitesi talepten küçük ise müşterilerin beklediği bir sıra oluşur. Oluşan bu sıra veya kuyruklar sistemin kanal düzenine göre değişim gösterir. Hizmet kanalı tek ise tek sıralı- tek kanallı sistem oluşur. Eğer birden fazla kanal varsa ve kanallar seri kanal düzenindeyse yine tek kanallı-tek sıralı sistem oluşur. Ancak paralel kanallarda eğer müşteri her kanal önünde kuyruk oluşturuyorsa yine çok sıralı-çok kanallı sıra oluşur. Paralel kanallara müşteri tek sıradan alınıyorsa buna da tek sıralı-çok kanallı sistem denir (Şekil 3.1). “Geliş oranının” “hizmet oranına” olan oranına “trafik yoğunluk oranı ( $\rho$ )” denir.

$$\text{Trafik yoğunluk oranı } (\rho) = \frac{\text{Ortalama geliş oranı } (\lambda)}{\text{Ortalama hizmet oranı } (\mu)} \quad (3.1)$$

Kanal önlerinde meydana gelen sıranın büyüklüğü trafik yoğunluğu oranına bağlıdır. Eğer bu oran 1'den büyükse sıranın sonsuza kadar uzayacağı kabul edilir. Gerçekte ise kuyruğun uzadığını gören müşteri başka yere gitmek veya başka zaman gelmek için sıradan çıkar. Buna geri dönme denir (reneging). Eğer hizmet noktası belli bir sayıdan fazla müşteriyi alamayacağını bildirip, müşteriyi sıradan çıkarırsa buna da sıranın kesilmesi denir (truncation).



Şekil 3.1 Kuyruk tipleri

- 4 *Hizmet Disiplini*: Müşterilerin hizmet birimine hangi kurallara göre alınacağını belirtir. Bunlar; ilk giren ilk çıkar-FIFO (ilk gelen müşteriye ilk hizmet verilir), ilk giren son çıkar (LIFO), rastgele servis-SIRO (hangi müşteri rastgelirse ona hizmet verilir) ve öncelikli hizmet disiplini. Öncelikli sistemde eğer hizmet gören müşteri sıradan çıkarılıp yerine öncelikli müşteri alınırsa, buna tam öncelikli disiplin adı verilir. Eğer müşterinin işinin bitmesi beklenirse buna da tam öncelikli olmayan servis adı verilir.

Yukarıda dört temel madde içinde belirtilen sıra bekleme sistemlerinin özellikleri çok farklı biçimler almaktadır. Bu özelliklere dayalı olarak bu sistemleri sınıflandırmak oldukça güçtür. Çünkü çoğu sistem, bu özelliklerin çoğuna aynı anda sahip olmaktadır. Sıra bekleme sistemlerini birbirinden ayırdetmek için, önce Kendall tarafından geliştirilen daha sonra da Lee ve Taha tarafından genişletilen aşağıdaki simgeleme biçimi sık kullanılmaktadır (Sarıoğlu, 1998).

A/B/N : (d/e/f)

Burada;

A: Gelişler ya da gelişler arası zaman dağılımını,

B: Hizmet süresi dağılımını,

N: Sistemdeki hizmet kanallarının sayısını,

d: Hizmet disiplinini,

e: Sisteme alınabilecek en fazla müşteri sayısını,

f: Geliş kaynağının büyüklüğünü ifade etmektedir.

Örneğin;

M/Ek/3 : (FIFO/40/∞)

simgeleri; rassal gelişli (genellikle Poisson dağılımlı), Erlang (gamma) hizmet süresi dağılımlı, üç kanallı, ilk giren-ilk çıkar hizmet disiplinli, en fazla 40 müşterinin sisteme alınabileceği, sonsuz kaynaklı bir sıra bekleme sistemini temsil etmektedir (Sarıaslan, 1998).

### 3.2 Kuyruk Modelleri

Geliş ve hizmet fonksiyonlarının, zamana bağlı olarak önceden bilinen bir şekilde değişim gösterdiği kuyruk modelleri Deterministik Kuyruk Modelleri olarak adlandırılır. Hizmet kanallarının kapasitesinin aşıldığı pek çok zirve saat trafiği için uygulanabilmektedir. Ancak kuyruk teorisi, belirli bir dağılımla ifade edilen, kısa süreli dalgalanmalara sahip geliş ve hizmet süreleri ile daha çok ilgilenmektedir. Bu tip modellere Stokastik Kuyruk Modelleri denilir (Banks, 1998).

Aşağıda en çok rastlanan dört farklı kuyruk modeli ve bu modellerle ilgili örnekler verilmiştir:

- **D/D/1 kuyruk modeli**, en kolay kuyruk modelidir ve aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir:

Gelişler deterministiktir.

Hizmet süreleri deterministiktir.

Tek hizmet kanalı bulunmaktadır.

İlk giren-ilk çıkar (FIFO) hizmet disiplini ile çalışmaktadır.

Sonsuz kuyruk uzunluğuna sahiptir.

Örnek 1: Bir tiyatro gişesine saatte 10 müşteri gelmektedir. Gişede saatte 12 müşteriye hizmet verilmektedir. Bu sistemin nasıl çalıştığını açıklayınız.

Çözüm: Ortalama geliş oranı,  $\lambda = 10$  müşteri/saat,

Ortalama hizmet oranı,  $\mu = 12$  müşteri/saat,

$\lambda < \mu$  olduğundan kuyruk oluşmaz.

Örnek 2: Bir tiyatro gişesine saat 17:30'da 240 müşteri/saat'lik bir geliş oranı ile müşteri gelmektedir. 10 dakika sonra geliş oranı 60 müşteri/saat'e düşmektedir ve bu durum 20 dakika sürmektedir. Her müşteri için gerekli hizmet süresi 20 saniye ise, sistemin performansını tanımlayınız.

Çözüm:  $\lambda_1 = \frac{240}{60} = 4$  müşteri/dakika,  $t \leq 10$  dakika;

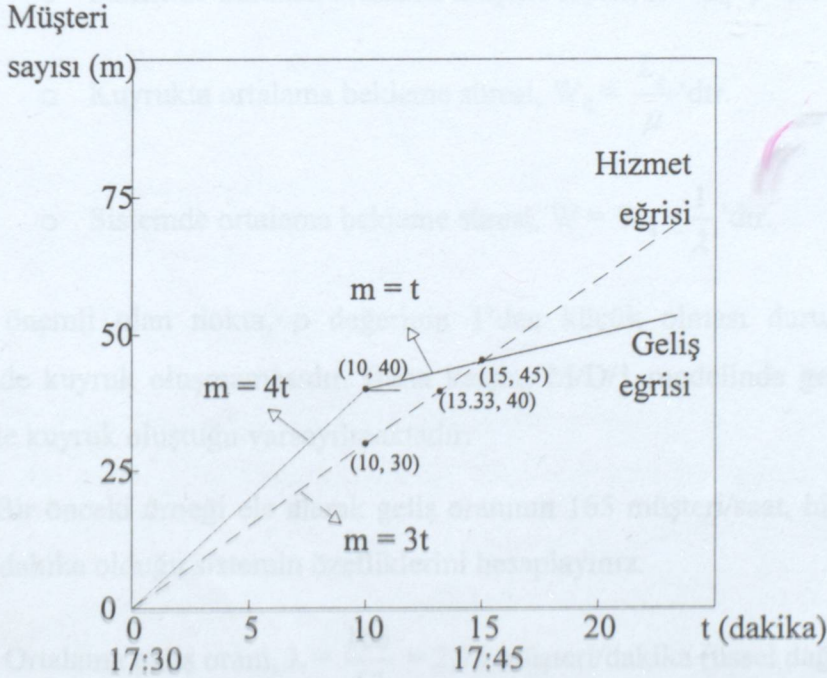
$\lambda_2 = \frac{60}{60} = 1$  müşteri/dakika,  $t > 10$  dakika;

$\mu = \frac{60}{20} = 3$  müşteri/dakika, tüm  $t$  zamanları için.

$t \leq 10$  dakika iken  $t$  anında sisteme gelen müşteri sayısı,  $4t$ 'dir.

$t > 10$  dakika iken sisteme  $t$  anında gelen müşteri sayısı,  $40 + 1(t-10)$ 'dur.

Tüm  $t$  zamanları için sistemden hizmet alan müşteri sayısı ise  $3t$ 'dir. Bu ifadeler grafiğe aktarılırsa;



Şekil 3.2 D/D/1 kuyruk modeli (Khisty ve Mohammadi, 2001)

Şekil 3.2'ye göre, geliş eğrisinin hizmet eğrisi üzerine çıktığı bölgede kuyruk oluşmaktadır. Kuyruk, ancak, geliş ve hizmet eğrilerinin kesiştiği noktadan itibaren yok olur. İki eğrinin kesişim noktasını belirlemek için;

$40+1(t-10) = 3t$  eşitliği sonucunda,  $t = 15$  dakika bulunur. Yani 17:30'da oluşan kuyruk 17:45'te yok olmaktadır. En uzun kuyruk,  $t = 10$  dakikada 10 müşteri ile oluşmaktadır. En büyük gecikme ise  $13,33-10 = 3,33$  dakikadır. Toplam gecikme, eğriler arasındaki alana eşittir. Eğriler arasındaki alanın değerini, üçgenlere ayırarak hesaplırsak;

$$\text{Toplam gecikme} = \frac{1}{2}(10 \times 10) + \frac{1}{2}(10 \times 5) = 75 \text{ müşteri-dakika'dır.}$$

Gecikmeye maruz kalan müşteri sayısı 45, ortalama gecikme =  $75/45 = 1,667$  dakika'dır.

- **M/D/1 kuyruk modelinde**, geliş oranları üssel dağılıma uyarken, hizmet oranları deterministiktir. Hizmet kanalı bir adettir. Trafik hizmet yoğunluğunun 1'den küçük olması durumunda;

- Sistemde müşteri bulunmama olasılığı,  $P_0 = 1-\rho$ 'dur. (3.2)

- Kuyrukta bulunan ortalama müşteri sayısı (kuyruk uzunluğu),

$$L_q = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} \text{ 'dur.} \quad (3.3)$$

- Sistemde bulunan ortalama müşteri sayısı,  $L = L_q + \rho$ 'dur. (3.4)

- Kuyrukta ortalama bekleme süresi,  $W_q = \frac{L_q}{\mu}$  'dır. (3.5)

- Sistemde ortalama bekleme süresi,  $W = W_q + \frac{1}{\lambda}$  'dır. (3.6)

Burada önemli olan nokta,  $\rho$  değerinin 1'den küçük olması durumunda D/D/1 kuyruk modelinde kuyruk oluşmamasıdır. Buna karşın, M/D/1 modelinde gelişlerin rasgele olması nedeniyle kuyruk oluştuğu varsayılmaktadır.

Örnek: Bir önceki örneği ele alarak geliş oranının 165 müşteri/saat, hizmet oranının ise 3,25 müşteri/dakika olduğu sistemin özelliklerini hesaplayınız.

Çözüm: Ortalama geliş oranı,  $\lambda = \frac{165}{60} = 2,75$  müşteri/dakika (üssel dağılımlı),

Sabit hizmet oranı,  $\mu = 3,25$  müşteri/dakika,

Trafik yoğunluk oranı,  $\rho = 0,846$ .

Sistemde müşteri bulunmama olasılığı,  $P_0 = 1-\rho = 0,154$ .

Kuyrukta bulunan ortalama müşteri sayısı (kuyruk uzunluğu),  $L_q = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} = \frac{0.846^2}{2(1-0.846)} = 2,327$  müşteri,

Sistemde bulunan ortalama müşteri sayısı,  $L = L_q + \rho = 3,173$  müşteri,

Kuyrukta ortalama bekleme süresi,  $W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{2.327}{2.75} = 0,846$  dakika,

Sistemde ortalama bekleme süresi,  $W = W_q + \frac{1}{\lambda} = 0,846 + 0,308 = 1,154$  dakika'dır.

- **M/M/1 kuyruk tipinde**, geliş ve hizmet oranları rasgele dağılmıştır. Gelişler arasındaki zaman ve hizmet süreleri üssel dağılıma uymaktadır. Hizmet kanalı 1 adettir. M/M/1 modeline ait özellikler aşağıdaki gibidir:

○ Sistemde bulunan ortalama müşteri sayısı,  $L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$ , (3.7)

○ Kuyrukta bulunan müşteri sayısı,  $L_q = \frac{\lambda^2}{\mu - \lambda} = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$ , (3.8)

○ Sistemde harcanan ortalama süre,  $W = \frac{1}{\mu - \lambda}$ , (3.9)

○ Ortalama bekleme süresi,  $W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$ , (3.10)

○ Hizmet kanallarının boş kalma olasılığı,  $I = P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu} = 1 - \rho$ 'dur. (3.11)

Örnek: Bir tiyatro gişesine hizmet almak üzere dakikada 3 müşteri gelmektedir. Gişenin hizmet oranı ise 4 kişi/dakika'dır. M/M/1 modeline göre bu kuyruk sisteminin özelliklerini bulunuz.

Çözüm:  $\lambda = 3$  müşteri/dakika,  $\mu = 4$  müşteri/dakika,  $\rho = 0,75$ .

Sistemde bulunan ortalama müşteri sayısı,  $L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{3}{4 - 3} = 0,75$  müşteri,

Kuyrukta bulunan müşteri sayısı,  $L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{0.75^2}{1 - 0.75} = 2,25$  müşteri,

Sistemde harcanan ortalama süre,  $W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{1} = 1$  dakika,

$$\text{Ortalama bekleme süresi, } W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{3}{4(4-3)} = 0,75 \text{ dakika,}$$

Hizmet kanallarının boş kalma olasılığı,  $I = P_0 = 1 - \rho = 1 - 0,75 = 0,25$ .

- **M/M/N modelinde**, M/M/1 modeli, 1 hizmet kanalı yerine 1'den fazla hizmet kanalı kullanarak genişletilirse, bir çok kuyruk modeli için geçerli olacak daha genel formülasyonlar elde edilir.

- Sistemde müşteri bulunmaması olasılığı,  $P_0 = \frac{1}{\sum_{n_c} \frac{\rho^{n_c}}{n!} + \frac{\rho^N}{N!(1-\rho/N)}}$ , (3.12)

(Burada  $n_c$ , çıkış kanalı sayısıdır.)

- Sistemde  $n$  müşteri bulunması olasılığı,  $P_n = \frac{\rho^n P_0}{n!}$ ,  $n \leq N$  durumunda, (3.13)

$$P_n = \frac{\rho^n P_0}{N^{n-N} N!}, n > N \text{ durumunda,} \quad (3.14)$$

- Ortalama kuyruk uzunluğu (kuyruktaki müşteri sayısı),

$$L = \frac{P_0 \rho^{N+1}}{N! N} \left[ \frac{1}{(1 - \rho/N)^2} \right] \quad (3.15)$$

- Sistemde harcanan süre,  $W = \frac{\rho + L}{\lambda}$  (3.16)

- Kuyrukta harcanan süre,  $W_q = \frac{\rho + L}{\lambda} + \frac{1}{\mu}$ , (3.17)

- Kuyrukta bekleme olasılığı (sistemde bulunan müşteri sayısının hizmet kanalı sayısından fazla olma olasılığı),  $P_{n>N} = \frac{P_0 \rho^{N+1}}{N! N (1 - \rho/N)}$ . (3.18)

Örnek: 4 gişenin bulunduğu bir gişe sahasına taşıtlar, 1800 tş/sa.'lik bir geliş oranı ile gelmektedir. Ücret ödeme süresi 6.67 saniyedir. Hem gelişler hem de hizmet süreleri üssel dağılıma uyduğuna göre ortalama kuyruk uzunluğunu, sistemde harcanan süreyi ve kuyrukta bekleme olasılığını bulunuz.

Çözüm:  $\lambda = \frac{1800}{60} = 30$  taşıt/dakika,  $\mu = \frac{60}{6.67} = 9$  müşteri/dakika,  $\rho = \frac{30}{9} = 3.33$ ,

Gişe başına trafik yoğunluk oranı,  $\rho/4 = 0,83333 < 1$ . 4 gişenin de açık olması durumunda;

$$\text{Sistemde taşıt bulunmaması olasılığı, } P_0 = \frac{1}{1 + \frac{3.333}{1!} + \frac{3.333^2}{2!} + \frac{3.333^3}{3!} + \frac{3.333^4}{4!(1-3.33/4)}} =$$

0,0213,

$$\text{Ortalama kuyruk uzunluğu, } L = \frac{0,0213(3.333)^5}{4!4} \left[ \frac{1}{(1-3,333/4)^2} \right] = 3,289 \text{ taşıt,}$$

$$\text{Sistemde harcanan süre, } W = \frac{3.333 + 3289}{30} = 0,2207 \text{ dakika,}$$

$$\text{Kuyrukta bekleme olasılığı, } P_{n>N} = \frac{0,0213(3.333)^5}{4!4(1-3.333/4)} = 0,548 \text{ (Khisty ve Mohammadi, 2001).}$$

### 3.3 Gişe Sahalarında Kuyruklanma

Gişe sahasında her sürücü (taşıt), ödeme tipine ve gişedeki kuyruklanmaya bağlı olarak gişe seçer. Bu yüzden gişe sahasındaki kuyruklanma olayı, çeşitli senaryoların altında değişik kuyruklanmaları incelemek için oldukça esnek bir yöntem gerektirir.

Seçeneklerden biri şeritleri ayırmak ve her gişede tek tip ödeme sunmaktır. Bunun dezavantajı bazı gişelere talep olmazken, bazılarında uzun kuyruklar oluşabilmesi riskidir. Bu, işletme açısından oldukça verimsiz olacaktır. Analitik kuyruk sistemleri bu ayrılmış gişelerin davranışlarını iyi bir şekilde tahmin edebilmektedir.

Bir diğer seçenek tüm gişelerde her ödeme tipini sunmak ve taşıtları kuyruğa tek şeritte sokmaktır. Her gişe nakit, otomatik (tam ücretin makineye atılması) ve elektronik ödemeyi kabul edecektir. Bu seçeneğin avantajı işletme açısından esneklik sağlaması ve gişelerin verimliliğini arttırmasıdır. Dezavantajı ise hizmet süresinin oldukça geniş bir yelpaze içinde değişim göstermesidir.

Amaç; verimliliği ve iş yükü dengesini koruyarak, hizmet süresindeki değişimi minimuma indirerek tek veya karışık ödeme sistemlerinden meydana gelen bir kombinasyon oluşturmaktır. Bu sayede sürücülerin kafaları karışmayacak ve basit yönlendirmeler yeterli olacaktır.

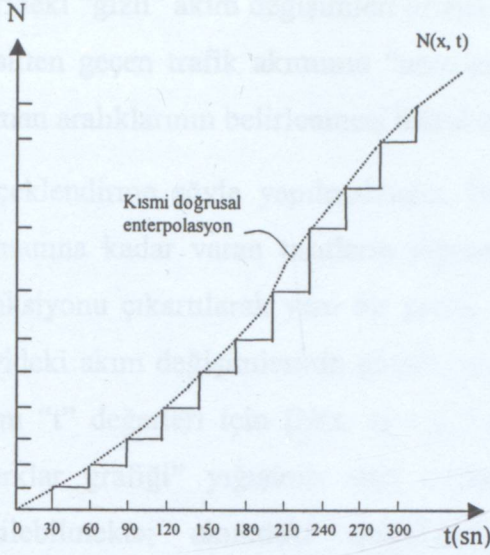
## 4 YIĞIŞIMLI TAŞIT SAYISI EĞRİLERİ

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

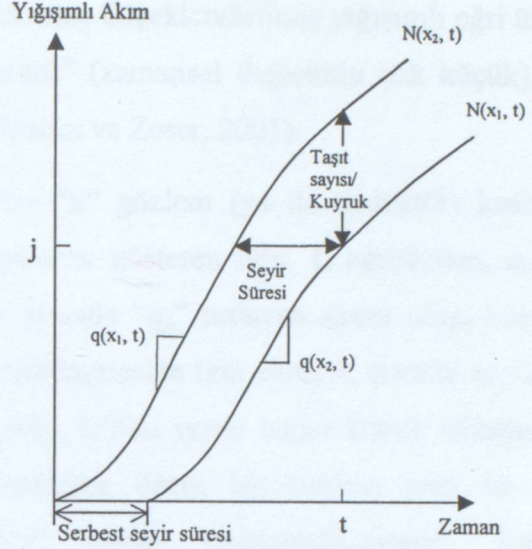
### 4.1 Yığışimli Taşıt Sayısı Eğrilerinin Elde Edilmesi

İncelenen karayolu üzerindeki belirli bir “x” gözlem kesitine, “t” gözlem süresi içinde varan taşıtların yığışimli sayısı  $N(x, t)$  olsun (Şekil 4.1). Buna göre, “x” gözlem noktasında bulunan bir gözlemci, önünden geçen taşıtlara sırasıyla numara verdiğinde (ilk taşıtin numarası  $t = 0$  için  $N(x, 0) = 0$  olmak üzere),  $N(x, t)$ , gözlemcinin önünden “t” anından önce geçen son taşıtin numarasını göstermektedir. Burada taşıtların birbirlerini sollamadıkları kabulü yapılmaktadır (Şahin ve Zorer, 2001).

Karayolunun homojen geometriye sahip bir kesiminde akım aşağı yönündeki “ $x_1$ ” ve akım yukarı yönündeki “ $x_2$ ” komşu kesitleri için  $N(x_1, t)$  ve  $N(x_2, t)$  yığışimli taşıt sayısı eğrileri Şekil 4.2’deki gibi aynı eksen takımı üzerine çizildiğinde; belirli bir “t” anında eğriler arasındaki düşey mesafe, kesitler arasındaki taşıt sayısını gösterirken; belirli bir “j” (yüksekliğindeki) taşıt sayısına karşılık gelen eğriler arasındaki yatay mesafe de, bu taşıtin kesitler arasındaki seyir süresini göstermektedir. Eğrilerin çok fazla zamansal değişim göstermediği ve yaklaşık olarak birbirlerine paralel olduğu zaman aralığında, eğriler arasındaki ortalama taşıt sayısının kesitler arasındaki mesafeye bölünmesiyle, taşıt yoğunluğu hesaplanabilmektedir. Eğriler arasındaki alan, tüm taşıtların toplam seyir süresini vermektedir (Şahin ve Zorer, 2001).



Şekil 4.1 Yığışımli sayım eğrisi ve yumuşatılmış yaklaşımları (Şahin ve Zorer, 2001)



Şekil 4.2 İki kesitteki yığışımli akım (Şahin ve Zorer, 2001)

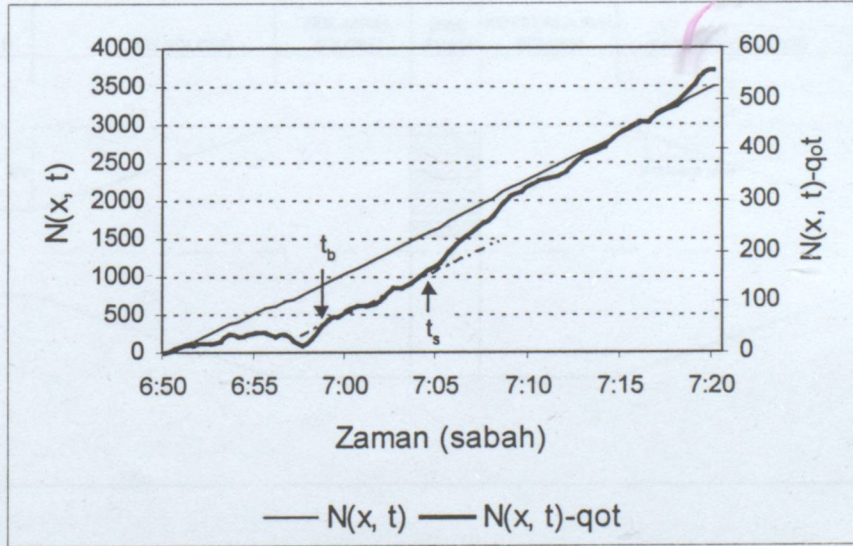
Şekil 4.1'de görülen eğri, taşıt numaraları tamsayı olduğundan aslında bir adım fonksiyonudur; diğer bir deyimle, sabit zaman aralıklarında gözlem kesitine varan taşıtların yığışımli sayıları da birer adım fonksiyonudur. Belirli bir gözlem kesitinde (örneğin,  $x_x$ ) herhangi bir andaki (örneğin,  $t$ ) akım değerini (taşıt/saat) tanımlayabilmek için, adım fonksiyonları eğri biçiminde yumuşatılarak bu eğrilerin birer türevi olan  $q(x_1, t)$  ve  $q(x_2, t)$  elde edilmelidir. Böyle bir eğri, her basamağın tepe noktasından geçen bir enterpolasyon eğrisi biçimindedir. Uygulanması daha kolay başka bir yaklaşım ise, kısmi doğru parçalarından meydana gelen yumuşatılmış yığışımli eğriler oluşturmaktır. Yumuşatılmış eğriler, örneğin, Şekil 4.1'de görüldüğü gibi doğrusal enterpolasyon kullanılarak basamakların tepe noktalarından geçirilen doğrular yardımıyla elde edilebilir. Bu çalışmada, sabit zaman aralıklı gözlemlerle elde edilen yığışımli taşıt sayıları kullanılarak ve Cassidy (1999) tarafından önerilen yöntem uygulanarak yığışımli eğriler  $N(x, t)$  elde edilmiştir (Şahin ve Zorer, 2001).

#### 4.2 Yığışımli Taşıt Sayısı Eğrilerinin Ölçeklendirilmesi

Herhangi bir karayolu kesitine ait, kısmi doğrusal enterpolasyon kullanılarak elde edilen yığışımli taşıt sayısı eğrisi genelde doğrusal bir eğilim gösterir. Kesitteki akım değişimlerini "görsel" olarak grafik üzerinde izleyebilmek için ölçeklendirme yapmak gerekmektedir. Eğrilerin ölçeklendirilmesinde basit bir matematiksel "hile" yapılmakta; böylece, orijinal

eğrideki “gizli” akım değişimleri ortaya çıkmaktadır. Ölçeklendirilmiş yığışımli eğri üzerinde, kesitten geçen trafik akımının “neredeyse kararlı” (zamansal değişimin çok küçük) olduğu zaman aralıklarının belirlenmesi mümkündür (Şahin ve Zorer, 2001).

Ölçeklendirme şöyle yapılmaktadır: Belirli bir “x” gözlem (ya da dedektör) kesitine “t” zamanına kadar varan taşıtların yığışımli sayılarını gösteren  $N(x, t)$  eğrisinden,  $q_0 t$  doğru fonksiyonu çıkartılarak yeni bir grafik çizilir. Burada “ $q_0$ ” referans akımı olup, büyüklüğü, eğrideki akım değişimlerinin görsel biçimde incelenmesine izin verecek şekilde seçilmelidir. Tüm “t” değerleri için  $[N(x, t) - q_0 t]$  farkı,  $N(x, t)$ 'den yeteri kadar küçük olduğunda, bu “farklar grafiği” yığışımli taşıt sayısını göstermek üzere büyütülmüş yeni bir ölçekle çizilebilmekte; akımdaki değişkenlik görsel olarak saptanabilmektedir. Kullanılan ölçeklendirme yöntemine ait bir örnek Şahin (2001)'den alınan Şekil 4.3'te görülmektedir. Yukarıda açıklanan ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen  $N(x, t) - q_0 t$  farklar eğrisinde, yaklaşık olarak sabit eğimli (yani, doğrusal eğilim gösteren neredeyse kararlı) aralıkların başlangıç ( $t_b$ ) ve son ( $t_s$ ) zamanları saptanır. Bu aralıkların her birine doğru parçaları yerleştirilir. Yerleştirilen doğru parçalarının eğimi, ilgili zaman aralığındaki akım (taşıt/saat) değerini verir. Kural olarak, farklar eğrisinin yatay eğilim gösteren kesimleri,  $q_0$  ile aynı akım değerine; negatif eğimli kesimleri  $q_0$ 'dan daha küçük ve pozitif eğimli kesimleri ise daha büyük akım değerlerine sahiptir (Şahin ve Zorer, 2001).



Şekil 4.3 Ölçeklendirilmiş ve ölçeklendirilmemiş yığışımli taşıt sayısı eğrileri (Şahin, 2001)

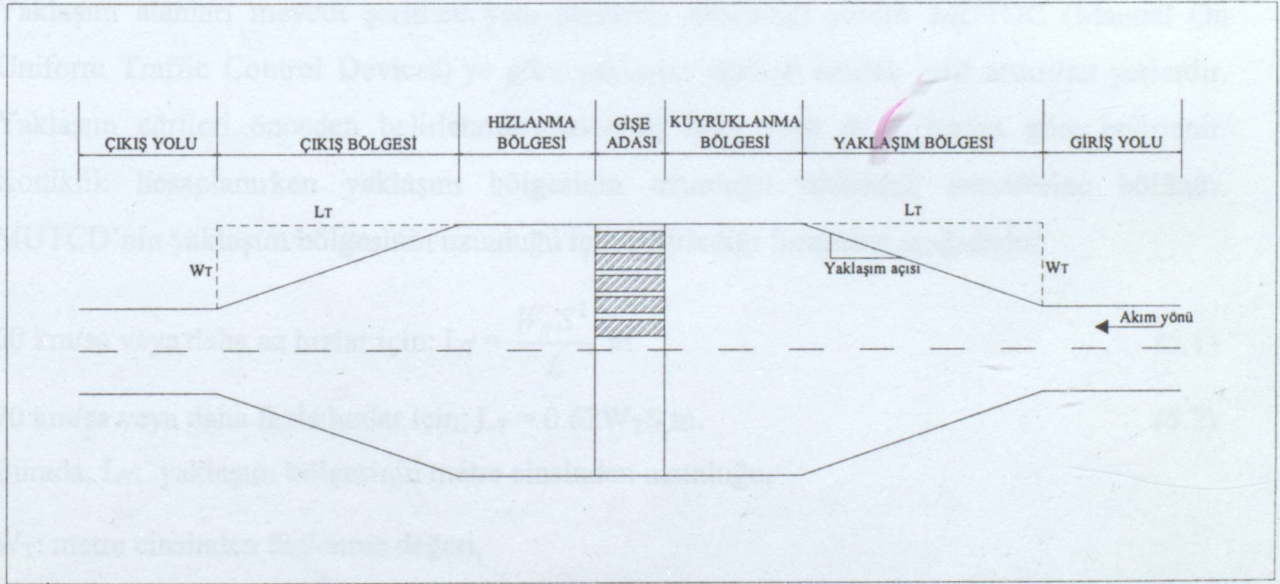
## 5. GİŞE SAHASI TASARIMI

Bir çok gişe zirve saatlerde talebin çok altında bir kapasite ile çalıştığından oldukça düşük bir hizmet seviyesine sahiptir. Bu durum sonucunda oldukça uzun kuyruklar oluşmakta ve trafik akımı ciddi bir kesintiye uğramaktadır. Gişe sahalarının amacı doğrultusunda en az kesinti sağlayacak hızlı ulaşım ve gişe sahasının sunduğu hizmet düzeyi arasında bir denge kurulmalıdır. Hizmet düzeyinin düşük olması hem gişe işletmecileri hem de kullanıcılar için maddi kayıplara yol açmaktadır. Bu yüzden gişe alanları için dengeli bir tasarım gerekmektedir. Bu, özellikle talebin ve sunulan hizmetin rastgele (stokastik) olması nedeniyle önem taşımaktadır.

Gişe sahasının tasarımı, sadece hizmet düzeyi ile ilgili olmayıp, işletmenin maliyet-verimliliği üzerinde de etkilidir. Gişe sahasının tasarımının “karmaşıklığı” ve “hassaslığı” nedeniyle bu konuyu iki aşamada ele almak gereklidir.

### 5.1 Gişe Sahasının Elemanları

Gişe sahası elemanları Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Gişe sahası elemanları (McDonald, 1999)

McDonald (1999)'a göre gişe sahalarının ana elemanları, yaklaşım ve çıkış bölgeleri, kuyruklanma bölgesi, gişeler, kuyruklanma ve hızlanma bölgeleridir. İşaretleme ve ışıklandırma diğer bileşenler arasında sayılabilir. Gişe sahası tipleri, iki yönde de ücret toplanan sürekli sahalardan, tek yönde ücret toplanan bölünmüş sahalardan ve elektronik ödeme

sisteminin kullanıldığı sahalar olarak üçe ayrılır. Ücret toplama noktası (görevlinin kontrolünde bir gişe, otomatik para makinesi, bilet makinesi veya elektronik ödeme sistemine sahip gişe gibi elemanlar) her üç tip gişe sahasında da bulunabilir.

## 5.2 Gişe Sahasının Geometrik Özellikleri

Gişe sahasının boyutlarının tüm proje ömrü boyunca verimli hizmet verecek şekilde tasarlanması gereklidir. Bunun anlamı, gişe sahası artan akım oranlarının ve OGS (Otomatik Geçiş Sistemi / E-PASS, Elektronik Geçiş Sistemi) kullanan taşıt oranının artışı dikkate alınarak boyutlandırılmalıdır (Polus, 1998).

Gişe sahası geometrisi, yatay, düşey ve gişe şeritlerinin geometrisini kapsar.

### 5.2.1 Yatay Geometri

Gişe sahasında yatay boyutlandırma yaklaşım ve çıkış bölgeleri, gişe sahasında kuyruklanma için bırakılan yer, çözülme bölgesinin uzunluğu, gişe şeritlerinin genişliği ve gişelerin yerleşimi ile ilgilidir.

#### Yaklaşım Bölgesi

Yaklaşım alanları mevcut şeritlere yeni şeritlerin eklendiği yerdir. MUTDC (Manual On Uniform Traffic Control Devices)'ye göre yaklaşım eğrileri aniden şerit arttırılan yerlerdir. Yaklaşım eğrileri önceden belirlenmiş/gözlenmiş hıza veya proje hızına göre belirlenir. Koniklik hesaplanırken yaklaşım bölgesinin uzunluğu ötelenme mesafesine bölünür. MUTCD'nin yaklaşım bölgesinin uzunluğu için belirlediği formüller aşağıdadır:

$$60 \text{ km/sa veya daha az hızlar için; } L_T = \frac{W_T S^2}{L} \text{ m.} \quad (5.1)$$

$$70 \text{ km/sa veya daha fazla hızlar için; } L_T = 0.62 W_T S \text{ m.} \quad (5.2)$$

Burada;  $L_T$ : yaklaşım bölgesinin metre cinsinden uzunluğu,

$W_T$ : metre cinsinden ötelenme değeri,

$S$ : km/saat cinsinden önceden belirlenmiş hız veya proje hızıdır.

Formül 5.1 ve 5.2'de verilen hız sınırları 60 km/sa ve 70 km/sa arasında 9 km/sa'lik bir boşluk bırakmaktadır. İngiliz birim sistemine göre 40 mil/saat olan değer, uluslararası birim sistemine göre 64 km/sa değerine eşittir. Bu değer de 65 km/sa değerine çok yakındır. Eğer önceden belirlenmiş hız 65 km/sa civarındaysa 5.1 formülünün kullanılması önerilmektedir. (McDonald, 1999)

Yeşil Kitap (Green Book-A Policy on Geometric Design of Highways and Streets-AASHTO)'a göre ise yaklaşım uzunluğu hesaplanırken aşağıdaki formül kullanılmaktadır (McDonald, 1999):

$$L_T = \left( \frac{1}{2} \text{ veya } \frac{2}{3} \right) (0.6 W_T S) \quad (5.3)$$

Burada;  $L_T$  : Yaklaşım bölgesinin metre cinsinden uzunluğu,

$W_T$  : metre cinsinden ötelenme değeri,

$S$  : km/saat cinsinden önceden belirlenmiş veya yasal hızdır.

Yeşil Kitap yaklaşım bölgelerini hız değiştirme mekanları olarak tanımlamıştır.

### Çıkış Bölgesi

Taşıtlar gişelerde hizmet görüp çıktıktan sonra gişe şeritleri anayola ait şeritlerin boyutlarına göre daraltılır. Şerit daraltması da koniklikle ilgilidir. Hem MUTCD hem de Yeşil Kitap şerit daraltılması ile ilgili formüller vermiştir ancak bunlar diğer tipteki yolların tasarımı ile ilgilidir. MUTCD'nin 1997'deki önerisinde çeşitli tipteki şerit daraltmaları için formüller verilmiştir. Belirli bir yol kesiminde üç şeritten iki şerite, dört şeritten üç şerite veya dört şeritten iki şerite yapılacak daraltmalar için verilen formül;

$$60 \text{ km/sa veya daha az hızlar için: } L_T = \frac{W_T S^2}{155} \quad (5.4)$$

$$70 \text{ km/sa veya daha fazla hızlar için: } L_T = 0.62 W_T S \quad (5.5)$$

olarak verilmiştir.

Burada;  $L_T$  : Çıkış bölgesinin metre cinsinden uzunluğu,

$W_T$  : metre cinsinden ötelenme değeri,

$S$  : km/saat cinsinden önceden belirlenmiş veya yasal hızdır.

Yaklaşım formülasyonlarında olduğu gibi burada da 65 km/sa'lik hız için 5.4 formülü kullanılmalıdır.

### Hızlanma Bölgesi

Hızlanma bölgesi gişelerden çıkan taşıtların hızlanması ve manevra yapması için gerekli olan alandır. Birçok uygulamada hızlanma bölgesinin uzunluğu kuyruklanma bölgesinin uzunluğuna eşit veya kuyruklanma uzunluğuna göre daha kısadır. Hızlanma bölgesinin uzunluğu 9 m (30 feet) ile 200 m (650 feet) arasında değişir. Gişe sahası işletmecileri genelde

hızlanma bölgesi uzunluğu için kuyruklanma bölgesinin uzunluğunun veya en az 23 m'lik bir uzunluğun kullanılması gerektiğini belirtmektedir. Bir başka işletmeci ise ağır taşıtların hizmet gördüğü alanlarda hızlanma uzunluğunun en az 46 m (150 feet) olması gerektiğini belirtmiştir. (McDonald, 1999)

### Gişe Şerit Genişliği

Gişe şeritlerinin genişliği 3 m ve 5.5 m ( 10 feet ve 18 feet) arasında değişmektedir. OGS (E-PASS) ile hizmet veren gişelere ait şeritler anayol şeritleri ile aynı genişliğe (yaklaşık 3,6 m) sahip olmalıdır. Gişenin hizmet verdiği taşıtların %30'dan fazlası ağır taşıt ise, bu gişelere ait şeritlerde de 3,6 m genişliği kullanılmadadır. Ağır taşıt oranı %10 ve %30 arasında ise şerit genişliği 3,3 m olmalıdır. Diğer tüm şeritler 3 m genişliğe sahip olmalıdır. Dar şeritler, taşıtların gişe görevlisine veya kullanılıyorsa bozuk para makinelerine daha yakın olmalarını sağlarken daha yavaş hareket eden taşıtlar için kaza riskini azaltır. Çizelge 5.1'de önerilen şerit genişlikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 Gişe tiplerine göre önerilen şerit genişlikleri (McDonald, 1999)

Gişe tipi	Şerit genişliği
Ağır taşıtların kullandığı gişeler	4,3 m ve 5,5 m arasında
OGS'ye sahip gişeler	3,6 m
Hizmet gören ağır taşıt oranının %30'dan fazla olduğu gişeler	3,6 m
Hizmet gören ağır taşıt oranının % 10 ve %30 arasında olduğu gişeler	3,3 m
Diğer tüm gişeler	3,0 m

### Kuyruklanma Bölgesi

Kuyruklanma bölgesinin uzunluğunu belirlemek için iki yöntem kullanılır. Bunlardan ilki kuyruklanmış taşıtların kuyruklanma bölgesinde birikmesine ve yaklaşım alanında yığılmalarına izin vermektir. Diğer yöntem ise kuyruklanma bölgesinin uzunluğunun tüm kuyruğa yetecek boyutta olmasına ve yaklaşım bölgesinin de proje ömrü süresince artacak olan trafik hacmini karşılamasına göre tasarlanmasıdır. İkinci yöntem tasarım amaçları bakımından tercih edilmektedir.

Yaklaşan trafiğin hacmi gişelerin kapasitesini aşmadığı sürece çok kısa kuyruklar oluşacaktır. OGS gişeleri gişe sahasının kapasitesini klasik (manuel) gişelere göre oldukça arttırmıştır. Kuyruk uzunlukları benzetim (simulasyon) programları yardımıyla belirlenebilmektedir. Ancak uzunlukların geleneksel yöntemle elde edilmesi de bazı gişe işletmecileri tarafından

kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemle ilişkin bir örnek aşağıda sunulacaktır. Bu yöntemde proje ömrü boyunca gişe sahasından geçecek olan hacim belirlenmektedir. Proje ömrü genelde 20 yıldır. 15 dakikalık zirve hacim değeri zirve saat faktörü ile çarpılarak zirve saat hacmi bulunur. Zirve saat faktörünü bulmak için belirli bir süre boyunca yapılan trafik sayımı, daha küçük zaman dilimlerine bölünür. En büyük trafik sayımına sahip olan zaman dilimi, ana süreye eşit olacak şekilde bir katsayı ile çarpılır. Bulunan değer zirve saat değeridir. Sayım yoluyla bulunan değerlerin zirve saat değerine oranı zirve saat faktörünü verir. Örneğin 1 saat boyunca yapılan bir sayım 15 dakikalık zaman dilimlerine bölünür. 15 dakikalık hacim değerlerinden en büyük olanı seçilir ve 1 saatlik akım değerinin bulunması için 4 ile çarpılarak zirve saat akımı bulunur. Sayım yoluyla bulunmuş olan 1 saatlik akım değerinin zirve saat akımına oranı yoluyla zirve saat faktörü elde edilir.

Ödeme tiplerine bağlı olarak gişelerin kullanım oranları bulunur. İşletme tarafından verilen gişe kapasiteleri kullanılarak her gişenin karşılayacağı hacimler belirlenir. Bir örnekle açıklanacak olursa; 3000 taşıtın sayıldığı bir saatlik gözlem süresinde 15 dakikalık zirve hacim değeri 850 taşıt olsun. Bu değeri zirve saat akımına çevirirsek  $850 \times 4 = 3400$  tş/sa'lik bir akım oranı elde ederiz.

OGS'ye sahip taşıtların oranı %30, Klasik gişeleri kullanan taşıtların oranı %20 ve otomatik ödeme yapılan gişeleri (bozuk para atılan cihaz veya kartlı geçiş sistemi bulunan gişeler) kullanan taşıt oranı %50 olsun.

Gişelerin kapasiteleri OGS gişeleri için 1200 tş/sa, klasik (manuel) gişeler için 350 tş/sa ve otomatik gişeler için 550 tş/sa olarak alınır, gişe sayıları aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\text{Gişe sayısı} = \frac{\text{Hacim}}{\text{Kapasite}} \times \text{Kullanım oranı} \quad (5.6)$$

$$\text{OGS (E-PASS) gişe sayısı} = \frac{3400 \text{ tş / sa}}{1200 \text{ tş / sa}} \times 0.30 = 0,91 \text{ gişe,}$$

$$\text{Klasik gişe sayısı} = \frac{3400 \text{ tş / sa}}{350 \text{ tş / sa}} \times 0.20 = 1,9 \text{ gişe,}$$

$$\text{Otomatik gişe sayısı} = \frac{3400 \text{ tş / sa}}{550 \text{ tş / sa}} \times 0.50 = 3,1 \text{ gişe olarak bulunur.}$$

Toplam  $0,91 + 1,9 + 3,1 = 5,9$  gişeye ihtiyaç vardır.

En kısa kuyruk için gerekli gişe sayısı	Azaltma
$\leq 3$ gişe	0
$>3$ gişe ve $< 9$ gişe	-1 gişe
$\geq 9$ gişe	-2 gişe

Hesaplanarak bulunan gişe sayıları, Çizelge 5.2'de gösterildiği şekilde belirli aralıklar için azaltılabilir. Yukarıda hesaplanan toplam gişe sayısı, kuyruk oluşmaması için belirlenen bir sayıdır. Ancak gişe sahalarında belirli kapasitede bir kuyruk bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgede belirli sayıdaki taşıtın kuyruklanmasına izin verilerek gişe sayısı 1 veya 2 azaltılabilmektedir. Yukarıda hesapla bulunan ve 6'ya yuvarlanan gişe sayısı Çizelge 5.2'deki ikinci aralığa düştüğü için 1 gişe azaltılır; yani, gerekli gişe sayısı 5 olarak bulunur. Genel olarak azaltılan (çıkarılan) gişe(ler) diğer-kuyruklara en az sayıda taşıt ekleyecek/katacak daha düşük kapasiteli gişe(ler) olmalıdır. Bu örnekte klasik gişe sayısı 1 azaltılmaktadır (McDonald, 1999).

Ortalama taşıt uzunluğu 7,6 m alınarak kuyruk uzunluğu hesaplanabilir. Fakat taşıt uzunlukları çeşitlidir. Yeşil Kitap'ta otomobil uzunluğu 5,8 m, ağır taşıt uzunluğu ise 22,5 m olarak verilmiştir. Ağır taşıtların trafik hacmindeki oranının %10 olduğu kabul edilerek ortalama uzunluk 7,5 m olarak hesaplanabilmektedir.

Bu veriler D-queue isimli benzetim programında kullanılarak belirlenen kuyruk uzunlukları Çizelge 5.3'de verilmiştir. Uygulamada kuyruklanma bölgesinin uzunluğu 23 m (75 feet) ile 200 m (650 feet) arasında değişmektedir (McDonald, 1999).

Çizelge 5.3 D-queue benzetim programı ile bulunan gişe sayıları ve kuyruk uzunlukları (McDonald, 1999)

Gişe tipi	Gişe sayısı	Benzetim sonucu bulunan kuyruk uzunlukları
OGS gişeleri	1	8 taşıt
Otomatik gişeler	3	10 taşıt
	2	203 taşıt
Klasik gişeler	2	9 taşıt
	1	272 taşıt

Örnekte anlatılan işlemlerin yapılması, Çizelge 5.2'ye göre gişe azaltılması ve bir benzetim programı yardımıyla kuyruk uzunluklarının belirlenmesi "gişe sahası tasarımı" olarak adlandırılabilir (McDonald, 1999).

Taşıtların geliş oranı, gişelerin hizmet oranından daha büyük olduğunda kuyruk oluşur. Kuyruğa giren taşıtların, kuyruklanma bölgesinin dışına taşması ve yaklaşım bölgesini işgal etmesi kazalara neden olabilir. Kuyruklanma bölgesinin boyut kısıtları olduğu için zirve saatte oluşacak en büyük kuyruk uzunluğu önceden belirlenmeli ve kuyruklanma bölgesinin boyutları buna göre tasarlanmalıdır.

Gişe sayıları ve gişe tipleri; gişe sahasını kullanacak trafik hacmine, gişelerin kapasitesine ve analitik veya benzetim modeli yardımıyla bulunmuş olan en büyük kuyruk uzunluğuna bağlı olarak belirlenir. Kuyruklanma yerinin uzunluğu, kuyruktaki en büyük taşıt sayısı ile taşıtların mesafe cinsinden izleme aralığı çarpılarak bulunur. Eğer kabul edilemeyecek bir kuyruklanma uzunluğu ile karşılaşırsa, gişe sahasının kapasitesi gişe sayısı büyütülerek veya gişe tipi değiştirilerek arttırılmalı ve ardından hizmet oranı ve kuyruklanma uzunluğu tekrar hesaplanmalıdır. Bu işlemlerin tekrarlanması sonucunda en uygun kuyruklanma bölgesine sahip gişe sayıları ve gişe tipleri belirlenir.

Karar verilen gişe düzeni, ortalama gecikme, ortalama bekleme süresi gibi verimlilik ölçütleri açısından da kontrol edilmelidir. Kuyruk uzunluğunu analitik yöntemle belirlemek ancak hizmet oranının geliş oranından büyük olduğu durumlar için geçerlidir. Analitik kuyruk kuramına göre hizmet oranı, geliş oranından küçük olduğunda kuyruk uzunluğu sonsuz olmaktadır. Analitik yöntem için geliş/hizmet oranının 0,90'la sınırlandırılması, geçerli bir performans ölçütü olarak kabul edilir. (Pati, 1996)

Lin ve Su'ya (1994) göre gişe sahasının performansı, hizmet kapasitesi, taşıt geliş özellikleri, gişe sayısı ve sürücü davranışı gibi bir çok faktörden etkilenebilmektedir. Ayrıca gişe sahasında kuyrukta bekleyen taşıtların sayısının 10'dan fazla olmaması gerektiğini de belirtmişlerdir. Gişe sahasının verimli çalışabilmesi için tüm taşıtların kendileri için belirlenmiş sınırlar içinde bulunması gerekmektedir. Bu yüzden gişe alanı özelliklerinin, her gişe önündeki kuyruklanma yerleri gibi geometrik ölçütler açısından verimli olarak planlanması gereklidir. Hatalı gişe sahası planlanmasına bir örnek, ilk birkaç gişenin ana gişe ekseninden kaydırılması olarak gösterilebilir (örneğin, Boğaziçi Köprüsü gişe sahasındaki 1-4 nolu gişelerin konumları gibi). Bu durum, ana eksenindeki gişelere ait kuyrukların ötelenmiş (kaydırılmış) gişelere taşıt geçişini engellemesine neden olmaktadır. (Polus, 1996, 1998)

### 5.2.2 Düşey Geometri

Düşey geometri tasarımı gişelere yaklaşım ve ayrılma için gerekli enine ve boyuna eğimleri içerir.

#### Enine Eğim

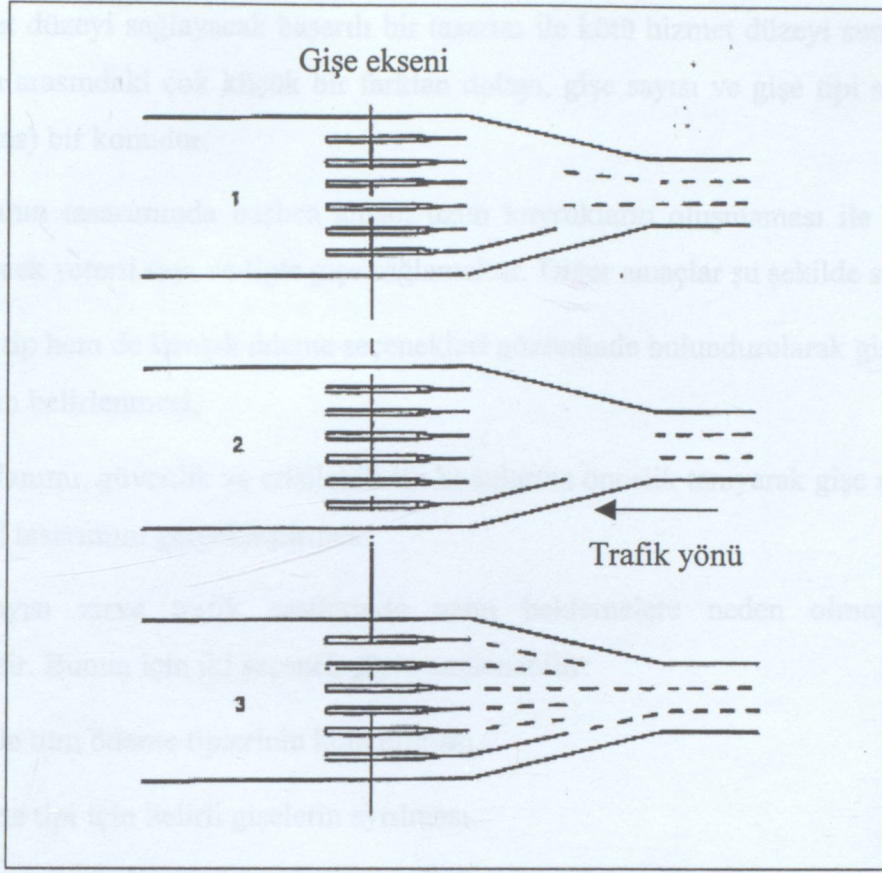
Enine eğim otoyollarda su kontrolü için kullanılır. Su, taşıtların durmasına veya hızlanmasına engel olabilir. Bu yüzden gişe sahasından suyun uzaklaştırılması çok önemlidir. Enine eğim gişe sahasının üç bölümünde uygulanır. Bu üç bölge; yaklaşım bölgesi, hızlanma bölgesi ve gişelerin bulunduğu bölümdür. Yaklaşım ve ayrılma alanları benzer eğimlerde tasarlanır. Burada enine eğimler % 0 ve % 2 olarak uygulanır. OGS ile hizmet veren gişe şeritlerinde eğimin yaklaşım alanında, gişe alanında ve ayrılma alanında anayol şeritlerine ait eğimle aynı olması gerekmektedir. Diğer gişe tipleri için yaklaşım alanında % 0,5 ve % 2 arasında genelde % 1,5 veya % 1,6 civarında enine eğim uygulanmalıdır. Gişelerin bulunduğu alanda boyuna eğim kullanılmamalı, enine eğim % 1 ve % 2 arasında genelde % 1,6 eğim kullanılmalıdır. Ayrılma alanında % 0,5 ve % 2 arasında eğim kullanılmalıdır. Bu eğim genelde % 1,5 ve % 1,6 değerinde kullanılır. (McDonald, 1999)

#### Boyuna Eğim

Boyuna eğim tasarlanırken uygun drenaj, güvenli duruş için gerekli görüş mesafesi ve hızlanmak için gerekli kolaylığın sağlanması gereklidir. OGS ile hizmet veren gişe şeritlerine yaklaşım alanında, gişelerin bulunduğu alanda ve ayrılma alanında anayola ait eğim kullanılmalıdır. Diğer tip gişe şeritlerinde ideal uygulama; yaklaşım alanında yavaşlamayı sağlayacak çıkış yönünde eğim, gişelerin bulunduğu alanda oldukça düşük bir eğim ve ayrılma alanında taşıtların hızlanmasını kolaylaştırmak için iniş yönünde eğim kullanılmalıdır. Yaklaşım alanında kullanılması önerilen eğim  $\pm\% 3$ 'tür. Gişelerin bulunduğu alanda eğim uygulanması gerekmemektedir; ancak, eğer kullanılacaksa % 1 ve % 2 arasında eğim kullanılmalıdır. Eğer drenaj problemi varsa  $\pm\% 3$  eğim kullanılabilir. Ayrılma alanında ise  $\pm\% 3$  eğim kullanılmalıdır.

#### Taşıtların gişelere yönlendirilmesi

Taşıtların hizmet görecekları gişelere yönlendirilmesi amacıyla kaplama üzerinde işaretlemeler uygulanır. Yönlendirme gişe sahasının önünde ve sonunda bulunur ve üç değişik şekilde uygulanır (Şekil 5.2). Ayrılma bölgesinde de yaklaşım bölgesinde uygulanan yönlendirme şekli kullanılır. Kaplama üzerindeki işaretin rengi genellikle beyazdır.



Şekil 5.2 Gişe yönlendirmeleri (McDonald, 1999)

Şekil 5.2’de gösterilen ilk seçenekte kısmi yönlendirme yapılmıştır. Yönlendirme işaretleri arasındaki genişlik anayola ait şerit genişliğinden fazladır ve işaretleme gişelerin bulunduğu bölgeye varmadan sona erer. İkinci seçenek kısıtlı yönlendirmedir. Bu tür yönlendirme işareti sadece OGS sistemi kullanan gişeler için yapılır. Üçüncü seçenek ise tüm gişelere yönlendirmenin yapıldığı seçenektir.

### 5.3 Gişe Tipleri ve Kapasiteleri

Modern ve güvenilir bir gişe sahasınının 3 ayrı gişe tipine sahip olması gerekir. Bunlar: *klasik, otomatik ve elektronik geçiş sistemi* olan gişelerdir. Klasik gişeler gişe memuru tarafından işletilir ve genelde ağır ve ticari araçlar için ve bozuk parası olmayan sürücüler içindir. Otomatik gişeler ise, bozuk parası olan, ödemeyi kredi kartı veya özel ödeme şekillerinde (örneğin kartlı geçiş sistemi veya Akbil gibi) yapmak isteyen sürücüler içindir.

Taşıt tanıma sistemi olan gişeler genelde ekspres veya elektronik olarak adlandırılırlar (elektronik geçiş sistemi). Ülkemizde bu tip gişeler OGS (Otomatik geçiş Sistemi) olarak adlandırılmaktadır (Aynı gişeler ABD’de E-PASS adını almaktadırlar). Bu gişeler sadece bu sisteme sahip olan araçlar tarafından kullanılır. Şerit seçiminde esnekliği arttırmak için klasik ve otomatik gişelerde de elektronik taşıt tanıma sisteminin olması istenir. Bu tip gişeler karışık-klasik veya karışık-otomatik gişeler olarak adlandırılır.

İyi bir hizmet düzeyi sağlayacak başarılı bir tasarım ile kötü hizmet düzeyi sunacak başarısız bir tasarımın arasındaki çok küçük bir farktan dolayı, gişe sayısı ve gişe tipi seçimi oldukça önemli (hassas) bir konudur.

Gişe alanlarının tasarımında başlıca amaç; uzun kuyrukların oluşmaması ile zirve trafiğini karşılayabilecek yeterli sayı ve tipte gişe sağlamaktır. Diğer amaçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Hem tek tip hem de karışık ödeme seçenekleri gözönünde bulundurularak gişe tip ve sayılarının belirlenmesi,
- Alan kullanımı, güvenlik ve erişilebilirlik konularına öncelik tanıyarak gişe sahalarının altyapısal tasarımını gerçekleştirmek.

Gişelerin sayısı zirve trafik saatlerinde uzun bekleme sürelerine neden olmayacak şekilde belirlenmelidir. Bunun için iki seçenek şöyle sıralanabilir:

- Her gişede tüm ödeme tiplerinin kullanılması,
- Her ödeme tipi için belirli gişelerin ayrılması.

McDonald (1999) hazırladığı Doktora tezinde, daha önce T-S. H. Woo tarafından 1990 yılında hazırlanan Doktora tezinden (Gişe Sahalarının Kapasitesi ve Hizmet Düzeyi - Toll Plaza Capacity and Level of Service) faydalanmış ve Çizelge 5.4'deki gişe kapasitelerini vermiştir.

Çizelge 5.4 Gişе kapasiteleri (McDonald, 1999)

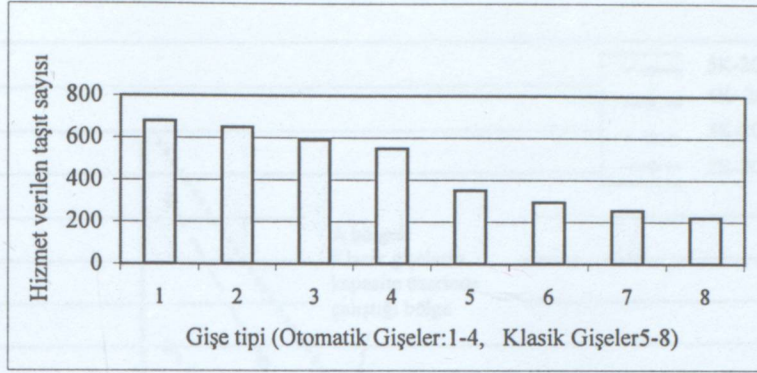
Gişе tipi	Temel kapasite (taşıt/saat-şerit)*	Pratik kapasite (taşıt/saat-şerit)**
Otomobillerin kullandığı ve sürücünün ödeme yaptığı klasik gişeler	700	580
Otomobillerin kullandığı ve yolcunun ödeme yaptığı klasik gişeler	630	525
Otobüslerin kullandığı klasik gişeler	400	360
Ağır taşıtların kullandığı klasik veya bozuk para gişeleri	223	200
Ağır taşıtların kullandığı klasik veya kredi kartıyla ödeme yapılan gişeler	223	150
<b>Diğer bir çalışma</b>		
Klasik gişeler		350
Otomatik gişeler		650
OGS kullanan gişeler		1000

Her gişede tüm ödeme tiplerinin sunulması daha işlevsel görünebilir. Ayrıca ödeme esnasında esneklik de sağlayabilir. Ancak, daha çok personel görevlendirileceğinden maliyeti daha yüksektir. Elektronik sistemde personele ihtiyaç yoktur. Farklı ödeme sistemi uygulandığında ise daha fazla gişeye ihtiyaç duyulacaktır ve daha fazla bekleme meydana gelecektir.

Gişelerin tiplerine, ekipmanına ve ödeme şekline göre kapasitesi de oldukça farklı olmaktadır. Şekil 5.3'de görüldüğü gibi klasik (manuel) gişelerin verimliliği saatte 250-450 taşıt arasında değişmektedir. Otomatik gişelerde ise bu değer 550-850 taşıt/saat olabilmektedir. (Polus ve Reshetnik, 1997)

\*Temel kapasite, ideal şartlarda oluşan kapasitedir.

\*\* Pratik kapasite, ideal şartlarda ve ideal olmayan şartlarda meydana gelen kapasitenin ortalamasıdır. Bir diğer deyişle herhangi bir anda beklenen kapasitedir (McDonald, 1999).



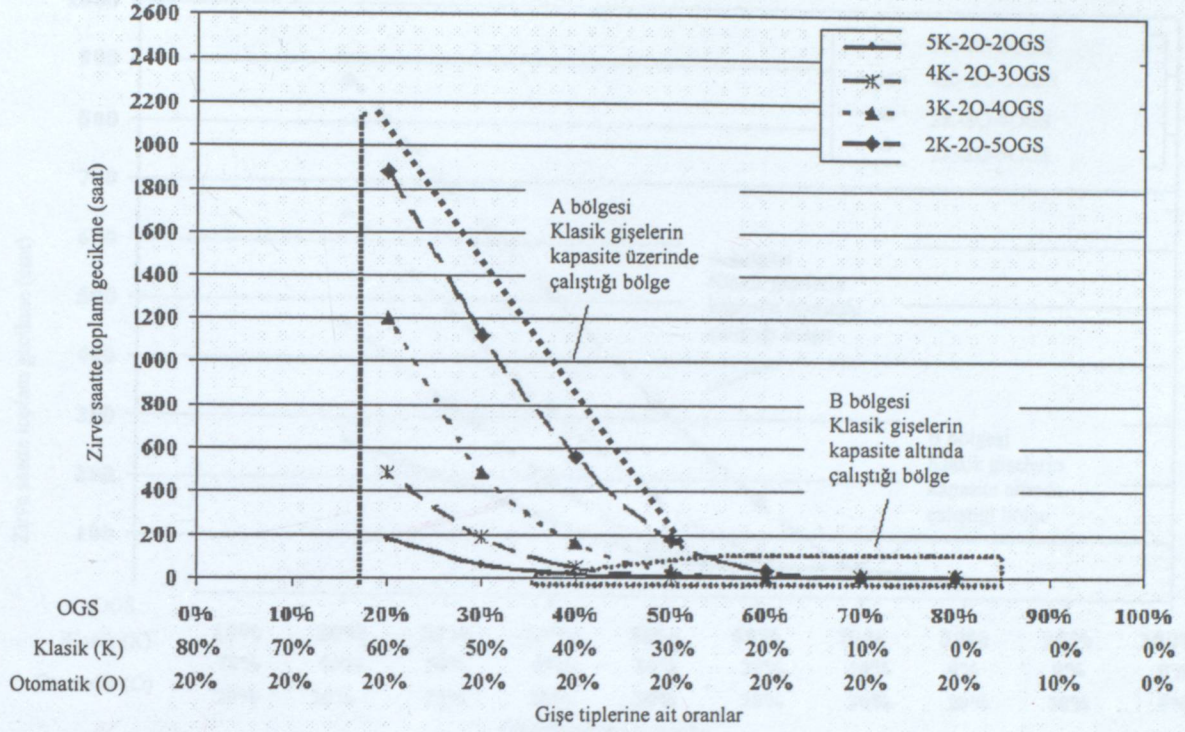
Şekil 5.3 Klasik ve otomatik gişelerin herhangi bir güne ait saatlik hizmet değerleri (Polus ve Reshetnik, 1997)

Gişе sahası işletim özelliklerini inceleyebilmek için University of Central Florida Ulaştırma Sistemleri Enstitüsü (Orlando) tarafından TPSIM (Toll Plaza Simulation) isimli benzetim programı geliştirilmiştir. TPSIM’de değişik senaryolar denenerek trafik hacminin gişе sahası verimliliği üzerindeki etkileri incelenmiştir (Al-Deek ve Mohamed, 2000). Benzetim sonucu elde edilen kuyruk nedeniyle oluşan gecikme, taşıt başına ortalama bekleme süresi ve sabah zirve saatte meydana gelen trafik akım değerleri, verimlilik ölçütleri olarak kullanılmıştır.

Şekil 5.4’de 5000 tş/sa’lik talep (hacim) değeri için zirve saat gecikmelerine ait senaryolar verilmiştir. Bu senaryoların ilkinde gişе sahasında 5 klasik, 2 otomatik, 2 OGS gişesi bulunmaktadır. İkinci senaryo, 4 klasik, 2 otomatik ve 3 OGS gişesi için hazırlanmıştır. Üçüncü senaryo seçeneği ise 3 klasik, 2 otomatik ve 4 OGS gişesinden oluşmaktadır. Dördüncü senaryoda 2 klasik, 2 otomatik ve 5 OGS gişesi bulunmaktadır.

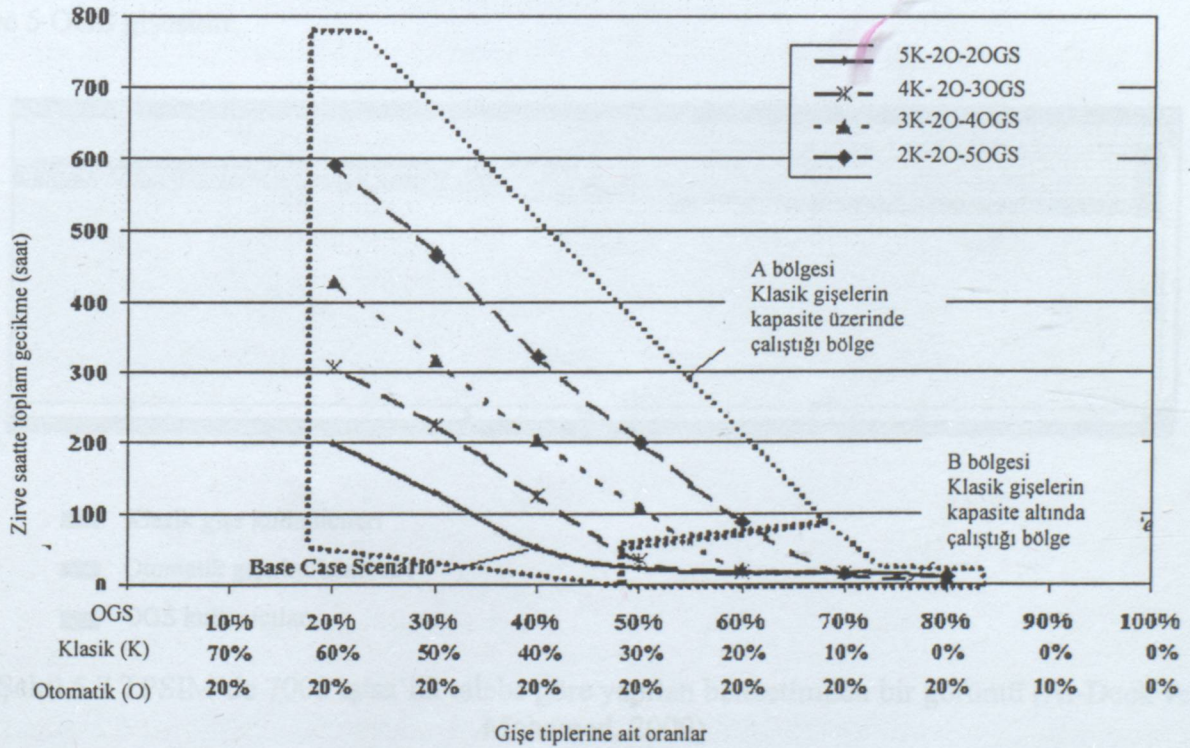
Bu senaryolarda klasik gişе sayısı adım adım azaltılarak OGS gişesi sayısı artırılmıştır. Şekil 5.4’ün alt kısmında talep değişimleri de verilmiştir. OGS’ye %20, klasik gişeye %60 ve otomatik gişeye talebin %20 olduğu ilk adımda klasik gişelere talep daha fazla olduğundan, ilk senaryo sonucu daha az gecikme meydana gelmiştir. En büyük gecikme ise klasik gişе sayısının en az olduğu dördüncü senaryoda elde edilmiştir.

Bu şekilde yapılan incelemeler sonucunda klasik gişelerin kapasite üstünde çalıştığı bölgede klasik gişе kullanıcılarının sadece %10’unun OGS kullanması halinde gişе sahasındaki toplam gecikmenin %50 azaldığı görülmüştür. Ancak klasik gişelerin kapasite altında çalıştığı durumlarda ise OGS’nin etkisi görülmemektedir. Şekil 5.4’de de görüleceği gibi klasik gişelerin kapasite altında çalıştığı durumu ifade eden B bölgesinde talep değişiminin gecikmeyi etkilemediği görülmektedir.

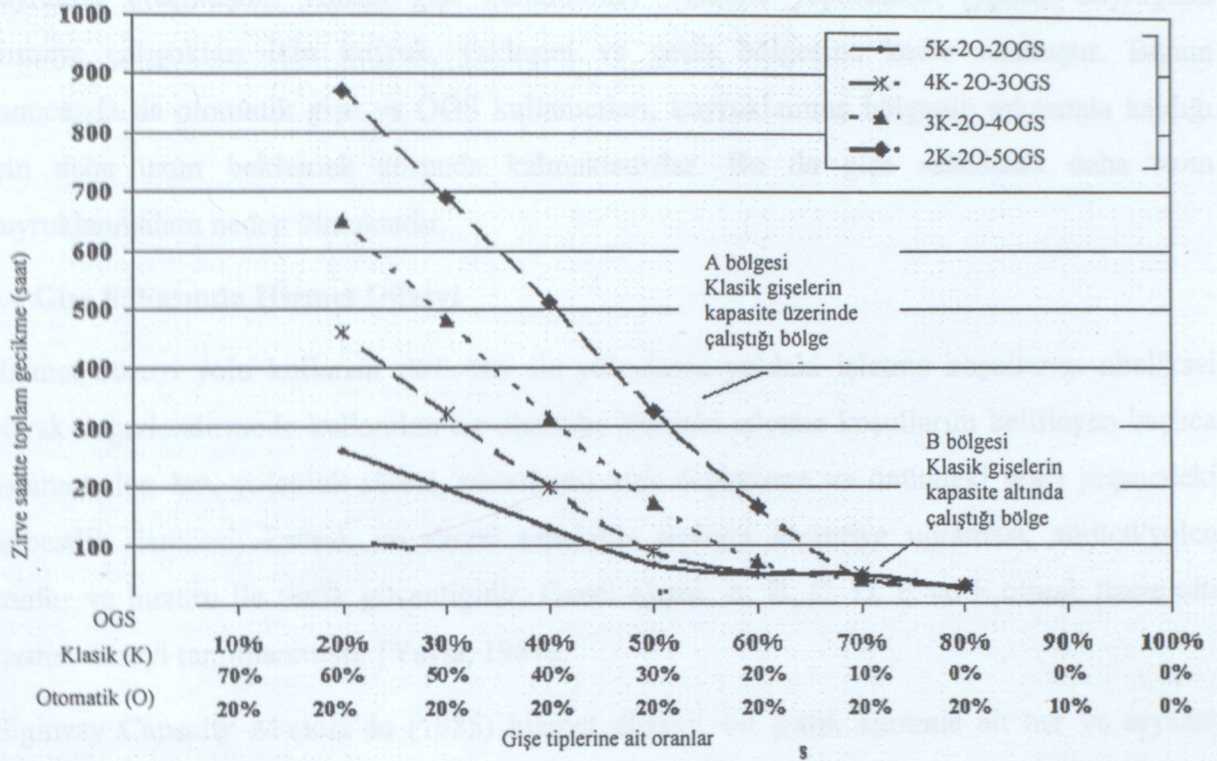


Şekil 5.4 5000 tş/sa'lik talep için OGS oranlarının (pazar girişi) duyarlılık analizi (Al-Deek ve Mohamed, 2000)

6000 tş/sa ve 7000 tş/sa'lik hacim değerleri için yapılan benzetimler de 5000 tş/sa'lik talep benzetimi ile hemen hemen aynı özelliktedir. (Şekil 5.5 ve Şekil 5.6)

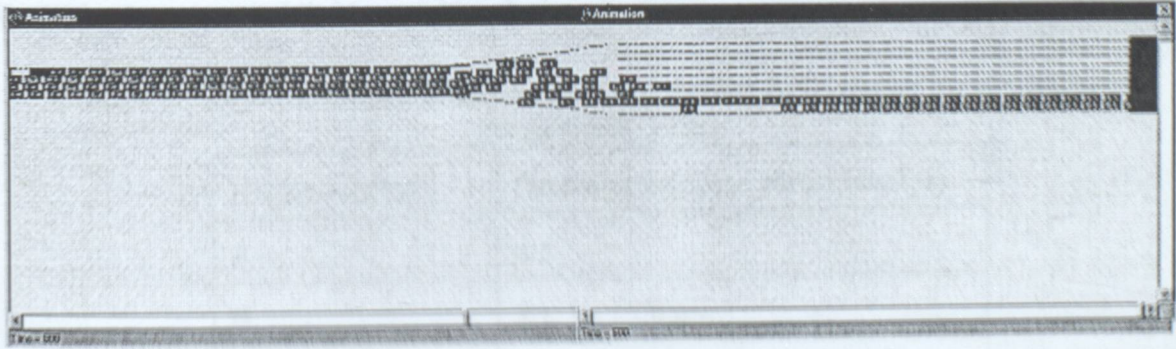


Şekil 5.5 6000 tş/sa'lik talep için OGS oranlarının (pazar girişi) duyarlılık analizi (Al-Deek ve Mohamed, 2000)



Şekil 5.6 7000 tş/sa'lık talep için OGS oranlarının (pazar girişi) duyarlılık analizi (Al-Deek ve Mohamed, 2000)

Şekil 5.7'de ise TPSIM ile gerçekleştirilen bir senaryodan görüntü verilmiştir. Burada talep hacmi 7000 tş/sa, klasik gişe kullanım oranı % 40, otomatik gişe kullanım oranı % 20 ve OGS kullanım oranı % 20 olarak verilmiştir. Sahadaki gişe sayıları: 2 klasik gişe, 2 otomatik gişe ve 5 OGS gişesidir.



- Klasik gişe kullanıcıları
- Otomatik gişe kullanıcıları
- OGS kullanıcıları

Şekil 5.7 TPSIM'de 7000 tş/sa'lık talebe göre yapılan benzetimden bir görüntü (Al-Deek ve Mohamed, 2000)

Şekil 5.7'de sol ilk beş gişe OGS, sonraki iki gişe otomatik ve en sağdaki iki gişe de klasiktir. Klasik gişelere olan talep gişe kapasitesinin üstünde olduğu için klasik gişelerin önünde

kuyruklar oluşmuştur. Klasik gişe kullanıcıları ödeme yapacakları gişenin kuyruğuna girmeye çalıştıkları için kuyruk, yaklaşım ve geçiş bölgesine kadar uzamıştır. Bunun sonucunda da otomatik gişe ve OGS kullanıcıları, kuyruklanmış bölgenin arkasında kaldığı için daha uzun beklemek zorunda kalmaktadırlar. Bu da gişe sahasında daha uzun kuyruklanmalara neden olmaktadır.

#### 5.4 Gişe Sahasında Hizmet Düzeyi

Hizmet düzeyi yolu kullanan sürücüler ile yolcularca yoldaki işletme koşullarını niteliksel olarak değerlendirmede kullanılan bir ölçüttür. Yoldaki işletme koşullarını belirleyen başlıca parametreler; hız, yolculuk süresi, sürücünün şerit değiştirme ve önündeki aracı geçmedeki serbestlik derecesi, kavşak ve sinyal sebebiyle trafiğin kesintiye uğraması, sürücü/yolcu konfor ve huzuru ile trafik güvenliğidir. Genel olarak A, B, C, D, E ve F olmak üzere altı hizmet düzeyi tanımlanmıştır (Yayla, 1981).

Highway Capacity Manual'de (1985) hizmet düzeyi, bir trafik akımına ait hız ve seyahat süresi, manevra serbestliği, konfor, güvenlik ve uygunluk gibi işletme şartlarının yolcu ve sürücüler açısından değerlendirilen niteliksel özellikleri olarak tanımlanır (Wanisubut, 1989).

Suwat Wanisubut, gişe sahaları için TOLLSIM adlı bir benzetim programı geliştirmiştir. Program klasik, otomatik ve OGS kullanan tüm gişeler için kullanılabilir. Wanisubut (1989), "A Toll Plaza Simulation Model and Level of Service Criteria" isimli tezinde gişe sahası için ortalama bekleme süresine bağlı hizmet düzeylerini geliştirmiştir. Çizelge 5.5'de Wanisubut'un tanımladığı hizmet düzeyleri verilmiştir.

Çizelge 5.5 Gişe sahasında ortalama bekleme süresine bağlı olarak hizmet düzeyleri (Wanisubut, 1989)

Hizmet düzeyi	Ortalama bekleme süresi (saniye)
A	$\leq 5$
B	5.1 ve 15.0 arası
C	15.1 ve 30.0 arası
D	30.1 ve 60.0 arası
E	60.1 ve 180.0 arası
F	$>180.0$

Çizelge 5.5'de verilen hizmet düzeylerinin tanımları aşağıda verilmiştir:

A hizmet düzeyi: Sadece çok kısa kuyrukların oluştuğu bu hizmet düzeyinde müşteriler fiziksel ve psikolojik olarak en rahat koşullarda hizmet görürler.

B hizmet düzeyi: Önemli sayıda taşıt çok kısa bir süre için kuyrukta bekleyebilir. İstenen gişe şeridine zorlukla karşılaşmadan ulaşılabilir.

C hizmet düzeyi: Çok sayıda taşıt zamanın çoğunu kuyrukta bekleyerek geçirir. Gişe şeritleri arasında manevra yapmak zorlaşmaya başlar.

D hizmet düzeyi: Gişe sahasında ağır taşıtların bulunması durumunda, yüksek oranda taşıt gelişi ve uzun hizmet süreleri durumunda meydana gelir. Hemen hemen tüm taşıtlar kuyrukta bekler. Gişe seçimi esnasında manevra zorlukları gözlenir.

E hizmet düzeyi: Kabul edilen "ortalama bekleme süresi" için sınır düzeydir ve gişe sahasının kapasitesini temsil eder. Tüm taşıtlar kuyrukta bekler. Yaklaşan taşıtlar hizmet görecekları gişelerin seçiminde zorluk çeker.

F hizmet düzeyi: Tüm taşıtlar hizmet görmeden önce uzun kuyruklarda bekler. Kuyruk uzunlukları çok büyür ve gişe sahasına giriş bölgesinin dışına taşar. Manevra yapma olasılığı kısıtlardır.

Gişe sahasında hizmet düzeyleri ile ilgili ikinci bir çalışma Tzong-Shiou Woo (1990) tarafından yapılmıştır. Woo, hizmet düzeylerini Wanisubut gibi ortalama bekleme sürelerine göre değil, yoğunluğa ve hacim/kapasite oranına bağlı olarak belirlemiştir (Çizelge 5.6). (McDonald, 1999).

Çizelge 5.6 Yoğunluk ve hacim/kapasiteye bağlı hizmet düzeyleri (Woo, 1990)

Hizmet düzeyi	Yoğunluk (taşıt/km/şerit)	Yoğunluk (taşıt/mil/şerit)	Hacim/kapasite
A	$\leq 8$	$\leq 12$	0.24
B	$\leq 13$	$\leq 20$	0.40
C	$\leq 19$	$\leq 30$	0.57
D	$\leq 26$	$\leq 42$	0.74
E	$\leq 42$	$\leq 67$	1.00
F	$> 42$	$> 67$	-

### 5.5 Gişe Sahasında Trafik Özellikleri

Gişe sahasının trafik özellikleri ile ilgili olarak kesin yargılara varabilmek için sayısal analizler gerekmektedir. Geleneksel trafik modelleri trafiğin geniş bir yelpazede gösterdiği değişimi tam olarak ifade edememektedir. Bunun için benzetim modeli gibi daha esnek bir araca ihtiyaç vardır. (Dijk vd., 1999)

## Dinamik Denge

Gişе sahası tasarımı amacı, trafiği en az miktarda kesintiye uğratabilecek en küçük boyutlu gişе sahasını oluşturmaktır. Gişeye gelen trafikle gişenin kapasitesi arasında dinamik bir denge kurmak gereklidir (Polus ve Reshetnik, 1997). Trafiğin ve gişelerin sunduğu hizmetin rasgele doğaya sahip olması nedeniyle gişе sahasının planlanması oldukça karmaşık bir problemdir.

Gişе sahası planlamasında öncelikle “dinamik denge” kurulmalıdır. Dinamik dengenin anlamı, gişе sahasının açılıştan proje yılına kadar her yıl için talebi karşılar durumda olmasını sağlamaktır. Ayrıca, gereğinden fazla büyük veya küçük sahalardan kaçınılmalıdır.

Yeni bir gişе sahası planlanırken proje yılına ait trafik hacmini belirlemek için kullanılan üç yöntem vardır. Bunlardan biri, talep modeli, tür seçimi modeli ve atama modeli içeren büyük ölçekli bir ulaştırma planlaması yapmaktır. Bu yöntem zaman ve maliyet açısından pahalıdır. Bir diğer yöntemde, zirve saatte oluşan doğgun trafik hacmine göre gişе sahasının büyüklüğü ve gişelerin yerleri belirlenebilir. Bu yöntem mevcut ve beklenen talebin hemen hemen aynı olduğu metropolitan alanlarda daha çok uygulanmaktadır. Bir başka yöntem de gişе sahasına yaklaşımda olan şeritlerin kapasitelerinin farklı olması durumunda kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde geçmişteki büyüme oranı dikkate alınarak gelecekteki talep tahmin edilir. Bu sayede kısmen daha çabuk, daha kolay bir çalışma yapılabilir.

### 5.6 Gişе Sahası İçin Yer Seçimi

Trafiğin yol üzerinde kavşaklarda veya park yerlerinde bir darboğazla karşılaşmaması gereklidir. Bu yüzden altyapının sürücüler için rahat ve uygun olup olmadığı konusu önem taşır. Taşıtların güvenliği de erişilebilirlik kadar önemlidir. Demetlenmiş (gruplanmış) bir trafik akımı istenmez. Sürücülerin de gidecekleri yolu kolaylıkla bulabilmeleri sağlanmalıdır.

Bir gişе sahası tasarlanırken sahanın yerleşim yerinin belirlenmesi sırasında gözönünde bulundurulması ve karar verilmesi gereken noktalar aşağıda sıralanmıştır:

- Sahaya erişim kolaylığı,
- Gişelere erişim kolaylığı,
- Kirli hava, gürültü ve ışık etkisine maruz kalabilecek unsurlardan –örneğin evlerden- uzakta olması,
- Yeterli görüş mesafesi,

- Mevcut yol/geçiş olanağı,
- Topoğrafik açıdan uygunluk,
- Çevresel etkiler,
- Boyutların küçük tutulması,
- Gişe sayısı ve ödeme türleri,
- Destekleyici tesisler için yeterli alan bırakılması,
- Ödemenin çift yönlü veya tek yönlü olması,
- Gişelerin konumlarının belirlenmesi,
- Işıklandırmanın yerleştirilmesi,
- Gişeler için tiplerine bağlı olarak gerekli ekipmanlar,
- Güvenlik önlemleri,
- Gişelere erişim,
- Ne tür bilet toplanacağı,
- Çalışanlar için park yeri,
- Şerit düzenlemesi.

Yapılan araştırmalar sonucunda aşağıdaki konulara da özen gösterilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır:

- İzin verilen kuyruk uzunlukları,
- Proje (tasarım) taşıtının boyutları,
- Gelecekte gerekecek genişleme ihtiyaçları,
- Arazi koşulları,
- Uygulama ve güvenlik ölçütleri. (Mc Donald, 1999)

### 5.7 Gişelerin Yerleşim Planı

En uygun gişe sahası büyüklüğü ve gişelerin tiplerine göre en uygun şekilde yerleştirilmesi işletme verimliliğini etkiler. Gereğinden küçük boyutlu bir gişe sahası yeterli hizmet düzeyine sahip olamayacağından uzun kuyrukların oluşmasına neden olacaktır. Gişe sahasının gereğinden büyük olması alan, inşaat veya işletme giderleri gibi kaynakların gereksiz olarak

fazla harcanmasına neden olur. Elektronik geçiş sisteminin bulunduğu gişelerin sayısı ile ilgili karar gişe sahası yöneticileri tarafından mevcut tüm sistem düşünülerek belirlenmelidir. (Polus, 1998)

Chao'ya (-) göre, gişelerin tiplerine bağlı olarak sahaya yerleştirilmesi sürecinde, sahaya yaklaşan taşıt sürücülerinin davranışları incelenmelidir.

Gişe yerleşim tasarımındaki problem, taşıtların gişelere yaklaşırken birbirlerini etkilemesidir. Bu problem sürücülerin işlerini zorlaştırması ve diğer psikolojik etkileri dışında ayrıca, sürücülerin bekleme sürelerini de uzatmaktadır. Bu yüzden dört tip gişenin OGS gişeleri başta olmak üzere soldan sağa yerleştirilmesi uygundur. Bunun sonucunda her tip taşıt kendisine ait kısma gişe sahasına varmadan yönlendirilecektir. Taşıt çatışmalarının önlenmesi sadece sürücülere kolaylık sağlamakla kalmayıp, kazalara engel olacağından, gişe sahasını daha güvenli hale getirecektir.

Karar verilecek konulardan biri de OGS kullanan taşıtlara hizmet verecek olan gişelerin sayısı ve yerleşimidir. İlk aşamada OGS taşıtlarının sadece kendileri için ayrılmış olan gişeler tarafından mı, yoksa karışık hizmet veren gişeler tarafından mı hizmet göreceği konusunda karar verilmelidir. Eğer sadece kendilerine ayrılmış gişeler tarafından hizmet göreceklese, hesaplanan gişe sayısı bir üst rakama yuvarlanmalıdır. Ancak bu durum hizmet düzeyini artırırken kaynakların verimli kullanılamamasına neden olacaktır. Eğer OGS taşıtları karışık hizmet veren gişeler tarafından da hizmet göreceklese hesaplanan gişe sayısı bir alt rakama yuvarlanmalıdır. Bu son görüş gişe sahası için daha verimli bir seçimdir. Gişelerin yerleşim planı yapılırken üç aşama izlenmelidir (Polus, 1998). Bunlar;

- Veri toplama aşaması,
- Başlangıç çalışması,
- Detaylı çalışma aşamalarıdır.

### **Veri toplama aşaması**

Veri toplama aşaması 4 ana başlığa sahiptir.

- Sahanın ve gişe şeritlerinin geometrisi,
- Her tür gişeye ait hacim bilgileri,
- Gişe sahasına yaklaşan şeritlere ait tahmini akım oranı, taşıt kompozisyonu ve büyüme modeli,

- OGS kullanan taşıt oranları ve OGS taşıtlarına ait büyüme modeli, veri toplama aşamasında çalışılması gereken bilgilerdir.

### **Başlangıç çalışması**

Başlangıç aşamasında aşağıdaki konularla ilgilenilir:

- OGS gişelerinin sayısının belirlenmesi,
- OGS kullanım hacminin belirlenmesi,
- Klasik ödeme yapan taşıtların akım oranının hesaplanması,
- Karışık-klasik hizmet veren gişelerin sayısının belirlenmesi (bu sayı en yakın üst tamsayıya yuvarlanır),

### **Detaylı çalışma**

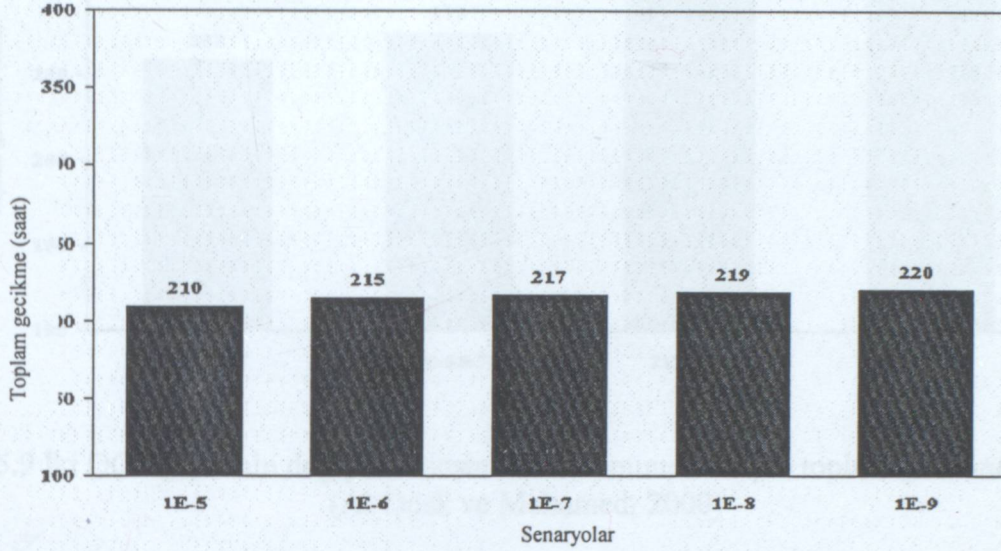
Gişe sayısının kesin değerini belirlerken bir benzetim programı kullanılmalıdır. Programda ilk yaklaşık değerler olarak başlangıç aşamasında bulunan gişe sayısı değerleri kullanılmalıdır. Program için gerekli girdiler: Yaklaşan akım oranı, akıma ait istatistiksel dağılım, ağır taşıtların oranı, OGS sistemini kullanan taşıtların oranı, klasik gişeleri kullanan taşıtların oranı ve her taşıta ait hizmet sürelerinin dağılımı bilinmelidir. (Polus, 1998)

Otomatik geçiş sistemine sahip gişe sahalarında OGS gişelerinin sahanın sol veya sağ kısmına yerleştirilmesi önerilmektedir. Bu ayırım yüksek hıza sahip taşıtların diğer trafikle etkileşimini önleyecektir. OGS gişelerini gişe sahasının sol tarafına yerleştirmek yüksek hıza sahip taşıtları sahanın sol kısmına çekecektir. Bu durum sol şeritin yüksek hıza sahip taşıtlar tarafından kullanılması sayesinde otoyol trafiği ile de uyum içinde olacaktır. Düşük hızlı taşıtlar ve ağır vasıtalar genelde sağ şeriti kullanmaktadır. Bu düzeni gişe sahası içinde de korumak sürücülere tutarlı bir sistem sunacaktır. Gişe sahası işletmecilerinin yaklaşık %92'si de bu fikre katılmaktadır. (McDonald, 1999)

TPSIM yardımıyla OGS gişelerinin yerleşimi için değişik senaryolar denenmiştir. Bu denemeler sonucunda OGS gişelerinin gişe sahasına yerleşimi ile ilgili üç farklı seçenek belirlenmiştir. Bunlar 1 OGS gişesi, 2 OGS gişesi ve 3 OGS gişesinin kullanılmasıdır. Çalışma sonucunda OGS gişelerinin yerleşiminde en önemli faktörün OGS kullanan taşıtların yaklaşım alanından OGS gişelerine erişebilirliği olduğu belirtilmiştir.

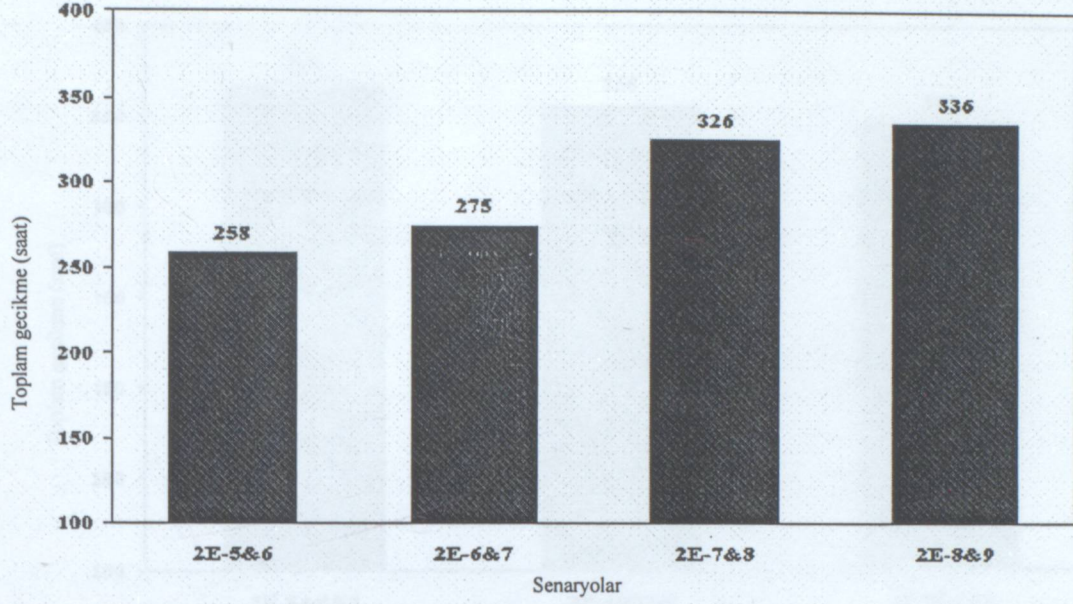
Tek OGS gişesi kullanılması durumunda gişenin ortaya veya sola yerleştirilmesinin fark etmediği görülmüştür. Şekil 5.8'de 9 gişe şeritli bir sahada bir OGS gişesinin sırasıyla 5, 6, 7,

8 ve 9 nolu gişelere yerleştirilmesi sonucunda meydana gelen toplam gecikme değerleri verilmiştir. OGS gişesinin orta kısımdan sola doğru ilerlemesi sonucunda %5 gibi çok büyük olmayan bir gecikme artışı olmuştur (Al-Deek ve Mohamed, 2000).

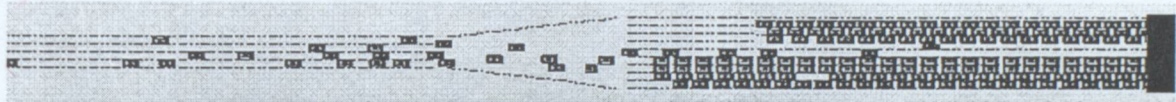


Şekil 5.8 Bir OGS gişesinin değişik yerleşimleri durumunda oluşan toplam gecikme değerleri (Al-Deek ve Mohamed, 2000)

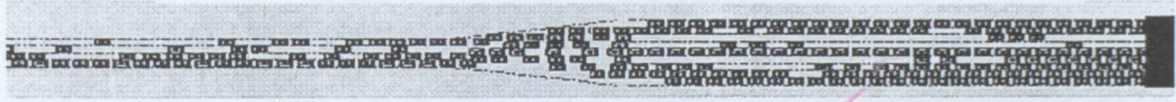
İki OGS gişesi kullanılması durumunda gişe yerleşimi ve toplam gecikme ilişkisi Şekil 5.9'da verilmiştir. İki OGS gişesi 9 gişe şeritine sahip bir gişe sahasında sırasıyla, 5 ve 6, 6 ve 7, 7 ve 8, 8 ve 9 nolu gişelere yerleştirilmiştir. Gişelerin sahanın orta kısmından sol kısmına doğru ilerlemesi, toplam gecikme değerinin % 30 gibi büyük bir oranda artmasına neden olmuştur. Bunun nedeni ortada bulunan OGS gişelerine tüm şeritlerden gelen taşıtların erişim kolaylığının olmasıdır. OGS gişelerinin orta kısımda bulunduğu bir gişe sahasında klasik ve otomatik gişelerin kuyrukları uzayacak ve yaklaşım alanına ulaşacaktır. Ancak bu durum erişebilirliği etkilemeyecektir (Şekil 5.10.a). Ancak OGS gişeleri sahanın sol tarafına kaydırıldıkça taşıtların sahaya giriş serbestliği azalmaktadır (Şekil 5.10.b ve 5.10.c). Gişe sahasının en sol tarafına yerleştirilen iki OGS gişesine erişmek isteyen taşıtlar, diğer ödeme tipini kullanan taşıt kuyrukları sebebiyle erişimde zorluk çekmektedir (Şekil 5.10.d)



Şekil 5.9 İki OGS gişesinin değişik yerleşimleri durumunda oluşan toplam gecikme değerleri (Al-Deek ve Mohamed, 2000)



a) 2 OGS gişesi 5 ve 6 nolu gişe yerlerinde



b) 2 OGS gişesi 6 ve 7 nolu gişe yerlerinde



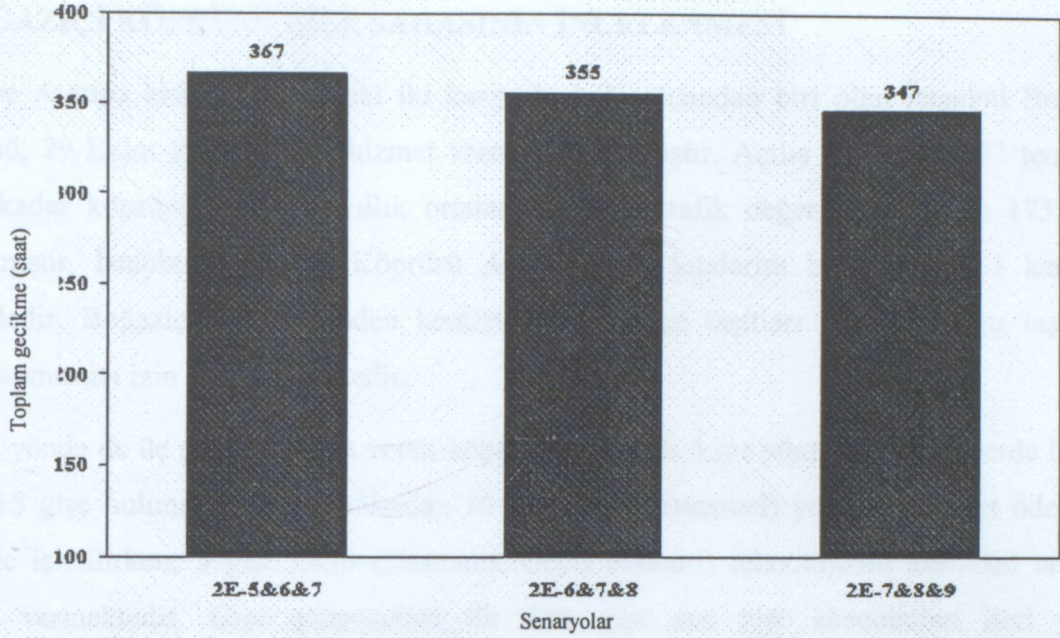
c) 2 OGS gişesi 7 ve 8 nolu gişe yerlerinde



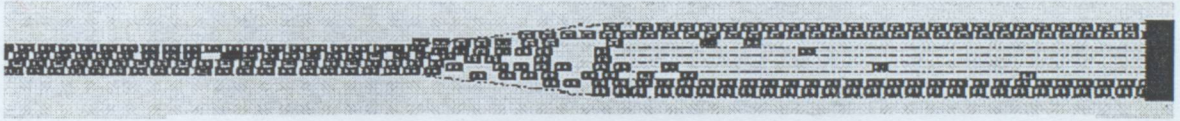
d) 2 OGS gişesi 8 ve 9 nolu gişe yerlerinde

Şekil 5.10 TPSIM'den iki OGS gişesinin yerleşimi ile ilgili bir görüntü (Al-Deek ve Mohamed, 2000)

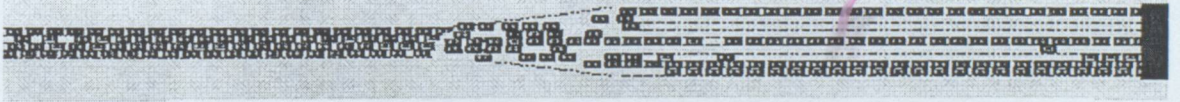
Üç OGS gişesinin kullanımı durumunda ise OGS gişelerinin sahanın orta veya sol tarafına yerleştirilmesi çok büyük değişikliklere sebep olmamaktadır (Şekil 5.11 ve Şekil 5.12).



Şekil 5.11 Üç OGS gişesinin değişik yerleşimleri durumunda oluşan toplam gecikme değerleri (Al-Deek ve Mohamed, 2000)




a) 3 OGS gişesi 5, 6 ve 7 nolu gişe yerlerinde





b) 3 OGS gişesi 6, 7 ve 8 nolu gişe yerlerinde



c) 3 OGS gişesi 7, 8 ve 9 nolu gişe yerlerinde

 Klasik ödeme yapan taşıtlar

 Otomatik ödeme yapan taşıtlar

 OGS ile ödeme yapan taşıtlar

Şekil 5.12 Üç OGS gişesinin değişik yerleşimleri durumunda gişe sahasından görüntüler (Al-Deek ve Mohamed, 2000)

## 6.1 Gişe Sahası Trafik Analizi

### 6. BOĞAZIÇI KÖPRÜSÜ GİŞE SAHASININ İNCELENMESİ

Asya ve Avrupa kıtaları arasındaki iki karayolu bağlantısından biri olan İstanbul Boğaziçi Köprüsü, 29 Ekim 1973 yılında hizmet vermeye başlamıştır. Açılış yılı olan 1973'ten 2002 yılına kadar köprüyü kullanan yıllık ortalama günlük trafik değeri 26.926'dan 173.938'e yükselmiştir. İstanbul Boğaziçi Köprüsü Asya-Avrupa kıtalarını birleştiren O-1 karayolu üzerindedir. Boğaziçi Köprüsü'nden kentiçi toplu ulaşım taşıtları dışındaki ağır taşıtların geçiş yapmasına izin verilmemektedir.

Her iki yönde de üç şeritle hizmet veren köprü'nün Avrupa-Asya yönündeki geçişlerde hizmet veren 15 gişe bulunmaktadır. Bunlardan 10 gişe klasik (manuel) yöntemle, ücret ödenmesi şeklinde işletilirken; 5 gişe OGS (Otomatik Geçiş Sistemi) teknolojisini kullanan taşıtlara hizmet vermektedir. Gişe sahasındaki ilk dört gişe ana gişe ekseninden ileri yönde ötelenmiştir (Şekil 6.1)



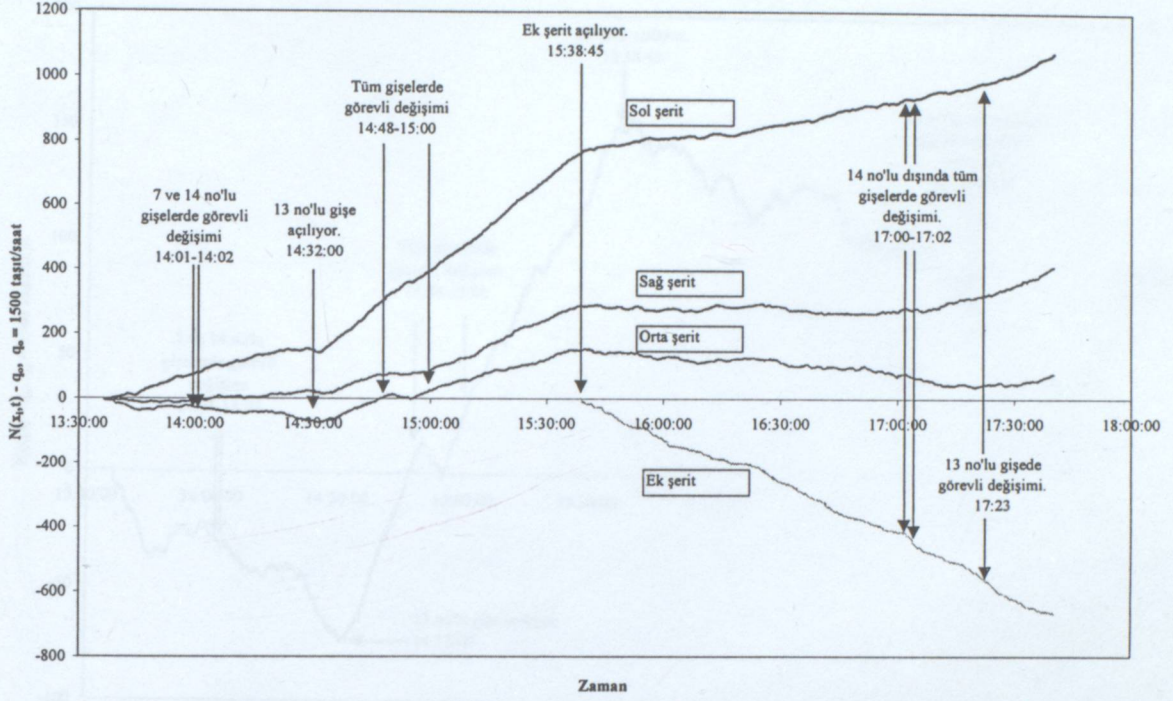
Şekil 6.1 Boğaziçi Köprüsü gişe sahasından genel bir görünüş

## 6.1 Giş e Sahası Trafik Analizi

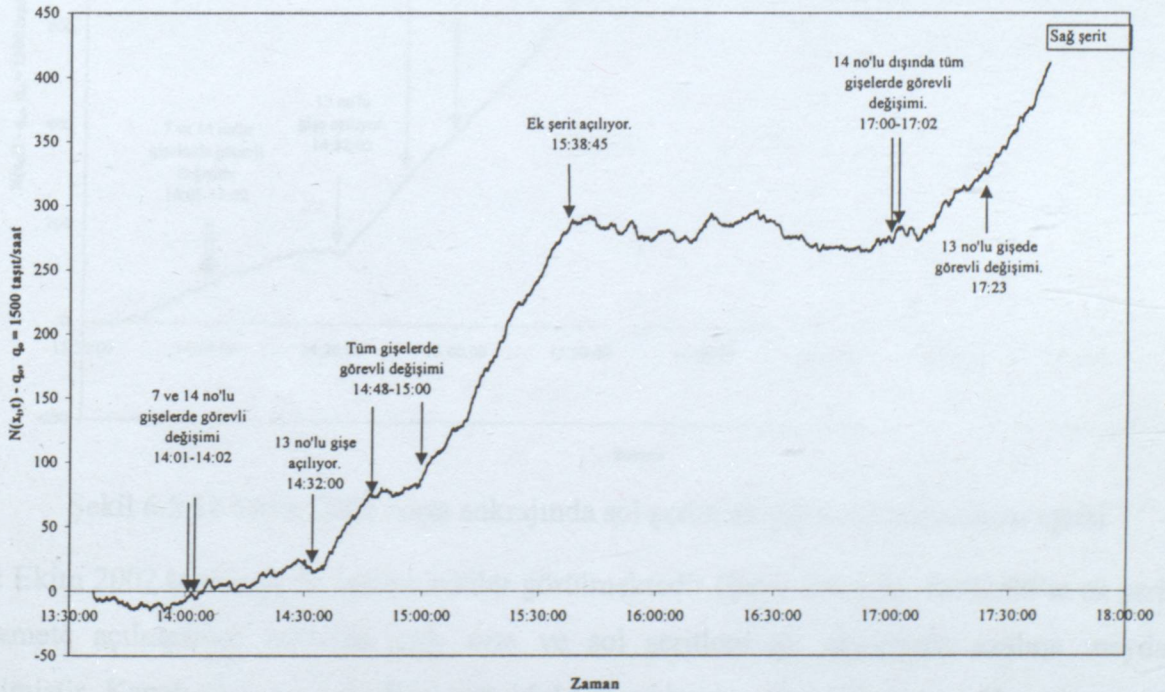
Boğaziçi Köprüsü giş e sahasında performansı etkileyen etmenlerin/faktörlerin incelenmesi için 18, 22 ve 23 Ekim 2002 tarihlerinde, Boğaziçi Köprüsü Asya Ankrajı kesitinde ş erit bazında yapılan taşı t sayımlarından yararlanılmıştır. Sayımlarda elde edilen veriler kullanılarak ölçeklendirilmiş yığı ş ımlı taşı t sayısı eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler aracılığıyla giş e sahasına yaklaş an trafik akımlarındaki değ iş imler incelenmiştir. Bu değ iş imlere neden olan etmenler, şöyle sıralanabilir:

- Ek ş eritin hizmete aç ılması,
- Kapalı giş elerin hizmete aç ılması ve
- Giş e memurlarının performansı.

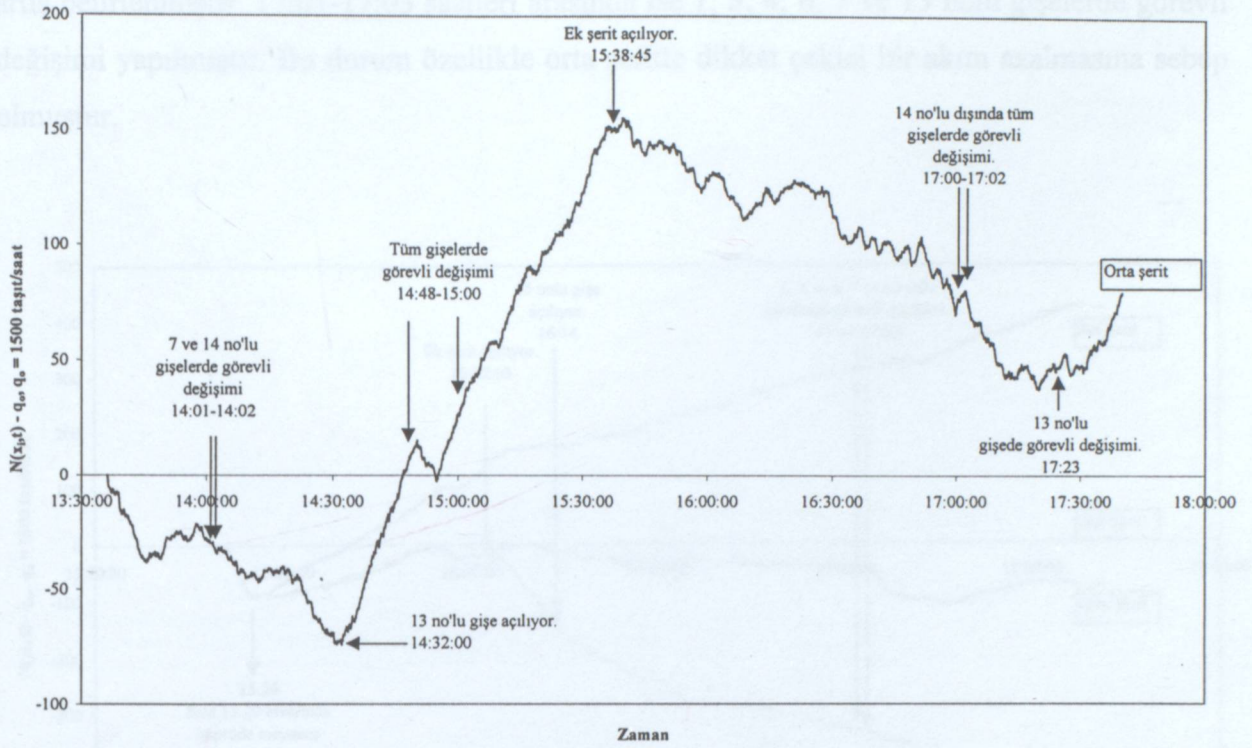
Ş ekil 6.2-6.5'de 18 Ekim 2002 gününe ait sağ , orta, sol ve ek ş eritlere ait ölçeklendirilmiş yığı ş ımlı taşı t sayısı eğrileri görölmektedir ( $q_0=1500$  tş /sa). Yukarıda sıralanmış etmenlerin bazı etkileri eğriler üzerinde görölebilmektedir. Sırasıyla ele alınırsa; 14:32:00'de 13 nolu giş enin hizmete aç ılması ile ş erit akımlarında dikkat çekici bir artış başlamıştır. 14:48-15:00 saatleri arasında, tüm giş elerde görev değ iş imi yapılmıştır. Bu da eğrilerde gözle görö lür bir dalgalanma ve ş erit akımlarında kısmi azalma oluşturmuştur (Ş ekil 6.3-6.5). Ardından 15:38:45'de ek ş erit hizmete aç ılmıştır. Ek ş eritin aç ılmasıyla birlikte 1500 tş /sa'ten büyük bir akım değ erine sahip olduğ u görö len ş erit akımlarında ani bir azalma meydana gelmiştir. 17:00-17:02 ve 17:23 saatlerinde görevliler tekrar değ iş miştir. Bu olayın da kısmi dalgalanmalara neden olduğ u görölmektedir.



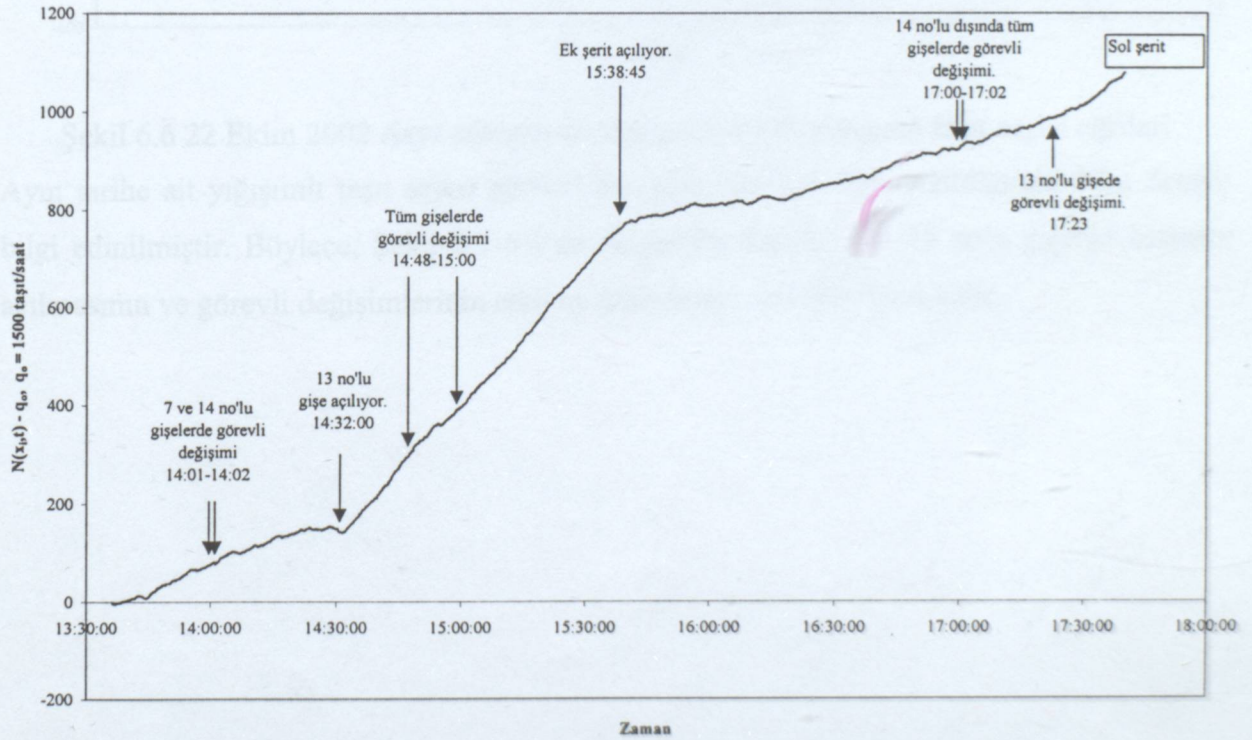
Şekil 6.2 18 Ekim 2002 Asya ankrasında tüm şeritlere ait yığışimli taşıt sayısı eğrileri 18 Ekim 2002 tarihi için Asya ankrasındaki sağ, orta ve sol şeritler, sırasıyla, Şekil 6.3, 6.4 ve 6.5'de ayrı ayrı incelenmiştir. Şekil 6.2'deki eğrilerde gözlenen dalgalanma ve değişimler, şeritler tek tek incelendiğinde daha belirginleşmiştir. 13 nolu gişenin ve ek şeritin hizmete açılması her üç şeritteki akımları gözle görülür biçimde etkilemiştir. Gişe memurlarının değişimi ise özellikle sağ ve orta şerit akımları üzerinde etkili olmuştur.



Şekil 6.3 18 Ekim 2002 Asya ankrasında sağ şerite ait yığışimli taşıt sayısı eğrisi



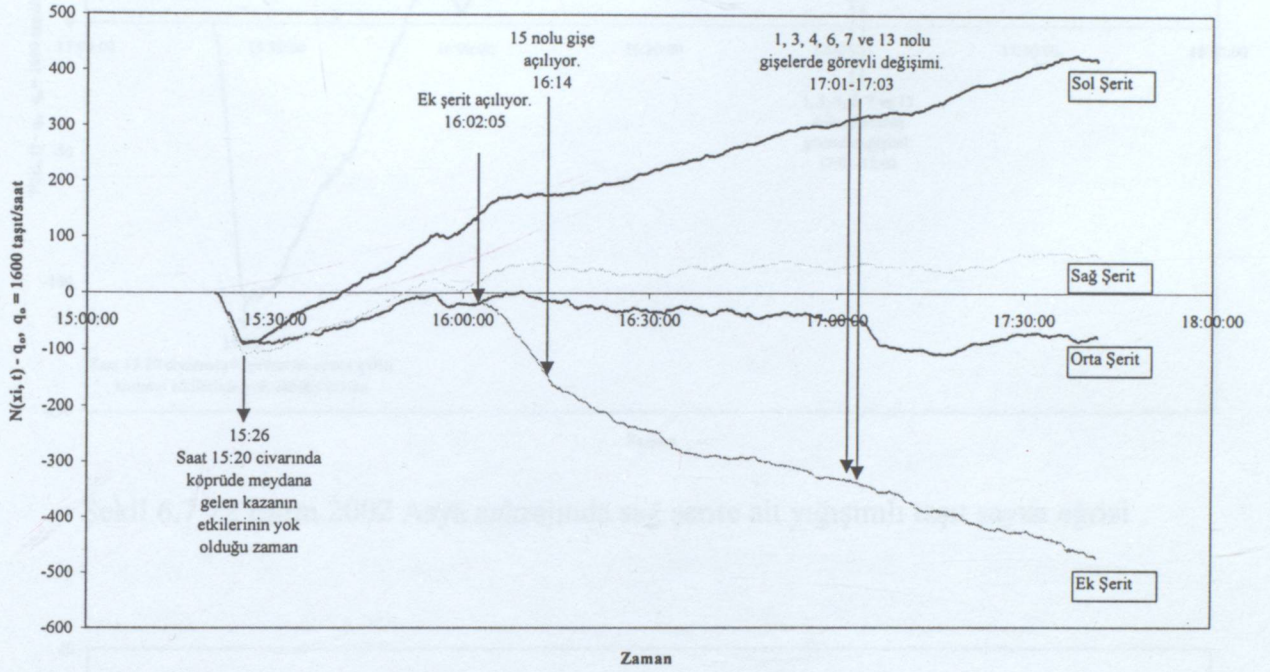
Şekil 6.4 18 Ekim 2002 Asya ankrasında orta şerite ait yığışımlı taşıt sayısı eğrisi



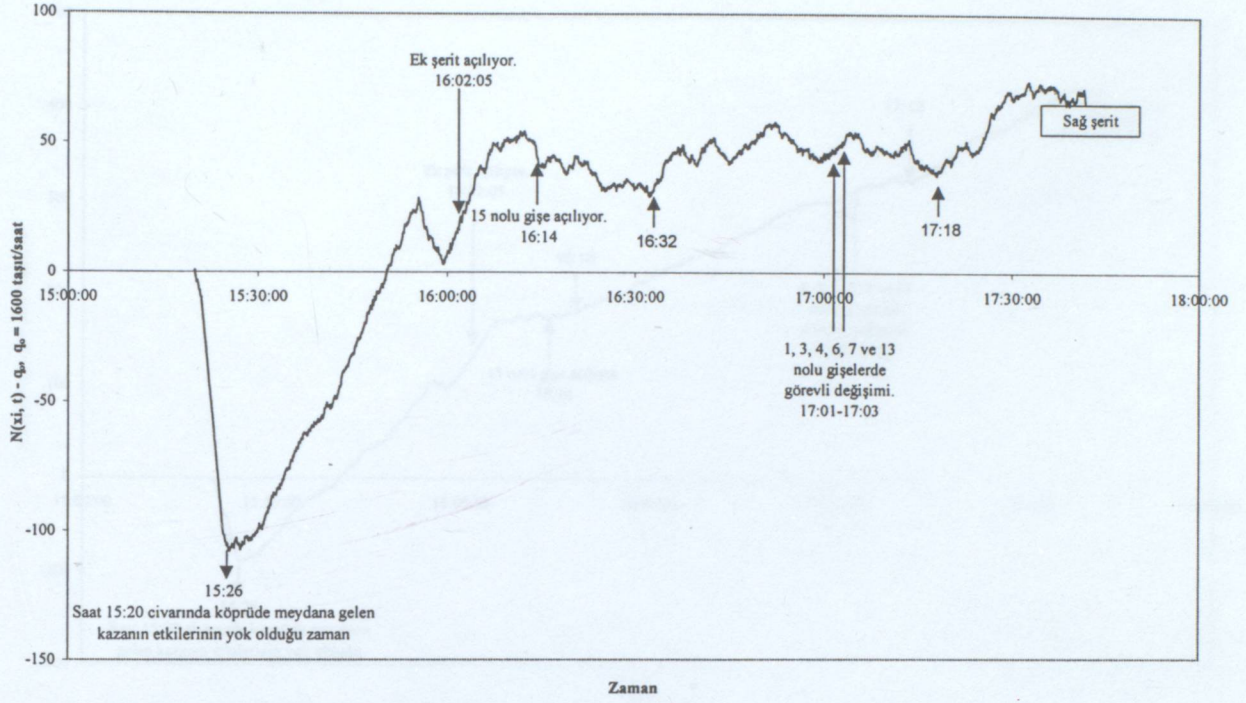
Şekil 6.5 18 Ekim 2002 Asya ankrasında sol şerite ait yığışımlı taşıt sayısı eğrisi

22 Ekim 2002 tarihinde de benzer etkiler görülmektedir (Şekil 6.6-6.9). 16:02:05'te ek şeritin hizmete açılmasının ardından sağ, orta ve sol şeritlere ait akımlarda azalma meydana gelmiştir. Kapalı olan 15 nolu gişe saat 16:14'te açılmıştır. Genelde sol ve ek şeritten gelen taşıtlara hizmet vermekte olan 15 nolu gişenin açılmasıyla, sol ve ek şeritlere ait akımlarda

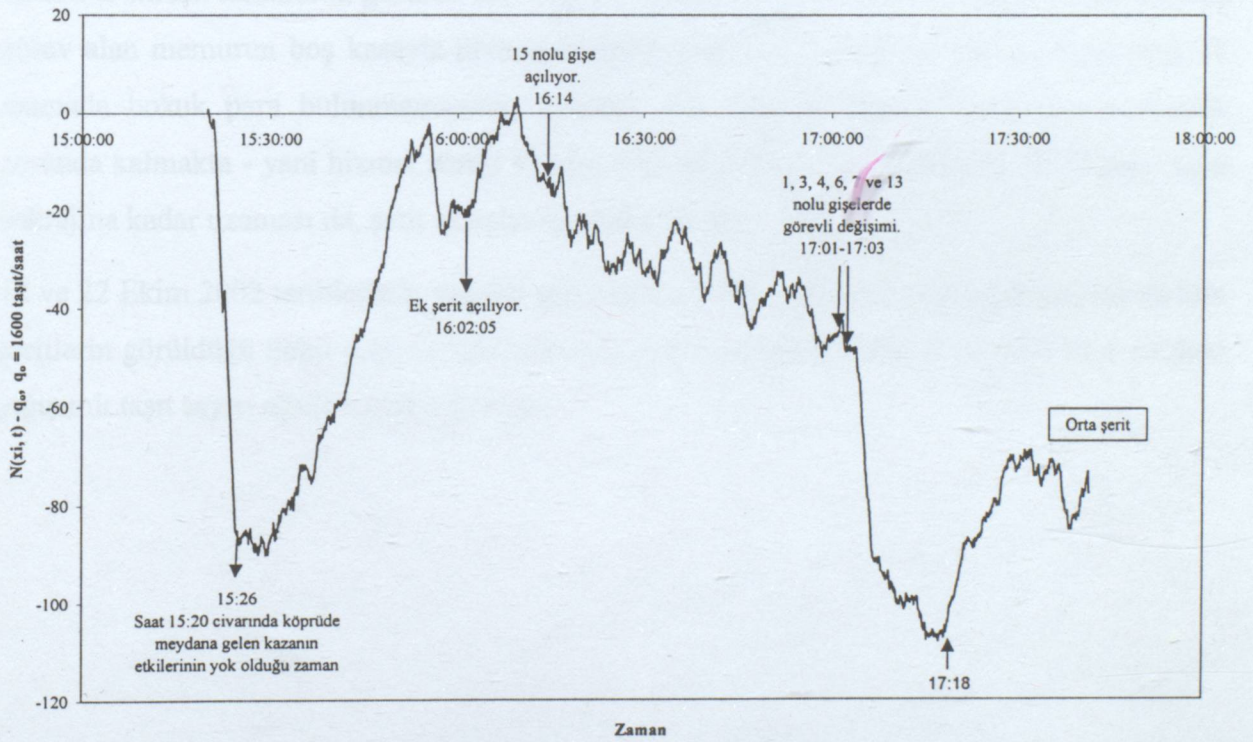
artış belirlenmiştir. 17:01-17:03 saatleri arasında ise 1, 3, 4, 6, 7 ve 13 nolu gişelerde görevli değişimi yapılmıştır. Bu durum özellikle orta şeritte dikkat çekici bir akım azalmasına sebep olmuştur.



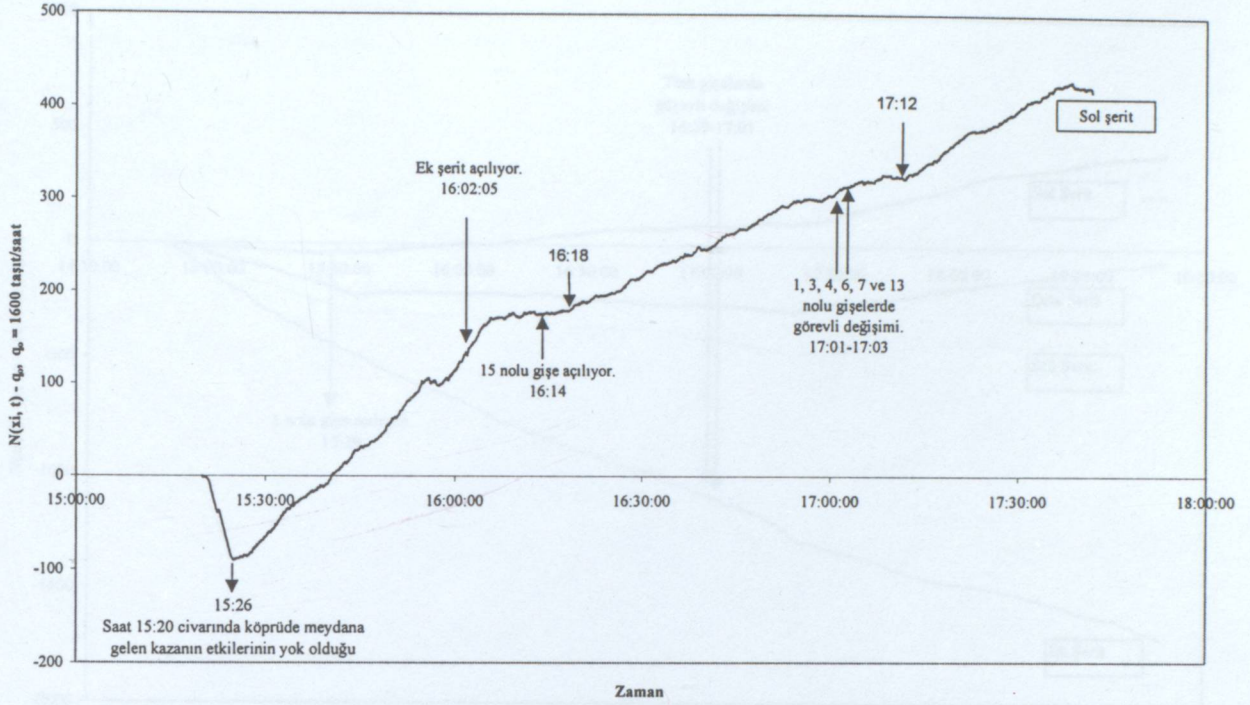
Şekil 6.6 22 Ekim 2002 Asya ankrasında tüm şeritlere ait yığışlı taşıt sayısı eğrileri Aynı tarihe ait yığışlı taşıt sayısı eğrileri her şerit için ayrı ayrı çizildiğinde daha detaylı bilgi edinilmiştir. Böylece, Şekil 6.7-6.9'da ek şeritin, kapalı olan 15 nolu gişenin hizmete açılmasının ve görevli değişimlerinin etkileri daha detaylı görülebilmektedir.



Şekil 6.7 22 Ekim 2002 Asya ankrasında sağ şerite ait yığışlı taşıt sayısı eğrisi

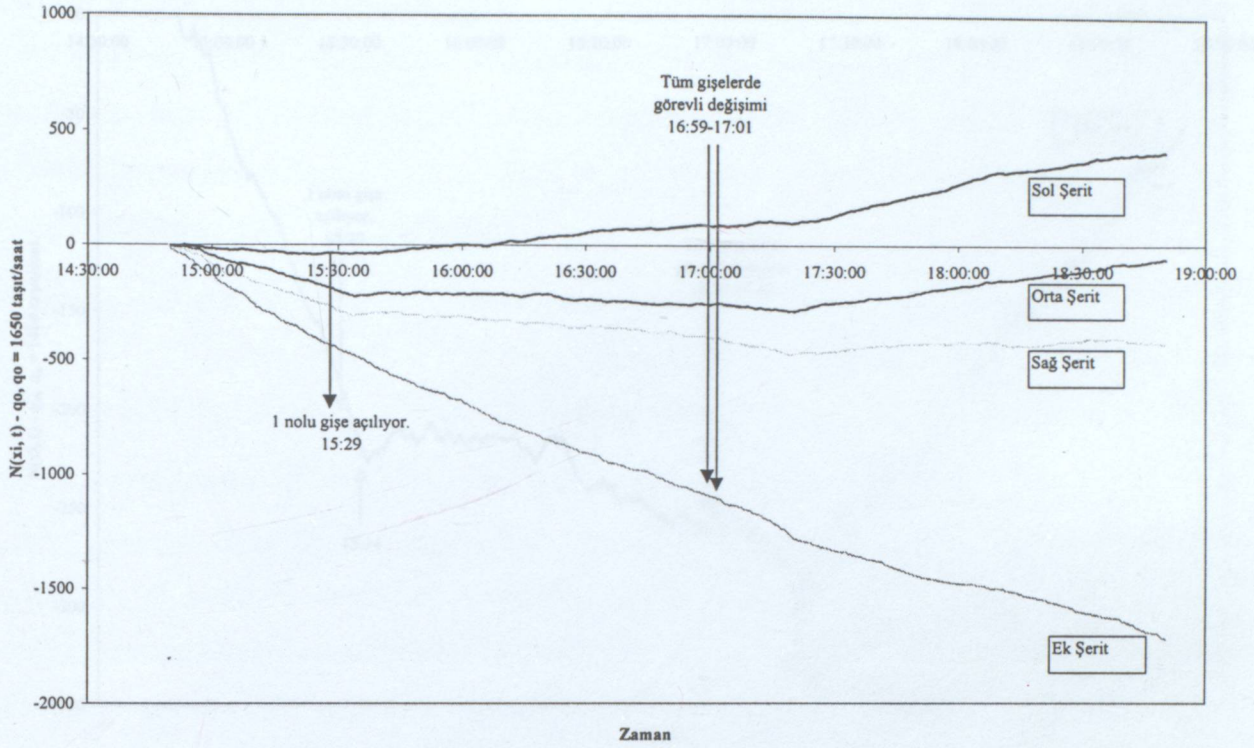


Şekil 6.8 22 Ekim 2002 Asya ankrasında orta şerite ait yığışlı taşıt sayısı eğrisi

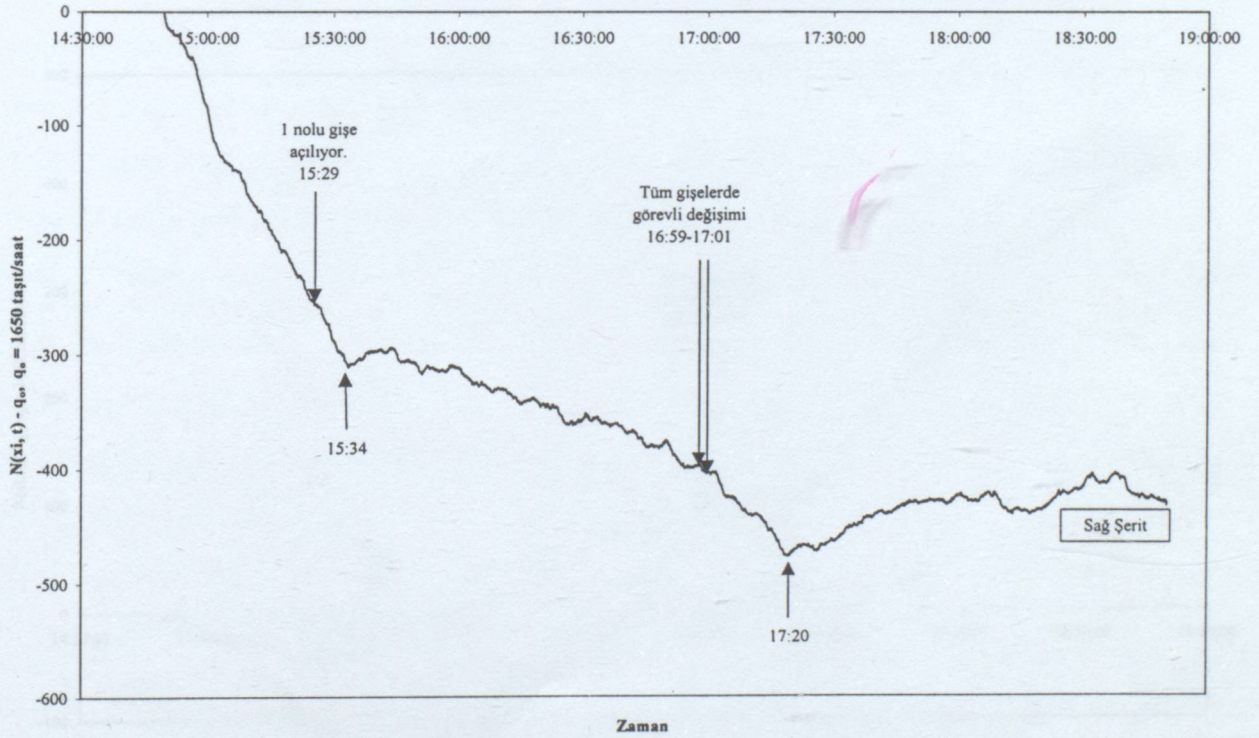


Şekil 6.9 22 Ekim 2002 Asya ankrasında sol şerite ait yığılımlı taşıt sayısı eğrisi Şekillerde görülen önemli bir özellik kapalı gişenin açılması ve görevli değişimi saatlerinin hemen ardından akımlarda görülen ani ve geçici azalmalardır. Bunun ana sebebi, gişede yeni görev alan memurun boş kasayla hizmet vermeye başlaması, diğer bir deyişle kasasında ilk aşamada bozuk para bulunmamasıdır; böylece, gişe önünde taşıtlar uzun süre beklemek zorunda kalmakta - yani hizmet süresi ve gişe önündeki kuyruk uzamaktadır. Kuyruğun Asya ankrasına kadar uzaması da, şerit akımlarını azaltmaktadır.

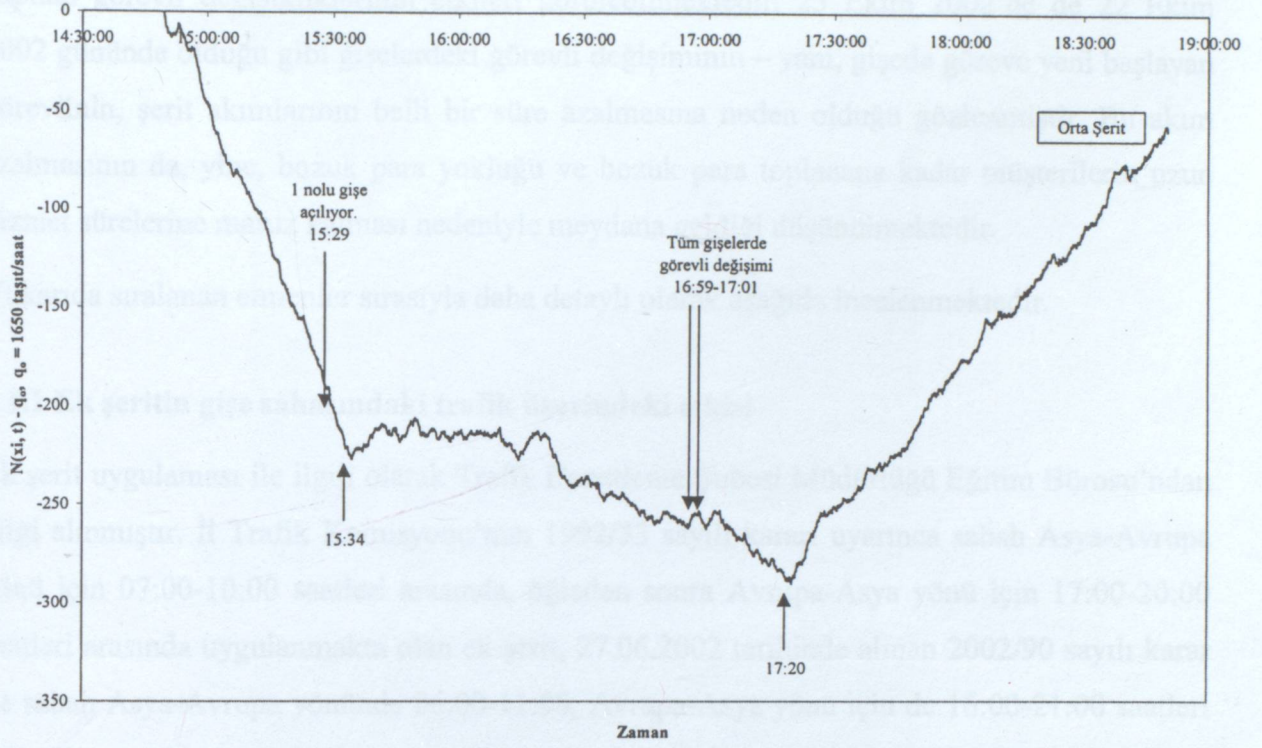
18 ve 22 Ekim 2002 tarihlerinde yapılan çalışmalar 23 Ekim 2002 için de tekrarlanmış ve tüm şeritlerin görüldüğü Şekil 6.10 ve şeritlerin ayrı ayrı incelendiği Şekil 6.11, 6.12 ve 6.13'deki yığılımlı taşıt sayısı eğrileri elde edilmiştir.



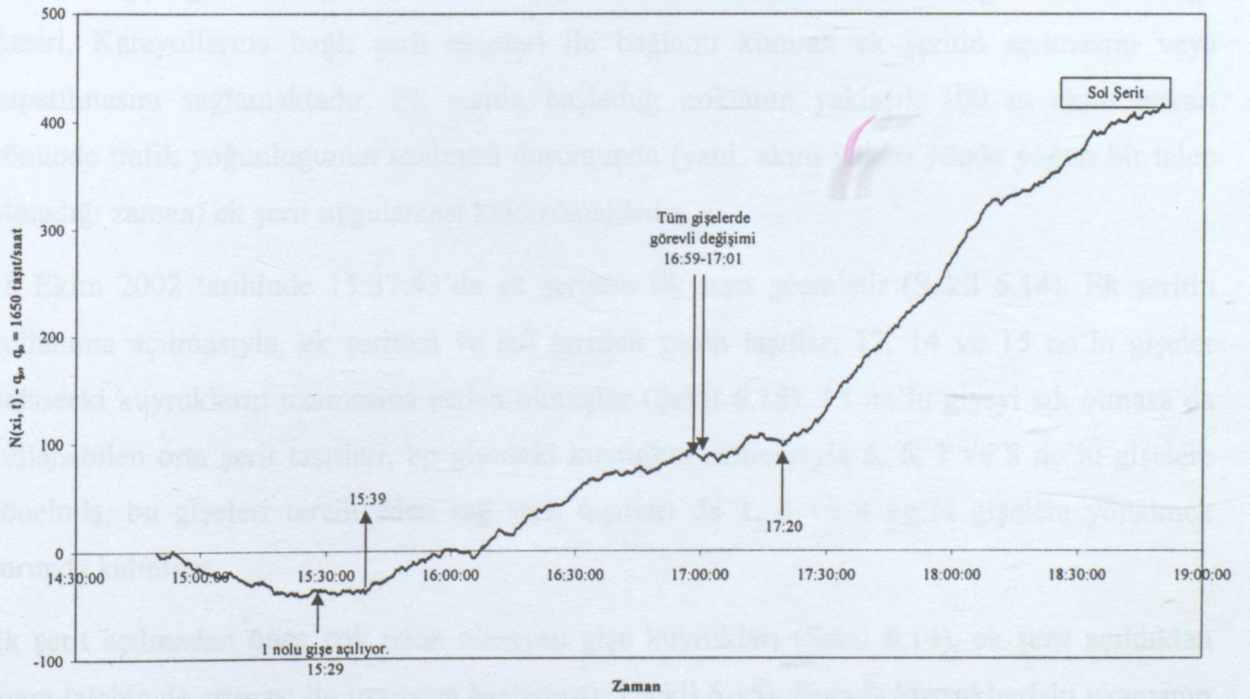
Şekil 6.10 23 Ekim 2002 Asya ankrasında tüm şeritlere ait yığışimli taşıt sayısı eğrileri



Şekil 6.11 23 Ekim 2002 Asya ankrasında sağ şerite ait yığışimli taşıt sayısı eğrisi



Şekil 6.12 23 Ekim 2002 Asya ankrajında orta şerite ait yığışımlı taşıt sayısı eğrisi



Şekil 6.13 23 Ekim 2002 Asya ankrajında sol şerite ait yığışımlı taşıt sayısı eğrisi

Şekil 6.10, 6.11, 6.12 ve 6.13'de önceki günlere ait etkilenmeler gözlenmektedir. İnceleme yapılan saatler arasında ek şeritin açık olması, ek şeritin başlangıç etkilerinin gözlenmesini engellemiştir. Ancak kapalı olan 1 nolu gişenin açılmasının ve 16:59-17:01 saatleri arasında

yapılan görevli değişikliklerinin etkileri görülebilmektedir. 23 Ekim 2002'de de 22 Ekim 2002 gününde olduğu gibi gişelerdeki görevli değişiminin – yani, gişede göreve yeni başlayan görevlinin, şerit akımlarının belli bir süre azalmasına neden olduğu gözlenmiştir. Bu akım azalmasının da, yine, bozuk para yokluğu ve bozuk para toplanana kadar müşterilerin uzun hizmet sürelerine maruz kalması nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir.

Yukarıda sıralanan etmenler sırasıyla daha detaylı olarak aşağıda incelenmektedir.

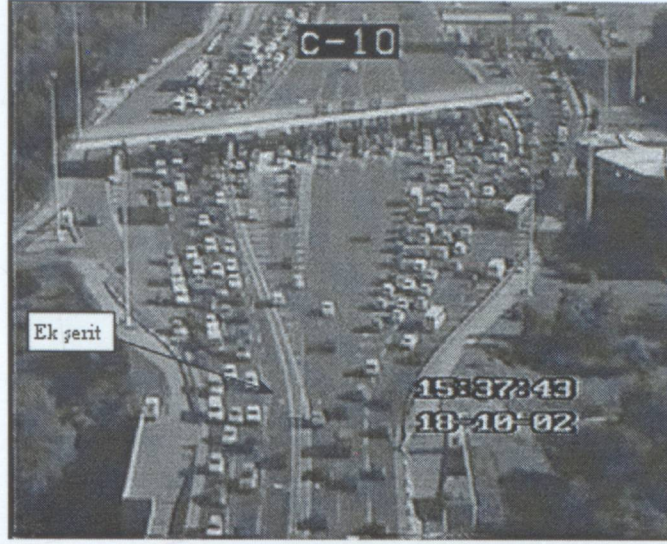
### 6.1.1 Ek şeritin gişe sahasındaki trafik üzerindeki etkisi

Ek şerit uygulaması ile ilgili olarak Trafik Denetleme Şubesi Müdürlüğü Eğitim Bürosu'ndan bilgi alınmıştır. İl Trafik Komisyonu'nun 1992/33 sayılı kararı uyarınca sabah Asya-Avrupa yönü için 07:00-10:00 saatleri arasında, öğleden sonra Avrupa-Asya yönü için 17:00-20:00 saatleri arasında uygulanmakta olan ek şerit, 27.06.2002 tarihinde alınan 2002/90 sayılı karar ile sabah Asya-Avrupa yönünde 06:00-11:00, Avrupa-Asya yönü için de 16:00-21:00 saatleri arasında uygulanmaya başlamıştır. Günün şartlarına göre (milli maç olması, trafik kazası olması, vd.) bu süreler değişebilmektedir.

Alınan bilgiye göre, trafiğin durumunu izleyen trafik ekipleri tarafından bilgilendirilen Bölge Amiri, Karayollarına bağlı şerit ekipleri ile bağlantı kurarak ek şeritin açılmasını veya kapatılmasını sağlamaktadır. Ek şeritin başladığı noktanın yaklaşık 100 m akım yukarı yönünde trafik yoğunluğunun azalması durumunda (yani, akım yukarı yönde yoğun bir talep olmadığı zaman) ek şerit uygulaması kaldırılmaktadır.

18 Ekim 2002 tarihinde 15:37:43'de ek şeritten ilk taşıt geçmiştir (Şekil 6.14). Ek şeritin kullanıma açılmasıyla, ek şeritten ve sol şeritten gelen taşıtlar, 13, 14 ve 15 no'lu gişeler önündeki kuyrukların uzamasına neden olmuştur (Şekil 6.15). 13 no'lu gişeyi sık olmasa da kullanabilen orta şerit taşıtları, bu gişedeki kuyruğun uzamasıyla 5, 6, 7 ve 8 no'lu gişelere yönelmiş, bu gişeleri tercih eden sağ şerit taşıtları da 1, 3 ve 4 no'lu gişelere yönelmek zorunda kalmıştır.

Ek şerit açılmadan önce çok uzun olmayan gişe kuyrukları (Şekil 6.14), ek şerit açıldıktan sonra talebin de artması ile uzamaya başlamıştır (Şekil 6.15). Burada kuyruklardaki uzamanın sebeplerinden biri de 14 no'lu gişenin 15:34:10 - 15:40:55 saatleri arasında hizmet vermemesidir.



Şekil 6.14 18 Ekim 2002 tarihinde ek şeriti açma çalışmaları



Şekil 6.15 18 Ekim 2002 tarihinde ek şerit açıldıktan sonra gişe sahasının durumu 22 Ekim 2002'de ek şeritin diğer şeritlere olan etkileri yığışımlı taşıt sayısı eğrileriyle de daha önce incelenmişti (Şekil 6.6-6.9). Şekil 6.16 ve 6.17'de, ayrıca, gişe sahasının ek şeritin açıldığı saat olan 16:02:05'ten önceki ve sonraki durumunu gösteren resimler verilmiştir



Şekil 6.16 22 Ekim 2002 tarihinde ek şerit açılmadan önce gişe sahasının durumu

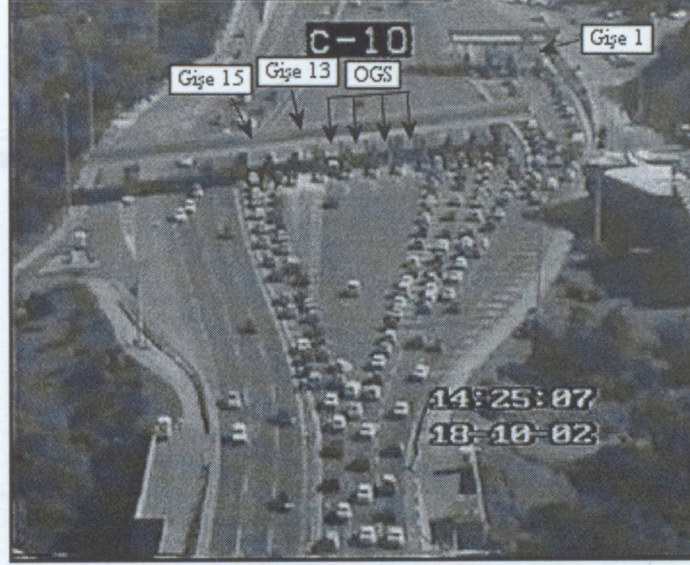


Şekil 6.17 22 Ekim 2002 tarihinde ek şerit açıldıktan sonra gişe sahasının durumu

Ek şeritin açılmasının akımın azalmasına neden olduğu açıkça görülmektedir. Ek şerit kısa bir süre için de olsa Beşiktaş katılımindan itibaren üç şerit içinde sıkışmış olan trafiği dört şerite dağıtarak belirli bir rahatlama sağlamaktadır. Ek şerit ile birlikte dört şeritten gelmeye başlayan trafik, gişe sahasına ulaştığında ise gişe havuzunda (sahasında) yığılmaya neden olmaktadır. Artan talebin karşılanması ancak gişe sahasındaki hizmetin artması ile olanaklıdır. Ancak ek şerit açıldıktan sonra, gişelerde herhangi bir hizmet artışı söz konusu değildir (gişe kapasiteleri sabittir). Bu da dört şeritten gişe sahasına giren taşıtların gişe havuzu içinde birikmesine neden olmaktadır. Gişe havuzu içinde oluşan bu birikme (kuyruklarda uzama) ise geriye doğru bir dalga şeklinde yayılmaktadır.

### 6.1.2 Kapalı gişelerin gişe sahasındaki trafik üzerindeki etkisi

18 Ekim 2002 tarihine ait yığılımlı taşıt sayısı eğrisinde 14:32:00'den itibaren şerit akımlarında ani bir artış gözlenmektedir (Şekil 6.2). Bunun sebebi 13 no'lu gişenin hizmete açılması, gişe sahasının girişine kadar uzamış olan kuyrukların dağılması ve şeritlerden gelen taşıtların geçiş imkanı bulmasıdır. Şekil 6.18'de 13 nolu gişenin kapalı olduğu durumda gişe sahasındaki kuyruklanma görülmektedir. Şekil 6.19'da ise 13 no'lu gişenin, açılmasının hemen ardından gişe sahasındaki kuyruklanma üzerindeki olumlu etkisi görülmektedir.



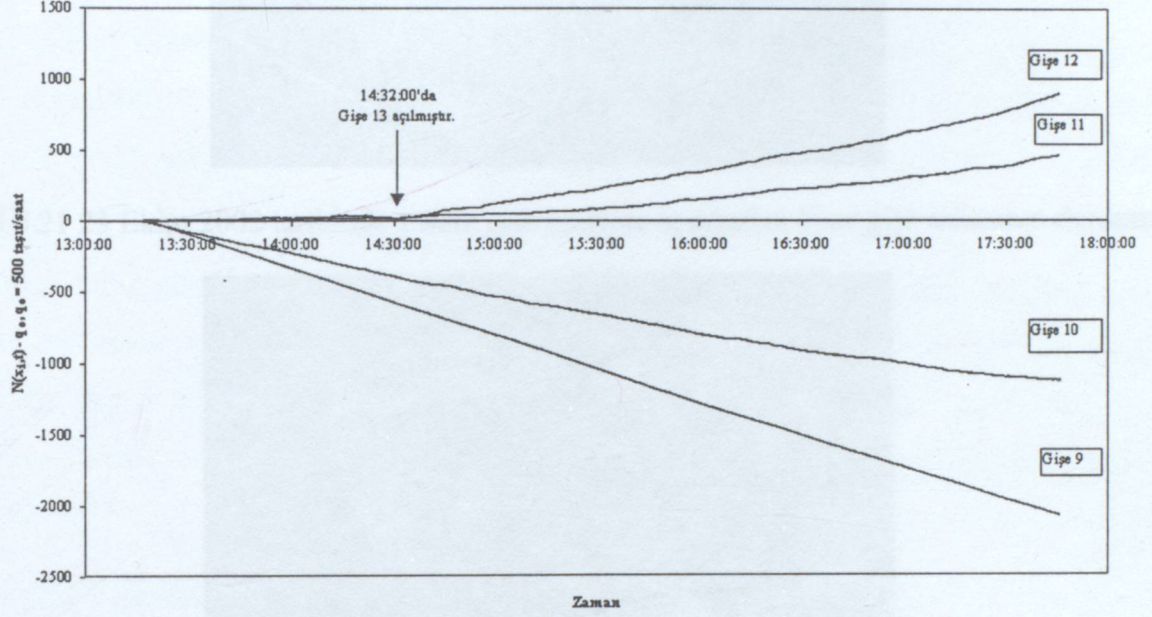
Şekil 6.18 13 nolu gişe hizmete açılmadan önce gişe sahasının durumu



Şekil 6.19 13 nolu gişe hizmete açıldıktan sonra gişe sahasının durumu

Boğaziçi Köprüsü Bakım İşletme Başmühendisliği'nden her gişeye ait hizmet bilgileri alınmıştır. Bu bilgilerden yararlanarak gişelere ait yığılımlı taşıt sayısı eğrileri çizilmiştir. Şekil 6.20'de 9, 10, 11 ve 12 nolu OGS gişelerinin 18 Ekim 2002 gününe ait yığılımlı taşıt

sayısı eğrileri verilmiştir. 13 no'lu gişenin kapalı olduğu esnada, 14 ve 15 no'lu gişelerin önünde bulunan kuyruklar uzamış ve sol şeritin gişe sahasının girişindeki kısmını bloke etmiştir. Bu durum genellikle sol şeritten gişe sahasına giren OGS taşıtlarının geçişlerine engel olmuştur (Şekil 6.18). 13 nolu gişenin hizmete açılmasından (14:32:00) kısa bir süre sonra 11 ve 12 nolu OGS gişelerinde akımda bir artış gözlenmektedir (Şekil 6.20).



Şekil 6.20 9, 10, 11 ve 12 nolu OGS gişelerinde verilen hizmete ait yığılımlı taşıt sayısı eğrileri

Klasik gişelerde ani hizmet değişimi gözlenmezken, OGS gişelerinde ise ani değişimler gözlenebilmektedir.

23 Ekim 2002 tarihinde ise kapalı olan 1 nolu gişe 15:29'da açılmıştır. 1 nolu gişe açılmadan önceki ve sonraki gişe sahası durumları sırasıyla Şekil 6.21 ve 6.22'de verilmiştir.



Şekil 6.21 23 Ekim 2002 tarihinde 1 nolu gişe hizmete açılmadan önce gişe sahasının durumu



Şekil 6.22 23 Ekim 2002 tarihinde 1 nolu gişe hizmete açıldıktan sonra gişe sahasının durumu

### 6.1.3 Görevli performanslarının gişe sahasındaki trafik üzerindeki etkisi

Şeritlerde akım değişimlerinin bir diğer sebebi de gişelerde çalışan görevlilerin değişmesidir. Daha önceki bölüme ait yığışlı taşıt sayısı eğrilerinde görüldüğü gibi, gişelerdeki görevlilerin değişmesi sonucunda akımda değişimler meydana gelmektedir. Gişe görevlisinin çalışma süresinin sonlarına doğru performansında görülen azalma, yeni göreve başlayan görevlinin performansının önceki görevliye göre daha fazla olması gibi etmenler, şeritlerden gelen akımlarda dalgalanmalara neden olmaktadır.

Özellikle 22 ve 23 Ekim 2002 tarihli yığışlı taşıt sayısı eğrilerinde gişe görevlisi değişiminden sonra ve kapalı bir gişenin açılmasından sonra belirli bir süre için akımda azalma görülmektedir.

22 Ekim 2002 günü saat 17:01-17:03 arasında 1, 3, 4, 6, 7 ve 13 nolu gişelerdeki görevliler değişmiştir. Bu değişim sağ ve orta şeritte 17:18'e kadar, sol şeritte ise 17:12'ye kadar akımlarda azalmaya neden olmuştur (Şekil 6.7, 6.8, 6.9).

23 Ekim 2002 günü 16:59-17:01 saatleri arasında tüm gişelerde yapılan görevli değişiminin ardından sağ, orta ve sol şeritler akımlarında meydana gelen düşüş oldukça belirgindir (Şekil 6.11, 6.12, 6.13). Şekillerden de görüleceği gibi 17:00 civarında akımlarda başlayan düşüş saat 17:20'ye kadar sürmüştür ve bu saatten itibaren görevli değişiminin sonucu olarak beklenen artışlar başlamıştır (Görevli değişiminin; önceki görevlinin görev süresinin sonlarına doğru performansının azalması ve yerine geçen görevlinin işe daha iyi bir performansla başlaması nedeniyle akımların artmasına sebep olacağı kabul edilmektedir).

23 Ekim 2002 gününde saat 17:01-17:20 arasında Asya ankrajı şeritlerinde meydana gelen akım azalmasının gişelerle bağlantısını incelemek amacıyla gişelere ait verilerden faydalanılmıştır. Her gişenin 16:50-16:59, 17:01-17:20 ve 17:20-17:28 saatleri arasındaki ortalama hizmet süreleri ve hizmet sürelerine ait standart sapma değerleri bulunmuştur (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 23 Ekim 2002 16:50-16:59, 17:01-17:20 ve 17:20-17:28 saatleri arasında klasik gişelerdeki hizmet süresi ortalamaları ve standart sapmaları

Saat		1	3	4	5	6	7	8	13	14	15
16:50-16:59	Ortalama Hizmet süresi (sn)	8,18	7,39	7,69	7,56	Kapalı	6,59	7,66	7,96	7,6	6,34
	Standart Sapma (sn)	4,07	3,12	3,6	3,33		2,59	3,88	4,73	3,63	2,28
17:01-17:20	Ortalama Hizmet süresi (sn)	9,71	9,07	7,91	8,06	Kapalı	7,59	7,69	7,94	9,63	8,82
	Standart Sapma (sn)	6,52	5,14	3,94	5,23		3,56	4,39	4,49	7,89	5,48
17:20-17:28	Ortalama Hizmet süresi (sn)	7,65	7,61	8,46	6,59	Kapalı	7,84	7,85	7,52	6,75	8,29
	Standart Sapma (sn)	3,67	3,73	4,63	2,54		3,79	4,37	4,76	3,06	3,86

Çizelge 6.1'de de görüldüğü gibi görevli değişimi saatinin (saat 16:59-17:01) öncesinde ortalama hizmet süreleri 6,34 ve 8,18 sn, standart sapma 2,28 ve 4,73 sn arasında değerler almaktadır. Görevli değişiminin ardından saat 17:20'ye kadar ortalama hizmet süreleri 7,59 ve 9,71, standart sapma 3,56 - 7,89 sn aralığında değerler almaktadır. İnceleme yapılan üçüncü aralık olan 17:20-17:28 saatleri arasında ise ortalama hizmet süreleri 6,75 ve 8,46 sn, standart sapma 2,54 - 4,76 değerleri arasında değişmektedir. Sayısal değerlerden görüldüğü gibi hizmet süresi ortalamaları ve standart sapmalar incelenen ikinci zaman aralığında (17:01-17:20) daha büyük değerler almaktadır. Yani, hizmet süreleri artmakta, bu sürelerin ortalamadan sapma miktarı da büyümektedir. Bu büyük ve değişken hizmet sürelerinin ana nedeninin, göreve yeni başlayan memurun bozuk para sıkıntısı yaşamaması olduğu düşünülmektedir.

Köprü Başmühendisliği'nden alınan bilgiye göre her gişe görevlisi görevine başlamadan önce boş olan bir kasayı teslim almakta, mesai sonunda ise bu kasayı gişe sahasında 24 saat açık bulunan banka şubesine teslim etmektedir. Göreve başlayan memur, mesai başında kasası boş olduğundan gelen müşterilerin verdiği paraları bozamamakta ve bu esnada müşterileri bekletmek zorunda kalmaktadır. Böylece gişe önünde uzayan kuyruklar gişe sahasına girişi engellemekte ve şeritlerden gelen akımları azaltmaktadır (Şekil 6.23a, 6.23b, 6.24a, 6.24b).



Şekil 6.23a 22 Ekim 2002 tarihinde 17:01-17:03 saatleri arasında yapılan görevli değişiminden hemen önce gişe sahasının görünümü



Şekil 6.23b 22 Ekim 2002 tarihinde 17:01-17:03 saatleri arasında yapılan görevli değişiminden hemen sonra gişe sahasının görünümü



Şekil 6.24a 23 Ekim 2002 tarihinde 16:59-17:01 saatleri arasında yapılan görevli değişiminden hemen önce gişe sahasının görünümü



Şekil 6.24b 23 Ekim 2002 tarihinde 16:59-17:01 saatleri arasında yapılan görevli değişiminden hemen sonra gişe sahasının görünümü

## 6.2 Gişe sahasında kuyruk analizi

Boğaziçi Köprüsü gişe sahasındaki kuyruk analizi kapsamında herbir gişe önünde oluşan kuyruğun taşıt kapasitesi belirlenmiş; daha ileri düzeydeki analizler için faydalı olacağı düşünülen geliş oranları ve dağılımları ile gişelerin hizmet süreleri ve dağılımları incelenmiştir.



Şekil 6.25 Otobüslerin 2 nolu OGS gişesine erişme zorluğu

### 6.2.1 Gişelerin kuyruk kapasiteleri

İstanbul Boğaziçi Köprüsü Gişe Sahasına ait kuyruk kapasiteleri, geometrik özellikler dikkate alınarak belirlenmiştir. Herhangi bir gişenin kuyruk uzunluğunun diğer gişelere erişim üzerindeki etkileri video çekimleri yardımıyla incelenmiştir. Sahanın sağ tarafında bulunan ve ötelenmiş olan 1, 3 ve 4 nolu gişelere ait kuyrukların uzunlukları, daha geride bulunan gişelerin sebep olduğu yer darlığı nedeniyle kısıtlıdır. Bu kısımdan 2 nolu OGS gişesini kullanan otobüslerin geçişi diğer küçük taşıtlara göre manevra açısından daha zordur. Genelde karşılaşılan durum, zirve saatlerde 1 ve 3 nolu gişelere ait kuyrukların uzaması ve söz konusu dar kesimde birbirlerine epeyce yaklaşarak OGS gişesini kullanmak isteyen taşıtların geçişlerine engel olmalarıdır. Örneğin Şekil 6.25’de görülen 18 Ekim 2002 tarihine ait gişe sahası resminde sahanın sağ kısmında 1 ve 3 nolu gişelere ait kuyrukların uzaması, 2 nolu OGS gişesine erişimi engellemektedir. Bu nedenle, 1 ve 3 nolu gişelerin kuyruklarının söz konusu dar kesime ulaşmadan sona ermesi daha yararlı olacaktır. Şekil 6.26’da Karayolları Genel Müdürlüğü 17. Bölge Müdürlüğü’nden alınan Boğaziçi Köprüsü gişe sahası planı üzerinde gişelere ait önerilen kuyruk uzunlukları gösterilmiştir.

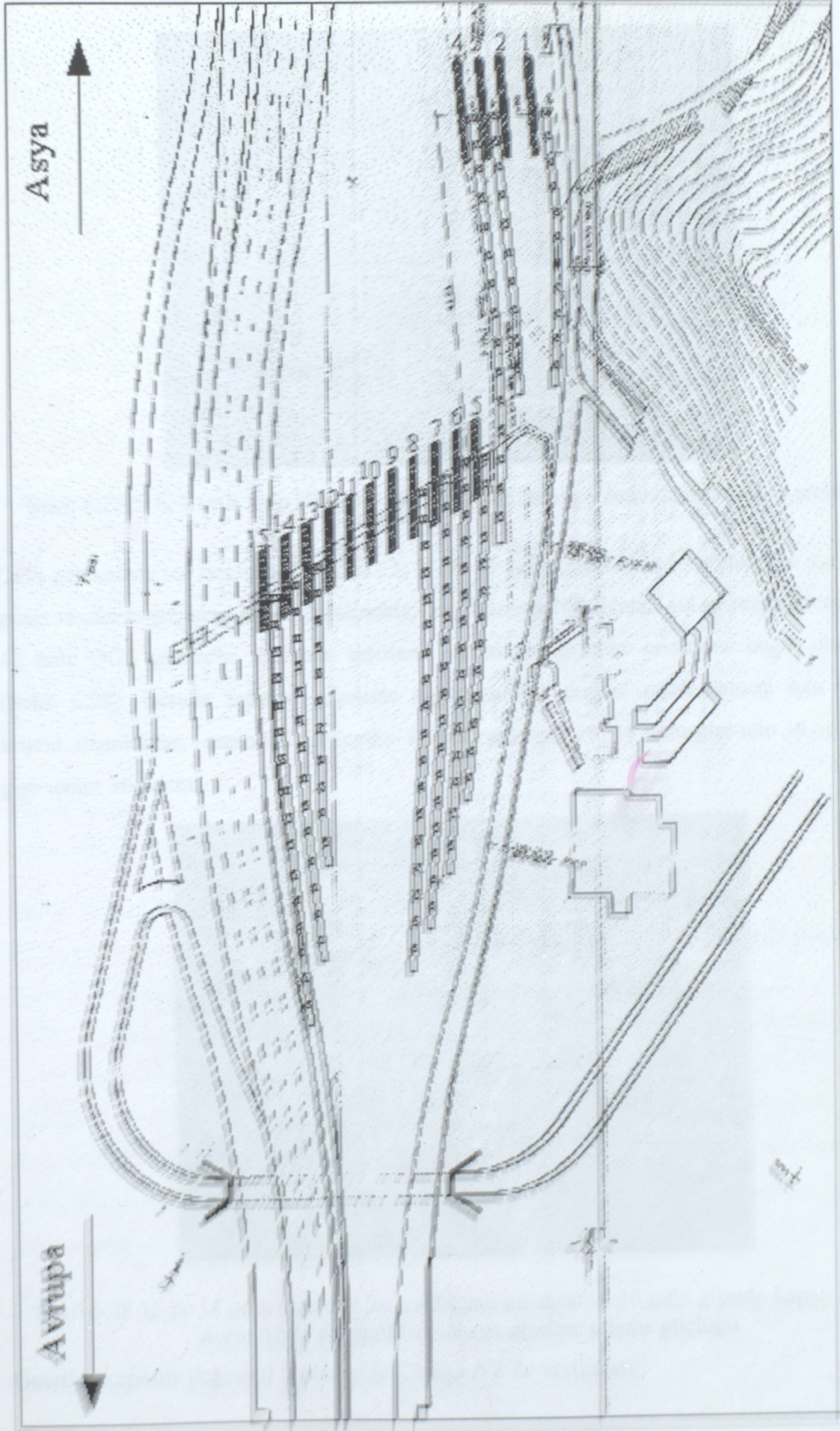
Şekil 6.26’daki plan üzerinde yapılan çalışmada 1 nolu gişenin kuyruk kapasitesinin 11, 3 nolu gişeye ait kuyruk kapasitesinin ise 10 taşıtlarla –otomobil cinsinden- sınırlandırılması önerilmektedir.

5, 6, 7 ve 8 nolu gişelerin bulunduğu ikinci kısımda inceleme yapıldığında ise burada bulunan gişelere ait kuyrukların uzamasının, orta ve sağ şeritlerden gelen taşıtların geçişine engel olmaları nedeniyle gişe sahasına erişimi etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca 7 ve 8 nolu gişe

kuyruklarının uzaması, orta şeritten gelen ve OGS gişelerini kullanmak isteyen taşıtların manevra yapmalarına neden olmaktadır (Şekil 6.27). Hem sağ şeritin hem de orta şeritin akımlarını etkileyen bu durum, akım yukarı kesime kinematik dalgalar aracılığıyla yayılarak akımlarda kararsızlığa neden olmaktadır. Bu kısımda bulunan gişeler için önerilen kuyruk uzunlukları –otomobil cinsinden-; 5 nolu gişe için 13, 6 nolu gişe için 15, 7 nolu gişe için 17 ve 8 nolu gişe için 18 taşıttır.



Şekil 6.26 İstanbul Evdegişi Köprüsü gişe sahaları ve önerilen kuyruk uzunlukları



Şekil 6.26 İstanbul Boğaziçi Köprütüti geniş sahası ve önerilen kuyruk kapasiteleri



Şekil 6.27 5, 6, 7 ve 8 nolu gişelerin kuyruklarının uzaması halinde orta ve sağ şeritlerin durumu

OGS gişelerinin sol tarafında bulunan 13, 14 ve 15 nolu gişelere ait kuyruklar ise sol şeritten gelen taşıtların geçişine engel olabilmekte; özellikle ağırlıklı olarak sol şeritten gelerek 11 ve 12 nolu OGS gişelerini kullanan taşıtların sözkonusu gişelere erişimine engel olmaktadır (Şekil 6.28). Burada bulunan gişelerin diğer gişelere erişimi etkilememesi için önerilen kuyruk uzunlukları –otomobil cinsinden- 13 nolu gişe için 11, 14 nolu gişe için 14 ve 15 nolu gişe içinse 16 taşıttır.



Şekil 6.28 13 ve 14 nolu gişelerin kuyruklarının uzaması ve 15 nolu gişenin kapalı olması durumunda sol şerit taşıtlarının gişelere erişme güçlüğü

Önerilen kapasite değerleri toplu halde Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.3 10 Nisan 2003 gününde belirli zaman aralıklarında gişe önündeki taşıtların dağılımları

Çizelge 6.2 Önerilen gişe kuyruk kapasiteleri

Gişe No	Önerilen Kuyruk Kapasiteleri (taşıt)
1	11
3	10
4	15
5	13
6	15
7	17
8	18
13	11
14	14
15	16

### 6.2.2 Gişe sahasına geliş oranları

İstanbul Boğaziçi Köprüsü gişe sahasına yaklaşan taşıtların Asya Ankrayı (gişe sahasına giriş bölgesi) olarak adlandırılan kesitten geçişleri, gişe sahasındaki kuyruklanma durumuna göre değişmektedir. 2002 Güz aylarında yapılan video çekimleri incelendiğinde, gişelerin önünde oluşan uzun kuyrukların sahaya girişi zorlaştırdığı ve taşıtların zorlamalı şartlarda hareket etmesine neden olduğu görülmüştür. 2003 Bahar aylarında ise gişe sahasındaki kuyruklanmalarda gözle görülür bir azalma gözlenmiştir. Geliş oranlarının/dağılımlarının serbest koşullar altında incelenmesi daha doğru olacağından, 2003 yılı verileri kullanılarak taşıt sayılarının geliş dağılımları belirlenmiştir.

Bunun için 10 Nisan 2003 ve 5 Mayıs 2003 günlerine ait veriler kullanılmıştır. Şerit bazında yapılan sayımlar yardımıyla Asya Ankrayı'nın sol, orta, sağ ve ek şeritlerine ait yığışımli taşıt sayısı eğrileri çizilmiştir. Eğrilerde her şerite ait kararlı akım zaman aralıkları seçilmiş ve bu aralıkların başlangıç ve bitiş zamanları tesbit edilmiştir. Bu süreler arasında 30 sn'lik dilimler içinde geçen taşıt sayıları elde edildikten sonra Input Analyzer (Version 5, Rockwell Software Inc., 2000) programında bu verilerin hangi dağılıma uyduğu ve parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen bilgiler Çizelge 6.3 ve 6.4'de verilmiştir. Dağılım tipi olarak Poisson bulunmuştur. Çizelge 6.3 ve 6.4'de Poisson denkleminde parantez içinde verilen parametre, geliş oranlarının ortalaması ve aynı zamanda varyansdır.

Çizelge 6.3 10 Nisan 2003 gününde belirli zaman aralıklarına ait geliş oranlarının dağılımları

	SAATLER	DAĞILIM TİPİ
<b>SOL ŞERİT</b>	17:14-18:00	Poisson (14,5)
<b>ORTA ŞERİT</b>	17:09-17:15	Poisson (10)
	17:23-18:00	Poisson (15,1)
<b>SAĞ ŞERİT</b>	17:10-17:17	Poisson (9,43)
	17:27-18:00	Poisson (15,3)
<b>EK ŞERİT</b>	16:48-16:57	Poisson (5,17)
	16:57-17:08	Poisson (7,59)
	17:08-17:26	Poisson (11,4)
	17:34-17:54	Poisson (12,1)

Çizelge 6.4 5 Mayıs 2003 gününde belirli zaman aralıklarına ait geliş oranlarının dağılımları

	SAATLER	DAĞILIM TİPİ
<b>SOL ŞERİT</b>	16:35-17:20	Poisson (14,8)
	17:20-19:00	Poisson (13,7)
	19:04-19:11	Poisson (7,43)*
<b>ORTA ŞERİT</b>	18:18-19:04	Poisson (12,6)
	19:04-19:11	Poisson (7)*
<b>SAĞ ŞERİT</b>	17:52-19:04	Poisson (12,5)
	19:04-19:11	Poisson (8,15)*
<b>EK ŞERİT</b>	16:59-17:15	Poisson (6,72)
	17:15-17:38	Poisson (8,7)
	17:51-18:04	Poisson (10,8)
	19:04-19:11	Poisson (8,14)*

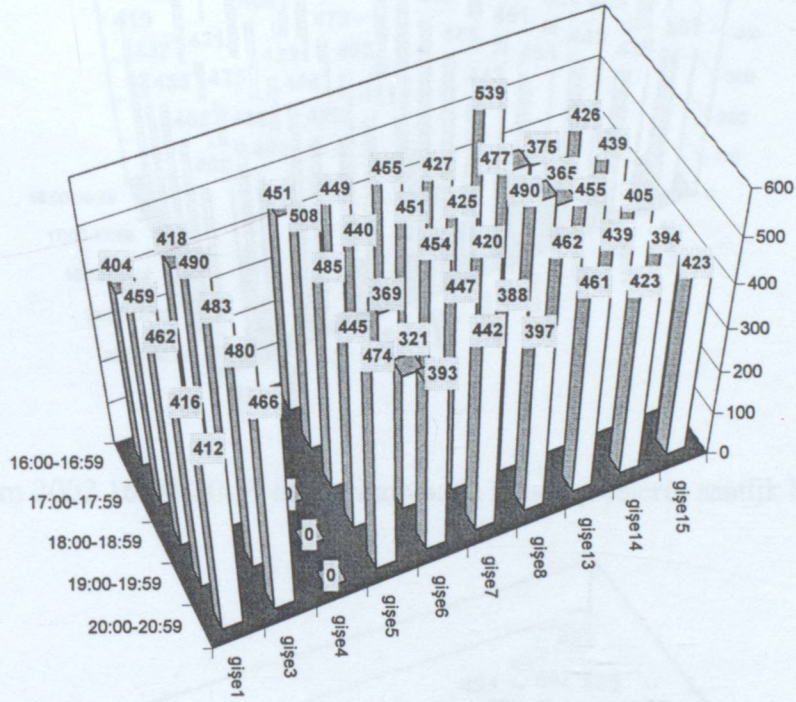
### 6.2.3 Gişelere ait hizmet oranları ve hizmet süresi dağılımları

KGM 17. Bölge Müdürlüğü Boğaziçi Köprüsü Bakım İşletme Başmühendisliği'nden her gişenin hizmet verdiği saatlik taşıt sayısı verileri alınmıştır. Bu veriler kullanılarak gişelerin hizmet oranları/hizmet değerleri (hizmet verdikleri taşıt sayıları) belirlenmeye çalışılmıştır.

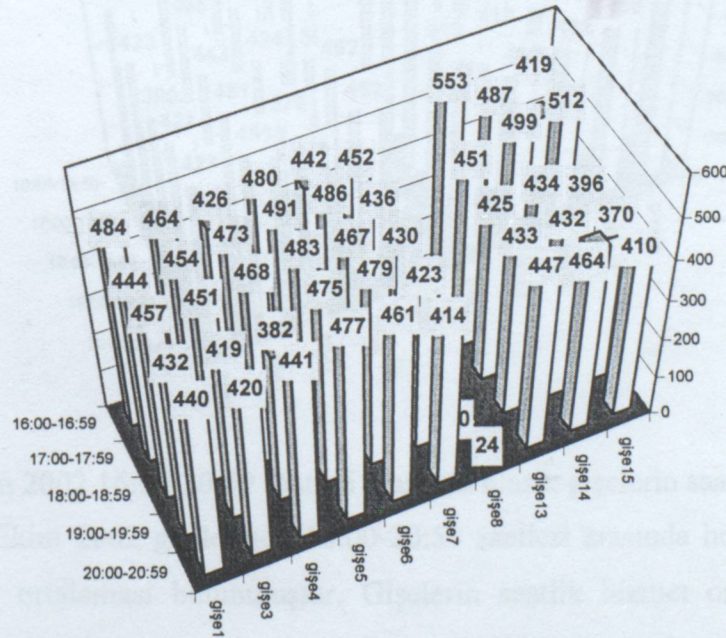
\*5 Mayıs 2002 gününde saat 19:00 civarında geliş oranlarının azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni gişelerde 19:00 sıralarında gişe memurlarının görev değişimi ve göreve yeni başlayan memurun elinde bozuk para bulunmamasıdır.

### 6.2.3.1 Klasik (manuel) gişelere ait hizmet oranları/hizmet değerleri

Aşağıda sırasıyla 18 Ekim 2002, 22 Ekim 2002, 23 Ekim 2002 ve 24 Ekim 2002 günlerinde zirve (pik) saatlerde gişelerden geçen taşıt sayıları (hizmet oranları) gösterilmiştir (Şekil 6.29, 6.30, 6.31, 6.32).

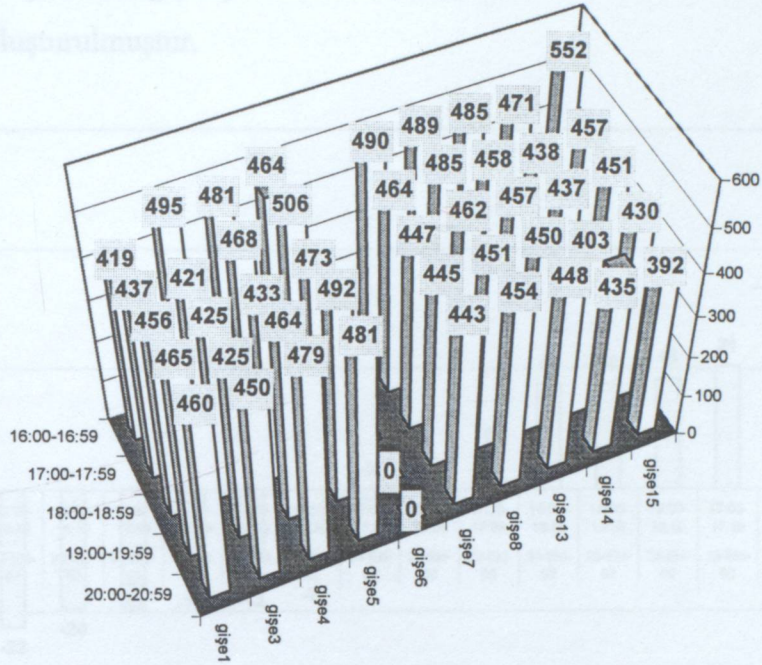


Şekil 6.29 18 Ekim 2002 16:00-20:59 saatleri arasında klasik gişelerin saatlik hizmet oranları

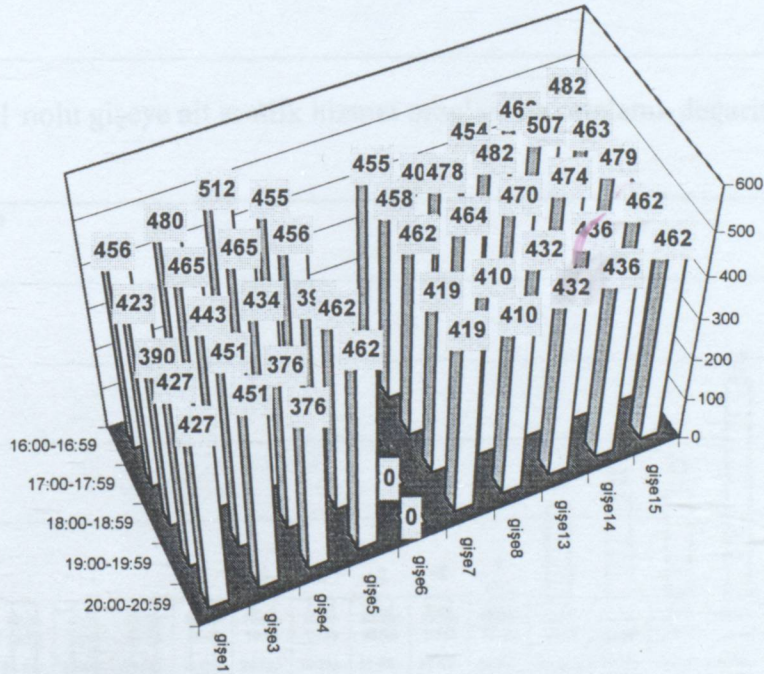


Şekil 6.30 22 Ekim 2002 16:00-20:59 saatleri arasında klasik gişelerin saatlik hizmet oranları

olabilmektedir. Bu işlem her gişeye için ayrı ayrı Şekil 6.33, 6.34, 6.35, 6.36, 6.37, 6.38, 6.39, 6.40 ve 6.41 yapılmıştır.

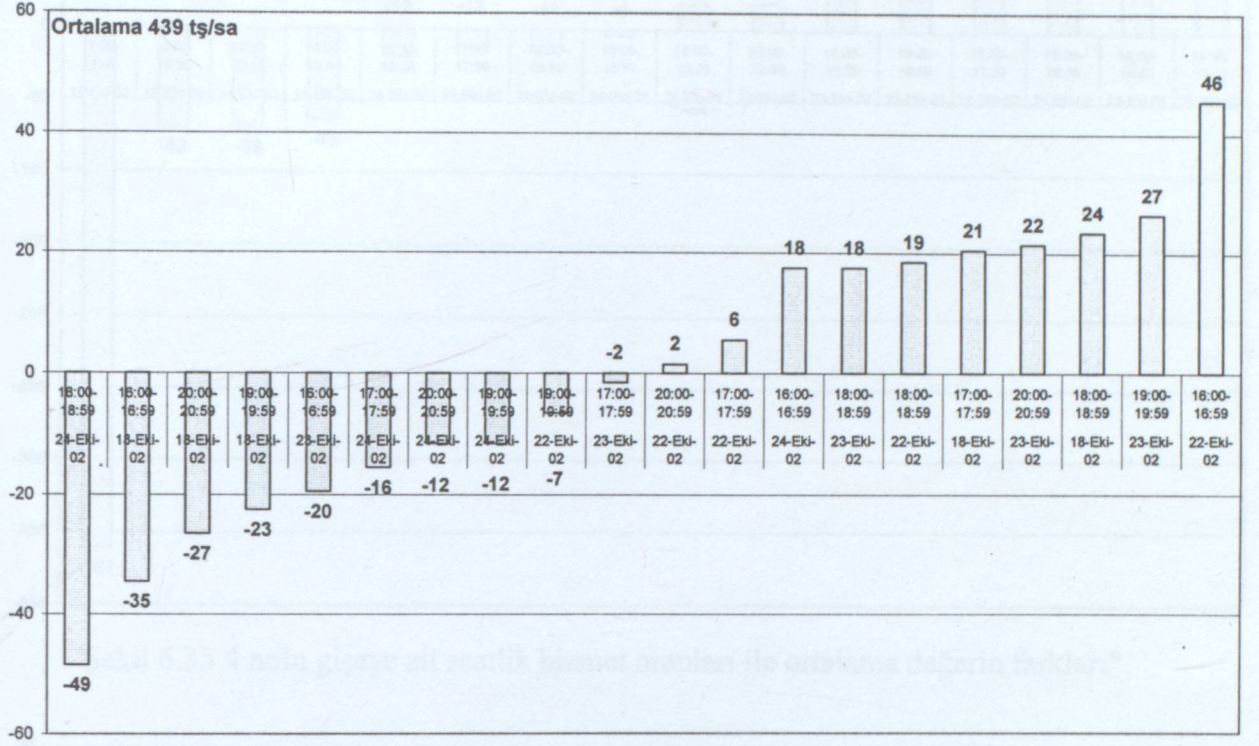


Şekil 6.31 23 Ekim 2002 16:00-20:59 saatleri arasında klasik gişelerin saatlik hizmet oranları

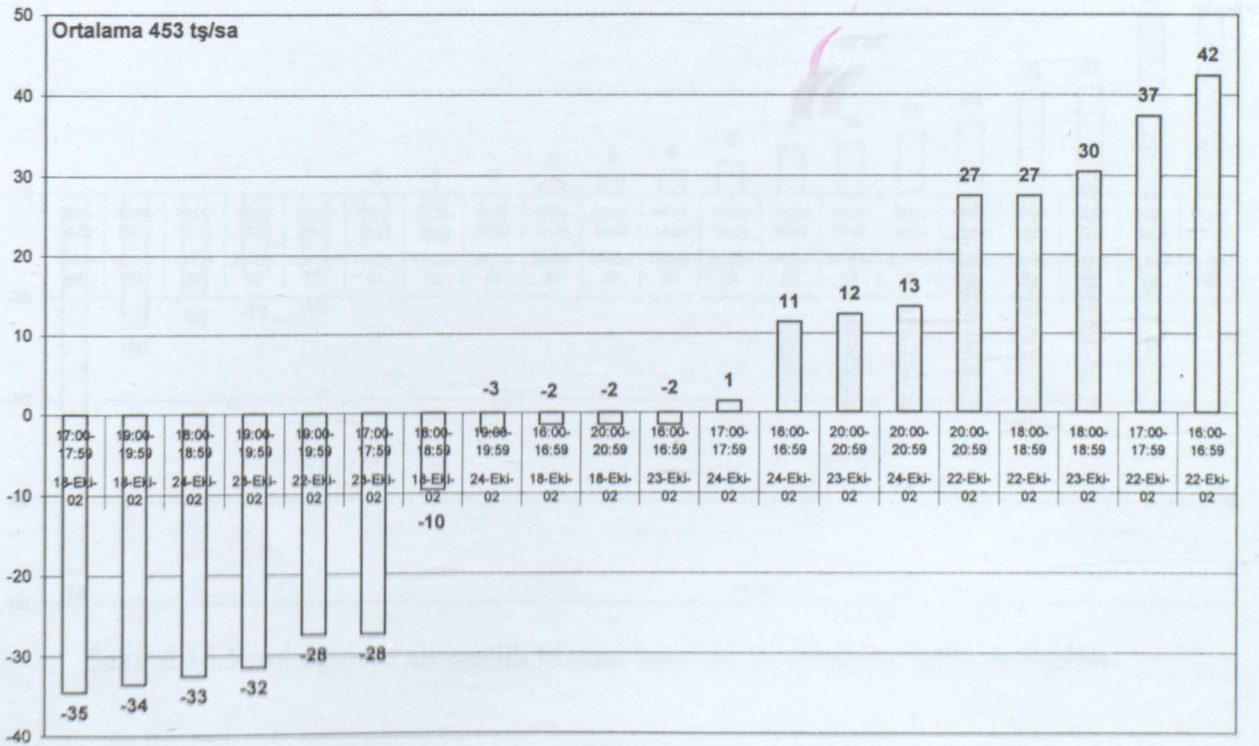


Şekil 6.32 24 Ekim 2002 16:00-20:59 saatleri arasında klasik gişelerin saatlik hizmet oranları 18, 22, 23 ve 24 Ekim 2002 günlerinde 16:00-20:59 saatleri arasında her gişeye ait saatlik hizmet oranlarının ortalaması bulunmuştur. Gişelerin saatlik hizmet oranlarının ortalama değerden ne kadar saptığını görmek amacıyla saatlik hizmet oranları ile ortalama değer arasındaki farklar alınmış ve bu farklar diyagramlara aktarılmıştır. Örneğin 1 nolu gişenin saatlik hizmet oranları ile bu değerlerin ortalamasının farkı alınarak Şekil 6.33

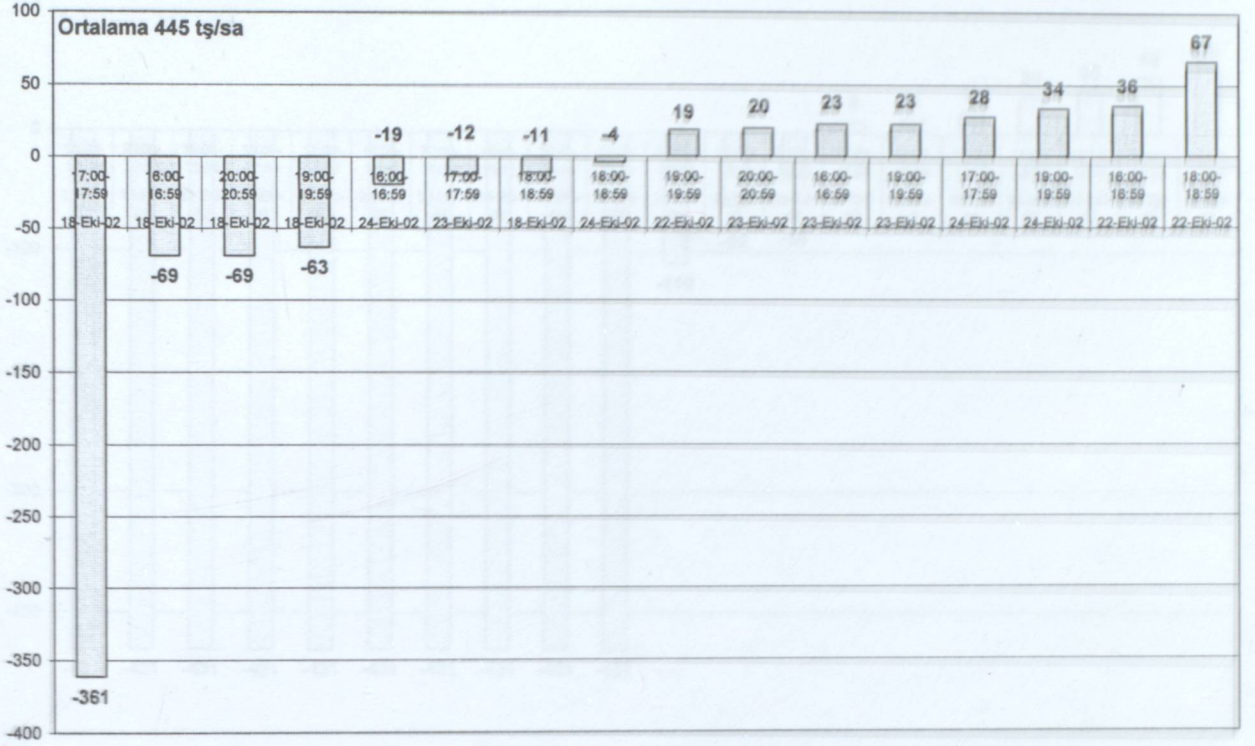
oluşturulmuştur. Bu işlem her gişe için tekrarlanarak Şekil 6.33, 6.34, 6.35, 6.36, 6.37, 6.38, 6.39, 6.40 ve 6.41 oluşturulmuştur.



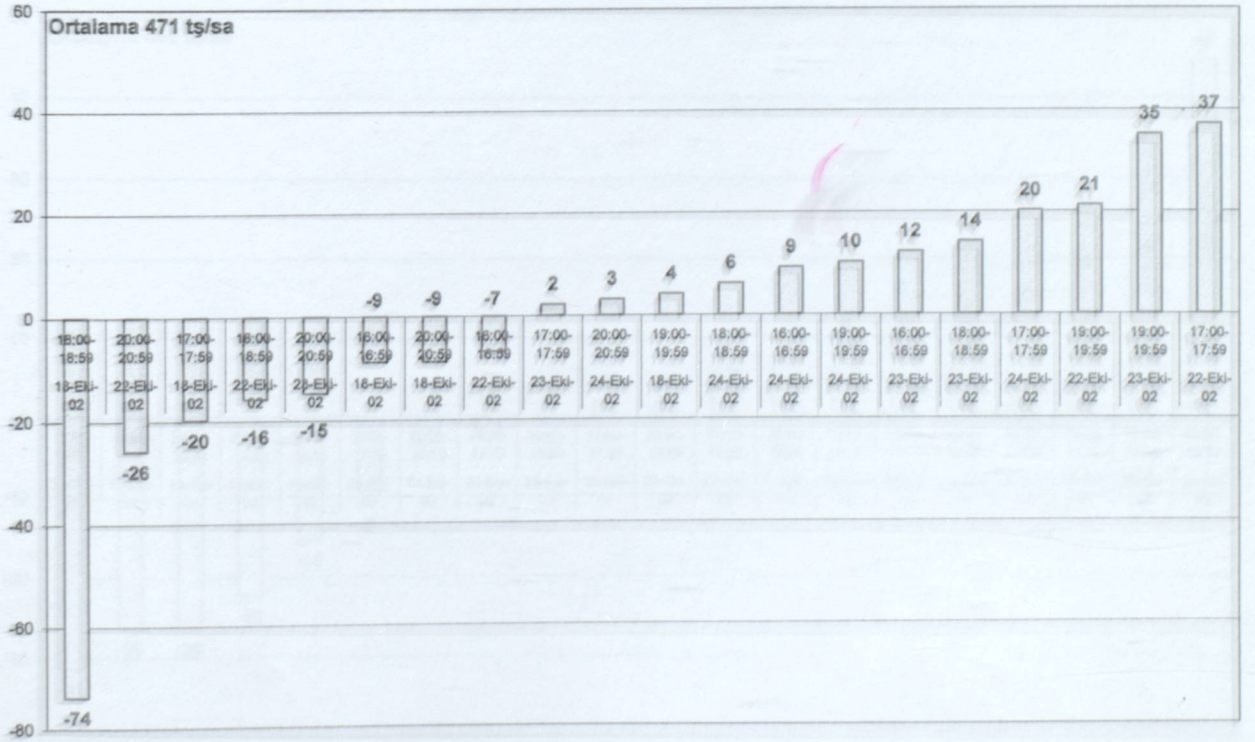
Şekil 6.33 1 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değerin farkları



Şekil 6.34 3 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değerin farkları

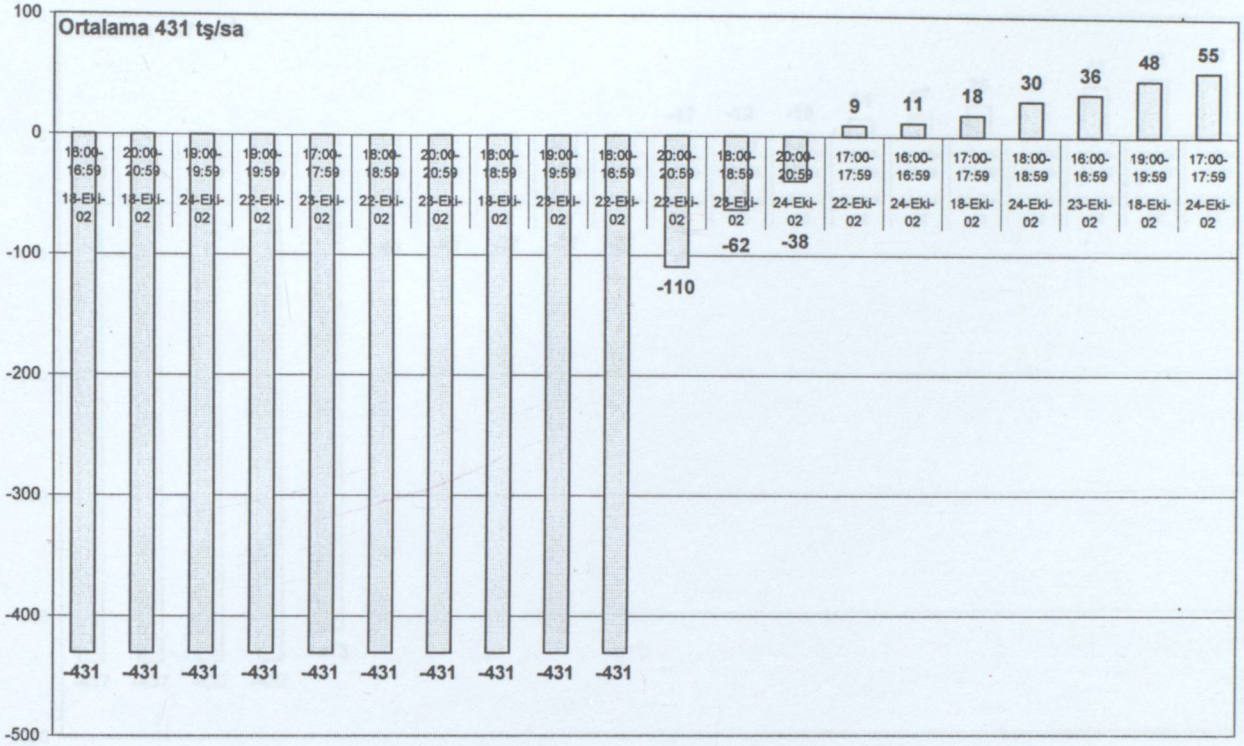


Şekil 6.35 4 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değerin farkları\*

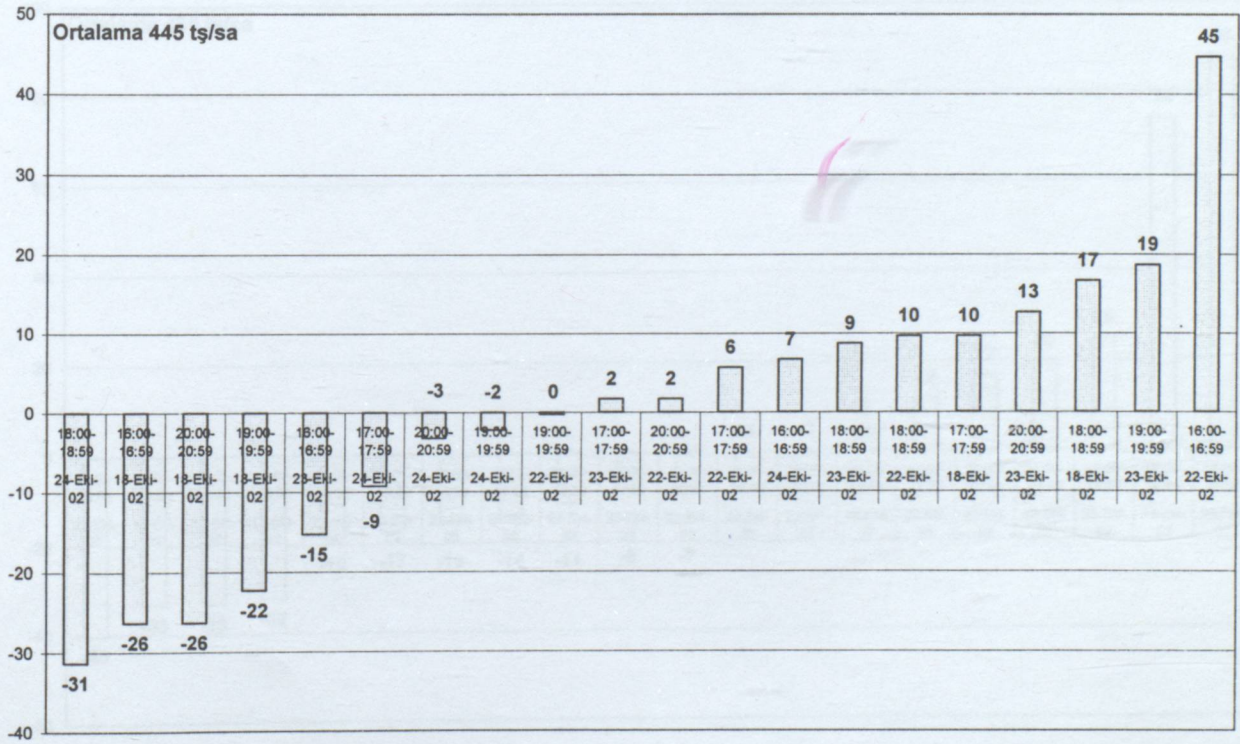


Şekil 6.36 5 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değerin farkları

\* 4 nolu gişe 18 Ekim 2002 tarihlerinde inceleme yapılan saatlerde hizmet vermemiştir. Bu saatler arasındaki değerler ortalamaya katılmamıştır.

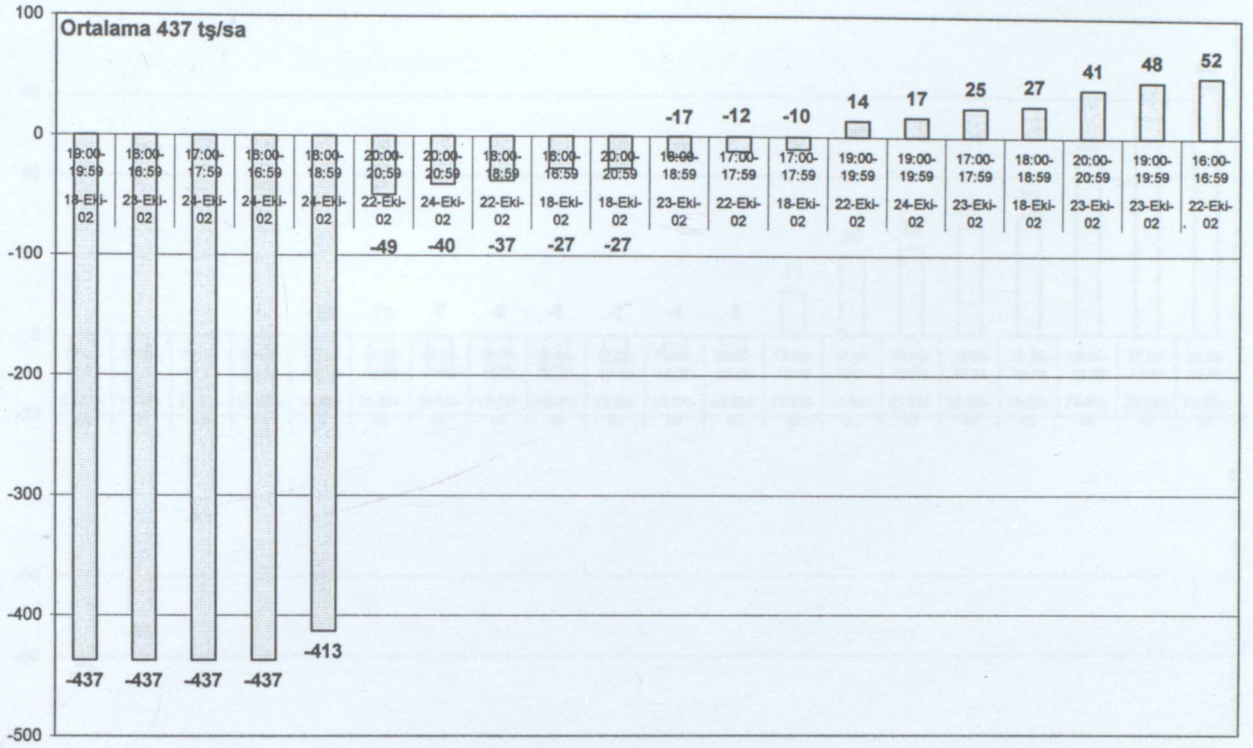


Şekil 6.37 6 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değerlerin farkları\*

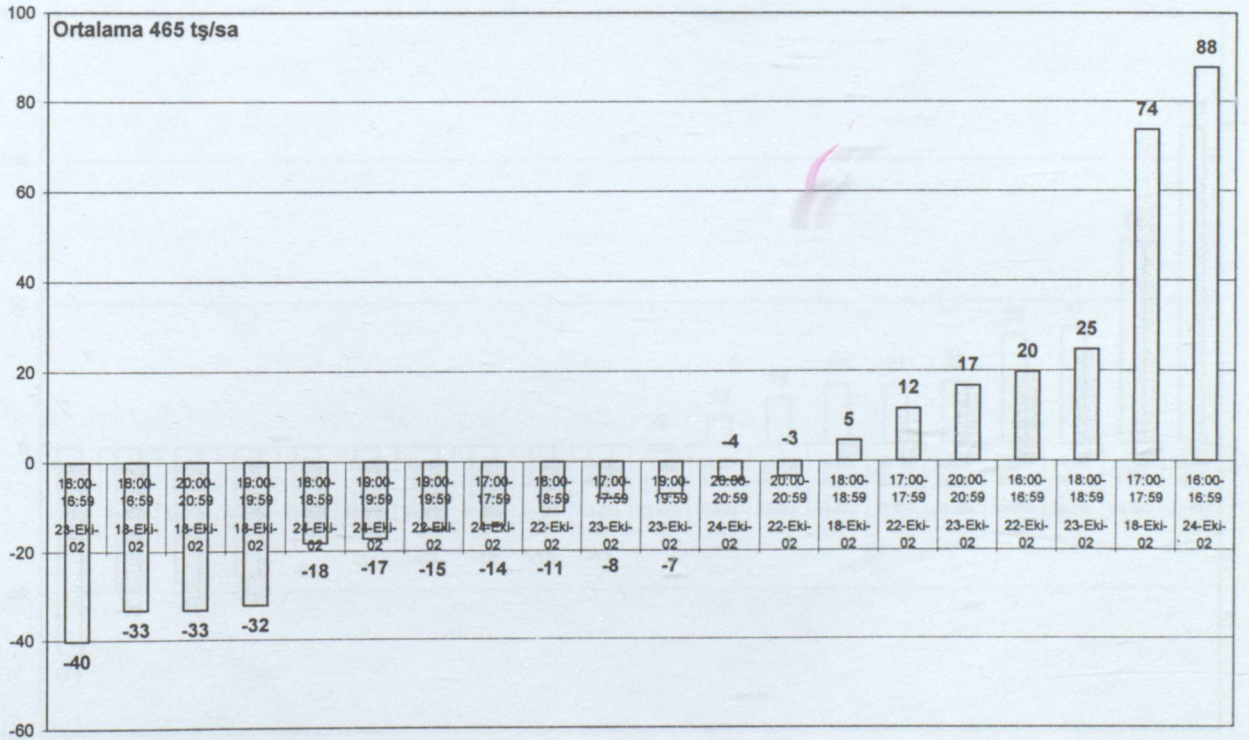


Şekil 6.38 7 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değerlerin farkları

\* 6 nolu gişe 23 ve 24 Ekim 2002 tarihlerinde inceleme yapılan saatlerde hizmet vermemiştir. Bu saatler arasındaki değerler ortalamaya katılmamıştır.

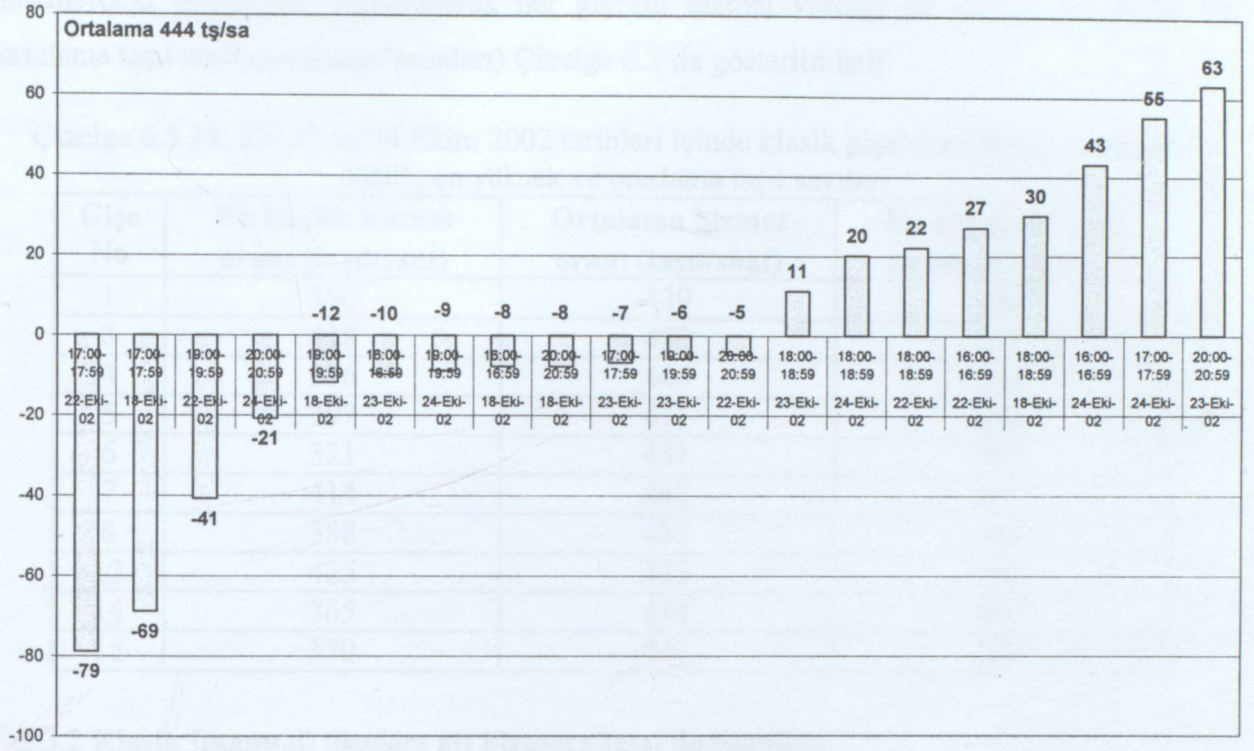


Şekil 6.39 8 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değerin farkları\*

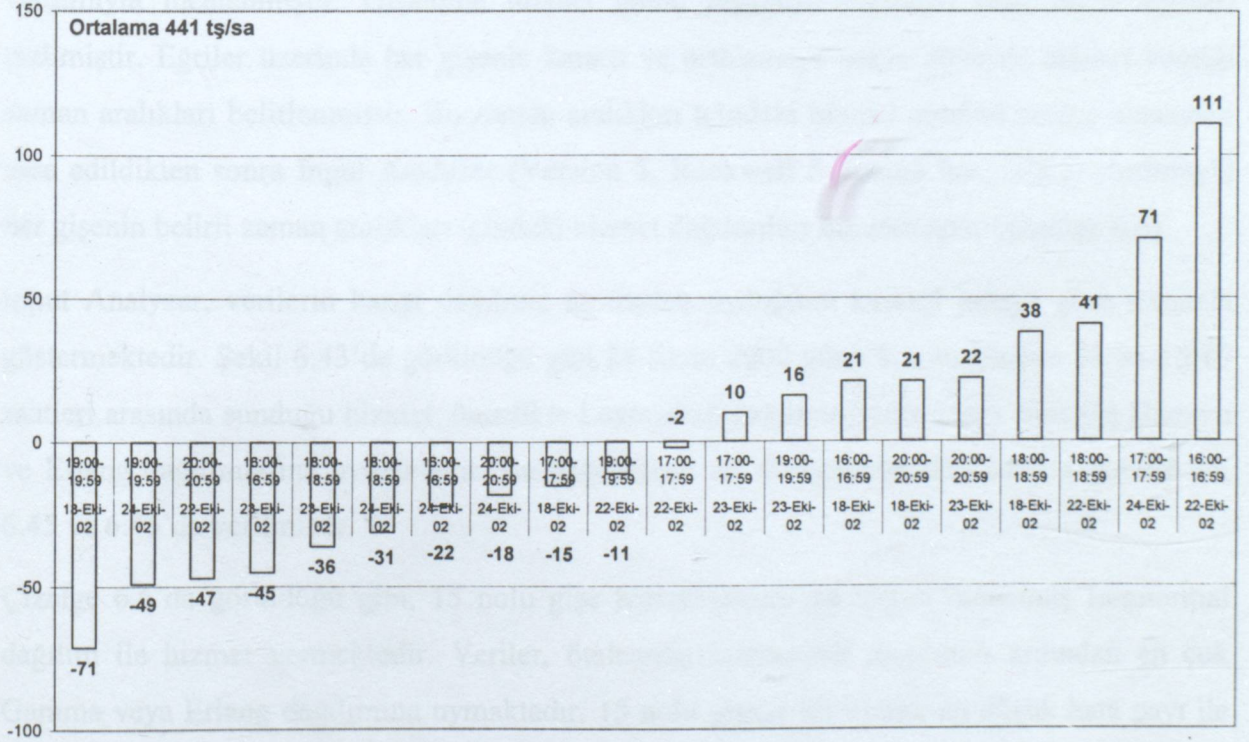


Şekil 6.40 13 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değerin farkları

\* 8 nolu gişe 22 Ekim 2002 tarihlerinde inceleme yapılan saatlerde hizmet vermemiştir. Bu saatler arasındaki değerler ortalamaya katılmamıştır.



Şekil 6.41 14 nolu işçeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değerin farkları



Şekil 6.42 15 nolu işçeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değerin farkları

Şekillerdeki bilgilerden faydalanarak her gişenin hizmet verdiği en küçük, en büyük ve ortalama taşıt sayıları (hizmet oranları) Çizelge 6.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 18, 22, 23 ve 24 Ekim 2002 tarihleri içinde klasik gişelerin hizmet verdiği en düşük, en yüksek ve ortalama taşıt sayıları

Gişe No	En küçük hizmet oranı (taşıt/saat)	Ortalama hizmet oranı (taşıt/saat)	En büyük hizmet oranı (taşıt/saat)
1	390	439	484
3	418	453	495
4	376	445	512
5	397	471	508
6	321	431	486
7	414	445	490
8	388	437	489
13	425	465	553
14	365	444	507
15	370	441	552

### 6.2.3.2 Klasik (manuel) gişelere ait hizmet süresi dağılımları

Gişelerdeki hizmet süresi dağılımları 18, 22, 23 ve 24 Ekim 2002 tarihlerine ait veriler yardımıyla incelenmiştir. Gişelerde hizmet gören taşıtların yığılımlı taşıt sayısı eğrileri çizilmiştir. Eğriler üzerinde her gişenin kararlı ve ortalamaya yakın düzeyde hizmet verdiği zaman aralıkları belirlenmiştir. Bu zaman aralıkları içindeki hizmet süreleri saniye cinsinden elde edildikten sonra Input Analyzer (Version 5, Rockwell Software Inc., 2000) yardımıyla her gişenin belirli zaman aralıkları içindeki hizmet dağılımları bulunmuştur (Çizelge 6.6).

Input Analyzer, verilerin hangi dağılıma ne ölçüde uyduğunu karesel hataya göre sırasıyla göstermektedir. Şekil 6.43’de görüldüğü gibi 24 Ekim 2002 günü 1 nolu gişenin 14:05-15:19 saatleri arasında sunduğu hizmet, öncelikle Lognormal dağılıma, daha sonra sırasıyla Gamma ve Erlang dağılımlarına uymaktadır. Bu dağılımlara ait diyagramlar da sırasıyla Şekil 6.44, 6.45 ve 6.46’da verilmiştir.

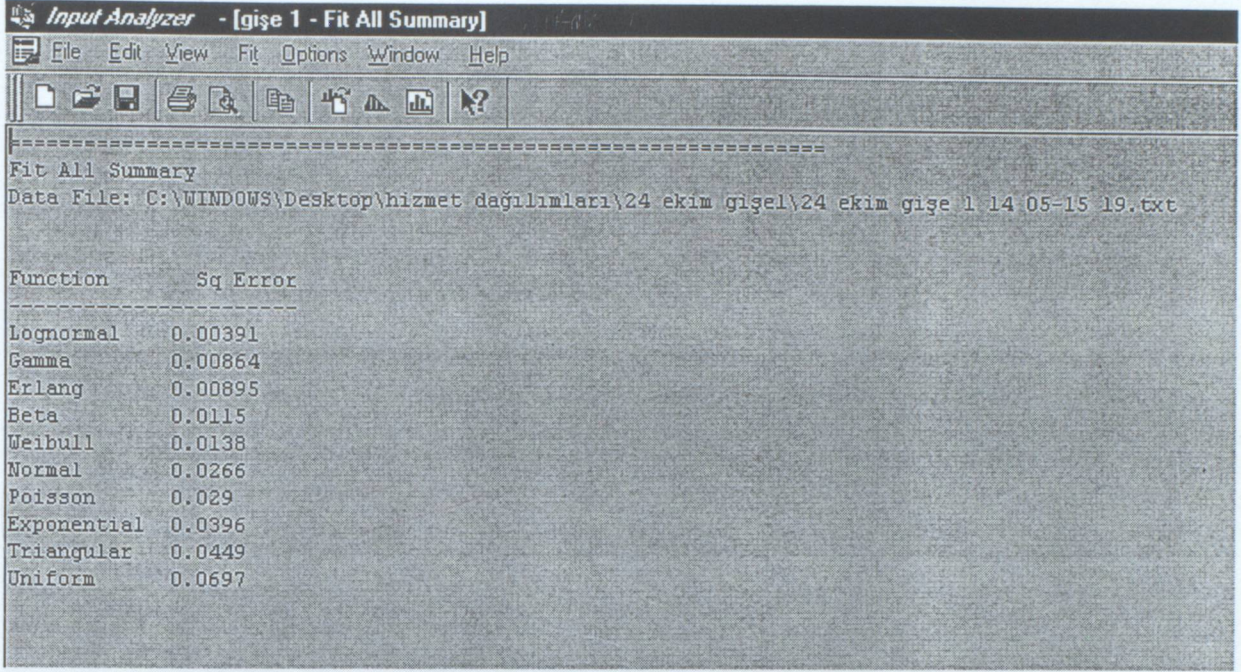
Çizelge 6.6’da görüldüğü gibi, 15 nolu gişe haricindekiler en uygun ötelenmiş Lognormal dağılım ile hizmet vermektedir. Veriler, ötelenmiş Lognormal dağılımın ardından en çok Gamma veya Erlang dağılımına uymaktadır. 15 nolu gişeye ait veriler en düşük hata payı ile ötelenmiş Gamma dağılımına uymakta, bunun ardından Lognormal ve Erlang dağılımları gelmektedir.

Lognormal dağılıma ait parametrelerin ilki ortalama, ikincisi standart sapma değerini göstermektedir [Logn ( $\mu_L$ ,  $\sigma^2$ )]. Gamma dağılımında [Gamm ( $\alpha$ ,  $\beta$ )] ise ilk parametre ölçek ( $\alpha$ ), ikinci parametre ise biçim ( $\beta$ ) parametresi olarak isimlendirilir. Beta ( $\beta$ )’nın pozitif

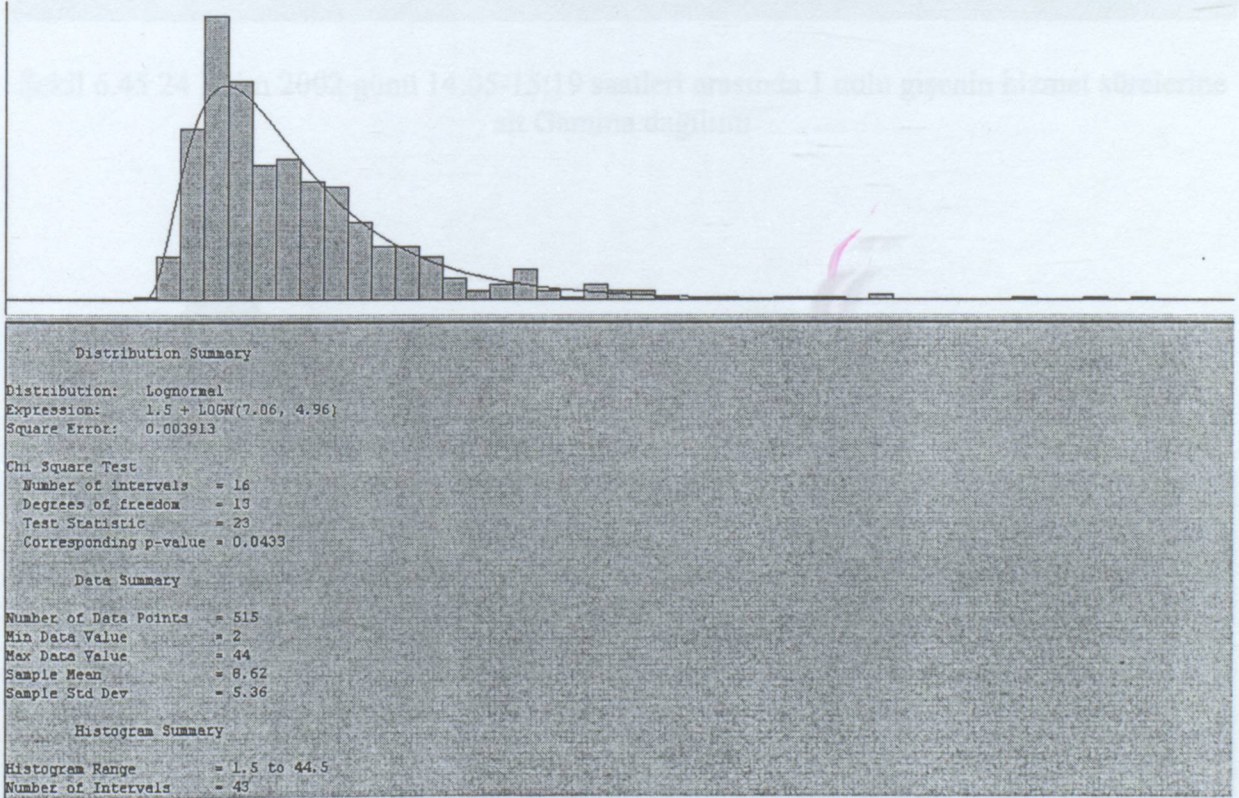
tamsayı olduğu dağılıma Erlang dağılımı [Erla (m, k)] adı verilir. Erlang dağılımının ilk parametresi (m) ortalama, ikinci parametresi ( $k_E$ ) ise Erlang parametresidir.

Çizelge 6.6 18, 22, 23 ve 24 Ekim 2002 tarihlerinde belirli zaman aralıklarında klasik gişelerdeki hizmet süresi dağılımları

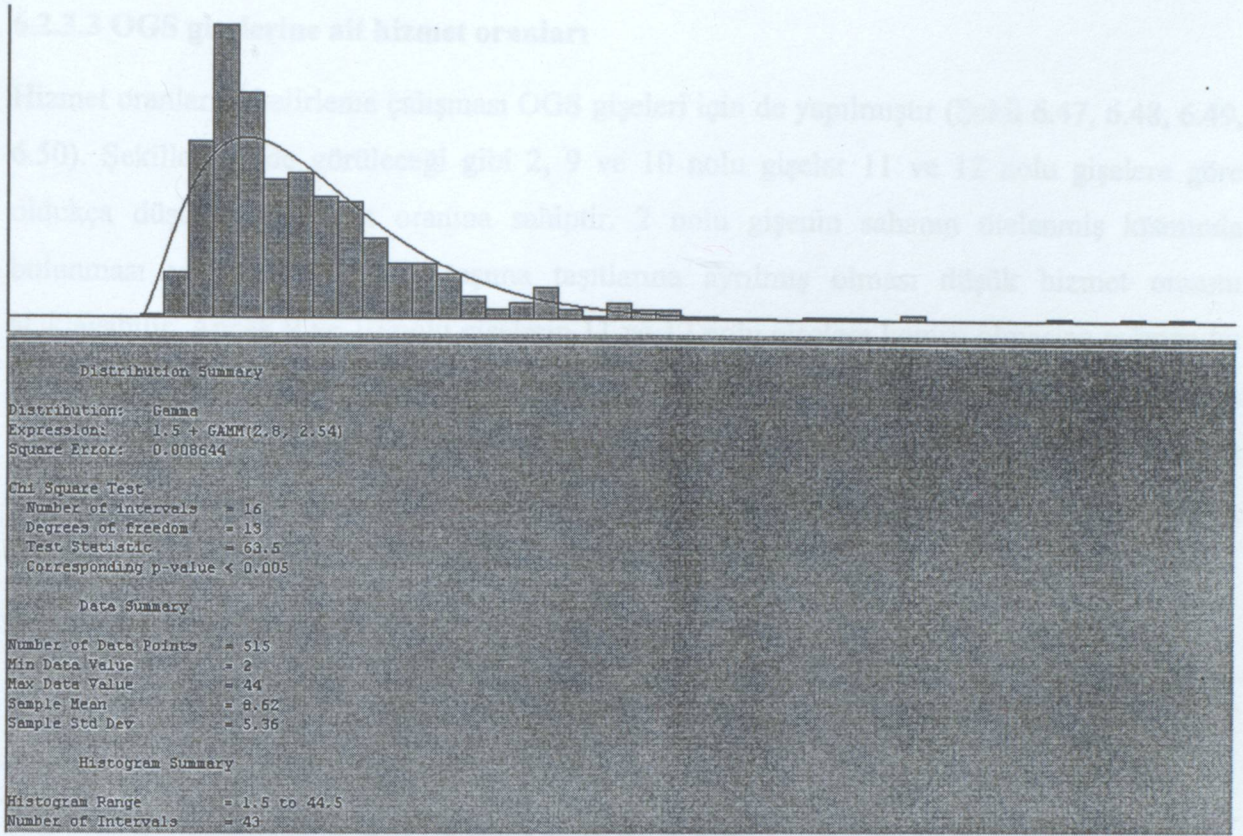
Gişe No	Tarih	Saat Aralığı	Verilerin Aritmetik Ortalaması (sn)	Hizmet Süresi Dağılımı
1	24.Eki.02	14:05 – 15:19	8,62	1,5 + Logn (7.06 , 4.96)
				1,5 + Gamm (2.8 , 2.54)
				1,5 + Erla (2.37 , 3.00)
3	24.Eki.02	16:27 – 18:00	7,75	2,5 + Logn (5.42 , 4.79)
				2,5 + Gamm (2.51 , 2.09)
				2,5 + Erla (2.62 , 2.00)
4	23.Eki.02	16:00 – 18:00	7,59	1,5 + Logn (6.06 , 3.26)
				1,5 + Gamm (1.54 , 3.95)
				1,5 + Erla (1.42 , 4.00)
5	18.Eki.02	15:02 – 16:46	7,63	0,5 + Logn (7.10 , 3.73)
				0,5 + Erla (1.72 , 4.14)
				0,5 + Gamm (1.72 , 4.14)
6	22.Eki.02	15:42 – 16:30	7,86	2,5 + Logn (5.45 , 4.16)
				2,5 + Erla (1.79 , 3.00)
				2,5 + Gamm (2.14 , 2.51)
7	18.Eki.02	15:39 – 17:00	7,9	2,5 + Logn (5.47 , 3.98)
				2,5 + Erla (1.80 , 3.00)
				2,5 + Gamm (2.04 , 2.65)
8	18.Eki.02	14:57 – 16:56	8,27	2,5 + Logn (5.48 , 4.55)
				2,5 + Gamm (2.42 , 2.38)
				2,5 + Erla (2.88 , 2.00)
13	24.Eki.02	16:10 – 18:00	7,69	1,5 + Logn (6.16 , 3.85)
				1,5 + Erla (2.06 , 3.00)
				1,5 + Gamm (1.98 , 3.12)
14	18.Eki.02	15:50 – 18:00	9,68	0,5 + Logn (9.08 , 6.06)
				0,5 + Gamm (3.39 , 2.71)
				0,5 + Erla (3.06 , 3.00)
15	18.Eki.02	13:27 – 14:57	8,09	2,5 + Gamm (2.62 , 2.14)
				2,5 + Erla (2.80 , 3.00)
				2,5 + Logn (5.76 , 5.01)



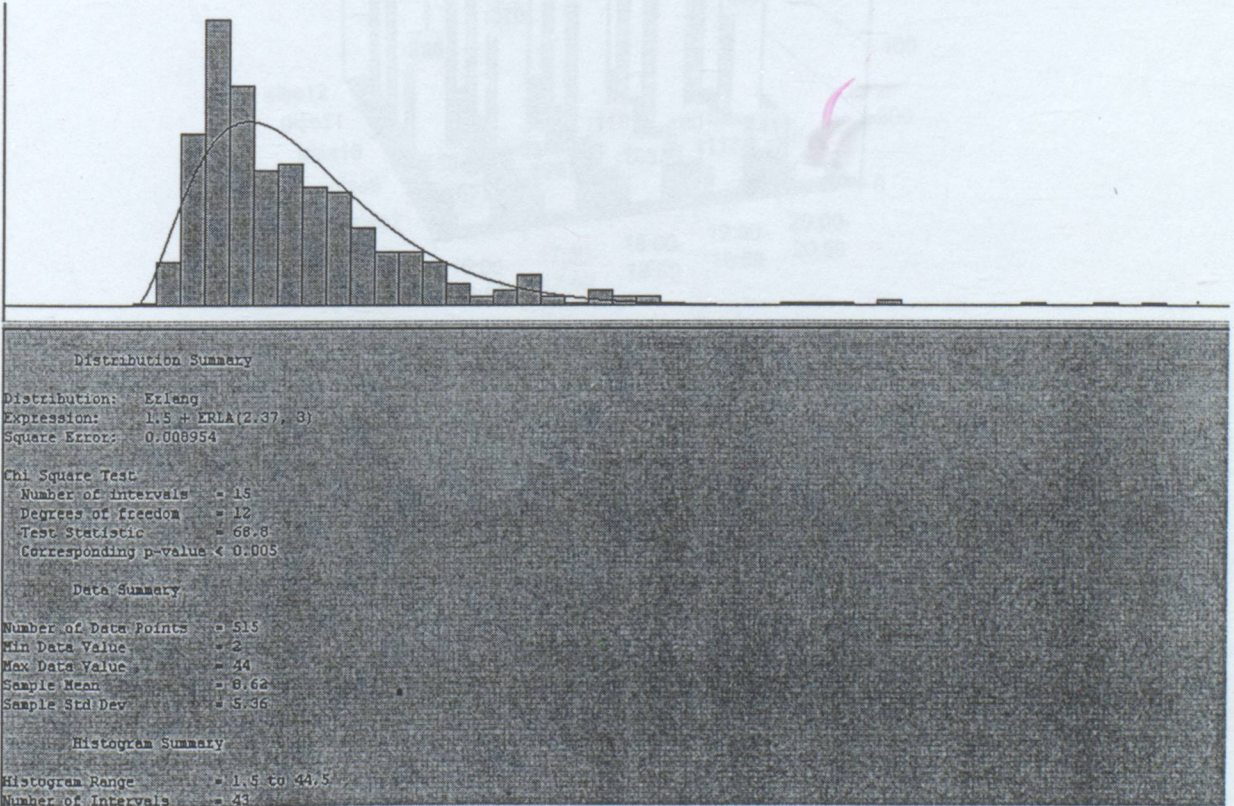
Şekil 6.43 24 Ekim 2002 14:05-15:19 saatleri arasında 1 nolu gişeye ait hizmet sürelerinin Input Analyzer'a göre uyduğu dağılımlar



Şekil 6.44 24 Ekim 2002 günü 14:05-15:19 saatleri arasında 1 nolu gişenin hizmet sürelerine ait Lognormal dağılım



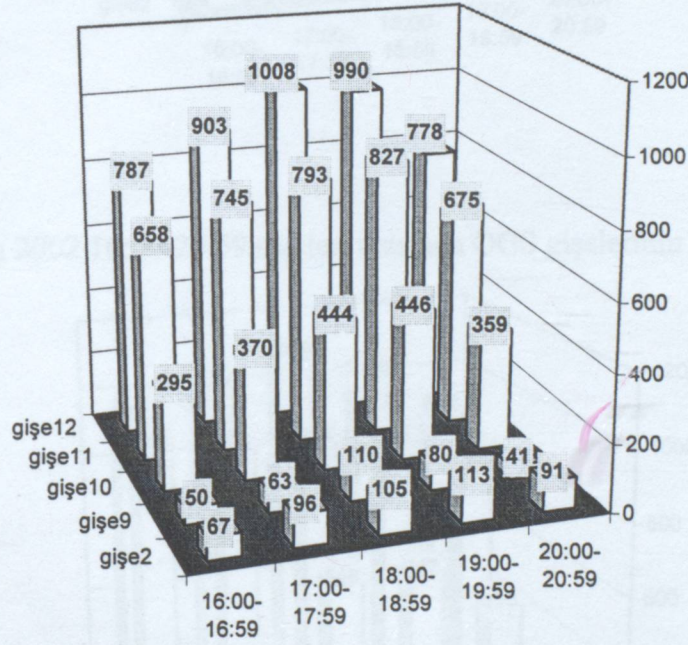
Şekil 6.45 24 Ekim 2002 günü 14:05-15:19 saatleri arasında 1 nolu gişenin hizmet sürelerine ait Gamma dağılımı



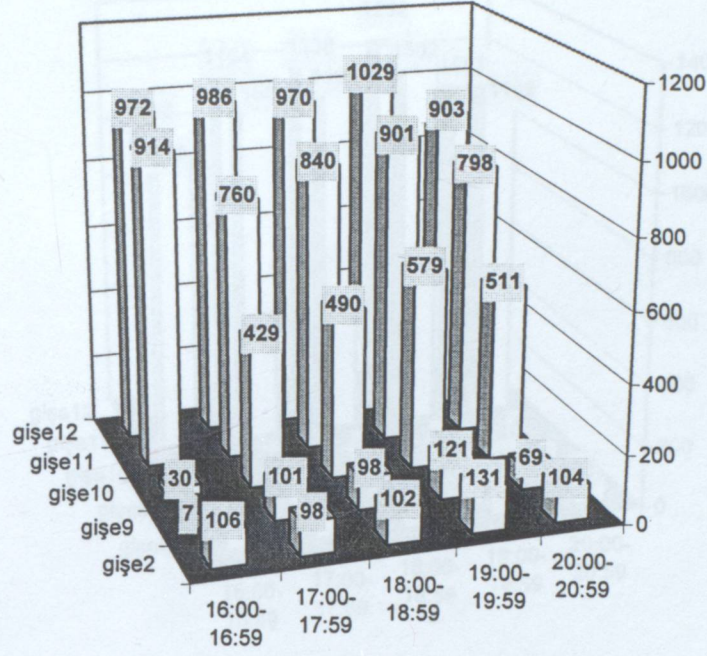
Şekil 6.46 24 Ekim 2002 günü 14:05-15:19 saatleri arasında 1 nolu gişenin hizmet sürelerine ait Erlang dağılımı

### 6.2.3.3 OGS gişelerine ait hizmet oranları

Hizmet oranlarını belirleme çalışması OGS gişeleri için de yapılmıştır (Şekil 6.47, 6.48, 6.49, 6.50). Şekillerden de görüleceği gibi 2, 9 ve 10 nolu gişeler 11 ve 12 nolu gişelere göre oldukça düşük bir hizmet oranına sahiptir. 2 nolu gişenin sahanın ötelenmiş kısmında bulunması ve özellikle toplu taşıma taşıtlarına ayrılmış olması düşük hizmet oranını açıklayabilir. Ancak 9 ve 10 nolu gişelerin 11 ve 12 nolu gişelere komşu olmasına rağmen bu kadar farklı bir hizmet oranına sahip olması, bu gişelerin kapasitesinde kullanılmadığını göstermektedir. Kapasitesinde kullanılmayan bu gişelerin klasik gişelere dönüştürülmeleri durumunda, klasik gişelerin önündeki kuyrukların kısalabileceği, böylece gişe sahasının performansının artmasına katkı yapabileceği düşünülmektedir.

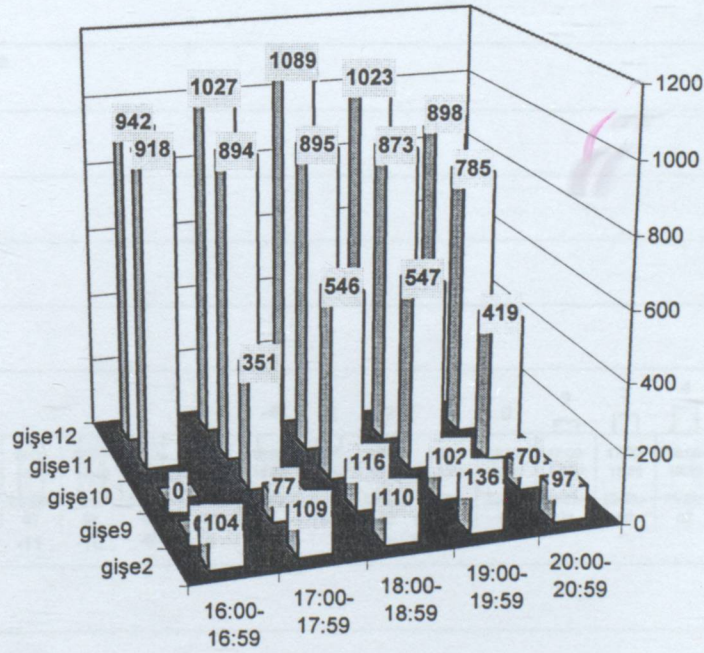


Şekil 6.47 18 Ekim 2002 16:00-20:59 saatleri arasında OGS gişelerinin saatlik hizmet oranları

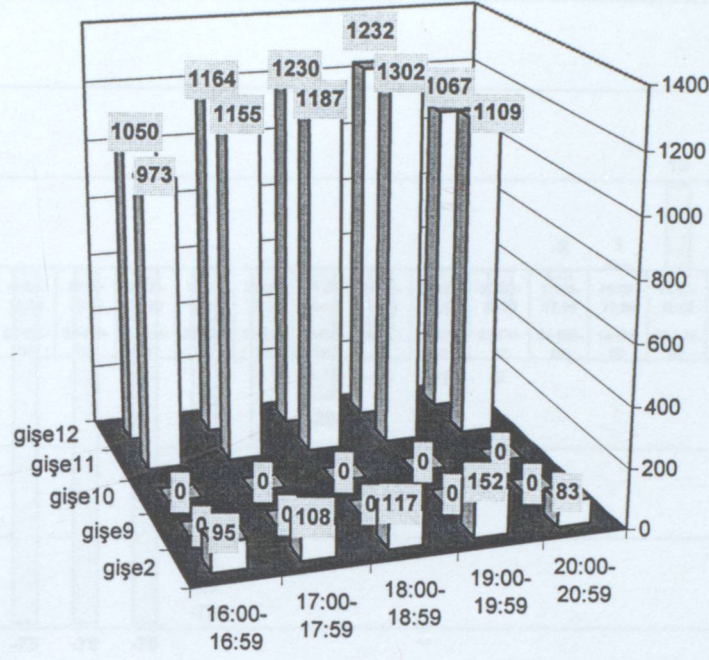


Şekil 6.50 24 Ekim 2002 16:00-20:59 saatleri arasında OGS gişelerinin saatlik hizmet oranları  
OGS gişeleri için de her saatte ait hizmet oranları, grafiklere aktarılmasına karşın, grafikleri

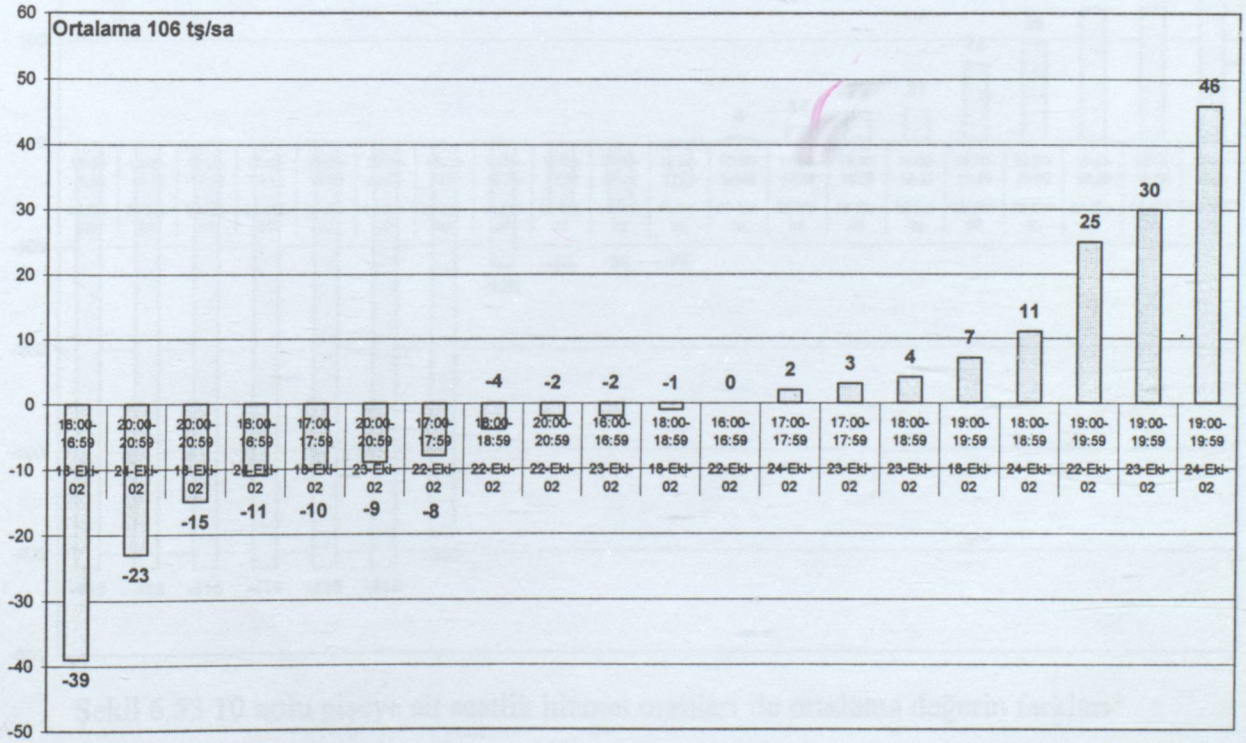
Şekil 6.48 22 Ekim 2002 16:00-20:59 saatleri arasında OGS gişelerinin saatlik hizmet oranları



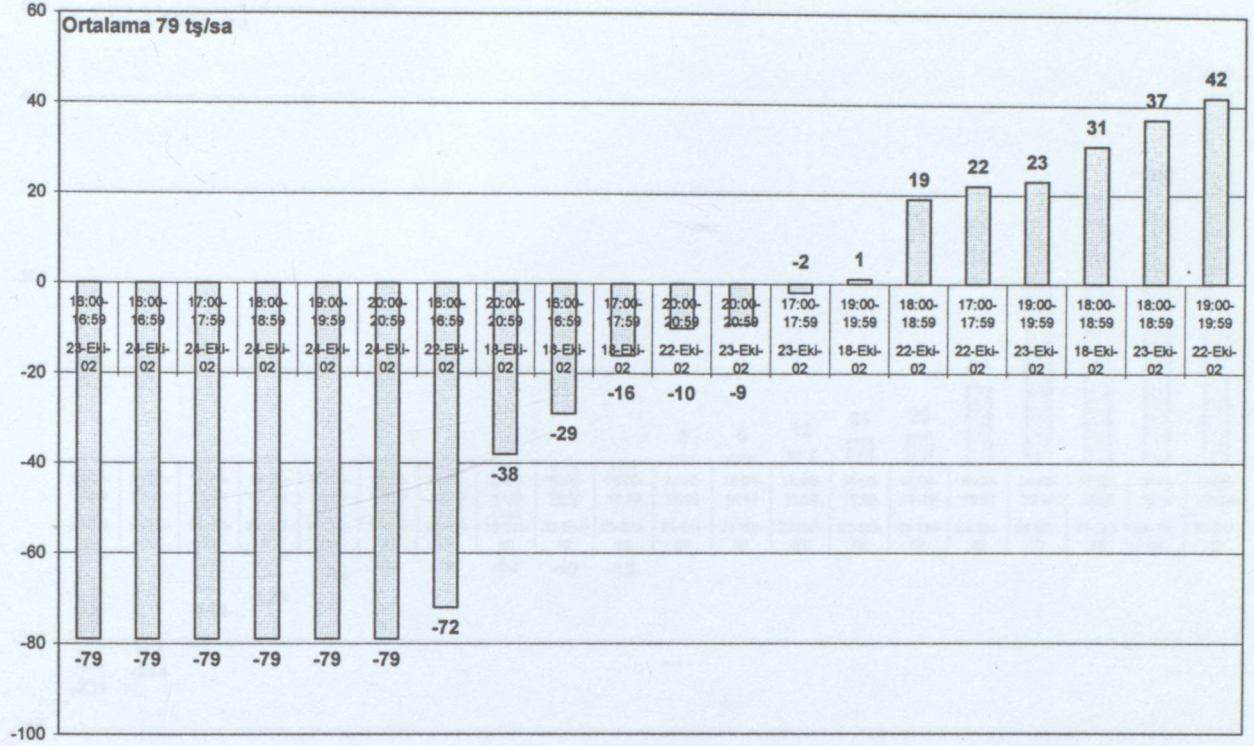
Şekil 6.49 23 Ekim 2002 16:00-20:59 saatleri arasında OGS gişelerinin saatlik hizmet oranları



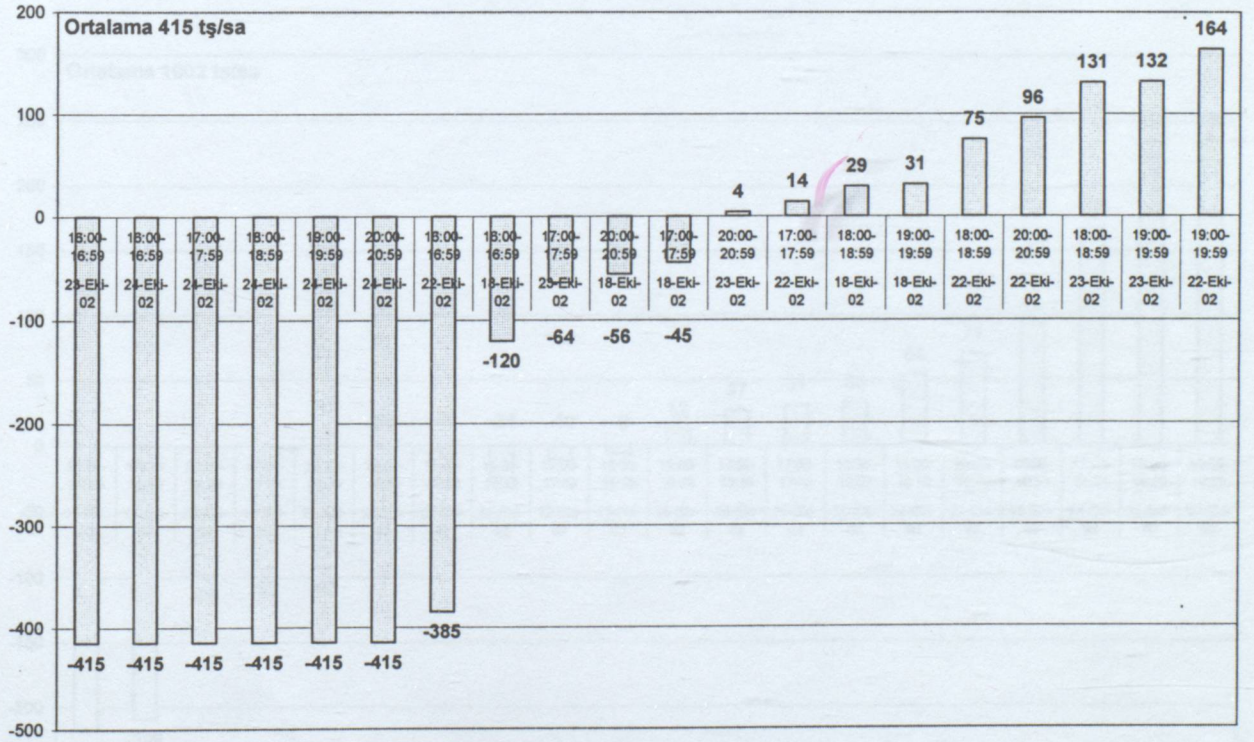
Şekil 6.50 24 Ekim 2002 16:00-20:59 saatleri arasında OGS gişelerinin saatlik hizmet oranları OGS gişeleri için de her saate ait hizmet değerinden ortalama değer çıkarılarak fark grafikleri çizilmiştir (Şekil 6.51, 6.52, 6.53, 6.54 ve 6.55)



Şekil 6.51 2 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değerlerin farkları

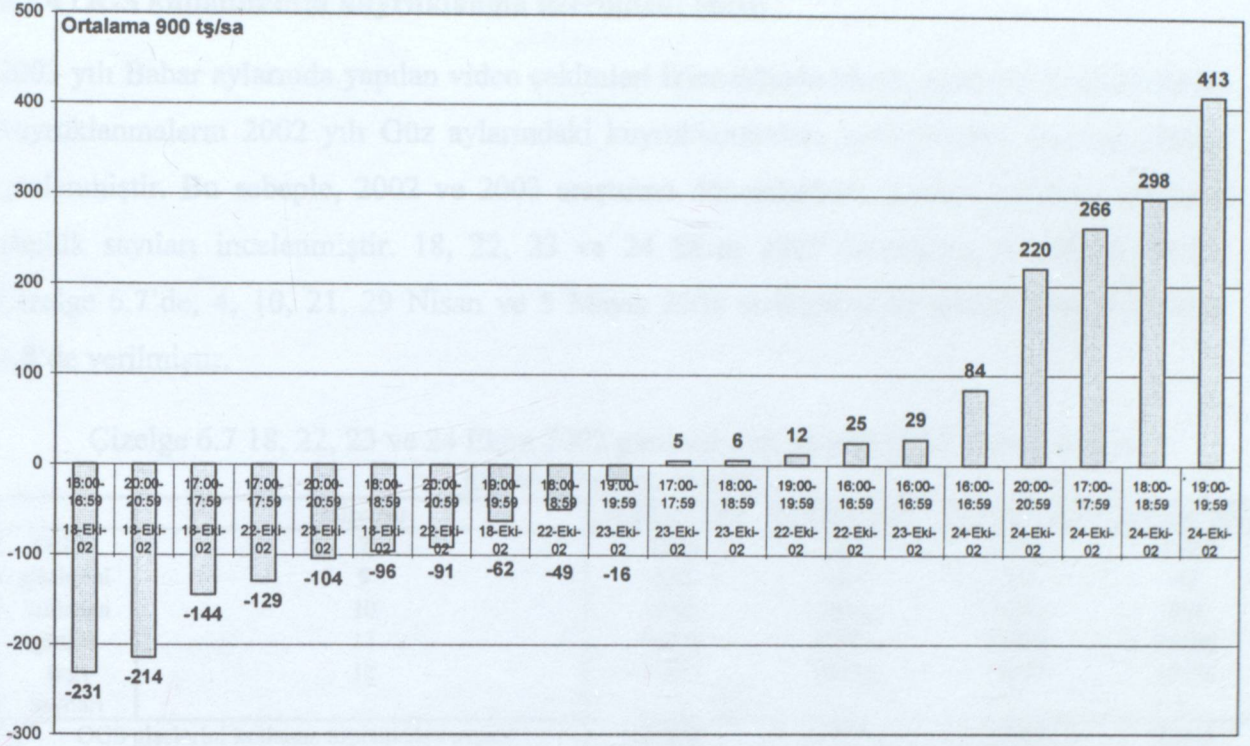


Şekil 6.52 9 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değerin farkları \*

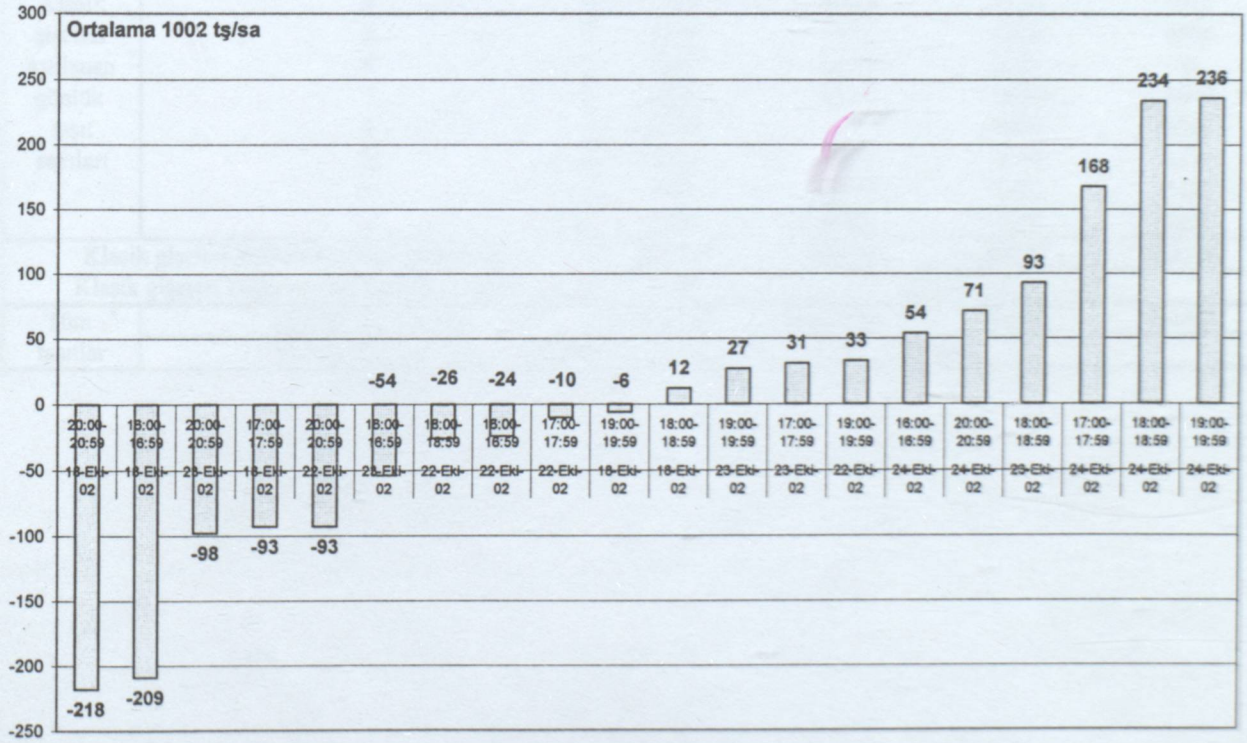


Şekil 6.53 10 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değerin farkları \*

\* 9 ve 10 nolu gişeler 24 Ekim 2002 tarihinde inceleme yapılan saatlerde ve 23 Ekim 2002 saat 16:00-16:59 arasında hizmet vermemiştir. Bu saatler arasındaki değerler ortalamaya katılmamıştır.



Şekil 6.54 11 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları



Şekil 6.55 12 nolu gişeye ait saatlik hizmet oranları ile ortalama değer farkları

### 6.2.4 OGS kullanımının kuyruklanma üzerindeki etkisi

2003 yılı Bahar aylarında yapılan video çekimleri izlendiğinde klasik gişelerin önünde oluşan kuyruklanmaların 2002 yılı Güz aylarındaki kuyruklanmalara göre oldukça azalmış olduğu gözlenmiştir. Bu sebeple, 2002 ve 2003 araştırma dönemlerinde gişeleri kullanan taşıtların günlük sayıları incelenmiştir. 18, 22, 23 ve 24 Ekim 2002 tarihlerine ait günlük veriler Çizelge 6.7'de; 4, 10, 21, 29 Nisan ve 5 Mayıs 2003 tarihlerine ait günlük veriler Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.7 18, 22, 23 ve 24 Ekim 2002 günlerine ait günlük OGS ve klasik gişe kullanıcılarının sayıları

		Gişe No	18 Ekim 2002	22 Ekim 2002	23 Ekim 2002	24 Ekim 2002
OGS gişelerini kullanan günlük taşıt sayıları		2	1580	1619	1658	1723
		9	630	485	523	43
		10	4528	4306	3520	503
		11	10779	11396	11604	14188
		12	11571	12150	12272	14378
OGS gişelerini kullanan toplam taşıt sayısı			29088	29956	29577	30835
OGS gişelerini kullanan ortalama taşıt sayısı			29864			
		Gişe No	18 Ekim 2002	22 Ekim 2002	23 Ekim 2002	24 Ekim 2002
Klasik gişeleri kullanan günlük taşıt sayıları		1	7542	6881	7090	7594
		3	7195	6998	6805	7598
		4	312	6972	6634	7021
		5	8948	8911	8948	8854
		6	8482	8473	2234	0
		7	8528	8862	7795	8606
		8	7395	27	6595	8060
		13	4656	4974	4358	5515
		14	5222	5296	5193	5487
		15	5528	3958	4640	4891
Klasik gişeleri kullanan toplam taşıt sayısı			63808	61352	60292	63626
Klasik gişeleri kullanan ortalama taşıt sayısı			62270			
Tüm taşıtlar	Toplam taşıt sayısı		92896	91308	89869	94461
	Ortalama taşıt sayısı		92134			

Çizelge 6.8 4, 10, 21 ve 29 Nisan 2003 ve 5 Mayıs 2003 günlerine ait günlük OGS ve klasik gişe kullanıcılarının sayıları

Gişe No		4 Nisan 2003	10 Nisan 2003	21 Nisan 2003	29 Nisan 2002	5 Mayıs 2003
OGS gişelerini kullanan günlük taşıt sayıları	2	2032	2039	1986	1800	1862
	9	1054	1094	1667	1738	1329
	10	5950	6210	7612	6539	6337
	11	12664	12594	9612	12859	12663
	12	14320	14854	15631	15006	14104
OGS gişelerini kullanan toplam taşıt sayısı		36020	36791	36508	37942	36295
OGS gişelerini kullanan ortalama taşıt sayısı		36711				
Gişe No		4 Nisan 2003	10 Nisan 2003	21 Nisan 2003	29 Nisan 2002	5 Mayıs 2003
Klasik gişeleri kullanan günlük taşıt sayıları	1	6567	4978	5482	5693	6150
	3	6581	5726	5447	6068	6559
	4	3628	5524	4323	4352	2780
	5	6974	6892	7186	6181	6546
	6	6770	8220	7873	8247	8313
	7	8843	6758	8169	8293	8733
	8	7502	8366	7198	7572	7460
	13	4859	5060	4387	4290	3782
	14	5151	4030	3723	4463	3888
	15	2029	2368	2447	2460	2425
Klasik gişeleri kullanan toplam taşıt sayısı		58904	57922	56235	57619	56636
Klasik gişeleri kullanan ortalama taşıt sayısı		57670				
Tüm taşıtlar	Toplam taşıt sayısı	94924	94713	92743	95561	92931
	Ortalama taşıt sayısı	94381				

Araştırma döneminde günlük ortalama taşıt sayısı %2,44 (2247 taşıt) artmıştır.

Aynı dönemde OGS gişelerini kullanan taşıtların ortalama günlük sayısı 2002 yılında 29864 iken, 2003 yılında (yaklaşık 6 ay sonra) % 22,9'luk bir artışla 36711'e yükselmiştir.

Klasik gişelerde ise kullanıcı sayısı 2002 yılında ortalama 62270 değerine sahipken 2003 yılında %7,39'luk bir gerileme ile ortalama 57670'e düşmüştür.

OGS kullanıcılarında ortalama 6847 tş/gün'lük bir artış, klasik gişe kullanıcılarında ise 4600 tş/gün'lük azalma sözkonusudur. Buradan, 2003 yılındaki 2247 taşıtlık trafik artışının büyük bölümünün de OGS kullanıcıları olduğu sonucuna varılabilir.

Günlük toplam trafik içindeki OGS kullanıcılarının oranı 2002 yılında %32,4 iken, 2003 yılında bu oran % 38,9'a yükselmiştir. Klasik gişe kullanıcılarının günlük toplam trafik içindeki oranı 2002 yılında %67,6 değerine sahipken, 2003 yılında bu değer %61,1'e düşmüştür. Günlük toplam trafik içindeki OGS kullanıcılarında 2002'den 2003'e %6,5 oranında bir artış görülmekte, aynı dönemde klasik gişe kullanıcılarında ise aynı oranda azalma gözlenmektedir.

Günlük trafik için yapılmış olan yukarıdaki inceleme 16:00-20:59 saatleri arasındaki zirve trafik koşullarında yapıldığında, Çizelge 6.9 ve 6.10'daki sonuçlar elde edilmiştir:

Çizelge 6.9 18, 22, 23 ve 24 Ekim 2002 günlerinde 16:00-20:59 saatleri arasında OGS ve klasik gişe kullanıcı sayıları

		Gişe No	18 Ekim 2002	22 Ekim 2002	23 Ekim 2002	24 Ekim 2002
OGS gişelerini kullanan taşıt sayıları	2		472	541	556	555
	9		344	396	365	0
	10		1914	2039	1863	0
	11		3698	4213	4365	5726
	12		4466	4860	4979	5743
	OGS gişelerini kullanan toplam taşıt sayısı			10894	12049	12128
OGS gişelerini kullanan ortalama taşıt sayısı			11774			
		Gişe No	18 Ekim 2002	22 Ekim 2002	23 Ekim 2002	24 Ekim 2002
Klasik gişeleri kullanan taşıt sayıları	1		2153	2257	2237	2123
	3		2337	2208	2216	2290
	4		84	2190	2325	2163
	5		2363	2406	2416	2232
	6		1972	2335	0	0
	7		2249	2155	2289	2213
	8		2057	24	2341	2162
	13		2429	2309	2298	2270
	14		2057	2316	2184	2319
	15		2087	2107	2282	2348
Klasik gişeleri kullanan toplam taşıt sayısı			19788	20307	20588	20120
Klasik gişeleri kullanan ortalama taşıt sayısı			20201			
Tüm taşıtlar	Toplam taşıt sayısı		30682	32356	32716	32144
	Ortalama taşıt sayısı		31975			

Çizelge 6.10 4, 10, 21 ve 29 Nisan 2003 ve 5 Mayıs 2003 günlerinde 16:00-20:59 saatleri arasında OGS ve klasik gişe kullanıcı sayıları

		Gişe No	4 Nisan 2003	10 Nisan 2003	21 Nisan 2003	29 Nisan 2003	5 Mayıs 2003
OGS gişelerini kullanan taşıt sayıları	2		773	803	804	580	611
	9		625	649	945	1165	835
	10		2659	2700	3029	2828	2964
	11		4622	4730	4960	4716	4816
	12		5790	6050	6293	6235	5757
	OGS gişelerini kullanan toplam taşıt sayısı			14469	14932	16031	15524
OGS gişelerini kullanan ortalama taşıt sayısı			15188				
		Gişe No	4 Nisan 2003	10 Nisan 2003	21 Nisan 2003	29 Nisan 2003	5 Mayıs 2003
Klasik gişeleri kullanan taşıt sayıları	1		2041	1829	1795	1656	1881
	3		2014	1604	1449	1776	1948
	4		1932	1997	1726	1846	1529
	5		1041	794	1750	921	1431
	6		1983	2285	2268	2184	2200
	7		2272	2300	2197	2258	2034
	8		2221	2220	1876	2290	2216
	13		2062	2012	2133	2089	2289
	14		2171	1944	1863	2083	1719
	15		1711	1758	1805	1927	989
Klasik gişeleri kullanan toplam taşıt sayısı			19448	18743	18862	19030	18236
Klasik gişeleri kullanan ortalama taşıt sayısı			18864				
Tüm taşıtlar	Toplam taşıt sayısı		33917	33675	34893	34554	33219
	Ortalama taşıt sayısı		34052				

2002 yılı araştırma döneminde 16:00-20:59 saatleri arasında OGS gişelerini kullanan taşıtların ortalama sayısı 11774'dür. 2003 yılında bu sayı %29'luk bir artışla 15188'e yükselmiştir.

Klasik gişelerde ise 2002 yılında ortalama kullanıcı sayısı 20201 değerine sahipken 2003 yılında %6,6'lık bir gerileme ile ortalama 18864'e düşmüştür.

Araştırma döneminde 5 saatlik (16:00-20:59 arası) ortalama taşıt sayısı, 31975'den 34052'ye 2077 taşıtlık (%6,5) bir artış göstermiştir.

5 saatlik toplam trafik içindeki OGS kullanıcılarının oranı 2002 yılında %36,8 iken, 2003 yılında bu oran %44,6'ya yükselmiştir. Klasik gişe kullanıcılarının 5 saatlik toplam trafik içindeki oranı 2002 yılında %63,2 değerine sahipken, 2003 yılında bu değer %55,4'e düşmüştür. Toplam trafik içindeki OGS kullanıcılarında 2002'den 2003'e %7,8 oranında bir artış görülmekte, aynı dönemde klasik gişe kullanıcılarında ise aynı oranda azalma gözlenmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda bulunan değerler, kuyruklanmaların 2003 yılında, 2002 yılına göre daha az olmasının ana nedeninin OGS kullanıcıları sayısının artması olduğunu göstermektedir.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Trafik özelliklerinin Bölüm 6'da incelendiği Boğaziçi Köprüsü gişe sahasında 2002 yılına ait 4 günde yapılan incelemeler sonucunda, klasik gişelerden geçen taşıt sayılarının en küçük 321, en büyük 553 olduğu; OGS gişelerinden geçen en büyük taşıt sayısının 1302 olduğu gözlenmiştir. Ayrıca klasik gişelerin ölçülen hizmet sürelerinin ortalama değerlerinin 7,59 saniye ile 9,68 saniye arasında değiştiği belirlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda gişe performansı üzerinde etkisi olan etmenler belirlenmiştir. Sonuç olarak aşağıda belirtilen noktaların önem taşıdığı düşünülmektedir.

- Klasik (manuel) gişelerden hizmet almak isteyen taşıtların oluşturduğu kuyruklar özellikle gişede çalışan memurun performansına bağlıdır. Asya ankrasında şerit bazında yapılan incelemelerde görevli değişiminin hemen ardından akımlarda geçici azalmalar olduğu görülmüştür (Şekil 6.10, 6.11, 6.12). Bunun sebebinin gişe görevlilerinin işe ilk başladıklarında bozuk para sıkıntısı çekmeleri olduğu Başmühendislik'ten öğrenilmiştir. Bu sebeple gişe görevlilerinin işe boş bir kasa yerine belirli miktarda bozuk para ile başlamalarının daha uygun olduğu düşünülmektedir.
- Gişe sahasındaki trafiği etkileyen bir diğer faktör de ek şerit uygulamasıdır. Ek şerit, akşam saatlerinde yaklaşık olarak 16:00-21:00 saatleri arasında uygulanmaktadır. Gişe sahasında zirve saatlerde uzun taşıt kuyrukları meydana gelmektedir. Kuyruklar taşıtların gişe sahasına girişini engelleyecek kadar uzamaktadır (Şekil 6.27). Ek şerit açıldığında ise gişe sahasının hizmet özelliklerinde önemli bir değişiklik yapılmadığı halde geliş oranı artmaktadır. 2002 yılında yapılan gözlemler sonucunda ek şeritin açılmasının gişe sahasında yoğunluğu arttırdığı ve bu olayın etkilerinin (yavaşlama/akım azalması şeklinde) dalga hareketi ile akım yukarı yönde ilerlediği tesbit edilmiştir (Şekil 6.1-6.5).

Trafik Denetleme Şube Müdürlüğü'nün uygulamakta olduğu yöntem, ekiplerden bilgi alma yoluyla yoldaki trafik koşullarına bağlı olarak ek şeritin uygulanma süresini (başlangıç ve bitiş zamanlarını) belirlemektir.

Ek şeritin açılma/kapatılma zamanlarının inisiyatife yer bırakmayacak şekilde, teknolojik olarak (örneğin sensörler yardımıyla) teknoloji kullanılarak belirlenmesi önerilmektedir. Ayrıca uygulama başlatılmadan önce gişe sahasındaki yoğunluk

durumu da incelenmelidir. Ek şerit uygulamasının gişe sahasının yoğunluğuna ve anayoldaki trafik koşullarına bağlı olarak başlatılması önerilmektedir.

- Boğaziçi Köprüsü gişe sahası planı üzerinde gişelere ait önerilen kuyruk uzunlukları gösterilmiştir (Şekil 6.26). Önerilen uzunluklara her gişenin kuyruklanma yeri incelenerek karar verilmiştir. Önerilen kuyruk uzunluklarından sonra gişelere erişim oldukça zorlaşmaktadır. Kuyruk uzunlukları aşıldığında gişe sahasının doygunluğa eriştiği açıkça görülmektedir. Bu durumda, eğer hizmet vermeyen gişe varsa bu gişelerin açılması önerilmektedir. Aksi takdirde sahanın performansının oldukça azalacağı açıktır.
- Kuyruk uzunlukları özellikle hızlarını çok düşürmeden OGS gişelerinden hizmet almayı amaçlayan taşıtlar için sorun oluşturmaktadır. İETT ve ÖHO taşıtlarının geçişine tahsis edilmiş olan 2 nolu OGS gişesinden hizmet almak isteyen taşıtlar, özellikle dar olan bu kısımda erişim konusunda güçlükler yaşamaktadır. Aynı şekilde 9, 10, 11 ve 12 nolu OGS gişelerini kullanmak isteyen OGS donanımlı taşıtlar, her iki yandaki klasik gişelerin kuyruklarının uzaması sebebiyle manevra veya bekleme yapmak zorunda kalmaktadırlar.
- Önemli bir başka nokta da OGS gişelerinin sayısıdır. Boğaziçi Köprüsü gişe sahasında bulunan 9, 10, 11 ve 12 nolu gişelerin performansları incelendiğinde, 9 ve 10 nolu gişelerin 11 ve 12 nolu gişelere göre oldukça düşük sayıda taşıta hizmet verdikleri tesbit edilmiştir. Bu gişelerin (özellikle 9 nolu gişenin) OGS değil de klasik gişe olarak hizmet vermesinin gişe sahasının performansı açısından daha yararlı olup olmayacağı araştırılmalıdır.
- Bir diğer etmen de OGS gişelerinin saha içindeki yerleşimi konusudur. Beşinci bölümde önceden yapılmış araştırmalar sonucunda OGS gişelerinin –performans açısından- yerleşimi ile ilgili olarak elde edilmiş sonuçlar ve öneriler belirtilmiştir.
- Ayrıca gişe sahasına giren taşıtların hem gişelere yönlendirilmesi hem de düzenli kuyruklar oluşturmaları bakımından, sahadaki yer işaretlerinin performans üzerinde önemli etkisi olduğu düşünülmektedir. Taşıtların gişelere yönlendirilmesi, gişe sahasında yer kullanımı ve taşıtların çatışmalarının önlenmesi açısından yararlı olacaktır. Bu nedenle, uygun işaretlerin kullanılması ve düzenli bakımlarının yapılması gerekmektedir. Sahaya giriş ve çıkış bölgeleri ile kuyruklanma bölgelerine ait geometrik özelliklerin tekrar gözden geçirilmesi önerilmektedir.

- OGS kullanımının özendirilmesi gerekmektedir. OGS sayısındaki artışın olumlu etkileri 2003 araştırma döneminde görülmüştür. Ancak 1 Temmuz 2003'de başlayan uygulamayla geçiş ücretleri 1/4 oranında arttırılmıştır. Böylece 2 milyon TL geçiş ücreti otomobiller için 2,5 milyon TL olmuştur. Bu durum, gişeler önünde uzun kuyruklar oluşmasına yol açmaktadır. Bozuk para sorunundan kaynaklandığı düşünülen bu durumun, OGS kullanımının artışıyla sağlanan rahatlamayı olumsuz etkilediği gözlenmektedir. Gişe sahasının performansını arttırmaya yönelik olarak, OGS kullanımına dönük kampanyaya devam edilmeli ve gişe memurlarının bozuk para bulundurma sorununa bir çözüm bulunmalıdır.

Garber, E. 1976 *Transportation and Traffic Engineering Handbook* Institute of Traffic Engineering, Prentice Hall Inc., New Jersey

Kedzie, D., Sawicki, E., P. ve Sathwan, D. 1983 *Fundation With Africa, A Social Science*, McGraw-Hill Companies, Inc., New York

Kelly, C. J., Muhammed, J. 2001 *Fundamentals of Systems Engineering with Reliability, Probability, and Statistics*, Prentice Hall, New Jersey

Kulu, E. 1967 *Traffic Teorisi*, Trakya University, Edirne, Turkey

McDonald Jr., D., R. 1996 *Development of Toll Plaza Design Guidelines and Creation of Toll Plaza Design Model*, PhD Dissertation, Faculty of the Graduate School of Vanderbilt University, Tennessee

Patl, B. R. 1996 *Designing The Efficient Toll Plaza Using ICD/ICP - Three Water Gates*

Patl, A. 1996 "Methodology And Simulation For Toll Plaza Analysis" *World Research Journal*

Patl, A. ve Rishard, J. 1997 "A New Concept And A Model For Toll Plaza Planning" *Can. J. Civ. Eng. Constr.*

Patl, A. 1998 *Design, Simulation And Control Of Toll Plaza Planning*, Traffic Engineering And Control

Patl, A. 1998 *Simulation Teorisi*, Trakya University, Edirne, Turkey

Patl, A. ve Zeki, A. 2001 "Trafik Kapama Sorunu Yönetiminde Akadik Katilimlerin Önemi Ve Kararlar Sürecinin Etkinleştirilmesi" *İstanbul'da Karar İki Ulaştırma Konferansı*, 24-29 Haziran 2001, İstanbul

Patl, A. 2001 "İstanbul'da Karar İki Ulaştırma Konferansı Katilim Düzeyinin Artırılması" *1. Ulaştırma Konferansı*, İstanbul'da Karar İki Ulaştırma Konferansı, 24-29 Haziran 2001, İstanbul

**KAYNAKLAR**

Al-Deek, H. ve Mohamed, A. 2000 "Simulation and Evaluation of the Orlando-Orange County Expressway Authority (OOCEA) Electronic Toll Collection Plazas Using TPSIM", The Florida Department of Transportation Research Center, Orlando.

Banks, H. 1998 Introduction to Transportation Engineering, McGraw Hill, New York.

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

Chao, X., "Design and Evaluation of Toll Plaza Systems", New Jersey Institute of Technology.

Cliffs, E. 1976 Transportation and Traffic Engineering Handbook Institute of Traffic Engineering, Prentice Hall Inc., New Jersey.

Kelton, D., Sadowski, R., P. ve Sadowski, D. 2002 Simulation With Arena, A. Second Edition, McGraw Hill Companies, Inc., New York.

Khisty, C. J., Mohammadi, J. 2001 Fundamentals of Systems Engineering with Economics, Probability, and Statistics, Prentice Hall, New Jersey.

Kutlu, K. 1967 Trafik Tekniği, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.

McDonald Jr., D., R. 1999 Development of Toll Plaza Design Guidelines and Creation of Toll Plaza Design Model, PhD Dissertation, Faculty of the Graduate School of Vanderbilt University, Tennessee.

Pati, B. R. 1996 Designing The Efficient Toll Plazas Using IQPAC, Pc-Trans Winter Quarter.

Polus, A. 1996 "Methodology And Simulation For Toll Plaza Analysis", Road&Transport Research.

Polus A. ve Reshetnik, I. 1997 A New Concept And A Manual For Toll Plaza Planning, Can. J. Civ. Eng., Canada.

Polus A. 1998 Dynamic Equilibrium And Concepts Of Toll-Plaza Planning, Traffic Engineering And Control.

Sariaslan, H 1998 Simulasyon Tekniği-Kuyruk Teorisi Modellerinin Analizi, Turhan Kitabevi, 2. bası, Ankara.

Şahin, İ. ve Zorer, A. 2001 "Boğaziçi Köprüsü Bağlantı Yollarındaki Ardışık Katılımların Analizi Ve Kapasite Kullanım Düzeyinin Araştırılması", İstanbul'da Kent İçi Ulaşım Sempozyumu, 28-29-30 Haziran 2001, İstanbul.

Şahin, İ. 2001 "İstanbul Boğaziçi Köprüsü Bağlantı Yollarında Kapasite Kullanım Düzeyinin Araştırılması", 5. Ulaştırma Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Bildiriler Kitabı, s. 223-230, 2001, İstanbul.

Van Dijk, N. M., Hermans, M. D. ve Teunisse, J.G. 1999 "Designing The Westerscheldetunnel Toll Plaza Using A Combination Of Queueing And Simulation, Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, Canada.  
Yardımcı, M.S. 2002 Basılmamış Trafik Ders Notları, YTÜ, İstanbul.

Yayla, N. 1981 Yol İnşaatı, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.

### İNTERNET KAYNAKLARI

[1] [www.kgm.gov.tr](http://www.kgm.gov.tr)

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 05.03.1976

Doğum yeri Ergani

Lise 1987-1994 Antalya Anadolu Lisesi

Lisans 1994-1999 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

**Çalıştığı kurum(lar)**

1999-2000 YBTAŞ Yapısal Tasarım Hizmetleri A. Ş.

2000-Devam ediyor YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi

