

Eskişehir Yeni Garının Trafik Etkilerinin Değerlendirilmesi

Furkan Erdem Şahin

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat 2015

The Evaluation Traffic Impact of Eskisehir New Station

Furkan Erdem Şahin

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

Şubat 2015

Eskişehir Yeni Garının Trafik Etkilerinin Değerlendirilmesi

Furkan Erdem Şahin

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Mühendisliği Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Şafak Bilgiç

Şubat 2015

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Furkan Erdem Şahin'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Eskişehir Yeni Garının Trafik Etkilerinin Değerlendirilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Şafak Bilgiç

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Yrd.Doç. Dr. Şafak BİLGİÇ

Üye : Doç. Dr. Murat KARACASU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet CANBAZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan EROL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Polat YALINIZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Yrd. Doç. Dr. Şafak BİLGİÇ danışmanlığında hazırlamış olduğum “Eskişehir Yeni Garının Trafik Etkilerinin Değerlendirilmesi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 17/03/2015

Furkan Erdem ŞAHİN

İmza

ÖZET

Trafik sorunları psikolojik, ekonomik ve çevresel zararlar vermektedirler. Trafik sorunlarının çözümünde kavşaklar arası etkileşim kurulması önemli bir unsurdur. Bir trafik şebekesinin performansı gecikme değeriyle anlaşılır. Sinyalize kavşaklarda meydana gelen taşıt gecikmeleri tüm sistemi etkilemektedir. Taşıtların gecikmesi hem yakıt kullanımını, hem de egzoz emisyonu değerlerini artırmaktadır.

Kavşaklar arası koordinasyonun, trafik akış ve faz düzenlemelerinin öneminin incelenebilmesi amacıyla Eskişehir Gar bölgesi çalışma bölgesi olarak seçilmiştir.

Eskişehir Gar Bölgesi kent merkezinin ortasında yer almaktadır. Artan nüfus ve yetersiz kalan yollar Eskişehir Gar Bölgesi'nde beraberinde trafik sorunlarını da getirmiştir. Devam eden Yüksek Hızlı Tren inşaatları ile artacak yolcu sayısına hizmet verebilmek amacıyla, yeni Eskişehir Gar binası çalışmaları devam etmektedir. 2023 yılında günlük 20000 kişiye ulaşması beklenen Yüksek Hızlı Tren yolcuları sebebiyle, bu bölgede ciddi trafik sorunları oluşması beklenmektedir.

Tez çalışmasının amacı, Gar Bölgesi'nin güneyinde kalan ve bugün dahi ciddi trafik sorunlarına sahip olan M.K. Atatürk Caddesi'nin kavşakları arasında faz ve koordinasyonların düzenlenip, yeni senaryolar üretmek ve karşılaştırmaktır. Bu cadde üzerindeki sinyalize kavşaklarda tek yön, çift yön ve koordinasyon yapılması gibi çeşitli senaryolar üretilip analiz yapılmıştır. Aynı zamanda gar bölgesi gelecek trafik etkileri de dikkate alınmıştır.

Çalışma sonuçlarında kavşaklar arası koordinasyon oluşturma ve Mustafa Kemal Atatürk Caddesi'ni tek yöne çevirme en verimli sonuç olarak görülmüştür. Toplam gecikme değerinde, kavşaklar arası koordinasyon sistemi kurulmasıyla yüzde 40'a varan ve koordinasyonla beraber tek yön sistemi kurulmasıyla yüzde 54'e varan azalmalar görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Eskişehir / sinyalize kavşaklar / sinyal koordinasyonu / gecikme

SUMMARY

Traffic problems give psychological, economic and environmental damage. The establishment of interaction between intersections is an important element in the solution of traffic problems. Delay values to understand the performance of a traffic network. Vehicle delays occurred in signalized intersections affects the whole system. Vehicle delays increases both the use of fuel and exhaust emission values.

Eskisehir Station Area was selected study area for analyze importance of phase sequence, traffic flow and intersection coordination.

Eskişehir Station Area located in the middle of the city center. Increasing population and inadequate roads get along with traffic problems in Eskişehir Station Area. Eskişehir New Station building continues for ongoing construction High Speed Rail and serve to increase number of passengers. 20000 people are expected to reach a daily High Speed Rail passengers in 2023 because of expected to be serious traffic problems in this area.

The aim of the thesis, edit phase and coordination to generate and compare new scenarios between M.K Atatürk Street's intersections which is south of the station and is having serious traffic problems even today. Signalized intersections on this street generated and analyzed one direction, two directions and establishing coordination such as various scenarios. Also future traffic impacts of station area were considered.

The most efficient result is seen establishing coordinate between intersections and M.K. Atatürk Street turn one way. Total value of delay reduction is seen establish coordinate system up to 40 percent and turn one-way system up to 54 percent.

Keywords: Eskişehir / signalized intersections / signal coordination / delay

TEŞEKKÜR

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak yaptığım bu çalışmada, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Şafak BİLGİÇ'e, yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Çağdaş KARA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yaşamım boyunca her türlü maddi manevi desteğini sağlayan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
2. ESKİŞEHİR GAR BÖLGESİNDEKİ DEĞİŞİKLİKLER	3
2.1 Mevcut Eskişehir Garı	3
2.2 Eskişehir Yeni Garı	4
3. TRAFİK AKIMININ TEMEL ÖZELLİKLERİ	6
3.1 Hacim ve Akım Oranı	6
3.1.1 Hacim Karakteristikleri	6
3.1.1.1 <u>Hacim, talep ve kapasite ilişkisi</u>	7
3.1.1.2 <u>Trafiğin zamansal değişimi</u>	7
3.2 Hız	12
3.3 Yoğunluk	14
3.4 Trafiği Etkileyen Değişkenler Arasındaki İlişkiler	15
4. KAVŞAKLARDA TRAFİĞİN YÖNETİMİ	18
4.1 Kavşak Kontrolü	18
4.1.1 Pasif kontrol	19
4.1.2 Yarı kontrollü kavşaklar	20
4.1.3 Aktif kontrol.....	22

Sayfa

4.2 Sinyalizasyonun Tarihi ve Amacı	22
4.3 Sinyalizasyon Sistemleri	24
4.3.1 Sinyalizasyonun temel terimleri	25
4.3.2 Sola dönüşler	29
4.3.2.1 <u>Sola dönüşlerin korunması - izin verilmesi gereken genel durumlar</u>	30
4.3.3 Sinyalizasyon elemanları ve hesaplamaları	33
4.3.3.1 <u>Zaman aralığı ve başlangıç kaybı</u>	33
4.3.3.2 <u>Toplam kayıp süre ve efektif yeşil süresi</u>	36
4.3.3.3 <u>Kapasite ve doymuş akım</u>	38
4.3.3.4 <u>Sarı ve hepsi kırmızı süreler</u>	39
4.3.4 Sağa dönüşler ve yaya fazı	40
5. SİNYALİZE KAVŞAK ANALİZ YÖNTEMLERİ	44
5.1 Kritik Şerit Zaman Kısıtı Yöntemi	44
5.1.1 Trafik hacimlerin düzeltilmesi	44
5.1.2 Kritik şerit yöntemi	46
5.1.3 Yeşil sürelerin tayini	47
5.2 Periyot Süresi Formülleri	48
5.3 Gecikme	50
5.3.1 Webster gecikme hesabı	52
5.3.2 HCM 2000 gecikme modeli	56
5.3.3 IQA (HCM 2010) Metodu	58
5.4 HCM 2000 Yöntemiyle Analiz	61
5.4.1 Trafik Hacmi ve Doymuş Akım	66
5.4.1.1 <u>Şerit grupları ve doymuş akım</u>	66
5.4.3 Hizmet düzeyi	72

Sayfa

6. SİNYAL KOORDİNASYONU	75
6.1 Sinyal Koordinasyon İlkeleri	75
6.2 Zaman Mesafe Diyagramı ve İdeal Ofset	77
6.3 Tek Yönlü Caddelerde Sinyal Koordinasyonu	78
6.4 Bant Genişliği	80
6.4.1 Bant genişliği verimliliği	81
6.4.2 Bant genişliği kapasitesi	81
6.4.3 Kuyruktaki araçların etkisi	82
6.5 Çift Yönlü Caddelerde Sinyal Koordianasyonu	83
6.5.1 Çift yönlü kavşaklarda ofset durumu	84
6.5.2 Sorunlara karşı yaklaşımlar	86
6.6 Tek Yön Çift Yön Sistemlerinin Karşılaştırılması	88
6.7 Sinyal Koordinasyonu Çeşitleri	88
6.7.1 Alternatif Sistem	89
6.7.2 Çift Alternatif sistem	90
6.7.3 Simultane sistem	90
6.8 Synchro Paket Programı	91
6.8.1 Synchro programı temel hesaplamalar	95
7. ESKİŞEHİR GAR BÖLGESİNİN SENARYOLARININ OLUŞTURULMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI	100
7.1 Tez Çalışmasının Amacı	100
7.2 Veri Toplama ve Analiz	101
7.3 Kavşaklar ve Trafik Sayımları	101
7.4 Analizde Kullanılan Senaryolar	106
7.5 Senaryo Sonuçlarının Karşılaştırılması	108

	<u>Sayfa</u>
7.5.1 Simtraffic simülasyon analiz sonuçları	108
7.5.2 Senaryo zaman mesafe diyagramları	110
7.5.3 Synchron kavşak sonuçları	117
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	120
KAYNAKLAR DİZİNİ	122
EK AÇIKLAMALAR	126

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Eskişehir şehir merkezi	3
2.2 Eskişehir mevcut garı	4
2.3 Eskişehir yeni garı	5
2.4 Eskişehir yeni garına kuzeydoğudan bakış	5
3.1 Darboğaz bölgesinde kuyruk oluşumu	7
3.2 Kentiçi ve kent dışı yollarda aylık trafik değişimi	8
3.3 Yol tiplerine göre trafiğin günlere göre değişimi	9
3.4 4 farklı alanda gün içinde trafiğin saatlik değişimi.....	10
3.5 YOGT yüzdesi olarak Zirve Saat faktörleri	11
3.6 Eskişehir 2014’te yolculukların gün içinde yüzde olarak dağılımı	11
3.7 Hız ve yoğunluk arasındaki ilişki	15
3.8 Akım ve yoğunluk arasındaki ilişki	16
3.9 Hız ve akım oranı arasındaki ilişki	17
4.1 4 kollu bir kavşakta çakışmalar	19
4.2 Yönlendirme Adası	21
4.3 Ayrırma Adası	22
4.4 Refuj adası ve engellenen sola dönüşler	22
4.5 Faz diyagramında hareketler	28
4.6 İki fazlı sinyalizasyon	28
4.7 Özel sola dönüş fazı	29
4.8 Sola dönüş karar tablosu	31
4.9 Eşdüzey kavşaklarda sol dönüş şerit gereksinimleri	32

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.10 Erken açma / geç kapama durumu	33
4.11 Zaman ve mesafe aralıkları	34
4.12 Kuyruktaki araçların zaman aralığı	35
4.13 Zaman aralığı ve başlangıç kaybı	35
4.14 Sinyalize kavşakta tipik akım oranları	37
4.15 Sinyal devre elemanları	38
4.16 İki şeritli yollarda sağ dönüş şerit gereksinimi	41
4.17 Bölünmüş yollarda sağ dönüş şerit gereksinimi	42
4.18 Yaya Fazı	42
5.1 HCM devre süresi	49
5.2 Webster devre süresi	50
5.3 Gecikme süreleri	51
5.4 Standart gecikme	53
5.5 Akım üstü gecikme formülünün türetilmesi	55
5.6 Araç kuyruk birikimi ve araçların kavşaktan çıkış üçgenleri	58
5.7 IQA gecikme hesabı temel durumları	59
5.8 Sinyalize kavşak analiz modülü	61
5.9 Yaygın olarak kullanılan şerit grupları	67
5.10 Kapasitenin sinyal süreleri üzerinde gösterilmesi	71
6.1 Zaman mesafe diyagramı	78
6.2 Kavşak planları	78
6.3 Tek yönlü caddelerde koordinasyon	80
6.4 Kuyruktaki araçların etkisi ve ofset düzeltilmesi	83

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.5 Çift yönlü caddelerde koordinasyon	85
6.6 Bir periyot ve çift periyot süresi ofsetler	85
6.7 Mevcut durum ve yeni kavşak eklenmesi	87
6.8 Periyot süresinin iki katına çıkarılması ve talebin kapasiteyi geçmesi	87
6.9 Alternatif sistem	89
6.10 Çift alternatif sistem	90
6.11 Simultane sistem	91
7.1 Eskişehir Gar Bölgesi	100
7.2 11 ve 12 numaralı kavşaklar	102
7.3 17 numaralı kavşak	102
7.4 13,14 ve 18 numaralı sinyalize kavşak	103
7.5 23 numaralı kavşak	104
7.6 24 ve 29 numaralı kavşaklar	104
7.7 Senaryo 2 – Güney-Kuzey doğrultusu	111
7.8 Senaryo 3 – Güney-Kuzey doğrultusu	111
7.9 Senaryo 3 – Kuzey-Güney doğrultusu	112
7.10 Senaryo 4 – Güney-Kuzey doğrultusu	112
7.11 Senaryo 5 – Güney-Kuzey doğrultusu	113
7.12 Senaryo 5 – Kuzey-Güney doğrultusu	113
7.13 Senaryo 7 – Güney-Kuzey doğrultusu	114
7.14 Senaryo 7 –Kuzey-Güney doğrultusu	114
7.15 Senaryo 8 – Güney-Kuzey doğrultusu	115
7.16 Senaryo 8 – Kuzey-Güney doğrultusu	115

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.17 Senaryo 9 – Güney-Kuzey doğrultusu	116
7.18 Senaryo 10 - Güney-Kuzey doğrultusu	116
A.1 11 ve 12 numaralı kavşaklarda akım yönleri	126
A.2 17 numaralı kavşakta akım yönleri	130
A.3 13, 14 ve 18 numaralı kavşaklarda akım yönleri	132
A.4 23 numaralı kavşakta akım yönleri	135
A.5 24 ve 29 numaralı kavşaklarda akım yönleri	137

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Eşdüzey kavşakta çakışma noktaları	19
4.2 Sinyalizasyon sitemlerinin özeti	26
5.1 Sağa dönen araçlar için sapmayan araç	44
5.2 Sola dönen araçlar için sapmayan araç eşdeğeri	45
5.3 Analiz için girdi parametleri	62
5.4 Varış tipi (AT) ve araç oranı (Rp)	63
5.5 Varış tipleri	64
5.6 Sinyalize kavşaklarda hizmet seviyeleri	73
5.7 Hizmet seviyeleri	74
6.1 İdeal ofset hesaplanması	79
6.2 Ofset düzeltmesinin hız üzerindeki etkisi	83
6.3 Synchro giriş ve çıktı verileri	92
6.4 Analiz metotlarının karşılaştırılması.....	93
6.5 Synchro programının ICU değerlerine göre oluşturduğu hizmet seviyeleri	96
6.6 HCM Otomobil eşdeğer birimleri.....	99
7.1 Analizde kullanılan senaryolar	107
7.2 10 senaryonun analiz sonuçları	110
7.3 11 numaralı kavşak sonucu	117
7.4 12 numaralı kavşak sonucu	117
7.5 17 numaralı kavşak sonucu	118
7.6 18 numaralı kavşak sonucu	118
7.7 23 numaralı kavşak sonucu	118
7.8 29 numaralı kavşak sonucu	119

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
A.1 11 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları	126
A.2 11 numaralı kavşak 3 numaralı akım trafik sayımları	127
A.3 11 numaralı kavşak 4 numaralı akım trafik sayımları	127
A.4 12 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları	128
A.5 12 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları	128
A.6 12 numaralı kavşak 3 numaralı akım trafik sayımları	129
A.7 12 numaralı kavşak 4 numaralı akım trafik sayımları	129
A.8 17 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları	130
A.9 17 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları	131
A.10 17 numaralı kavşak 4 numaralı akım trafik sayımları	131
A.11 18 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları	132
A.12 13 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları	133
A.13 13 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları	133
A.14 13 numaralı kavşak 3 numaralı akım trafik sayımları	134
A.15 14 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları	134
A.16 23 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları	135
A.17 23 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları	136
A.18 23 numaralı kavşak 4 numaralı akım trafik sayımları	136
A.19 24 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları	137
A.20 29 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları	138
A.21 29 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları	138
A.22 29 numaralı kavşak 3 numaralı akım trafik sayımları	139

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
PHF, ZSF	Zirve saat faktörü
V	Trafik hacmi
YOGT	Yıllık ortalama günlük trafik
ta	Taşıt
sa	Saat
S	Ortalama seyahat süresi
L	Mesafe
t	Süre
SMS	Mesafe ortalama hızı
TMS	Zaman ortalama hızı
D	Yoğunluk
\bar{u}	Aritmetik ortalama
f	Gözlem sayısı
S	Standart sapma, hız
N	Gözlem sayısı, Şerit sayısı
f	Frekans (gözlem sayısı)
C	Devir (periyot) süresi
y_i	Sarı süre
ar_i	Hepsi kırmızı süre
G_i	Yeşil süre
R_i	Kırmızı süre
g_i	Efektif yeşil süre

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
v_{LT}	Sola dönen trafik hacmi
v_{RT}	Sağa dönen trafik hacmi
v_o	Karşı yönden gelen trafik hacmi
N_o	Karşı yön şerit sayısı
\emptyset	Faz numarası
d	Trafik yoğunluğu
h	Zaman aralığı
q	Akım oranı
l	Kayıp süre
l_1	Başlangıç kaybı
l_2	Bitiş kaybı
t_L	Toplam kayıp süre
Y_i	Yeşil ve sarı toplamı
S_i	Doygun akım
c_i	Kapasite
a	İvme
v_o	Karşı yönden gelen trafik hacmi
S_{85}	85lik hız ya da hız limiti
S_{15}	15lik hız ya da hız limiti
V_C	Kritik hacim toplamı
RTOR	Kırmızıda sağa dönüş serbest
G_p	Yaya yeşil süre

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
S_P	Yaya yürüme hızı
W_E	Efektif yaya geçidi uzunluğu
N_{ped}	Yaya sayısı
V_c	Kritik akım hacmi
$X, v/c$	Hacim/kapasite oranı
C_{des}	Hedeflenen periyot süresi
Y	Kritik akım oran toplamı
UD	Uniform gecikme
RD	Rastgele gecikme
D	Toplam gecikme
UD	Standart gecikme
T	Analiz süresi
d	Kontrol gecikmesi
PF	Koordinasyon düzeltme faktörü
Q	Kuyruk, kuyruk uzunluğu
AT	Varış oranı
LT	Sola dönüş
RT	Sağa dönüş
TH	Direkt
LOS	Hizmet seviyesi
t_{ideal}	İdeal ofset
BW	Bant genişliği

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**Simgeler****Açıklama**

PI	Peformans endeksi
S_t	Araç durma sayısı
ICU	Kavşak kapasite kullanımı
CO	Karbon monoksit
NO	Nitrojen oksit
VOC	Uçucu organik bileşikler

Kısaltmalar**Açıklama**

HCM	Highway Capacity Manual
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
FHWA	Federal Highway Administration
YHT	Yüksek Hızlı Tren

1. GİRİŞ

Eskişehir, İç Anadolu bölgesinin batısında yer alan, önemli bir sanayi, tarım ve eğitim şehridir. Kent İstanbul-Ankara demiryolu hattı arasında üzerinde yer almaktadır. Eskişehir bulunduğu lojistik konum sebebiyle, sosyo-kültürel ve ekonomik yönlerden büyük gelişme göstermiştir. Eskişehir'in 2014 yıl sonu itibariyle toplam nüfusu 812.320 dir. Merkez ilçeleri olan Tepebaşı 323.631, Odunpazarı 376.650 nüfusa sahiptir (TÜİK, 2015).

Eskişehir'in büyük bir kent haline gelmesinde demiryolunun özel yeri ve ağırlığı vardır. 1871 yılında Osmanlı Devleti'nin Haydarpaşa – İzmit demiryolunun yapılması için gösterdiği çaba Eskişehir'in gelecekteki gelişiminin de işareti olmuştur. 1873'de işletmeye açılan bu hattı takiben, 1888'de demiryollarının Ankara'ya kadar uzatılması kararı alınmış ve 1889'da başlayan yapım işleri, hattın 1892'de Ankara'ya ulaşması ile sonlanmıştır. 1893 yılında ise Eskişehir – Konya hattının yapımına başlanmıştır. Ardından Eskişehir – Kütahya hattı işletmeye alınmıştır (Bilgiç ve Karacasu, 2012 a).

Eskişehir Garı inşa edildiğinde Odunpazarı'ndaki tarihi kent merkezinin uzağında yer almaktaydı, fakat yıllar geçtikçe şehir gar bölgesine doğru genişleyip büyüyünce beraberinde yeni sorunlar ortaya çıkarmıştır. Çevreyolunun yapılmasıyla beraber şehir kuzeye doğru genişlemeye devam etmiştir ve gar bölgesi yeni gelişen kent merkezinin ortasında yer almıştır. Büyüyüp genişleyen şehrin dar ve yetersiz olan yollarında trafik sorunları oluşmaya başlamıştır.

Türkiye'de demiryolu sistemi 2. Dünya Savaşı sonrası çok ihmal edilmiş, gelişen teknolojilere uyum sağlanamamıştır. Ancak 2000 yılından sonra demiryollarına tekrar önem verilmeye başlanmıştır. Ankara-Eskişehir arasında 13 Mart 2009 tarihinde başlayan Yüksek Hızlı Tren İşletmeciliğinde karşılıklı 22 seferde günde hafta içi 6000, hafta sonu 8000 yolcu taşınmaktadır. Bursa, İzmir ve Afyon YHT hatlarının açılmasıyla beraber, 2023 yılında Eskişehir Garını kullanan günlük yolcu sayısının 20.000 olması beklenmektedir (Bilgiç ve Karacasu, 2012 a).

Kavşaklar arası koordinasyon oluşturmanın amacı trafik sinyallerinden dolayı meydana gelen gecikmeleri en aza indirmeyi amaçlar. Bu sebeple hem sürücüler

üzerinde psikolojik hem sistem üzerinde ekonomik faydalar sağlamaktadır. Sistemin sürücülere ve çevreye sağladığı hizmetin kalitesini performans olarak tanımlayabiliriz, sistemin performansını ölçmek için gecikme, hizmet düzeyi vb. gibi değerlere bakılmaktadır. Bu tez çalışmasının amacı, belirlenen arter üzerindeki kavşakların arasında koordinasyon oluşturulması ve tek yön, çift yön sistemleri gibi çeşitli durumlar denenerek bunun trafik şebekesi performansı üzerinde ne gibi etkiler doğuracağını irdelemektir. Performansın ölçümü için M.K Atatürk Caddesi üzerindeki kavşaklar seçilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde Eskişehir gar bölgesinin tarihçesi, mevcut durum ve yeni durum planları incelenerek karşılaştırma yapılmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde trafik ve trafik akım bileşenleri konusu hakkında açıklamalar yapılmıştır. Temel trafik elemanları olan hacim-akım, hız, yoğunluk konuları ve aralarındaki ilişkiler incelenmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde yolun performansının önemli derecede bağlı olduğu kavşaklar anlatılmıştır. Daha sonra kavşak kontrolünde önemli yere sahip olan sinyalizasyon sistemleri anlatılmıştır.

Tezin beşinci bölümünde sinyalize kavşakların çeşitli analiz yöntemleri ve gecikme konusunun eski ve yeni metotları anlatılmıştır.

Tezin altıncı bölümünde kavşaklar arası etkileşimin temeli olan sinyal koordinasyonu konusu anlatılmıştır. Daha sonra performans analizinde kullanılan paket program tanıtılıp, hesaplamaları anlatılmıştır.

Tezin yedinci bölümünde analizi yapılan Eskişehir Gar Bölgesi kapsamındaki kavşaklar ve analizde kullanılan senaryolar anlatılmıştır. Senaryo performans analiz sonuçları, zaman-mesafe diyagramları ve kavşak analiz sonuçları hesaplanıp açıklanmıştır.

Tezin sonuç ve öneriler bölümünde yapılan analizlerin sonuçları yorumlanmış ve öneriler sunulmuştur.

2. ESKİŞEHİR GAR BÖLGESİNDEKİ DEĞİŞİKLİKLER

2.1 Mevcut Eskişehir Garı

Demiryolunun kente gelişiyle beraber kent yapısı ve nüfusunda etkili olduğu bilinmektedir. Eskişehir'in ülkemizdeki demiryolu ağına bakıldığında İstanbul-Ankara ve Kütahya hatlarının kesiştiği noktada kilit bir konumda yer aldığı görülmektedir. Özellikle lojistik olarak bulunduğu konumun stratejik olması sebebi ile, zaman içinde, kent, demiryolları için bir merkez konumuna gelmiştir. Eskişehir'in demiryolu ağına bağlanması 1892 yılına rastlar. Şimdiki Eskişehir Garı genel olarak o dönemde yapılmış istasyonlarla aynı özellikleri taşımaktadır; şehir merkezinin yakınından geçen bir ova üzerine kurulmuştur (Bilgiç ve Karacasu, 2012 a).

Eskişehir garı ilk kurulduğu zaman şehir merkezine uzak bir kısımda kalmaktaydı fakat giderek kenti kendi tarafına doğru çektii etrafındaki boş alanlar birer yerleşim merkezi haline aldı. Bu sebeple o dönem inşa edilmiş yollar üzerinde konutlarda on kat yapılaşmaya izin verilince günümüzde yetersiz kalmakta ve trafik sorunları ortaya çıkarmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Eskişehir şehir merkezi

Eskişehir mevcut garının kentin geometrik merkezinde, ticari, sosyal ve kültürel kentsel donatıların hemen çevresinde yer almaktadır. Hatlar, Doğu-Batı doğrultusunda uzanır, hattın Batıya uzanan kısmı açıktan giderken, doğudan gelen hat, büyük oranda yer altına alınmıştır. Garın hemen önünde, kentsel bir meydan yer alır. Kentle olan ilişki bu meydandan güneydoğu yönüne uzanan bir ana aks (M.K. Atatürk Caddesi) ve doğu yönüne doğru uzanan bir kılcal (İstasyon Caddesi) ile sağlanmaktadır. Eskişehir Garı'nın bütün giriş çıkışları güney yüzünden yapılır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Eskişehir mevcut garı

2.2 Eskişehir Yeni Garı

Eskişehir yeni garı, hattın ikiye böldüğü kentin hem kuzeyi hem de güneyine önem verilerek tasarlanmıştır. Araç trafiği ise, yeni gar bölgesini teğet geçen ve kenti Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda kat eden bir ana arter ve garın her iki yanından garın uzun cephelerine ve tren hattına paralel giden ve kenti kuzey-güney yönünde kat eden iki paralel arter ve bunlara saplanan kılcallar tarafından sağlanmaktadır.

Yeni gar projesinde TCDD Ambarları mevcut yerinden kaldırılarak Organize sanayi bölgesine taşınarak yeni bir lojistik merkezi kurulmuştur. Yeni gar projesi 8

hızlı tren hattı ve yük trenleri ve konvansiyonel trenleri için 1 hat olmak üzere toplam 9 hattı bünyesinde bulunduracaktır. Eski gar konumu ile karşılaştırıldığında eski gar sadece bir yüzden ana arterlere bağlanırken yeni gar ise her iki yönden arterlere bağlanmaktadır (Şekil 2.3) (Şekil 2.4).

Ankara-Eskişehir arasında 13 Mart 2009 tarihinde başlayan Yüksek Hızlı Tren İşletmeciliğinde karşılıklı 22 seferde günde hafta içi 6000, hafta sonu 8000 yolcu taşınmaktadır. Bursa, İzmir ve Afyon YHT hatlarının açılmasıyla beraber, 2023 yılında Eskişehir garının günlük sirkülasyonunun 20.000 yolcu olacağı beklenmektedir. (Bilgiç ve Karacasu, 2012 a).



Şekil 2.3 Eskişehir Yeni Garı



Şekil 2.4 Eskişehir Yeni Gar planı

3. TRAFİK AKIMININ TEMEL ÖZELLİKLERİ

Trafik yayaların, hayvanların ve araçların karayolları üzerindeki hal ve hareketleridir. Bir karayolunda trafiği tarif etmek için üç temel değişken vardır; hacim-akım oranı, hız ve yoğunluktur (KTK, 1983).

3.1 Hacim ve Akım Oranı

Hacim: Hacim bir yoldan veya yolun bir şeridinden birim zamanda geçen taşıtların sayısıdır. Hacim günlük, yıllık veya belirlenen özel bir aralıkta ifade edilir (Bilgiç ve Karacasu, 2012 b).

Akım oranı: Akım oranı bir saatten daha kısa bir süre içinde - genelde 15 dakika alınır - yolun dikkate alınan kesitinden (yada şeridinden) geçen taşıt sayısının saatlik değeridir. Örnek olarak 15 dakikada 200 aracın geçtiği gözlemlenen kesitte $200 \times 4 = 800$ araç/saat o kesitin akım oranı olacaktır. Fakat bu, o yoldan 1 saatte 800 araç geçtiği anlamına gelmez (Roess, et al., 2011).

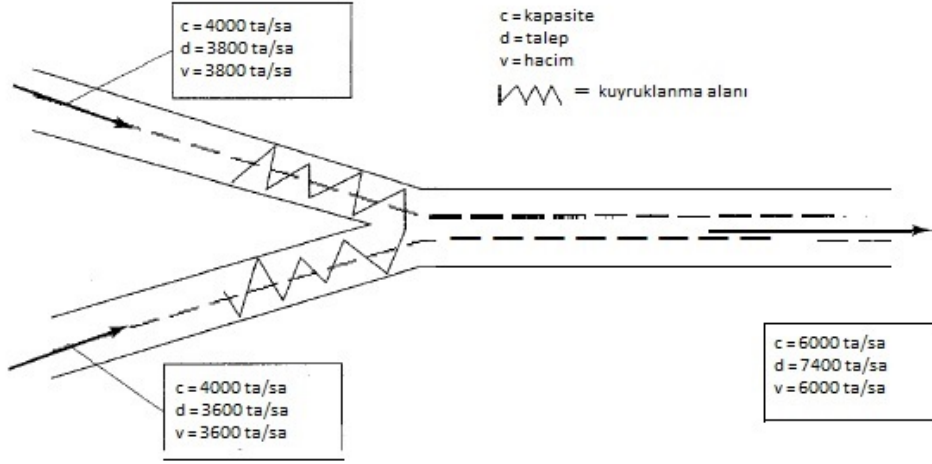
3.1.1 Hacim Karakteristikleri

Talep: Belirli bir süre (genellikle de bir saat) sırasında bir noktadan seyahat etmek isteyen araçlar (veya kişilerin) sayısıdır. Bir yolda tıkanıklık varsa o yolda genelde talep hacimden daha fazladır. Bu durumda bazı yolcular alternatif güzergahlara kendini yönlendirir (Roess, et al., 2011).

Kapasite: Belli bir zaman boyunca karayolunun bir şeridinden veya şerit grubundan geçebilecek en büyük taşıt sayısıdır. Kapasite yolun enkesit ve boykesit durumu, görüş olanağı, yatay ve düşey kurbaların durumu, kaplama durumu, sürücü davranışları, taşıt cinsleri vb. gibi durumlara bağlıdır (HCM, 2000).

3.1.1.1 Hacim, talep ve kapasite ilişkisi

Hacim, talep ve kapasite üç farklı ölçümdür, buna rağmen hepsi aynı birime sahiptir ve aynı yerle ilgilidirler.



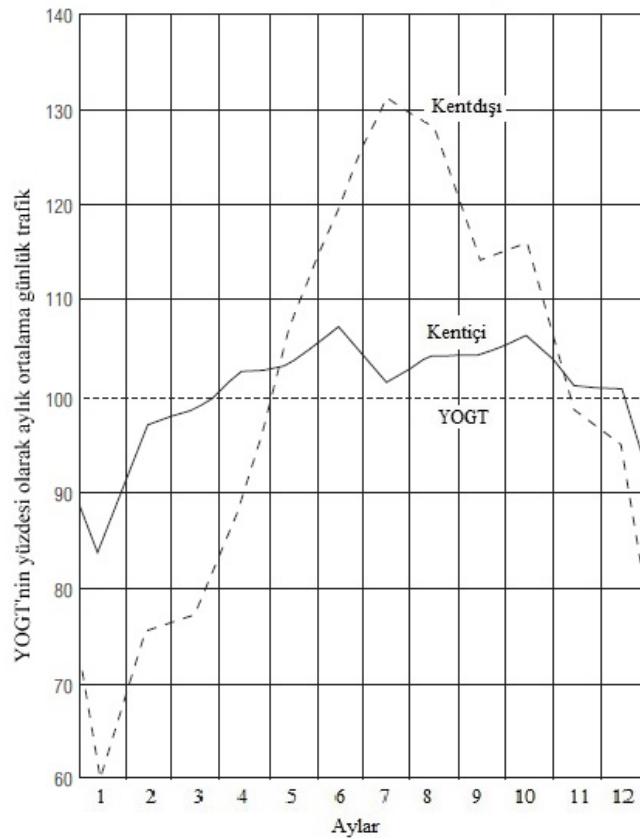
Şekil 3.1 Darboğaz bölgesinde kuyruk oluşumu

Şekil 3.1’de örnek bir darboğaz yeri görülmektedir. Kapasite şerit başı 2000 ta/sa/şerit’tir. Böylece katılma bölgesine gelen kollar 2 şeritten kapasite 4000 ta/sa, katılım yolu ise 3 şeritten kapasitesi 6000 ta/sa’dır. 1. Kolda kapasite 4000 ta/sa talep 3800 ta/sa, 2. Kolda kapasite 4000 ta/sa, talep 3600 ta/sa’dır. Katılma bölgesinin kapasitesi ise 6000 ta/sa’dır. Fakat talep ise $3800+3600=7400$ ta/sa’dır. Böylece kapasite aşıldığından dolayı istenen talep karşılanamayacaktır. Bu sebeple taralı alanda (Şekil 3.1) kuyruk oluşumu görülmektedir (Roess, et.al., 2011).

3.1.1.2 Trafiğin zamansal değişimi

Trafik akımı sürekli değişkenlik göstermesinden dolayı dinamik bir yapıya sahiptir. Çünkü bir saatin her bir çeyreğinde, günün her bir saatinde, haftanın her bir gününde, yılın her bir ayında veya her bir mevsiminde trafik hacmi sürekli değişkenlik gösterir. Bu değişim ritmik bir şekilde tekrarlanmaktadır (Roess, et al., 2011).

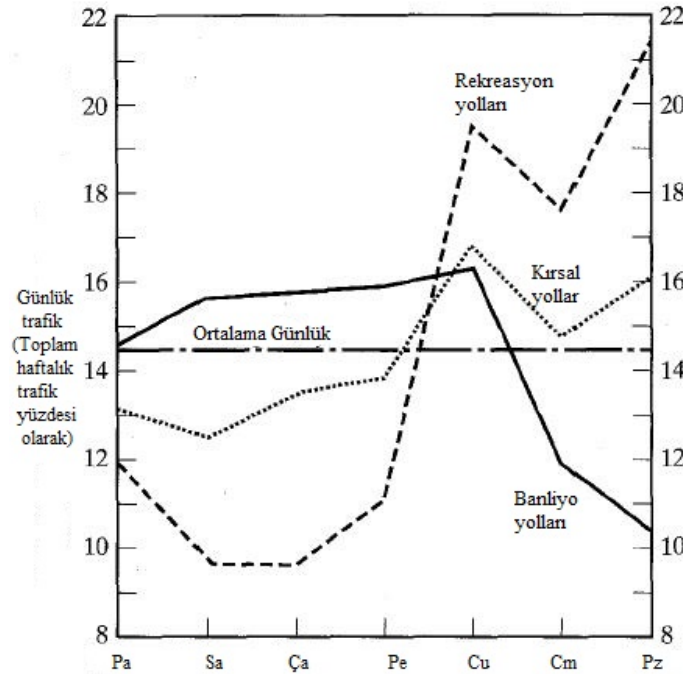
Aylık ve mevsimsel değişkenlik: Mevsimsel değişkenlik sosyo-ekonomik aktivitelere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Trafik genelde yaz aylarında artış kış aylarında azalış göstermektedir. Bu değişim oranı kent dışı yollarda kentiçi yollara nazaran daha fazladır. Şekil 3.2’de kentiçi ve kent dışı bölgelerde aylık trafik değişimi gösterilmiştir (Bilgiç ve Karacasu, 2012 b; HCM, 2000).



Şekil 3.2 Kentiçi ve kent dışı yollarda aylık trafik değişimi

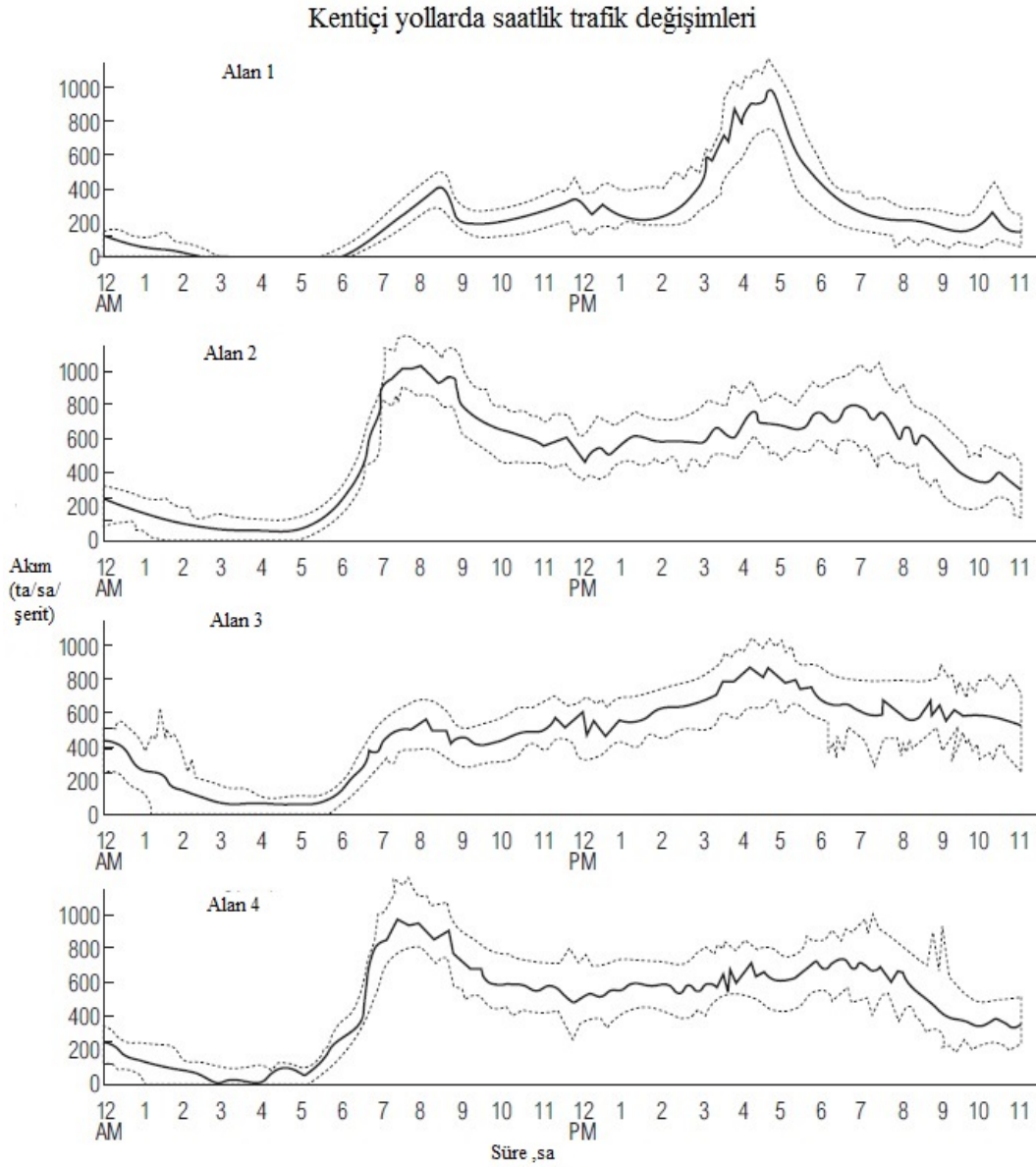
Günlük değişkenlik (hafta içi): Rekreasyon (eğlence, dinlenme bölgeleri) yollarındaki trafik cuma ve pazar günleri maksimum değerlere ulaşmaktadır, çünkü insanlar cuma günleri şehri terk edip pazar günleri dönüş yapmaktadır. Kırsal kesime yolculuklar rekreasyon yollarına talep ile paralellik gösterir fakat rekreasyon yolları kadar fazla değişken değildir. Banliyö yolları ise işe gidip gelen insanları taleplerine göre şekillenip diğer yollara zıt bir şekilde talep göstererek haftasonu trafik miktarı

azalmaktadır. Şekil 3.3'te bölge çeşitlerine göre trafiğin günlük değişimi gösterilmiştir (Tunç, 2003; Bilgiç. ve Karacasu, 2012 b; HCM, 2000).



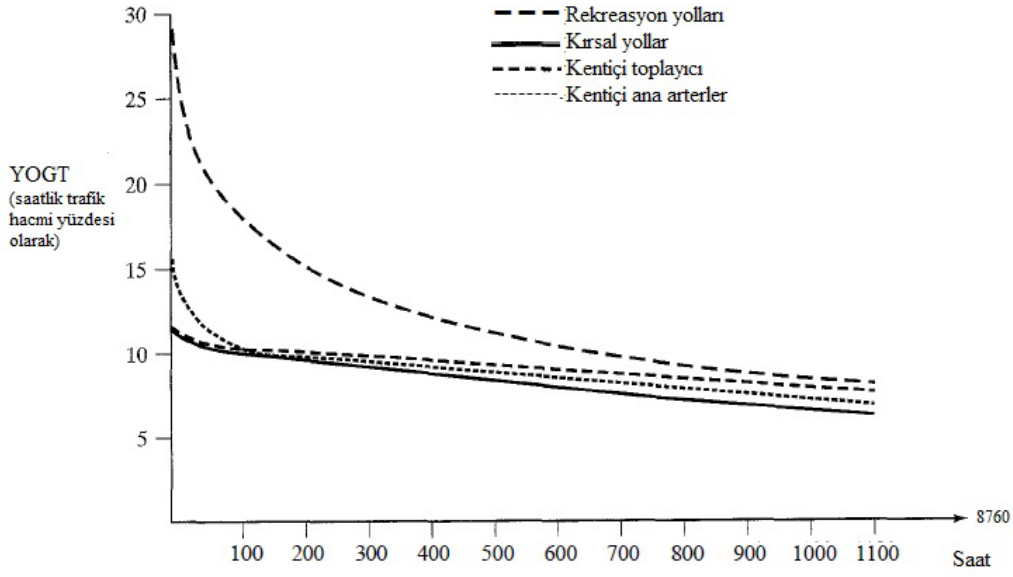
Şekil 3.3 Yol tiplerine göre trafiğin günlere göre değişimi

Saatlik Değişim (gün içi): Trafik sabah 4.00 gibi erken saatlerde başlayan trafik genelde 7.00 – 9.00 arasında evden çıkışlar ile maksimum değere ulaşır. Trafik öğle saatlerinde 12.00-13.00 arası hafif bir artış gösterir. Saat 17.00 – 19.00 arası eve dönüşler sebebiyle tekrar maksimum değere ulaşır fakat genelde sabah değerine ulaşamaz. Akşam maksimum değeri kış mevsimi daha sivri bir değerdeyken yaz mevsiminde havanın geç kararmasıyla nedeniyle maksimum değer yayılmıştır. Trafik miktarı saat 3.00-4.00 arası günün en düşük değerlerindedir. Şekil 3.4'te Kentin 4 farklı yerinden alınan alanların gün içinde trafiğin saatlik değişimi HCM yapılan bir çalışmada gösterilmiştir. Her bir alan tek bir yönü ifade etmektedir. Alan 1 ve 3 Alan 2 ve 4'e zıt yönlere sahiptir. Ortadaki çizgi ortalamayı göstermektedir. Üstteki ve alttaki ince çizgiler en düşük ve en yüksek yüzde 5 lik değerlerin çıkarılmasıyla elde edilen üst ve alt sınırlardır (Bilgiç ve Karacasu, 2012 b; Roess, et al., 2011; HCM, 2000).



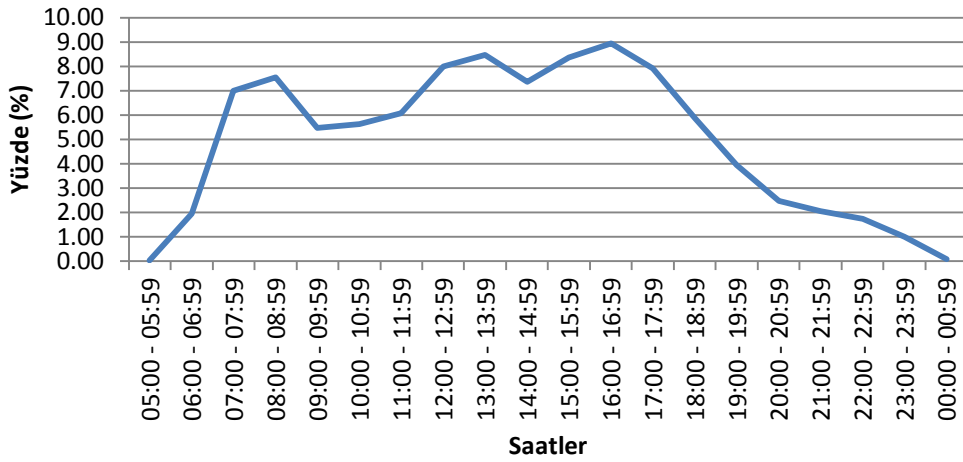
Şekil 3.4 4 farklı alanda gün içinde trafiğin saatlik değişimi (HCM, 2000)

Proje Saatlik Trafiki: YOGT (bir yıl içinde günde ortalama geçen taşıt sayısı) trafiğin gün içindeki değişimini tam olarak yansıtamadığından proje saatlik trafiği değeri kullanılmaktadır. Yıl içindeki en büyük trafiğin olduğu saatin en az trafiğe doğru sıralanması ile trafik hacminin yıl içindeki saatlik değişimi gözlemlenir. Böylece 10. 20. 30. 50. veya 100. en yüksek zirve-saat değerleri elde edilebilir. Şekil 3.5’de YOGT yüzdesi olarak zirve saatler gösterilmiştir. (Roess, et al., 2011).



Şekil 3.5 YOGT yüzdesi olarak zirve saatleri

Şekil 3.6’de örnek olarak Eskişehir kent merkezinde 2014 yılı Kasım ayında tramvay ve kentiçi otobüs sistemiyle yapılan yolculukların gün saatlere dağılım yüzdeleri grafik olarak verilmiştir. Buradan sabah 08:00-09:00 öğleden sonra 16:00-17:00 arasının zirve saatler olduğu görülmektedir (Bilgiç ve Karacasu, 2012 a).



Şekil 3.6 Eskişehir 2014’te Estram ve kentiçi otobüslerinin yolculuklarının gün içinde yüzde olarak dağılımı

Zirve saat faktörü (PHF): Zirve saat faktörü bir kesit veya şeritten geçen 1 saatlik trafik hacminin maksimum akım oranına oranlanmasıdır. Bu değer zirve saat içerisindeki trafiğin dalgalanmasını gösteren bir katsayıdır. Bu değer 1'e yakın olması trafiğin dalgalanmasının az olduğunu gösterir. 1'den çok küçük olması ise trafiğin zirve saat içerisinde çok dalgalandığını gösterir. Örneğin fabrika, okul veya devlet dairesi vb. anayola bağlantı yolunda çıkış saatinde zirve saat faktörünün çok küçük bir değer olması beklenir. Zirve saat faktörünün çok küçük olması özellikle sinyalizasyon sistemlerinde buna uyumda sorunlar yaşanmasına yol açmaktadır (HCM, 2000).

$$q = \frac{V}{PHF} \quad (3.1)$$

q = 15 dakikalık periyotta maksimum akım oranı

PHF = Zirve saat faktörü

V = Zirve saat hacmi

3.2 Hız

Hız birim zamanda alınan yoldur. Trafik akımlarında bireysel hızlar geniş bir yelpazede değiştiğinden trafik etütlerinde ortalama hızlar karşılaştırılır (Kang, 2000).

Trafik yapılarının ve şebekenin performansı doğrudan trafik akımının hızına bağlıdır. Şebekedeki araçların seyahat süresi ve gecikmesi hıza bağlı değişir. Kentiçi ve tüm karayollarında hızın verimliliği analizlerde önemli bir husustur. (Tunç, 2003).

Eğer L mesafesinin bir kısmında n sayıdaki aracın $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$ seyahat süresi gözlemlenip ölçülüyorsa; ortalama seyahat süresi Denklem 3.2'de gösterilmiştir (HCM, 2000).

$$S = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{t_a} \quad (3.2)$$

S = Ortalama seyahat süresi (km/sa)

L = Ölçülen mesafe (km)

t_i = i aracının L mesafesinde harcadığı süre (sa)

n = gözlemlenen araç sayısı

t_a = L uzunluğu boyunca ortalama seyahat süresi (sa)

Ortalama İşletme Hızı: Bir aracın seyahat başlangıç ve bitiş arasındaki hareket ettiği süredir. Bu süre içinde aracın yaptığı duraklamalar, gecikmeler, mola vb. süreler gözönüne alınmaz.

Ortalama Seyahat Hızı: Bir aracın seyahat başlangıç ve bitiş arasındaki geçirdiği tüm süredir. Bu süreye hareket, durma, mola süreleri dahildir (Tunç, 2003).

Kesintisiz akımlarda F hizmet düzeyi gözlemlenmediğinden ortalama işletme hızı ortalama seyahat hızına eşittir (HCM, 2000).

Mesafe Ortalama Hızı (SMS): Yolun herhangi bir noktasından geçen araçların gözlemlenen hızlarının harmonik ortalamasıdır.

Serbest Akım Hızı: Yolda trafik hacminin az olduğu koşullarda sürücülerin birbirini etkilememesidir. Bu durumda sürücüler istediği hızı yapmakta ve hiçbir şekilde kontrol gecikmesi kısıtlamasına uğramamaktadır.

Bir noktadan veya yerden hız ölçümü yapıldığında iki aracın hızı birbirine eşit değildir bu yüzden analizlerde doğru sonuçları bulmak için hız üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Aşağıdaki birkaç istatistik, nokta hız ölçüm dağılımlarını tanımlamak için kullanılmaktadır (Garber and Hoel, 2009).

Ortalama veya zaman ortalama hız: Yolun herhangi bir noktasından geçen araçların gözlemlenen hızlarının aritmetik ortalamasıdır.

$$\bar{u} = \frac{\sum f_i u_i}{\sum f_i} \quad (3.3)$$

\bar{u} = aritmetik ortalama

f_i = her bir grubun gözlem sayısı

u_i = i. hız grubunun ortalama hız değeri

85lik hız (85th percentile): Noktasal hız dağılımında araçların %85 inden daha azının seyrettiği en yüksek hızdır.

Standart Sapma: Her bir hızın ortalama değer üzerinden yayılımını hesaplamaktadır.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (u_j - \bar{u})^2}{N - 1}} \quad (3.4)$$

S = Standart sapma

\bar{u} = aritmetik ortalama

u_j = j. gözlem

N = gözlem sayısı

3.3 Yoğunluk

Yoğunluk, herhangi bir anda birim uzunluktaki taşıt sayısıdır. Birim uzunluk genelde 1 km olarak alınır ve yoğunluk araç/km yada birim otomobil/km olarak ifade edilir. Yoğunluk trafik akım parametrelerinin 3 ana önemli kriterlerinden biridir çünkü direkt olarak trafik talebiyle alakalıdır. Talep akım oranı olarak oluşmasa bile trafik mühendisleri bu parametreyi talebi ölçmek için kullanır. Yoğunluk trafik akışının kalitesinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Sürücülerin özgür hareket etmesi, psikolojik olarak rahat hissetmeleri gibi faktörler trafik akışının kalitesini belirler (Roess, et al., 2011; Akdoğan ve Akbaş, 2001; Bilgiç ve Karacasu, 2012 b).

Yoğunluğun direkt olarak ölçülmesi zordur, video kaydı ve fotoğraflama gibi tekniklerden yararlanır. Tam doygun olmayan akımlarda denklem 3.5 kullanılır (Abdulhai and Kattan, 2004; HCM, 2000).

$$D = \frac{q}{S} \quad (3.5)$$

q = akım oranı, ta/sa

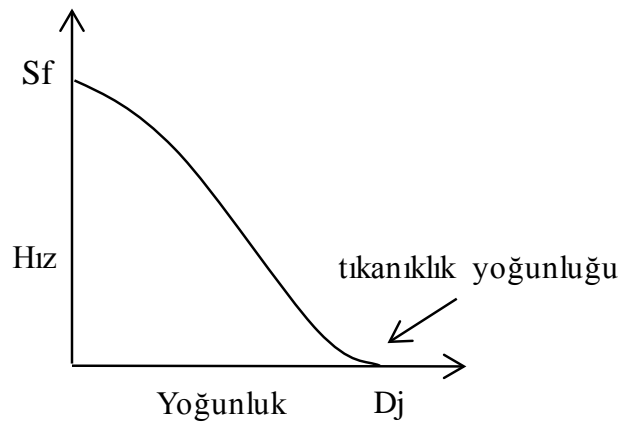
S= ortalama seyahat hızı, km/sa

D= yoğunluk, ta/km

3.4 Trafiği Etkileyen Değişkenler Arasındaki İlişkiler

Kapasite kullanımı ulaşım sorunlarının en önemlilerinden birisidir. Amaç kapasitenin en verimli olacak şekilde kullanılmasıdır. Bu yüzden hız, hacim ve yoğunluk gibi değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkileri oldukça önemlidir.

Trafik akımını karakterize eden hız, yoğunluk ve akım oranı arasında $q = S \cdot D$ şeklinde bir bağlantı vardır. Dikkat edilmesi gereken tüm taşıtların aynı hıza sahip olmadığıdır bu sebeple trafik akımının sabit bir hızla işletildiği kabul edilir. Herhangi bir yol kesiminde yoğunluk arttıkça o kesimdeki ortalama hız düşmekte ve son olarak sıfır değerine gelmektedir (Şekil 3.7). Bu durum araçların yol kesiminde durma noktasına gelmiş olduğu anlamına gelir. Ortalama hızın sıfır olduğu yoğunluk değerine ise tıkanıklık yoğunluğu (D_j) denir. Diğer taraftan yoğunluğun sıfır değerini aldığı durumda ise yapabileceği en yüksek hız değerine serbest akım hızı (S_f)'na ulaşır (Başkan vd., 2007; Aksoy, 2012).

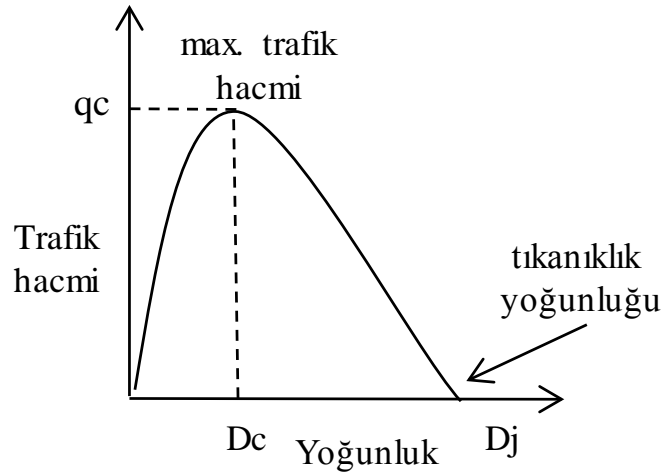


Şekil 3.7 Hız (S) ve yoğunluk (D) arasındaki ilişki

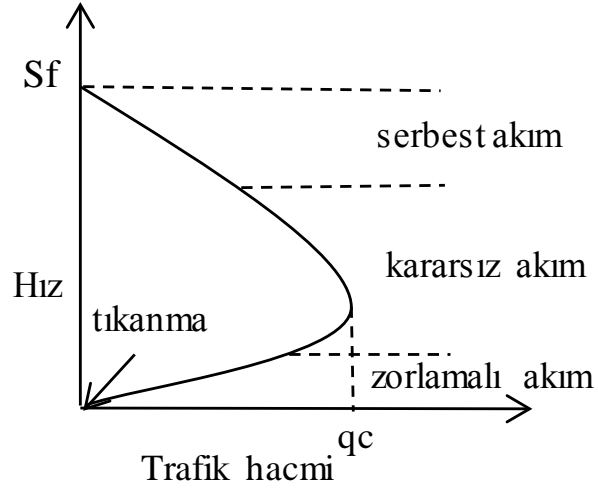
Hız-yoğunluk ilişkisi gerçekte doğrusal değildir. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi bükümlüdür ancak doğrusal kabulü uygulamalarda oldukça kolaylık sağlar. Akım oranı değerleri (q), doğru üzerindeki herhangi bir noktanın hız ve yoğunluk koordinatlarının çarpılmasıyla kolayca hesaplanabilir. Yoğunluk ve hız arasındaki ilişki beklendiği

üzere, düzenli olarak azalan biçimdedir. Hızın artması, izleme mesafesini arttırır, dolayısıyla yoğunluğun azalmasına yol acar. Çok düşük yoğunluk ve çok yüksek hız civarındaki koşullar, serbest akım koşulları olarak adlandırılır (Başkan vd., 2007; Mathew and Rao, 2007).

Akım oranı, yoğunluk ve hız değerleri bir bütün olarak ele alınır (Şekil 3.8 ve 3.9). Hız (S) akım oranı (q) ilişkisine bakıldığı zaman bekleneceği gibi yol kesimindeki trafik hacmi arttıkça hız azalacaktır ve bu azalma S_0 değerine kadar devam edecektir. Akım oranı en yüksek değerine yani kapasite değerine ulaşılır, bu değer bir miktar altında ve üstünde trafik akımında kararsızlık söz konusudur. İlgili yol kesimindeki kapasitenin üzerine çıkıldığı zaman zorlamalı akım görülür diğer bir deyişle yoğunluk artmaya başlarken ortalama hızda azalmalar görülür. Zorlamalı akım durumunda trafikte sık sık dur kalaklar meydana gelir ayrıca uzun kuyruklar oluşur ve gecikmeler artar. Kapasite değerinin altında ise serbest akım koşulları mevcuttur yani ortalama hız yüksek iken yoğunluk değeri düşüktür (Başkan vd., 2007).



Şekil 3.8 Akım (q) ve yoğunluk (D) arasındaki ilişki



Şekil 3.9 Hız (S) ve akım oranı (q) arasındaki ilişki (Yayla ve Umar, 1997)

4. KAVŞAKLARDA TRAFİĞİN YÖNETİMİ

Kavşaklar, iki veya daha fazla karayolunun kesişmesi, birleşmesi ve ayrılması ile oluşan ortak alanlardır. Kavşaklar karayolunun önemli bir unsurudur. Bunun nedeni, yolun performansı, güvenlik, hız, işletme maliyeti ve kapasite gibi özelliklerin kavşak tasarımına bağlı olmasıdır. Kavşaklar iki veya daha çok karayolundaki doğrusal veya kesişen trafik akışlarını kapsadığı gibi, bu yollar arasındaki dönüş hareketlerini de içerir. Bu hareketler, kavşak tipine bağlı olarak, çeşitli geometrik tasarımlar ve trafik kontrolü ile sağlanır (KTEK, 2005).

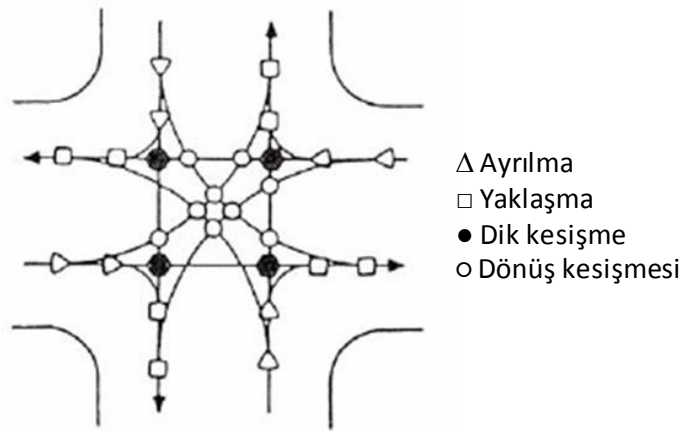
Trafik durumu iki ana başlıkta incelenir.

Kesintisiz Akım: Trafik akımının kesintiye uğrama durumunun oluşmamasıdır. En iyi örnek otoyollardır. Kesintisiz akımın bulunduğu karayolunda herhangi bir dur, yol ver işareti, kavşak ve sinyal direkleri bulunmaz (Abdulhai and Kattan, 2004).

Kesintili Akım: Trafik akımının düzenli olarak dışarıdan gelen etkiler tarafından kesintiye uğramasıdır. Bu etkiler trafik işaretleri, sinyalizasyon kavşakları veya dur kontrollü (sinyalizasyon olmayan) kavşaklardır. Kesintili akımda trafik kontrol araçları trafik akımını belirlemede ana rolü oynar. (Abdulhai and Kattan, 2004).

4.1 Kavşak Kontrolü

Kavşağa giren ve çıkan kavşak kollarından ayrı ayrı yaklaşıldığında, kollardaki geometrik veya fiziki değişikliğin başladığı noktaların birleştirilmesi ile oluşan bölge kavşak alanıdır. Bu alanlarda trafik akımları birbirleriyle etkilendikleri için kapasite azalmasına, trafik kazalarının artmasına veya durma ve gecikmelere neden olurlar. Kavşaklarda çatışma noktalarını en aza indirmek ve kavşaklara güvenli hale getirmek amacıyla kavşaklarda kontrol sistemlerini uygulanmaktadır. Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1’de kavşaklarda çatışma noktaları ve yol sayısının artmasıyla çatışma noktalarının artması gösterilmiştir (KTEK, 2005).



Şekil 4.1 4 kollu bir kavşakta çakışmalar (KTEK, 2005)

Ayrılma hali, aynı yönde giden taşıtların ortak şeritten ayrılarak çeşitli yönlere gitmesidir. Yaklaşma hali ise, taşıtların aynı yönde gitmek üzere yaklaşımlarını ifade eder. Kesişme hali de, taşıtların birbirinin yolunu kesecek şekilde seyretmeleri halidir (Akmaz, 2012)

Çizelge 4.1 Eşdüzey kavşakta çakışma noktaları (Murat, 2012)

Kavşağa ulaşan çift yönlü yol sayısı	Çakışma Noktaları			
	Kesişme	Yaklaşma	Ayrılma	Toplam
3	3	3	3	9
4	16	8	8	32
5	49	15	15	79
6	124	24	24	172

4.1.1 Pasif Kontrol

Trafik hacmi düşük olduğunda kavşak alanına önemli bir kontrol sistemi uygulanmasına gerek yoktur. Burada sürücülerden beklenen, temel yol kurallarına uyulmasıdır. Pasif kontrolde trafik işaretleri, yol çizgileri gibi uygulamalarla kavşak kontrolü sağlanır. Aşağıdaki sistemler pasif kontrol sistemi altında listelendirilmiştir (Mathew and Rao, 2007).

Kontrolsüz kavşak: Trafik hacminin çok az olduğu hiçbir uyarının olmadığı yollardır. Temel yol kuralları sürücüler tarafından bilinmesi gereken devletin ve/veya bölgenin uyguladığı uyulması gereken kurallardır. Bu durumda, araç sürücülerinin köşelerde diğer yönlerden kavşağa yaklaşan tüm araçları görebileceği yeterli üçgen görüş alanının sağlanması temel tasarım kuralıdır (Mathew and Rao, 2007; Roess, et al., 2011).

Yol ver ve Dur Trafik işaretleri: Temel yol kuralları uygulanması geçiş üstünlüğünün tam olarak atanmadığı dur ve yol ver tabelalarının kullanılmasıdır. Temel yol kuralları sürücüler tarafından bilinmesi gereken devletin ve/veya bölgenin uyguladığı uyulması gereken kurallardır. Kavşaklarda yol ver işareti kullanılarak tali yoldan gelen aracın ana yola geldiği belli edilerek anayoldan geçen araçlar varsa geçiş hakkının ana yoldan gelen araçlara verileceği ikaz edilir. Dur levhalarıyla araçların kontrollü bir şekilde kavşağa girmesi sağlanır. En yaygın olanları Çift ve Tüm yönler dur kontrollü kavşaklardır. Çift yönlü dur kontrollü kavşaklarda genelde tali yolun ana yol bağlantılarına dur işaretlerinin konulmasıdır. Tüm yönler dur kontrollü kavşak, kavşaktaki tüm yönlere dur işareti konulmasıdır. Amacı tüm araçlar kontrollü bir şekilde kavşağa girmesi sağlamaktır (Mathew and Rao, 2007).

Trafik işaretlerinin yatay yol çizgileri ile birlikte kullanılması: Trafik işaretlerine ek olarak yol üzerinde dur veya yol ver çizgileri kullanılarak sürücülerin dikkatli bir şekilde kavşağa girmesi sağlanır (Mathew and Rao, 2007).

4.1.2 Yarı Kontrollü kavşaklar

Yarı kontrollü kavşaklar refüj veya trafik adaları kullanılarak trafik akımının yönlendirilmesidir. Yönlendirilmiş kavşakların amacı Şekil 4.1’de gösterilen çakışma sayılarını daha az bir değere indirmek, yaya geçişlerini kontrol altına almak, çakışım açısını kontrol altına almaktır. (Mathew and Rao, 2007).

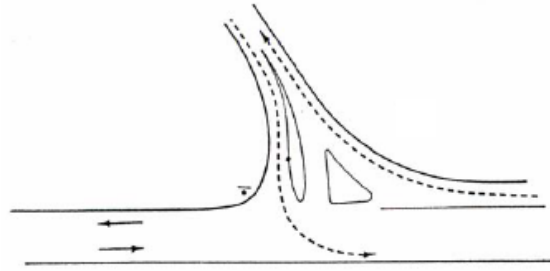
Trafik Adaları: Adalar, trafik hareketlerinin kontrolü için kullanılan, şeritler arasındaki alanlardır. Aynı zamanda, yaya refüjü ve trafik işaretleri için gerekli olan alanı sağlarlar.

Kavşak tasarımında kanalize adalar genellikle, aşağıdaki amaçlardan bir veya daha fazlasını sağlamak amacıyla kullanılır (KTEK, 2005).

- Taşıt çakışmalarını ayırmak
- Çakışma açılarını kontrol etmek
- Kavşak bölgesindeki büyük kaplama alanlarını azaltmak
- Trafiği düzenlemek ve kavşağın uygun kullanımını göstermek
- Dönüş hareketlerini düzenlemek
- Yayaları korumak ve geçiş alanı sağlamak
- Dönen ve kesişen trafiği korumak ve depolamak
- Trafik işaret ve sinyalizasyon taşıtlarının tesis edilmesini sağlamak

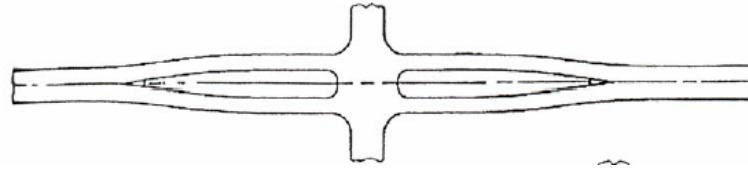
Adalar üstlendiği fonksiyona göre üç temel gruba ayrılır;

1. Yönlendirme (kanalize) adaları: Dönüşlerde trafik hareketlerini kontrol altına almak ve istenilen yöne yönlendirmek için kullanılır. Kavşak bölgesindeki kullanılmayan boş alanların trafiği şaşırtmaması için adalara dönüştürülmesiyle elde edilir (Şekil 4.2) (KTEK, 2005).



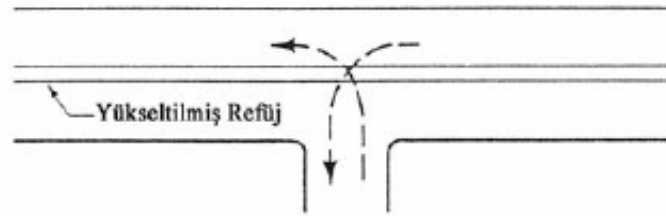
Şekil 4.2 Yönlendirme Adası

2. Ayırma Adaları: Ayırma adaları bölünmemiş yollardaki kavşaklarda tasarlanır. Kavşağa yaklaşan sürücülerini ilerideki kavşağın varlığı hakkında uyarır ve kavşak içindeki trafiği düzenler. Genellikle doğrusal trafik akımlarında zıt ve aynı yöndeki trafiği ayırmak için kullanılır (Şekil 4.3) (KTEK, 2005).



Şekil 4.3 Ayırma Adası

3. Refüj adası: Geniş bir caddeyi geçen yayaları korumak amacıyla şehir geçişlerinde uzun mesafede yapıldığı gibi eşdüzey kavşaklarda yine yayaları korumak, sol dönüşleri önlemek ve bölünmüş yollarda zıt akımları uzun mesafede ayırmak amacıyla da uygulanır (Şekil 4.4) (KTEK, 2005).



Şekil 4.4 Refüj adası ve engellenen sola dönüşler

4.1.3 Aktif Kontrol:

En çok kullanılan yöntem, trafik kontrolünün ışıklı kontrol cihazları ile kontrol edilmesidir.

Yönlendirilmiş Kavşaklar: Tamamen yönlendirilmiş kavşaklar yolların yönlendirilerek kavşak dizayn edilmesidir. Yönlendirilmiş hemzemin kavşaklar ve farklı seviyeli kavşaklar olarak ikiye ayrılırlar (Mathew and Rao, 2007).

4.2 Sinyalizasyonun Tarihi ve Amacı

Trafik akımlarını verimli bir şekilde kontrol altına almak için, trafik kontrolünün ışıklı sinyaller ile akımlara süre paylaşarak yapılmasına sinyalizasyon denir. Kavşaktan hangi trafik akımının hangi sırayla geçeceğinin açık ve net olarak, ışıklı özel donanımlarla belirtildiği kavşaklara sinyalizasyon denir (Mathew and Rao, 2007).

Sinyaller, yollar üzerinde ve özellikle kavşaklarda düzenli ve güvenli bir akım sağlamak için kullanılan trafik kontrol gereçleridir. İlk olarak 1868 yılında Londra'da el ile yönetilen semaforlar biçiminde kullanılan trafik sinyalleri, gece görünümünü sağlamak amacı ile gaz lambaları ile aydınlatılmıştır. Kırmızı ve yeşil ışıklı ilk sinyalizasyon tesisi 1914 yılında A.B.D.'nde Cleveland'da kurulmuş, 1920 yılında Detroit'te sarı sinyaller kullanılmıştır (Akmaz, 2012).

Bu tip kavşaklar, trafik talebinin fazla olduğu yollarda kullanılır ve düzenli bir akım elde edilebildiğinden kapasiteyle birlikte güvenlik de artmaktadır. Trafik akımında düzenin sağlanmasıyla birlikte karşıdan gelen çarpma ve yandan çarpma gibi kaza türlerinde büyük oranda azalma görülür. Meydana gelen kazalar genellikle arkadan çarpma kazalarıdır fakat taşıtlar arasındaki hız farkı az olduğundan meydana gelen zarar ve ölüm riski düşüktür (Çevik, 2010).

Herhangi bir yerde sinyalizasyon tesisi kurulması, aşağıdaki maddelerden en az birinin gerçekleştirilmesi amacını güder (Çevik, 2010);

- Kesişen akımlardan veya geometrik özelliklerden dolayı oluşan gecikmeleri, sıkışmaları ve tıkanıklıkları önlemek,
- Taşıtların diğer taşıtlarla veya yaya akımları ile kesiştikleri noktalarda güvenli bir geçiş düzeni sağlamak ve kaza ihtimalini azaltmak,
- Taşıtların ve yaya yoğunluklarını göz önünde tutarak, akım yönlerine geçiş hakkı veya önceliği verirken uyumlu bir zaman dağıtımını yapmak,
- Yüklü trafik yoğunluğu olan bir yol üzerindeki taşıtları zaman zaman durdurarak tali yollardaki trafiğe ve yayalara da geçiş olanağı sağlamak

Trafik güvenliği ve kontrolü için kullanılan yatay ve düşey işaretlemelerde (yol çizgilerinde ve trafik levhalarında) olduğu gibi, ışıklı işaretlerin de aşağıdaki dört niteliğe sahip olmaları gereklidir (Çevik, 2010).

- Sürücü ve yayaların dikkati çekilmelidir.
- Basit ve kesin anlamları olmalıdır.

- Sürücü ve yayaların saygı göstermeleri ve uymaları sağlanmalıdır.
- Özellikle sürücülere intikal ve reaksiyon için yeterli zaman tanınmalıdır..

4.3 Sinyalizasyon Sistemleri

Bir kavşakta trafiğin işleyişi sabit zamanlı (*pretimed*), dedektörler tarafından algılanan yayalar veya araçlar dedektörler tarafından algılandığı kısmen (*semi-actuated*) veya tam uyarmalı (*fully-actuated*) şekilde sağlanır (Roess, et. al., 2011).

Sabit zamanlı sistem: Sabit zamanlı bir sistemde periyot süresi, fazların sırası ve sahip olduğu süreler sabittir. Tüm gün için veya belirli saatler için farklı şekillerde süreler belirlenebilir (Roess, et al., 2011)..

Yarı-uyarmalı sistem: Bu sistemlerde dedektör sadece tali yolda kullanılmakta ana yolda dedektörler kullanılmamaktadır. Tali yol araç algıladığı zaman daha önceden belirlenmiş olan alt-üst limitleri arasında ana yolun yeşil süresinden alarak kendisine yeşil süre tayin eder. Akıcı trafiğin sekteye uğramasının en büyük nedenlerinden biri yarı-uyarmalı sistemlerin kullanılmasıdır (Roess, et al., 2011).

Tam uyarmalı sistem: Bu tip sinyalizasyon sisteminde kavşak alanına yaklaşan tüm yolların trafik yoğunluklarına göre devre ve faz sürelerini önceden tanımlanan kurallar çerçevesinde (alt-üst limitler) otomatik olarak belirler. Tam uyarmalı sistemlere halk arasından adaptif veya akıllı kavşak adı verilmektedir. Gelen araç sayısına uyum göstererek sinyal süresini kendisinin değiştirebilmesi sebebiyle böyle bir isimlendirme yapılmıştır (Roess, et al., 2011).

Toplu taşıt uyarmalı sistem: Özellikle tramvay ve özel otobüs yolu sistemlerinde toplu taşıma aracı kavşağa geldiğinde geçiş üstünlüğü sağlamak amacıyla kullanılan sistemdir (Bilgiç, 2013).

Uyarmalı kavşak türleri trafiğin kısa süreli dalgalanmasına uygun olmasına rağmen kavşaklar arası koordinasyonu bozduğundan bunların arasında koordinasyon sağlamak için trafik kontrol merkezleri oluşturulması yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Bu sayede hem değişken trafik miktarına en iyi şekilde uyum gösterilebilmekte, hem de kavşaklar arası koordinasyon sağlanabilmektedir. Trafik

kontrol merkezi bilgisayarı müdahale ederek yol ağı üzerindeki seyahat süreleri ve emisyon değerlerini azaltır (Anonim, 2015).

Kavşaklar arası etkileşime göre iki çeşit sistem vardır;

İzole sistem: İzole sinyalize kavşaklar, yakınlarındaki diğer sinyalize kavşaklar ile herhangi bir bağlantısı bulunmayan ve bu kavşaklardan etkilenmeyen sinyalize kavşaklardır (FHWA, 2008).

Sinyal koordinasyonu: Ana arterin üzerinde bulunan tüm kavşaklardaki sinyal ışıklarının birlikte çalışması için yapılan sisteme sinyal koordinasyonu denir. 6. Bölüm'de sinyal koordinasyonu konusuna detaylı bir şekilde değinilecektir. Çizelge 4.2'de kavşağın işleyiş ve kontrol tipleri arasından ilişkiler gösterilmiştir. Halk arasında yeşil dalga sistemi olarak bilinir (FHWA, 2008).

4.3.1 Sinyalizasyonun Temel Terimleri

Devre (periyot) süresi (C): Birbirini takip eden bir dizi sinyal fazının tamamlanması ile sinyal devresi oluşur. Kısacası bir akımın yeşil süresi yandıktan sonra tekrar yeşil yanması kadar olan süredir. Kavşaktaki tüm sinyallerin bir tur atma süresidir.

Sarı süre (y): Sarı sinyal sürücülere geçiş haklarının sona ermek üzere olduğunu bildirir. Bir fazda yeşilden kırmızıya geçerken yeşil ışık yakılır. Araçların özellikle ikilem bölgesindeki (durma veya geçmeye karar verme) durumundan ötürü güvenle geçmesi esas alınır. Sarı süre hazırlan anlamı taşır yeşilden sonraki sarı süre kırmızıya yani durmaya, kırmızıdan sonraki sarı süre yeşile yani geçmeye hazırlan anlamı taşır (Öztürk vd., 2008).

Çizelge 4.2 Sinyalizasyon sistemlerinin özeti (FHWA, 2008)

Sinyalizasyon Sistemi	Sabit Zamanlı		Uyarmalı		
	İzole	Koordine	Yarı uyarmalı	Tam uyarmalı	Koordine
Sabit Periyot	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
Uygulanma Şartları	Dedektör yoksa	Tutarlı trafik, yakın aralıklı kavşaklar.	Ana yolun 64 km/sa düşük ve tali yolun az talebe sahip olması	Tüm yolların dedektöre sahip olan, hızın 64 km/h büyük izole kavşaklar	Ana yolların yüksek trafik hacmine ve diğer kavşakların da yakın hacme sahip olması
Örnek Uygulamalar	Yol çalışması olan yerler	Kentiçi bölgeler, farklı seviyeli kavşaklar	Şehirlerarası yollar ve çevreyolları	Yakınında sinyal olmayan yerler, yüksek hızlı kent dışı yerler, 2 ana arterli kavşaklar	Banliyö yolları
Önemli noktalar	Geçici uygulamalarda	Tahmini öngörülebilir orsa, düşük donanım ve bakım maliyeti	Düşük bakım maliyeti	Trafiğin değişmesine uyumlu, verimli yeşil süre, gecikme azalması ve güvenlik	Daha az gecikme,

Hepsi Kırmızı süresi (boşluk aralığı) (ar): Yeşilden sonraki sarı sinyalin en son anında kavşağa giren araç, kavşağı terk edinceye kadar kavşaktaki bütün kollara kırmızı sinyal yakılarak aracın güvenle geçmesi sağlanır, bu süreye hepsi kırmızı süresi adı verilir (Bilgiç, 2013).

Yeşil Süre (G): Yeşil süre bir yönde hareket eden akıma geçiş hakkı verilen süredir. Sinyal devresinde her akım yeşil süreye sahip olmalıdır (Öztürk vd., 2008).

Kırmızı Süre (R): Hareket eden araçlara geçiş hakkının verilmediği süredir.

Ofset: Bir kavşakta yeşil fazın başlangıç süresi ile diğer kavşakta yeşil fazın başlaması arasındaki süreye ofset denir. Bu süre sıfır ile periyot süresi arasında değişir. Yeşil dalga sistemlerin dizayn edilmesinde kullanılır (Roess, et al., 2011).

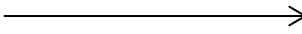
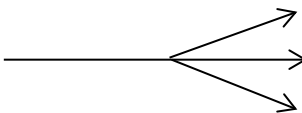
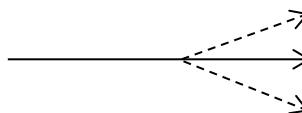
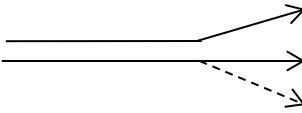
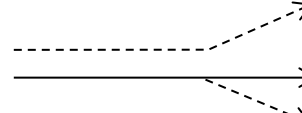
Faz: Bir sinyal fazı yeşil, sarı ve kırmızı süreleri içerir. Bir devre süresi içerisindeki toplam hareket sayısı olarak ifade edilebilir. Aynı anda bir veya birkaç tane akımın harekete geçmesi mümkündür, kısacası bir devre süresi içindeki yeşil sinyal sayısıdır. Sinyal fazı, sinyalizasyon bir kavşağın etkin işletimi ve güvenliğinin belirlenebildiği temel kontrol mekanizmasıdır. Sinyalizasyon teknolojisindeki son gelişmeler oldukça esnek fakat aynı zamanda karmaşık sinyal fazlarının seçilmesine imkân vermektedir. Dolayısıyla trafik akımları ve sinyal fazlarının birbirleriyle olan ilişkilerini anlamak oldukça önemlidir (Başkan, 2004).

Sinyalize kavşaklardaki yaklaşım kolundaki trafik akımları yönleri, şerit işgali ve faz durumları ile ifade edilir. Trafik akımlarının geçiş hakkı almaları sinyal faz sistemi ile belirlenir. Bir sinyal faz sistemi araç ve yaya akımlarına nasıl geçiş sırası verileceğini belirler (Başkan, 2004).

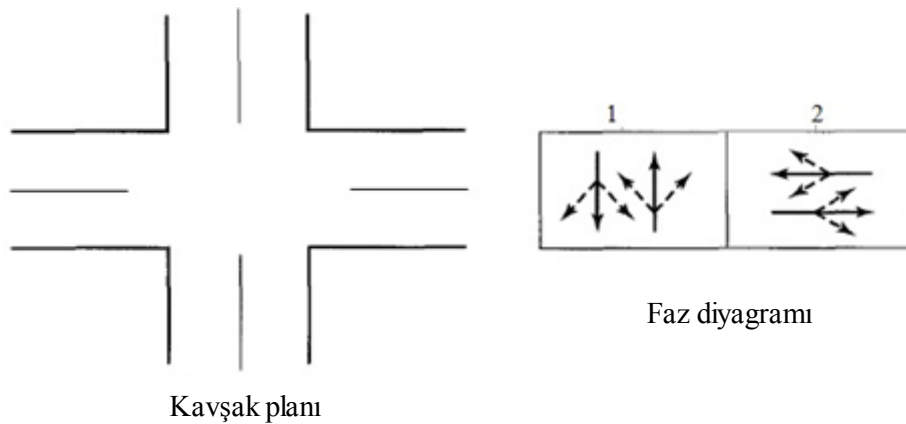
Sinyalize bir kavşakta faz sisteminin seçimi kavşağın geometrisine ve dönen trafik akımlarının derecesine göre tespit edilir. Sinyal fazı tasarımı ile beklenen akımların karşılaşmasını azaltarak trafik kazalarını minimuma indirmek, bunun yanında aynı zamanda gecikmeleri, kuyruk uzunluklarını ve durma sayılarını azaltarak kavşağın etkin işletimini sağlamaktır. Bir faz, başlangıcında en az bir akımın geçiş hakkı alması ve de bitiminde en az bir akımın geçiş hakkının sona ermesi ile tanımlanabilir. Birden fazla fazda geçiş hakkı alan akımlara tekrarlı akımlar denir. Şekil 4.5'te bir fazda mümkün olabilecek araç hareketleri gösterilmiştir (Başkan, 2004; Murat, 2012).

İki fazlı sistem: Sinyal devresinde iki fazın bulunmasıdır. Örneğin; Dört kollu kavşaklarda sola dönüş hareketlerinin veya trafiğinin çok fazla olmaması halinde iki fazlı sinyalizasyon en idealidir. Çünkü faz sayısı azaldıkça toplam kayıp süre de azalarak kavşağın kapasitesi artmaktadır. Şekil 4.6'de 2 fazlı sinyalizasyonda her yöndeki araçlara sağ ve sol dönüşe izin verilmiştir. 4 kollu ve iki fazlı sinyalizasyonda özel sola dönüş şeriti konulabilir veya sola dönen araçlar ile sapmayan araçlar aynı şeriti

kullanılabilmektedir. Faz 1 de kuzey-güney ve faz 2 de ise doğu-batı yönündeki araçların hareketine olanak tanımaktadır (Roess, et al, 2011).

Sapmayan akım	
Paylaşılan şeritte korumalı sağ-sol ve sapmayan akım	
Paylaşılan şeritte sapmayan akım ve izin verilen sağ-sol dönüşler	
Sapmayan akım ile paylaşılan şeritte izin verilen sağa dönüş ve sola dönüş şeridinde korumalı dönüş	
Sapmayan akım ile paylaşılan şeritte izin verilen sağa dönüş ve sola dönüş şeridinde izin verilen sola dönüş	

Şekil 4.5 Faz diyagramlarında hareketler (Roess, et al, 2011)



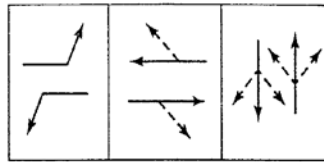
Şekil 4.6 İki fazlı sinyalizasyon

4.3.2 Sola dönüşler

Trafiğin sağdan aktığı ülkelerde sola dönüş manevraları, kavşak kapasitesini önemli bir şekilde etkilemektedir. Sola dönüşler yolu kullanma sırası ve şeklinin karmaşıklığı nedeniyle hem trafik güvenliğini azaltmakta hem de kapasiteyi düşürmektedir. Sola dönüş sorununun çözümü için sola dönüşleri yasaklama ya da sola dönüşlere ayrı bir faz tanımlamak gerektirir. Sinyalize kavşaklarda sola dönüşler üç ana durumda ele alınır (Murat, 2012);

1. Sola dönüşü izin verme: Bu durumda karşı şeritten gelen araçlara yeşil yanmasına rağmen sola dönüşlere izin verildiği durumdur. Bu durumda sola dönen araçlar karşıdan gelen araçların arasında boşluk aramasından dolayı kavşakta bekleyecektir. Bu sebeple diğer sola dönen araçların da gecikmesine neden olacaktır veya sola dönmek isteyen araçlar sağ şeride geçerek trafik akımını olumsuz etkilerler (Roess, et. al., 2011).

2. Sola dönüşlerin korunması: Korunmuş bir sola dönüş demek kendine ait bir faza sahip olmaktır. Bu durumda sola dönüşler kendine ait bir yeşil süreleri olup karşı yönden gelen araçlarla çatışması önlenmiş olur. Eğer özel bir sola dönüş şeriti yoksa pratikte sola dönüş fazı yapmak kullanışsız olacaktır çünkü sola yeşil ışık yandığında düz yönde giden araç şeritte kuyruk oluşturup gecikmelere neden olacaktır. Sola dönüşlerin kontrol altına alınması kavşak açısından gecikme ve dur-kalkları azaltacağı için araç yakıt tüketimini azaltarak ekonomik anlamda avantaj sağlar (Şekil 4.7) (Tunç, 2003; Yanxi and Xiaoguang, 2013).



Şekil 4.7 Korunan sola dönüş fazı (A fazı)

3. Sola dönüşlerin korunması ve izin verilmesi: Kendine ait bir sola faza sahip olan sola dönüşün periyodun başka bir fazında geçişlerine izin verilmesi durumudur. Korunmuş faz ile izin verilen faz herhangi bir sırayla uygulanabilir (Trafficware, 2011).

Bunların dışında tez çalışmasında kullanılan Synchro programında yukarıdaki üç ana sola dönüş durumlarının birleştirilmiş veya özel olarak ortaya çıkarılmış sola dönüş durumları aşağıda listelenmiştir (Trafficware, 2011)..

Ayrılmış (*split*) : Bu tip fazlar genelde sola ve düz giden araçlar aynı şeridi paylaşıyorsa uygulanır. Hem sola dönüşler hem düz giden araçlar aynı korunmuş fazı ortak kullanırlar. Özellikle t tipi kavşaklarda karşı yönden gelen araç olmadığı için ayrılmış faz tipi kullanılmalıdır (Trafficware, 2011).

Sola dönüş yasağı: Sola dönüşlere izin verilmez. Araçlar sola dönüşlerini önceki veya sonraki kavşaklarda gerçekleştirir (Trafficware, 2011)..

Özel: Standart olmayan faz kombinasyonunun seçilmesi durumudur (Trafficware, 2011).

4.3.2.1 Sola dönüşlerin korunması - izin verilmesi gereken genel durumlar

Genel olarak aşağıdaki durumlar sağlanıyorsa sola dönüşler için ayrı bir faz yapılması uygun görülmektedir (Roess, et al., 2011).

- $v_{LT} \geq 200$ ta / sa
- vektörel çarpım $\rightarrow v_{LT} * \left(\frac{v_o}{N_o}\right) \geq 50000$

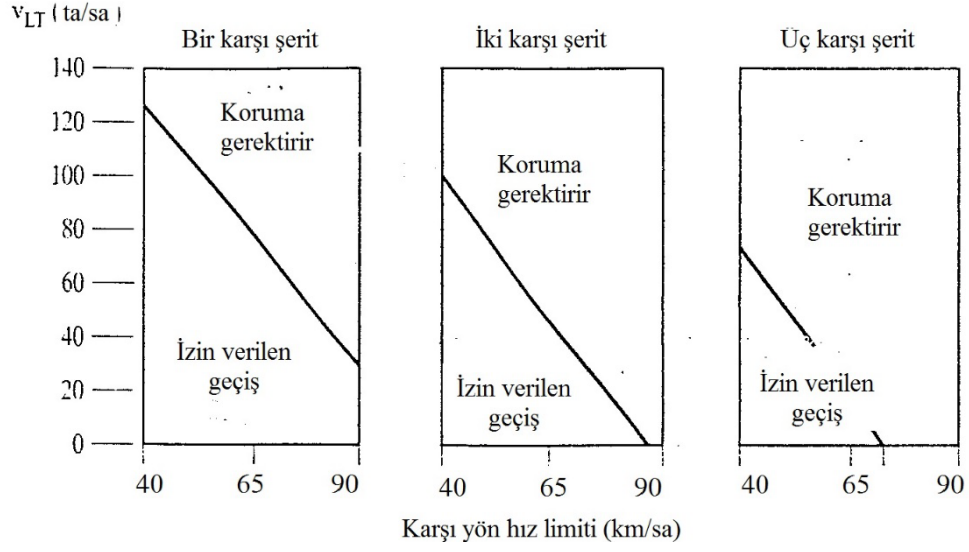
v_{LT} = sola dönen trafik hacmi, ta/sa

v_o = karşı yönden gelip düz giden araç hacmi, ta/sa

N_o = karşı yöndeki (düz güzergâh) şerit sayısı

Bazı çalışmalarda sola dönüşlerin izin verilmesi gereken ek maddeler aşağıda gösterilmiştir (Pusey R and Butzer G. 2000; Roess et al.'den, 2011).

- Şekil 4.8'de tabloya göre sola dönüşlere izin veya koruma gerektirmesi
- Araçların görüş açısı bakımından hiçbir kısıtlaması olmaması
- Son 3 yıl içinde "izin verilen" durumlarından 8 den fazla kaza meydana gelmemesi



Şekil 4.8 Sola dönüş karar tablosu

Aynı çalışmada aşağıdaki durumlardan herhangi bir ikisinin olması durumunda sola dönüşün kendine ait fazı ya da paylaşımlı fazı olması gerekmektedir (Roess, et al., 2011).

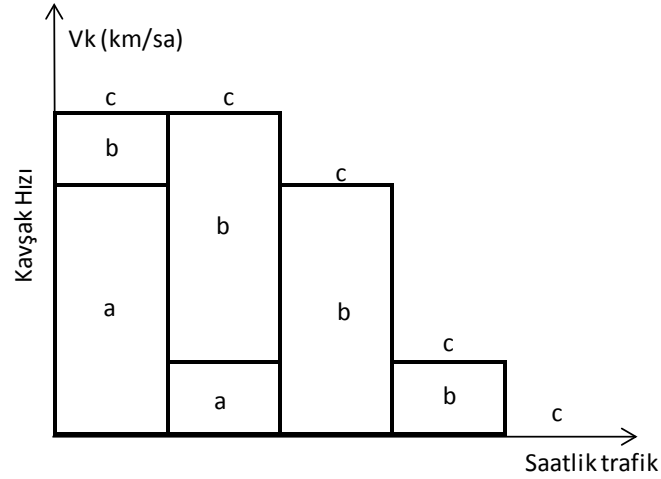
- Sola dönen araçların hacmi 320 ta/sa dan büyük ise
- Karşı yönden gelen hacim 1200 ta/sa dan büyük ise
- Karşı yönün hız limiti 72 km/sa den büyük yada eşit olması
- İki veya daha fazla sola dönüş şeridinin bulunması

Eğer aşağıdaki durumlardan herhangi biri mevcut ise tamamen korunmuş sola dönüş fazı gerekir (Roess, et al., 2011).

- Karşı yöndeki yolun 3 şerite sahip olması ve hız limiti 72 km/sa den büyük yada eşit olması
- Sola dönen araçların hacmi 320 ta/sa dan büyük ve ağır taşıt oranının %2,5 dan büyük olması
- Karşı yöndeki akımın 1100 ta/sa dan büyük ve sola dönen araçların hacim oranının %2,5 dan büyük olması
- Son üç yıl içinde sola dönüş fazında yedi yada daha fazla kaza meydana gelmesi

- Sola dönüşlerde durma-kalkma gecikmesinin kabul edilebilir derecede olması, mühendisler bileşik fazlarda kaza olup olmama durumunu göz önünde bulundurmalarıdır.

Sola dönüş trafiğinin fazla olması ve sola dönüşlerden dolayı kavşakta gecikmeler, kaza riski vb. oluyorsa ek bir sola dönüş fazı – sola dönüş şeridi konulması gerekmektedir. Karayolları Tasarım El Kitabı'na göre sol dönüş şerit gereksinimi Şekil 4.9'da verilmiştir (KTEK, 2005).



Şekil 4.9 Eşdüzey kavşaklarda sol dönüş şerit gereksinimleri

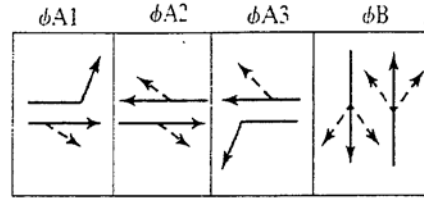
- Kural olarak sol dönüş şeridine gerek yoktur.
- Gerekli görüldüğünde, sola dönüşlerde tehlike yoksa sol dönüş şeridi yapılmayabilir.
- Sol dönüş şeridi yapılması gereklidir.

Sola dönüşler bir sinyalizasyon kavşak sisteminde faz sıralanmalarına göre üç tipe ayrılırlar (Roess et al., 2011);

- **Erken açma sistemi (*leading green*):** Faz başlangıcında ilk olarak sola dönüşlerin serbest bırakılması durumudur.

- **Geç kapama sistemi (*lagging green*)** : Karşı yöndeki sola dönüşlerin tali yol yada diğer cadde fazı girmeden sola dönüşlerin açılmasıdır.

Şekil 4.10'da A1-A2-B fazları erken sola açma sistemini, A2-A3-B fazları geç kapama sistemini göstermektedir (Roess, et al., 2011).



Şekil 4.10 Erken açma / geç kapama durumu

- **Yeşil ile örtüşen (*overlapping through green*)**: Aynı yönde düz (veya düz-sağ) giden araçlara yeşil ışık yanarken sola giden araçların durmasıdır. Opsiyonel olarak bileşik faz kurularak sola dönüşlere izin verilir (korumasız faz).

4.3.3 Sinyalizasyon elemanları ve temel hesaplamalar

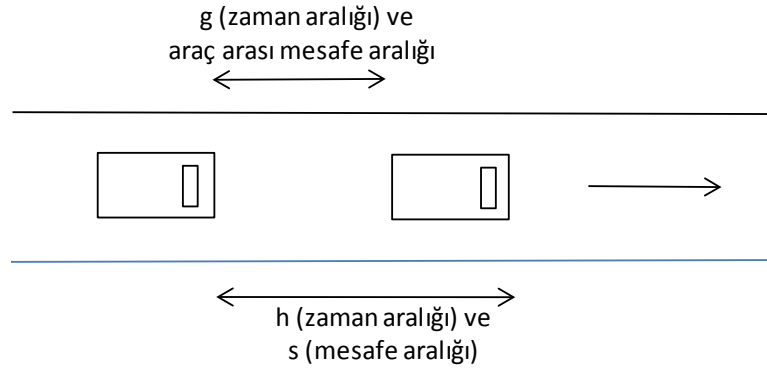
4.3.3.1 Zaman aralığı ve başlangıç kaybı

Mesafe aralığı (*spacing*) bir trafik akımında arka arkaya giden iki araçtan birinin ön tamponunun diğer aracın ön tamponuna olan uzaklıktır. Zaman aralığı (*headway*) ardı ardına iki taşıt arasında mesafe aralığının kat edilme süresine denir. Arkadaki aracın ön tamponundan öndeki aracın arka tamponuna kat edilme süresinde araç arasındaki zaman aralığı (*gap*) olarak adlandırılır (Şekil 4.11) (Roess et al., 2011).

$$d = \text{yoğunluk (ta/km)} = \frac{1000}{\text{mesafe aralığı (m)}} \quad (4.1)$$

$$h = \text{zaman aralığı}(s/ta) = \frac{\text{mesafe aralığı}(m)}{\text{hız}(m/s)} \quad (4.2)$$

$$\text{akım oranı}(ta/sa) = \frac{3600}{\text{zaman aralığı}(s/ta)} \quad (4.3)$$

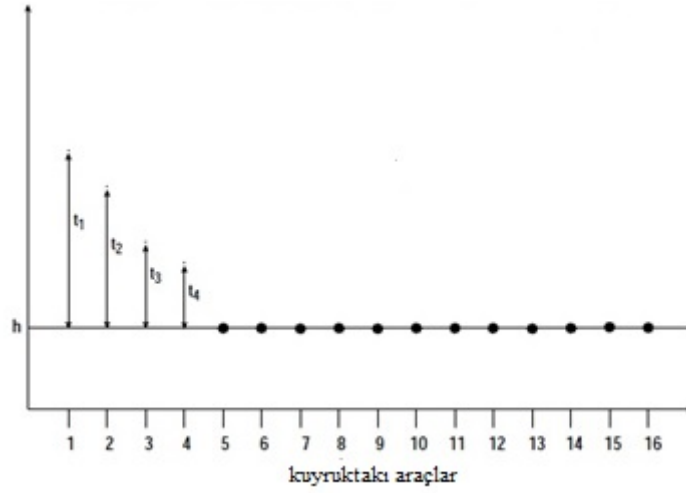


Şekil 4.11 Zaman ve mesafe aralıkları

Sinyalize kavşakta bir akıma yeşil sinyal yandığında, araçların oluşturduğu kuyruk hareket etmeye başlayacaktır. Ardışık şekilde dur çizgisini geçen araçların arasındaki zaman aralığı doymuş akım zaman aralığı olarak tanımlanır. İlk zaman aralığı ilk aracın tamponunun dur çizgisini geçene kadar olan süredir. İkinci zaman aralığı ise ilk aracın tamponunun dur çizgisini geçtiği an ile ikinci aracın tamponunun dur çizgisini geçtiği an arasındaki süre olarak tanımlanır (Bester and Varndell, 2002).

Kuyruktaki ilk araç sinyal direğinde yeşil ışığın yanmasını bekleyerek gözlem halindedir, yeşil sinyal yandığı zaman duruş halinden ivmelenerek harekete geçer bu yüzden ilk zaman aralığı fazladır. İkinci araç ise aynı şekilde gözlem halindedir ve ilk araca göre daha fazla ivmelenerek daha az bir zaman aralığı ile harekete geçer. Bu süreç zaman aralıkları araçların birbirleriyle dur-kalk sürecindeki etkileri azalarak sabit bir zaman aralığı değerine ulaşır. Bu sabit zaman aralığı doymuş akım zaman aralığı olarak adlandırılır. Sabit zaman aralığı genelde kuyruktaki üçüncü ve altıncı araçlardan sonra oluşur. Araçların oluşturduğu zaman aralığı ile doymuş akım zaman aralığı oluşan

fark **toplam başlangıç kaybı** olarak tanımlanır (Şekil 4.12 ve 4.13) (Roess et al., 2011; Bester and Varndell, 2002).



Şekil 4.12 Kuyruktaki araçların zaman aralığı

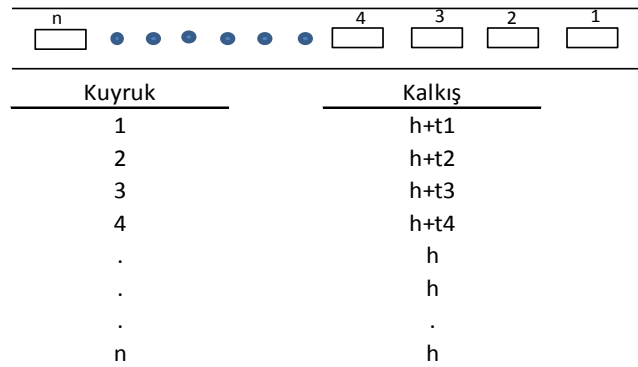
Başlangıç zaman kaybı ;

$$l_1 = \sum_{i=1}^n t_i \quad (4.4)$$

l_1 = başlangıç kaybı, s/faz

t_i = bir araç için artan zaman aralığı, s

n = kuyruktaki son araç



Şekil 4.13 Zaman aralığı ve başlangıç kaybı

Bu durumdan yola çıkarak kuyruktaki n sayıda aracın kavşağı boşaltması için gerekli yeşil süreyi;

$$T_n = l_1 + nh \quad (4.5)$$

denkleminde bulunur (Roess et al., 2011).

T_n = kuyruktaki n aracın kavşağı boşaltmak için gerekli olan yeşil süre, s

l_1 = başlangıç kaybı, s/faz

h = doygun zaman aralığı, s/taşı

n = kuyruktaki araç sayısı

4.3.3.2 Toplam kayıp süre ve efektif yeşil süresi

Bir fazın yeşil süresinde araçların kalkması ve durmasıyla başlangıç ve bitiş kayıp süreleri oluşmaktadır. Buna göre yeşil sürede toplam kayıp süre;

$$t_L = l_1 + l_2 \quad (4.6)$$

t_L = toplam kayıp süre, s/faz

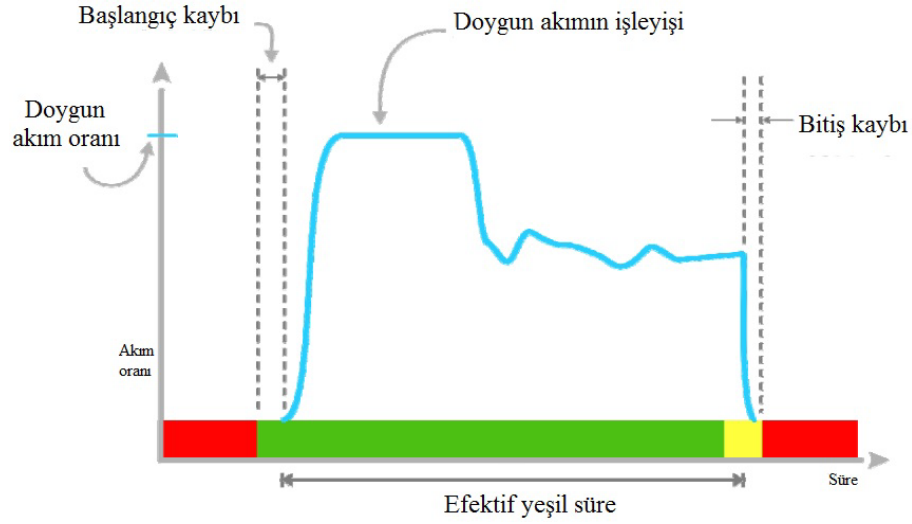
l_1 = başlangıç kaybı, s

l_2 = bitiş kaybı, s

Boşluk (bitiş) kaybı: Başlangıç kaybı her zaman kuyruktaki araçların yeşil ışığın yanmasıyla harekete geçtikleri zaman oluşur. Bununla beraber yeşil ışığın bitişle de kayıp zaman oluşmaktadır. Bitiş kaybı l_2 , fazın bitmesiyle kavşaktan çıkan son aracın ön tekerlerinin dur çizgisini geçmesiyle diğer fazın yeşil ışığının yanması arasındaki geçen süredir (Roess et al., 2011).

Bir sinyalizasyon kavşakta yeşil, sarı, hepsi kırmızı ve kırmızı süreleri vardır. Yeşil ve hepsi kırmızı ışıkları araçların yeşil süre bittiğinde aniden duramayacağı için vardır. Yeşil ve kırmızı sürelerine tahsis edilen kayıp sürelerden dolayı gerçekte kullanılan

efektif yeşil ve efektif kırmızı süreleri vardır. Efektif yeşil süre etkin olarak araçların hareket ettiği süredir, yeşil sürenin sarı süreyle toplamının başlangıç ve bitiş kayıplarının çıkarılmasıdır. Efektif kırmızı süre ise etkin olarak araçların hareket etmediği süredir, periyot süresinin efektif yeşil süreden çıkarılmasıyla bulunur. Temel sinyal elemanları Şekil 4.14 ve 4.15’de gösterilmiştir. Doygun akım eğrisinin azalması yeşil süre bitimindeki kuyruklanmaya örnektir (Kang, 2000; FHWA,2008; Roess et al., 2011).



Şekil 4.14 Sinyalize kavşakta tipik akım oranları

$$g = G + Y - t_L \quad (4.7)$$

$$Y = y + ar \quad (4.8)$$

$$t_L = l_1 + l_2 \quad (4.9)$$

g = efektif yeşil süre, s

G = yeşil süre, s

y = Sarı süre, s

Y = yeşil ve sarı süre toplamı, s

t_L = Toplam kayıp süre, s

l_1 = Başlangıç kaybı, s

l_2 = Bitiş (boşluk) kaybı, s

ar = Hepsi kırmızı süresi, s

Kayıp zaman ayarlaması (t_{LA}) (Trafficware, 2011) ;

$$t_L = Y + l_1 - e \quad (4.10)$$

$$t_{LA} = l_1 - e \quad (4.11)$$

$l_1 = 2s$ $e = 2s \rightarrow$ genelde standarttır, t_{LA} da genelde 0 alınır.

$$l_2 = Y - e \quad (4.12)$$

$$t_L = Y + t_{LA} \quad (4.13)$$

e = efektif yeşil uzatma miktarı, s (faz değişimlerinde sürenin bir kısmının etkin olarak kullanılması)

G		y	ar	R
ll		e	l2	R
tL	g			R
r	g			r

Şekil 4.15 Sinyal devre elemanları (Roess et al., 2011)

4.3.3.3 Kapasite ve doymun akım:

Belli bir zaman boyunca karayolunun bir şeridinden veya şerit grubundan geçerli şartlar altında (doymun akım) geçebilecek maksimum taşıt sayısıdır. Doymun akım ise araçların kesintisiz bir şekilde daima yeşil ışık yandığı farz edilerek şeritten geçen maksimum trafik oranıdır. Doymun akım oranı şerit sayısı ile çarpılarak şerit gurubunun veya yolun doymun akım değeri bulunabilir (Roess et al., 2011; FHWA, 2008).

$$s = \frac{3600}{h} \quad (4.14)$$

$$c_i = s_i \left(\frac{g_i}{C_i} \right) \quad (4.15)$$

s = doygun akım, taşıt/saat(yeşil)/şerit

h = doygun zaman aralığı, s/taşıt

c_i = şerit veya şerit grubunun kapasitesi (araç/saat)

s_i = şerit veya şerit grubunun doygun akım oranı (araç/saat(yeşil))

g_i = şerit veya şerit grubunun efektif yeşil süresi (s)

C = devre süresi (s)

İdeal doygun akım (hiçbir kayıp zamanın yaşanmadığı maksimum istikrarlı akım - 1900 araç/saat/şerit) için şartlar (Bester and Varndell, 2002; HCM 2000);

- 3.6 m şerit genişliği
- Ağır taşıt bulunmaması
- Sıfır eğim
- Kavşak üzerinde park, otobüs durağı bulunmaması
- Araç dönüşlerinin olmaması
- Yaya ve bisiklet geçişlerinin olmaması

Formülde görüldüğü gibi devamlı yeşil ışık yandığında (yani $(g_i/C)=1$) doygun akımın kapasiteye eşit olduğu görülmektedir.

4.3.3.4 Sarı ve Hepsi Kırmızı Süreler

Sarı süre hazırlan anlamı taşıy yeşilden sonraki sarı süre kırmızıya yani durmaya kırmızıdan sonraki sarı süre yeşile yani geçmeye hazırlan anlamı taşıy. Hepsi kırmızı süresi de kavşak alanından son aracın güvenli bir şekilde çıkmasını sağlamak amacıyla tüm fazlara kırmızı süre yakılmasıdır (Bilgiç, 2013).

$$y = \left(t + \frac{S_{85}}{2a \pm 19.6g} \right) \quad (4.16)$$

$$ar_i = \left(\frac{W + L}{S_{15}} \right) \quad (4.17)$$

y = sarı süre, s

ar_i = hepsi kırmızı süre, s

a = ivme (3 – 4 m/s²)

t = sürücü reaksiyon süresi, 1 s

S₈₅ = 85lik hız ya da hız limiti*, m/s

S₁₅ = 15lik hız ya da hız limiti*, m/s

*(Tüm yönler için hız limiti aynı verilirse formüldeki tüm hızlar hız limiti değeri girilir)

W = araç duruş yerinden karşı sinyal direğine uzaklık, m

L = standart araç uzunluğu (genelde 6.0 yada 6.10 m), m

Ortalama hız verilmiş ise (Roess, et al., 2011);

$$S_{15} = S - 2,235 \quad (4.18)$$

$$S_{85} = S + 2,235 \quad (4.19)$$

S = ortalama hız, m/s

4.3.4 Sağa dönüşler ve yaya fazı

Sağa dönüş durumları: 3 çeşit sağa dönüş durumu vardır (Tian, 2006).

1- İzin verilen (faz yok)

-Kırmızıda sağa dönüş (RTOR)

-Kırmızıda sağa dönüş olmayan

2 - Korunmuş (faza sahip)

-Trafik levhasıyla dönüşü belirlenmiş

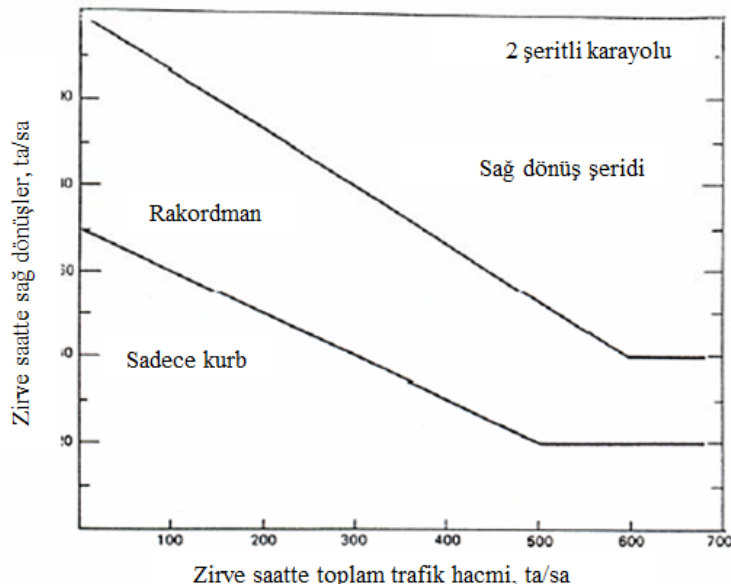
-Üst üste faz (düz giden yön + yan caddede sola dönüş beraber)

3 - Serbest (kanal oluşturulan)

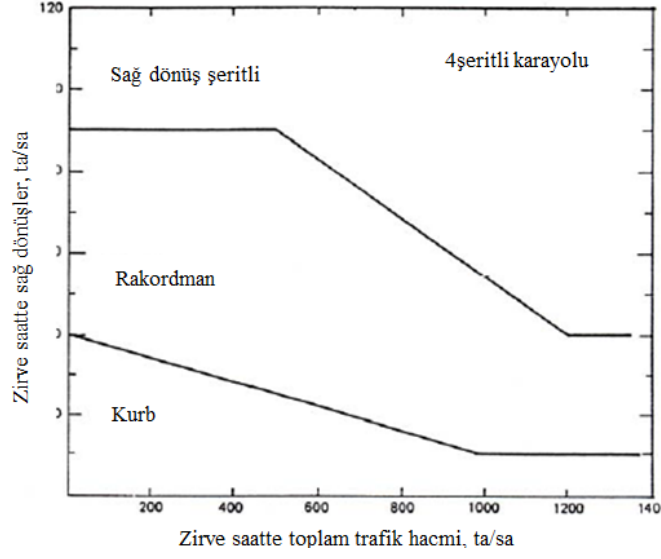
Sağa dönüş fazı yapmadan önce aşağıdaki koşulların uygun olması gerekir (FHWA, 2008);

- Sağa dönüş için bir veya daha fazla sağa dönüş şeriti olması
- Sağa dönen araçların hacmi 300 ta/sa ve daha fazla olması
- Tamamlayan yolun (tali ya da diğer(yan) yol) sola dönüşlerinin faza sahip olması
- Tamamlayan yolun (tali ya da diğer(yan) yol) sola dönüşlerinde U dönüşünün yasak olması

İki şeritli ve dört şeritli (bölünmüş) yollarda sağa dönüş şeridi gerekliliği Şekil 4.16 ve 4.17'e bakılarak uygulanır (KTEK, 2005).



Şekil 4.16 İki şeritli yollarda sağ dönüş şerit gereksinimi



Şekil 4.17 Bölünmüş yollarda sağ dönüş şerit gereksinimi

Yaya fazı gerekliliği: Yaya fazı yürüme zamanı (WALK) + yaya kayıp süresi (FDW) olarak mevcuttur. Eğer kavşakta mevcut yolun yeşil süresi yayaların geçiş süresinden fazlaysa sorun teşkil etmez ve yayalar için faz oluşturulmaz. Eğer yeşil süreden büyük olursa yayalar için ek bir faz oluşturulmalıdır. Bir fazda yaya zamanlamalarına gereksinim varsa, öngörülen veya belirlenen sinyal zamanlamaları içinde yayalar için gerekli minimum yeşil süre aşağıdaki formülle hesaplanır (HCM, 2000):

$$G \geq \text{WALK} + \text{FDW}$$



Şekil 4.18 Yaya Fazı (Tian, 2006)

$$G_p = 3.2 + \frac{L}{S_p} + \left(0.81 * \frac{N_{ped}}{W_E}\right) \quad W_E > 3,0 \text{ m} \quad (4.20)$$

$$G_p = 3,2 + \frac{L}{S_p} + (0,27 * N_{ped}) \quad W_E \leq 3,0 \text{ m} \quad (4.21)$$

G_p = minimum yeşil süre, s

L = yaya geçidi uzunluğu, m

S_p = ortalama yaya yürüme hızı (S_{15} (15lik yaya hızı) olan 1,2 m/s kullanılır), m/s

W_E = efektif yaya geçidi genişliği, m

3,2 s = yaya başlangıç süresi, s

N_{ped} = aralık süresince karşıya geçen yaya sayısı

Ek yaya fazı süresi hesaplanması (Bilgiç, 2013);

$$S_{ped} = 4 + \frac{L}{S_p} + ar_i \quad (4.22)$$

4 = Yaya fazı emniyet süresi, s

ar_i = Yaya fazı sonrası hepsi kırmızı süresi, s

Yayalar genel olarak kavşak kapasitesini üç olumsuz yönde etkilemektedirler (Çevik, 2011);

- Sinyalize bir kavşakta yaya hacminin fazla olması, yaya geçidinin uzun olması ya da yaya fazı için ayrılan yeşil sürenin küçük olması nedenlerinden en az biri dolayısıyla yaya yeşil süresi artırılarak diğer fazların g/C oranının düşürmesi,
- Yayaların yaya geçitlerinden geçmemeleri ve kendi fazlarını beklemeden geçmeleri nedeniyle araçları hızlarını düşürmeye ve duraklamaya sebep olmaları,
- Genellikle sağa dönüş yapan özellikle kırmızı ışıktaki sağa dönüşlere serbest olan uygulamalar ve bazı durumlarda sola dönüş yapan araçların zorunlu olarak yayalarla birlikte aynı anda geçiş hakkına sahip olmaları sebebiyle gecikmelere neden olması, kapasiteyi kötü bir şekilde etkilemektedir.

5. SİNYALİZE KAVŞAK ANALİZ YÖNTEMLERİ

5.1 Kritik Şerit – Zaman Kısıtı Yöntemi

Kritik şerit kavramı sürenin hangi yönler tahsis edileceğini belirtmek için kullanılır. Çünkü herhangi bir fazda kavşağa yaklaşan kollarda birden fazla şerit olup bunlardan bir tanesi en yoğun trafiğe sahiptir. Eğer en yoğun trafiğe sahip şerit için gerekli süre belirlenebilirse bu süre diğer şeritler için aynı fazda yeterli olacaktır. Bu yöntemde her bir fazda sadece ve sadece tek bir kritik şerit olacağı esas alınmaktadır (Tunç, 2003).

5.1.1 Trafik hacimlerinin düzeltilmesi

Sola veya sağa dönen trafik hacimlerinin trafik ve yaya koşullarına göre katsayılarla sapmayan trafik hacmi eşleniğine düzeltilmesi durumudur. Hacimleri eşdeğer faktöre çevirmenin nedenleri yapılan çalışmalara göre dönüş yapan veya ağır taşıtların normal taşıtlara ek yeşil süreye ihtiyaç duymasından dolayı bazı katsayılarla düzeltmeler yapılır (Çizelge 5.1 ve 5.2) (Roess et al., 2004; Tunç, 2003).

Çizelge 5.1 Sağa dönen araçlar için eşdeğer araç değeri (Roess et al., 2004)

Araçlarla kesişen yaya sayısı	E_{RT}
0	1.18
50	1.21
200	1.32
400	1.52
800	2.14

Çizelge 5.2 Sola dönen araçlar için araç eşdeğeri (Roess et al., 2004)

Karşı yön trafik hacmi V_o , ta/sa	Karşı yön şerit sayısı, N_o		
	1	2	3
0	1.1	1.1	1.1
200	2.5	2.0	1.8
400	5.0	3.0	2.5
600	10.0*	5.0	4.0
800	13.0*	8.0	6.0
1000	15.0*	13.0*	10.0*
1200	15.0*	15.0*	15.0*
Korunmuş sola dönüş $E_{LT} = 1.05$			
*Sol dönüş kapasitesi sadece periyod sonlarında kavşak boşaltma fasılası sırasında dönüş yapabilen araçlar için mevcuttur.			

$$V_{LTE} = V_{LT} * E_{LT} \quad (5.1)$$

$$V_{RTE} = V_{RT} * E_{RT} \quad (5.2)$$

V_{LTE} = Sola dönen araçların eşdeğer hacmi

V_{RTE} = Sağa dönen araçların eşdeğer hacmi

$$V_{pc} = V_{LTE} + V_{TH} + V_{RTE} \quad (5.3)$$

$$V_{EQL} = \frac{V_{EQ}}{N} \quad (5.4)$$

V_{EQ} = Toplam otomobil eşdeğer hacmi, ta

V_{EQL} = Şerit başı toplam otomobil eşdeğer hacmi, ta

N = Şerit başı

5.1.2 Kritik Şerit Yöntemi

İki fazlı bir sinyalizasyonda periyot iki kritik şerit hacmi için ayrı ayrı tahsis edilecektir. Bunun için kritik şerit hacminin kavşağı geçmesi için gerekli süre ile toplam kayıp süre toplamı her bir faz için gönüne alınacaktır. Dolayısıyla bir saat içindeki toplam kayıp sürenin dışındaki sürenin doygun zaman aralığına bölünmesi ile kritik şeritin hacminin toplamı elde edilir (Tunç, 2003).

$$L = N * t_L \quad (5.5)$$

L = toplam kayıp süre, s/periyot

t_L = toplam kayıp süre (t_1+t_2), s/faz

N = periyot içindeki faz sayısı

Bir saat içindeki toplam kayıp süre ve toplam efektif yeşil süre;

$$L_H = L \left(\frac{3600}{C} \right) \quad (5.6)$$

L_H = saat içindeki toplam kayıp süre

$$T_G = 3600 - L_H \quad (5.7)$$

T_G = bir saat içindeki toplam efektif yeşil süresi, s

$$V_c = \frac{T_G}{h} \quad (5.8)$$

V_c = maksimum kritik şerit hacimlerinin toplamı, ta/sa

h = doygun akım zaman aralığı, s/ta

Yukarıdaki denklemler birbirleriyle ilişkilendirildiğinde;

$$V_c = \frac{1}{h} \left[3600 - N * t_L \frac{3600}{C} \right] \quad (5.9)$$

Minimum periyot süresi;

$$C_{\min} = \frac{N * t_L}{\left(1 - \frac{V_c}{3600/h}\right)} \quad (5.10)$$

Tasarım periyot süresi;

$$C_{\text{des}} = \frac{N * t_L}{1 - \left[\frac{1000}{(3600/h) * PHF * (v/c)} \right]} \quad (5.11)$$

PHF = Zirve saat faktörü

v/c = hacim/kapasite oranı

Tasarım periyot süresi hedeflenen hacim/kapasite oranına göre periyot süresi belirlenmesidir (Roess, et al., 2011).

5.1.3 Yeşil sürelerin tayini

Efektif yeşil süre etkin olarak araçların hareket ettiği, efektif kırmızı süre ise etkin olarak araçların hareket etmediği süre olarak tanımlanır. Periyot süresi bulunduktan sonra fazlara ayrı ayrı efektif yeşil sürelerin tayin edilmesi gerekir (Roess, et al., 2011).

$$g_{\text{TOT}} = C - L \quad (5.12)$$

g_{TOT} = toplam efektif yeşil süre, s

C = periyot süresi, s

L = toplam kayıp süre, s

Bulunan toplam efektif yeşil süre her bir fazın kritik hacim oranına göre pay edilir.

$$g_i = g_{TOT} * \left(\frac{V_{ci}}{V_c} \right) \quad (5.13)$$

g_i = i fazı için efektif yeşil süre, s

V_{ci} = i fazının kritik hacmi, ta/sa

V_c = kritik hacimlerin toplamı, ta/sa

$$G_i = g_i + Y - t_{Li} \quad (5.14)$$

G_i = gerçek yeşil süre, s

Y = sarı + hepsi kırmızı, s

t_{Li} = i fazı için toplam kayıp süre, s

5.2 Periyot Süresi Formülleri

HCM periyot süresi formülleri (HCM 2000);

-genel hesap;

$$C_{des} = \frac{N * t_L}{1 - \left[\frac{1000}{(3600/h) * PHF * (v/c)} \right]} \quad (5.15)$$

-hızlı hesaplama;

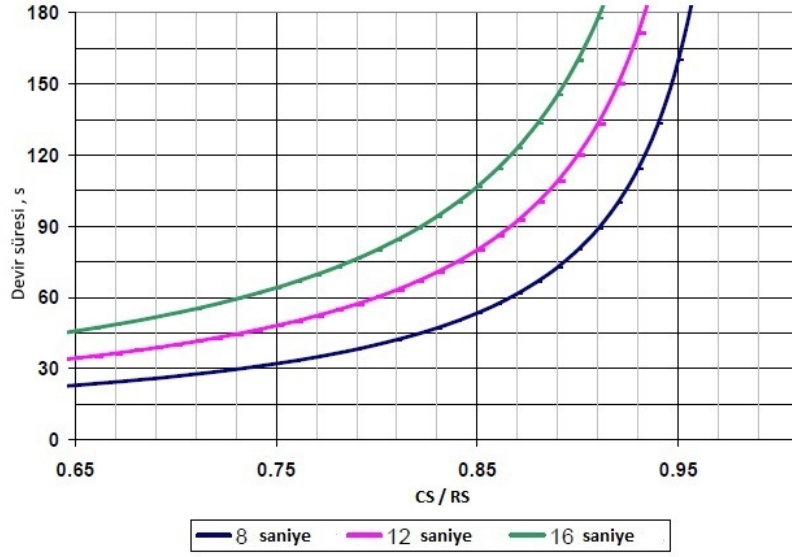
$$C = \frac{L}{1 - \left[\frac{\min(CS, RS)}{RS} \right]} \quad (5.16)$$

$CS (V_c)$ = kritik akımların hacimleri toplamı, ta

RS = referans akım oranı = 1710 x PHF X f_a , ta/saat

f_a = alan düzeltme faktörü = (0,90 şehir içi, 1,00 diğerleri)

*Şehir içi min C 70 s, diğer C 100 s alınması istenir. max 150 s



Şekil 5.1 HCM devre süresi (FHWA, 2008)

Yukarıdaki formüller ile aşağıdaki formül (Denklem 5.17) aynı sonucu vermektedir. Bu formülün amacı eğer hedeflenen v/c oranları denenerek optimum C süresi bulunur (Liu, 2012).

$$C = \frac{LX_c}{X_c - \sum (v/s)_{ci}} \quad (5.17)$$

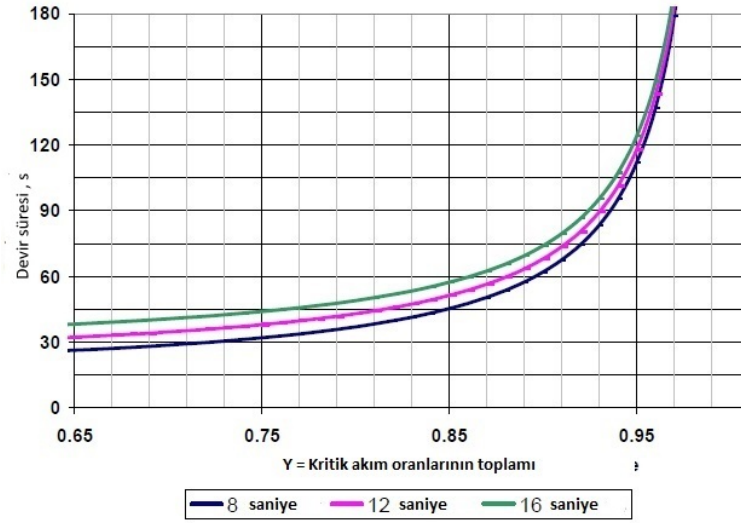
X_c = hedeflenen kavşak hacim/kapasite (v/c) oranı

Webster periyot süresi formülü, Minimum gecikme baz alınarak formül ortaya çıkarılmıştır (Cheng, et al., 2005).

$$C = \frac{1.5 * L + 5}{1 - Y} \quad (5.18)$$

Y = kritik akım oranlarının toplamı

L = toplam kayıp süre, s/periyot



Şekil 5.2 Webster devre süresi (FHWA, 2008)

5.3 Gecikme

Sinyalize kavşağın verimliliğini ölçmek için 3 önemli parametre vardır bunlar (Roess et al., 2011);

- Gecikme
- Kuyruk
- Durma (dur-kalk)

Gecikme sürücü, yolcu yada yayanın kendi kontrolleri dışında kaybettikleri, zaman olarak ifade edilir. Yol üzerindeki gecikmeler, trafik yoğunluğunun yüksek olması sebebiyle araçların hızlarının ve birbirlerini geçebilme olanaklarının azalmasından ileri gelebildiği gibi, güzergah üzerindeki herhangi bir engel de araçları yavaşlatarak ve hatta durmalarını neden olarak gecikmelerine sebep olabilir. Bir yol üzerindeki kavşaklar ve yaya geçitleri ile duran ve/veya park eden araçlarda trafik için birer engel olarak görülürler (Çevik, 2011).

Trafik gecikmeleri ve oluşan kuyruklar, şerit uzunluklarının yeterliliklerinin değerlendirilmesinde, kavşağın hizmet düzeyinin ve yakıt tüketiminin belirlenmesinde yani bir sinyalize kavşağın veriminin belirlenmesinde en önemli parametrelerindendir (Çevik, 2011).

Sinyalize bir tesiste araçların uğradığı sıkça kullanılan gecikme tipleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Roess, et al., 2011) (Şekil 5.3).

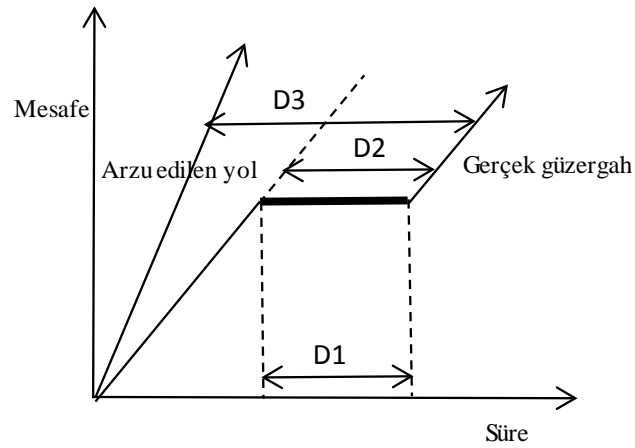
1. Durma-zaman gecikmesi (*stopped-time delay*) (D1): Sinyalize bir kavşakta, araçlar varolan kuyrukta kırmızı ışıkta durduktan sonra tekrar harekete geçmeleri sırasında meydana gelen zaman kaybıdır.

2. Yaklaşma gecikmesi (*approach delay*) (D2) : Durma-zaman gecikmesine ek olarak araçların kırmızı ışıkta duran araçlara (kuyruk) yaklaşırken ivmelerini düşürmeleriyle tekrar istediği hıza ulaşana kadar olan kayıp zamandır.

3. Kuyruktaki zaman gecikmesi (*time-in-queue*): Kuyruktaki araçların kavşağı boşaltmasıyla kavşağı yaklaşan aracın hız düşürmesiyle yaşadığı kayıptır.

4. Seyahat süresi gecikmesi (*travel time delay*) (D3): Kavramsal bir tanımdır. Sürücülerin hedeflediği tahmini seyahat süresi ile gerçekte alınan süre arasındaki farktır.

5. Kontrol gecikmesi (*control delay*) : İlk olarak HCM 1994 te tanımlanmıştır. Araçların kontrol cihazı yani dur levhası veya trafik ışıkları tarafından maruz kaldığı kayıptır. Yaklaşık olarak kuyruktaki zaman gecikmesi ile hızlanma-yavaşlama gecikmelerinin toplamına eşittir.



Şekil 5.3 Gecikme süreleri

Durma zaman gecikmesi (D1) sadece kırmızı sinyalde bekleme süresini ifade ederken yaklaşma gecikmesi (D2) ise kırmızı sinyalde bekleme süresine yavaşlama ve hızlanma için kaybedilen sürelerin toplamı ilave edilecektir. Yaklaşım gecikmesi (D2) süre olarak gerçek yörünge ile aracın kavşağa geldiğinde sinyalin yeşil yandığı kabul edilerek elde edilen yörünge arasındaki farka eşittir, daima $d_2 > d_1$ olacaktır. Çünkü aracın hızlanma için kaybettiği süre yavaşlama için kaybettiği süreden daha fazladır. Ayrıca aracın yeşil sinyal yandığında kalkışta zaman kaybı olacaktır. Seyahat süresi gecikmesi (D3), orjinden herhangi bir mesafede istenilen yörünge ile gerçek yörünge arasındaki fark olacaktır. Şekil 5.3’de görüldüğü gibi, D3 süresi değişkendir. Ancak sinyalize bir kavşakta aracın durduğu nokta ile arzulanan yörünge arasındaki farktır. Yani aracın kavşağa girdiği nokta ile arzulanan yörünge arasındaki farka eşit olmalıdır (Tunç 2003).

Gecikmeyi analitik olarak hesaplayabilmek için üç farklı gecikme bileşeni bulunmaktadır (Roess et al., 2011).

Standart gecikme (*uniform delay*): Stabil akım ve başlangıçta kuyruk olmaması durumudur. Herhangi bir sinyal hatası yoktur (varış akımlarının her fazda kapasiteden düşük olması).

Rastgele gecikme (*random delay*): Sinyal koordinasyonundan kaynaklanan uniform gecikmeye ek gecikmelerdir.

Akımüstü gecikme (*overflow delay*): Faz yada faz grubunun kapasitesi talep veya kavşağa giren araçların kapasitesinden az olduğunda meydana gelen gecikmelerdir.

5.3.1 Webster gecikme hesabı;

Standart (*uniform*) gecikme:

Şekil 5.4’te Webster standart gecikme formülü figüre edilmiştir. Bu grafikte stabil akım ve standart araç varış fonksiyonu varsayılmıştır. Değişmeyen gecikme üçgenin alanı olarak hesaplanmıştır (Roess, et al., 2011).

$$UD = \frac{0,50 * C \left[1 - \frac{g}{C} \right]^2}{1 - \left(\frac{g}{C} \right) X} \quad (5.22)$$

UD = ortalama standart gecikme, s/ta

C = periyot süresi, s

g = efektif yeşil süre, s

X = v/c hacim kapasite oranı

v = kavşağa gelen hacim, ta/sa

Standart gecikme araç varışlarını değişmeyen bir şekilde ve sinyal fazlarını hatasız olarak kabul eder (varış akımlarının her fazda kapasiteden düşük olması). Rastgele gecikmede araçların varış zamanları Poisson dağılımına göre dağılmıştır (birim zamandaki araç sayısının ortalama varış oranı) (Roess, et al., 2011).

Rastgele gecikme:

$$RD = \frac{X^2}{2v(1-X)} \quad (5.23)$$

RD = ortalama rastgele gecikme,

X = v/c hacim kapasite oranı

Webster toplam gecikme :

$$D = 0,90(UD + RD) \quad (5.24)$$

D = toplam gecikme, sn/ta

UD = standart gecikme, sn/ta

RD = rastgele gecikme, sn/ta

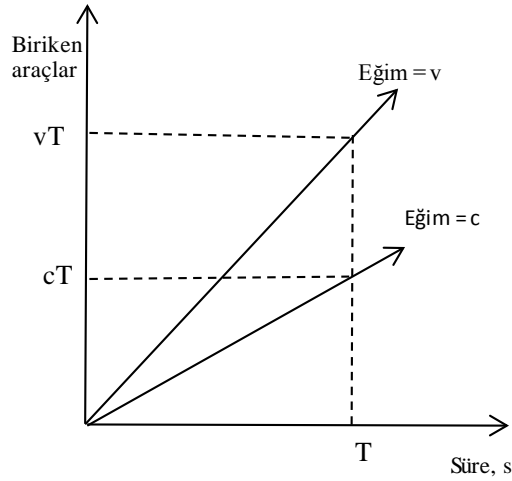
Akım üstü gecikme:

Kapasitenin aştığı durumda standart gecikmeye ek olan gecikmedir. Formülü standart gecikme formülünde yerinde 1.00 yazılarak grafikten doygun akım üstü gecikme çıkartılır (Şekil 5.5) (Roess, et al., 2011).

$$UD_a = 0,50 * C * \left[1 - \left(\frac{g}{C}\right)\right] \quad (5.25)$$

UD_a = toplam standart gecikme (araç/sn)

UD = toplam standart gecikme (araç/sn)



Şekil 5.5 Akım üstü gecikme formülünün türetilmesi

$$OD_a = \frac{1}{2} T(vT - cT) = \frac{T^2}{2} (v - c) \quad (5.26)$$

$$OD = \frac{T}{2} (X - 1)$$

OD_a = toplam akımüstü gecikme (ta/sa)

OD = ortalama akımüstü gecikme (sa/ta)

T = analiz süresi, sa

T_1 ve T_2 periyotları arası bir aracın akımüstü gecikmesi;

$$OD = \frac{T_1 + T_2}{2}(X - 1) \quad (5.27)$$

5.3.2 HCM 2000 Gecikme Modeli

Kontrol gecikmesi baz alınır kontrol gecikmesi araçların kontrol cihazı yani dur levhası veya trafik ışıkları tarafından maruz kaldığı kayıptır. Yaklaşık olarak Kuyruktaki zaman gecikmesi ile hızlanma-yavaşlama gecikmelerinin toplamına eşittir (HCM, 2000).

$$d = d_1 * PF + d_2 + d_3 \quad (5.28)$$

d = kontrol gecikmesi, s/araç

d_1 = standart (*uniform*) kontrol gecikmesi, araçların düzenli olarak yaklaşacağı varsayılır. s/araç

PF = koordinasyon düzeltme faktörü

d_2 = akım üstü gecikme; rastgele gelen araçlar ve doyumluk üzeri oluşan kuyruklar etkisi için hesaplanır (bu gecikme analiz süresinin (T) başında hiç kuyruk olmadığını varsayarak hesaplar), s/araç

d_3 = ilk kuyruk gecikmesi (analiz süresinin (T) başında oluşan kuyruklar)(genelde 0 alınır). s/araç

$$PF = \frac{(1 - P)f_{PA}}{1 - \left(\frac{g}{C}\right)} \quad (5.29)$$

PF = koordinasyon düzeltme faktörü

P = Yeşilde varan araç oranı

f_{PA} = yeşilde varan araçların düzeltme faktörü

$$d_1 = \frac{0.5 \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{C}\right]} \quad (5.30)$$

d_1 = uniform kontrol gecikmesi, s/araç

C = devir süresi, s

X = şerit grubu v/c hacim kapasite oranı

g = efektif yeşil süresi, s

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8klX}{cT}} \right] \quad (5.31)$$

d_2 = akım üstü gecikme, s/araç

k = akıllı sinyalize kavşaklar için akım üstü kontrol gecikmesi faktörü (0.50 sabit zamanlı sinyalize kavşak kavşaklar)

l = yukarı doğru sinyalize ölçüm düzeltme faktörü (1,00 izole kavşaklar)

c = şerit/şerit grubu kapasitesi, araç/saat

T = analiz süresi, saat (genelde 15 dk alınır = 0.25 saat)

$$d_3 = \frac{1800 * Q_b(1 + u)t}{cT} \quad (5.32)$$

d_3 = ilk kuyruk (genelde 0 alınır). s/araç

Q_b = Analiz süresi başında oluşan kuyruk, taşıt

T = analiz süresi, sa

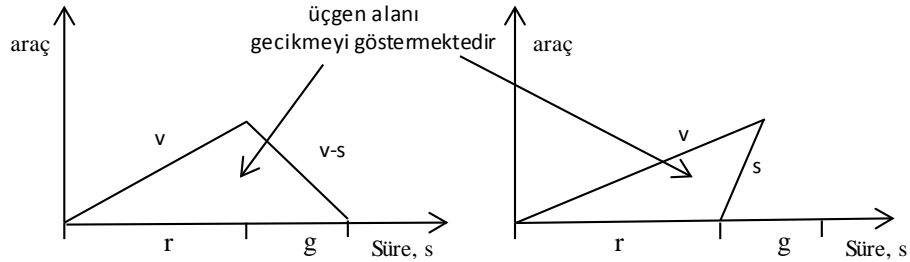
t = T içinde karşılanmayan talebin analiz süresi, sa

u = gecikme parametresi

5.3.3 IQA (HCM 2010) Metodu

IQA (*Incremental Queue Accumulation*), HCM 2010'da da kullanılan yeni bir gecikme hesaplama yöntemidir. Eski gecikme yönteminde (HCM 2000) Şekil 5.6'da gösterilen araçların kuyruklanması ve kavşaktan çıkış anlarını göstererek üçgen alanı mantığıyla bulunuyordu, burada v -ortalama yaklaşık araç, r -efektif kırmızı, g -efektif yeşil, s -doygun akımı göstermektedir. IQA Metodunda ise bu üçgen oluşturma işlemi eski yönteme göre daha kompleks bir hal almaktadır. HCM 2000 yöntemine göre hesaplanması daha karmaşıktır (Keita and Saito, 2011; Strong et al., 2005).

Şekil 5.7'de IQA gecikme hesabındaki temel durumlar gösterilmiştir. Burada q_3 -aralık (faz aralığı) bitiminde kuyruk miktarı, q_1 -aralık başlangıcındaki kuyruk miktarını göstermektedir. Dikkat edilmesi gereken husus formüllerdeki q_1 ve q_3 değerlerdir, eğer başlangıç ve bitişte kuyruklar varsa bu değerler sıfır alınmayacaktır (Keita and Saito, 2011; Roess et. al, 2011; Strong et al., 2005).



Şekil 5.6 Araç kuyruk birikimi ve araçların kavşaktan çıkış üçgenleri

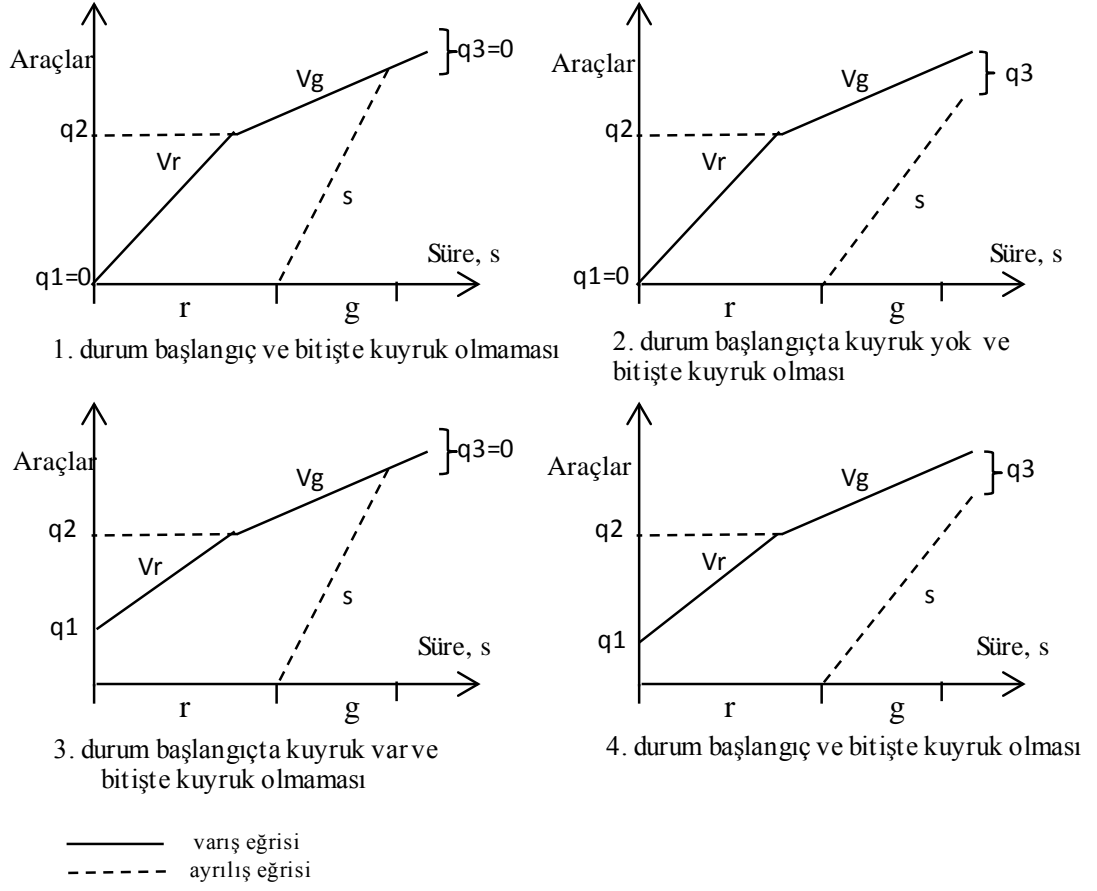
IQA hesaplanması $d = d_1 + d_2 + d_3$ denklemi ile bulunur. Burada d_1 yedi adımda hesaplanmaktadır (Saito M., 2000).

1. Adım: Efektif kırmızı sinyal süresince varış oranının hesaplanması, V_r

$$V_r = \frac{(1-P) * V * C}{r} \quad (5.33)$$

V = ortalama varan araç sayısı, ta/sa

P = Yeşilde varan araç oranı



Şekil 5.7 IQA gecikme hesabı temel durumları

2. Adım Kırmızı sürenin bitimindeki kuyruğun hesaplanması, q_2

$$q_2 = q_1 + \frac{(v - s)}{3600} * \Delta t \geq 0 \quad (5.34)$$

Kırmızı sinyal süresince, r

$v = Vr$ (ortalama varış oranı), ta/sa

$s = 0$ (kırmızı sürede ortalama doymun akım), ta/sa

$q_1 = 0$ (ilk kuyruk miktarı)

$\Delta t =$ geçen süresi, kırmızı sinyal süresince = r

3. Adım uniform gecikmenin hesaplanması, d_1

$$d_r = \Delta t * \left(\frac{q_1 + q_2}{2} \right) \quad (5.35)$$

4. Adım Efektif yeşil sinyal süresince varış oranının hesaplanması, V_g

$$V_r = \frac{V * P}{\left(\frac{g}{C} \right)} \quad (5.36)$$

5. Adım Kuyruğun yok olması için gereken süre, Δt_2

$$\Delta t_2 = \frac{3600 * q_2}{s - V_g} \quad (5.37)$$

6. Adım Efektif yeşil sinyal süresince uniform gecikmenin hesaplanması, d_g

$$d_g = \Delta t_2 \left(\frac{q_2 + q_3}{2} \right) \quad (5.38)$$

$q_3 = 0$ for $\Delta t_2 \leq g$, doygun olmayan akımlarda

$$q_3 = q_1 + \left[\frac{(V_g * g) + (V_r * r) - (s * g)}{3600} \right] \quad (5.39)$$

7. Adım Üniform gecikmenin hesaplanması, d_1

$$d_1 = \frac{(d_r + d_g)}{(q_2 + n_a)} \quad (5.40)$$

$$n_a = \frac{V_g * g}{3600} \quad (5.41)$$

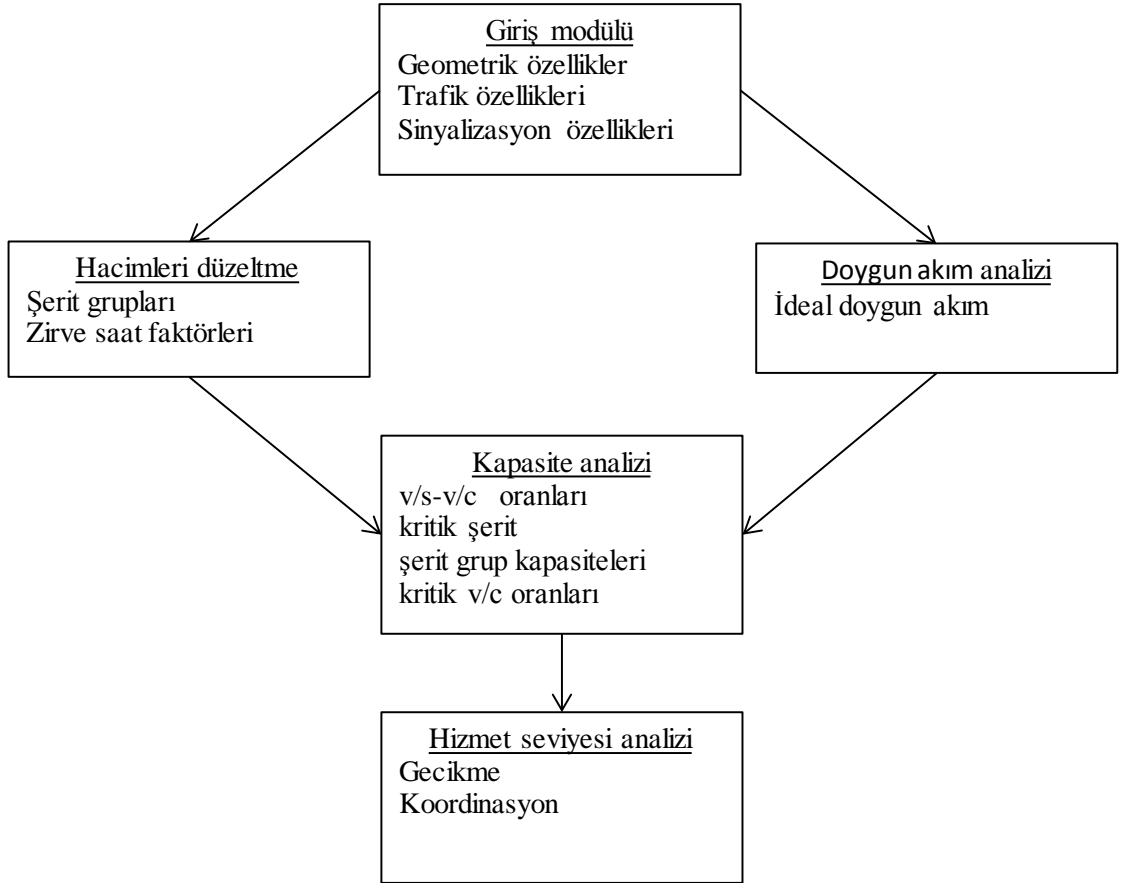
n_a = yeşil sinyal süresince varan araç sayısı, t_a

d_1 (uniform kontrol gecikmesi) bulunduktan sonra d_2 ve d_3 değerleri aynı HCM 2000 metodundaki hesaplamaya göre (Denklem 5.31 ve 5.32) bulunur. Toplam kontrol gecikmesi ise denklem 5.42 ile bulunur (Saito M., 2000; Roess et. al., 2011).

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \quad (5.42)$$

5.4 HCM Yöntemi ile Sinyalize Kavşak Analizi

Sinyalize kavşakların kapasitesi ve hizmet düzeyinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Sinyalize kavşakların analizi trafik hareketlerinin miktarı ve dağılımı, trafik kompozisyonu, geometrik durumunu ve kavşak sinyalizasyonunun detaylarını içermektedir. Sinyalize kavşaklarda, kapasitenin içeriğinde uygun zaman tahsisi söz konusu olmaktadır (Murat, 1996).



Şekil 5.8 Sinyalize kavşak analiz modülü (Roess et al., 2004)

Amerikan yönteminde sunulan yöntem, kavşak yaklaşımlarının kapasitesi ve hizmet düzeyi ile kavşağın bir bütün olarak hizmet düzeyinin belirlenmesi ile yapılacak hesaplara dayanır. Kapasite, akım talep oranının kapasiteye oranı (v/c) şeklinde, hizmet

düzeyi ise ortalama kontrol gecikmesi olarak değerlendirilebilir (s/ta). Kavşaklardaki yaklaşımların karşılaştırılması ve temel hareketlerin yerleşiminin farklılığı kavşakların tasarımı ve sinyalizasyonunda görülen değişik yaklaşımlar kavşağın kapasitesinin bir bütün olarak ele alınamayacağı sonucunu getirmektedir. HCM analiz modülü ve girdi parametreleri Çizelge 5.1 ve Şekil 5.8’de gösterilmiştir (Murat, 1996; Roess et al., 2004).

Çizelge 5.3 Analiz için girdi parametreleri (HCM, 2000)

Geometrik Özellikler	Alan tipi (Kentiçi vb)
	Şerit sayısı, N
	Ortalama şerit genişliği, W
	Eğim, G (%)
	Özel sola (LT) veya sağa (RT) dönüş şeridinin varlığı
	LT veya RT şeritlerinin uzunluğu, Ls
	Park şeridi
Trafik Özellikleri	Her bir akım için trafik hacimleri, V (araç/saat)
	Temel doygun akım, s_0 (birim otomobil/saat/şerit)
	Zirve saat faktörü (PHF)
	Ağır araç yüzdesi, HV (%)
	Yaya hacmi, V_{ped} (yaya/saat)
	Kavşakta duran yerel otobüs sayısı, NB (otobüs/saat)
	Park eden araç sayısı, Nm
	Variş tipi, AT
	Yeşil süre boyunca geçen araçların oranı, P
	Hız limiti
Sinyalizasyon Özellikleri	Devre süresi, C (saniye)
	Yeşil süre, G (saniye)
	Yeşiller arası süre (Sarı+hk), Y (saniye)
	Yaya butonu
	Minimum yaya yeşil süresi, G_p (s)
	Faz planı
	Analiz periyodu, T (saat)
	Sinyalizasyon sistemi (Akıllı, Önzamanlı vb)

Geometrik özellikler: Trafik özellikleri

Geometrik özelliklerde kavşak mevcut eğimi, şerit sayıları, şerit genişlikleri, sağa ve sola dönüş şerit varlıkları, park şeritleri gibi konular irdelenir. Aynı zamanda analizi yapılan sistemin bulunduğu konum kentiçi mi kentdışı mı olduğuna bakılır.

Trafik özellikleri:

Variş Tipi (AT):Araçların kavşağa variş oranlarıyla ilgili bir parametredir. Özellikle koordineli kavşakların önemini vurgulaması açısından önemlidir. Kötü bir koordinasyonda gecikmeleri oldukça kötü bir şekilde etkileyecektir. Variş tipi (AT) en yakın tamsayıya yuvarlanır (Çizelge 5.2-5.3) (Roess, et al., 2004).

$$R_p = P \left(\frac{C}{g} \right) \quad (5.43)$$

R_p = Araç oranı

P = yeşil yandığında kavşağa varan araçlar, ondalık

g = efektif yeşil, s

C = periyot süresi, s

Çizelge 5.4 Variş tipi (AT) (HCM, 2000)

Variş tipi	Araç oranı aralığı (R_p)	Varsayılan değer (R_p)	Araç hareket kalitesi
1	≤ 0.50	0.333	Çok kötü
2	$> 0.50-0.85$	0.667	Olumsuz
3	$> 0.85-1.15$	1.000	Dağınık varişlar
4	$> 1.15-1.50$	1.333	Olumlu
5	$> 1.50-2.00$	1.667	Daha olumlu
6	> 2.00	2.000	Çok iyi

Çizelge 5.5 Varış tipleri (HCM 2000)(Mathew, 2012)

Varış Tipi	Tanım	Koordinasyon Kalitesi
1	En kötü varış tipidir. Araçların %80 ve fazlası kırmızı ışığın başlangıcında kavşağa varırlar.	Çok kötü
2	Kırmızı ışığın ortasında yoğun bir şekilde varış oranıdır yada araçların %40 ve %80 arasının kırmızı ışıkta kavşağa varmasıdır.	Olumsuz
3	Araçların %40 dan azının dağınık bir şekilde kavşağa varmasıdır. Genelde izole veya bağlantısı olmayan kavşaklarda gözlemlenir.	Dağınık varışlar
4	Yeşil ışığın ortasında yoğun bir şekilde varış oranıdır yada araçların %40 ve %80 arasının yeşil ışıkta kavşağa varmasıdır.	Olumlu
5	Araçların %80 ve fazlası yeşil ışığın başlangıcında kavşağa varırlar.	Daha olumlu
6	Nerdeyse ideal yaklaşımları ve çok iyi koordinasyonu tanımlar.	Çok iyi

Kavşakta duran otobüs sayısı: Kavşak varış noktalarında duran otobüsleri tanımlamaktadır. Varsayılan değerler (HCM, 2000);

- Kentiçi: 12 otobüs/sa
- Diğer: 2 otobüs/sa

Yaya hacimleri: Yaya geçişinde trafik ile çakışmaları tanımlanır. Varsayılan değerler (HCM, 2000);

- Kentiçi: 400 ya/sa
- Diğer: 50 ya/sa

Diğer varsayılan değerler (HCM, 2000);

- İdeal şartlarda (temel) doygun akım (s_o);
Nüfusu 250000 den büyük yerler için 1900 ta/yeşil/sa
Diğer 1750 ta/yeşil/sa
- Ağır taşıt oranı: %3.0
- Zirve saat faktörü:
kavşağa giren araç 100 ta/sa ise 0.92
diğer 0.90

Sinyalizasyon Özellikleri:

Yayalar için gerekli minimum yeşil süre ;

$$G_p = 3.2 + \frac{L}{S_p} + (0,81 * \frac{N_{ped}}{W_E}) \quad W_E > 3,0 \text{ m} \quad (5.44)$$

$$G_p = 3.2 + \frac{L}{S_p} + (0,27 * N_{ped}) \quad W_E \leq 3,0 \text{ m} \quad (5.45)$$

G_p = minimum yeşil süre, s

L = yaya geçidi uzunluğu, m

S_p^* = ortalama yaya yürüme hızı, m/s

* S_p = Yaya hızı genelde S_{15} (15lik yaya hızı) olan 1,2 m/s kullanılır.

W_E = efektif yaya geçidi genişliği, m

3,2 s = yaya başlangıç süresi, s

N_{ped} = aralık süresince karşıya geçen yaya sayısı

5.4.1 Trafik Hacmi ve Doygun Akım

Herhangi bir analiz periyodu için ortalama akım değeri ta/saat olarak belirlenmektedir. Analiz periyodu genellikle 15 dakikadır. Fakat trafik hacmi, birden fazla analiz periyodunu kapsayan bir süre (örneğin, bir saatlik hacim) olarak da belirlenebilir. Zirve saat faktörü olarak ifade edilen “PHF” aşağıdaki formülle hesaplanır (Akmaz, 2012; HCM, 2000).

$$v = \frac{V}{PHF} \quad (5.46)$$

v = talep akım oranı, ta/sa

V = talep hacmi, ta/sa

PHF = zirve saat faktörü

5.4.1.1 Şerit grupları ve doygun akım

Şerit grupları: HCM her bir varış için şerit grubu tanımlar (Şekil 5.8)

- Tüm yönleri (hareket) içeren tek şerit yaklaşımı (LT,RT,TH)
- Özel sola (LT) dönüş şeriti/şeritleri; tek şerit içinde çoklu sağa dönüşler
- Özel sapmayan (TH) şeritleri (dönüşler yoktur); tek şerit grubu içinde
- Paylaşımlı sol/sapmayan (LT/TH) şerit,
- Paylaşımlı sağ/sapmayan (RT/TH) şerit.



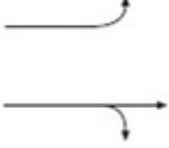
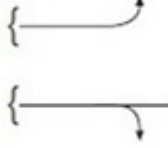
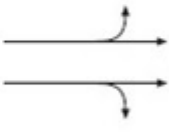
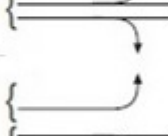
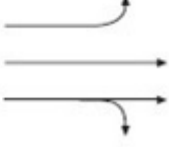
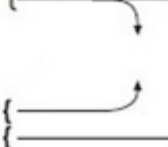
Şerit grupları için doygun akımın belirlenmesi: Kavşaklar için çeşitli koşullar dikkate alınarak bazı düzeltme katsayıları ile temel doygun akım değeri düzeltilir ve böylece her bir trafik akımı için doygun akım değeri elde edilir. Bu ifadelere göre doygun akım değeri, aşağıda verilen formülle (Denklem 5.47) hesaplanır (HCM, 2000):

$$s = s_o * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_{LU} * f_a * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb} \quad (5.47)$$

s = şerit grubu için doygun akım, ta/sa

s_o = temel doygun akım (1900 araç/saat/şerit)

N = şerit sayısı

Şerit sayısı	Hareketler	Şerit grupları
1		
2		
2		
3		

Şekil 5.9 Yaygın olarak kullanılan şerit grupları (HCM, 2000).

f_w = Şerit genişliği düzeltme faktörü

$f_w = 0.96$ şerit gneişliği ≤ 3.05 m

$f_w = 0.96$ 3.05 m \leq şerit genişliği ≤ 3.93 m

$f_w = 0.96$ şerit genişliği > 3.93 m

f_{HV} = Ağır taşıt düzeltme faktörü ;

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_{HV}(E_{HV} - 1)} \quad (5.48)$$

P_{HV} = ağır taşıt oranı (%)

E_{HV} = otomobil eşdeğer birimi = 2.00 (sinyalize kavşaklar)

f_g = Eğim düzeltme faktörü

$$f_g = 1 - \left(\frac{G}{200} \right) \quad (5.49)$$

G = eğim (%)

f_p = Park durumu faktörü ;

$$f_p = \frac{N - 0.10 - \left(\frac{18 * N_m}{3600} \right)}{N} \quad (5.50)$$

$0 \leq N_m \leq 180$; $N_m > 180 \rightarrow N_m = 180$

N_m = saat içinde park yapan araç sayısı

$f_p = 0.05$ (minimum)

$f_p = 1.00$ (park yoksa)

f_{bb} = Otobüs durma faktörü ;

$$f_{bb} = \frac{N - \left(\frac{14.4 * N_B}{3600} \right)}{N} \geq 0.05 \quad (5.51)$$

$0 \leq N_B \leq 250$; $N_B > 250 \rightarrow N_B = 250$

N_B = Saat içinde duran otobüs sayısı

$f_{bb} = 0.005$ (min)

f_{lu} = Şerit kullanım düzeltme faktörü ;

$$f_{LU} = \frac{V_g}{V_{g1} * N} \quad (5.52)$$

v_g = şerit grubunun trafik hacmi, ta/sa

v_{g1} = herbir şeritten geçen maksimum trafik, ta/sa/şerit

N = şerit sayısı

f_a = Alan faktörü ;

Kentiçi (merkezi iş bölgeleri) = 0.90

Diğer = 1.00

f_{LT} = Sola dönüş düzeltme faktörü

$$f_{LT} = \frac{1}{1 + 0.05 * P_{LT}} \quad (5.53)$$

P_{LT} = sola dönen araçların oranı

$f_{LT} = 0.95$ (sola dönüş şeriti varsa)

f_{RT} = Sağa dönüş düzeltme faktörü

$$P_{RT} = 1 - 0.15 * P_{RT} \quad (5.54)$$

P_{RT} = sağa dönen araçların oranı

$f_{RT} = 0.85$ (sağa dönüş şeriti varsa) ($f_{RT} \geq 0.050$)

f_{Lpb} = Sola dönüş yaya-bisiklet düzeltme faktörü

$$f_{Lpb} = 1.0 - (1 - A_{pbT}) * (P_{LT}) * (1 - P_{LTA}) \quad (5.55)$$

f_{Rpb} = Sağa dönüş yaya-bisiklet düzeltme faktörü

$$f_{Rpb} = 1.0 - (1 - A_{pbT}) * (P_{LT}) * (1 - P_{RTA}) \quad (5.56)$$

P_{LT} : İncelenen akım içinde sola dönen araçların oranı

A_{pbT} : Geçiş hakkı alan fazın düzeltme faktörü

P_{LTA} : Sola dönen ve düz giden araçların toplam yeşil süresi içinde korunan yeşil süre oranı

P_{RT} : İncelenen akım içinde sağa dönen araçların oranı

P_{RTA} : Sağa dönen ve düz giden araçların toplam yeşil süresi içinde korunan yeşil süre oranı

Kapasite ve v/c oranı: Kapasite bir kavşaktan o devre süresince geçebilecek maksimum araç sayısıdır. Her akım için kapasite denklem 5.57 ile bulunur. Kapasite bir akımın sahip olduğu yeşil/periyot süresi ile doğru orantılıdır. Hacim kapasite oranı ise gelen akımın hacminin kapasiteye bölünmesi ile bulunur (Roess et al., 2011; Alçelik, 2010).

$$c_i = s_i \left(\frac{g_i}{C_i} \right) \quad (5.57)$$

c_i = şerit veya şerit grubunun kapasitesi (araç/saat)

s_i = şerit veya şerit grubunun doymuş akım oranı (araç/saat(yeşil))

g_i = şerit veya şerit grubunun efektif yeşil süresi (s)

g_i/C_i = yeşil oranı

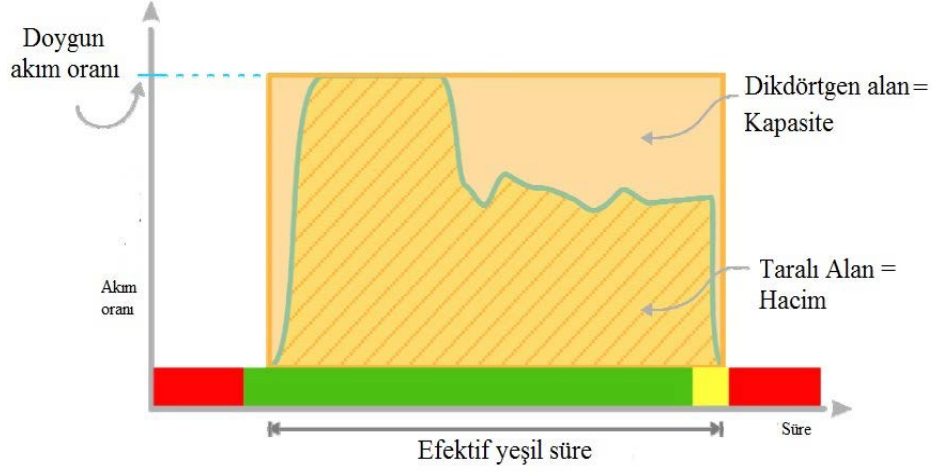
C_i = devre süresi (s)

$$X_i = \frac{v_i}{c_i} = \frac{(v/s)_i}{(g/C)_i} \quad (5.58)$$

X_i = şerit veya şerit grubunun hacim/kapasite oranı (v/c)

v_i = şerit veya şerit grubunun hacmi, ta/sa

$(v/s)_i$ = şerit veya şerit grubunun akım oranı



Şekil 5.10 Kapasitenin sinyal süreleri üzerinde gösterilmesi (FHWA, 2008)

$$X_c = \frac{\sum_i (v/s)_i}{\sum_i (g_{ci}/C)} \quad (5.59)$$

X_c = Kavşağın kritik v/c oranı

$(v/s)_i$ = kritik şerit grubunun akım oranı, ta/sa

C = periyot süresi, s

g_{ci} = kritik şerit grubunun efektif yeşil süresi, s

$$g_{ci} = [(C-L)/C] \quad (5.60)$$

L = kritik akımların t_L (toplam kayıp zaman) değerlerinin toplamı

$$X_c = \sum_i (v/s)_i * \left(\frac{C}{C-L} \right) \quad (5.61)$$

5.4.3 Hizmet düzeyi

HCM yönteminin uygulanması sonucu, iki anahtar çıktı elde edilir. Bunlardan birisi, bir bütün olarak kavşak içinde tüm kritik akımlar ve her bir trafik akımı (şerit grubu) için hacim/kapasite (v/c) oranıdır. Diğeri ise, “LOS” ile ilgili olarak bir bütün olarak kavşaklar, yaklaşım kolları ve her bir trafik akımı için ortalama kontrol gecikmesidir (HCM, 2010; Akmaz, 2012).

Hizmet düzeyi; tüm kavşak, her bir kavşak yaklaşımı ve her bir trafik akımı (şerit grubu) için nitelendirilir. Kavşağın veya yaklaşım kollarının hizmet seviyesinin nitelendirmesinde, sadece kontrol gecikmesi kullanılır. Belirli bir şerit grubunun hizmet düzeyinin nitelendirilmesinde ise, kontrol gecikmesi ve hacim/kapasite (v/c) oranı kullanılır. Gecikme, trafik sinyal kontrolünden dolayı artan seyahat süresini ifade eder. Ayrıca sürücü hataları ve yakıt tüketiminin bir ölçüsüdür. “v/c oranı” ise, bir şerit grubu tarafından kullanılan faz kapasitesinin derecesini ifade eder. Hizmet düzeyi Çizelge 5.3 de gösterilmiş ve aşağıda her bir hizmet düzeyi açıklanmıştır (Akmaz, 2012).

A Hizmet Düzeyi: LOS A, kontrol gecikmesinin “10 sn./araç” veya daha küçük olduğu durumlardaki işletme koşullarıdır. Bu hizmet seviyesinde; “v/c” oranı düşük, araçların ilerleme hareketi oldukça iyidir. Periyot süresi bu hizmet düzeyinde çok kısadır. Sinyalizasyondan olan kontrol gecikmesi minimum derecededir (Akmaz, 2012; Çevik, 2011)

B Hizmet Düzeyi: LOS B, kontrol gecikmesinin “10–20 sn./araç” arasında olduğu durumlardaki işletme koşullarıdır. Bu hizmet seviyesinde; “v/c” oranı düşük, araçların ilerlemesi elverişli ve devre süresi kısadır. Sinyalizasyondan dolayı çok az sayıda araç kavşaklarda durmaktadır (Akmaz, 2012).

C Hizmet Düzeyi: LOS C, kontrol gecikmesinin “20–35 sn./araç” arasında olduğu durumlardaki işletme koşullarıdır. Bu hizmet seviyesinde, araçların ilerlemesi elverişli ve devre süresi orta derecededir. Sinyalizasyondan dolayı, bir veya daha fazla aracın devre süresi boyunca kuyruk oluşturduğu gözlemlenebilir. Fakat hiç durmadan kavşaktan geçen araçlar mevcuttur (Akmaz, 2012; Çevik, 2011).

Çizelge 5.6 Sinyalize kavşaklarda hizmet seviyeleri (HCM, 2000)

Hizmet Seviyesi	Kontrol Gecikmesi (s/ta)
A	≤ 10
B	10 - 20
C	20 - 35
D	35 - 55
E	55 - 80
F	> 80 ya da $v/c > 1.00^*$

*HCM 2010

D Hizmet Düzeyi: LOS D, kontrol gecikmesinin “35–55 sn./araç” arasında olduğu durumlardaki işletme koşullarıdır. Bu hizmet seviyesinde; “v/c” oranı yüksek, araçların ilerlemesi kesintiye uğramakta ve devre süresi uzundur. Kavşaklarda bekleyen araç sayısında artışlar gözlemlenir (Akmaz, 2012; Çevik, 2011).

E Hizmet Düzeyi: LOS E, kontrol gecikmesinin “55–80 sn./araç” arasında olduğu durumlardaki işletme koşullarıdır. Bu hizmet seviyesinde; “v/c” oranı yüksek, araçların ilerlemesi olumsuz ve devre süresi uzundur. Sık sık araç kuyukları oluşur (Akmaz, 2012).

F Hizmet Düzeyi: LOS F, kontrol gecikmesinin “80 sn./araç”den büyük olduğu ve hacim/kapasite (v/c) oranının da 1.0’den büyük olduğu durumlardaki işletme koşullarıdır. Bu hizmet seviyesinde; “v/c” oranı çok yüksek, araçların ilerlemesi oldukça kötü ve devre süresi uzundur. Araçlar uzun kuyruk oluşturmaktadır ve periyot değişiminde bu kuyuklar boşaltılamamaktadır (Akmaz, 2012).

“v/c” oranının 1.0 veya daha fazla olması, kapasitenin tam olarak kullanıldığını gösterir ve bu durum, kapasite açısından başarısızlığı ifade eder. Gecikmenin “80 sn./araç” değerini aşması ise, gecikme açısından başarısızlığı ifade eder. Bir şerit grubu

için “v/c” oranı 1.0’i aştığı halde, gecikme “80 sn./araç” değerinden az olabilir. Bu durum, genellikle devre süresinin kısa ve araçların ilerlemesinin olumlu olduğu koşullarda meydana gelir (Akmaz, 2012).

Çizelge 5.7 Hizmet seviyeleri (Chang. et. al., 2013)

LOS	TANIM
A	*Etkilenmeyen ve kendiliğinden gelişen sürüş hızı *Kırmızı ışıktan dolayı gecikme ve kesinti olmaması *Şebeke işleyişinin çok rahat olması
B	*Etkilenmeyen sürüş hızı *Bazı araçların kırmızı ışıktan etkilenmesi *Şebeke işleyişinde kesinti olmaması
C	*Sürüş hızının çok az bir şekilde etkilenmesi *Kırmızı ışıktan dolayı hafif kesintilerin olması *Şebeke işleyişinde hafif kesintiler olması
D	*Sürüş hızının etkilenmesi *Kırmızı ışıktan dolayı kesintiler olması *Şebeke işleyişinde kesintiler olması
E	*Sürüş hızının önemli ölçüde etkilenmesi *Kırmızı ışıktan dolayı önemli kesintiler olması *Şebeke işleyişinde önemli kesintiler olması
F	*Sürüş hızının ciddi olarak etkilenmesi *Kırmızı ışıktan dolayı ciddi kesintiler olması *Şebeke işleyişinin serbest olmaması (serbest bir şekilde çalışmaz)

6. SİNYAL KOORDİNASYONU

Eşdüzey kavşakların denetiminde sinyalizasyon sistemlerinden faydalanılmaktadır. Sinyalizasyon sistemleri, trafik güvenliğinin sağlanması, kavşak kapasitesinin artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte yetersiz kalan sinyalizasyon tasarımları, kazalara neden olmakta, kavşak kapasitesini düşürmekte ve taşıt kuyruklarının artmasına yol açarak taşıt gecikmelerini artırmakta ve giderek performans düşüklüğüne neden olmaktadır. Bu tür olumsuz yanları engellemek ve minimuma düşürmek için sinyalize kavşak tasarımının doğru bir şekilde yapılması ve kavşak işletiminin optimize edilmesi gerekmektedir. Bir başka deyişle ana arter üzerinde bulunan sinyalizasyonların yeşil süreleri öyle ayarlanmalıdır ki ana arter üzerinde hareket eden araçların durmaksızın ya da en verimli şekilde her kavşakta yeşil ışıpta geçebilmelidir (Murat ve Gedizlioğlu, 2003; Tunç, 2003).

Bazı durumlarda çok yakın sinyalize kavşaklar tek bir kavşak gibi alınabilir ya da iki kavşak arası mesafe çok uzun ise kavşak izole kavşak gibi düşünülebilir. Kavşak koordinasyon sistemleri 1600 metreye kadar uygulanabilen sistemlerdir. Koordineli sinyalize sistemlerde önemli olan periyot sürelerinin tüm kavşaklarda aynı olmasıdır fakat trafik hacmi yüksek olan kavşakta iki katı periyot süresi uygulanabilir (Roess, et al., 2011).

6.1 Sinyal Koordinasyon İlkeleri

Sinyal koordinasyon sistemlerinin amacı (Ghosh B., 2007; Akbaş ve Akdoğan, 2001);

- Yakıt tüketimini azaltmak
- Emisyon salınımını azaltmak
- Araç durma sayısını azaltmak
- Gecikmeleri azaltmak
- Trafiğin akıcılığını artırmak

- Kapasiteyi artırmak
- Kuyruk uzunluğunu azaltmak
- Araçların kırmızı ışığa yakalanmasını azaltmak
- Çevre kirliliği ve gürültünün azaltılması
- Yaya ve sürücülerin psikolojik rahatsızlıklara neden olabilecek rahatsızlıkların önlenmesi

Sinyal koordinasyonun öncelikli amacı bir anayol yada kent ağında mevcut ulaşım sisteminin en verimli şekilde kullanılmasını arzular. Temel olarak 4 tane sinyal zamanlaması ilkesi vardır (Avrenli, 2006);

1. Araç gecikmelerini minimize etmek
2. Araç durmalarını (dur-kalk) minimize etmek
3. Yakıt tüketimi ve emisyon salınımını minimize etmek
4. İstenilen yönde bant genişliğini maksimuma çıkartmak

Sinyal koordinasyonun faydalarını azaltan durumlar (Roess et al., 2004; Avrenli, 2006)

- Araçların hızlarının fazla değişkenlik göstermesi
- Artere yan caddelerden, sokaklardan veya park yapmış araçların girmesi
- Arter üzerinde fazla sayıda otobüs durakları olması ve otobüslerin dur-kalk ların dolayı kaynaklanan gecikmeler olması
- Birbirini izleyen kavşakların ara mesafelerinin çok kısa veya çok uzun olması
- Yetersiz kapasite
- Sinyalize kavşakların çok karmaşık ve fazla sayıda faza sahip olması

Yukarıdaki faktörler araçların sürekli bir şekilde arter üzerinde gitmesini engeller böylece sinyal koordinasyonu verimliliğini azaltırlar. Sinyal koordinasyonunda öncelikli amaç bu faktörlerin azaltılması olmalıdır (Avrenli, 2006).

6.2 Zaman – Mesafe Diyagramı ve İdeal Ofset

Zaman mesafe diyagramında x-ekseni zaman ve y-ekseni başlangıca göre kavşakların ara mesafesini uzunluk cinsinden ifade etmektedir. Ofset (kayma) değeri referans olarak kabul edilen bir andan itibaren yeşil göstergenin andığı ana kadar geçen süredir (Roess, et al., 2011).

Şekil 6.1’de iki kavşak için zaman mesafe diyagramı gösterilmektedir. Çoğu grafikte sadece efektif yeşil (–) ve efektif kırmızı (—) süreleri gösterilmektedir. Grafikte araçların güzergâhları gösterilmektedir. $t=t_1$ olduğunda ilk sinyal yeşil ışık yakmaktadır. Gecikmelerden sonra araçlar hareket etmeye ve cadde boyu ilerlemeye başlarlar. İkinci kavşağa geldiğinde süre $t=t_2$ olur. Sinyal durumuna bağlı olarak araç durur veya hareket eder. İki kavşaktaki yeşil süreleri başlatma arasındaki fark sinyal ofset kısaca **ofset** olarak adlandırılır. Ofset $t_2 - t_1$ ’ye eşittir ve 0 ila C (periyot süresi) arası değerler alır. Bazı uygulamalarda periyot süresinin yüzdesi olarak alınır (Roess, et al., 2011).

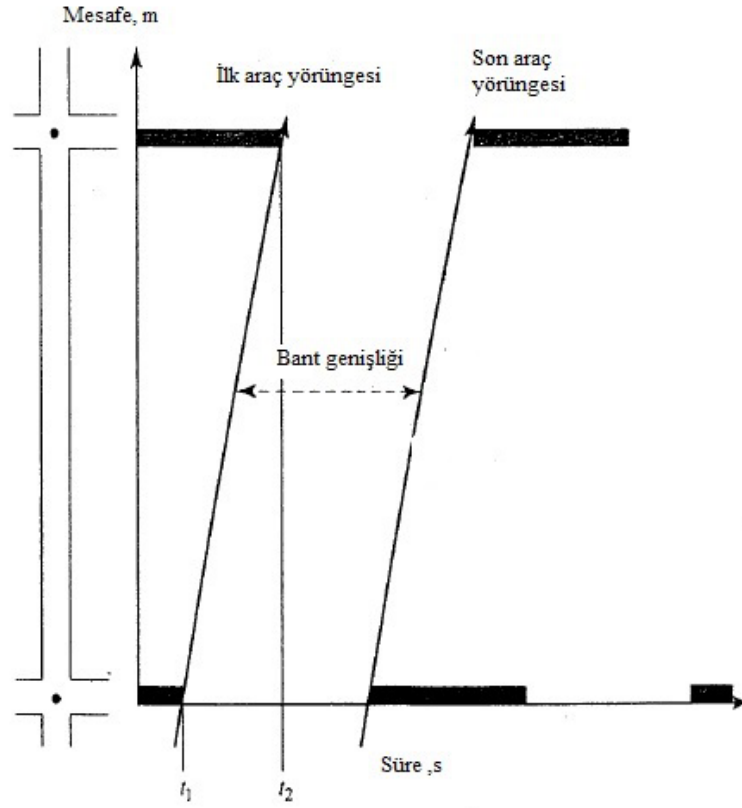
İdeal ofset: İlk araç grubu ilk kavşaktan hareket ettikten sonra ikinci kavşağa varır varmaz kavşağın yeşil ışık yanması durumundaki kavşaklar arasındaki ofset değeridir (Roess et al., 2011).

$$t_{ideal} = \frac{L}{S} \quad (6.1)$$

t_{ideal} = ideal ofset, s

L = kavşaklar arası mesafe, m

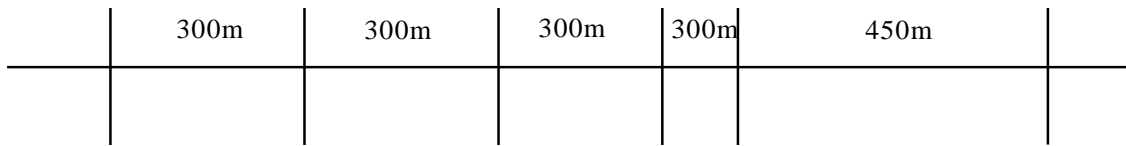
S = araç hızı, m/s



Şekil 6.1 Zaman-mesafe diyagramı

6.3 Tek Yönlü Caddelerde Sinyal Koordinasyonu

Tek yönlü caddelerde sinyal koordinasyonu basit bir şekilde hesaplanır. Kavşaklar arası mesafeler mevcut hıza bölünerek her bir kavşak için ofset süreleri bulunur. Aşağıda örnek bir uygulama üzerinde ideal ofset hesaplaması anlatılmıştır. Hız = 15 m/s, Efektif yeşil/efektif kırmızı = 1, C = 60 s olarak alınmıştır. (Çizelge 6.1) (Şekil 6.2) (Roess, et al., 2011).



Şekil 6.2 Kavşak planları

Çizelge 6.1 İdeal Ofset hesaplanması

Kavşak	Bağlı olan kavşak	İdeal Ofset (Kavşak arası mesafe/hız)	İdeal ofset
6	5	$L_5/S=t_5$	$450/15=30$ s
5	4	$L_4/S= t_4$	$150/15=10$ s
4	3	$L_3/S= t_3$	$300/15=20$ s
3	2	$L_2/S= t_2$	$300/15=20$ s
2	1	$L_1/S= t_1$	$300/15=20$ s

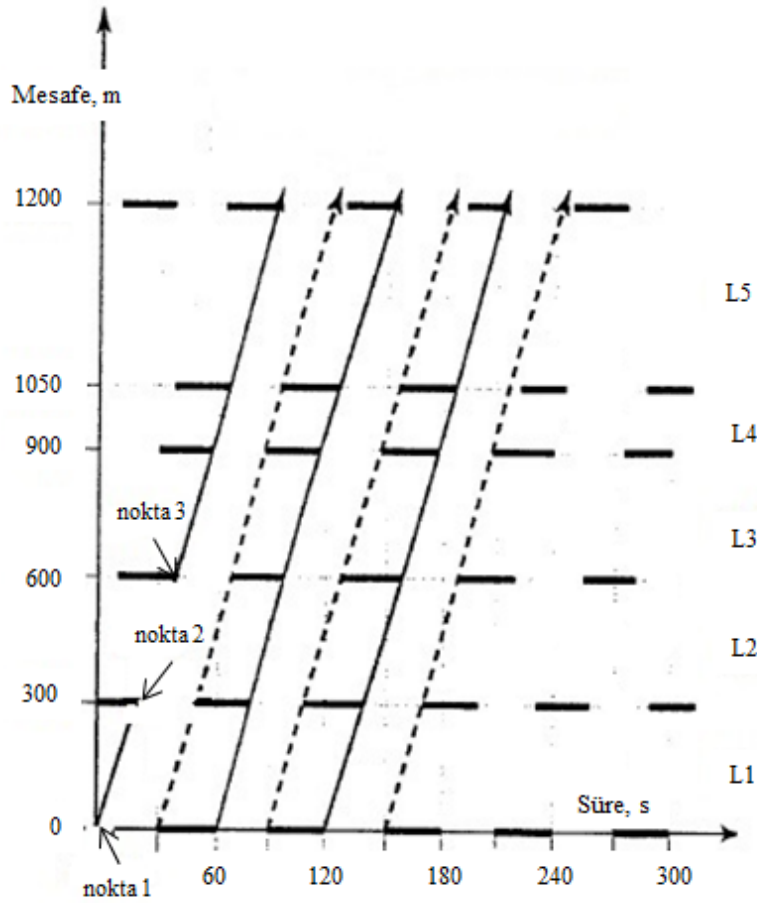
Zaman-mesafe diyagramı oluştururken dikkat edilmesi gereken hususlar;

- Y eksenini (mesafe eksenini) x ekseninin değerinin üç, dört olacak şekilde ölçeklendirilmelidir.
- İlk kavşak ilk önce ölçeklendirilip direkt yeşil ışık başlangıcından ($t=0$) itibaren çizilmelidir. (Nokta 1)
- İkinci kavşağa gelindiğinde ilk kavşağın Nokta 1 değerinden itibaren offset değeri eklenerek Nokta 2 çizilir ve yeşil, kırmızı alanları doldurulur (x eksenini).
- Tüm kavşaklar için aynı uygulama tekrar edilir (Nokta 3,4,5 ..) (Şekil 6.3).

Dikkat edilmesi gereken hususlardan biri tüm araçlar sabit hızla hareket ederse bant genişliği içinde kalacaklarından devamlı yeşil sinyalde geçeceklerdir. Bu bant genişliği yeşil dalga olarak adlandırılır (Bilgiç, 2013).

Oluşabilecek sorunlar; Örneğin 15 m/s hızda yeşil dalga mümkün ise 10 m/s ile giden araçlar bant genişliğini kötü bir şekilde etkileyecektir sadece bir kısım araç yeşil dalgada gidebilecektir. 20 m/s giden araçlar ise kavşağa erken varacakları için

gecikmelere neden olup diğer araçların yeşil dalgayı yakalamasını zorlaştıracaktır (Roess et al., 2011).



Şekil 6.3 Tek yönlü caddelerde koordinasyon

6.4 Bant genişliği

Araç gruplarının sürekli olarak yeşil süreyi kullandıkları miktardır. Bant genişliği ilk ve son aracın hiç durmadan tüm sistemden geçtiği zaman farkıdır ve birimi saniyedir.

6.4.1 Bant genişliği verimliliği

Bant genişliği verimliliği bant genişliğinin periyot süresine oranlanmasının yüzdesiyle hesaplanır %40 ile %55 arası bant genişliği verimi şebeke için iyi bir derecedir (Saito M, 2000; Roess et al., 2011).

$$EFF_{BW} = \frac{BW}{C} * \%100 \quad (6.2)$$

EFF_{BW} = bant genişliği verimi (%)

BW = bant genişliği, s

C = periyot süresi, s

6.4.2 Bant genişliği kapasitesi

Bant genişliği kapasitesi sürekli bir şekilde araçların durmaksızın yeşil süreyi kullandıkları yani bant genişliği içerisindeki araçların sayısıdır (Saito M, 2000).

$$c_{BW} = \frac{3600 * BW * NL}{C * h} \quad (6.3)$$

c_{BW} = bant genişliği kapasitesi, ta/sa

BW = bant genişliği, s

NL = belirtilen yönde düz hareketlerin şerit sayısı

C = periyot süresi, s

h = doygun zaman aralığı, s/ta

Bant genişliği kapasitesi üniform olmayan şerit kullanımı ile ilgili herhangi bir faktör içermez, bu sebeple bazı değerler değişkenlik gösterebilir ofset planında azalma, durma sayısı ve kuyruklanmadır. Dikkat edilmesi gereken huşu bant genişliği kapasitesi şerit gurubu kapasitesi ile aynı değildir (Roess, et al., 2011).

6.4.3 Kuyruktaki araçların etkisi

İlk kavşaktan çıkan araçlar kırmızı ışığa yakalanmadan ikinci kavşağa varacaklardır fakat ara yol, konut vs gibi yan yollardan çıkan araçlar ikinci kavşakta kırmızı ışıkta bekliyorlar ise kuyruk oluşturacaklardır. Böylece ilk kavşaktan gelen araçlarda gecikmeler meydana gelecektir (Şekil 6.4 ve 6.5) (Roess, et al., 2011).

Kuyruk oluşmasının nedenleri (Roess et al., 2011);

- İlk kavşak kırmızı iken yan yoldan araçların gelmesi
- Garajdan çıkan veya park etmiş araçların yola çıkması
- Araç topluluğundan geride kalmış olan araçlar

Kuyruktaki araçlar nedeniyle ofset düzeltmesi;

$$t_{\text{adj}} = \frac{L}{S} - (Qh + l_1) \quad (6.4)$$

t_{adj} = düzeltilmiş ideal ofset, s

L = mesafe, m

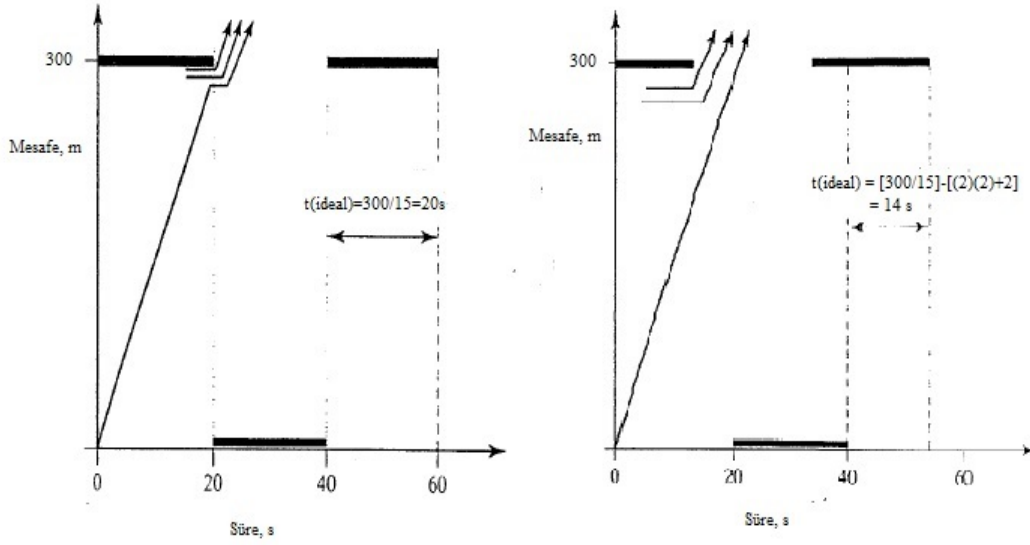
S = hız, m/s

Q = şerit başına kuyruktaki araç sayısı, ta

h = kuyruktaki araçların boşaltma zaman aralığı, s/ta

l_1 = başlangıç kaybı, s

Çizelge 6.5'te görüldüğü gibi araçlar yeşil dalgayı yakalamak için bazı kavşaklarda hızlarını artırmak veya azaltmak zorunda kalır. Kuyruklanmalar bant genişliğini azaltarak yeşil dalgayı etkin olarak kullanan araçların miktarını da azaltır.



Şekil 6.4 Kuyruktaki araçların etkisi ve ofset düzeltmesi

Çizelge 6.2 Ofset düzeltmesinin hız üzerindeki etkisi

Kavşak	Ofset	İlerleme (progresif) hız
1-2	$(300/15)-(4+2)=14\text{ s}$	$300/14=21,4\text{ m/s}$
2-3	$(300/15)-(4)=16\text{ s}$	$300/16=18,75\text{ m/s}$
3-4	$(300/15)-(4)=16\text{ s}$	$300/16=18,75\text{ m/s}$
4-5	$(150/15)-(4)=6\text{ s}$	$150/6=9,37\text{ m/s}$
5-6	$(450/15)-(4)=26\text{ s}$	$450/26=17,3\text{ m/s}$

6.5 Çift Yönlü Caddelerde Sinyal Koordinasyonu

Sinyalize kavşak sisteminde

- En ideal periyot tayini
- Periyodun en ideal şekilde yönlere tahsisi

önemli husustur. Böylece her iki yönde en elverişli sinyal koordinasyonu sağlanabilecektir. En elverişli sinyal koordinasyonu için deneme yanılma yapılması gerekmektedir. Bu durum son derece zor ve karmaşık bir iştir. Çünkü göz önüne alınan yol üzerinde herbir kavşak için ayrı ayrı optimum periyot süresi tayini ile yeşil sürenin yönlere paylaşılması ve tüm kavşakların birbirine koordine edilmesi bir çok deneme yanılma yapılması gerekmektedir. Ayrıca gidiş yönünde maksimum bant genişliğini belirledikten sonra geliş yönündeki bant genişliğini artırmak için genişliğinin daralmasına neden olan kavşaklara gidiş yönündeki yeşil başlangıç sürelerinin erkene alınması veya geciktirilmesi gerekir. Aynı zamanda kavşakların ara mesafelerinin dengelenmesi için sol dönüş kısıtlaması veya tali yollarda sadece sağ dönüşü izin verilmesi, tali yolların bazılarını tek yönlü olarak trafiğin düzenlenmesi vb. çözümlerin de araştırılması gerekir (Tunç, 2003).

6.5.1 Çift yönlü kavşaklarda ofset durumu

Şekil 6.6'da NB (güney→kuzey) yönünde giden araçlara öncelikli yeşil dalga sistemi oluşturulmuştur. NB araçları için yeşil dalga mevcuttur. Fakat aynı hızla gelen araçlar (15 m/s) SB (kuzey→güney) yönünde 2 defa durma meydana gelir (2. ve 1. kavşaklar). Sadece olup 6.5.4.3. kavşaklarda ufak bir bant genişliği mevcut olup araçlar takılmadan geçebilecektir. Bu durumda SB yönündeki araçlar 2. kavşakta 20 s, 1.kavşakta 20 s olmak üzere 40 s gecikmeye maruz kalırlar

Şekil 6.7'de bir periyot ofset gösterilmiştir ($t_1 \leq C$ ve $n=1$), Şekil 6.8'de çift periyot süresi ofset gösterilmiştir ($C \leq t_1 \leq 2C$ ve $n=2$ dir) (Saito M, 2000).

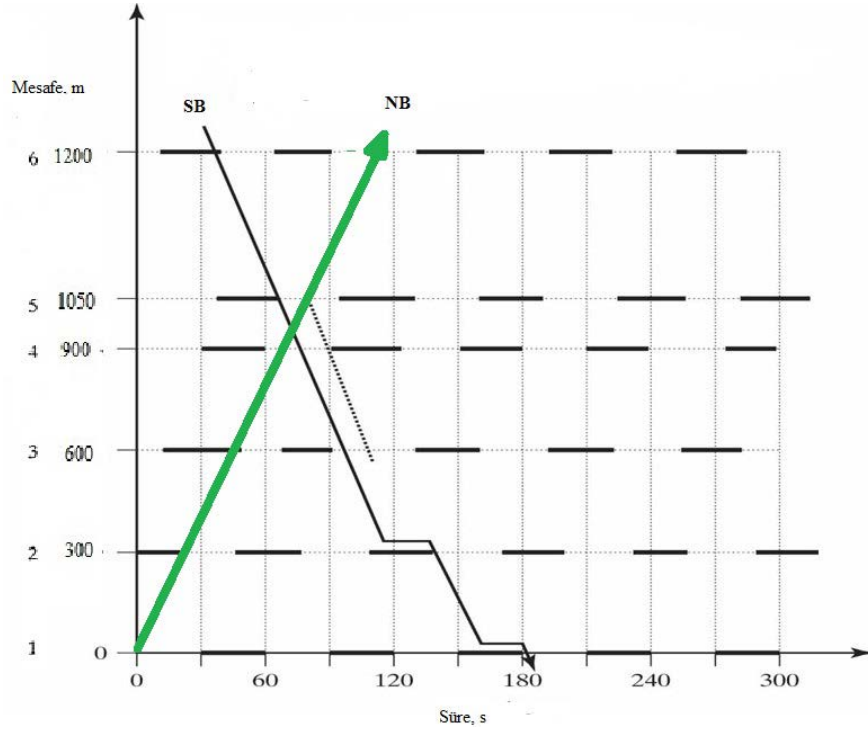
$$t_1 + t_2 = nC \quad (6.5)$$

t_{1i} = 1. yön ofseti(bağlantı i), s

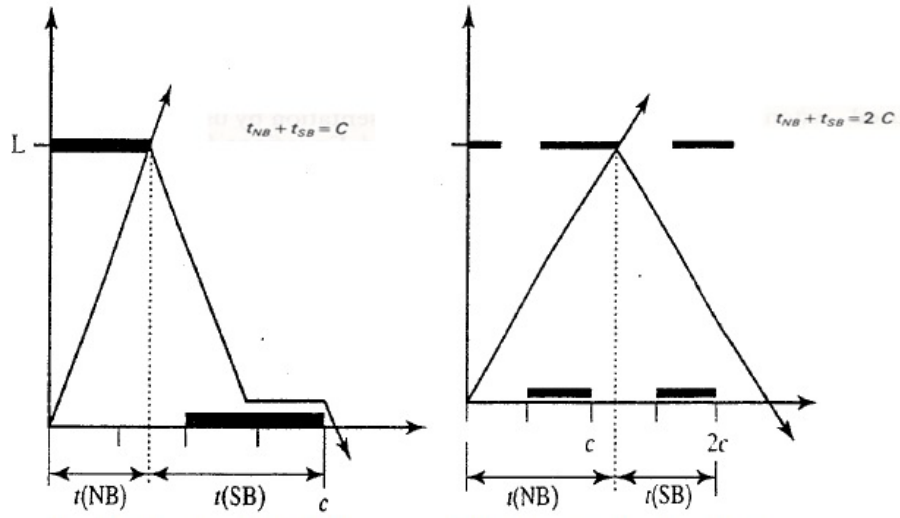
t_{2i} =2. yön ofseti(bağlantı i), s

n = tamsayı değeri

C = periyot süresi, s



Şekil 6.5 Çift yönlü caddelerde koordinasyon



Şekil 6.6 Bir periyot ve çift periyot süresi ofsetler

İdeal ofsetler gerçek ofsetler olarak ifade edilebilir;

$$t_{\text{gerçek}(i,j)} = t_{\text{ideal}(i,j)} + e_{ij} \quad (6.6)$$

Burada j yönü i ise bağlantıyı ifade etmektedir. Sinyalizasyonlarla ilgili paket programlar gerçek ve ideal ofset arasındaki tutarsızlıkları minimuma indirmeye çalışırlar (Saito M., 2000).

Senkronize (eşzamanlı) sistemlerde her kavşak aynı anda yeşil ışık yakacağından;

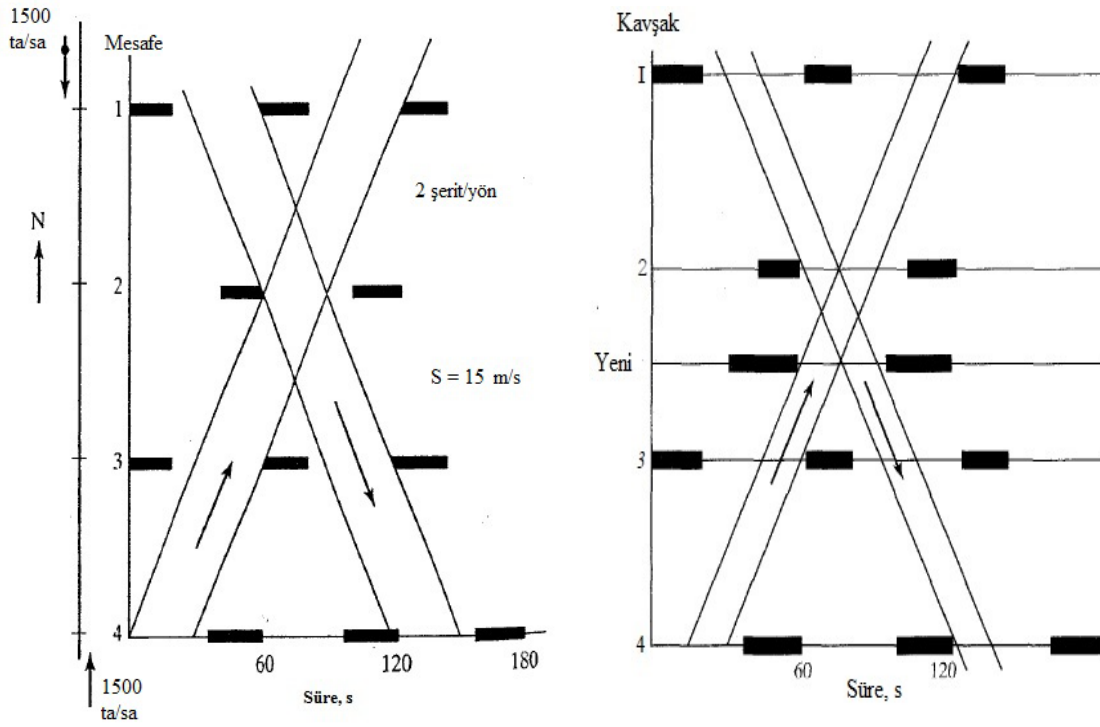
$$t_1 + t_2 = 0 \text{ dir.} \quad (6.7)$$

6.5.2 Sorunlara karşı yaklaşımlar

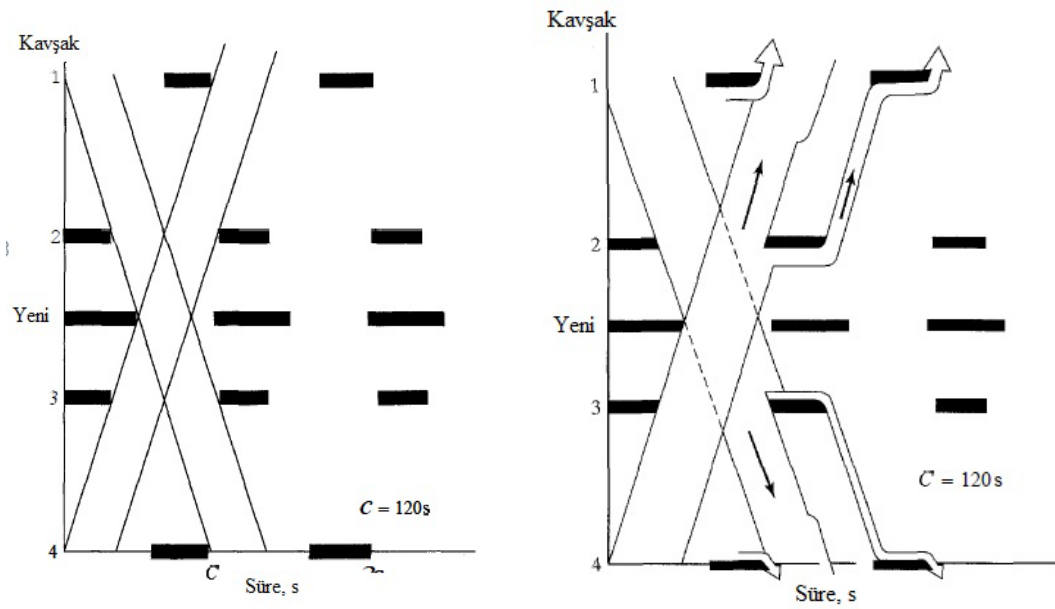
Şekil 6.9'da gösterilen örnek bir uygulamada her iyi yöndeki trafik hacimleri birbirine eşittir, ve toplamda 4 sinyalize kavşak vardır. Sistem 2. ve 3. kavşaklar arasında yeni bir sinyalize kavşağa ihtiyacı vardır. Uygulamada yeni eklenen bir sinyalize kavşağın bant genişliğine yeşil dalgaya etkisi ve olası çözümler üretilmektedir.

İlk durum (Şekil 6.9) de sistem 4 kavşak iken bant genişliği ortalama 25 s civarındır. 2. Durumda (Şekil 6.10) sisteme yeni bir sinyalize kavşak eklenmiştir (yeni sinyalize kavşak yeşil/kırmızı = 1). Görüldüğü gibi bant genişliği neredeyse yarı – yarıya azalmıştır. Güney-kuzey yönü araçları $900/15 = 60$ s de 4. kavşaktan 2. kavşağa varmaktadır yani, bir periyot süresi uzunluğu kadar eğer $C=120$ S çıkarılırsa araçlar yarı periyot süresinde 2. kavşağa varacaktır.

Şekil 6.11'de $C=120$ s olduğunda bant genişliğinin 40 s civarına çıktığını görmekteyiz. Bant genişliği verimi %33 civarındır ve bant genişliği kapasitesi = $3600*40*2/2*120 = 1200$ ta/sa dir. Fakat talep 1500 ta/sa bant genişliği kapasitesinden yüksektir. Bu durumda araçlar 2. kavşağa kadar bant genişliği elverdiği için duraksamadan hareket edeceklerdir fakat 2. kavşaktan itibaren talep fazlası araçlar bir sonraki yeşil ışığı beklemek zorunda kalacaklardır. Sistemde 2. kavşağın ofsetini oynamak güney-kuzey yönünü rahatlatılabilir fakat kuzey-güney yönü için bu durum bant genişliği azalmasına neden olabilir (Şekil 6.12). Bu durumda bazı deneme yanılma yöntemleri yapılarak her iki yön için optimum bant genişlikleri değerlerine yaklaşılabılır (Roess, et al., 2011).



Şekil 6.7 Mevcut durum ve yeni kavşak eklenmesi



Şekil 6.8 Periyot süresinin iki katına çıkarılması ve talebin kapasiteyi geçmesi

6.6 Tek yön ve çift yön sistemlerinin karşılaştırılması

Güvenlik açısından karşılaştırma

Çift yönlü yollar kaza meydana gelmesi açısından kesinlikle tek yönlü yollardan daha güvensizdir. Bunun nedeni olarak eğer bölünmüş yol değil ise araçların çarpışma ihtimali bunun yanı sıra tek yönlü yollarda çift yönlü yollara göre daha çok yayaların karıştığı kazalar gözlemlenmiştir. Birçok şehir planlamacısına göre tek yön sistemleri çift yön sistemlere dönüştürmek trafik gecikmelerinde %23 ve hava kirliliğinde ise % 10- %13 civarında bir artış sağlamaktadır (Güldamlaşı, 2007).

Hava kirliliği açısından karşılaştırma

Araçların devamlı ivlemenme hareketi göstermesi sabit hızla gidişe oranla daha fazla yakıt kullanımı gerektirir. Bu sebeple araçlar yavaşladıkları ve hızlandıkları zaman sabit hıza göre daha fazla kirlilik yaratırlar. Dur-kalk durumu çift yönlü yollarda tek yönlü yollara göre daha fazla meydana geldiğinden hava kirliliği çift yönlü yollarda daha fazladır (Güldamlaşı, 2007).

Toplumsal Etkiler

Bu güne kadarki gözlemlerde görülmüştür ki düşük gelirli insanlar – genelde toplu taşıma kullananlar - şehrin içinde kalmak için daima çift yönlü caddeleri tercih etmişlerdir. Ana yolu tek yöne çevirmek düşük gelirli insanları iş yerlerine erişimini bir nevi azaltmıştır. Çift yönlü caddeler işyerlerine ulaşım konusunda tek yönlü caddelere göre daha iyidir (Güldamlaşı, 2007).

6.7 Sinyal koordinasyon çeşitleri

Basit koordinasyon-İleri koordinasyon: Sistemde çok kısa kuyrukların oluştuğu gerçek offsetlerin ideal ofsetlere eşit olduğu durumdur (Saito M., 2000).

Değişken koordinasyon: Sinyal koordinasyonunun gün içinde çift yönlü yollarda zirve saat olan yöne göre düzenlenmesidir (Saito M., 2000).

Ters koordinasyon: Güney-kuzey yönü kavşakların kuyruk oluşumu ideal ofseti 0 m altına düşürecek kadar yüksek ise ilk yeşil ışık ters (kuzey-güney) yönüne yakılmasıyla ters koordinasyon oluşturulur (Saito M., 2000).

$$t_{adj} = \frac{L}{S} - (Qh + l_1) < 0 \quad (6.8)$$

6.7.1 Alternatif sistem

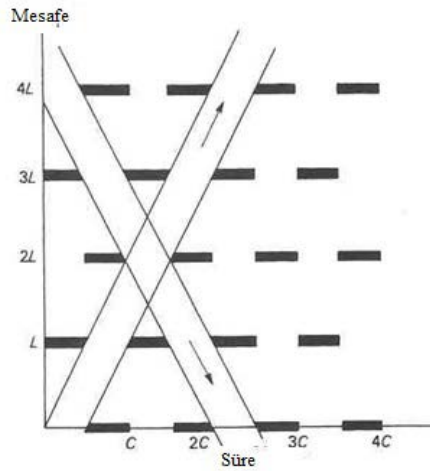
Alternatif sistemde gözönüne alınan arter üzerinde birbirini takip eden kavşaklarda veya kavşak gruplarında aynı anda birbirinin zıttı sinyal göstergeleri oluşturulur. Sistemde periyot %50 - %50 (efektif yeşil/efektif kırmızı = 1) bölünür. Alternatif sistem %50 verimle çalışır çünkü her bant genişliği yeşil süreyi etkin bir şekilde kullanır. Birbirine yakın ve ara mesafelerin eşit olan kavşaklarda uygulanır (Şekil 6.12) (Roess, et al., 2011).

$$\frac{C}{2} = \frac{L}{S} \quad (6.9)$$

C = periyot süresi, s

L = kavşaklar arası mesafe, m

S = hız, m/s



Şekil 6.9 Alternatif Sistem

6.7.2 Çift alternatif sistem

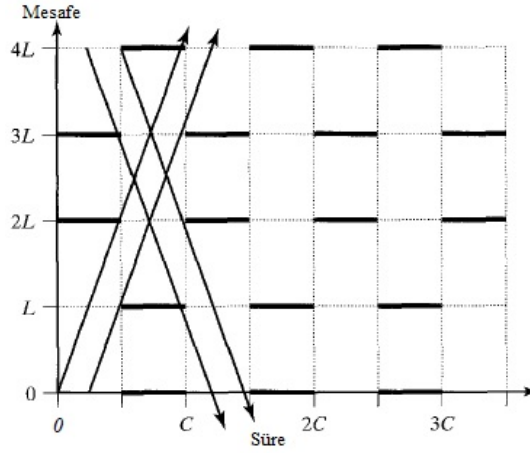
Sistemde periyot %50 - %50 (efektif yeşil/efektif kırmızı = 1) bölünür. Alternatif sistem %25 verimle çalışır çünkü her bant genişliği yeşil sürenin yarısını etkin bir şekilde kullanır (Şekil 6.13) (Roess, et al., 2011).

$$\frac{C}{4} = \frac{L}{S} \quad (6.10)$$

C = periyot süresi, s

L = kavşaklar arası mesafe, m

S = hız, m/s



Şekil 6.10 Çift alternatif sistem

6.7.3 Simultane (eşzamanlı) sistem

Simultane sistemlerde kavşakların tümü aynı anda yeşil ve kırmızı ışık yakmasıdır. Bu sistemde kavşakların birbirine çok yakın veya eşit olması gerekir. Sinyal aralıkları birbirine yakın veya trafik akım hızı oldukça yüksek ise sürekli akım sağlanabilir (Şekil 6.14) (Roess, et al., 2011).

$$EEF(\%) = \left[\frac{1}{2} - \frac{(N-1)*L}{S*C} \right] * 100\% \quad (6.11)$$

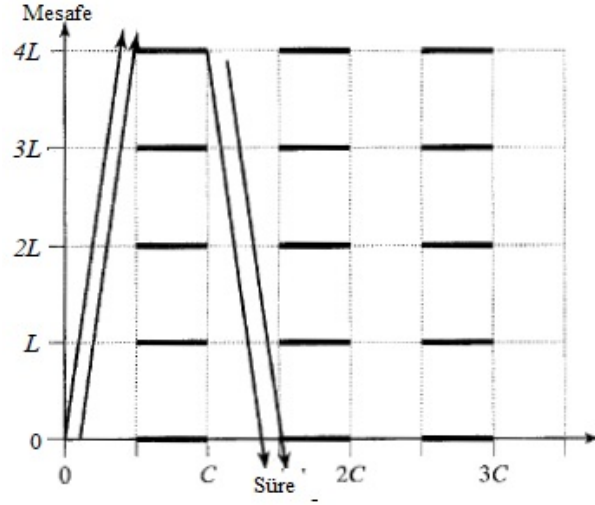
EEF(%) = Simultane kavşaklar için verim

C = periyot süresi, s

L = kavşaklar arası mesafe, m

S = hız, m/s

N = kavşak sayısı



Şekil 6.11 Simultane sistem

6.8 Synchro Paket Programı

Trafik simülasyon çalışmasında program olarak Trafficware şirketinin yapmış olduğu Synchro trafik simülasyon programı kullanılmıştır. Synchro makroskobik analiz ve optimizasyon programıdır.

Synchro kapasite analizlerini ICU 2003 (*intersection capacity utilization*) (Trafficware) modeline göre yapmaktadır bunun yanında HCM (*Highway Capacity Manual*) 2000 ve HCM 2010 analiz sonuçlarında rapor olarak verilmektedir. Synchro kontrol ve kuyruk gecikme toplamı toplam gecikmeleri hesaplayarak kavşak performansını hesaplar. Synchro programının temelinde HCM vardır ve gerekli hesaplamaları yaparak trafik akışını optimize etmeye çalışır. Yapılan hesaplamalar gecikme bazlıdır (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3 Synchro giriş ve çıktı verileri

Synchro girilen veriler	Sonuç olarak alınan veriler
<ul style="list-style-type: none"> • Trafik bilgileri (Trafik-yaya hacmi, ZSF, ağır taşıt oranı ...) • Yol geometrisi (şerit genişliği, sola dönüş şeritleri) • Hız limiti • Kavşak kontrol bilgisi (sabit zamanlı, akıllı kavşak, dönel kavşak ...) • Sinyalizasyon bilgileri (faz-sinyal süreleri, akıllı kavşakta min-max süreler ...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Uygun faz-sinyal süreleri • Gecikme, hizmet seviyesi • Kuyruk bilgileri • Yakıt tüketimi ve emisyon değeri • Kavşak ofset değerleri ve zaman - mesafe diyagramları • ICU, HCM sonuçları • Trafik şebekesinin simülasyonu

Synchro programı kapasite hesaplaması dışında periyot süreleri, sinyal süreleri ve ofsetleri, faz sırasını optimize ederek analiz yapmaktadır. Synchro araç durma ve gecikmeleri minimize ederek bir şebekede koordinasyonu en iyi dereceye getirmeye çalışır. Bununla beraber zaman-mesafe diyagramında koordinasyon manuel olarak da değiştirilebilmektedir.

Synchro yan uygulama olarak Simtraffic simülasyon uygulamasına sahiptir. Simtraffic sayesinde araç ve yayalar mikro simülasyon olarak modellenmektedir (Çizelge 6.5).

Özet olarak Synchro programı aşağıdaki amaçlar için kullanılır;

- Kavşağın mevcut durumunun gecikme analizi; hacim/kapasite oranları vb. kriterleri kullanılarak değerlendirilmesi,
- Optimum sinyal sürelerinin bulunması ve geometrik düzenlemelerin değerlendirme yöntemleri ile test edilmesi ve mevcut durum analizlerinin karşılaştırılması,
- Kavşağın bilgisayar ortamında simüle edilmesi

Çizelge 6.4 Analiz metotlarının karşılaştırılması (Husch and Albeck, 2003)

	ICU (Kavşak Kapasite Kullanımı)	HCM ve gecikme bazlı	Synchro Simulasyon
Analizi yaptığı ölçü	Hacimden Kapasite analizi	Gecikme analizi	Gecikme, durma, kuyruk
En iyi uygulandığı durumlar	Planlama, trafik etkileri çalışmaları, yol dizaynı	Trafik kontrol merkezi, Sinyal zamanlaması	Nadir durumlar, çok yakın kavşaklar
İkinci uygulandığı durumlar	-	Planlama, trafik etkileri çalışmaları, yol dizaynı	Trafik kontrol merkezi, Sinyal zamanlaması, Planlama, trafik etkileri çalışmaları, yol dizaynı
Analiz için gerekli veri miktarı (sayfa)	0.3	2	4
Analiz sonucu (sayfa)	0.7	5	12
Beklenen hassasiyet (verim)	% 10	%30	%30
Sinyal sürelerine bağımlılık	Hayır	Evet	Evet

Synchro doygun olmayan koşulların (normal durumlarda) optimizasyonlarında 5 farklı yüzdeler senaryo kullanır. Bunlar 90. 70. 50. 30. ve 10. yüzdeler (percentile) senaryolarıdır. Synchronun farklı senaryolar kullanmasının amacı trafiğin rastgele ve trafikte dalgalanmalar olmasından dolayıdır. Örneğin eğer 100 periyot varsa bunların hacimleri küçükten büyüğe sıralanıp 90. en büyük hacim olan yüzde 90lık senaryo olarak adlandırılır. Yani 90lık yüzde diğer 89 periyotun hacminden büyüktür. Sinyal optimizasyon sürecinde ilk olarak synchro 90lık senaryoda gecikmeleri sıfırlayarak

yeterli yeşil süreleri atayacaktır. Eğer periyot süresi yeterli değil ise 70lik 50lik .. senaryoları deneyerek uygun değerleri bulacaktır (Avrenli, 2006).

Synchro kapasite üstü koşullarda ($v/c > 1$) kapasiteyi artırmak için devamlı periyot süresini artırma yoluna gider fakat çok az miktarda kapasite artacaktır ve akım üstü gecikmelerde artacağı için periyot süresini artırma çoğu durumda fayda vermez. Bu yüzden çeşitli periyot sürelerindeki a en düşük performans endeksini seçerek uygun optimizasyonu yapmaktadır (Trafficware, 2011; Lu, et al., 2014).

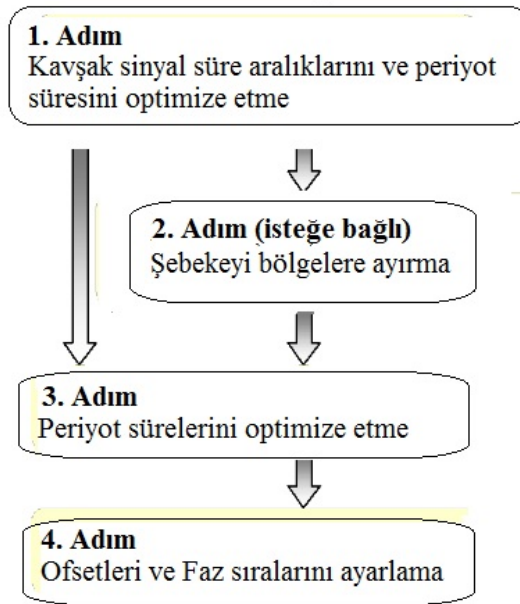
$$PI = [(D * 1) + (St * 10)] / 3600 \quad (6.12)$$

PI = Performans endeksi

D = Toplam gecikme, s

St = Araç durma sayısı

Synchro optimizasyon işlemi;



6.8.1 Synchro programı temel hesaplamalar

- **Toplam Gecikme (performans raporu):**

$$TD = dT * (V_{maks} - V) / V_{maks} \quad (6.13)$$

TD = toplam gecikme zaman dilimi için, sa

dT = zaman dilimi (0,1 s)

V_{maks} = araçların maksimum hızı, km/sa

V = gerçek hız, km/sa

*Araç başına gecikme ise toplam gecikmenin araç sayısına bölünmesiyle bulunur.

- **Araç sayısının bulunması;**

$$nVeh = nX - 0.5 * nS + 0.5 * nE \quad (6.14)$$

nVeh = araç sayısı

nX = aralıktan çıkan araçlar

nS = aralık başlangıcındaki araç sayısı

nE = aralık sonundaki araç sayısı

*aralık = analiz süresi

- **ICU (kavşak kapasite kullanımı);**

Kavşak kapasite kullanımı kavşak kapasitesinin yüzde kaçına göre kullanıldığını göstermek için kullanılır. Çizelge 6.4'te kavşak kapasite kullanımına göre hizmet seviyeleri gösterilmiştir. Dikkat edilmesi gereken husus HCM hizmet seviyeleri gibi gecikme bazlı değildir sadece kavşakların karşılaştırması açısından önemli bir performans aracıdır (Trafficware, 2011).

$$ICU = \sum (maks(t_{min}, v / s_i) * CL + tL_i) / CL \quad (6.15)$$

CL = ilgili devre süresi, s

v/s_i = hacim/doygun akım oranı (kritik akım)

tL_i = toplam kayıp süre (kritik akım)

Çizelge 6.5 Synchro programının ICU değerlerine göre oluşturduğu hizmet seviyeleri

ICU	Hizmet seviyesi	ICU	Hizmet seviyesi
0 - %55	A	>%82 - %91	E
>%55 - %64	B	>%91 - %100	F
>%64 - %73	C	>%100 - %109	G
>%73 - %82	D	>%109	H

- **Yakıt tüketimi hesabı;**

$$F = \text{Toplamyolculuk} * k_1 + \text{Toplamgecikme} * k_2 + \text{Duruşsayısı} * k_3 \quad (6.16)$$

$$k_1 = 0.075283 - 0.0015892 * V + 0.000015066 * V^2 \quad (6.17)$$

$$k_2 = 0.7329 \quad (6.18)$$

$$k_3 = 0.0000061411 * V^2 \quad (6.19)$$

F = Yakıt tüketimi, galon

V = hız, mil/sa

Toplamyolculuk = 1 milde seyahat eden araç sayısı

Toplamgecikme = 1 saat içinde ışıklardan dolayı olan gecimke

Duruşsayısı = 1 saat içinde toplam duran araç sayısı

1 mil = 1.609344 km

1 galon(US) = 3.785411784 litre

- **Emisyon hesabı ;**

$$CO = F * 69.9g / gal = \text{Karbon monoksit (g)} \quad (6.20)$$

$$NO_x = F * 13.6g / gal = \text{Azot oksit (g)} \quad (6.21)$$

$$VOC = F * 16.2g / gal = \text{Uçucu organik karbon(g)} \quad (6.22)$$

F = yakıt tüketimi, galon(gal)

İnsan sağlığına zararlı ve hava kirletici emisyonlar

CO (Karbon monoksit) : Karbon monoksitin oksijen taşıma kapasitesini azaltması sonucunda kandaki oksijen yetersizliği nedeniyle kan damarlarının çeperleri, beyin kalp gibi hassas organ ve dokularda fonksiyon bozuklukları meydana gelir (Anonim, 2014).

NO_x (Azot oksit) : NO_x' in atmosferdeki bulunuşu yaklaşık olarak yarı yarıya taşıt egzosu ve sabit yakma tesislerinden dolaydır. Bu gazlar atmosferde doğal gaz çevrimine girerek, nitrik asit (HNO₃) oluşumuyla sonuçlanan zincirleme reaksiyonları tamamlarlar. Atmosferdeki HNO₃ oluşumu ise asit yağışının oluşmasını etkiler. Son yıllarda Danimarka' da yapılan bir araştırmayla amonyak buharlaşmasının güneş radyasyonuna maruz kaldığında atmosferdeki nitrik asit oluşumuna katkısının ihmal edilemeyecek boyutta olduğu belirlenmiştir. Yağmurun amonyum içeriği toprakta, su havzalarında ve göllerde nitrifikasyon yapan bakteriler ve oksijen sayesinde amonyum nitrit asite dönüştüğünde yağmurun asiditesini ayrıca 4 kat artırmaktadır. Azot dioksitin sağlık üzerine etkileri; çeşitli kesimlerdeki bireylere değişik konsantrasyonlar uygulanması ile tesbit edilmiştir. 3000-9400 µg/m³ konsantrasyonlarına 10-15 dakika süre ile maruziyet sonucunda; normal ve bronşitli kişilerde akciğer fonksiyon değişimleri gözlenmiştir (Anonim, 2014).

HC (Hidrokarbon) : Hidrokarbonlar, hidrojen ve karbondan oluşan bileşiklerdir. İnsan kaynaklı emisyonlar dünya genelinde 100 milyon ton olarak tahmin edilmektedir ve insan kaynaklı emisyonların doğal kaynakların yirmide birini

oluşturulduğu düşünülmektedir. Motorlu araç egzozlardan çıkan yarı yanmış ya da yanmamış hidrokarbonlar atmosfere geçer (Anonim, 2014).

Katran, zift gibi sıvı-katı fazlarda olan yanmamış hidrokarbonlar ise kanser yapıcı etkileri vardır. Aromatik hidrokarbonların kanser yapıcı maddeler olduğu da kabul edilmektedir (Toros, 2015).

- **Kuyruk uzunluğu hesabı ;**

$$Q = \frac{v}{3600} * (R - 6) * \left[1 + \frac{1}{s/v - 1} \right] * \frac{L * 0.3048}{n * fLU} \quad (6.23)$$

Q = kuyruk uzunluğu, m

R= kırmızı süre, s

v = hacim, ta/sa

s = doygun akım oranı, ta/sa

L = aralarındaki boşluk dahil olmak üzere araç uzunlukları, m

n = şerit sayısı

fLU = şerit düzeltme faktörü

*1 feet = 0.3048 m

$$Q' = (v * C - 6) + (V - s * g / C) * C / 3600 * 0.3048 \quad (6.24)$$

Q' = doygun akımlar için kuyruk uzunluğu, m

Synchro ağır taşıtların durumu

Ağır taşıtlar (kamyon, tır, otobüs) Synchro programında saatlik trafik hacmi bölümüne yüzde (%) olarak girilmektedir. Ağır taşıt oranı arttıkça doygun akım da azalmaktadır (Trafficware, 2011).

$$F_{hv} = 100 / [100 + hv (Et - 1)] \quad (6.25)$$

F_{hv} = ağır taşıt düzeltme faktörü

% hv = şerit grubu içerisindeki ağır taşıt oranı

$Et = 2.0$ pc/hv

Ağır taşıtların ivmelenmeleri otomobillere göre daha düşüktür. Kavşaktaki ağır taşıtlar gecikmelere otomobillerden daha fazla sebep olur. F_{hv} faktörü ile bu durum doygun akım hesabında dikkate alınır.

Synchro şebeke ayarlarında otomobil eşdeğer birimi girilebilmektedir. Standart olarak HCM deki değerler Çizelge 6.6'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 HCM Otomobil eşdeğer birimleri (Trafficware, 2011)

Araç tipi	Otomobil eşdeğer birimi
Otomobil	1.0
Ağır Taşıt	2.0

7. ESKİŞEHİR GAR BÖLGESİNİN SENARYOLARININ OLUŞTURULMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI

Eskişehir Gar bölgesindeki mevcut trafik sorunlarına alternatif çözümler getirmek amacıyla 10 farklı senaryo oluşturulup performans analizi yapılmıştır.

7.1 Tez Çalışmasının Amacı

Çalışmanın amacı mevcut durumda zaten yetersiz kalan gar çevresindeki yolların yeni yüksek hızlı tren garı yapıldıktan sonra artacak trafik yüküne karşı gerekli düzenlemelerin yapılması ne gibi düzenlemeler yapılması gerektiğinin belirlenmesidir.



Şekil 7.1 Eskişehir gar bölgesi

7.2 Veri toplama ve Analiz

Çalışmada kavşakların trafik hacim değerleri Trafik kontrol merkezi oluşturulması için yapılan sayımlardan alınmıştır. Kavşaklarda akımın maksimum olarak gözlemlendiği haftasonu 16.45-17.45 arası saatlik hacim değerleri kullanılmıştır. Zirve saat değerleri maksimum 15 dakikalık hacimlerden hesaplanarak çıkarılmıştır. Çalışmada tablolardan (EK.A) her bir kavşağın akım değeri bulunup ağır taşıt oranları ve zirve saat faktör değerleri hesaplanarak paket programa girilmiştir. Faz diyagramları akım durumlarına göre girilip programda oluşturulmuştur.

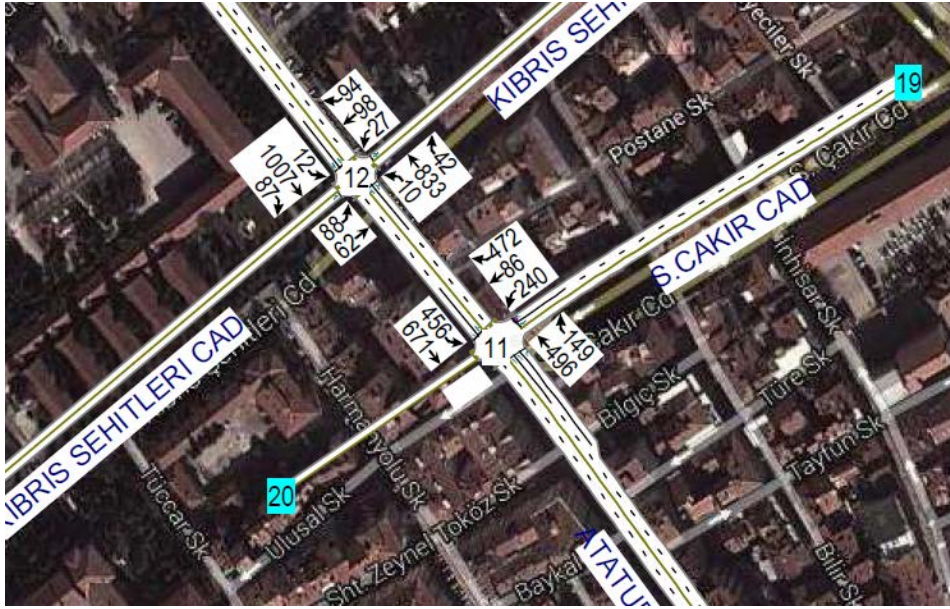
Uygulamada daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için Synchro programında tüm kavşak kollarında CBD (*central business district*) seçeneği işaretlenmiştir. CBD dar caddeler, sık park manevraları, taksi-otobüs sıklığı, yoğun nüfus, yüksek yaya hacimleri anlamına gelmektedir. Bu seçenek Synchro programında doymuş akımı düşürmektedir.

- Kavşakların hiçbirinde RTOR (right turn on red) (kırmızı ışıkta sağa serbest) uygulamasına izin verilmemiştir.
- Tüm kavşak kollarında hız limi 50 km/sa alınmıştır.
- Sarı süreler her kavşakta 2 sn (hızlar aynı olduğu için) alınmıştır. 2 sn den fazla sarı süre alınması koordinasyonu ve gecikmeleri kötü etkileyeceği için mevcut duruma benzer olarak sarı süreler 2 sn alınmıştır.
- Hepsi kırmızı süreler herbir kavşakta 2 sn olarak alınmıştır.
- Yaya fazlar ek fazlar olarak bir diğer faz olarak faz diyagramlarına eklenmiştir. Herbir kavşakta maksimum yol genişliği baz alınarak yaya fazı süreleri hesaplanmıştır.
- Yaya fazları mevcut sistemde kullanılan faz süreleri alınarak programa girilmiştir.

7.3 Kavşaklar ve trafik sayımları

Eskişehir gar bölgesi analizde kullanılan kavşaklar harita üzerlerinde gösterilmiştir. Trafik sayımları EK.A'da Zirve saat faktörü, ağır taşıt oranı, toplam hacim hesaplanarak gösterilmiştir.

11 Nolu Kavşak: 11 numaralı Süleyman Çakır Caddesi ile M. K. Atatürk Caddesini bağlayan sinyalize kavşak Şekil 7.2’de gösterilmiştir.



Şekil 7.2 11 ve 12 numaralı kavşaklar

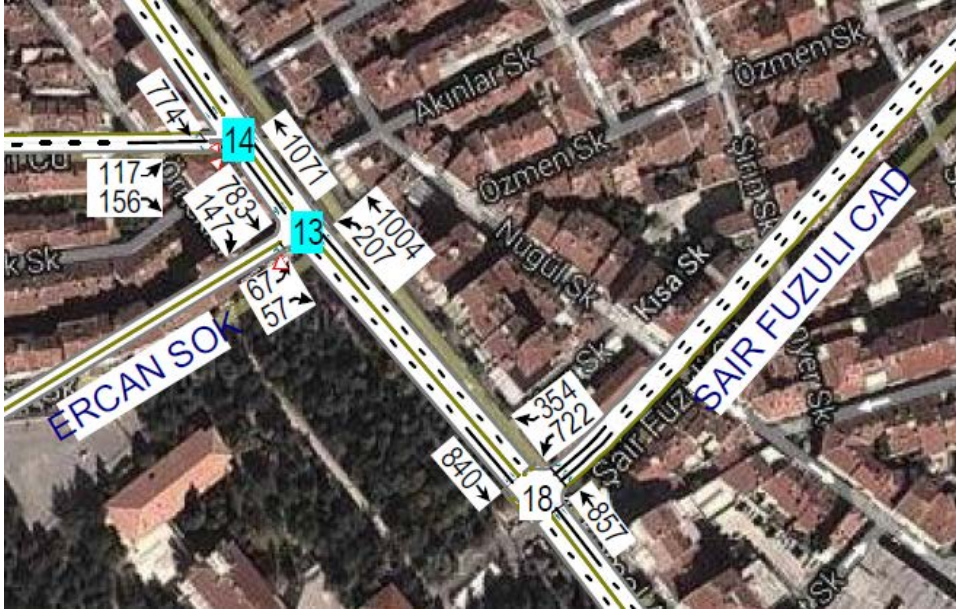
12 Numaralı Kavşak: 12 Numaralı Süleyman Çakır ile M. K. Atatürk Caddesini bağlayan sinyalize kavşak Şekil 7.2’de gösterilmiştir.

17 Numaralı Kavşak: 17 Numaralı Öğretmenler Caddesi ile M. K. Atatürk Caddesini bağlayan sinyalize kavşak Şekil 7.3’de gösterilmiştir.



Şekil 7.3 17 numaralı kavşak

18 Numaralı Kavşak: 18 Numaralı Şair Fuzuli Caddesi ile M. K. Atatürk Caddesini bağlayan sinyalize kavşak Şekil 7.4’de gösterilmiştir.



Şekil 7.4 13,14 ve 18 numaralı sinyalize kavşak

13 numaralı kavşak: 13 numaralı sinyalize olmayan kavşak Ercan sokak ile M. K. Atatürk caddesini bağlamaktadır (Şekil 7.4).

14 Numaralı Kavşak: 14 Numaralı Basın Şehitleri Caddesi ile M. K. Atatürk Caddesi’ni bağlayan sinyalize olmayan kavşak Şekil 7.4’de gösterilmiştir.

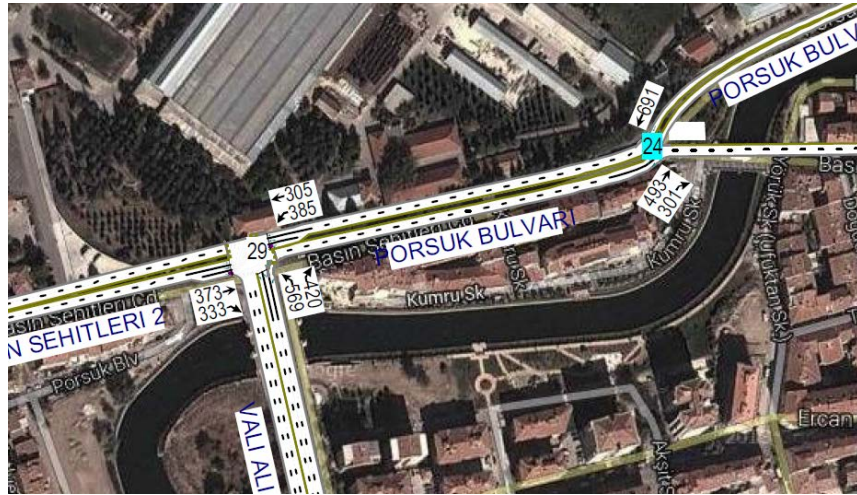
23 Numaralı Kavşak: 23 Numaralı sinyalize kavşak (ELMS Kavşağı) Kızılcıklı Mahmut Pehlivan Caddesi, Porsuk Bulvarı ve M. K. Atatürk Caddesini bağlamaktadır (Şekil 7.5).

29 Numaralı Kavşak: 29 Numaralı sinyalize kavşak Porsuk bulvarı, Basın şehitleri 2 Caddesi ve Vali Ali Fuat Güven Caddesini bağlamaktadır (Şekil 7.6).

24 Numaralı kavşak: 24 numaralı sinyalize olmayan kavşak Porsuk Bulvarı ile Basın Şehitleri Caddesini bağlar (Şekil 7.6).



Şekil 7.5 23 numaralı kavşak



Şekil 7.6 24 ve 29 numaralı kavşaklar

Aşağıdaki trafik düzenlemelerinin amacı M.K Atatürk Caddesi'nin tek yöne çevrilmesiyle daha önceden M.K Atatürk Caddesi'ne girerek isteği yerlere ulaşmayı hedefleyen araçların en yakın güzergahtan tekrar istedikleri yere ulaşabilmeleri amacıyla trafik değerleriyle düzenlemeler yapılmıştır (EK.A).

- 23 numaralı kavşakta 798 aracın (2-4) yüzde 50 si 405 araca (2-1) yüzde 50 si 190 araca (2-3) eklenmiştir.
- 23 numaralı kavşakta 23 araç (1-4), 427 (1-3) araca eklenmiştir.
- 23 Numaralı kavşakta 798 aracın (2-4) yüzde 50 si daha sonra 29 numaralı kavşakta 2-3 akımına eklenmiştir.
- 14 numaralı kavşakta sağa dönen 156 aracın (1-3) yüzde 50 si 117 araca (1-2) eklenmiştir.
- 13 numaralı kavşakta Ercan Sokaktan sağa dönen 57 aracın (1-3) yüzde 50 si araç sola dönen 67 araca (1-2) eklenmiştir.
- 13 ve 14 numaralı kavşaklarda aktarılan %50 araçlar (108 araç) 23 numaralı kavşakta M. Pehlivan Caddesi'ne yönlendirilmiştir.
- 18 numaralı kavşakta sola dönen 722 aracın (2-3) yüzde %50 si sağa dönen 354 araca (2-1) eklenmiştir.
- 17 numaralı kavşakta sağa dönen 135 araç (1-4) yüzde 50 si düz giden 62 araca (1-3) eklenmiştir.
- 12 numaralı kavşakta sağa dönen 93 (1-4) yüzde 50 si araç düz giden 62 araca (1-3) eklenmiştir.
- 12 numaralı kavşakta sola dönen 27 (3-4) yüzde 50 si araç düz giden 98 araca (3-1) eklenmiştir.
- 11 numaralı kavşakta sola dönen 240 araç (3-4) yüzde 50 si düz giden 86 araca (3-1) eklenmiştir.

Ekim 2014 düzenlemesine göre yapılan trafik düzenlemeleri;

- Silo Önü Sk - İ. İnönü kavşağındaki 821 araç İstasyon Caddesi tek yönden çift yöne çevrildiği için 23 numaralı kavşağın 1-2 / 4-2 akımlarını kullanacaktır. 821 aracın yüzde 2/3'ü 4-2 akımına 1/3 1-2 akımına eklenmiştir. Eklenen araç sayıları aynı şekilde Kızılcıklı M. Pehlivan Caddesi'ne giren araçlardan çıkarılmıştır.
- 23 Numaralı kavşakta 798 aracın (2-4) M. Kemal Atatürk Caddesi'ne giremeyeceği için yüzde 50 si 29 numaralı kavşakta 2-3 akımına eklenmiştir.

7.4 Analizde kullanılan senaryolar

Çalışmada 10 çeşit senaryo kullanılarak Synchro programı üzerinden performans analizi yapılmıştır (Çizelge 7.1).

Senaryo 1 = Senaryo 1 Ekim 2014 öncesi mevcut Gar bölgesi durumudur. Senaryo üzerinde hiçbir geometrik özelliği faz planlarını trafik sayımlarını değiştirmeden program üzerinde performans analizi yapılmıştır.

Senaryo 2 = M. Kemal Atatürk caddesi çift yönden tek yöne çevrilerek trafik sayımları ve fazlar düzenlenerek performans analizi yapılmıştır.

Senaryo 3 = Mevcut geometrik özellikler sabit kalıp, mevcut trafik sayımları %30 artırılıp ve sinyal fazları düzenlenerek performans analizi yapılmıştır. Burada trafiğin her sene yüzde 2.5 arttığı kabul edilmiştir 10 sene sonraki trafik değerleri için yaklaşık %30 artırılmıştır (Senaryo 5'in 10 sene sonraki durumudur).

Senaryo 4 = Senaryo 2 deki durumun 10 sene sonraki hali için düzenlenerek performans analizi yapılmıştır.

Senaryo 5 = Mevcut geometrik özellikler ve trafik sayımları korunarak mevcut fazlar değiştirilerek yeni fazlar oluşturulmuş ve kavşaklar arası koordinasyon yapılmıştır.

Senaryo 6 = Ekim 2014 düzenlemesine göre oluşturulmuştur. Bu düzenlemede ELMS (23 numaralı) kavşağın güney-kuzey kolu 3 şeritten 2 şerite düşürülmüş ve İstasyon Caddesi tek yönden çift yöne çevrilmiştir. Eski faz planları alınarak koordinasyon yapılmadan çözülmüştür.

Senaryo 7 = Ekim 2014 düzenlemesine göre oluşturulmuştur. Yeni fazlar oluşturulup kavşaklar arası koordinasyon yapılmıştır.

Senaryo 8 = Senaryo 7'dan farklı olarak sadece ELMS kavşağının güney-kuzey kolu 3 şerit olarak düzenlenerek yeni bir senaryo oluşturulmuştur.

Senaryo 9 = Senaryo 8'deki duruma ek olarak Atatürk Caddesi çift yönden tek yöne (kuzey-güney doğrultusunda / İstasyona doğru) çevrilip yeni senaryo oluşturulmuştur.

Senaryo 10 = Senaryo 9'daki durumun 10 sene sonraki hali için düzenlenerek performans analizi yapılmıştır.

Çizelge 7.1 Analizde kullanılan senaryolar

Senaryolar	Geometrik Durum	Trafik Sayımları	Faz - Koordinasyon
Senaryo 1	Ekim 2014'ten önceki mevcut durum	Mevcut sayımlar	Mevcut Fazlar - Koordinasyonsuz
Senaryo 2	Ekim 2014'ten önceki durumda M. K. Atatürk Caddesi istasyon istikametinde tek yöne çevrilmiştir.	Mevcut sayımlar düzenlenmiştir.	Yeni Faz – Koordinasyon oluşturulmuştur.
Senaryo 3	Ekim 2014'ten önceki mevcut durum	10 sene sonraki trafik sayımları	Yeni Faz – Koordinasyon oluşturulmuştur.
Senaryo 4	Ekim 2014'ten önceki durumda M. K. Atatürk Caddesi istasyon istikametinde tek yöne çevrilmiştir.	10 sene sonraki trafik sayımları	Yeni Faz – Koordinasyon oluşturulmuştur.
Senaryo 5	Ekim 2014'ten önceki mevcut durum	Mevcut sayımlar	Yeni Faz – Koordinasyon oluşturulmuştur.
Senaryo 6	Ekim 2014 düzenlemesi	Mevcut sayımlar	Mevcut Fazlar – Koordinasyonsuz
Senaryo 7	Ekim 2014 düzenlemesi	Mevcut sayımlar düzenlenmiştir.	Yeni Faz – Koordinasyon oluşturulmuştur.
Senaryo 8	Ekim 2014 düzenlemesi (ELMS kavşağı güney-kuzey kolu 2 şeritten 3 şeride çıkarılmıştır)	Mevcut sayımlar düzenlenmiştir.	Yeni Faz – Koordinasyon oluşturulmuştur.
Senaryo 9	Ekim 2014 düzenlemesi (ELMS kavşağı güney-kuzey kolu 2 şeritten 3 şeride çıkarılmıştır)– M. K. Atatürk Caddesi gar istikametinde tek yöne çevrilmiştir.	Mevcut sayımlar düzenlenmiştir.	Yeni Faz – Koordinasyon oluşturulmuştur.
Senaryo 10	Ekim 2014 düzenlemesi (ELMS kavşağı güney-kuzey kolu 2 şeritten 3 şeride çıkarılmıştır)– M. K. Atatürk Caddesi gar istikametinde tek yöne çevrilmiştir	10 sene sonraki trafik sayımları	Yeni Faz – Koordinasyon oluşturulmuştur.

7.5 Senaryo sonuçlarının karşılaştırılması

Performans analizi karşılaştırılması Simtraffic simulasyon ve Synchro genel raporlama kullanılarak yapılmıştır.. Simtraffic Synchro programının bir modülü olup Synchrodaki verileri bir video gibi simule edip performans analizi yapmaktadır. Performans analizi 3 dakika boyunca simülasyona araçlara giriş yaptırmaktadır daha sonra 60 dakika boyunca video kamera gibi kayıt ederek hesaplama yapmaktadır. Synchro genel raporlamada ise simülasyon yapmadan sadece datalar girildikten sonra rapor alınması durumudur. Simülasyon sonuçları genel raporlamaya göre daha verimlidir (Trafficware, 2011).

Simtraffic mikroskobik trafik akım modelini kullanır, Synchro ise makroskobik trafik akım modelini kullanır. Mikroskobik model herbir aracın hızı ve davranışına göre analiz yapar daha özeldir, makroskobik model ise akım, yoğunluk, ortalama hız gibi genel değerleri kullanarak analiz yapar.

7.5.1 Simtraffic Simulasyon Analiz Sonuçları

Toplam Gecikme Değeri: Sistemin başındaki aracın hiç bir sinyal direği ve takılma olmadan sistemin sonuna kadar geldiği seyahat süresinden gerçek seyahat süresinin çıkarılması bize tüm araçların yaptığı gecikme değerini verir. Gecikme süresinin artması zaman değerine bağlı olarak maliyetleri artırmaktadır. Sürücülerin sisteme olan güvenlerini, konforlarını azaltmakta ve yetişmesi gereken yere zamanında yetişememelerine neden olmaktadır.

Ortalama Hız Değeri: Hız değeri hizmet seviyesi açısından önemli bir veridir. Oluşan hız değerleri sistemin ne kadar verimli çalıştığını gösterebilir. Hızların düşük olması sistemde tıkanıklık ve kapasitenin düşük olduğuna işaret eder.

Yakıt Kullanımı: Yakıt kullanımı bir şebeke için önemli performans parametresidir. Yakıt kullanımının fazla olması hem hava kirlilik hemde ekonomik anlamda kötü yönde önemli etkiler yapmaktadır.

CO Emisyonu: Araçların ortaya çıkardığı zararlı gaz salınımlarıdır. Şebeke analizinde araçlar ne kadar dur-kalk ivlemelenme hareketleri yaparsa emisyon kullanımında o kadar

artmaktadır. Bu yüzden sinyal süreleri ve koordinasyonların düzenlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Synchro programında M.K Atatürk Caddesi koridoru programa bir bölge (*zone*) olarak tanıtılıp sonuçlar bölge sonucu şeklinde alınmıştır. Çizelge 7.2'de 1 saatlik simülasyon sonucu 10 senaryonun analiz sonuçları verilmiştir. Performans raporu sonuçlarına bakıldığında ilk olarak Ekim 2014 ten önceki senaryolara baktığımızda senaryo 1'de toplam gecikmenin 554.6 saat olduğu görülmektedir. Senaryo 1 deki fazları düzenleyip M. Kemal Atatürk Caddesi üzerinde koordinasyon oluşturduğumuzda Senaryo 5'te toplam gecikmenin yaklaşık yüzde 40 oranında azaldığı görülmektedir. Kavşaklar arası koordinasyonun performans üzerindeki etkisi açık bir şekilde görülmektedir. M. Kemal Atatürk Caddesi çift yönden tek yöne çevrildiğinde Senaryo 2 toplam gecikmenin Senaryo 1 ve 5 e oranla hayli daha da düştüğü görülmüştür. M. Kemal Atatürk Caddesinin tek yöne çevrilmesinin 10 sene sonraki trafik sayımlarında bile toplam gecikme değeri ilk duruma göre hayli düşüktür.

Ekim 2014 ten sonraki düzenlemelere bakıldığında mevcut durum Senaryo 6 da Ekim 2014 düzenlemesinin toplam gecikmede Senaryo 1 e göre fayda sağladığı söylenebilir. Yeni fazlar oluşturulup koordinasyon yapıldığında performans daha da artmıştır. ELMS kavşağı 3 şerite çıkartıldığında toplam gecikmenin düştüğü görülmüştür. Ekim 2014 ten sonraki düzenlemede M. Kemal Atatürk Caddesi üzerinde tek yön sistemi denendiğinde toplam gecikmenin 146.8 saat olduğu görülerek tüm senaryoların en iyi değerini vermiştir.

Yakıt kullanımı ve emisyon değerlerine bakıldığında mevcut durumların tek yöne çevrilmesi veya koordinasyon oluşturulması durumunda düşüşler görülmüştür. Bunun sebebi araçlar mevcut duruma göre daha az dur-kalk ve ivmelenme hareketleri göstereceğinden yakıt kullanımı düşüş göstermiştir. Yakıt kullanımına benzer şekilde emisyon değerleri de düşüş göstermiştir.

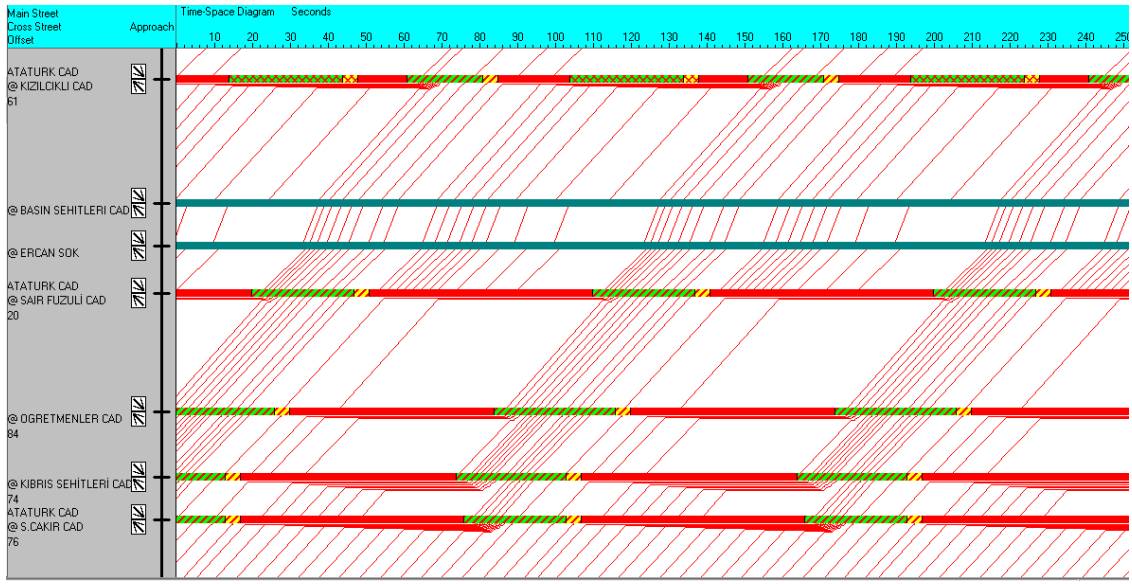
Çizelge 7.2 10 senaryonun analiz sonuçları

Senaryolar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Toplam Gecikme (saat)	554.6	257.1	889.4	480.9	333.8	545.2	334.8	296.8	146.8	396.0
Ortalama Hız (km/sa)	7	11	6	8	9	6	9	10	12	7
Yakıt Kullanımı (litre)	747.2	426.3	1056.1	624.4	569.7	726.0	563.8	535.5	338.1	583.0
CO emisyonu (g)	25696	22732	29797	25404	25919	27061	25902	25948	21461	24656
Sisteme giren araç	3282	3272	4010	3752	3620	3445	3691	3782	3147	3830
Sistemden çıkan araç	960	435	1069	522	985	885	973	1022	458	608
Kuyruğa takılan araçlar	1629	972	2553	1635	1339	1984	1018	933	844	1523

7.5.2 Senaryo zaman mesafe diyagramları

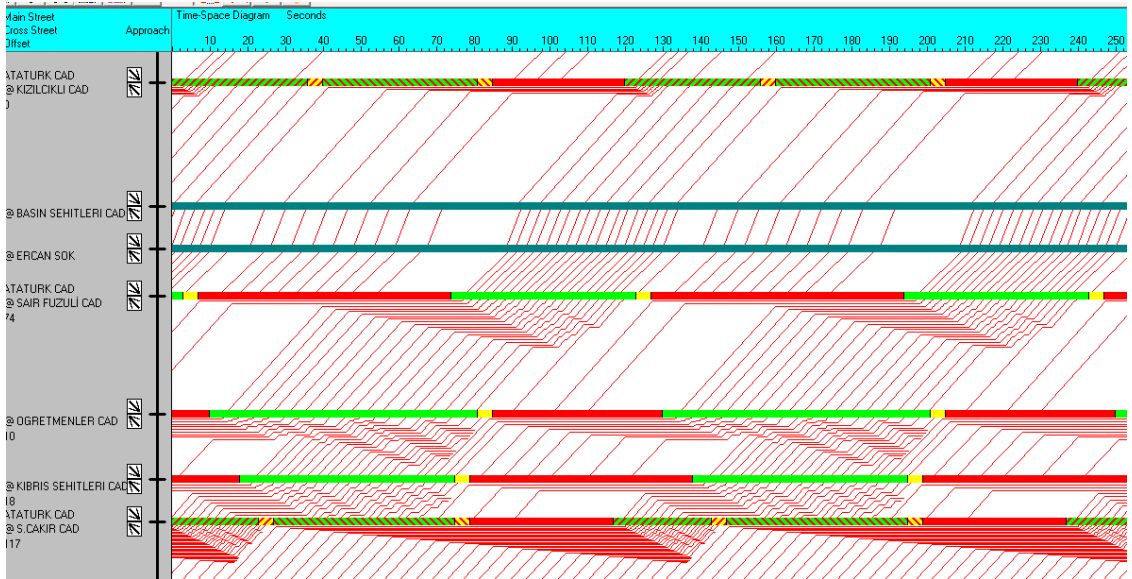
Trafik şebekesinde birbirine yakın kavşaklarda yeşil dalga uygulaması şebeke performansını artırdığı bilinmektedir. Oluşturulan tüm senaryolarda M. Kemal Atatürk Caddesi'nde yeşil dalga sisteminin görülmesi için tüm senaryoların zaman-mesafe diyagramları Şekil 7.7 – 7.18'de verilmiştir.

Senaryo 2'de tek yön sistemi olduğu için kavşaklar arası koordinasyon en uygun şekilde ayarlanmıştır. Bu sebeple kavşaklarda sinyalizasyondan dolayı beklemeler en aza indirgenmiştir (Şekil 7.7)

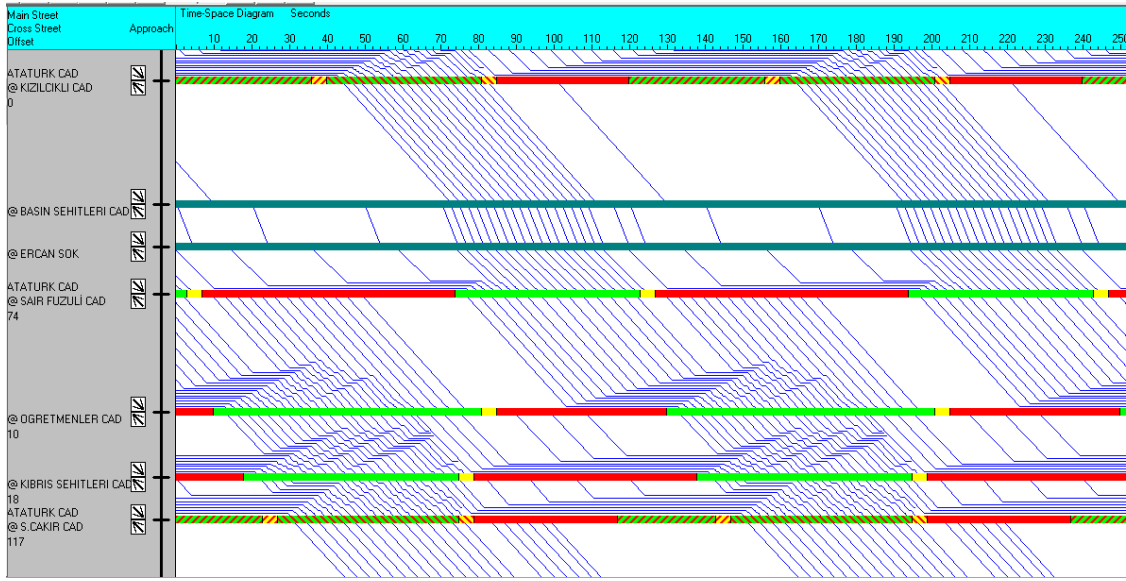


Şekil 7.7 Senaryo 2 – Güney-Kuzey doğrultusu

Senaryo 3 zaman-mesafe diyagramlarına baktığımızda 10 sene sonraki trafik sayımları ve çift yönlü olması sebebiyle ara kavşaklarda araçlar yeşile varmasına rağmen kuyruklanmalardan dolayı yeşil dalga sistemini bozmaktadır (Şekil 7.8-7.9)

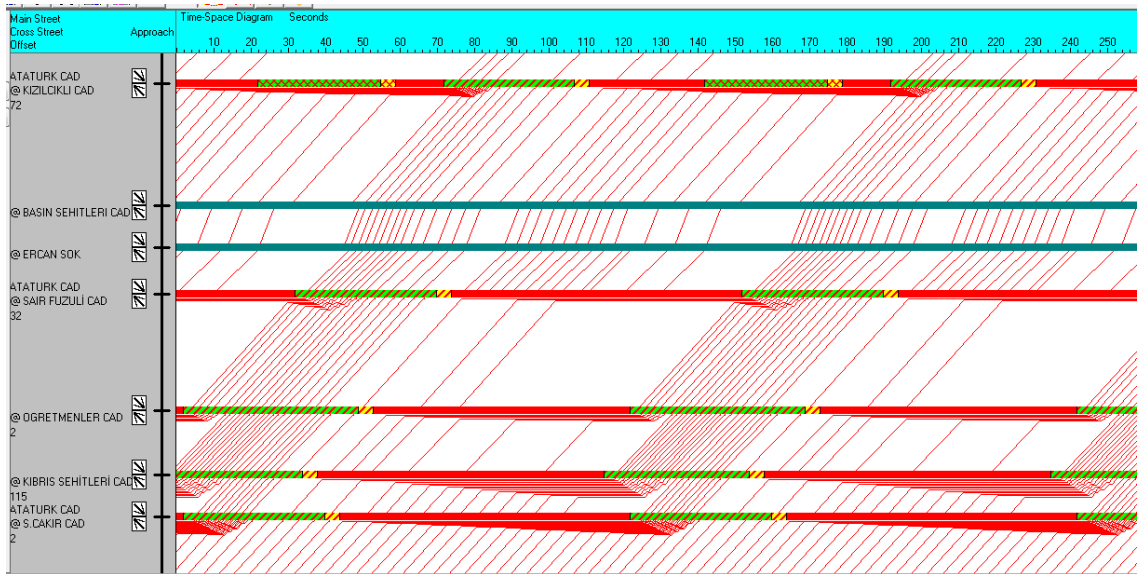


Şekil 7.8 Senaryo 3 – Güney-Kuzey doğrultusu



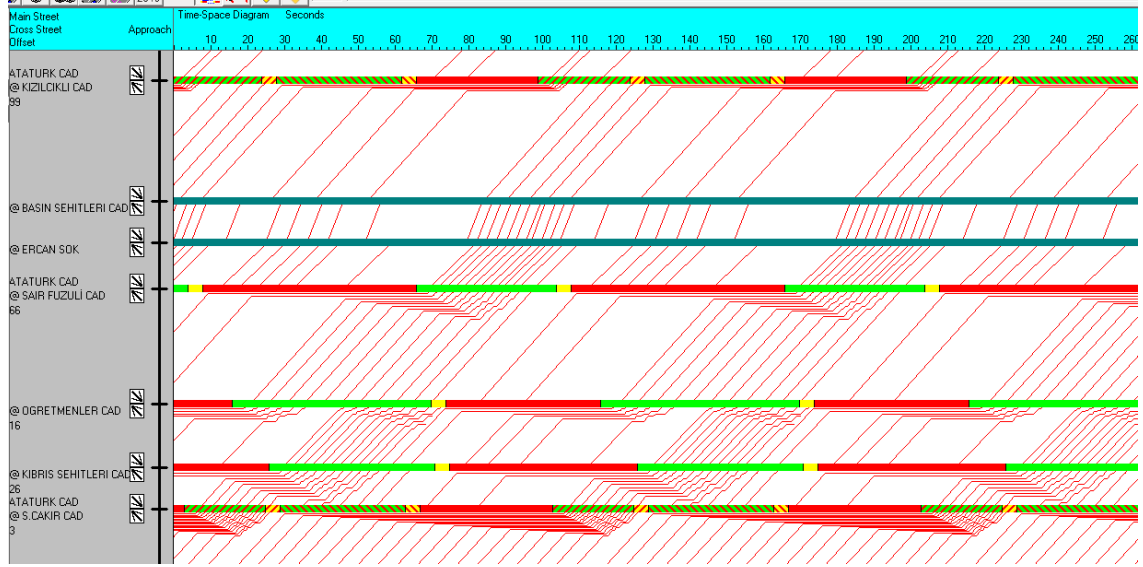
Şekil 7.9 Senaryo 3 – Kuzey-Güney doğrultusu

Senaryo 4 senaryo 2'deki gibi tek yön sisteminin faydaları görülmüştür. 10 sene sonraki trafik sayımları olmasına rağmen araçlar yeşil dalgayı etkin bir biçimde kullanmaktadır (Şekil 7.10).

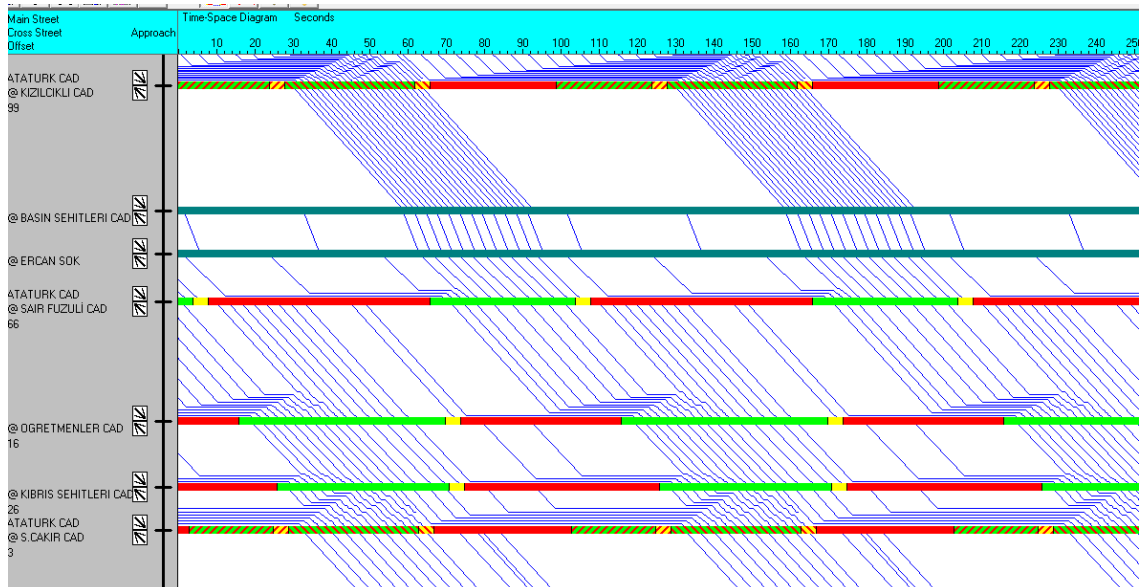


Şekil 7.10 Senaryo 4 – Güney-Kuzey doğrultusu

Senaryo 5 te mevcut durumdaki (1. Senaryo) fazlar düzenlenip koordinasyon oluşturulmuştur. Zaman mesafe diyagramında çift yön sebebiyle araçlar kavşaklarda beklemekte fakat koordinasyonu etkin biçimde kullanan araçlar olması sebebiyle 1. senaryoya göre gecikmelerde düşüş görülmüştür (Şekil 7.11-7.12).

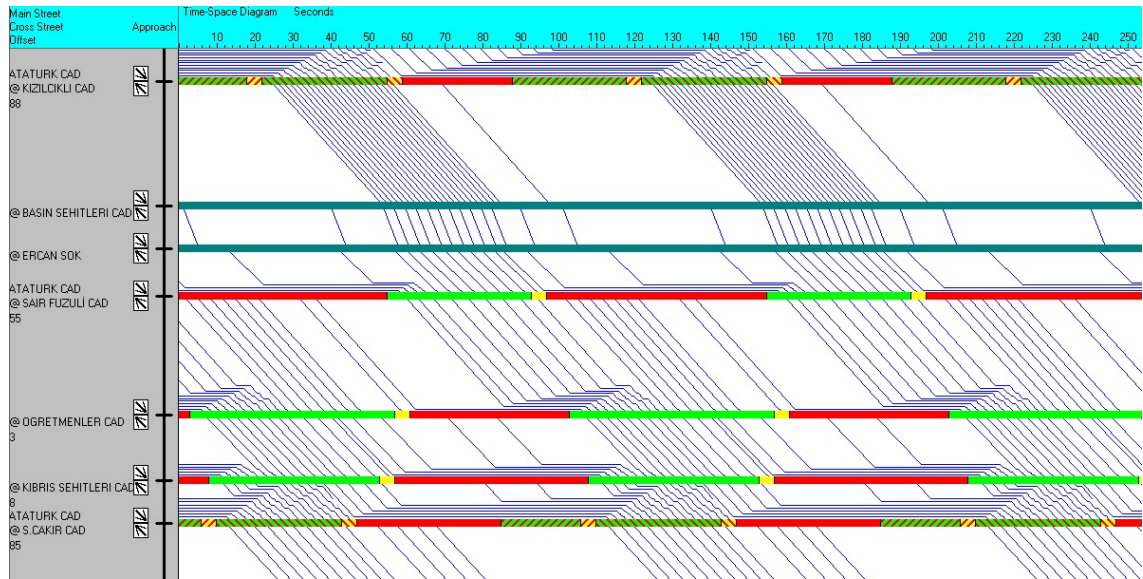


Şekil 7.11 Senaryo 5 – Güney-Kuzey doğrultusu

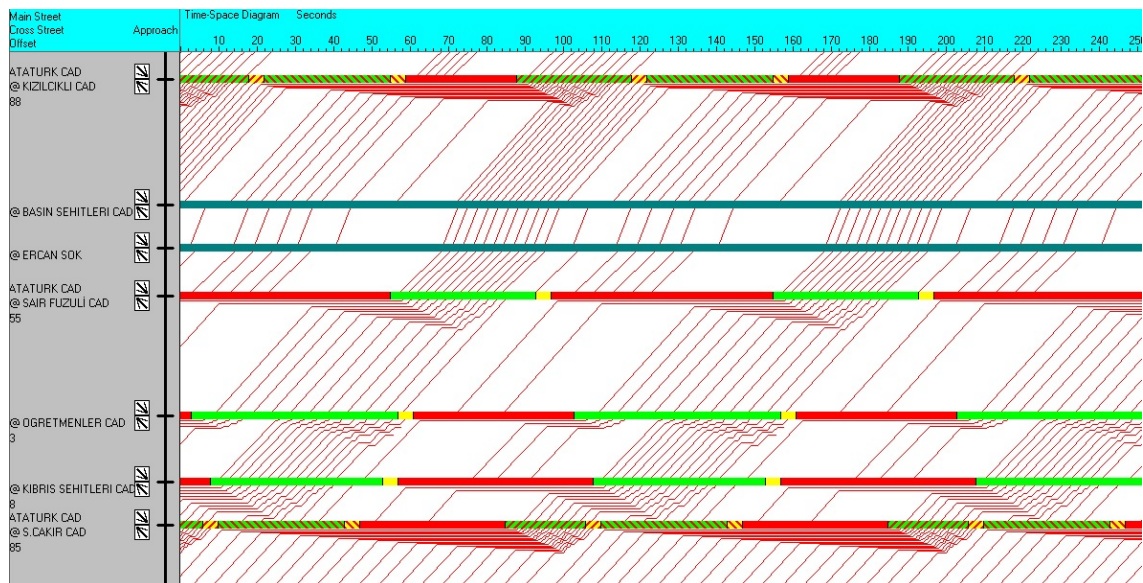


Şekil 7.12 Senaryo 5 –Kuzey-Güney doğrultusu

Senaryo 7 senaryo 5'e benzer şekilde mevcut durum düzenlenerek koordinasyon yapılmıştır. Zaman mesafe diyagramında çift yön sebebiyle araçlar kavşaklarda beklemekte fakat koordinasyonu etkin biçimde kullanan araçlar olması sebebiyle 1. senaryoya göre gecikmelerde düşüş görülmüştür (Şekil 7.13-7.14).

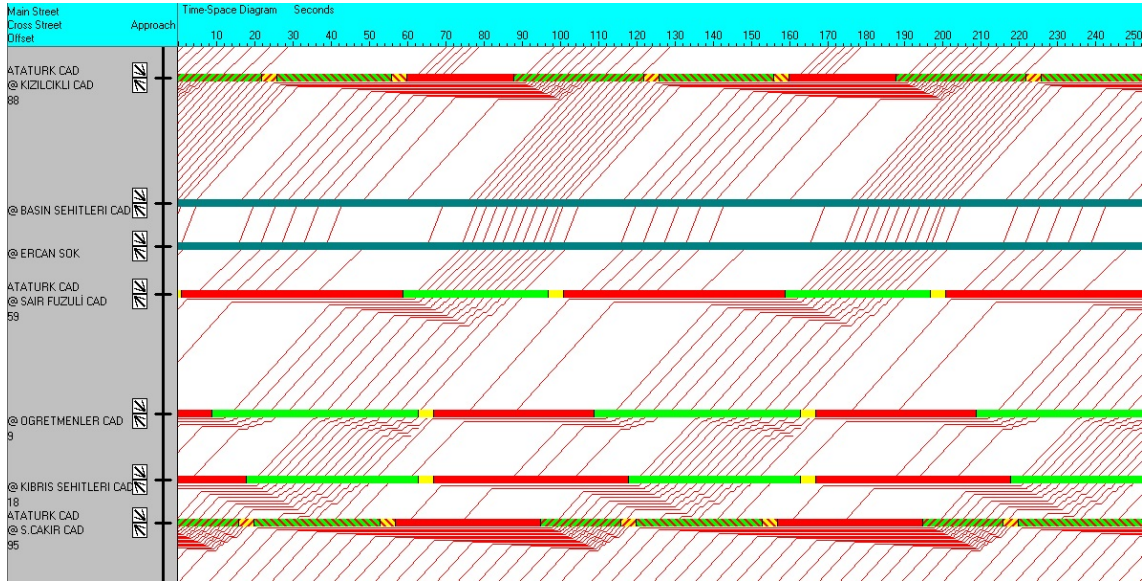


Şekil 7.13 Senaryo 7 – Kuzey-Güney doğrultusu

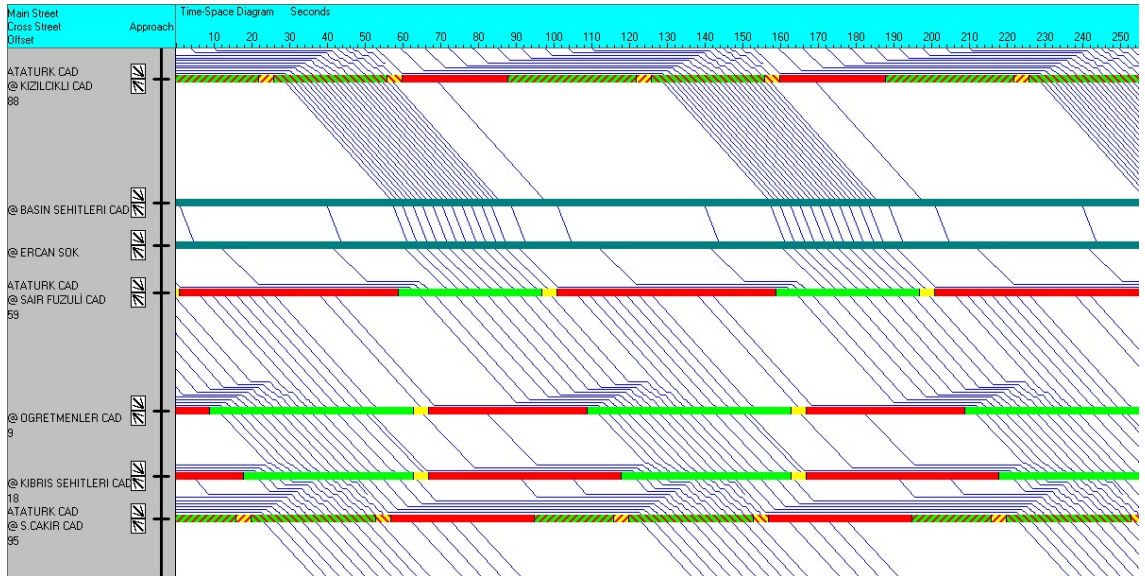


Şekil 7.14 Senaryo 7 - Güney-Kuzey doğrultusu

Senaryo 8’de senaryo 7’deki durumdan farklı olarak Atatürk Cad-Kızılıcıklı Cad kavşağı istasyon yönü kolu 2 şeritten 3 şerite çıkarılmıştır. Bu sebeple görüldüğü gibi bant genişliğinde artış görülmektedir (Şekil 7.15-7.16).

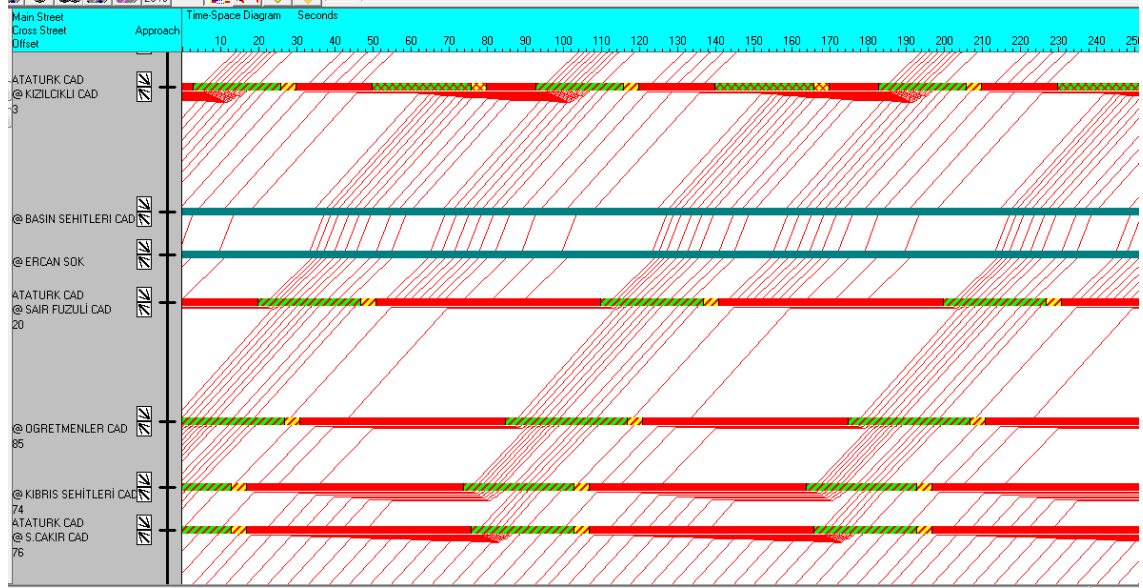


Şekil 7.15 Senaryo 8 – Güney-Kuzey doğrultusu

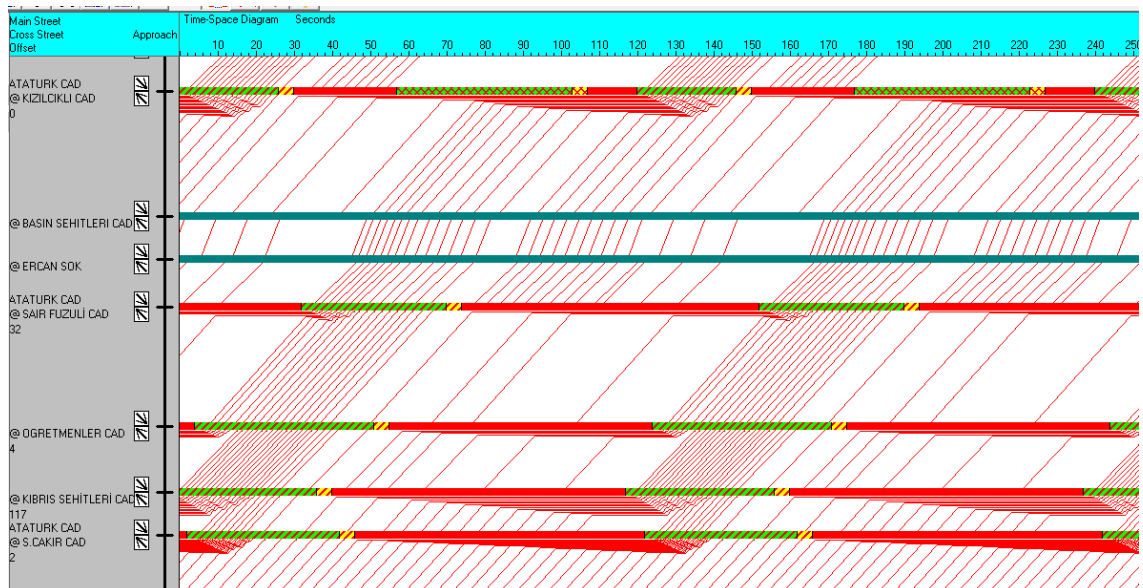


Şekil 7.16 Senaryo 8 – Kuzey-Güney doğrultusu

Senaryo 9’da diğer tek yön sistemler gibi koordinasyonda verimlilik sağlanmıştır. Kavşaklarda oluşan beklemler çift yön sistemine göre en aza indirgenmiştir (Şekil 7.17). 10 sene sonraki trafik sayımlarına (Senaryo 10) bakıldığında az miktardaki araç beklemlerine rağmen kavşaklar arası koordinasyon çift yön sistemlerine oranla iyileştirilmiştir (Şekil 7.18).



Şekil 7.17 Senaryo 9 – Güney-Kuzey doğrultusu



Şekil 7.18 Senaryo 10 Güney-Kuzey doğrultusu

7.5.3 Synchro kavşak sonuçları

Synchro kavşak raporları sonuçlarında kavşak kapasite kullanım oranları (ICU), kavşak gecikmeleri ve hizmet seviyeleri gösterilmiştir. Kavşak raporları koordinasyondan bağımsız olarak birer izole kavşak sonucu olarak tanımlanabilir. Kavşak sonuçları tüm kavşak kollarının fazlara atanan yeşil süreler ve trafik hacimleri ile bağlantılıdır. Genel olarak Mustafa Kemal Atatürk Caddesi üzerindeki kavşakların tek yön sistemine çevrildikten sonra kavşak kapasite kullanımı ve kavşak gecikmelerinde düşüşler gözlemlenmiştir (Çizelge 7.3-7.8).

11,12,17 ve 18 numaralı kavşaklara baktığımızda mevcut fazların düzenlenmesi kavşak kapasite kullanımı ve kavşak gecikmesinde düşüşler olmuştur. Çift yön sisteminin 10 sene sonraki durumlarında kavşak kapasite kullanımı %100 ün üzerine çıkmakta yani kapasiteyi aşmaktadır. Bu sebeple araç kuyruklanmaları, yakıt tüketimi emisyon salınımı artmaktadır.

Çizelge 7.3 11 numaralı kavşak sonucu

Kavşak adı	11 - M.K ATATÜRK CAD - SÜLEYMAN Ç. CAD									
Senaryo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICU	85.6	49.9	108.3	62.9	85.6	85.6	85.6	85.6	49.9	62.9
Kavşak gecikmesi (s)	120.3	27.2	191.7	38.6	87.0	120.3	88.5	88.3	27.2	41.1
Hizmet seviyesi	F	C	F	D	F	F	F	F	C	D

Çizelge 7.4 12 numaralı kavşak sonucu

Kavşak adı	12 - M.K ATATÜRK CAD - KIBRIS ŞEHİTLERİ CAD									
Senaryo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICU	82.6	49.0	104.4	60.7	82.6	82.6	82.6	82.6	49.0	60.7
Kavşak gecikmesi (s)	53.3	21.6	140.3	27.7	24.9	53.3	26.5	25.2	21.6	27.9
Hizmet seviyesi	D	C	F	C	C	D	C	C	C	C

Çizelge 7.5 17 Numaralı kavşak sonucu

Kavşak adı	17 - M. K ATATÜRK CAD - ÖĞRETMENLER CAD									
Senaryo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICU	104.4	43.1	132.8	54.1	104.4	104.4	104.4	104.4	43.1	54.1
Kavşak gecikmesi (s)	121.3	13.0	149.8	16.1	43.3	121.3	40.3	41.6	13.1	16.3
Hizmet seviyesi	F	B	F	B	D	F	D	D	B	B

Çizelge 7.6 18 numaralı kavşak sonucu

Kavşak adı	18 - M.K ATATÜRK CAD - ŞAİR FUZULİ CAD									
Senaryo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICU	57.3	39.0	72.5	48.7	57.3	57.3	57.3	57.3	39.0	48.7
Kavşak gecikmesi (s)	31.3	14.4	31.6	18.9	20.9	31.3	21.9	20.8	14.3	18.4
Hizmet seviyesi	C	B	C	A	C	C	C	C	B	B

23 numaralı kavşak Eskişehir Gar'ından önceki son sinyalize kavşak olması ve yüksek trafik hacmi sebebiyle tüm gecikmeler kapasite kullanımları oldukça yüksektir. Burada koordinasyon oluşturulduktan sonra kavşak gecikmelerinin bazı senaryolarda arttığı görülmektedir. Bunun sebebi koordinasyonun daha verimli olması için kavşağın M. K. Atatürk Caddesi kollarına yeşil süreler daha esnek bir şekilde tanımlanarak diğer kolların yeşil süreleri kısılmıştır, bu sebeple diğer kolların düşük performansları genel kavşak sonuçlarını kötü yönde etkilemiştir (Çizelge 7.7)

Çizelge 7.7 23 numaralı kavşak sonucu

Kavşak adı	23 - ELMS (M.K ATATÜRK CAD - KIZILCIKLI M.PEHLİVAN CAD - PORSUK BLV)									
Senaryo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICU	124.4	136.6	158.8	174.6	124.4	103.1	103.1	93.5	103.7	131.8
Kavşak gecikmesi (s)	34.9	69.5	159.1	206.6	57.5	149.7	176.2	124.6	67.8	96.1
Hizmet seviyesi	C	E	F	F	D	F	F	E	E	F

29 numaralı kavşakta M. Kemal Atatürk Caddesi'nin tek yöne çevrilmesiyle Eskişehir Garı tarafından M. Kemal Atatürk Caddesi'ne girmek isteyen araçlar 29 numaralı kavşapa yönlendirilmiştir. Bu sebeple senaryo 2 ve 9 da kavşak gecikmeleri ve kapasite kullanımı mevcut duruma göre artmıştır.

Çizelge 7.8 29 numaralı kavşak sonucu

Kavşak adı	29 - VALİ ALİ FUAT GÜVEN CAD. - BASIN ŞEHİTLERİ 2 CAD - PORSUK BULVARI									
Senaryo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICU	63.2	87.7	79.1	111.0	63.2	63.2	63.2	63.2	87.7	111.0
Kavşak gecikmesi (s)	47.9	84.7	62.9	171.6	41.9	47.9	41.9	41.9	84.7	179.0
Hizmet seviyesi	D	F	E	F	D	D	D	D	F	F

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kavşaklar arası koordinasyon oluşturmanın amacı trafik sinyallerinden dolayı meydana gelen gecikmeleri en aza indirmektir. Bu sebeple hem sürücüler üzerinde psikolojik hem sistem üzerinde ekonomik faydalar sağlamaktadır.

Eskişehir Gar Bölgesi kent merkezinin ortasında yer aldığından, artan nüfus ve yetersiz kalan yollar nedeniyle trafik sorunları ortaya çıkmıştır. Devam eden Yüksek Hızlı Tren inşaatları ile beraber artacak yolcu sayısına hizmet verebilmek amacıyla, yeni Eskişehir Gar binası çalışmaları devam etmektedir. 2023 yılında günlük 20000 kişiye ulaşması beklenen YHT yolcuları sebebiyle, bu bölgede ciddi trafik sorunları oluşması beklenmektedir. Bu sebeple günümüz ve gelecek için çeşitli alternatifler denenerek Eskişehir Gar Bölgesi'ndeki yollar için performans analizi yapılmıştır.

Trafik etkilerinin gözlemlenmesi amacıyla hem gelecek durumlarını, hem de farklı senaryoları görmek için trafik programı olan Synchro kullanılmıştır. Senaryoların performans sonuçlarına bakıldığında sinyal koordinasyonu oluşturmanın tüm senaryolarda performansı oldukça artırdığı görülmüştür. Synchro senaryo performans analizlerinde ve kavşak raporlarında mevcut durumların koordinasyonsuz hallerinden kavşaklar arası koordinasyon oluşturulması durumunda toplam gecikmelerin yüzde 40'a varan düşüşler görülmüştür. Bununla beraber M.K. Atatürk Caddesi'nin tek yön sistemine çevrildiği durumlarda toplam gecikmelerin çift yön sistemine oranla yüzde 54'e varan düşüşler görülmüştür.

Toplam gecikmenin mevcut duruma göre düşüş göstermesi sebebiyle, asıl sorunun sinyaller üzerindeki koordinasyon eksikliği olduğu görülmüştür. M.K. Atatürk Caddesi üzerindeki kavşakların birbiriyle arasındaki koordinasyon sistemi zaman-mesafe diyagramlarında açıkça görülmektedir. Kavşakların koordine edilmesi ve faz sistemlerinin yeniden düzenlenmesiyle performans sonuçlarında ciddi faydalar sağlanmıştır. Buraya yeni gar inşaatının yapılması ile trafikte bir miktar artış olacağı açıktır, ancak yeni gar binasının çift yözlü olması sayesinde kentin kuzey bölgesinden gelecek olan trafiğin Mustafa Kemal Atatürk caddesine girmeyeceği düşünüldüğünde,

artış daha az olmakta ve bunun sinyal sistemlerinde yapılacak düzenlemeler ile sorun yaratmayacağı öngörülmüştür.

M.K. Atatürk Caddesi üzerindeki kavşaklarda koordinasyonun sağlanması ve ELMS kavşağı güney kolunun tekrar 3 şeride çıkarılmasının uygun olacağı öngörülmüştür. Ayrıca tek yönlü yolların çift yönlü yollara göre daha kolay koordinasyon oluşturulacağından ve analiz sonuçlarında yüzde 54 lere varan düşüşler görüldüğünden M.K Atatürk Caddesi'nin tek yönlü trafik sistemine çevrilmesinin daha uygun olacağı değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdulhai, B., and Kattan, L., 2004, Handbook of Transportation Engineering, McGraw-Hill, Chapter 6, 937p.
- Akbaş A. ve Akdoğan E., 2001, İstanbul Kentiçi Trafik Kontrol Sistemi Üzerine Bir Durum Değerlendirilmesi, İstanbul'da Kent İçi Ulaşım Sempozyumu, TMMOB, 10s.
- Akmaz M.M., 2012, Konya'nın Önemli Sinyalize Kavşaklarının Bilgisayar Programı ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, 93s.
- Aksoy, G., 2012, Bađ Yolculuk Sürelerinin Ölçüm ve Modelleme Kapsamında İrdelenmesi, İTÜ, 107s.
- Alçelik N., 2010, Kent içi Sinyalize ve Dönel Kavşakların Kapasite Açısından Karşılaştırılması Ümraniye İlçesi Örneğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, 290s.
- Anonim, 2014, Hava Kirliliğinin İnsan ve Çevre Sağlığına Etkileri, http://cevreonline.com/emisyon/hava_etikiler.htm, erişim tarihi: 20.12.2014
- Anonim, 2015, İSBAK Tam Adaptif Trafik Yönetimi Sistemi (ATAK) <http://www.isbak.com.tr/sites/default/files/dokumanlar/02-atak-tr-revize.pdf>, erişim tarihi: 30.01.2015
- Avrenli K. A., 2006, Arterial Signal Coordination And Optimization: A Case Study In Istanbul, Bogazici University, 158p.
- Başkan Ö., 2004, İzole Sinyalize Kavşaklardaki Ortalama Taşıt Gecikmelerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi, Yüksek Lisans, Pamukkale Üniversitesi, 110s.
- Başkan Ö., Ceylan H. Ve Haldenbilen S., 2007, 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, İMO, 159-169.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bester C. J. and Varndell P. J., 2002, The Effect of a Leading Green Phase on The Start-Up Lost Time of Opposing Vehicles, University of Stellenbosch Private Bag X1, 10p.
- Bester C. J. and Meyers W.L., 2007, Saturation Flow Rates, Proceedings of the 26th Southern African Transport Conference, 560-568.
- Bilgiç, Ş., ve Karacasu, M., 2012, Eskişehir Yeni Gar Yerinin Belirlenmesi Araştırma Projesi, Demiryolu, Havayolu ve Kent İçi Ulaşım Değerlendirme Raporu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
- Bilgiç, Ş., ve Karacasu, M., 2012, Karayolu Ders Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
- Bilgiç, Ş., 2013, Trafik Yönetimi Ders Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
- Çevik O., 2010, Sinyalize Kavşak Yaklaşımlarındaki Şerit Seçim Davranışlarının Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 2011, Dokuz Eylül Üniversitesi, 75s
- Cheng D, Tian Z.Z., Messer C.J., 2005, Development of an Improved Cycle Length Model over the Highway Capacity Manual 2000 Quick Estimation Method, Journal of Transportation Engineering, 890-897.
- Chang, R. J., Chen C. K., and Wen C. Y., 2013, Drivers' Perception of LOSs at Signalized Intersections, Transport Research Part A, 141-154.7
- Garber N.J., 2009, Traffic and Highway Engineering, Gengage Learning, 1230p.
- Ghosh B., 2007, Traffic Signal Coordination Lecture Notes, The University of Dublin
- Highway Capacity Manual, 2000, Transportation Research Board, National Research Council Washington, 1189 p.
- Husch D. and Albeck J., 2003, Intersection Capacity Utilization, Trafficware, 560p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

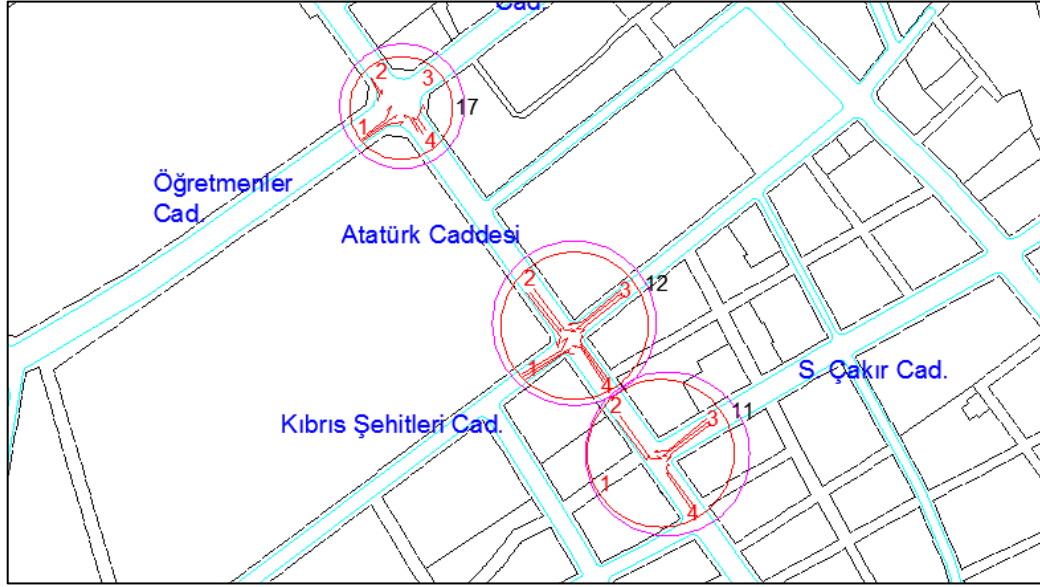
- Kang Y.S., 2000, Delay, stop and queue estimation for uniform and random traffic arrivals at fixed-time signalized intersections, PhD Thesis, Virginia State University. 236p.
- Karayolları Trafik Kanunu, 1983, 2918 Numaralı Kanun, İkinci Bölüm Madde 3.
- Karayolları Tasarım El Kitabı, 2005, Karayolları Genel Müdürlüğü, 297s
- Keita M. Y., and Saito M., 2011, Evaluation of the IQA Delay Estimation Method, 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service Stockholm, 792-802.
- Kononov, J., Durso, K., Reeves D. and Allery, K.B., 2012, Relationship Between Traffic Density, Speed, and Safety and Its Implications for Setting Variable Speed Limits on Freeways, 9p.
- Liu, H., 2012, Traffic Analysis at Signalized Intersections, University of Minnesota, Chapter 7.
- Lu, T., Sohr, A. and Bei, X., 2014, Comparison of the Effectiveness of Common Cycle Computing Models, The 9th International Conference on Traffic & Transportation Studies (ICTTS'2014), 358-367.
- Mathew T.V., Krishna Rao K.V., 2007, Introduction of Transportation Engineering, Chapter 39.
- Mathew T. V., 2012, Traffic Engineering and Management, IIT Bombay, Chapter 37.
- Murat Y.Ş., 1996, Denizli Şehiriçi Kavşaklarındaki Trafik Akımlarının Bilgisayarla İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 108s.
- Murat Y. Ş. 2012, Trafik Mühendisliği Ders Notları, Pamukkale Üniversitesi, 53s.
- Murat, Y. Ş. ve Gedizlioğlu E., 2003, Ayrık Sinyalize Kavşaklar için Bulanık Mantık Denetim Modeli, İMO Teknik Dergi, 2949-2963.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Öztürk E.A, Çubuk M.K. ve Hatipoğlu S., 2008, Ankara İçin Bir Sinyal Zamanlaması Modeli: Beşevler Kavşağı Örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 49-57.
- Roess, R.P., Prassas, E, S., and Mcshane W, R., 2004, Traffic Engineering (3rd edition), Pearson Higher Education, 786p.
- Roess, R.P., Prassas, E, S., and Mcshane W, R., 2011, Traffic Engineering (4th edition), Pearson Higher Education, 734p.
- Saito, M., 2000, Traffic Engineering Lecture Notes, Brigham Young University.
- Strong, D.W., Roupail N. M., and Courage K., 2005, 85th Annual Meeting of the Transportation research Board, Washington, DC, 19p.
- Tian Z.Z., 2006, Traffic Engineering Lecture Notes, University of Nevada Reno
- Toros H., 2015, Hidrokarbonlar (HC), <http://web.itu.edu.tr/~toros/hava/hidrokarbonlar.htm> erişim tarihi: 02.02.2015
- Trafficware, 2011, Syncro Studio 8 User Guide., 560p.
- Tunç, A., 2003, Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları, Asil Yayınları, 790s.
- TÜİK, 2015, İlçelere göre il/ilçe merkezi ve belde/köy nüfusu – 2014, Türkiye İstatistik Kurumu
- Yayla N. ve Umar F., 1997, Yol İnşaatı, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınevi, 287s.
- Yanxi H. and Xiaoguang Y., 2013, Research on the Delay in Signalized Intersection with Left-turn Special Phase, 13th COTA International Conference of Transportation Professionals (CICTP 2013), 2211-2218.

EK AÇIKLAMALAR-A
KAVŞAK SAYIM SONUÇLARI

**11 NUMARALI M.K. ATATÜRK CADDESİ – SÜLEYMAN ÇAKIR CAD
KAVŞAĞI**



Şekil A.1 11 ve 12 numaralı kavşaklarda akım yönleri

Çizelge A.1 11 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
2-3							2. KOL	
16:45-17:00	111		14		125		16:45-17:00	275
17:00-17:15	99		8		107		17:00-17:15	291
17:15-17:30	94		13		107		17:15-17:30	273
17:30-17:45	109		8		117		17:30-17:45	288
2-4					456	0	TOPLAM	1127
16:45-17:00	139	2	9		150		MAK 15DK	1164
17:00-17:15	166	1	15	2	184		ZSF	0.97
17:15-17:30	152	3	11		166			
17:30-17:45	149	1	19	2	171			
					671	1.64		

Çizelge A.2 11 numaralı kavşak 3 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
3-1							3. KOL	
16:45-17:00	19		4		23		16:45-17:00	174
17:00-17:15	20		2		22		17:00-17:15	201
17:15-17:30	19				19		17:15-17:30	219
17:30-17:45	19		3		22		17:30-17:45	204
3-2					86	0	TOPLAM	798
16:45-17:00	85		12	1	98		MAK 15DK	876
17:00-17:15	120		16		136		ZSF	0.91
17:15-17:30	107		12		119			
17:30-17:45	110		9		119			
3-4					472	0.21		
16:45-17:00	44		9		53			
17:00-17:15	40		3		43			
17:15-17:30	71		10		81			
17:30-17:45	57		6		63			
					240	0.00		

Çizelge A.3 11 numaralı kavşak 4 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
4-2							4. KOL	
16:45-17:00	94	2	16	1	113		16:45-17:00	148
17:00-17:15	107	1	15	1	124		17:00-17:15	166
17:15-17:30	110	2	17	1	130		17:15-17:30	166
17:30-17:45	107	2	20		129		17:30-17:45	165
4-3					496	2.02	TOPLAM	645
16:45-17:00	28		7		35		MAK 15DK	664
17:00-17:15	38		3	1	42		ZSF	0.97
17:15-17:30	32		4		36			
17:30-17:45	34		2		36			
					149	0.67		

12 NUMARALI M.K. ATATÜRK CADDESİ-KIBRIS ŞEHİTLERİ KAVŞAĞI

Çizelge A.4 12 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
1-2							1. KOL	
16:45-17:00	16				16		16:45-17:00	25
17:00-17:15	22		4		26		17:00-17:15	50
17:15-17:30	25		1		26		17:15-17:30	42
17:30-17:45	19		1		20		17:30-17:45	33
1-3					88	0	TOPLAM	150
16:45-17:00	8		1		9		MAK 15DK	200
17:00-17:15	23		1		24		ZSF	0.75
17:15-17:30	15		1		16			
17:30-17:45	12		1		13			
					62	0.00		

Çizelge A.5 12 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
2-1							2. KOL	
16:45-17:00	23				23		16:45-17:00	270
17:00-17:15	19		1		20		17:00-17:15	268
17:15-17:30	26				26		17:15-17:30	275
17:30-17:45	17		1		18		17:30-17:45	293
2-3					87	0	TOPLAM	1106
16:45-17:00	0				0		MAK 15DK	1172
17:00-17:15	5		1		6		ZSF	0.94
17:15-17:30	2				2			
17:30-17:45	4				4			
2-4					12	0.00		
16:45-17:00	225	3	19		247			
17:00-17:15	221		20	1	242			
17:15-17:30	223	3	21		247			
17:30-17:45	242		28	1	271			
					1007	0.79		

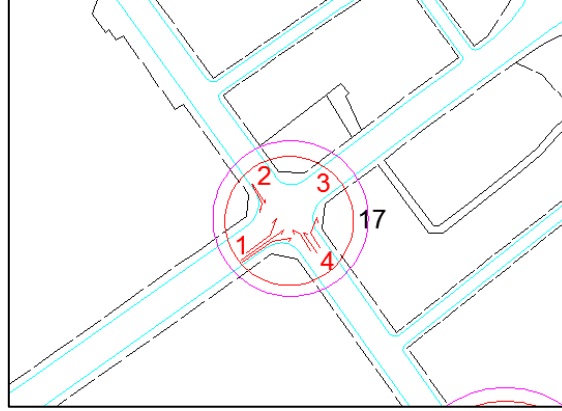
Çizelge A.6 12 numaralı kavşak 3 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
3-1							3. KOL	
16:45-17:00	23				23		16:45-17:00	57
17:00-17:15	20		3		23		17:00-17:15	54
17:15-17:30	30		1		31		17:15-17:30	53
17:30-17:45	20		1		21		17:30-17:45	55
3-2					98	0	TOPLAM	219
16:45-17:00	27		1		28		MAK 15DK	228
17:00-17:15	20		2		22		ZSF	0.96
17:15-17:30	16		1		17			
17:30-17:45	25		2		27			
3-4					94	0.00		
16:45-17:00	6				6			
17:00-17:15	9				9			
17:15-17:30	5				5			
17:30-17:45	6		1		7			
					27	0.00		

Çizelge A.7 12 numaralı kavşak 4 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
4-1							4. KOL	
16:45-17:00	1				1		16:45-17:00	169
17:00-17:15	5		1		6		17:00-17:15	254
17:15-17:30	2				2		17:15-17:30	253
17:30-17:45	1				1		17:30-17:45	209
4-2					10	0	TOPLAM	885
16:45-17:00	139	1	18	2	160		MAK 15DK	1016
17:00-17:15	210	2	22		234		ZSF	0.87
17:15-17:30	208	2	26	1	237			
17:30-17:45	189	2	11		202			
4-3					833	1.20		
16:45-17:00	6		2		8			
17:00-17:15	13		1		14			
17:15-17:30	13		1		14			
17:30-17:45	6				6			
					42	0.00		

17 NUMARALI M.K. ATATÜRK CADDESİ-ÖĞRETMENLER CAD. KAVŞAĞI



Şekil A.2 17 numaralı kavşakta akım yönleri

Çizelge A.8 17 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
1-2							1. KOL	
16:45-17:00	45		1		46		16:45-17:00	99
17:00-17:15	51		3		54		17:00-17:15	99
17:15-17:30	39		2		41		17:15-17:30	97
17:30-17:45	42		4		46		17:30-17:45	89
1-3					187	0	TOPLAM	384
16:45-17:00	17		1		18		MAK 15DK	396
17:00-17:15	14		2		16		ZSF	0.97
17:15-17:30	13		3		16			
17:30-17:45	9		3		12			
1-4					62	0.00		
16:45-17:00	32		3		35			
17:00-17:15	25		4		29			
17:15-17:30	36		4		40			
17:30-17:45	30		1		31			
					135	0.00		

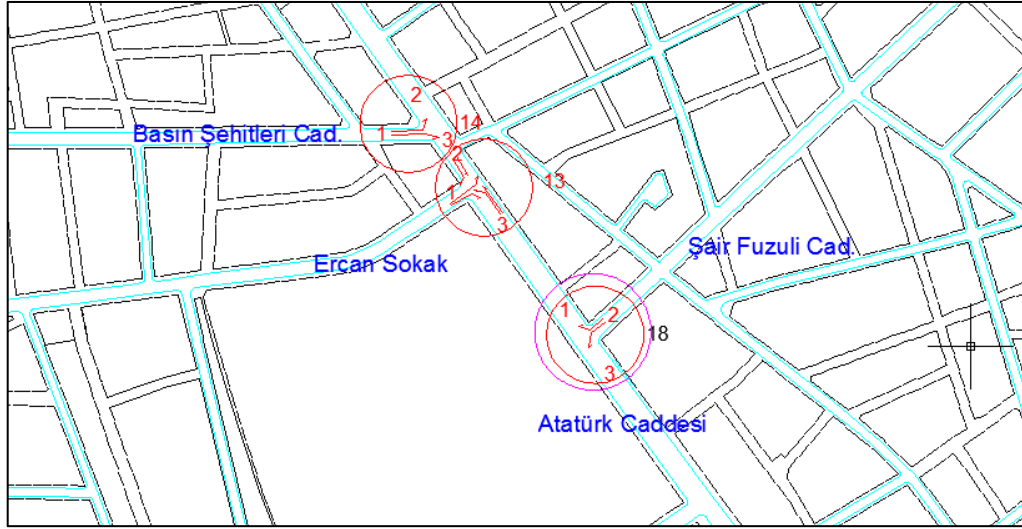
Çizelge A.9 17 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
2-1							2. KOL	
16:45-17:00	31		3		34		16:45-17:00	312
17:00-17:15	20		2		22		17:00-17:15	278
17:15-17:30	25		1		26		17:15-17:30	294
17:30-17:45	22		1		23		17:30-17:45	313
2-2					105	0	TOPLAM	1197
16:45-17:00	250	3	24	1	278		MAK 15DK	1252
17:00-17:15	238		17	1	256		ZSF	0.96
17:15-17:30	238	3	27		268			
17:30-17:45	268		22		290			
					1092	0.73		

Çizelge A.10 17 numaralı kavşak 4 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
4-1							1. KOL	
16:45-17:00	11				11		16:45-17:00	243
17:00-17:15	14				14		17:00-17:15	280
17:15-17:30	17				17		17:15-17:30	239
17:30-17:45	23				23		17:30-17:45	305
4-2					65	0	TOPLAM	1067
16:45-17:00	205	2	22	2	231		MAK 15DK	1220
17:00-17:15	235	2	29		266		ZSF	0.87
17:15-17:30	192	2	27	1	222			
17:30-17:45	252	1	27	2	282			
4-3					1001	1.20		
16:45-17:00	1				1			
17:00-17:15					0			
17:15-17:30					0			
17:30-17:45					0			
					1	0.00		

18 NUMARALI M.K. ATATÜRK CADDESİ-ÖĞRETMENLER CAD. KAVŞAĞI



Şekil A.3 13, 14 ve 18 numaralı kavşaklarda akım yönleri

Çizelge A.11 18 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
2-1							2. KOL	
16:45-17:00	79		12		91		16:45-17:00	277
17:00-17:15	64		7		71		17:00-17:15	201
17:15-17:30	85		14		99		17:15-17:30	283
17:30-17:45	79		14		93		17:30-17:45	315
2-3					354	0	TOPLAM	1076
16:45-17:00	162		24		186		MAK 15DK	1260
17:00-17:15	115		15		130		ZSF	0.85
17:15-17:30	168		16		184			
17:30-17:45	198		24		222			
					722	0.00		

13 NUMARALI M.K. ATATÜRK CAD-ERCAN SOK. KAVŞAĞI

Çizelge A.12 13 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
1-2							2. KOL	
16:45-17:00	12				12		16:45-17:00	28
17:00-17:15	22		4		26		17:00-17:15	44
17:15-17:30	14		2		16		17:15-17:30	30
17:30-17:45	11		2		13		17:30-17:45	22
1-3					67	0	TOPLAM	124
16:45-17:00	15		1		16		MAK 15DK	176
17:00-17:15	15		3		18		ZSF	0.70
17:15-17:30	13		1		14			
17:30-17:45	8		1		9			
					57	0.00		

Çizelge A.13 13 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
2-1							2. KOL	
16:45-17:00	25		2	1	28		16:45-17:00	219
17:00-17:15	41		4	1	46		17:00-17:15	246
17:15-17:30	37		3		40		17:15-17:30	235
17:30-17:45	28		4	1	33		17:30-17:45	230
1-3					147	2.04	TOPLAM	930
16:45-17:00	171	2	15	3	191		MAK 15DK	984
17:00-17:15	182		12	6	200		ZSF	0.95
17:15-17:30	176	2	17		195			
17:30-17:45	171	1	24	1	197			
					783	1.92		

Çizelge A.14 13 numaralı kavşak 3 numaralı akım trafik sayımları

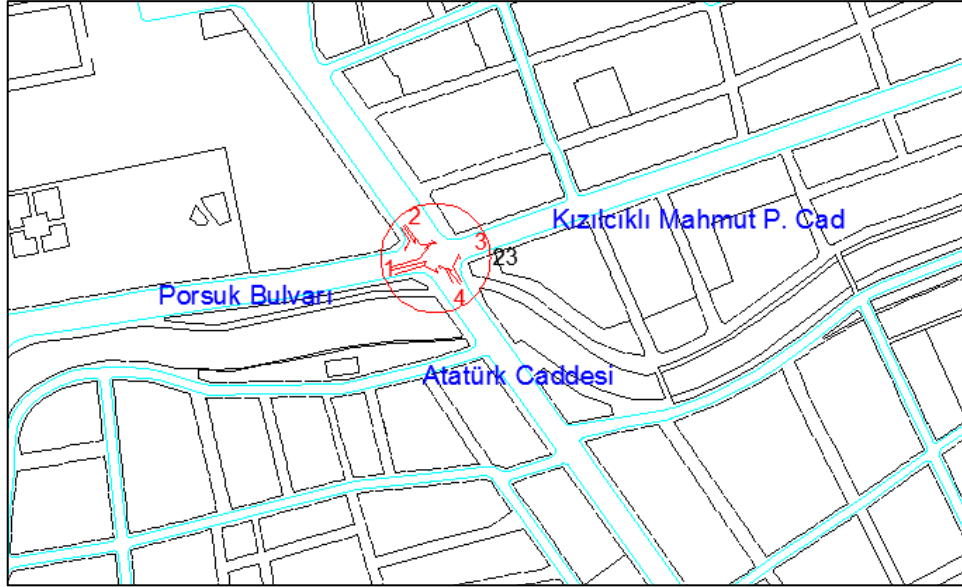
Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
3-1							2. KOL	
16:45-17:00	33		3		36		16:45-17:00	253
17:00-17:15	45		4	3	52		17:00-17:15	311
17:15-17:30	58		11	1	70		17:15-17:30	336
17:30-17:45	39		10		49		17:30-17:45	311
3-2					207	1.93	TOPLAM	1211
16:45-17:00	196	1	18	2	217		MAK 15DK	1344
17:00-17:15	230	2	27		259		ZSF	0.90
17:15-17:30	231	2	31	2	266			
17:30-17:45	235	1	25	1	262			
					1004	1.10		

14 NUMARALI M.K. ATATÜRK CAD-BASIN ŞEHİTLERİ CAD. KAVŞAĞI

Çizelge A.15 14 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
1-2							2. KOL	
16:45-17:00	20		6		26		16:45-17:00	61
17:00-17:15	31		6		37		17:00-17:15	83
17:15-17:30	19		7		26		17:15-17:30	69
17:30-17:45	25		3		28		17:30-17:45	60
1-3					117	0	TOPLAM	273
16:45-17:00	31	1	2	1	35		MAK 15DK	332
17:00-17:15	36		9	1	46		ZSF	0.82
17:15-17:30	37	1	5		43			
17:30-17:45	26		6		32			
					156	2.56		

23 NUMARALI (ELMS) M.K. ATATÜRK CAD.-KIZILCIKLI M. PEHLİVAN CAD.
KAVŞAĞI



Şekil A.4 23 numaralı kavşakta akım yönleri

Çizelge A.16 23 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
1-2							3. KOL	
16:45-17:00	6		2		8		16:45-17:00	115
17:00-17:15	8		1		9		17:00-17:15	121
17:15-17:30	13	1	3		17		17:15-17:30	131
17:30-17:45	22		1	1	24		17:30-17:45	141
1-3					58	3.45	TOPLAM	508
16:45-17:00	90		12		102		MAK 15DK	564
17:00-17:15	82		20		102		ZSF	0.90
17:15-17:30	94		16		110			
17:30-17:45	101		12		113			
1-4					427	0.00		
16:45-17:00	5				5			
17:00-17:15	8		2		10			
17:15-17:30	3		1		4			
17:30-17:45	3		1		4			
					23	0.00		

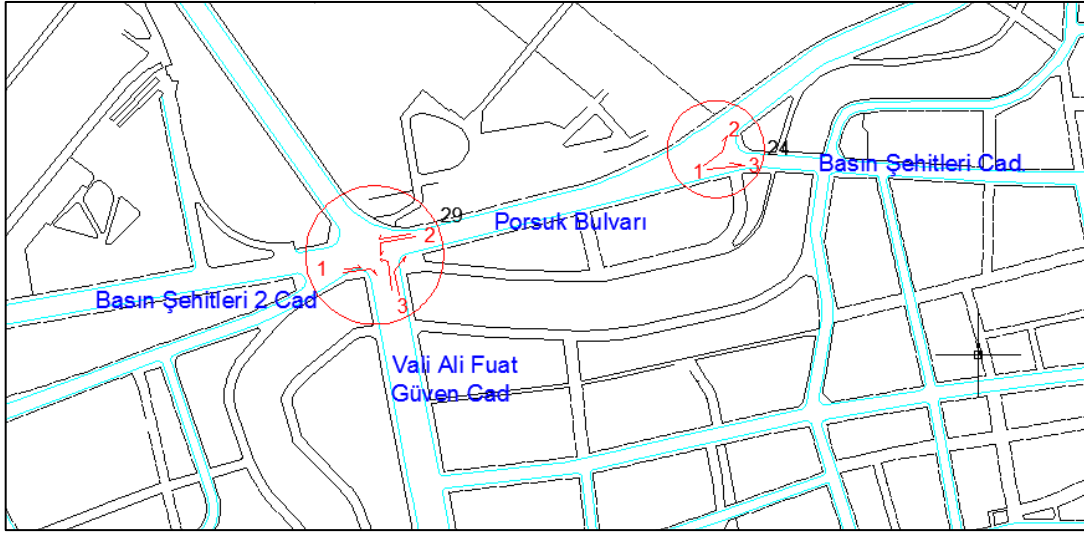
Çizelge A.17 23 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
2-1							3. KOL	
16:45-17:00	76		17	1	94		16:45-17:00	381
17:00-17:15	81	1	31		113		17:00-17:15	339
17:15-17:30	78	1	11	1	91		17:15-17:30	300
17:30-17:45	86	1	19	1	107		17:30-17:45	373
2-3					405	1.48	TOPLAM	1393
16:45-17:00	88		2		90		MAK 15DK	1524
17:00-17:15	35				35		ZSF	0.91
17:15-17:30	11		11		22			
17:30-17:45	39		4		43			
2-4					190	0.00		
16:45-17:00	166		31		197			
17:00-17:15	174	1	16		191			
17:15-17:30	155		32		187			
17:30-17:45	203	1	19		223			
					798	0.25		

Çizelge A.18 23 numaralı kavşak 4 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
4-1							3. KOL	
16:45-17:00	20	1	2		23		16:45-17:00	298
17:00-17:15	42	1	2		45		17:00-17:15	295
17:15-17:30	48	1	6		55		17:15-17:30	313
17:30-17:45	30	1	5		36		17:30-17:45	333
4-2					159	2.52	TOPLAM	1239
16:45-17:00	15		5		20		MAK 15DK	1332
17:00-17:15	13		3		16		ZSF	0.93
17:15-17:30	26		2		28			
17:30-17:45	35		5		40			
4-3					104	0.00		
16:45-17:00	227		27	1	255			
17:00-17:15	203		30	1	234			
17:15-17:30	202		27	1	230			
17:30-17:45	200		55	2	257			
					976	0.51		

24 NUMARALI PORSUK BULVARI-BASIN ŞEHİTLERİ CAD. KAVŞAĞI



Şekil A.5 24 ve 29 numaralı kavşaklarda akım yönleri

Çizelge A.19 24 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
1-2							2. KOL	
16:45-17:00	114	1	9	1	125		16:45-17:00	202
17:00-17:15	111	1	7		119		17:00-17:15	188
17:15-17:30	103	4	1	2	110		17:15-17:30	187
17:30-17:45	132		6	1	139		17:30-17:45	215
1-3					493	2.03	TOPLAM	792
16:45-17:00	67	1	9		77		MAK 15DK	860
17:00-17:15	61		8		69		ZSF	0.92
17:15-17:30	68		9		77			
17:30-17:45	65		11		76			
					299	0.33		

29 NUMARALI VALİ ALİ FUAT GÜVEN CAD - PORSUK BULVARI - BASIN
ŞEHİTLERİ 2 CAD. KAVŞAĞI

Çizelge A.20 29 numaralı kavşak 1 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
1-2							2. KOL	
16:45-17:00	59	1	32		92		16:45-17:00	171
17:00-17:15	73	1	30		104		17:00-17:15	190
17:15-17:30	63		29		92		17:15-17:30	165
17:30-17:45	53		32		85		17:30-17:45	180
1-3					373	0.54	TOPLAM	706
16:45-17:00	51	2	22	4	79		MAK 15DK	760
17:00-17:15	54	4	25	3	86		ZSF	0.93
17:15-17:30	46	3	23	1	73			
17:30-17:45	71	1	21	2	95			
					333	6.01		

Çizelge A.21 29 numaralı kavşak 2 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
2-1							2. KOL	
16:45-17:00	48	1	23	1	73		16:45-17:00	160
17:00-17:15	57	2	25		84		17:00-17:15	175
17:15-17:30	38	1	24	1	64		17:15-17:30	168
17:30-17:45	53	1	29	1	84		17:30-17:45	187
2-3					305	2.62	TOPLAM	690
16:45-17:00	67	1	18	1	87		MAK 15DK	748
17:00-17:15	74	1	15	1	91		ZSF	0.92
17:15-17:30	90		13	1	104			
17:30-17:45	83	2	16	2	103			
					385	2.34		

Çizelge A.22 29 numaralı kavşak 3 numaralı akım trafik sayımları

Akım	Otomobil	Otobüs	Minibüs Panelvan	Kamyon Tır	TOPLAM	Ağır taş. oranı		
3-1							2. KOL	
16:45-17:00	82	1	44	9	136		16:45-17:00	236
17:00-17:15	97	4	43	2	146		17:00-17:15	240
17:15-17:30	89	3	42	5	139		17:15-17:30	258
17:30-17:45	93	6	44	5	148		17:30-17:45	255
3-2					569	6.15	TOPLAM	989
16:45-17:00	90	1	9		100		MAK 15DK	1032
17:00-17:15	83		10	1	94		ZSF	0.96
17:15-17:30	108	1	9	1	119			
17:30-17:45	99		8		107			
					420	0.95		