

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TRAFİK YÖNETİMİNDE KAVŞAK TRAFİĞİNİN
KONTROLÜ İÇİN BİR SİNYAL ZAMANLAMA MODELİ**

Endüstri Mühendisi Hamza Şamil DAĞÜSTÜ

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ceyda GÜNGÖR ŞEN

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTIMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
1.2 Terimler ve Tanımlar.....	3
2. AKILLI TRAFİK SİSTEMLERİ	7
2.1 Sinyalizasyon Sistemi.....	7
2.1.1 İzole Sinyalizasyon Sistemleri	7
2.1.1.1 Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemleri.....	7
2.1.1.2 Trafik Uyarımalı Sinyalizasyon Sistemleri	8
2.1.1.3 Yaya Uyarımalı Sinyalizasyon Sistemi	9
2.1.1.4 El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemleri	9
2.1.2 Koordine Sinyalizasyon Sistemleri	10
2.1.2.1 Senkronize (Eş Zamanlı) Sistem	11
2.1.2.2 Alternatif Sistem.....	12
2.1.2.3 Progresif (Kesintisiz) Sistem.....	13
2.1.2.4 Arazi Trafik Kontrol Sistemi.....	14
2.2 Şerit Yönetim Sistemi	15
2.3 Trafik Ölçüm ve Bilgilendirme Sistemleri.....	17
2.3.1 Trafik Ölçüm Sistemi	17
2.3.2 Trafik Bilgilendirme Sistemi.....	17
2.4 Değişken Mesaj Sistemi	17
2.5 Elektronik Denetleme Sistemi.....	17
2.5.1 Kırmızı Işık Denetleme Sistemi	18
2.5.2 Hız Denetleme Sistemi	18
2.5.3 Emniyet Şeridi Denetleme Sistemi.....	18
2.5.4 Park Denetleme Sistemi	18
2.6 Trafik Kontrol Merkezi	18
2.7 Tünel Yönetim Sistemi.....	19

3.	SİNYALİZE SİSTEMLER ve ÇEVİRİM SÜRESİ HESABI.....	21
3.1	Webster (İngiliz) Yöntemi ile Sinyalizasyon Hesabı	22
3.1.1	Webster Kapasite ve Doygun Akım Hesabı.....	22
3.1.2	Kayıp Zaman Hesabı	25
3.1.3	Doygunluk Derecesi	25
3.1.4	Gecikme.....	25
3.1.5	Devre Süresi	26
3.1.6	Yeşil Süre	27
3.2	Akçelik (Avustralya) Yöntemi	27
3.2.1	Akımlar ve Fazlar	27
3.2.2	Sinyal Devresi	29
3.2.3	Akım Karakteristikleri.....	30
3.2.4	Kritik Akımlar	31
3.2.5	Kavşak Kayıp Zamanı	32
3.2.6	Kapasite ve Doygunluk Derecesi	33
3.2.7	Avustralya Yöntemiyle Sinyalizasyon Hesabı Adımları ve Devre Hesabı.....	35
3.2.8	Doygun Akım ve Kayıp Zaman Hesapları	38
3.2.9	Performans Ölçüleri	38
3.3	HCM (Amerikan) Yöntemi	40
3.3.1	Kapasite ve Hizmet Düzeyi	40
3.3.2	Hesap Yöntemi	43
3.3.2.1	Giriş Modülü	44
3.3.2.2	Hacim Düzeltme Modülü	45
3.3.2.3	Doygun Akım Modülü	48
3.3.2.4	Kapasite Analiz Modülü.....	55
3.3.2.5	Hizmet Düzeyi Modülü	56
4.	SİNYAL ZAMANLAMA ALGORİTMASI ve İSTANBUL UYGULAMASI.....	61
4.1	İstanbul'da Ulaşım ve Trafik.....	61
4.2	İstanbul'daki Sinyalize Kavşaklar.....	62
4.3	Uygulama Alanı	63
4.4	Çalışma Yöntemi.....	68
4.4.1	Sinyal Zamanlama Algoritması.....	68
4.4.2	Araç Sayımı	72
4.4.3	Geliştirilen Algoritma ile Örnek Kavşaklarda Sinyal Sürelerinin Hesaplanması	74
4.4.3.1	Doygun Akımlar	75
4.4.3.2	Devre Sürelerinin Hesaplanması	80
5.	UYGULAMA SONUÇLARININ ANALİZİ	86
5.1	Trafik Simülasyonu İhtiyacı	86
5.2	PARAMICS Trafik Simülasyonu.....	88
5.3	AIMSUN VI Trafik Simülasyon Programı	90
5.4	TSIS (Traffic Software Integrated System).....	91
5.4.1	VISSIM Simülasyon ve Analiz Programı	92

5.5	SYNCHRO ve SimTraffic Simülasyon ve Analiz Programı	93
5.6	TRANSYT-7F.....	93
5.7	Trafik Simülasyon Yazılımlarının Karşılaştırılması	94
5.8	Performans Kriterlerinin Belirlenmesi	97
5.9	Kavşaklardaki Mevcut Sürelerin Analizi	97
5.10	Algoritma İle Hesaplanan Sürelerin Analizi	100
5.11	Mevcut Süreler ile Hesaplanan Sürelerin Karşılaştırılması	101
5.12	Balmumcu Camhan Kavşağındaki İyileşmenin Barbaros Arterine Etkisinin İncelenmesi.....	104
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	109
7.	KAYNAKLAR.....	111
EKLER	113
Ek 1	Kavşak Sayım Formu Özetleri.....	113
Ek 2	Sinyal Zamanlama Yazılımı Kodları	118
ÖZGEÇMİŞ	124

SİMGE LİSTESİ

Q	Kavşaktan geçen akımın kapasitesi
G	Yeşil ve sarı periyot (sn)
g	Etkin yeşil süre (sn)
C	Devre süresi (sn)
C_0	Optimum devre süresi
l	Kayıp süre (sn)
L	Toplam kayıp zaman
S	Doygun Akım (araç/saat)
Q_i	Kavşakta i. koldan geçen taşıt sayısı (taşıt/saat)
d	Her koldaki her bir taşıt için ortalama gecikme
λ	Etkin yeşil sürenin devre süresine oranı
x	Doygunluk derecesi
N_0	Araç cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu
T_f	Akım süresi, yani saat cinsinden zaman, q değerinin elde edildiği süre
QT_f	T_f süresi boyunca geçebilecek maksimum araç sayısı
X	q/Q doygunluk derecesi
X_0	Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doygunluk derecesi
Z	$x-l$
d_g	Eğim katsayısı
w	Kavşak girişlerindeki şerit genişliği (m)
f	Şeritte dönüş yapan taşıtların oranı
c	Kapasite
f_w	Şerit genişliği düzeltme faktörü
f_{HV}	Ağır taşıt düzeltme faktörü
q	Maksimum akım değeri
r	Dönüş yarıçapı
U	Şerit kullanım faktörü
X	Doyma derecesi

KISALTMA LİSTESİ

AT	Ağır Taşıt
ATS	Akıllı Trafik Sistemleri
ATMS	İleri Trafik Yönetim Sistemi
CFP	Cycle Flow Profiles – Devre Akım Profilleri
DMS	Değişken Mesaj Sistemi
EDS	Elektronik Denetleme Sistemi
EYS	Engelli Yaya Sistemi
FHWA	ABD Federal Yol İdaresi
HCM	Highway Capacity Manual
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
PHF	Pik Saat Faktörü
RT	Sağa Dönüş
SDK	Yazılım Geliştirme Kiti
SIDRA	Signalized Intersection Design And Research Aid
TOD	Time of Day
TSD	Trafik Sinyal Denetleyicisi
TSIS	Traffic Software Integrated System
TTI	Texas Transportation Institute
TTU	Tam Trafik Uyarmalı
YTU	Yarı Trafik Uyarmalı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Senkronize Sistem (Murat, 1996).....	12
Şekil 2.2 Alternatif Sistem (Murat, 1996).....	13
Şekil 2.3 Progresif Sistem	14
Şekil 2.4 Şerit Kontrol Sistemi Genel Yapısı.....	15
Şekil 2.5 Tek şeritte kaza durumunda şerit yönetim sisteminin işleyişi.....	16
Şekil 2.6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi TKM Haberleşme Yapısı	19
Şekil 3.1 İngiliz yöntemine göre doymuş akım grafiği.....	22
Şekil 3.2 Örnek faz diyagramı.....	28
Şekil 3.3 Sinyal Devre Diyagramı.....	29
Şekil 3.4 Temel model ve tanımlamalar.....	30
Şekil 3.5 Kritik Akım Arama Diyagramı Örneği	32
Şekil 4.1 2270 Beşiktaş Yıldız Conrad Kavşağı	64
Şekil 4.2 1150 Bakırköy Vankulu Sokağı Kavşağı.....	65
Şekil 4.3 2214 Beşiktaş Balmumcu Camhan Kavşağı	65
Şekil 4.4 1159 Fatih Akdeniz Kavşağı	66
Şekil 4.5 2224 Şişli Teşvikiye Karakol Kavşağı.....	66
Şekil 4.6 Barbaros Arteri	67
Şekil 4.7 Çalışma Genel Yapısı.....	69
Şekil 4.8 Doymuş Akım Değeri Hesaplama Algoritması	70
Şekil 4.9 Sinyal Zamanlama Algoritması.....	71
Şekil 4.10 Numaralandırılmış kavşak kolları örneği.....	72
Şekil 4.11 Yıldız Conrad Kavşağı trafik hacimlerinin görsel ifadesi.....	74
Şekil 4.12 Yıldız Conrad Kavşağı akım numaraları.....	75
Şekil 4.13 Vankulu Sokağı Kavşağı akım numaraları.....	76
Şekil 4.14 Balmumcu Camhan Kavşağı akım numaraları.....	77
Şekil 4.15 Fatih Akdeniz Caddesi Kavşağı akım numaraları.....	78
Şekil 4.16 Beşiktaş Darphane 2 Kavşağı akım numaraları	79

Şekil 4.17 Şişli Teşvikiye Karakol Kavşağı akım numaraları.....	80
Şekil 4.18 2270 Yıldız Conrad Kavşağı Hesaplanan Faz Planı	81
Şekil 4.19 1150 Bakırköy Vankulu Kavşağı Hesaplanan Faz Planı	82
Şekil 4.20 2214 Balmumcu Camhan Kavşağı Hesaplanan Faz Planı	83
Şekil 4.21 1159 Fatih Akdeniz Caddesi Kavşağı Hesaplanan Faz Planı.....	84
Şekil 4.22 2224 Teşvikiye Karakol Kavşağı Hesaplanan Faz Planı	85
Şekil 5.1 Simülasyon Yazılımının Karakteristik Bileşenleri (TÜBİTAK, 2003)	87
Şekil 5.2 2270 Yıldız Conrad Kavşağı Mevcut Faz Planı.....	98
Şekil 5.3 1150 Bakırköy Vankulu Sokağı Kavşağı Mevcut Faz Planı.....	99
Şekil 5.4 2214 Balmumcu Camhan Kavşağı Mevcut Faz Planı.....	99
Şekil 5.5 1159 Fatih Akdeniz Caddesi Kavşağı Mevcut Faz Planı	100
Şekil 5.6 2224 Şişli Teşvikiye Karakol Kavşağı Mevcut Faz Planı.....	100

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Doymun Akıma Yöre Etkisi.....	25
Çizelge 3.2 Faz-Akım Matrisi	29
Çizelge 3.3 Kritik akım araştırma çizelgesi.....	35
Çizelge 3.4 Sinyalize Kavşaklarda Hizmet Düzeyi-Gecikme Süresi İlişkisi (Murat, 1996)....	43
Çizelge 3.5 Çözüm Yöntemi Aşamaları	44
Çizelge 3.6 Analiz için tipik şerit grupları	47
Çizelge 3.7 Şerit Kullanım Faktörü	48
Çizelge 3.8 Şerit genişliği için düzeltme faktörleri	49
Çizelge 3.9 Ağır taşıtlar için düzeltme faktörü	49
Çizelge 3.10 Eğim düzeltme faktörleri.....	50
Çizelge 3.11 Park için düzeltme faktörü	50
Çizelge 3.12 Otobüs blokaj (engelleme) faktörü.....	50
Çizelge 3.13 İlerleme faktörü	57
Çizelge 3.14 Hizmet düzeyi belirleme tablosu	58
Çizelge 4.1 İstanbul Ulaşım İstatistikleri	61
Çizelge 4.2 Mevcut Ulaşım Türleri Dağılımı	62
Çizelge 4.3 Kontrol Tipine Göre Kavşak Sayıları.....	63
Çizelge 4.4 Kavşak Sayım Formu Özeti	73
Çizelge 4.5 Yıldız Conrad Kavşağı doymun akım değerleri.....	75
Çizelge 4.6 Vankulu Sokağı Kavşağı doymun akım değerleri.....	76
Çizelge 4.7 Balmumcu Camhan Kavşağı doymun akım değerleri.....	77
Çizelge 4.8 Fatih Akdeniz Caddesi Kavşağı doymun akım değerleri.....	78
Çizelge 4.9 Beşiktaş Darphane 2 Kavşağı doymun akım değerleri.....	79
Çizelge 4.10 Şişli Teşvikiye Karakol Kavşağı doymun akım değerleri.....	80
Çizelge 4.11 Yıldız Conrad Kavşağı Hesaplanan Sinyal Planı	81
Çizelge 4.12 Bakırköy Vankulu Sokak Kavşağı Hesaplanan Sinyal Planı	82
Çizelge 4.13 Balmumcu Camhan Kavşağı Hesaplanan Sinyal Planı	83

Çizelge 4.14 Fatih Akdeniz Caddesi Kavşağı Hesaplanan Sinyal Planı	84
Çizelge 4.15 Teşvikiye Karakol Kavşağı Hesaplanan Sinyal Planı	85
Çizelge 5.1 Bazı Simülasyon Modelleri ve Genel Özellikleri (Ratrou ve Rahman, 2009).....	95
Çizelge 5.2 Simülasyonlar ile ilgili karşılaştırma çalışmaları (Ratrou ve Rahman, 2009)	96
Çizelge 5.3 Mevcut durum performans tablosu.....	98
Çizelge 5.4 Hesaplanan sürelerin performans tablosu.....	101
Çizelge 5.5 Yıldız Conrad Kavşağı performans değerleri karşılaştırma tablosu	102
Çizelge 5.6 Bakırköy Vankulu Sokak Kavşağı performans değerleri karşılaştırma tablosu..	102
Çizelge 5.7 Balmumcu Camhan Kavşağı performans değerleri karşılaştırma tablosu	103
Çizelge 5.8 Fatih Akdeniz Kavşağı performans değerleri karşılaştırma tablosu	103
Çizelge 5.9 Teşvikiye Karakol Kavşağı performans değerleri karşılaştırma tablosu.....	104
Çizelge 5.10 Mevcut Yeşil Dalga diyagramı.....	105
Çizelge 5.11 Modele göre hesaplanan Yeşil Dalga diyagramı.....	106
Çizelge 5.12 Barbaros Arteri Performans Karşılaştırma Tablosu	107
Çizelge 5.13 Barbaros Arteri Performans Karşılaştırma Tablosu	108

ÖNSÖZ

Kent yaşamının kaçınılmaz bir parçası olan trafik, sürücü ve yolcular için gün geçtikçe büyüyen bir problem haline gelmektedir. Kent içi trafiğinin yönetimi ile ilgili parametreler arasında en çok karşılaşılan ve trafiği en çok etkileyenlerden biri sinyalizasyon kavşaklarıdır. Çeşitli nedenlerle tesis edilen sinyalizasyon kavşakları pek çok pozitif etkilerinin yanında araçları durdurarak geciktirmek gibi negatif bir etkiye de sahiptir. Bu gecikmelerin minimize edilmesi şüphesiz sinyal zamanlamasının doğru hesaplanmasına bağlıdır. Bu tez çalışmasında taşıt başına ortalama gecikmeyi en küçükleyen bir sinyal zamanı hesaplama algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritma çeşitli sinyalizasyon kavşaklarında uygulanmış ve algoritmanın performansı simülasyon yöntemiyle ölçülmüştür.

Öncelikle bu tez çalışmasını hazırlama sürecinde çalışmalarımı ilgili rehberlik, tavsiye ve değerli birikimleri ile desteğini esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ceyda GÜNGÖR ŞEN'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tezle ilgili çalışmalarım sürecinde derin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocalarım Doç. Dr. Y. Şazi MURAT ve Doç. Dr. Halim CEYLAN'a, çalışmalarım esnasında yapıcı eleştirileri ile tezime destek olan hocam Prof. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL'e ve tüm katkı ve destekleri nedeni ile Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü akademik personeline şükranlarımı sunarım.

Araştırmalarım esnasında çok değerli verilere ulaşmamda büyük katkıları olan İSBAK A.Ş. Trafik Uygulama Müdürü Yusuf KOTİL, İETT Makine ve Malzeme İkmal Daire Başkanı Dr. Maşuk METE ve İSBAK A.Ş. Sinyalizasyon Sistemleri Şefi Ercan EROL'a, tüm yoğunluklarına rağmen çalışmalarına katkıda bulunan başta Trafik Y. Mühendisi Şefika BIYIKLI, Uzak Yol Mühendisi Dr. Hüseyin ALP, Bilgisayar Mühendisi Nihat KOÇYİĞİT, Harita Mühendisi Hakan ATAK ve sinyalizasyon programlama uzmanları Mustafa ERDOĞAN, Kamil KARA ve Tolga ŞEN olmak üzere tüm İSBAK A.Ş. yönetici ve çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Çalışmamın başlangıcından beri teşviklerini esirgemeyen değerli hocam İETT Genel Müdürü Yrd. Doç. Dr. Hayri BARAÇLI ve değerli kayınpederim İETT eski Genel Müdürü Raif YETİM'e tüm katkılarından dolayı şükranlarımı sunarım.

Son olarak arkadaşlığın gücü ve sinerji sayesinde ellerinden gelenden fazlası ile destek olan arkadaşlarım Elektronik Haberleşme Y. Mühendisi Cengiz BEKTAŞ ve Aykut ŞENSOY'a, moral ve motivasyon konusundaki desteklerinden dolayı değerli ağabeyim Uzak Yol Vardiya Y. Mühendisi M. Aydın CENGİZ'e, bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan annem, babam, ağabeyim ve ablama, tez çalışmam esnasında her türlü fedakarlığı gösteren sevgili eşim Şeyma DAĞÜSTÜ'ye sonsuz teşekkürler.

Ekim 2010

ÖZET

Kavşaklar kent içi trafiğinin kontrolünde çok önemli bir role sahiptir. Kent içinde kavşakların kontrolü ise sinyalizasyon sistemleri ile sağlanır. Bir sinyalizasyon sisteminin güvenlikten sonraki en önemli performans kriteri araç gecikmeleridir. Kavşağın performansının yükselmesi ortalama araç gecikmesinin azaltılmasına bağlıdır.

Bu çalışmada kent içi trafiğinin kontrolünde önemli role sahip olan sinyalize kavşaklar için Webster metodu kullanılarak sinyal zamanlama algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma kullanılarak İstanbul'daki bazı sinyalize kavşakların devre süresi hesaplanmıştır. Bu algoritma ile hesaplanan süreler; mevcut durumda kullanılan süreler ile VISSIM trafik analiz ve simülasyon programında analiz edilmiş ve bazı performans kriterlerine göre karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırmada performans kriteri olarak taşıt başına ortalama gecikme süresi, ortalama duruş sayısı, ortalama durma süresi, toplam CO ve NO_x emisyonu, yakıt tüketimi, gözlenen bir saatlik süre içinde kavşağı terk eden taşıt sayısı ve toplam seyahat süresi alınmıştır. Hesaplanan süreler uygulandığında kavşağın performansında iyileşmeler olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Ulaştırma Sistemleri, Trafik, Sinyalizasyon, Simülasyon, Webster Yöntemi, Sinyal Zamanlama Teknikleri.

ABSTRACT

Intersections play a very important role on urban traffic control. Control of intersections is performed by signalization systems. The second most important performance indicator for a signalization system is delay time for vehicles where the most important one is safety. Increase of performance of the intersection is strongly related with the decrease of the average delay time per vehicle.

In this study a signal timing algorithm based on Webster Method has been developed for the signalized intersections which are very important for urban traffic control. Using this algorithm cycle times of some signalized intersections in Istanbul have been calculated. The results and existing cycle times have been analyzed on VISSIM traffic analysis and simulation software and they have been compared with the existing cycle times according to some performance indicators.

Performance indicators for comparison are; average delay time per vehicle, average number of stops per vehicle, CO and NO_x emissions, fuel consumption, number of vehicles that have left the network and total travel time. When the calculated signal plans are applied on the intersection, some improvements occur on the performance of intersection.

Keywords: Intelligent Transportation Systems, Traffic, Signalization, Simulation, Webster Method, Signal Timing Methods.

1. GİRİŞ

Günümüzde, tipik bir kent içi ulaşımının taşıt-km birimiyle değerlendirildiğinde üçte ikisi, taşıt-saat birimiyle değerlendirildiğinde üçte ikisinden daha büyük bir oranı, ışıklı işaretler ile kontrol edilen karayolu ağlarında gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, kent içi karayolu ulaşımının performansı büyük ölçüde karayolu trafiğinin kontrolünde elde edilen başarıya, karayolu trafiğinin kontrolündeki başarı ise, trafik ışıklarının kontrolünde sağlanacak kaliteye bağlıdır (Akdoğan, 2001).

Sinyal sürelerinin hesaplanması üzerine uygun tekniklerin geliştirilmesi Webster'ın orijinal çalışması ile başlar (Webster, 1958; Webster ve Cobbe, 1966). Bu çalışmadan itibaren, sinyal sürelerinin hesaplanması için kullanılan analitik yöntemler, performans geliştirme amacına yönelik geliştirilmeye devam edilmiştir. İngiliz yöntemi olarak da bilinen Webster metodundan sonraki yıllarda, literatürde duyurusu yapılan ikinci bir analitik model de Akçelik modeli olarak da adlandırılan Avustralya modeli olmuştur. Devre süresi ve faz sürelerinin hesaplanmasında Avustralya yöntemi, Webster modeline benzer özellik göstermektedir (Akdoğan, 2001; Akbaş, 2001; Akçelik, 1994; Akçelik, 1995).

Trafik kontrol teknikleri 1980'li yıllarda yarı iletken ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle beraber büyük ilerlemeler kaydetmiş, 1990'lı yıllara gelindiğinde ise ileri trafik yönetim sistemine (Advanced Traffic Management System ATMS) ilişkin uygulamaların kullanımı hızla yaygınlaşmıştır (Ağırdır, 1998). Bilgisayar teknolojisindeki bu ilerlemeler, trafiğin analiz edilmesinde pek çok yazılım programlarının gelişmesini sağlamıştır.

Türkiye'de kavşak kontrolü ve sinyalizasyon hesaplamalarına ilişkin yapılan çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Özdirim (1972) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Ankara ve İstanbul'da yapılan kavşak ve trafik sayımlarının esas alındığı bir devre süresi modeli geliştirmiş ve bir sinyal abağı tasarlanmıştır.

Murat (1996) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Denizli şehiriçi kavşaklarındaki trafik akımları İngiliz ve Avustralya yöntemlerine dayanan iki farklı program ile incelenmiş, yeni süreler ve geometrik düzenlemeler tavsiye edilmiştir.

Gökdağ (1996) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sinyalize kavşaklarda meydana gelen taşıt gecikmelerinin simülasyon modellemesi yapılmıştır.

Zeren (1998) çalışmasında, poisson dağılımı ve zaman aralıkları metodunu kullanarak, sinyalize kavşaklarda mevcut devre sürelerinde geçen araç sayısının % gelme ihtimalini hesaplamıştır.

Ağırdır (1998) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kuyruk teorisinden faydalanılarak sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin belirlenmesinde kullanılabilir bir model geliştirilmiştir.

Demirel (1999) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sinyalize kavşaktaki trafik ışıklarının analizi için yapay zeka ile bütünleşik zeki simülasyon ortamı tasarlanmıştır.

Akbas (2001) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kritik kavşakların kontrolü için kullanılabilir tam trafik uyarmalı bir kontrol modeli geliştirilmiştir.

Murat (2001) çalışmasında, izole olarak düzenlenmiş sinyalize kavşakların denetiminde kullanılabilir bir denetleyici modeli geliştirmiştir.

Akdogan (2001) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sinyalize kavşakların kontrolünde kullanılabilir bir kavşak kontrol cihazı tasarlanmıştır.

Öztürk (2004) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Ankara için bir devre süresi hesaplama modeli geliştirilmiştir.

Bu çalışmada ise, Webster metodunu temel alan bir sinyal devre süresi hesaplama algoritması geliştirilmiştir. Algoritma ortalama araç gecikmesini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada bu algoritma ile İstanbul'da bulunan bazı kavşaklarda; hafta içi normal bir işgününde, sabah pik saatlerinde (08.00 - 09.00 saatleri arası) trafik sayımları veri olarak kullanılarak devre süresi hesaplanmıştır. Bu süre; mevcut durumdaki kavşağın sinyal süresi ile karşılaştırılmıştır. Kavşağın mevcut devre süresi ile hesaplanan sürenin simülasyon ortamında karşılaştırılması için VISSIM 5.1 mikro simülasyon programı kullanılmıştır. Performans kriteri olarak taşıt başına ortalama gecikme süresi, ortalama duruş sayısı, ortalama durma süresi, toplam CO ve NO_x emisyonu, yakıt tüketimi, gözlenen bir saatlik süre içinde kavşağı terk eden taşıt sayısı ve toplam seyahat süresi alınmıştır.

1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada amaç kapasite ve hacimleri belirlenen sinyalize kavşaklarda optimum devre süresini hesaplayacak bir algoritma geliştirilerek kavşak performansını iyileştirmektir. Uygulama yapılan kavşak için hesaplanan süreler arter boyunca takip eden kavşaklara yeşil dalga ile uygulanarak kavşaktaki değişimin arter performansına etkisi ölçülmüştür.

1.2 Terimler ve Tanımlar

Aşağıda bu tez çalışmasında kullanılan terimler ve tanımları verilmektedir (Öztürk, 2004; Demir, 2006; Tunç, 2003):

Akım: Yönü, şerit işgali ve faz durumu ile karakterize edilen kavşağa gelen her bir ayrı kuyruk.

Anayol: Ana trafiğe açık olan ve bunu kesen karayolundaki trafiğin bu yolu geçerken veya bu yola girerken ilk geçiş hakkını vermesi gerektiği işaretlerle belirlenmiş karayoludur.

Ana Arter: Kavşakları eş düzey (aynı düzlemde) ve komşu araziye doğrudan giriş çıkışı olan ve doğrudan trafiğin güvenle akımını kolaylaştıran, geometrik standart ve trafik kontrol önlem ve taşıtların bulunduğu karayoludur.

Kavşak: İki veya daha fazla karayolunun kesişmesi veya birleşmesi ile oluşan ortak alandır.

Bağlantı Yolu: Bir kavşak yakınında karayolu taşıt yollarının birbirine bağlanmasını sağlayan, kavşak alanı dışında kalan bir yönlü trafiğe ayrılmış olan karayolu kısmıdır.

Yeşil Dalga: Taşıtların her kavşakta yeşil sinyal bulabilmeleri için zaman-uzaklık diyagramı üzerinde sınırları içinde bulunmaları gereken alandır.

Doygun Akım: Sinyalize bir kavşakta sürekli bir kuyruk bulunması halinde ve kesintisiz geçiş hakkı koşulları altında sabit bir hızla boşalan akımdır.

Doygun Akım Hacmi: Doygun akım koşulları altında, bir saatlik yeşil ışık süresi içinde geçebilecek toplam otomobil birimi sayısıdır.

Doygunluk Derecesi: Bir yaklaşım yönündeki gerçek akım değerinin kapasite değerine olan oranıdır.

Efektif Yeşil Süre: Taşıt ve sürücülerden kaynaklanan doğal kayıplar olmadığı varsayılarak hesaplanan yeşil süredir.

Etkili (Dominant) Akım: Birbirini izleyen her fazdaki değişik trafik akımlarından otomobil eşdeğer birimi olarak en yüksek yüklerin bulunduğu akımdır.

Faz: Bir veya daha fazla akımın geçiş hakkına sahip olduğu sinyal devresinin parçasıdır.

Filtre: Ünite merceğinin gerisine yerleştirilen kendinden renkli mercekler üzerinde herhangi bir şekil veya yazı oluşturan, renksiz merceklerde ise renkli görünüm sağlayan donanımdır.

Gecikme: Bir taşıtın bir kavşak veya kontrol edilen bir kesimde, diğer taşıtlar, geometrik özellikler ve kontrol sistemleri nedeniyle kaybettiği zamandır.

Hizmet Düzeyi: Hız, seyahat süresi, trafik kesiklikleri, manevra serbestliği, güvenlik, sürüş konforu ve işletme masraflarını içine alan çeşitli faktörlerin etkilerinin kalite ile ilgili ölçüsüdür.

Her Yöne Kırmızı Süre: Bir sinyalizasyon tesisinde birbiri ile kesişen bütün taşıt ve yaya cephelerinde ayanı anda kırmızı ışıklı sinyalin yer aldığı süredir.

İzole Sistem: Diğer sistemlerle herhangi bir ilişkisi bulunmayan ve tek başına çalışan sinyalizasyon sistemidir.

Karşı Akım: Yeşil periyod esnasında karşı akım daha öncelikli akıma geçiş hakkı vermek zorundadır. Genellikle, karşı araç ya da yaya akımına geçiş hakkı veren Sağa veya sola dönen akım olabilir.

Kapasite: Herhangi bir yol, kavşak veya trafik şeridinin birim zaman içinde geçirebileceği maksimum taşıt sayısıdır.

İdeal Kapasite: İdeal şartlarda bir trafik şeridinin bir saatte geçireceği maksimum taşıt sayısıdır.

Maksimum Kapasite: Hakim yol ve trafik koşulları altında bir trafik şeridinin bir saatte geçireceği maksimum taşıt sayısıdır.

Pratik Kapasite: Hakim yol ve trafik koşulları altında, arazi ve trafik şartlarının etkisi sonucu seçilen maksimum kapasiteden daha küçük kapasite değeridir.

Kavşak Dur Çizgisi: Kavşaktan geçiş yapan taşıtların önlerinde durarak diğer taşıtlara ve yayalara yol verdikleri çizgidir.

Kayıp Zaman: Bir devre süresi boyunca devre süresini etkileyen taşıt akımlarını yöneten taşıt cephelerinden hiç birinde yeşil ışık yanmadığı sürelerin toplamıdır.

Kritik Akım: Kavşak için kapasite ve zaman gereklerini belirleyen akımlardır.

Koordine Sistem: Aynı yol üzerindeki en az iki kavşağın birbirine bağlı olarak çalışmasını sağlayan sinyalizasyon sistemidir.

Koruma Süresi: Birbirini izleyen trafik akımlarından kavşağı boşaltan son taşıt veya yay ile kavşağa girecek taşıtın çarpışmamaları için fazlar arasında bırakılması gereken zamandır.

Noktasal Hız: Bir taşıtın bir yol kesiminde belli bir noktadan geçtiği andaki hızıdır.

Otomobil Eşdeğer Birimi: İçinde çeşitli türden taşıt olan bir trafik akımının, sadece otomobil birimi cinsinden ifade edilmesidir.

Periyot Süresi: Sinyalize bir kavşakta ışıkların, bir tam devir yapacak şekilde sıra ile yanıp söndüğü saniye olarak toplam süredir (sinyallerden herhangi birinin gösterdiği rengin kaybolup tekrar ortaya çıkmasına kadar geçen zamandır).

Pik (Zirve) Saat: Trafik akımının gün içinde en fazla olduğu saattir.

Sinyal Devresi: Birbirini izleyen ışıklı sinyallerin bir devridir.

Sinyal Programı: Bir kavşakta karşılaşılan tüm akımların hareketlerini bir süre ve sıra içinde düzenleyen sinyal zamanlamasıdır.

Tam Trafik Uyarmalı Sinyal Düzeni: Kavşaktaki trafik uyarmalarının bütün yaklaşım yönlerinden alınarak, geçiş hakkı sıra ve sürelerinin gerçek trafik taleplerine göre ayarlanmasıdır.

Taşıtlar Arası Aralık (Time Headway): Birbirini izleyen iki taşıtın burunlarının bir noktayı geçerken aralarında kalan zaman birimidir.

Taşıtlar Arası Boşluk: Bir taşıtın en geri noktası ile onu izleyen diğer bir taşıtın burnu arasındaki zaman veya mesafe cinsinden farkıdır.

Taşıtlar Arası Uzaklık (Space Headway): Birbirini izleyen iki taşıtın burunları arasındaki mesafedir.

Taşıtlar Kompozisyonu: Belli bir noktadan geçmekte olan çeşitli taşıt cinslerinin (otomobil, kamyon, minibüs, otobüs vb.) toplam trafik hacmi içindeki oranlarıdır.

Tekrar Akım: İki veya daha fazla sıralı faz ile geçiş hakkı alan akımdır.

Trafik Hacmi: Bir yol kesiminden birim zamanda geçen taşıtların sayısıdır.

Trafik Sayımı: Bir kesitten geçen taşıtların birim zamanda sayısının belirlenmesidir.

Trafik Sinyali: Taşıtlar veya yaya trafiğini düzenleyen ışıklı ve/veya sesli sistemdir.

Trafik Sinyal Denetleyici: Sinyalize kavşakta bulunan trafik ışıkları, dedektörler ve elektronik denetleme sistemleri vb. tüm bileşenlerin yönetimini sağlayan elektronik sistemlerle donatılmış kavşak bileşenidir.

Trafik Şeridi: Karayolunun tek bir sıra taşıta hizmet etmesi öngörülen bölümüdür.

Trafik Uyarmalı Sinyal Düzeni: Geçiş hakkı sıra ve sürelerinin trafik taleplerine uyularak ayarlanmasıdır.

Trafik Yoğunluğu: Taşıtların herhangi bir t anında, birim uzunlukta bir yoldaki sayısıdır.

Trafik Yüğü: Bir yol üzerinde, bir tek şeritten geçen ve aynı yönde gitmekte olan taşıtların birim zaman içindeki sayısıdır.

Yarı Trafik Uyarmalı (YTU) Sinyal Düzeni: Kavşaklardaki trafik uyarmalarının yaklaşım yönlerinin bazılarında alınarak, geğiş hakkı sıra ve sürelerinin buna göre ayarlanmasıdır.

Yeşiller Arası Süre: Bir sinyalizasyon tesisinde, bir fazın yeşil ışık süresinin sonlandırılıp, bunu takip eden fazın yeşil ışık süresinin boşaltılması arasındaki süredir.

2. AKILLI TRAFİK SİSTEMLERİ

Akıllı Trafik Sistemleri (ATS) trafiğin yönetimi, ölçümü ve kontrolü, yol kullanıcılarının bilgilendirilmesi amaçlı geliştirilen sistemlerdir. ATS genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Sinyalizasyon Sistemi
- Şerit Yönetim Sistemi
- Trafik Ölçüm Sistemi
- Değişken Mesaj Sistemi
- Elektronik Denetleme Sistemi
- Trafik Kontrol Merkezi
- Tünel Yönetim Sistemi

Bu bölümde yukarıda listelenen sistemler ayrı ayrı incelenerek açıklanmaya çalışılacaktır.

2.1 Sinyalizasyon Sistemi

Sinyalizasyon sistemleri kavşak trafiğinin kontrolünde kullanılan en yaygın sistemdir. Çalışma prensiplerine göre iki temel gruba ayrılır. Bunlar; izole sistemler ve koordine sistemlerdir.

2.1.1 İzole Sinyalizasyon Sistemleri

Bir kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin, yakınındaki diğer sinyalizasyon kavşaklarla herhangi bir ilişkisi olmadan tek başına çalıştığı sistemdir. İzole sinyalizasyon kavşaklar dört değişik sinyalizasyon sistemi ile oluşturulabilirler. Bunlar aşağıda açıklanmaktadır.

2.1.1.1 Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemleri

Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemleri, önceden zamanları saptanan bir programla faz sıralarının düzenlendiği sistemlerdir. Diğer bir deyişle, bu sistemler kavşağa farklı yönlerden yaklaşan taşıt ve yaya trafiğine önceden hazırlanmış zaman programlarına uygun sıra ile geçiş hakkı vermektedir. Çeşitli yönlerden kavşağa yaklaşan trafiğe verilecek geçiş hakkı süreleri (yeşil süreler) ortalama trafik yükü değerine göre saptanır. Bu nedenle bu sistemin başarılı olabilmesi için mümkün mertebe çok sayıda ve dikkatli trafik sayımlarının yapılması gerekmektedir (Öztürk, 2006). Sabit zamanlı sinyalizasyon sisteminde planlar günün saatlerine bağlı olarak değişken yapıda da uygulanabilir (time of day, TOD). Genelde şehir

merkezlerinde sabah saatlerinde iş merkezlerine doğru yoğun olan trafik, akşam saatlerinde tam ters yöne doğru yoğunlaşmaktadır. Gün içinde ise sabah ve akşam saatleri kadar yoğunluk olmamaktadır. Bu nedenle sabit zamanlı bir sinyalizasyon planlanırken gün içi trafik hareketlerinin değişkenlik gösterdiği saat aralıkları tespit edilerek o aralıklar gözlemlenmelidir. Yapılan gözlemlere göre trafik hareketlerinin değişiklik gösterdiği her dönem için ayrı bir sinyal planı yapılmalıdır.

Plan değişikliğine sadece gün içinde değil, haftanın değişik günlerinde de ihtiyaç duyulabilir. Örneğin haftanın bir günü semt pazarından dolayı bir yönü kapatılan sinyalizasyon kavşağın o gün diğer günlere göre farklı bir planla çalıştırılması gerekmektedir.

Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinin uygulandıkları durumlar:

- Trafik hacimlerinin sık sık ve düzensiz değişimler göstermediği kavşaklarda,
- Anayol-tali yol kavşaklarında anayol trafiğinin uzun süre kesintisiz ve devamlı bir akıma kavuşturulması amacıyla yapılan yeşil dalga sistemi için daha verimli olmaları, olarak ifade edilebilir.

2.1.1.2 Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemleri

Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemleri, devre süresi ile kırmızı ve yeşil ışık süreleri kavşağa giren ve dedektörler yardımı ile belirlenen trafik yoğunluklarına göre ayarlanan sistemlerdir. Bu sistem genel olarak iki türlü uygulanmaktadır:

Yarı-Trafik Uyarmalı Sistemler: Bu sistemlerde tali yol dedektörle gözlenerek sadece araç geldiğinde geçiş hakkı verilmekte ve böylelikle ana yoldaki trafiğin minimum gecikme ile yolu kullanması planlanmaktadır. Tali yoldaki yeşil zaman, taşıtların dedektörden geçişi ile uzamakta ancak maksimum periyodu geçememektedir. Bu sistemde tali yoldan kavşağa giren taşıtlar ana yoldaki trafik için belirsiz ve şaşırtıcı bir durum yaratmaktadır.

Tam-Trafik Uyarmalı Sistemler: Bu tip sinyalizasyon sistemlerinde kavşaktaki bütün yollardan sürekli olarak uyarı alınır ve geçiş hakkı, devre ve faz süreleri bütün yollardan gelen trafik yoğunluklarına göre değiştirilerek otomatik olarak düzenlenir.

Tam-trafik uyarmalı sistemler, trafik yoğunluklarının hemen hemen gerçek değerlerine göre geçiş hakkı sağladıklarından, toplam gecikmeleri minimuma indiren en ideal sistemler olarak görülebilir.

Trafik uyarmalı sistemlerden en yaygın olarak kullanılan sistem süre uzatmalı sistemlerdir. Bu sistemlerde kavşağın faz düzenine göre her yaklaşım kolu için minimum yeşil süre

hesaplanmakta; daha sonra mevcut faz durumuna göre yaklaşım kollarındaki algılayıcılardan alınan verilere göre yeşil süre uzatılmaktadır. Önceden belirlenen maksimum yeşil süreye ulaşıldığında veya taşıt geliş aralıklarında seyrelmeler gözlemlendiğinde faz sona ermekte ve algılayıcılardan alınan verilere dayanarak bir sonraki faza geçilmektedir (Murat, 1996).

2.1.1.3 Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemleri, genellikle kavşaklarda, bazı bağlantı yollarının giriş çıkışlarında ve kavşak olmayan yaya geçitlerinde kurulmaktadır.

Kavşaklardan uzak olan ve yaya akımının düşük olduğu bölgelerdeki yaya geçitlerinde sürekli olarak ya da günün belirli saatlerinde, yayalara güvenli geçiş hakkı sağlamak üzere yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi uygulanabilir. Bu sistemlerde taşıtlara verilen geçiş hakkı yayaların GEÇ butonuna basarak yaptıkları uyarı ile kesilir.

Yaya uyarmalı sistemler kavşaklarda da kullanılabilir. Bu uyarılar, tam ve yarı trafik uyarmalı olarak düzenlenmiş bir sistemin kapsamına alınabileceği gibi, sabit zamanlı olarak çalışan kavşaklarda da yararlı olabilir. Özellikle bazı sabit zamanlı kavşaklarda, zaman kaybını önlemek ve gecikmeleri azaltmak için yayalardan herhangi bir talep gelmediği sürece, bazı yaya cepheleri sürekli olarak kırmızı ışıklı sinyal vermektedir. Bu geçitleri kullanmak isteyen yayalar, geçiş hakkı sağlamak için butona basmak ve beklemek zorundadırlar.

Yaya uyarımları çok kollu kavşaklarda da kullanılabilir. Bu uyarılar yarı veya tam-trafik uyarmalı olarak düzenlenmiş bir sistemin kapsamına alınabildiği gibi, sabit zamanlı olarak çalışan kavşaklarda da yararlı olabilir. Özellikle bazı sabit zamanlı kavşaklarda, zaman kaybını önlemek ve gecikmeleri azaltmak için yayalardan herhangi bir talep gelmediği sürece bazı yaya cepheleri sürekli olarak kırmızı ışıklı sinyal vermektedir. Bu geçitleri kullanmak isteyen yayalar, geçiş hakkı alabilmek için butonlara basmak ve beklemek zorundadır (Murat, 1996).

2.1.1.4 El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemleri

El ile kumandalı sinyalizasyon sistemleri, herhangi bir kavşaktaki bütün ışıklı cephe grupları bir kumanda çizelgesine bağlanarak ışıklı sinyallerin dışarıdan yönetilmesini sağlar. Bu sistem, özellikle sabit zamanlı olarak tesis edilmiş bulunan fakat bazı zamanlardaki trafik akımlarının ortalama değerden büyük sapmalar ve dalgalanmalar gösterdiği kavşaklarda kullanılır. Bu sistem taşıt ve yaya uyarmalı sistemlere benzemekte, fakat talepler dışarıdan gözlem ile belirlenmektedir (Demir, 2006). “El ile kumanda edilen sinyalizasyon sistemi”

denilen bu sistem, özellikle sabit zamanlı olarak tesis edilmiş bulunan fakat bazı zamanlardaki trafik akımlarının ortalama değerlerden büyük sapmalar ve sık dalgalanmalar gösterdiği kavşaklarda kullanılır (Murat, 1996).

2.1.2 Koordine Sinyalizasyon Sistemleri

Artan şehir içi trafik sıkışıklığı ve yeni yollar ve kavşakların inşası için yeterli alanların azalması kentsel trafik yönetiminde trafik sinyal kontrolünün merkezi bir rol oynamasını gerektirmiştir (Dotoli vd., 2001). Bu nedenle yolların kullanım oranının maksimum düzeyde tutularak araç beklemelerinin azaltılması gerekmektedir. Bu da sinyalize kavşakların koordinasyonu neticesinde duruş kalkışların en aza indirilerek, başlangıç kaybının azaltılması ile sağlanabilir. Ayrıca birbirine çok yakın olan sinyalize kavşaklarda biriken araç kuyruklarının kavşak alanlarına taşmamaları için de bir koordinasyon tesis edilebilir.

Koordine sistemler öncelikle anayol trafiği için uygulanmakla birlikte, bazı durumlarda bütün yönlerdeki toplam gecikmenin minimuma indirilmesi olanakları da araştırılır. Bu sistemler ayrıca ardışık sinyalize kavşakları bulunan bir yol şebekesinin bütün akımları için bilgisayar kontrollü olarak düzenlenebilir. Böylece araçların durma, bekleme ve yol verme zamanları ayarlanmaya çalışılır. Bu sayede;

- Ulaşım güvenliğinin artması,
- Kapasite kullanımı,
- Bekleme zamanlarının azalması,
- Ekonomiklik,
- Ulaşım akımlarının iyileşmesi, bunun sonucu olarak da seyahat süresinin azalması ve konforun artması, yakıt tasarrufları,
- Durma ve beklemelerden dolayı meydana gelen karbondioksit fazlalığı, durma ve kalkmalardan meydana gelen gürültünün azalması sayesinde çevre şartlarının iyileşmesi sağlanmış olur (Demir, 2006).

Aynı arter üzerindeki kavşaklar sinyalize edilirken bir kavşaktan kırmızı ışığın sonunda geçen araç grubu diğer kavşağa ulaştığında durmadan geçebiliyorsa, sinyalize edilen iki kavşak arasındaki uzaklık 750 metreden az ise, dalga hareketleri bozulmayacağından, bu kavşaklar arasında bir koordinasyon kurulması gerekebilir.

Koordine sistemler daha uzak kavşaklar arasında da kurulabilmekle birlikte, bunun başarısı dalga hareketinin bozulmamasını sağlamak için araç hızlarının istenilen mertebede tutulabilmesi olanağına bağlıdır. Koordinasyonun faydalarını azaltan başlıca durumlar kısaca:

- Yetersiz yol kapasitesi,
- Çok fazlı sistemleri gerektiren kavşakların bulunması,
- Yol kenarlarında park etme, yükleme boşaltma, çift park, çok giriş çıkış,
- Mevcut otobüs-minibüs durakları, sağ şeritteki araçların yavaş hareket etmeleri gibi nedenlerden oluşan engellemeler,
- Trafik hızlarındaki çok fazla değişiklik,
- Kavşak kollarındaki trafiğin çok düzensiz olması,
- Sinyalize kavşaklar arasındaki çok kısa mesafeler

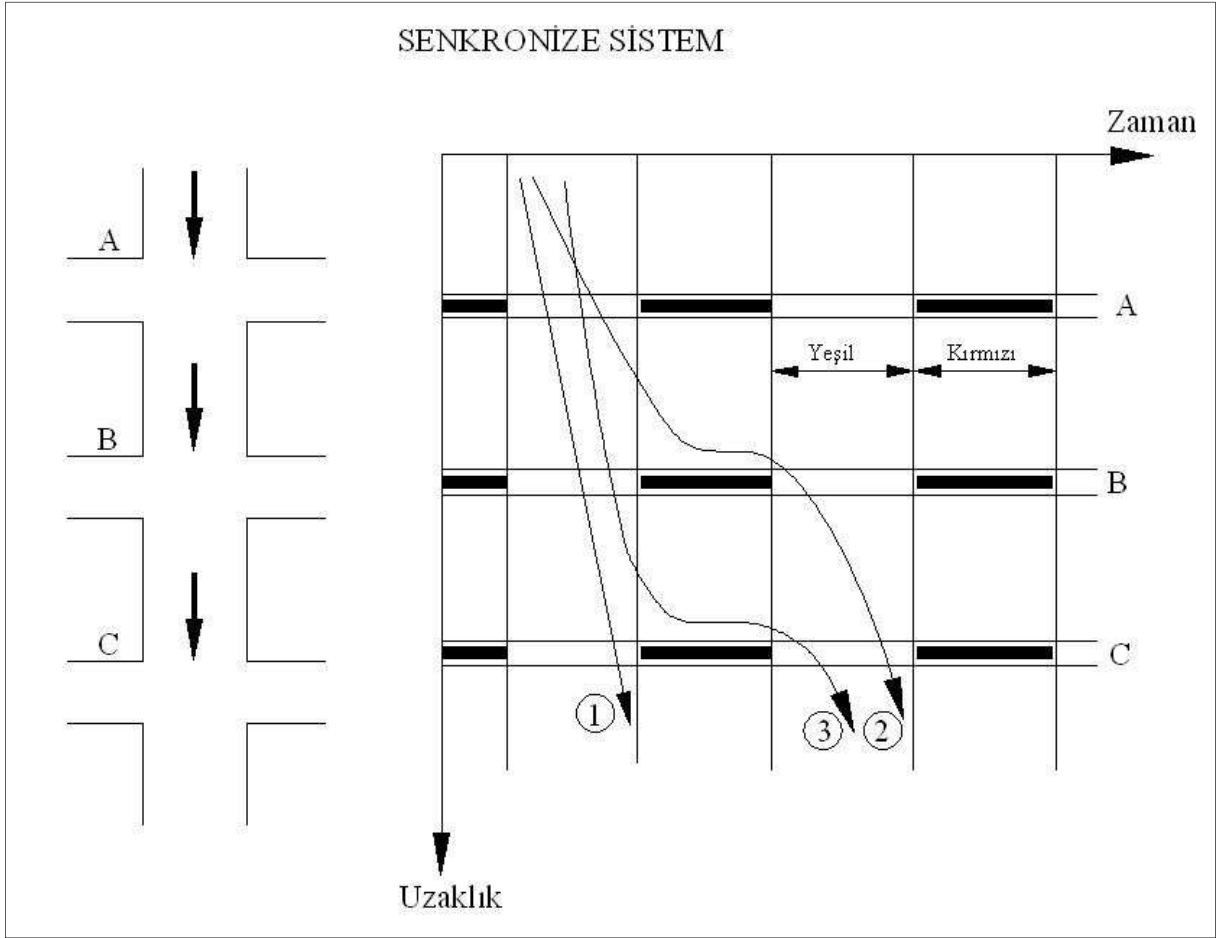
şeklinde sıralanabilir (Demir, 2006).

Koordine sinyalizasyon sistemi değişik uygulama şekilleri uygulama biçimleri aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

2.1.2.1 Senkronize (Eş Zamanlı) Sistem

Senkronize sistem ile birbirine bağlanan bütün kavşaklarda anayol üzerinde taşıt cepheleri aynı zamanda aynı ışıklı sinyali vermektedir. Şekil 2.1’de bir anayol üzerinde senkronize sistemde sinyalize edilmiş üç kavşak görülmektedir. Normal hızla seyreden (1) nolu taşıt her üç kavşaktan da geçmekte, oldukça yavaş seyreden (2) nolu taşıt ise (A) kavşağını geçtikten sonra (B) kavşağında takılmaktadır. Başlangıçta (2) nolu taşıtın gerisinde bulunan (3) nolu taşıt ise (A) kavşağında (2) nolu taşıtı geçerek daha hızlı gittiğinde (B) kavşağındaki yeşil ışığa yetişebilmektedir.

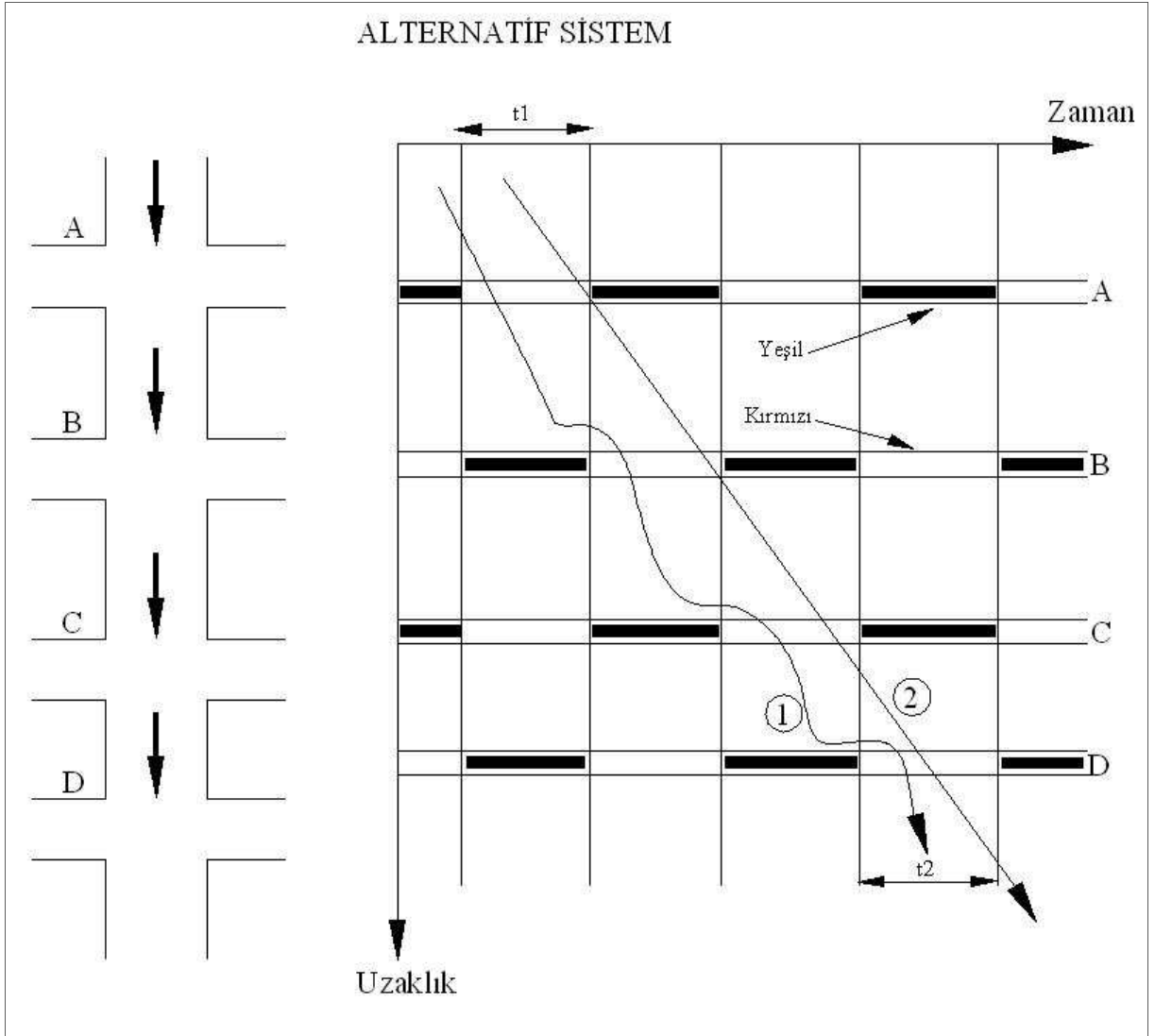
Senkronize sistem Şekil 2.1’de gösterilen örnekte olduğu gibi taşıt sürücülerini kırmızı ışıkta takılmamak için hızlı gitmeye yöneltmektedir. Ancak ana yol üzerindeki taşıt trafiği hacmi yol kapasitesine yakın derece yüksekte, tali yollara geçiş hakkı verilirken her kavşakta biriktirecek ana trafik akımı yükünün hemen hemen aynı olmasını sağlamak bakımından senkronize sistem yararlıdır (Murat, 1996).



Şekil 2.1 Senkronize Sistem (Murat, 1996)

2.1.2.2 Alternatif Sistem

Bu sistem bir ana yol boyunca birbirini izleyen kavşaklarda arka arkaya zıt ışıklı sinyaller verir. (Şekil 2.2) Alternatif sistemin amacı, taşıtların iki kavşak arasındaki uzaklığı ışıklı sinyallerin bir devresinin yarısı kadar zamanda almalarını sağlamak, böylelikle taşıtların ana yol boyunca belirli bir hızda seyretmelerini gerçekleştirmektir. Şekil 2.2’de görülen (2) nolu taşıt proje hızına yakın bir hızla seyrettiğinden bütün kavşaklarda yeşil ışık bularak geçmekte, kalkışından sonra yüksek hızla seyreden (1) nolu taşıt ise her kavşakta durmak zorunda kalmaktadır. (A) kavşağında (2) nolu taşıt (1) nolu taşıttan t_1 saniye geride iken (D) kavşağı geçildiğinde bu zaman farkı ancak t_2-t_1 kadar artmaktadır. Dolayısıyla alternatif sistem, hızlı giden taşıtları beklemeye zorladığından taşıt hızlarında bir düşme olmaktadır.

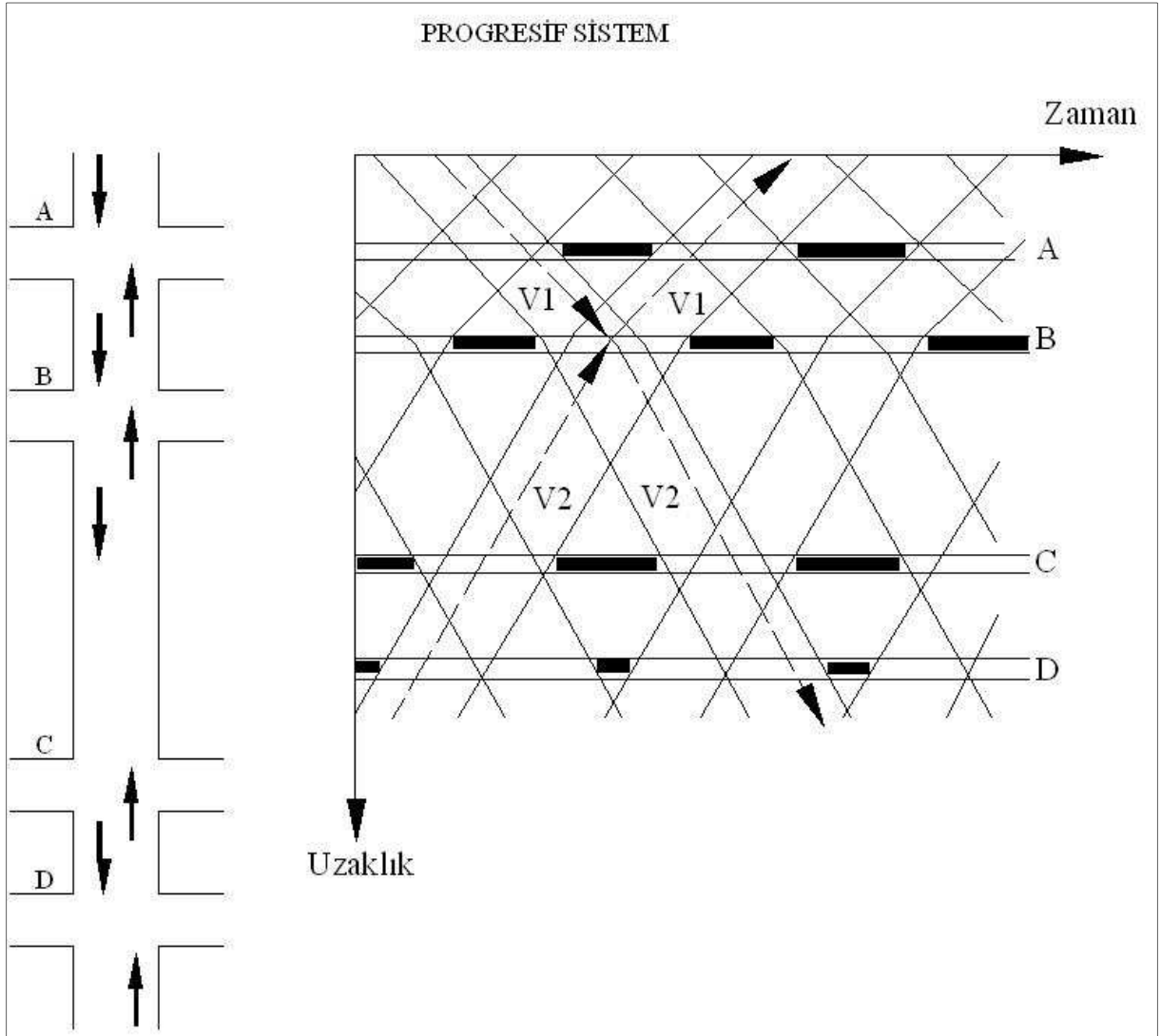


Şekil 2.2 Alternatif Sistem (Murat, 1996)

Basit alternatif sistemin başarıyla uygulanabilmesi için kavşak aralıklarının belirli uzaklıklar arasında olması ve birbirini izleyen kavşaklar arasındaki uzaklıkların çok farklı olmaması gerekmektedir (Murat, 1996).

2.1.2.3 Progresif (Kesintisiz) Sistem

Bu sistemde ana yol üzerindeki bütün kavşaklarda ışıklı sinyallerin devre süreleri aynı olmakla birlikte, gerekli yeşil süreler belirlenen hıza uygun olarak seyreden bir taşıtın bütün kavşaklardan takılmadan geçebileceği biçimde ayarlanmıştır. Yeşil dalga olarak da adlandırılmaktadır. Şekil 2.3'de basit bir progresif sistem görülmektedir.



Şekil 2.3 Progresif Sistem

2.1.2.4 Arazi Trafik Kontrol Sistemi

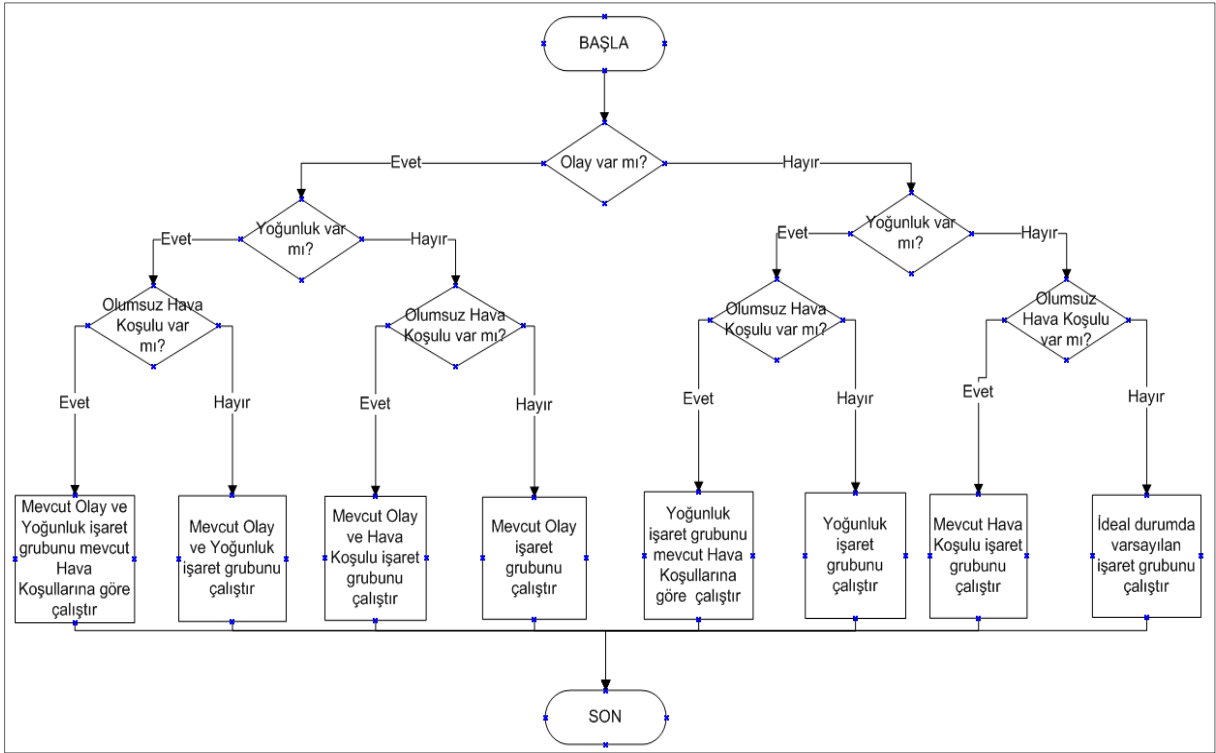
Bahsedilen koordinasyon sistemleri, aynı doğrultuda üzerinde yer alan birkaç kavşak arasında gecikmeleri azaltmak veya en uygun olacak bir işletme biçimini gerçekleştirmek amacıyla bir yeşil dalga tesis etmek için kullanılır. Ancak, birçok farklı doğrultu üzerindeki trafik akımları için aynı ilkenin uygulanması söz konusu olursa, kesişmeler nedeniyle basit bir koordinasyon sistemi kurularak çözüme ulaşılması mümkün değildir. Sinyalizasyon tesislerinin tümü arasında genel olarak gecikmelerin minimuma indirilmesini sağlamak üzere en uygun sinyallerin verilmesini düzenleyen ve bilgisayarlar kullanılarak yürütülen sistemlere Arazi Trafik Kontrol adı verilir (Murat, 1996).

2.2 Şerit Yönetim Sistemi

Otoyollarda sürücüleri uyararak ve bilgilendirmek amaçlı birçok trafik ikaz ve bilgilendirme levhaları mevcuttur. Bu levhalar çeşitli nedenlerle (mevsim, yol çalışması, kaza vb.) zaman zaman geçerliliğini yitirebilmekte veya yetersiz kalabilmektedirler. Bu gibi değişken durumlara uyum sağlayabilmek için esnek bir sistem gerekmektedir. Bu sistemin gerekli hale gelmesini sağlayan durumlar;

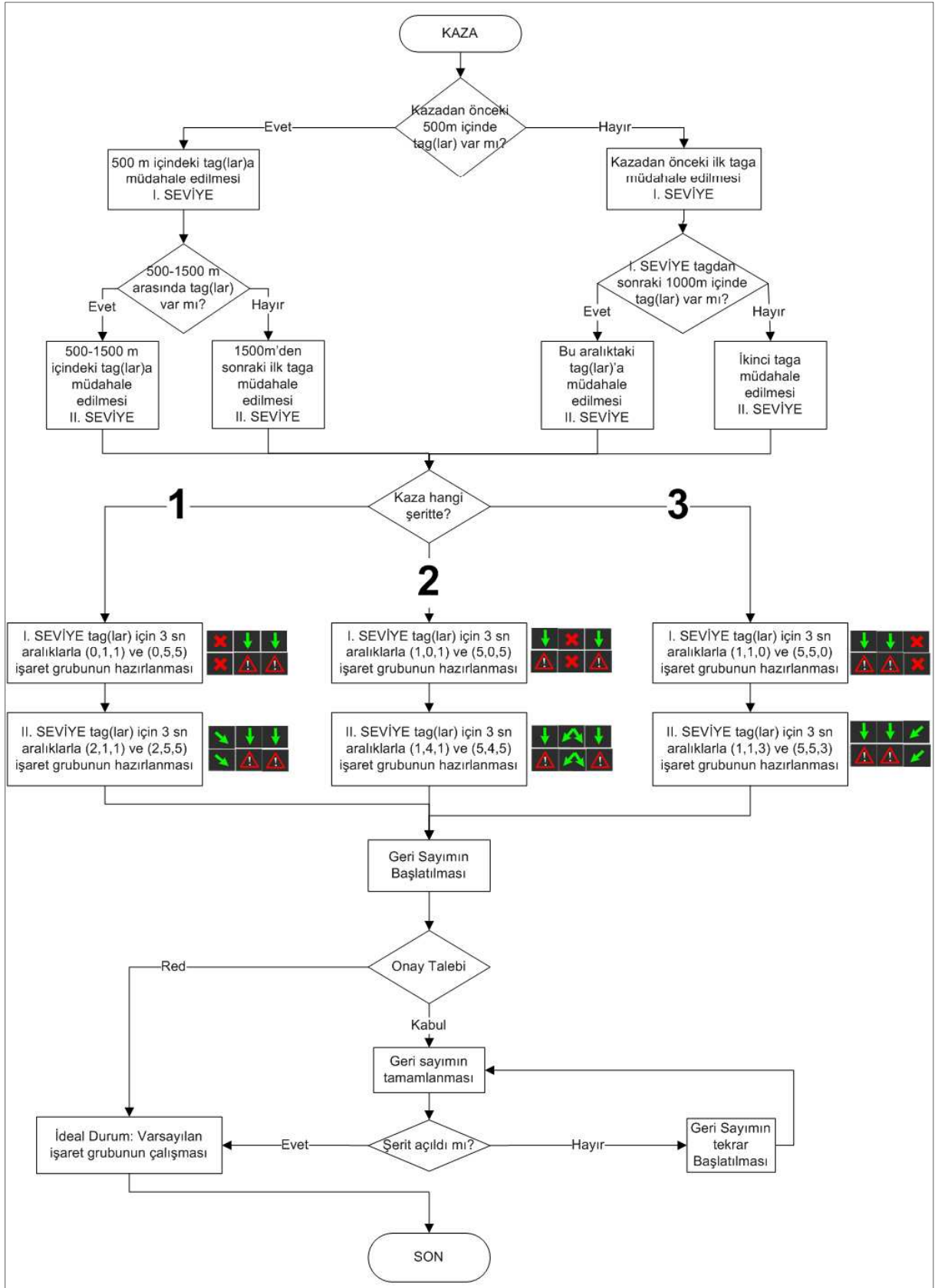
- Olay: Kaza, arıza, yol çalışması ve hız kontrolü
- Hava şartı: Kar, yağmur ve sis
- Trafik yoğunluğu

olarak sıralanabilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Şerit Kontrol Sistemi Genel Yapısı

Bu gibi durumlar sensörler ve kameralar yardımıyla tespit edilerek otoyol üzerindeki değişken mesaj ekranlarına gönderilir. Bu işlemler sensörlerden gelen uyarılara göre otomatik olarak gerçekleştirilebileceği gibi manuel müdahale imkanının olması da gerekmektedir. Şekil 2.5’de tek şeritte kaza durumunda şerit yönetim sisteminin işleyişi gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Tek şeritte kaza durumunda şerit yönetim sisteminin işleyişi

2.3 Trafik Ölçüm ve Bilgilendirme Sistemleri

Bu bölümde Trafik Ölçüm ve Trafik Bilgilendirme Sistemleri ayrı ayrı incelenecektir.

2.3.1 Trafik Ölçüm Sistemi

Yol kullanıcılarının kendilerini gidecekleri yere ulaştıracak alternatif rotalarla ilgili bilgi sahibi olması trafik sıkışıklığından kaçarak zaman kaybını minimum düzeye indirebilmeleri için çok faydalıdır. Ayrıca otoyollardaki trafik istatistikleri trafiğin yönetimi ve trafik mühendisliği çalışmaları için çok önemlidir. Trafik yoğunluğunun haftanın günlerine ve gün içindeki saatlere dağılımı, araçların sınıflandırılması, şerit işgaliye oranlarının belirlenmesi vb. veriler trafik ile ilgili karar destek sisteminin girdileridir. Bu veriler otoyollar üzerine yerleştirilen sensörler ile toplanmaktadır. Ayrıca bu sensörlerin uygun bir haberleşme altyapısı ile entegrasyonu sağlanarak anlık trafik verilerine ulaşılabilir.

2.3.2 Trafik Bilgilendirme Sistemi

Trafik ölçüm sisteminden gelen veriler yol kullanıcılarına TV yayını, değişken mesaj tabelaları, internet, çağrı merkezi ve cep telefonu uygulaması gibi araçlar ile eş zamanlı olarak ulaştırılabilir. Bu verilerin navigasyon cihazları ile eş zamanlı haberleşmeleri projesi ile ilgili altyapı çalışmaları da devam etmektedir. Şu anda İstanbul uygulamasında trafik hızı ve yoğunluğu ile ilgili en az % 90 doğruluk oranına ulaşılmıştır. Yol üzerindeki sensör sayısının artırılması doğruluk oranını artıracaktır (Pehlivan ve Dağüstü, 2008).

2.4 Değişken Mesaj Sistemi

Değişken Mesaj Sistemi (DMS) sürücülerin kritik noktalarda yol seçimlerine destek olmak, yol ile ilgili önemli bilgilendirmeleri yapmak amacı ile kullanılmaktadır. DMS ile yol kullanıcıları alternatif güzergahlar hakkında bilgilendirilmekte, kaza durumunda yönlendirilmekte, hava koşullarına göre uyarılmakta, yol çalışmaları hakkında bilgilendirilmektedir. DMS tarafından yapılan bilgilendirmeler yol kullanıcılarının trafik sıkışıklığından kurtulmalarını sağladığı gibi trafik yoğunluğunun da yoğunluğun daha az olduğu yol ağlarına dağılmasını sağlamaktadır.

2.5 Elektronik Denetleme Sistemi

Trafik kuralları ihlallerinin tespit edilmesini ve ihlal edenin cezalandırılmasını sağlayan sistemlerdir. Elektronik Denetleme Sistemi (EDS) kural ihlallerinin azalmasında çok etkili olmuştur. Kurulum amaçlarına göre aşağıda açıklanan dört farklı çeşidi bulunmaktadır.

2.5.1 Kırmızı Işık Denetleme Sistemi

Sinyalize kavşaklarda durma çizgisinin biraz ötesindeki dedektörler ve kavşağa hakim noktadaki kameralardan oluşmaktadır. Kırmızı ışık yandığı sırada dedektörden araç varlık bilgisi gelmesiyle kameranın tetiklenerek ihlal görüntüsünün kaydedildiği ve cezalandırma yetkisine sahip otoriteye gönderildiği sistemdir.

2.5.2 Hız Denetleme Sistemi

Hız ihlallerinin tespit edilmesi amacı ile kullanılan sistemlerdir. Hız tespiti radar ve hız koridor sistemi olmak üzere iki türlü yapılabilmektedir. Radar ile yaklaşan araçların anlık hızları ölçülmektedir. Hız koridor sisteminde ise hız kontrolünün yapılacağı yolun giriş ve çıkışındaki şeritlere plaka tanıma sistemi kurulmaktadır. Giriş yapan aracın plakası ve giriş zamanı kaydedilir. Bu araç çıkış yaparken yolun uzunluğu çıkış zamanı ile giriş zamanı arasındaki süreye bölünerek aracın ortalama hızı hesaplanmaktadır. Bu sistem anlık hız ihlallerini tespit etmek konusunda yetersizdir.

2.5.3 Emniyet Şeridi Denetleme Sistemi

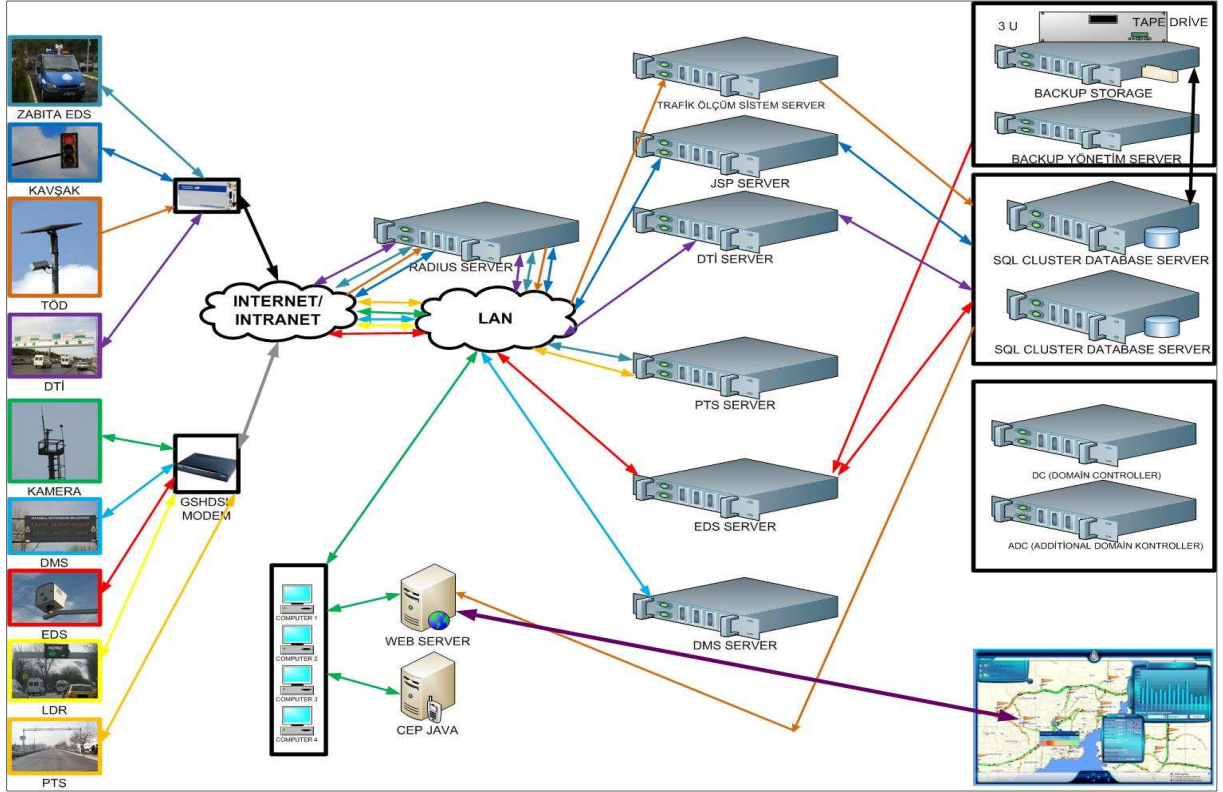
Emniyet şeritlerinin kenarındaki görüntü kaydediciler ve emniyet şeritlerinin üzerindeki dedektörlerden oluşur. Dedektörler tarafından emniyet şeridi üzerinde araç tespit edildiğinde görüntü kaydediciler aktif hale gelmekte ve görüntü kaydedilerek ilgili merkeze gönderilmektedirler.

2.5.4 Park Denetleme Sistemi

Park etmenin yasak olduğu bölgelerde uygulanmaktadır. Plaka tanıma sistemi ve dedektörlerden oluşmaktadır. Park yasağı olan bölgede araç varlığı tespit edildiğinde plaka tanıma sistemi vasıtasıyla tespit edilen plaka ve tespit zamanı kaydedilir. Duraklama limiti bittiğinde aynı araç hala sistem tarafından tespit ediliyorsa ilgili kayıt merkeze gönderilmektedir.

2.6 Trafik Kontrol Merkezi

Trafik kamera görüntüleri, trafik ölçüm verileri, EDS görüntüleri, sinyal arıza ihbarlarının toplandığı, veri analizleri ve raporlamaların yapıldığı, sürücü, yolcu ve yayalara güzergah tavsiyelerinin yapıldığı, trafiğin yönetildiği merkezdir. Trafik Kontrol Merkezi (TKM)'de çok güçlü haberleşme yapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 2.6'da İstanbul Büyükşehir Belediyesi TKM haberleşme yapısı görülmektedir.



Şekil 2.6 İstanbul Büyükşehir Belediyesi TKM Haberleşme Yapısı

2.7 Tünel Yönetim Sistemi

Tünel yönetimi içerisinde emniyet, kontrol ve bilgilendirme sistemlerini barındırmaktadır. Bu sistemler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Tünel aydınlatması
- Acil Çıkışlar
- Yangın Algılama ve Koruma Dolapları
- Sinyalizasyon ve Değişken Mesaj Sistemi
- Emniyet Şeridi - EDS
- Tünel Radyosu
- Havalandırma Sistemi
- Trafik Gözlem Kameraları
- Kamu Anons Sistemi
- SOS Kabinleri

Bu bölümde akıllı trafik sistemlerinin türleri ve kullanım amaçları hakkında genel açıklamalar yapılmıştır. Bir sonraki bölümde akıllı trafik sistemlerinden sinyalize sistemlerin çevrim sürelerinin hesaplama yöntemleri detaylandırılacaktır.

3. SİNYALİZE SİSTEMLER ve ÇEVİRİM SÜRESİ HESABI

Sinyal sürelerinin hesaplanması üzerine uygun tekniklerin geliştirilmesi Webster'ın orijinal çalışması ile başlar (Webster, 1958; Webster ve Cobbe, 1966). Bu çalışmadan itibaren, sinyal sürelerinin hesaplanması için kullanılan analitik yöntemler, performans geliştirme amacına yönelik geliştirilmeye devam edilmiştir. İngiliz yöntemi olarak da bilinen Webster metodundan sonraki yıllarda, literatürde duyurusu yapılan ikinci bir analitik model de Akçelik modeli olarak da adlandırılan Avustralya modeli olmuştur. Devre süresi ve faz sürelerinin hesaplanmasında Avustralya yöntemi, Webster modeline benzer özellik göstermektedir (Akdoğan, 2001; Akbaş, 2001; Akçelik, 1994; Akçelik, 1995).

Trafik kontrol teknikleri 1980'li yıllarda yarı iletken ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle beraber büyük ilerlemeler kaydetmiş, 1990'lı yıllara gelindiğinde ise ileri trafik kontrol tekniklerine (Advanced Traffic Management System ATMS) ilişkin uygulamaların kullanımı hızla yaygınlaşmıştır (Ağırdır, 1998). Bilgisayar teknolojisindeki bu ilerlemeler, trafiğin analiz edilmesinde pek çok yazılım programlarının gelişmesini sağlamıştır (Öztürk, 2004). Şu an pek çok ülkede yaygın olarak kullanılmakta olan bazı yazılımlar şunlardır:

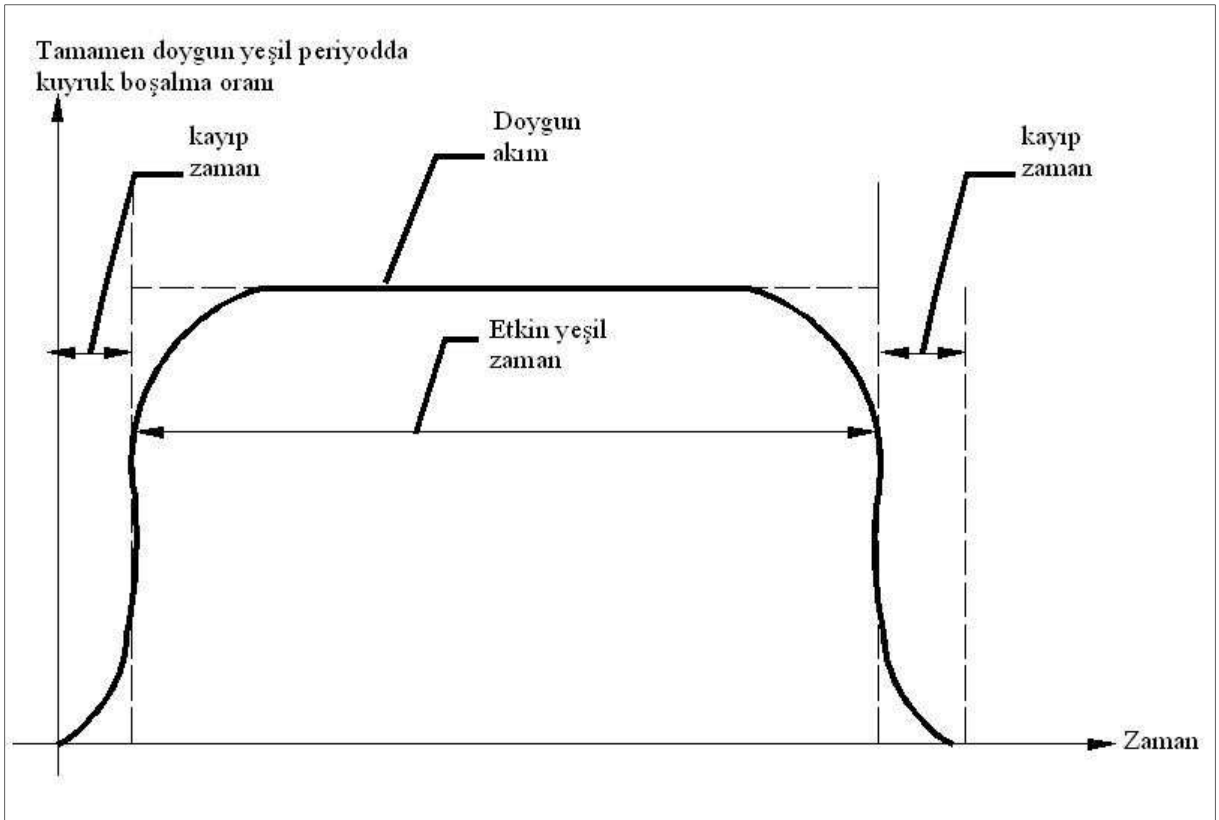
- SYNCHRO
- VISSIM
- HCS
- HCM/CINEMA
- SOAP
- SIGNAL97
- SIDRA
- EVIPAS
- TEXAS
- PASSER II-III-IV
- TRANSYT-7F
- CORSIM/NETSIM
- INTEGRATION
- CORFLO-FREFLO
- CORSIM NETFLO 1&NETFLO 2
- VISUM

3.1 Webster (İngiliz) Yöntemi ile Sinyalizasyon Hesabı

Sinyal kontrollü bir kavşaktaki yaklaşım kolundan geçen trafik miktarı, trafik tarafından kullanılabilen yeşil zamana ve yeşil periyot esnasında duruş hattından geçen maksimum taşıt oranına bağlı olmaktadır. Genel yaklaşım olarak İngiliz Yöntemi'nin Avustralya Yöntemi İle birçok benzer yönü görülmektedir.

3.1.1 Webster Kapasite ve Doygun Akım Hesabı

İngiliz yönteminde doymuş akım, kırmızı ışıkta kuyrukta bekleyen taşıtların yeşil ışık yandığında tahliye olmaya başladığı sabit oran olarak tanımlanabilir. Ve doymuş akım grafik olarak şekil 3.1'deki gibi ifade edilmektedir.



Şekil 3.1 İngiliz yöntemine göre doymuş akım grafiği

İngiliz Yöntemi'nde doymuş akım, kırmızı ışıkta kuyrukta bekleyen taşıtların harekete geçinceye kadar belli bir süre kaybettikten sonra sabit bir orana ulaşan tahliye oranları ile ifade edilmektedir.

Kavşaktan geçen akımın kapasitesi, o akımın işgal ettiği etkin yeşil sürenin devre süresine oranı ile doymuş akımın çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Etkin yeşil süre Şekil 3.1'den de görüleceği gibi toplam yeşil süreden kayıp sürelerin çıkarılmasıyla bulunmaktadır.

$$Q = \left(\frac{g}{c}\right) * S \quad (3.1)$$

Ve etkin yeşil süre;

$$g = G - I \quad (3.2)$$

denklemleriyle hesaplanmaktadır. Bu denklemlerde kullanılan notasyonların anlamları şu şekildedir:

Q = Kavşaktan geçen akımın kapasitesi

G = Yeşil ve sarı periyot (sn)

g = Etkin yeşil süre (sn)

C = Devre süresi (sn)

I = Kayıp süre (sn)

S = Doygun Akım (araç/saat)

Doygun akım ve kayıp zamanın tespitinde en gerçekçi olanın direkt ölçüm olduğu düşünülmektedir. Fakat pratikte bunun gerçekleştirilmesi oldukça zor olmaktadır. Doygun akıma geometrik ve çevresel birçok etki söz konusu olmaktadır. Bu faktörlerin hepsinin etkisi göz önüne alınarak doygun akım tahmin edilmektedir.

Yaklaşım Genişliğinin Etkisi: Doygun akım (S), yolcu taşıt birimi/saat ile ifade edilir.

$$S = 160w \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklemde w yaklaşım kolu genişliğini göstermektedir.

Eğim Etkisi: Her %1 çıkış eğimi için doygun akımın %3 azaldığı, %1 iniş eğimi için ise yine doygun akımın %3 arttığı gözlenmiştir. Eğim duruş hattı ile önceki 300 metrelik mesafede ölçülmektedir.

Trafik Kompozisyonunun Etkisi: Farklı araç türlerinin doygun akıma etkisi p.c.u (otomobil birimi eşdeğeri) ile değerlendirilmektedir. Buna göre;

1 ağır yük taşıyan araç	=	1.75	bo (birim oto)
1 otobüs	=	2.25	bo
1 tramvay	=	2.50	bo
1 hafif yük taşıtı	=	1	bo
1 motosiklet	=	1/3	bo
1 bisiklet	=	1/6	bo

olarak göz önüne alınmaktadır.

Sola dönen trafiğin etkisi: Şayet zıt yönde sola dönen trafik kavşakta kilitlenmelere sebep oluyorsa kavşağın kapasitesi olumsuz etkilenmektedir. Genellikle dört durum söz konusu olmaktadır.

- Zıt yönde akım yok, tekil sola dönüş şeridi mevcut değil ise dönüş akımları dikkate alınmadan diğer kurallara göre doymun akım tahmin edilir.
- Zıt yönde akım yok, tekil sola dönüş şeridi mevcut ise, sola dönen akım için doymun akım ayrı elde edilir. Dik açıda dönen bir akımın doymun akımı dönüş yarıçapına bağlıdır. Ve r dönüş yarıçapı olmak üzere;

$$S = \frac{1800}{1 + \frac{5}{r}} \text{ o.b/saat} \quad \text{tek şerit için} \quad (3.4)$$

$$S = \frac{3000}{1 + \frac{5}{r}} \text{ o.b/saat} \quad \text{iki şerit için} \quad (3.5)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

- Zıt yönde akım mevcut, tekil sola dönüş şeridi yok ise, sola dönenlerin durumu 3 şekilde gözlenmektedir. İlk olarak zıt trafikten dolayı taşıtlar kendilerini ve dönüş yapmayan diğer taşıtları geciktirirler, ikinci olarak sola dönen taşıtların varlığı direkt geçen taşıtları engellemekte ve gecikmelere sebep olmaktadır. Üçüncü olarak yeşil periyodun sonunda sola dönen taşıtların hala kavşakta mevcut olduğundan tahliye için belli bir zamanı işgal etmekte, geçiş fazının başlamasında gecikmelerle sebebiyet vermektedir.
- Zıt yönde akım mevcut, özle sola dönüş şeridi var ise, düz geçen trafikte (aynı yaklaşım kolunu kullanan) gecikme olmamalıdır. Fakat sola dönenlerde geçiş fazında bir etki söz konusu olabilir ve c maddesindeki şekilde hesaplanır.

Sağa dönen trafiğin etkisi: Sağa dönüşlerin doymun akıma etkisi dönüşlerin keskinliğine ve yaya akımlarına bağlıdır. Dönüş yarıçapına göre yukarıdaki bağlantılar geçerlidir. Sağa dönen taşıtlar akımın %10'undan az ise düzeltme gerekmez, %10'dan çok ise 1 sağa dönen taşıt, 1.25 düz geçen taşıta eşit olmaktadır.

Yayaların etkisi: Yaya sayısı çok fazla ise ayrı faz düzenlenmektedir ve sola dönen trafiğe etkisi ayrıca incelenmelidir.

Parkeden taşıtların etkisi: Kavşak dur çizgisinde park varsa yol genişliği park genişliği kadar azaltılır. Kayıp yol genişliği:

$$W_{kayıp} = 5.5 - \frac{0.9(z-25)}{9} \quad (3.6)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Yöre etkisi: Yöre etkisi iyi, orta ve kötü olmak üzere 3 şekilde göz önüne alınmaktadır.

Çizelge 3.1 Doygun Akıma Yöre Etkisi

Yöre Tanımlaması	Tanım	Doygun Akıma Etki Derecesi (%)
İyi	Yayalar, parketmiş taşıtlar, sola dönen trafikle kayda değmeyen girişim. İyi görüş ve yeterli dönüş yarıçapı	120
Orta	Ortalama görünüm. İyi ve kötü durumların bazı karakteristikleri	100
Kötü	Ortalama hızda düşme. Duran taşıtlar, yayalar ve sola dönen taşıtlarla girişim. Kötü görünüm.	85

3.1.2 Kayıp Zaman Hesabı

İngiliz yöntemiyle devre uzunluğu hesabında, kavşakta taşıt başına ortalama gecikmeyi en küçük kılan devre uzunluğunun kayıp zaman ve fazların kullanılma değerine bağlı olduğu görülmüştür. Kayıp zamanın tespiti için Londra'da yapılan deneylerde ortalama bir sinyal devresinde başlangıç gecikmesi ve yavaşlayan akımdan dolayı meydana gelen kayıp zamanların her bir faz için yaklaşık 2 sn olduğu fakat çok değişken olduğundan 0 ile 7sn arasında gözlenebileceği ortaya çıkmıştır.

3.1.3 Doygunluk Derecesi

Kavşakta i. koldan geçen taşıt sayısı Q_i (taşıt/saat) ise ve kavşakta i. koldan geçebilecek taşıt sayısı, o yolun koşullarına göre s_i ise doyunluk derecesi veya oranı;

$$y = \frac{q}{\lambda * s} \quad (3.7)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

3.1.4 Gecikme

Sinyalizasyonda meydana gelen gecikmeleri hesaplamak için birçok laboratuarda trafiğin davranışı özel amaçlı bilgisayarlarla modellenmiştir.

Önceden ayarlı bir sinyalizasyon sisteminde gecikme hesaplarını yapmak için çeşitli akımlar, doygun akımlar ve sinyal düzenlemeleri göz önüne alınmış ve sonuç olarak herhangi bir tekil yaklaşım kolundaki ortalama gecikme için şu formül elde edilmiştir:

$$d = \frac{c-(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0.65 \left(\frac{c}{q^2}\right)^{\frac{1}{3}} x^{(2-5\lambda)} \quad (3.8)$$

Bu formülde;

d = Her koldaki her bir taşıt için ortalama gecikmeyi,

λ = Etkin yeşil sürenin devre süresine oranını,

x = Doygunluk derecesini ifade etmektedir. Doygunluk derecesi akımın maksimum mümkün akıma oranıdır ve $x=q/\lambda S$ ile ifade edilir.

Denklemin son kısmı gecikmenin %5 ile %15'i arasında bir değeri ifade etmektedir. Gecikme denklemi,

$$d = \frac{9}{10} \left\{ \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} \right\} \quad (3.9)$$

şeklinde ve daha basitleştirilerek

$$d = cA + \frac{B}{q} - C \quad (3.10)$$

formunda gösterilebilir.

Burada $A=(1-\lambda)^2/2(1-\lambda x)$, $B=x^2/2(1-x)$ ve C üçüncü terimdir. A , B ve C değerleri çizelgeler yardımıyla hesaplanmaktadır.

3.1.5 Devre Süresi

Genel olarak y , varış akımının doygun akıma oranı olmak üzere minimum devre süresi;

$$C_{min} = \frac{L}{1-Y} \quad (3.11)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada Y ve L değerleri yaklaşım kolu için toplam değerlerdir.

Optimum devre süresini hesaplamak için öncelikle aynı fazda kayıp zamanı minimum olan kollar seçilir ve optimum devre süresi;

$$C_{opt} = \frac{\emptyset L + 5}{1-Y} \quad (3.12)$$

ile tanımlanır. Bu ifadede $\emptyset=1.5$ alınır.

3.1.6 Yeşil Süre

İngiliz yönteminde yeşil süre hesabı için etkin yeşil sürelerin birbirine oranı ile y değerlerinin oranı eşitlenir. Ve genel olarak;

$$g_i = \frac{y_i}{Y} (c - L) \quad (3.13)$$

formülü ile yeşil süre hesaplanır.

3.2 Akçelik (Avustralya) Yöntemi

Avustralya yöntemi ile sinyalizasyon kavşaklardaki trafiğin kapasitesi ve zaman gerekleri analiz edilmektedir. Bu yöntem ile geleneksel tekniklere yeni boyutlar kazandıracak değişiklikler getirilerek, faz-ilişkili metot yerine akım-ilişkili metot kullanılmaktadır. Bu değişikliğin önemli bir görünümü olarak faz kayıp zamanı yerine, akım kayıp zamanının kullanımı ifade edilebilir.

Ayrıca bu yöntemde akımlar ve fazların temel içerikleri tanımlanarak; doyum akım, etkin yeşil süre, kayıp süre, akım oranı ve doyumluk derecesi gibi akım ve kavşak parametreleri tanımlanmıştır.

Sinyalizasyon kavşaklarının kapasitesi analizinde en önemli tekil parametre olan doyum akımların tahmininde kullanılan çevre sınıfı, şerit türü ve dönüş türü gibi faktörler yeni bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir.

Avustralya metodu ile sinyalizasyon hesapları için ayrıca performans ölçümleri (gecikmenin tahmini, duruş sayısı ve kuyruk uzunluğunu içerir), istenen işletim koşulları için devre süresi ve yeşil sürenin hesabı yapılmış ve genel olarak sinyal tasarım sorunları tartışılarak öneriler getirilmiştir.

Trafik mühendisleri için sinyalizasyon tasarımında analitik temele dayanan bu yöntem çok faydalıdır. Tanımlanan bu metoda dayanan bilgisayar programları mevcuttur. SIDRA (Signalized Intersection Design And Research Aid) isimli bilgisayar programı da Avustralya yöntemine dayanan temel programlardan biridir (Murat, 1996).

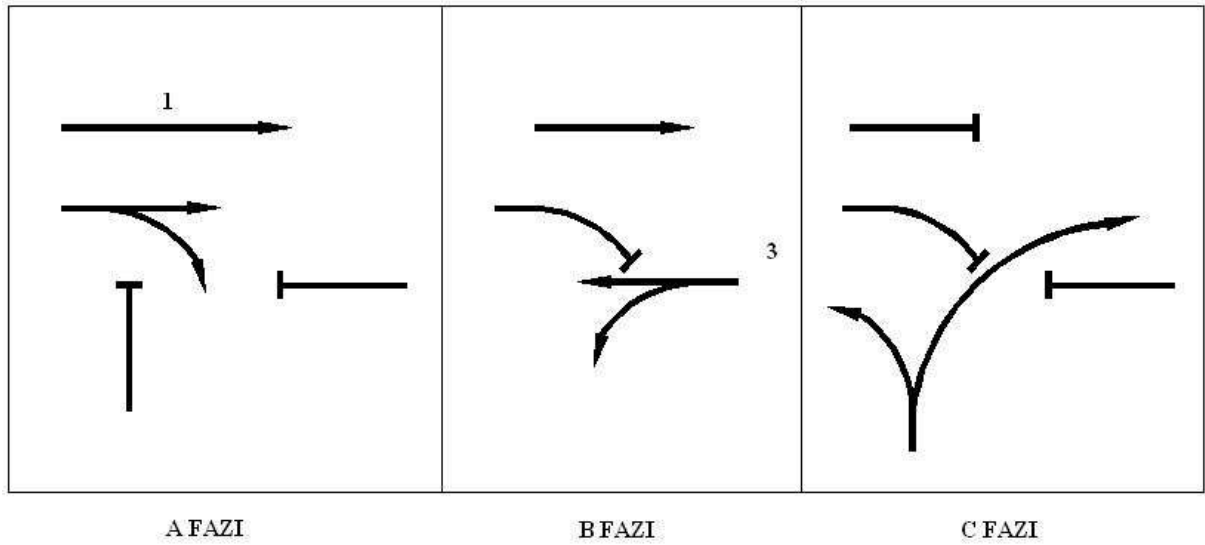
3.2.1 Akımlar ve Fazlar

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 imkan vermektedir. Dolayısıyla trafik akımları ve sinyal fazlarının birbiriyle olan ilişkilerini anlamak oldukça önemlidir.

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 çeşitli araç ve yaya akımlarına nasıl geçiş sırası verileceğini belirler. Sinyalize bir kavşakta faz sisteminin seçimi kavşağın geometrisine ve dönen trafik akımlarının derecesine göre tesbit edilir. Sinyal fazı tasarımı ile beklenen akımların karşılaşmasını azaltarak trafik kazalarını minimuma indirmek, bunun yanında aynı zamanda gecikmeleri, kuyruk uzunlularını ve durma sayılarını azaltarak kavşağın etkin işletimini maksimize etmektir. 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 adı verilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Örnek faz diyagramı

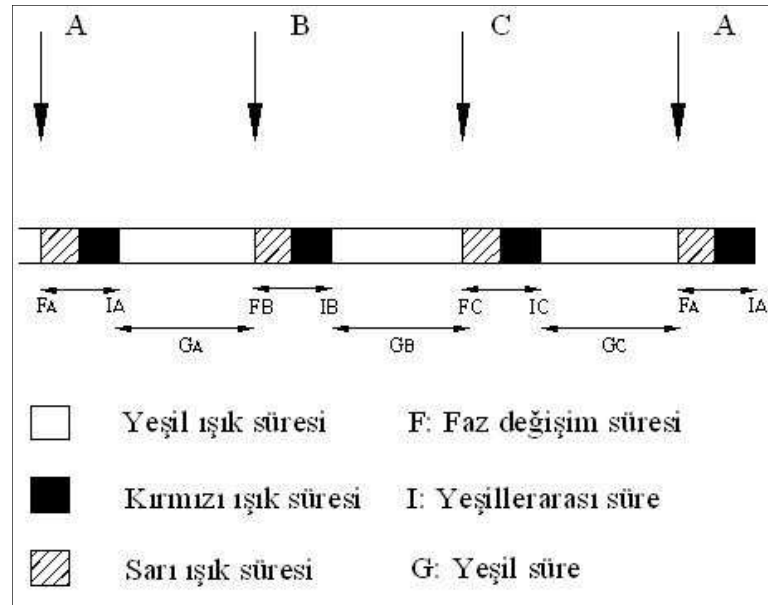
Bir faz sistemi faz-akım matrisi ile tanımlanabilir. Faz-akım matrisi her bir akımın faz numaraları ile her bir hareketin ne zaman başlayıp ne zaman sona erdiğini belirtir. Şekil 3.2'deki faz diyagramına göre faz akım matrisi şu şekilde yazılabilir.

Çizelge 3.2 Faz-Akım Matrisi

Akım	Başlangıç Fazı	Bitiş Fazı
1	A	C
2	A	B
3	B	C
4	C	A

3.2.2 Sinyal Devresi

Sinyal devresi tamamlanan bir dizi sinyal ve kırmızı ışıkların yanı sıra birbirini takip etmektedir. Bir fazdaki yeşil periyodun bitişi ile, takip eden periyodun başlangıcı arasındaki süreye yeşiller arası süre adı verilmekte ve sinyalizasyon hesaplarında etkin yeşil sürenin tespitinde önemli bir parametre olarak yer almaktadır. Örnek faz diyagramı için sinyal devresi Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Sinyal Devre Diyagramı

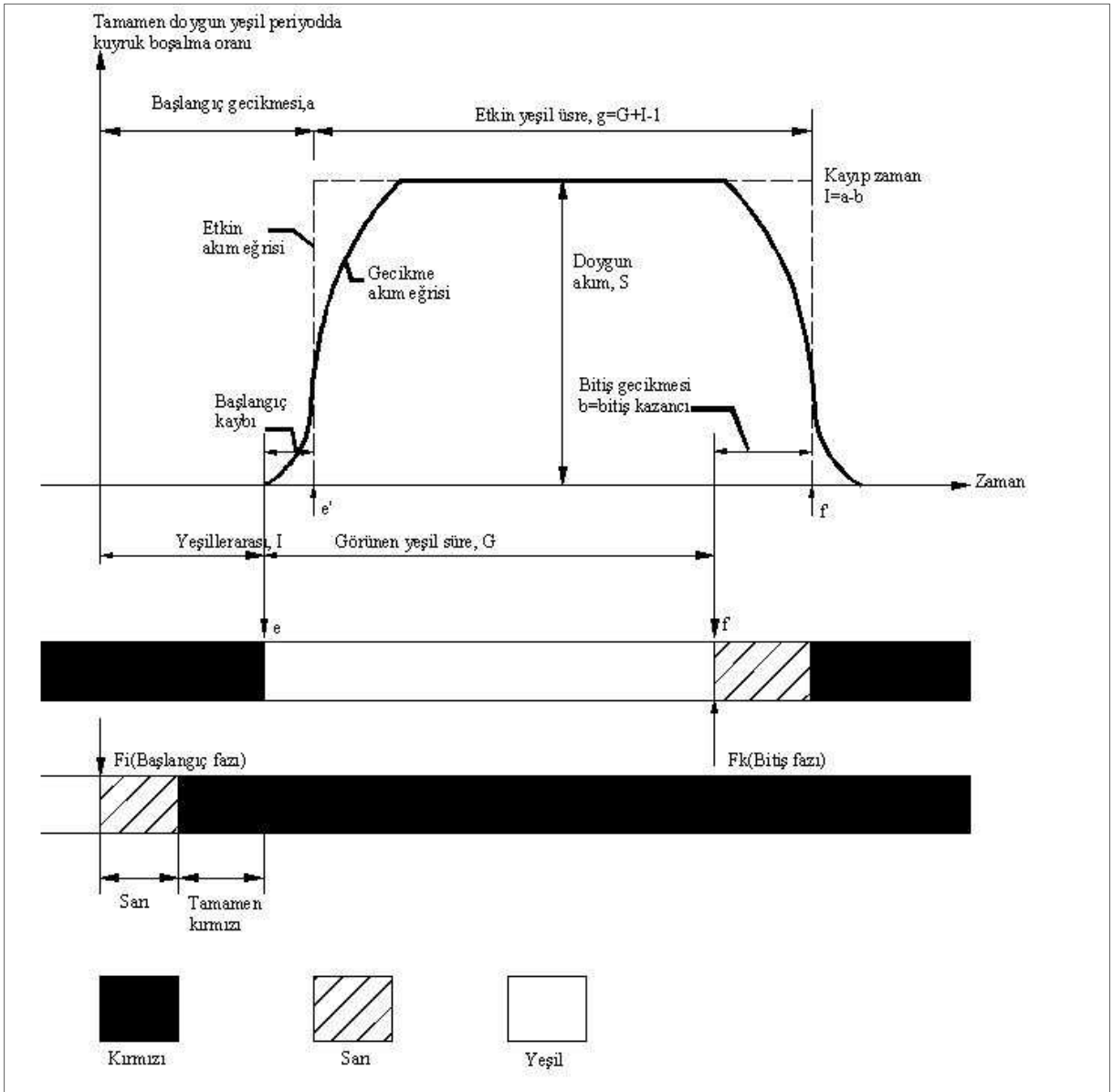
Şekil 3.3'ten de anlaşılacağı üzere A fazı için yeşil ışık süresi GA ile gösterilmekte, faz değişim süreleri F ile yeşiller arası süre I ile ifade edilmektedir. Tüm fazların yeşiller arası ve yeşil sürelerinin toplamı devre süresini oluşturmaktadır. Buna göre devre süresi;

$$C = \sum(I + G) \quad (3.14)$$

şeklinde ifade edilir.

3.2.3 Akım Karakteristikleri

Temel akım karakteristikleri olarak doymun akım, etkin yeşil süre ve kayıp zamanlar akla gelmektedir. Bu karakteristikleri ifade ederken geleneksel olarak kullanılan Şekil 3.4'ü çizmek mümkündür.



Şekil 3.4 Temel model ve tanımlamalar

Temel modele göre yaklaşım kolunda bekleyen taşıtlar yeşil ışık yandığı zaman hızla harekete geçerler ve sabit bir oranda kavşağa giriş yaparlar. Taşıtların kavşağa giriş yaptığı bu sabit oran doymun akımı veya doymun akım olarak adlandırılır. Başlangıçta kuyrukta bekleyen

taşıtların hareketi yavaştır. Ve taşıtlar sabit bir oranda harekete geçinceye kadar ilk harekete geçişlerden dolayı bir kayıp söz konusu olmaktadır. Bu kayıp süre başlangıç kaybı olarak anılmaktadır. Şekil 3.4'te başlangıç kaybı gerçek akım eğrisi ile etkin akım eğrisi arasında başlangıçta meydana gelen fark ile ifade edilmektedir. (ee'). Benzer şekilde doyma akımına ulaşıldıktan sonra yeşil ışığın sönmesi ve sarı ışığın yanması halinde hala kavşakta hareket eden taşıtların buldukları akım kolunun yeşiline ekledikleri süre bitiş kazancı olarak nitelendirilmektedir. Şekil 3.4'te gerçek akım eğrisi ile etkin akım eğrisi arasında bitiş noktalarında gözlemlenen fark bitiş kazancını ifade etmekte ve ff' olarak gösterilmektedir.

Akım karakteristiklerinden olan akım kayıp zaman, başlangıç ve bitiş aralıkları arasındaki fark ifade edilmektedir. Şekil 3.4'te kayıp zamanın yeşiller arası süreye başlangıç gecikmesinin eklenip bitiş kazancının çıkarılmasıyla bulunabilir. Buna göre akım kayıp zamanı;

$$l = I + ee' - ff' \quad (3.15)$$

olarak yazılabilir.

Akım için etkin yeşil süre görünen yeşil süreden başlangıç kaybının çıkarılıp bitiş kazancının eklenmesiyle hesaplanır. Şekil 3.4 için etkin yeşil süre ifadesi;

$$G = G - ee' + ff' \quad (3.16)$$

olmaktadır.

3.2.4 Kritik Akımlar

Kritik akım tanımlaması, kapasite ve zaman hesaplamaları yapılmadan önce şu veriler belirlenmektedir:

- Başlangıç ve bitiş numaraları
- Yeşillerarası süre, $I(sn)$
- Minimum görünen yeşil süre, $G_{min}(araç/saat)$
- Varış akım oranı, $q(araç/saat)$
- Doyma akımı oranı, $S(araç/saat)$
- Kayıp zaman, $l(sn)$
- Pratik (maksimum kabul edilebilir) doyumluk derecesi, X_p

Kritik akımlar genel olarak bir kavşağın kapasite ve zaman ihtiyacının belirleyen akımlardır. Aynı zamanda bir fazdaki en uzun zamanı gerektiren akımlar şeklinde de tanımlanabilir. Kritik akımlar en yüksek doyumluk dercesine sahip olduğundan sinyalizasyonun bu akımlara göre projelendirilmesi mantıklı olacaktır. Eğer her kritik akıma, kapasite gereksinmesini karşılamak için yeterli zaman verilirse, tüm akımlar yeterli kapasiteye sahip olur. Kritik akımlara bağlı olarak devre süresi;

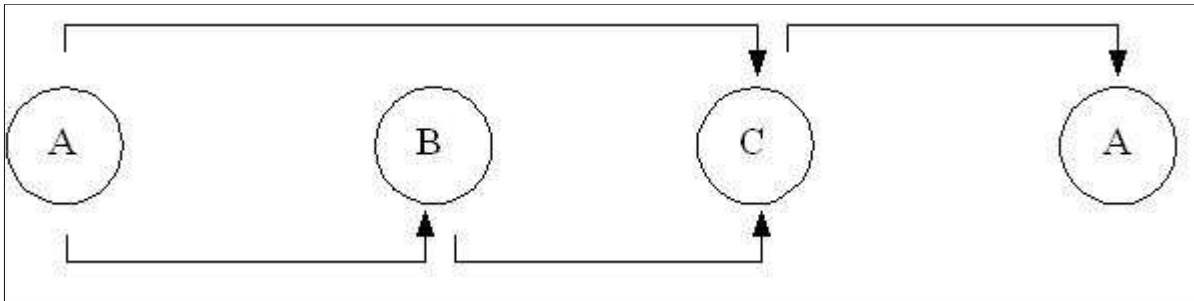
$$C = \sum(G+I) \quad (3.17)$$

ya da

$$C = \sum(g+I) \quad (3.18)$$

şeklinde tanımlanabilir.

Kritik akımları belirleyebilmek için fazlara bağlı kritik akım rama diyagramından faydalanılmaktadır. Kritik akım arama diyagramında öncelikle faz değişimleri yazılır ve süreler yazılarak en fazla zamanı gerektiren akım (g+I) kritik akım olarak belirlenir. Eğer tekrarlı akımlar varsa, tekrarlı akımın (g+I) değeri ile bu akımla aynı zamanda geçil hakkı alan diğer akımların (g+I) değerleri karşılaştırılır. Diğer bir deyişle, kritik akım belirleme bir kritik akım arama diyagramında (Şekil 3.5) en uzun yolu belirleme işlemidir.



Şekil 3.5 Kritik Akım Arama Diyagramı Örneği

3.2.5 Kavşak Kayıp Zamanı

Bir kavşaktaki kayıp zaman, devre süresini ifade eden (3.18)'in $c = \sum g + \sum I$ şeklinde yazılması ile

$$L = \sum I \quad (3.19)$$

olarak tanımlanır. Yani kritik akımların kayıp süreleri toplamı kavşak kayıp zamanını oluşturmaktadır.

3.2.6 Kapasite ve Doygunluk Derecesi

Bir akımın kapasitesi, araçların hareket edebileceği en yüksek oran, yani doymuş akım s , ile o akımın etkin yeşil süresi arasındaki ilişkiye bağlıdır, ve şu şekilde ifade edilir:

$$Q = s(g/c) \quad (3.20)$$

Burada Q kapasiteyi, s doymuş akımı ve (g/c) ise akımın sahip olduğu etkin yeşil süreyi ifade etmektedir.

Kapasite ve doymuşluk derecesi hesaplarında göz önüne alınan diğer bir parametre ise etkin yeşil sürenin devre süresine oranı ile hesaplanan yeşil zaman oranıdır. Yeşil zaman oranı;

$$U = g/c \quad (3.21)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Yararlı diğer bir akım parametresi de varış akımının (hacmin) doymuş akıma oranı şeklinde hesaplanan akım oranıdır. Akım oranı y ile ifade edilmekte ve;

$$X = \frac{q}{Q} = \frac{qc}{sg} = \frac{y}{u} \quad (3.22)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Bu ifadede akım oranı "talebi" simgeleyen sabit bir parametre ve yeşil süre oranı da "arzu" simgeleyen kontrol parametresi olarak düşünülmektedir. Doygunluk derecesi bu iki parametreyi birbirine bağlayan orandır.

Yeterli akım kapasitesi sağlamak için;

$$Q > q \text{ ya da } X < 1 \quad (3.23)$$

diğer bir ifadeyle

$$sg > qc \text{ ya da } u > y \quad (3.24)$$

olmalıdır.

Akım kapasitesi, yeşil süre oranı arttıkça artmaktadır.

L , U ve Y kritik akım parametreleri olmak üzere ve toplamlar kritik akımlar için olmak üzere kavşak yeşil zaman oranı toplam uygun yeşil zamanın devre zamanına oranıdır ve;

$$U = \sum u = (C-L)/C \quad (3.25)$$

olarak tanımlanır.

Kavşak akım oranı ise;

$$Y = \sum y \quad (3.26)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Kavşak doygunluk derecesi X , yaklaşım kollarındaki akımların en büyük doygunluk derecesi şeklinde düşünülmektedir. Kavşak doygunluk derecesi aynı zamanda;

$$X = YC / (C/L) \quad (3.27)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Pratik, kabul edilebilir maksimum doygunluk derecesi 1.0'den küçük olmalıdır. S çünkü yaklaşım akımları kapasitesi, aşırı gecikmeler, duruşlar ve kuyruk uzunlukları yüzünden trafik şartları sabit değildir. Genel olarak 0.8-0.9 arası değerler tatminkar işletim koşullarını ifade etmektedir.

Bir akıma tanınan süre;

$$t = g + l \quad (3.28)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu ifadede g , etkin yeşil süreyi; l ise kayıp sürelerin toplamını temsil etmektedir.

Gereken akım süreleri;

$$t = uc + l \quad (3.29)$$

veya pratik olarak;

$$t = 100u + l \quad (3.30)$$

denklemleri yardımıyla hesaplanmaktadır. (3.30) ifadesindeki 100 sayısı ilk anda tahmin edilen devre süresi olarak alınmaktadır.

Gerekli yeşil zaman oranı, maksimum kabul edilebilir (pratik) doygunluk derecesine, X_p ulaşmak için hesaplanmaktadır:

$$u = \frac{y}{X_p} \quad (3.31)$$

Bu ifadede farklı akımlar için farklı X_p değerleri kullanılabilir. Genelde önerildiği üzere $X_p = 0.9$ değeri kullanılmaktadır.

3.2.7 Avustralya Yöntemiyle Sinyalizasyon Hesabı Adımları ve Devre Hesabı

Avustralya yöntemi ile sinyalizasyon hesaplarının metodolojisi kritik akım tanımlamasını, kapasite ve zaman hesaplamalarını içermektedir. Genel olarak şu adımlar izlenmektedir:

1. Gerekli akım zamanının tespit edilmesi, t .
2. Kritik akım araştırması diyagramı hazırlanması.
3. Tekrarlı akımlar için toplam gerekli akım zamanının hesabı, en büyük T değerini veren kritik akımın seçimi.
4. Kavşak kayıp zamanı, akım oranı ve yeşil zaman oranının hesabı (L, Y, U).
5. Pratik ve yaklaşım optimum devre sürelerinin hesaplanması (C_p, C_o).
6. C_p ve C_o arasındaki bir devre süresinin seçimi.
7. Seçilen devre süresi için kritik akımların geçerliliğinin kontrolü.
8. Yeşil sürelerin hesabı
9. Akım doygunluk derecesinin hesabı (X) ve tüm akımlar için $X \leq X_p$ halinin kontrolü.

1.Adım:

Metodolojinin ilk adımda kritik akım araştırma çizelgesi (Çizelge 3.3) hazırlanır.

Çizelge 3.3 Kritik akım araştırma çizelgesi

Akım	Başlangıç Fazı	Bitiş Fazı	Yeşillerarası Süre	Minimum Gösterilen Yeşil Süre	Hacim	Doygun Akım	Kayıp Süre	Minimum Etkin Yeşil	Pratik Doygunluk Derecesi

Çizelge 3.3'te gösterilen kritik akım araştırma çizelgesine sırayla akım numaraları, akımların başlangıç ve bitiş fazları, yeşiller arası süre, minimum gösterilen yeşil süre, akım hacimleri, doygun akım değerleri, kayıp süreler, minimum gösterilen etkin yeşil süreler ve pratik doygunluk derecesi değerleri girilir.

2.Adım:

Metodolojinin bu bölümünde Şekil 3.5'te gösterilen kritik akım arama diyagramı çizilir.

3.Adım:

Her faz için tekrarlı olmayan akımların t değerleri karşılaştırılır ve en büyük t değerine sahip akım seçilerek diğer akımların t değerleri elenir.

Eğer varsa aynı akımda geçiş alan tekrarlı akımların t değerleri karşılaştırılır. En büyük t değerli akım alınır. Sonuç olarak kritik akım arama diyagramında “en uzun yol” bulunur.

4.Adım:

Kavşak parametreleri olan kayıp süre (L), akım oranı (Y), ve yeşil süre oranı (U) değerleri hesaplanır.

5.Adım:

Bu aşamada pratik optimum devre süreleri bulunur. Optimum devre süresi:

$$C_o = (1.4 + k) + \frac{6}{1-Y} \quad (3.32)$$

denklemleriyle hesaplanır.

Bu ifadede k , yakıt tüketimini, maliyetleri, kirletici etkenleri vb. en aza indirgeyen bir parametredir. “Stop Penalty” olarak adlandırılır.

Pratik devre süresi ise:

$$C_p = \frac{L}{1-U} \quad (3.33)$$

eşitliğinden bulunur.

6.Adım:

C_p ve C_o değerleri arasında maksimum devre süresi (120-150 sn) aşmayacak şekilde bir devre süresi seçilir.

7.Adım:

Kritik akımların devre süresine bağlı olduğu durumlar söz konusu olabilir. Bun kontrol etmek için önce $(uc+l)$ değeri bulunur. Bu değerle $(gm+l)$ değeri karşılaştırılarak büyük olan değer yeni gereken zaman (t) değeri olarak yazılır. Tekrara kritik akım arama işlemi yapılır ve bir değişiklik olup olmadığı kontrol edilir.

8.Adım:

Bu aşamada faz yeşil zamanları bulunur. İlk olarak

$$g = \left(\frac{c-L}{U} \right) u \quad (3.34)$$

denklemleri yardımıyla kritik akımların etkin yeşil süreleri hesaplanır. Kritik olmayan akımların g değerleri de hesaplanır.

Eğer bir fazda iki tekrarsız akım varsa kritik olmayan akımın g değeri kritik akımlara bağlı olarak;

$$c^* = (g_c + l_c) - I \quad (3.35)$$

denklemleriyle bulunur.

Eğer kritik akım iki faz süren tekrarlı bir akım ise, bu akım bir alt devre (c^*) olarak kabul edilir.

$$c^* = g_c + l_c \quad (3.36)$$

Bu durumda elde edilen yeşil süre $c^* - L^*$ dir. Burada L^* tekrarsız akımların kayıp süreleri toplamıdır. Bu süre tekrarsız akımlara şu şekilde paylaşılır:

$$g = \left(\frac{c^* - L^*}{U^*} \right) u \quad (3.37)$$

Burada U^* tekrarsız akımların yeşil zaman oranları toplamıdır.

Eğer iki faz boyunca süren akım kritik değil de tekrarsız akımlar kritik ise bu tekrarlı akımın g değeri;

$$g = (\sum g_c + \sum l_c) - I \quad (3.38)$$

olarak bulunur.

$\sum g_c$ ve $\sum l_c$ tekrarsız akımların (g) ve (l) değerleri toplamı, I ise tekrarlı akımın kayıp süresidir.

Ardından gösterilecek olan yeşil süre de;

$$G = (g + l) - I \quad (3.39)$$

eşitliğinden çıkarılır.

9. Adım:

Son aşamada akımların doygunluk dereceleri

$$X = \left(\frac{g}{c} \right) y \quad (3.40)$$

denklemleriyle bulunur ve $X \leq X_p$ koşulu kontrol edilir.

3.2.8 Doygun Akım ve Kayıp Zaman Hesapları

Doygun akım, yeşil periyoda kuyruktaki maksimum sabit hareket oranı olarak tanımlanmaktadır. Doygun akımın yanı sıra kayıp zaman hesabı da sinyalizasyon hesaplarında büyük önem arz etmektedir. Doygun akım arazide gözlem ile veya çizelgelerden faydalanılarak tahmin yoluyla hesaplanabilir.

Araç/saniye olarak doygun akım şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$s^* = \frac{x_2}{x_4 - 10n} \quad (3.41)$$

Bu ifadede X_2 orta aralıkta geçen sayısını, X_4 doygun sürelerin toplamını, n ise gözlemlenen örnek sayısını belirtmektedir.

s^* değerini araç/saat'e çevirmek için

$$s = 3600 s^* \quad (3.42)$$

denklemini kullanılmaktadır.

Saniye cinsinden kayıp süre;

$$l = I + 10 - \frac{1}{s^*} \left(\frac{x_1 + x_3}{n} \right) \quad (3.43)$$

denklemini ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde l , yeşillerarası süre, X_1 ilk aralıkta, X_3 de son aralıkta geçen araç sayısıdır.

3.2.9 Performans Ölçüleri

Sinyal kontrollü bir kavşağın etkin işletimi çeşitli performans ölçüm terimleri ile ifade edilmektedir. Performans ölçümlerinde gecikme ve duran araç sayısı temel iki terim olarak yer almaktadır. Bu temel terimlerin yansıra yakıt tüketimi, fiyat gibi ikincil terimlerde mevcuttur.

Bir taşıt için gecikme, kavşağa yaklaşırken beklemeden yaptığı seyir süresi ile bekleyerek yaptığı seyir süreleri arasındaki fark olarak ifade edilmektedir. Bu ifade taşıtın hızlanması ve yavaşlaması sırasındaki gecikmesi ile kuyruktaki gecikmesini içermektedir.

$$N_o = \frac{QT_f}{4} \left(z + \sqrt{z^2 + \frac{12(x+x_o)}{QT_f}} \right) \quad (3.44)$$

Bir akımdaki araçların ortalama gecikmesini bulabilmek için öncelikle bu akımın oluşturduğu kuyruğun uzunluğunun hesaplanması gerekmektedir. Kuyruk uzunluğu değeri şu denklem yardımıyla hesaplanmaktadır.

Eğer $X_o > X$ ise N_o değeri 0 olmaktadır. Denklemde kullanılan notasyon şu anlamları ifade etmektedir:

N_o = Araç cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu (birden fazla şerit varsa, tüm şeritlerdeki araç sayısı toplamı)

Q = Araç/saat cinsinden kapasite

T_f = Akım süresi, yani saat cinsinden zaman, q değerinin elde edildiği süre

QT_f = T_f süresi boyunca geçebilecek maksimum araç sayısı

$X=q/Q$ doyguluk derecesi

$Z=x-1$

X_o = Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doyguluk derecesi

$$X_o = 0.67 + sg/600 \quad (3.45)$$

bağlantısıyla hesaplanır. Bu bağlantı;

s = araç/saniye cinsinden doygun akımı,

g = etkin yeşili ifade etmektedir.

İzole önceden ayarlı bir sinyalizasyon kavşakta bir akım için yaklaşık toplam gecikme değeri aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$D = \frac{qc(1-u)^2}{2(1-y)} + N_o x \quad (3.46)$$

Bu denlemde;

D = toplam gecikme

qc =her devrede gelen ortalama araç sayısı (q =araç/saniye biriminden akım, c =saniye biriminden devre süresi)

u =yeşil zaman oranı ($=g/c$)

y =akım oranı ($=q/s$)

N_o =(3.44) denkleminde hesaplanan araç biriminden kuyruk uzunluğunu ifade etmektedir.

Ayrıca her araç için ortalama gecikme ise;

$$d = D/q \quad (3.47)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Eşitlik (3.46)'da kullanılan D notasyonu toplam gecikmeyi, q notasyonu ise araç/saniye cinsinden akımı ifade temektedir .

3.3 HCM (Amerikan) Yöntemi

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

Amerikan yönteminde sunulan metodoloji, kavşak yaklaşım kollarının 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 her bir araç için ortalama duruş gecikmesi olarak değerlendirilebilir ($sn/araç$). Kavşaklardaki yaklaşımların karşılaştırılması ve ana hareketlerin yerleşiminin farklılığı kavşakların tasarımı ve sinyalizasyon görülen değişik yaklaşımlar kavşağın kapasitesinin bir bütün olarak ele alınamayacağı sonucunu getirmektedir (Murat, 1996).

3.3.1 Kapasite ve Hizmet Düzeyi

Sinyalize bir kavşaktaki hem kapasite hem de hizmet düzeyi kavşaktaki tüm işlemlerin değerlendirilmesiyle tamamen alakalıdır. Kavşağın kapasite analizi, tekil hareketlerin v/C oranının hesabı ve kavşaktaki kritik hareketler ya da şerit gruplarının toplamının bileşik v/C oranının hesaplanmasına dayanmaktadır. Hizmet düzeyi kavşaktaki çeşitli hareketler için her aracın ortalama duruş gecikmesine dayanmaktadır. v/C oranı gecikmeyi etkilerse de, hareketin ilerleyişi, yeşil faz uzunluğu, devre uzunluğu gibi bazı parametreler de daha etkili olmaktadır. Dolayısıyla, herhangi bir v/C oranı gecikme değerlerinin sınırlarının tespitinde kullanılmaktadır.

Kavşaktaki kapasite her bir kavşak için tanımlıdır. Kavşak yaklaşım kapasitesi, pratik trafik, yol ve sinyalizasyon koşullarında kavşaktan geçen maksimum akım oranıdır.

Trafik şartları yaklaşım kollarının hacimlerini, hareket eden araçların dağılımını (sol, direkt, sağ), kavşaktaki otobüs duraklarının yerini ve kullanımını, yaya geçiş oranını ve kavşak alanındaki park hareketini içerir.

Yol şartları, sinyal fazının, zamanının, kontrol türünün tanımlanması ve her bir yaklaşım kolunda sinyal işleminin değerlendirmesini içerir.

Sinyalize kavşaklardaki kapasite, doyma akımı ve doyma akımı oranları konularına dayanır. Doyma akım oranı %100 etkin yeşil zamana sahip bir yaklaşım kolundan pratik trafik yol ve şartlarında geçen maksimum akım oranı olarak tanımlanabilir. Doyma akım oranı S ile ifade edilir ve etkin yeşil zaman için araç/saat olarak birimlendirilir. Bir yaklaşım kolu için kapasite:

$$C_i = S_i + \left(\frac{g}{c}\right)_i \quad (3.47)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu denklemde,

C_i : i . yaklaşım kolu ya da şerit grubunun kapasitesini (araç/saat),

S_i : i . yaklaşım kolu ya da şerit grubunun doyma akım oranını (araç/saat),

(g/c) : i . yaklaşım kolu için yeşil oranı ifade etmektedir.

Kavşak analizinde akım oranının kapasiteye oranı (v/C), X sembolü ile gösterilir. Bu sembol kapasite ile sinyalizasyon şartlarının kuvvetli ilişkisini vurgulamakta ve literatürde doyma derecesi olarak anılmaktadır. Ve;

$$X_i = \frac{v_i C}{S_i g_i} = \frac{(v/S)_i}{(g/C)_i} \quad (3.48)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde;

X_i : i . yaklaşım kolu için v/C oranı,

V_i : i . yaklaşım kolu için gerçek akım oranı (araç/saat),

S_i : i . yaklaşım kolu için doyma akımı oranı (araç/saat),

g_i : i . yaklaşım kolu için etkin yeşil süre (sn) dir.

X_i değeri akım oranı kapasiteye eşit olduğu zaman sınır değer olan 1.00 değerini, akım oranı sıfır ise $X_i=0$ değerini almaktadır.

Sinyalize kavşakların incelenmesinde faydalı diğer bir kapasite içeriği ise kritik v/C oranıdır. (X_c). Bu oran verilen bir sinyal fazı için yalnızca yaklaşım kolunu ilgilendiren en yüksek akım oranını içerir. (v/S). Kavşak için kritik v/C oranı şu şekilde tanımlanır:

$$X_c = \sum_i \left(\frac{v}{S}\right)_{ci} \left[\frac{c}{c-L}\right] \quad (3.49)$$

Bu denklemde;

X_c : Kavşak için kritik v/C oranını,

$\sum_i \left(\frac{v}{S}\right)_{ci}$: Tüm kritik şerit yaklaşımlarının akım oranları toplamını,

C: Devre uzunluğunu (sn),

L: Her devredeki toplam kayıp zamanı (sn)

ifade etmektedir.

Bu denklem geometrisi ve toplam devre uzunluğu göz önüne alınarak tüm kavşakların değerlendirilmesi için faydalıdır. Tüm kritik hareketler için yeşil zamanın uygun tahsis edildiği kabulü ile v/C oranını verir.

Sinyalize kavşaklarda kapasite kadar önemli olan diğer bir kavram da hizmet düzeyidir. Hizmet düzeyi gecikme terimi ile tanımlanır. Gecikme; sürücünün rahatsızlığı, gerilimli ve sınırlı hali, yakıt tüketimi ve kayıp seyahat zamanının ölçülmesi ile ifade edilir. Özellikle hizmet düzeyi kriteri, her bir araç için 15 dakikalık analiz periyodunda ortalama duruş gecikmesinin ölçülmesiyle tanımlanabilir.

Gecikmeler yerinde ölçülebilir, ya da tahmin edilebilir. Gecikme karmaşık bir ölçümdür ve ilerleme hareketinin kalitesi, devre uzunluğu, yeşil oran ve problemdeki yaklaşım kolunun v/C oranı gibi birçok değişkene bağlıdır. Genel olarak hizmet düzeyleri; A en iyi, F en kötü durumu ifade etmek üzere A'dan F'ye kadar sınıflandırılır:

A Hizmet Düzeyi: İşletimin çok küçük bir gecikmeyle sürdüğünü ifade etmektedir (Yani her bir araç için 5sn'den daha az). Birçok araç yeşil periyoda geçmekte ve ilerleme hareketi oldukça iyi gerçekleşmektedir. Araçların çoğunluğu hiç durmamaktadır. Kısa devre uzunluklarının düşük gecikmelere katkısı söz konusu olmaktadır.

B Hizmet Düzeyi: Bu hizmet düzeyinde her bir araç için 5.1 sn ile 15 sn arasında gecikmeler tanımlanmaktadır. İlerleme hareketi iyi durumdadır. Devre uzunluğu kısaltılmalıdır. A hizmet düzeyinden daha fazla araç durmaktadır.

C Hizmet Düzeyi: Her bir araç için 5.1 sn ile 15 sn arasında gecikmeler sözkonusudur. Bu gecikmelerin sebebinin kötü ilerleme ve uzun devre süresi olduğu söylenebilir. Öyle devre bozuklukları gözlenebilmektedir. Duran araç sayısı bu düzeyde belirginleşmektedir fakat hala durmadan geçen araçlar mevcuttur.

D Hizmet Düzeyi: Bu düzeyde her bir araç için 25.1 sn ile 40 sn arasında gecikmeler tanımlanmaktadır. D hizmet düzeyinde artık tıkanmaların etkisi belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Gecikme üresinin artması, yetersiz ilerleme, uzun devre süresi ve yüksek v/C

oranının bir sonucudur. Duran (bekleyen) araç sayısı iyice artmıştır. Devre bozuklukları artık dikkate alınacak düzeydedir.

E Hizmet Düzeyi: Gecikme süreleri her bir araç için artık 40.1 sn ile 60sn gibi yüksek değerler ulaşmıştır. Bu düzey kabul edilebilir gecikmelerin sınırı olarak kabul edilmektedir. Kötü ilerleme hareketi, uzun devre süresi ve yüksek v/C oranları gecikme sürelerinin artmasına sebep olmaktadır. Devre bozuklukları daha sıkça görülmektedir.

F Hizmet Düzeyi: En olumsuz koşulları ifade eden hizmet düzeyidir. Her bir araç için 60sn'yi aşan gecikmeler söz konusudur. Bu durum birçok sürücü için kabul edilemez olarak nitelendirilmektedir. Yüksek gecikme değerlerinin ana sebebi doygunluğun aşılmasıdır. Aynı zamanda 1.00'in altında fakat yüksek v/C oranları sebebiyle devre bozuklukları gözlenmektedir. Taşıtların ilerleyişi iyice kötü bir hal almıştır ve uzun devre süreleri görülmektedir. Çizelge 3.4'de Hizmet düzeyi-Gecikme süresi için değerler görülmektedir.

Çizelge 3.4 Sinyalize Kavşaklarda Hizmet Düzeyi-Gecikme Süresi İlişkisi (Murat, 1996)

Hizmet Düzeyi	Her araç için duruş gecikmesi
A	≤ 5.0
B	5.1-15.0
C	15.1-25.0
D	25.1-40.0
E	40.1-60.0
F	>60.0

3.3.2 Hesap Yöntemi

HCM' ye göre sinyalize bir kavşakta yapılacak çözümleme için öncelikli her bir şerit grubu ya da yaklaşım kolu için kapasite ve hizmet düzeyinin belirlenmesi, daha sonra kavşak için hizmet düzeyinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla öncelikle kavşakta geometrik, trafik ve sinyalizasyon şartları detaylı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla öncelikle kavşakta geometrik, trafik ve sinyalizasyon şartları detaylı olarak belirlenmektedir. Yöntemde çözüm için 5 ayrı modül takip edilmektedir.

Giriş Modülü: Bu modülde yapılacak hesaplamalara dayanan gerekli tanımlamalar yapılmaktadır. Kavşak geometrisi, trafik hacimleri ve koşulları ve sinyalizasyon ile ilgili tüm gerekli veriler girilmektedir.

Hacim Düzeltme Modülü: Pik saat için araç/saat biriminde talep hacimleri girilmektedir. Talep hacim değerleri 15 dakikalık analiz periyoduna çevrilmekte, aynı zamanda şerit dağılımı da göz önüne alınmaktadır.

Doygun Akım Oranı Modülü: Doyma akım oranı modülünde incelenen kavşaktaki yaklaşım kolları için doygun akım oranı hesaplanmaktadır. Bu modüle ideal doygun akım oranı seçilmekte ve bu oran pratik koşulların etkisine göre düzeltilmektedir.

Kapasite Analiz Modülü: Bu modülde hacim değerleri ve doygun akım oranları yardımıyla, her şerit grubu için v/C oranları, kapasite ve kavşak için kritik v/C oranı hesaplanmaktadır.

Hizmet Düzeyi Modülü: Hizmet düzeyi modülünde ele alınan her bir şerit grubu için gecikmeler tahmin edilmekte, kavşak ve yaklaşım kolları için bütün olarak gecikme ölçümleri toplanmakta ve hizmet düzeyi belirlenmektedir.

Bu modüller Çizelge 3.5’te özet olarak görülmektedir:

Çizelge 3.5 Çözüm Yöntemi Aşamaları

1.Giriş Modülü	2. Hacim Düzeltme Modülü	3. Doygun Akım Oranı Modülü	4. Kapasite Analizi Modülü	5. Hizmet Düzeyi Modülü
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Geometrik koşullar</i> - <i>Trafik koşulları</i> - <i>Sinyalizasyon koşulları</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Pik saat faktörü</i> - <i>Şerit grubu yerleşimi</i> - <i>Şerit gruplarına göre hacimler</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>İdeal doygun akım oranı</i> - <i>Düzeltilmeler</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Şerit grubu kapasitesinin hesabı</i> - <i>Şerit grubu v/c oranının hesabı</i> - <i>Sonuçların toplanması</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Şerit grubu gecikmelerinin hesabı</i> - <i>Gecikmelerin toplanması</i> - <i>Hizmet düzeyinin belirlenmesi</i>

3.3.2.1 Giriş Modülü

- **Geometrik Koşullar**

Yaklaşım eğilimleri, şerit sayısı ve genişlikleri ve park şeritleri gibi kavşakla ilgili veriler diyagram formunda tanımlanmaktadır. Ayrıca özellikle sağa ve sola dönüşler gözlenmektedir.

- **Trafik Koşulları**

Kavşak için trafik hacim değerleri her yaklaşım kolu için tanımlanmaktadır. Ağır taşıt yüzdesi ve kavşaktan geçen otobüs sayısı da tespit edilmektedir. Kavşakta sağa ve sola dönüşlere etkili olan yaya sayımları da gözönüne alınmaktadır. Ayrıca önemli trafik özelliklerinden biri

olan yaklaşım koluna varış türü için bu modülde bir sınıflandırma yapılmakta ve 5 türde incelenmektedir.

1.Tür: Kırmızı periyodun başlangıcında yoğun bir varışı ifade etmektedir. En kötü varış türü olarak nitelendirilmektedir.

2.Tür: Kırmızı periyodun ortasında yoğun bir varış hali yada kırmızı periyod sırasında dağınık olarak varış ifade edilmektedir. 1. tür varış halinden iyi olmasına rağmen hala istenmeyen bir durumdur.

3.Tür: Tüm kırmızı ve yeşil periyot esnasında dağınık takımlar halinde varışlar ifade edilmektedir. Kabul edilebilir Ortalama koşullar olarak nitelendirilir.

4.Tür: Yeşil periyodun başlangıcında yoğun bir varış ya da tüm yeşil periyod esnasında dağınık yoğun varışlar ifade edilmektedir. Arzu edilen takım varış halidir.

5.Tür: Yeşil periyodun başlangıcında yoğun bir varış ifade edilmektedir. En çok istenen varış türüdür.

- **Sinyalizasyon Koşulları**

Kavşaktaki sinyalizasyonun durumu ile ilgili detaylı bilgiler verilmektedir. Devre uzunluğu, yeşil süreler ve değişim aralıkları bir faz diyagramı ile gösterilmektedir. Yayalar için minimum yeşil süreler hesaplanmaktadır (3.50).

$$G_p = 7.0 + \left(\frac{W}{4.0}\right) - Y \quad (3.50)$$

G_p : Minimum yeşil süre(sn)

W : Kaldırım kenarından en yakın yaya refüj adasına olan mesafe (ft)

Y : Değişim aralığı (sarı ve kırmızı süre) (sn)

Ortalama devre uzunluğu ve yeşil süreler arazide detaylı incelemelerden sonra yapılmaktadır. Kavşağa önerilecek yeni sinyalizasyon değerleri düzeltilmiş hacim ve doymuş akım değerlerinin tespitinden sonra hesaplanmaktadır.

3.3.2.2 Hacim Düzeltme Modülü

Hesaplamalar üç grup başlığı altında yapılmaktadır:

1. Hacim değerlerinin 15 dakikalık pik analiz periyoduna dönüştürülmesi
2. Analiz için şerit gruplarının belirlenmesi
3. Grupta bulunan şerit sayısına göre şerit grubu akımlarının düzeltilmesi

- **Pik Akım Oranlarına Göre Hacimlerin Düzeltilmesi**

İlk olarak saatlik hacim değerleri pik saat faktörü yardımıyla 15 dakikalık pik hacim değerlerine dönüştürülmektedir. Pik saat faktörü şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$PHF = V/4 * V_{15} \quad (3.51)$$

Burada:

PHF: Pik saat faktörü

V: Saatlik hacim

V_{15} = Pik saatteki 15 dakikalık maksimum hacimdir.

Pik saat faktörü hesaplandıktan sonra akım oranı;

$$V_p = \frac{V}{PHF} \quad (3.52)$$

V_p : 15 dakikalık pik periyoda akım oranı (taşıt/saat)

V: Saatlik hacim (taşıt/saat)

PHF: Pik saat faktörü

- **Analiz İçin Şerit Gruplarının Belirlenmesi**

Şerit grubu, bir ya da daha fazla trafik akımına hizmet veren şerit sayısı olarak tanımlanmaktadır. Yaklaşım kolunu şerit gruplarına bölerek incelemek trafik akımlarının dağılımının gözlenmesi bakımından yararlı olmaktadır. Şerit grupları şu şekilde belirlenmektedir:

1. Özel bir sola veya sağa dönüş şeridi ayrı bir grup olarak tasarlanmalıdır.
2. Yaklaşım kolundaki özel sola ya da sağa dönüş şeritleri ile diğer tüm şeritler genellikle tekil bir şerit grubu içermektedir.
3. Bir yaklaşım kolunda şayet birden fazla şerit varsa ve bu şeritler hem sola dönen hem de düz geçen araçlar tarafından kullanılıyorsa, limit denge koşulları göz önünde bulundurularak sola dönüş fazla ise bu şeritlerden biri özel dönüş şeridi olarak tasarım edilebilir.

Son koşul şu şekilde kontrol edilebilir:

$$V_{LE} = V_L \frac{1900}{(1400 - V_0)} \quad (3.53)$$

V_{LE} : Yaklaşık eşdeğer sola dönen akı oranı (taşıt/saat)

V_L : Gerçek sola dönen akım oranı (taşıt/saat)

V_o : Toplam karşıt (ters yönde) akım oranı (taşıt/saat)

Eğer $V_o \geq 1400$ ise V_{LE} bir anlam ifade etmez. Sola dönüşler için korumalı faz düzenlenir. Eğer sola dönen akım oranı düz geçen akım oranından büyükse özel sola dönüş şeridi düzenlenmelidir. Sola dönen akım oranı düz geçen akım oranından küçükse şeritler hem sola dönen hem de düz geçen akımlar tarafından dengeli kullanılabilir ve bu durum tekil şeritli yaklaşım olarak isimlendirilir. Dolayısıyla şayet;

$$V_{LE} \geq (V_o - V_L)/(N - 1) \quad (3.54)$$

ise sola dönüş şeridi, ve şayet;

$$V_{LE} < (V_o - V_L)/(N - 1) \quad (3.55)$$

ise paylaşımlı şerit yapılmalıdır.

Çizelge 3.6'da bazı şerit grubu uygulamaları görülmektedir.

Çizelge 3.6 Analiz için tipik şerit grupları

Şerit Sayısı	Şeritlerdeki Akımlar	Şerit Grubu İhtimalleri
1	LT+TH+RT	1
2	EXCLT TH+RT	2
2	LT+TH TH+RT	1 2
3	EXCLT TH TH+RT	2 3

• Şerit Kullanımı İçin Düzeltmeler

Yaklaşım kolunda birden fazla şerit olduğunda akımlar eşit olarak dağılmadığında eşit olmayan şerit kullanımı söz konusu olmaktadır. Şerit kullanımı için yapılan düzeltmeler bu eşit olmayan kullanımı düzenlemekte ve akım oranını buna göre hesaplamaktadır. Bu düzeltme (3.56) eşitliğiyle yapılmaktadır.

$$v = v_g \cdot U \quad (3.56)$$

Burada:

v : Şerit grubu için düzeltilmiş akım talep oranı (taşıt/saat)

v_g : Şerit grubu için düzeltilmemiş akım talep oranı (taşıt/saat)

U : Şerit kullanım faktörüdür.

Şerit kullanım faktörü çoklu şeritli bir yaklaşım kolunda en çok kullanılan şeridin belirlenmesinde kullanılır. Çizelge 3.7’de sayılarına göre şerit kullanım faktörleri görülmektedir.

Çizelge 3.7 Şerit Kullanım Faktörü

Gruptaki Direkt Geçen Şerit Sayısı	Şerit Kullanım Faktörü
1	1.00
2	1.05
3	1.10

3.3.2.3 Doygun Akım Modülü

Bu kısımda her yaklaşım kolu için doygun akım değeri hesaplanmaktadır. Doygun akım oranı, şerit grubu tarafından yaklaşım kolunda daima yeşil periyodun hakim olduğu kabulü ile saatteki araç sayısını veren akımdır.

Hesaplamaların ilk adımı ideal doygun akımın seçilmesiyle başlamaktadır. Bu değer genellikle 1900 taşıttır. (her şeritteki bir saatlik yeşil sürede geçen). İdeal doygun akım değeri kapasiteyi etkileyen çevresel faktörler ile düzeltilmekte ve şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$S = S_o N f_w f_{HV} f_g f_{BB} f_{RT} f_{LT} \quad (3.57)$$

Burada:

S : Doygun akım oranı

S_o : İdeal akım oranı

N : Gruptaki şerit sayısı

f_w : Şerit genişliği için düzeltme faktörü

f_{HV} : Ağır taşıtlar için düzeltme faktörü

f_g : Eğitim için düzeltme faktörü

- f_p : Park için düzeltme faktörü
- f_{BB} : Otobüs blokajı düzeltme faktörü
- f_a : Alan türü için düzeltme faktörü
- f_{RT} : Sağa dönüşler için düzeltme faktörü
- f_{LT} : Sola dönüşler için düzeltme faktörü

- **Şerit Genişliği Faktörü**

Dar ya da geniş şeritlerin kapasiteye etkisi şerit genişliği faktörü ile göz önüne alınmaktadır. Bilindiği üzere dar şeritlerin olumsuz, geniş şeritlerin ise olumlu etkisi söz konusudur. Çizelge 4.8’de şerit genişliği düzeltme faktörü kriterleri görülmektedir.

Çizelge 3.8 Şerit genişliği için düzeltme faktörleri

Şerit Genişliği (m)	2.45	2.75	3.05	3.35	3.65	3.95	4.25	4.55	>4.85
Şerit Genişliği Faktörü (f_w)	0.87	0.90	0.93	0.97	1.00	1.03	1.07	1.10	2 şerit kullanılmalı

- **Ağır Taşıt Faktörü**

Ağır taşıtlar otomobile göre ek bir boş hacim gerektirmektedir. Bu sebeple trafikteki etkisi bir faktör yardımıyla ifade edilmektedir. Çizelge 3.9’da ağır taşıtlar için düzeltme faktörleri görülmektedir.

Çizelge 3.9 Ağır taşıtlar için düzeltme faktörü

Yüzde Ağır Taşıt %HV	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30
Ağır Taşıt Faktörü(f_{HV})	1.00	0.99	0.980	0.97	0.96	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87

- **Eğim Faktörü**

Eğim faktörü tüm taşıtlar için eğim etkisini göz önüne almaktadır. Çizelge 3.10’da bazı eğim değerleri ve bu eğimlere karşılık gelen düzeltme faktörleri görülmektedir:

Çizelge 3.10 Eğim düzeltme faktörleri

Eğim %	Aşağı			Eşdüzey	Yukarı		
	-6	-4	-2		+2	+4	+6
Eğim Faktörü f_g	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97

- **Park Faktörü**

Park faktörü f_p , park şeridinin diğer şeritlere etkisini bulabilmek için kullanılmaktadır. Park alanına yapılan park manevrasının doygun akıma şerit sayılarına göre etkisi Çizelge 3.11’de görülmektedir.

Çizelge 3.11 Park için düzeltme faktörü

Şerit sayısı	Park sayısı	Saatteki	Park	Manevrası	Nm	
		0	10	20	30	40
1	1.00	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
2	1.00	0.95	0.92	0.89	0.87	0.85
3	1.00	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89

- **Otobüs Blokaj (Engelleme) Faktörü**

Otobüs engelleme faktörü, f_{BB} , ile kavşağa yakın mesafede yolcu almak ve indirmek için duran otobüslerin trafik akımına etkisi araştırılmaktadır. Çizelge 3.12’de otobüs blokaj (engelleme) faktörü görülmektedir:

Çizelge 3.12 Otobüs blokaj (engelleme) faktörü

Şerit sayısı	1 Saatlik	Periyodda	Duran	Otobüs	Sayısı
	0	10	20	30	40
1	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83
2	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92
3	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94

- **Alan Türü Düzeltme Faktörü**

Alan türü düzeltme faktörü f_a , iş merkezleri ile diğer yerleşim bölgeleri ile karşılaştırmasını yaparak kapasiteye etkisini göz önüne almaktadır. Bu diğer iş merkezlerinin yoğun olduğu bölgeler için 0.90, diğer bölgeler için 1.00 olarak alınmaktadır.

- **Sağa Dönüş Düzeltme Faktörü**

Sağa dönüş düzeltme faktörü birçok değişkene bağlı olarak belirlenmektedir:

- Sağa dönüş özel şeritten mi değil mi?
- Sinyal faz türü (korumalı, izinli ya da korumalı+izinli); korumalı fazda yayalar ile karşılaşma tamamen engellenmektedir.
- Yaya geçidini kullanan yaya hacmi
- Paylaşımlı şeritten sağa dönüş oranı
- Korumalı+izinli fazın korumalı kısmını kullanan araç oranı.

Faz planına ve şerit grubuna göre genel olarak sekiz tür sağa dönüş gerçekleştirilmektedir.

1.Özel RT Korumalı RT fazı ise $f_{RT}=0.85$

2.Özel RT şeridi; izinli RT fazı

$$\text{eğer } yaya \leq 1700 \text{ ise } f_{RT} = 0.85 - (yaya/2100) \quad (3.58)$$

$$\text{eğer } yaya > 1700 \text{ ise } f_{RT} = 0.05$$

3.Özel RT şeridi Korumalı+izinli RT fazı

$$f_{RT} = 0.85 - (1 - P_{RTA})(yaya/2100) \quad (3.59)$$

P_{RTA} : Korumalı fazda sağa dönüş oranı.

$$f_{RT} : 0.05 \text{ (minimum)}$$

4.Paylaşımlı RT şeridi, Korumalı RT fazı

$$f_{RT} = 1.0 - 0.15P_{RT} \quad (3.60)$$

P_{RT} : Sağa dönüş taşıtların oranı.

5.Paylaşımlı RT şeridi; İzinli RT fazı

$$f_{RT} = 1.0 - P_{RT} (yaya/2100) \quad (3.61)$$

$$f_{RT} = 0.05 \text{ (minimum)}$$

6.Paylaşımlı RT şeridi; Korumalı+izinli RT fazı

$$f_{RT} = 1.0 - P_{RT} (0.15 + (yaya/2100)(1 - P_{RTA})) \quad (3.62)$$

$$f_{RT} = 0.05 \text{ (minimum)}$$

7. Tekil Şerit

$$f_{RT}=0.90-P_{RT}(0.135+(yaya/2100)) \quad (3.63)$$

$$f_{RT} = 0.05 \text{ (minimum)}$$

8. Çift özel RT şeridi; Korumalı RT fazı

$$f_{RT}=0.75$$

- **Sola Dönüş Düzeltme Faktörü**

Sola dönüş düzeltme faktörü de sağa dönüş düzeltme faktörü gibi birçok değişkene bağlı olarak belirlenmektedir:

- Sola dönüşler için özel şerit varlığı
- Sinyal fazı türü (korumalı, izinli, korumalı+izinli)
- Paylaşımlı şeritten sola dönüş oranı
- İzinli sola dönüşlerde karşı yöndeki akım oranı
- Faz planına ve şerit gruplarına bağlı olarak sekiz tür sola dönüş mevcuttur:

1. Özel LT Korumalı LT fazı

$$f_{LT}=0.95$$

2. Özel LT şeridi; izinli LT fazı

ÖZEL İŞLEM

3. Özel LT şeridi; Korumalı+ izinli LT fazı

$$f_{LT}=0.95$$

4. Paylaşımlı LT şeridi, Korumalı LT fazı

$$f_{LT}=1.0/(1.0+0.05P_{LT}) \quad (3.64)$$

P_{LT} : Sola dönen taşıt oranı

5. Paylaşımlı LT şeridi, İzinli LT fazı

ÖZEL İŞLEM

6. Paylaşımlı LT şeridi, Korumalı+ izinli LT fazı

Eğer $V_o \leq 1220$ ise

$$f_{LT} = (1400 - V_o) / ((1400 - V_o) + (235 + 0.435 V_o) PLT) \quad (3.65)$$

Eğer $V_o > 1220$ ise

$$f_{LT} = 1 / (1 + 4.525 plt) \quad (3.66)$$

7. Tek Şeritli Yaklaşım

ÖZEL İŞLEM

8. Çift özel LT şeridi; Korunmalı LT fazı

$$f_{LT} = 0.92$$

• Sola Dönüş Düzeltme Faktörü için Özel İşlem

Eğer bir şerit grubu izinli sola dönüş manevrası içeriyorsa, düzeltme faktörü bir dizi kompleks denklem yardımıyla tespit edilmektedir. Sola dönen, düz geçen ve karşıt akımlar arasındaki etkileşim göz önüne alınarak formüller yardımıyla düzeltme faktörü ifade edilmektedir.

Sola dönüş düzeltme faktörü denklemdaki üç farklı akımın etkisini yansıtmaktadır:

- Paylaşımlı bir şeritte yeşil periyodun başlangıcında bekleyen düz geçiş yapacak akımın sola dönüş yapacak taşıtlar tarafından engellenmesi
- Karşıt akımın doymuş olmayan periyodu esnasında paylaşımlı şerit y da sola dönen şeritteki akım
- Yeşil periyodun sonunda sola dönüş yapan ve karşıt akımda uygun bir zaman aralığı için kavşakta bekleyen taşıtların oluşturduğu akım.
- Şu işlemler izlenerek sola dönüş için uygun bir düzeltme faktörü hesaplanabilir:

1. Karşıt akım için doymuş akım

$$S_{op} = 1900 N_o / (1 + P_{LT_o} (400 + v_M / (1400 - v_M))) \quad (3.67)$$

S_{op} : Karşıt akım için doymuş akım oranı

N_o : Karşıt ana şeritler

v_M : Ana yaklaşım akım oranı

2. Karşıt akım için doymuş akım oranı şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$Y_o = V_o / S_{op} \quad (3.68)$$

Burada

Y_o : Karşıt yaklaşım için akım oranı

V_o : Toplam yaklaşım akım oranı

3. Yeşil periyodun karşı akım tarafından engellenmeyen kısmı şu şekilde tahmin edilmektedir:

$$g_o = F(g/c - Y_o) / (1 - Y_o) \quad (3.69)$$

Şayet $Y_o \geq g/c$ ise $g_o = 0$ dır.

g_o : karşıt akımda kuyrukta bekleyen taşıtların tahliye arasında yeşil periyodun engellenmeyen kısmı

G: Etkin yeşil süre

C: Devre süresi

4. Sola dönüş doygun akım faktörü karşıt akım göz önüne alınarak şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$f_s = (875 - 0.625V_o) / 1000 \quad (3.70)$$

f_s : Sola dönüş doygun akım faktörü

5. Paylaşımlı bir şeritten sola dönen akım oranı:

$$P_L = P_{LT} (1 + (N-1)g / (f_s g_u + 4.5)) \quad (3.71)$$

6. Paylaşımlı bir şeritten sola dönecek bir taşıt gelinceye kadar kavşağa giren taşıtların işgal ettiği yeşil periyod

$$g_l = 2P_T / P_L (1 - P_L^{0.5} q)$$

g_l : Paylaşımlı bir LT/TH şeridinden araçların hareket ettiği yeşil periyodun başlangıç kısmı

g_q : Karşıt akımın tahliyesi ile yeşil periyodun engellenen kısmı.

7. Karşıt akımın doygun olmadığı zaman yaklaşık direkt taşıt eşdeğeri

$$E_L = 1900 / (1400 - v_o) \quad (3.72)$$

E_L : Yaklaşık düz geçen taşıt değeri.

8. Paylaşımlı LT/TH şeridi ya da özle LT şeridi için sola dönüş faktörü:

$$f_m = g_r / g + g_u (1 / (1 + P_L (E_L - 1))) + 2 / g (1 + P_L) \quad (3.73)$$

(3.73) ifadesi tekil şerit için geçerlidir, çok şeritli ve paylaşımlı bir şerit için sola dönüş faktörü:

$$f_{LT} = (f_m + N - 1) / N \quad (3.74)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

3.3.2.4 Kapasite Analiz Modülü

Kapasite analiz modülünde daha önceki kısımlarda bulunan parametreler kullanılarak şu kapasite değişkenleri hesaplanmaktadır.

- Her şerit grubu için akım oranı
- Her şerit grubunun kapasitesi
- Her şerit grubu için v/C oranı
- Tüm kavşak için kritik v/C oranı

Akım oranı düzeltilmiş akım oranının düzeltilmiş doygun akım oranına bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

Her yaklaşım kolunun kapasitesi (3.75) bağıntısı ile hesaplanmaktadır:

$$C_i = S_i * (g/c)_i \quad (3.75)$$

Eğer sinyal süreleri biliniyorsa kapasitenin hesaplanabilmesi için tayin edilmesi gerekir. Bu daha sonraki kısımlarda açıklanacaktır.

v/C oranı düzeltilmiş akımın kapasiteye bölünmesiyle elde edilmektedir (3.76):

$$X_i = v_i / C_i \quad (3.76)$$

Bu modülde hesaplanması gereken son parametre ise kavşak kritik v/C oranıdır.

$$X_c = \sum_i (v/S)_{ci} * [c/(c - L)] \quad (3.77)$$

Bu oran kritik şerit gruplarındaki araçlarca kullanılan uygun kapasite yüzdesini göstermektedir. Eğer bu değer 1.00'ı aşarsa bir veya daha fazla kritik şerit grubu, kapasitenin üzerinde hizmet vermek zorunda kalacaktır. Sonuç olarak bu durum kavşak tasarımının, faz süresinin ve sinyal düzenlemesinin talep için yetersiz olduğunu göstermektedir.

Eğer v/C oranı 1.00'den küçükse, kavşağın tarımı, devre uzunluğu ve sinyal süresi kapasiteyi aşan tüm kritik akımlar için yeterlidir.

X_c 'nin hesaplanması kritik şerit gruplarının belirlenmesini gerektirmektedir. Sinyal tekrarlı, değilse kritik şerit grubunun belirlenmesi oldukça kolaydır. Tekrarlı fazlarda karmaşık durumlar söz konusu olmaktadır. Kritik şerit gruplarının belirlenmesinde şu adımlar takip edilecektir:

1. Fazlar tekrarlı değilse;
 - a. Her sinyal fazı için bir kritik şerit gurubu vardır.
 - b. Verilen sinyal fazı içinde en yüksek akım oranına (v/S) sahip şerit grubu kritik şerit grubudur.
 - c. Kritik şerit sinyal fazlarının belirlenmesinde kullanılabilir.
2. Fazlar tekrarlı ise;
3. Faz planına bağlı olarak, en büyük mevcut kapasiteyi verecek şerit gruplarının belirlenmesi gerekir. Bu gruplar sinyal fazlarının belirlenmesinde de kullanılır.
4. Kritik şerit gruplarının belirlenmesinde bir sinyal fazında sadece bir kritik şerit grubunun bulunacağı unutulmamalıdır.

3.3.2.5 Hizmet Düzeyi Modülü

Hizmet düzeyi modülünde, her yaklaşım kolu ve kavşağın geneli için, her aracın ortalama gecikme süreleri hesaplanmaktadır. Sinyalize kavşaklarda hizmet düzeyi direkt olarak gecikmeye bağlıdır.

Rastgele Varışlar İçin Gecikme Süresi

Gecikme süresi her şerit grubu için aşağıdaki formülden faydalanarak hesaplanabilir:

$$d = 0,381 * \frac{[1-g/c]^2}{[1-(\frac{g}{c})X]} + 173X^2[(X-1) + \sqrt{(X-1) + (16X/C)}] \quad (3.78)$$

Burada:

d : Şerit grubu için ortalama gecikme (sn/taşıt)

c : Devre süresi

g/c : Yeşil oran

X : Şerit grubu için v/C oranı

C : Şerit grubunun kapasitesi

Formülün ilk kısmı üniform gecikmenin hesabında kullanılmaktadır. Şerit grubunda kavşaktan geçme talebe eğer zaman içinde eşit olarak dağılıyorsa, üniform gecikmeden söz edilebilir. Formülün ikinci kısmı ise kavşağa gelen üniform talebin üzerinde taşıtın kavşağa gelmesi durumunda oluşan gecikmeyi hesaplamak amacıyla kullanılmaktadır.

Denklem v/C oranının 0.00 ile 1.00 değerleri arasında kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. Fakat gelen akımın kapasiteyi aşma süresi 15 dakikayı aşarsa gecikmeyi tayin etmek oldukça güç olmaktadır.

Genellikle kullanıcının sinyalizasyondaki bazı devre hatalarını görebilmesi açısından gecikmenin iki terim şeklinde hesaplanması tavsiye edilmektedir. Dolayısıyla gecikme formülü:

$$d = d_1 + d_2 \quad (3.79)$$

şeklini almaktadır. Burada:

d_1 : Üniform gecikme (sn/taşıt)

d_2 : Varışa bağlı ikinci terim (sn/taşıt)

İlerleme Düzeltme Faktörü

Yukarıda belirtilen gecikme formülü sadece aralıklı varışları ifade etmektedir. Fakat birçok durumda, taşıtlar kavşağa gruplar halinde gelmektedir. Dolayısıyla, formülden elde edilen değerlerin, taşıtların varışına ve ilerleme durumuna göre düzeltilmesi gerekmektedir. Bu düzeltme değerleri (sadece önceden ayarlı sinyaller için değerler verilmiştir) Çizelge 3.13'te görülmektedir.

Çizelge 3.13 İlerleme faktörü

Sinyal Türü	Şerit Grubu Türü	w/C Oranı X			Varış Türü		
			1	2	3	4	5
Sabit		<0.6	1.85	1.35	1.00	0.72	0.53
Zamanlı	TH-RT	0.8	1.50	1.22	1.00	0.82	0.67
		1.0	1.40	1.18	1.00	0.90	0.82

Gecikme Tahminlerinin Birleştirilmesi

Gecikme süreleri, bir yaklaşım kolu için hesaplanabildiği gibi bütün kavşağın ortalama gecikmesini bulmak amacıyla da hesaplanabilir. Şerit gruplarının ağırlıklı ortalaması alınarak bu hesaplama yapılabilir.

Bir yaklaşım kolunun ortalama gecikmesi:

$$d_A = \sum_i d_i v_i / \sum_i v_i \quad (3.80)$$

formülüyle hesaplanmaktadır. Burada:

d_A : yaklaşım kolunun ortalama gecikmesi (sn/taşııt)

d_i : i . şerit için gecikme (sn/taşııt)

v_i : i . şerit grubu için düzeltilmiş akım (taşııt/saat)

Yaklaşım ortalama gecikme değerleri, kavşağın ortalama gecikmesinin hesaplanmasında kullanılmaktadır:

$$d_I = \frac{\sum_A d_A v_A}{\sum_A v_A} \quad (3.81)$$

Burada:

d_i : Kavşakta araç başına düşen ortalama gecikme (sn/taşııt)

v_A : A yaklaşımının düzeltilmiş akım değeridir. (taşııt/saat)

Hizmet Düzeyinin Belirlenmesi

Kavşak hizmet düzeyi, doğrudan kavşak gecikme süresine bağlıdır. Gecikme süreleri her yaklaşım kolu ve kavşak için tespit edildikten sonra Çizelge 3.14 yardımıyla hizmet düzeyleri belirlenebilir.

Çizelge 3.14 Hizmet düzeyi belirleme tablosu

Hizmet Düzeyi	Açıklama
A	Serbest Akım
B	Oldukça Serbest Akım
C	Durgun Akım
D	Kararsız Akıma Yaklaşan Akım
E	Kararsız Akım
F	Zorlamalı ya da Tıkanık Akım

Devre Ve Faz Sürelerinin Hesaplanması

Gecikmelerin ve hizmet düzeylerinin hesaplanması için eğer bir faz süresi belirlenmemişse veya mevcut faz süresi ve yeşil süreler, kavşak düzenlemesi açısından uygun değilse, yeni bir faz süresi ve yeşil süre belirlenmesi gerekir, (3.82) ve (3.83) denklemleriyle bu hesaplar yapılabilir.

$$X_i = \frac{v_i C}{S_i g_i} = \frac{(v/S)_i}{(g/C)_i} \quad (3.82)$$

Faz ve yeşil sürelerin belirlenmesi sabit zamanlı ve uyarmalı sinyalizasyon sistemleri için ayrı işlemler içermektedir. Bu çalışmada sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi için gereken işlemler incelenmiştir:

(3.83) ve (3.84) ifadeleri şu şekilde de yazılabilir:

$$c = LX_c / (X_c - \sum_1 (v/S)_i) \quad (3.83)$$

$$g_i = \frac{v_i c}{S_i X_i} = \left(\frac{v}{S}\right)_i (c/X_i) \quad (3.84)$$

Burada:

- C : Devre uzunluğu (sn)
- L : Her devre için kayıp zaman (sn)
- X_c : Kavşak için kritik oran
- X_i : *i*. şerit grubu için v/C oranı
- (v/S_i) : *i*. şerit grubu için akım oranı
- G_i : *i*. şerit grubu için etkin yeşil süre

Kayıp süreler her yeşil süre için 2 ve 3 sn olarak alınabilir., toplam kayıp süre 4 veya 8 sn'yi aşmamalıdır.

Sinyal sürelerinin hesabında şu sıra takip edilebilir:

1. (3.84) bağıntısı kullanılarak minimum faz süresi tespit edilir. (X_c = 1.00 kabulü ile)
2. Daha önceki X_c değerine bağlı olarak (3.84) bağıntısıyla faz süresi tahmin edilir.
3. 1. Ve 2. Adımlar kullanılarak uygun bir faz süresi seçilir.
4. Her yaklaşım için X_c değerleri ve (3.83) bağıntısı kullanılarak uygun yeşil süreler seçilir.
5. İşlemlerin sonucunda yeşil süreler ile kayıp sürelerin toplamının, faz süresiyle aynı olup olmadığı kontrol edilir.

Genel olarak sinyalizasyon hesabı için trafik akımlarının değerlendirilmesinde yöntemler arasında farklılıklar olmasına rağmen, devre süresi hesaplamalarında benzerlik görülmektedir.

Avustralya yönteminde akımlar ayrı ayrı incelenmekte, her akım için doymuş akım değeri hesaplanmakta ve akım oranı belirlenerek maksimum akım oranlarına dayanarak kritik akımlar tespit edilmekte ve devre süresi hesabında kritik akımlardan faydalanılmaktadır. Yeşil süre hesabı için kritik akımlar belirleyici rol oynamaktadır.

İngiliz yönteminde ise fazlar göz önüne alınmakta, kavşaktaki faz durumuna göre her faz içinde aynı yaklaşım kolundaki akımlar toplanarak, doymuş akıma bölünerek faz için yaklaşım kollarındaki akım oranları tespit edilmekte, fazdaki maksimum akım oranları hesap

için kullanılmaktadır. Fazlar için yeşil süre hesaplanırken her fazın maksimum akım oranı toplam akım oranına bölünmekte ve bulunan değer devre süresi ile çarpılmaktadır.

Amerikan yönteminde de şerit grubu tespit edilmekte, şerit grubu için akım oranları hesaplanmakta ve kritik şerit grubu ile kavşak için akım oranları belirlenmektedir. Devre süresi hesabında ise kritik şerit gruplarından faydalanılmaktadır.

Bu bölümde açıklanan üç yöntemden Webster yöntemi diğer iki yöntemin öncüsü konumundadır. Çünkü sinyal zamanlama ile ilgili hesaplama faaliyetleri Webster'in çalışmaları ile başlamıştır. Diğer yöntemlerin Webster yöntemi ile benzerlikleri bu ilişkiden kaynaklanmaktadır.

Bir sonraki bölümde bu bölümde anlatılan sinyal zamanlama metotlarından Webster metodu kullanılarak geliştirilen sinyal zamanlama algoritması ve bu algoritmanın İstanbul'da yapılan uygulaması anlatılacaktır.

4. SİNYAL ZAMANLAMA ALGORİTMASI ve İSTANBUL UYGULAMASI

Üçüncü bölümde anlatılan sinyal zamanlama metotlarından Webster Metodu kullanılarak geliştirilen sinyal zamanlama algoritması İstanbul'un çeşitli kavşaklarında uygulanarak performans ölçümü yapılmıştır. Algoritmanın tanıtımı ve uygulamasından önce İstanbul ulaşımı ve trafik yönetimi ile ilgili açıklamalar yapılmış, daha sonra da uygulamanın yapıldığı kavşaklar incelenmiştir.

4.1 İstanbul'da Ulaşım ve Trafik

İstanbul iline bağlı 39 ilçe, 1 Büyükşehir Belediyesi, 38 ilçe belediyesi, 782 mahalle ve 152 köy bulunmaktadır.

Metropolitan alanı 5389 km² olan İstanbul'un nüfusu 2007 nüfus sayımına göre yaklaşık 12.6 milyondur. Nüfusa göre dünyanın 8. büyük kenti olan İstanbul iline kayıtlı toplam araç sayısı 2.6 milyon civarındadır. Bu araçların 1.6 milyonu otomobildir. Her gün İstanbul trafiğine ortalama 400 araç eklenmektedir. Bir gün içinde trafikte 1.7 ile 1.8 milyon arasında araç görülmektedir. Bu araçlar 25,000 km'lik yol ağında seyahat etmektedirler. İki adet boğaz köprüsü ile birbirine bağlanan iki yakadan oluşan İstanbul'da iki yaka arası günlük yolculuk 1.3 milyon civarındadır. Özel araçla yapılan yolculuk süresi ortalama 49 dakikadır. İstanbul'daki araç sahiplik oranı 133 araç/1000 kişidir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 İstanbul Ulaşım İstatistikleri

Metropolitan Alan	5389 km ²
Nüfus (2007)	~ 12.6 milyon
Günlük Yolculuk	~ 21 milyon
Toplam Araç Sayısı	~ 2.6 milyon
Toplam Otomobil Sayısı	~ 1.6 milyon
Trafikteki Günlük Araç Sayısı	1.7-1.8 milyon
Trafiğe Eklenen Araç Sayısı	400 araç/gün
Toplam Yol Ağı	25000 km
İki Yaka Arası Yolculuk	~ 1.3 milyon
Özel Araçla Yapılan Ortalama Yolculuk Süresi	49 dk.
Araç Sahipliği Oranı	133 araç/1000 kişi

İstanbul'da özel araç dışında İETT otobüsü, özel halk otobüsü, servis araçları, taksi, dolmuş ve minibüsler karayolu seyahat alternatiflerindedir. Şehir içi ulaşım imkanları arasında demiryolu ve denizyolu da mevcuttur. Seyahat ve araç sayıları ve yolculuk dağılım oranları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Mevcut Ulaşım Türleri Dağılımı

ULAŞIM TÜRLERİ		GÜNLÜK YOLCULUK	ARAÇ SAYISI	
KARAYOLU	% 88,6	Özel Araç	2.650.000	1.636.501
		İETT Otobüsü	2.200.000	2.781
		Özel Halk Otobüsü	1.016.000	2.075
		Servis Araçları	1.800.000	6.360
		Taksi-Dolmuş	1.400.000	17.393
		Minibüs	2.000.000	43.000
DEMİRYOLU	% 8,1	TCDD	127.875	8
		Metro	881.152	222
DENİZYOLU	% 3,3	İDO	309.331	99
		Özel Deniz Motorları	100.669	393

4.2 İstanbul'daki Sinyalize Kavşaklar

İstanbul sınırları içinde 1628 adet sinyalize kavşak bulunmaktadır. İstanbul'daki sinyalize kavşaklar otomatik veya YTU olarak çalıştırılmaktadır. Otomatik olarak çalışan tüm kavşaklar gün içi ve hafta içi çoklu plana göre çalışmaktadır. Kavşakların kontrol tiplerine göre dağılımı Çizelge 4.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 Kontrol Tipine Göre Kavşak Sayıları

Kontrol Tipi	Kavşak Sayısı
Otomatik	411
Yarı Trafik Uyarımlı	658
Butonlu Yaya Geçidi	490
Engelli Yaya Geçiş Sistemi (EYS)	89
Tramvay Öncelikli Kavşak	69
Flaşör	38

GPRS modem vasıtası ile İstanbul'daki kavşaklara uzaktan erişim sağlanabilmektedir. İstanbul'daki tüm sinyalize kavşaklara uzaktan erişim sağlanarak, sistemin kapatılması, devreye alınması gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca trafik sinyal denetleyicileri (TSD) üzerindeki arıza kontrol sistemi sayesinde arıza alarmları otomatik olarak alınabilmektedir.

Sinyalizasyon programlama faaliyetleri farklı bölgelerde uzmanlaşmış personel tarafından yapılmaktadır. Sinyalize kavşakların bölgelere ayrılması ve personelin kendi bölgelerinde uzmanlaşmalarının nedeni İstanbul'da çok sayıda sinyalize kavşak olması ve trafiğin hafta içinde ve gün içinde farklı davranışlar göstermesidir.

İstanbul'da programlama uzmanları sorumlu oldukları bölgedeki kavşaklar ve trafik hakkında tecrübe ve bilgi sahibidirler. Yeni bir sinyalize kavşak tesis edildiğinde sistem devreye alınmadan önce programlama uzmanları kavşakla ilgili gözlem ve sayım yaparak trafik davranışlarını tespit etmektedirler. Bu gözlemlere göre gün içinde uygulanacak farklı plan sayısı, devre süresi, faz düzeni ve faz süreleri belirlenmektedir. Programlama ekipleri tarafından aktif sinyalize kavşaklarla ilgili olarak da program revizyonu, iyileştirme ve kavşaklar arası koordinasyon faaliyetleri de yapılmaktadır. Revizyon faaliyetine kavşak geometrisinde veya bölgede herhangi bir değişim sonucu trafik davranışında meydana gelen değişiklik nedeni ile ihtiyaç duyulmaktadır. İyileştirme çalışmaları programlama ile ilgili şikayet veya talepler geldiğinde yapılmaktadır. Bu çalışmalara ek olarak sürekli koordinasyon çalışmaları yapılmakta ve koordineli çalışan sinyalizasyon sistemi sayısı artırılmaktadır.

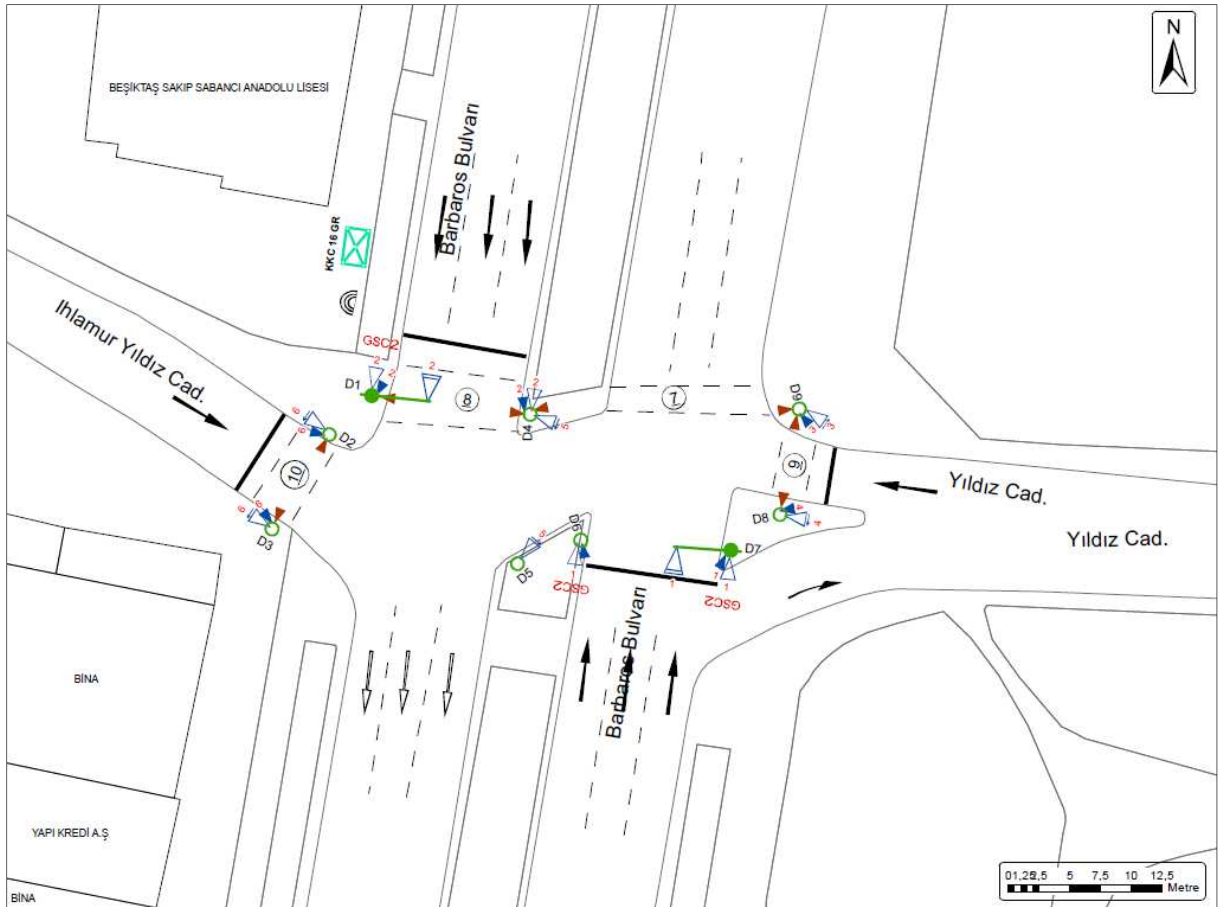
4.3 Uygulama Alanı

Geliştirilen sinyal zamanlama algoritması için uygulama alanı olarak İstanbul ilindeki çeşitli özelliklere sahip sinyalize kavşaklar ve Beşiktaş ilçesindeki Barbaros arteri seçilmiştir. Uygulama hafta içi sabah 08:00 ile 09:00 saatleri arasındaki araç sayımları dikkate alınarak

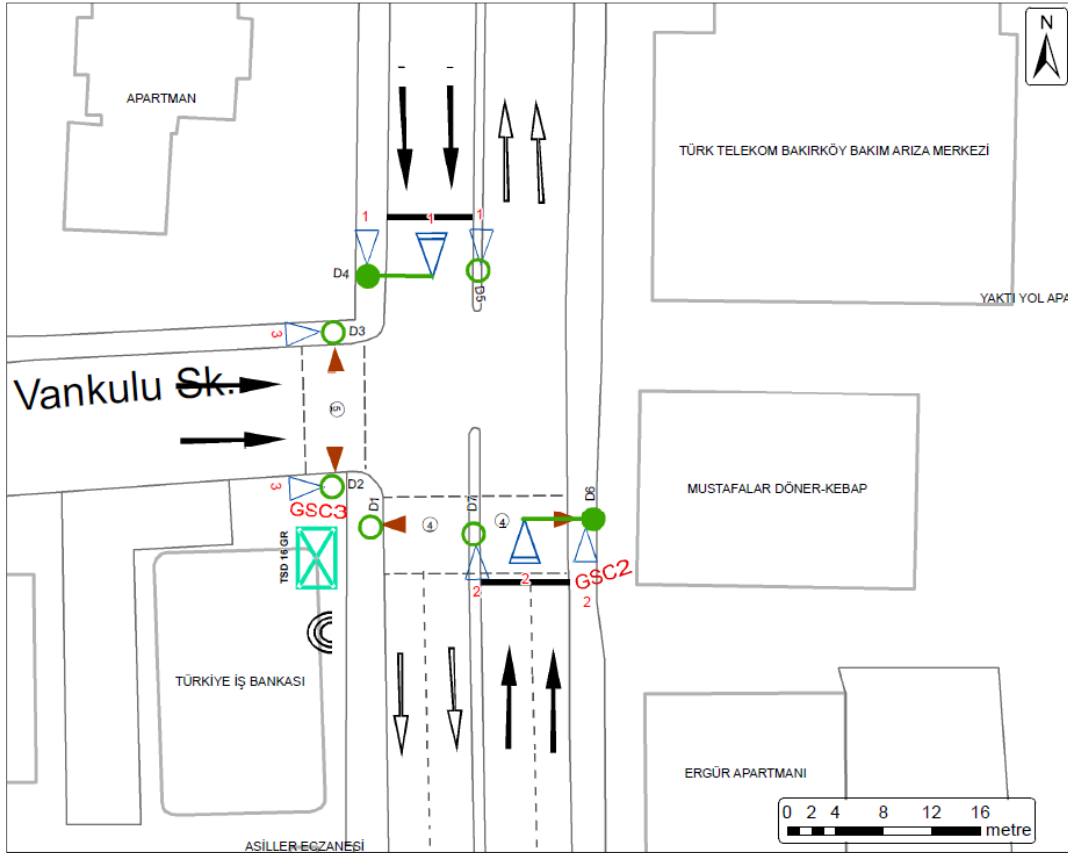
yapılmıştır. Algoritmanın performansını ölçmek için aşağıdaki kavşakların sinyal süreleri hesaplanarak mevcut sürelerle karşılaştırma yapılmıştır:

1. 2270 nolu Beşiktaş Yıldız Conrad Kavşağı
2. 1150 nolu Bakırköy Vankulu Sokağı Kavşağı
3. 2214 nolu Beşiktaş Balmumcu Camhan Kavşağı
4. 1159 nolu Fatih Akdeniz Caddesi Kavşağı
5. 2224 nolu Şişli Teşvikiye Karakol Kavşağı
6. Beşiktaş Barbaros Arteri

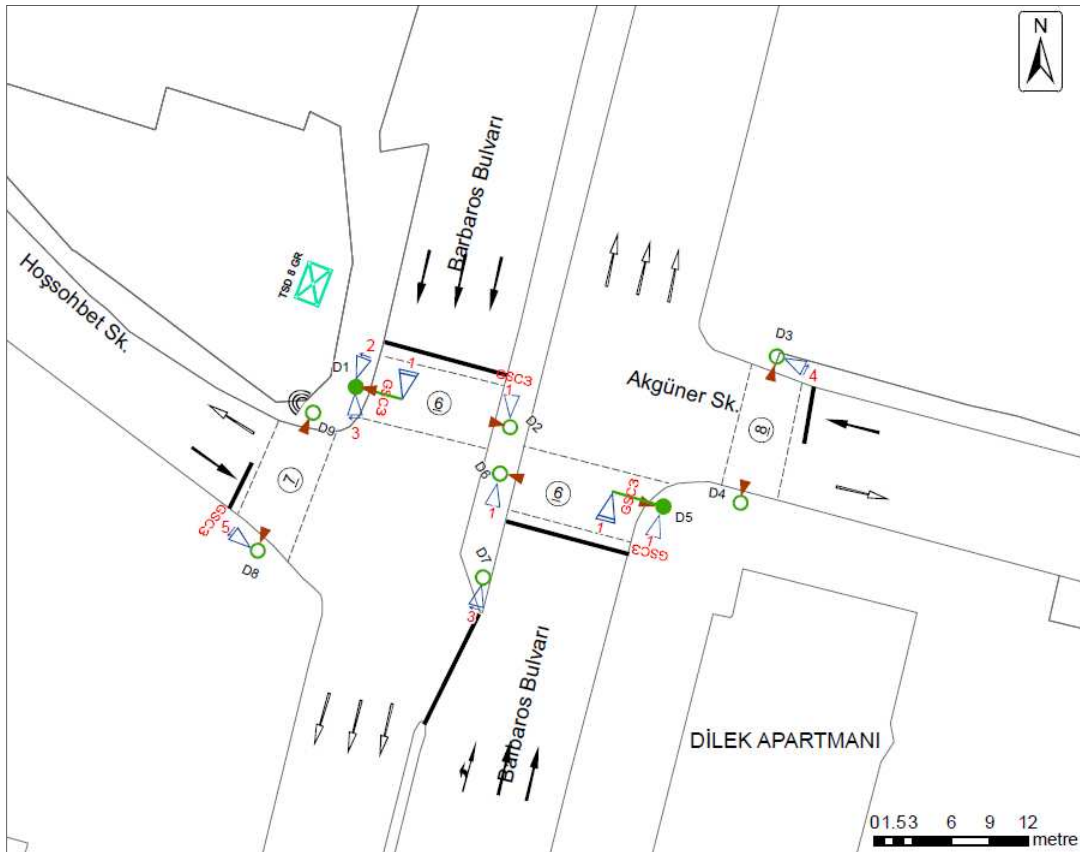
Kavşak seçimi yapılırken seçilen kavşakların farklı ilçelerdeki farklı tipteki kavşaklar olmasına dikkat edilmiştir. Farklı tip olarak kavşak geometrisi, kavşaktaki kol sayısı, kavşaktaki akım tipleri, akımların yönleri, kavşak yoğunluğu kastedilmiştir. En son olarak Barbaros arteri üzerinde algoritma verilerine dayanan yeşil dalga uygulaması yapılmıştır. Mevcut durumdaki yeşil dalga ile algoritmaya dayanan yeşil dalga uygulamasının performansları ölçülerek karşılaştırılmıştır. Uygulama yapılan kavşakların planları Şekil 4.1-4.6'da gösterilmektedir:



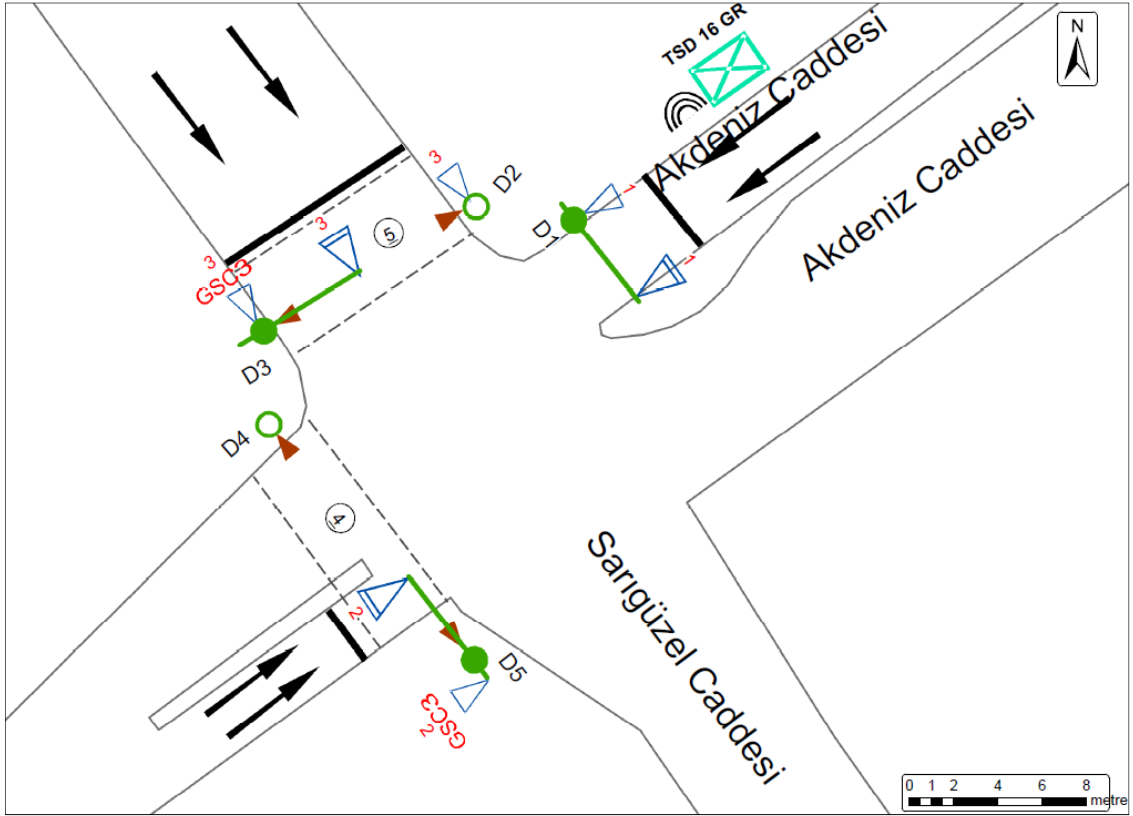
Şekil 4.1 2270 Beşiktaş Yıldız Conrad Kavşağı



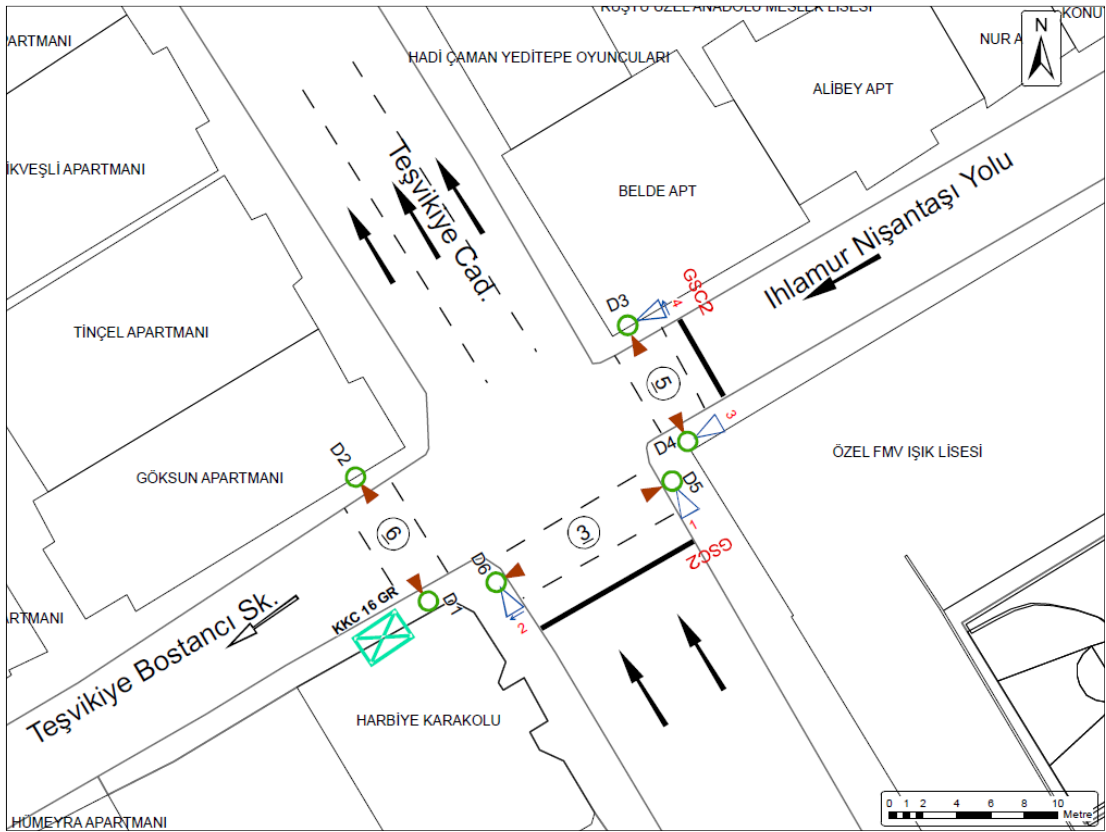
Şekil 4.2 1150 Bakırköy Vankulu Sokağı Kavşağı



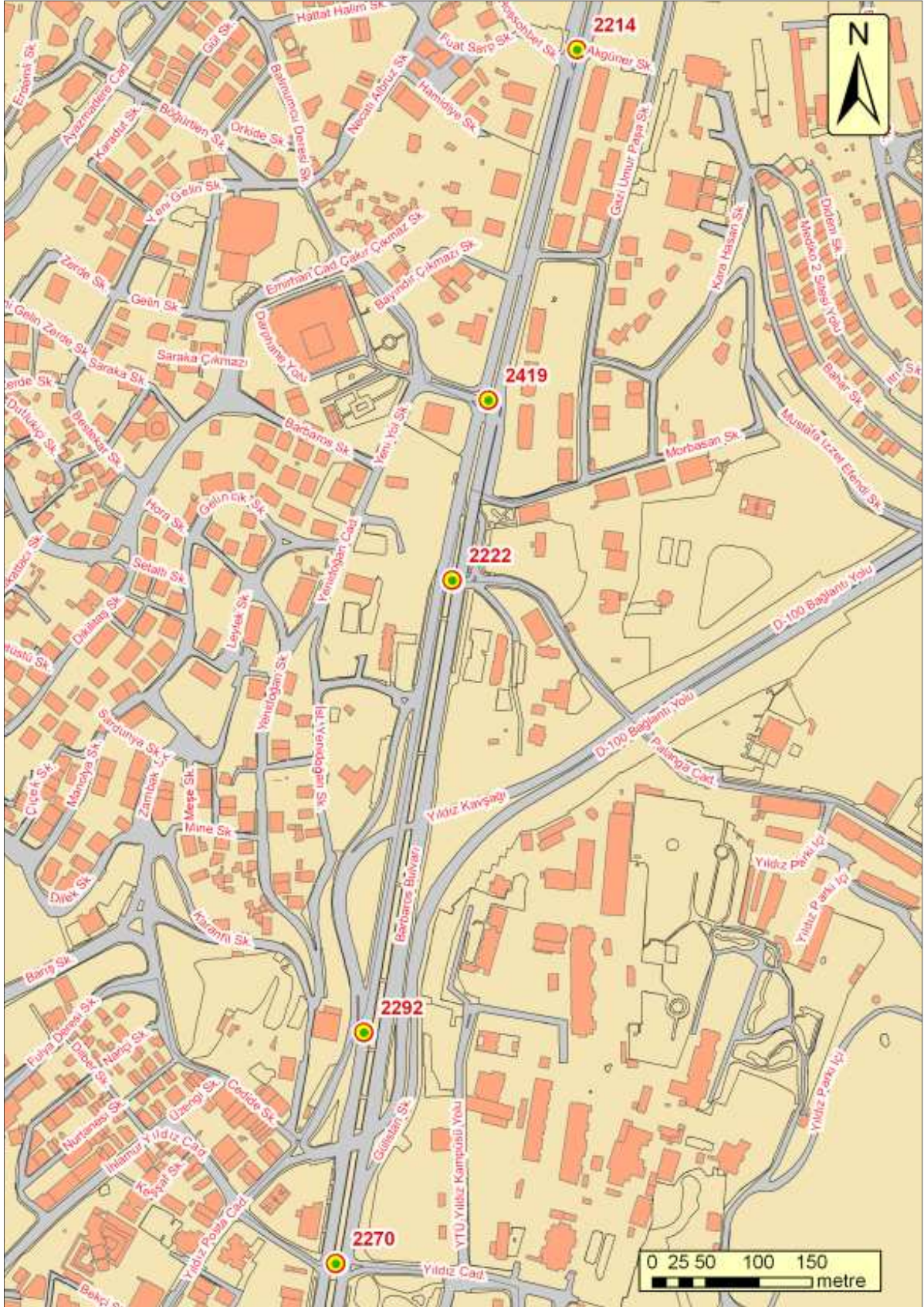
Şekil 4.3 2214 Beşiktaş Balmumcu Camhan Kavşağı



Şekil 4.4 1159 Fatih Akdeniz Kavşağı



Şekil 4.5 2224 Şişli Teşvikiye Karakol Kavşağı



Şekil 4.6 Barbaros Arteri

4.4 Çalışma Yöntemi

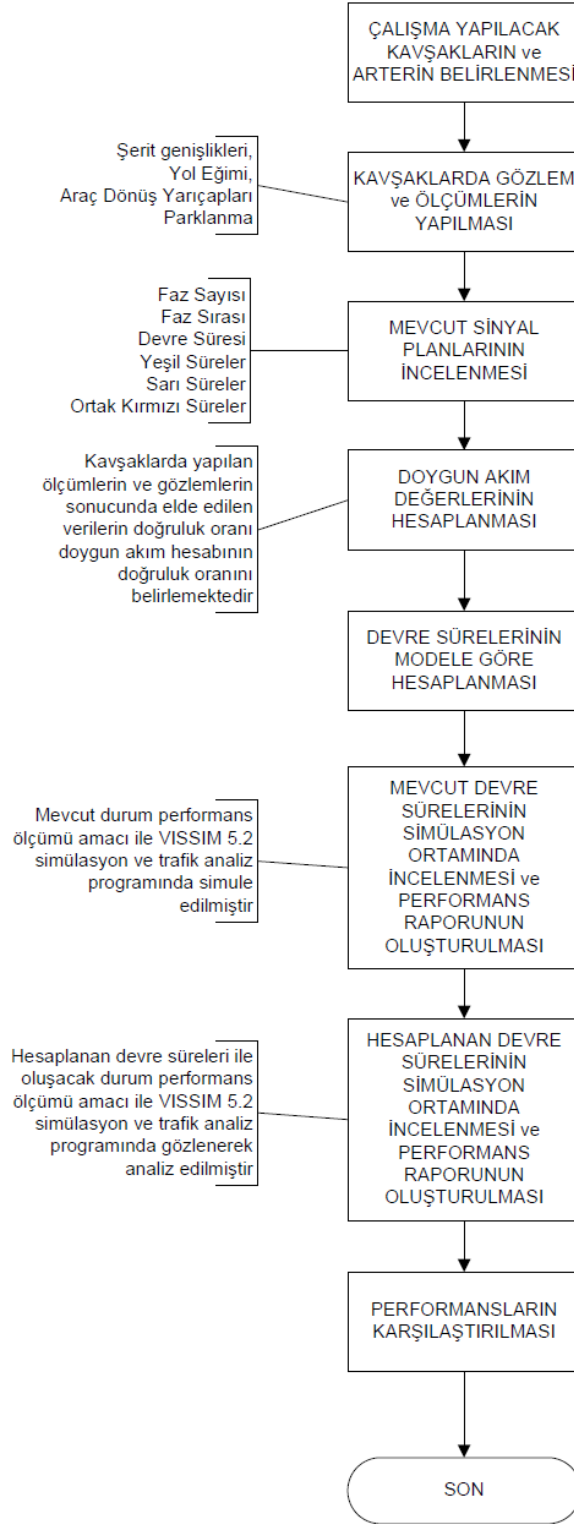
Bu çalışmada kent içi trafiğinin kontrolünde önemli role sahip olan sinyalize kavşaklar için Webster metodu kullanılarak sinyal zamanlama algoritması geliştirilmiş ve bu algoritma kullanılarak dokuz adet sinyalize kavşağın devre süresi hesaplanmıştır. Devre süresinin hesaplanması için gerekli olan araç sayıları 2007 ve 2008 yıllarında İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Ulaşım Daire Başkanlığı tarafından yapılan İleri Trafik Yönetim Sistemi Kurulum Optimizasyon ve Simülasyonu projesi kapsamında yapılan sayımlardan alınmıştır. Bu algoritma ile hesaplanan süreler; mevcut durumda kullanılan süreler ile VISSIM trafik analiz ve simülasyon programında analiz yapılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada performans kriteri olarak taşıt başına ortalama gecikme süresi, ortalama duruş sayısı, ortalama durma süresi, toplam CO ve NO_x emisyonu, yakıt tüketimi ve gözlenen bir saatlik süre içinde kavşağı terk eden taşıt sayısı alınmıştır.

4.4.1 Sinyal Zamanlama Algoritması

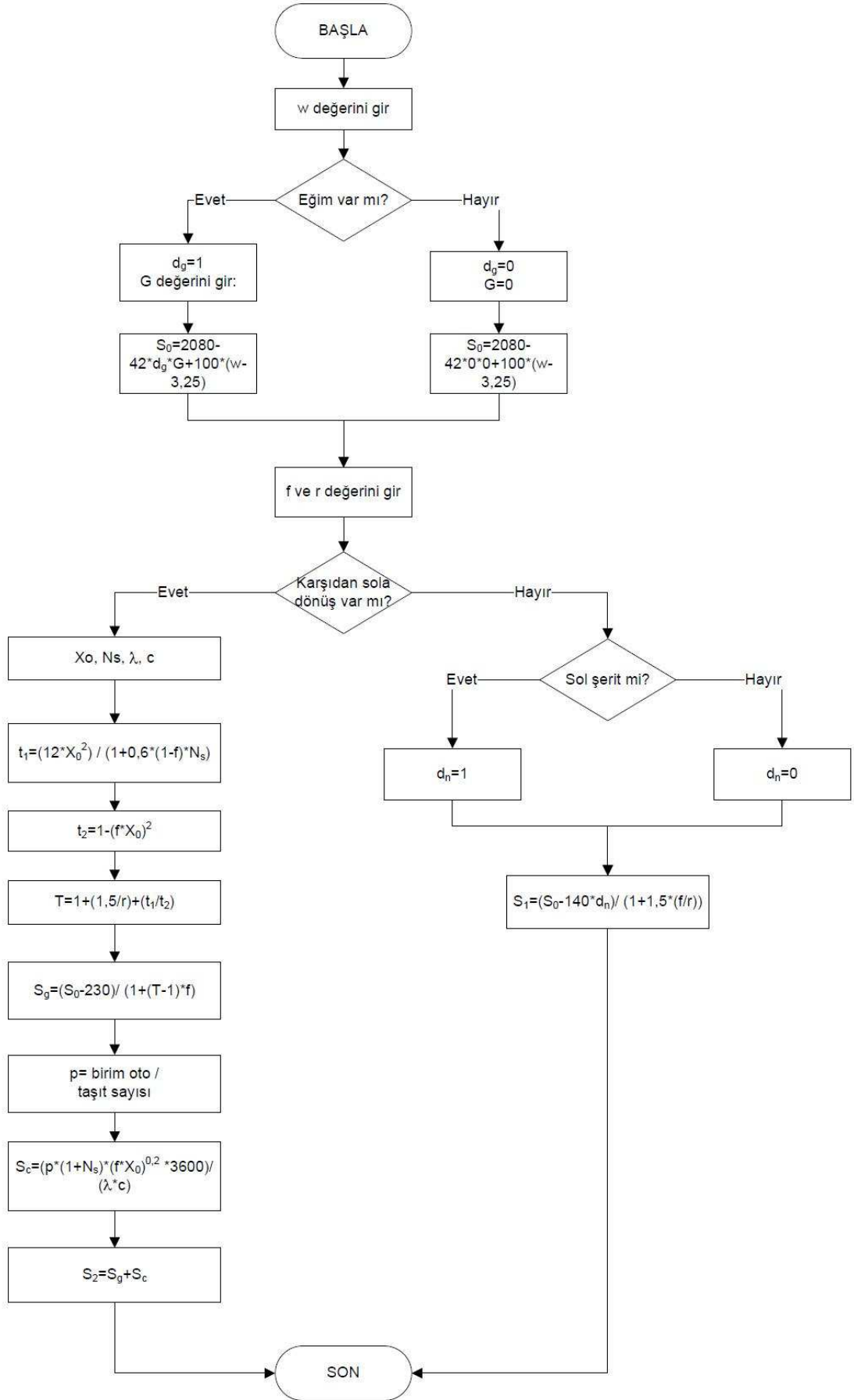
Sinyal sürelerinin hesaplanması üzerine uygun tekniklerin geliştirilmesi Webster'ın orijinal çalışması ile başlar (Webster, 1958; Webster ve Cobbe, 1966). Bu çalışmadan itibaren, sinyal sürelerinin hesaplanması için kullanılan analitik yöntemler, performans geliştirme amacına yönelik geliştirilmeye devam edilmiştir. İngiliz yöntemi olarak da bilinen Webster metodundan sonraki yıllarda, literatürde duyurusu yapılan ikinci bir analitik model de Akçelik modeli olarak da adlandırılan Avustralya modeli olmuştur. Devre süresi ve faz sürelerinin hesaplanmasında Avustralya yöntemi, Webster modeline benzer özellik göstermektedir (Akdoğan, 2001; Akbaş, 2001; Akçelik, 1994; Akçelik, 1995). Ardından bir çok kriteri dikkate alan HCM modeli geliştirilmiştir. Amerika Yöntemi olarak da adlandırılan yöntem, Amerika şartlarına uygun yaptığı sınıflandırmalara göre hesaplama yapmaktadır.

Trafik hacimleri, doygun akım değerleri ve bunlarla birlikte kavşak geometrisi de göz önüne alınarak belirlenen faz sayısı, faz planları ve minimum süreler sistemin giriş parametrelerini oluşturmaktadır. Doygun akım değeri değişik yöntemlerle hesaplanmaktadır. Şekil 4.7'de yapılan uygulama genel hatlarıyla anlatılmıştır. Bu çalışmadaki doygun akım hesaplama adımları Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Webster yöntemine göre minimum devre süresi belirlenmiş ve gecikme süresi hesaplanmıştır. Gecikme süresi hesaplanan devre süresi bir saniye arttırılarak tekrar gecikme hesabı yapılmıştır. Devre süresi 250 saniyeye ulaştığında hesaplama durdurularak devre süresi – gecikme süresi grafiği oluşturulmuştur. Gecikmenin minimum olduğu noktadaki devre süresi optimum devre süresi olarak belirlenmiştir. Devre süresinden kayıp zamanlar çıkarılarak kritik akım oranlarına göre fazlara yeşil süre olarak

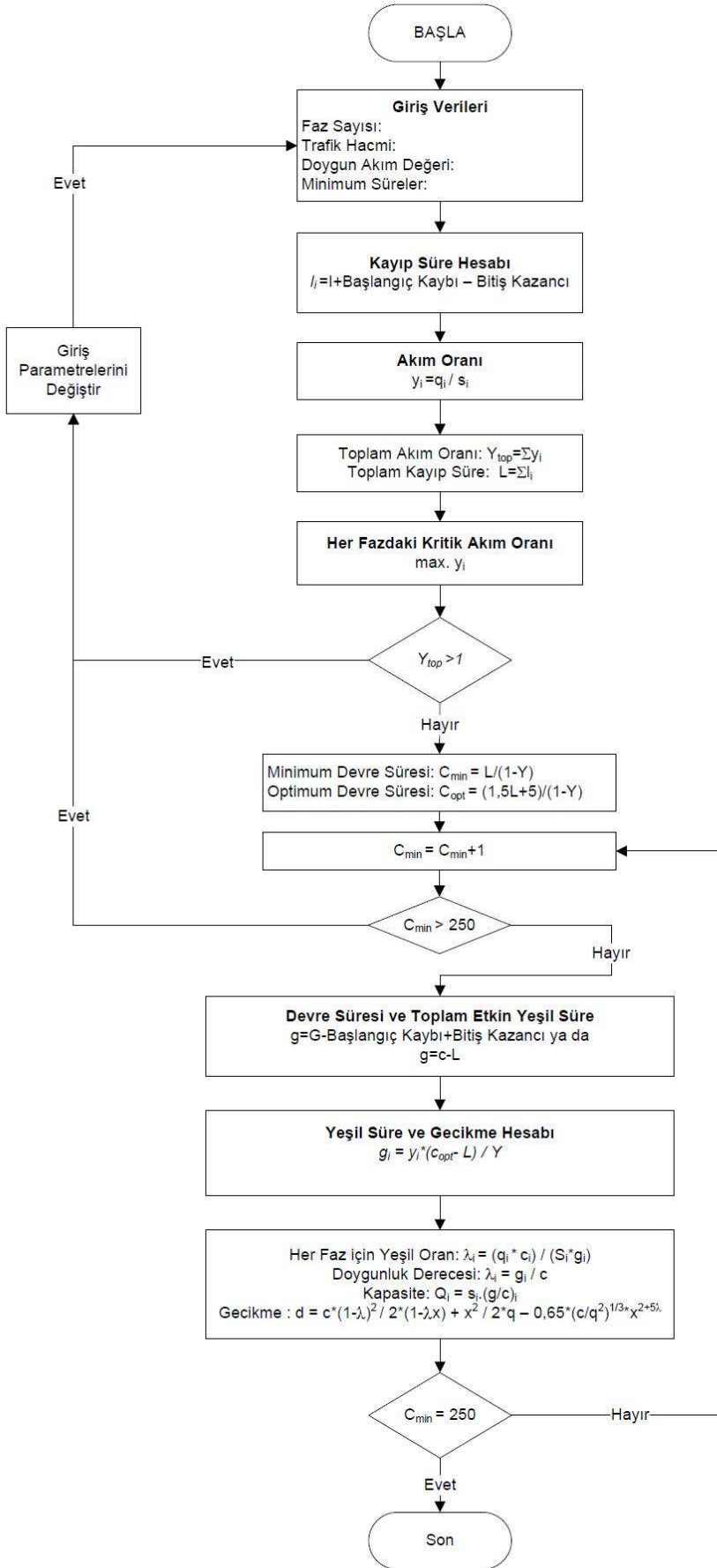
dağıtılmıştır. Devre süresi hesaplama algoritması Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Hesaplanan devre süresi ve kavşakta uygulanan devre süresi VISSIM 5.1’de simülasyon ortamında analiz edilmiştir. Analiz sonucunda çıkan sonuçlar karşılaştırılarak modelin performansı belirlenmiştir.



Şekil 4.7 Çalışma Genel Yapısı



Şekil 4.8 Doygun Akım Değeri Hesaplama Algoritması



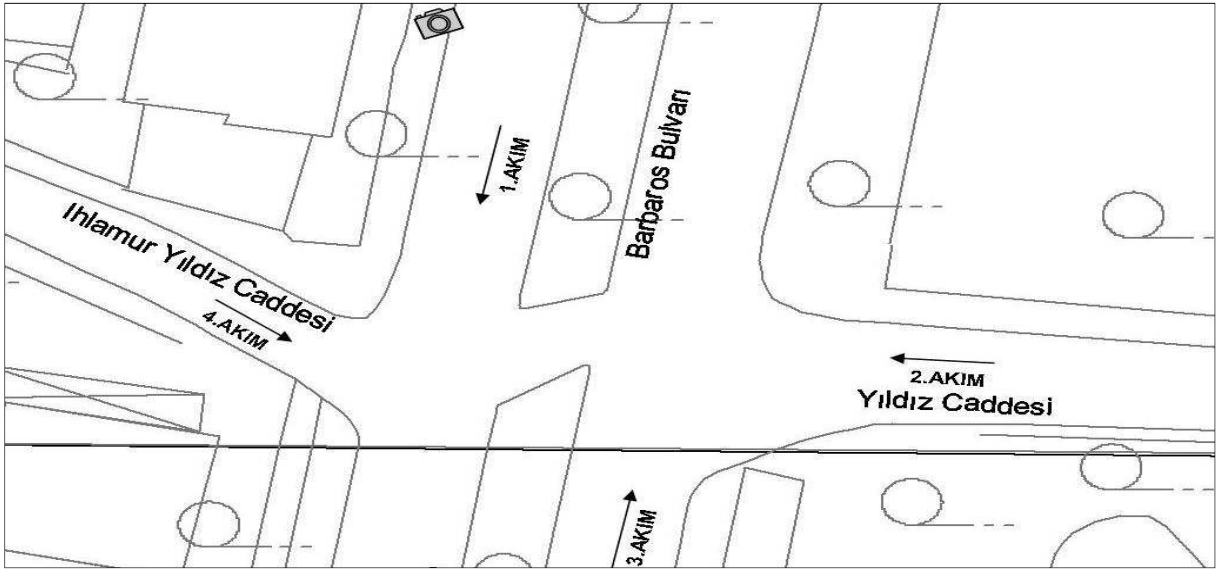
Şekil 4.9 Sinyal Zamanlama Algoritması

4.4.2 Araç Sayımı

Araç sayım değerleri 2007 ve 2008 yıllarında İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Ulaşım Daire Başkanlığı tarafından gerçekleştirilen İleri Trafik Yönetim Sistemi Kurulum Optimizasyon ve Simülasyonu projesi için yapılan sayımlardan alınmıştır.

Sayım yapılacak kavşağın tüm kollarının görülebileceği yüksek bir noktaya görüntü kaydedici yerleştirilerek çekim yapılmıştır (Şekil 4.10). Daha sonra bu görüntüler incelenerek araç sayımları yapılmıştır. Bu işlem çözümleme olarak adlandırılmaktadır. Çözümlemede araçlar Ağır Taşıt (AT) ve araç şeklinde sınıflandırılmıştır.

Çözümleme yapılacak olan kavşağın her bir kolu numaralandırılmış (Şekil 4.10) ve araçların hangi koldan gelip hangi kola gittiğini belirtmek amacı ile yatay ve dikeyde akım numaralarının yazıldığı matris yapıdaki bir tabloda gösterilmiştir (Çizelge 4.4). Bir saat dört parçaya bölünerek tabloya her 15 dakikada geçen toplam araç ve AT sayıları girilmiştir. En altta da bir saatlik toplam değerler gösterilmiştir. Tablonun solundaki satırlarda belirtilen akımlar geliş yönünü, tablonun üstündeki sütun başındaki akımlar ise gidiş yönünü göstermektedir. Tablodaki akım değerleri Şekil 4.11'deki gibi görselleştirilmektedir. Sayım formu özetleri EK 1'de verilmiştir.

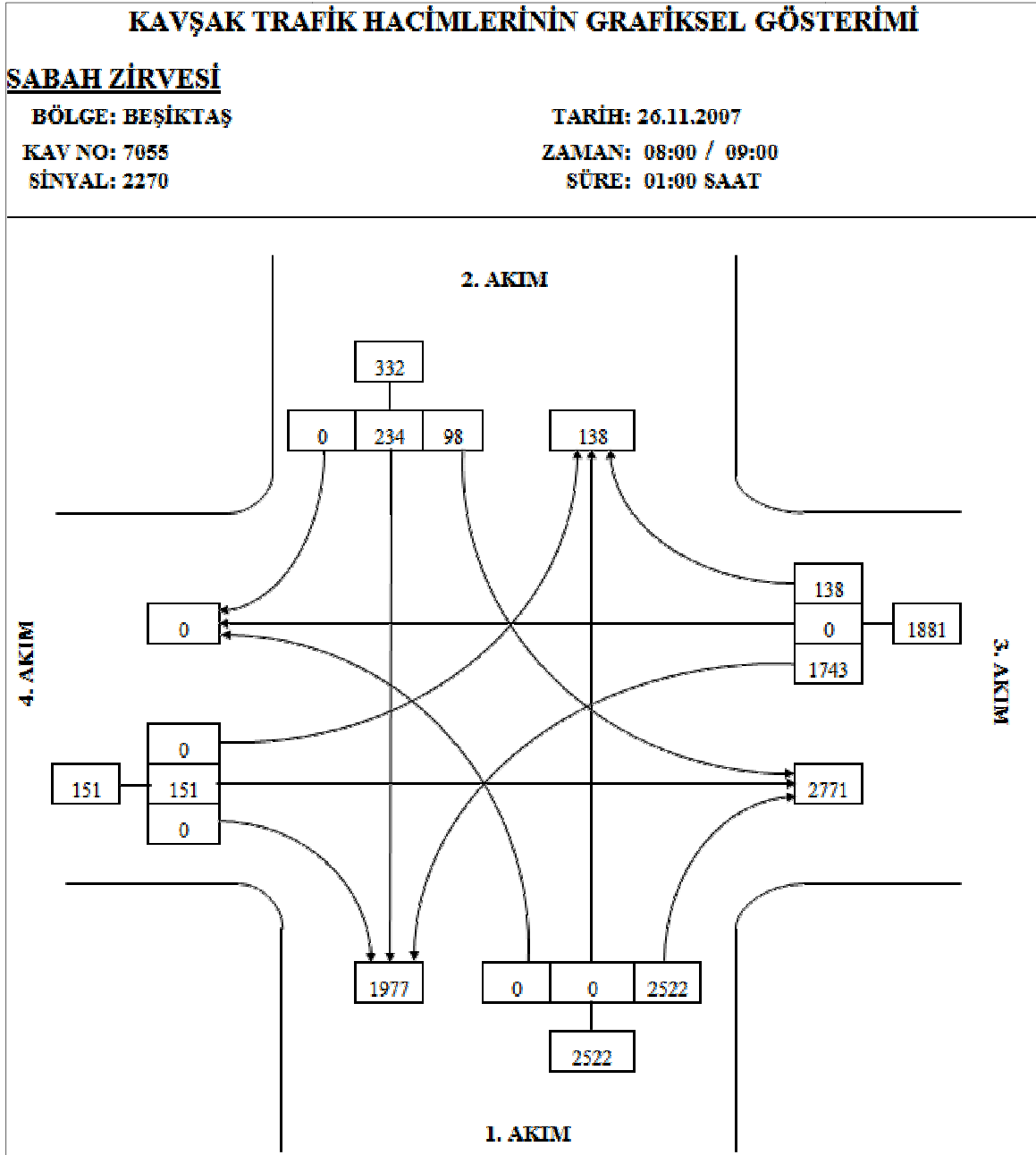


Şekil 4.10 Numaralandırılmış kavşak kolları örneği

Çizelge 4.4 Kavşak Sayım Formu Özeti

KAVŞAK SAYIM FORMU ÖZETİ

YÖN	ZAMAN		1. AKIM		2. AKIM		3. AKIM		4. AKIM		TOPLAM	
			Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT
1. AKIM	08:00	08:15	0	0	93	3	20	0	0	0	113	3
	08:15	08:30	1	0	97	2	15	1	0	0	113	3
	08:30	08:45	2	0	111	3	28	1	0	0	141	4
	08:45	09:00	6	0	148	2	29	3	0	0	183	5
	Toplam		9	0	449	10	92	5	0	0	550	15
	% AT				2,23		5,43				2,73	
2. AKIM	08:00	08:15	410	1	3	0	118	2	0	0	531	3
	08:15	08:30	407	2	0	0	136	8	0	0	543	10
	08:30	08:45	466	1	0	0	167	7	0	0	633	8
	08:45	09:00	475	1	0	0	168	3	0	0	643	4
	Toplam		1758	5	3	0	589	20	0	0	2350	25
	% AT		0,28				3,40				1,06	
3. AKIM	08:00	08:15	20	1	69	2	0	0	0	0	89	3
	08:15	08:30	22	1	58	0	0	0	0	0	80	1
	08:30	08:45	16	0	71	6	0	0	0	0	87	6
	08:45	09:00	31	0	59	2	0	0	0	0	90	2
	Toplam		89	2	257	10	0	0	0	0	346	12
	% AT		2,25		3,89						3,47	
4. AKIM	08:00	08:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:15	08:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:30	08:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:45	09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Toplam		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	% AT											



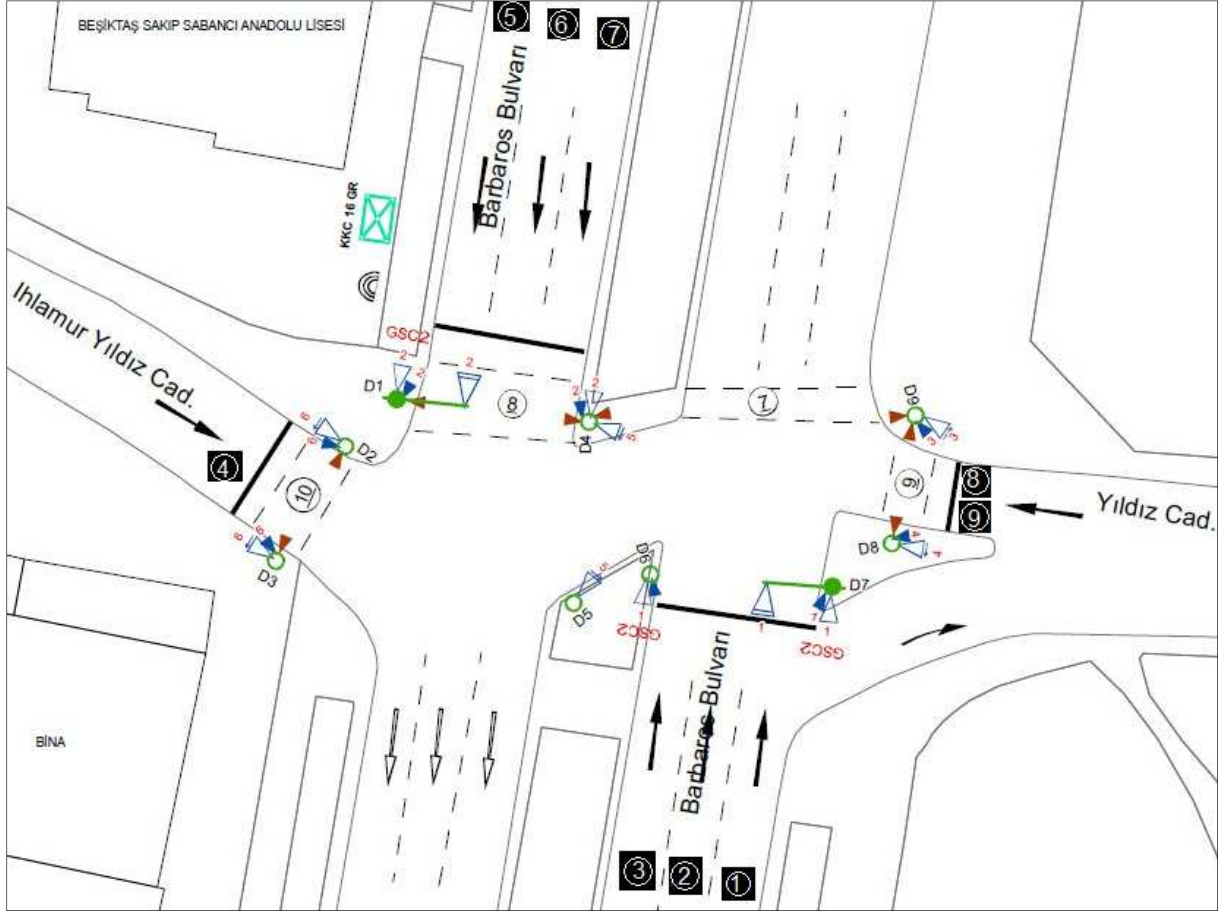
Şekil 4.11 Yıldız Conrad Kavşağı trafik hacimlerinin görsel ifadesi

4.4.3 Geliştirilen Algoritma ile Örnek Kavşaklarda Sinyal Sürelerinin Hesaplanması

Örnek kavşaklardaki sinyal süreleri C# ile geliştirilen sinyal zamanlama programı ile hesaplanmıştır. Doygun akım değerleri ise Şekil 4.8’de gösterilen algoritmaya göre formüller yazarak hazırlanan Excel programında hesaplanmıştır.

4.4.3.1 Doymun Akımlar

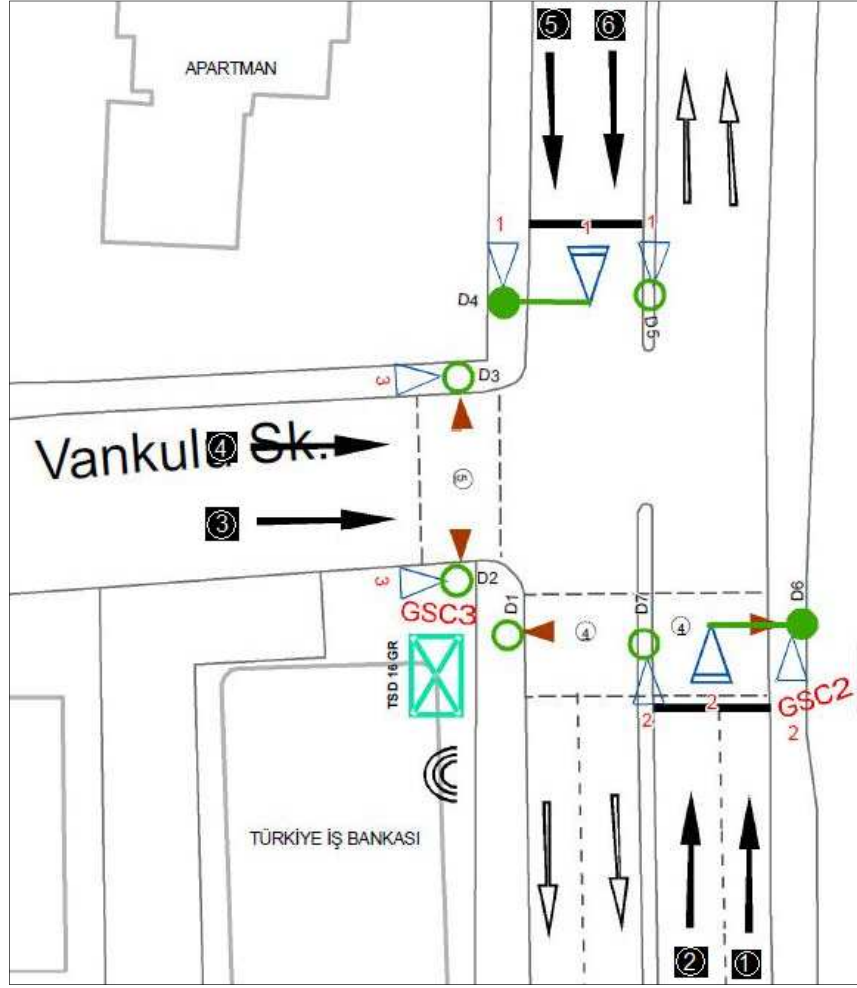
Uygulama yapılan kavşaklardaki şeritlerin doymun akım değerleri izelge 4.5 - 4.10'da listelenmiştir. Kavşaklardaki şeritler çizelgelerin hemen üstündeki şekil 4.12 - şekil 4.17'de gösterildiği gibi numaralandırılmıştır.



şekil 4.12 Yıldız Conrad Kavşağı akım numaraları

Çizelge 4.5 Yıldız Conrad Kavşağı doymun akım değerleri

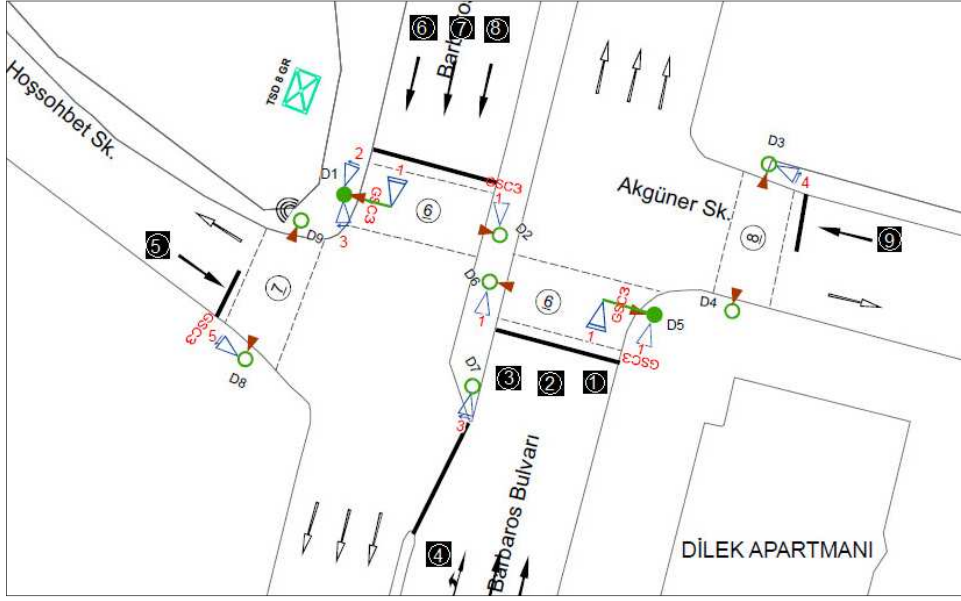
2270 YILDIZ CONRAD					
S1	2003	S4	1915	S7	2055
S2	2052	S5	2055	S8	1719
S3	2052	S6	2055	S9	1816



Şekil 4.13 Vankulu Sokağı Kavşağı akım numaraları

Çizelge 4.6 Vankulu Sokağı Kavşağı doymun akım değerleri

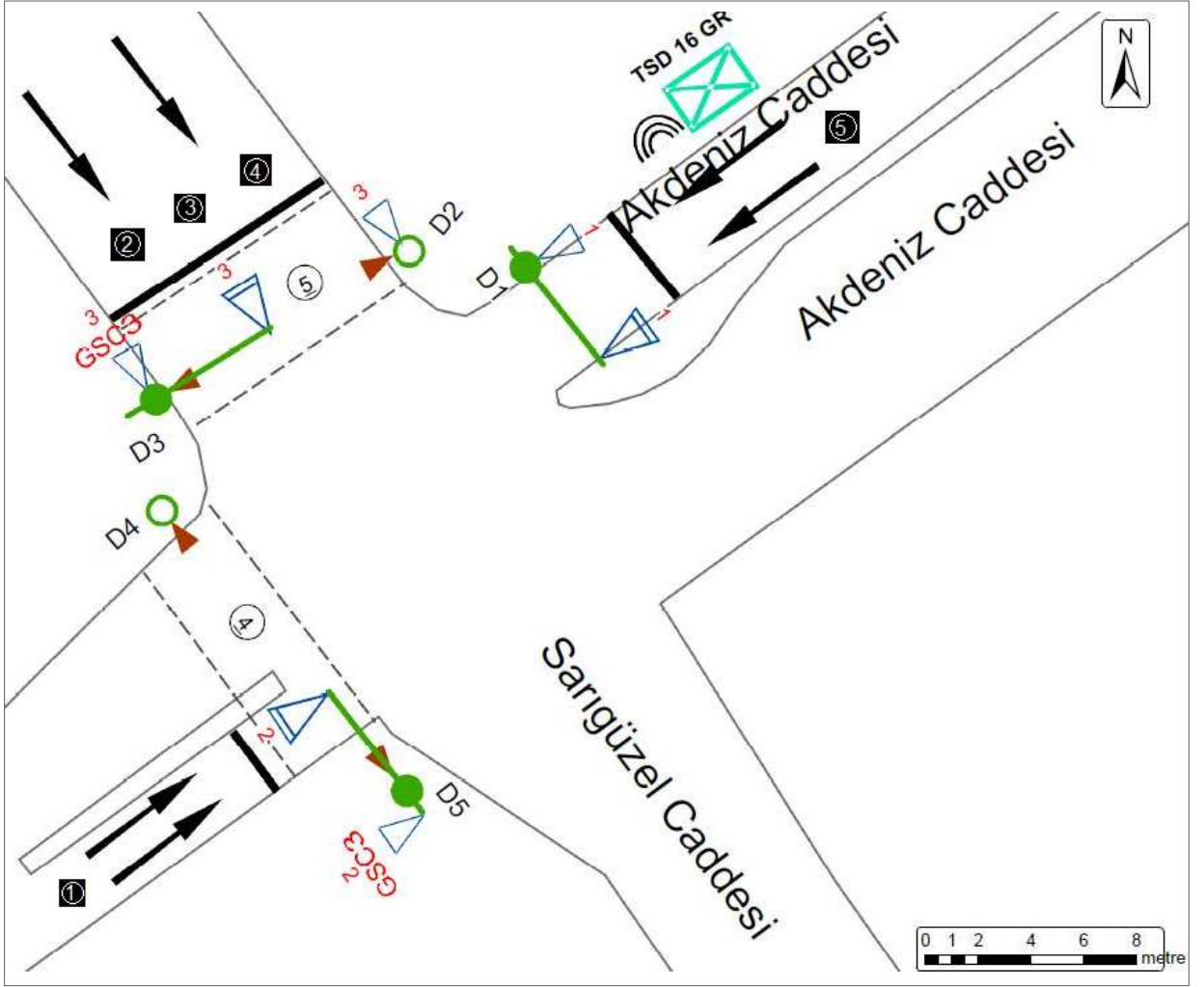
1150 VANKULU SOKAĞI					
S1	2100	S3	1855	S5	2100
S2	2100	S4	1930	S6	2100



Şekil 4.14 Balmumcu Camhan Kavşağı akım numaraları

Çizelge 4.7 Balmumcu Camhan Kavşağı doymun akım değeri

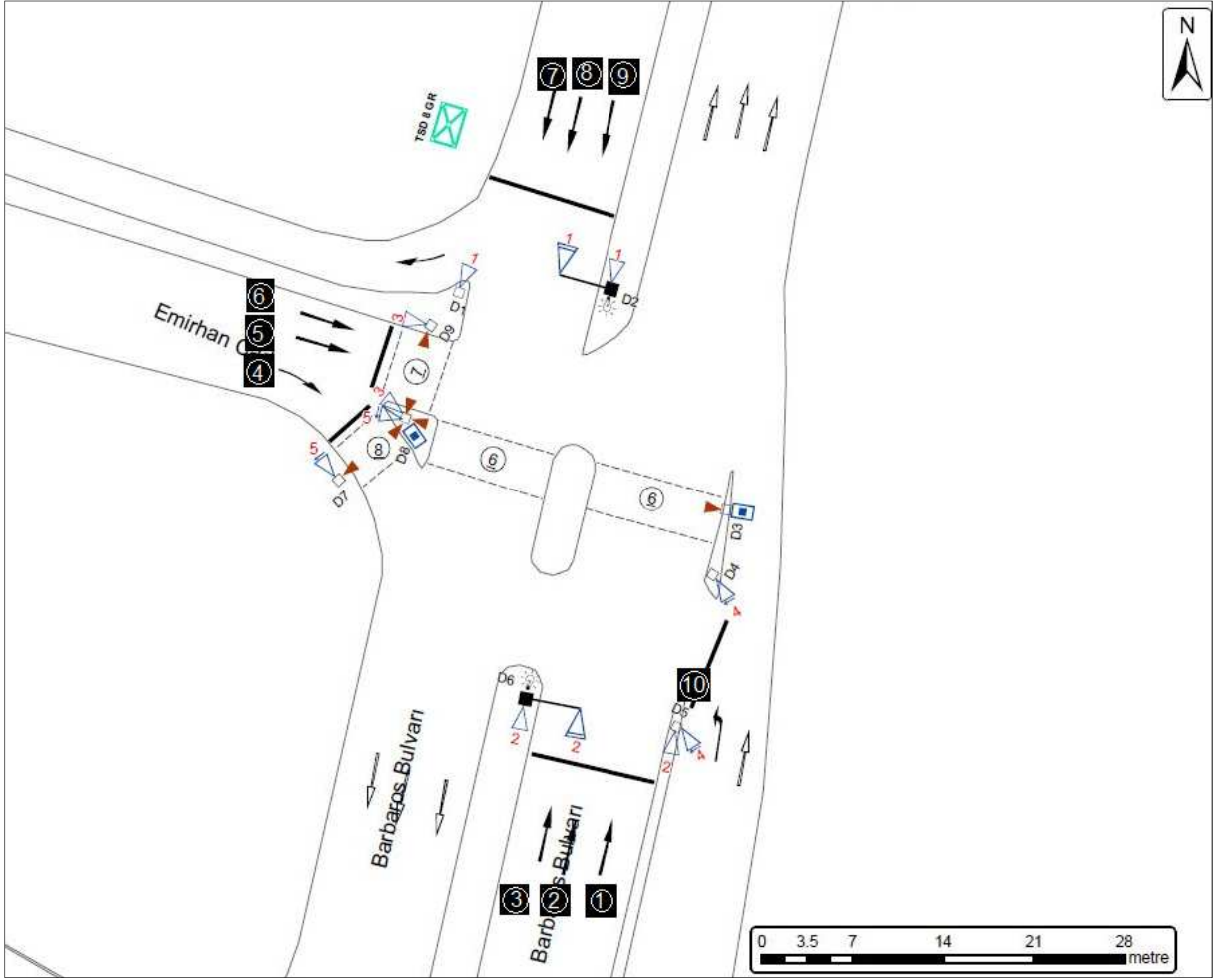
2214 BALMUMCU CAMHAN					
S1	2034	S4	1727	S7	2055
S2	2059	S5	1894	S8	2055
S3	2059	S6	1900	S9	1456



Şekil 4.15 Fatih Akdeniz Caddesi Kavşağı akım numaraları

Çizelge 4.8 Fatih Akdeniz Caddesi Kavşağı doymun akım değerleri

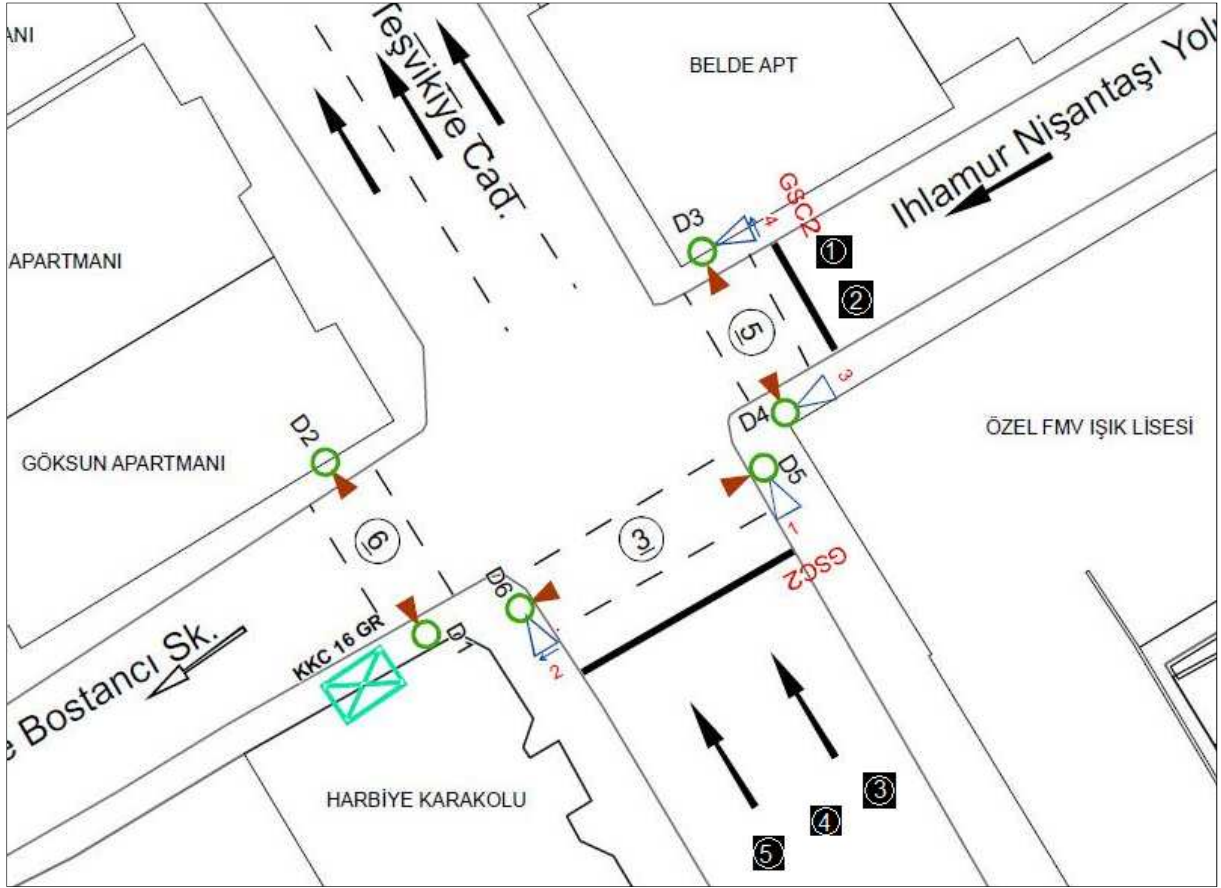
1159 FATİH AKDENİZ CADDESİ	
S1	1930
S2	1745
S3	2070
S4	1625
S5	2135



Şekil 4.16 Beşiktaş Darphane 2 Kavşağı akım numaraları

Çizelge 4.9 Beşiktaş Darphane 2 Kavşağı doygun akım değerleri

2419 DARPANE 2 KAVŞAĞI			
S1	1930	S6	1930
S2	1745	S7	1745
S3	2070	S8	2070
S4	1625	S9	1625
S5	2135	S10	2135



Şekil 4.17 Şişli Teşvikiye Karakol Kavşağı akım numaraları

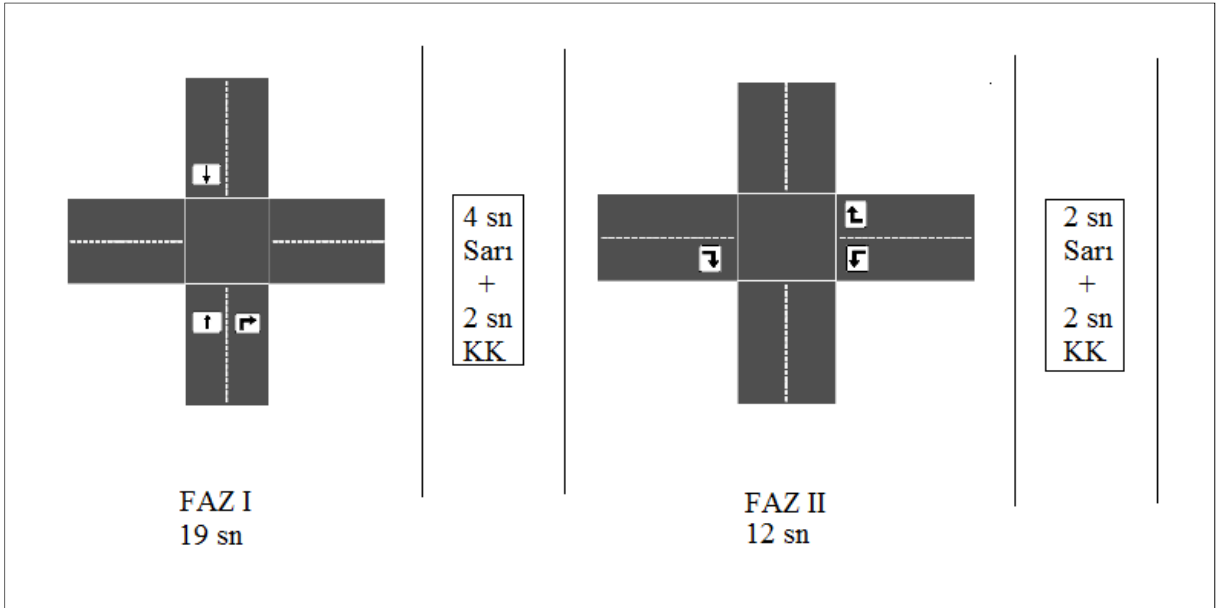
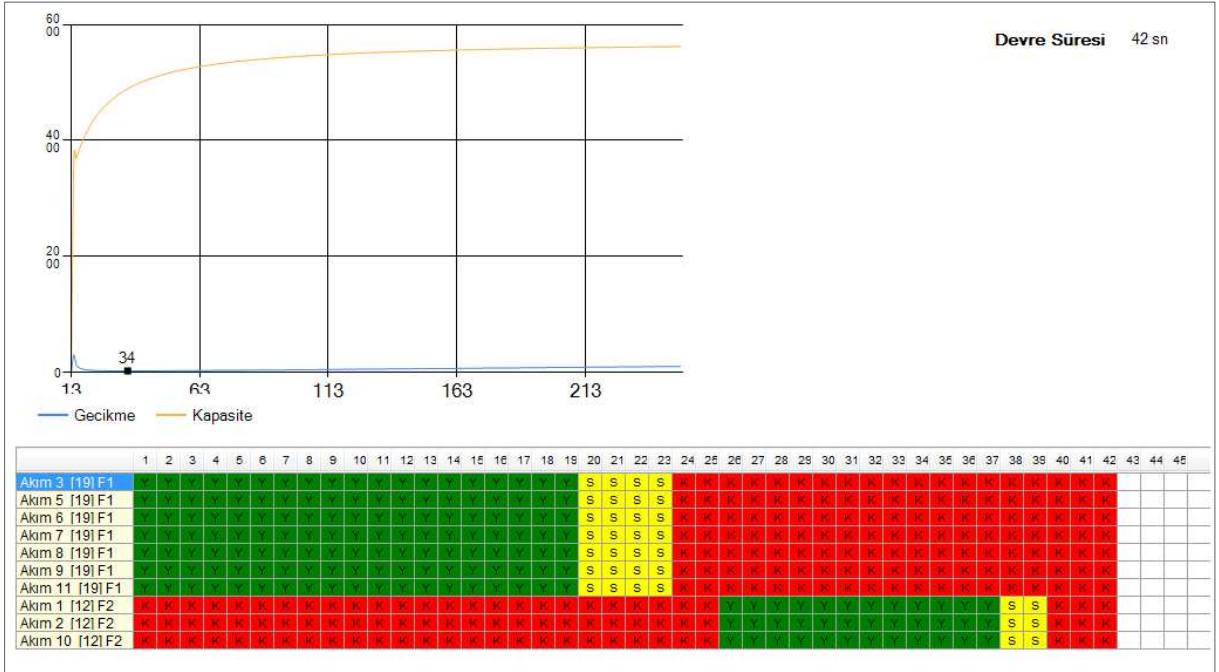
Çizelge 4.10 Şişli Teşvikiye Karakol Kavşağı doyun akım değerleri

2224 ŞİŞLİ TEŞVİKİYE KARAKOL	
S1	1865
S2	2035
S3	2070
S4	2070
S5	1775

4.4.3.2 Devre Sürelerinin Hesaplanması

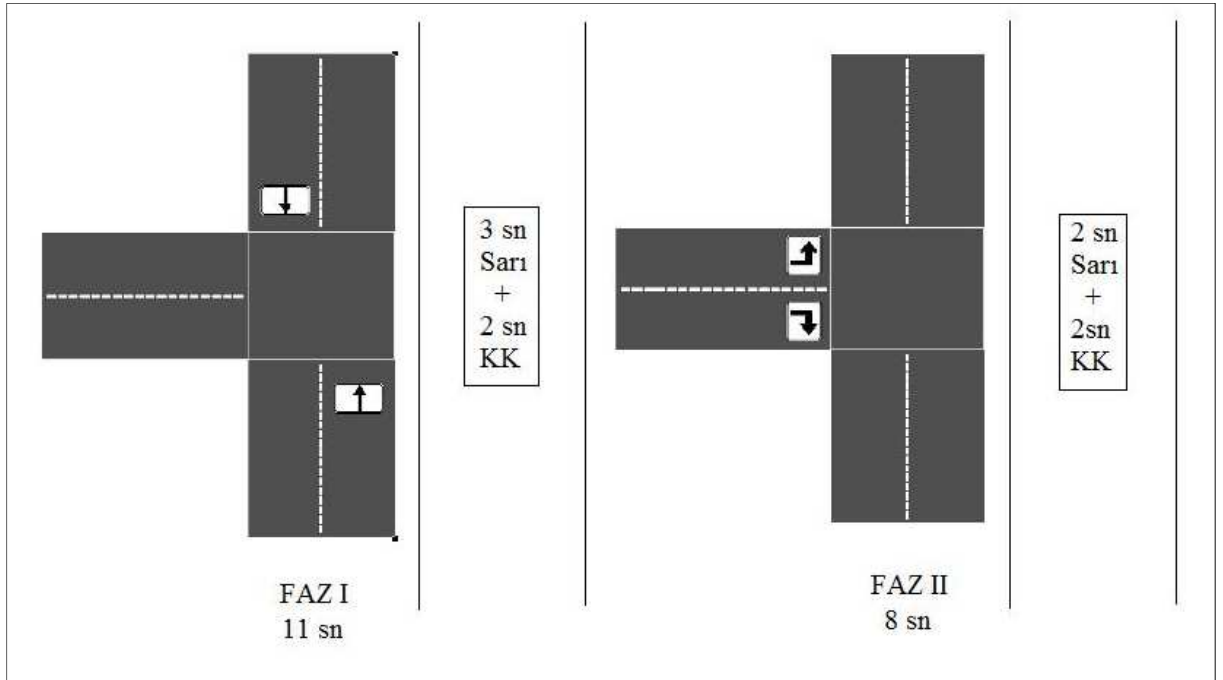
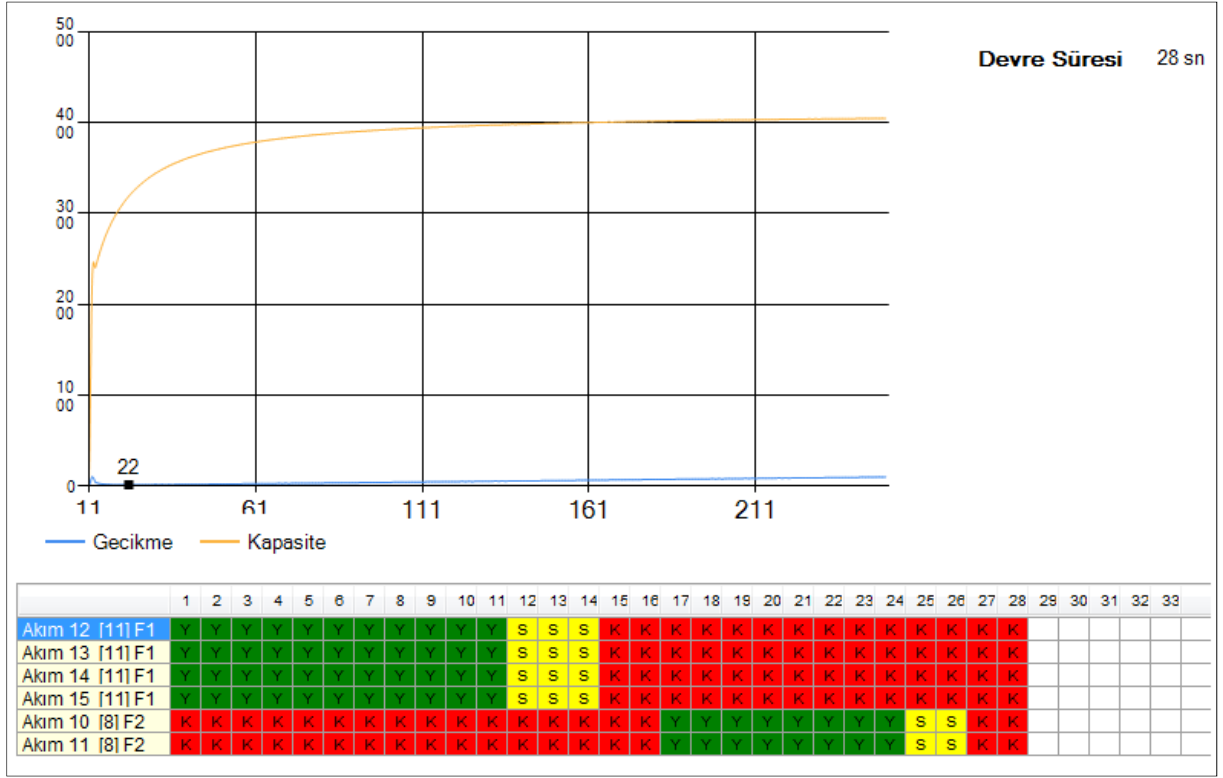
Algoritmada istenen giriş verileri geliştirilen programa girildiğinde gecikmeyi minimum yapan devre süresi grafik gösterimle verilmektedir. Grafiğin altında da sinyal planı verilmektedir (Çizelge 4.11-4.15). Hesaplanan faz planları Şekil 4.18-4.22’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.11 Yıldız Conrad Kavşağı Hesaplanan Sinyal Planı



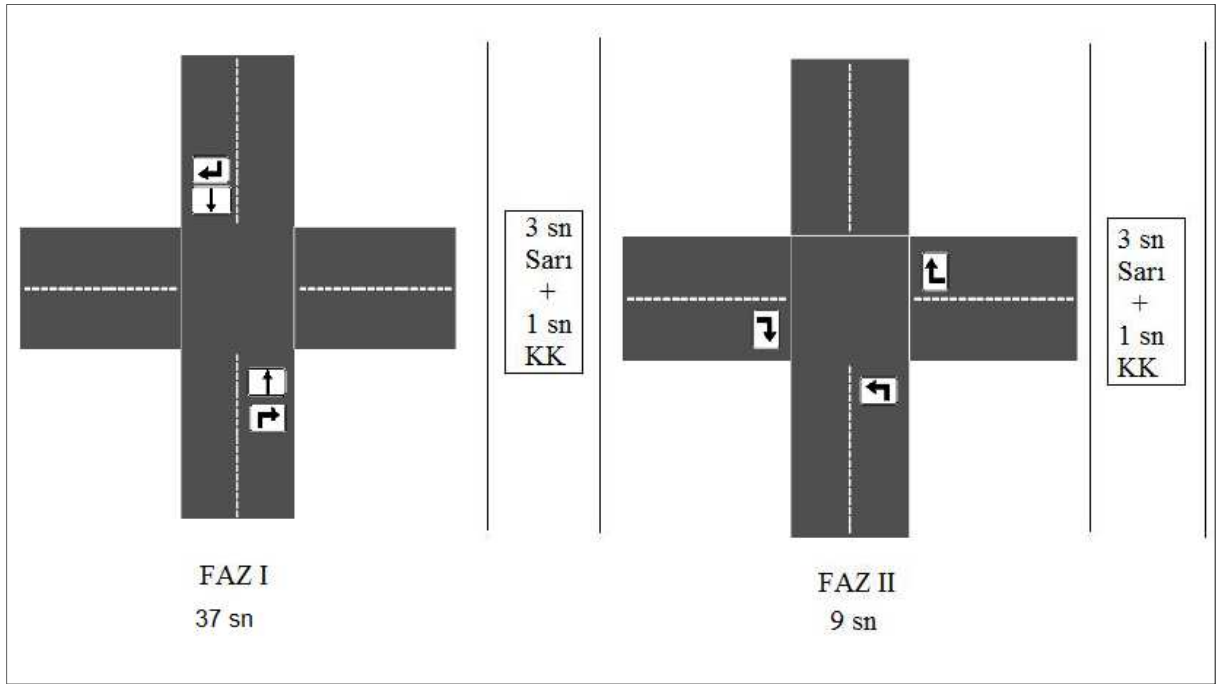
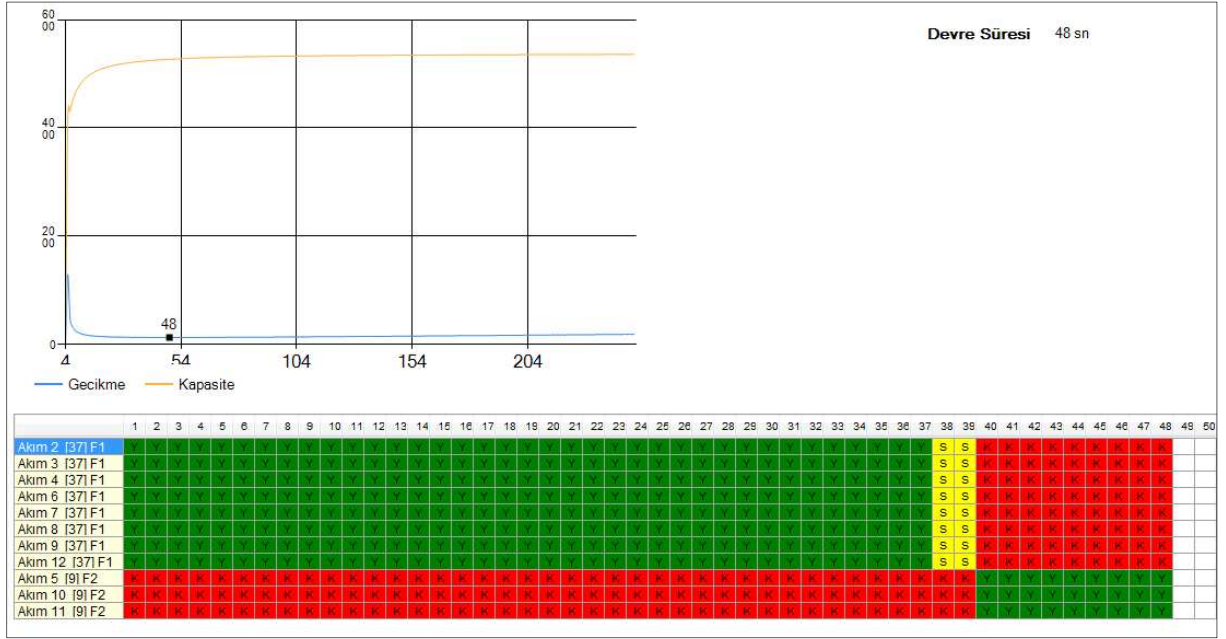
Şekil 4.18 2270 Yıldız Conrad Kavşağı Hesaplanan Faz Planı

Çizelge 4.12 Bakırköy Vankulu Sokak Kavşağı Hesaplanan Sinyal Planı



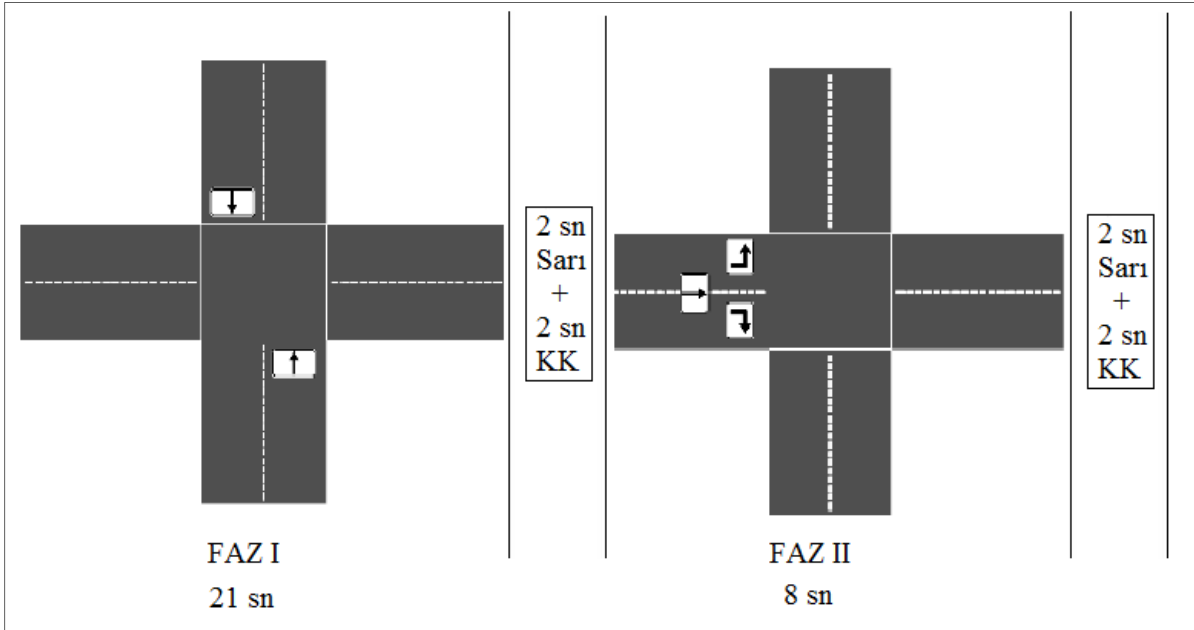
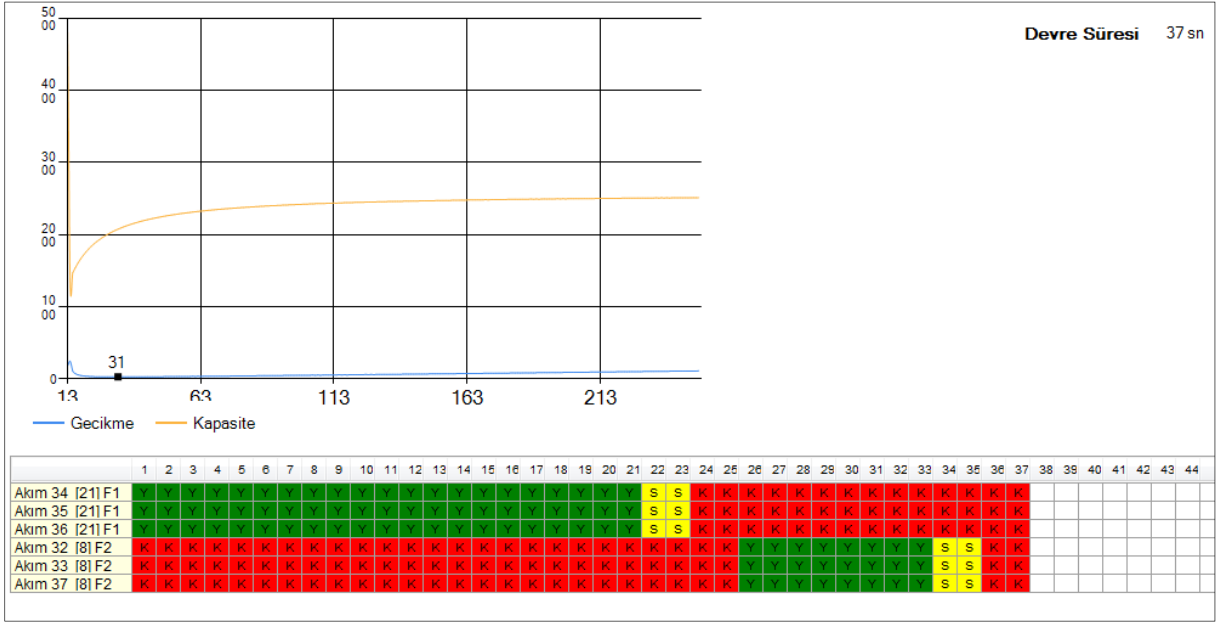
Şekil 4.19 1150 Bakırköy Vankulu Kavşağı Hesaplanan Faz Planı

Çizelge 4.13 Balmumcu Camhan Kavşağı Hesaplanan Sinyal Planı



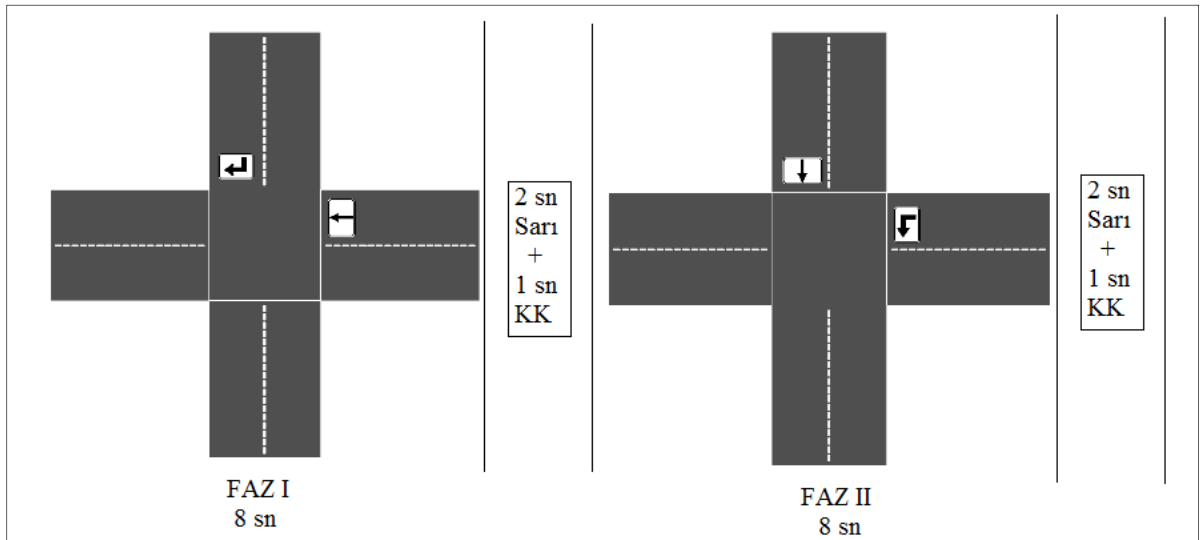
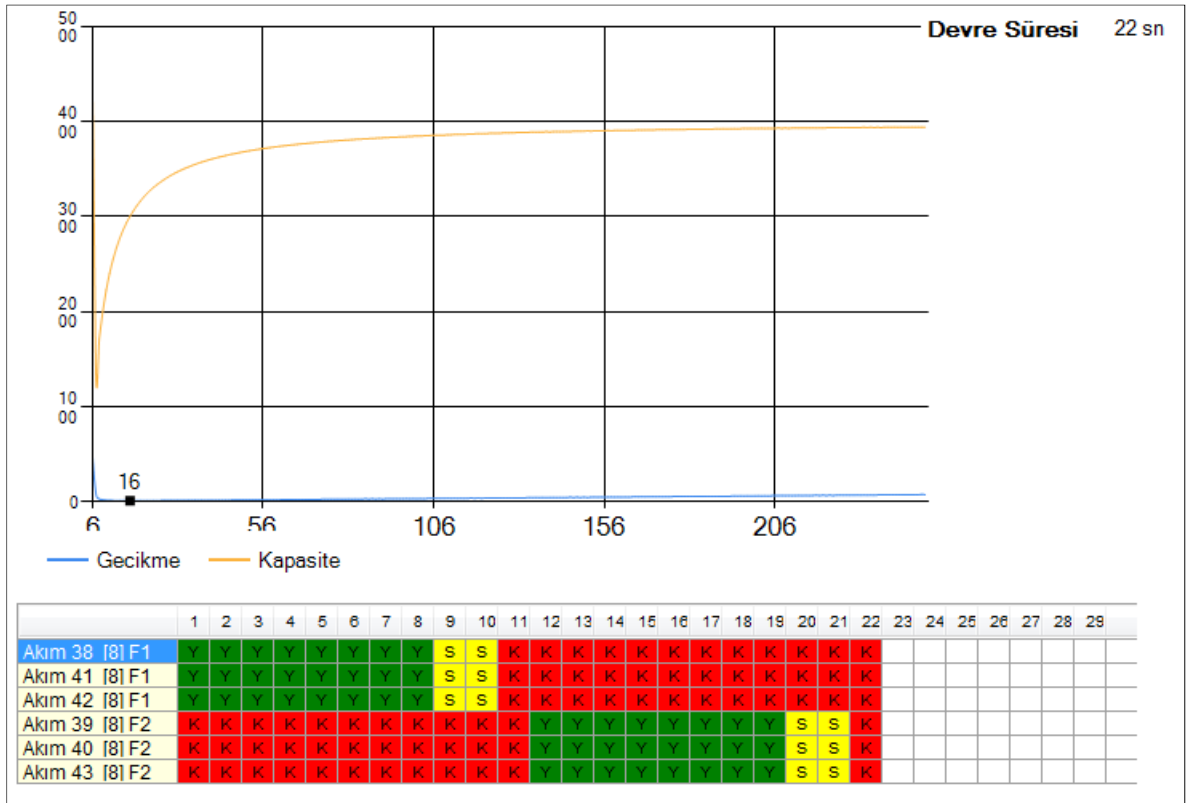
Şekil 4.20 2214 Balmumcu Camhan Kavşağı Hesaplanan Faz Planı

Çizelge 4.14 Fatih Akdeniz Caddesi Kavşağı Hesaplanan Sinyal Planı



Şekil 4.21 1159 Fatih Akdeniz Caddesi Kavşağı Hesaplanan Faz Planı

Çizelge 4.15 Teşvikiye Karakol Kavşağı Hesaplanan Sinyal Planı



Şekil 4.22 2224 Teşvikiye Karakol Kavşağı Hesaplanan Faz Planı

5. UYGULAMA SONUÇLARININ ANALİZİ

Karayolu planlamakla sorumlu otoriteler ve trafik operatörleri daha düşük maliyetle daha fazla hizmet ve kapasite sağlama arayışındadırlar. Trafik talebi yatırımlardan daha hızlı geliştiğinde var olan altyapının daha verimli kullanımının sağlanması zorunlu hale gelmektedir. Bundan dolayı mühendislerin potansiyel çözümleri tüm ayrıntılarıyla keşfetmeleri gerekmekte ve bu sebeple seçenekleri değerlendirmek ve karşılaştırmak için pratik, geçerliliği kanıtlanmış bir araca ihtiyaçları vardır. Günümüzde planlamacılar ve mühendisler saha uygulamasından önce fikirlerini test edebilecekleri bir mekanizmanın yokluğuyla kısıtlanmamaktadırlar.

Kapasite problemlerinin davranışının yaklaşık hesabı için deneysel eşitliklerin varlığına rağmen bu eşitliklerin karmaşık şerit yerleşimlerinin ve kapasite limitine yakın çalışacak sinyal kontrol şemalarının planlanmasında kullanılması tavsiye edilmemektedir. Analitik yaklaşımların uygulanamaz oldukları durumda simülasyon “ne yapılırsa-ne olur” sorularının cevaplanması için güçlü bir araçtır (Can, 2005).

5.1 Trafik Simülasyonu İhtiyacı

Simülasyon aşağıdaki görevleri başarabilen, tecrübeye dayanan bir yönelem araştırma tekniği olarak tanımlanmaktadır:

- Simülasyon verinin kalitesine bağlı olarak çeşitli çözümler üretme yeteneğine sahiptir
- Simülasyon matematiksel programlamadan daha kapsamlı yeteneğe sahiptir
- Simülasyon istatistik ihtiyacını tarif etmek ve belirlemek için kullanılır
- Trafik akım problemleri ve ilgili maliyetler tanımlanabilir
- Simülasyon programının gömülü optimizasyon algoritması olarak kullanımı yaygındır

Geleneksel olarak trafik modelleri akım benzeşimleri kullanılarak geliştirilmiştir (Lieu, 1999).

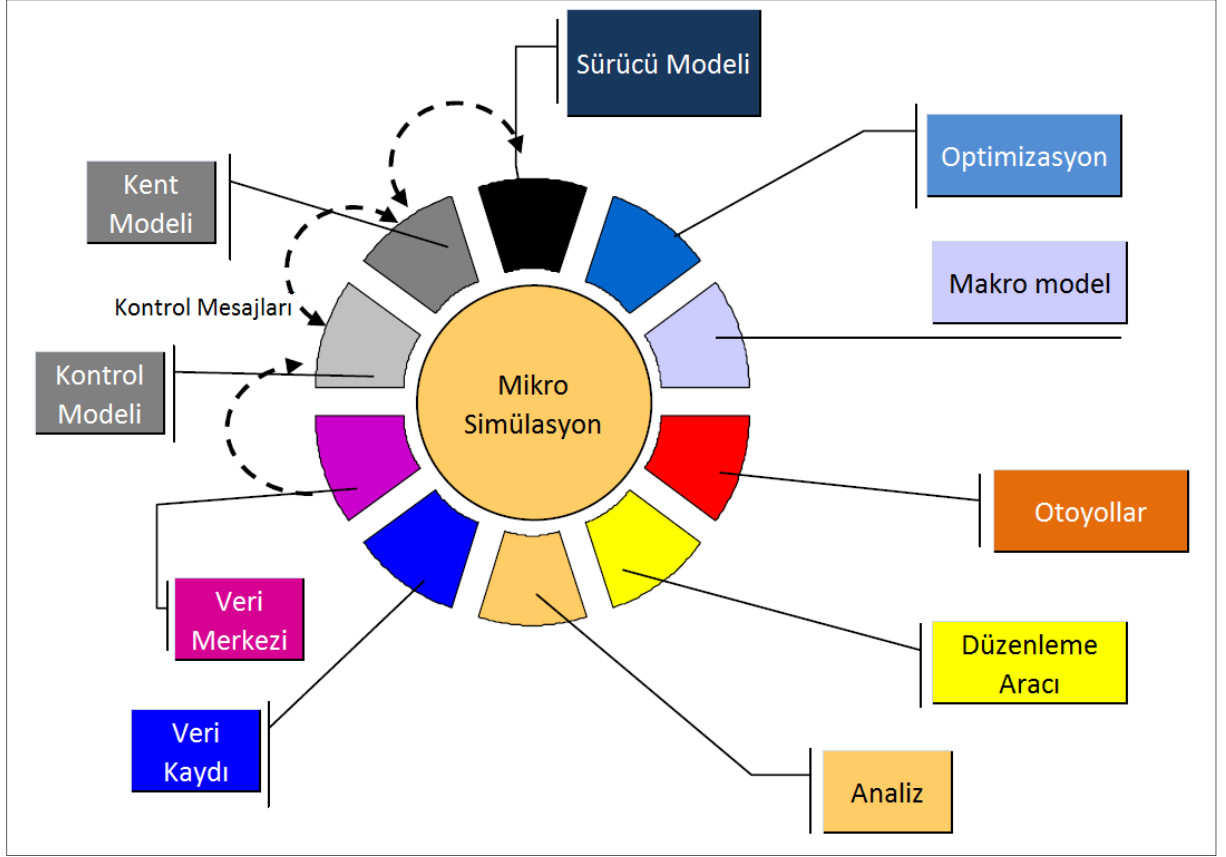
Daha geniş bir söylemle bu, her bir ağdaki yolun net bir akım kapasitesi olan bir bağlantı olarak tanımlanabileceğini ifade eder. Bu tip model şu durumlarda işe yaramaz:

- Bağlantı aşırı doymuş hale geldiğinde ve akımda bozulma gerçekleştiğinde,
- Sistem homojen olmadığı ve beklenmeyen değişimlere rastlandığında

Bunlara ek olarak geleneksel modelleme yaklaşımı ağın durumunun çıkış-varış talep verisi tarafından tanımlanan dengeye yöneldiğini varsayar. Çoğu vakada durum böyle değildir. Bir

ağ üzerindeki talep dinamiktir ve denge durumu asla oluşmamaktadır. Ayrıca yavaş ilerleyen araçların arkasında oluşan taşıt grupları, şerit kullanım modeli ve geriye doğru giden şok dalga etkileri tanımlanmamıştır.

Simülasyon yazılımlarının tipik bileşenleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Simülasyon Yazılımının Karakteristik Bileşenleri (TÜBİTAK, 2003)

Trafik simülasyon modelleri trafik akım büyüklük seviyeleri baz alınarak mikroskobik, makroskobik ve mesoskobik olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir. Mikroskobik modeller sürecin tekil elemanlarını ele alırken, makroskobik modeller sürecin eleman grupları ile ilgilenmektedir. Son zamanlarda çeşitli mesoskobik modeller geliştirilmiştir. Bu modeller mikroskobik modeller gibi tekil araçların davranışlarını izlerler fakat makroskobik akım eşitliklerini kullanarak diğer hareketleri modellerler.

Deterministik süreç bir grup bağımsız değişkenin verilip bağımlı değişken için tek bir değer hesaplandığı kesin formüllere dayanan matematiksel bir süreçtir.

Simülasyon modellerinde simüle edilmiş ağı, trafik kontrolünü, araç ve sürücü davranışlarını (araç takibi, mesafe kabulü, şerit değiştirme), trafik akımlarını ve bu bileşenler arasındaki dinamik etkileşimleri göstermek için pek çok kabuller yapılmıştır. Operasyonel analizin

yüksek kalitede sonuçlar üretmesi için seçilen simülasyon modelinin cevabına ihtiyaç duyulan sorulara uygun fonksiyonellikte olması ve çalışma koşullarını kusursuz bir şekilde temsil etmesi gerekmektedir.

Var olan çoğu mikroskobik trafik simülatörleri araç davranışını modellemek için araç takibi, şerit değiştirme ve mesafe kabulü modellerini baz almaktadırlar.

Bir aracın başka bir aracı nasıl takip ettiği Reuschel ve Pipes'in bulmuş olduğu araç takip teorilerinin öncülüğünde 1950'li yıllarda ve 1960'da geliştirilmiştir. Pipes'in çalışması mesafe kat etme konseptine dayanmaktadır ve trafik akışı içindeki araçların hareketlerini niteleyen Kaliforniya Motorlu Taşıtlar Kuralları'nda tavsiye edilen aşağıdaki şu kurala dayanmaktadır:

“Başka bir aracı güvenli bir mesafede takip etmek için araçla sizin aracınız arasında en az araç uzunluğu kadar mesafeye ek olarak seyahat etmekte olduğunuz hızın her bir 10 mil/s için bir araç uzunluğu kadar mesafe eklemeniz gerekmektedir.”

1950'lerin sonunda General Motors Grubu tarafından ayrıntılı saha deneylerine ve trafik akımlarının mikro ve makro teorileri arasında köprü kuran matematiksel teoriye dayanan kapsamlı bir araştırma çalışması yapılmıştır (Pooran, 1999). Bu araştırma trafik akımında bir sürücünün öndeki aracın hareketine karşı gösterdiği reaksiyonu tepki olarak kabul eden etki-tepki eşitliğinin bir şekli olarak alındığı araç formülasyonuna dayanmaktadır. Tepki daima etkinin reaksiyon zamanını t zamanındaki boyutuna göre payını artıran veya azaltan ve bir miktar zaman gecikmesinden sonra başlayan takip edenin reaksiyon zamanıdır.

Piyasada çeşitli simülasyon yazılımları mevcuttur. En yaygın olanları bu bölümde tanıtılmıştır.

5.2 PARAMICS Trafik Simülasyonu

Paramics trafik akımındaki tekil elemanların ve etkilerinin modellendiği mikroskobik trafik simülasyon programlarından bir tanesidir. PARAMICS ismi Parallel Microscopic Simulation kelimelerinden türetilen bir kısaltmadır. PARAMICS trafik sıkışıklığının hakim olduğu geniş bir uygulama alanı için tasarlanmıştır. PARAMICS başlangıç/variş matrisinin seyahatlerin bölgeden bölgeye tanımlanarak oluşturulduğu bir sistem modeller (Quadstone Ltd., 1999).

- Sürücü ve Araç Davranışları

Her bir sürücünün davranışı agresif ve bilinçli karakter olarak rastgele dağıtım şeklinde tanımlanmıştır. Bu tanımlama çoğu sürücülerin bu şekilde tanımlanmasının yeterli olduğu sonucuna ulaşan TRL (UK Transport Research Laboratory)'nin araştırması ile uyumludur.

Mesafe kabulü, azami hız, ilerleme ve şerit değiştirme eğilimi bu iki davranış parametresine göre değişen niceleyici örneklerdir. Taşıt özellikleri (örneğin uzunluk, ağırlık, azami hız, hızlanma ve yavaşlama ivmeleri) varsayılan dağılımlar kullanılarak dağıtılmaktadır.

- Yol Ağı Tanımlanması

PARAMICS yol ağının tanımlanmasına duyarlıdır ve model ölçümlemesinin başarısı yol yerleşiminin ve geometrisinin doğruluk oranına bağlıdır. Bir kent PARAMICS simülasyon modeli için yol ağı verisi şunları ihtiva eder:

- Detaylı yerleşimlerle birlikte tüm çalışma alanını kapsayan dijital harita verisi
- Dijital çıkış/varış trafik alan sınırları
- Erişim kuralları
- Cadde üzeri park alanları
- Yaya ışık faz zamanlamalarını içeren trafik sinyal fazları ve senkronizasyon
- Otobüs öncelik ölçümleri, otobüs şeritlerinin uzunluğu, sinyalizasyon kavşaklarda otobüs tespiti, otobüs duraklarının yerleşimi vb. konularda detaylı bilgiler

- Talep Modelleme

PARAMICS'te seyahat talepleri taşıt seyahat matrisleri ile özetlenir. Talep verisinin kalitesi genellikle bir saati geçmeyen periyotlar için tanımlanmış talep dağıtımı ile sonuçlanır. Simülasyon sisteminin tüm ihtiyacı yüksek kalitede talep verisi, yüksek seviyede dağıtımdan gelen faydadır. Bu genelde herhangi bir çalışmanın doğruluk oranı için kısıt faktörüdür.

- Araç Park Modelleme

PARAMICS sistem kapasitesine anlamlı etkisi olan legal ve illegal taşıt parklanmasını dikkate alır. Bir kent PARAMICS simülasyon modeli için araç parklanması verisi şunları ihtiva eder:

- Her bir alan için araç parkı tipine göre park kapasitesi
- Simülasyon periyodunun başlangıcındaki park doluluğu
- Kalma süresi (araç park kullanım ve meşguliyetinin hesaplanması)
- Ücretler
- İlegal parklanma / ikinci şeride parklanma
- Güvenilir seyahat matrisi verisi

- Olay Modelleme

Çok şeritli Birleşik Krallık anayollarının modellenmesindeki tecrübe sıkışık ağlarda meydana gelen olayların önemini altını çizmektedir. Bir olayın sıkışıklığa etkileri genel olarak beklenmeyen geometrik dizidir.

Geçmiş ve şimdiki durumla ilişkili olan iyi dokümente edilmiş polis verilerinin kullanılması ile PARAMICS bu etkinin gerçekle olan farkını minimize etmektedir.

- Toplu Taşıma Modelleme

PARAMICS otobüs öncelik ölçümlerini, otobüs şeritleri, birleşmeleri ve kuyruk etkisi, otobüs kontrollü sinyal sistemleri modellemek için kullanılabilir. PARAMICS otobüs modülü aşağıdaki verilere ihtiyaç duyar:

- Sabit otobüs rotaları
- Zaman tabloları ve frekanslar
- Her bir otobüs rotası için otobüs durakları
- Her bir rota için otobüslerin ortalama kapasitesi
- Her bir durağa varan yolcu oranı
- Rotadaki her bir otobüs durağında inen yaya oranı
- Otobüs öncelik ölçümlerinin yerleşimi
- PARAMICS'in Diğer Özellikleri

PARAMICS simülasyon modelinin diğer özellikleri:

- DMS bilgileri – trafik öneri senaryoları
- Kişisel rota rehberliğine ulaşım ve seyahat süresi
- Hava kirliliği emisyon modeli (CO, CO₂, NO_x, HC)

5.3 AIMSUN VI Trafik Simülasyon Programı

AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and non-urban networks) Traffic Simulation Systems tarafından geliştirilen GETRAM'a gömülüdür (Barcelo, 1997).

AIMSUN mikroskobik simülasyona ek olarak mesoskobik simülasyon da yaparak geniş alana yayılmış ağlarda çalışma imkanı sağlamaktadır. Simülatör araçların şerit değiştirme, takip vb. modelleri ile çalışmaktadır.

- AIMSUN Uygulamaları
 - Altyapı tasarımının etki analizleri
 - Çevresel çalışmalar
 - Yol ücret sistemleri
 - Kontrol planı optimizasyonu
 - Kent içi ve kentler arası trafik yönetimi
 - Toplu taşıma sistemi yönetim desteği
 - Güvenlik analizleri
 - ATS'nin değerlendirilmesi
 - Yeni ulaştırma modellerinin ve algoritmalarının geliştirilmesi
- Ağ Modeli: Kavşak ve bağlantıların şeritler ve şeritten şeride dönüşlere dağıtılmış dizileri kapsar
- Trafik Modelleme: AIMSUN aşağıdaki nüansları dikkate alabilmektedir:
 - Araç uyarmalı sinyaller oluşturma
 - Toplu taşıma önceliklerinin ve şemalarının tanımlanması
 - Karmaşık trafik yönetim stratejilerinin tanımlanması
 - Çıkış-Variş verilerinin uyarlanması
 - Senaryo yönetimi

5.4 TSIS (Traffic Software Integrated System)

Bu sistem ABD Federal Yol İdaresinin (FHWA) Turner - Fairbank ITS (Intelligent Systems & Technology) Bölümü tarafından geliştirilmiş ve dağıtımı ve bakımı "McTrans Merkezi" tarafından gerçekleştirilen en yeni programdır. Bu sistemin 1997 Haziran'ında bitirilen 4. versionu Windows - 95 bazlı bir program olup aşağıdaki paketleri içerir.

- **CORSIM:** FHWA'nin yeni mikroskobik simülasyon modelidir. TSIS'in kalbi olan bu program çok karmaşık bir mikroskobik simülasyon modeli olup eski FRESIM ve NETSIM modellerine dayanmaktadır. CORSIM, araç ve sürücü davranış modellerine dayanarak, araçları teker teker hareket ettirmek suretiyle yol ve otoyol ağlarındaki akımı simüle etmektedir.
- **TRAFVU:** CORSIM'in çıktılarını kullanarak animasyon yapmaktadır.
- **ITRAF:** Grafik bir CORSIM işlemcisidir.
- **PASSER IV:** Teksas Ulaşım Enstitüsü'nün (TTI, Texas A&M Üniversitesine bağlı bir kuruluş) geliştirdiği ulaşım ağı sinyal optimizasyonu yapan bir programdır.

5.4.1 VISSIM Simülasyon ve Analiz Programı

VISSIM kent içindeki ve kentler arası trafik akışlarını mikroskobik seviyede modellemektedir. Trafik ve Ulaşım Planlamacıları için bir karar destek sistemidir. Saha uygulaması yapılmadan önce VISSIM'de karmaşık kavşakların alternatif senaryoları ve kontrol stratejileri tanımlanabilmektedir (Can, 2005).

VISSIM otomobil, kamyon, demiryolu, hafif raylı tren, bisiklet ve yayaları kapsayan çok modlu trafik akımları için mikroskobik trafik simülasyonu sağlayan çok yetenekli bir programdır. Esnek şebeke sistemi sayesinde her çeşit geometride sinyalizasyon kavşak, döner kavşak, otoyol koridorları, otobüs durakları ve hatta hava alanları simülasyonu yapabilecek güçtedir. VISSIM hava fotoğrafları ve CAD çizimleri kullanarak arka plan harita uygulamaları sunar. Program 4 boyutlu. (X,Y, Z ve zaman) animasyonu sağlar. Bu program çok kuvvetli bir program olmakla beraber çok pahalıdır (Ergün vd., 2006).

VISSIM'in tipik uygulamaları aşağıda listelendiği gibidir;

- Tasarım alternatifleri bakışı ile kavşakların karşılaştırılması (dönel adalar, sinyal kontrollü ve kontrolsüz kavşaklar)
- Araç uyarmalı sinyal kontrol operasyonlarının tasarım, test ve geliştirilmesi
- Kapasite analizleri ve geçiş öncelik şemalarının test edilmesi
- Raylı sistem kapasite analizleri
- Çalışma alanları ve hız alanlarında trafik etki analizleri

5.5 SYNCHRO ve SimTraffic Simülasyon ve Analiz Programı

Trafik sinyal zaman optimizasyonu ve kapasite analizi yapabilen bir programdır. Şu anda piyasada bulunan en kullanıcı-dostu yazılımlardan biri olarak gösterilmektedir. Bu yazılım izole kavşakların, bir arterin veya bir yol şebekesinin sinyal fazlarını, kayma zamanlarını ve dönüm zamanlarını optimize eder. Kullanılması son derecede kolay olup dünyanın hemen her tarafında pek çok şirket ve belediye tarafından kullanılmaktadır (Ergün vd., 2006).

Bu program **SYNCHRO**[®] optimizasyon programını geliştiren firma (Trafficware) tarafından geliştirilmiş olup trafik sinyalli ve sinyalsiz kavşaklı yol şebekeleri için hazırlanan bir makroskobik simülasyon modelidir. SimTraffic programının ana amacı trafik sinyal operasyonlarının kontrol edip ince ayarlarının yapılmasını sağlamaktır. **SYNCHRO**[®] programı ile beraber çalışır ve şu anda mevcut en kullanıcı dostu programlardan biridir. SimTraffic özellikle makroskobik olarak kolayca modellenemeyecek aşağıdaki gibi karmaşık hallerin incelenmesi için çok faydalı olur:

- Birbirini tıkayabilecek ve şerit değiştirme sorunu yaratabilecek kadar birbirine yakın kavşakları olan şebekeler
- Kavşakların trafik sıklığı altında incelenmesini gerektiren haller
- Sinyallerin yakındaki sinyalsiz kavşaklara olan etkilerinin incelenmesi için
- Aşağıdaki liste SimTraffic tarafından modellenen halleri özetler:
 - Önceden zamanlanmış sinyaller
 - İki yönlü dur işaretli kavşaklar
 - Trafik uyarmalı kavşaklar
 - Her-yönden dur işaretli kavşaklar (Ergün vd., 2006).

5.6 TRANSYT-7F

Bu program bir trafik simülasyon ve optimizasyon programıdır. Programın esas fonksiyonu sinyal zamanlaması ve optimizasyonudur. Program genetik algoritmalar kullanarak çevrim zamanı, faz sırası, faz ayırımı, ve kavşaklar arası kayma (offset) zamanlarını optimize eder. TRANSYT-7F şu anda en modern optimizasyon yöntemlerini (genetik algoritmalar, tepetirmanma, ve çok periyotlu optimizasyon) gene en modern simülasyon modeliyle (kuyruk geri taşmaları “queue spillback”, küme dağılımları “platoon dispersion”, ve trafik uyarmalı

kontrol simülasyonunu da kapsayan) birleştiren tek pakettir. Bu program, trafik şebekeleri, arterler ve tek kavşaklara uygulanabilmektedir (Ergün vd., 2006).

5.7 Trafik Simülasyon Yazılımlarının Karşılaştırılması

VISSIM kesikli, stokastik ve zaman adımı bazlı mikroskobik bir trafik akım modelini temel almaktadır. Model sürücü taşıt birimlerini tekil varlıklar olarak kabul eder ve dikey araç hareketi için psikolojik özellikleri baz almakta ve yatay hareketler için kural tabanlı algoritma kullanmaktadır. Model Wiedemann'ın araştırması üzerine kurulmuştur. VISSIM simülasyon paketi iki farklı programı ihtiva etmektedir. Bunlar trafik simülatörü, bir mikroskobik trafik akış simülasyon modeli ve sinyal durumu işleticisinden oluşur.

İkincisi kesikli zaman adımları tabanlı çalışan bir trafik simülatöründen aldığı bilgiyi derleyen sinyal kontrol yazılımıdır. Fellendorf (1994) VISSIM'in sistem mimarisini yeteneklerini sinyal kontrolü üzerine yoğunlaştıran bir simülasyon modeli olacak şekilde tasarlamıştır. VISSIM simülasyon sistemleri bir trafik kontrol modeli ve bir sinyal kontrol modelinden meydana gelmektedir. VISSIM dedektör verilerini her saniye sinyal kontrol medeline iletir ve sinyal kontrol sistemi dedektör değerlerini mevcut sinyal açısından değerlendirir (Ratrou ve Rahman, 2009).

AIMSUN üç farklı tipteki ulaştırma modelini bir yazılımda entegre eder. Bunlar, trafik atama modelleri, mesoskobik bir simülatör ve bir mikro simülatördür [1]. Mikroskobik model CORSIM yazılımı gibi araç takibi, şerit değiştirme ve aralık kabulü algoritmalarını temel alır. Fakat AIMSUN 6'daki yeni mesoskobik simülatör kullanıcılara çok geniş ağların modellenmesi imkanı vermektedir ve mikro simülatörle karşılaştırıldığında çoğu kalibrasyon yükünden kurtarmaktadır (Ratrou ve Rahman, 2009).

TSIS CORSIM serbest yolların, kent içi yolların ve koridor veya ağların analizi için tasarlanmış mikroskobik, stokastik, bağlantı ve periyodik tarama bazlı trafik simülasyon programıdır. Arter (TRAF-NETSIM) ve serbest yol (FRESIM) simülasyon modelleri CORSIM'i trafik mühendislerine arterin ve serbest yolun her türlü tekil bileşenlerini bir bütün sistem gibi analiz etmeye izin veren analiz modellerinden biri haline getirmektedir. CORSIM her bir araç için araç uzunluğu, sürücü agresifliği, ivme oranı, minimum kabul edilebilir aralık, azami hız vb. belirli özellikleri stokastik olarak tanımlar. Araç hareketlerini simüle etmek için araç takibi ve şerit değiştirme mantığı CORSIM'de saniye bazlı yapılmaktadır.

Quadstone PARAMICS tek bir kavşaktan başlayarak tüm ülkedeki ağlara kadar tüm ağ boyutlarını kuşatan trafik modellemesi için birleştirilmiş bir yaklaşıma izin veren mikroskobik

trafik simülasyonuna yarayan yazılım modelleri paketidir. Gelişen ATS arayüzlerini modeller. PARAMICS paketi için bir yazılım geliştirme kiti (SDK) olan programcı eş zamanlı bağlantı ve kontrol, gerçek ortam donanım ve yazılım sistemleriyle bağlantı ve gelişmiş veya özel model davranışları gibi ATS'nin tüm yönlerinin araştırılması için kullanılabilir (Quadstone PARAMICS, 2008).

TRANSYT trafiği çevrim akım profilleri (CFP: Cycle Flow Profiles) olarak simüle eden, CFP akışını yol ağı boyunca bağlantıdan bağlantıya takip eden ve kaydırmaya, sinyalizasyon sistemlerinin faz dağılımlarına ve çevrim sürelerine sistematik değişiklikler uygulayan çevrim dışı bir makroskobik deterministik simülasyon ve optimizasyon modelidir. Bunun yanında uygun bir performans indeksi (PI) kestirmek için birleşik trafik şartlarını da simüle eder. Bu PI araç gecikmesi ile araç durma sayısının birleştirilmesidir. TRANSYT modelindeki simülasyon modülü minimize edilecek amaç fonksiyonunu değerlendirir.

SimTraffic cadde ağlarını modelleyen SYNCHRO programını kullanan bir mikroskobik simülasyon paketidir. İlk başlarda arter sinyal sistem zamanlamalarını modellemek amacı ile geliştirilmiştir. Düzgün yol ağlarını, serbest yolları, örgü bölümlerini, sabit zamanlı ve trafik uyarmalı sinyalizasyon, duruş kontrollü kavşaklar, dönel adalar, geçiş operasyonları, yayalar vb. durumları simüle edebilmektedir. Çizelge 5.1'de bazı simülasyon modelleri ile ilgili genel özellikler listelenmektedir.

Çizelge 5.1 Bazı Simülasyon Modelleri ve Genel Özellikleri (Ratrou ve Rahman, 2009)

İsim	Karakteristik	Genel Özellikler / Kabiliyetler
CORSIM	Mikroskobik	Düzgün caddeler, serbest yollar, trafik uyarmalı sinyaller, örgü bölgeleri, olaylar, DMS, 2-D animasyon
SimTraffic	Mikroskobik	Düzgün caddeler, trafik uyarmalı sinyaller, yayalar, dönel adalar, 3-D animasyon
AIMSUN	Mikroskobik, Dağıtımli Hesaplama Tekniği	Düzgün caddeler, serbest yollar, trafik uyarmalı sinyaller, dinamik trafik ataması, 3-D animasyon, telematics
VISSIM	Mikroskobik	Düzgün caddeler, serbest yollar, derecelendirme ölçümleri, yayalar, geçiş operasyonları, 3-D animasyon
PARAMICS	Mikroskobik, Dağıtımli Hesaplama Tekniği	Düzgün caddeler, serbest yollar, geçiş operasyonları, 3-D animasyon, dönel ada, sıkışmış ağlar

Çizelge 5.2’de ise trafik simülasyon programlarını karşılaştıran çalışmalar özetlenmiştir.

Çizelge 5.2 Simülasyonlar ile ilgili karşılaştırma çalışmaları (Ratrou ve Rahman, 2009)

Yazarlar	Karşılaştırılan Yazılımlar	Bulgular
Bloomberg ve Dale	CORSIM ve VISSIM	Modeller sıkışık arterlerde karşılaştırılmıştır. Modellerin tutarlı sonuçlar ürettiğini gözlemlemişlerdir. İlk kodlama açısından iki model de kullanıcı dostudur.
Barrios et al.	CORSIM, VISSIM, PARAMICS ve SimTraffic	Simülasyon araçları özellikle otobüs operasyonlarını simüle etmedeki grafiksel gösterim (animasyon) yeteneklerine göre değerlendirilmiştir. Her bir modelin geçiş ilişkili ve görsel yeterlilikleri ölçülmüş ve 3-D yeteneğinden dolayı VISSIM seçilmiştir.
Choa et al.	CORSIM, PARAMICS ve VISSIM	Bu çalışmaya göre CORSIM diğerlerini kodlamadaki kolaylık, bireysel yaklaşımlar için kontrol gecikmesini hesaplama kabiliyeti dolayısıyla geçmiştir. PARAMICS ve VISSIM’in simülasyonları 3-D kabiliyetlerinden dolayı gerçek durumu daha iyi yansıtmıştır.
Bloomberg et al.	CORSIM, INTEGRATION, MITSIMLab, PARAMICS, VISSIM ve WATSIM	Altı model de sinyalizasyon kavşaklarına ve serbest yollara uygulanmıştır. Çalışma tüm modellerin kabul edilebilir tutarlı veri ürettiğini göstermiştir.
Xiao et al.	AIMSUN ve VISSIM	Her iki simülatörün de çoğu standart özelliği karşıladığı belirlenmiş. Her iki simülatörün doğruluk oranı benzer bulunmuştur.

VISSIM’in sistem mimarisi yeteneklerini sinyal kontrolü üzerine yoğunlaştıran bir simülasyon modeli olacak şekilde tasarlanmış olması, görsel yeterliliğinin diğerlerinden daha üstün olması, denendiği tüm araştırmalarda doğru sonuçlar ürettiğinin kabul edilmesi ve altlık

kullanım uygunluğundan dolayı sinyal zamanlama algoritmamızın performans ölçümünde kullanılmasına karar verilmiştir.

5.8 Performans Kriterlerinin Belirlenmesi

Sinyal kontrollü bir kavşağın etkin işletimi çeşitli performans ölçüm terimleri ile ifade edilmektedir. Performans ölçümlerinde gecikme ve duran araç sayısı temel iki terim olarak yer almaktadır. Bu temel terimlerin yanı sıra yakıt tüketimi, fiyat gibi ikincil terimler de mevcuttur.

Bir taşıt için gecikme, kavşağa yaklaşırken beklemeden yaptığı seyir süresi ile bekleyerek yaptığı seyir süreleri arasındaki fark olarak ifade edilmektedir. Bu ifade taşıtın hızlanması ve yavaşlaması sırasındaki gecikmesi ile kuyruktaki gecikmesini içermektedir (Murat, 1996).

Algoritma ile hesaplanan süreler VISSIM 5.1 trafik analiz ve simülasyon programında analiz yapılarak karşılaştırılmıştır. Performans kriteri olarak;

- Taşıt başına ortalama gecikme süresi
- Ortalama duruş sayısı
- Ortalama hız
- Ortalama durma süresi
- Toplam CO emisyonu
- NO_x emisyonu
- Yakıt tüketimi
- Gözlenen bir saatlik süre içinde kavşağı terk eden taşıt sayısı
- Toplam seyahat süresi

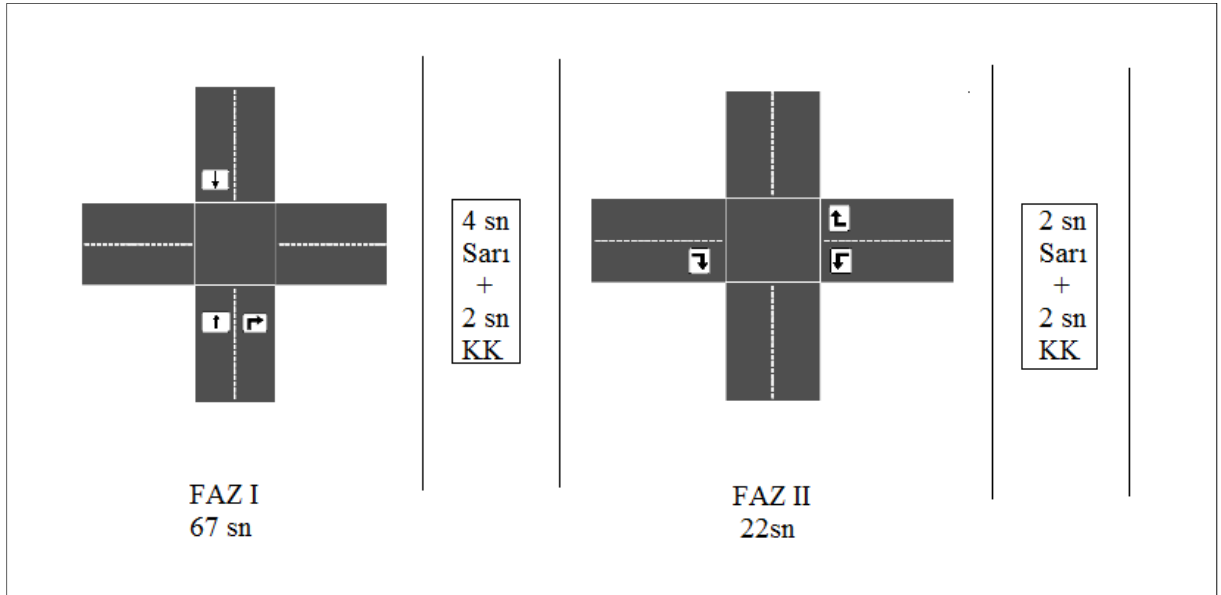
alınmıştır.

5.9 Kavşaklardaki Mevcut Sürelerin Analizi

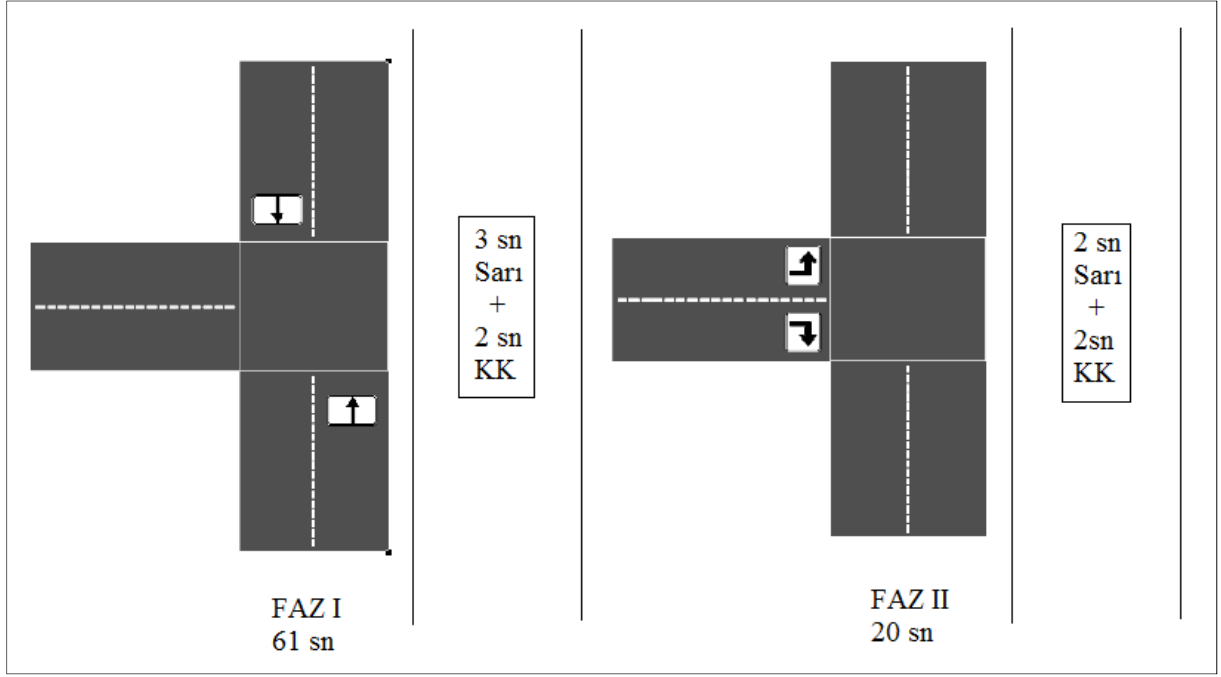
Kavşaklardaki mevcut süreler VISSIM 5.1 programında simüle edilmiş ve belirlenen performans kriterleri ile ilgili ölçümler yapılmıştır. Kavşakların mevcut sürelere göre performans raporu Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 Mevcut durum performans tablosu

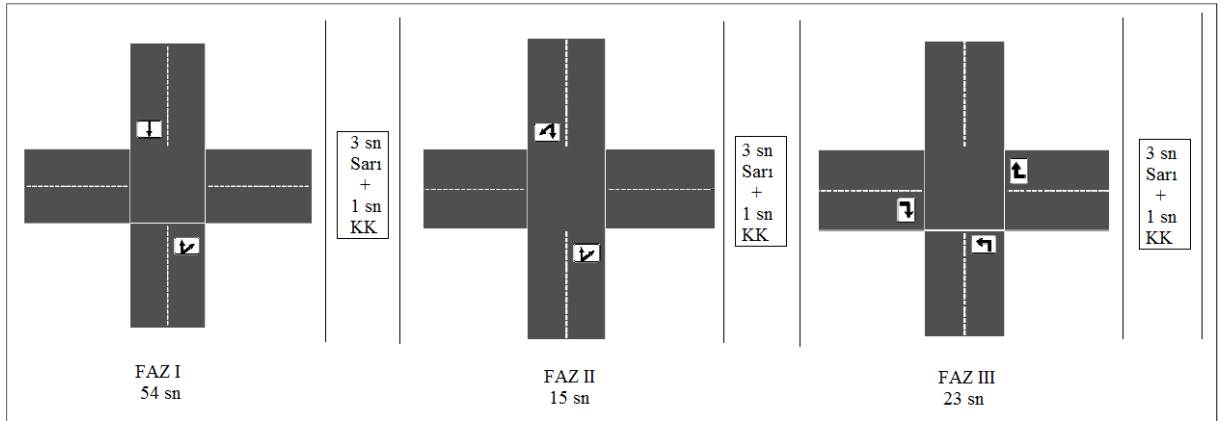
MEVCUT SÜRELERİN PERFORMANS DEĞERLERİ					
PERFORMANS KRİTERLERİ	KAVŞAK NUMARALARI				
	2270	1150	2214	1159	2224
Taşıt Başına Ortalama Gecikme Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	14,13	9,52	24,21	13,27	15,88
Taşıt Başına Ortalama Duruş Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	0,35	0,30	0,63	0,44	0,54
Ortalama Hız [km/h] (Tüm Taşıt Tipleri)	71,34	45,00	54,59	38,42	32,97
Taşıt Başına Ortalama Durma Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	6,16	4,96	8,55	8,62	10,44
CO Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	4,75	2,24	6,70	1,25	1,50
NOx Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	3,18	0,50	3,31	0,40	0,34
Yakıt Tüketimi [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	315,63	59,03	284,75	30,41	31,63
Kavşağı Terk Eden Taşıt Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	4.018,00	1.866,00	5.213,00	1.306,00	1.103,00
Toplam Seyahat Süresi [sa] (Tüm Taşıt Tipleri)	76,96	24,42	87,61	12,23	14,89



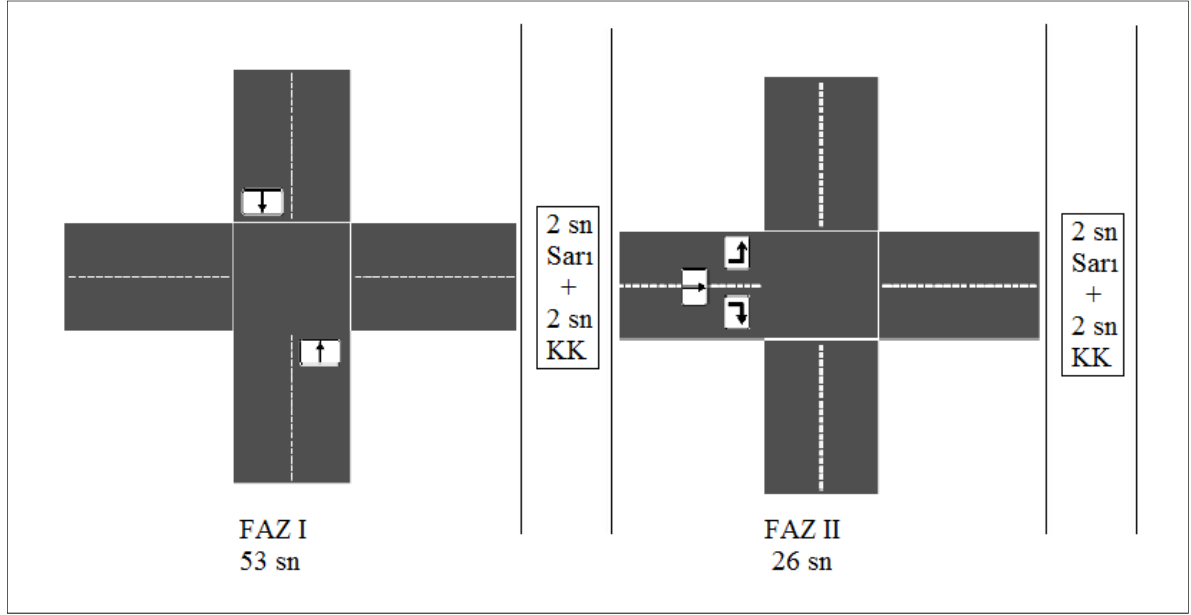
Şekil 5.2 2270 Yıldız Conrad Kavşağı Mevcut Faz Planı



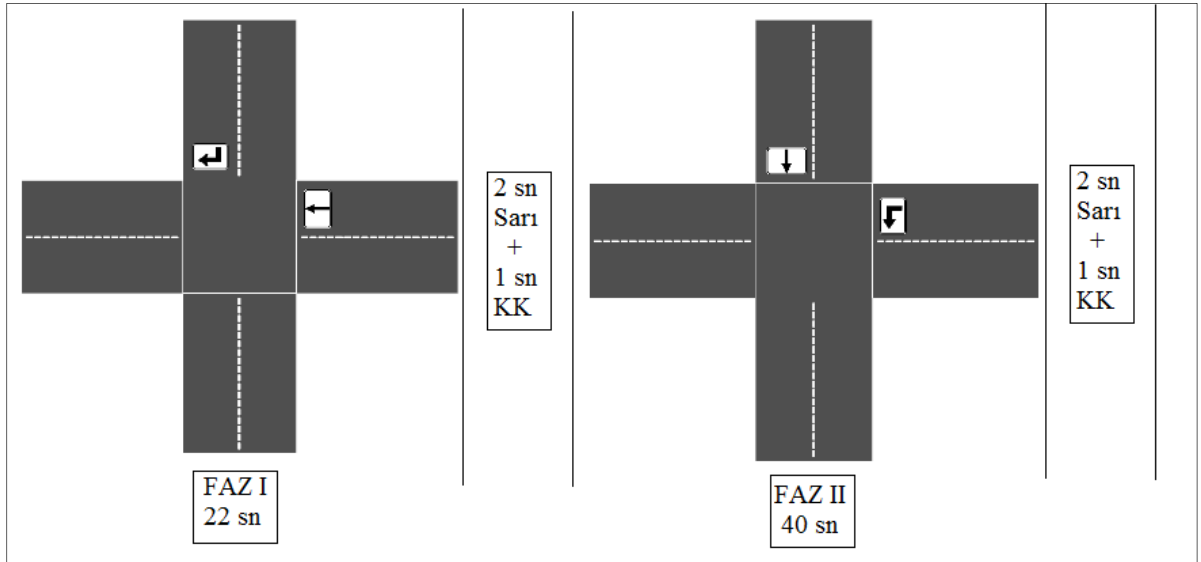
Şekil 5.3 1150 Bakırköy Vankulu Sokağı Kavşağı Mevcut Faz Planı



Şekil 5.4 2214 Balmumcu Camhan Kavşağı Mevcut Faz Planı



Şekil 5.5 1159 Fatih Akdeniz Caddesi Kavşağı Mevcut Faz Planı



Şekil 5.6 2224 Şişli Teşvikiye Karakol Kavşağı Mevcut Faz Planı

5.10 Algoritma İle Hesaplanan Sürelerin Analizi

Bölüm 4.4.3.2’de algoritmaya göre hesaplanmış olan çevrim süreleri ve faz planları VISSIM 5.1’de simülasyon ortamında analiz edilmiştir. Kavşakların hesaplanan sürelerle göre performans raporu Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 Hesaplanan sürelerin performans tablosu

HESAPLANAN SÜRELERİN PERFORMANS DEĞERLERİ					
PERFORMANS KRİTERLERİ	KAVŞAKLAR				
	2270	1150	2214	1159	2224
Taşıt Başına Ortalama Gecikme Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	13,50	8,78	9,35	6,89	4,29
Taşıt Başına Ortalama Duruş Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	0,38	0,40	0,22	0,34	0,27
Ortalama Hız [km/h] (Tüm Taşıt Tipleri)	72,04	45,72	72,92	47,47	43,50
Taşıt Başına Ortalama Durma Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	2,86	2,30	72,92	2,64	0,78
CO Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	5,62	2,77	4,97	1,29	1,33
NOx Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	3,35	0,65	2,91	0,41	0,29
Yakıt Tüketimi [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	315,13	62,34	263,18	28,99	27,75
Kavşağı Terk Eden Taşıt Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	4.015,00	1.865,00	5.217,00	1.307,00	1.105,00
Toplam Seyahat Süresi [sa] (Tüm Taşıt Tipleri)	76,24	24,05	65,56	9,91	11,31

5.11 Mevcut Süreler ile Hesaplanan Sürelerin Karşılaştırılması

Tüm kavşakların performans değerleri ve değişim oranları hesaplanarak iyileştirme oranları belirlenmiştir. Her kavşak için performans değerleri karşılaştırma tabloları hazırlanmıştır (Çizelge 5.5 – 5.9).

Çizelge 5.5 Yıldız Conrad Kavşağı performans değerleri karşılaştırma tablosu

2270 YILDIZ CONRAD KAVŞAĞI PERFORMANS DEĞERLERİ			
PERFORMANS KRİTERLERİ	MEVCUT SÜRELER	HESAPLANAN SÜRELER	DEĞİŞİM ORANI
Taşıt Başına Ortalama Gecikme Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	14,13	13,50	%4
Taşıt Başına Ortalama Duruş Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	0,35	0,38	-%11
Ortalama Hız [km/h] (Tüm Taşıt Tipleri)	71,34	72,04	-%1
Taşıt Başına Ortalama Durma Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	6,16	2,86	%54
CO Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	4,75	5,62	-%18
NOx Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	3,18	3,35	-%5
Yakıt Tüketimi [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	315,63	315,13	%0
Kavşağı Terk Eden Taşıt Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	4.018,00	4.015,00	%0
Toplam Seyahat Süresi [sa] (Tüm Taşıt Tipleri)	76,96	76,24	%1

Çizelge 5.6 Bakırköy Vankulu Sokak Kavşağı performans değerleri karşılaştırma tablosu

1150 BAKIRKÖY VANKULU SOKAK KAVŞAĞI PERFORMANS DEĞERLERİ			
PERFORMANS KRİTERLERİ	MEVCUT SÜRELER	HESAPLANAN SÜRELER	DEĞİŞİM ORANI
Taşıt Başına Ortalama Gecikme Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	9,52	8,78	%8
Taşıt Başına Ortalama Duruş Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	0,30	0,40	-%33
Ortalama Hız [km/h] (Tüm Taşıt Tipleri)	45,00	45,72	-%2
Taşıt Başına Ortalama Durma Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	4,96	2,30	%54
CO Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	2,24	2,77	-%24
NOx Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	0,50	0,65	-%30
Yakıt Tüketimi [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	59,03	62,34	-%6
Kavşağı Terk Eden Taşıt Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	1.866,00	1.865,00	%0
Toplam Seyahat Zamanı [sa] (Tüm Taşıt Tipleri)	24,42	24,05	%2

Çizelge 5.7 Balmumcu Camhan Kavşağı performans değerleri karşılaştırma tablosu

2214 BALMUMCU CAMHAN KAVŞAĞI PERFORMANS DEĞERLERİ			
PERFORMANS KRİTERLERİ	MEVCUT SÜRELER	HESAPLANAN SÜRELER	DEĞİŞİM ORANI
Taşıt Başına Ortalama Gecikme Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	24,21	9,35	%61
Taşıt Başına Ortalama Duruş Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	0,63	0,22	%65
Ortalama Hız [km/h] (Tüm Taşıt Tipleri)	54,59	72,92	-%34
Taşıt Başına Ortalama Durma Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	8,55	72,92	-%753
CO Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	6,70	4,97	%26
NOx Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	3,31	2,91	%12
Yakıt Tüketimi [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	284,75	263,18	%8
Kavşağı Terk Eden Taşıt Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	5.213,00	5.217,00	%0
Toplam Seyahat Zamanı [sa] (Tüm Taşıt Tipleri)	87,61	65,56	%25

Çizelge 5.8 Fatih Akdeniz Kavşağı performans değerleri karşılaştırma tablosu

1159 FATİH AKDENİZ KAVŞAĞI PERFORMANS DEĞERLERİ			
PERFORMANS KRİTERLERİ	MEVCUT SÜRELER	HESAPLANAN SÜRELER	DEĞİŞİM ORANI
Taşıt Başına Ortalama Gecikme Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	13,27	6,89	%48
Taşıt Başına Ortalama Duruş Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	0,44	0,34	%23
Ortalama Hız [km/h] (Tüm Taşıt Tipleri)	38,42	47,47	-%24
Taşıt Başına Ortalama Durma Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	8,62	2,64	%69
CO Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	1,25	1,29	-%3
NOx Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	0,40	0,41	-%2
Yakıt Tüketimi [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	30,41	28,99	%5
Kavşağı Terk Eden Taşıt Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	1.306,00	1.307,00	%0
Toplam Seyahat Zamanı [sa] (Tüm Taşıt Tipleri)	12,23	9,91	%19

Çizelge 5.9 Teşvikiye Karakol Kavşağı performans değerleri karşılaştırma tablosu

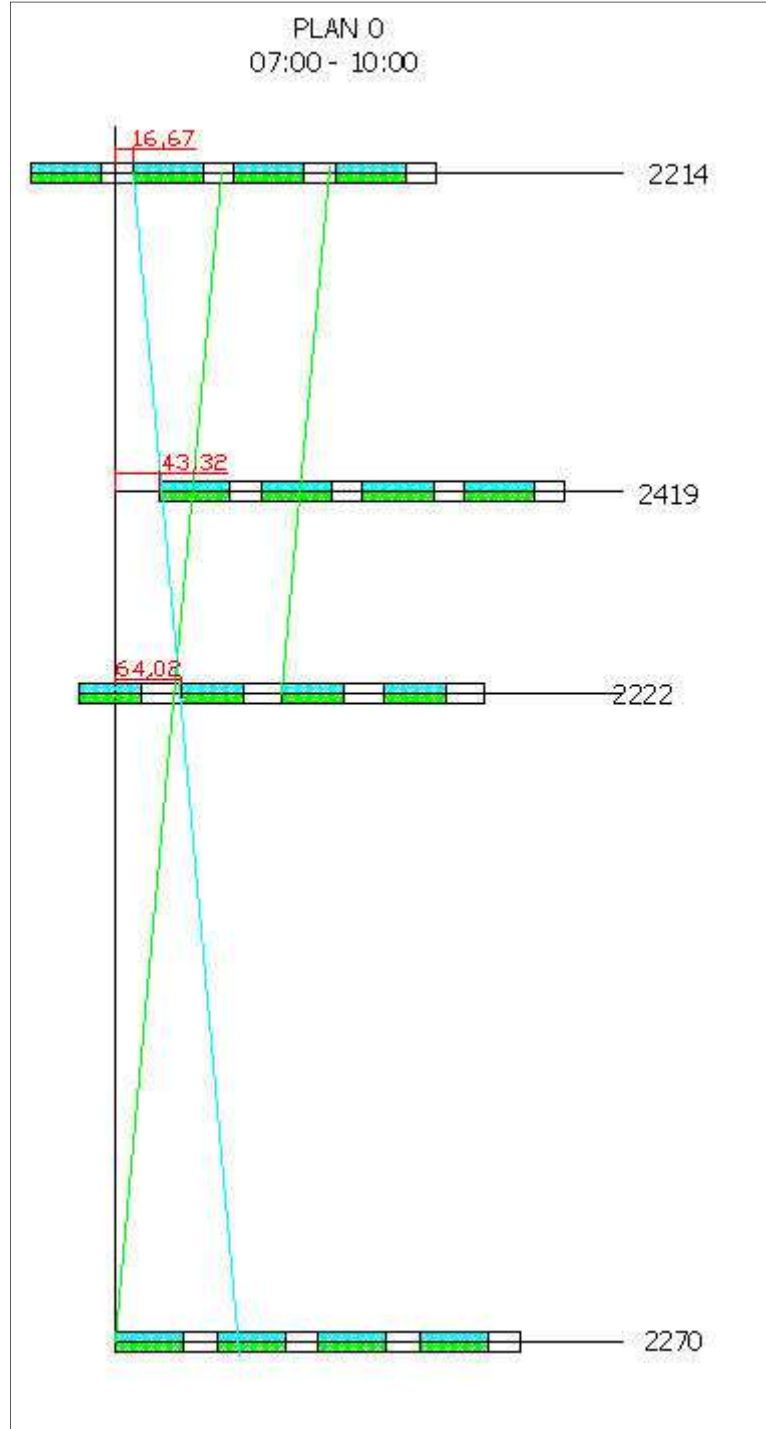
2224 TEŞVİKİYE KARAKOL KAVŞAĞI PERFORMANS DEĞERLERİ			
PERFORMANS KRİTERLERİ	MEVCUT SÜRELER	HESAPLANAN SÜRELER	DEĞİŞİM ORANI
Taşıt Başına Ortalama Gecikme Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	15,88	4,29	%73
Taşıt Başına Ortalama Duruş Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	0,54	0,27	%50
Ortalama Hız [km/h] (Tüm Taşıt Tipleri)	32,97	43,50	-%32
Taşıt Başına Ortalama Durma Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	10,44	0,78	%93
CO Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	1,50	1,33	%12
NOx Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	0,34	0,29	%15
Yakıt Tüketimi [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	31,63	27,75	%12
Kavşağı Terk Eden Taşıt Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	1.103,00	1.105,00	%0
Toplam Seyahat Zamanı [sa] (Tüm Taşıt Tipleri)	14,89	11,31	%24

5.12 Balmumcu Camhan Kavşağındaki İyileşmenin Barbaros Arterine Etkisinin İncelenmesi

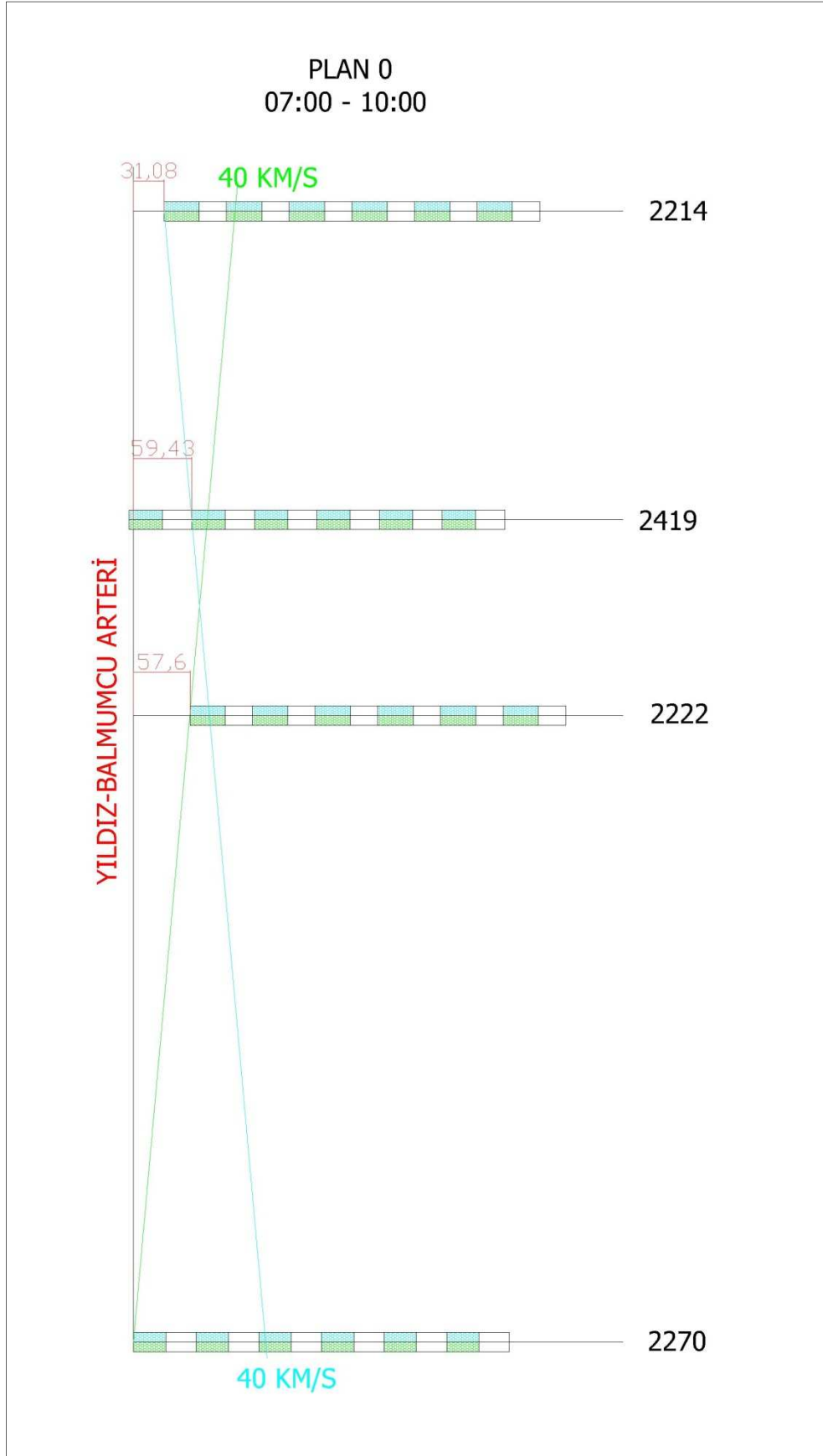
Barbaros arteri mevcut durumda koordineli olarak çalışmaktadır. Devre süresi en yüksek olan kavşağa göre yeşil dalga uygulaması yapılmıştır. Akımın aşırı doygun olduğu durumlar dışında saatte 40 km/s hızla gidildiğinde yeşil dalga yakalanmaktadır. Şu anki yeşil dalga sistemi çevrim süreleri 100 sn alınarak oluşturulmuştur (Çizelge 5.10).

Bölüm 4.4.3.2’de incelenen ve modele göre sinyal planı oluşturulan Barbaros arterinin iki ucundaki 2214 Balmumcu Camhan ve 2270 Yıldız Conrad kavşaklarının çevrim süreleri 54sn ve 41sn olarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre Balmumcu Camhan kavşağının boşaltma süresi daha uzundur. Bu nedenle yeşil dalga çalışmasında Balmumcu Camhan Kavşağının devre süresi esas alınarak koordinasyon planlanmıştır. Arterin uzunluğu ve artere katılımların çok olması göz önünde bulundurularak çevrim süresi 10 sn artırılmış ve koordinasyon çevrim süresi 64 sn alınarak oluşturulmuştur (Çizelge 5.11).

Çizelge 5.10 Mevcut Yeşil Dalga diyagramı



Çizelge 5.11 Modele göre hesaplanan Yeşil Dalga diyagramı



Mevcut yeşil dalga ve hesaplanan sürelerle göre oluşturulan yeşil dalganın performanslarının ölçülmesi için VISSIM 5.1 programında simülasyon ve analiz çalışması yapılmıştır. Performans karşılaştırma tablosuna bakıldığında ortalama gecikme değerinde %38 oranında iyileşme görülmektedir (Çizelge 5.12).

Ortalama gecikme değerine göre 2214 nolu Balmumcu Camhan Kavşağındaki iyileşme oranı % 61 olarak görülmektedir. Tüm kriterlerdeki performans değerleri ve iyileşme oranları Çizelge 5.12’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.12 Barbaros Arteri Performans Karşılaştırma Tablosu

BARBAROS ARTERİ PERFORMANS DEĞERLERİ			
PERFORMANS KRİTERLERİ	MEVCUT SÜRELER	HESAPLANAN SÜRELER	DEĞİŞİM ORANI
Taşıt Başına Ortalama Gecikme Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	117,45	72,40	%38
Taşıt Başına Ortalama Duruş Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	2,76	1,84	%33
Ortalama Hız [km/h] (Tüm Taşıt Tipleri)	28,93	39,61	-%37
Taşıt Başına Ortalama Durma Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	34,02	20,97	%38
CO Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	25,47	21,20	%17
NOx Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	9,60	8,70	%9
Yakıt Tüketimi [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	756,56	681,88	%10
Kavşağı Terk Eden Taşıt Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	6.461,00	6.624,00	-%3
Toplam Seyahat Zamanı [sa] (Tüm Taşıt Tipleri)	329,27	244,95	%26

Balmumcu Camhan Kavşağının iyileşme oranları Barbaros arterindeki iyileşmenin 23 puan üzerindedir (5.13). Bu oranın Barbaros arterinde daha düşük olmasının nedeni arter üzerindeki kavşakların aynı özelliklere ve yüklere sahip olmamasından kaynaklanmaktadır. 2214 nolu kavşak için hesaplanan çevrim süresi diğer kavşaklarda uygulandığında performans düşüşleri yaşanması beklenmektedir. Fakat amaçlanan arter genelindeki performans değerinin yükseltilmesidir.

Çizelge 5.13 Barbaros Arteri Performans Karşılaştırma Tablosu

BARBAROS ARTERİ ve BALMUMCU CAMHAN KAVŞAĞI İYİLEŞME ORANLARI		
PERFORMANS KRİTERLERİ	BARBAROS ARTERİ	2214 nolu KAVŞAK
Taşıt Başına Ortalama Gecikme Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	%38	%61
Taşıt Başına Ortalama Duruş Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	%33	%65
Ortalama Hız [km/h] (Tüm Taşıt Tipleri)	-%37	-%34
Taşıt Başına Ortalama Durma Süresi [s] (Tüm Taşıt Tipleri)	%38	-%753
CO Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	%17	%26
NOx Emisyonu [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	%9	%12
Yakıt Tüketimi [kg] (Tüm Taşıt Tipleri)	%10	%8
Kavşağı Terk Eden Taşıt Sayısı (Tüm Taşıt Tipleri)	-%3	%0
Toplam Seyahat Zamanı [sa] (Tüm Taşıt Tipleri)	%26	%25

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

İstanbul'da 2010 yılı itibariyle 1628 adet sinyalize kavşak mevcuttur. Bu kavşakların sinyal planları belirlenirken herhangi bir model kullanılmamakta, trafik sayımları ve sinyal programlama uzmanlarının tecrübeleri ile belirlenmektedir. Bu metot ile belirlenen sinyal planları ilk programlama anında verimli bir şekilde çalışsa da değişen trafik yoğunluğu ve olağandışı durumlarda verimliliğini yitirmektedir. Verimsiz çalışan kavşaklardaki bekleme süreleri artmakta, bu da ekonomiyi ve çevreyi negatif yönde etkilemektedir. İstanbul'daki sinyalize kavşak sayısının fazlalığı da göz önüne alındığında konunun önemi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen algoritmanın kullanılması ile kavşak performansının artacağı ve bekleme sürelerinden kaynaklanan çeşitli negatif etkilerin azalacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada sinyalize kavşaklarda minimum gecikmeyi sağlayacak olan optimum çevrim süresini hesaplayacak bir yazılım geliştirilmiştir. Sinyalize bir kavşakta, kavşaktan maksimum aracın geçirilebilmesi için araçların toplam durma sayısının ve toplam gecikme süresinin minimize edilmesi hedeflenmektedir. Kavşak sinyalizasyon analizlerinde gecikme süresi önemli bir kriterdir. Bu kritere göre değerlendirme yapıldığında bu algoritma ile hesaplanan çevrim sürelerinin uygulandığı kavşakların performanslarında %4 ile %73 arasında iyileşme görülmüştür.

Uygulama sırasında hesaplanan çevrim sürelerinin mevcut çevrim sürelerinden az olduğu gözlemlenmiştir. Bu da doymuş akım değerlerinin mevcut duruma göre yüksek hesaplandığı konusunda ipuçları verebilir.

Geliştirilen yazılım kol ve şerit sayısı açısından her türlü kavşağın sinyal zamanlamasını yapabilmektedir. Ayrıca veri giriş kolaylığından dolayı güncelleme ve geliştirme imkanı vardır.

Sinyal zamanlaması yapan bu algoritmaya yapılan veri girişlerinin doğruluğu etkin sonuçlar alınması açısından çok önemlidir. Bu algoritmanın en önemli girdilerinden biri olan doymuş akım miktarının hesaplanması için uygulanan metodun çalışmanın yapıldığı bölgenin sürücü, yaya davranışları gibi önemli özelliklerine uyumluluğunun araştırılması gerekmektedir.

Geliştirilen program bir kavşak giriş ve çıkışlarına yerleştirilecek araç sayım sensörleri ile entegre çalıştırılarak eş zamanlı sinyal planı oluşturabilir. Bu da trafik davranışlarına göre değişen esnek bir sinyal planı oluşturma sistemi kurulmasına imkan sağlayabilir. Bu çalışmada uygulanan doymuş akım hesaplama metodunun İstanbul şartlarına uygunluğunun araştırılması için metot hakkında bir analiz çalışması yapılması gerekmektedir.

Performans analizlerinin yapılmasında kullanılan VISSIM programı dünyada birçok ülkede kullanılmasına rağmen standart özellikleri Türkiye özellikle İstanbul koşullarına uymayabilir. Bu nedenle bu çalışmada yapılan analizleri benzer başka trafik analiz programlarında da yapılmalı ve sonuçlar karşılaştırılmalıdır.

Geliştirilen yazılıma bu çalışmada tanıtılmış olan diğer metotlara göre sinyal zamanı hesaplayan bir modül eklenebilir. Yazılımla entegre sensörlerden gelen verilerle de doğruluk dereceleri hesaplanarak, uygun olan metodun hesapladığı süreler kullanılabilir.

7. KAYNAKLAR

- Akbaş, A., (2001), Kent İçi Trafik Sinyal Sisteminin Optimal Kontrolü, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akçelik, R., (1994), “Estimation of Green Times and Cycle Time for Vehicle-Actuated Signals. Transportation Research Record”, Australian Road Research Board Transportation Research Record, 1457:63-72.
- Akçelik, R., (1995), “Signal Timing Analysis for Vehicle-Actuated Control”, Australian Road Research Board Transportation Research Record
- Akdoğan, E., (2001), Mikrodenetleyici Kullanarak Kavşak Kontrol Cihazı Tasarımı ve Kontrol Eğitiminde Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Can O., (2005), Development of a Control Strategy for Urban Traffic Management System of İstanbul, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dağüstü H.ř. ve Pehlivan E., (2008), “Turkish Delight”, Traffic Technology International, Nisan/Mayıs 2008:80-81
- Demir, N.B.Ö., (2006), Akıllı Trafik Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dotoli, M., Fanti, M.P., Melo, C., (2005), “A Signal Timing Plan Formulation For Urban Traffic Control”, Elsevier, 14:1297-1311
- Ergün, G., Avrenli K., Harman M.M. ve Pehlivan E., (2006), Arterlerde Sinyal Koordinasyonu ve Optimizasyonu: Yöntem Ve Uygulama El Kitabı, Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Araştırma alışması
- Fellendorf, M., (1994) “VISSIM: A Microscopic Simulation Tool to Evaluate Actuated Signal Control Including Bus Priority”, 64th ITE Annual Meeting.
- Lieu, H., (1999) “Traffic-Flow Theory” , Federal Highway Agency-FHWA, Washington D.C.
- Murat, Y.ř., (1996), Denizli şehir İçi Kavşaklarındaki Trafik Akımlarının Bilgisayarla İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öztürk, E.A., (2004), Sinyalize Kavşaklarda Devre Süresinin Modellenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öztürk, E.A., ubuk, M. K. ve Hatipoğlu S., (2008), “Ankara İçin Bir Sinyal Zamanlaması Modeli Beşevler Kavşağı Örneği”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(1): 49-57.
- Pooran, F.J., Andrews, C.M. ve Gartner, N. (1999), “Implementation of the OPAC Adaptive Control System in RT-TRACS”, ITS World Congress Proceedings, Toronto.

Pooran, F.J., Andrews, C.M., Gartner, N., "Implementation of the OPAC Adaptive Control System in RT-TRACS", ITS World Congress Proceedings, Toronto, (1999).

Ratrouf, N.T. ve Rahman, S.M., (2009), "A Comparative Analysis of Currently Used Microscopic and Macroscopic Traffic Simulation Software", The Arabian Journal for Science and Engineering, 34:121-133

TUBİTAK, (2003), "Tubitak Research Proposal" Marmara Araştırma Merkezi Bilişim Enstitüsü, Gebze.

Tunç, A., (2003), Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım, Ankara.

Webster, F.V., (1958), "Traffic Signal Settings", Road Research Laboratory Technical Paper, 39:27-35.

Webster, F.V. ve Cobbe, B.M., (1966), Traffic Signals RoadResearch Laboratory Technical Paper" 56:38-46.

Wiedemann, R., (1991), "Modeling of RTI-Elements on Multi-Lane Roads", Advanced Telematics in Road Transport The Commission of the European Community, DG XIII, Brussels,.

İnternet Kaynakları:

[1] <http://www.aimsun.com>

EKLER

Ek 1 Kavşak Sayım Formu Özetleri

SİNYAL: 2270
TARİH: 26.11.2007

YÖN	ZAMAN		1. AKIM		2. AKIM		3. AKIM		4. AKIM		TOPLAM	
			Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT
1. AKIM	08:00	08:15	0	0	0	0	706	58	0	0	706	58
	08:15	08:30	0	0	0	0	626	51	0	0	626	51
	08:30	08:45	0	0	0	0	635	66	0	0	635	66
	08:45	09:00	0	0	0	0	555	55	0	0	555	55
	Toplam		0	0	0	0	2522	230	0	0	2522	230
	% AT						9,12				9,12	
2. AKIM	08:00	08:15	68	1	0	0	18	0	0	0	86	1
	08:15	08:30	74	0	0	0	32	1	0	0	106	1
	08:30	08:45	55	1	0	0	21	0	0	0	76	1
	08:45	09:00	37	0	0	0	27	1	0	0	64	1
	Toplam		234	2	0	0	98	2	0	0	332	4
	% AT		0,85				2,04				1,20	
3. AKIM	08:00	08:15	523	50	27	0	0	0	0	0	550	50
	08:15	08:30	495	61	40	0	0	0	0	0	535	61
	08:30	08:45	435	55	44	0	0	0	0	0	479	55
	08:45	09:00	290	42	27	0	0	0	0	0	317	42
	Toplam		1743	208	138	0	0	0	0	0	1881	208
	% AT		11,93		0,00						11,06	
4. AKIM	08:00	08:15	0	0	0	0	38	0	0	0	38	0
	08:15	08:30	0	0	0	0	35	0	0	0	35	0
	08:30	08:45	0	0	0	0	41	0	0	0	41	0
	08:45	09:00	0	0	0	0	37	0	0	0	37	0
	Toplam		0	0	0	0	151	0	0	0	151	0
	% AT						0,00				0,00	

SİNYAL: 1150
TARİH: 21.05.2007

YÖN	ZAMAN		1. AKIM		2. AKIM		3. AKIM		4. AKIM		TOPLAM	
			Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT
1. AKIM	08:00	08:15	1	0	125	52	0	0	0	0	126	52
	08:15	08:30	0	0	143	59	0	0	0	0	143	59
	08:30	08:45	0	0	159	54	0	0	0	0	159	54
	08:45	09:00	0	0	172	59	0	0	0	0	172	59
	Toplam		1	0	599	224	0	0	0	0	600	224
	% AT		0,00		37,40						37,33	
2. AKIM	08:00	08:15	199	74	0	0	0	0	0	0	199	74
	08:15	08:30	262	103	0	0	0	0	0	0	262	103
	08:30	08:45	238	98	0	0	0	0	0	0	238	98
	08:45	09:00	257	84	1	0	0	0	0	0	258	84
	Toplam		956	359	1	0	0	0	0	0	957	359
	% AT		37,55		0,00						37,51	
3. AKIM	08:00	08:15	68	0	16	0	0	0	0	0	84	0
	08:15	08:30	83	0	11	0	0	0	0	0	94	0
	08:30	08:45	84	0	9	0	0	0	0	0	93	0
	08:45	09:00	54	0	14	0	0	0	0	0	68	0
	Toplam		289	0	50	0	0	0	0	0	339	0
	% AT		0,00		0,00						0,00	
4. AKIM	08:00	08:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:15	08:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:30	08:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:45	09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Toplam		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	% AT											

SİNYAL: 2214
TARİH: 26.11.2007

YÖN	ZAMAN		1. AKIM		2. AKIM		3. AKIM		4. AKIM		TOPLAM	
			Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT
1. AKIM	08:00	08:15	0	0	50	0	682	45	11	0	743	45
	08:15	08:30	0	0	64	0	647	46	8	0	719	46
	08:30	08:45	0	0	51	0	395	24	7	0	453	24
	08:45	09:00	0	0	58	0	360	37	3	2	421	39
	Toplam		0	0	223	0	2084	152	29	2	2336	154
	% AT				0,00		7,29		6,90		6,59	
2. AKIM	08:00	08:15	5	0	0	0	0	0	0	0	5	0
	08:15	08:30	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0
	08:30	08:45	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0
	08:45	09:00	5	0	0	0	0	0	0	0	5	0
	Toplam		26	0	0	0	0	0	0	0	26	0
	% AT		0,00								0,00	
3. AKIM	08:00	08:15	714	59	78	0	0	0	0	0	792	59
	08:15	08:30	712	62	87	0	0	0	0	0	799	62
	08:30	08:45	615	52	116	0	0	0	0	0	731	52
	08:45	09:00	537	62	114	0	0	0	0	0	651	62
	Toplam		2578	235	395	0	0	0	0	0	2973	235
	% AT		9,12		0,00						7,90	
4. AKIM	08:00	08:15	0	0	0	0	15	1	0	0	15	1
	08:15	08:30	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0
	08:30	08:45	0	0	0	0	6	0	0	0	6	0
	08:45	09:00	0	0	0	0	9	0	0	0	9	0
	Toplam		0	0	0	0	33	1	0	0	33	1
	% AT						3,03				3,03	

SİNYAL: 1159
TARİH: 04.06.2007

YÖN	ZAMAN		1. AKIM		2. AKIM		3. AKIM		4. AKIM		TOPLAM	
			Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT
1. AKIM	08:00	08:15	0	0	47	3	0	0	1	0	48	3
	08:15	08:30	0	0	32	3	0	0	0	0	32	3
	08:30	08:45	0	0	27	2	0	0	0	0	27	2
	08:45	09:00	0	0	37	1	0	0	2	0	39	1
	Toplam		0	0	143	9	0	0	3	0	146	9
	% AT				6,29				0,00		6,16	
2. AKIM	08:00	08:15	152	3	0	0	0	0	61	0	213	3
	08:15	08:30	174	3	1	0	0	0	53	0	228	3
	08:30	08:45	141	3	1	0	0	0	49	0	191	3
	08:45	09:00	145	2	0	0	0	0	51	0	196	2
	Toplam		612	11	2	0	0	0	214	0	828	11
	% AT		1,80		0,00				0,00		1,33	
3. AKIM	08:00	08:15	17	0	26	0	0	0	54	0	97	0
	08:15	08:30	29	0	24	0	0	0	49	0	102	0
	08:30	08:45	23	0	22	0	0	0	41	0	86	0
	08:45	09:00	18	0	11	0	0	0	49	0	78	0
	Toplam		87	0	83	0	0	0	193	0	363	0
	% AT		0,00		0,00				0,00		0,00	
4. AKIM	08:00	08:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:15	08:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:30	08:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:45	09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Toplam		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	% AT											

SİNYAL: 2224
TARİH: 26.11.2007

YÖN	ZAMAN		1. AKIM		2. AKIM		3. AKIM		4. AKIM		TOPLAM	
			Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT
1. AKIM	08:00	08:15	0	0	113	5	23	0	0	0	136	5
	08:15	08:30	0	0	98	3	21	0	0	0	119	3
	08:30	08:45	0	0	125	4	18	0	0	0	143	4
	08:45	09:00	0	0	98	2	11	0	0	0	109	2
	Toplam		0	0	434	14	73	0	0	0	507	14
	% AT				3,23		0,00				2,76	
2. AKIM	08:00	08:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:15	08:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:30	08:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:45	09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Toplam		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	% AT											
3. AKIM	08:00	08:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:15	08:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:30	08:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	08:45	09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Toplam		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	% AT											
4. AKIM	08:00	08:15	0	0	35	0	110	12	0	0	145	12
	08:15	08:30	0	0	32	0	122	9	0	0	154	9
	08:30	08:45	0	0	43	0	127	13	0	0	170	13
	08:45	09:00	0	0	38	0	106	12	0	0	144	12
	Toplam		0	0	148	0	465	46	0	0	613	46
	% AT				0,00		9,89				7,50	

Ek 2 Sinyal Zamanlama Yazılımı Kodları

WEBSTER HESAP PROSEDÜRLERİ

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;

namespace SamilTez.Logical
{
    public static class CalculationsWebster
    {
        private static WebsterResult[] websterResultData;
        private static int websterIterationStart = 0;
        private static int websterCalcCycleTime = 0;

        static CalculationsWebster()
        {
            websterResultData = new WebsterResult[250];
            for (int i = 0; i < 250; i++)
                websterResultData[i] = new WebsterResult();
        }

        public static WebsterResult[] WebsterResultData
        {
            get
            {
                return CalculationsWebster.websterResultData;
            }
        }

        public static int WebsterIterationStart
        {
            get
            {
                return CalculationsWebster.websterIterationStart;
            }
            set
            {
                CalculationsWebster.websterIterationStart = value;
            }
        }

        public static int WebsterCalcCycleTime
        {
            get
            {
                return CalculationsWebster.websterCalcCycleTime;
            }
            set
            {
                CalculationsWebster.websterCalcCycleTime = value;
            }
        }

        public static int calculatePhaseLossTime(int allRedTime, int
initialLossTime, int endGain)
        {
            return allRedTime + initialLossTime - endGain;
        }

        public static float calculateFlowRate(float trafficVolume, float
saturatedFlow)
    }
}

```

```

    {
        return trafficVolume / saturatedFlow;
    }

    public static int calculateCMin(int totalLossTime, float
totalFlowRate)
    {
        return (int)(totalLossTime / (1 - totalFlowRate));
    }

    public static float calculateEffectiveGreen(int cycleIterationVal,
int totalLossTime, float phaseFlowRate, float totalFlowRate)
    {
        return (phaseFlowRate / totalFlowRate) * (cycleIterationVal -
totalLossTime);
    }

    public static float calculateSaturationRate(int cycleIterationVal,
float flowRate, float effectiveGreenTime)
    {
        return flowRate * (cycleIterationVal / effectiveGreenTime);
    }

    public static float calculateGreenRate(int cycleIterationVal, float
effectiveGreenTime)
    {
        return effectiveGreenTime / cycleIterationVal;
    }

    public static float calculateFlowCapacity(int cycleIterationVal,
float saturatedFlow, float effectiveGreenTime)
    {
        return saturatedFlow * (effectiveGreenTime /
cycleIterationVal);
    }

    public static float calculateFlowDelayTime(int cycleIterationVal,
float greenRate, float saturationLevel, float trafficVolume)
    {
        float r1 = (float)((Math.Pow((1 - greenRate), 2.0)
* cycleIterationVal) / (2 * (1 - greenRate * saturationLevel)));
        float r2 = (float)((Math.Pow((double)saturationLevel, 2.0)) /
(2 * (trafficVolume / 3600) * (1 - saturationLevel)));
        float r3 = (float)(0.65 * Math.Pow((double)(cycleIterationVal /
((trafficVolume / 3600) * (trafficVolume / 3600))), 1.0 / 3.0)) *
(float)(Math.Pow(saturationLevel, 2 + 5 * greenRate)));
        return r1 + r2 - r3;
    }
}
}

```

WEBSTER HESAP ANA PROSEDÜRÜ

```

public void calculateUsingWebster()
{
    int totalLossTime = 0;
    float totalFlowRate = 0;

    Dictionary<int, Road> tmpRoadList = getAllRoads();
    Dictionary<int, Lane> tmpLaneList = getAllLanes();
    Dictionary<int, Flow> tmpFlowList = getAllFlows();

    /**
     * toplam kayıp süre ve toplam akım oranını bul
     */
    Dictionary<int, Phase> tmpListPhase = getAllPhases();
    foreach (KeyValuePair<int, Phase> kv in tmpListPhase)
    {
        Phase tPhase = kv.Value;
        tPhase.findMaxFlowRate();
        totalFlowRate += tPhase.PhaseFlowRate;
        totalLossTime += tPhase.PhaseLossTime;
    }

    /**
     * toplam akım oranı izin verilen max değerden büyükse
     parametreler hatalı
     */
    if (totalFlowRate > .95f)
    {
        MessageBox.Show("Kavşak parametreleri WEBSTER yöntemi için
geçersizdir.\nLütfen giriş verileri (faz sayısı, doymun akım değeri v.s.)
yeniden giriniz.");
        return;
    }

    /**
     * uygulanabilecek min devre süresini bul
     */
    int cMin =
(int)Math.Round((decimal)CalculationsWebster.calculateCMin(totalLossTime,
totalFlowRate));

    int cIteration = cMin + 1;
    CalculationsWebster.WebsterIterationStart = cMin;

    /**
     * iterasyon yaparak optimum devre süresini bul
     */
    float effectiveGreenTime = 0;
    float greenRate = 0;
    float saturationLevel = 0;
    float phaseMaxFlowCapacity = 0;
    float tmpFlowCapacity = 0;
    float phaseMaxDelayTime = 0;
    float tmpDelayTime = 0;
    float sumIterMaxDelayTime = 0;
    float sumIterMaxFlowCapacity = 0;
    float minIterDelayTime = float.MaxValue;
    int cycleTimeIterValue = 0;
    int index = 0;

    while (cIteration < 250)

```

```

{
    foreach (KeyValuePair<int, Phase> kv in tmpListPhase)
    {
        effectiveGreenTime = 0;
        greenRate = 0;
        saturationLevel = 0;
        phaseMaxFlowCapacity = 0;
        tmpFlowCapacity = 0;
        phaseMaxDelayTime = 0;
        tmpDelayTime = 0;

        Phase tPhase = kv.Value;
        /**aktif yeşil süre bul*/
        effectiveGreenTime =
CalculationsWebster.calculateEffectiveGreen(cIteration, totalLossTime,
tPhase.PhaseFlowRate, totalFlowRate);
        greenRate =
CalculationsWebster.calculateGreenRate(cIteration, effectiveGreenTime);
        saturationLevel =
CalculationsWebster.calculateSaturationRate(cIteration,
tPhase.PhaseFlowRate, effectiveGreenTime);

        float sumSaturatedFlow = 0;
        foreach (KeyValuePair<int, Road> kvRoad in tmpRoadList)
        {
            List<int> laneIds = kvRoad.Value.RoadLaneIds;
            foreach (int lId in laneIds)
            {
                Lane tmpLane = null;
                bool hasLaneFlow = false;
                if (tmpLaneList.TryGetValue(lId, out tmpLane))
                {
                    List<int> flowIds = tmpLane.FlowIds;
                    foreach (int fId in flowIds)
                    {
                        if (tPhase.PhaseFlowIds.Contains(fId))
                        {
                            hasLaneFlow = true;
                            break;
                        }
                    }
                    if (hasLaneFlow)
                        sumSaturatedFlow +=
tmpLane.LaneSaturatedFlow;
                }
            }

            tmpFlowCapacity =
CalculationsWebster.calculateFlowCapacity(cIteration, sumSaturatedFlow,
effectiveGreenTime);
            if (tmpFlowCapacity > phaseMaxFlowCapacity)
                phaseMaxFlowCapacity = tmpFlowCapacity;

            sumSaturatedFlow = 0;
        }
        sumIterMaxFlowCapacity += phaseMaxFlowCapacity;

        float sumVolume = 0;
        foreach (KeyValuePair<int, Road> kvRoad in tmpRoadList)
        {
            List<int> laneIds = kvRoad.Value.RoadLaneIds;
            foreach (int lId in laneIds)
            {

```

```

Lane tmpLane = null;
if (tmpLaneList.TryGetValue(lId, out tmpLane))
{
    List<int> flowIds = tmpLane.FlowIds;
    foreach (int fId in flowIds)
    {
        if (tPhase.PhaseFlowIds.Contains(fId))
        {
            Flow tmpFlow = null;
            if (tmpFlowList.TryGetValue(fId,
out tmpFlow))
            {
                sumVolume += tmpFlow.Volume;
            }
        }
    }
}

tmpDelayTime =
CalculationsWebster.calculateFlowDelayTime(cIteration, greenRate,
saturationLevel, sumVolume);

if (tmpDelayTime == float.NaN)
    tmpDelayTime = 0;

if (tmpDelayTime > phaseMaxDelayTime)
    phaseMaxDelayTime = tmpDelayTime;

    sumVolume = 0;
}
sumIterMaxDelayTime += phaseMaxDelayTime;
}

phaseMaxDelayTime = 0;

if (sumIterMaxDelayTime < minIterDelayTime)
{
    minIterDelayTime = sumIterMaxDelayTime;
    cycleTimeIterValue = cIteration;
}

CalculationsWebster.WebsterResultData[cIteration].CycleIterationValue =
cIteration;

CalculationsWebster.WebsterResultData[cIteration].CycleDelayTime =
sumIterMaxDelayTime;

CalculationsWebster.WebsterResultData[cIteration].CycleCapacity =
sumIterMaxFlowCapacity;

    sumIterMaxDelayTime = 0;
    sumIterMaxFlowCapacity = 0;

    cIteration++;
    index++;
}

foreach (KeyValuePair<int, Phase> kv in tmpListPhase)
{

```

```
        kv.Value.PhaseGreenTime =
(int)Math.Round((decimal)((cycleTimeIterValue - totalLossTime) *
(kv.Value.PhaseFlowRate / totalFlowRate)));

        kv.Value.PhaseGreenTime = kv.Value.PhaseGreenTime +
kv.Value.PhaseLossTime - kv.Value.PhaseYellowTime -
kv.Value.PhaseAllRedTime;

        kv.Value.PhaseGreenTime = kv.Value.PhaseGreenTime <
kv.Value.PhaseMinGreenTime ? kv.Value.PhaseMinGreenTime :
kv.Value.PhaseGreenTime;
    }

    CalculationsWebster.WebsterCalcCycleTime = cycleTimeIterValue;

    Console.WriteLine(cycleTimeIterValue);

    GUIMain.getMyRef().getResultContainer().drawResults();
}
```


ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 22.07.1982

Doğum Yeri Düzce

Lise 1997-2000 Trabzon Yomra Fen Lisesi

Lisans 2000-2004 İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2004- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Müh. Anabilim Dalı
Endüstri Müh. Programı

Çalıştığı Kurumlar

2004-2005 Kuveyt Türk Katılım Bankası A.Ş.

2005-2006 Özdil Panjur San. Ve Tic. Ltd. Şti.

2007-Devam ediyor İSBAK A.Ş.