

155818

**SİNYALİZE KAVŞAKLARDA PERİYOT SÜRESİNİN
MODELLENMESİ: ANKARA ÖRNEĞİ**

Ebru ARIKAN ÖZTÜRK

**DOKTORA TEZİ
(KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2004
ANKARA**

Ebru ARIKAN ÖZTÜRK tarafından hazırlanan SİNYALİZE KAVŞAKLARDA PERİYOT SÜRESİNİN MODELLENMESİ: ANKARA ÖRNEĞİ adlı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Yrd. Doç. Dr. M. Kürşat ÇUBUK
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

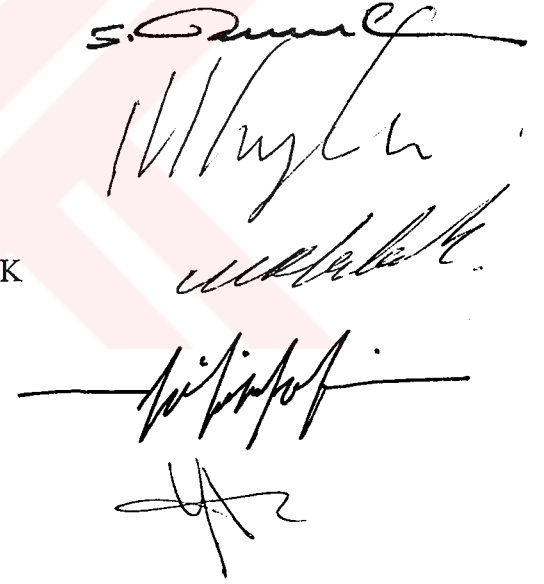
Başkan: : Prof. Dr. Süleyman PAMPAL

Üye : Prof.Dr.. Mehmet EROĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Kürşat ÇUBUK

Üye : Doç.Dr. Hülagü KAPLAN

Üye : Doç.Dr. Yeşim YASAK



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vi
EKLERİN LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Terimler ve Tanımlar	5
1.2. Çalışmanın Tanımı	15
1.3. Çalışmanın Amacı	16
1.4. Metodoloji	16
1.5. Literatür Araştırması	19
2. KAVŞAK TİPOLOJİSİ VE TRAFİK KONTROLÜ	24
2.1. Kavşak Tipleri	24
2.1.1. Eşdüzey kavşak tipleri	24
2.1.2. Katlı (köprülü) kavşak	30
2.2. Kavşak Teorisi	31
2.3. Kavşaklarda Trafik Kontrolü	34
2.4. Kavşak Esasları	39
2.4.1. Emniyet	40
2.4.2. Kapasite	42

2.4.3. Ekonomi	42
3. IŞIKLI TRAFİK İŞARETLERİ (SİNYALİZASYON)	43
3.1. Sinyal Vericileri ve Özellikleri	44
3.1.1. Ünite ve cepheler	44
3.1.2. Sinyal direkleri	46
3.1.3. Kontrol cihazı	47
3.1.4. Diğer yardımcı tesisler	48
3.2. Sinyalizasyon Seçim Kriterleri	48
3.2.1. Sinyalizasyon için gerekli koşullar	49
3.2.2. Sinyalizasyonun gecikmeler üzerine etkisi	54
3.2.3. Sinyalizasyonun kazalar üzerine etkisi	55
3.3. Sinyalizasyon Sistemleri	58
3.3.1. İzole sistemler	58
3.3.2. Koordine sistemler	61
3.3.3. Sinyalizasyon sistem seçimi.....	69
3.4. Akıllı Ulaşım Sistemleri ITS (Intelligent Transportation System)	71
4. KAVŞAKLARDA SİNYALİZASYON HESABI	73
4.1. Periyot Süresi	73
4.2. Faz Düzenleri	75
4.2.1. Sinyalize yaya geçitleri	77
4.2.2. Tek yönlü yolların kesiştiği kavşaklar	77
4.2.3. Sola dönüşlerin az olduğu kavşaklar	79
4.2.4. Üç ve dört faz uygulamaları	79
4.2.5. Erken kapama ve geç açma	84

4.2.6. Sinyalize Rotrari	86
4.2.7. Sağa dönüşler	87
4.2.8. Fazların zaman planları	87
4.3. Yeşil ve Yeşiller Arası Süreler	88
4.3.1. Sarı süre	88
4.3.2. Kırmızı + sarı süre	91
4.3.3. Her yöne kırmızı süre	91
4.4. Koruma Süresi	91
4.5. Toplam Kayıp Süre	94
4.6. Yaya Geçiş Süreleri.....	94
4.7. Sinyalizasyon Hesap Yöntemleri	95
4.7.1. İngiliz yöntemi (Webster periyot süresi formülü)	95
4.7.2. Avustralya yöntemi	98
4.7.3. Amerika yöntemi (Highway Capacity Manual HCM).....	103
4.7.4. Özdirim yöntemi	115
4.8. Sinyalize Kavşaklarda Kapasite	117
4.8.1. Kavşak akımlarının karakteristik özellikleri	118
4.8.2. Kapasiteyi etkileyen faktörler	119
5. ANKARA'DA KARAYOLU ULAŞIMI VE TRAFİK	122
5.1. Ankara Karayolu Ulaşımına Genel Bir Bakış.....	122
5.1.1. Ankara trafiği	124
5.2. Ankara Kentsel Ulaşım Planlama Çalışmaları	125
5.2. Ankara'daki Sinyalize Kavşaklar	129

6. PERİYOT SÜRESİNİN ANKARA ÖRNEĞİNDE MODELLENMESİ	135
6.1. Çalışma Alanı	135
6.1.1. Sayım yapılan kavşaklar.....	136
6.1.2. Çalışma alanında yapılan ölçümler ve trafik sayımları	141
6.2. Ölçüm ve Sayım Sonuçlarının Excel Ortamında Değerlendirilmesi	142
6.3. Ölçüm ve Sayım Sonuçlarının SPSS 7.5 Programı Değerlendirilmesi	146
6.4. Periyot Süresi Formülü	147
6.5. Literatür Karşılaştırması	155
6.5.1. Tez çalışmasında geliştirilen model ile örnek problemin çözümü	156
6.5.2. Webster (İngiliz) modeli ile örnek problemin çözümü	161
6.5.3. Avustralya modeli ile örnek problemin çözümü	165
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	170
KAYNAKLAR	174
EKLER	180
ÖZGEÇMİŞ.....	239

**SİNYALİZE KAVŞAKLARDA PERİYOT SÜRESİNİN
MODELLENMESİ: ANKARA ÖRNEĞİ
(Doktora Tezi)**

Ebru ARIKAN ÖZTÜRK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ekim 2004

ÖZET

Günümüzde kentiçi karayolu ulaşımının büyük bir bölümü trafik ışıkları ile kontrol edilen karayolu ağında gerçekleşmektedir. Dolayısıyla kentiçi karayolu ulaşımının performansı, büyük ölçüde karayolu trafiğinin kontrolünde elde edilen başarıya, karayolu trafiğinin kontrolündeki başarı ise, trafik ışıklarının kontrolünde sağlanacak kaliteye bağlıdır. Bir kavşağın kontrol sürecinde gecikme ve duruşların yaratacağı performans kayıplarının en aza indirilmesi ve tüm yol kullanıcılarına sağlanan faydaların maksimize edilmesi amaçlanır. Sinyalize kavşaklarda bu amaçla kullanılan temel kontrol mekanizması, sinyal zamanlamasıdır. Bu çalışmada, Ankara'daki sinyalize kavşaklar için, yerel trafik koşulları (saatlik trafik yükü, taşıt kompozisyonu) ve sürücülerin kavşaklardaki davranışlarını dikkate alan ve sinyal zamanlamasına esas olan *Periyot Süresi* ve *Yeşil Süreleri* tayin eden yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Bilim Kodu : 963
Anahtar Kelimeler : Sinyalizasyon, Kavşak, Trafik Kontrolü, Periyot Süresi, Yeşil Süre
Sayfa Adedi : 243
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. M. Kürşat ÇUBUK

**MODELING OF CYCLE TIME FOR SIGNALIZED INTERSECTIONS IN
URBAN AREAS: ANKARA CASE STUDY
(Ph.D Thesis)**

Ebru ARIKAN ÖZTÜRK

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
October 2004**

ABSTRACT

A significant amount of travel time is spent at highway networks with signal controlled intersections during highway transportation in urban areas. Therefore performance of urban highway transportation is closely related to the quality attained in controlling traffic signals at intersections. In design of intersection control process, minimization of performance losses due to stops and delays, and maximization of benefits to the users are targeted. Basic control mechanism used in intersection control is signal timing. In this study, a mathematical model, which incorporates local traffic conditions (hourly traffic demand, vehicle type composition) and driver behavior at intersections, is developed to estimate signal cycle time and green times for signalized intersections in Ankara.

Science Code : 963
Keywords : Signalization, Signalized Intersection, Traffic Control, Cycle Time, Green Time
Number of Pages : 243
Advisor : Asst.Prof.Dr. M.Kürşat ÇUBUK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Yrd.Doç.Dr. M. Kürşat ÇUBUK'a, çok değerli tecrübelerinden faydalandığım Prof.Dr. Muhittin ÖZDİRİM'e, yine değerli katkılarıyla beni yönlendiren ve her zaman destek olan Anabilim Dalı Başkanım Prof.Dr. Süleyman PAMPAL'a, katkıları ve desteği için Prof.Dr. Mehmet EROĞLU'na, bilgi ve yönlendirmeleri ve manevi desteği için Prof.Dr. Hadi GÖKÇEN'e, ayrıca katkılarından dolayı Öğretim Görevlisi Dr. Cemal AYVALIK, Dr. Murat ARIKAN ve Yrd.Doç.Dr. M.Ali AKÇAYOL'a, manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim başta Aysel AKÇİMEN olmak üzere Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Öğrenci İşleri Personeli ve İdari Personeline, yine manevi desteği için Enstitü Sekreteri Osman SARIKAYA'ya, manevi desteği ve güleryüzü ile her zaman bana moral kaynağı olan çalışma arkadaşım Seda HATİPOĞLU'na ve çalışmalarımın her aşamasında bana destek olan ve katkıları ile beni yönlendiren meslektaşım, sevgili eşim Faruk Ziya ÖZTÜRK'e, yine çalışmalarımın her aşamasında manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim Bilgin ARIKAN, Aydan ÖZSOY, Mustafa ÖZSOY başta olmak üzere tüm aileme ve bana en büyük moral kaynağı olan sevgili yeğenlerim Burcu ÖZSOY ve H. Can EREN'e teşekkür ederim.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Örnek ölçüm formu	18
Çizelge 2.1. 2 şeritli yolların kavşağı için kritik zaman aralığı	33
Çizelge 2.2. Saatlik proje trafiğine göre kavşak kapasiteleri	37
Çizelge 3.1. 1993 verilerine göre dünyada bazı şehirlerde sinyalize kavşak sayıları	44
Çizelge 3.2. Minimum taşıt yoğunluğu.....	52
Çizelge 3.3. Anayol kesilmesi	53
Çizelge 4.1. Doygun akım değerleri	96
Çizelge 4.2. Sinyalize kavşaklarda hizmet düzeyi.....	106
Çizelge 4.3. Şerit kullanım faktörü	109
Çizelge 4.4. Şerit genişliği düzeltme faktörü	110
Çizelge 4.5. Ağır taşıt düzeltme faktörü	110
Çizelge 4.6. Eğim düzeltme faktörü	110
Çizelge 4.7. Park durumu düzeltme faktörü.....	111
Çizelge 4.8. Otobüs blokaaj faktörü	111
Çizelge 4.9. Sola dönüş düzeltme faktörü.....	112
Çizelge 4.10. Hizmet düzeylerine ve faz sayılarına göre bir kavşağın kapasitesi	117
Çizelge 5.1. Yıllara göre Ankara'nın nüfusu ve nüfus artış oranları	122
Çizelge 5.2. Ankara İli karayolu durumu	123
Çizelge 5.3. Ankara'da, şerit sayılarına göre kentiçi yollar	123
Çizelge 5.4. Ankara'daki toplam motorlu kara taşıtları	123
Çizelge 5.5. Ankara kenti ulaşım türleri dağılımı.....	124

Çizelge 5.6. Ankara'daki toplam sinyalize kavşak sayıları ve özellikleri	131
Çizelge 6.1. Kavşak yaklaşım kolunda yapılan örnek ölçüm	144
Çizelge 6.2. Örnek ölçümde tespit edilen kavşak tahliye süreleri ve bu sürede geçen cinslerine göre toplam taşıt sayıları	144
Çizelge 6.3. Örnek ölçümde, kavşak tahliye süresinin 38,5353 saniye olduğu kabulüyle, cinslerine göre kavşağı boşaltan taşıt sayıları	145
Çizelge 6.4. Kavşak tahliye süresini belirlemek için kullanılan örnek veri grubu	150
Çizelge 6.5. Webster modeli için $y=q/s$ oranları	162
Çizelge 6.6. 3 yöntemle 2 ve 4 fazlı olarak çözülen problemin karşılaştırması	168

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Ölçüm ve sayım yeri.....	17
Şekil 2.1. Kavşaklarda ayrılma, birleşme, örülme	24
Şekil 2.2. Üç kollu kavşak tipleri	25
Şekil 2.3. Dört kollu kavşak tipleri	26
Şekil 2.4. Dört kollu bir kavşakta ayrılma, birleşme, örülme noktaları	27
Şekil 2.5. Çok kollu kavşak tipleri	28
Şekil 2.6. Örülmeli/Dönel kavşak (Rotari)	29
Şekil 2.7. Katlı/köprülü kavşak tipleri	31
Şekil 2.8. Kavşakta kesişen iki akım	32
Şekil 2.9. Kritik aralık	32
Şekil 2.10. Geçiş önceliği işaretlerinin kavşaklara yerleştirilişi	36
Şekil 2.11. Basit hemzemin kavşakların seçim kriterleri	38
Şekil 2.12. Kavşakta emniyet üçgeni	41
Şekil 2.13. Duruş görüş mesafesi	41
Şekil 3.1. Sinyal ünitesi.....	45
Şekil 3.2. Sinyalizasyonun gecikmelere etkisi	54
Şekil 3.3. Kavşak kollarının dik açı ile kesiştirilmesi.....	57
Şekil 3.4. Simultan sistem	62
Şekil 3.5. Değişken (Alternatif) sistem.....	64
Şekil 3.6 Değişken (Alternatif) Senkronize sistem.....	65
Şekil 3.7. Progresif sistem.....	66
Şekil 3.8. Yeşil dalga planı.....	67

Şekil 3.9. Yeşil dalga planı detayı	68
Şekil 4.1. Yaya geçidi fazları.....	77
Şekil 4.2. Kavşakta yaya geçişleri	78
Şekil 4.3 Tek yönlü, dört kollu bir kavşakta 2 fazlı sistem	78
Şekil 4.4. Sola dönüşlerin az olduğu kavşakta 2 fazlı sistem.....	79
Şekil 4.5 Sola dönüş için ayrı fazı olan 3 fazlı sistem	80
Şekil 4.6. Sola dönüşleri birlikte 3 fazlı sistem	81
Şekil 4.7. 4 fazlı sistem	82
Şekil 4.8. Amerikan tipi sola dönüşler	83
Şekil 4.9. Sola dönüşlerin yoğun olduğu T kavşaklarda 3 fazlı sistem	84
Şekil 4.10. Erken kesme, geç açma.....	85
Şekil 4.11. Sinyalize Rotari	86
Şekil 4.12. Faz zaman planı.....	87
Şekil 4.13. Eşdüzey bir kavşak için sinyal programı.....	88
Şekil 4.14. Kavşaktaki kritik ölçüler.....	90
Şekil 4.15. Örnek bir faz planı ve faz geçişlerinin düzenlenişi	101
Şekil 4.16. Sinyalize kavşaktan uzaklaşan bir akımın yeşil ışık süresi boyunca değişimi	102
Şekil 4.17. Kavşaktan geçiş yapan taşıtlar için yol-zaman diyagramı.....	118
Şekil 6.1. Akdeniz Caddesi-Mareşal Fevzi Çakmak Caddesi kavşağı (Anıttepe spor sahası önü).....	136
Şekil 6.2. DSI-DMO-KKK kavşağı.....	136
Şekil 6.3. Genel Kurmay kavşağı	137
Şekil 6.4. Kurtuluş kavşağı.....	137
Şekil 6.5. Eskişehir Yolu-İnönü Bulvarı kavşağı (Milli Kütüphane önü).....	138

Şekil 6.6. Konya Yolu-Bahriye Üçok Caddesi kavşağı (Gazi Hastanesi öñü).....	138
Şekil 6.7. Osmanlı kavşağı	139
Şekil 6.8. Ulus kavşağı.....	139
Şekil 6.9. Tandoğan kavşağı	140
Şekil 6.10. Beşevler kavşağı	140
Şekil 6.11. Sayım yapılan kavşakların planı	141
Şekil 6.12. Fazlara ait yeşil süreleri belirleyen sinyal abağı	154
Şekil 6.13. Örnek problem	155
Şekil 6.14. Örnek problem faz düzenleri (4 fazlı)	156
Şekil 6.15. Örnek problem faz düzenleri (2 fazlı)	158

EKLERİN LİSTESİ

Ek	Sayfa
Ek-1. Kritik aralıkla ilgili örnek problemler	180
Ek-2 Kavşaklardaki ölçüm ve sayım sonuçları.....	181
Ek-3 Tüm ölçümlerde tespit edilen toplam geçiş süreleri ve bu sürede geçen cinslerine göre ve OB değeri olarak toplam taşıt sayıları	215
Ek-4. Tüm ölçümlerde kavşak tahliye süresi 38,5353 saniye olduğu kabulüyle cinslerine göre geçen taşıt sayıları	222
Ek-5 $y = f(x,z)$ ilişkisi	229
Ek-6 Kavşak tahliye süresini belirlemek üzere yapılan doğrusal regresyon analizi sonuçları	230
EK-7 Ankara’da 3 bölgede yer alan tüm sinyalize kavşakların listesi	231
Ek-8 İnternet Kaynakları	CD

Not: EK1-Ek 8 kaynakları arka kapak içindeki CD’de verilmiştir.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
c	Kapasite
C	Periyot süresi
d	Taşıt başına düşen ortalama gecikme
D	Yaya geçidi uzunluğu
f	Sürtünme katsayısı
f_w	Şerit genişliği düzeltme faktörü
f_{HV}	Ağır taşıt düzeltme faktörü
f_g	Eğim düzeltme faktörü
f_p	Park durumu düzeltme faktörü
f_{bb}	Otobüs blokaj faktörü
f_a	Alan türü düzeltme faktörü
f_{RT}	Sağa dönüş düzeltme faktörü
f_{LT}	Sola dönüş düzeltme faktörü
G	Yeşil süre
G'	Etkili yeşil süre
G_y	Yaya geçiş süresi
I	Yeşiller arası süre
k	Duruşlardan dolayı oluşan kayıp faktörü
l	Akım kayıp süresi
L	Kavşak kayıp süresi

L_{DX}	Duruş uzaklığı
L_{BX}	Boşaltma uzaklığı
L_{GX}	Giriş uzaklığı
M	Trafik hacmi
n	Faz sayısı
N	Şerit sayısı
q	Maksimum akım değeri
r	Dönüş yarıçapı
s	Doygun akım değeri
t_G	Kritik aralık
t_{Gi}	Giriş süresi
t_B	Tahliye (boşaltma) süresi
t_K	Koruma süresi
t_R	Her yöne kırmızı süre
U	Şerit kullanım faktörü
X	Doyma derecesi
v	Gerçek akım değeri
V	Hız
Y	Sarı süre
α	Başlangıç gecikme süresi
Δt	Toplam kayıp süre

Kısaltmalar	Açıklama
AC	Trafik Uyarmalı Kontrol (Actuated Control)
FAC	Tam Trafik Uyarmalı Kontrol (Full Actuated Control)
GIS	Coğrafi Bilgi Sistemleri (Geographic Information System)
GPS	Global Konum Belirleme (Geographic Position System)
HCM	Karayolu Kapasitesi Kılavuzu (Highway Capacity Manual)
ITS	Akıllı Ulaşım Sistemi (Intelligent Transportation System)
MIA	Merkezi İş Alanı
MUTCD	Trafik Kontrol Araçları Kılavuzu (Manual on Uniform Traffic Control Devices)
OGS	Otomatik Geçiş Sistemi
PHF	Pik Saat Faktörü (Peak Hour Factor)
VMS	Değişebilir Mesaj İşaretleri (Variable Message Sign)
YOGT	Yıllık Ortalama Günlük Trafik

1.GİRİŞ

Ulaşım, yaya ve/veya taşıtların yer değiştirme/park etme olgusunu ifade eden genel bir kavramdır. Ulaşımın, üzerinde gerçekleştirildiği fiziksel ortamlara yol, yol üzerindeki görüntüsüne de trafik denir (1).

Ulaşım sistemi, bir coğrafi bölgedeki fiziksel şartlara bağlı olarak gelişen; kara, hava, deniz ve diğer ulaşım imkanlarının bir entegrasyonudur. Ulaşım sistemlerinden biri olan Kentiçi Ulaşım Sistemi, kent coğrafyasındaki bütün ulaşım imkanlarının entegre edildiği karmaşık bir sistemdir. Kentiçi Karayolu Ulaşım sistemi ise, kentiçindeki karayolu ağlarında gerçekleştirilen ulaşım ile ilişkili her türlü aktivite ile, altyapı ve üstyapı olanaklarının tümünü kapsayan bir sistemi ifade eder (1,2).

Kentiçi karayolu ulaşım sisteminde yaşanan problemler, kentlerde ekonomik ve sosyal yaşamın sağlıklı bir yapıya kavuşmasını olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle, kentiçi karayolu ulaşım sistemlerinde yerine getirilmesi gereken üç önemli görev vardır (1). Bu görevler;

1. Kentiçi ulaşımının planlanması,
2. Trafiğin atanması,
3. Trafiğin kontrolüdür.

Yolculuk davranışları, arazi kullanımı ve ekonomik değerler üzerinde etkisi olan trafik, günümüzde büyük ve büyümekte olan kentler için ciddi bir sorundur. Özellikle trafik sıkışıklığı, kentler için yeni bir problem değildir ve bu sorun, daha küçük yerleşim birimlerinde de yaşanmaya başlamıştır.

Trafik sıkışıklığı problemi, özellikle kentiçi karayolu ağlarında trafik güvenliğini azaltmakta, ulaşım süreleri, ulaşım maliyetleri ve egzoz emisyonundan kaynaklanan çevre kirliliğini artırmaktadır. Örneğin, ABD'deki karayollarında her yıl ortalama 41.000 ölüm ve 5 milyon yaralanma ile sonuçlanan kazaların olduğu; bu kazalarla oluşan ekonomik kayıpların değerinin, yaklaşık olarak 70 milyon dolar olduğu;

dünya ölçeğinde atmosfere atılan karbon monoksit gazının %66'sının otomobiller tarafından üretilmekte olduğu not edilmektedir. Bunun gibi, 1990 yılı itibariyle ABD'de kent içi otoyollardaki yıllık gecikmenin tahminen 2 milyon araç-saat, bunun neden olduğu verim kaybının da yaklaşık 100 milyon dolar olduğu hesaplanmıştır (3).

Türkiye'de ise, 2001 yılı polis ve jandarma kayıtlarına göre, meydana gelen trafik kazası sayısı 442.960'dır. Bu kazalarda 4.026 kişi yaşamını kaybetmiş, 116.202 kişi de yaralanmıştır (bu verilere kaza sonrası ölen ve yaralananların sayısı dahil değildir) (4). Bu kazalarda meydana gelen sosyo-ekonomik kayıplar ise 2001 yılı için 2 katrilyon seviyesindedir (5).

Trafik sıkışıklıklarının azaltılması amacıyla yeni yolların yapımı ve yolların genişletilmesi, ekonomik ve çevresel nedenlerin yanı sıra, metropoliten sahalardaki fiziki engeller (alan darlığı, kamulaştırma vb.) nedeniyle de çözüm için yeterli olmamaktadır. Bu şartlar altında trafik sıkışıklıklarının azaltılabilmesi, trafik kontrol teknikleri ile sağlanabilir.

Trafik kontrol teknikleri 1980'li yıllarda yarı iletken ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle beraber büyük ilerlemeler kaydetmiş, 1990'lı yıllara gelindiğinde ise ileri trafik yönetim tekniklerine (Advanced Traffic Management System ATMS) ilişkin uygulamaların kullanımı hızla yaygınlaşmıştır. Akıllı Ulaşım Sistemi (Intelligent Transportation System ITS) olarak da bilinen bu tekniklerin kullanımı özellikle son yıllarda büyük hız kazanmıştır.

Günümüzde tipik bir kentiçi karayolu ulaşımının taşıt-km birimiyle değerlendirildiğinde 3/2'si ve taşıt-saat birimiyle değerlendirildiğinde ise, 3/2'sinden daha büyük bir bölümü trafik ışıkları ile kontrol edilen karayolu ağında gerçekleşir (6). Dolayısıyla kentiçi karayolu ulaşımının performansı, büyük ölçüde karayolu trafiğinin kontrolünde elde edilen başarıya, karayolu trafiğinin kontrolündeki başarı ise, trafik ışıklarının kontrolünde sağlanacak kaliteye bağlıdır (1).

Kentiçi trafik kontrolünde, kavşaklardaki trafiğinin kontrol edilmesinin tüm kentin trafik kontrolünde önemli role sahip olması nedeniyle, kavşaklardaki sinyalizasyon parametrelerinin (trafik yükü, periyot süresi, yeşil süreler, yaya geçiş süreleri vb.) doğru olarak belirlenmesi gereklidir. Bir kavşağın kontrol sürecinde gecikme ve duruşların yaratacağı performans kayıplarının en aza indirilmesi ve tüm yol kullanıcılarına sağlanan faydaların maksimize edilmesi amaçlanır. Sinyalize kavşaklarda bu amaçla kullanılan temel kontrol mekanizması, sinyal zamanlamasıdır (1). Sinyal zamanlamasına esas olan trafik akımları matematiksel modeller kullanılarak izah edilir ve yorumlanabilir.

Bu çalışmada, Ankara örneğinde, yerel trafik koşulları (saatlik trafik yükü, taşıt kompozisyonu) ve sürücülerin kavşaklardaki davranışlarına bağlı olarak, sinyalizasyon parametrelerinden *Periyot Süresi*'ni ve *Yeşil Süreleri* tayin eden yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Sinyal zamanlamasına ilişkin literatürde yer alan modellerde, kavşaklar için periyot süresi belirlenirken pek çok farklı değişken kullanılmaktadır (doğru akım değeri, görünen yeşil süre, etkili yeşil süre, etkili yeşil süre oranı, akım kayıp süresi, pik saat faktörü, duruşlardan dolayı oluşan kayıp faktörü vb.). Oluşturulan bu model ise, periyot süresini hesaplarken saatlik trafik yükü ve kavşağın boşalma sürelerini esas alması ve yerel koşulları yansıtmaya açılarından orjinaldir. Bununla beraber, ülkemizde sürücüler sinyalize kavşaklarda kırmızı ışıktaki beklerken DUR çizgisini geçerek kavşak alanına girmekte ve trafik lambasındaki değişikliği göremedikleri için kuyrukta bekleyen ilk aracın hareketinde bir gecikme meydana gelmektedir. Bu durum ülkemize özgü bir durum olması nedeniyle literatürde dikkate alınmamaktadır. Tez çalışmada, çalışmaya esas olan trafik ölçüm ve sayımlarında bu durum dikkate alınmıştır.

Ekonomi biliminin temelinde karşılaşılan en önemli sorun, kaynakların kıt olmasıdır. Kaynaklardaki kıtlık, istek ve ihtiyaçların en akılcı ve savurganlıktan uzak bir biçimde karşılanmasını gerektirir (7, 8). Başkent Ankara'da, hızla büyüyen nüfus ve araç sahipliği, ulaşım ile ilgili artan kentsel faaliyetler (insan ve eşya taşımacılığı),

kentiçi karayolu ulaşım sisteminde trafik problemlerinin artmasına dolayısıyla ekonomik ve sosyal yaşamın olumsuz yönde etkilenmesine neden olmuştur. Bu çalışma ile Ankara'daki sinyalize kavşaklar için yerel şartlara uygun sinyal zamanlaması (periyot süresi ve yeşil süreler) belirleyen bir model oluşturulmaya çalışılmış ve bu sayede tüm kentiçi karayolu ulaşım sisteminin verimliliği ve performansının artırılması hedeflenmiştir.

Çalışmanın 2. KAVŞAK TİPOLOJİSİ VE TRAFİK KONTROLÜ bölümünde, kavşak tipleri, kavşak teorisi, kavşaklarda trafik kontrolü ve kavşak esasları açıklanmış ve kavşaklarla ilgili genel bilgiler aktarılmıştır.

3. IŞIKLI TRAFİK İŞARETLERİ (SİNYALİZASYON) bölümünde, ışıklı trafik işaretlerinin özellikleri, sinyalizasyon seçim kriterleri ve sinyalizasyon sistemleri açıklanmıştır.

4. KAVŞAKLARDA SİNYALİZASYON HESABI bölümünde, sinyalizasyon hesabı yapılırken kullanılan parametreler açıklanmış ve literatürde yer alan sinyalizasyon hesap yöntemlerinden dördü incelenmiştir.

5. ANKARA'DA KARAYOLU ULAŞIMI VE TRAFİK bölümünde, Ankara karayolu ulaşımı ve trafiğinin tarihsel gelişimi ve mevcut durumu açıklanmış ve Ankara'daki sinyalize kavşaklarla ilgili bilgiler verilerek kavşaklarda karşılaşılan problemler aktarılmıştır.

6. PERİYOT SÜRESİNİN ANKARA ÖRNEĞİNDE MODELLENMESİ bölümünde, yapılan alan çalışması ve değerlendirme yöntemi açıklanmış ve oluşturulan modelin bir örnekten hareketle literatür karşılaştırması yapılmıştır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER bölümünde ise, çalışmanın genel bir değerlendirilmesi yapılmış ve öneriler sunulmuştur.

1.1. Terimler ve Tanımlar

Tanımlar ve terimler için (9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 30) kaynaklarından faydalanılmıştır.

Alternatif Sistem: Bitişik kavşaklarda sıra ile birbirine zıt ışıklı sinyaller veren sistemdir.

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 eşdüzey (aynı düzlemde) ve komşu araziye doğrudan giriş çıkışı olan ve doğrudan trafiğin güvenli akışını kolaylaştıran, geometrik standart ve trafik kontrol önlem ve taşıtlarının bulunduğu karayoludur.

Ana Dağıtıcı: Kesen yollardaki taşıt trafiğinin, yola girmeden veya yolu karşıya geçmeden önce kurallara uygun olarak durması veya yol vermesi gerektiği ve bu yola giriş ve geçişin ışıklı veya ışısız trafik işaretleri ile belirtildiği karayoludur.

Anahtar Kavşak: Koordine sinyalizasyon sistemlerinde bütün kavşaklardaki ışıklı sinyalleri kontrol eden kavşaktır.

Araç: Kara yollarında kullanılabilen motorlu, motorsuz ve özel amaçlı taşıtlar ile iş makineleri ve lastik tekerlekli traktörlerin genel adıdır.

Araç Sinyali: Gereğine göre sarı, kırmızı, yeşil düz veya şekilli ışık ve/veya sesli lambalar grubudur.

Arazi Trafik Kontrol Sistemi: Özellikle kentiçi yolların kavşaklarında kurulan sinyalizasyon tesislerinin tümü arasında bir koordinasyon sağlayarak, genel olarak

gecikmelerin minimuma indirilmesini sağlamak üzere en uygun sinyallerin verilmesini düzenleyen bilgisayar ile yürütülen sistemdir.

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

Banket: Yaya yolu ayrılmamış karayolunda, taşıt yolu kenarı ile şev başı veya hendek iç üst kenarı arasında kalan ve olağan olarak yayaların ve hayvanların kullanacağı zorunlu hallerde de taşıtların faydalanabileceği kısımdır.

Başüstü Sinyali: Yolun üzerine ve belirli bir yüksekliğe monte edilen sinyaldir.

Bisiklet Yolu: Karayolunun sadece bisikletlilerin kullanmalarına ayrılan kısmıdır.

Bisiklet Sinyali: Sinyal lambası içine “yürü” anlamı için yeşil bisiklet, “dur” anlamı için ise kırmızı bisiklet figürlü lambalardan oluşan sinyaldir.

Bölüm İçi Dağıtıcı: Yerleşim yerleri, işyerleri ve diğer komşu araziye erişme sağlayan yoldur.

Bölünmüş Karayolu: Bir yöndeki trafiğe ait taşıt yolunun bir ayırıcı ile belirli şekilde diğer taşıt yolundan ayrılması ile meydana gelen karayoludur.

Cephe (Sinyal Verici): Belirli bir yöndeki akıma değişik sinyaller vermek üzere tek bir noktada toplanmış olan ve genellikle alt alta yerleştirilen birden fazla ışıklı ünitelerdir.

Cephe Grubu (Sinyal Verici Grubu): Belirli bir yöndeki akıma aynı sinyaller veren cephelerdir.

Dalga: Taşıtların birbiri ardınca gruplar halinde hareket etmeleridir.

Damla Ada: Bir kavşağa girip düz giden veya sola dönen taşıtların takip etmesi gereken yolu belirleyen ve uçları dairesel şekilli adadır.

Dedektör: Bir sinyalizasyon tesisinde geçiş sıra ve sürelerini, taşıt ve/veya yaya trafiğinin yüküne uygun olarak düzenlemek için talepleri kaydeden gereçtir.

- a) *Örnekleme Dedektörü:* Kent trafiği ile ilgili genel bilgileri trafik kontrol merkezine iletmek üzere yolların stratejik noktalarına konan dedektörlerdir.
- b) *Kuyruk Dedektörü:* Kavşaklarda oluşacak tıkanıklıklar ve kuyrukların fazla olması halinde kavşak programına müdahale edecek uyarıyı gönderen dedektörlerdir.

Devlet Yolu: Önemli bölge ve il merkezlerini, deniz hava ve demir yolu istasyonu, iskele, liman ve alanlarını birbirine bağlayan birinci derecede ana yollardır. Aynı zamanda ülkeyi komşu ülkelere bağlayan yollardır.

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.

Doyma 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.

El ile Kumanda Edilen Sinyal Düzeni (Manuel İşletme): Işıklı sinyallerin bir kişi tarafından kullanılarak geçiş hakkı sıra ve sürelerinin bu kişinin takdirine bağlı olarak ayarlanmasıdır.

Erişme Kontrollü Karayolu (Otoyol-Ekspres Yol): Özellikle transit trafiğe tahsis edilen, belirli yerler ve şartlar dışında giriş ve çıkışın yasaklandığı yaya, hayvan ve motorsuz taşıtların giremediği, ancak izin verilen motorlu taşıtların yararlandığı ve trafiğin özel kontrole tabi tutulduğu karayoludur.

Eşdüzey Kavşak: Birbirine dik veya dike yakın açı ile kesen, iki veya daha fazla karayolunun kesişmesi veya birleşmesi ile oluşan ortak alandır.

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

Etkili Akım Yüğü: Etkili akımı oluşturan otomobil birimi yüklerin saatlik toplamıdır.

Faz: Periyot süresinin belirli bir trafik akımını veya akımlarını aynı anda öngören bölümüdür.

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

Flaş: Bir ışıklı ünitenin sürekli olarak kısa aralıklarla yanıp sönmek verdiği sinyaldir.

- a) *Kırmızı Flaş:* Sinyalize kavşakta sürücülerin durarak, gidiş yönünü kesen diğer yönler üzerindeki taşıtlara yol vermesini ve geçişin güvenli olması halinde hareket edilmesinin gerektiğini ifade eder.
- b) *Sarı Flaş:* Sinyalize kavşakta sürücülere dikkatli ve yavaş geçiş yapmaları gerektiğini ifade eder.
- c) *Yeşil Flaş:* Hız yollarının ve ana arterlerin sinyalize edilmiş kavşaklarında, sürücülere, yeşil ışıklı sinyal süresinin sona ermek üzere olduğunu ifade eder.

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

Hız: Birim zamanda katedilen mesafedir.

Hızlanma Şeridi: Trafik akışına katılacak taşıtların hızlarını, katılacakları akım hızına getirmelerini sağlayacak ek şeritlerdir.

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 aynı anda kırmızı ışıklı sinyalin yer aldığı süredir.

İki Yönlü Karayolu: Taşıt yolunun her iki yöndeki taşıt trafiği için kullanıldığı karayoludur.

İl Yolu: Küçük il merkezlerini birbirine, ilçe ve kasabaları il merkezlerine bağlayan, iki şeritli 2. ve 3. sınıf standartlı, yüzeyleri genellikle asfalt kaplı yollardır.

İşletme Hızı: Bir yol bölümünde taşıtın hareket süresine (durma süreleri hariç) o yol bölümünün uzunluğunun oranıdır.

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

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

- a) *İdeal kapasite:* İdeal şartlarda bir trafik şeridinin bir saatte geçireceği maksimum taşıt sayısıdır.
- b) *Maksimum kapasite (Mümkün Kapasite):* Hakim yol ve trafik koşulları altında bir trafik şeridinin bir saatte geçireceği maksimum taşıt sayısıdır.

c) *Pratik kapasite (Proje kapasitesi)*: Hakim yol ve trafik koşulları altında, arazi ve trafik şartlarının etkisi sonucu seçilen maksimum kapasiteden daha küçük kapasite değeridir.

Karayolu: Trafik için kamunun yararlanmasına açık olan arazi şeridi, köprüler ve alanlardır.

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

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.

Kırmızı Işık: Yayalara veya taşıtlara durmaları gerektiğini gösteren sinyaldir.

Kontrol Cihazı: Ünite veya cephe gruplarının belirli bir sisteme bağlı olarak ışıklanmalarını sağlayan gereçtir.

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 yaya 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.

Platform Genişliği: Yolun; kaplama, orta refüj ve banketlerden oluşan genişliğinin tümüdür.

Progresif Sistem: Bir kavşakta geçiş hakkı olan bir taşıtın diğer koordine kavşaklarda da beklemeksizin geçişini sağlayan ve ışıklı sinyalleri buna göre düzenlenen sistemdir.

Proje Hızı: Taşıtların güvenle hareket etmelerini sağlamak üzere, proje aşamasında belirlenen hızdır.

Refüj (Ayırıcı): Taşıt yollarını veya yol bölümlerini birbirinden ayıran, bir taraftaki taşıtların diğer tarafa geçmesini engelleyen kara yolu yapısıdır.

Sabit Zamanlı Sinyal Düzeni: Trafiğe, önceden hazırlanmış zaman programlarına uyularak sıra ile geçiş hakkı verilmesidir.

Sarı Işık: Taşıtlara durmaya hazırlanmalarını gösteren, kırmızı ışıklı sinyal ile birlikte ışıklandığında ise harekete geçmeye hazırlanmalarını öneren sinyaldir.

Senkronize Sistem (Simultane Sistem): Koordine kavşakların hepsinde aynı anda aynı ışıklı sinyalleri veren sistemdir.

Seyahat Hızı: Bir taşıtın belirli bir yol bölümünde durma süreleri dahil geçirdikleri süreye o yol bölümünün uzunluğunun oranıdır.

Sinyalizasyon: Trafiğin ışıklı işaretler ve bunlara kumanda eden cihazlar kullanılarak düzenlenmesidir.

Sinyal Devresi: Birbirini izleyen ışıklı sinyallerin bir devridir.

Sinyal Feneri: Taşıt, yaya ve bisikletin emniyetle geçişini temin etmek için kullanılan ışık yansıtma aydınlatma ünitesidir.

Sinyal İkaz Levhası: Sinyal tesisinden önce sürücülere uyarı için konulan işaret levhasıdır.

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

Şerit: Taşıtların bir dizi halinde güvenle seyredebilmeleri için taşıt yolunun ayrılmış bir bölümüdür.

Tali Yol: Genel olarak üzerindeki trafik yoğunluğu bakımından bağlandığı yoldan daha az önemde olan yoldur.

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

Taşıt: Kara yolunda insan, hayvan ve yük taşımaya yarayan araçtır.

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

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

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

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

Tek Yönlü Karayolu: Taşıt yolunun yalnız bir yöndeki yöndeki taşıt trafiği için kullanıldığı karayoludur.

Trafik Adası: Yayaların geçme ve durmalarına, taşıtlardan inip binmelerine yarayan, trafik akımını düzenleme ve trafik güvenliğini sağlama amacı ile yapılmış olan, taşıtların bulunamayacağı koruyucu tertibatla belirlenmiş bölüm ve alanlardır.

Trafik Etüdü: Karakteristikleri belirlenen trafiğe cevap veren tesislerin yapımı için trafik miktarının ölçütüdür.

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

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

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

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

Trafik Uyarımlı 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.

Ünite: Belirli bir renk göstergesi olan, içindeki ışık kaynağı mercek ve reflektör kullanılarak etkinleştirilmiş olan tek bir fenerdir.

Ünite Grubu: Sürekli olarak aynı ışıklı sinyalleri veren ünitelerdir.

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

Yaya Geçidi: Taşıt yolunda, yayaların güvenli geçişlerini sağlamak üzere, trafik işaretleri ile belirlenmiş alandır.

Yaya Kaldırımı: Karayolunun, taşıt yolu kenarı ile gerçek ve tüzel kişilere ait mülkler arasında kalan ve yalnız yayaların kullanımına ayrılmış olan kısmıdır.

Yaya Sinyali: Gereğine göre kırmızı veya yeşil şekilli ışık ve/veya sesli lambalar grubudur.

Yaya Uyarmalı Sinyal Düzeni: Sinyalize edilmiş alandaki ışıklı sinyallerin hepsinin veya bazılarının yayaların uyarısına göre ayarlanmasıdır.

Yerel Erişme Yolu (Sokak): Bölüm içi dağıtıcıları veya bir üst kademe yolu yapı/konut girişlerine bağlayan yollardır.

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

Yeşil Flaş: Özellikle hız yolları üzerinde veya ana arterlerde taşıtları, yaya geçitlerinde ise yayaları, yeşil ışıklı sinyal süresinin sona ermek üzere olduğunu uyarmak için kullanılan sinyaldir.

Yeşil Işık: Yayalara ve taşıtlara geçebileceklerini gösteren sinyaldir.

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

Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT): Bir yol kesiminden bir yılda geçen toplam taşıt sayısının 365'e bölümünden elde edilen sayıdır.

1.2. Çalışmanın Tanımı

Çalışma, Ankara kent merkezinde bulunan 10 sinyalize kavşakta, hafta içi (pazartesi hariç) normal bir işgününde, sabah ve akşam pik saatlerinde (her kavşak için sabah ve akşam piklerinde ortalama 10'ar ölçüm şeklinde) yapılan toplam 192 ölçüm ve trafik sayımlarını veri olarak kullanan ve sinyalizasyon hesabına esas olan Periyot Süresinin Ankara örneğinde modellenmesini kapsamaktadır.

Çalışmada aşağıdaki kavşaklarda ölçümler ve trafik sayımları yapılmıştır:

1. Akdeniz Caddesi-Mareşal Fevzi Çakmak Caddesi Kavşağı
2. DSI-DMO-KKK Kavşağı
3. Genel Kurmay Kavşağı
4. Kurtuluş Kavşağı
5. Eskişehir Yolu-İnönü Bulvarı Kavşağı
6. Konya Yolu-Bahriye Üçok Caddesi Kavşağı
7. Osmanlı Kavşağı
8. Ulus Kavşağı
9. Tandoğan Kavşağı
10. Beşevler Kavşağı

Yapılan ölçümler ve trafik sayımları, kavşak yaklaşım kolundaki tek şerit için yapılmış ve sonuçlar Microsoft Excel programına veri olarak girilmiştir. Bu veriler, SPSS 7.5 programında regresyon analizine tabi tutularak periyot süresi modeli oluşturulmuştur.

1.3. Çalışmanın Amacı

Işıklı trafik işaretleri (sinyalizasyon) ile kontrol edilen kavşaklarda; periyot süresi ve kavşaktaki akımlara verilecek yeşil ışık süreleri, kavşağa gelen trafik yüküne, taşıt kompozisyonuna, kavşağın geometrik karakteristiklerine bağlı olarak ve sürücülerin trafik içindeki davranışları ile de ilişkili olarak belirlenmelidir.

Literatürde kullanılan sinyalizasyon hesap yöntemleri ampirik yaklaşımlar kullanmakta ve modelin üretildiği ülkenin trafik koşullarına göre (trafik yükü, kompozisyonu, geometrik karakteristikleri ve sürücü profili) şekillenmektedir.

Kentiçi trafik kontrolünde sinyalizasyon kavşaklardaki trafiğin kontrol edilmesinin tüm kentin trafik kontrolünde önemli bir rolü vardır. Sinyalizasyon kavşaklarda trafiğin kontrol edilmesi de bu kavşaklardaki sinyalizasyon parametrelerine bağlıdır ve iyi bir trafik kontrolü için bu parametrelerin doğru olarak belirlenmesi gereklidir. Bu parametrelerden kavşağa en uygun periyot süresi ve yeşil sürelerin belirlenmesinin; zaman ve yakıttan tasarruf sağlanması, bekleme ve gecikmelerin azalması ve olumsuz çevresel etkilerin minimuma indirilmesi açılarından önemi büyüktür.

Bu tez çalışmasının amacı; Ankara'daki sinyalizasyon kavşakları için (yerel trafik koşulları ve sürücülerin kavşaklardaki davranışlarını dikkate alan) en uygun periyot süresi ve yeşil süreleri tayin edebilecek matematiksel bir model geliştirmektir.

1.4. Metodoloji

Çalışmada izlenen metod aşağıdaki bölümleri içermektedir:

1. Kavşaklarda portatif ses kayıt cihazı ile ölçüm yapılması,
2. Kavşaklarda 5 dakikalık trafik sayımlarının yapılması,
3. Yapılan ölçümler ve sayımların Microsoft Excel ortamına aktarılması,
4. Aktarılan verilerin SPSS 7.5 programı kullanılarak regresyon analizine tabi tutulması.

Çizelge 1.1. Örnek ölçüm formu

Form No: 1		
Yer: Akdeniz cad.-M.Fevzi Çakmak cad. (Anıttepe spor sahası önü) / Ankara		
Yön: Beşevler-Anıttepe (2 nolu nokta)		
Tarih: 24.05.2001 Saat: 17:25		
Hava Durumu: Açık		
M= 625 OB/saat/şerit (saatlik trafik yükü)		
Deney No	Geçiş Anı (Saniye)	Geçen Taşıt A: Otomobil B: Otobüs C: Minibüs
1	2	A
	4	A
	6	A
	8	A
	10	A
	12	A
	14	A
	18	C
	21	A

5 dakikalık trafik sayımlarının yapılması: Kavşakta saatlik trafik yükünü tespit etmek üzere, beşer dakikalık aralıklarda geçen taşıtlar cinsleri belirtilerek sayılmıştır. Sayımlar tek şerit için yapılmıştır.

Ölçümler ve sayımların Excel ortamına aktarılması: Kavşaklarda sayım yapılan şeritten geçen taşıt cinsleri, geçiş süreleri, şeritlerin saatlik trafik yükleri ve şeritlerin boşalma sürelerini kapsayan veriler Windows-Excel ortamına aktarılmıştır.

SPSS 7.5 programı ile regresyon analizi: Excel ortamında kaydedilen veriler SPSS 7.5 programına aktarılmış ve regresyon analizi (şeridin boşalma süresi bağımlı değişken, şeridin saatlik trafik yükü ve boşalma süresinde kavşaktan geçen otomobil eşdeğer birimine çevrilmiş taşıt sayıları bağımsız değişken) uygulanarak periyot süresi ve yeşil sürelerini tayin eden matematiksel bir model geliştirilmiştir.

1.5. Literatür Araştırması

Literatürde yer sinyalizasyon hesap yöntemlerini üç temel grupta incelemek mümkündür:

1. Grup: Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan Highway Capacity Manual yöntemidir. Bu yöntemde kavşağın geometrik ölçüleri esas alınmakta ve muhtelif genişliklerdeki şeritlerin muhtelif şartlar altında geçireceği trafik miktarları gözönüne alınarak, gelen trafik yüküne göre gerekli yeşil zaman ve periyot müddeti hesaplanmaktadır (20). Yöntemde sunulan metodoloji, kavşak yaklaşım kollarının kapasitesi, kavşağın bir bütün olarak hizmet düzeyinin belirlenmesi ve etkili yeşil süreler ile kayıp zamanın hesaplanması esasına dayanır.

2. Grup: Hareket egeçen araçlardan 1., 2., 3., 4., n. nin kavşağa kaç saniyede girdiği ve burayı kaç saniyede boşalttığı ettiği dikkate alınır. Bunlardan ilk hareket eden araçlarda gecikme fazla olup, bu gecikme takip eden araçlarda gitgide azalmakta ve belirli bir adetten sonra geçiş aralıkları sabit kalmaktadır. Bu metot "Zaman Aralıkları" metodu olarak adlandırılır.

Zaman aralıkları metodu Amerika'da Greenshields (1944) etütlerine dayanır. Bu etütlerde esas alınan araba büyük Amerikan arabaları olup, ortalama uzunlukları 7 metredir. Dolayısıyla hesaplarda yeşil süreler uzun çıkmaktadır (20).

2. grupta sayılabilecek diğer metodlardan biri de kavşakta harekete geçecek ilk araca sabit bir gecikme düşünüp, ayrıca takip eden her araç için aynı olan zaman aralıklarını hesaba katan Edwin Angel ve Korte'nin formülleri sayılabilir (20).

3. Grup: Bu grup, 1. ve 2. grupta belirtilen hesap prensiplerinin bir kombinesi denilebilir. Bu grupta yer alan yöntemler, kavşağa gelen araçların minimum bekleme sürelerini esas almaktadır. Bu grupta yer alan metodun kurucusu olarak Webster/Cobbe (Webster 1958, Webster & Cobbe 1966) tanınmaktadır. Hesap esası, tamamen gelişigüzel bir sıra takip ederek kavşağa gelen araçlar ve trafik şeritlerinin

trafikle doyma oranı dikkate alınarak optimum periyot müddeti ve yeşil zaman hesaplanmaktadır (20).

İngiliz yöntemi olarak da bilinen Webster metodundan sonraki yıllarda, literatürde duyurusu yapılan ikinci bir analitik model de Avustralya modeli olmuştur. Avustralya yönteminde, fazlara tahsis edilecek yeşil ışık sürelerinin hesaplanması için, fazlardaki maksimum (kritik) akımlara ayrılacak yeşil ışık sürelerinin hesaplanması esas alınır. Periyot süresi ve faz sürelerinin hesaplanmasında Avustralya yöntemi, Webster modeline benzer özellik göstermektedir.

Türkiye’de trafik kontrol sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalar henüz başlangıç aşamasında olmakla birlikte, kavşak kontrolü ve sinyalizasyon hesaplamalarına ilişkin yapılan çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Özdirim, M., 1971 yılında, *Türkiye’de Trafik Sinyalizasyonunun Formüle Edilmesi* başlıklı doktora çalışmasında, “Özdirim Yöntemi” adı ile bir periyot süresi modeli geliştirmiştir. Bu modeli geliştirirken Ankara ve İstanbul’da yapılan kavşak ve trafik sayımlarından faydalanılmış ve kavşağın periyot süresini belirleyen bir sinyal abağı tasarlanmıştır.

Zeren, N., 1998 yılında, *Sinyalize Kavşakların Poisson Dağılımı ile Verimliliğin Belirlenmesi* başlıklı çalışmasında, Poisson dağılımı ve zaman aralıkları metodunu kullanarak, sinyalize kavşaklarda mevcut periyot sürelerinde geçen araç sayısının % gelme ihtimalini hesaplamıştır.

Ağırdır, L., tarafından 1998 yılında yapılmış olan *KuyrukTeorisi Analizi ve Sinyalize Kavşaklarda Yeni Bir Model* başlıklı çalışmada, kuyruk teorisinden faydalanılarak sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin belirlenmesinde kullanılabilecek bir model geliştirilmiştir.

Akbaş, A., 2001 yılında, *Kentiçi Trafik Sinyal Sisteminin Optimal Kontrolü (Trafik Optimizasyonu)* başlıklı çalışmada, kritik kavşakların kontrolü için kullanılabilecek tam trafik uyamalı bir kontrol modeli geliştirmiştir.

Şazi, M.Y., 2001 yılında, *Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği ile Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli* başlıklı çalışmada, izole olarak düzenlenmiş sinyalize kavşakların denetiminde kullanılabilecek bir denetleyici modeli geliştirilmiştir.

Akdoğan, E., tarafından 2001 yılında yapılan *Mikrodenetleyici Kullanarak Kavşak Kontrol Cihazı Tasarımı ve Kontrol Eğitiminde Kullanılması* başlıklı çalışmada, sinyalize kavşakların kontrolünde kullanılabilecek bir kavşak kontrol cihazı tasarlanmıştır.

Sinyal kontrol sistemlerindeki gelişmelerle beraber, özellikle trafik sıkışıklığının artması, gün içerisinde kavşaktaki trafik akımlarına ilişkin saatlik değişimlerin tahmin edilen değişimlere göre farklılık göstermesi, gelişen yeni şartlara bağlı olarak yeni tekniklerin geliştirilmesini gerekli kılmış ve bu yönde pek çok akademik çalışma yapılmıştır (You-Sik Hong 1999, Hoyer and Jumar 1994, Jamshidi, Kelsey and Bisset 1993, Bonneson 1992, TRB 1978, Pappis and Mamdani 1977) (1, 21).

Sinyalizasyon ile trafik kontrolü konusunda araştırma-geliştirme çalışmaları yapmış olan ülkelerin hemen hepsi, kendileri ile özdeşleşmiş sinyal kontrol stratejileri geliştirmişlerdir. Bunların arasında; DIAMONT (ABD), SCOOT (Hunt, Robertson, Bretherton and Royle, 1982, İngiltere), SCATS (Lowrie, 1982, Avustralya), PROLYN (Henry and Farges, 1989, Fransa), STREAM (Miyata and Usami, 1996, Japonya), MOTION (Bielefeldt and Busch, 1994, Almanya) ve UTOPIA/SPOT (Di Taranto and Mauro, 1989, İtalya) sayılabilir. Geliştirilen bu sistemler, çoklu planların (*multi-plan control*) trafik uyarımına bağlı olarak uygulanmasına ilişkin sabit zamanlı sinyal kontrol teknikleri ile trafik uyarmalı sinyal kontrol tekniklerine göre geliştirilmiş sistemlerdir (1, 21).

1980’li yıllardan itibaren trafiğin analizinde, gelişmiş bilgisayar teknolojilerini kullanan pek çok yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımlarda en geniş yazılım grubu trafik operasyonları ile ilgilidir. Şu an pek çok ülkede yaygın olarak kullanılmakta olan yazılımlar ve bu yazılımları oluşturan kişi ve kuruluşlar şunlardır (21, 22):

- AAP8, HCS8, McT7F8, SOAP8, ve WHICH8 (University of Florida)
- CORSIM8 ve TSIS8 (ITT Industries, Systems Division)
- FREQ8 (University of California, Berkeley)
- HCM/CINEMA8 (KLD Associates, Inc.)
- INTEGRATION8 (Michael Van Aerde)
- NOSTOP ve TEAPAC8 (Strong Concepts)
- PASSER7 (Texas Transportation Institute)
- PROGO8 ve SNAG8 (COURAGE & WALLACE)
- SIDRA8 (ARRB Research, Ltd)
- Texas8 (University of Texas at Austin)
- SYNCHRO8 (TrafficWare)
- TRANSYT-7F8 (University of Florida)
- TSDWIN8 (Fortran Traffic Systems Limited)
- TS/PP-Draft8 (Greg Bullock)

Ülkemizde sinyalizasyon hesapları yapılırken aşağıdaki faktörlerin etkilerini düşünmek gereklidir.

1. Taşıt kompozisyonu (ağır vasıta, dolmuş/minibüs, servis araçları)
2. Kavşak geometrisi
3. Trafik kurallarına riayet

Taşıt kompozisyonu: Kentiçi trafik sisteminde ağır vasıtaların (otobüs, kamyon), özellikle ülkemize özgü olan dolmuş taşımacılığı ve servis taşımacılıklarının kentiçi trafik düzenine, kapasiteyi ve kavşaklardaki trafik kontrolüne olan etkileri dikkate alınmalıdır.

Kavşak Geometrisi: Eksik veya hatalı kavşak geometrileri kavşak kontrolünü olumsuz etkiler ve kavşağın kapasitesi düşer.

Trafik kurallarına riayet: Sürücü ve yayaların trafik kurallarına uymamaları ve bunu alışkanlık haline getirmeleri, kavşaklarda bekleyen ilk araç sürücüsünün DUR çizgisini geçerek kavşak içine girmesi ve trafik ışıklarını görememesi vb. durumlar bizim ülkemize özgü davranışlardır.

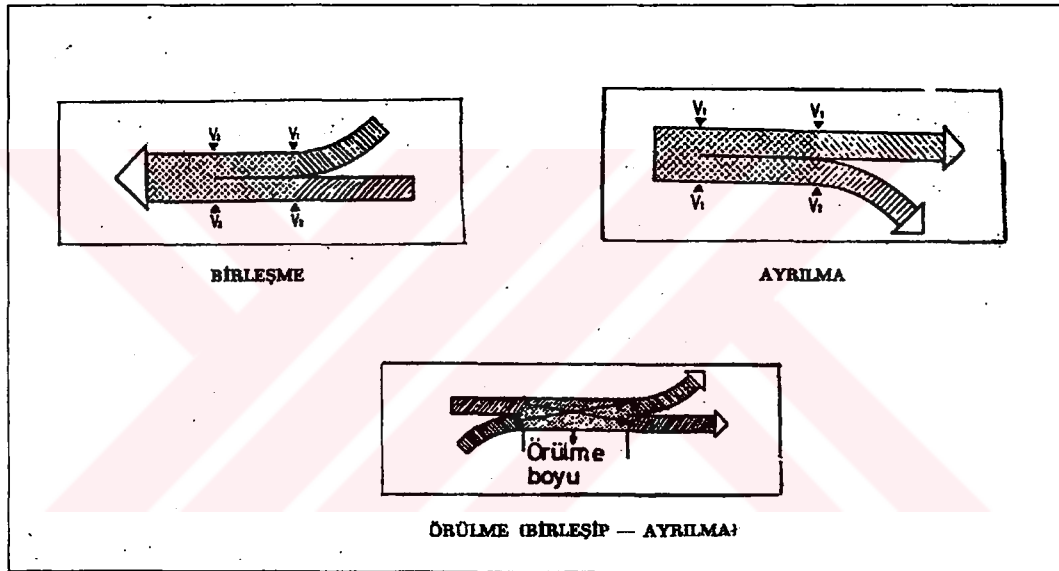
Yukarıda bahsedilen bu faktörler literatürdeki hesap yöntemlerinde dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle bu faktörleri dikkate alan, Türkiye koşullarına uygun bir sinyalizasyon araştırmasının gerekli olduğu düşünülmüş ve bu çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir.

Yapılan bu çalışmada “Özdirim” yöntemi ile aynı metot izlenmiştir. Ancak Özdirim yöntemindeki sayımlarda, şerit başına gelen trafik yükleri bugünkü yüklere kıyasla oldukça azdır (kişi başına düşen araç sayısının az olması ve o günkü ekonomik durum nedenleriyle). Bu yöntemin oluşturulduğu yıllarda Türkiye’de kullanılan araçlar eski ve performansları düşük araçlardır. Günümüzde ise kişi başına düşen araç sayısı artmış ve performansı yüksek yeni teknolojiye sahip araçlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, bu yeni koşullar ve yukarıda bahsedilen faktörler dikkate alınarak sinyalizasyon parametrelerinden periyot süresi ve yeşil süreleri tayin eden matematiksel bir model geliştirilmiştir.

2. KAVŞAK TİPOLOJİSİ VE TRAFİK KONTROLÜ

2.1. Kavşak Tipleri

Kavşaklar, birden fazla yönden gelen trafik akımlarının kesiştiği, ayrıldığı, birleştiği ve birleşip ayrıldığı (örüldüğü) yerlerdir. Bu kesişme aynı düzlemde olursa bu tip kavşaklara “Eşdüzey Kavşak” denir. Kesişme farklı düzlemlerde ise bu tip kavşaklar da “Üst/Alt Geçitli Kavşak” ya da “Katlı/Köprülü Kavşak” olarak isimlendirilir.



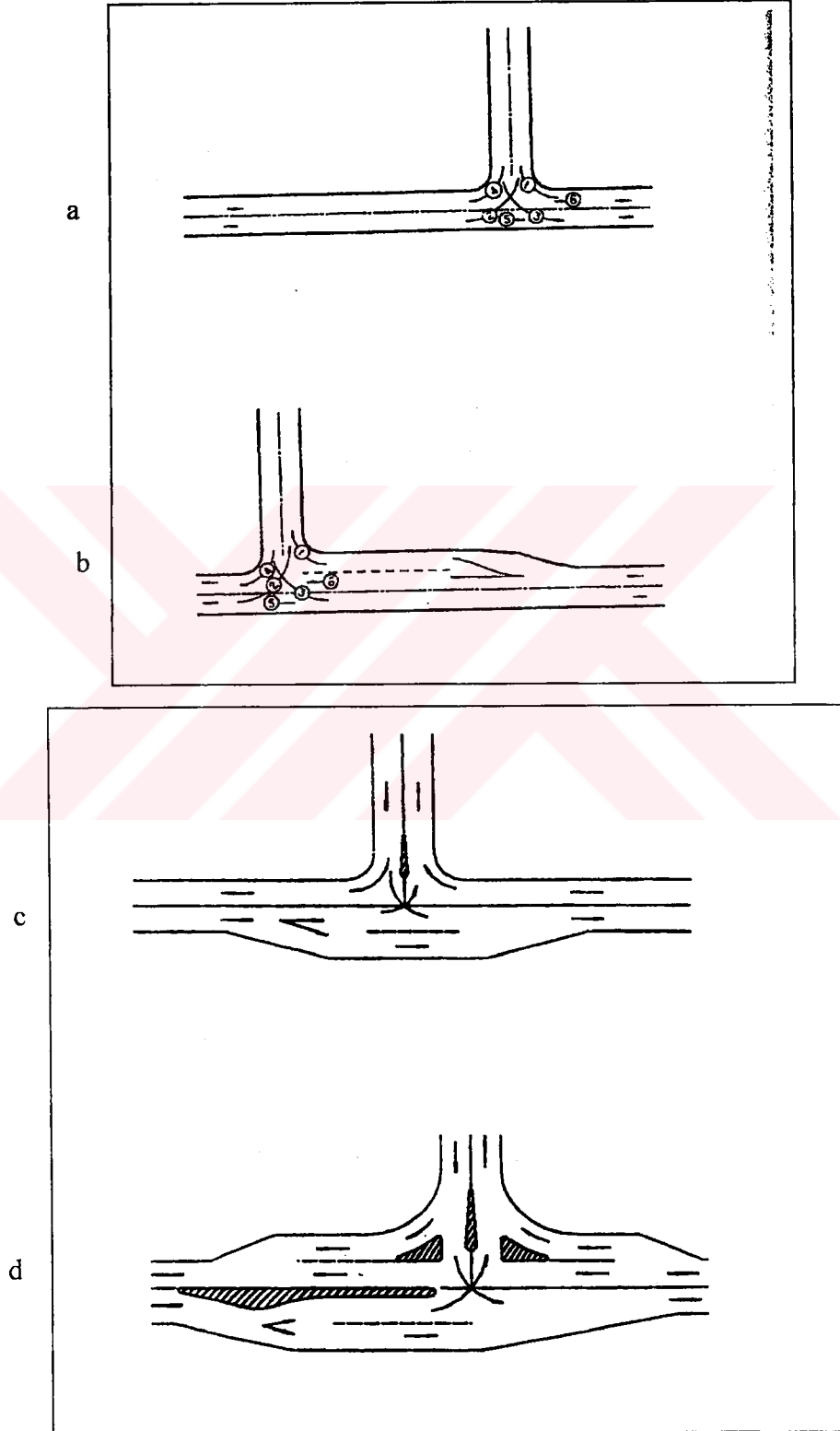
Şekil 2.1. Kavşaklarda birleşme, ayrılma, örülme (23)

2.1.1. Eşdüzey kavşak tipleri

Eşdüzey kavşak tipleri;

- Üç kollu kavşak (T kavşak)
- Dört kollu kavşak
- Çok kollu kavşak
- Örülmeli kavşak (Rotari)

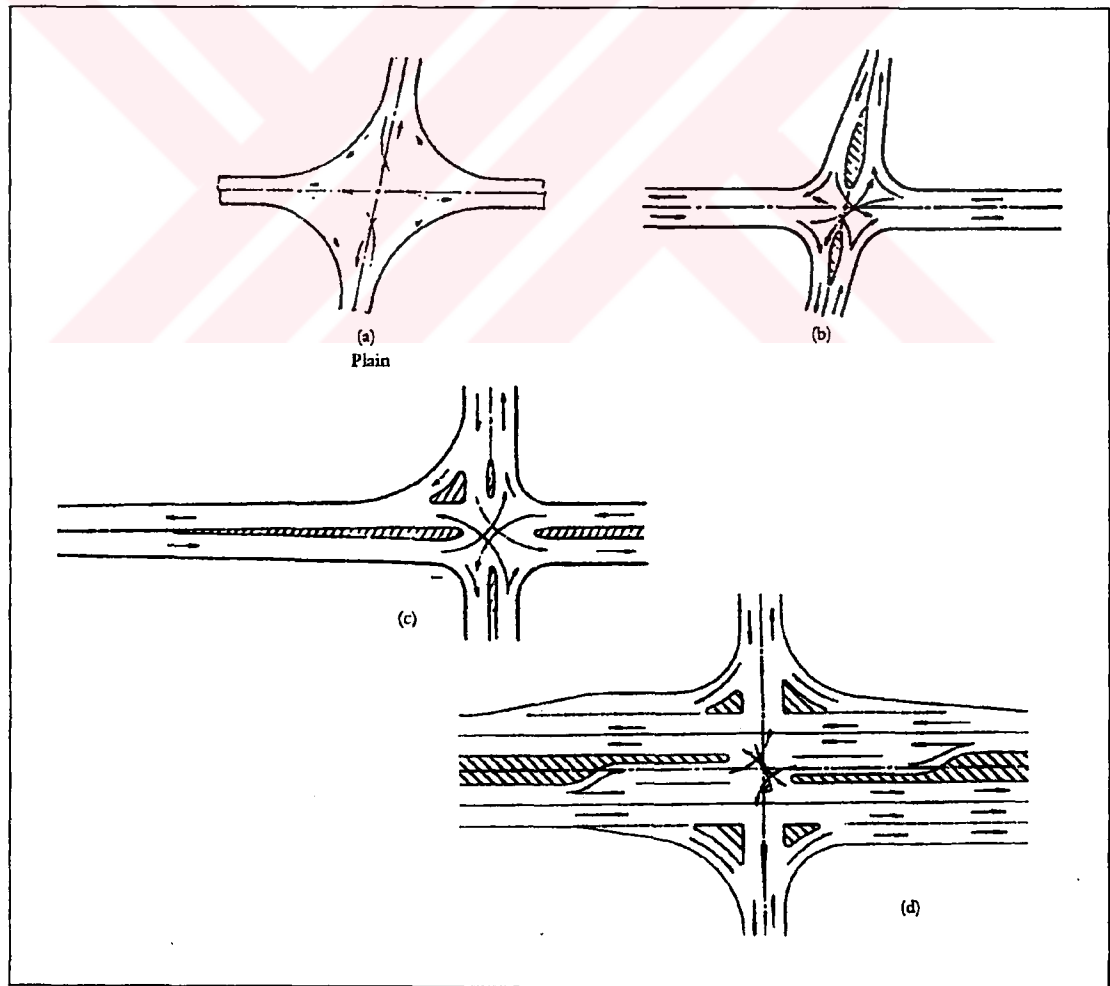
Üç kollü kavşak:



Şekil 2.2. Üç kollü kavşak tipleri (24)

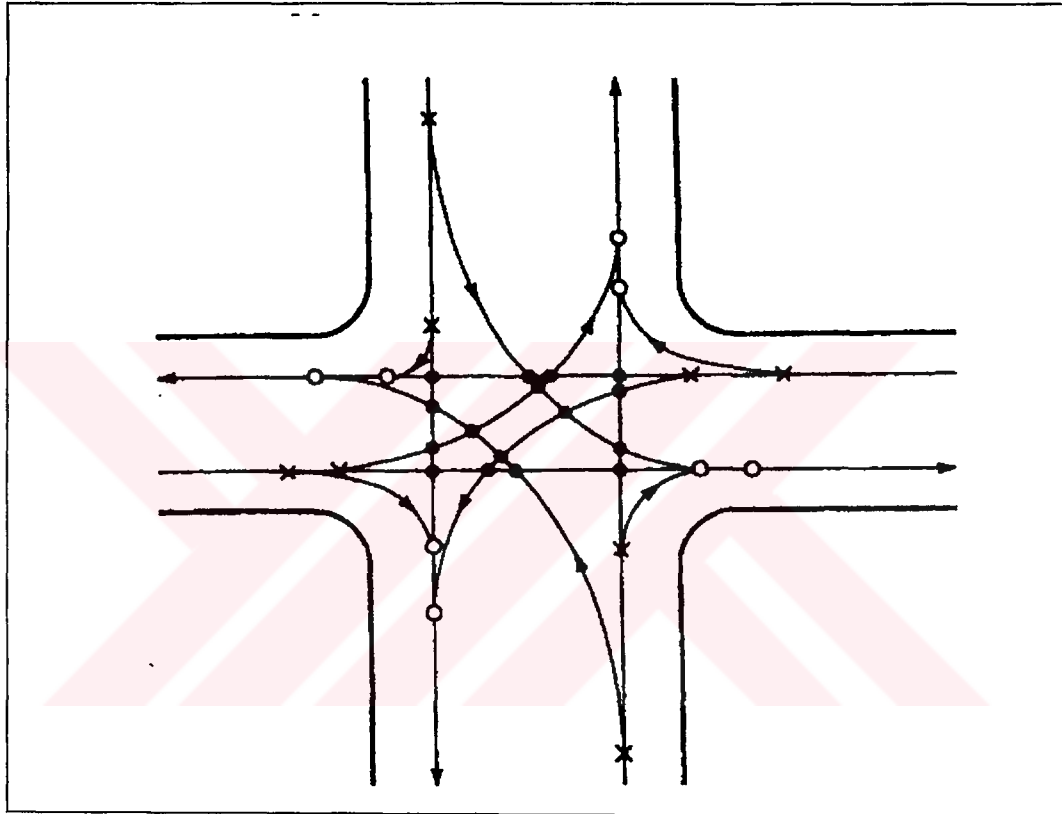
Trafik yükünün fazla olmadığı 2 yönlü yerel bir karayolunun tali yolla kesişmesiyle oluşturduğu basit kavşak tipi Şekil 2.2.a'da görülmektedir. Şekil 2.2.b'de ise hızın daha yüksek, anayoldan tali yola dönüş isteklerinin daha fazla olduğu üç kollu kavşak tipi görülmektedir. Bu kavşakta dönüş için ek bir şerit yapılmıştır. Tali yoldan ana yola dönüşler (sola dönüşlerin) belirli bir seviyeye ulaştığında ise Şekil 2.2.c'deki tipte bir kavşağın dizayn edilmesi uygun olur. Bu şekilde dizayn edilen kavşakta tali yoldan anayola girmek isteyen taşıtlar için yeterli alan ve manevra olanağı sağlanmış olacaktır. Şekil 2.2.d'de ise dönüşler için kanalize edilmiş bir T kavşak görülmektedir. Bu tip bir kavşak sinyalize olarak da çalıştırılabilir.

Dört kollu kavşak:



Şekil 2.3. Dört kollu kavşak tipleri (24)

Şekil 2.3.a'da, trafik yükünün ve dönüş isteklerinin fazla olmadığı dört kollü basit kavşak tipi görülmektedir. Dönüş istekleri arttığında ise Şekil 2.3.b'deki gibi dört kolu bir kavşak tipi uygulanabilir. Hızın ve dönüş isteklerinin belirli bir seviyeye ulaştığı dört kollü kesişmelerde ise Şekil 2.3.c ve d'deki tipte kavşaklar uygulanabilir.

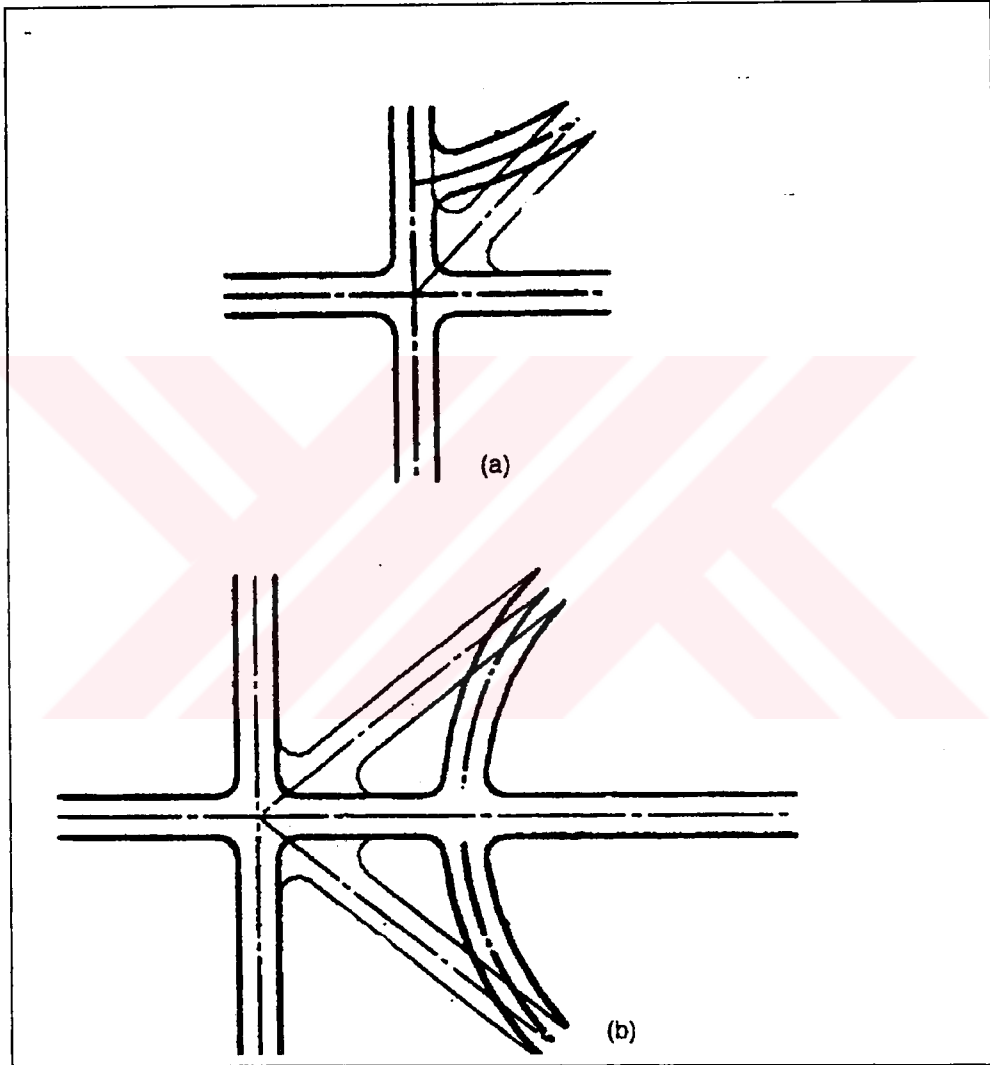


Şekil 2.4. Dört kollü bir kavşakta ayrılma, birleşme, örülme noktaları (24)
(potansiyel çatışma diyagramı)

Şekil 2.4'de sinyalizasyon olmayan dört kollü bir kavşakta, akımların ayrıldığı, birleştiği ve örüldüğü 32 nokta görülmektedir. Bu noktaların sayısı kavşak kollarına, kavşaktaki dönüş hareketlerine ve kavşakta kullanılan trafik kontrol sistemine bağlıdır. Bir kavşakta trafik kontrol sistemi dizayn edilirken en öncelikli amaç bu çatışma noktalarının azaltılması olmalıdır.

Çok kollu kavşak:

Çok kollu kavşaklarda, beş ve beşten fazla kavşak kolu mevcuttur. Şekil 2.5.'de çok kollu kavşak tipleri görülmektedir.

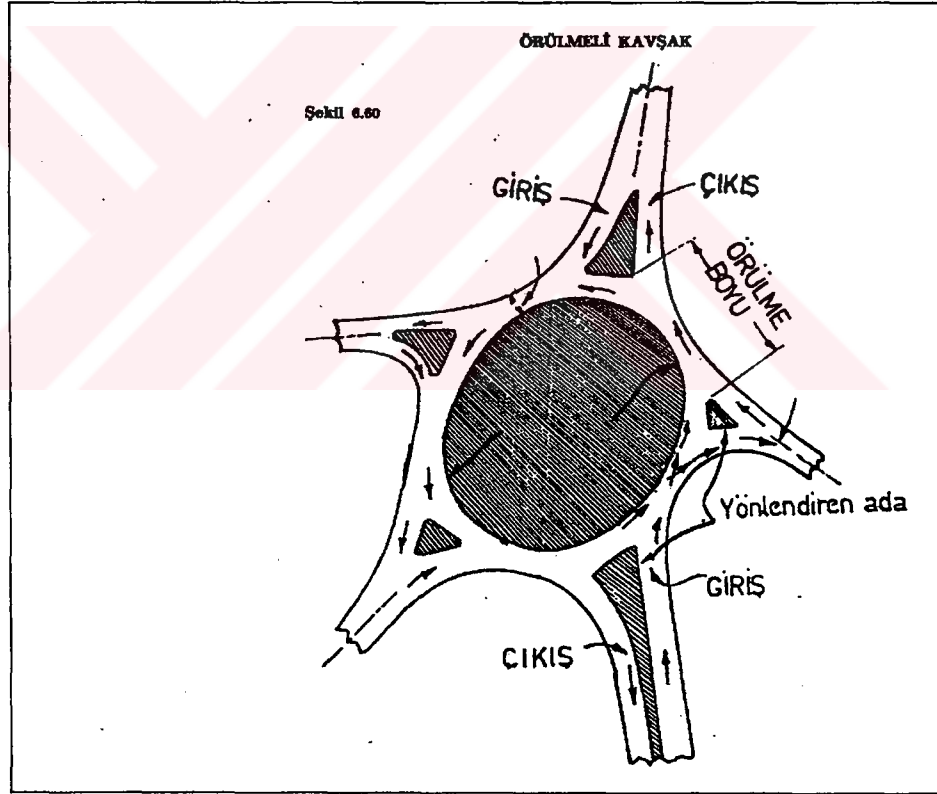


Şekil 2.5. Çok kollu kavşak tipleri (24)

Kavşak kollarının beşten fazla olduğu kavşaklarda, çatışan akımların sayısı çok fazla olacağından, bu sayıyı azaltmak için, kavşaktaki kollardan biri yada daha fazlasını kavşaktaki ana kesişmeden uzaklaştırmak suretiyle kavşakta yeni bir geometrik düzenleme yapılabilir (Şekil 2.5). Bu tip kavşaklarda fazla olan kollardaki akım, tek yönlü olarak kavşak dışına da yönlendirilebilir.

Örölmeli kavşak/Dönel kavşak (Rotari):

Bu tip kavşakların ortasında dairesel bir ada bulunur. Ada etrafında dönen trafiğin çıkmak isteyen bölümü ile yan yoldan kavşağa girmek isteyen trafik ada etrafında *Örölme Boyu* üzerinde birleşir (37). Bu tip kavşaklar dünyanın pek çok kentinde kullanılmıştır (Paris, Berlin, Londra). Ancak gün geçtikçe artan trafik akımlarına cevap verebilmek için daha uzun örölme boylarına ihtiyaç duyulmuş ve örölme boyları uzadıkça ortadaki adanın da çapı büyümüştür. Kent merkezlerinde arazinin çok değerli olması ve bu tip kavşakların kapasitelerinin çok yüksek olmaması nedenleriyle günümüzde bu tip kavşakların kullanımı çok yaygın değildir (23).

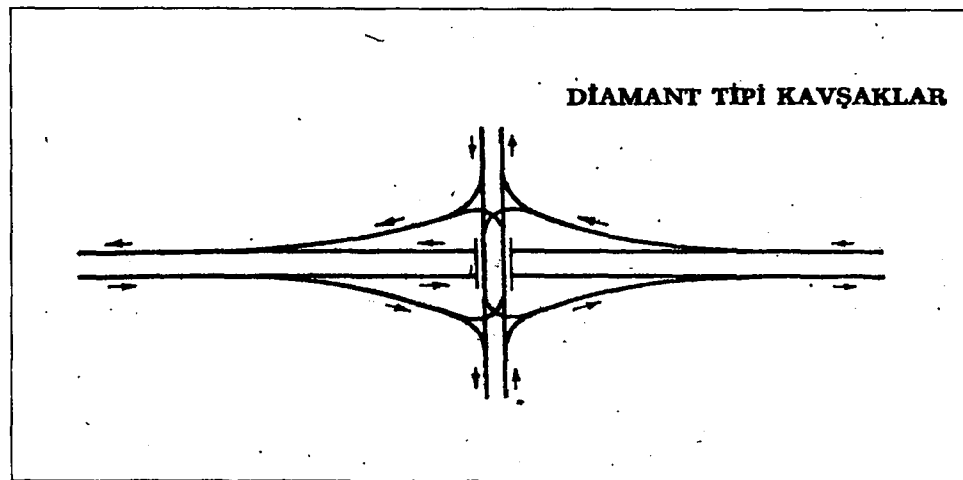
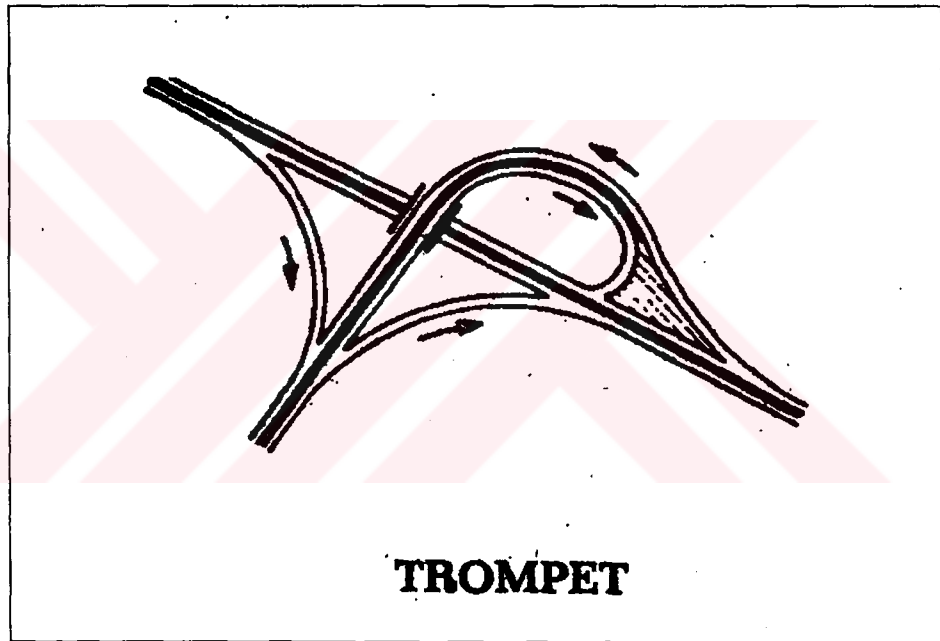


Şekil 2.6. Örölmeli/Dönel kavşak (Rotari) (23)

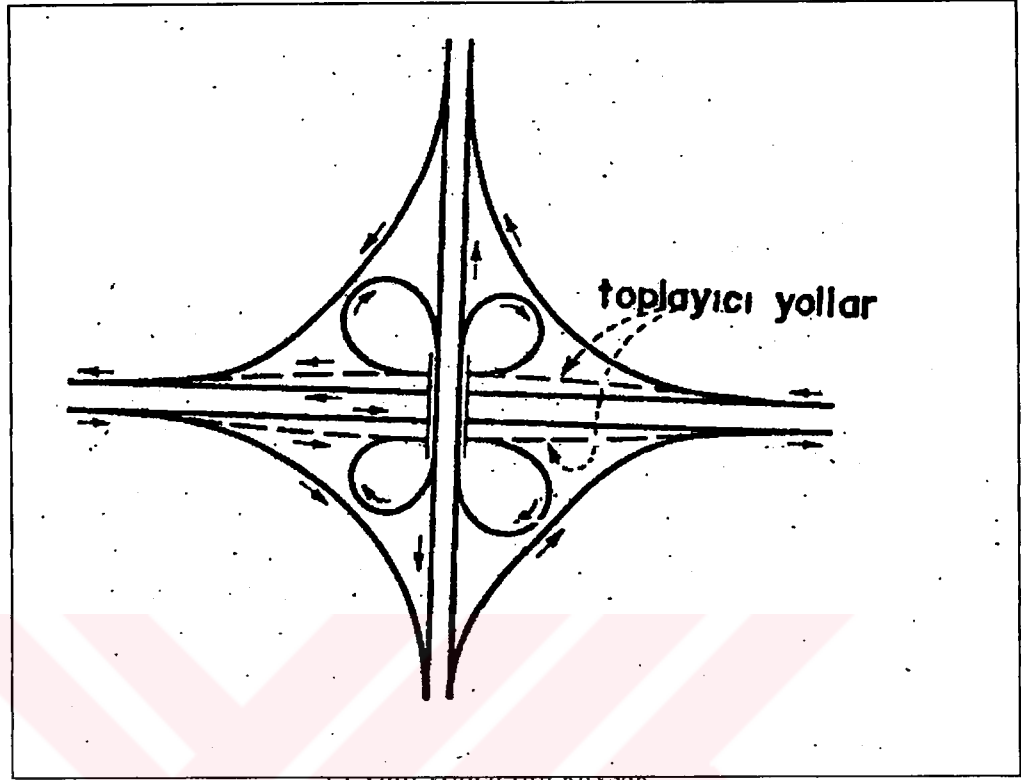
Rotari kavşaklar sinyalize olarak da çalıştırılabilir. Bu tip kavşaklarda ortadaki adanın çapı daha küçüktür (20-40 metre). Sinyalize Rotari kavşaklarda sola dönen taşıtlar ortadaki ada etrafından depolanabilir, U dönüşü her yön için mümkündür, sağa dönen taşıtların yayalara yol vermeleri için yeterli mesafe mevcuttur. Ankara'da bu tip kavşaklar yaygın olarak kullanılmıştır (23).

2.1.2. Katlı (köprülÜ) kavşak

Proje hızı yüksek yolların oluşturduğu kavşaklarda, kesişen akımların aynı düzlemde olmaları tercih edilmez. Bu akımların birbiri ile kesişmeden, farklı düzeyde hareketini sağlayan kavşak tipi Üst/Alt geçitli (köprülÜ) kavşaklardır. Bu tip kavşakla yüksek kapasiteli kavşaklardır. Trafik emniyeti özellikle sola dönen taşıtlar için yüksektir ve zorunlu olmadıkça durmak gerekmez. Ancak bu tip kavşakların maliyeti yüksektir. Şekil 2.7’de bazı üst/alt geçitli kavşak tipleri görölmektedir.



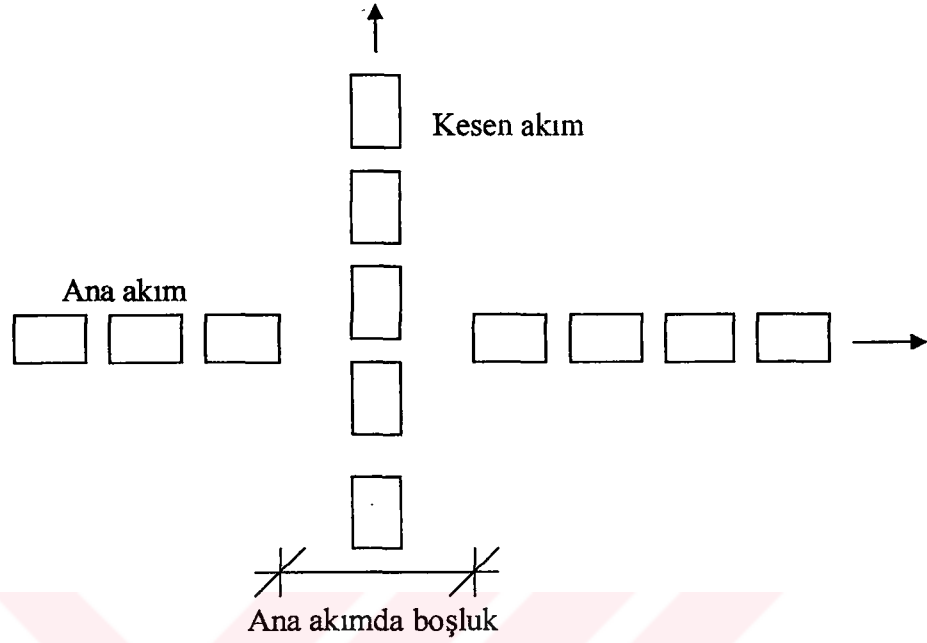
b) Diamant tipi kavşak



Şekil 2.7 a,b,c. Katlı/köprülül kavşak tipleri (23)

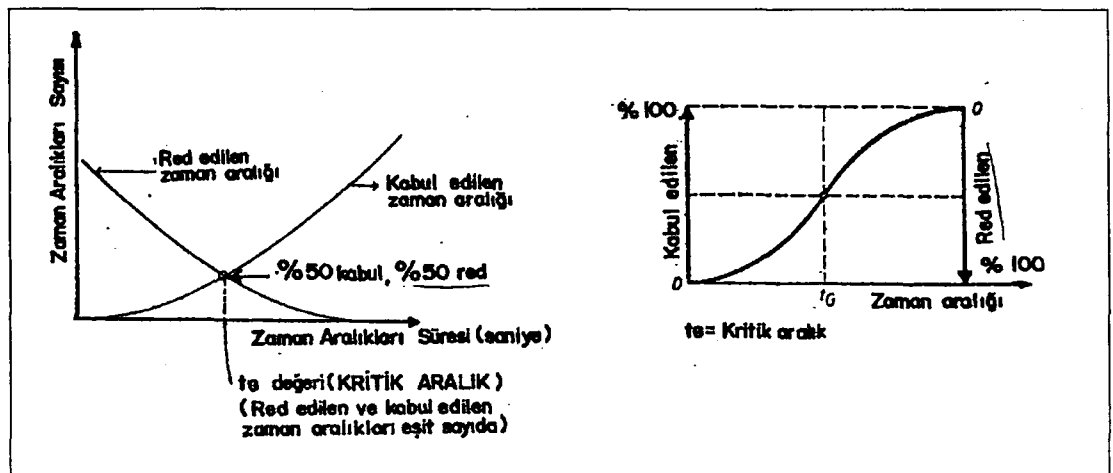
2.2. Kavşak Teorisi

Eşdüzey (hemzemin) bir kavşağı kullanacak sürücüler, kavşağın bir kolunda akan trafiğin içindeki taşıtların aralarında meydana gelen boşluklardan faydalanacaktır. Bu boşluğun, kesen aracın güvenle gitmek istediği yöne geçişini tamamlamasını sağlayacak genişlikte olması gereklidir. Trafik hacminin az olduğu durumlarda, bu boşlukları bulmak mümkündür ancak, trafik hacmi arttıkça bu boşluklar azalacak, kesen akımdaki taşıtlar geçişlerini yapamayacaktır. Bu durumda ana akımdaki taşıtlar arası mesafe yapay olarak açılır. Bu da kavşağın sinyalizasyonu demektir. Sinyalizasyon bir kavşakta ana akım taşıtları kırmızı ışıkta durdurulup, yeterli büyüklükte bir boşluk yaratılarak kesen akımdaki taşıtların geçişleri sağlanır (23).



Şekil 2.8. Kavşakta kesişen iki akım

Kritik Aralık: Ana akımdaki taşıtların arasındaki boşluklardan yararlanan tali akım taşıtlarının %50'sinin bundan yararlanıp karşıya geçtiği, diğer %50'sinin bundan yararlanmayı red ettiği aralığa "Kritik Aralık" denir (23).



Şekil 2.9. Kritik aralık (t_G) (23)

Çizelge 2.1. 2 şeritli yolların kavşağı için kritik zaman aralığı (t_G sn olarak) (23)

Hareket Türü	Grabe'ye göre (sn)	Korte'ye göre (sn)
Sağa dönüş		
Dairesel ada	3,5-4,0	
YOL VER işaretli	3,5-4,5	4,0-5,0
DUR işaretli	5,5-6,5	5,5-6,5
Kesişme		
YOL VER işaretli	4,5-6,0	5,5-6,5
DUR işaretli	7,0-8,0	7,5-8,5
Sola dönüşlü		
YOL VER işaretli	4,0-5,0	6,5-8,0
DUR işaretli	7,0-8,0	7,0-8,5

Bu aralıklar az trafik yükünü gerekli gördüğü için Poisson formülleri kullanılabilir. (θ) zaman aralıklarında (X) sayıda taşıt gelme olasılığı Poisson'a göre Eşitlik 2.1'deki gibi hesaplanır (23).

$$P(x) = \frac{e^{-m} \cdot m^x}{x!} \quad [2.1]$$

$$m = \frac{M \cdot \theta}{3600} \quad [2.2]$$

M = Saatte geçen taşıt miktarı (yolun iki yönlü olması halinde M, her iki yönden gelen akımların toplamıdır) (taşıt/saat)

m = θ saniyede geçen taşıt miktarı (taşıt/ θ sn)

Kesen akım M_n değeri ise Eşitlik 2.3 kullanılarak hesaplanabilir. Bu eşitlik kullanılarak hesaplanan kesen akım değerinden fazlasını akıtmaya çalışmak hatalı olabilir. (23).

$$M_n = \frac{M_H}{e^m - 1} \quad [2.3]$$

$$m = \frac{M_H \cdot t_G}{3600} \quad [2.4]$$

M_H = Ana akım (taşıt/saat) (yolun iki yönlü olması halinde M , her iki yönden gelen akımların toplamıdır)

M_n = Kesen akım (taşıt/saat)

t_G = Kritik zaman aralığı (sn)

EK 1’de kritik aralıkla ilgili iki örnek problem verilmektedir.

2.3. Kavşaklarda Trafik Kontrolü

Kavşak alanı tüm sürücülerin kendileri için uygun olan yolu (güzergahı) seçmek üzere karar vermeleri gereken bir alandır. Dolayısıyla sürücülerin bu alanlarda, düz bir yolda taşıtlarını sürerken gösterdikleri efor ve dikkatten daha fazlasını göstermeleri gereklidir.

Kavşaklarda gecikmeleri, kazaları azaltmak ve kapasiteyi artırmak için uygulanacak trafik kontrol metotları mevcuttur. Bu metotlar trafik akımını düzenleyip yönlendiren ışıklı trafik işaretleri, yatay ve düşey işaretlemeler ile trafik akımlarını kanallize edecek (trafik adası, dönüş cepleri vb.) uygulamalardır. Kullanılacak metot belirlenirken; kavşak tipi, trafik hacmi ve çatışan akımlar göz önünde bulundurulmalı ve metotlar belirli bir hiyerarşik düzen içinde uygulanmalıdır.

Aras (1995)’e göre bu hiyerarşik düzen şu şekilde olmalıdır; (25)

1. Kavşaklarda kaza, ölüm ve yaralanmaların önlenmesi veya en aza indirgenmesi için öncelikle kavşağa bağlanan yollarda geçiş önceliğinin işaretlerle belirlenmesi gerekir. Bu öncelik işaretleri DÜR, YOL VER ve ANAYOL gibi trafik levhalarıdır (Şekil 2.10).

2. İkinci aşamada, kavşağa bağlanan yolların kapasiteleri de göz önünde bulundurularak tali yol kanalize edilir.
3. Tali yol kanalize edilip, tali yola damla adası yerleştirildikten sonra üçüncü aşamada ana yola dönüş cebi eklenir.
4. Dördüncü aşamada, belirli kriterler göz önünde bulundurulmak kaydıyla kavşak tipi seçilir ve sinyalize edilir. Kavşak tipini ve sinyal sürelerini belirlemede kavşağa giren kolların kapasiteleri göz önünde bulundurulur (Çizelge 2.2).
5. Kavşaklarda kaza, ölüm ve yaralanmaların önlenmesi amacıyla yukarıdaki tedbirlerin uygulanmasına rağmen yine aksaklıklar ortaya çıkıyorsa, yani kavşak sistemi mevcut kapasiteyi kaldırmıyorsa bu defa belirli kriterler göz önünde bulundurulmak kaydıyla kavşakta üst/alt geçit uygulaması yapılır.

Murat (1996)'ya göre en yaygın ve etkin trafik kontrol yöntemleri şunlardır (26):

- Durma ve parketmenin düzenlenmesi
- Tek yön sistemlerinin kurulması
- Dönüş hareketlerinin yasaklanması
- Trafik işaret levhalarının kullanımı
- Sinyalizasyon

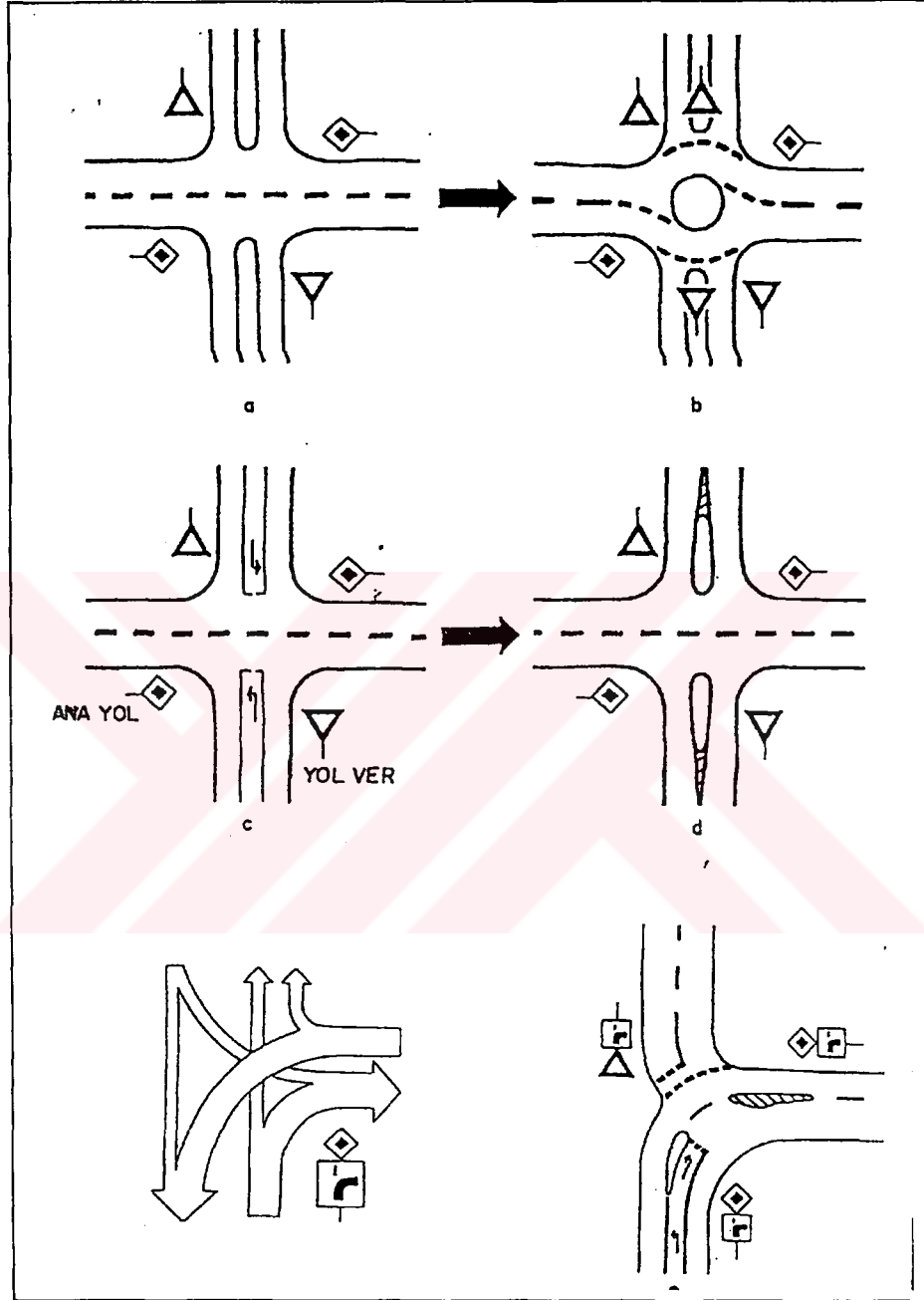
Şekil 2.11'de basit hemzemin kavşakların seçim kriterleri görülmektedir (16). Bu şekilde kullanılan trafik değerleri Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) değerleridir. YOGT, kent dışındaki yollarda; Eşitlik 2.5'deki gibi,

$$YOGT = \frac{M_{maksimum}}{0,15} \quad [2.5]$$

kent içi yollarda ise; Eşitlik 4.6'daki gibi hesaplanır.

$$YOGT = \frac{M_{maksimum}}{0,10} \quad [2.6]$$

Burada; $M_{maksimum}$ saatlik maksimum trafik hacmidir.



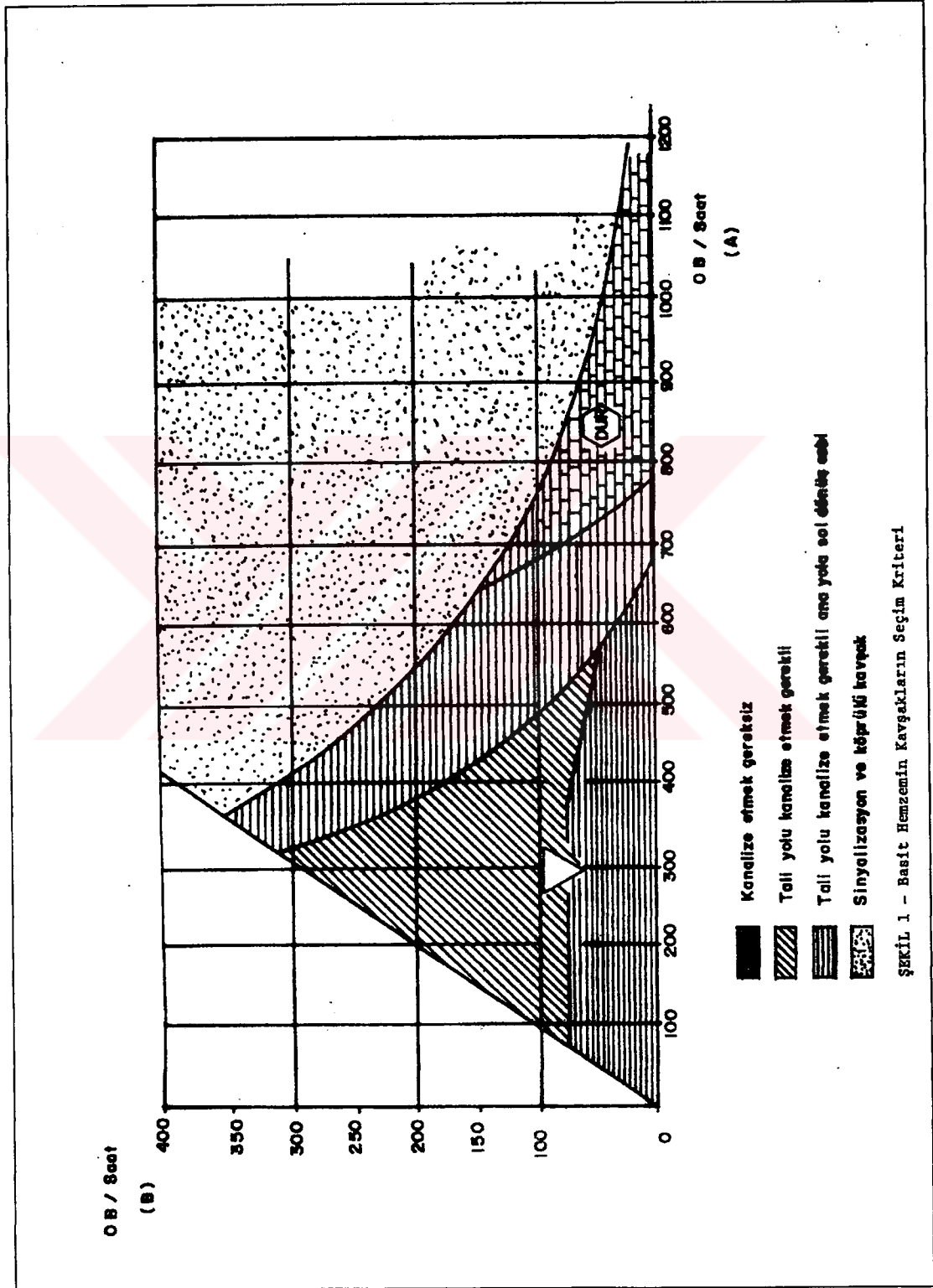
Şekil 2.10. Geçiş önceliği işaretlerinin kavşaklara yerleştirilişi (25)

Çizelge 2.2. Saatlik proje trafiğine göre kavşak kapasiteleri (23, 25)

Kavşak Çeşitleri	Kanalize edilmemiş		Kanalize edilmiş	
	Işıksız	Işıklı	Işıksız	Işıklı
	OB/saat	OB/saat	OB/saat	OB/saat
Dikaçılı hemzemin T kavşak	600-1000	1000-1500	1000-1900	1500-2000
Dikaçılı hemzemin dörtlü kavşak	800-1000	1100-1600	1400-2000	1500-2400
2'şer şeritli ve dört girişli dönel kavşak çap=60-80 metre	2000-3000	2000-3200	2000-3000	2000-3200
3'şer şeritli ve dört girişli dönel kavşak çap=100-140 metre	3000-5000	3500-5500	3000-5000	3500-5500
Kanalize edilmiş yarım yonca	-	-	3000-5000	-
Trompet kavşak	-	-	3000-5000	-
Tam yonca	-	-	3000-6000	-

Trafik kontrol gereçleri;

- gereksinimleri gidermelidir,
- dikkat çekici olmalıdır,
- basit ve açık anlamları olmalıdır,
- trafik kontrol gereçlerine yol kullanıcılarının saygı duymaları sağlanmalıdır,
- yol kullanıcılarına intikal ve reaksiyon için yeterli süre sağlamalıdır.



Şekil 2.11. Basit hemzemin kavşakların seçim kriterleri (16)

Amerikan Trafik Kontrol Araçları Kılavuzunda (Manual on Uniform Traffic Control Devices MUTCD), kavşaklarda trafik kontrolünü projelendiren mühendislerin aşağıdaki beş özelliği göz önünde bulundurmaları tavsiye edilmektedir. (24)

Tasarım (Design): Trafik kontrol araçları, yol kullanıcılarının dikkatlerini çekecek büyüklük, renk ve şekilde tasarlanmış olmalıdır.

Yer-Pozisyon (Placement): Trafik kontrol araçları, yol kullanıcılarının görüş alanı içerisinde olmalı ve normal hızda seyreden bir sürücüye yeterli intikal-reaksiyon süresi tanıyacak şekilde konumlandırılmış olmalıdır.

Uygulama (Operation): Trafik kontrol araçları, düzenli ve güvenli bir trafik akımı oluşturmalıdır.

Bakım (Maintenance): Trafik kontrol araçlarının düzenli olarak bakımları yapılmalı ve süreklilikleri sağlanmalıdır.

Bütünlük (Uniformity): Trafik kontrol araçlarını tanımak ve anlamayı kolaylaştırmak için, benzer trafik ve geometrik karakteristikleri olan yerlerde benzer trafik kontrol sistemleri projelendirilmelidir.

2.4. Kavşak Esasları

İyi bir kavşağın;

- Emniyetli olması
- Yüksek kapasiteli olması
- Ekonomik olması gereklidir.

2.4.1. Emniyet

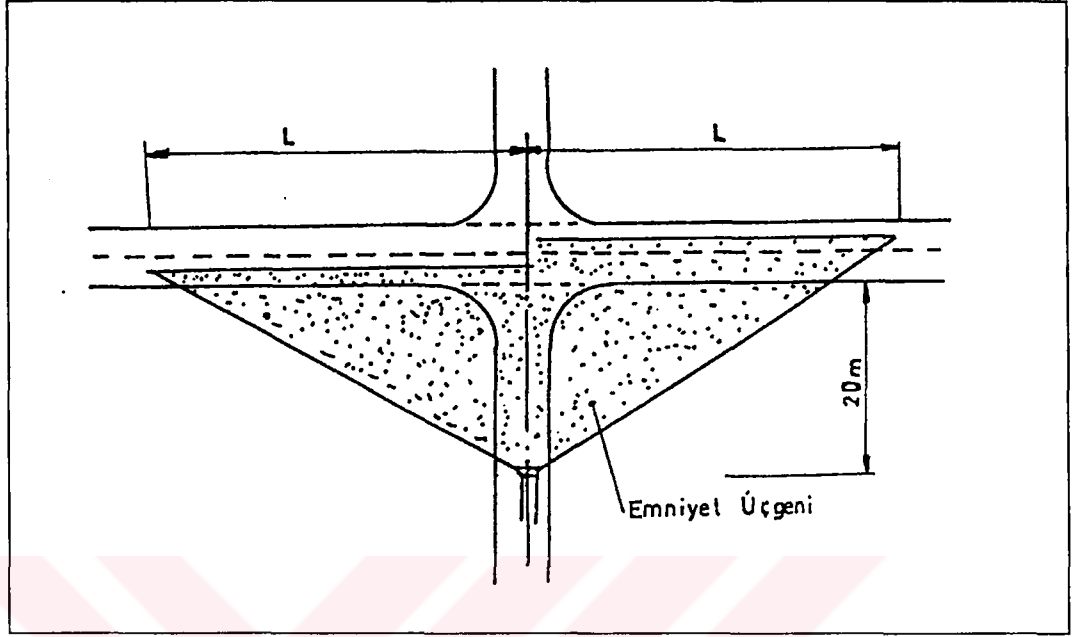
Özdirim (1995)'e göre (23);

“Kavşaktaki hareketlerin emniyet içinde geçmesi ve kaza oluşmaması için;

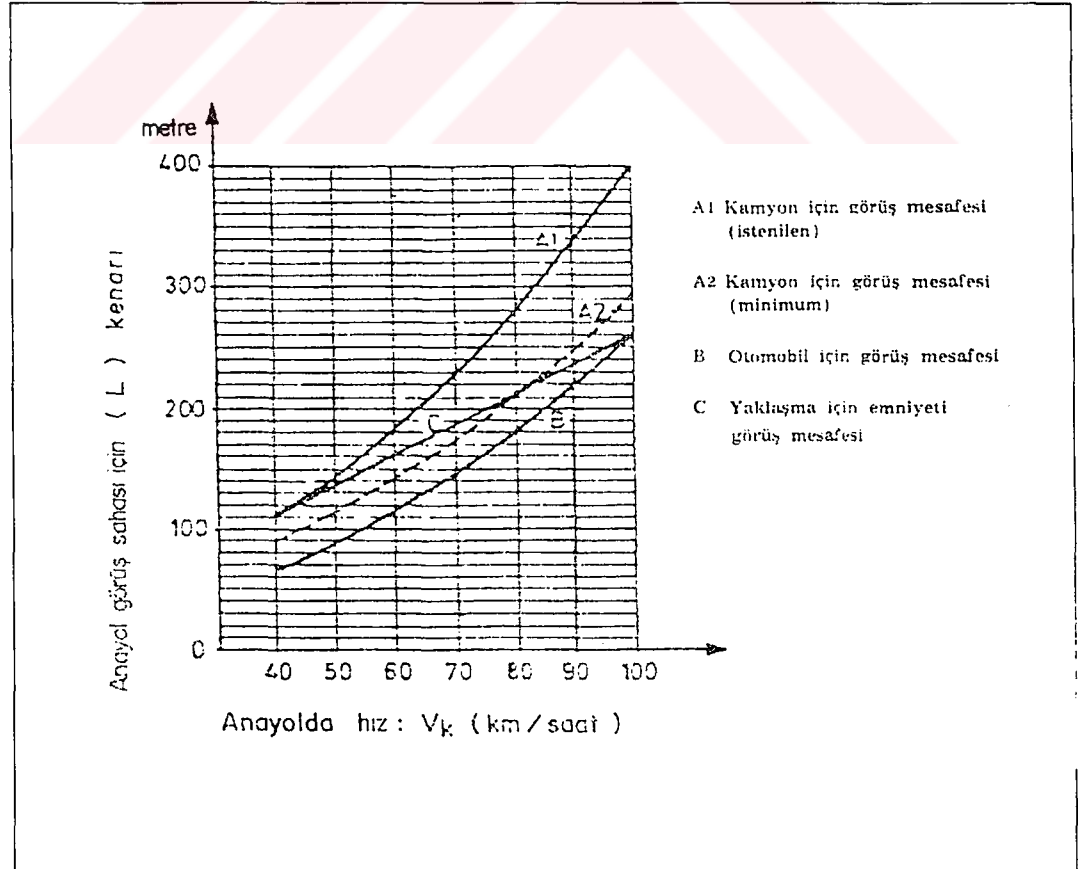
- a) Sağlıklı trafiğin en önemli karakteristiği GÖRMEK ve GÖRÜLMektir. Bu nedenle; kavşak içinde, kaldırımlarda görüşü engelleyen kulübe, levha gibi engeller kaldırılmalıdır. Kavşak iyi şekilde aydınlatılmalı, bordürler ve engeller gece görünmesi için boyanmalıdır.
- b) Kavşakta büyük boşluklar olmamalı ve trafik başıboş hareketlere bırakılmamalıdır. Bir başka deyişle kavşaklar kanalize edilmelidir.
- c) Kavşak basit ve kolay anlaşılır olmalıdır, çünkü; kavşaktaki hareketler kısa sürede olup bitmektedir. Şoförlerin uzun süre düşünmeye vakti olmaz. Özellikle orayı tanımayan yabancılar bile kavşağı bir görüşte anlamalı ve gideceği yöne girebilmelidir. Bu nedenle az sayıda büyük ada, çok sayıda küçük ada tercih edilmelidir.
- d) Kavşak yanıltıcı olmamalıdır.
- e) Kavşak gerekli tüm işaretlere (düşey, yatay ve sinyal) haiz olmalıdır. Trafik, kavşağa girmeden yeterli uzaklıkta gerekli yönler yer işaretleri ve düşey işaretlerle ayrılabilir.
- f) Öncelikler kavşaktaki büyük ve hızlı trafiğe verilmeli ve buna göre işaretlenmelidir.
- g) İşaret ve tesislerin bakımları devamlı yapılmalı, bozulanlar değiştirilmeli, eskiyen ve silinenler hemen değiştirilmelidir.
- h) Kavşağa yüksek hızda girenler çok sayıda ise, kaplama üzerinde hız kesen önlemler alınmalıdır.
- i) Kavşak optik bakımdan sürekli ve uygun olmalıdır.
- j) Kavşak kolları görüşü sağlamak için dik açı ile kesiştirilmelidir.”

Bununla beraber, kavşaktaki yaya geçitleri kısa ve yol eksenine dik olmalıdır. Yol genişliğinin 12 metreden fazla olması durumunda yaya emniyeti için ortaya koruyucu ada konmalı ve yaya geçiş yerleri alçaltılmalıdır. Kavşakta taşıt ve bisiklet trafiği birbirinden ayrılmalıdır (17).

Kavşakta Emniyet Üçgeni: Kavşak kollarından gelip birbiri ile kesişen trafiğin birbirlerini emniyetli şekilde görüp durabilmelerini temin eden görüş çizgilerinin meydana getirdikleri ve içinde görüşü engelleyen maniaların bulunmadığı sahalardır (Şekil 2.12) (18).



Şekil 2.12. Kavşakta emniyet üçgeni (18)



Şekil 2.13. Duruş görüş mesafesi (23)

2.4.2. Kapasite

Kavşağın yüksek kapasitede çalışması için en kısa sürede ve en çok sayıda taşıt ve insanın emniyetle geçişinin sağlanması gereklidir. Özdirim (1995)'e göre bir kavşağın yüksek kapasiteli olarak çalışması ve elde edilen kapasitenin artırılması için için yapılması gerekenler şunlardır (23):

- a) Kavşak geometrik bakımdan (şerit sayısı) kabul edilen gelecekteki trafiği taşıyacak şekil ve tipte yapılmalıdır.
- b) Şerit sayısı, girişte mümkün olduğunca artırılıp çıkışta tedrici şekilde azaltılmalıdır.
- c) Kavşağa giriş yapan kol sayısı dördü geçmemelidir. Aksi halde ya bazı kollar kavşak dışına doğru tek yönlü olarak yönlendirilmeli veya bu kollar kavşak dışında birbirleri ile birleştirilip kol sayısı dörde indirilmelidir.

Elde edilen kapasitenin daha da artırılması için teknik ve idari çareler;

1. Kavşakta bazı hareketlerin ya tamamen veya zirve saatlerde olmak üzere, özel işaret veya trafik polisi vasıtasıyla kısmen kısıtlanması. (Örneğin sola dönüşler)
2. Fazla yüklü kolun üst veya alt geçit haline getirilmesi.
3. Kamyon gibi ağır taşıtların kavşaktan geçirilmemesi.
4. Toplulaşım taşıtlarına öncelik veren sistemlerin uygulanması. Örneğin dönüş serbestisi, özel şeritlerle otobüslerin öne alınması.
5. Geçişlerde önceliği bakımından kavşakların çok iyi işaretlenmesi.
6. Yaya geçitlerinin içeri çekilip, sağa dönen taşıtların bekleme sırasında sığınacakları yer temini, köşelerin demir bariyer veya çiçek saksıları ile kapanarak yayaların geçide kanalize edilmesi.
7. Üçlü kavşaklarda anayolu kesen yaya geçitlerinin tali yolun sol dönüş akımı üzerine isabet ettirilmesi.
8. Yaya geçitlerinin yeterli genişlikte olması (minimum 5 metre).
9. Yaya geçiş seviyesinin yol seviyesinde olması, böylece yayaların her geçişte refüje inip çıkmalarının önlenmesi (Bu durumda otomobillerin yaya geçidinden U dönüş yapmalarının önlenmesi için borular veya çiçeklikler konulması yararlı olur).

2.4.3. Ekonomi

Bir kavşak projelendirilirken; kavşağın hem emniyetli olması, hem yüksek kapasiteli çalışması, hem de ekonomik olması istenir. Projecilerin ve karar vericilerin bu koşulları sağlayacak en uygun mühendislik çözümünü ortaya koyması, gerekli işin, gerekli yerde ve gerekli zamanda yapılmasını sağlanmaları gereklidir. Bunun için kavşak ya da kavşakların yapılacağı alanla ilgili tüm veriler ve kriterler değerlendirilmeli, alternatifler arasından hem teknik hem de ekonomik olarak en uygun olan alternatif seçilmelidir.

3. IŞIKLI TRAFİK İŞARETLERİ (SİNYALİZASYON)

Işıklı trafik işaretleri diğer bir ifade ile sinyalizasyon, yollar üzerinde özellikle kavşaklarda düzenli ve güvenli bir akım sağlamak üzere kullanılan kontrol gereçleridir.

İlk olarak 1868 yılında Londra'da kullanılan, J.P. Knigth tarafından tasarlanan ve el ile yönetilen trafik sinyalleri, gece görünürlük sağlamak amacı ile gaz lambaları şeklinde kullanılmıştır. Artan otomobil trafiği ile birlikte, elektrikle çalışan ilk trafik ışıkları 1914 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde kurulmuştur. Elektrikle çalışan ve bugün kullanılan sinyal gruplarına benzeyen üç renkli trafik sinyallerinin kullanıldığı ilk sistem, 1918'de New York'un bazı kavşaklarında kurulan sistemdir. New York'takine benzer bir sistemde 1920 yılında İngiltere'de kurulmuştur (1). Patentli ilk trafik sinyali 1923 yılında Garet Morgan tarafından üretilmiştir. 1924 yılından sonra Avrupa ülkelerinde de kullanılmaya başlayan ışıklı trafik işaretleri özellikle 1950 yılından sonra büyük gelişme göstermiştir (27). Elektro-mekanik bir sistem ile trafiğin kontrolü ise ilk olarak 1925 yılında Avustralya'nın Melbourne kentinde gerçekleştirilmiştir (1).

İlk taşıt kontrollü trafik sistemleri ise 1930'ların başlarında A.B.D'de kullanılmaya başlanmıştır. Taşıt kontrolü, yolun kenarına yerleştirilen bir mikrofon ve sürücülerin kornalarına basmalarıyla sağlanmıştır. Bu sistemde pek çok aksaklık baş gösterince, yolun içine yerleştirilmiş elektrik bağlantılarıyla işleyen ilk dedektör sistemi kullanılmıştır. İlk taşıt uyarmalı sistemler ise 1932 yılında İngiltere'de uygulanmaya başlanmıştır (25). 1950'li yıllarda transistörün ve yarı iletken teknolojisindeki gelişmelerle, trafik kontrol sistemlerinde ilerlemeler hız kazanmıştır (28).

Türkiye'de ise trafiğin ışıklı sistemlerle idare edilmesine 1950'li yıllarda başlanmış ve 1965 yılından bu yana da yaygın bir şekilde kullanılmaya devam edilmektedir. Ülkemizde kavşaklarda kullanılan ışıklı trafik işaretleri çoğunlukla sabit zamanlı sistemler şeklinde tesis edilmiştir. 1960'lı yıllardan itibaren de büyük kentlerimizde taşıt uyarmalı sistemler kullanılmaya başlanmıştır. 1968 yılında Ankara'da merkezi

bilgisayarla kumanda edilebilen 60 kavşakta ışıklı trafik işareti tesisi kurulmuştur (29). 1984 yılında ise İstanbul'da, Siemens firması tarafından, günün saatlerine göre belirlenen zaman planlarını uygulamaya koyan, ana arterlerdeki sinyalize kavşakların kontrol ve koordinasyonunu sağlayan bir sistem kurulmuştur. Bu sistem, kentin Anadolu yakası ve Avrupa yakasında kurulan toplam üç adet bölgesel kontrol ünitesi üzerinden yaklaşık 160 sinyalize kavşağın kontrol ve koordinasyonunu sağlamıştır (28).

Günümüzde özellikle kentiçi trafiğin düzenli ve güvenli akışını sağlamakta önemli rolü olan sinyalizasyon sistemleri gelişen teknoloji ile beraber daha da verimli kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin 1998 sonu itibari ile Londra'da sinyalize kavşak sayısı 4000'i aşmıştır ve bu kavşakların hemen hemen yarısı SCOOT (Split Cycle and Offset Optimization Technique) sistemi kapsamında merkezi kontrol sistemine bağlıdır (1).

Çizelge 3.1. Dünyada bazı şehirlerde sinyalize kavşak sayıları 1993 (25)

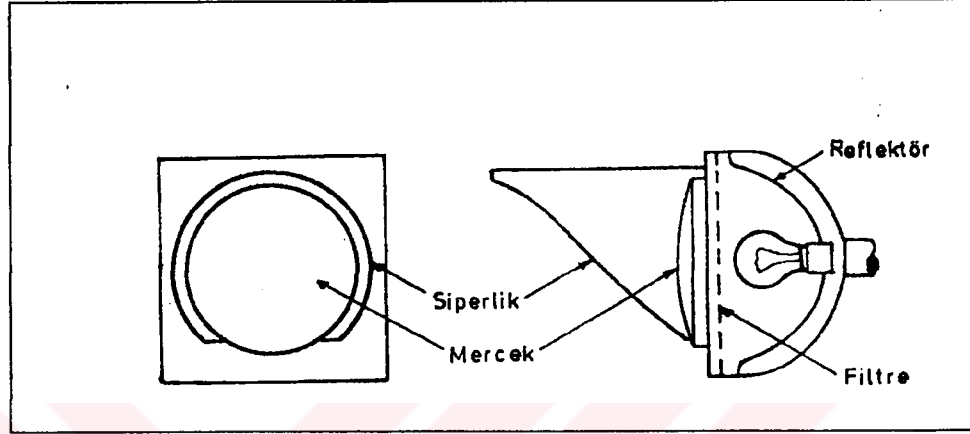
Şehirler	Nüfus	Sinyalize kavşak sayısı
Londra	5.400.000	4.000
Sydney	1.000.000	2.500
Münih	1.000.000	1.150
Hamburg	2.000.000	1.150
Berlin	4.000.000	1.350
Köln	1.000.000	800
İstanbul	5.000.000	335
Bonn	300.000	250
Ankara	3.500.000	200

3.1. Sinyal Vericileri ve Özellikleri

3.1.1. Ünite ve cepheler

Sinyal Ünitesi: Bir sinyalizasyon ünitesi içinde bir ampul bulunan tek fenerden oluşur. Toplu ve güçlü bir ışık görünümü sağlamak için ampulün önünde bir mercek ve gerisinde bir reflektör vardır. Mercekler renksizdir. Kırmızı, sarı ve yeşil renkler

filtre ile sağlanır. Merceklerin önüne ve ünitelerin üst kısmına yerleştirilen siperlik, güneş ve aydınlatma lambalarının ışıklarının mercek üzerinden yansımaları önler (Şekil 3.1) (30).



Şekil 3.1. Sinyal ünitesi (30)

Ünite merceklerinin çapı kent içinde 20 cm'dir. Bununla birlikte kent dışında, hız yolları üzerinde ve ana arterlerde 30 cm çapında mercekli üniteler kullanılır. Fenerlerin ışık şiddeti yerel şartlara bağlı olarak mühendislerce belirlenir. Yol proje hızı 50 km/saat ise en az 75 metre uzaktan, hız 70 km/saat ise en az 125 metre uzaktan fenerler görülmelidir (19).

Sinyal Cephesi: Kırmızı, sarı ve yeşil ünitelerin ya da kırmızı ve yeşil ünitelerin oluşturduğu sinyal grubudur.

1. Taşıt cephesi: Taşıt trafiğini kontrol eden, yukardan aşağıya doğru kırmızı, sarı ve yeşil ünitelerin bulunduğu sinyaldir. Aynı yönden gelerek farklı yönlere gidecek akımlara, birbirinden farklı zamanlarda geçiş hakkı veriliyorsa içinde ok işareti bulunan sinyaller de kullanılabilir.
2. Yaya cephesi: Yayalar için yapılmış olan ve üstte kırmızı altında yeşil ünitelerin bulunduğu sinyaldir. Kırmızı ünite içinde duran adam, yeşil ünitenin içinde yürüyen adam figürü bulunabilir.

3. Geri sayıcılar: Hem sürücüler hem de yayalar için yeşil ve kırmızı trafik sinyal lambalarına bağlanarak yeşil ve kırmızı ışığın sürelerini geri sayar.

Sinyal cephelerinden beklenen özellikler aşağıda özetlenmiştir (23):

- Sinyal cepheleri yeterli sayıda olmalıdır. Aynı sinyal baş üstünde ve gerekirse yolun solunda da tekrarlanmalıdır.
- Sinyal cephelerinin görülebilmesi için taşıtların duracakları yeri belirten DUR çizgilerinin mevcut olması ve silindikçe yenilenmesi gereklidir.
- Sinyal cephelerinin görülmelerini önleyen ağaç dalları kesilmeli, önlerine veya arkalarına reklam panoları konulmamalıdır.
- Sinyal cepheleri periyodik olarak temizlenmeli, düşük voltaj nedeni ile zayıf yanmalar önlenmeli, bozuk lambalar en kısa sürede değiştirilmelidir.
- Özellikle hızlı trafiğin aktığı yollarda, baş üstü sinyallerinin arakasına güneşten kaynaklanan kamaşma ve yanılmayı önlemek üzere kamaşma panosu konmalıdır.

3.1.2. Sinyal direkleri

Sinyal direklerinin bordür kenarına fazla yaklaştırılması yolun kapasitesinin düşmesine neden olabileceği gibi taşıtların direklere çarpma ihtimalini de artırır. Bu nedenle direklerin bordür kenarına 0.75 metreden fazla yaklaştırılmaması, ancak 1.50 metreden de uzak bir yerleştirmeden kaçınılması gereklidir (30).

Sinyalizasyon sistemi uygulanan tesiste sinyal direklerinin yol eksenine paralel yöndeki yerleri, sürücülerin davranış özelliklerine uygun olarak seçilmelidir ancak, taşıt cephelerinin direkleri DUR çizgisine 2 metreden daha yakın olmamalıdır. Örneğin trafik eğitimi ve kültürünün yüksek düzeyde olduğu ülkelerde sinyal direkleri DUR çizgisinden 8-10 metre, hatta daha fazla uzağa yerleştirilebilmekte, böylece sürücülerin cepheleri görme olanakları geliştirilmekte ve çok şeritli yollarda daha az sayıda cephe yeterli olabilmektedir. Trafik eğitiminin ve kültürünün yeterince gelişmediği ülkelerde ise taşıt sürücülerini ışıklı cephelere mümkün mertebe

yaklaşarak durma eğilimi göstermektedirler. Özellikle ülkemizde sürücüler, ışıklı cephelere çok fazla yaklaşmakla kalmamakta, hem DUR çizgisini hem de ışıklı trafik işaretlerini geçerek neredeyse kavşağa giriş yapacak konuma gelmektedirler (30).

TS 11937 sinyal direklerinin yeri ile ilgili şöyle demektedir (19):

“Sinyal direkleri monte edildikleri kaldırım kenarına normalde 0,50 metre, erişim kontrollü yolda 0,75 metre mesafede olmalı ve sinyalin altı ile kaldırım yüzü arasındaki yükseklik en az 2,10 metre olmalıdır. Sinyal direkleri DUR çizgisinin önüne monte edilmeli ve DUR çizgisinin kalınlığı 50 cm olmalıdır. Sinyal direklerinin sayısı, kavşağa giren taşıtların birbirlerinin görüşlerini kısıtladığı hallerde, taşıtların her biri tarafından sinyallerin görülebilmesi için yeterli sayıda olmalıdır. Kavşak girişlerinde iki veya daha fazla şerit bulunduğu zaman:

- Ortada refüj varsa ve refüj genişliği $\geq 2,00$ metre ise, ek bir sinyal direği refüje monte edilmelidir.
- Ortada refüj yoksa veya genişliği $< 2,00$ metre ise yolun soluna ve karşı trafiğin bulunduğu şerit kenarına ek bir sinyal monte edilmelidir.
- Üzerinde yüksek hız yapılan yolda her iki yana ve sağlı sollu ek ve baş üstü sinyalleri konmalıdır.”

3.1.3. Kontrol cihazı

Kontrol cihazları; kavşak kontrol cihazı ve yaya kontrol cihazı olarak iki tiptedir. Kavşak kontrol cihazı, kavşaklarda taşıtlar için sinyal vericilerin çalışmalarını, yaya kontrol cihazı ise yayalar için sinyal vericilerin çalışmalarını düzenler.

Kavşak kontrol cihazının amacı, kavşaklardaki trafik akışlarını maksimum kapasite ve minimum gecikmeyle sağlamak ve emniyetli bir şekilde düzenlemek ve yönlendirmektir. Kavşak kontrol cihazı; sabit zamanlı, trafik uyarmalı, koordineli, bilgisayarlı trafik sinyalizasyon merkezine bağlı olarak, polis kumandalı ve yaya kumandalı şekilde çalışabilir. İzole kavşaklarda cihaza önceden belirlenmiş sabit zamanlı programlar verilir. Trafik uyarmalı bir sistemde ise kavşak kontrol cihazları, dedektörlerden aldıkları uyarımlara göre bir trafik programı seçerler.

3.1.4. Diğer yardımcı tesisler

Trafik Kontrol Merkezi:

Trafik verileri kontrol döngüsünün birleştirici elemanı trafik kontrol merkezidir. Bu merkez, bütün bağlantılı sistemlerin; trafik, çevre ve kullanım verilerinin toplandığı, kurgulandığı, arşivlendiği ve ultra-modern trafik mühendisliği yöntemlerinin kullanılarak çözümlendiği ve değerlendirildiği yerdir.

Trafik kontrol merkezi, üç ana bölümden oluşur. Bu bölümler; yazılım, donanım ve haberleşmedir.

3.2. Sinyalizasyon Seçim Kriterleri

Herhangi bir kavşak veya yaya geçidinde sinyalizasyon tesisi kurulması için, kesişen trafik yükleri, yaya akımı veya kaza sayısı gibi nedenlerin yeterli bir sayıya erişmiş olması zorunludur. Ancak, bir kavşakta çok yüksek kesişen trafik yükleri bulunması veya sık sık trafik kazalarının oluşması durumunda tek çözüm de sinyalizasyon tesisi kurmak değildir (30). Sık sık kaza olan veya gecikmeler ve tıkanlıklar yaşanan bir yolda, sinyalizasyon hemzemin bir kavşak oluşturulabileceği gibi, farklı düzeyde geçişlerle kesişmeleri minimuma düşüren katlı kavşaklar da uygulanabilir. Ancak hemzemin sinyalizasyon bir kavşağın maliyetinin, akımların geçişlerini farklı düzeylerde sağlayan katlı kavşaklara oranla çok daha ekonomik olduğunu söylemek mümkündür.

Trafik sinyalizasyonu (23, 30);

1. Taşıtların diğer taşıtlarla veya yaya akımları ile kesiştikleri noktalarda güvenli ve düzenli akışını sağlar.
2. Sinyalizasyonun yeri ve konumu uygun olur ve periyot süreleri trafik koşullarına uygun olarak belirlenirse kavşağın kapasitesi artar.
3. Taşıtların 90 derece ile çarpışmalarını önler ve kaza ihtimalini azaltır.

4. Kavşaklar arası mesafeler 700 metreyi geçmemek ve fazla yüklü trafik olmamak şartıyla, birbirini takip eden kavşaklar arasında koordineli akım yeterli bir hız altında oluşturulur (Hız $V=50$ km/saat).
5. Zayıf trafikli bir yolun yoğun trafikli bir yolu kesmesi ve emniyetle ana akımın içine girmesi mümkün olur.
6. Yapılacak bir üst/alt geçitli kavşaktan daha ekonomiktir.

Trafik sinyalizasyonu yukarıdaki yararları sağlarken bununla beraber bazı dezavantajları da içermektedir. Bu dezavantajlar (23, 30):

1. Yüklü olmayan trafik saatlerinde gereksiz bekleme süreleri olur ve akaryakıt tüketimi artar. Bunu önlemek için bu saatlere uygun şekilde sinyal programlarında değişiklik yapmak gereklidir. Örneğin trafik yoğunluğunun az olduğu gece yarısı saatlerinde kavşak otomatik olarak flash şeklinde çalıştırılır.
2. Arkadan çarpma gibi belirli tip kazalar artabilir.
3. Gereksiz ve hatalı yapılan sinyalizasyonlarda sürücülerin sinyale uyumsuzlukları artar.
4. Sinyal süreleri gerekli şekilde değilse gecikmeler artar ve sürücülerde sabırsızlık ve ihlaller meydana gelir.

Güvenli ve kontrollü bir trafik düzeni için yatay ve düşey işaretlemelerde olduğu gibi, ışıklı trafik işaretlerinin de sürücü ve yayaların dikkatini çekecek şekilde dizayn edilmiş ve yerleştirilmiş olması, anlamlarının basit ve kesin olması ve özellikle sürücülere sinyalizasyonu fark etmeleri için yeterli intikal ve reaksiyon süresinin sağlanması gereklidir (31).

3.2.1. Sinyalizasyon için gerekli koşullar

Bir kavşak veya yaya geçidinde sinyalizasyon tesisi kurulması için karar verilmesi, uygulanacak sistemin seçilmesi ve uygun bir proje hazırlanarak tesisin işletilmesi için, tesisin kurulacağı yerin geometrik ve trafik akımı özelliklerinin incelenmesi ve bazı analizlerin yapılması gereklidir (30).

Yapılması gerekli mühendislik çalışmaları aşağıda özetlenmiştir (30, 32).

Taşıt Trafiği Özellikleri:

- Kavşağa bir işgünün en kalabalık 16 saati boyunca her yönden ve her saatte giren ortalama taşıt sayısı, (Amerikan standartlarına (MUTCD) göre işgünün en kalabalık 12 saati boyunca bu sayım yapılmaktadır),
- Kavşağa her yönden giren taşıtların gidiş yönlerine göre ayırımı,
- Taşıt kompozisyonu (otomobil, otobüs, kamyon, kamyonet, motosiklet vb.),
- Değişik türdeki taşıtların Otomobil Eşdeğer Birimi olarak değeri,
- Yüksek trafik yoğunluğunun olduğu saatlerde aynı sayımların birbirini izleyen en az 5 en çok 15'er dakikalık aralıklarla dağılımı, (Amerikan standartlarına (MUTCD) göre sabah ve akşam piklerinde 2 saat boyunca 15'er dakikalık aralıklarla),
- Sinyalize edilecek kesime girişte taşıtların %85 hızı
- Her yaklaşım yönünden giren taşıtların ayrı ayrı ortalama gecikmeleri, gecikmelerin taşıt cinslerine göre ayırımı,
- Taşıtların kavşağa yaklaşırken aralık ve uzaklıkları belirlenmelidir.

Yaya Trafiği Özellikleri:

- Taşıt trafiği sayımının yapıldığı saatlerde ve ayrıca yayaaların en yoğun olduğu saatlerde her yaya geçidi üzerindeki yaya sayısı,
- Yaya gruplarının yaşlarına göre dağılımı,
- Yayaaların yolu geçmek için ortalama bekleme süreleri belirlenmelidir.

Geometrik Özellikler

- Kavşak veya yaya geçidinin plan ve profili,
- Park yapma durumu ve otobüs duraklarının yerleri
- Aydınlatma durumu,

- Görüşü engelleyen faktörler,
- En yakın diğer sinyalize kavşakların uzaklığı belirlenmelidir.

Trafik Kazası Özellikleri

- Kavşakta meydana gelen trafik kazalarının; yeri, sayıları, tipleri, çarpışma şekilleri, hava durumu ile kazanın hangi gün ve günün hangi saatinde meydana geldiği belirlenmelidir.

Herhangi bir noktada sinyalizasyon sistemi kurulması için aşağıda belirtilen koşullardan en az birinin gerçekleşmiş olması gereklidir. Ancak bu koşullar her ülke standartlarına göre değişik değerler alabilir ve kesin kriterler olmayıp sadece öngörme niteliğindedir (30).

1. Minimum Taşıt Yoğunluğu: Herhangi bir işgününün en kalabalık 8 saati boyunca, park etmiş taşıtlarla işgal edilmemiş şeritler üzerinden bir saatte geçen taşıt sayısı ana yolda en az 300 (her iki yön toplamı), tali yolda en az 150 olmalıdır.

2. Anayol Trafiğinin Kesilmesi: Herhangi bir işgününün en kalabalık 8 saati boyunca, ana yolda şerit başına düşen saatlik taşıt trafiği 500'ü aşıyorsa, tali yol üzerinde bu trafiği kesen taşıt sayısı (tek yönde kavşağa yaklaşan bütün tali yol şeritleri üzerinde toplam olarak) saatte en az 75 olmalıdır.

3. Minimum Yaya Yoğunluğu: Herhangi bir iş gününün en kalabalık 8 saati boyunca, refüzsüz bir yoldan iki yönde toplam olarak 600 veya bordürlü refüjle bölünmüş ve yayaların durmasına elverişli refüj genişliği bulunan bir yoldan iki yönde toplam olarak 1000 taşıt geçiyorsa, aynı anda saatte karşıdan karşıya geçecek yaya sayısı 150'yi aşmalıdır. Bu şekilde kurulacak bir sinyalize yaya geçidi tesisi en yakın sinyalize kavşak veya diğer bir sinyalize geçitten en az 50 metre uzakta olmalıdır.

4. Trafik Kazaları: Bir yıl boyunca sinyalizasyon tesis kurulduğu takdirde önlenilecek tipteki kazaların sayısı en az 5 olmalıdır. Taşıtların çarpışması şeklinde kazalar söz konusu ise 1. maddedeki (minimum taşıt yoğunluğu) veya 2. maddedeki (anayol trafiğinin kesilmesi), taşıtların yayalara çarpması şeklinde kazalar söz konusu ise 3. maddedeki (minimum yaya yoğunluğu) koşulların en az %80'i aynı anda gerçekleşmiş olmalıdır.

5. Birleşik Koşullar: Yukarıdaki koşulların hiçbirinin tek başına gerçekleşmemiş olması, ancak herhangi iki koşuldaki değerlerin %80'inin aynı anda gerçekleşmesi durumunda da sinyalizasyon tesisi kurulabilir.

Amerikan Trafik Kontrol Araçları Kılavuzunda (Manual on Uniform Traffic Control Devices MUTCD) trafik sinyalizasyon tesisi kurulması için öngörülen kriterler aşağıda özetlenmiştir (24, 32).

1. Minimum Taşıt Yoğunluğu (Minimum vehicular volume): Amerikan Standartlarına göre bir işgününün 8 saati boyunca anayol ve tali yoldaki şeritler üzerinden bir saatte geçmesi gereken minimum taşıt sayıları Çizelge 3.2'de görülmektedir.

2. Anayol Trafiğinin Kesilmesi (Interruption of continuous traffic): Bir işgününün 8 saati boyunca anayol üzerindeki ve tali yol üzerinde bu trafiği kesmesi gereken taşıt sayıları ise Çizelge 3.3'de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Minimum taşıt yoğunluğu (32)

Şerit sayısı		Ana yolda toplam taşıt sayısı (taşıt/saat) (her iki yön)	Tali yolda toplam taşıt sayısı (taşıt/saat) (tek yön)
Ana yol	Tali yol		
1	1	500	150
2 ve daha fazla	1	600	150
2 ve daha fazla	2 ve daha fazla	600	200
1	2 ve daha fazla	500	200

Çizelge 3.3. Anayol kesilmesi (32)

Şerit sayısı		Ana yolda toplam taşıt sayısı (taşıt/saat) (heriki yön)	Tali yolda toplam taşıt sayısı (taşıt/saat) (tek yön)
Ana yol	Tali yol		
1	1	750	75
2 ve daha fazla	1	900	75
2 ve daha fazla	2 ve daha fazla	900	100
1	2 ve daha fazla	750	100

3. *Minimum Yaya Yoğunluğu (Minimum pedestrian volume)*: Herhangi bir iş gününün her bir 4 saati boyunca, anayolu geçmek isteyen yaya sayısının saatte en az 100 olması veya 1 saat boyunca anayolu geçmek isteyen en az 190 yaya ve yayaların geçişini yapmalarını sağlayacak taşıtlar arası 60'dan az aralık (1 saatte) olması gereklidir. Buna ek olarak bu şekilde kurulacak bir sinyalize yaya geçidi tesisi, en yakın sinyalize kavşak veya diğer bir sinyalize geçitten en az 300 ft (~90 metre) uzakta olmalıdır.

4. *Okul Geçidi (School crossing)*: Eğer karşıdan karşıya geçiş yapılacak alanda bir okul varsa ve karşıdan karşıya geçiş yapmak için yeterli sıklıkta ve uzunlukta taşıtlar arası aralıklar mevcut değilse ve günün en kalabalık saati boyunca karşıdan karşıya geçmek isteyen en az 20 öğrenci mevcutsa o alanda bir sinyalize yaya geçidi tesisi kurulmalıdır.

5. *Trafik Kazaları (Accident experience)*: Kavşakta bir yıl boyunca en az 5 yaralanmalı veya maddi hasarlı kaza meydana gelmiş ise sinyalize tesis kurulmalıdır. Buna ek olarak minimum taşıt yoğunluğu, anayol trafiğinin kesilmesi veya minimum yaya yoğunluğu maddelerindeki koşulların en az %80'i aynı anda gerçekleşmiş olmalıdır.

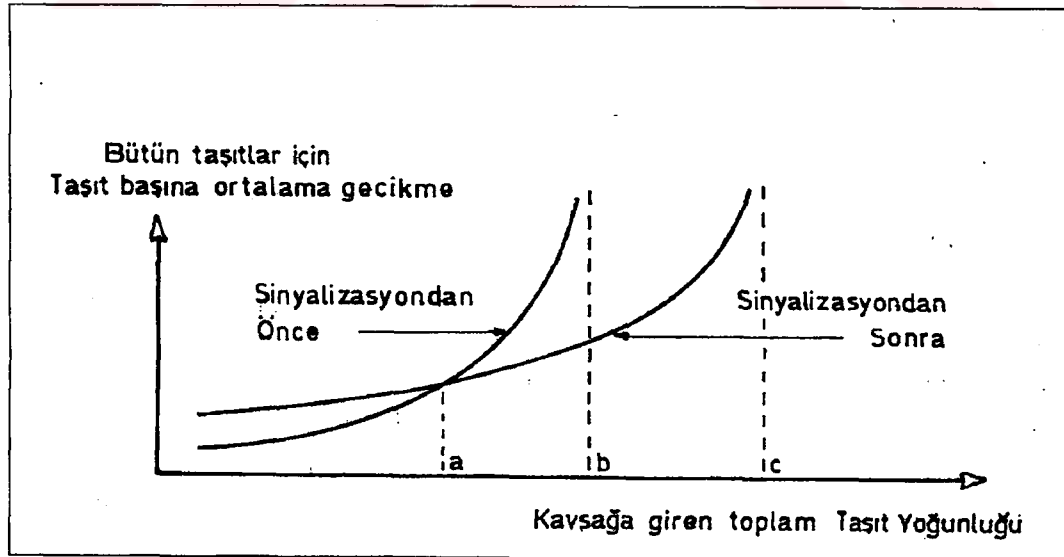
6. Birleşik Koşullar (Combination warrants): Yukarıdaki koşulların hiçbirinin tek başına gerçekleşmemiş olması ancak ilk iki maddedeki koşulların %80'inin aynı anda gerçekleşmesi durumunda da sinyalizasyon tesisi kurulabilir

3.2.2. Sinyalizasyonun gecikmeler üzerine etkisi

Ayfer (1977)'ye göre (30);

“Sinyalize edilen bir kavşağın kapasitesi genellikle sadece trafik işaretleri ile kontrol edilen aynı geometrideki bir kavşağın kapasitesinden daha yüksektir. Ancak, kavşaktaki toplam trafik yükleri belirli bir mertebeye ulaşmadığı sürece sinyalizasyon tesisi gecikmeler üzerinde olumsuz etki yapar.

Şekil 3.2’de taşıt yoğunluklarının az olması halinde sinyalizasyonun daha yüksek gecikmelere neden olduğu, ancak aynı kavşakta taşıt yoğunluğu arttıkça sinyalizasyon olmadığı durumda gecikmelerin hızlı artış gösterdiği, sinyalizasyon tesisi olan bir kavşakta ise toplam gecikmelerin artmaya devam etmekle birlikte artış hızının daha yavaş olduğu görülmektedir. Şekil 3.2’de (a) noktası sinyalizasyonun yararlı olmaya başladığı toplam taşıt yoğunluğu değerini, (b) noktası kavşağın normal kapasitesini, (c) noktası ise sinyalize kavşağın kapasitesini göstermektedir.”



Şekil 3.2. Sinyalizasyonun gecikmelere etkisi (30)

3.2.3. Sinyalizasyonun kazalar üzerine etkisi

Ayfer (1977)'ye göre (30);

“Çeşitli ülkelerde yapılan araştırmaların sonucunda, yalnız basit düzey işaretleme ile kontrol edilmekte olan üç ve dört kollu kavşaklarda, sinyalizasyon tesisi kurulduktan sonra taşıtların yayalara çarpması ve taşıtların çarpışması şeklindeki trafik kazalarının hemen hemen yarı yarıya azaldığı görülmüştür. Sinyalizasyonun, birbirine dik yönde hareket eden taşıtlar arasında oluşan kazaları azaltmasına karşılık, arkadaki taşıtın öndekine çarpması ile sonuçlanan kazalarda artış oluşturduğu bir gerçektir. Özellikle hız yolları üzerinde kurulan sinyalizasyon tesisleri yakınlarında, taşıtların sinyalize kavşağa kadar hız düşürmeden seyretmeleri ve kavşağa çok yakın bir noktada aniden duruşa geçmeleri, daha önceden görülmeyen bazı kazaların oluşmasına yol açabilmektedir. Öte yandan, özellikle trafik görgü ve eğitim düzeyinin yeterli olmadığı ülkelerde, sürücülerin dikkatsizliği veya trafik kural ve işaretlerine uymamalarından ötürü sinyalize kavşaklarda kazalara neden olmaları, kurulmuş bulunan tesisin başarılı olmadığı kanısını oluşturabilmektedir. Kısaca, sinyalizasyon tesisinin kurulduğu noktada kazaların büyük oranda azalması beklenmelidir, ancak bunda taşıt sürücülerinin davranışlarının da büyük ölçüde etkisi vardır.”

Özdirim (1994)'e göre (23);

“Kentsel trafik kazalarının en az %25-30'u kavşaklarda meydana geldiğinden buraların projelendirilmesi, yapım ve özellikle işletilmesi, büyük önem taşır. Çünkü kavşaklarda pek çok yöne giden, dönen taşıtlar hareket halindedir. Burada taşıt şoförlerinden bazılarının da işaret verip niyetlerini anlatmamaları, yayalara ve diğer taşıtlara karşı dikkatsiz hareketleri, trafik kurallarına uymamaları ekseri kazalara neden olmaktadır. Bir örnek olarak Birleşmiş Milletler Teşkilatının verilerine bakarsak; kavşakta oluşan kazalar, tüm kazaların,

- Polonya'da %17'si
- İtalya'da %33,9'u
- Fransa'da % 39,4'ü
- Hollanda'da %42,1'i

diğer bir kaynağa göre ise,

- Batı Almanya'da %15'i
- ABD'de %21'i
- İngiltere'de %26'sı hemzemin kavşaklarda meydana gelir.”.

Eşdüzey kavşaklarda meydana gelen kaza sayılarını hesaplamak üzere geliştirilmiş olan ampirik formül Eşitlik 3.1. de verilmektedir (23).

$$Z = Y \cdot N_1^a \cdot N_2^b \quad [3.1]$$

Z = 1 senede oluşan kaza sayısı

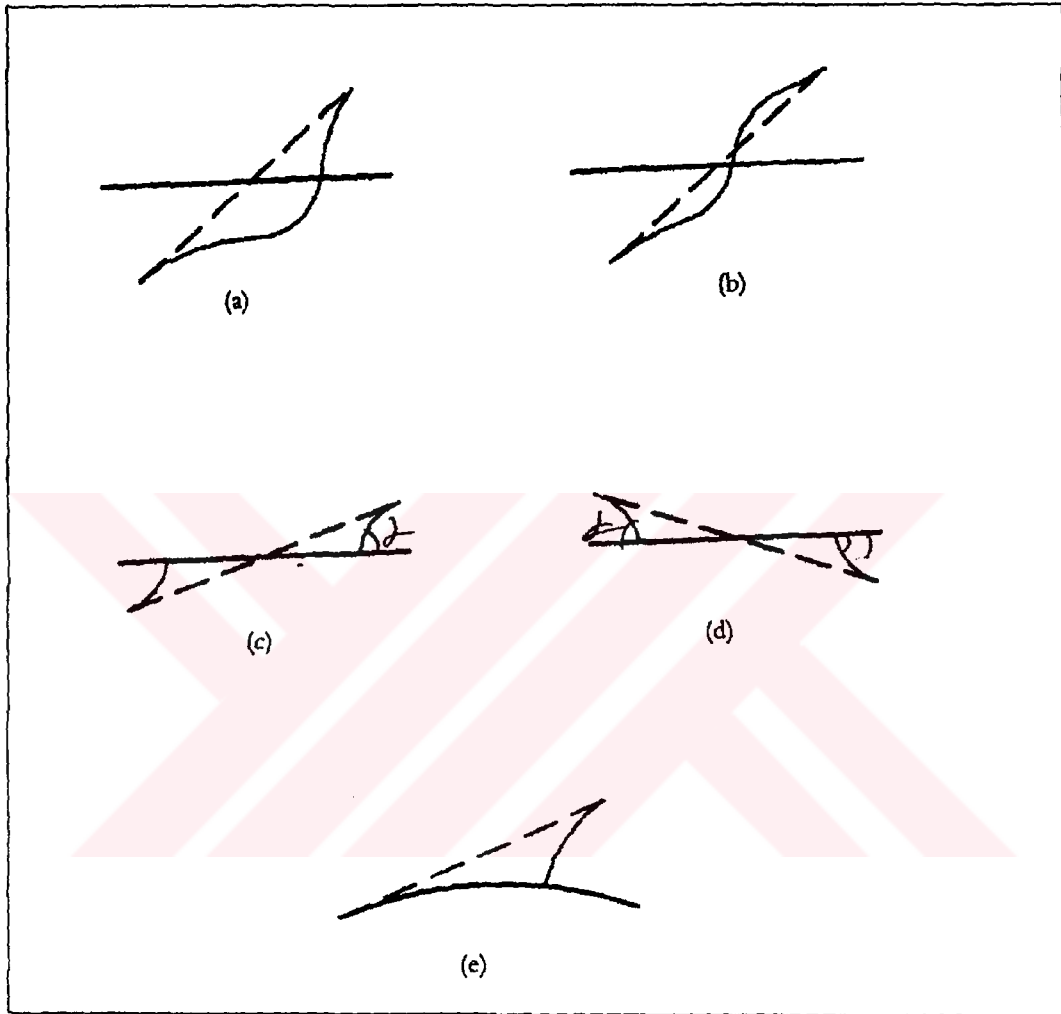
N_1 ve N_2 = Kesişen iki yoldaki trafik miktarı (taşıt/gün)

Y = Kaza oranı (Trafik sinyalizasyonu varsa =1,5
Trafik sinyalizasyonu yoksa=2-2,27)

a=b = 0,5

Kavşaklarda kazaları önlemek esas olmakla beraber, kazanın şiddetini (kinetik enerji), kavşağa verilen şekil yardımı ile en aza indirmek gerekir. Kavşaklarda kazanın şiddeti çarpışan taşıtların arasındaki açıya göre değişir. Çarpışan taşıtlar arasındaki açı 45 dereceye kadar büyüdükçe çarpışma şiddeti de büyür. Açı 90 derece olunca çarpışmanın şiddeti azalır. Açı 135 derece olduğunda ise çarpışma şiddeti en büyük değerini alır (23). Bu nedenle bir kavşak dizayn edilirken kavşak kolları arasındaki açının 90 dereceye yakın olmasına çalışılır. Bunun bir başka yararı da kavşak kollarındaki sürücülerin birbirlerini daha iyi görmeleridir. Şekil 3.3’de eğik olan kavşak kollarının dik açı ile kesiştirilmesi görülmektedir.

Kavşaklarda meydana gelen trafik kazalarının başlıca nedenleri; yaklaşım kolunda kısa ve yetersiz görüş mesafesi, kavşak köşelerinde zayıf görüş mesafesi, kavşak yaklaşımında engeller, uygun olmayan trafik kontrolü, çoklu yaklaşımlar, uygun olmayan kurp yarıçapları ve dar şeritlerdir.



Şekil 3.3. Kavşak kollarının dik açı ile kesiştirilmesi (24)

———— : Mevcut kavşak kolu
 - - - - - : Olması gereken kavşak kolu

3.3. Sinyalizasyon Sistemleri

Sinyalizasyon sistemleri çalışma prensiplerine göre iki temel grupta incelenebilir. Bunlar; izole sistemler ve koordine sistemlerdir.

3.3.1. İzole sistemler

Bir kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin, yakınındaki diğer sinyalize kavşaklarla herhangi bir ilişkisi olmadan tek başına çalıştığı sistemdir. İzole bir sinyalizasyon tesisi dört farklı şekilde çalıştırılabilir. Bunlar;

- Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi,
- Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi (Tam trafik uyarmalı, yarı trafik uyarmalı, , toplu taşıma uyarmalı),
- Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi,
- El ile kumanda edilen sinyalizasyon sistemidir.

3.3.1.1. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi

Bu sistemde sinyalize tesise farklı yönlerden gelen taşıt ve yaya trafiğine önceden belirlenmiş zaman programlarına uygun olarak sıra ile geçiş hakkı verilir. Bu sistem, trafik akımlarının belirli zamanlarda belirli tepe noktalarından geçtiği ve değişmediği kentiçi sinyal sistemlerinde kullanılır ve bu sistemler özellikle, muhtelif saatlerdeki trafik dalgalanmalarının az ve zirve saatlerdeki beşer dakikalık trafik miktarlarının birbirine yakın olduğu büyük metropollerde de kullanılabilir .

Sabit zamanlı sinyalizasyon sisteminde, değişik yönlerden kavşağa yaklaşan trafik akımlarına verilecek yeşil süreler ve bu sürelerin birbirlerine oranları ortalama trafik yükü değerlerine göre belirlenir (30).

Trafik akımları farklı günlerde (işgünü, hafta sonu, tatil günleri vb.) ve günün değişik saatlerinde farklı özellik gösterir. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi, bu farklı özelliklere uygun, otomatik olarak farklı birkaç program uygular ve trafik akımlarının uyumlu şekilde düzenlenmesini sağlar. Bu sistemde kullanılan trafik kontrol teknikleri; *sabit planlı kontrol (fixed time control)*, *günün saatlerine göre kontrol (time of day control)* ve *çok planlı kontrol (multi-plan control)*dür (1).

Sabit zamanlı sinyalizasyon sisteminin yararları (23):

- Sistem basit ve yapımı ekonomiktir.
- Cıvardaki kavşaklarla koordinasyon sağlanabilir. Ancak diğer kavşakların da aynı periyot süresine veya katlarına (2C) sahip olması ve ortalama hızın 48 km/saat'den az olmaması gereklidir.

Sabit zamanlı sinyalizasyon sisteminin sakıncaları ise (23):

- Trafikte kısa süren büyük dalgalanmalara cevap vermemesi,
- Zayıf trafik saatlerinde taşıt ve yayalar için uzun beklemelemlerin meydana gelmesidir.

3.3.1.2. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi

Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemlerinde geçiş sırası ve süreleri dedektörler tarafından belirlenen trafik talep ve yoğunluklarına göre düzenlenir. Bu sistemde trafik akımındaki değişiklikler, kısmen ya da tamamen dikkate alınmaktadır. Trafik uyarmalı sistemde kullanılan trafik kontrol teknikleri; *trafik uyarımlı kontrol (actuated control)*, *akım profillerinin değişimine göre kontrol (pattern control)* ve *tam trafik uyarımlı kontrol (fully actuated control)* dür (1).

Sistemin yararları (23):

- Genellikle gecikmeleri azaltması,
- Trafik akımının kısa süreli dalgalanmalarına uygun olması ve
- Kapasiteyi bazen artırmasıdır.

Sistemin sakıncaları ise (23):

- Yapım ve bakımlarının pahalı olması,
- Sabit bir periyot süresi olmadığı için birbirini takip eden kavşaklar arasında koordinasyonun “YEŞİL DALGA” sağlanamaması, sağlansa bile çok kısıtlı olarak gerçekleşmesidir.

Trafik uyarmalı sinyal sistemlerde sabit bir periyot süresi yoktur. Bu sistemler, tam trafik uyarmalı, yarı trafik uyarmalı ve toplu taşıma uyarmalı sistemler olarak üç grupta incelenebilir.

Tam trafik uyarmalı sistem: Hiçbir yöne anayol önceliği verilmeyen ve kavşağın her kolunda dedektör olan sistemlerdir. Kavşak kollarının her birinde belli aralıklarla sayım yapan dedektörler, trafik yoğunluğuna göre, kollara verilecek yeşil zaman ve bunların öncelik sırasını tayin eder. Programda önce minimum yeşil süreler devreye girer, daha sonra trafik yükü gerektirirse belli sürelerde uzatmalar verilir. Tam trafik uyarmalı sistem, trafik yoğunluklarının hemen hemen gerçek değerlerine göre geçiş hakkı sağladığından kavşaktaki toplam gecikmeleri minimuma indirir. Ancak bu sistemin maliyeti oldukça yüksektir.

Yarı trafik uyarmalı sistem: Bu sistemde ana akıma devamlı olarak yeşil ışıklı sinyal verilir. Tali yol veya yollardan taşıt geldiğinde, bu kollardaki dedektörlerin kavşak kontrol cihazını uyarmasıyla ana akımın yeşil ışığı bir süre için kırmızıya döner ve tali yoldan gelen taşıtlar kavşağa girer. Bir süre geçtikten sonra ana akıma tekrar yeşil ışık yakılır.

Toplu taşıma uyarmalı sistem: Bu sistemler otobüsler ve raylı sistemler için kullanılabilir. Bu sistemde amaç, toplu taşıma taşıtlarının hemzemin kavşaklarda zaman kaybetmesini önlemek veya bunu minimize etmektir. Otobüsler için kavşak girişlerine konan dedektörler, otobüslerden verilen özel sinyallere göre kavşaktaki programa müdahale eder ve gerekli değişimleri yaparak otobüsün yeşil ışıkta geçmesini sağlar. Raylı sistemlerde ise, ya elektrik akımını aldığı kablodan yada ray üzerinde bulunan dedektörden gelen uyarılar raylı sistemin makaslarını açıp kapatır

ve kesilen yola DUR işaretinin verilmesini ve bariyerlerin inerek yolun otomatik olarak kapatılmasını sağlar (23).

Trafik uyarmalı olarak çalıştırılan kavşaklarda dedektörler, üzerlerinde verici bulunan ambulans, itfaiye ve polis taşıtlarının da kavşaktan öncelikle geçmesini sağlarlar.

3.3.1.3. Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi

Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi uygulanan kavşaklarda, yayalar için gerekli geçiş zamanları ve sırası sistemdeki programda belirtilmiştir. Ancak bazı kavşaklarda veya yollarda, yayalardan herhangi bir talep gelmediği sürece yaya cepheleri sürekli olarak kırmızı ışıklı sinyal verirler. Bu geçitleri kullanmak isteyen yayalar, geçiş hakkı alabilmek için butona basıp kendileri için yeşil ışıklı sinyalin yanmasını beklerler.

3.3.1.4. El ile kumanda edilen sinyalizasyon sistemi

Herhangi bir kavşaktaki bütün ışıklı cephe grupları bir kumanda tablosuna bağlanarak ışıklı sinyallerin dışardan yönetilmesi sağlanabilir. Bu sistem sabit zamanlı olarak tesis edilmiş olan ancak bazı zamanlardaki trafik akımlarının ortalama değerlerden büyük sapmalar ve dalgalanmalar gösterdiği kavşaklarda kullanılır. Bu sistem trafik ve yaya uyarmalı sistemlere benzemekle birlikte kavşak kollarındaki talepler gözlem ile değerlendirilmektedir (30).

3.3.2. Koordine sistemler

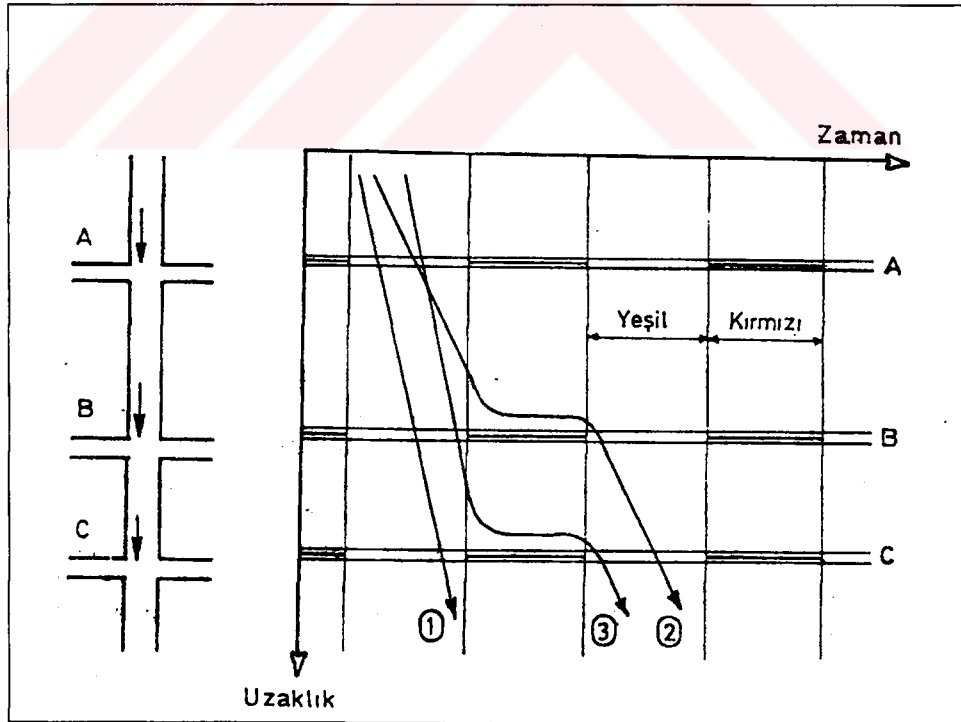
Ana yolların birbirine çok yakın iki veya daha fazla sayıdaki kavşaklarında gecikmeleri azaltmak ve sık sık durma-kalkmaları gidermek amacıyla, kavşaklardaki sinyalizasyon tesislerinin birbiri ile koordineli olarak çalışması öngörülür. Koordine sistemler, genellikle ana yol üzerindeki kavşaklardan, tali yol trafiğine de yeterli geçiş hakkı sağlayarak, birim zaman içinde mümkün olan en yüksek sayıda taşıtın

durmadan geçmesini temin etmek üzere düzenlenirler. Koordine sistemlerde taşıtların geçecekleri kavşakların her birinde durmadan (yeşil ışıktaki) geçmelerini sağlayacak olan uygulama YEŞİL DALGA uygulamasıdır. Koordine sistemler 4 farklı tiptedir. Bunlar:

- Simultan sistem
- Değişken (Alternatif) sistem
- Progresif sistem
- Arazi (alan) trafik kontrol sistemidir.

3.3.2.1. Simultan sistem

Bu sistemde, birbirine bağlanan tüm kavşaklarda anayol üzerindeki trafik ışıkları aynı anda aynı sinyalleri verirler (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Simultan sistem (30)

Şekil 3.4’de anayol üzerinde simultan sistemde sinyalizasyon edilmiş üç kavşak görülmektedir. Gerekli hızda seyreden 1 nolu taşıt her üç kavşaktan geçebilmekte, 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 seyrettiğinden B kavşağındaki yeşil ışığı yakalayabilmiştir. Senkronize bir sistemde, taşıtın sistem içindeki kavşaklarda bekleme yapmadan (yeşil ışıkta) geçebilmesi için seyretmesi gereken hız Eşitlik 3.2’de verilmektedir (23).

$$V = \frac{3,6.s}{T_p} \quad [3.2]$$

V= Yeşil dalga hızı (km/saat)

s= Kavşaklar arası mesafe (metre)

T_p= Periyot süresi (sn)

Simultan sistemler, kavşaklar arasındaki mesafeler aynı olduğunda daha iyi sonuç verir. Simultan sistem, anayol üzerindeki trafik hacmi yol kapasitesine yakınsa, tali yollara geçiş hakkı verilirken, her kavşakta biriktirilecek ana akım trafik yükünün hemen hemen aynı olmasını sağlamak açısından (tek bir kavşağa yükleme olmaz) faydalıdır (30).

3.3.2.2. Değişken (Alternatif) sistem

Bu sistemde anayol yol boyunca birbirini izleyen kavşaklarda trafik ışıkları birbirinin zıttıdır (Şekil 3.5). Değişken sistemin amacı, taşıtların iki kavşak arasındaki mesafeyi sinyal devresinin yarısı kadar bir zamanda almalarını ve taşıtların anayol boyunca belirli bir hızda seyretmelerini sağlamaktır.

Şekil 3.5’de 2 nolu taşıt proje hızına yakın bir hızda seyrettiği için tüm kavşaklarda yeşil sinyali bularak geçmekte, yüksek hızla seyreden 1 nolu taşıt ise her kavşakta durmak zorunda kalmaktadır. Değişken bir sistemde, taşıtın sistem içindeki

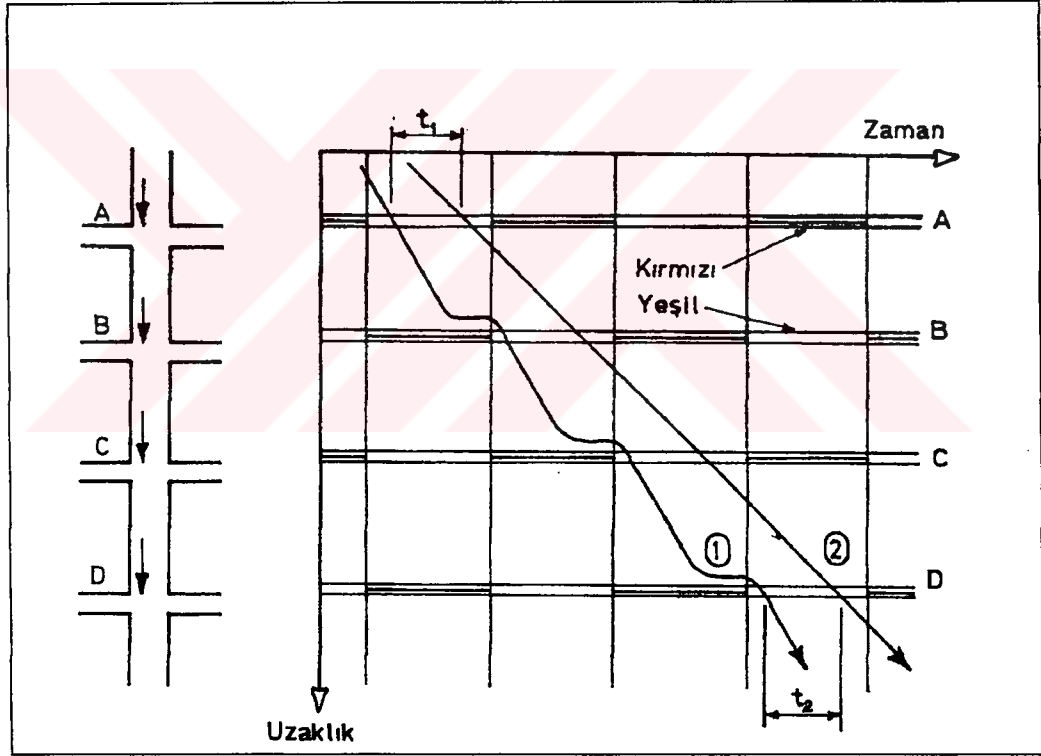
kavşaklarda bekleme yapmadan (yeşil ışıkta) geçebilmesi için seyretmesi gereken hız Eşitlik 3.3’de verilmektedir (23).

$$V = \frac{7,2 \cdot S}{T_p} \quad [3.3]$$

V= Yeşil dalga hızı (km/saat)

S= Kavşaklar arası mesafe (metre)

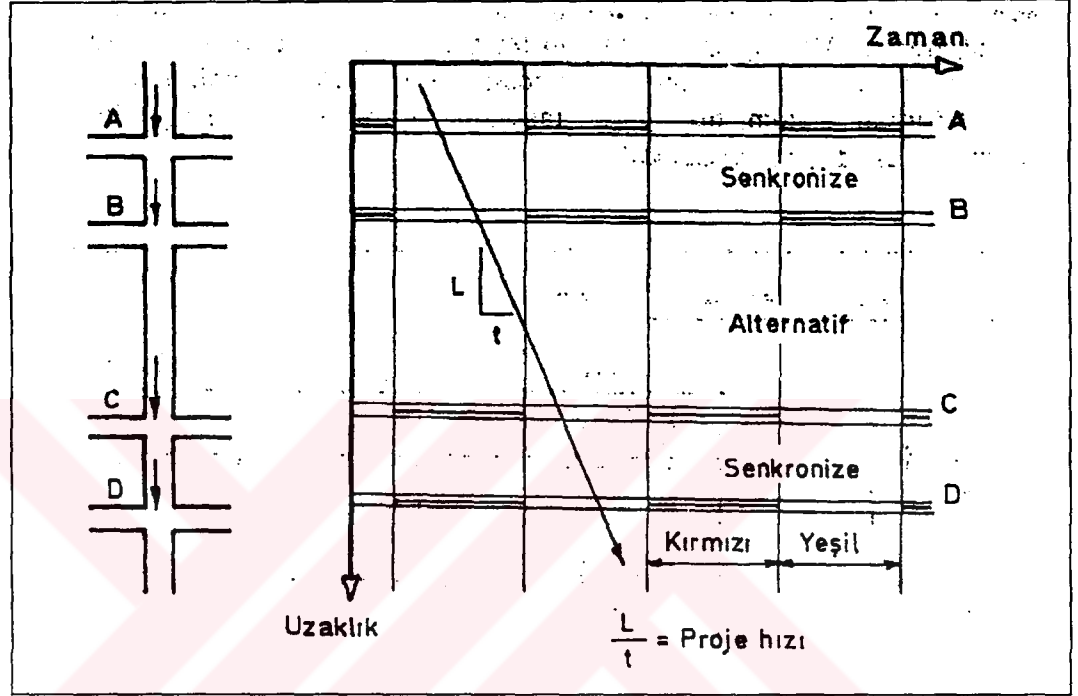
T_p= Periyot süresi (sn)



Şekil 3.5. Değişken (Alternatif) sistem (30)

Bu sistemin başarılı olabilmesi için kavşaklar arası mesafenin birbirine yakın olması gereklidir. Kavşaklar arasındaki mesafelerin gerekli uzaklık limitleri içinde olmaması durumunda, simultan sistemlerin değişken olarak düzenlemesi de yapılabilir (Şekil 3.6) (30).

Şekil 3.6’da A ve B kavşakları kendi aralarında senkronize, C ve D kavşakları da kendi aralarında senkronize olarak çalışmakta, (A-B) ve (C-D) senkronize kavşak grupları ise alternatif olarak çalışmaktadır.



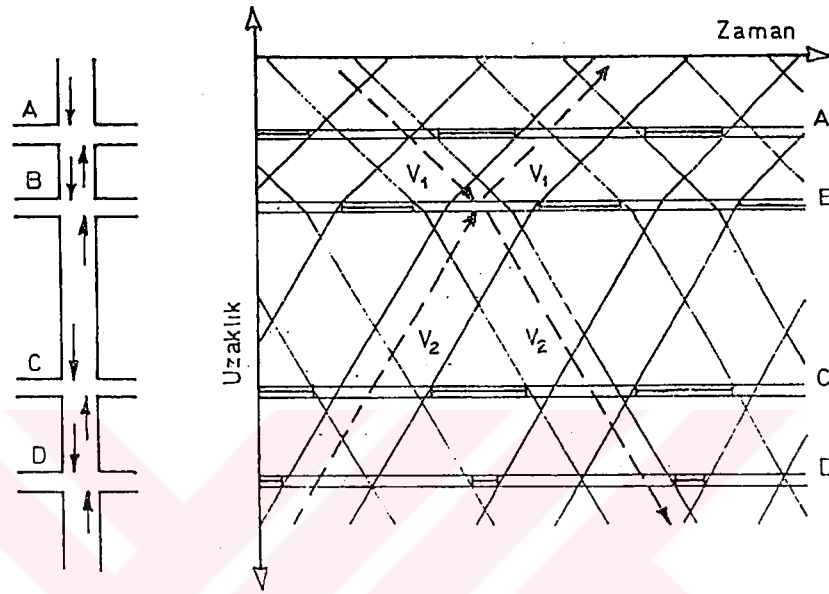
Şekil 3.6. Değişken (Alternatif) Senkronize sistem (30)

3.3.2.3. Progresif sistem

Bu sistemde, anayol üzerindeki tüm kavşaklar için gerekli yeşil süreler, proje hızına uygun olarak seyreden bir taşıtın bütün kavşaklardan takılmadan geçebileceği biçimde ayarlanmıştır (Şekil 3.7) (30). Progresif sistemde, birbirine farklı mesafelerde olan kavşaklar arasında taşıtların seyretmeleri gereken hız HIZ LAMBALARI ile sürücülere bildirilir.

Bu sistemde, anayoldaki iki yönlü trafik akımının her iki yönüne de aynı ışıklı sinyaller verilmektedir. Şekil 3.7’de de görüldüğü gibi, A kavşağında yeşil ışıktaki geçen bir taşıt, B kavşağına kadar V_1 hızı ile seyrettikten sonra hızını V_2 ’ye yükseltirse, C ve D kavşaklarından durmadan geçebilir. Yine aynı şekilde D

kavşağından V_2 hızı ile yaklaşan bir taşıt A kavşağında takılmamak için hızını V_1 'e düşürecektir.

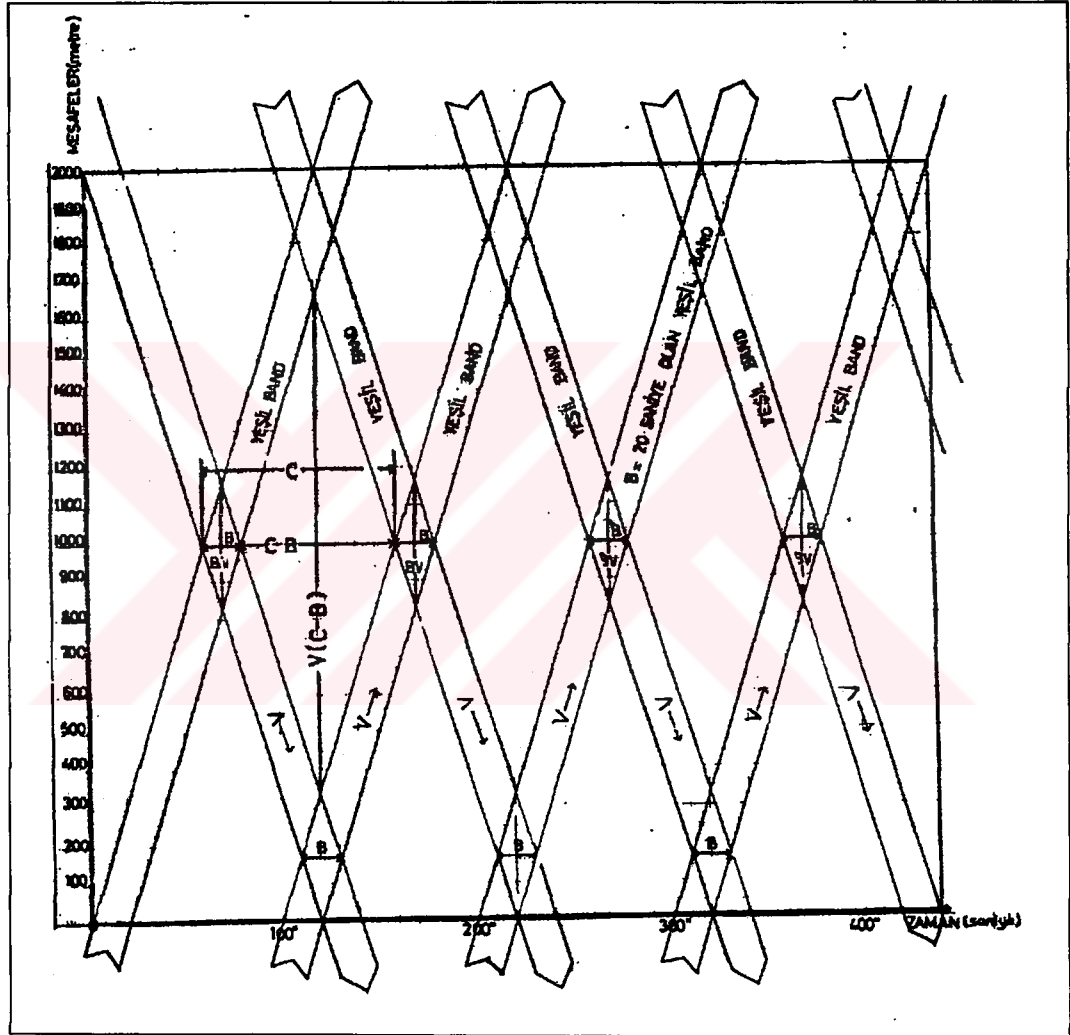


Şekil 3.7. Progresif sistem (30)

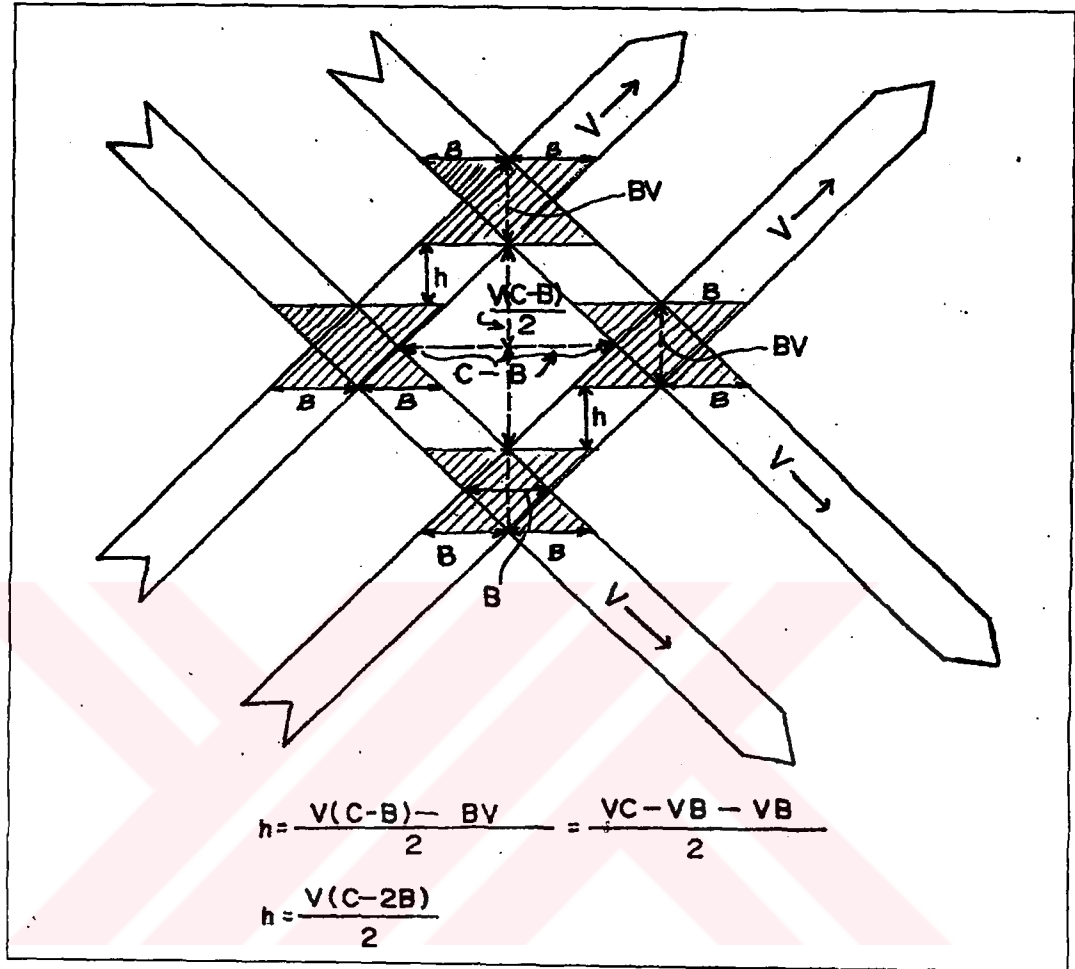
Progresif sistemlerde, belirli hız limitleri dışına çıkmadan seyreden taşıtların, kavşaklarda durmadan geçebilmeleri için Mesafe-Zaman diyagramı üzerinde *Yeşil Dalga* bandı üzerinde bulunmaları gereklidir.

Şekil 3.8’de örnek bir Yeşil Dalga planı görülmektedir. Bu plan hazırlanırken öncelikle hız ve bant genişliği belirlenir. Daha sonra aynı ölçekte çizilen kavşak arası mesafe şablonu aşağı yukarı oynatılarak maksimum toplam yeşil zamanı veren pozisyon aranır. Mevcut durumda maksimum toplam yeşil zamanı veren uygun bir pozisyon bulunamazsa bant genişliği B değiştirilip tekrar deneme yapılır. Tespit edilen bu bant “Progresif Yeşil Dalga” bandıdır (23).

Şekil 3.9'da görüldüğü gibi Yeşil Dalganın iki yönü kapsamaları için, her kavşak çizgisinin taralı bölge içinde olması gerekir. Kavşak çizgisi taralı alanın dışında kalır ise, iki yönün yeşil dalgası arasına kırmızı ışık girer ki, bu da kayıp zaman demektir (23).



Şekil 3.8. Yeşil dalga planı (23)



Şekil 3.9. Yeşil dalga planı detayı (23)

3.3.2.4. Arazi (alan) trafik kontrol sistemi

Simultan, Değişken ve Progresif sistemler; aynı doğrultu üzerinde yer alan kavşaklar arasında gecikmeleri azaltmak ve en uygun işletim sistemini gerçekleştirmek için kullanılır. Farklı doğrultular üzerinde bulunan kavşaklardaki trafik akımlarının minimum gecikme ile akmasını sağlayacak sistem Arazi (Saha) Trafik Kontrol sistemidir. Bu sistem özellikle büyük kentlerin ana arterlerinde oluşan yol şebekelerinde uygulanır. Sistem üç aşamada gerçekleştirilir. Bu aşamalar (30):

1. Sistemin kurulduğu çevrede, trafik özellikleri ile ilgili bilgilerin dedektörler aracılığıyla sürekli olarak toplanması ve bu bilgilerin merkez kontrol birimine iletilmesi,

2. Elde edilen verilere göre önceden hazırlanmış sinyal programları arasından en uygun olanının seçilmesi,
3. Seçilen program veya programların sinyalizasyon tesislerine iletilerek kontrol cihazlarının istenen programı uygulamaya geçirmesidir.

3.3.3. Sinyalizasyon sistem seçimi

Bir kavşakta kurulacak sinyalizasyon sisteminin öncelikle sabit zamanlı olması düşünülür ve bundan sonra trafik akım özelliklerine göre kavşağın yarı veya tam trafik uyarmalı olarak işletilmesine karar verilir. Kavşağın sabit zamanlı olarak çalıştırılması için, kent içinde kavşak kollarının toplam yükünün saatte minimum 750 taşıt, kent dışında ise minimum 625 taşıt olması gereklidir (23). Kavşaklar arasında bir koordinasyon düşünülüyorsa önce her kavşak izole olarak projelendirilir ve daha sonra geometrik özelliklere göre kavşaklar arasında koordinasyon kurulur. Koordinasyon kurulurken bir kavşak diğerine oranla daha önemli ise, bu kavşak anahtar kavşak olarak kabul edilir ve diğer kavşaklardaki uygulamalar bu anahtar kavşağa göre ayarlanır (30).

Tam Trafik Uyarmalı Sistem Seçimi kriterleri: Bu sistem aşağıdaki durumlardan en az birinin gerçekleşmesi durumunda uygulanır:

- Kavşakta toplam trafik akımının fazla olmaması,
- Kavşak trafik akımlarının kısa aralıklarla değişiklik göstermesi,
- Kavşaktaki trafik akımlarının ortalama değerlerden farklılık göstermesi ve dengeli olmaması.

Yarı Trafik Uyarmalı Sistem Seçim Kriterleri: Bu sistem aşağıdaki durumlardan en az birinin gerçekleşmesi durumunda uygulanır:

- Anayol trafiği ile tali yol trafiği yüklerinin oranının $1/8$ veya daha küçük olması,

- Tali yol trafiğinin yalnız yüksek trafik yoğunluklarının olduğu saatlerde fazla olması,
- Anayol trafiği ile tali yol trafiği yaklaşımlarındaki %85 hızlar arasında 30 km/saat veya daha fazla fark olması,
- Anayol trafiği ile tali yol trafiğindeki hizmet düzeylerinin birbirinden çok farklı olması,

Yaya Uyarmalı Sistem Seçim Kriterleri: Kavşak olmayan yerlerde sinyalizasyon edilen yaya geçitleri (belirli bir koordine sistem uyarınca sabit zamanlı olarak çalışmaları gerekmedikçe), yayalar tarafından uyarmalı olarak tesis edilirler. Koordine sistemlerdeki sinyalizasyon yaya geçitleri de yaya uyarmalı olarak çalışabilir.

Koordine Sistemlerin Seçim Kriterleri: Sinyalizasyon iki kavşağın aralarında bir koordinasyon kurulabilmesi için kavşakların birinde kırmızı ışıkta bekledikten sonra geçiş hakkı elde ederek diğer kavşağa doğru yaklaşan taşıtların dalga hareketlerinin bozulmaması, diğer bir deyişle iki kavşak arasındaki trafik akımının gelişigüzel değil gruplar halinde olması gereklidir. Sinyalizasyon edilen iki kavşak arasındaki uzaklık 750 metreden daha az ise dalga hareketleri bozulmayacağından, bu kavşaklar arasında koordinasyon kurulabilir. Koordine sistemler daha uzak kavşaklar arasında da kurulabilir, ancak bu sistemin başarısı, dalga hareketinin bozulmasını önlemek için taşıt hızlarının belirli düzeyde tutulmasına bağlıdır.

3.3.3.1. Kentiçi trafik kontrol sistemleri

Akdoğan (2001)'e göre (28);

“Kentiçi trafik kontrol sistemlerinde (Urban Traffic Control Systems UTCS) sabit veya değişken zamanlama planlarıyla kavşaklar bir merkezden kontrol edilir. Bu sistemde planların temelini haftanın günleri ve günün saatleri oluşturur. Kontrol stratejileri üç kuşaktır:

Birinci Kuşak (1-GC): Planlar önceden yapılmış gözlemlere göre hazırlanır. Sayım sonuçlarına göre sinyal süreleri hesaplanarak kontrolöre girilir.

İkinci Kuşak (2-GC): Gerçek zamanlı veya önceden elde edilmiş verileri sinyal zamanlamada kullanan online stratejileri uygular. Optimizasyon işlemi her 5-10 dakikada bir tekrarlanır.

Üçüncü Kuşak (3-GC): Online trafik kontrol sistemidir ve tam trafik uyarımlı çalışır. Her plan 3-5 dakikada bir kontrol edilerek gerekiyorsa değiştirilir ve süreler akım taleplerine göre ayarlanır.”

3.3.4. Akıllı Ulaşım Sistemleri ITS (Intelligent Transportation System)

ITS (Intelligent Transportation System) Akıllı Ulaşım Sistemleri, tüm ulaşım türlerinde kapasite, güvenlik, verimlilik, hız, servis kalitesinin artırılması, çevre kalitesinin yükseltilmesi, enerji tasarrufu ve hareketliliğin geliştirilmesi için kullanılmaktadır (33, 34).

Akıllı Ulaşım Sistemleri, ulaşım ağının işletilmesine yardımcı olmak amacıyla bilgi, haberleşme ve kontrol teknolojilerini kullanan sistemlerdir. Bunun için, ileri algılama, bilgisayar, elektronik, iletişim teknolojileri ve yönetim teknikleri gibi uzmanlık alanlarından faydalanılmaktadır.

ITS sisteminin temel bileşenleri; Uzaktan algılama, GPS (iletişim), GIS (bilgi) ve Navigasyon (entegrasyon) dur. Uzaktan algılama, arada fiziki bir temas olmadan cisimler hakkında bilgi toplama işlemidir. Sistemin en büyük avantajı zamandır. Toplanan bilgilerin sürekliliği vardır, digital ortama uyumludur ve bilgilerin birbirleri ile mukayesesi mümkündür.

Global Konum Belirleme Sistemi (GPS), dünyanın etrafından bulunan uydu esas alınarak herhangi bir noktanın kesin konumunu belirleyen sistemdir. GPS alıcıları, yeryüzünde bulunan noktayı x,y,z koordinatlarına göre belirler.

Coğrafi Bilgi Sistemleri ise toplanan verilerin kullanımına olanak sağlayan sistemlerdir. Bu sistemle, bilginin toplandığı yere ve bölgeye ilişkin coğrafi veriler toplanmakta, depolanmakta, bu verilerin veri tabanı işlemleri oluşturulmakta, sorgulamalar, dönüşümler ve coğrafi analizler ile bilgiler coğrafi bilgiye dönüştürülmektedir.

3 boyutlu konu belirleyen Navigasyon sistemlerinde ise seyir, güzergah, yol durumu, mesafe, hava şartları vb. verilerin elde edilip işlenmesiyle kullanıcılara güvenli, hızlı ve konforlu bir hizmet verilmesi sağlanmaktadır.

Bazı ITS uygulamaları şunlardır (1, 34):

Değişebilir mesaj işaretleri (variable message sign VMS): Özellikle otoyollar ve ekspres yollar ile kent içindeki önemli ana arterler üzerindeki trafiğin düzenlenmesi için kullanılırlar. Bu işaretler sürücülere yol, trafik ve çevre durumu hakkında gerçek zamanlı bilgi aktarırlar.

Yön kontrol işaretleri: Bu işaretler kentiçi yollarda önceden geliş-gidiş olarak çalıştırılan yol şeritlerinin o anda hangi yönde kullanılacağına ilişkin bilgi verir. Özellikle pik saatlerde trafik akımının yönünü değiştirmek için kullanılırlar.

Otomatik taşıt tanıma sistemi: Yollardaki hız limitlerinin ihlal edilmesi, kavşaklarda trafik ışıklarının ihlal edilmesi, otobüs önceliği uygulamalarında şerit sınırlarının ihlal edilmesi gibi durumlarda lokal kontrolöre bağlı digital bir kamera üzerinden, ihlali yapan taşıtın resimlenmesi ve resmin trafik merkezine iletilmesi amacıyla kullanılır.

Park yeri bilgi sistemi: Özellikle kalabalık kent merkezlerinde, park edecek taşıt sürücülerine park yerlerini, parkın doluluk durumunu, park tarifeleri ve sürelerini bildiren sistemlerdir.

Otomatik geçiş sistemi (OGS): Otomatik Geçiş Sistemi, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğunda işletilmekte olan Boğaz Köprüleri ile otoyollarda yeni bir geçiş ücreti ödeme yöntemidir. Bu sistemde yol üzerindeki otomatik geçiş şeritleri kullanılır. Bu şeritten geçen taşıtlara takılı durumdaki elektronik etikete, geçiş esnasında hangi otoyola nereden, ne zaman girildiği kaydedilir. Otomatik geçiş şeridinden çıkış yapılırken, elektronik etiket üzerindeki giriş bilgileri okunur ve gişe bilgisayarları tarafından ücret tahakkuk ettirilerek, kullanıcının banka hesabından tahsil edilir (35).

4. KAVŞAKLARDA SİNYALİZASYON HESABI

Sinyalize olarak çalıştırılacak bir kavşakta; periyot süresinin, faz düzenlerinin, yeşil sürelerin, yeşiller arası sürelerin, koruma sürelerinin ve yaya geçiş sürelerinin belirlenmesi gereklidir.

Bu bölümde; periyot süresi, faz düzenleri, yeşil ve yeşiller arası süreler, koruma süreleri, toplam kayıp süre ve yaya geçiş süreleri ile bu sürelerin belirlenme kriterleri açıklanmakta, literatürde yer alan 4 tip sinyalizasyon hesap yöntemi; İngiliz yöntemi (Webster), Avustralya yöntemi, Amerika yöntemi (Highway Capacity Manual 1994) ve Özdirim yöntemleri incelenmektedir.

4.1. Periyot Süresi

Periyot süresi (C), 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). Periyot süresi, trafik akımları için ayrılan yeşil süreler ile yeşiller arasındaki sürelerin (kayıp zaman) ve koruma sürelerinin toplamından oluşur (36). Bu süre içerisinde kavşaktaki tüm hareketler tamamlanır. Sinyalize bir kavşağın projelendirilmesinde; kavşağın geometrik özellikleri, faz düzeni ve trafik koşulları göz önüne alınarak hesaplanan *Periyot Süresi (C)* nin hesaplanması projenin hemen hemen en önemli bölümüdür (30). Periyot süresini hesaplayan temel eşitlik, Eşitlik 4.1’de görülmektedir.

$$C = \sum_{i=1}^n G_i + \Delta t \quad [4.1]$$

- C = Periyot süresi (saniye)
- n = Faz sayısı
- G_i = i fazına ait yeşil süre (saniye)
- Δt = Toplam kayıp süre (saniye)

Sinyalize bir kavşağın herhangi bir fazında, birden fazla yöne hareket eden taşıt akımı aynı anda yer alabilir (düz giden, sağa dönen, sola dönen taşıtlar). Bir faz içindeki bu değişik akımlardan, otomobil eşdeğer birimi olarak şerit başına düşen yükü en yüksek olan akım o fazı kontrol eden akımdır ve **Etkili (Dominant) Akım** olarak ifade edilir. Birbirini izleyen fazlardaki en yüksek trafik yüklerinin toplamı da **Toplam Etkili Akım**dır. Periyot süresinin hesaplanmasında kullanılan yöntemin özelliğine göre çeşitli faktörler göz önüne alınmakla birlikte, **Etkili Akım** en önemli faktördür. Hemen hemen bütün yöntemlerde, etkili akım içindeki taşıtlara verilecek yeşil süreler; periyot süresinin ve geçirecekleri akım yüklerinin bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkar (30).

Sinyalize bir kavşağın yüksek kapasitede çalışabilmesi o kavşak için uygun periyot süresinin seçilmesine bağlıdır. Pratikte periyot süresi 30 saniyeden daha kısa olan bir kavşak için sinyalizasyon tesisi kurmak gerekli değildir. Ancak, kavşakta trafik kazası kriterleri gerçekleşmişse kısa periyot süresine sahip bir sinyalizasyon tesisi kurulabilir. Bir kavşakta yayalara verilecek yeşil sürenin de 6 saniyeden az olmaması gereklidir (30).

Periyot süresinin çok uzun olması ise ışık ihlallerine neden olur. Bu nedenle maksimum periyot süresi 135 saniye olarak kabul edilmektedir. Hesaplanan periyot süresinin 135 saniyeyi geçtiği kavşaklarda şerit sayısı artırılarak ya da kavşak tipi değiştirilerek periyot süresi azaltılabilir (23).

Bugüne kadar periyot süresinin hesaplanması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin çoğu ampirik karakter taşır. Sinyalize edilecek alandaki gecikmelerin minimuma indirilmesi ve bu alanın kapasitesinin göz önünde tutulmasını öngören rasyonel yöntemler, bazı parametrelerin saptanmasında deneysel sonuçları ve ampirik denklemleri kullanmaktan kaçınmamaktadır. Bunun nedeni, taşıt özellikleri ile yaya ve sürücü davranışlarının kesin teorilerle açıklanamamasından kaynaklanmaktadır (30). Bu tez çalışmasında, geliştirilen periyot süresi modeli de ampirik karakter taşımaktadır.

4.2. Faz Düzenleri

Faz, bir veya daha çok aralığı kapsayan ve sinyal devresinin belirli bir trafik akımını veya akımlarını aynı anda öngören bölümüdür. Seçilecek faz sistemi, kavşağın geometrik yapısına, kavşağa giriş yapan kol sayısına, kavşakta dönüş yapan akımların sayısına ve kavşakta kesişen akımlara bağlıdır (38). Bir fazda, yeşil olan akımların başlangıç ve bitiş zamanlarının eşit olması zorunlu değildir. Alternatif faz düzenlemeleri için dikkate alınacak akım türleri şunlardır:

- *düz giden akım (through flow)*
- *sağa dönen akım (right turning flow)*
- *sola dönen akım (left turning flow)*

Faz düzenlemelerinde dönen akımlara ilişkin değerlendirmeler çok önemlidir. Dönüşler, sağa veya sola dönüş yapan akımların çakışacağı başka bir akımın aynı anda yol hakkına sahip olup olmadığına bağlı olarak iki farklı şekilde yapılabilir (1, 39):

İzinli dönüş: Sağa veya sola dönen akımın, taşıt ve/veya yaya akımı ile bir çakışmasının mevcut olduğu, ancak, buna rağmen dönüş yapan akım için geçiş hakkı kullanımına izin verilen dönüştür. Bu tip izinli dönüşlerde, taşıt sağa dönüyor ise geçiş önceliğini yayaya, taşıt sola dönüyor ise geçiş önceliğini düz giden taşıtlara vermelidir ve bu durum sürücülere gerekli uyarı işaretleri ile bildirilmelidir.

Yasaklı dönüş: Sağa veya sola dönen akımın, taşıt ve/veya yaya akımı ile bir çakışmasının mevcut olduğu ve geçiş hakkının bu akımlara verilip dönüş yapan akımlar için yasaklandığı dönüştür.

Faz düzenlemelerinde izinli dönüş uygulamalarının yapılabilmesi için, dönüş yapacak akımın çakışacağı akımlar içerisinde yeterli boşluğun olması, görüş şartlarının iyi olması ve dönen akımlara ilişkin hızların kabul edilir sınırlar içinde

olması gereklidir. Bu kriterler sağlandığı takdirde dönüşler izinli olarak uygulanabilir, aksi halde dönüşlerin yasaklanması gerekir (39).

Fazların düzenlenmesinde iki farklı yaklaşım söz konusudur. Bu yaklaşımlar “*Faz Kontrolü Yaklaşımı*” ve “*Grup Kontrolü Yaklaşımı*” dır (1).

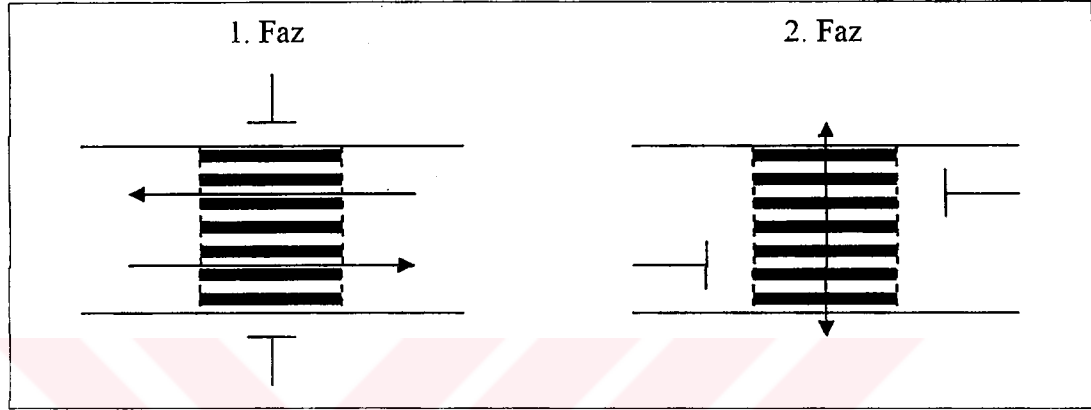
Faz Kontrolü Yaklaşımı: Sinyal zamanlamasında fazların belirleyici olduğu bir kontrol yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda sayıları ve sıraları önceden belirlenmiş olan fazlara, periyot süresi boyunca tahsis edilecek olan sürelerle bu sürelerin başlama ve bitiş anlarının belirlenmesi esas alınmaktadır. Bir faz içinde geçiş hakkı alan tüm akımlar için sinyal parametrelerinin belirlenmesi, o faz için hesaplanan süreye bağlı olarak yapılır. Bu yaklaşım tarzına göre, kavşakta kayıp sürelerin en aza indirilmesi amacıyla faz sayılarının en aza indirilmesi amaçlanır (1). Bu tez çalışmasında, geliştirilen modelde fazların “*Faz Kontrolü Yaklaşımı*” ile düzenlenmesi fikri esas alınmıştır.

Grup Kontrolü Yaklaşımı: Sinyal zamanlamasında fazlar yerine akımların belirleyici olduğu kontrol yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda, akım gruplarına periyot süresi boyunca tahsis edilecek olan sürelerle bu sürelerin başlama ve bitiş anlarının belirlenmesi esas alınmaktadır (1).

Faz dağılımında çatışan ve çatışmayan akımlar arasında ayırım yapılır. Sinyalize bir kavşakta en az 2, en fazla 4 fazlı sistemler uygulanır. Taşıt trafiği ile birlikte yaya trafiğinin çok yoğun olduğu bazı kavşaklarda, özel yaya fazları düzenlenebilir. Faz sayısının çok olması, her faz arasındaki yeşiller arası süreyi (sarı ışık süresi + her yöne kırmızı süreyi de kapsayan süre) dolayısıyla periyot süresini artırır (40). Bu nedenle, sinyalize bir kavşak tesis edilirken faz sayısının mümkün olduğu kadar azaltılmasına çalışılmalıdır (30).

4.2.1. Sinyalize yaya geçitleri

Kavşak olmayan yerlerde yaya geçitlerinin sinyalize edilmesinde, taşıtlar ve yayalar olmak üzere 2 faz kullanılır (Şekil 4.1) (41).

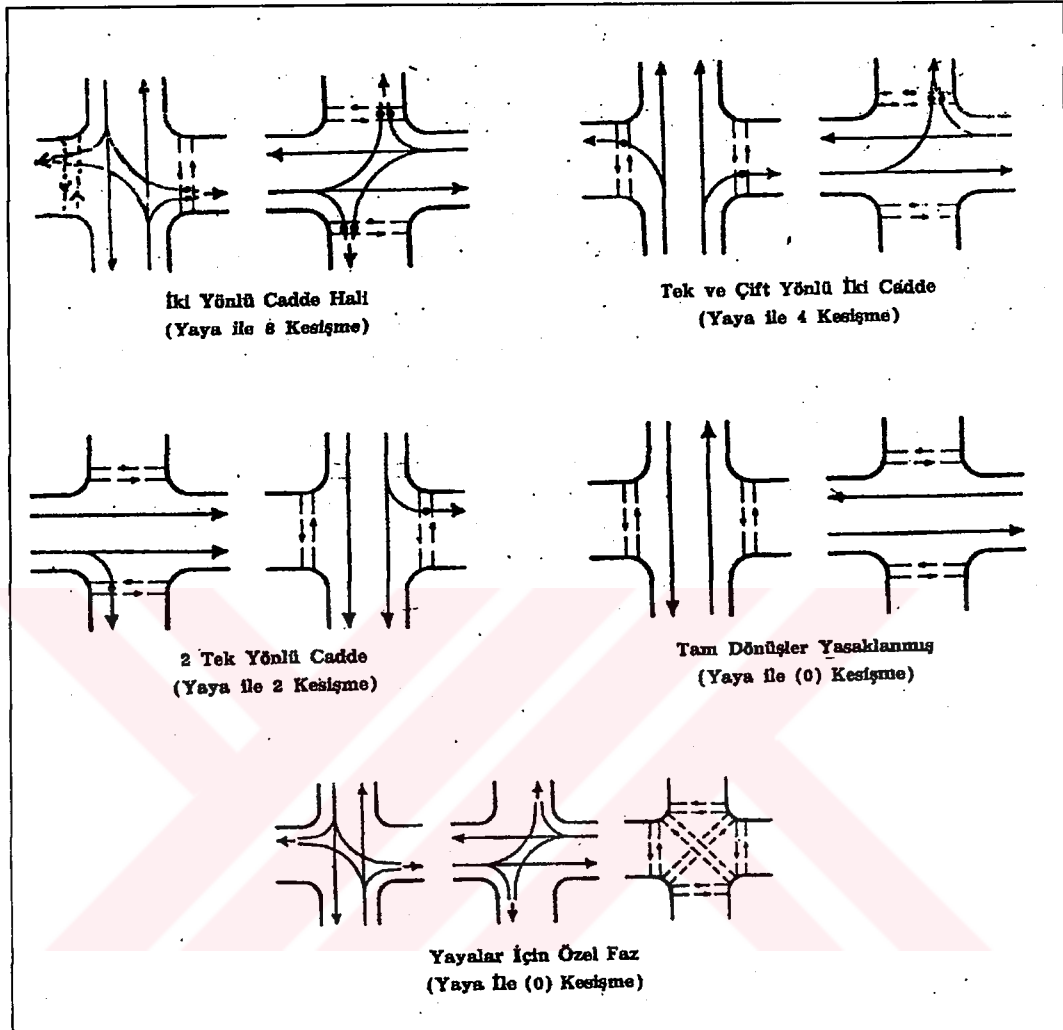


Şekil 4.1. Yaya geçidi fazları (30)

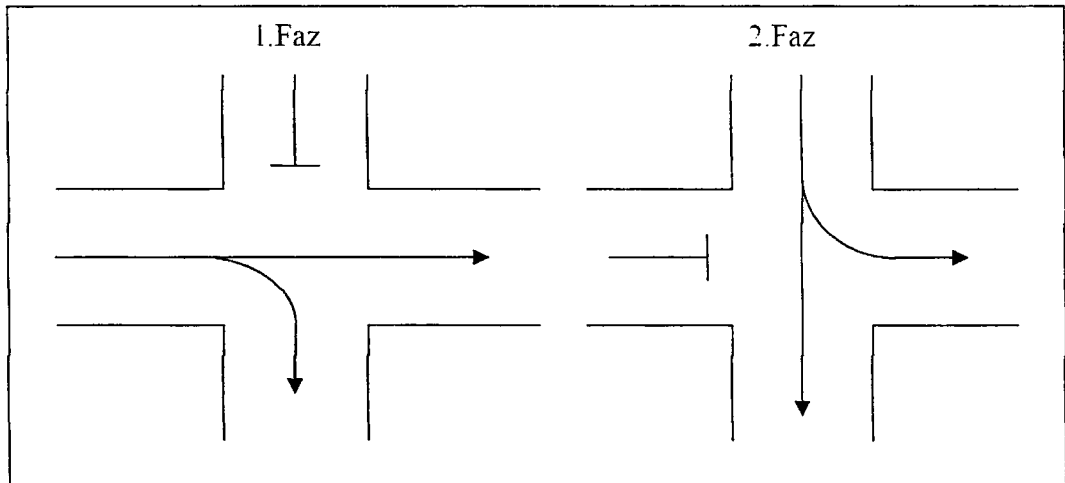
Sinyalize kavşaklarda yaya emniyetini artırmak için tek yön yol uygulaması yapılabilir. Yayalara geçiş hakkı kavşaktaki fazlar içerisinde sağlanabileceği gibi, yayalar için en emniyetli sistem olan özel yaya fazı uygulaması da yapılabilir (Şekil 4.2).

4.2.2. Tek yönlü yolların kesiştiği kavşaklar

Tek yönlü yolların oluşturduğu kavşaklarda, tali yoldan ana yola ve/veya ana yoldan tali yola katılan trafik sola dönüş yapıyorsa ve bu akım yoğun ise sinyalizasyon gerekebilir. Tek yönlü yolların kesiştiği dört kollu bir kavşakta ise 2 fazlı bir düzen yeterlidir (Şekil 4.3).



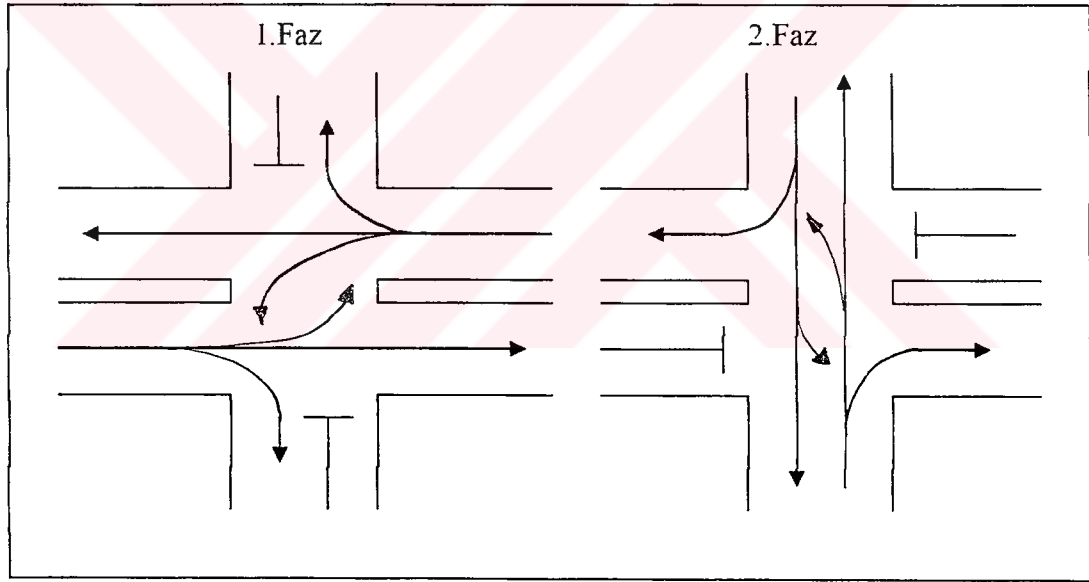
Şekil 4.2. Kavşakta yaya geçişleri (23)



Şekil 4.3. Tek yönlü, dört kollu bir kavşakta 2 fazlı sistem (30)

4.2.3. Sola dönüşlerin az olduğu kavşaklar

İki yönlü akımı bulunan kavşaklarda sola dönüş yapan taşıt hacmi az ise, bunların sola dönüşleri için özel bir faz gerekmez. Sola dönüş yapacak taşıtların keseceği trafik akımının arasında boşluklar olmasa bile, az sayıdaki sola dönmek isteyen taşıtlar, fazların değişimi sırasında yeşiller arası süreden faydalanarak dönüş manevrasını tamamlayabilir (42). Kavşak alanının geniş ve yeterli olması halinde, sola dönüş yapacak taşıtlar bu alanda depolanabilir ve yeşiller arası sürenin uzatılmasıyla, ek bir faz uygulamadan sola dönüşler sağlanabilir (30). Şekil 4.4’de iki yönlü yolların kesiştiği dört kollu ve sola dönüşlerin az olduğu bir kavşakta 2 fazlı sinyalizasyon sistemi görülmektedir.



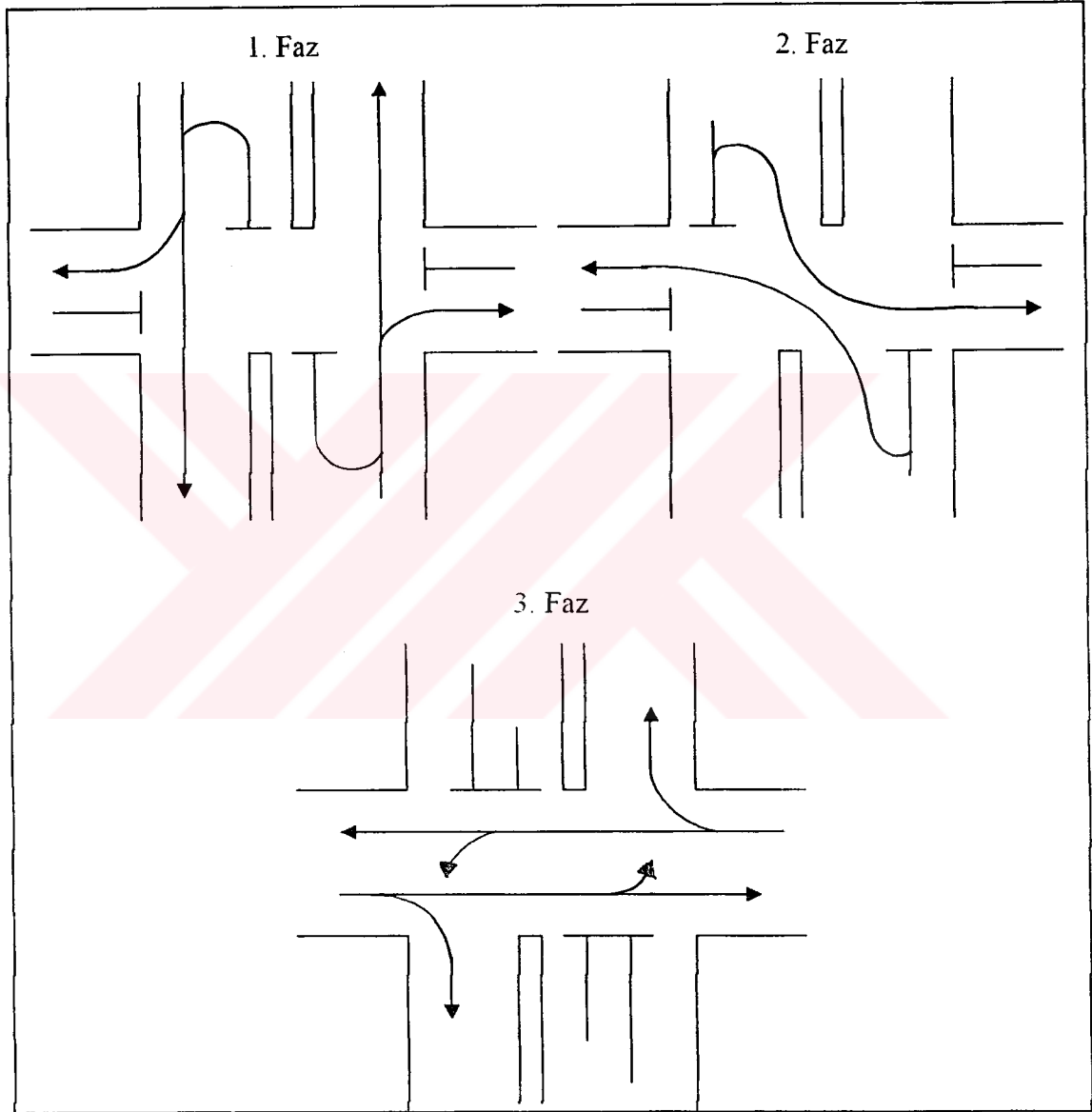
Şekil 4.4. Sola dönüşlerin az olduğu kavşakta 2 fazlı sistem (30)

4.2.4. Üç ve dört faz uygulamaları

Kavşakta; çatışan akımların görüş olanağı az, düz giden akımların hızı fazla ve sola dönüş yapan taşıtların sayıları fazla ise, çok fazlı düzen uygulanması gerekir. 3 ve 4 fazlı sistemlerde faz düzeni saptanırken, sola dönüş yapan trafik yoğunluğu ile beraber kavşak geometrisi de göz önünde bulundurulmalıdır (30).

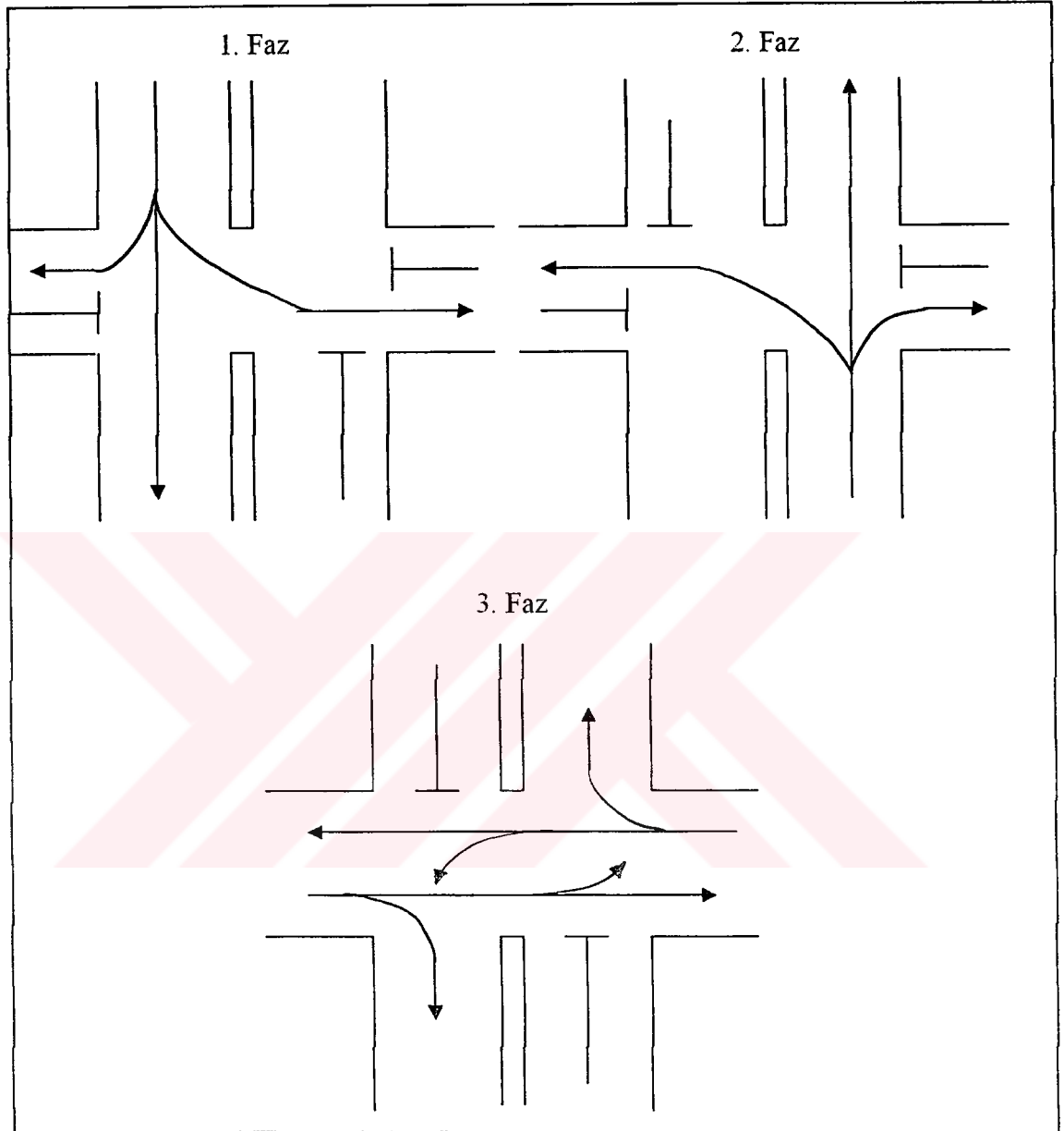
4.2.4.1. Karşılıklı iki sola dönüşün yoğun olduğu kavşaklar

Sola dönüşler için yeterli sığınma şeridi varsa, Şekil 4.5’de görüldüğü gibi 3 fazlı bir sistem uygulanabilir. Bu düzende yoğun olan sola dönüşler için bir faz ayrılmaktadır (39, 43).



Şekil 4.5. Sola dönüş için ayrı fazı olan 3 fazlı sistem (30)

Kavşakta sola dönüşler için yeterli sığınma şeridi yoksa Şekil 4.6’daki faz düzeninin uygulanması daha uygun olur. Bu sistemde yoğun olan sola dönüş akımlarına, düz giden akımlarla beraber geçiş hakkı verilmektedir.

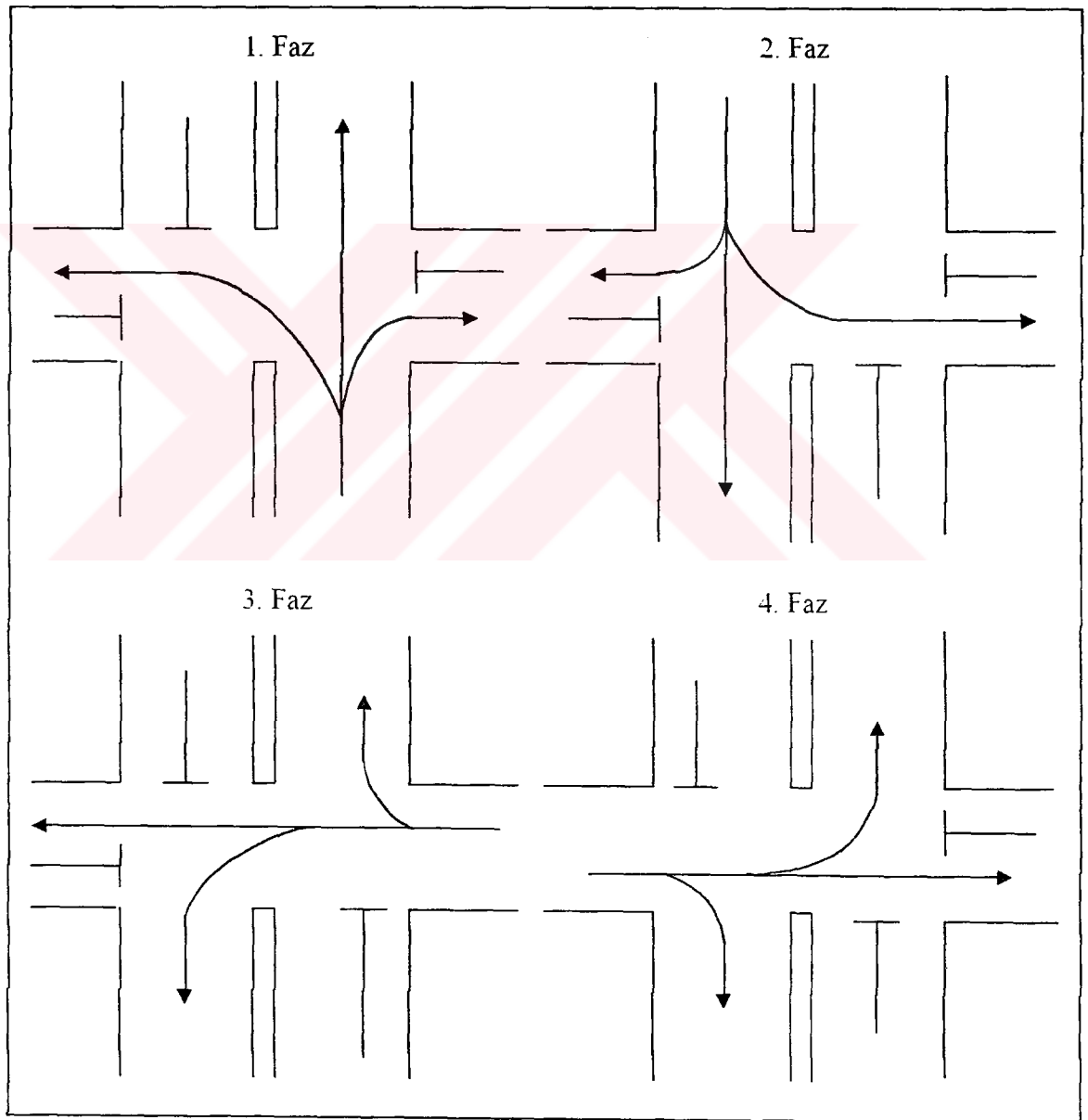


Şekil 4.6. Sola dönüşleri birlikte 3 fazlı sistem (30)

4.2.4.2. İki'den fazla sola dönüşün yoğun olduğu kavşaklar

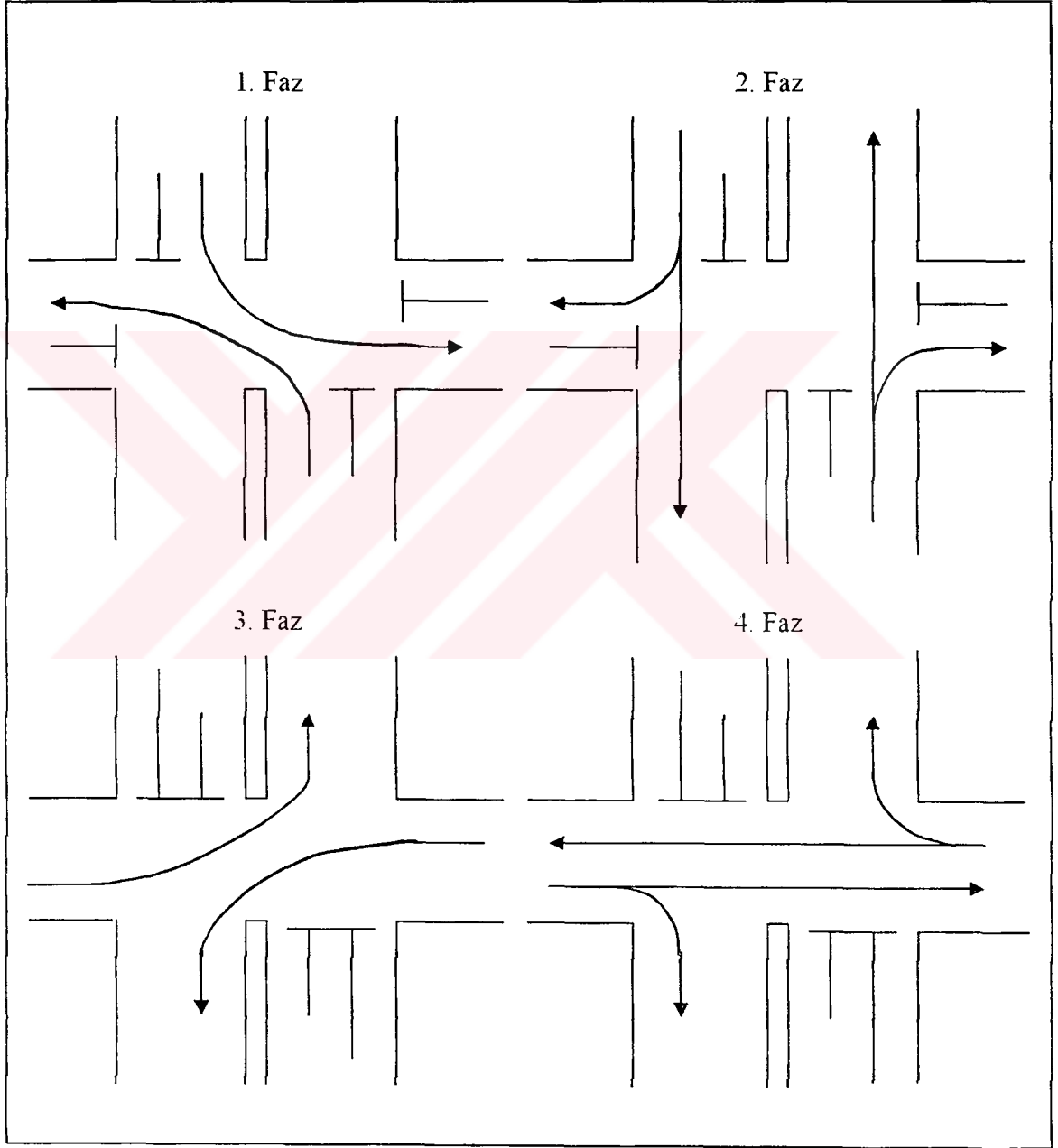
Bir kavşakta her iki yöndeki akımın sola dönüşleri yoğun ise, bu kavşakta 4 fazlı bir sistem uygulanması yerinde olur (Şekil 4.7). 4 fazlı sistemde kavşak kollarının her biri için ayrı bir faz uygulanır ve kavşak içindeki kesişmeler minimuma iner (43). 4 kollu bir kavşakta 4 faz uygulaması en emniyetli durumdur. Ancak, bu sistemde

periyot süresi dörde bölündüğünden, her faz için ayrılan yeşil süre azalacak ve kavşağın kapasitesi düşecektir. 4 fazlı olarak çalıştırılacak bir kavşakta, fazlar değişik sıralarda düzenlenebilir. Ancak kayıp zamanın minimum olmasını sağlayabilmek için, birbirini izleyen fazların saat yönünde olmasına çalışılmalıdır. Bunun nedeni, kavşağı boşaltmakta olan son taşıt ile, kavşağa girecek ilk taşıtın arasındaki mesafenin bu durumda en fazla olmasıdır.



Şekil 4.7. 4 fazlı sistem (23)

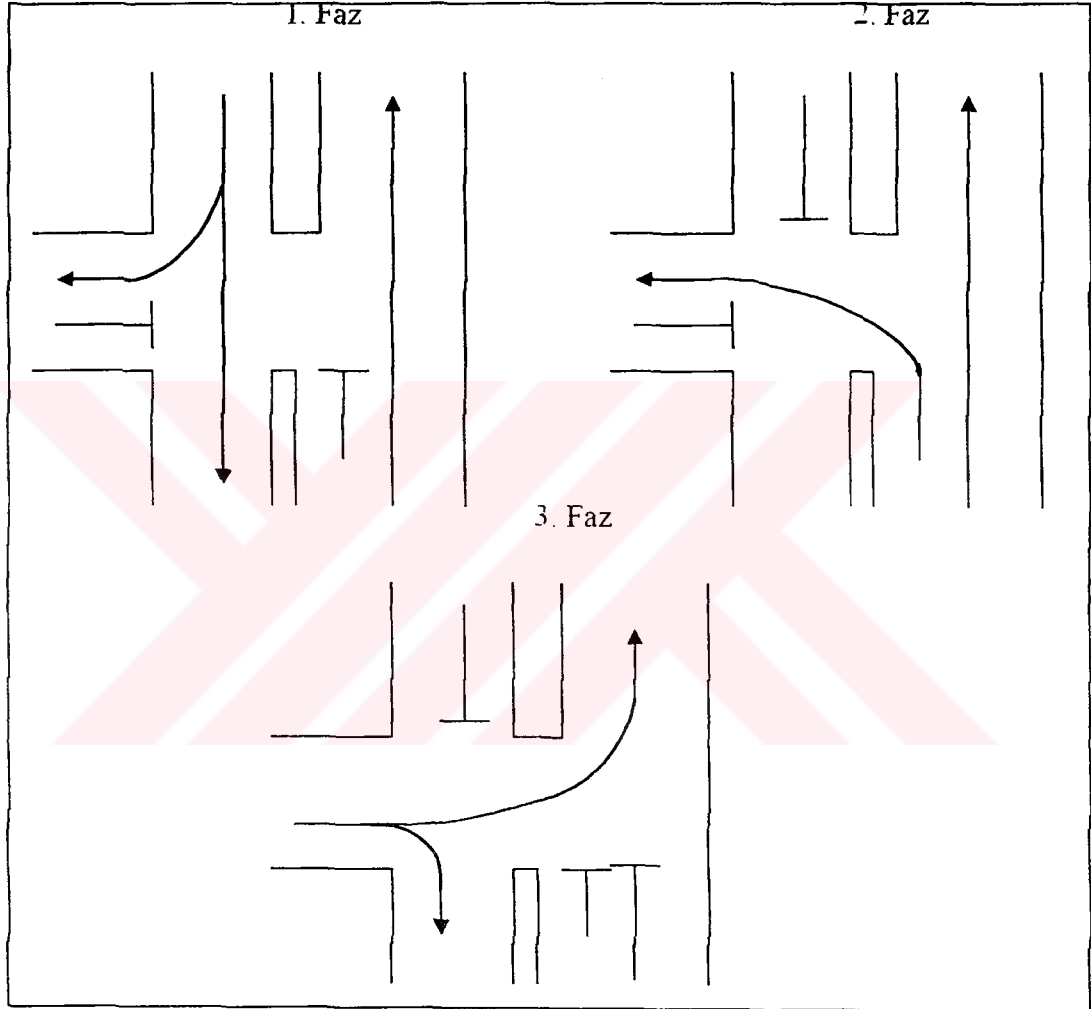
Amerikan tipi sola dönüşlerde, her iki akım yönündeki sola dönüşler ayrı birer faz olarak düzenlenmektedir ve bu yöntemde sola dönen taşıtlar birbirlerinin sağından geçerek dönerler (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Amerikan tipi sola dönüşler (23)

4.2.4.3. Sola dönüşlerin yoğun olduğu T kavşaklar

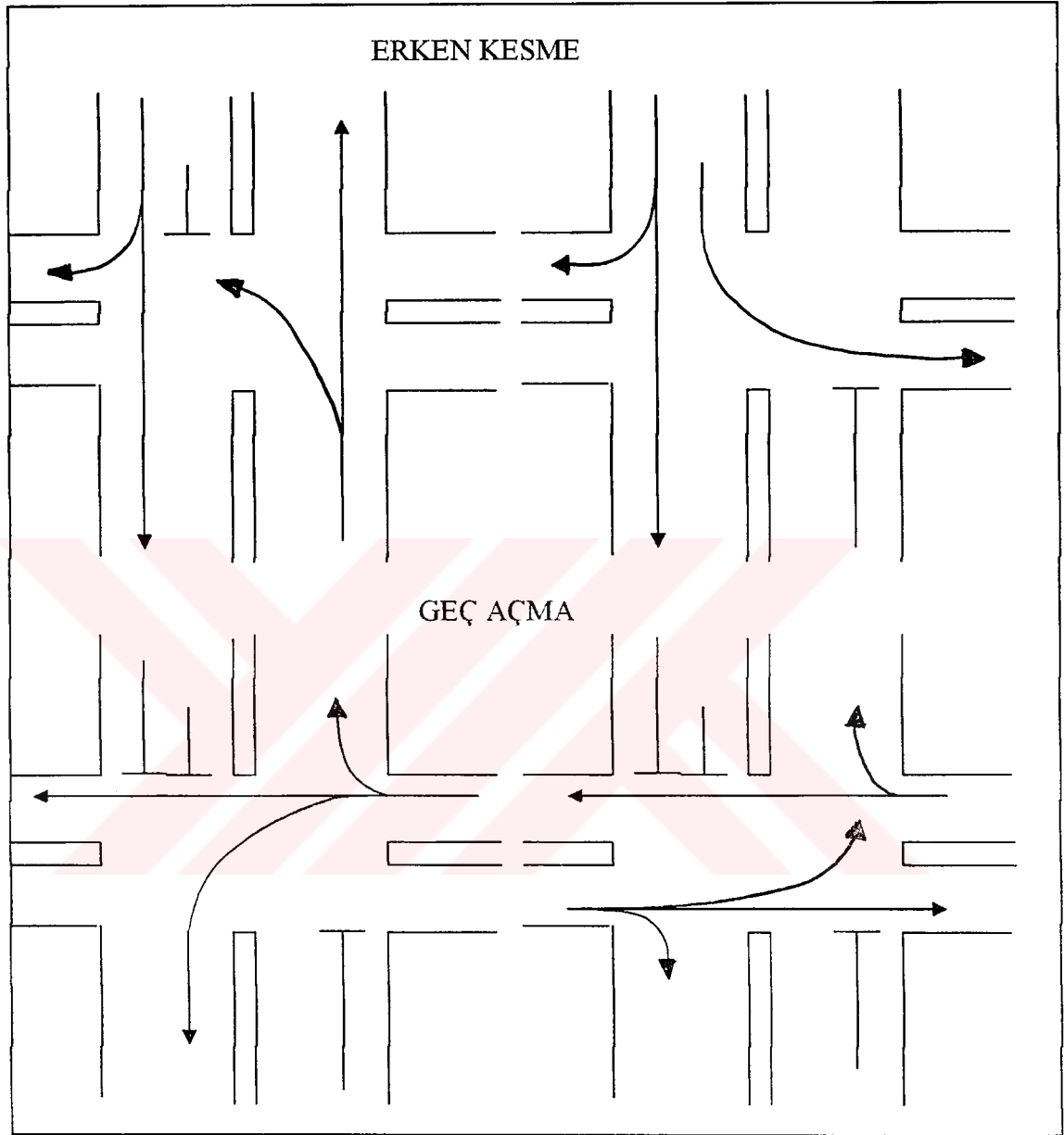
Bu tip kavşaklarda da genellikle 3 fazlı sistem uygulanır. Şekil 4.9’da böyle bir kavşakta uygulanabilecek 3 fazlı bir sistem görülmektedir.



Şekil 4.9. Sola dönüşlerin yoğun olduğu T kavşaklarda 3 fazlı sistem (30)

4.2.5. Erken kesme (early cut off) ve geç açma (late start)

“*Erken Kesme*”, karşılıklı düz giden iki akıma geçiş hakkı verilirken, aynı faz içinde düz giden bu iki akımdan birinin durdurularak karşı yönden gelen ve sola dönmek isteyen taşıtlara yol verilmesidir. “*Geç Açma*” ise, karşılıklı düz giden iki akımdan birisine (düz giden ve sola dönmek isteyen), fazın ilk hareketi olarak geçiş hakkı verilirken diğerine geçiş hakkının bir süre sonra verilmesidir (Şekil 4.10).

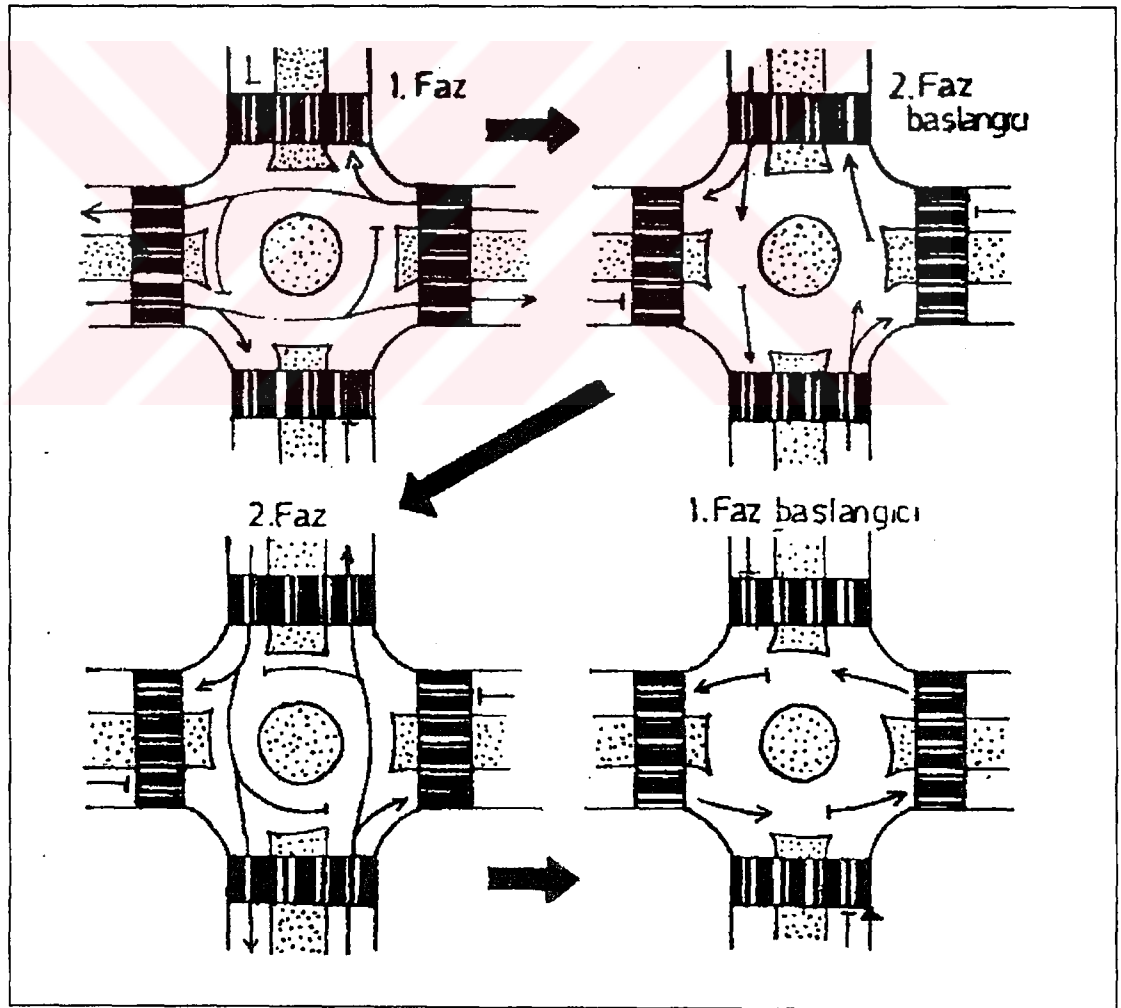


Şekil 4.10. Erken Kesme, Geç Açma (30)

Sola dönüşlerin, karşıdan gelen düz akımın kesilmesi ve serbest geçiş hakkı verilmesini gerektirecek kadar yoğun olduğu kavşaklarda, bu yöntemin uygulanması faz sayısını azaltılabilir.

4.2.6. Sinyalize Rotari

Sinyalize kavşaklarda özellikle sola dönüşler zaman zaman sorunlar yaratabilir. Bu sorunları gidermek üzere, yeterli alan mevcutsa, kavşağın ortasına dairesel bir ada yerleştirilebilir ve sola dönüş yapacak taşıtlar bu ada etrafında depolanabilir (Sinyalize Rotari). Depolanan bu taşıtlar, ayrıca bir faza gerek olmaksızın diğer fazlar arasındaki yeşiller arası süreyi kullanarak manevralarını tamamlayabilirler. Bu şekilde 4 fazlı bir sistemi gerektirecek olan bir kavşağın 2 fazlı olarak yönetilmesi sağlanabilir. Çeşitli ülkelerde kullanılmış olan bu tip kavşaklar özellikle Ankara'da da pek çok kavşakta uygulanmıştır.



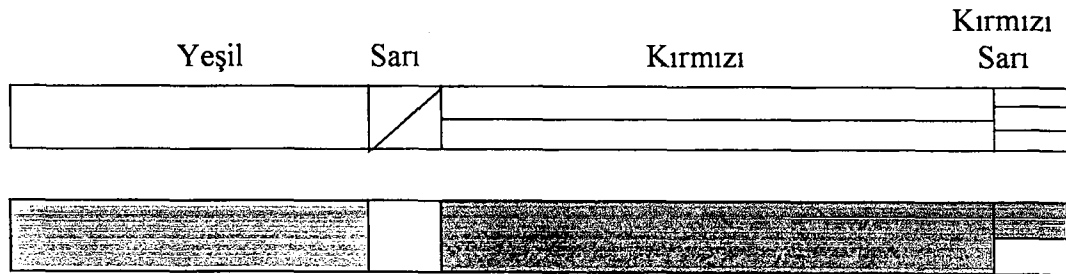
Şekil 4.11. Sinyalize Rotari (23)

4.2.7. Sağa dönüşler

Bir faz düzeninde sağa dönen akımlara düz giden akımla beraber aynı anda geçiş hakkı verilir. Ancak, aynı faz içinde düz giden akımların yeşil süresi bitmiş olmasına rağmen, o fazdaki sağa dönmek isteyen akıma bir süre daha (yeşiller arası süre) geçiş hakkı verilebilir (39). Sağa dönen akımlara tanınan bu süre, üzerinde ok bulunan yeşil sinyal ile yapılır. Sağa dönüş hakkı olan akımlar, kendilerine yeşil ışık yansa bile yayalara ilk geçiş hakkını vermelidirler. Sağa dönen bu akımların buradaki yayaları bekleyebilmeleri için, yaya geçitlerinin 5-6 metre içeri çekilmesi ve yayaların bu alana kanalizasyonu güvenlik açısından uygun olur. (23)

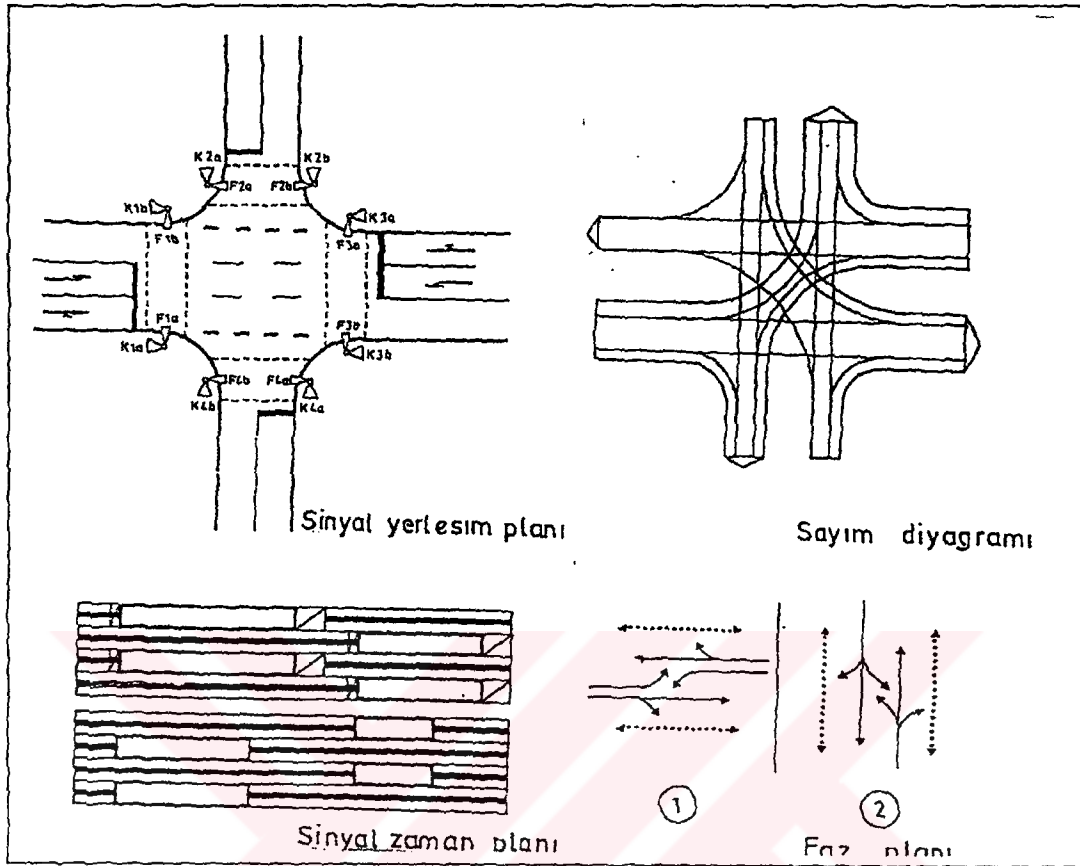
4.2.8. Fazların zaman planları

Bir kavşakta faz düzeni belirlendikten sonra, bir periyot süresi boyunca fazlardaki akımların yeşil, kırmızı ve sarı ışık sürelerini ve faz geçişlerini gösteren faz zaman planlarının oluşturulması gereklidir. Bu planlarda kullanılan genel gösterim biçimi Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.12. Faz zaman planı

Şekil 4.13’de ise bir sinyalizasyon projesinde sinyal programının genel gösterim biçimi görülmektedir.



Şekil 4.13. Eşdüzey bir kavşak için sinyal programı (25)

4.3. Yeşil ve Yeşiller Arası Süreler

Yeşil süre, bir yönde hareket eden akıma geçiş hakkı verilen süredir. Yeşiller arası süre ise, bir fazın yeşil ışık süresinin sonlandırılıp bunu takip eden fazın yeşil ışık süresinin başlatılması arasındaki süredir (44).

Kavşaklarda kesişen muhtelif trafik akımlarının her birine verilecek yeşil süreler; kollardaki trafik yüküne, sinyalizasyondaki faz sayısına ve periyot süresine bağlıdır. Yeşiller arası süreler, sarı süreler ile her yöne kırmızı süreleri kapsayan sürelerdir.

4.3.1. Sarı süre

Sarı ışıklı sinyalin amacı sürücülere, geçiş hakkının sona ermek üzere olduğunu bildirmektir. Bu ışık, kavşağa uzak mesafede olan sürücülerin duruşa geçmelerini,

duramayacak kadar yakınlaşmış olanların da güvenle geçerek kavşağı boşaltmalarını sağlamayı amaçlar. Sarı sürelerin uzunluğu taşıtların sinyalizasyon tesise yaklaşım hızlarına bağlıdır (30)

Şekil 4.14’de T tipi basit bir kavşağa giren ve kavşağı boşaltan taşıtların kavşaktaki kritik ölçüleri görülmektedir. Şekil 4.14’de;

L_{DX} *Duruş uzaklığı*: X yönünden kavşağa yaklaşmakta olan taşıtın fren yaptığı esnada intikal ve reaksiyon süresi boyunca katettiği mesafe dahil olmak üzere, kavşaktaki DUR çizgisinde güvenle durabilmesi gerekli mesafesidir.

L_{BX} *Boşaltma uzaklığı*: X yönünden kavşağa giren taşıtın kavşaktaki kesişme noktalarının sonuna kadar olan mesafesidir.

L_{GX} *Giriş uzaklığı*: X yönünden kavşağa giren taşıtın, X yönündeki DUR çizgisinden kavşaktaki ilk kesişme noktasına olan mesafesidir.

Şekil 4.14’de P_X noktası, X yönünden kavşağa giren taşıtlar için kritik noktadır. Bu nokta sabit değildir ancak, P_X noktası kavşak projelendirilirken taşıtların %85 hızına göre yaklaşık olarak belirlenir. Yeşil ışıktan sonra sarı ışık yandığında, P_X noktasına erişmemiş bir taşıt teorik olarak L_{DX} mesafesi içinde ve DUR çizgisinden önce durabilir. Sarı ışık yandığında P_X noktasını geçmiş olan bir taşıt ise, DUR çizgisinde duramayacağından, kırmızı ışık yanmadan kavşaktaki kesişme noktalarının bulunduğu alana girmiş olmalı, dolayısıyla $(L_{DX} + L_{GX})$ mesafesini katetmelidir (30). Bu durumda sarı ışık süresi Eşitlik 4.2’deki gibi hesaplanır.

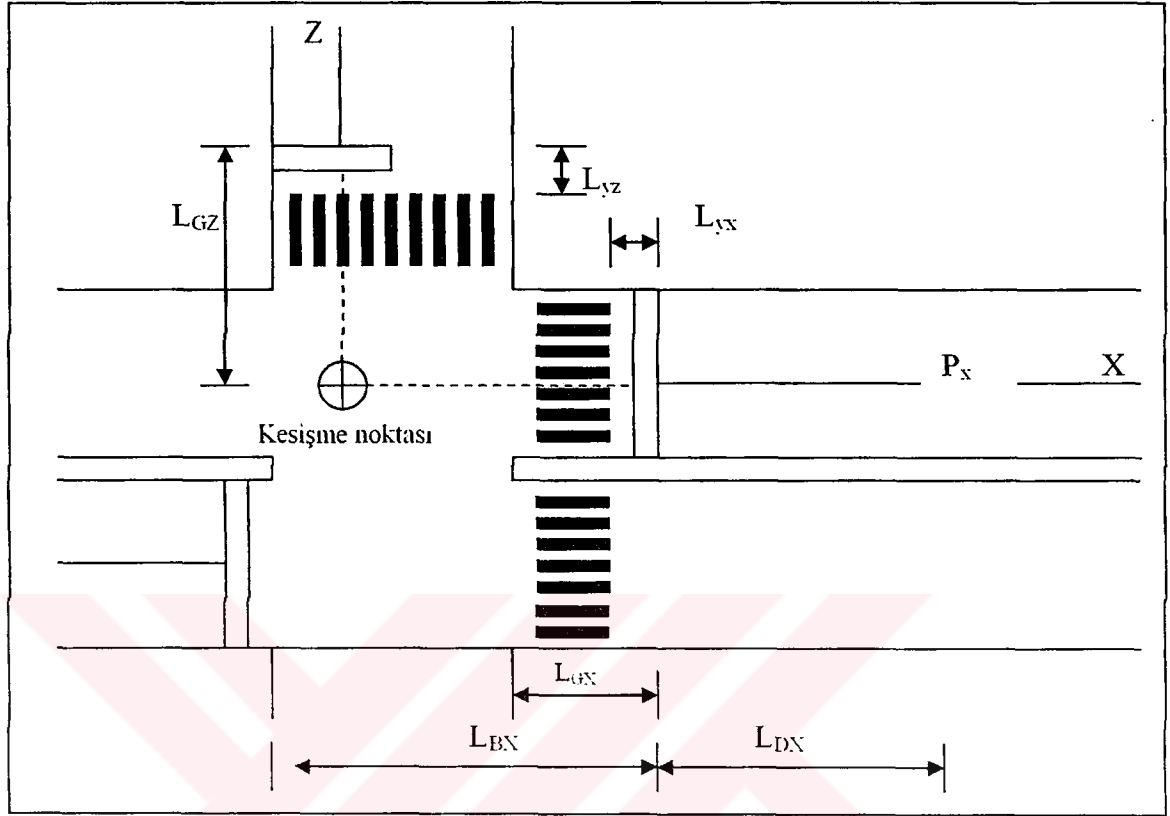
$$Y_X = \frac{3,6}{V_X} (L_{DX} + L_{GX}) \quad [4.2]$$

Y_X = Sarı ışık süresi (saniye)

V_X = X yönünden kavşağa giren taşıtların %85 hızı (km/saat)

L_{DX} = X yönünden kavşağa giren taşıtın duruş uzaklığı (metre)

L_{GX} = X yönünden kavşağa giren taşıtın giriş uzaklığı (metre)



Şekil 4.14. Kavşaktaki kritik ölçüler (30)

L_{DN} duruş uzaklığı, Eşitlik 4.3'deki gibi hesaplanır (14, 45).

$$L_{DN} = \frac{V_X \cdot t_{i+r}}{3,6} + \frac{V_X^2}{254,2(f \pm g)} \quad [4.3]$$

L_{DN} = X yönünden kavşağa giren taşıtın duruş uzaklığı (metre)

V_X = X yönünden kavşağa giren taşıtların %85 hızı (km/saat)

t_{i+r} = intikal +reaksiyon süresi (genellikle bu süre 1+1=2 saniye olarak alınır)

f = yol ile tekerlekler arasındaki sürtünme katsayısı

g = yolun boyuna eğimi (yukarı eğimlerde + , aşağı eğimlerde – alınır)

Sarı ışık süreleri genellikle minimum 3 saniye olarak alınır.

4.3.2. Kırmızı + sarı süre

Bir kavşakta herhangi bir yöne yeşil ışıkla geçiş hakkı verilmeden önce, harekete geçecek taşıtların hazırlanmaları ve zaman kaybetmemelerini sağlamak üzere, kırmızı ışıkla beraber sarı ışığın da yakıldığı süredir.

Kırmızı + sarı ışıklı sinyalin süresini belirlemek için metodik bir hesaplama yapılmadan 2-3 saniyelik bir süre seçilir. (Periyot süresi hesaplanırken bu sürenin belirlenmesi için ayrıca bir hesap yapılmaz, bu süre kırmızı ışık süresi içindedir). Bu sinyalde taşıtların geçmemeleri ve beklemeleri gereklidir. Ancak yerel koşullara göre sürücüler bu ışıklı sinyalde kavşağı geçme eğiliminde iseler, kırmızı + sarı sürenin 2 saniyeden uzun olmaması yararlı olacaktır (30).

Türkiye ve bazı Avrupa ülkelerinde uygulanan sinyal programlarında kırmızı + sarı ışıklı sinyaller kullanılmakla beraber USA'de bu sinyal kullanılmamaktadır.

4.3.3. Her yöne kırmızı süre

Her yöne kırmızı (All-Red) süre, periyot süresinin bazı aralıklarında ve yeşiller arası sürenin içinde, kavşaktaki bütün akımların aynı anda kırmızı olarak ışıklandırıldığı çok kısa bir süredir (t_R). Bu süre, bir önceki fazın bitmesi ile geçiş hakkı kaldırılan akım ya da akımlarla, yeni fazdaki akımların karşılaşmasını önlemek üzere kullanılan bir süpürme süresidir (1). Bazı sinyalizasyon sistemlerinde bu süre, özel yaya fazı olarak ya da kapalı faz şeklinde sinyalize edilmiş alanlarda, alan içindeki taşıtların boşaltılması amacı ile ayrı bir faz olarak kullanılabilir.

4.4. Koruma Süresi

Koruma süresi, geçiş hakkı sona eren bir yönden kavşağı giren ve kavşağı boşaltan son taşıt ile bundan sonraki fazda kavşağı girecek ilk taşıtın, kesişme noktasında çarpışmamaları için fazlar arasında bırakılması gereken ve yeşiller arası sürenin bir bölümünü oluşturan kayıp zamandır (30).

Güvenli bir koruma süresi hesaplamak için, kendisine yeşil ışık yanan ve geçiş hakkı olarak kavşağa ilk giren taşıtın, *DUR* çizgisinde beklemediği ve hızını düşürmeden kavşağa yaklaştığı kabul edilir. Bu durum kavşaktaki en kritik durumu temsil etmektedir. Diğer fazdaki kavşağı boşaltmakta olan son taşıt ise daha önce kırmızı ışıkta beklemiş kuyruğun son elemanıdır ve kavşağı önündeki taşıtların arkasından ağır bir hızla terketmektedir.

Şekil 4.14’de görüldüğü gibi, X yönünden gelen akım Z yönünden gelen akım tarafından izleniyorsa, standart bir taşıtın boyu 5 metre alındığında, kavşağı terketmekte olan son taşıtın, bir sonraki fazın ilk taşıtı kendisine yetişmeden katetmesi gereken mesafe $L_{BX} + 5$ metredir. Z yönünden kavşağa girecek olan ilk taşıtın ise yeşil ışık yandığı andan sonra kesişme noktasına kadar katedeceği mesafe L_{GZ} dir (30). Bu durumda kavşağa X yönünden gelen ve kavşağı boşaltmakta olan taşıtın boşaltma süresi, Eşitlik 4.4’deki gibi hesaplanır.

$$t_B = 3,6 \frac{L_{BX} + 5}{V_B} \quad [4.4]$$

t_s =Boşaltma süresi (saniye)

L_{BX} =Boşaltma uzaklığı (metre)

V_B =Kavşağı boşaltmakta olan son taşıtın kavşak içindeki ortalama hızı (km/saat)

Kavşağa Z yönünden gelerek giriş yapan taşıtın giriş süresi ise Eşitlik 4.5’deki gibi hesaplanır.

$$t_G = 3,6 \frac{L_{GZ}}{V_G} \quad [4.5]$$

t_G =Giriş süresi (saniye)

L_{GZ} =Giriş uzaklığı (metre)

V_G =Geçiş hakkı alacak olan yaklaşım yönünün %85 hızı (km/saat)

Kavşakta kesişme noktasında çarpışmayı önlemek için kullanılacak koruma süresi t_K bu iki sürenin farkıdır (Eşitlik 4.6).

$$t_K = t_B - t_G \quad [4.6]$$

Koruma süresinin hesaplanmasında genellikle en büyük zorluk V_B ve V_G hızlarının belirlenmesidir. V_B boşaltma hızı, kentiçi kavşakların sinyalizasyon projelerinde 50 km/saat (%85 hız) kabul edilebilmekle beraber, gerçeğe yakın bir uygulama yapabilmek için, mevcut geometrik durum ve trafik koşulları göz önünde bulundurularak gözlem yapmak suretiyle belirlenmelidir. Ancak, kavşakta beklemiş olan taşıtların kavşak içindeki ortalama hızları 25 km/saat (~ 7 m/sn) olarak kabul edilebilir (30).

Özdirim (1994)'e göre (23);

“ t_B kavşağı boşaltma zamanının 1. saniyesi ile 4. saniyeleri arasında genellikle 7 m/sn (~ 25 km/saat) hızla gidildiği kabul edilir. 5. saniyeden sonra hızın 8 m/sn hıza varıldığı kabul edilir.”

Özdirim (1994) koruma süresini hesaplarken kritik boşaltma uzaklığını (L_{BX}) 28 metre olarak kabul etmektedir. Bu durumda boşaltma ve giriş süreleri;

$$L_{BX} < 28 \text{ metre için} \quad t_B = \frac{L_{BX} + 5}{7,00} \quad [4.7]$$

$$L_{BX} > 28 \text{ metre için} \quad t_B = \frac{L_{BX} + 9}{8,00} \quad [4.8]$$

olmaktadır. Giriş süresi ise Eşitlik 4.9'daki gibi hesaplanır (50km/saat $\sim$ 13,86 m/sn).

$$t_G = \frac{L_{GZ}}{13,86} \quad [4.9]$$

4.5. Toplam Kayıp Süre

Bir periyot süresi içindeki toplam kayıp süre; sarı süreler, koruma süreleri ve her yöne kırmızı sürelerin toplamıdır (30).

$$\Delta t = \sum_{i=1}^n Y_i + \sum_{i=1}^n t_{K_i} + \sum t_R \quad [4.10]$$

Δt = Toplam kayıp süre (saniye)

n = Faz sayısı

Y_i = i fazındaki akım yönü için verilen sarı süre (saniye)

t_{K_i} = i fazı ile bir önceki faz arasındaki koruma süresi (saniye)

$\sum t_R$ = Her yöne kırmızı sürelerin toplamı (saniye)

Bu çalışmada toplam kayıp süre hesaplanırken sarı süreler ve koruma süreleri dikkate alınmış, her yöne kırmızı süreler dikkate alınmamıştır.

4.6. Yaya Geçiş Süreleri

Yaya trafiğinin yoğun olmadığı kavşaklarda yaya geçiş süreleri, geçite dik yöndeki taşıt trafiğinin kırmızı süresinde verilir (41). Yayaların yeşil ışık süresi, ortalama yürüme hızı 1,2 m/sn kabul edilerek hesaplanabilir. Yayalara verilen yeşil ışık sonunda ise, (geçite dikey yönde girecek olan taşıtlara geçiş hakkı verilmeden önce) bir koruma süresi bulunmalıdır (4 - 7 saniye) (39). Buna göre yayaların, kavşaktaki bir yaya geçidinden güvenle geçebilmeleri için gerekli olan minimum süre Eşitlik 4.11'de verilmiştir.

$$G_y = (4 \sim 7) + \frac{D}{1,2} \quad [4.11]$$

G_y = Yaya yeşil süresi (saniye)

D = Yaya geçidi uzunluğu (saniye)

4.7. Sinyalizasyon Hesap Yöntemleri

Sinyalizasyon sistemlerinin kullanılmaya başlandığı tarihlerden günümüze kadar, periyot süresi hesabı için muhtelif araştırmalar yapılmış ve çeşitli formüller geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin birçoğu ampirik karakter taşır. Bu bölümde **Periyot Süresi (C)** hesabı için literatürde yer alan; İngiliz yöntemi (Webster), Avustralya yöntemi, Amerika yöntemi (Highway Capacity Manual) ve Özdirim yöntemleri incelenmektedir.

4.7.1. İngiliz Yöntemi -Webster periyot süresi formülü

Webster periyot süresi formülünde, şeritlerin maksimum kapasitesi olan “*doygun akım*” dan hareket edilir. Eşitlik 4.12’de Webster periyot süresi formülü görülmektedir (1, 26, 46, 47).

$$C = \frac{1,5L + 5}{1 - Y} \quad [4.12]$$

Burada;

C = Periyot süresi (saniye)

L = Kavşak kayıp süresi (saniye)

Y = Her faz içindeki maksimum akım değerinin (q), o akıma ait doygun akım değerine (s) oranlarının toplamı

$$y_i = \frac{q_i}{s_i} \quad [4.13]$$

$$Y = \sum y_1 + y_2 + \dots + y_n \quad [4.14]$$

n = Faz sayısı

y_i = i nolu akımın maksimum akım değerinin (q), o akıma ait doygun akım değerine (s) oranı

- q_i = i nolu akımın maksimum akım değeri (taşıt/saat)
 s_i = i nolu akımın doymun akım değeri (taşıt/yeşil saat)

Webster'ın formülünde yer alan doymun akım değeriindeki yeşil saat terimi; yeşil ışığın kesintisiz olarak 1 saat yanması halinde akan trafiğin saatlik miktarını ifade eder. Doymun akım değeri şerit genişliklerine bağılı olarak Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Doymun akım değeri (23)

w şerit genişliği (metre)	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5.1
s doymun akım değeri (OB/saat)	1850	1875	1900	1950	2075	2250	2475	2700

Çizelge 4.1'deki değeri ideal değeri'dir. Park eden taşıtların olması ve sola dönüşlerin olması durumlarında doymun akım değeri azalır (47).

Webster yöntemine göre yeşil süre hesabı;

$$G_i = \frac{y_i}{Y} (C - L) \quad [4.15]$$

- G_i = i nolu akıma ait yeşil süre (saniye)
 y_i = i nolu akımın maksimum akım değeri (q), o akıma ait doymun akım değeri (s) oranı
 Y = Her faz içindeki maksimum akım değeri (q), o akıma ait doymun akım değeri (s) oranlarının toplamı
 C = Periyot süresi (saniye)
 L = Kavşak kayıp süresi (saniye)

Webster periyot süresi formülü, doymun akım değerinin üzerinde trafik yüküne sahip başka bir deyişle kapasitesi üzerinde yüklenen sinyalize kavşaklar için kullanılmaz.

4.7.1.1. Sola dönen taşıtların etkileri

Bu yöntemde, kavşakta sola dönüşler varsa doymun akım değerin azaltılması gerekir. Dik açıda dönen akımın doymun akım değeri, dönüş yarıçapına bağı olarak Eşitlik 4.16 ve 4.17'deki gibi hesaplanır (23, 26).

Tek şerit halindeki dönüşlerde;

$$s = \frac{1800}{1 + \frac{5}{r}} \quad [4.16]$$

İki şerit halindeki dönüşlerde

$$s = \frac{3000}{1 + \frac{5}{r}} \quad [4.17]$$

s = Doymun akım değeri (OB/saat)

r = Dönüş yarıçapı (feet)

Webster yönteminde, sağa dönen akımların doymun akıma etkisi dönüşlerin keskinliğine ve yaya akımına bağıdır. Dönüş yarıçapına göre Eşitlik 4.16 ve 4.17 kullanılır. Sağa dönen taşıtlar akımın %10'undan az ise düzeltme gerekmez, %10'dan çok ise, 1 sağa dönen taşıt 1,25 düz giden taşıta eşdeğerdir (26).

4.7.1.2. Park eden taşıtların etkileri

Webster yönteminde, park eden taşıtların etkisi yol genişliğini azaltmak yönünde olur. Doymun akım da şerit genişliğine bağı olarak belirlendiği için, kavşakta park eden taşıtlar doymun akım değerini azaltacaktır. Park eden taşıtların yol genişliğine etkisi Eşitlik 4.18'deki gibi hesaplanır (23).

$$\Delta w = 5,5 - \frac{0,9(Z - 25)}{k} \quad [4.18]$$

Δw = Azalan yol genişliği (metre)

Z = En yakın park etmiş taşıtın DUR çizgisine mesafesi (feet)
($Z \leq 25$ ise $Z=25$ feet alınmalıdır)

k = Park etmiş taşıtın bulunduğu akım yönündeki yeşil süre (saniye)

4.7.1.3. Eğim etkisi

Webster yönteminde, kavşakta her %1 çıkış eğiminde doymuş akım %3 azalmakta, %1 iniş eğiminde ise doymuş akım %3 oranında artmaktadır (26).

4.7.1.4. Taşıt kompozisyonu etkisi

Bu yöntemde, farklı taşıt türlerinin doymuş akıma etkisi “Otomobil Eşdeğer Birimi” ile ifade edilir (26).

1 kamyon	=1,75 otomobil	1 motosiklet	=1/3 otomobil
1 otobüs	=2,25 otomobil	1 bisiklet	=1/6 otomobil

4.7.2. Avustralya yöntemi

Avustralya yöntemi, İngiliz yönteminden (Webster) daha sonraki yıllarda literatürde duyurusu yapılan ikinci bir analitik modeldir. Periyot süresi ve yeşil sürelerin hesaplanmasında Avustralya yöntemi, Webster modeline benzer özellik göstermektedir (1, 28). Avustralya yöntemine göre optimum periyot süresi Eşitlik 4.19'daki gibi hesaplanır (48).

$$C_o = \frac{(1,4 + k)L + 6}{1 - Y} \quad [4.19]$$

- C_o = Optimum periyot süresi (saniye)
 k = Duruşlardan dolayı oluşan kayıp faktörü (0-0,4)
 L = Kavşak kayıp süresi (saniye)
 Y = Her faz içindeki maksimum akım değerinin (q), o akıma ait doygun akım değerine (s) oranlarının toplamı

Avustralya yöntemine göre yeşil süre hesabı;

Avustralya yönteminde, fazlara tahsis edilecek yeşil ışık sürelerinin hesaplanması için, fazlardaki maksimum (kritik) akımlara ayrılacak yeşil ışık sürelerinin hesaplanması esas alınır. Buna göre bir akıma ayrılacak yeşil ışık süresi Eşitlik 4.20'deki gibi hesaplanır (1, 48, 49, 50, 51).

$$G_i = (C - L) \frac{u_i}{U} \quad [4.20]$$

- G_i = i nolu akımın yeşil ışık süresi (saniye)
 C = Periyot süresi (saniye)
 L = Kavşak kayıp süresi (saniye)
 U = Her faz içindeki maksimum akımlara ait etkili yeşil süre oranlarının toplamı
 u_i = i nolu akım için etkili yeşil süre oranı

$$u_i = \frac{G_i}{C} \quad [4.21]$$

$$U = \sum u_1 + u_2 + \dots + u_n = \frac{(C - L)}{C} \quad [4.22]$$

- n = Faz sayısı
 G_i = i fazına ait etkili yeşil süre (saniye)

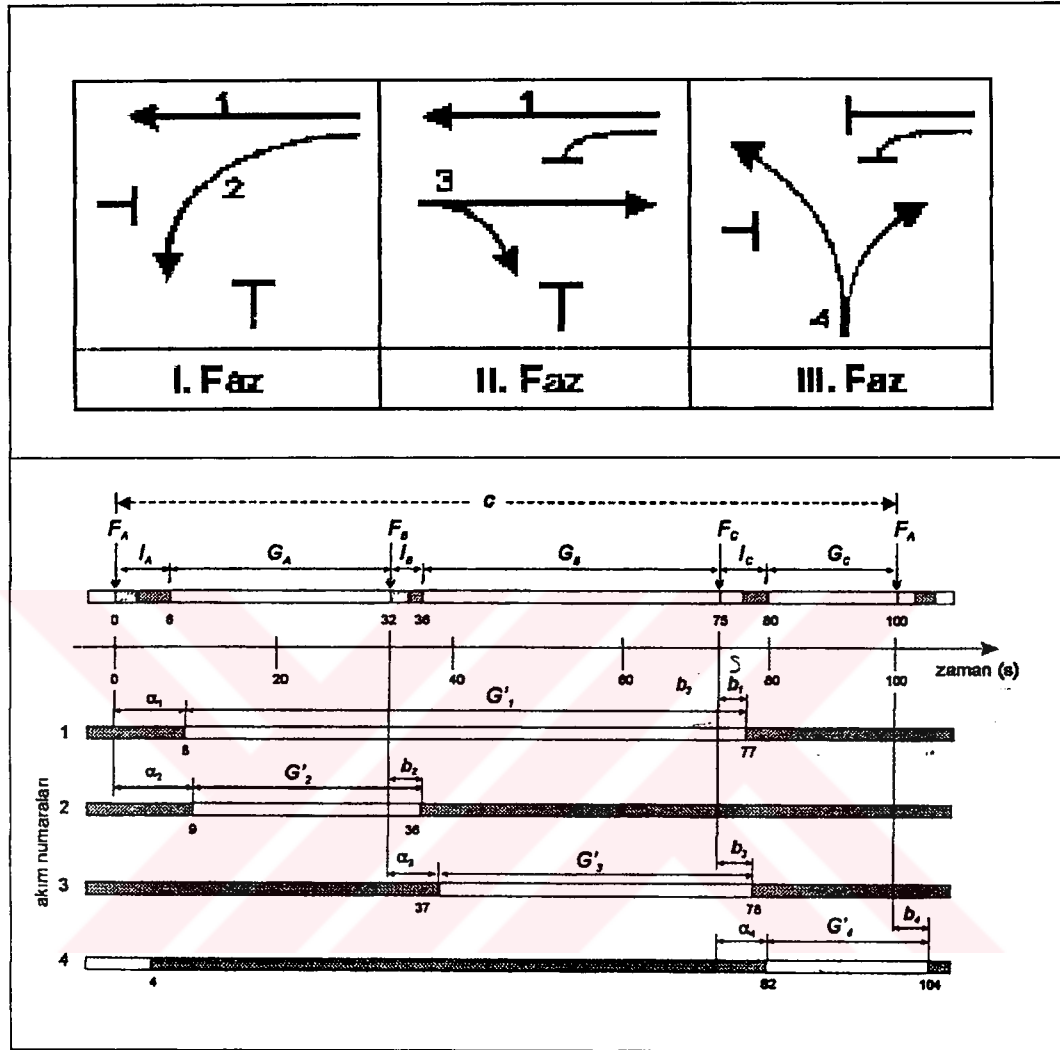
Avustralya yöntemini daha ayrıntılı açıklamak üzere, Şekil 4.15'de örnek bir faz planı ve faz geçişlerinin düzenlenişi gösterilmiştir. Bu örnekte 100 saniye süreli bir

periyot süresi boyunca 1. 2. ve 3. fazlar için *başlangıç anları* sırasıyla F_A , F_B , F_C , *yeşil ışık süreleri* G_A , G_B , G_C , *yeşiller arası süreler* (fazlar arası geçiş süreleri) de I_A , I_B , I_C , sembolleri ile gösterilmiştir. Fazlar arası geçiş süreleri sarı ışık süresi ile, bu süreyi takip eden ve çakışan akımların tümü için aynı anda geçiş hakkının olmadığı kısa bir süre olan “her yöne kırmızı” sürelerini de kapsar (1,48).

Şekil 4.15’de, kavşağa yaklaşan her akım gurubu için bir periyot süresi boyunca geçiş hakkının verilmesini ve kaldırılmasını gösteren yeşil ve kırmızı ışıkların zamanlaması gösterilmektedir. Bu zamanlamada, kayıp sürelerin dikkate alınmadığı yeşil ışık süresi olan *etkili yeşil ışık süreleri*, G'_1 , G'_2 , G'_3 , G'_4 sembolleri ile gösterilmiştir (1, 48).

Her akım için etkili yeşil ışık süresi, ilgili akımın geçiş hakkını aldığı fazın başlangıç anında başlayan ve *başlangıç gecikme süresi* olarak ifade edilen bir gecikme süresinden sonra başlar. Bu süre yeşiller arası süreyi de kapsayan bir gecikme süresidir ve α_1 , α_2 , α_3 , α_4 sembolleri ile gösterilmiştir (1, 48).

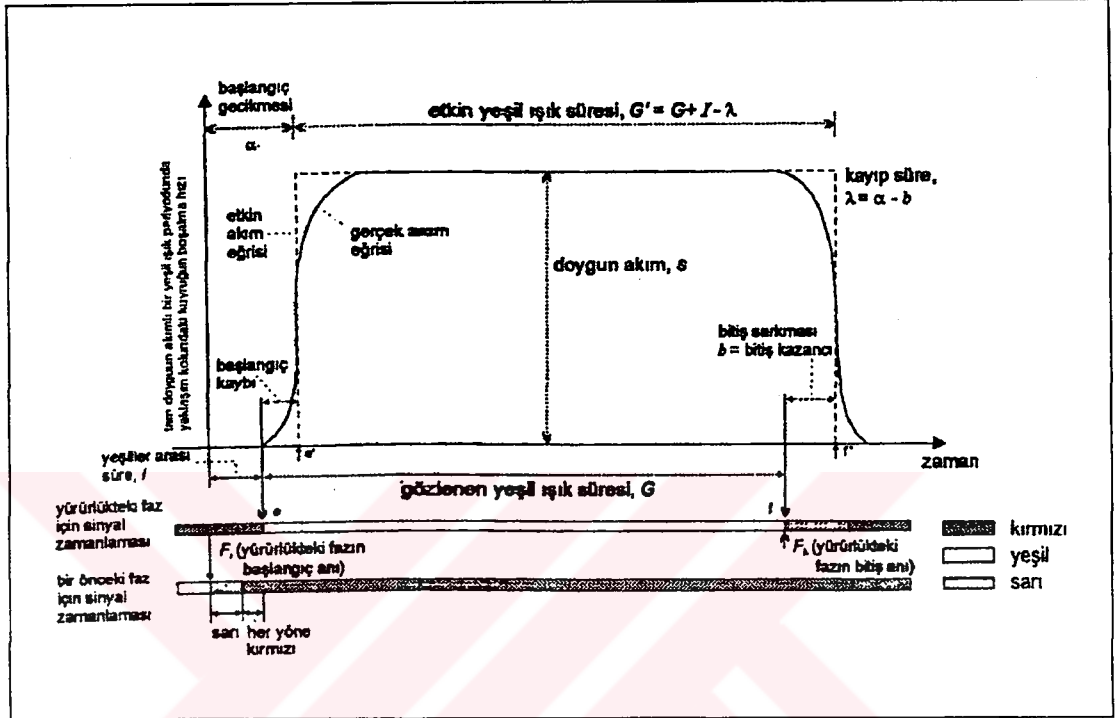
Benzer şekilde, her akım için etkili yeşil ışık süresi, ilgili akımın geçiş hakkını devrettiği fazın başlangıç anından itibaren *bitiş (uzama) süresi* olarak ifade edilen bir süre daha devam ettikten sonra sona erer. Bu süre b_1 , b_2 , b_3 , b_4 sembolleri ile gösterilmiştir (1, 48).



Şekil 4.15 Örnek bir faz planı ve faz geçişlerinin düzenlenişi (1)

Başlangıç gecikme süresi ve bitiş süresi arasındaki fark, o akım için kayıp süreyi verir. Bu süre, sinyalde görünen yeşil ışık süresi (G_i) ile etkili yeşil ışık süresi (G'_i) arasındaki farktır.

4.7.2.1. Kavşak kayıp süresi



Şekil 4.16. Sinyalize kavşaktan uzaklaşan bir akımın yeşil ışık süresi boyunca değişimi (1, 48, 52)

Avustralya yönteminde, akım kayıp süresi; başlangıç gecikme süresi ile bitiş süresi arasındaki farktır (1, 48).

$$I = \alpha - b \quad [4.23]$$

- I = Akım kayıp süresi (saniye)
- α = Başlangıç gecikme süresi (saniye)
- b = Bitiş süresi (saniye)

Bir akım içinde görünen yeşil ışık süresi G , etkili yeşil ışık süresi G' ve yeşiller arası süre I olmak üzere; görünen yeşil ışık süresi ile etkili yeşil ışık süresi arasındaki ilişki Eşitlik 4.24'deki gibi olur (1, 48, 49).

$$G' + I = G + I \quad [4.24]$$

G = Görünen yeşil ışık süresi (saniye)

I = Akım kayıp süresi (saniye)

I = Yeşiller arası süre (saniye)

G' = Etkili yeşil ışık süresi (saniye)

Bu durumda periyot süresi C ;

$$C = \sum_{i=1}^n G_i + I_i \quad [4.25]$$

$$C = \sum_{i=1}^n G'_i + I_i \quad [4.26]$$

n =faz sayısı

eşitlikleri ile hesaplanır. Kavşak kayıp süresi L ise;

$$L = \sum_{i=1}^n I_i \quad [4.27]$$

eşitliği ile hesaplanır (1, 48).

Avustralya ve İngiliz yöntemlerinde öncelikle kritik akımların belirlenmesi ve kavşak kayıp süresinin hesaplanması esas alınır. Bununla beraber Avustralya yöntemi, sinyal planlarının hesaplanması için İngiliz yönteminde kullanılan tüm tanımlamalara ek olarak, akımlar için etkili yeşil süre oranı kavramını ilave etmiştir (1).

4.7.3. Amerika yöntemi (Highway Capacity Manual HCM 1994)

Bu yöntemde; sinyalizasyon kavşaklarının kapasitesi, hizmet düzeyi analizi, trafik hareketlerinin miktarı ve dağılımı, trafik kompozisyonu ve geometrik karakteristikler esastır (53, 54). Yöntemde sunulan metodoloji, kavşak yaklaşım kollarının kapasitesi, kavşağın bir bütün olarak hizmet düzeyinin belirlenmesi ve etkili yeşil süreler ile kayıp zamanın hesaplanması esasına dayanır (26). HCM (1994), kavşak hareketlerini etkileyen 8 faktörden bahseder. Bu faktörler (39);

- Şerit genişliği faktörü
- Ağır vasıta faktörü
- Eğim faktörü
- Parketme durumu faktörü
- Otobüs blokaj (engelleme) faktörü
- Alan türü faktörü
- Sağa dönüş faktörü
- Sola dönüş faktörü

HCM (1994) sinyalizasyon hesap yöntemi karmaşık bir yapıya sahip olduğundan, bu çalışmada yöntemin temel esasları irdelenmiştir.

4.7.3.1. Kapasite

Kapasite, gerçek akım değerinin kapasiteye oranı (v/c) ve hizmet düzeyi ise, her bir taşıt için ortalama duruş gecikmesi (saniye/taşıt) olarak değerlendirilmektedir. HCM'de kavşağın kapasite analizi, tekil hareketlerin v/c oranının hesabı ve şerit gruplarının toplamının bileşik v/c oranının hesaplanmasına dayanmaktadır (26).

Kavşaklarda kapasite her yaklaşım için tanımlıdır. Kavşak yaklaşım kapasitesi, trafik, yol ve sinyalizasyon koşullarında kavşaktan geçen maksimum akım oranıdır. Trafik koşulları; yaklaşım kollarının hacimlerini, akım yönlerini (sağ, sol, düz), kavşaktaki otobüs duraklarının yerlerini ve kullanılmasını, yaya geçiş oranını ve kavşak alanındaki park hareketlerini içerir. Yol koşulları; kavşağın geometrisini, şerit genişliklerini ve sayısını, eğimleri ve yol kullanımını içerir. Sinyalizasyon koşulları

ise; sinyal fazlarının zamanlarını, kontrol türünü ve yaklaşım kollarındaki sinyal işleminin değerlendirmesini içerir (26).

HCM'ye göre bir yaklaşım kolundaki kapasite, doygun akıma bağlı olarak Eşitlik 4.28'deki gibi hesaplanır (39).

$$c_i = s_i \left(\frac{g_i}{C} \right) \quad [4.28]$$

c_i = i nolu akımın kapasitesi (taşıt/saat)

s_i = i nolu akımın doygun akım değeri (taşıt/yeşil saat)

g_i = i nolu akımın etkili yeşil süresi (saniye)

C = Periyot süresi (saniye)

(g_i / C) = i nolu akım için yeşil oranı (yeşil süre/periyot süresi)

Kavşak analizinde gerçek akım değerinin kapasiteye oranı (v/c), X sembolü ile gösterilir. X , kapasite ile sinyalizasyon şartlarının ilişkisini vurgulamakta ve literatürde “*Doyma Derecesi*” olarak ifade edilmektedir (26, 39).

$$X_i = \frac{v_i}{c_i} = \frac{(v/s)_i}{g_i / C} \quad [4.29]$$

X_i = i nolu akımın doyma derecesi

v_i = i nolu akımın gerçek akım değeri (taşıt/saat)

c_i = i nolu akımın kapasitesi (taşıt/saat)

s_i = i nolu akımın doygun akım değeri (taşıt/yeşil saat)

g_i = i nolu akımın etkili yeşil süresi (saniye)

C = Periyot süresi (saniye)

X_i değeri; gerçek akım kapasiteye eşit olduğunda 1 değerini, gerçek akım değeri 0 ise 0 değerini alır.

Bu yöntemde sinyalize kavşakların incelenmesinde kullanılan diğer bir değer de kritik v/c oranıdır (X_c) (26, 39).

$$X_c = \sum \left(\frac{v}{s} \right)_{ci} \frac{C_{maks}}{C_{maks} - L} \quad [4.30]$$

X_c = Kritik (v/c) oranı

$C_{maks.}$ = Maksimum periyot süresi (saniye)

L = Toplam kayıp zaman (saniye)

$\sum (v/s)_{ci}$ = Tüm kritik şerit yaklaşımlarının gerçek akım/doygun akım oranları toplamı

4.7.3.2. Hizmet düzeyi

HCM’de sinyalize kavşaklarda kapasite kadar önemli olan diğer bir kavram da hizmet düzeyidir. Hizmet düzeyi gecikme ile tanımlanır. Hizmet düzeyi kriteri, her bir taşıt için 15 dakikalık analiz periyodunda ortalama duruş gecikmesinin ölçülmesiyle tanımlanır. Gecikmeler yerinde ölçülebilir ya da tahmin edilebilir. Gecikme kompleks bir ölçümdür ve ilerleme hareketinin kalitesi, periyot süresi, yeşil oran ve kavşak yaklaşım kollarının (v/c) oranları gibi bir çok değişkene bağlıdır (26, 39). Hizmet düzeyleri A en iyi, F en kötü olmak üzere A’da F’ye kadar sınıflandırılır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Sinyalize kavşaklarda hizmet düzeyi (39)

Hizmet düzeyi	Taşıt başına duruş gecikmesi (saniye)
A	$\leq 5,0$
B	5,1-15,0
C	15,1-25,0
D	25,1-40,0
E	40,1-60,0
F	$\geq 60,0$

4.7.3.3. Etkili yeşil süreler ve kayıp süre

HCM’de etkili yeşil süre Eşitlik 4.31’deki gibi hesaplanır (39).

$$g_i = G_i + Y_i + t_L \quad [4.31]$$

- g_i = i nolu akımın etkili yeşil süresi (saniye)
- G_i = i nolu akımın görünen (gerçek) yeşil süresi (saniye)
- Y_i = Sarı süre ve her yöne kırmızı sürelerin toplamı (saniye)
- t_L = i nolu akımın kayıp süresi (saniye)

4.7.3.4. HCM 1(994) hesap yöntemi

HCM (1994) yönteminde 5 ayrı modül takip edilmektedir (26, 39) Bunlar;

1. Giriş modülü
2. Hacim düzeltme modülü
3. Doygun akım oranı modülü
4. Kapasite analizi modülü
5. Hizmet düzeyi modülüdür.

4.7.3.4.1. Giriş modülü

Bu modülde kavşak geometrisi (eğim, şerit sayısı ve genişlikleri park şeritleri, sağa-sola dönüşler vb.), her kol için trafik hacimleri ve kompozisyonu ve sinyalizasyonla ilgili gerekli veriler girilmektedir (26).

4.7.3.4.2. Hacim düzeltme modülü

Bu modülde, öncelikle saatlik hacim değerleri 15 dakikalık pik akım oranlarına dönüştürülmekte, analiz için şerit grupları belirlenmekte ve grupta bulunan şerit sayısına göre akım düzeltmesi yapılmaktadır (39).

$$PHF = \frac{v}{v_p} \quad [4.32]$$

PHF = Pik saat faktörü

v = Saatlik hacim (taşıt/saat)

v_p = Pik saatteki 15 dakikalık maksimum hacimin saatlik hacim değeri (taşıt/saat) (15 dakikalık maksimum akımın 4 katıdır)

Şerit grubu bir ya da daha fazla akıma hizmet veren şerit sayısı olarak tanımlanır. Yaklaşım kolunu şerit gruplarına bölerek incelemek, trafik akımlarının dağılımının giderilmesi açısından yararlıdır (26).

Yaklaşım kollarında birden fazla şerit olduğunda akımlar eşit olarak dağılmadığından, şerit kullanımı için düzeltme yapılması gerekmektedir. Bu düzeltme Eşitlik 4.33'deki gibi yapılır (26, 39).

$$v = v_p \cdot U \quad [4.33]$$

v = Şerit grubu için düzeltilmiş akım (taşıt/saat)

v_p = Pik saatteki 15 dakikalık maksimum hacim (taşıt/saat)

U = Şerit kullanım faktörü

Şerit kullanım faktörü çoklu şeritli bir yaklaşım kolunda en çok kullanılan şeridin belirlenmesinde kullanılır. Çizelge 4.3'de, şerit gruplarındaki şerit sayılarına bağlı olarak şerit kullanım faktörü değerleri (U) görülmektedir.

Çizelge 4.3. Şerit kullanım faktörü (U) (39)

Şerit grubu hareketleri	Şerit gruplarındaki şerit sayıları	Şerit kullanım faktörü (U)
Düz akım ve dönüşler beraber	1	1,00
	2	1,05
	3	1,10
Özel sola dönüş	1	1,00
	2	1,03
Özel sağa dönüş	1	1,00
	2	1,13

4.7.3.4.3. Doygun akım oranı modülü

Bu modülde, kavşaktaki yaklaşım kolları için doymun akım oranları hesaplanmakta ve ideal doymun akım oranı seçilerek bu oran mevcut koşulların etkisi ile düzeltilmektedir (26).

Hesaplamaların ilk adımı ideal doymun akımın seçilmesiyle başlar. Bu değer her şerit için genellikle 1900 taşıt olarak alınır (her şeritteki bir saatlik yeşil sürede geçen) (29). Bu değer çeşitli faktörlerin etkisiyle düzeltilerek doymun akım hesaplanır (Eşitlik 4.34).

$$s = s_o \cdot N \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{RT} \cdot f_{LT} \quad [4.34]$$

- s = Doygun akım değeri (taşıt/yeşil saat)
- s_o = İdeal doymun akım değeri (taşıt/yeşil saat)
- N = Şerit grubundaki şerit sayısı
- f_w = Şerit genişliği düzeltme faktörü
- f_{HV} = Ağır taşıt düzeltme faktörü
- f_g = Eğim düzeltme faktörü

- f_p = Park durumu düzeltme faktörü
 f_{bb} = Otobüs blokaj faktörü
 f_a = Alan türü düzeltme faktörü
 f_{RT} = Sağa dönüş düzeltme faktörü
 f_{LT} = Sola dönüş düzeltme faktörü

a) Şerit genişliği düzeltme faktörü:

Çizelge 4.4. Şerit genişliği düzeltme faktörü (39)

w(metre)	2,4	2,7	3,1	3,0	3,3	3,6	4,2	4,5	4,8
f_w	0,867	0,900	0,933	0,967	1,000	1,033	1,067	1,100	1,133

b) Ağır taşıt düzeltme faktörü:

Çizelge 4.5. Ağır taşıt düzeltme faktörü (39)

Ağır taşıt oranı (%)	f_{HV}
0	1,000
2	0,980
4	0,962
6	0,943
8	0,926
10	0,909
15	0,870
20	0,833
25	0,800
30	0,769
35	0,741
40	0,714
45	0,690
50	0,667
75	0,571
100	0,500

c) Eğim düzeltme faktörü:

Çizelge 4.6. Eğim düzeltme faktörü (39)

%Eğim	≤ -6	-4	-2	0	+2	+4	+6	+8	$\geq +10$
f_g	1,030	1,020	1,010	1,000	0,990	0,980	0,970	0,960	0,950

d) Park durumu düzeltme faktörü:

Çizelge 4.7. Park durumu düzeltme faktörü (39)

Gruptaki şerit sayısı	Park yapılan şerit sayısı	Saatlik park manevrası				
		0	10	20	30	40
		f_p				
1	1,00	0,900	0,850	0,800	0,750	0,700
2	1,00	0,950	0,925	0,900	0,875	0,850
3	1,00	0,967	0,950	0,933	0,917	0,900

e) Otobüs blokaj faktörü:

Çizelge 4.8. Otobüs blokaj faktörü (39)

Gruptaki şerit sayısı	1 saatte duran otobüs sayısı				
	0	10	20	30	40
	f_{bb}				
1	1,000	0,960	0,920	0,880	0,840
2	1,000	0,980	0,960	0,940	0,920
3	1,000	0,987	0,973	0,960	0,947

f) Alan türü düzeltme faktörü: Bu değer iş merkezlerinin yoğun olduğu alanlar için (kent merkezi) 0,9 diğer bölgeler için 1,0 alınmalıdır (26).

g) Sağa dönüş düzeltme faktörü: Bu değer bir çok değişkene bağlı olarak belirlenir. Bu değişkenler (26):

- Sağa dönüş özel şeridi olup olmaması,
- Sinyal faz türünün korumalı, izinli, yada korumalı+izinli olup olmaması,
- Yaya geçidini kullanan yaya hacmi,
- Paylaşımlı şeritten sağa dönüş oranı ve
- Korumalı + izinli fazın korumalı kısmındaki taşıt oranıdır.

Bu değişkenlere bağlı olarak sağa dönüş düzeltme faktörü Eşitlik 4.35'deki gibi hesaplanır (39).

$$f_{RT} = 1,0 - P_{RT} \left(0,15 + \frac{YayaHacmi}{2100} \right) (1 - P_{RTA}) \quad [4.35]$$

f_{RT} = Sağa dönüş düzeltme faktörü

P_{RT} = Şerit grubunda sağa dönüş oranı (özel sağa dönüşler için 1,00 alınır)

P_{RTA} = Şerit grubunda sağa dönüş oranı
(tam korumalı fazda 1,00 , tam izinli fazda 0 alınır).

Yaya hacmi = Saatlik yaya hacmi (1700 den fazla yaya akımları için 1700 alınır)

h) Sola dönüş düzeltme faktörü: Bu değer bir çok değişkene bağlı olarak belirlenir. Bu değişkenler (26, 55):

- Sola dönüş özel şeridi olup olmaması,
- Sinyal faz türünün korumalı, izinli, yada korumalı+izinli olup olmaması,
- Paylaşımlı şeritten sola dönüş oranı ve
- İzinli sola dönüşlerde karşı yöndeki akım değeridir.

Çizelge 4.9. Sola dönüş düzeltme faktörü (39)

Şerit grubu tipi	f_{LT}					
Özel sola dönüş şeritli ve korumalı faz	0.95					
Özel sola dönüş şeritli ve izinli faz	Özel prosedür					
Özel sola dönüş şeritli korumalı+izinli faz	Özel prosedür					
Şerit paylaşımlı sola dönüş, korumalı faz	$f_{LT} = 1,0 / (1,0 + 0,05P_{LT})$					
	P_{LT} (sol dönüş oranı)					
	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95
Şerit paylaşımlı sola dönüş, izinli faz	Özel prosedür					
Şerit paylaşımlı sola dönüş Korumalı+izinli faz Karşıt trafik yükü V_0 (taşıt/saat)	$f_{LT} = (1400 - V_0) / [(1400 - V_0) + (235 + 0,435V_0)P_{LT}]$					
	$V_0 \leq 1220$ taşıt/saat					
	$f_{LT} = 1 / [1 + 4,525P_{LT}]$ $V_0 > 1220$ taşıt/saat					
	P_{LT}					
	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
0	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,86
200	1,00	0,95	0,90	0,86	0,82	0,78
400	1,00	0,92	0,85	0,80	0,75	0,70
600	1,00	0,88	0,79	0,72	0,66	0,61
800	1,00	0,83	0,71	0,62	0,55	0,49
1000	1,00	0,74	0,58	0,48	0,41	0,36
1200	1,00	0,55	0,38	0,29	0,24	0,20
≥ 1220	1,00	0,52	0,36	0,27	0,22	0,18

4.7.3.4.4. Kapasite analizi modülü

Kapasite analizi modülünde aşağıdaki değişkenler hesaplanmaktadır (26):

- Her şerit grubu için akım oranı (v/s): Düzeltilmiş gerçek akım değerinin düzeltilmiş doymun akım değerine oranı
- Her şerit grubunun kapasitesi (c): (Eşitlik 4.28)
- Her şerit grubu için v/c oranı: (Eşitlik 4.29)
- Tüm kavşak için kritik v/c oranı: (Eşitlik 4.30)

Kritik v/c oranı, kritik şerit gruplarındaki taşıtlarca kullanılan kapasite yüzdesini gösterir. Bu değer 1,00 den büyükse, bir veya daha fazla kritik şerit grubunun kapasitenin üzerinde hizmet verdiği anlaşılır. Dolayısıyla periyot süresi yeterli değildir. Değer 1,00 den küçük ise, periyot süresi kapasiteyi aşan tüm kritik akımlar için yeterlidir.

Düzeltilmeler yapıldıktan sonra her şerit grubu için belirlenen (v/s) oranları kullanılarak periyot süresi Eşitlik 4.36'daki gibi hesaplanır (39).

$$C_{\min} = \frac{nt_L}{1 - \sum \left(\frac{v}{s}\right)_{ci}} \quad [4.36]$$

$C_{\min}$ = Periyot süresi (saniye)

n = Faz sayısı

t_L = Kayıp süre (saniye)

$\sum (v/s)_{ci}$ = Tüm kritik şerit yaklaşımlarının gerçek akım/doymun akım oranları toplamı

4.7.3.4.5. Hizmet düzeyi modülü

Hizmet düzeyi modülünde her yaklaşım kolu ve kavşağın geneli için her taşıtın ortalama gecikme süreleri hesaplanır (26, 39).

$$d = d_1 + d_2 \quad [4.37]$$

$$d_1 = 0,38C \frac{[1 - (g_i / C)]^2}{[1 - (g_i / C)X_i]} \quad [4.38]$$

$$d_2 = 173 X_i^2 [(X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + (mX_i / c_i)}] \quad [4.39]$$

d = Şerit grubu için ortalama gecikme (saniye)

C = Periyot süresi (saniye)

g_i = i nolu akımın etkili yeşil süresi (saniye)

X_i = i nolu akımın doyma derecesi (v/c)

m = Gecikme kalibrasyon değeri

Eşitlik 4.38'deki d_1 terimi uniform gecikme hesabında kullanılır. Eşitlik 4.39'daki d_2 terimi ise, kavşağa uniform talep üzerinde taşıtın gelmesi durumunda oluşan gecikmeyi hesaplamak için kullanılır.

Gecikme süreleri bir yaklaşım kolu için hesaplanabildiği gibi, tüm kavşağın ortalama gecikmesi de hesaplanabilir (26, 39).

$$d_A = \frac{\sum d_i v_i}{\sum v_i} \quad [4.40]$$

d_A = Yaklaşım kolunun ortalama gecikmesi (saniye/taşıt)

d_i = i nolu şerit grubu için gecikme (saniye/taşıt)

v_i = i nolu şerit grubu için düzeltilmiş akım (taşıt/saat)

Yaklaşım kollarındaki ortalama gecikmeler hesaplandıktan sonra kavşağın ortalama gecikmesi hesaplanabilir (Eşitlik 4.41) (26).

$$d_i = \frac{\sum d_A v_A}{\sum v_A} \quad [4.41]$$

d_i = Kavşağın ortalama gecikmesi (saniye/taşıt)

d_A = Yaklaşım kolunun ortalama gecikmesi (saniye/taşıt)

v_A = Yaklaşım kolunun düzeltilmiş akım değeri (taşıt/saat)

Kavşakta taşıt başına düşen ortalama gecikmeler hesaplandıktan sonra Çizelge 4.2'den kavşağın hizmet düzeyi belirlenir.

4.7.4. Özdirim yöntemi

Özdirim (1971) çalışmasında, Türkiye şartlarını göz önüne alarak ve kavşağa gelen taşıtların %95'inin, kavşağın boşaltma kapasitesinden daha az olacakları kabulüne göre periyot süresini hesaplamaktadır. Özdirim periyot süresi formülü Eşitlik 4.42'de verilmektedir (20, 23).

$$C = \frac{An + \Delta t}{1 - 0,000562 \sum M_i} \quad [4.42]$$

C = Periyot süresi (saniye)

A = Periyot süresi katsayı

n = Faz sayısı

Δt = Toplam kayıp zaman (saniye) $2n \times 3 = 6n$

M_i = Her fazın dominant (en büyük) trafik yükü (OB/saat)

Özdirim yönteminde kavşağın periyot süresini ve yeşil süreleri belirlemek üzere, farklı dolmuş oranı ve farklı 5'er dakikalık şerit yüklerinin oluşturduğu 6 eğrinin bulunduğu sinyal abağı kullanılmaktadır.

Bu yöntemde, A katsayısı ise x_2 ve x_3 değerlerine bağlı olarak tespit edilir.

x_2 = Dolmuş oranı x_3 = Maksimum şerit yükü (taşıt/5dakika)

$$0,06 < x_2 < 0,18 \text{ ve } 6,8 < x_3 < 14,2 \text{ için } A_1 = 4,017$$

$$0,18 < x_2 < 0,44 \text{ ve } 6,8 < x_3 < 14,2 \text{ için } A_2 = 4,682$$

$$0,06 < x_2 < 0,18 \text{ ve } 14,2 < x_3 < 29,1 \text{ için } A_3 = 5,117$$

$$0,18 < x_2 < 0,44 \text{ ve } 14,2 < x_3 < 29,1 \text{ için } A_4 = 5,988$$

$$0,06 < x_2 < 0,18 \text{ ve } 29,1 < x_3 < 44,0 \text{ için } A_5 = 6,458$$

$$0,18 < x_2 < 0,44 \text{ ve } 29,1 < x_3 < 44,0 \text{ için } A_6 = 7,328$$

x_2 ve x_3 değerlerine göre belirlenen A katsayısı ile eğri numarası tespit edilir. Daha sonra bu eğri numarasına karşılık gelen yeşil süre ve periyot süresi eşitlikleri kullanılır. Özdirim yönteminde periyot süresi ve yeşil süreler Eşitlik 4.43'deki gibi hesaplanır (20, 23).

$$\begin{aligned} G_1 &= 0,125 + 1,67011L & C_1 &= \frac{4,017n + \Delta t}{1 - 0,000562 \sum M_i} \\ G_2 &= 0,998 + 1,67011L & C_2 &= \frac{4,682n + \Delta t}{1 - 0,000562 \sum M_i} \\ G_3 &= 0,197 + 1,67011L & C_3 &= \frac{5,117n + \Delta t}{1 - 0,000562 \sum M_i} \\ G_4 &= 2,07 + 1,67011L & C_4 &= \frac{5,988n + \Delta t}{1 - 0,000562 \sum M_i} \\ G_5 &= 2,537 + 1,67011L & C_5 &= \frac{6,458n + \Delta t}{1 - 0,000562 \sum M_i} \\ G_6 &= 3,41 + 1,67011L & C_6 &= \frac{7,328n + \Delta t}{1 - 0,000562 \sum M_i} \end{aligned} \quad [4.43]$$

G = Yeşil süre (saniye)

L = Yeşil süre içinde geçen taşıt

4.8. Sinyalize Kavşaklarda Kapasite

Sinyalize bir kavşağın kapasitesi, etkili akım yönlerinden geçirilecek toplam taşıt sayısıdır. Belirli geometrik ve trafik özellikleri olan sinyalize bir kavşakta, bir yönden gelerek kavşağı geçebilecek taşıtların sayısı, bu yöne ayrılan yeşil sürenin periyot süresine oranına bağlıdır (30, 56).

Bir yaklaşım kolundaki kapasite, doygun akıma bağlı olarak $c_i = s_i \left(\frac{g_i}{C} \right)$ eşitliği ile hesaplanır (39, 56, 57).

Kavşak analizinde gerçek akım değerinin kapasiteye oranı (v/c), X sembolü ile gösterilir. X değeri; gerçek akım kapasiteye eşit olduğunda 1 değerini, gerçek akım değeri 0 ise 0 değerini alır.

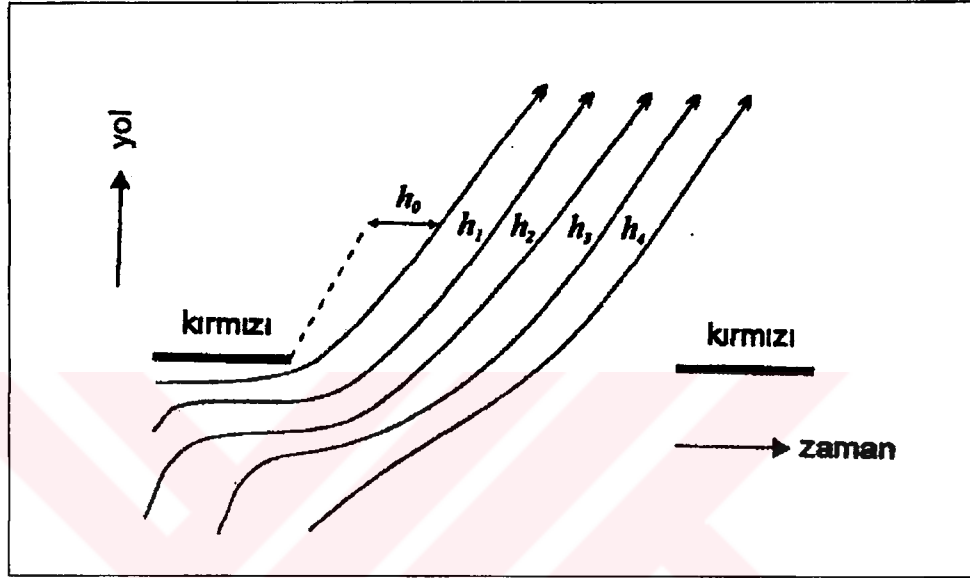
Hizmet düzeylerine ve faz sayılarına göre bir kavşağın geçirebileceği maksimum taşıt sayıları Çizelge 4. 10'da verilmektedir.

Çizelge 4.10. Hizmet düzeylerine ve faz sayılarına göre bir kavşağın kapasitesi (58)

Hizmet düzeyi	2 fazlı sistem	3 fazlı sistem	4 ve daha fazla fazlı sistem
A	900	855	825
B	1050	1000	965
C	1200	1140	1100
D	1350	1275	1225
E	1500	1425	1375
F	-		

4.8.1. Kavşak akımlarının karakteristik özellikleri

Şekil 4.17’de sinyalize bir kavşağa yaklaşırken ve kavşaktan uzaklaşırken taşıtların sergiledikleri tipik davranışı karakterize eden yol-zaman diyagramı görülmektedir.



Şekil 4.17. Kavşaktan geçiş yapan taşıtlar için yol-zaman diyagramı (1, 59)

Kırmızı ışıkta kavşağa ulaşıp kuyruğa giren ilk taşıt, yeşil ışık yandığından itibaren kavşağı terk edinceye kadar, sürücüsünün reaksiyon süresine ve taşıtın ivmelenme kabiliyetine bağlı olarak h_0 ile sembolize edilen bir süre geçirir. Bunu takip eden taşıtlar da, h_1 , h_2 , taşıt takip süreleriyle ilk taşıtı izlerler. Kavşağı ilk olarak terkeden taşıtlar arasındaki takip süreleri, bunları takip eden diğer taşıtlar arasındaki takip sürelerinden büyüktür (1).

Sağa ya da sola dönüş yapan taşıtlar arasındaki takip süreleri, düz giden taşıtların arasındaki takip sürelerine oranla daha fazladır. Bu nedenle, kavşak kapasite analizleri yapılırken düz giden akımlara ilişkin ilk takip süreleri dikkate alınır (1).

4.8.2. Kapasiteyi etkileyen faktörler

Kapasiteyi etkileyen faktörler şunlardır (30):

- Yaklaşım yönü genişliği
- Yaklaşım yönü eğimi
- Park eden taşıtlar
- Taşıt kompozisyonu
- Dönüş yapan taşıtlar
- Yayalar
- Optimum şerit genişliği

Yaklaşım yönü genişliği: Bir kavşakta yaklaşım yönünün kapasitesi şerit sayısından çok, yaklaşım yönünün genişliğinden etkilenir. Sinyaller, yaklaşım yönündeki trafiğe, periyot süresinin bir bölümünde geçiş hakkı tanıdıklarından, kuyrukların olduğu yaklaşım yönlerinde şerit genişliklerinin artırılması gerekebilir. Ancak yaklaşım yönü genişletilirken boşaltma yönünden genişletilmesi gereklidir. Aksi takdirde kavşağı terkeden taşıtların sıkışması nedeniyle kavşak içinde kuyruklar uzayabilir. Bununla beraber kavşak yaklaşım yönlerinin gereğinden fazla genişletilmesi faydadan çok zarar verir. Genişliği çok fazla olan yollarda, yayaların güvenle geçiş yapabilmeleri dar yollara oranla daha zordur ve yaklaşım kolları çok fazla genişletilmiş bir kavşakta kayıp süre daha fazla olacaktır (30).

Yaklaşım yönü eğimi: Kavşaktaki DUR çizgisi ile bu çizginin yaklaşık 100 metre gerisine kadar olan yaklaşım yönü; negatif eğimli (yokuş aşağı) ise kavşak kapasitesinin arttığı, pozitif eğimli ise kavşak kapasitesinin azaldığını söylemek mümkündür (30).

Park eden taşıtlar: Sinyalize bir kavşağın gerek yaklaşım gerek boşaltma yönünde kavşağa çok yakın mesafede park eden taşıtların bulunması, yol genişliği kaybına dolayısıyla kavşak kapasitesinin düşmesine neden olur. Pik saatler dışında kavşakta park eden taşıtların kapasiteye etkisi, dikkate alınmayacak kadar az olabilir ancak,

pik saatlerde, park etmiş taşıtlar faydalı yol genişliğini kendi kapladıkları fiziksel genişlikten çok daha fazla daraltırlar (30).

Taşıt kompozisyonu: Normal trafik akımlarında olduğu gibi sinyalize kavşaklarda da farklı tipteki taşıtlar kavşak kapasitesini etkiler. Örneğin, bir otobüs ya da kamyon, otomobilden daha geniş ve uzun olduğu için, yaklaşım kolu üzerinde daha fazla yer kaplar ve bu taşıtların kalkış ivmeleri otomobile oranla daha düşüktür. Otobüs, kamyon gibi ağır hareket eden taşıtların kavşak kapasitesini olumsuz yönde etkiledikleri söylenebilir. Kavşaktaki taşıt kompozisyonunun kavşak kapasitesine olan etkisini gerçeğe yakın bir şekilde yansıtabilmek için, kavşağa gelen tüm taşıtların ortak bir birime çevrilmesi gerekir. Bu nedenle kavşaktaki tüm taşıt tipleri, belirli katsayılarla çarpılarak Otomobil Eşdeğer Birimine çevrilir (30).

Ağırdır (1998)'e göre farklı taşıt tiplerinin otomobil eşdeğer birimleri (60);

Kamyonet ve minibüsler	= 1,0-1,5 OB
Hafif kamyonlar	= 1,5-2,0 OB
Otobüsler	= 2,0-3,0 OB
Çift dingilli kamyonlar	= 1,8-2,5 OB
Üç dingilli kamyonlar	= 2,5-3,0 OB
Treyler	= 3,0-4,0 OB

Webster ve Cobbe (1966)'a göre 1 ağır vasıta eşdeğeri 1,75 otomobil, Miller (1968)'e göre 1 ağır vasıta eşdeğeri 1,85 otomobil, Branston ve Van Zuylen (1978)'e göre 1 ağır vasıta eşdeğeri 1,74 otomobil, Teply (1985)'e göre ise, tek dingilli bir kamyonun eşdeğeri 1,5 otomobil, 3 ve daha fazla dingilli bir kamyonun eşdeğeri ise 2,5 otomobildir (61).

Bu çalışmada ise,

1 otobüs	= 2,91 OB	
1 minibüs	= 1,22 OB	olarak hesaplanmıştır.

Dönüş yapan taşıtlar: Kavşakta sağa-sola dönüş yapan taşıtların yaklaşım yönünün kapasitesine etkileri, bu dönüşler için özel şerit bulunup bulunmamasına ve sola dönüşlerde karşı yönden gelen akıma da geçiş hakkı verilip verilmemesine bağlıdır. Kavşakta otomobil eşdeğer birimi yükleri hesaplanırken, sola dönüş yapacak taşıtlar, sola dönüş için özel şerit varsa 1,3 OB, özel şerit yoksa 1,7 OB (30) (HCM'ye göre 1,6) katsayıları ile çarpılarak hesaplanır.

Yayalar: Yayalar, kavşakta kapasitesini genel olarak 3 olumsuz biçimde etkiler (30):

1. Sinyalize bir kavşakta, yaya akımının yüksek olması ve yaya geçidinin çok uzun olması durumlarında yayalara ayrılacak yeşil süre artar, taşıtlara ayrılacak yeşil süre azalır. Dolayısıyla kavşağın kapasitesi düşer.
2. Yayaların kavşaklardaki yaya geçitlerinden kendileri için yeşil ışığı beklemeden geçmeye kalkışmaları, ki bu Türkiye'de sık rastlanır bir durumdur, taşıt hızlarını düşüreceğinden kavşak kapasitesi azalır.
3. Genellikle sağa dönüş yapan taşıtlar ve zorunlu bazı durumlarda sola dönüş yapan taşıtlar, yayalarla aynı anda geçiş hakkı almışlarsa, yayalara ilk geçiş hakkını vermek zorundadır. Bu da dönüşlerin gecikmeli olarak yapılmasına ve kavşak kapasitesinin düşmesine neden olur.

Optimum şerit genişliği: Bir karayolunun ideal kapasitesi, yol ve trafik koşullarının mümkün olduğu kadar ideal koşullara yaklaşması durumunda, geçebilecek maksimum otomobil sayısı olarak tanımlanır. İdeal koşullarda bir karayolu için optimum trafik şeridi genişliği 3,50-3,75 metredir. Sinyalize bir kavşağın yaklaşım kolları üzerinde ise, trafik akımı doymuş akım değerine ulaşacak şekilde yüklü olduğunda sürücülerin şerit çizgisi ihlalleri yaptıkları gözlenmiştir. Bu durumda, örneğin, her iki yönde 0,50 metre koruma payı bulunan, şerit genişliği 3,5 metre olan iki şeritli bir kavşak yaklaşım kolunda 3 otomobil yan yana dizilebilir. Bu şekildeki bir kavşak yaklaşım kolunda optimum şerit genişliği, herhangi bir karayolunun standart şerit genişliğinden az olur (~2,85 metre) (30).

5. ANKARA'DA KARAYOLU ULAŞIMI VE TRAFİK

5.1. Ankara İli Karayolu Ulaşımına Genel Bir Bakış

Ankara iline bağlı; 24 İlçe, 1 Büyükşehir Belediyesi, 24 ilçe belediyesi, 42 belde belediyesi, 626 mahalle ve 883 köy mevcuttur (62).

Ankara'nın 1927 yılı nüfus sayımına göre toplam nüfusu 404.581 iken, son 73 yılda yaklaşık 10 kat artarak 2000 yılında 4.007.860'a yükselmiştir. Aynı dönemde ülke nüfusu 5 kat artmıştır. 1927-1935 döneminde Ankara'nın yıllık nüfus artış hızı %034.7 iken, 1990-2000 döneminde %024.4'e düşmüştür. 1927 yılında Ankara İli ülke nüfusu içinde %03.2'lik bir paya sahip iken, 2000 yılında yaklaşık % 6'lık bir paya ulaşmıştır. İl merkezinin, ayrıca bağlı ilçe ve köylerden de devamlı göç alması nedeniyle, Başkent Ankara'nın her yıl nüfusu yaklaşık 120.000 kişi artmaktadır. Bu durum, kamu hizmetlerinin sağlıklı sunulmasında önemli sorunlar yaratmaktadır (62, 63).

Çizelge 5.1. Yıllara göre Ankara'nın nüfusu ve nüfus artış oranları (62)

Yıllar	Nüfus miktarı (kişi)	Nüfus artış hızı (‰)
1927	404 581	-
1940	620 965	24.28
1950	819 693	32.85
1960	1 321 380	32.92
1970	2 041 658	43.29
1980	2 854 689	19.82
1985	3 306 327	29.38
1990	3 236 378	21.28
1997	3 631 612	18.58
2000	4 007 860	21.37

Ankara, coğrafi şartlar itibariyle karayolu bağlantısı bakımından Türkiye'nin merkezindedir. Uluslararası E-5 karayolunun 208 km'lik bölümü Ankara İl'i sınırları içindedir. Ankara'da toplam devlet yolu uzunluğu 856 km, İl yolu uzunluğu 609 km

olup, mevcut bu yolların 1.423 km'si asfalt, 42 km'si geçit vermez ve 259 km'si yol bölünmüş yoldur. İl genelinde toplam 6.778 km köy yolu ağı bulunmaktadır. Ayrıca 295 km otoyol hizmete açık, 101 km otoyolun yapımı devam etmekte olup, toplam otoyol uzunluğu 396 km'dir (62).

Çizelge 5.2. Ankara İli karayolu durumu (62)

Yolun Cinsi	Uzunluğu (km)	Asfalt (km)	Stabilize (km)	Geçit Vermez (km)	Bölünmüş (km)
Devlet Yolu	856	814	-	42	259
İl Yolu	609	609	-	-	-
Köy Yolu	6 778	3 393	2 973	339	73
TOPLAM	8 243	4 816	2 973	381	332

Çizelge 5.3. Ankara'da, şerit sayılarına göre kentiçi yollar (64)

Şerit sayısı	Uzunluk (km)
Dört ve daha fazla	760
Üç ve dört şerit	1560
İki şerit ve daha az şerit	1600

Ankara'da 2001 yılı Temmuz ayı sonu itibarıyla toplam motorlu kara taşıtları Çizelge 5.4'de görülmektedir (63).

Çizelge 5.4. Ankara'daki toplam motorlu kara taşıtları (63)

Otomobil*	659.262
Minibüs	13.724
Otobüs	12.803
Kamyonet*	80.001
Kamyon	29.279
Motosiklet	14.386
Özel Amaçlı Taşıt	5.956
Yol ve İş Makineleri	15.072
TOPLAM	830.483

* Arazi taşıtları dahil

5.1.1. Ankara trafiğı

Başkent Ankara’da, son yıllarda artan nüfus ve araç sahipliği ile birlikte, kentiğinde ve özellikle kent merkezinde trafik, büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle hafta içinde iş başı ile iş sonu saatlerinde (pik saatlerde) yollarda yaşanan tıkanıklık ve beklemeler; gerek ekonomik (yakıt tüketimi), gerek çevresel (hava–gürültü kirliliği) ve gerekse psikolojik (sabırsızlık, asabiyet vb.) olarak Ankara ve Ankaralıları olumsuz yönde etkilemektedir.

Ankara’da kişi başına günlük yolculuk üretimi 1,96’dır. Ankara’da bir iş günü içerisinde ortalama 4 milyonu aşan kent içi yolculuk yapılmaktadır. Bu yolculukların yaklaşık olarak 750 bini EGO’ya ait otobüslerle, 200 bini özel halk otobüsleriyle, 990 bini minibüslerle, geriye kalan yolculuklar ise servis araçları, taksiler, özel taşıtlar, banliyö, Metro ve Ankaray ile yapılmaktadır (65).

Çizelge 5.5. Ankara kenti ulaşım türleri dağılımı (65)

TÜRLER	Yolcu Sayısı	Toplutaşım (%)	Genel (%)
Otobüs	1.215.000	36,38	27,93
Minibüs	990.000	29,64	22,76
Servis Araçları	685.000	20,51	15,75
Banliyö Treni	100.000	02,99	02,30
Ankara Metrosu	175.000	05,24	04,02
ANKARAY	175.000	05,24	04,02
TOPLUTAŞIM	3.340.000	100,00	76,78
Özel oto	750.000		05,98
Taksi	260.000		17,24
ÖZEL TAŞIMA	1.010.000		23,22
ARAÇLI YOLCULUK	4.350.000		100,00

Ankara kentiçi ulaşımında toplu taşıma araçlarının yaygınlaşması, trafik sorununu önemli ölçüde hafifletmiştir. Özellikle iki hatta hizmete giren raylı sistemler (Ankaray ve Batıkent Metrosu) bu konuda önemli rahatlama sağlamıştır. Yakın gelecekte hizmete girmesi planlanan yol genişletme çalışmaları, katlı kavşaklar ve raylı sistem (Sincan-Eryaman, Çayyolu) (66) çalışmaları ile bu rahatlamanın daha da artacağı düşünülmektedir. Ancak, taşıtlara yönelik yapılan yeni altyapı çalışmaları ile

beraber, özel araç kullanım oranı artabilir ve bu artış, gelecekte yeni trafik tıkanıklıklarına yol açarak kısır bir döngü şeklinde devam edebilir (67, 68). Bu nedenle, trafik sorununun çözümünde uzun vadeli ve bütüncül yaklaşımlarla bir planlama çalışmasının yapılmasının ve alınacak önlemlerin bu planlama çalışmaları doğrultusunda uygulanmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

Bununla birlikte, Devlet Demiryollarına ait banliyö trenlerinin de nicelik ve nitelik olarak geliştirilerek, kentiçi ulaşımına katkı sağlamasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

5.2. Ankara Kentsel Ulaşım Planlama Çalışmaları

1923-1940 Arası Dönem: 1920'li yıllarda Kale ve Ulus çevresinde yoğunlaşan kentin ulaşımı faytonlarla sürdürülmekteydi. 1923 yılında Ankara'nın Başkent ilan edilmesinden sonra kent için imar planı yarışması açılmış, yarışmayı H. Jansen kazanmıştır. 50 yıl perspektifle 270.000 kişi için hazırladığı imar planıyla eski kente ilave olarak, planlı gelişmelerin yer alacağı yeni bir kent tasarlamıştır. Her iki kent dokusunu birbirine bağlayan ana bir bulvar ve bulvarın iki yanında yer alan kamu kuruluşları düşünmüştür (69).

1927 yılından itibaren başlayan hızlı nüfus artışı imarsız konut gelişimlerine yol açmış, alt gelir grupları ulaşımın en kolay olduğu ve Ulus merkeze en yakın Altındağ'a yerleşmişlerdir. Merkez Gar-Mamak-Kayaş banliyö hattının hizmete açılması ile birlikte imarsız gelişmeler banliyö hattı boyunca devam etmiştir (69).

1935'e gelindiğinde Kale-Ulus merkezli eski kent, Ankara'da ki konutların %72'sini, işyerlerinin %80'ini, resmi binaların %49'unu, tüm yapıların ise %73'ünü barındırmaktadır. 1937 yılında Necatibey caddesi ile İzmir caddesinin ve bu iki caddeyi birbirine bağlayan ara sokakların hizmete açılmasıyla kentin gelişimi Yenikent ve Bahçelievler yönüne kaymıştır. 1940 yılında, kent nüfusu 157.000'e ulaşmış ve Jansen'in 50 yıl için önerdiği 270.000 nüfus hedefinin aşılabacağı ortaya çıkmıştır. Kentin imar planının yeniden yapılması gündeme gelmiştir (69).

1930'lu yılların ulaşım yapısına baktığımızda, Ankara kentinde araçlı yolculukların oranının yalnızca %15 ile sınırlı kaldığı görülmektedir. Cumhuriyet döneminden önce kent içi ulaşımı ağırlıkla yaya olarak yapılırken, fayton seyrek olarak kullanılmaktadır. Başkent ilanından sonra Ankara'nın prestij kenti özelliği kazanması ile araçlı yolculukların oranında hızla artış olmuştur. Taşımacılık başlangıçta özel kişilerin işlettiği motorlu taşıtlarla sağlanmakta iken, 1929 yılında kamu tarafından banliyö treni işletilmeye başlanmıştır. 1935 yılında ise Belediye 100 adet otobüs satın alarak toplu ulaşım işletmeciliğine başlamıştır. Bu yıllarda toplu ulaşım hizmeti sadece sabah-öğle-akşam pik saatlerle sınırlı tutulmuştur (EGO1).

Otobüs işletilemeyen semtlerde özel taşımacılık devam etmiş, 1935 yılında belediyenin otobüs işletmeye başlaması ile toplam yolculuk payı içinde kamunun oranı %60'a ulaşmış, araçlı yolculukların oranı ise %22 olmuştur (69).

Belediye, 1935 yılında satın aldığı otobüslerden sonra sefere sunduğu otobüs sayısını arttıramamış, mevcut filonun önemli bölümü de hurdaya çıktığı için kamunun toplu taşımacılık içindeki payı önemli oranda azalmıştır. 1935 yılında servise çıkan otobüs başına günde 1.534, 1940'da 2.246, 1945'de 2.764 ve 1949'da 3.487 kişi taşınmaya başlamıştır (69).

1940- 1960 Arası Dönem: Tarımsal alanda başlayan mekanizasyon, kırdan büyük bir çözülmeye yol açmış, kırdan kente göç hızlanmıştır. Kır nüfusu kentlerde istihdam arayışına yönelmiş ve barınma amacıyla büyük kentlerde gecekondu oluşumu hızlanmıştır. 1950 yılında Ankara kent nüfusunun %34'ü gecekondu da yaşamaya başlamıştır (69).

Yenimahalle toplu konut uygulaması, İstanbul Yolu üzerinde 1952 yılında tamamlanmış, bu bölgeye giden kentsel altyapı hizmetleri Batı koridorundaki düzensiz konut gelişimini hızlandırmıştır. 1952 yılına ulaşıldığında Ankara'nın nüfusu Jansen'in 50 yıl sonrası için ulaşılacağını varsaydığı 300.000'e ulaşmıştır. Mevcut imar planının yetersiz kalması, yeni bir imar planının yapılmasını zorunlu kılmıştır (69).

1954 yılında düzenlenen uluslararası yarışmayı Nihat Yücel-Raşit Uybadin kazanmıştır. Bu plan ile “Bölge Kat Nizamı” uygulamasına gidilerek kentin birçok bölgesinde yoğunluk artışına izin verilmiştir. Özellikle kent merkezi ve onu çevreleyen konut dokusu bu dönemde aşırı derecede yüklenmiştir. Tüm bu girişimlere rağmen kentin hızla göç alması engellenememiş, gecekonduların yayılması ve plan dışı gelişmeler devam etmiştir (69).

1944 yılında kurulan “Ankara Otobüs İşletmesi” toplu taşımada karşılaşılan sorunları gidermeyi amaçlamıştır. 1950 yılında da aynı amaçla EGO işletmesi kurulmuştur. 1940'lara gelindiğinde araçlı toplu taşıma talebinin artmış olmasına rağmen toplu taşımadaki sunum azlığı özel sektörün bu alana yönelmesine neden olmuş ve 1944 yılında dolmuş taşımacılığı ve taksi-dolmuş uygulaması özel girişimciler tarafından başlatılmıştır. Bu yıllarda %70'lere varan kamunun toplu taşıma içindeki payı, özel girişimcilerin Ulus-Cebeci, Cebeci-Sıhhiye, Ulus-Bakanlıklar hatlarında dolmuş işletmeye başlamasıyla %50'lere kadar düşmüştür (69).

1950'lerde araçlı yolculukların sayısı artmaya devam etmiş, kamu, satın aldığı otobüslerle toplu taşıma içindeki payını %65'lere kadar çıkarmıştır. 1959'a gelindiğinde Bahçelievler-Dörtüol, Aydınlıkevler-Çankaya hatlarında da özel minibüsler çalışmaya başlamıştır. 1960'larda ise kamunun otobüs parkını iyileştirme ve parkı genişletme çabaları sonuç vermeyince, Belediye'nin hizmet sunduğu hat sayısı sabit kalmış ve kamunun toplu taşıma içindeki payı %30'lara kadar gerilemiştir (69).

1960-1980 Arası Dönem: Toplu konut yoluyla konut elde etme yöntemi 1970'li yıllarda Ankara'da da denenmiş bu dönemde Batıkent ve benzeri yerleşmeler ortaya çıkmıştır. Kurulan Ankara Nazım Plan Bürosu'nca yapılan 1990 nüfus tahmininde Ankara'nın nüfusu 3.6 milyon olarak tespit edilmiştir. Ayrıca Batı Koridoru gelişme aksı olarak önem kazanmış, Güney-Batı bölgesi ise ikincil bir koridor olarak düşünülmüştür. Koru Sitesi ve Oran bu dönemdeki toplu konut süreçlerinin sonucu olarak ortaya çıkmıştır (69).

1975-1980 arası dönemde, Ankara kentinde özel araç sahipliğinin artışına da bağlı olarak banliyöleşme başlamıştır. Gecekondu gelişimini denetim altına almak amacı ile Gecekondu Önleme Bölgeleri uygulamasına başlanılmış bu amaçla Tuzluca'yır, Sincan 1.Bölge, Ulubey, Aktepe, Şentepe ve Sincan 2. Bölgede kamulaştırmalar yapılmış fakat Sincan ve Aktepe dışındaki bölgeler gecekondu işgaline uğramıştır (69).

Bu dönem arasında kamu kuruluşları kent merkezi dışında yer seçmeye başlamış, 1970'lerde resmi kurumlar çalışanları için servis uygulamasına geçmişlerdir. Belediye 1977'de körüklü otobüsler satın alarak toplu taşımacılıktaki payını %32'ye çıkarmıştır. 1980'lerde ekspres otobüs uygulamasına başlanmış fakat yeni otobüs alımının gerçekleştirilmemiş olması nedeniyle kamunun toplu taşımacılıktaki payının düşmesine engel olunamamıştır. 1977 yılına gelindiğinde ise dolmuşların kent taşımacılığı içindeki payı günde 349.000 yolcu ile %21'e ulaşmıştır (69).

1980-2000 Arası Dönem: İlk Ulaşım Ana Plan yaklaşımı 1985-1987 yılları arasında EGO tarafından hazırlanan Ankara Kentsel Ulaşım Çalışması çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. O dönemde onaylı Ankara Nazım Planı 1990 hedefli idi ve yenisinin hazırlanması için gerekli örgütlenme yoktu. Bu nedenle ODTÜ Şehir ve Bölge Planlama Bölümünden bir grup öğretim elemanına 2015 Ankara Yapısal Plan'ı hazırlatılmıştır. Fakat bu iki planlama çalışması gerekli onaylama aşamalarını geçirememiş ve yasalaştırılmamıştır. 1989-1992 yılları arasında kentin gelişmesini etkileyen, Ankara Çevre Otoyolu, Kızılay- Batıkent Ankara Metrosu 1. Aşaması, Dikimevi-AŞTİ Ankaray 1. Aşaması ile çeşitli konut ve işyeri planlamaları gündeme gelmiştir. Bu gerekçelerle, 1987 yılında hazırlanmış fakat yasallaştırılmamış olan Ulaşım Ana Planı'nın güncelleştirilmesi için kapsamlı bir çalışma başlatılmıştır. Bu amaçla 1992 yılında bir dizi bilgi toplama çalışması (anketler, kavşak ve yol sayımları vb.) ve veri değerlendirme çalışması (yolculuk kestirim bilgisayar modellemesi) gerçekleştirilmiştir. Aradan geçen süre göz önüne alındığında ve benzer diğer bazı planlama çalışmalarında hedef yılı 2025'e taşınmış bulunduğundan, planın 2015 hedefli önerilerine ek olarak ve 2025 yılı bakış açılı "2015 Sonrası Olası Düzenlemeleri" de somutlaştırılmıştır. Bunun ardından Ankara Ulaşım Ana Planı.

sunulduğu Ankara Büyükşehir Belediye Meclisinin 07.03.1994 tarih ve 130 sayılı kararı ile kabul edilmiş, Ankara Ulaşım Koordinasyon Merkezi'nin (UKOME) 10.3.1994 tarih ve 94/3 sayılı kararı ile onaylanmıştır (65).

Ankara Merkezi İş Alanının Yapısı (MİA):

Ankara, Ulus ve Kızılay gibi iki ayrı merkeze sahip gözüktüğü de bu alanların mekansal bütünlüğü ve aynı ulaşım akslarından beslenen yapıları nedeniyle kentin tek merkezi olma özelliğini korumaktadır. Yıllar içinde Ulus geleneksel kent merkezi işlevleri yüklenirken, modern işlevler ise Kızılay aksı üzerinde yer seçmişlerdir. Merkez üzerindeki yolculuk talepleri, merkeze yönelik ulaşım aksları üzerinde yığılmalara neden olmaktadır. Ana arterlerin kaldırabileceğinden fazla trafik yükünün merkez bölgesine yönelmesi belli başlı kavşakların ve arterlerin tıkanmasıyla sonuçlanmaktadır (69).

5.2. Ankara'daki Sinyalize Kavşaklar

Bir kentsel alanda üç tip sinyalizasyon sistemi bulunabilir. Bunlar (70):

- Münferit (izole) kavşaklar,
- Bir ana arter gibi sınırlı bir kesimde yer alan az sayıda koordineli sinyal sistemleri,
- Tüm kenti kapsayan koordineli sinyal sistemleridir.

Ankara 1968 yılında bilgisayar kumandalı trafik kontrol sistemi kurulan ilk Avrupa kentlerindedir (aynı sistem Yunanistan'da da kurulmuştur (29)). Siemens tarafından kurulan VSR 3000, ilk kurulduğunda 65 kavşağı kapsamaktaydı (23, 25). Bu sistemde tüm kavşaklar münferit olarak çalışmaktaydı. Sistem, 1968-1990 yılları arasında 60 kavşak kapasiteli olarak çalıştırıldı. Ancak sistem, cihazların eski olması ve kablo ağının, 1990 yılında başlayan raylı sistem inşaatındaki altyapı çalışmaları nedeniyle birçok yerde kesilmesinden sonra kullanım dışı kalmıştır (29).

1994 yılında yine Siemens tarafından üretilen 60 kavşak kapasiteli yeni bir bilgisayar kumandalı trafik kontrol sistemi kurulmuştur. Sisteme 20 kavşak bağlanmış ancak bir süre sonra bu sistem de devre dışı kalmıştır. Kurulan bu yeni sistemle, Ankara Esenboğa hava alanı yolu üzerinde bulunan 16 kavşak, birbiriyle koordinasyonlu olarak kadar çalıştırılmış ancak yine karşılaşılan altyapı problemleri nedeniyle sistem 2000 yılında devre dışı kalmıştır (29).

1998 yılında Ankara Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılan, *Ankara Trafik ve Ulaşım İyileştirme Etüdü* çalışması, Sinyal Sistemi İyileştirme Programı çerçevesinde Ankara'nın mevcut trafik kontrol sisteminin genel bir değerlendirmesi yapılarak, özellikle kent merkezinde yer alan sinyalize kavşakların iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için yeni bir trafik sinyal kontrol sistemi önerilmiştir (71).

Şu an Ankara'da Kasım 2002 verileri itibarıyla 3 bölgede yer alan toplam 374 sinyalize kavşak bulunmaktadır (2003 verilerine göre toplam 390 sinyalize kavşak) ve tüm bu kavşaklar münferit olarak çalıştırılmaktadır. Bu kavşaklarda uygulanan sinyal programları, yapılan trafik sayımları neticesinde belirlenen trafik yüklerine göre 80 sn, 100 sn ve 120 sn'lik periyot sürelerinden birinin seçilmesi şeklinde olmaktadır. Trafik yükü fazla olan bazı kavşaklarda 150 sn'lik periyot süreleri de kullanılmaktadır. Periyot sürelerinin ve faz düzenlerinin tayin edilmesinde bir model kullanılmamakta, Ankara İl Trafik Şube Müdürlüğü teknik personeli tarafından belirlenmektedir (29).

Çizelge 5.6'da Ankara'daki toplam sinyalize kavşak sayıları ve özellikleri verilmektedir.

Çizelge 5.6. Ankara'daki toplam sinyalize kavşak sayıları ve özellikleri (29)

Bölgeler	1	2	3	TOPLAM
Siemens	73	71	101	245
Siemens Butonlu	17	5	9	31
8051	0	3	1	4
8051-4	1	1	5	7
8051-4A	9	10	14	33
Monitron	4	2	4	10
Monitron Butonlu	2	3	6	11
Ultra	0	1	2	3
Butonlu	10	3	6	19
Flaş	4	5	2	11
TOPLAM	120	104	150	374
Otomatik	87	87	126	300
Butonlu	29	11	21	61
Flaş	4	6	3	13

Kasım 2002 verileri

Yapılan tez çalışmasının, Ankara'daki sinyalize kavşaklar için uygun sinyal periyot sürelerinin belirlenmesinde kullanılabileceği ve tecrübelerle dayanarak tespit edilen periyot sürelerinin yaratabileceği eksiklikleri/olumsuzlukları giderebileceği düşünülmektedir.

Ankara'da bulunan sinyalize kavşaklarda uygulanan sinyal programları, sabah pik saatlerinde, akşam pik saatlerinde, pik dışı saatlerde ve gece yarısında olmak üzere genel olarak 4 programlı olarak çalıştırılmaktadır. Bununla birlikte trafik yükü fazla olan bazı kavşaklar; saat 07:00-09:00 arasında birinci program, saat 09:00-12:00 arasında ikinci program, 12:00-14:00 arasında üçüncü program, saat 14:00-16:00 arasında dördüncü program, saat 16:00-19:00 arasında beşinci program, saat 19:00-24:00 arasında altıncı program ve saat 24:00'den sonra yedinci program (flaş) olmak üzere dörtten fazla programla çalıştırılmaktadır. Hafta içi günlerde ve hafta sonu tatil günlerinde de kavşaklarda farklı programlar uygulanmaktadır. (29).

EK 7'de Ankara'da 3 bölgede yer alan tüm sinyalize kavşakların bir listesi verilmektedir.

Sinyal elemanlarının kavşağa yerleştirilmesi, kavşağın geometrik yapısına uygun olarak Ankara Büyükşehir Belediyesi Trafik Şube Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan şartname kriterlerine uygun olarak yapılmaktadır (29).

Halen Ankara'daki toplam 390 trafik sinyalinden 74'ü kent merkezindedir ve kent merkezindeki bu kavşaklarda geometrik tasarım farklılıkları vardır. Kentin yol ağındaki yaygın olarak görülen kavşak geometrisi; sinyalize dönel kavşak, dört kollu kavşak ve T tipi kavşaklardır (70).

Ankara'daki sinyalize kavşaklarda sık olarak görülen standart dışı geometrik uygulamalar şunlardır:

- *%5'e kadar varan eğimler* taşıtların güvenli hareketlerini özellikle yağışlı havalarda zorlaştırmaktadır.
- *Dar kurplar görüş* mesafesini kısıtlamakta ve taşıt hareketlerini zorlaştırmaktadır.
- *Farklı genişlikteki yollar ve şerit sayıları*, kavşak yaklaşımlarında ve çıkışlarında şeritlerin sürekliliğini ortadan kaldırmaktadır.
- *Yoğun sola ve sağa dönüşlerde yetersiz yönlendirme* kavşaktaki trafik düzeninde karışıklığa yol açmaktadır.
- *Kavşaktaki DUR çizgisinin kavşaktan çok geriye yerleştirilmesi* yaklaşım depolama alanını daraltmakta ve sürücülerini bu çizgiyi geçme yönünde kural ihlali yapmaya yöneltmektedir.
- *Kavşak alanı içinde yer alan otobüs duraklarının tasarımındaki eksiklikler ve yanlışlıklar* trafik düzeninde aksamalara neden olmaktadır.
- *Kavşak kollarında ve kavşak alanındaki yatay işaretlemelerin (şerit çizgileri, yön çizgileri, hız limitleri vb.) görülebilmesi ya da az görülebilmesi ve sürekliliklerinin sağlanamaması*, sürücülerin kavşak içinde doğru olarak yönlendirmelerini güçleştirmektedir.
- *Kavşaklardaki ışıklı trafik işaretlerinin tasarım ve yerleştirme kriterleri tüm kavşaklarda süreklilik göstermemekte ve kavşaklarda standart olmayan farklı*

uygulamalara rastlanmaktadır. Farklı kavşaklarda farklı uygulamalarla karşılaşan sürücülerde standart bir davranış gelişmemektedir.

- *Kavşak kollarındaki düşey işaret levhaları ve ışıklı trafik işaretlerinin çeşitli engeller (ağaç, reklam panosu vb.) nedeniyle görülememesi, sürücülerin kavşak içinde doğru olarak yönlennmelerini güçleştirmektedir.*

Ankara'da kavşak geometrisinde karşılaşılan standart dışı uygulamalarla beraber yaşanan bir başka sorun da, sinyalizasyon kavşakta sinyallerle beraber kavşağın trafik polisleri tarafından idare edilmeye çalışılmasıdır. Trafik polisi birden fazla kavşağı eşzamanlı olarak idare edemez ve birbiriyle koordinasyonlu olarak çalıştırılan kavşaklardan birinin manuel olarak idare edilmesi, kavşaklar arasındaki senkronizasyonu bozacak ve gereksiz beklemelele neden olabilecektir. Bununla beraber, polis tarafından idare edilen bir kavşakta, kavşak kollarından yaklaşmakta olan sürücüler, trafik polisini göremeyebilir ve kendilerine yanan ışıklı sinyale göre hareket edebilirler. Örneğin geldiği yöndeki baş üstü sinyalinde kendisine yeşil ışık yandığını gören bir sürücü, trafik polisinin dur işaretini göremeyebilir. Bu durum da, trafiğin emniyetli ve düzenli akışını engelleyebilir. Bu nedenle, trafik polislerinin zorunlu olmadıkça trafiği yönetmemeleri ve tüm yol kullanıcıların kurallara riayetini sağlamak yönünde görevlerini yerine getirmelerinin daha faydalı olacağı düşünülmektedir.

Ankara'da sinyalizasyon kavşaklarda karşılaşılan bir diğer sorun da, sürücülerin, kavşak yaklaşım kollarında durmaları gerekli olan DUR çizgisinin önünde durmayarak ilerleyip kavşak alanına girmeleridir. Bu durumda kendisine yeşil ışığın yanmasını bekleyen ilk taşıt, yanan yeşil ışığı görememekte, dolayısıyla kavşağın boşalma süresi artmakta ve kapasitesi düşmektedir.

Türkiye'nin Başkenti olan Ankara'daki mevcut sinyalizasyon sistemi, teknolojinin oldukça gerisinde kalmıştır. Ankara'da iki nokta arasındaki ulaşımın, mümkün olan en az durma ve beklemeyle, akıcı bir şekilde sağlanması için, yeni teknolojik gelişmeler doğrultusunda, modern bir trafik yönetim sisteminin kurulmasının gerekli

olduğu düşünölmektedir. Ayrıca bu yeni sistemle; zamandan ve yakıt tüketiminden tasarruf edilebileceği, kent içindeki trafik kazalarının ve trafiğin çevre üzerinde yarattığı olumsuz etkilerin azalabileceği ve yardımcı trafik personeline olan ihtiyacın minimuma inebileceği düşünölmektedir.



6. PERİYOT SÜRESİNİN ANKARA ÖRNEĞİNDE MODELLENMESİ

6.1. Çalışma Alanı

Çalışma, Ankara kent merkezinde bulunan 10 sinyalize kavşakta, hafta içi (pazartesi hariç) normal bir işgününde, sabah ve akşam pik saatlerinde (her kavşak için sabah ve akşam piklerinde ortalama 10 ölçüm şeklinde) yapılan toplam 192 ölçüm ve trafik sayımlarını veri olarak kullanan ve sinyalizasyon hesabına esas olan Periyot Süresinin Ankara örneğinde modellenmesini kapsamaktadır.

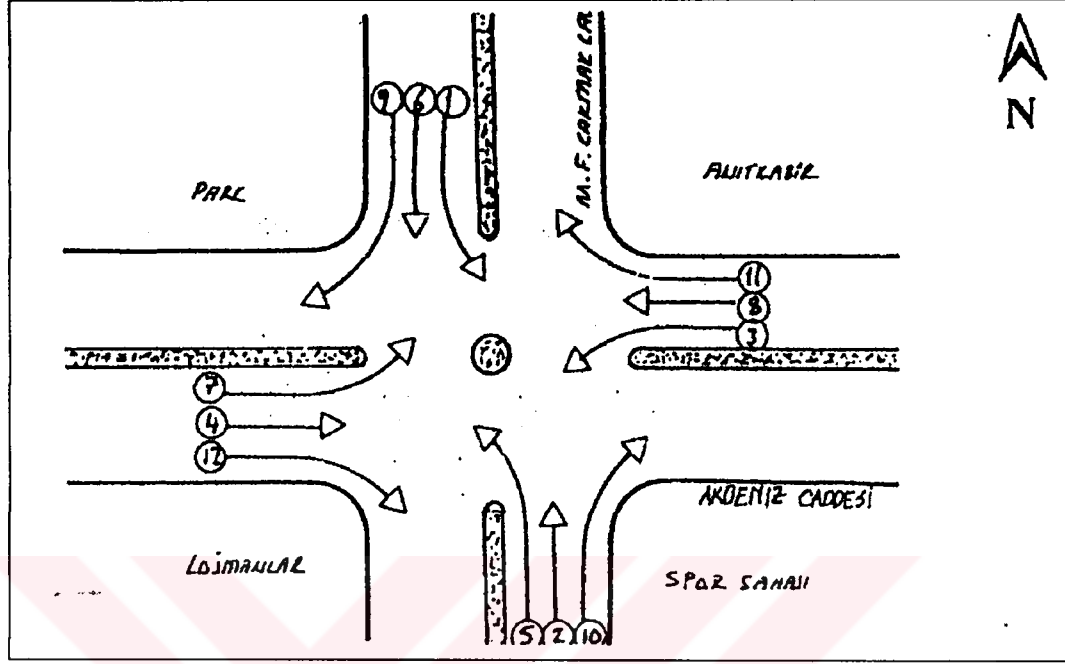
Çalışmada aşağıdaki kavşaklarda ölçümler ve trafik sayımları yapılmıştır:

1. Akdeniz Caddesi-Mareşal Fevzi Çakmak Caddesi Kavşağı
2. DSI-DMO-KKK Kavşağı
3. Genel Kurmay Kavşağı
4. Kurtuluş Kavşağı
5. Eskişehir Yolu-İnönü Bulvarı Kavşağı
6. Konya Yolu-Bahriye Üçok Caddesi Kavşağı
7. Osmanlı Kavşağı
8. Ulus Kavşağı
9. Tandoğan Kavşağı
10. Beşevler Kavşağı

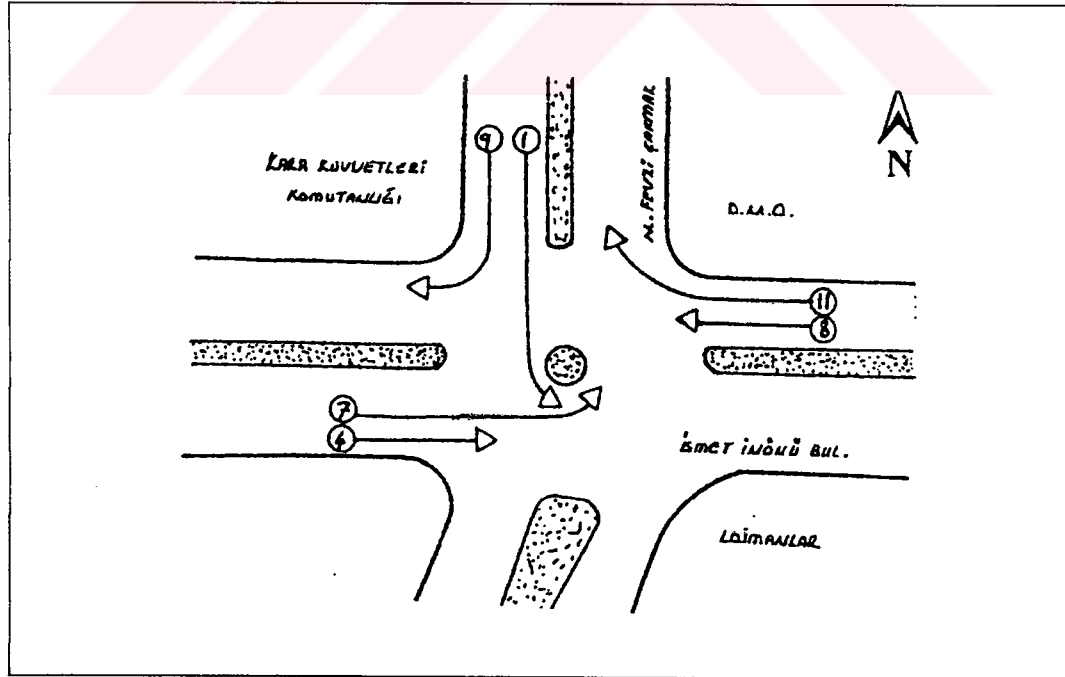
Yapılan ölçümler ve trafik sayımları kavşak yaklaşım kolundaki tek şerit için yapılmış ve Microsoft Excel programına veri olarak girilmiştir. Bu veriler, SPSS 7.5 programında regresyon analizine tabi tutularak periyot süresi modeli oluşturulmuştur.

Toplam 10 kavşakta yapılan ölçümde, yaklaşım kollarından kavşağa girerek kavşağı boşaltan; 1735 otomobil, 250 otobüs, 269 minibüs ve 8 kamyon olmak üzere toplam 2262 taşıt değerlendirmeye alınmıştır. Ayrıca bu kavşaklarda, saatlik trafik yükünü tespit etmek üzere, beşer dakikalık sürelerde geçen taşıtlar, cinsleri belirtilerek sayılmıştır.

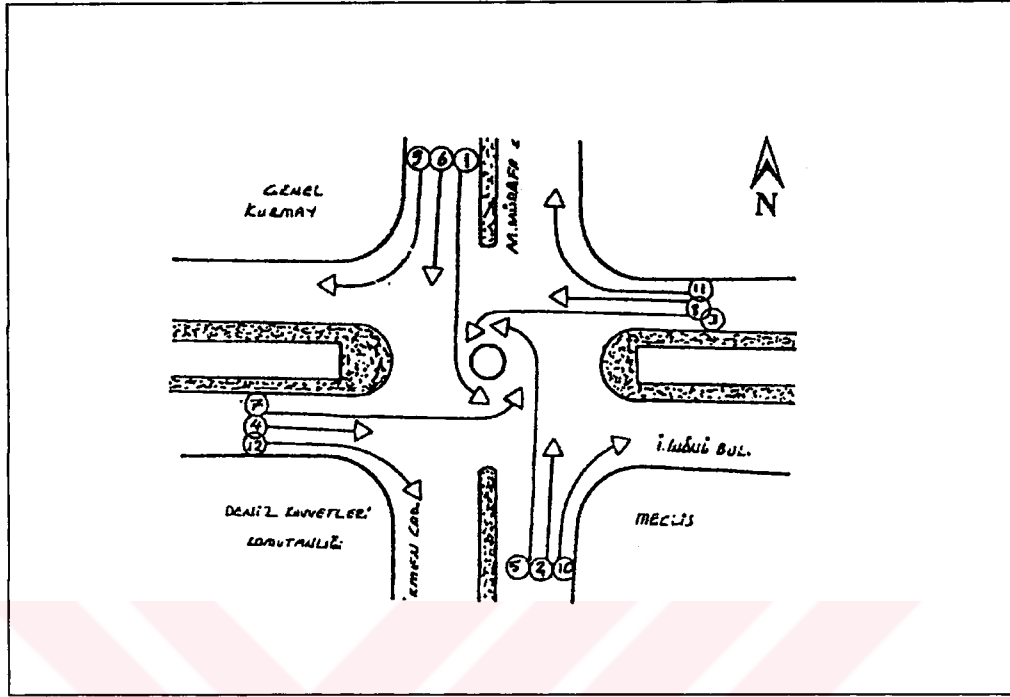
6.1.1. Sayım yapılan kavşaklar



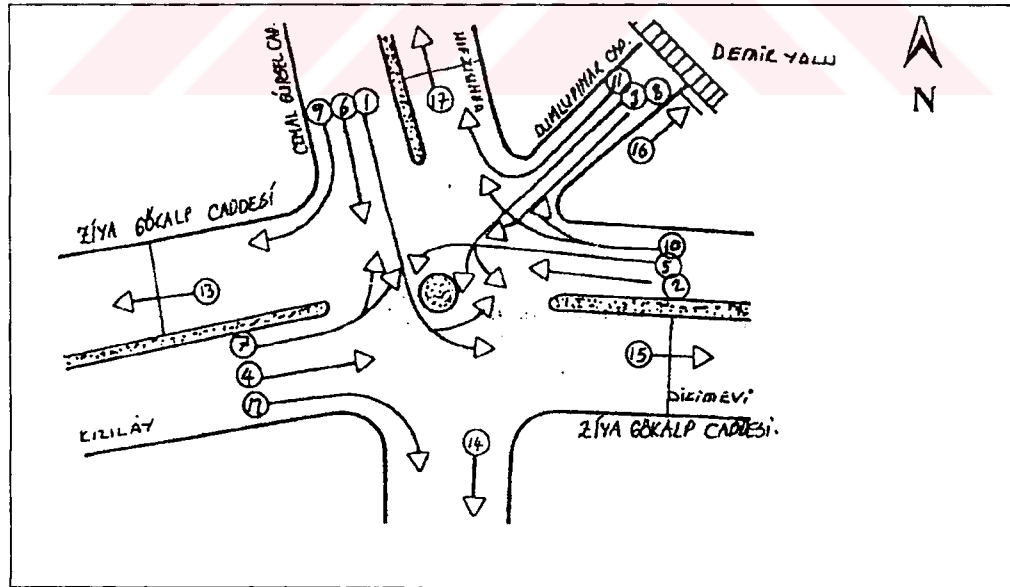
Şekil 6.1. Akdeniz Caddesi-M. Fevzi Çakmak Caddesi kavşağı
(Anıttepe spor sahası önü)



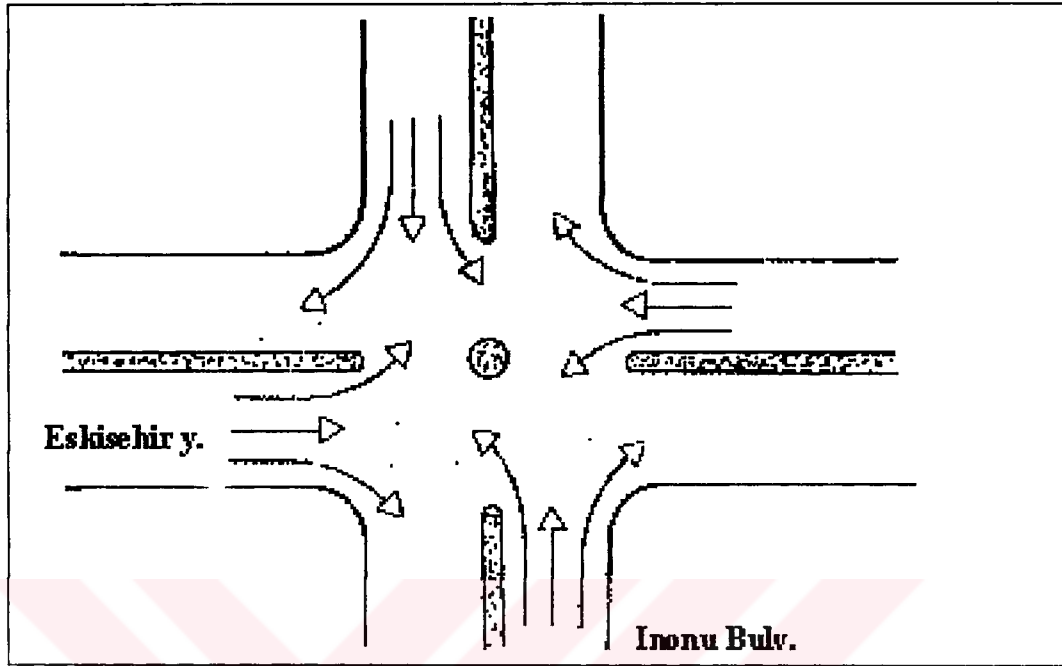
Şekil 6.2. DSI-DMO-KKK kavşağı



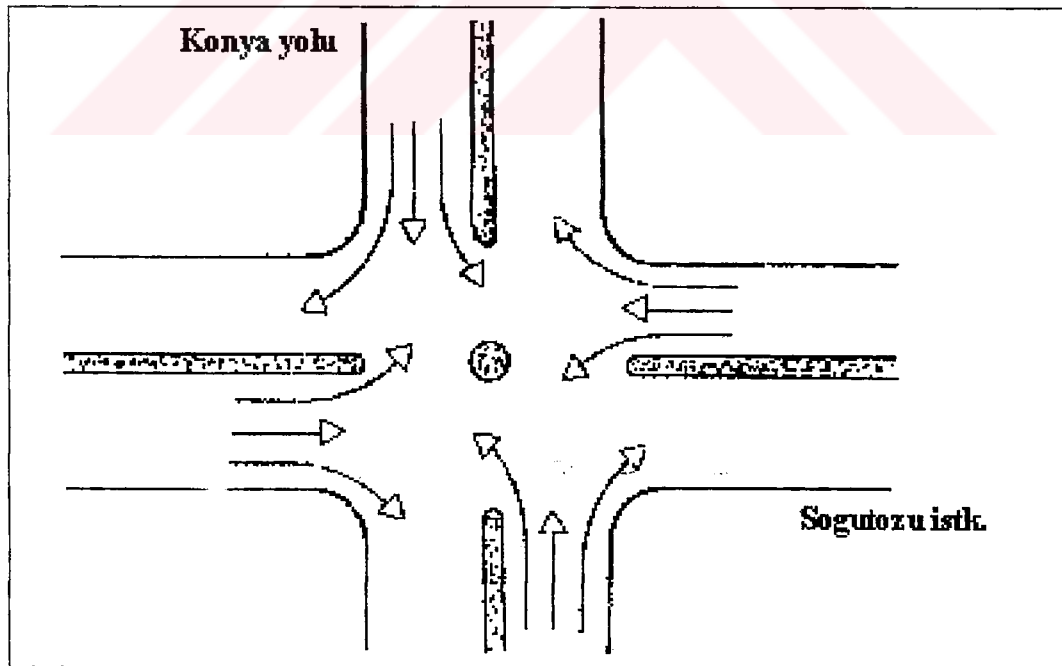
Şekil 6.3. Genel Kurmay kavşağı



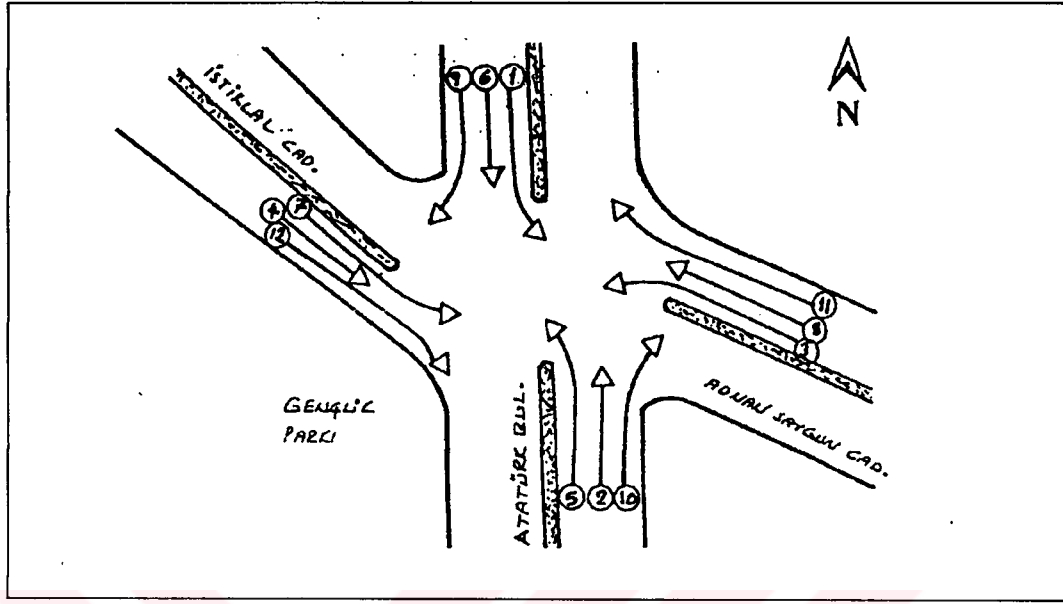
Şekil 6.4. Kurtuluş kavşağı



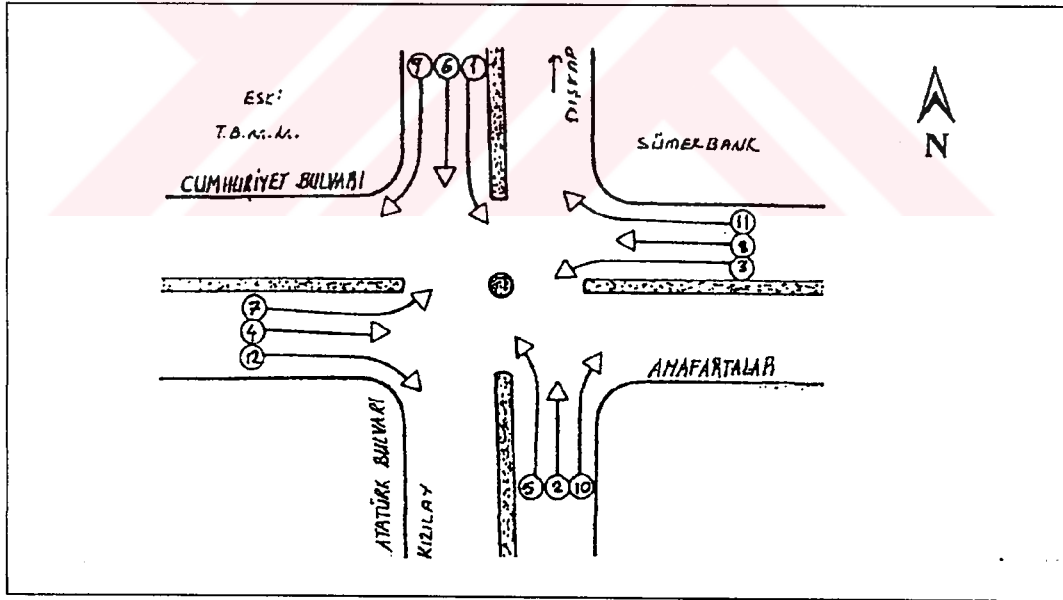
Şekil 6.5. Eskişehir Yolu-İnönü Bulvarı kavşağı (Milli Kütüphane önü)



Şekil 6.6. Konya Yolu-Bahriye Üçok Caddesi kavşağı (Gazi Hastanesi önü)



Şekil 6.7. Osmanlı kavşağı



Şekil 6.8. Ulus kavşağı

yandığında harekete geçmiş taşıtlardır. Dolayısıyla şerit tamamen boşaldıktan sonra gelen ve durmadan geçen taşıtlar ölçüme dahil edilmemiştir. Ses kayıt cihazına anons edilen veriler, bir kronometre yardımı ile geçen her taşıtın geçiş anları tespit edilmek suretiyle sayısallaştırılmıştır.

Ayrıca, kavşakların şerit başına düşen saatlik trafik yüklerini tespit etmek üzere, beşer dakikalık sürelerde geçen taşıtlar, cinsleri belirtilerek çizelgeleme yöntemi ile sayılmıştır. Beşer dakikalık sürelerde yapılan sayımlar saatlik trafik sayımlarına dönüştürülmüştür.

6.1.2.1. Ölçüm ve sayım sonuçları

Kavşaklarda yapılan ölçümlerde, sayılması gereken minimum taşıt sayıları %25 hata derecesi ile Eşitlik 6.1 kullanılarak belirlenmiştir. (23)

$$n = \frac{40.000}{\frac{40.000}{M} + (x)^2} \quad [6.1]$$

n = Sayılması gereken minimum taşıt sayısı

x = Hata yüzdesi (%25)

M = Saatlik trafik hacmi (OB/şerit/saat)

Yapılan ölçüm ve sayım sonuçları EK 2’de verilmektedir.

6.2. Ölçüm ve Sayım Sonuçlarının Excel Ortamında Değerlendirilmesi

Portatif ses kayıt cihazı ile yapılan ölçümlerde; kavşak yaklaşım kolunda durarak beklemekte olan taşıtlar, kendilerine yeşil ışık yandığında, DUR çizgisini geçerken ses kayıt cihazına taşıt cinsi belirtilerek (otomobil, minibüs, otobüs, kamyon) anons edilmiştir. Ölçümler kavşak yaklaşım kolundaki bir şerit için yapılmıştır.

Ses kayıt cihazına anons edilen taşıt cinslerini belirlemek üzere

Otomobil	için	A
Otobüs	için	B
Minibüs	için	C *
Kamyon	için	K

sembolleri kullanılmıştır.

Yapılan sayımlarda belirlenen toplam kamyon sayısı çok az olduğu için bu değerler ihmal edilmiş ve değerlendirmeye alınmamıştır.

Sayısallaştıran veriler, tüm ölçümlerdeki toplam geçiş süreleri ve bu süre içerisinde geçen taşıt sayılarıdır. Kavşak yaklaşım kolunda yapılan bir ölçümde elde edilen verilerin dönüştürüldüğü değerler Çizelge 6.1' ve Çizelge 6.2'de örnek olarak gösterilmektedir. Tüm ölçümlerde tespit edilen toplam geçiş süreleri ve bu sürede geçen taşıt cinslerine göre toplam taşıt sayıları EK 3'de verilmiştir.

Çizelge 6.1'de sayım yapılan kavşaktaki iki ölçümün verileri görülmektedir. İlk ölçümde, yeşil ışık yandığı anda bekleyen ilk aracın 2 sn sonra harekete geçerek kavşağı boşalttığı, ikinci aracın ilk araçtan 2 sn sonra kavşağı boşalttığı (4. saniyede), üçüncü aracın ikinci araçtan 2 saniye sonra kavşağı boşalttığı (6.saniyede) ve dokuzuncu aracın sekizinci araçtan 3 saniye sonra (21. saniyede) kavşağı boşalttığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bu ölçümde, kavşakta kırmızı ışıkta durarak yeşil ışığın yanmasını bekleyen 9 araç, toplam 21 saniyede kavşaktan tahliye olmuştur.

Çizelge 6.2'de ise, sayım yapılan kavşaktaki iki ölçüme ait kavşak geçiş süreleri (tahliye süreleri) ve bu sürede kavşaktan geçen taşıt sayıları ile taşıt cinsleri görülmektedir.

* 18-21 kişilik taşıtlar da minibüs olarak kabul edilmiştir

Çizelge 6.1. Kavşak yaklaşım kolunda yapılan örnek ölçüm

Akdeniz-M. Fevzi Çakmak 24.05.2001 Sayım başlangıç saati 17:25 M=625 OB/şerit/saat	Geçiş anı saniye	Taşıt cinsi
	2	A
	4	A
	6	A
	8	A
	10	A
	12	A
	14	A
	18	C
	21	A
	4	A
	6	A
	8	A
	11	A
	13	A
	15	A
	17	A
	19	A
	22	A

Çizelge 6.2. Örnek ölçümde tespit edilen kavşak tahliye süreleri ve bu sürede geçen cinslerine göre toplam taşıt sayıları

Akdeniz M.F. Çakmak 24.05.2001 Saat 17:25 M=625 OB/şerit/saat	Kavşak boşalma süreleri saniye (G)	Kavşağı boşaltan otomobil sayısı (A)	Kavşağı boşaltan otobüs sayısı (B)	Kavşağı boşaltan minibüs sayısı (C)	Kavşağı boşaltan kamyon sayısı(K)	Kavşağı boşaltan toplam taşıt sayısı (T)
	21	8	0	1	0	9
	22	9	0	0	0	9

Yapılan tüm ölçümlerde kavşakların mevcut tahliye süreleri, her kavşak ve kavşakta yapılan her ölçüm için farklı değerler almaktadır. Veriler değerlendirilirken bu tahliye sürelerini ortak bir paydada buluşturmak gereği ile mevcut sürelerden en çok tekrar edeni tespit edilmiştir.

Çalışmada en çok tekrar eden kavşak tahliye süresi, bu sürede geçen toplam taşıt sayıları tartı olarak alınarak Eşitlik 6.2'deki gibi hesaplanmıştır.

$$t_s = \frac{(G_1.T_1) + (G_2.T_2) + \dots + (G_n.T_n)}{T_1 + T_2 + \dots + T_n} \quad [6.2]$$

- t_g = En çok tekrar eden kavşak tahliye süresi (saniye)
 G_i = i ölçümündeki kavşak tahliye süresi (saniye)
 T_i = i ölçümündeki kavşak tahliye sürelerinde geçen toplam taşıt sayısı
 n = Ölçüm sayısı

Hesaplama sonucu en çok tekerrür eden kavşak tahliye süresi $t_g = 38,5353$ saniye bulunmuştur.

t_g süresi belirlendikten sonra, yapılan ölçümlerde kavşak tahliye süresi olarak bu değer kullanılmış ve bu süre boyunca kavşaktan geçiş yapacağı düşünülen taşıt miktarları belirlenmiştir. Mevcut ölçüm değerlerinde kavşak tahliye süresinin 38,5353 saniye olduğu kabulüyle, cinslerine göre kavşağı boşaltan taşıt sayıları tespit edilmiştir (Çizelge 6.3). (Tüm ölçümlerde kavşak tahliye süresinin 38,5353 saniye olduğunda, cinslerine göre geçen taşıt sayıları EK 4’de verilmektedir).

Örneğin Akdeniz-M.F.Çakmak kavşağındaki 1.ölçümde kavşağın mevcut tahliye süresi 21 saniye ve kavşağı boşaltan taşıtlar; 8 otomobil, 0 otobüs, 1 minibüs ve 0 kamyonudur. Bu değerler, kavşak tahliye süresi 38,5353 saniye olduğunda ise; 14,68 otomobil, 0 otobüs, 1,84 minibüs ve 0 kamyon değerlerini alır.

Çizelge 6.3. Örnek ölçümde, kavşak tahliye süresinin 38,5353 saniye olduğu kabulüyle, cinslerine göre kavşağı boşaltan taşıt sayıları

Akdeniz M.F. Çakmak 24.05.2001 Saat 17:25 M=625 OB/şerit/saat	Kavşak boşalma süresi saniye G	Kavşağı boşaltan otomobil sayısı (A)	Kavşağı boşaltan otobüs sayısı (B)	Kavşağı boşaltan minibüs sayısı (C)	Kavşağı boşaltan kamyon sayısı(K)	Kavşağı boşaltan toplam taşıt sayısı T
	21	8	0	1	0	9
	22	9	0	0	0	9
Akdeniz M.F. Çakmak 24.05.2001 M=625 OB/şerit/saat	Kavşak boşalma süresi saniyeG'	Kavşağı boşaltan otomobil sayısı (A')	Kavşağı boşaltan otobüs sayısı (B')	Kavşağı boşaltan minibüs sayısı (C')	Kavşağı boşaltan kamyon sayısı(K')	Kavşağı boşaltan toplam taşıt sayısı T'
	38.5353	14.68	0,00	1.84	0	16.52
	38.5353	15.76	0,00	0,00	0	15.76

6.3. Ölçüm ve Sayım Sonuçlarının SPSS 7.5 Programı ile Değerlendirmesi

Çalışmada ilk olarak; otobüs ve minibüsün otomobil eşdeğer birimi değerlerini tespit etmek üzere bir analiz yapılmıştır. Ölçümlerde 38,5353 saniye dönüştürülmüş kavşak tahliye süresinde kavşağı boşaltan taşıt cinsleri ve sayıları arasında; x: otomobil sayısı, y: otobüs sayısı, z: minibüs sayısı olmak üzere;

$$y = f(x, z)$$

ilişkisi, SPSS 7.5 programında doğrusal regresyon analizi yapılarak incelenmiştir. Bu analiz sonucunda;

$$y = -0,344x - 0,418z + 6,842 \quad (R^2 = 0,526) \quad [6.3]$$

eşitliği belirlenmiştir (EK 5). Bu eşitlik yardımı ile minibüs ve otobüsün, otomobil olarak eşdeğer birimleri hesaplanmıştır. Bunun için Eşitlik 6.3'de;

z = 0 alınarak (0 minibüs geçtiği durum) Eşitlik 6.4 bulunmuştur.

$$y = -0,344x - 0,418(0) + 6,842$$

$$y = -0,344x + 6,842 \quad [6.4]$$

Eşitlik 6.4, minibüssüz ve sadece otomobil ile otobüsün oluşturduğu bir taşıt grubunun geçiş şartlarını belirtir. Eşitlik 6.4'de y=0 alındığında,

$$0 = -0,344x + 6,842$$

$$x = 19,89$$

Eşitlik 6.4'de y=1 alındığında ise,

$$1 = -0,344x + 6,842$$

$$x = 16,98$$

değerleri bulunur.

Bu durumda 1 otobüsün neden olduğu değişiklik, $19,89 - 16,86 = 2,91$ otomobildir.

$$1 \text{ otobüs} = 2,91 \text{ otomobil} \quad [6.5]$$

1 minibüsün otomobil eşdeğerini bulmak için ise,

$x = 0$ ve $y=0$ alınarak,

$$0 = -0,344(0) - 0,418(z) + 6,842$$

$$z = 16,37$$

$x = 1$ ve $y=0$ alınarak,

$$0 = -0,344(1) - 0,418(z) + 6,842$$

$$z = 16,37 \quad \text{değerleri bulunur.}$$

Bu durumda 1 otomobilin neden olduğu değişiklik, $16,37-15,55 = 0,82$ minibüstür.

Dolayısıyla 1 minibüsün neden olduğu değişiklik $1/0,82 = 1,22$ otomobildir.

$$1 \text{ minibüs} = 1,22 \text{ otomobil} \quad [6.6]$$

6.4. Periyot Süresi Formülü

Türkiye’de kavşaklarda sinyalizasyon hesabı yapılırken aşağıdaki faktörlerin etkilerini dikkate almak gereklidir (20):

1. *Şerit başına gelen trafik yükü:* Şerit başına gelen yükün artmasıyla meydana gelen sıkışıklık, sürücüleri psikolojik olarak etkiler. Ayrıca bu yükün çoğaldığı pik saatlerde kavşaklardaki yaya hareketleri de artar.
2. *Taşıt kompozisyonu:* Türkiye’de trafik kompozisyonunda ağır vasıtalar önemli bir yer tutar. Bununla birlikte, kentiçi ulaşım sistemlerinde yaygın olarak kullanılan *Minibüsler* (Dolmuşlar) ve özellikle büyük kentlerimizde kullanılan *Okul ve Personel Servis Araçları* nın trafik kompozisyonuna etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

3. *Eksik kavşak geometrisi:* Eksik ve hatalı yapılan kavşak geometrileri kapasiteyi büyük ölçüde etkiler.
4. *Trafik kurallarına riayet:* Sürücü ve yayaların trafik kurallarına uymamaları, (kavşaklarda sürücülerin DUR çizgisinde durmaları gerekirken bu çizgiyi geçerek kavşak içine ilerlemeleri, yayaların kendileri için yana kırmızı ışıktaki geçiş yapmaları vb.) ülkemizde sıkça karşılaşılan bir durumdur. Bu kural ihlalleri özellikle sinyalize kavşaklarda kavşak kapasitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Sinyalize bir kavşağın kapasitesinde çalıştırılabilmesi, o kavşak için uygun periyot süresi ve yeşil sürelerin belirlenmesine bağlıdır. Periyot süresine esas olan veri ise kavşaktan geçen trafik yüküdür. Literatürde periyot süresine veri olarak şeritlerin maksimum akım değerinin doymuş akım değerine oranları veri kullanılmaktadır ve sağa-sola dönen araçlar, şeritlerin genişliği, park eden araçlar, yolun eğimi ile taşıt kompozisyonu gibi faktörler doymuş akım değerlerini etkilemektedir.

Bu çalışmaya esas olan veriler ise, Ankara kent merkezinde bulunan 10 adet sinyalize kavşakta, hafta içi (pazartesi hariç) normal bir işgününde, sabah ve akşam pik saatlerinde (sabah 08:00-09:00 aksam 17:00-18:00) yapılan ölçümler sonucu belirlenmiş verilerdir. Bu veriler; kavşağın mevcut trafik yükü altındaki tahliye süreleri ile ölçüm yapılan şeritlerin saatlik trafik yükleridir.

Periyot süresi modelini belirlemek için; kavşak yaklaşım kollarında yapılan ölçümlerde belirlenen tahliye süreleri bağımlı değişken, tahliye süresi boyunca yaklaşım kollarından geçen otomobil eşdeğer birimine çevrilmiş toplam taşıt sayıları ve saatlik trafik yükleri bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Bu veriler; gözlem değerlerinin normal bir dağılıma sahip olup olmadığını belirlemek üzere SPSS 7.5 programında doğrusal regresyon analizine tabi tutulmuş ve Eşitlik 6.7. bulunmuştur.

$$G = f(m_{OB}, M)$$

$$G = a.m_{OB} + b.M + c$$

$$G = 1,853m_{OB} - 3,32.10^{-3}M + 6,326 \quad [6.7]$$

- G = Ölçüm yapılan kavşak yaklaşım kolunun tahliye süresi (saniye)
 m_{OB} = Ölçüm yapılan kavşak yaklaşım kolundan, tahliye süresi boyunca geçen otomobil eşdeğer birimine çevrilmiş toplam taşıt sayısı (OB/şerit)
 M = Saatlik trafik yükü (OB/şerit/saat)
 a, b, c = Model katsayıları

Kavşak tahliye süresini belirlemek üzere yapılan doğrusal regresyon analizi sonuçları EK 6'da verilmektedir.

Eşitlik 6.7'de m_{OB} sembolü ile gösterilen bağımsız değişken, ölçüm yapılan kavşakta, bir deneyde, tahliye süresi boyunca kavşaktan geçiş yapan otomobil birimine çevrilmiş toplam taşıt miktarını ifade etmektedir. Kavşak yaklaşım kollarında yapılan ölçümlerde cinslerine göre belirlenen taşıtlar, 1minibüs=1,22 otomobil ve 1otobüs=2,91 otomobil katsayıları kullanılarak otomobil birimine çevrilmiş ve yeni toplam taşıt sayıları tespit edilmiştir.

Periyot süresi boyunca yaklaşım kolundan kavşağa girerek kavşağı boşaltan otomobil eşdeğer birimindeki toplam taşıt sayısı Eşitlik 6.8'deki gibi hesaplanır.

$$m = \frac{M.C}{3600} \quad [6.8]$$

- m = Periyot süresi boyunca yaklaşım kolundan kavşağa girerek kavşaktan tahliye olan otomobil eşdeğer birimindeki toplam taşıt sayısı (OB/şerit/periyot süresi)
 M = Saatlik trafik yükü (OB/şerit/saat)
 C = Periyot süresi (saniye)

Çizelge 6.4'de kavşak tahliye süresini belirlemek için kullanılan örnek bir veri grubu görülmektedir.

Çizelge 6.4. Kavşak tahliye süresini belirlemek için kullanılan örnek veri grubu

	Kavşak boşalma süresi saniye (G)	Kavşağı boşaltan otomobil sayısı (A)	Kavşağı boşaltan otobüs sayısı (B)	Kavşağı boşaltan minibüs sayısı (C)	Kavşağı boşaltan kamyon sayısı (K)	Kavşağı boşaltan toplam taşıt sayısı (T)	Kavşağı boşaltan toplam taşıt sayısı (OB)
Akdeniz M.F. Çakmak 24.05.2001 Saat 17:25 M=625 OB/şerit/saat	21	8	0	1	0	9	9,22
	22	9	0	0	0	9	9
	7	3	0	0	0	3	3
	33	9	3	0	0	12	17,73
	22	8	0	2	0	10	10,44
	16	5	2	0	0	7	10,82
	13	7	0	0	0	7	7
	8	4	0	0	0	4	4
	13	6	0	1	0	7	7,22
	24	9	1	1	0	11	13,13
Osmanlı 12.06.2001 Saat 17:45 M=1016 OB/şerit/saat	70	7	8	1	0	16	31,5
	84	32	1	3	0	36	38,57
	70	23	0	0	0	23	23
	40	15	0	0	0	15	15
	41	15	0	1	0	16	16,22
	24	10	0	1	0	11	11,22
	36	13	0	0	0	13	13
	42	14	1	1	0	16	18,13
	52	18	0	1	0	19	19,22
	54	18	1	3	0	22	24,57

Periyot süresini hesaplayan temel eşitlik, Eşitlik 6.9'da verilmektedir.

$$C = \sum_{i=1}^n G_i + \Delta t \quad [6.9]$$

C = Periyot süresi (saniye)

n = Faz sayısı

G_i = i fazına ait yeşil süre (saniye)

Δt = Toplam kayıp süre (saniye)

Eşitlik 6.7, 6.8 ve 6.9 esas alınarak aşağıdaki işlemleri yürütmek mümkündür.

$$C = (G_1 + G_2 + \dots + G_n) + \Delta t$$

$$C = [(a \cdot m_{OB1} + b \cdot M_1 + c) + (a \cdot m_{OB2} + b \cdot M_2 + c) + \dots + (a \cdot m_{OBn} + b \cdot M_n + c)] + \Delta t$$

$$C = [(a \cdot \frac{M_1 \cdot C}{3600} + b \cdot M_1 + c) + (a \cdot \frac{M_2 \cdot C}{3600} + b \cdot M_2 + c) + \dots + (a \cdot \frac{M_n \cdot C}{3600} + b \cdot M_n + c)] + \Delta t$$

$$C = [C \cdot a (\frac{M_1}{3600} + \frac{M_2}{3600} + \dots + \frac{M_n}{3600}) + (b \cdot M_1 + b \cdot M_2 + \dots + b \cdot M_n) + (n \cdot c)] + \Delta t$$

Eşitlik 6.7’de a, b ve c katsayıları;

$$a = 1,853$$

$$b = -3,32 \cdot 10^{-3}$$

$$c = 6,326$$

olarak bulunmuştu. Bu durumda,

$$C = [C \cdot a (\frac{M_1}{3600} + \frac{M_2}{3600} + \dots + \frac{M_n}{3600}) + b \cdot (M_1 + M_2 + \dots + M_n) + (c \cdot n)] + \Delta t$$

$$C - [C \cdot a (\frac{M_1}{3600} + \frac{M_2}{3600} + \dots + \frac{M_n}{3600})] = b \cdot (M_1 + M_2 + \dots + M_n) + (c \cdot n) + \Delta t$$

$$C [1 - a (\frac{M_1}{3600} + \frac{M_2}{3600} + \dots + \frac{M_n}{3600})] = b \cdot (M_1 + M_2 + \dots + M_n) + (c \cdot n) + \Delta t$$

$$b \cdot (M_1 + M_2 + \dots + M_n) + (c \cdot n) + \Delta t$$

$$C = \frac{b \cdot (M_1 + M_2 + \dots + M_n) + (c \cdot n) + \Delta t}{[1 - a (\frac{M_1}{3600} + \frac{M_2}{3600} + \dots + \frac{M_n}{3600})]}$$

$$C = \frac{c.n + b.\sum M_i + \Delta t}{1 - a.\sum M_i / 3600}$$

a, b ve c katsayılarının değerleri yerine konduğunda Periyot Süresini veren nihai formül bulunmuş olur (Eşitlik 6.10).

$$C = \frac{6,326n - 3,32 \cdot 10^{-3} \sum_{i=1}^n M_i + \Delta t}{1 - \frac{1,853}{3600} \sum_{i=1}^n M_i} \quad [6.10]$$

C = Periyot süresi (saniye)

n = Faz sayısı

M_i = i fazına ait saatlik trafik yükü (OB/şerit/saat)

Δt = Toplam kayıp süre (saniye)

Modelin uygulanacağı sinyalizasyon bir kavşakta öncelikle faz sayısının (n) belirlenmesi gereklidir. Daha sonra trafik sayımları neticesinde bulunan her faza ait şeritlik dominant (en yüklü) akım değerleri (M_i) tespit edilir. Δt toplam kayıp süre, Bölüm 4.5.'de Toplam Kayıp Süre bölümündeki hesap yöntemi kullanılarak hesaplanır. Δt, n ve M_i değerlerinin Eşitlik 6.10'da yerine konularak kavşak için **Periyot Süresi** bulunur.

Periyot süresi hesaplandıktan sonra Eşitlik 6.11 yardımı ile her faza ait yeşil süreler belirlenir.

$$G_i = 1,853m_i - 3,32 \cdot 10^{-3} M_i + 6,326 \quad [6.11]$$

G_i = i nolu faza ait yeşil süre (saniye)

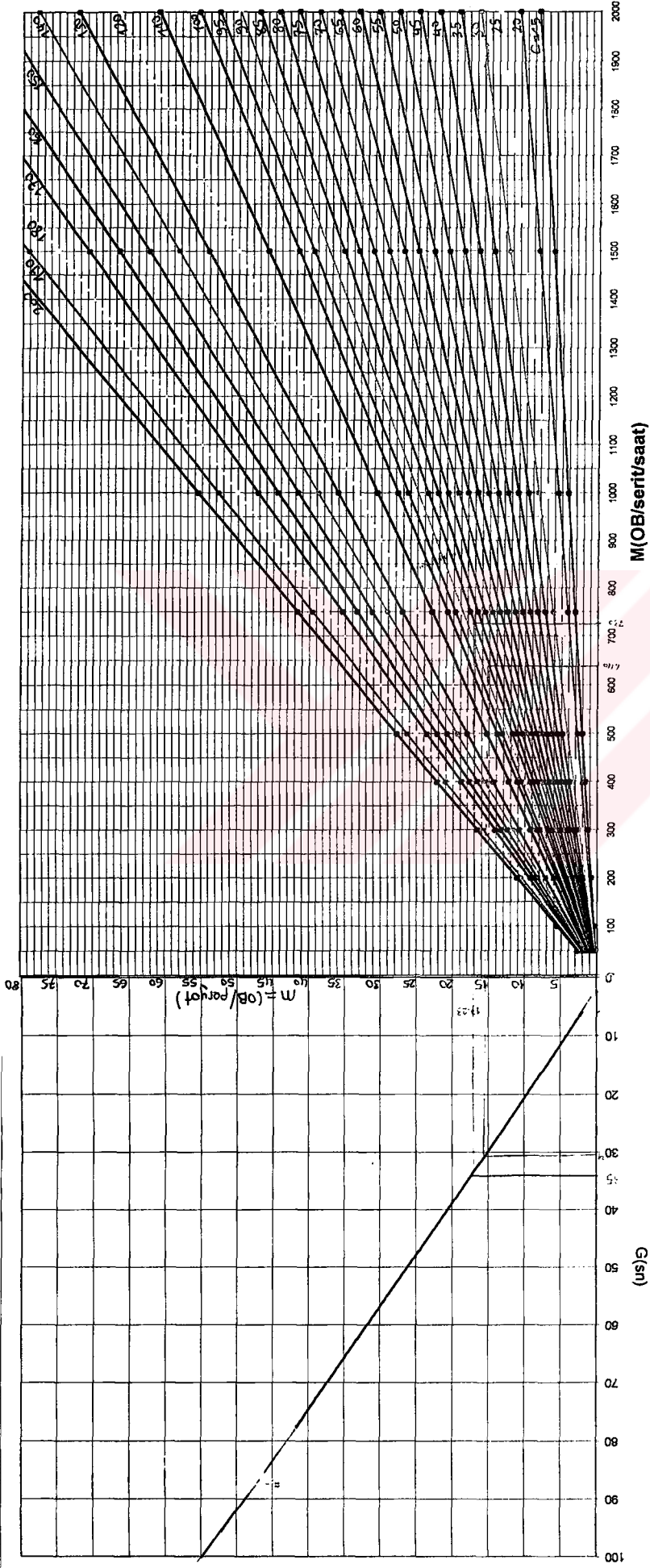
m_i = i nolu faza ait, periyot süresi boyunca geçen trafik yükü (OB/şerit)

M_i = i nolu faza ait saatlik trafik yükü (OB/şerit/saat)

Çalışmada geliştirilen modelde, sinyalizasyon kavşakları için periyot süresi ve fazlara ait yeşil süreler Eşitlik 6.10 ve 6.11 kullanılarak hesaplanabileceği gibi, bu eşitlikler kullanılarak oluşturulan Şekil 6.12'deki abak kullanılarak da belirlenebilir. Bu abak, fazlara ait yeşil süreleri hesap yapmadan belirlemek üzere, geliştirilen periyot süresi modeli esas alınarak oluşturulmuştur.

Çalışmada oluşturulan periyot süresi modeli kullanırken iki yaklaşım izlenebilir. Bunlar;

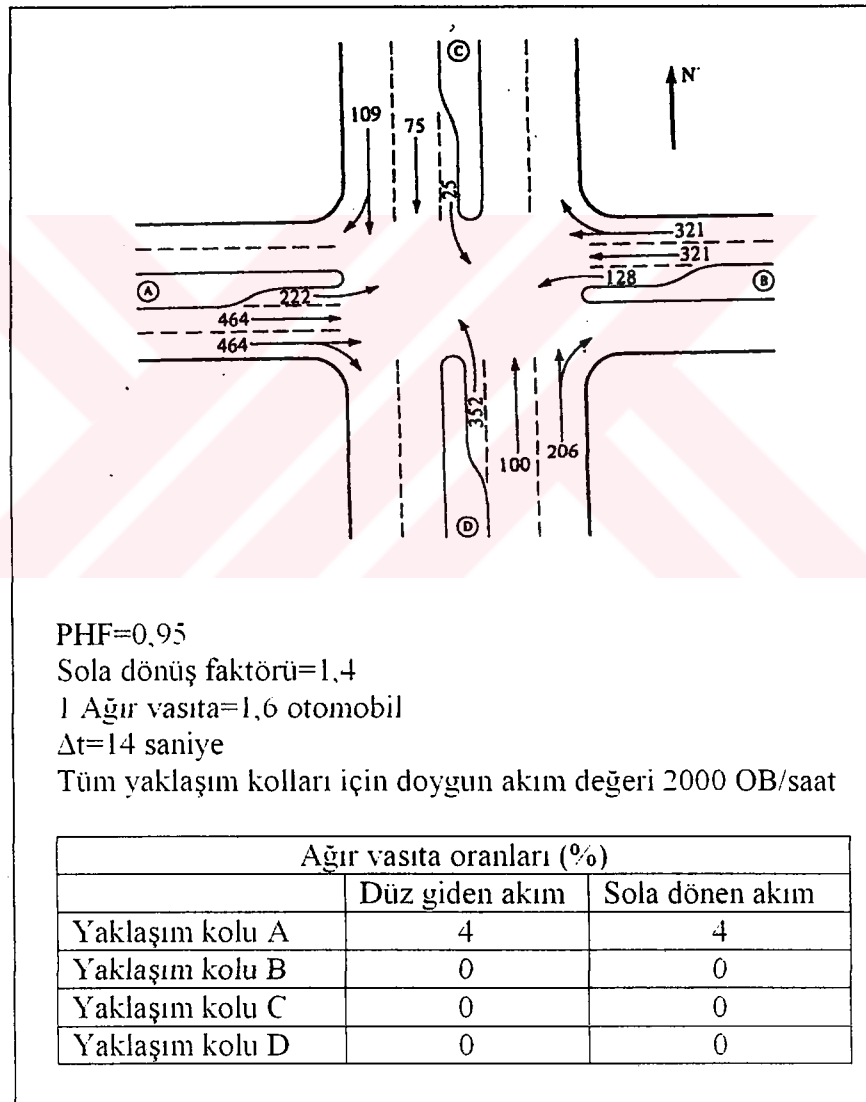
1. Çalışmada yapılan sayımlar hafta içi sabah ve akşam pik saatlerinde, yani trafiğin en yüklü olduğu saatlerde yapılmıştır. Çalışmaya veri olan değerler ortalama akım değerleri değil pik saat akım değerleridir. Bu veriler kullanılarak bulunan periyot süresi o kavşak için bulunacak en uzun periyot süresidir ve pik saatler dışında bu süre gecikmelerin artmasına neden olabilir. Bu nedenle bir kavşak projelendirilirken trafik sayım verileri olarak ortalama akım değerleri kullanılabilir. Ortalama akım değerleri kullanılarak hesaplanan periyot süresi modelinde, kavşak hem en yüklü durum için hem de muhtelif trafik koşulları için çözülmüş olacaktır. Ancak ortalama akım ile hesaplanan periyot süresi 60 saniyeyi geçiyorsa, modelde ortalama akım verileri değil en yüklü trafik akım verileri (pik saatlerdeki) kullanılmalıdır.
2. Bu yaklaşımda, pik saatler için, bu saatteki en yüklü trafik akım değeri veri alınarak periyot süresi tayin edilebilir. Pik saatler dışında ise modelde ortalama akım verileri kullanılarak periyot süresi hesaplanabilir. Yani bu yaklaşımda pik saatlerde ve pik saatler dışında farklı iki program uygulanabilir (örneğin sabah ve akşam piklerinde bir program, pik dışı saatlerde başka bir program ve gece yarısından sonra flaş sistemi gibi).



Şekil 6.12. Fazlara ait yeşil süreleri belirleyen sinyal abağı

6.5. Literatür Karşılaştırması

Bu bölümde hem bu çalışmada geliştirilen model ile hem de literatürdeki diğer iki modelle (İngiliz ve Avustralya modelleri) çözülmüş örnek bir problem verilmektedir. Çalışmada geliştirilen model ile literatürdeki modelleri karşılaştırmak için kavşakta taşıt başına düşen gecikmeler de hesaplanmıştır.

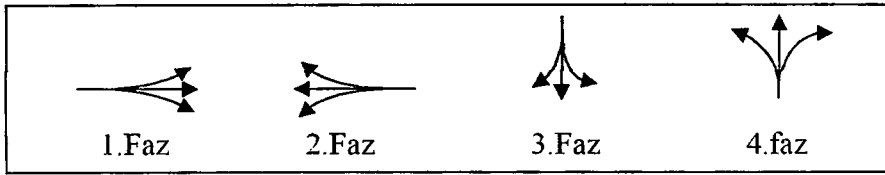


Şekil 6.13. Örnek problem

6.5.1. Tez çalışmasında geliştirilen model ile örnek problemin çözümü

Şekil 6.12’de verileri gösterilen örnek problem 4 fazlı ve 2 fazlı olmak üzere çözülmüştür.

4 fazlı sistem: A,B, C ve D akımları birer faz olmak üzere 4 faz



Şekil 6.14. Örnek problem faz düzenleri (4 fazlı)

Saatlik trafik yükü (M_i) (OB/şerit/saat): Seçilen faz sayısına göre, yaklaşım kollarındaki dominant (en yüklü) akımlar belirlenir.

Yaklaşım kolu A’da, düz giden ve sola dönen akımların %4’ü ağır vasıta olduğu için, bu koldaki 1 saatte geçen yeni taşıt sayıları, 1 otobüs=2,91 otomobil katsayısı kullanarak hesaplanır.

$$M_{A(DÜZ)} = (464 - 0,04 \times 464) + (0,04 \times 464) \times 2,91 = 499 \text{ OB/şerit/saat}$$

$$M_{A(SOL)} = (222 - 0,04 \times 222) + (0,04 \times 222) \times 2,91 = 239 \text{ OB/şerit/saat}$$

1.Faz	$M_A = 499 \text{ OB/şerit/saat}$
2.Faz	$M_B = 321 \text{ OB/şerit/saat}$
3. Faz	$M_C = 109 \text{ OB/şerit/saat}$
4. Faz	$M_D = 352 \text{ OB/şerit/saat}$
$\Sigma M = 1281 \text{ OB/şerit/saat}$	

Δt toplam kayıp süre: 14 saniye verilmiştir.

Periyot süresi hesabı:

$$C = \frac{6,326n - 3,32 \cdot 10^{-3} \sum_{i=1}^n M_i + \Delta t}{1 - \frac{1,853}{3600} \sum_{i=1}^n M_i}$$

eşitliğinde n , $\sum M_i$ ve Δt değerleri yerine konulduğunda periyot süresi;

$$C = \frac{6,326(4) - 3,32 \cdot 10^{-3} \cdot (1281) + 14}{1 - \frac{1,853}{3600} (1281)} = \mathbf{103} \text{ saniye bulunur.}$$

Yeşil süreler, $G = 1,853m - 3,32 \cdot 10^{-3}M + 6,326$ eşitliği ile hesaplanır.

1.Faz:

$$M_A = 499 \text{ OB/şerit/saat}$$

$$m_A = \frac{M_A \cdot C}{3600} = \frac{499 \cdot 103}{3600} = 14,28 \text{ (OB/şerit/periyot süresi)}$$

$$G_A = (1,853 \times 14,28) - (3,32 \cdot 10^{-3} \times 499) + 6,326$$

$$G_A = 31 \text{ saniye}$$

2.Faz:

$$M_B = 321 \text{ OB/şerit/saat}$$

$$m_B = \frac{M_B \cdot C}{3600} = \frac{321 \cdot 103}{3600} = 9,18 \text{ (OB/şerit/periyot süresi)}$$

$$G_B = (1,853 \times 9,18) - (3,32 \cdot 10^{-3} \times 321) + 6,326$$

$$G_B = 22 \text{ saniye}$$

3.Faz:

$$M_C = 109 \text{ OB/şerit/saat}$$

$$m_C = \frac{M_C \cdot C}{3600} = \frac{109 \cdot 103}{3600} = 3,12 \text{ (OB/şerit/periyot süresi)}$$

$$G_C = (1,853 \times 3,12) - (3,32 \cdot 10^{-3} \times 109) + 6,326$$

$$G_C = 12 \text{ saniye}$$

4.Faz:

$$M_D = 352 \text{ OB/şerit/saat}$$

$$m_D = \frac{M_D \cdot C}{3600} = \frac{352 \cdot 103}{3600} = 10,07 \text{ (OB/şerit/periyo t süresi)}$$

$$G_D = (1,853 \times 10,07) - (3,32 \cdot 10^{-3} \times 352) + 6,326$$

$$G_D = 24 \text{ saniye}$$

$$C = G_A + G_B + G_C + G_D + \Delta t$$

$$C = 31 + 22 + 12 + 24 + 14$$

$$C = 103 \text{ saniye}$$

2 fazlı sistem: A-B akımları birinci faz, C-D akımları ikinci faz olmak üzere 2 faz



Şekil 6.15. Örnek problem faz düzenleri (2 fazlı)

$$n = 2$$

$$\sum M = M_A + M_D = 499 + 352 = 851 \text{ OB/şerit/saat}$$

$$\Delta t = 14 \text{ sn}$$

$$C = \frac{6,326(2) - 3,32 \cdot 10^{-3} \cdot (851) + 14}{1 - \frac{1,853}{3600} (851)} = 43 \text{ saniye}$$

1.Faz:

$$M_{AB} = 499 \text{ OB/şerit/saat}$$

$$m_{AB} = \frac{M_{AB} \cdot C}{3600} = \frac{499 \cdot 43}{3600} = 5,96 \text{ (OB/şerit/periyo t süresi)}$$

$$G_{AB} = (1,853 \times 5,96) - (3,32 \cdot 10^{-3} \times 499) + 6,326$$

$$G_{AB} = 16 \text{ saniye}$$

2.Faz:

$$M_{CD} = 352 \text{ OB/şerit/saat}$$

$$m_{CD} = \frac{M_{CD} \cdot C}{3600} = \frac{352 \cdot 43}{3600} = 4,21 \text{ (OB/şerit/periyot süresi)}$$

$$G_{CD} = (1,853 \times 4,21) - (3,32 \cdot 10^{-3} \times 352) + 6,326$$

$$G_{CD} = 13 \text{ saniye}$$

değerleri bulunur.

$$C = G_{AB} + G_{CD} + \Delta t$$

$$C = 16 + 13 + 14$$

$$C = 43 \text{ saniye}$$

6.5.1.1. Gecikme hesabı

Çalışmadaki modeli literatürdeki modeller ile karşılaştırmak için, kavşaklarda taşıt başına düşen gecikmelerin de hesaplanması faydalı olacaktır. Kavşakta taşıt başına ortalama gecikmeler *Webster* gecikme formülü ile hesaplanmıştır. Webster formülü analiz ve gözlem verileri ile birleştirilmiş bir simülasyon çalışmasından elde edilmiştir (Eşitlik 6.12). Formül üç terimden oluşmaktadır. Birinci terim kavşağa gelen taşıtların uniform olduğu varsayımına dayanmaktadır. İkinci terim taşıt gelişlerinin rastgele olduğu varsayımı yapılarak kuyrukta beklemeyi ifade etmektedir. Üçüncü terim ise düzeltme terimidir (60). Bu çalışmada yapılan gecikme hesaplamalarında üçüncü terim ihmal edilmiştir.

$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0,65 \left(\frac{C}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} x^{(2+5\lambda)} \quad [6.12]$$

d= Kavşak yaklaşım kolu için taşıt başına ortalama gecikme (saniye/taşıt)

C= Periyot süresi (saniye)

q= Kavşak koluna gelen en yüklü akım (taşıt/saniye)

λ = Yeşil sürenin periyot süresine oranı (G/C)

x= Doygunluk oranı ($x=q/\lambda s$)

s= Doygun akım(taşıt/yeşil saat)

Geliştirilen modelde 4 fazlı sistem için taşıt başına ortalama gecikme hesabı:

C=103 saniye

s=2000 OB/saat

$G_A=31$ sn	$\lambda_A=31/103=0,30$	$x_A=499/0,3(2000)=0,83$
$G_B=22$ sn	$\lambda_B=22/103=0,21$	$x_B=321/0,21(2000)=0,76$
$G_C=12$ sn	$\lambda_C=12/103=0,12$	$x_C=109/0,12(2000)=0,45$
$G_D=24$ sn	$\lambda_D=24/103=0,23$	$x_D=352/0,23(2000)=0,77$

$$d_A = \frac{103(1 - 0,30)^2}{2(1 - 0,30 \times 0,83)} + \frac{0,83^2}{2 \frac{499}{3600} (1 - 0,83)} = 48,22 \text{ saniye}$$

$$d_B = \frac{103(1 - 0,21)^2}{2(1 - 0,21 \times 0,76)} + \frac{0,76^2}{2 \frac{321}{3600} (1 - 0,76)} = 51,74 \text{ saniye}$$

$$d_C = \frac{103(1 - 0,12)^2}{2(1 - 0,12 \times 0,45)} + \frac{0,45^2}{2 \frac{109}{3600} (1 - 0,45)} = 48,24 \text{ saniye}$$

$$d_D = \frac{103(1 - 0,23)^2}{2(1 - 0,23 \times 0,77)} + \frac{0,77^2}{2 \frac{352}{3600} (1 - 0,77)} = 50,29 \text{ saniye}$$

Geliştirilen modelde 2 fazlı sistem için taşıt başına ortalama gecikme hesabı:

(Dominant akımlar için gecikme hesaplanmıştır.)

C=42 saniye

s=2000 OB/saat

$G_{AB}=15$ sn	$\lambda_{AB}=15/42=0,36$	$x_{AB}=499/0,36(2000)=0,69$
$G_{CD}=13$ sn	$\lambda_{CD}=13/42=0,31$	$x_{CD}=352/0,31(2000)=0,57$

$$d_{AB} = \frac{42(1 - 0,36)^2}{2(1 - 0,36 \times 0,69)} + \frac{0,69^2}{2 \frac{499}{3600}(1 - 0,69)} = 16,98 \text{ saniye}$$

$$d_{CD} = \frac{42(1 - 0,31)^2}{2(1 - 0,31 \times 0,57)} + \frac{0,57^2}{2 \frac{352}{3600}(1 - 0,57)} = 16 \text{ saniye}$$

6.5.2. Webster (İngiliz) modeli ile örnek problemin çözümü

4 fazlı sistem

Faz A: A fazında düz giden ve sola dönen akım içinde %4 ağır vasıta bulunduğu için bu fazdaki akımların değeri;

$$M_{A(DÜZ)} = \frac{464}{0,95} - 0,04 \cdot \frac{464}{0,95} + 0,04 \cdot \frac{464}{0,95} \cdot 1,6 = 499 \text{ (OB/şerit/saat)}$$

$$M_{A(SOL)} = \left[\frac{222}{0,95} - 0,04 \cdot \frac{222}{0,95} + 0,04 \cdot \frac{222}{0,95} \cdot 1,6 \right] \cdot 1,4 = 335 \text{ (OB/şerit/saat)}$$

Faz B:

$$M_{B(DÜZ)} = \frac{321}{0,95} = 338 \text{ (OB/şerit/saat)}$$

$$M_{B(SOL)} = \frac{128}{0,95} \cdot 1,4 = 189 \text{ (OB/şerit/saat)}$$

Faz C:

$$M_{C(DÜZ)} = \frac{109}{0,95} = 115 \text{ (OB/şerit/saat)}$$

$$M_{C(SOL)} = \frac{25}{0,95} \cdot 1,4 = 37 \text{ (OB/şerit/saat)}$$

Faz D:

$$M_{D(DÜZ)} = \frac{206}{0,95} = 217 \text{ (OB/şerit/saat)}$$

$$M_{D(SOL)} = \frac{352}{0,95} \cdot 1,4 = 519 \text{ (OB/şerit/saat)}$$

Çizelge 6.5. Webster modeli için $y=q/s$ oranları

Faz	Kritik şerit hacmi q (OB/şerit/saat)	s (doygun akım değeri OB/saat)	$y=q/s$
A	499	2000	0,25
B	338	2000	0,17
C	115	2000	0,06
D	519	2000	0,26
Toplam	1471	-	0,74

Webster'a göre 4 fazlı sistem için periyot süresi hesabı:

$$C = \frac{1,5L + 5}{1 - Y} = \frac{1,5 \cdot 14 + 5}{1 - 0,74} = 100 \text{ saniye}$$

Webster'a göre 4 fazlı sistem için yeşil sürelerin hesabı:

$$G_i = \frac{y_i}{Y} (C - L)$$

$$G_A = \frac{0,25}{0,74} (100 - 14) = 29 \text{ saniye}$$

$$G_B = \frac{0,17}{0,74} (100 - 14) = 20 \text{ saniye}$$

$$G_C = \frac{0,06}{0,74} (100 - 14) = 9 \text{ saniye}$$

$$G_D = \frac{0,26}{0,74} (100 - 14) = 30 \text{ saniye}$$

2 fazlı sistem

AB aksının dominant akımı

$$M_{A(DÜZ)} = \frac{464}{0,95} - 0,04 \cdot \frac{464}{0,95} + 0,04 \cdot \frac{464}{0,95} \cdot 1,6 = 499 \text{ (OB/şerit/saat)}$$

CD aksının dominant akımı

$$M_{D(SOL)} = \frac{352}{0,95} \cdot 1,4 = 519 \text{ (OB/şerit/saat)}$$

Webster'a göre 2 fazlı sistem için periyot süresi hesabı:

$$C = \frac{1,5L + 5}{1 - Y} = \frac{1,5 \cdot 14 + 5}{1 - 0,51} = 53 \text{ saniye}$$

Webster'a göre 2 fazlı sistem için yeşil sürelerin hesabı:

$$G_{AB} = \frac{0,25}{0,51} (53 - 14) = 19 \text{ saniye}$$

$$G_{CD} = \frac{0,26}{0,51} (53 - 14) = 20 \text{ saniye}$$

Webster modeline göre 4 fazlı sistem için taşıt başına ortalama gecikme hesabı:

$$C=100 \text{ saniye}$$

$$s=2000 \text{ OB/saat}$$

$$G_A=29 \text{ sn} \quad \lambda_A=29/100=0,29 \quad x_A=499/0,29(2000)=0,86$$

$$G_B=20 \text{ sn} \quad \lambda_B=20/100=0,20 \quad x_B=338/0,20(2000)=0,85$$

$$G_C=9 \text{ sn} \quad \lambda_C=9/100=0,09 \quad x_C=115/0,09(2000)=0,64$$

$$G_D=30 \text{ sn} \quad \lambda_D=30/100=0,30 \quad x_D=519/0,30(2000)=0,87$$

$$d_A = \frac{100(1 - 0,29)^2}{2(1 - 0,29 \times 0,86)} + \frac{0,86^2}{2 \frac{499}{3600}(1 - 0,86)} = 52,64 \text{ saniye}$$

$$d_B = \frac{100(1 - 0,20)^2}{2(1 - 0,20 \times 0,85)} + \frac{0,85^2}{2 \frac{338}{3600}(1 - 0,85)} = 64,20 \text{ saniye}$$

$$d_C = \frac{100(1 - 0,09)^2}{2(1 - 0,09 \times 0,64)} + \frac{0,64^2}{2 \frac{115}{3600}(1 - 0,64)} = 61,75 \text{ saniye}$$

$$d_D = \frac{100(1 - 0,30)^2}{2(1 - 0,30 \times 0,87)} + \frac{0,87^2}{2 \frac{519}{3600}(1 - 0,87)} = 53,34 \text{ saniye}$$

Webster modeline göre 2 fazlı sistem için taşıt başına ortalama gecikme hesabı:
(Dominant akımlar için gecikme hesaplanmıştır.)

C=53 saniye

s=2000 OB/saat

$$G_{AB}=19 \text{ sn} \quad \lambda_{AB}=19/53=0,36 \quad x_{AB}=499/0,36(2000)=0,69$$

$$G_{CD}=20 \text{ sn} \quad \lambda_{CD}=20/53=0,38 \quad x_{CD}=519/0,31(2000)=0,68$$

$$d_{AB} = \frac{53(1 - 0,36)^2}{2(1 - 0,36 \times 0,69)} + \frac{0,69^2}{2 \frac{499}{3600}(1 - 0,69)} = 19,98 \text{ saniye}$$

$$d_{CD} = \frac{53(1 - 0,38)^2}{2(1 - 0,38 \times 0,68)} + \frac{0,68^2}{2 \frac{519}{3600}(1 - 0,68)} = 18,75 \text{ saniye}$$

6.5.3. Avustralya modeli ile örnek problemin çözümü

Bu yöntemde yaklaşım kollarındaki kritik akım yükleri Webster yönteminde olduğu gibi hesaplanır. Çizelge 6.5'deki hesaplanan değerler bu yöntem için de geçerlidir. Duruşlardan dolayı oluşan kayıp faktörü $k=0,4$ alınmıştır.

4 fazlı sistem:

Avustralya modeline göre 4 fazlı sistem için periyot süresi hesabı:

$$C_o = \frac{(1,4 + k)L + 6}{1 - Y} = \frac{(1,4 + 0,4)14 + 6}{1 - 0,74} = 120 \text{ saniye}$$

Avustralya modeline göre 4 fazlı sistem için yeşil sürelerin hesabı:

$$U = \frac{C - L}{C} = \frac{120 - 14}{120} = 0,88$$

$$u_A = \frac{499}{1471} \cdot (0,88) = 0,30$$

$$u_B = \frac{338}{1471} \cdot (0,88) = 0,20$$

$$u_C = \frac{115}{1471} \cdot (0,88) = 0,07$$

$$u_D = \frac{519}{1471} \cdot (0,88) = 0,31$$

$$G_i = \frac{u_i}{U} (C - L)$$

$$G_A = \frac{0,30}{0,88} (120 - 14) = 36 \text{ saniye}$$

$$G_B = \frac{0,20}{0,88}(120 - 14) = 24 \text{ saniye}$$

$$G_C = \frac{0,07}{0,88}(120 - 14) = 9 \text{ saniye}$$

$$G_D = \frac{0,31}{0,88}(120 - 14) = 37 \text{ saniye}$$

2 fazlı sistem:

Avustralya modeline göre 2 fazlı sistem için periyot süresi hesabı:

$$C_o = \frac{(1,4 + k)L + 6}{1 - Y} = \frac{(1,4 + 0,4)14 + 6}{1 - 0,51} = 64 \text{ saniye}$$

Avustralya modeline göre 2 fazlı sistem için yeşil sürelerin hesabı:

$$U = \frac{C - L}{C} = \frac{64 - 14}{64} = 0,78$$

$$u_A = \frac{499}{1018} \cdot (0,78) = 0,38$$

$$u_D = \frac{519}{1018} \cdot (0,78) = 0,40$$

$$G_{AB} = \frac{0,38}{0,78}(64 - 14) = 24 \text{ saniye}$$

$$G_{CD} = \frac{0,40}{0,78}(64 - 14) = 26 \text{ saniye}$$

Avustralya modeline göre 4 fazlı sistem için taşıt başına ortalama gecikme hesabı:

$$C = 120 \text{ saniye}$$

$$s = 2000 \text{ OB/saat}$$

$G_A=36$ sn	$\lambda_A=36/120=0,30$	$x_A=499/0,30(2000)=0,83$
$G_B=24$ sn	$\lambda_B=24/120=0,20$	$x_B=338/0,20(2000)=0,85$
$G_C=9$ sn	$\lambda_C=9/120=0,08$	$x_C=115/0,08(2000)=0,72$
$G_D=37$ sn	$\lambda_D=37/120=0,31$	$x_D=519/0,31(2000)=0,84$

$$d_A = \frac{120(1-0,30)^2}{2(1-0,30 \times 0,83)} + \frac{0,83^2}{2 \frac{499}{3600}(1-0,83)} = 53,77 \text{ saniye}$$

$$d_B = \frac{120(1-0,20)^2}{2(1-0,20 \times 0,85)} + \frac{0,85^2}{2 \frac{338}{3600}(1-0,85)} = 71,91 \text{ saniye}$$

$$d_C = \frac{120(1-0,08)^2}{2(1-0,08 \times 0,72)} + \frac{0,72^2}{2 \frac{115}{3600}(1-0,72)} = 82,87 \text{ saniye}$$

$$d_D = \frac{120(1-0,31)^2}{2(1-0,31 \times 0,84)} + \frac{0,84^2}{2 \frac{519}{3600}(1-0,84)} = 53,91 \text{ saniye}$$

Avustralya modeline göre 2 fazlı sistem için taşıt başına ortalama gecikme hesabı:
(Dominant akımlar için gecikme hesaplanmıştır.)

C=64 saniye

s=2000 OB/saat

$G_{AB}=24$ sn	$\lambda_{AB}=24/64=0,38$	$x_{AB}=499/0,38(2000)=0,66$
$G_{CD}=26$ sn	$\lambda_{CD}=26/64=0,40$	$x_{CD}=519/0,40(2000)=0,65$

$$d_{AB} = \frac{64(1-0,38)^2}{2(1-0,38 \times 0,66)} + \frac{0,66^2}{2 \frac{499}{3600}(1-0,66)} = 21,04 \text{ saniye}$$

$$d_{CD} = \frac{64(1-0,40)^2}{2(1-0,40 \times 0,65)} + \frac{0,65^2}{2 \frac{519}{3600}(1-0,65)} = 19,76 \text{ saniye}$$

Çizelge 6.6. 3 yöntemle 2 ve 4 fazlı olarak çözülen problemin karşılaştırması

a)

4 FAZLI SİSTEM					
Yöntem	G_A sn	G_B sn	G_C sn	G_D sn	C sn
Geliştirilen model	31	22	12	24	103
Webster	29	20	9	30	100
Avustralya	36	24	8	37	120

b)

2 FAZLI SİSTEM			
Yöntem	G_{AB} sn	G_{CD} sn	C sn
Geliştirilen model	16	13	43
Webster	19	20	53
Avustralya	24	26	64

c)

4 FAZLI SİSTEMDE GECİKMELER				
Yöntem	d_A sn	d_B sn	d_C sn	d_D sn
Geliştirilen model	48,22	51,74	48,24	50,29
Webster	52,64	64,20	61,75	53,34
Avustralya	53,77	71,91	82,87	53,91

d)

2 FAZLI SİSTEMDE GECİKMELER		
Yöntem	d_{AB} sn	d_{CD} sn
Geliştirilen model	16,98	16,00
Webster	19,98	18,75
Avustralya	21,04	19,76

Kavşağın 4 fazlı olarak çözümüne bakıldığında (Çizelge 6.6.a), periyot süresi C'nin geliştirilen model ve Webster modelinde birbirine yakın değerlerde çıktığı, Avustralya modelinde ise periyot süresinin daha fazla olduğu (~20 sn) görülmektedir. Ancak modeller arasında daha doğru bir karşılaştırma yapabilmek için 4 fazlı sistemdeki fazlara ait taşıt başına düşen ortalama gecikmeleri karşılaştırmak uygun olacaktır. Çizelge 6.6.c'de görüldüğü gibi, geliştirilen modelde A fazı için taşıt başına düşen ortalama gecikme Webster modelinden ~4,5 sn, Avustralya modelinden ~5,5 sn daha az, D fazı için taşıt başına düşen ortalama gecikme Webster modelinden ~3 sn, Avustralya modelinden ~3,5 sn daha az olarak hesaplanmıştır.

Kavşağın 2 fazlı olarak çözümüne bakıldığında (Çizelge 6.6.b), periyot süresi C'nin geliştirilen modelde 43 sn, Webster modelinde 53 sn ve Avustralya modelinde 64 sn olduğu görülmektedir. Yine 2 fazlı sistem için dominant akımların olduğu fazlara ait taşıt başına düşen ortalama gecikmeleri karşılaştıracak olursak; Çizelge 6.6.d'de görüldüğü gibi, geliştirilen modelde AB fazı için taşıt başına düşen ortalama gecikme Webster modelinden 3 sn, Avustralya modelinden ~4 sn daha az, CD fazı için taşıt başına düşen ortalama gecikme Webster modelinden ~3 sn, Avustralya modelinden ~4 sn daha az olarak hesaplanmıştır.

Geliştirilen modelde; örnek problemin 4 ve 2 fazlı olarak çözümünde, taşıt başına düşen ortalama gecikmelerin literatürdeki diğer iki modelden daha az olduğu görülmektedir. Sinyalize kavşaklarda bir taşıtın daha az beklemesi ile, zamandan ve yakıttan tasarruf sağlanabileceği dolayısıyla ekonomik olarak bir fayda elde edilebileceği, bununla beraber kavşaklarda daha az bekleyen araçların çevresel değerler açısından da olumlu etki meydana getireceği düşünülmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kentleşme özellikle yirminci yüzyılın en önemli olgusu olmuştur. Yüzyılın ikinci yarısından başlayarak dünya, özellikle gelişmiş ekonomilerin yönlendirmesi ile, daha küresel (global) bir bakış açısına yönelmiştir. Küreselleşme ve ekonomilerin birbirlerine eklemlenmesi, kentleşme olgusunu dünya ölçeğine taşımış ve bu gelişme ile metropolleşme kavramı ortaya çıkmıştır. Metropolleşmeye paralel olarak kentlerin ekonomik ve sosyal yaşamı hareketlenmiş ve bu hareketlilik kentiçinde ulaşım arzusu ve talebini artırmıştır.

Türkiye’de çeşitli kentlerde yapılan ulaşım etütleri, kişi başına kentiçi motorlu taşıt yolculuk üretim katsayıları ortalamasının 0,7 olduğunu göstermektedir. Bu veriye göre, 1999 yılında günde yaklaşık 29 milyon kentiçi motorlu taşıt yolculuğu yapıldığı söylenebilir. Diğer taraftan kent makro formu farklılaşmasına rağmen, kentiçinde ortalama motorlu taşıt yolculuk uzunluğunun 5 km olduğu kabul edildiğinde, yolcu-km/gün olarak, kentiçi motorlu taşıtlarla yapılan yolculukların toplamı 145 milyon yolcu-km/gün dolayında olur. Bu varsayımlar ışığında, 1999 yılında yaklaşık 53 milyar yolcu-km’ye ulaşan kentiçi yolculukların, ülke genelindeki 252 milyar yolcu-km olan toplam değer içindeki payının % 20 olduğu söylenebilir (74).

Son dönemde azalan nüfus artış hızına rağmen kentleşme sürmekte ve kentlerde yaşayan nüfus oranı artmaktadır. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı dönemi son yılı olan 2005 yılında, kentsel alanlarda yaşayan nüfusun 55 milyona ulaşması beklenmektedir ve bu nüfusun ekonomik, sosyal ve diğer nedenlerle hareketlilik oranının artacağı varsayılarak, kişi başına tahmini 1,0 motorlu yolculuk üretim katsayısı ile, bir günde yaklaşık 55 milyon motorlu taşıt yolculuğu yapılacağı dikkate alındığında, kentiçi ulaşım gereksiniminin boyutları ortaya çıkmaktadır. Plan dönemi sonunda her gün yaklaşık 55 milyon motorlu taşıt yolculuğu yapan 55 milyon kentli, kentiçi ulaşım sorunlarından, sıkışıklıklardan, maliyetlerden, zaman kayıplarından, çevresel kirlenmeden, ulaşım sorunlarıyla ortaya çıkan fiziksel ve psikolojik

yorgunluklardan olumsuz yönde etkilenecektir. Bunun yanı sıra ülke ekonomisi ulaşım sektöründeki kayıplarla zarar görecektir (74).

Kentiçi trafiğinin kontrolü ve yönlendirilmesinde en önemli araç sinyalizasyon sistemidir. Sinyalize kavşaklar, kentiçi yol sisteminin ayrılmaz bir parçasıdır. Sinyal sisteminin etkin kullanımının; trafiğin akıcılığının sağlanması, kavşak kapasitesinin artırılması ve kentsel çevre değerleri üzerinde etkisi büyüktür. Kavşağın sinyalize edilmesiyle, taşıtların duruş ve kalkışları belli bir düzende gerçekleşir ve sinyalizasyonla kontrol edilmeyen bir kavşağa oranla bu duruş-kalkışlar azalır. Bu azalma, yakıt tüketimini azaltacağı ve zamandan tasarruf sağlayacağından, gerek ekonomik gerekse çevresel değerler açısından sağlanan fayda artmış olacaktır.

Kentiçi trafik kontrolünde, kavşaklardaki trafiğinin kontrol edilmesinin tüm kentin trafik kontrolünde önemli role sahip olması nedeniyle, kavşaklardaki sinyalizasyon parametrelerinin (trafik yükü, periyot süresi, yeşil süreler, yaya geçiş süreleri vb.) doğru olarak belirlenmesi gereklidir. Bu tez çalışmasında, kavşaklardaki gecikme ve beklemlerin yaratacağı performans kayıplarının en aza indirilmesi ve tüm yol kullanıcılarına sağlanan faydaların maksimize edilmesini sağlamak üzere, Ankara'daki sinyalize kavşaklar için yerel trafik koşulları ve sürücülerin kavşaklardaki davranışlarını dikkate alan (saatlik trafik yükü, taşıt kompozisyonu), sinyalizasyon parametrelerinden *Periyot Süresi*'ni ve *Yeşil Süreleri* tayin edecek yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Literatürde yer alan modellerde, kavşaklar için periyot süresi belirlenirken farklı pek çok değişken kullanılmaktadır (doğgun akım değeri, görünen yeşil süre, etkili yeşil süre, etkili yeşil süre oranı, akım kayıp süresi, pik saat faktörü, duruşlardan dolayı oluşan kayıp faktörü vb.). Geliştirilen model ise, periyot süresini hesaplarken sadece saatlik trafik yükü ve kavşağın tahliye sürelerini esas alması ve yerel koşulları yansıtmaması açılarından ilk olma özelliği taşımaktadır.

Tez çalışmasında geliştirilen modelde; periyot süresi ve taşıt başına düşen ortalama gecikmeler literatürdeki diğer modellerden daha az olarak hesaplanmaktadır.

Sinyalize kavşaklarda bir taşıtın daha az beklemesi ile, zamandan ve yakıttan tasarruf sağlanabileceği dolayısıyla ekonomik olarak bir fayda elde edilebileceği, bununla beraber kavşaklarda daha az bekleyen araçların çevresel değerler açısından da olumlu etki meydana getireceği düşünülmektedir.

Ankara’da 2003 verileri itibarıyla 3 bölgede yer alan toplam 390 sinyalize kavşak bulunmaktadır ve tüm kavşaklar münferit olarak çalıştırılmaktadır. Bu kavşaklarda uygulanan sinyal programlarını belirlemek için herhangi bir model kullanılmamakta, periyot süreleri, trafik sayımları esas alınarak Ankara İl Trafik Şube Müdürlüğü teknik personeli tarafından belirlenmektedir.

Geliştirilen modelin kullanılmasıyla, Ankara’daki kavşaklar için en uygun periyot sürelerinin ve yeşil sürelerin belirlenebileceği, kavşak kollarındaki gecikme ve beklemleri minimize edilebileceği ve kavşağın performansının ve kapasitesinin artırılabilceği düşünülmektedir. Çalışmaya esas teşkil eden ölçümler ve sayımlar Ankara’da yapılmış olmakla beraber, geliştirilen model Türkiye’deki tüm kentler için kullanılabilir.

Öneriler:

Ülkemizde, kavşaklardaki bilgisayar kumandalı trafik kontrol sistemlerinin kullanıldığı kent sayısı çok azdır. Ankara’da 1968 ve 1994 yıllarında Siemens tarafından iki adet bilgisayar kumandalı trafik kontrol sistemi kurulmuş olmakla birlikte şu an bu iki sistem de kullanım dışıdır.

1998 yılında Ankara Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılan Ankara Trafik ve Ulaşım İyileştirme Etüdü çalışması kapsamında, kent merkezindeki mevcut sinyalizasyon sistemi incelenerek, “Sinyal Sistemi İyileştirme Programı” önerilmiştir. Program çerçevesinde; sistem mimarisi oluşturularak bir trafik kontrol stratejisi önerilmiştir ancak program henüz uygulamaya geçirilememiştir.

Bilgisayarlı trafik kontrol sistemlerinde, kentin yol ağı bir bütün olarak algılanmakta, kavşakların birbirleri ile koordinasyonlu olarak çalışması sağlanabilmekte, kritik kavşaklarındaki kontrol sistemi ile yolun kaldırabileceği sayıda taşıt yola bırakılarak yolun aşırı yüklenmesi engellenebilmekte, dalgalanan trafik talebine cevap verilebilmekte, otobüs ve yaya öncelikleri sağlanabilmekte, yerleştirilen kameralar ile trafik sayımları yapılabilmekte ve bu kameralardan elde edilen bilgiler (kaza durumu, tıkanıklık, kuyruklanma, hava durumu, altyapı çalışmaları, park olanakları vb.) değişebilir mesajlar ile yol kullanıcılarına iletilebilmektedir. Sistemde mobilite ve güvenliği arttırmak, yolculuk süreleri, altyapı ve işletim maliyetlerini düşürmek ve yakıt tüketimi, hava kirliliği ve gürültüyü azaltmak gibi yararlar gözetilmektedir.

Kentiçinde etkin trafik kontrolünü sağlamak üzere oluşturulan ve pek çok değişik parametreye sahip olan yazılımlarda, periyot süresi ve yeşil süreleri belirlemek üzere farklı modeller kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasını takiben, çalışmada geliştirilen modeli kullanan ve Türkiye'deki kentlerin fiziki yapısı, trafik koşulları, yol kullanıcılarının davranış profillerini göz önünde bulunduran bir trafik sinyal kontrol yazılımının oluşturulması planlanmaktadır.

Her kent kendine özgü nitelikleri, dinamikleri ve özel yapısıyla diğerlerinden farklıdır. Ancak Ankara, sahip olduğu kozmopolit yapısı ve Türkiye'nin başkenti olması nedeniyle çok daha özel ve önemli bir anlam taşımaktadır. Başkent'in fiziki görüntüsünün de çok büyük bir önemi vardır. Çünkü Başkent, ulusal canlılığın, sürekliliğin simgesi ve bir güvencesidir. Bir çok sorunun çözümü için ilk düşünülmesi gereken yerlerden biri de Başkent olmalıdır (75).

Yukarıda bahsedilen niteliği nedeniyle öncelikli olarak Başkent Ankara için ve diğer büyük kentlerimiz için kentiçi karayolu trafiğinin kontrolünde, gerekli altyapı çalışmaları tamamlanarak ve finansman sağlanarak, bilgisayar kumandalı trafik kontrol sistemi kullanımına bir an önce geçilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- 1- Akbaş, A., “Kentiçi Trafik Sinyal Sisteminin Optimal Kontrolü (Trafik Optimizasyonu)”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, xx, 1-4, 10-15, 17-19, 25-28, 72-78, 86-89 (2001).
- 2- May, A.M., “Traffic Flow Fundamentals”, *Prentice Hall*, Englewood Cliffs, New Jersey, 1, 268-279 (1990).
- 3- Akbaş, A., Tektaş, N., Tektaş, M., “Trafik Sıkışıklıklarının Analizi; Sanal Ortamda Katılım Denetimi Üzerine Bir Eğitim Çalışması”, 1, 2
<http://www.ef.sakarya.edu.tr/sayfa/semp2004/pdf/pdf/4.pdf> (21.08.2003).
- 4- EGM web sayfası
<http://www.egm.gov.tr/teadb/2001yillik/i%C3%A7indekiler.htm> (19.06.2003).
- 5- “Türkiye İçin Ulusal Trafik Güvenliği Programı”, Karayolu İyileştirmesi ve Trafik Güvenliği Projesi (KİTĞİ), İçişleri Bakanlığı, Milli Eğitim Bakanlığı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı, Gazi Üniversitesi, *Sweroad*, 1 (2001).
- 6- “Traffic Control Systems Handbook”, *U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA)*, (1985).
- 7- Kadılar, R., “Bakanlıklar Kavşağının Trafik Sorununa Sinyalizasyon Düzenlemesi ile Çözüm Önerisi”, *ODTÜ Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 3(13): 15, 16 (1991).
- 8- Milli Prodüktivite Merkezi web sayfası
<http://www.mpm.org.tr/verimlilik.htm> (21.08.2003).
- 9- “Karayolları Trafik Kanunu ve Yönetmeliği”, *Kartal Yayınevi*, Ankara. 1-8 (2003).
- 10- “Karayolları Esnek Üstyapılarını Projelendirme Kuralları”, *KGM Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü Yayınları* KGM Teknik Bülten Özel Sayı 32, Ankara, (1971).
- 11- “Trafik” *Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Hizmetleri Başkanlığı Yayını*, Ankara, 37-67 (1998).
- 12- Kaplan, H., “Kentsel Ulaşım Planlaması” *Gazi Üniversitesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü Ders Notları*, Ankara (1994).
- 13- Taşkıran, A., Erdemir, A., Somyürek, H.İ., Gürbüz, H., “Sürücü Eğitimi”, *Palme Yayıncılık*, Ankara, 1-50 (1997).

- 14- Yüce, R., “Yol Proje” Ders notları, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği*, (1991).
- 15- Gülgeç, İ., “Ulaşım Planlaması”, *Özsan Matbaacılık*, 60-82 (1998).
- 16- “TSE 8503 Şehiriçi Yollar-Kavşak Seçim Kriterleri”, *TSE*, 3 (1990).
- 17- “TSE 8252 Şehiriçi Yollar Kavşaklarda Emniyet, Kapasite ve Ekonomik Kurallar”, *TSE*, 5 (1990).
- 18- “TSE 11784 Şehiriçi Yollar-Işık Kontrolsüz Hemzemin Kavşak Tasarım Esasları”, *TSE*, 12-24 (1995).
- 19- TSE 11937 Şehiriçi Yollar-Işık Kontrollü (Sinyalize) Hemzemin Kavşak Tasarım Esasları”, *TSE*, 1-9 (1996).
- 20- Özdirim, M., “Türkiye’de Trafik Sinyalizasyonunun Formüle Edilmesi” Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası*, İstanbul, 8-11, 27-34, 36-44 (1972).
- 21- Sabra, Z., Wallace, C.E., Lin, F., “Traffic Analysis Software Tools”, *Transportation Research Board*, Transportation Research Circular E-C014, September 1-3 (2000).
<http://gulliver.trb.org/publications/circulars/ec014.pdf> (20.05.2002).
- 22- Sabra, Z.A., Stockfish, C.R., “Advanced Traffic Models: State-of-the-art”, *ITE Journal*, 65(9) (1995).
<http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/JIA95A31.pdf> (17.03.2003).
- 23- Özdirim, M., “Trafik Mühendisliği I ve II”, *Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası*, Ankara, 92, 297, 301-304, 312, 313, 331, 353, 381, 463, 467, 468, 475, 477, 481-483, 490-493, 496, 497, 505, 541, 517, 525-528, 542, 558, 560, 561 (1994).
- 24- Garber, N.J., Hoel, A.L., “Traffic and Highway Engineering Second Edition Revised Printing”, *PWS Publishing*, 224-228, 283, 284, 287, 290, 293 (1999).
- 25- Aras, N., “Işıklı Trafik İşaretleri (Sinyalizasyon) Ankara’da Sinyalizasyon Uygulamaları”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara 4, 5, 8, 10, 11, 65, 66, 88 (1995).
- 26- Murat, Y.Ş., “Denizli Şehiriçi Kavşaklarındaki Trafik Akımlarının Bilgisayarla İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 7, 16, 19, 47-55, 57-67, 70-73 (1996).
- 27- <http://inventors.about.com/library/inventors/blasphalt.htm> (04.08.2003).

- 28- Akdoğan, E., “Mikrodenetleyici Kullanarak Kavşak Kontrol Cihazı Tasarımı ve Kontrol Eğitiminde Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 7-9, 10-15 (2001).
- 29- Ankara Büyükşehir Belediyesi Trafik Şube Müdürü, Adnan Aslan, sözlü görüşme, (19.08.2003).
- 30- Ayfer, M.Ö., “Trafik Sinyalizasyonu”, *Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası*, Ankara, Yayın No: 226: 15, 16, 23, 31, 33-37, 39-44, 46-59, 60-65, 82-93 (1977).
- 31- Dağdeviren, A., Aydemir, M.A., Özsoy, M., Elgaz, Y., “Işıklı Trafik İşaretleri (Sinyalizasyon), Seminer Çalışması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı*, Mayıs 4 (2003).
- 32- “Manual on Uniform Traffic Control Devices MUTCD”, *Washington State Department of Transportation*, http://www.wsdot.wa.gov/biz/trafficoperations/pdf/4a_4dndi.pdf, (16.07.2003).
- 33- Çınarbaş, S., Bucak, M., Güler, K., “Akıllı Ulaşım Sistemleri”, Seminer Çalışması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı*, Haziran (2001).
- 34- Intelligent Transportation System”, <http://www.its.dot.gov/>, (11.08.2003).
- 35- KGM web sayfası, “Otomatik Geçiş Sistemi (OGS) İle İlgili Bilgiler” <http://www.kgm.gov.tr> (04.08.2003).
- 36- Carstens, R.L., “Some Traffic Parameters at Signalized Intersections”, *ITE Journal*, 41, (1971). <http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/JHA71A33.pdf> (10.03.2003).
- 37- Yagar, S., “Use of Roundabouts”, Technical Council Committee 5B-17, *ITE Journal*, 62(2) (1992). <http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/JBA92A42.pdf> (24.03.2003).
- 38- Berg, W.W., Lau, Y.K., Dettmann, D.C., Rylander, G.F., “Case Study Evaluation of Alternative Signal Timing Plans for an Oversaturated Street Network”, *ITE Journal*, 52(4) (1982). <http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/JDA82A23.pdf> (17.03.2003).
- 39- McShane, W.R., Prassas, E.S., Roess, R.P., “Traffic Engineering” 2nd Edition. Fundamentals of Signal Design Timing, *Prentice Hall*, 429-438, 444, 467-469, 470-486, 488, 503- 505, 507 (1997).
- 40- Kutlu, F., “Trafik Tekniği”, *İTÜ İnşaat Fakültesi Yayını*, (1975).

- 41- Orcutt, F.L., "Pedestrian Control at Signalized Intersection", *ITE Technical Committee*, 4A-15, 55(9) (1995).
<http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/JIA85A31.pdf> (08.02.2003).
- 42- Oppenlander, J.C., Oppenlander, J.E., "Simulation of Left-Turn Storage Lengths Without Separate Signal Phase" *ITE Journal*, 72 (5) (2002)
<http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/2002/JB02EA34.pdf> (10.03.2003).
- 43- Oppenlander, J.C., Oppenlander, J.E., "Storage Lengths for Left Turn Lengths With Signal Phase Control" *ITE Journal*, 64 (1) (1994).
<http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/JAA94A22.pdf> (10.03.2003).
- 44- Chan, Y., Liao, T., "Setting Change Intervals at Signalized Intersections", *ITE Journal*, 57(2) (1987).
<http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/JBA87A45.pdf> (10.03.2003).
- 45- Kiper, T., "Proje Mühendisleri İçin Karayolu Geometrik Standartları Esasları". *Karayolları Genel Müdürlüğü Yayını*, 12, 13 (1988).
- 46- Webster, F.V., "Traffic Signal Settings", *Road Research Laboratory*, Technical Paper No:39, London, 1-45 (1958).
- 47- Webster, F.V., Cobbe, B.M., "Traffic Signals", *Road Research Laboratory*, Technical Paper No:56, London, 1-35 (1966).
- 48- Akçelik, R., "Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis", *Australian Road Research Board*, Research Report ARR No:123, (1995).
<http://www.arrb.com.au/> (18.08.2003).
- 49- Akçelik, R., "Estimation of Green Times and Cycle Time for Vehicle-Actuated Signals", Transportation Research Record 1457, *Transportation Research Board*, 63-72 (1994).
<http://trb.org/> (18.08.2003).
- 50- Roupail, N.M., Akcelik, R., "More Signal Capacity: With Less Green". *ITE Journal*, 66(7) (1996)i
<http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/JGA96A34.pdf> (06.02.2003).
- 51- Courage, K.G., Fambro, D.B., Akcelik, R., Lin, P.S., Anwar, M., Vilorio, F., "Capacity Analysis of Traffic-Actuated Intersections", *Transportation Research Board*, NCHRP Web Document 10, (1996).
<http://trb.org/> (18.08.2003).
- 52- Dion, F., Rakha, H., Kang, Y.S., "Comparison of Delay Estimates at Under-Saturated and Over-Saturated Pre-Timed Signalized Intersections", *Pregamon*, 6 (199) www.elsevier.com/locate/trb (07.03.2003).

- 53- "Signalized Intersection", Highway Capacity Manual, *Transportation Research Board, National Research Council*, Chapter 9 (1985).
- 54- Yalgın, C.C., "Yolların Kapasitesi", *Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü*, 1-24, 56-89, 137-177 (1975).
- 55- Pethe, M., "A Model to Predict the Capacity of Shared-Permissive Left-Turn Lanes for Signal Timing Design", *ITE Journal*, 64(2) (1994).
<http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/JBA94A22.pdf> (10.03.2003).
- 56- Gilbert, A.K., "Signalized Intersection Capacity", *ITE Journal*, (1984).
<http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/JAA84A48.pdf> (08.03.2003).
- 57- Stokes, R.W., "Comparison of Saturation Flow Rates at Signalized Intersections", *ITE Journal*, 58(11): 6, 7 (1988).
<http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/JKA88A15.pdf> (06.02.2003).
- 58- Pline, J.L., "Traffic Signals", Traffic Engineering Handbook 4th Edition, *Prentice Hall*, Englewood Cliffs, New Jersey, 152, 294 (1992).
- 59- Shanteau, R.M., "Using Cumulative Curves to Measure Saturation Flow and Lost Time", *ITE Journal*, 58(10) (1988).
<http://www.ite.org/membersonly/itejournal/pdf/JJA88A27.pdf> (01.04.2003).
- 60- Ağırdır, M.L., "Kuyruk Teorisi Analizi ve Sinyalize Kavşaklarda Yeni Bir Model Denemesi", Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 11, 12, 15, 17 (1998).
- 61- Kockelman, K.M., and Shabih, R.A., "Effect of Vehicle Type on the Capacity of Signalized Intersections, The Case of Light-Duty Trucks",
http://www.ce.utexas.edu/prof/kockelman/public_html/ASCELDTShabih.pdf (23.05.2002).
- 62- Ankara Valiliği web sayfası, <http://www.ankara.gov.tr/> (16.08.2003).
- 63- Devlet İstatistik Enstitüsü web sayfası, <http://www.die.gov.tr> (14.07.2003).
- 64- EGO web sayfası, <http://www.ego.gov.tr/uprs/metro.htm> (16.08.2003).
- 65- Çubuk, M.K., Türkmen, M., "Ankara'da Raylı Ulaşım", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (1): 125-144 (2003).
- 66- Ankara Büyükşehir Belediyesi web sayfası, <http://www.ankara-bel.gov.tr/> (16.08.2003).
- 67- Elker, C., "Kentlerde Ulaşım Sistemi Seçimi İçin Bir Yöntem". Doktora Tezi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi*, i, ii (1981).

- 68-Elker, C., “Yolculuk Talep Yönetimi”, Ders notları, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı*, (1998).
- 69-“Ankara 2025 Metropolitan Alan Gelişme Şeması Senaryo-Gelişme Önerileri” *EGO Ulaşım Planlama Daire Başkanlığı*, (1998).
- 70-“Ankara Trafik ve Ulaşım İyileştirme Etüdü”, Teşhis Raporu, *Ankara Büyükşehir Belediyesi*, Cilt 1, 39, 41-46 Kasım (1997).
- 71-“Ankara Trafik ve Ulaşım İyileştirme Etüdü”, Sonuç Raporu, *Ankara Büyükşehir Belediyesi*, 58, Kasım (1998).
- 72-“Ankara Trafik ve Ulaşım İyileştirme Etüdü”, Trafik Yönetimi Programı, *Ankara Büyükşehir Belediyesi*, 16, Kasım (1998).
- 73-“Ankara Trafik ve Ulaşım İyileştirme Etüdü”, Yeni Bilgi Toplama Çalışmaları ve Analiz Sonuçları Ekler 1, *Ankara Büyükşehir Belediyesi*, Haziran (1998).
- 74-“8. Beş Yıllık Kalkınma Planı-Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu Kentiçi Ulaşım Alt Komisyonu Raporu” *Devlet Planlama Teşkilatı (DPT)*, Ankara (2001) <http://ekutup.dpt.gov.tr/ulastirm/oik594.pdf> (11.08.2003).
- 75-Tankut, G, “Bir Başkent’in İmarı, Ankara (1929-1939)”, *ODTÜ Yayını*, 9 (1990).
- 76-Y.S, Kang, “Delay, Stop and Queue Estimation for Uniform and Random Traffic Arrivals at Fixed-Time Signalized Intersections”, Doctor of Philosophy, *Civil and Environmental Engineering, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University*, April (2000).
- 77-Ünver, Ö., Gamgam, H., “Uygulamalı İstatistik Yöntemler”, *Siyasal Kitapevi*. Ankara, (1996).
- 78-Özdirim, M., “Trafik Teknolojisi”, *Jandarma Okullar Komutanlığı Yayınları*. Ankara, Cilt 4 Bölüm 9-10 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Ankara'da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. 1992 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1992-1994 yılları arasında AK-AK İnşaat Ltd. Şti'de Saha Mühendisi olarak görev yaptı. 1994 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 1997 yılında Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisansını tamamladı. 1997 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim Dalında Doktora programına başladı. Halen Trafik Planlaması ve Uygulaması Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmektedir.

