

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EŞDÜZEY KAVŞAKLARDAN
KATLI KAVŞAKLARA GEÇİŞ ÖRNEKLERİ
VE UYGUNLUKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

İnşaat Mühendisi Hakan KOÇ

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Öğr.Gör.Dr. Mustafa GÜRSOY (YTÜ)

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAVŞAKLAR	4
2.1 Eşdüzey (Hemzemin) Kavşaklar	6
2.1.1 Sinyalize Olmayan Eşdüzey Kavşaklar	7
2.1.2 Dönel Ada Kavşaklar	9
2.1.3 Sinyalize Kavşaklar	11
2.1.3.1 Sinyalizasyonun Faydaları ve Zararları	12
2.1.3.2 Sinyalize Kavşak Kontrol Teknikleri	14
2.1.3.3 Sinyalizasyon Hesapları.....	18
2.1.3.4 Trafik Sinyalizasyonuna Ne Zaman İhtiyaç Duyulur?	20
2.1.3.5 Sinyalizasyonun Gecikme Süresi Üzerine Etkisi	23
2.1.3.6 Yanlış Sinyalizasyonun Kazalar Üzerine Etkisi.....	24
2.1.4 Eşdüzey Kavşaklarda Geometri ve Trafik Hareketleri	24
2.2 Katlı (Köprülü) Kavşaklar.....	26
2.3 Kavşaklarda Tıp Seçimi ve Kapasite	31
2.4 Kapasite ve Hizmet Düzeyi.....	35
2.4.1 Kapasite ve hizmet düzeyine etkiyen faktörler	39
3. EŞDÜZEY KAVŞAKLARDAN KATLI KAVŞAKLARA GEÇİŞ UYGUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	41
3.1 Çalışma Alanı ve Bölgesel Yapı.....	42
3.1.1 Atatürk Caddesi – Bedrettin Dalan Caddesi Kesişimi (A1 Kavşağı)	43
3.1.2 Atatürk Caddesi (Garanti Bankası) Y-5 Yolu Kesişim Kavşağı	44
3.2 Trafik Sayımları.....	45
3.3 Benzetim Modelinin Oluşturulması.....	48
3.4 Model Kalibrasyonu	50
3.4.1 Mevcut Durumda Tıkanıklık ve Kuyruklanma	52
3.4.2 Model ile Mevcut Kapasite Karşılaştırılması.....	53
3.4.3 Model ile Mevcut Hacim Değerlerinin Karşılaştırılması.....	55
3.4.4 Model Kalibrasyonu	56
3.5 Yeni Durum Modelinin Oluşturulması	59
3.6 Gelecek Durum Modelinin Oluşturulması	60
3.7 Eski, Yeni ve Gelecek Durum Model Sonuçları	62
3.7.1 Toplam Gecikme Süresi.....	62

3.7.2	Ortalama Hız	63
3.7.3	Araç Başına Düşen Ortalama Durma Sayısı	64
3.7.4	Toplam Yolculuk Süresi	65
3.8.1	Eski ve Yeni Durum Hizmet Düzeyi	66
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR.....		72
EK-1 TRAFİK SAYIM FÖYLERİ.....		74
EK-2 SİMÜLASYON SONUÇLARI.....		75
ÖZGEÇMİŞ.....		76

SİMGE LİSTESİ

C	Kapasite
C	Gerçek durum hacim değeri
ft	feet
Gi	i fazına ait yeşil süre
km	Kilometre
km/sa	kilometre/saat
m	Metre
M	Trafik modeli hacim değeri
n	faz sayısı
sn	saniye
Q	Hacim
Δt	Toplam kayıp süre (saniye)
t_{Ki}	i fazı ile bir önceki faz arasındaki koruma süresi (saniye)
Σt_R	Her yöne kırmızı sürelerin toplamı
V	Hız
Yi	i fazındaki akım yönü için verilen sarı süre

KISALTMA LİSTESİ

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BO	Birim Otomobil
FDOT	Florida Department of Transportation
FHWA	Federal Highway Administration
GEH	Geoffrey E.Hovers Ki-kare İstatistiği
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
KKC	Kavşak Kontrol Cihazı
LOS	Level of Service (Hizmet Düzeyi)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
PTV	Planung Transport Verkehr AG
TEM	Trans European Motorway
TTU	Tam Trafik Uyarımlı
UKOME	Ulaşım Koordinasyon Merkezi
UTK	Ulaştırma Trafik Kurulu
VISSIM	Verkehr in Städten-Simulation (Şehirlerde Trafik-Simülasyon)
YOGT	Yıllık Ortalama Günlük Trafik
YTU	Yarı Trafik Uyarımlı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Kompleks katlı kavşak (Hakim Harry Pregerson Kavşağı, ABD, 2002)	1
Şekil 1.2 Farklı yapılı kavşaklar (Nanpu Kavşağı, Shanghai, 2004)	2
Şekil 2.1 Kavşağın fiziksel ve fonksiyonel alanları. (FHWA, 2004)	4
Şekil 2.2 Kavşak tipleri (KGM, 2005)	6
Şekil 2.3 Çeşitli kavşak tiplerinin birlikte kullanıldığı bir kavşak. (Chicago, ABD, 2006)	7
Şekil 2.4 Kontrolsüz kavşak (Melbourne, Avustralya)	8
Şekil 2.5 Dur kontrollü kavşak, Torbalı Ertuğrul Kavşağı (İzmir, 2008)	9
Şekil 2.6 Dört kollu, katlı modern dönel kavşak. (Antalya, Türkiye)	10
Şekil 2.7 Modern dönel kavşak (Columbus Kavşağı, New York, ABD)	10
Şekil 2.8 İç içe girmiş mini dönel adalardan oluşan sihirli dönel ada (Swindon, İngiltere)	11
Şekil 2.9 Kavşak kontrol cihazı (KKC) (İBB, 2008)	16
Şekil 2.10 4 fazlı sistem. (Özdirim, 1994)	19
Şekil 2.11 Sinyalizasyonun gecikmelere etkisi (Ayfer, 1977).	23
Şekil 2.12 Eşdüzey kavşaklardaki olası trafik çakışmaları.	25
Şekil 2.13 Dört kollu eşdüzey kavşak da taşıt çakışmaları	26
Şekil 2.14 Farklı seviyeli kavşakların genel uygulamaları (TCK, 2005)	27
Şekil 2.15 Çok katlı Diamond Kavşak (Texas Transportation Institute, 2004)	29
Şekil 2.16 Yonca Kavşak (Avcılar-İstanbul, 2004)	29
Şekil 2.17 Dört seviyeli yönsel kavşak (Puxi Viyadüğü, Şangay, 2008)	30
Şekil 2.18 Tek nokta kavşak (Florida, ABD)	31
Şekil 2.19 Hemzemin kavşağın kapasitesi (Sweroad, 2000)	32
Şekil 2.20 Kavşak seçimi için örnek diyagram. (Sweroad, 2000)	33
Şekil 2.21 Kapasite açısından kavşak tipi seçimi. (TCK, 2005)	35
Şekil 3.1 Çalışmada izlenen yöntem.	41
Şekil 3.2 Çalışma alanının kent bütünündeki konumu.	42
Şekil 3.3 Bölgede gerçekleşen projeler	43
Şekil 3.4 A1 kavşağı yeni hali (25.09.2006)	44
Şekil 3.5 Garanti kavşağı yeni hali (25.09.2006)	45
Şekil 3.6 Mahmutbey Batı Kavşağı yönsel kol (2007).	45
Şekil 3.7 A1 kavşağı sabah zirve akım değerleri (taşıt/saat) (İBB, 2005)	47
Şekil 3.8 Garanti kavşağı sabah zirve akım değerleri (taşıt/saat) (İBB, 2005)	48
Şekil 3.9 Mikro Simülasyon programı VISSIM'in ana ekranı	49
Şekil 3.10 Garanti Kavşağı trafik sayım görüntüsü (08.08.2005- Saat 08:44)	53
Şekil 3.11 A1 kavşağı eski durumu (03.08.2004, Saat 08:00)	53
Şekil 3.12a Akım yönleri(Garanti Kavşağı) Şekil 3.12b Akım yönleri (A1 Kavşağı)	54
Şekil 3.13 Wiedemann 74 araç takip modelinin parametreleri (PTV, 2005).	57
Şekil 3.14 Yeni durum akım yönleri.	59
Şekil 3.15 Araç Tiplerine Göre Toplam ve Ortalama Gecikme Süreleri	62
Şekil 3.16 Araç Tiplerine Göre Ortalama Hızlar.	63
Şekil 3.17 Araç başına düşen ortalama durma sayısı	64
Şekil 3.18 Toplam Yolculuk Süresi.	65
Şekil 3.19 A1 kavşağı eski durum hizmet düzeyi ve akım hacim değerleri.	66
Şekil 3.20 A1 kavşağı geometrik düzenleme sonrası eski durum hizmet düzeyi.	67
Şekil 3.21 Garanti kavşağı eski durum hizmet düzeyi ve akım hacim değerleri.	67
Şekil 3.22 Garanti kavşağı düzenlemeler sonrası hizmet düzeyi.	68
Şekil 3.23 Garanti kavşağı yapımından 1 sene sonraki (2007) hizmet düzeyi durumu.	68

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 İstanbul’da kavşaklarda yapılan çalışmalar (İBB, 2008).....	14
Çizelge 2.2 Trafik hacimlerine göre seçilmesi gereken kavşak tipleri (TSE, 1990)	21
Çizelge 2.3 Minimum taşıt yoğunluğu (MUTCD, 2003).....	21
Çizelge 2.4 Anayol kesilmesi (MUTCD, 2003)	22
Çizelge 2.5 Saatlik proje trafiğine göre kavşak kapasiteleri (Özdirim, 1994)	34
Çizelge 2.6 Çok şeritli yollar için hizmet düzeyi kriterleri. (Yayla, 2006).....	40
Çizelge 3.1. Sayım ve modelden elde edilen hacim değerlerinin yüzde farkı.	54
Çizelge 3.2 Araç türleri için düzeltilen hızlar.	55
Çizelge 3.3 Sayım ve model hacim değerlerinin yüzde farkı.(Araç hızları düzenlenmiştir.) ..	55
Çizelge 3.4 Model ve mevcut hacim karşılaştırması	56
Çizelge 3.5 Hesaplanan GEH Değerleri.....	56
Çizelge 3.6 Gözlenen araç sayısı değeri 1 alınarak hesaplanan GEH istatistik değerleri.	57
Çizelge 3.7. İleri bakma mesafesi en az 5 m alınarak hesaplanan GEH istatistik değerleri. ...	58
Çizelge 3.8. Kalibrasyon sonucu GEH istatistik değerleri.	58
Çizelge 3.9 Yeni durum GEH istatistik değerleri.....	59
Çizelge 3.10 Yeni durum kalibrasyon sonucu GEH istatistik değerleri.	60
Çizelge 3.11 Yıllara göre motorlu taşıtlar sayısı ve artış yüzdeleri. (TÜİK, 2009)	60
Çizelge 3.12 Yıllara göre nüfus ve artış yüzdesi (TÜİK, 2009).	60
Çizelge 3.13 Gelecekteki durum hacim değerleri.(10 yıl sonra)	61
Çizelge 3.14 Gelecekteki durum (10 yıl sonra) kalibrasyon sonucu GEH istatistik değerleri.	61

ÖNSÖZ

Şehir içi karayolu sistemlerinin en kritik noktaları olan kavşaklarda gerçekleştirilen düzenlemeler çok detaylı olarak değerlendirilmelidir. Bu yüzden yapılan yatırımların ve uygulamaların talebi en verimli şekilde karşılayabilmesi sağlanmalıdır. Bu aşamada günümüzde yoğun olarak kullanılan bilgisayar yazılımları yapılan çalışmaları değerlendirmede oldukça önemli bir paya sahip olmuştur. Ancak bu programlara girilen verilerin yeterli düzeyde olması gerekliliktir. Böylece alınan kararlar en iyi sonucu verebilir.

Tez çalışmam süresince, bana yol gösteren bilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Öğr. Gör. Dr. Mustafa GÜRSOY'a ve bölümümüzde bulunan diğer değerli hocalarıma, beni destekleyen sevgili eşim Rabia Çakır KOÇ'a ve canım aileme,

En içten teşekkürlerimi sunarım.

Nisan, 2010

Hakan KOÇ

ÖZET

Bu çalışmada iki farklı kavşakta gerçekleştirilen projelerin doğrulukları ve etkinlikleri incelenmiştir. Kavşakların trafik modelleri oluşturularak, 2005 yılında sinyalizasyon eşdüzey kavşak olan katlı kavşakların eski, şimdiki ve gelecekteki durumları değerlendirilmiştir. Bu amaçla, İstanbul ili Küçükçekmece ilçesi İkitelli mevkiinde bulunan Atatürk Caddesi – Bedrettin Dalan Caddesi Kesişimi (A1 Kavşağı) ve Atatürk Caddesi Y-5 Yolu Kesişimi (Garanti Kavşağı) kullanılmıştır. Söz konusu kavşaklara ait sayımlar elde edilmiş ve trafik akımları PTV VISSIM Programı kullanılarak modellenmiştir. Simülasyon modeli ile saha koşullarını tam olarak bağdaştırabilmek için, simülasyon parametreleri ayarlanarak gerekli kalibrasyonlar yapılmıştır. Kalibrasyon kriterleri Amerikan Federal Otoyol İdaresi (FHWA) tarafından yapılan önerilere ve geçmişte yürütülen çalışmalara dayanarak ayarlanmıştır. Hizmet düzeylerinin tespiti ve sinyalizasyon analizleri için Trafficware Synchro programı kullanılmıştır. Elde edilen gecikme süreleri, kuyruk uzunlukları, durma oranları ve hizmet düzeyi seviyesi gibi ölçütler karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: eşdüzey kavşak, katlı kavşak, sinyalizasyon, optimizasyon, simülasyon

ABSTRACT

In this study, accuracy and efficiency of the projects which was applied to the two different junctions was investigated. Former, present and future situations of grade separated interchanges, which was at-grade intersection in 2005, were evaluated. For this purpose, the Atatürk Road – Bedrettin Dalan Road intersections (A1 junction) and Atatürk Road- Y5 road intersections (Garanti junctions) were used. Traffic counts of mentioned junctions were obtained and traffic flows were simulated by using PTV VISSIM program. The necessary calibrations were made by adjusting simulation parameters for provide fully association between simulation model and area conditions. Calibration parameters were adjusted according to American Federal Highway Association (FHWA) and conducted studies in past. Trafficware Synchro was used for determination of level of service and signalization analysis. Some criteria such as obtained delaying times, length of queue, stopping rates, and level of service were compared.

Key Words: intersection, interchange, signalization, optimization, simulation.

1. GİRİŞ

Günümüzde kavşakların en yüksek kapasitede sürekli kullanılabilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bunun sonucu olarak kavşak tasarımları ve sinyalizasyon tipleri gün geçtikçe daha karmaşık bir yapı almakta; çeşitli uygulamalar ve denetim sistemleri ile birlikte geliştirilerek kullanılmaktadır. Denetim sistemleri ve uygulamalarının ise zamanla değişen şartlar ve trafik akımları sonucu belirli aralıklarla kontrol edilerek yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Düzenlemeler mevcut karayolu ağının kritik noktalarında yapılacak geometrik düzenlemeler, sinyalizasyon uygulamaları ve kavşak çözümleri olabileceği gibi başka bir ulaşım sistemi geliştirmek gibi daha uzun vadeli çözümleri de içerebilir. Katlı kavşak oluşturularak yapılan düzenlemeler maliyeti yüksek ve çevreye olumsuz etkileri olan çözümlerdir. Ancak kesişimleri çok kısa sürede ortadan kaldırabilen katlı kavşaklar, planlı bir şekilde inşa edildiklerinde olumsuzlukları en aza indirmek mümkündür. Bunun için de katlı kavşaklar için oluşturulan projelerin kentin yapısına ve düzenine uygun projeler olmasına özen gösterilmelidir. İhtiyaçlar doğrultusunda Şekil 1.1'deki gibi çok katlı kavşaklar uygulanabilir.



Şekil 1.1 Kompleks katlı kavşak (Hakim Harry Pregerson Kavsığı, ABD, 2002)
Karayolu sistemlerinin, özellikle şehir içinde aşırı yüklenmeleri trafiğin çıkmaza girmesine neden olmaktadır. Trafik yoğunluğunun sonuçları; gecikmeler sebebiyle oluşan zaman kaybı, rölantide çalışan araçlarda yakıt tüketiminin artması ve bu tüketimden kaynaklanan

kirliliklerin çevreye verdiği zararlardır. Daha kötüsü trafik yoğunluğu sürücülerde yol açtığı stres ve sinir bozukluklarının yanı sıra, yoğun trafikte kaza riskinin de yüksek olmasıdır.

Ulaşım sisteminin bir döngü şeklinde ilerlediği artık bilinen bir gerçektir. Yolcuların taleplerini karşılayan bir ulaşım sistemi, bölgenin gelişimine ve ilerlemesine katkıda bulunmaktadır. Bu gelişim, bölgedeki trafik hacimlerinde artışa bu ise daha gelişmiş ulaşım sistemine ihtiyaca neden olmaktadır. Bu döngü göz önünde bulundurulduğunda ulaşım sistemlerinin geliştirilmesine olan ihtiyacının sürekli büyümesi kaçınılmazdır. Bu nedenle bugün yeterli kapasitede olan hemzemin kavşakların sinyalize kavşaklara, sinyalize kavşakların dönel ada kavşaklara, dönel ada kavşakların ise katlı kavşaklara dönüşmesi gerekebilmektedir. Bu durumda ulaşım mühendislerinin en önemli görevlerinden biri gerekli görülen düzenlemelerin ve projelerin doğru zamanda yapılmasını sağlamaktır. (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Farklı yapıları kavşaklar (Nanpu Kavşağı, Shanghai, 2004)

Çalışmada öncelikle kavşak tanımı yapılarak kavşak tipleri hakkında genel bilgilere yer verilmiştir. Bu bölümde kavşakların sistematik sınıflandırılması yapılmış, kavşaklar ve trafik sinyalizasyon sistemleri anlatılmıştır. Ayrıca kavşak tipleri için seçim kriterleri, kapasite ve hizmet düzeyi kavramları anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde örnek olarak iki kavşak değerlendirilmiştir. Bu iki kavşak eski durumlarında eşdüzey sinyalize kavşak olarak çalışıp, yeni durumlarında katlı kavşak olarak yapımı tamamlanmış kavşaklardır. Bu kavşakların sinyalize kavşaktan katlı kavşağa dönüş aşamaları

ele alınmıştır. Çalışma kapsamında değerlendirilen kavşakların analizinde PTV Vissim ve Trafficware Synchro programları kullanılarak analizler yapılmıştır. Yapımı tamamlanmış katlı kavşakların proje öncesi, proje sonrası ve gelecekteki durumları irdelenerek bu kavşaklara uygulanan projelerin uygunluğu incelenmiş, katlı kavşak seçimlerinin ne denli doğru olduğu sorgulanmıştır.

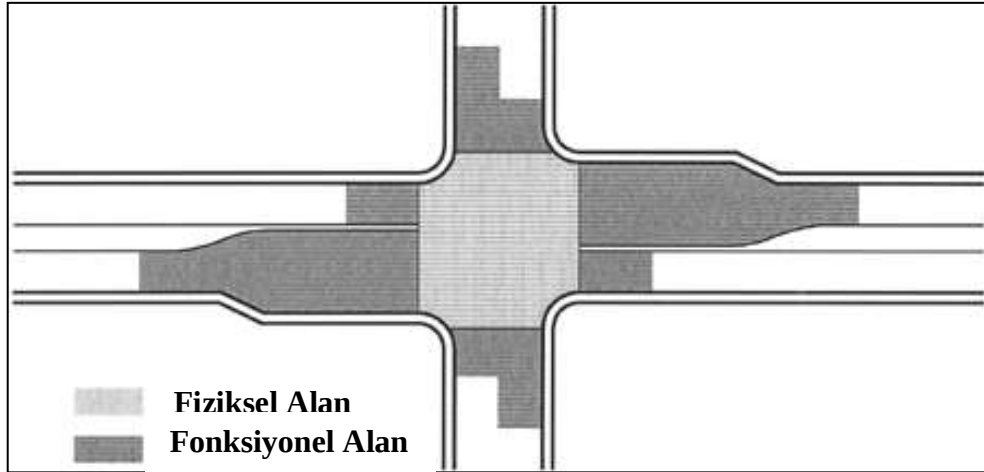
Son bölümde ise gerçekleştirilmiş olan katlı kavşak uygulamalarının yeterliliklerine, şu anki ve gelecekteki durumlarına ait yorumlar ve önerilere yer verilmiştir.

2. KAVŞAKLAR

Kavşaklar, iki veya daha fazla karayolunun kesişmesi, birleşmesi veya ayrılması ile oluşan ortak alanlardır. Kavşak alanları; kavşağa giren ve çıkan yollardan (kavşak kollarından) ayrı ayrı yaklaşıldığında, kollardaki geometrik veya fiziki değişikliğin başladığı noktaların birleştirilmesi ile oluşan bölgedir. Kavşaklar genellikle üç veya dört kollu olup, dörtten fazla kollu olması tercih edilmemektedir (Yaman vd, 1979).

Yolun performansı, güvenliği, hızı, işletme maliyeti ve kapasitesi gibi özelliklerin kavşakların tasarımına bağlı olması nedeniyle kavşak tasarımı karayolunun önemli bir unsurudur. Kavşaklar iki veya daha çok karayolundaki doğrusal veya kesişen trafik akışlarını ve bu yollar arasındaki dönüş hareketlerini kapsar. Bu hareketler, kavşak tipine bağlı olarak, çeşitli geometrik tasarımlar ve trafik kontrolleri ile sağlanır.

Bir kavşak fiziksel ve fonksiyonel alanlarıyla tanımlanabilir (Şekil 2.1). Yolların kesiştiği bölge fiziksel alanı oluşturur. Fonksiyonel alan ise, fiziksel alanı da içine alan, yol platformunun kavşak nedeniyle değişim gösterdiği, kavşak giriş ve çıkışı arasında kalan tüm bölgeyi (yardımcı şeritler, adalar, vs.) kapsamaktadır. Kavşakların fonksiyonel alanları algılama-reaksiyon mesafesi, manevra mesafesi ve depolama mesafesi olmak üzere üç ana bölümden oluşur.



Şekil 2.1 Kavşağın fiziksel ve fonksiyonel alanları. (FHWA, 2004)

Kavşak düzenlemeleri gerçekleştirilirken belirli amaçlar vardır. Kavşaklar, ana ve tali yollardaki kesişen trafik akımlarının;

- yeterli kapasitesinin sağlanması,
- sürekliliğinin sağlanması,
- güvenliğinin artırılması,

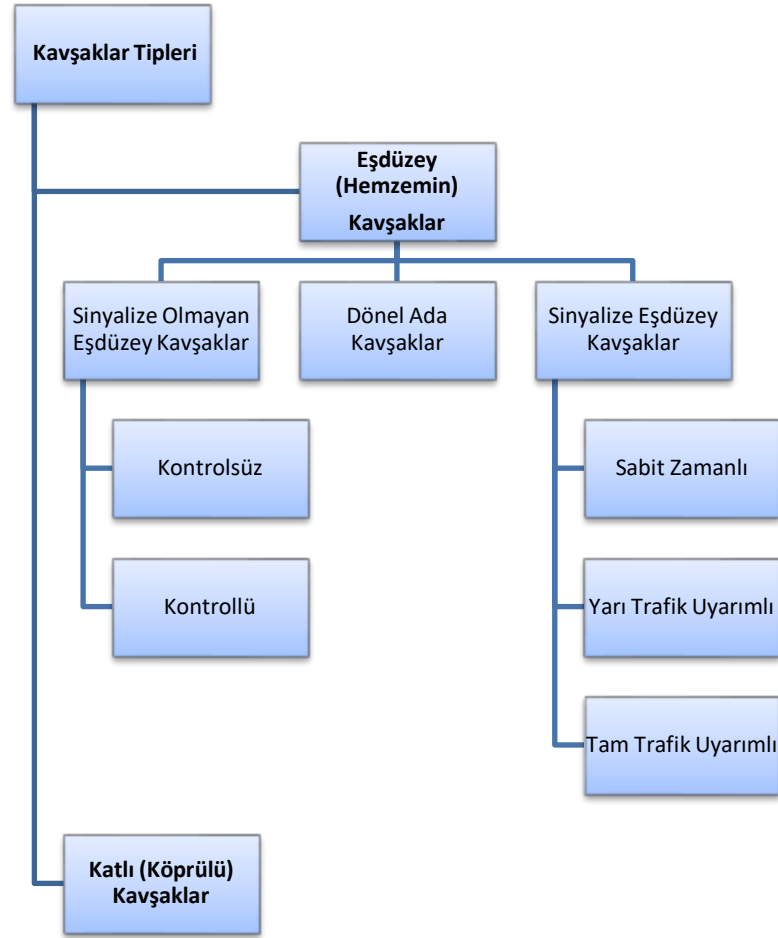
- hızının kontrol altına alınması,
- yavaşlama ve durmalar nedeniyle oluşan gecikmelerin azaltılması,
- yeterli hizmet seviyesinin sağlanması,
- taşıt işletme maliyetlerinin azaltılması,

gibi amaçlarla, arazi şartları, trafik hacmi ve trafik güvenliği dikkate alınarak, eşdüzey veya farklı düzeyli olarak tasarlanırlar (Sonuç, 1973).

Kavşak tasarımlarındaki en önemli öncelikler; güvenlik, yeterli hizmet seviyesi (LOS), ekonomi ve estetik olarak sıralanabilir. Başka bir deyişle kavşaklar kaza riskleri en aza indirilmiş fakat kapasiteleri el verdiğince yüksek, işletme ve bakım maliyetleri az, çevreleri ile uyumlu olmalıdır.

Kavşak tasarımını etkileyen çok fazla faktör vardır. Bunlar kavşağın hizmet ettiği çevreye ve kullanıcılara özgü olabileceği gibi ekonomik ve sosyal faktörler de olabilir. Çevreye ve kullanıcılara özgü özellikler; başlıca hız, trafik hacimleri, mevcut yol kapasitesi, taşıt türleri, sürücülerin fiziksel ve ruhsal durumları, kazalar, topografik ve geometrik durum, imar durumu ile yaya hareketleridir. Ekonomik faktörler; kamulaştırma, yapım, bakım ve işletme maliyetleridir. Sosyal faktörler ise direkt olarak kavşağın yer aldığı bölgenin eğitim düzeyi, demografik yapısı, gelir düzeyi ve etkinliği ile ilgilidir.

Kavşaklar eşdüzey ve katlı (farklı düzeyli) kavşaklar olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Bu sınıflama kavşakların fiziki yapılarına göre yapılmıştır. Eşdüzey kavşaklar; kontrolsüz, sinyalizasyon ve dönel kavşaklar olmak üzere üç ana gruba ayrılır. Sinyalize kavşaklar sinyalizasyon zamanlamalarına göre üç başlık altında toplanabilir; sabit zamanlı, tam trafik uyarımlı ve yarı trafik uyarımlı sinyalize kavşaklar. Kavşaklar detaylı olarak sonraki bölümlerde anlatılacaktır. Kavşak tipleri kapasitelerine göre Şekil 2.2’de özetlenerek gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kavşak tipleri (KGM, 2005)

2.1 Eşdüzey (Hemzemin) Kavşaklar

Eşdüzey kavşaklar, iki veya daha fazla trafik akımının aynı düzlemde kesişerek ortaklaşa kullandıkları yol alanıdır. Araçlar aynı düzlemdeki bu ortak alanı farklı zamanlarda sıra ile kullanırlar. Kavşak kolları; kavşağa giren ve çıkan trafik hacmi, arazi şartları, taşıt ve yaya güvenliği kriterlerine göre öncelikleri belirlenerek anayol ve tali yol olarak ele alınır.

İstatistiklere göre, hemen her ülkede, kent içi ve kırsal yollarda, trafik kazalarının %40-60'ı birden fazla yolun birleşmeleri veya kesişmeleri ile oluşan bu eşdüzey kavşaklarda meydana gelmektedir. Diğer yandan, özellikle kent içi ulaşımında, gecikmelerin %70 den fazlasının yine bu tip kavşaklardaki duraklamalardan ileri geldiği gözlemlenmiştir. Bu iki husus yol ve trafik mühendisliğinde eşdüzey kavşaklara özel önem verilmesinin başlıca sebepleridir (Yayla, 2006).

Bir yol üzerindeki kavşakların farklı düzeyli (köprülÜ) kavşak olarak planlanıp yapılması kaza ve gecikmelere karşı en ideal ve köklü çözüm olmakla birlikte, maddi olanakları çok yüksek ülkelerde bile bunu sağlamak zor olabilmektedir. Dolayısıyla gerek kent içi yollarda, gerekse

kırsal yollarda kavşakların çoğunu eşdüzey tipten planlama zorunluluğu vardır. Bu nedenle, kaza ve gecikme odakları olan bu noktaların ayrıntılı bir etüde dayalı olarak iyi şekilde planlanması gerekir.



Şekil 2.3 Çeşitli kavşak tiplerinin birlikte kullanıldığı bir kavşak. (Chicago, ABD, 2006)

Eşdüzey kavşaklar; faaliyet alanı, şekil ve kanalize olma durumuna bağlı olarak değişik tiplerde olabilir (Şekil 2.3). Eşdüzey kavşakları genel olarak sınıflandırmak gerekirse:

Kol sayısına göre;

1. Üç kollu kavşaklar (T veya Y kavşaklar):
2. Dört kollu kavşaklar
3. Çok kollu kavşaklar

Trafik kontrol sistemine göre ise; sinyalize kavşaklar veya sinyalize olmayan kavşaklar, olarak gruplandırılırlar.

Ayrıca, kapasiteyi artırmak amacıyla, işaretleme veya adalar ile yapılan yönlendirmeye göre; kanalize edilmiş kavşaklar ve kanalize edilmemiş kavşaklar olarak da sınıflandırılabilirler.

2.1.1 Sinyalize Olmayan Eşdüzey Kavşaklar

Işıksız trafik işaretleri bulunan veya hiçbir işaret kullanılmayan kavşak tipleridir. Genel olarak hacim değerleri ve kapasiteleri az olan bu tür kavşaklarda hız değerleri de oldukça düşüktür.

Denetimsiz kavşaklar olarak da adlandırılan sinyalize olmayan eşdüzey kavşaklar, kontrollü ve kontrolsüz olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 2.4 Kontrolsüz kavşak (Melbourne, Avustralya)

Hiçbir işaret veya geometrik düzenlemeye gerek duyulmayan kontrolsüz kavşaklar genellikle şehir dışı alanlarda veya trafik hacim değerlerinin çok düşük olduğu köy yollarında bulunmaktadır. Bu tip yollarda geçiş üstünlüğü en sağdaki motorlu sürücüye aittir (Şekil 2.4).

Akımların geçiş üstünlüklerinin ışıksız trafik işaretleri ile düzenlendiği kavşaklar ise sinyalize olmayan kontrollü eşdüzey kavşaklar olarak kabul edilir. Kontrollü kavşaklardaki taşıt hareketleri ışıksız trafik işaretleri ile düzenlenmiştir. Kavşağı oluşturan yollardan biri taşıdığı trafik miktarı veya geometrik standartları itibarıyla anayol durumundadır ve bu yolda seyreden taşıtlar, diğer yol veya yollarda seyredenlere göre kavşakta ilk geçiş hakkına sahiptirler. Trafik güvenliği yönünden yanyol yani tali yoldaki araçlar için kavşağa girişte "DUR", "YOL VER" mesajlı trafik işaretleri bulunur (Yayla, 2006) (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Dur kontrollü kavşak, Torbalı Ertuğrul Kavşağı (İzmir, 2008)

2.1.2 Dönel Ada Kavşaklar

Dönel ada kavşaklar trafiğin merkezi bir ada etrafında ve yalnızca saat yönünün tersi yönde hareket ettiği, yönlendirilmiş kavşaklar olup; kavşak yaklaşımına giren bütün taşıtların dönel ada çevresinde seyreden taşıtlara yol vermesi prensibine göre çalışır. Daire veya elips adalı eşdüzey dönel kavşaklar kol sayısına göre,

- Yarım dönel (üç kollu kavşaklar)
- Mini dönel (üç veya daha fazla kollu kavşaklar)
- Modern dönel (üç veya daha fazla kollu kavşaklar)

olarak gruplandırılır. Mini ve modern dönel kavşakların dörtten fazla kollu tasarlanmaları tercih edilmez.

Ada yarıçapı mini dönel kavşaklarda en az 8 m, modern dönel kavşaklarda ise minimum 20-25 m olarak tasarlanmalıdır. Dörtten fazla girişi olan modern dönel kavşakların yarıçapı 60 m'ye kadar tasarlanabilir (KGM, 2005).



Şekil 2.6 Dört kollu, katlı modern dönel kavşak. (Antalya, Türkiye)

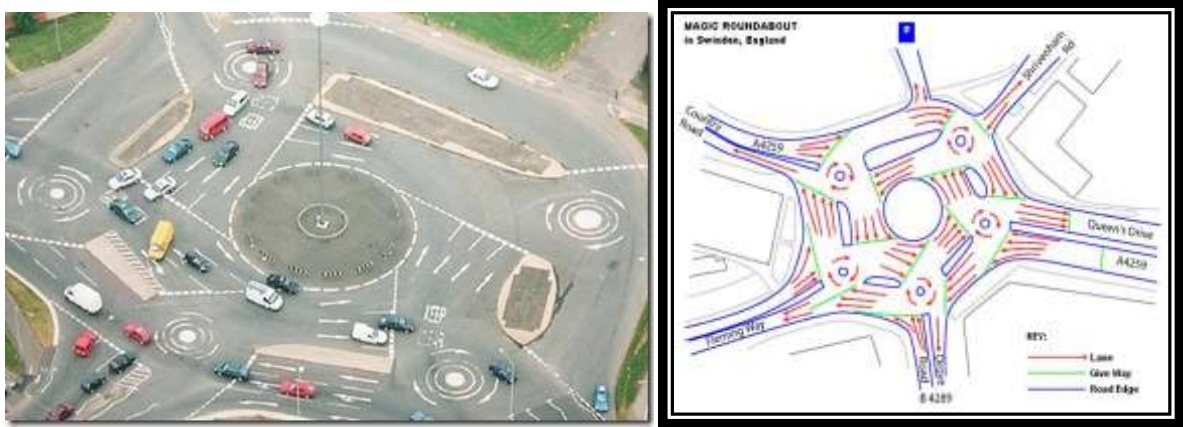
Dört kollu kavşaklarda mini dönel ada, anayol ve tali yol trafik hacimlerinin birbirine yakın olduğu durumlarda daire, birbirinden farklı olduğu durumlarda elips olarak tasarlanmalıdır. Eliptik adada örülme mesafesinin uzun olması işaretleme sorununu azaltır (Şekil 2.6).



Şekil 2.7 Modern dönel kavşak (Columbus Kavşağı, New York, ABD)

Transit trafiğin, dönüş trafik hacmine göre daha az olduğu ve yaya hareketleri ile ağır taşıt oranının fazla olduğu kavşaklarda, trafik güvenliğini artırmak amacıyla, kavşak giriş-çıkışı ve kavşak içindeki taşıt hızını düşürerek modern dönel kavşakların tasarlanması uygundur (Şekil 2.7). Bu durumda, taşıt hızlarının düşmesiyle kavşak kapasitesi azalır. Burada, ancak kapasite ve trafik güvenliğini optimize edecek tedbirlerle, istenen kapasite standartlarına ulaşmak

mümkün olabilmektedir (Janssens, 1994).



Şekil 2.8 İçe içe girmiş mini dönel adalardan oluşan sihirli dönel ada (Swindon, İngiltere)

Modern dönel kavşak tiplerinden biri olan mini dönel kavşaklar kamulaştırmanın güç olduğu ve düşük hızların gözlendiği şehir içi kesimlerde uygulanan küçük dönel kavşaklardır. Şekil 2.8’de dönel adayla bütünleşik çalışan beş mini dönel adadan oluşan bir kavşak görülmektedir. Bu kavşaklar küçük olduklarından dolayı hem yayalar hem de binek taşıtların kullanımı için ve daha büyük çapa sahip modern dönel ada kavşakların uygulanamadığı yerler için uygundur.

2.1.3 Sinyalize Kavşaklar

Günümüzde, tipik bir kent içi ulaşımın; taşıt-km birimiyle değerlendirildiğinde üçte ikisi, taşıt-saat birimiyle değerlendirildiğinde üçte ikisinden daha büyük bir oranı, ışıklı işaretler ile kontrol edilen karayolu ağlarında gerçekleşmektedir. Bu nedenle, kent içi karayolu ulaşımının performansı büyük ölçüde karayolu trafiğinin kontrolünde elde edilen başarıya, karayolu trafiğinin kontrolündeki başarı ise, trafik ışıklarının kontrolünde sağlanacak kaliteye bağlıdır (Akdoğan, 2002).

Işıklı işaretler ile kontrol edilen birimlerin en önemlisi sinyalize kavşakların kontrolüdür. Günümüzde kavşak kontrolünde iki önemli teknik mevcuttur: sabit zamanlı kontrol ve trafik uyarımlı kontrol. Yapılan çalışmalar trafik uyarımlı kontrol tekniklerinin, sabit zamanlı kontrol tekniklerine göre, performansta büyük artışlar sağladığını göstermiştir.

Yirminci yüzyılın başlarında otomobil kullanımının yaygınlaşması, şehir içi kavşaklarda bir takım önlemler alınmasını gerektirmiştir. Önceleri trafik polisi tarafından yapılan kontroller, daha sonra röleli ve kontaktörlü kontrol cihazları ile sağlanmış, günümüzde ise tam elektronik yapıda cihazlar ile sağlanmakta olup, bu sistemler trafik polisinin tüm görevlerini yerine

getirebilecek seviyeye ulaşmıştır.

İlk olarak 1868 yılında Londra'da el ile yönetilen hareketli kollar ve levhalar biçiminde kullanılan trafik sinyalleri gece görüşlerini sağlamak amacı ile gaz lambaları ile aydınlatılmıştır. Kırmızı ve yeşil ışıklı ilk sinyalizasyon tesisi 1914 yılında Cleveland'da (ABD) kurulmuş, 1920 yılında Detroit'te sarı ışıklar da kullanılmıştır. 1924 yılından sonra Avrupa ülkelerinde de kullanılmaya başlanan ışıklı sinyaller özellikle 1950 yılından sonra büyük gelişme göstermiştir. İlk trafik sinyali Cleveland'da kurulduğu zaman yolun doğru tarafını gösteren sinyaller ile trafik kazalarının önlenmesi amaçlanmış, ancak trafikteki gecikme ve yakıt tüketimini azaltmaya yönelik önlemler çok fazla düşünülmemiştir. Fakat zamanla trafik akımları büyüdükçe sinyalizasyonun amacı genişleyerek karayolu sisteminin kapasitesinin artırılmasına ve trafik akımlarının düzenlenmesine yönelmiştir (FHWA, 1995).

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de kentleşme ve araç sayısındaki hızlı artış, şehir içi ve şehirlerarası yolların, ihtiyacı karşılayacak şekilde düzenlenmesini ve kapasitelerinin artırılmasını gerektirmektedir. Hacimleri sürekli artan bu yollardaki trafik kontrol sistemlerinin önemi de gün geçtikçe artmaktadır. Şehir içi ve şehirler arası çeşitli noktalarda veya tüm yol boyunca ulaşımın akışını, güvenliğini, düzenlenmesini etkileyen çeşitli faktörleri iyileştirmek amacı ile kurulan sinyalizasyon sistemleri, gelişen teknolojiye paralel olarak yenilenmekte ve sağladığı kolaylıklar her geçen gün artmaktadır.

Sinyalizasyon, sadece şehir içi kullanım ile sınırlı kalmayıp şehirlerarası yollarda da ulaşımın güvenliğini sağlamak amacı ile kullanılmaktadır. Ayrıca günümüzde raylı sistem ve metro sinyalizasyon şebekeleri de yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Dünyada ve ülkemizde birinci nesil sistemler izole çalışan sistemlerdir. İkinci nesil sistemler ise belirli hatlar boyunca yer alan kavşak kontrol cihazlarının, tek bir merkezden koordinasyonu ile çalışan sistemlerdirdir. Çok sayıda kavşağın bulunduğu ve nüfusun yoğun olduğu şehirlerde kullanılan üçüncü nesil sistemlerde ise, tam merkezi kontrol yapabilmektedir. Bu sistemlerde trafik değerleri devamlı olarak ölçülmekte, bu ölçümler neticesinde çalışma programları çok kısa zamanda değiştirilmekte ve kavşak kontrol cihazları komşu kavşaklar ile haberleşmektedir (Morales, 1995).

2.1.3.1 Sinyalizasyonun Faydaları ve Zararları

Sinyalize kavşakların görevi sadece araç kazalarını önlemek ve yayaların kavşaklardan güvenli geçişlerini sağlamak değil aynı zamanda kavşakların kapasitelerinde kullanılmasını da sağlamaktır. Trafik akımlarının düzenini, kapasitesini ve güvenliğini sağlayan sinyalizasyon

sistemleri gelişen teknoloji ve ulaşım tercihlerine paralel olarak yenilenmekte ve yeni olanaklar sunmaktadır. Mevcut ve eski kavşakların rehabilitasyonunda geometrik düzenlemelerden sonra en çok kullanılan seçenektir. Bu sistemler hem trafiğin düzenlenmesi hem de yolların kapasitesinde kullanılabilmesi için gereklidir. Fakat bu sistemlerin de çeşitli fayda ve zararları bulunmaktadır.

Trafik sinyalizasyon sistemlerinin faydaları;

1. Taşıtların diğer taşıtlarla veya yaya akımları ile kesiştikleri noktalarda trafiğin güvenli ve düzenli akışını sağlar.
2. Sinyalizasyonun yeri, konumu ve periyot süreleri trafik koşullarına göre uygun şekilde belirlenirse kavşağın kapasitesi artar
3. Taşıtların 90 derece ile çarpışmalarını önler ve kaza ihtimalini azaltır.
4. Kavşaklar arası mesafelerin 700 m'yi geçmesi ve trafiğin çok yoğun olmaması şartıyla, birbirini takip eden kavşaklar arasındaki koordineli akım yeterli bir hız altında oluşturulur (Hız $V=50$ km/saat)
5. Zayıf trafikli bir yolun yoğun trafikli bir yolu kesmesi ve emniyetli bir şekilde ana akımın içine girmesi mümkün olur.
6. Yapılacak katlı kavşaktan daha ekonomiktir (Özdirim, 1994).

Sinyalizasyon sistemlerinin yanlış kullanılması ise çeşitli problemlere sebep olabilir. Sadece yanlış planlaması değil trafik akımlarına ve hacimlerine uymayan sinyalizasyonlar da bu problemleri doğurur. Bunlar genel olarak;

1. Yüklü olmayan trafik saatlerinde gereksiz bekleme süreleri olur ve akaryakıt tüketimi artar.
2. Arkadan çarpma gibi kazalar artabilir
3. Gereksiz ve hatalı yapılan sinyalizasyonlar sürücülerin sinyallere uyum sağlamasını güçleştirir. Sürücülerde sabırsızlık ve ihlaller meydana gelir.
4. Sinyal süreleri uygun ayarlanmamışsa durma sayıları ve gecikme süreleri artar.

Bazı trafik sinyal sistemlerinde, maliyeti düşük olan basit ayarlamalarla trafik akışında önemli düzenlemeler sağlanabilir. Bu sayede, sadece sinyal sürelerinin ayarlanması ile trafik gecikmeleri, hava kirliliği ve yakıt tüketiminde önemli azalmalar sağlanabilir (Özdirim, 1994).

Son yıllarda sinyal sistemleri diğer trafik denetleme sistemleriyle birlikte çalışmaktadır. Her kavşağın çevresel konumuna ve ihtiyaçlarına göre değişen bu uygulamalar özellikle İstanbul'da oldukça yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır (Çizelge 2.1). Trafiğin kontrolünün ve düzeninin sağlanmasına yardımcı olan bu uygulamalar sinyalizasyon sistemlerinin verimini arttırmaktadır.

Çizelge 2.1 İstanbul’da kavşaklarda yapılan çalışmalar (İBB, 2008).

	2005	2006	2007	GENEL TOPLAM
SİNYALİZE KAVŞAK	173	143	79	395
EYS (ERİŞİLEBİLİR YAYA SİNYALİ)	4	36	11	51
TRAFİK KAMERASI	0	61	61	122
RTMS (SENSÖR VE DETEKTÖR)	0	90	100	190

Sürücülerin sinyalize kavşaklarda gün boyu yaşadıkları gecikmelerin çoğu, yeşil ışığı beklerken gerçekleşir. Oysa ki sinyallerin zamanlaması optimize edilerek gecikmeler azaltılabilir. Örneğin California, ABD’de 1983 yılında 1,535 trafik sinyalinin sinyal süreleri yaklaşık iki milyon dolar harcanarak yeniden düzenlenmiş ve bu sayede araçların duraklama sürelerinin %14’den fazla azaldığı, seyahat sürelerinin %6,5 daha kısaldığı ve %6’lık benzin tasarrufunun sağlandığı gözlemlenmiştir. Bu uygulama ile sürücülerin benzin tasarrufu toplamda yaklaşık 8 milyon dolar olmuştur. Bu sayede havadaki zehirli gaz emisyonunda önemli ölçüde azalma sağlamıştır (FHWA, 1995).

FHWA (Federal Highway Administration; Federal Otoyol Kurumu, ABD) trafik sinyal zamanlama optimizasyon projelerinin fayda/maliyet oranını 40/1 olarak hesaplamıştır. Bu oran trafik sinyal zamanının optimizasyonu için harcanan her 1 doların, kamuya 40 dolar olarak geri dönmesi demektir. Bunun yanı sıra birçok başka fayda sağlayabilmektedir. Bunlar;

- Basit bir trafik sinyali düzenlemesi, araç hızların da %12 iyileşme ile sonuçlanır, daha ileri iyileştirmeler ile hız %25 arttırılabilir.
- Donanımda değişiklik olmaksızın fazları ve ışık süreleri yeniden düzenlenen trafik sinyalleri genelde seyahat süresinde %12 tasarruf sağlar. Bazı durumlarda bu tasarruf %22’ye kadar ulaşır
- Trafik sinyal işlemlerinin geliştirilmesi ile daha az dur kalk dolayısıyla daha az arkadan çarpma oluşur (FHWA, 1995).

2.1.3.2 Sinyalize Kavşak Kontrol Teknikleri

Sinyalize kavşaklarda kullanılan kontrol teknikleri, esas olarak sabit zamanlı ve trafik uyarımlı kontrol teknikleri olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Sabit zamanlı kontrol tekniklerinde sinyal çevrim süresi ve yeşil ışık sürelerinin kavşağa yaklaşan akımların doygunluğuna göre önceden belirlendiği sabit sinyal planları kullanılır (Akbas, 2001). Bu planlar günün saatlerine bağlı olarak uygulanabildiği gibi (time of day, TOD), trafik şartlarına

bağlı olarak da seçilip uygulanabilmektedir (yarı trafik uyarımlı - YTU). Mesela az yoğunluğa sahip trafik akımına sadece talep olduğunda zamanlarda yol verme veya yaya butonlarının kullanılması gibi uygulamalar oldukça kullanışlıdır. Tam trafik uyarımlı kontrol (full actuated control, TTU) tekniklerinde ise, sinyal çevrim süresi ve yeşil ışık süreleri, trafik akımlarına ilişkin karakteristik bilgilerin ölçülüp değerlendirilmesi suretiyle gerçek zamanlı olarak hesaplanmakta ve uygulamaya konulmaktadır.

Bir kavşakta kurulacak sinyalizasyon sisteminin öncelikle sabit zamanlı olması düşünülür ve bundan sonra trafik akım özelliklerine göre kavşağın yarı veya tam trafik uyarımlı olarak işletilmesine karar verilir. Kavşağın sabit zamanlı olarak çalıştırılması için, kent içinde kavşak kollarında toplam trafik yükünün saate minimum 750 taşıt, kent dışında ise minimum 625 taşıt olması gereklidir (Özdirim, 1994). Kavşaklar arasında bir koordinasyon düşünülüyorsa öncelikle her kavşak izole olarak projelendirilir, daha sonra geometrik özelliklere göre kavşaklar arasında koordinasyon kurulur. Koordinasyon kurulurken bir kavşak diğerine göre daha önemli ise, bu kavşak anahtar kavşak olarak kabul edilir ve diğer kavşaklardaki uygulamalar bu anahtar kavşağa göre ayarlanır (Ayfer, 1977).

Sabit zamanlı kontroller trafik kontrollerinin en basit formudur. Sabit zamanlı olarak trafik akımlarını yönetip, sinyal göstergelerinin dizilimlerini düzenli olarak tekrar ederler. Örneğin bu döngünün bir fazının tamamlanmasında bir kavşak kolunda yeşilin yanması 40 saniye beklenirken, diğer kavşak kolunda 15 saniye beklenir. Her dakika için birçok saniye sarı ışığa veya boşluk-aralık zamana ayrılır. Sinyaller, kontrollerin ayarlamalarına göre belirlenen, belli bir tarzdaki döngüde belirlendiği gibi yönlendirilir. Sabit zamanlı kontroller trafik hacminin önceden tahmin edilebilir stabil ve oldukça kesin olduğu kesişim bölgelerinde kullanıma uygundur. Bunlar ayrıca yaya yoğunluğunun fazla ve trafik akımlarının kesin olduğu yerlerde de tercih edilebilir.

Donanıma bağlı olarak birçok zamanlama dizilimleri gün boyu trafik yoğunluklarındaki değişim sebebiyle gecikmelere sebep olabilir. Sabit zamanlı kontroller ile zamanlama trafik sayımları ve görsel gözlemlerle belirlenir. Gözlemler anındaki trafik akımlarını en iyi şekilde yönlendirebilmek için tasarlanırlar. Şekil 2.9'da görünen kavşak kontrol cihazları ile sinyal planları girilerek gerekli düzenlemeler gerçekleştirilir ve manuel değişim yapılana kadar o halde kalır. Ancak bu trafik akımlarının büyük dalgalanmalar gösterdiği durumlarda uygun bir çözüm olmamaktadırlar.



Şekil 2.9 Kavşak kontrol cihazı (KKC) (İBB, 2008)

Sabit zamanlı sistemler gerekli durumlarda birbiriyle koordine çalıştırılarak yeşil dalga uygulanabilir. Buradaki amaç kavşaklardaki gecikmeleri azaltmak ve durma sayısını en aza indirmektir. Genelde anayollar üzerinde yapılan bu uygulama ile mümkün olan en fazla aracın durmadan geçirilmesine çalışılır. Sabit zamanlı kontroller satın almada, kurulumda, bakım ve onarım maliyetinde trafik uyarımlı sinyallerden daha ucuzdur. Komşu sinyallerle koordinasyon sağlayarak, gelişimini tamamlamış bölgelerde akımların kesintisiz devam etmesini sağlayabilirler.

Trafik uyarımlı kontrollerin sinyal göstergeleri sabit zamanlı kontrollerden farklı olarak belli bir uzunlukta değildir; trafik hızı ve trafik seviyesine göre cevap verecek değişiklikler vardır. Trafik uyarımlı kontroller, trafik yoğunluğu değişken olan caddelerde veya trafiğin en yoğun olduğu caddelerde, trafik karışıklıklarını minimize etmek amacı ile kullanılır.

Basit bir trafik uyarımlı kontrolde bulunan 4 yapı; detektörler, kontrol edici üniteler, sinyal kafaları (trafik lambaları) ve bağlantı kablolarıdır.

Detektörler genelde kaldırıma yerleştirilir ancak bazen sinyal direklerinde de bulunabilirler. Genel olarak kullanılan tipleri iletken devre detektörleri, manyetik detektörler, magnetometreler ve mikrodalga detektörlerdir.

İletken devre detektörleri en çok kullanılan detektör tipidir. Metal kablo sarımı asfaltta açılan yarığa gömülür ve koruyucu plastik dolgu ile kaplanır. Eğer hareketli bir araç detektöre yaklaşırsa metalik kütlesi lopu uyarmak üzere değişir. Bu algılama aşaması kontrol edici bir ünite olarak, taşıt varlığında değişir ve bilgilendirir.

Trafik uyarımlı kontrollerin 2 basit tipi vardır; yarı uyarımlı ve tam uyarımlı kontroller.

Bunların yanı sıra yaya uyarımlı, toplu taşıma uyarımlı, hacim-yoğunluk uyarımlı ve merkezi kontrollü sistemlerden de bahsedilebilir.

Trafik uyarımlı kontroller yol kesişim bölgelerinde ve bütün dar yol uygulamalarında detektöre ihtiyaç duyar. Gün boyunca araç yoğunluklarının farklılık gösterdiği ve sinyal süresinde sürekli değişimine ihtiyaç duyulan durumlarda oldukça kullanışlıdır. Tam trafik uyarımlı kontroller sıkça tercih edilir çünkü değişken trafik koşullarına anında cevap verebilirler.

Hacim yoğunluk kontrolleri tam trafik uyarımlı kontrollerin daha avantajlı tipleridir. Bu kontrollerde hacim gibi anlık trafik bilgileri kaydedilir. Kayıtlı bilgileri kullanarak hesaplama yapılabilir ve trafik talebine göre minimum yeşil ışık süresini belirleyebilir.

Trafik uyarımlı sinyal kontrollerinin verimliliği detektörün lokasyonu ve ünitelerin programlanmasına bağlıdır. Zamanlama ayarlaması eğitimli teknik personel tarafından yapılmalı ve trafik periyotları esas alınmalıdır. Bir kontrol ayarlandığı zaman teknisyen trafikteki etkiyi gözlemlemeli ve eğer gerekliyse ayarlarda ek bir düzenleme (fine-tune) yapılmalıdır. Yol kesişimleri sinyallerden emin olmak için periyodik olarak görüntülenmesi oldukça verimlidir. Trafik hacmi ve diğer durum değişikliklerinde kontrol ayarlarının bu yönde değiştirilmesine gerek duyulur.

İstanbul'da anayol akışının gereksiz kesilmesini önlemek için sinyalizasyon kavşaklardaki bağlantı yollarına "Loop Sensör" adı verilen algılayıcılar yerleştirilmektedir. Bu sensörler ile; bağlantı yolunda araç olup olmaması durumuna göre sinyal süreleri otomatik olarak ayarlanmaktadır."Loop Sensör" sayısı İstanbul genelinde 240 adettir. Yol akışının gereksiz kesintisi ve zaman kaybını önleyen bir diğer uygulama olan yaya butonlarının sayısı ise 600 adete yakındır. (İBB, 2009)

Uyarımlı kontrolün diğer bir tipi ise kontrolde, işlemde ve trafik kontrol sinyal sistemine tavsiyede bilgisayar kontrolünü kullanır. Bilgisayar kontrollü sistemler temel olarak bir merkez bilgisayarının iletişim aracı (kablo, telefon, radyo vs) ve alan donanımının (lokal kontroller, detektörler, vs.) bir bütünüdür (Morales vd., 1995).

İmalat, bakım ve işletmesi Büyükşehir Belediyesi Trafik Müdürlüğü tarafından yapılan sinyalizasyon kavşak sayısı İstanbul sınırları içerisinde 2007 yılı itibarıyla 1265 adettir.(İBB, 2009) Sinyalizasyon kavşaklar On-line Kavşak Kontrol Sistemi ile Trafik Kontrol Merkezi'nden yönetilmektedir.

2.1.3.3 Sinyalizasyon Hesapları

Sinyalize olarak çalıştırılacak bir kavşakta; periyot süresinin, faz düzenlerinin, yeşil sürelerin, yeşiller arası sürelerin, koruma sürelerinin ve yaya geçiş sürelerinin belirlenmesi gereklidir. Periyot süresi (C), sinyalize bir kavşakta ışıkların tam bir devir yapacak şekilde sırayla yanıp söndüğü toplam süredir (sinyallerden her hangi 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. 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) projenin en önemli bölümlerinden biridir (Ayfer, 1997). Periyot süresinin hesaplayan temel eşitlik 2.1’de görülmektedir.

$$C = \sum_{i=1}^n G_i + \Delta_t \quad (2.1)$$

C = Periyot Süresi (saniye)

n = Faz sayısı

G_i = i fazına ait yeşil süre (saniye)

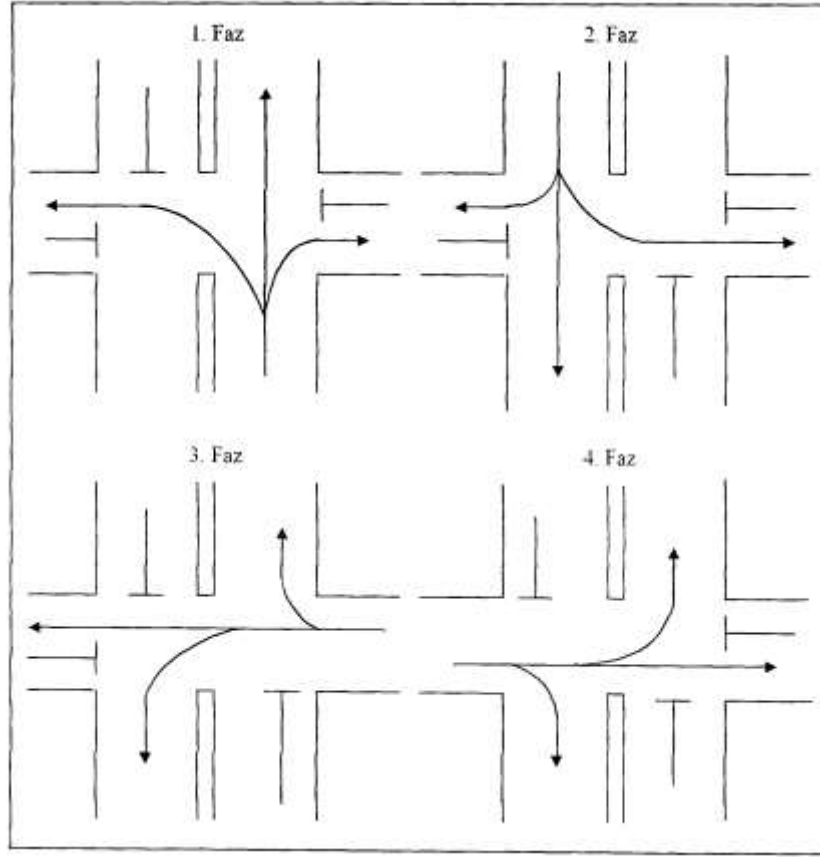
Δ_t = Toplam kayıp süre (saniye)

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. Ayrıca bir kavşakta yayalara verilecek yeşil sürenin de 6 saniyeden az olmaması gereklidir (Ayfer, 1977).

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 (Özdirim, 1994).

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. Bir fazda, yeşil olan akımların başlangıç ve bitiş zamanlarının eşit olması zorunlu değildir.

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. Şekil 2.10'da 4 kollu bir kavşaktaki dört fazlı plan gösterilmektedir.



Şekil 2.10 4 fazlı sistem. (Özdirim, 1994)

Faz planlarında kullanılan süreler kullanıldıkları amaca göre değişkenlik göstermektedirler. Bu süreler genelde trafik ışıklarında kullanılan renklere (yeşil, kırmızı, sarı) göre adlandırılırlar. 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. Yeşiller arası süreler ise sarı süreler ile her yöne kırmızı süreleri kapsar.

Sarı sürenin 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 sağlar.

Kırmızı + sarı süre; bir kavşakta her hangi bir yöne yeşil ışıkla geçiş hakkı verilmeden önce, harekete geçecek taşıtların hazırlanmaları ve zaman kaybetmemelerini sağlamak üzere, kırmızı ışıkla beraber sarı ışığın yakıldığı süredir.

Her yöne kırmızı (All-Red) süre, periyot süresinin bazı aralıklarında ve yeşiller arası sürenin içinde, kavşaktaki bütün akımların aynı anda kırmızı olarak ışıktandırıldığı çok kısa bir süredir (t_R).

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

Bir periyot süresi içindeki toplam kayıp süre; sarı süreler, koruma süreleri ve her yöne kırmızı sürelerin toplamıdır (Ayfer, 1997).

$$\Delta_t = \sum_{i=1}^n Y_i + \sum_{i=1}^n t_{K_i} + \sum t_R \quad (2.2)$$

Δ_t = 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)

2.1.3.4 Trafik Sinyalizasyonuna Ne Zaman İhtiyaç Duyulur?

Sinyalizasyon sistemleri sadece gerekli olduğu zamanlarda kullanılmalıdır. Trafik hacim değerleri az ise gereksiz beklemelemlere ve durmalara sebep olacaktır. Yüksek trafik hacim değerlerinde ek önlemler (yönlendirme adaları, sol dönüş cepleri vb.) ile birlikte kullanılmalı veya katlı kavşak düşünülmelidir. Bu değerlendirmelerin yapılabilmesi için değişik yaklaşımlar vardır.

Türk standartlarında kavşakların tipinin seçilmesi için gerekli olan, kavşağın bütün kollarında haftanın iş günlerinden Salı, Çarşamba, Perşembe ve Cuma günlerinden birinde pik saatle yapılan trafik sayımıdır. Burada elde edilen sayım sonuçları, oto birime çevrilir (OB). Bu saat içinde kavşağa bütün kollardan giren trafik toplanır. Bu toplamın 5 veya 10 yıl kabul edilen bir geleceğe göre tahmini yapılır.(TSE, 1990) Buna göre önce Çizelge 2.2'deki kavşak tiplerinden biri seçilir. Fakat bu çizelgede belirtilen değerler şerit sayısına ve proje standartlarına göre ele alınırsa çok farklı sonuçlara ulaşılabilir. Örnek olarak tek şeritli bir dönel kavşak düşük hacimlere hizmet ederken, sinyalizasyon üç şeritli ve sol dönüş cepleri bulunan bir kavşağın hizmet ettiği hacim gayet yüksek olacaktır.

Çizelge 2.2 Trafik hacimlerine göre seçilmesi gereken kavşak tipleri (TSE, 1990)

HEMZEMİN KAVŞAK TİPİNİ BELİRLEYEN TRAFİK				
Tüm girişlerin toplam yükü (Oto/Blrmi/Saat)	BASİT KAVŞAK 3 veya 4 Kollu		DÖNEL KAVŞAK (Sol dönüş çok)	
	Damla Adasız	Damla Adalı (Sol dönüş çok)	Büyük Dönel Kavşak	Çok Büyük Dönel Kavşak
< 750	Işık kontrolsuz	-	Işık kontrolsuz	-
750 - 1000	Işık kontrollü	-	-	-
1000 - 1200	-	-	-	Çok büyük dönel kavşak (Işık kontrolsuz)
1200 - 1500	-	Işık kontrollü	-	-
1500 - 2000	-	-	-	-
2000 - 3000	-	Işık kontrollü ve üst/alt Geçitli	Işık kontrollü dönel kavşak	-
2000 - 3000	-	-	-	-
5000 'den büyük	-	-	-	Üst/Alt geçit
5000 'den çok büyük	-	-	Üst/Alt geçit	Üst/Alt geçit

Amerikan trafik kontrol araçları kılavuzunda (Manual on Uniform Traffic Control Devices; MUTCD) trafik sinyalizasyon tesisi kurulması için öngörülen kriterleri aşağıda özetlemiştir.

1. Minimum Taşıt Yoğunluğu (Minimum Vehicular Volume) : Amerikan standartlarına göre bir iş gününün 8 saati boyunca anayol ve tali yoldaki şeritler üzerinden 1 saatte geçmesi gereken minimum taşıt sayıları (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.3 Minimum taşıt yoğunluğu (MUTCD, 2003)

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

2. Anayol Trafikinin Kesilmesi (Interruption of Continuous Traffic) : Bir iş gününün 8 saati boyunca ana yol üzerindeki ve tali yol üzerinde bu trafiği kesmesi gereken taşıt sayıları (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.4 Anayol kesilmesi (MUTCD, 2003)

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	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 günün her 4 saati boyunca, ana yolu geçmek isteyen yaya sayısının, saatte en az 100 olması veya 1 saat boyunca ana yolu geçmek isteyen en az 190 yaya ve yayaların geçişini yapmalarını sağlamak için taşıtlar arası aralığın 60'dan az (1 saatte) olması gereklidir. Buna ek olarak bu şekilde kurulacak bir sinyalize yaya geçiti tesisi en yakın sinyalize kavşak veya diğer bir sinyalize geçitten en az 300 ft (~90 metre) uzakta olmalıdır.

4. Okul Geçiti (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 ana yol trafiğinin kesilmesi veya yaya yoğunlu 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 kurulmalıdır.

Kullanımı gerekli koşullar altında kurulduğu zaman bir trafik sinyali etkin bir trafik kontrol aracıdır. Buna karşın yersiz ve zayıf tasarlanmış, verimsiz ve uygunsuz sinyallerin sürücü ve yayalar için tehlike potansiyeli vardır. Bu sebepten eğer gerçekten trafik sinyali gerekliyse trafik mühendisliği çalışmalarını ehil personelin yürütmesi esastır.

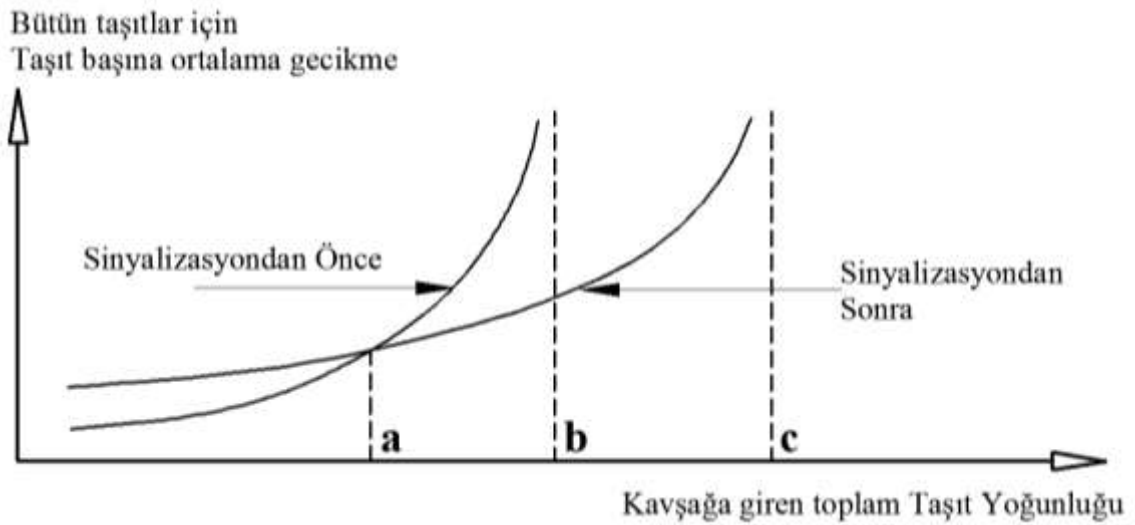
Uzman trafik mühendislerinin kararı yerine, halkın istekleri veya politik baskılar temel alınarak sinyal kurulması hatalı bir davranıştır. Uygun olmayan sinyaller; araçlarda duraklamalarda artışa, trafik gecikmelerine, gereksiz yakıt tüketimlerine, trafik kazalarına ve sürücülerin trafik sinyallerini ihlallerine sebep olabilmektedir.

Eğer trafik hacmindeki düşüş veya gelişmelerden dolayı sinyale daha fazla ihtiyaç yoksa sinyal kaldırılmalıdır. Burada sinyal kaldırılırken dikkat edilecek 3 nokta vardır; birincisi sinyalin kaldırmasının kavşak güvenliğine etkileri, ikincisi trafik akımına etkisi ve son olarak da gecikme, yakıt tüketimi ve maliyet üzerine etkileri.

FHWA 191 şehir yol kesişiminde sinyalizasyon kontrolünden DUR kontrole çevirmiş ve kaza oranlarında önemli bir değişiklik olmamıştır. Çalışmalar sinyalizasyon bir kavşağı iki yönlü DUR kontrollü hemzemin kavşağına çevrildiği zaman araç başına gecikmenin 10 sn azaldığını göstermiştir. Her araç için 5-6 sn rölanti gecikmesi azalmış, dur kalk yarıya düşmüş ve yakıt tüketimi azaltılmıştır. Ek olarak elektrik masrafı ve kurulum masrafı elimine edilmiştir. (Bissell vd, 1980)

2.1.3.5 Sinyalizasyonun Gecikme Süresi Üzerine Etkisi

Sinyalizasyon edilen bir kavşağın kapasitesi genellikle yalnız trafik işaretleri ile kontrol edilen aynı geometrideki bir kavşağın kapasitesinden daha yüksektir. Ancak, kavşaktaki toplam trafik yükleri belirli bir mertebeye ulaşmadığı sürece sinyalizasyon tesisi gereksiz gecikmelere neden olur. Bununla beraber aynı kavşakta, sinyalizasyon olmadığı takdirde taşıt yoğunluğu arttıkça gecikmeler de hızlı bir artış gösterirken sinyalizasyon tesisi bulunan bir kavşakta toplam gecikme artışı daha yavaş olacaktır. Şekil 2.11'deki a noktası sinyalizasyonun yararlı olmaya başladığı toplam taşıt yoğunluğu değerini, b noktası kavşağın normal kapasitesini, c noktası ise sinyalizasyon kavşağın kapasitesini göstermektedir (Ayfer, 1977).



Şekil 2.11 Sinyalizasyonun gecikmelere etkisi (Ayfer, 1977).

2.1.3.6 Yanlış Sinyalizasyonun Kazalar Üzerine Etkisi

Çeşitli ülkelerde yapılan araştırmaların sonucunda, yalnız basit düşey işaretleme ile kontrol edilmekte olan üç ve dört kollu kavşaklarda, sinyalizasyon tesisi kurulduktan sonra taşıtların yayalara çarpması ve diğer taşıtlar ile çarpışması şeklindeki trafik kazalarının yaklaşık yarı yarıya azaldığı görülmüştür. Sinyalizasyonun, birbirine dikey yönde hareket eden taşıtlar arasında oluşan kazaları azaltmasına karşılık, arkadaki taşıtın öndekine çarpması ile oluşan kazalarda artışa neden olduğu da bir gerçektir. Özellikle hız yolları üzerinde kurulan sinyalizasyon tesislerinin 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 olamadığı kanısını da oluşturabilmektedir. Kısaca, sinyalizasyon tesisinin kurulduğu noktada kazaların büyük oranda azalması beklenmelidir, ancak bunda taşıt sürücülerinin davranışlarının da büyük ölçüde etkisi vardır (Ayfer, 1977).

2.1.4 Eşdüzey Kavşaklarda Geometri ve Trafik Hareketleri

Bir yolun geometrik standartları; genişliği, yatay ve düşey kurbaların yarıçapları, dever, boyuna ve enine eğim gibi plan ve boy kesit ile ilgili değerlerdir. Geometrik standartları yüksek bir yolu kullanmak hızlı, güvenli ve konforlu bir ulaşım olanağı sağlaması, ayrıca taşıt işletme maliyetini azaltması bakımından tercih edilen bir durumdur. Ancak yol mühendisliğinde asıl olan, hizmet ömrü boyunca gereksinime en makul ölçülerde cevap verebilecek yolun en ekonomik şekilde inşası olduğu için standartların olması gerekenden büyük tutulması istenmez.

Yol geometrik standartlarının seçiminde etkili olan faktörler şöyledir;

Yolun sınıfı: Yol standartlarına ve yoğunluğuna göre, konfor ve hız göz önünde tutularak belirlenir.

Trafik miktarı: Şerit sayısının belirlenmesinde yararlanılır.

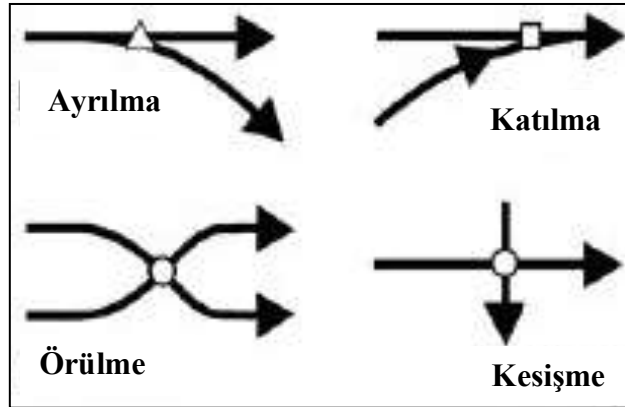
Trafiğin bileşimi: Trafiği oluşturan araçların türlerine göre oranları, şerit genişliği, boyuna eğim gibi değerlerin seçilmesinde önemlidir. Ayrıca, üstyapı tasarımında trafikteki ağır taşıt oranının bilinmesi gerekir.

Arazinin topoğrafik durumu: Seçilen geometrik standartların uygulanmasının getireceği maliyet ile arazinin topoğrafik durumu arasında doğrudan bir ilişki vardır.

Mali olanak: Mali olanaklar imkan veriyorsa, geometrik standartların seçiminde esnek davranılması, kritik durumlarda tercihlerin yüksek standart yönünde olması uygun olur.

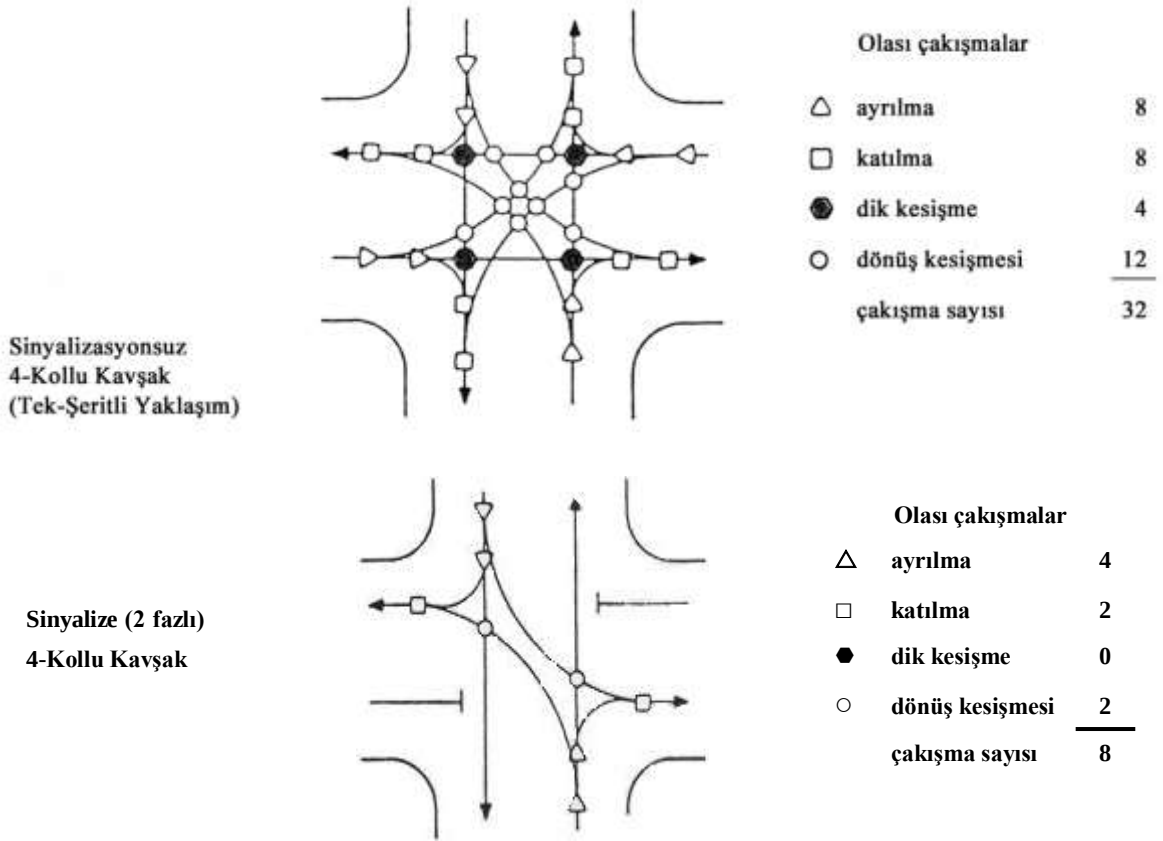
Trafik güvenliği: Trafik güvenliği yol tasarımında ön planda tutularak geometrik standartları seçerken trafik güvenliğini artıran değerlerin tercihi uygun olur.

Diğer faktörler: Yolun geçeceği bölgenin zemin durumu, iklim koşulları, hakim arazinin kullanım şekli, kent içi yollarda kentin tarihi dokusu ve yerleşme yoğunluğu, yolun geometrik standartlarının seçilmesi sırasında etkili olabilecek diğer hususlar olarak sıralanabilir. Bir eşdüzey kavşakta dört çeşit olası trafik hareketi vardır. Bunlar; ayrılma, katılma, kesişme ve örülmedir. Ayrılma, anayol trafiğinde aynı yöndeki taşıtların anayoldan tali yola geçişleridir. Katılma, tali yoldaki taşıtların aynı yöndeki anayol trafiğine geçişleridir. Ayrılma ve katılmalar sağa, sola, çatal veya çoklu şekilde olabilir. Kesişme, farklı yöndeki trafik akımlarının bir noktada çakışmasıdır. Kesişmeler dik veya verevdir. Örülme ise, aynı yöndeki ayrılma ve katılma hareketlerinin kesişmesi veya çakışması ile oluşur (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Eşdüzey kavşaklardaki olası trafik çakışmaları.

Çakışmalar ayrılma, katılma ve kesen trafiğin karşılaştığı noktalardır. Eşdüzey kavşaklardaki çakışmalar dört çeşittir. Bunlar; ayrılma, katılma, doğrusal geçişler ve dönüşlerdir. Bu çakışmaların sayısı sinyalizasyon olmayan dört kollu tek şeritli bir kavşakta 32'dir. Bu noktaların sayısı kavşak kollarına, kavşaktaki dönüş hareketlerine ve kavşakta kullanılan kontrol sistemine bağlıdır. Bir kavşakta trafik kontrol sistemi dizayn edilirken en öncelikli amaç bu çakışma noktalarının azaltılması olmalıdır (Şekil 2.13) (Yayla, 2006).



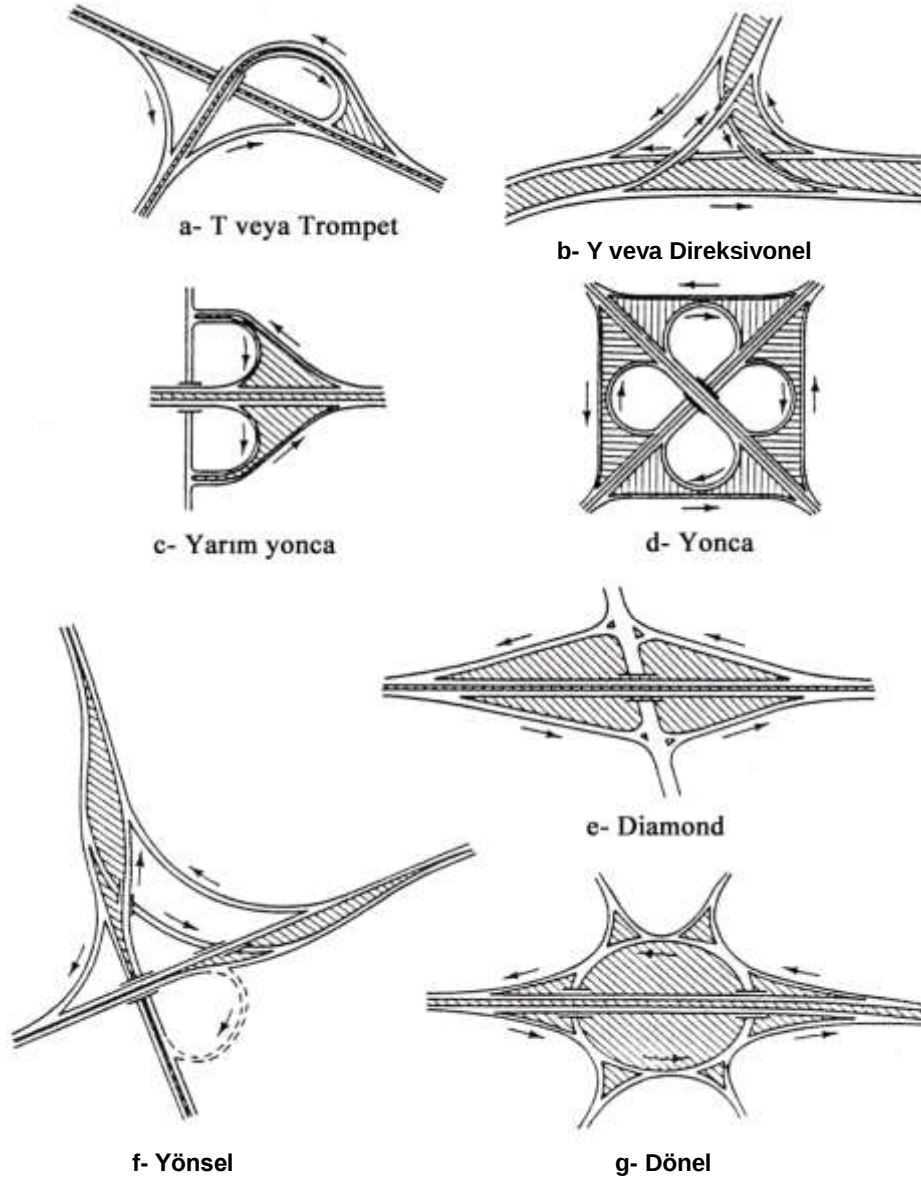
Şekil 2.13 Dört kollu eşdüzey kavşak da taşıt çakışmaları

2.2 Katlı (Köprülül) Kavşaklar

Sinyalize kavşaklar yüksek kapasiteli ve kesintisiz akıma gerek duyulan karayollarında yetersiz kalmakta, gerekli çözümü sağlayamamaktadır. Böylece bir üst çözüm yöntemi olan katlı kavşaklar gündeme gelmektedir. Katlı veya farklı seviyeli kavşaklar, iki veya daha fazla sayıdaki karayolunun bir ya da daha çok düzeyde kesişme ve birleşmesiyle oluşturulan kavşaklardır. Bu tip kavşaklar karşılıklı geçişlerdeki çakışmaları ortadan kaldırmak ve dönüşlerdeki çakışmaları en aza indirmek amacıyla düzenlenir. En belirgin uygulamaları Şekil 2.14’de görülmektedir.

Farklı seviyeli kavşakların tasarımında dikkat edilecek genel hususlar;

- Bütün trafik akımlarının güvenli olarak hareketi sağlanmalıdır
- Sürücüler tarafından kolay algılanabilir olmalı, sürücüyü tereddütte bırakarak güvensiz davranışlarına sebep olacak tasarımlardan kaçınılmalı, gidiş yönlerini kolay ve doğru olarak seçebilmeleri sağlanmalıdır.
- Sürücünün karar verme noktaları arasında yeterli zaman ve mesafe bulunmalıdır.
- Kavşak alanı görülebilir olmalı, giriş ve çıkışlar için yeterli görüş mesafesi ve yanal görüş açısı bulunmalıdır.



Şekil 2.14 Farklı seviyeli kavşakların genel uygulamaları (TCK, 2005)

- Kavşağa giriş ve çıkışların çok özel durumlar dışında sağdan yapılmasına çalışılmalıdır.
- Kavşağın zamanında ve kolayca tanınabilmesi için, özellikle giriş ve çıkış noktalarının açık olarak trafik işaretlemesi ile belirlenmelidir.
- Kavşak bölgesinde anayoldaki hız prensip olarak değişmemelidir. Ancak bazı hallerde, yüksek trafik hacimli ayrılma, katılma ve örülme kesimlerinde güvenlik ve kapasitenin sağlanması için hız sınırlaması gerekebilir. Rampaların proje elemanlarının seçiminde anayola göre daha küçük proje hızları esas alınır.
- Genel bir kural olarak köprülü kavşaklar arasındaki mesafenin şehir geçişlerinde 1.5km'den, kırsal kesimlerde ise 3km'den daha az olmamasına özen gösterilmelidir. Şehir içinde mesafenin 1.5km'nin altında olduğu hallerde, kamulaştırma durumu uygun ise kavşağa toplayıcı yollar ilave edilebilir.

Kavşak alternatifleri; kapasite, güzergâhın sürekliliği, kavşak dokusunun homojenliği, farklı seviyeli yapıların çıkışları, örülme durumu, sinyalizasyon ihtiyacı, maliyet, kamulaştırma imkanı, yapım durumu ve çevre uyumluluğu gibi kriterlere göre karşılaştırılır.

Kavşak alanına yaklaşan karayolunun proje hızı, güzergâhı, boykesiti ve enkesitleri kavşağın özelliğini ve güvenliğini etkileyen faktörlerdir. Kavşak bölgesindeki görüşün açık olması için, güzergâh ve profilin oldukça düz ve düze yakın olarak tasarlanması tercih edilir. Özellikle kesişen yollardan, anayolun bu şekilde tasarlanması uygun olacaktır. Farklı seviyeli kavşak içerisinde, anayol ve tali yoldaki görüş mesafesi en az, ihtiyaç duyulan duruş mesafesi kadar veya daha fazla olmalıdır. Yatay ve düşey güzergâhın tasarımı (proje hızına bağlı seçilen yatay ve düşey kurplar), altgeçit ve üstgeçitlerde minimum durma mesafesini sağlamayabilir. Bunu önlemek için köprü yapısının açıklık ve genişliklerinin artırılması gerekebilir. Bazı durumlarda da, özellikle yapılaşmanın yoğun olduğu ve tarihi, doğal dokusu olan yerlerde bu tip yapıların tamamen şeffaf olarak tasarlanması daha uygun olmaktadır.

Güzergâhın güvenliği, etkinliği ve açıklığı geometrik yerleşime ve sinyalizasyona bağlıdır. Kavşak rampalarının yerleşimini ve aralarındaki minimum mesafeyi sürücülere bildirmek, ikaz ve kontrol etmek sinyalizasyon sisteminin yeterliliğine bağlıdır. Kaplama çizgileri, ikaz levhaları ve diğer işaretlemeler, kavşaklarda sürücüleri bilgilendiren diğer önemli unsurlardır (TCK, 2005).

Farklı seviyeli kavşaklar kol sayılarına göre üç veya dört kollu olarak ikiye ayrılır. Diğer bir gruplandırma şekli de seviye ayırımına göre; iki, üç veya çok katlı kavşak olarak gruplandırmaktır. Ayrıca uygulanan yapı sayısına göre tek, çift veya çok yapıllı olarak da gruplandırmak mümkündür.

Üç kollu katlı kavşaklar aşağıdaki ana başlıklar altında toplanabilir.

- 1- Trompet Kavşaklar : Bu tip köprülü kavşaklar öncelikle birbirini kesen anayol ve ekspres yolu bağlamak için kullanılır.
- 2- Yarım Yonca Kavşak: Her iki yönde sol dönüş hareketinin luplarla (döngü rampalarıyla) sağlandığı kavşak tipidir.
- 3- Yönsel ve Yarı Yönsel Kavşak: Bir ya da daha fazla sola dönüşü sağlayan, tek/çift yönlü, bir veya daha çok farklı seviyeli rampalardan oluşan kavşak tipidir. Katlı kavşaklar içinde en yüksek kapasiteye, işletme hızına, konfora, güvenliğe ve maliyete sahip kavşak tipidir.

Dört kollu kavşaklar ise aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

- 1- Diamond Kavşak: Genellikle anayola paralel dört rampadan oluşan, tüm dönüş hareketlerinin sağlandığı farklı seviyeli bir kavşak tipidir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Çok katlı Diamond Kavşak (Texas Transportation Institute, 2004)

- 2- Yonca Kavşak: Sol dönüşlerde çakışmaların tamamıyla ortadan kaldırıldığı dört kollu köprülül kavşak tipidir. Lup rampalar sol dönüş hareketleri, dış rampalar ise sağ dönüş hareketleri için oluşturulmuştur(Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Yonca Kavşak (Avcılar-İstanbul, 2004)

- 3- Tek Luplu (Döngülü) Kavşak: Bu tip katlı kavşaklar düşük trafikli yolların kesişiminde uygulanır.
- 4- Yarım Yonca (Simetrik ve Asimetrik) Kavşak: Trafik hacminin düşük olması, yapılaşma, vb. nedenlerden dolayı kavşağın belirli çeyreklerine döngü rampaları konulamadığı durumlarda yarım yonca kavşaklar tasarlanabilir.
- 5- Tam Yönsel ve Yarı Yönsel Kavşak: Yönsel farklı seviyeli kavşaklar her bir yön için

en uygun bağlantının diyagonal yapıldığı, hız, kapasite ve güvenliğin artırıldığı, örölmelerin ortadan kaldırıldığı, yüksek kapasiteli ve nitelikli bir kavşak tipidir. Ancak, birden fazla yapı gerektirdiğinden dolayı maliyeti yüksektir. Tüm yönler doğrudan erişim sağlanmışsa yönsel, bazı yönlerde döngüler vasıtasıyla son buluyorsa yarı yönsel olarak adlandırılır. Tam yönsel kavşaklar yüksek maliyetleri nedeniyle genellikle otoyollarda tasarlanır. Şekil 2.17 'de dört seviyeli çok köprülü yönsel kavşak tipi görölmektedir.



Şekil 2.17 Dört seviyeli yönsel kavşak (Puxi Viyadüğü, Şangay, 2008)

- 6- Tek Nokta Kavşak: Kamulaştırma, topoğrafik . kısıtlamalar vb dolayı geliştirilmiş farklı seviyeli bir kavşak tipidir. Bu tip kavşaklar, dar kamulaştırma alanı gerektirmesi, köprülerden kaynaklanan yüksek inşaat maliyeti ve bilinen diamond kavşaktan daha fazla kapasite sağlaması ile tanınırlar (Şekil 2.18).

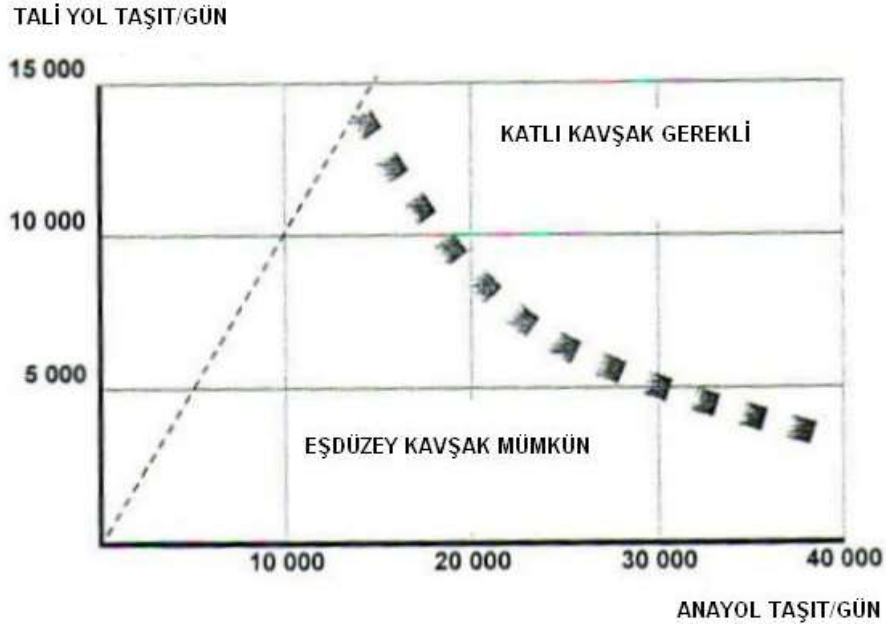


Şekil 2.18 Tek nokta kavşak (Florida, ABD)

2.3 Kavşaklarda Tip Seçimi ve Kapasite

Kavşaklar çeşitli ihtiyaçlara cevap verebilmek için tasarlanır. Bunların en başında yolun fonksiyonu veya fonksiyonel sınıflama derecesinin yüksekliği, trafik hacminin fazlalığı, mevcut yolun kapasite yetersizliği, güvenliğin artırılması, yol kullanıcılarına sağlanan ekonomik faydalar gelmektedir. Kesişen yollardan bir ya da fazlasının tam veya yarı erişme kontrollü yollarda (otoyol veya ekspres yol), kavşak kolları ile sağ/sol dönüş trafik hacminin fazla, hemzemin kavşak kapasitesinin yetersiz, trafik kazalarının fazla ve kavşak kollarındaki yavaşlama ve beklemeden kaynaklanan gecikmelerin fazla olması durumunda farklı seviyeli kavşakların yapılması ile kesişen yollardaki trafik akımlarının çakışması önlenir.

Kavşak kollarındaki trafik hacmi tek şeritte 1800 taşıt/saat'ten daha fazla olması ve/veya transit trafik hacminin %20'den veya 400 taşıt/saat'ten daha fazlasının sol dönüş yapması durumunda farklı seviyeli kavşak yapımı gerekmektedir. Eşdüzey kavşakların yetersiz kaldığı yüksek trafik hacimlerinde, farklı seviyeli kavşaklar gereklidir. (Şekil 2.19)



Şekil 2.19 Hemzemin kavşağın kapasitesi (Sweroad, 2000)

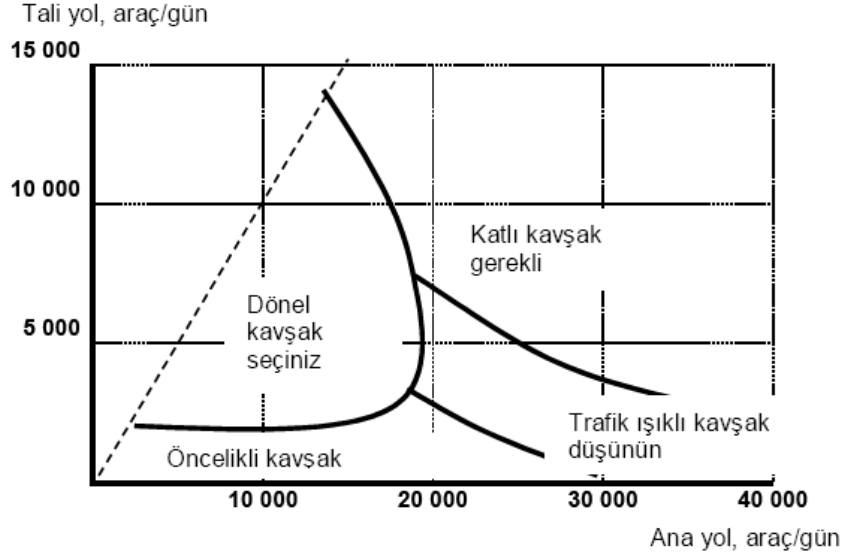
Farklı seviyeli kavşakların tasarımında en önemli husus kavşak tipinin seçimidir. Bu tip kesişmelerde dönen trafiği düzenlemek için birkaç temel köprülü kavşak tipi vardır. Kavşak tipinin seçiminde,

- Kesişen kol sayısı
- Kesişen yolların önemi ve fonksiyonu
- Transit ve sağ/sol dönüş trafik hacmi, kapasite ve servis seviyesi
- Trafik kompozisyonu ve ağır taşıt oranı
- Tasarım hızı
- Erişme kontrol derecesi
- Topografya ve zemin koşulları
- Arazi kullanım durumu ve nüfus yoğunluğu
- Doğa ve kültür özelliği
- Kamulaştırma imkânı ve maliyeti
- Yakınındaki diğer kavşaklar ile ilişkisi
- Yaya hareketleri
- Tasarım kriterleri
- Yapım maliyeti

gibi hususlara ilave olarak her bir kavşak tipinin sahip olduğu avantajlar ve dezavantajlar önemli rol oynamaktadır. Tasarımcının kavşak tipinin seçimi ve konfigürasyon üzerinde önemli bir rolü olduğu unutulmamalıdır. İşaretleme ve işletmenin köprülü kavşak tasarımında

büyük önemi vardır.

Dönel kavşaklar hem yüksek hem de düşük hacimli trafikler için kullanılabilirler. Aşağıdaki şekilde dönel kavşakların hangi trafik hacimleri için kullanılabileceği ve sinyalizasyon kavşaklara göre sosyo ekonomik olarak daha avantajlı olduğu durumlar gösterilmiştir.(Şekil 2.20)



Şekil 2.20 Kavşak seçimi için örnek diyagram. (Sweroad, 2000)

Kavşak kapasitesi ise hakim yol, trafik ve kontrol koşulları altında, özel bir zaman periyodu boyunca kavşağı kullanabilecek taşıtların maksimum sayısıdır.

Kavşak kapasite analizi, belirli kabuller temelinde trafik, yol ve kontrol koşulları altındaki bir kavşağı inceler. Bu koşullar kapasiteyi doğrudan etkilediğinden hakim koşulları farklı olan kesimler farklı kapasitelere sahiptir.

Kavşak kapasite analizleri iki amaçla yapılır:

- Mevcut bir kavşağın kollarında ve tüm kavşaktaki hizmet seviyesini belirleyerek hâlihazırdaki kavşak kapasitesinin mevcut ve/veya gelecekteki trafik hacmine cevap verip vermediğini belirlemek ve eğer istenen hizmet seviyesi sağlanamıyorsa, kapasiteyi artıracak çözümler ortaya koymak için,
- Yapılması planlanan bir kavşağın hizmete açılması düşünülen tarih esas alınarak, oluşması muhtemel trafik talepleri çerçevesinde kollarında ve tüm kavşaktaki kapasitesinin belirlenerek, istenen hizmet seviyesi sağlanamamışsa yeni çözüm önerileri sunmak için.

Çizelge 2.5 Saatlik proje trafiğine göre kavşak kapasiteleri (Özdirim, 1994)

Kavşak Çeşitleri	Kanalize edilmemiş		Kanalize edilmiş	
	Işıksız	Işıklı	Işıksız	Işıklı
	b.o./saat	b.o./saat	b.o./saat	b.o./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	-	-	3000-5000	-

Mevcut kavşaklarda kapasite analizi yapmak için gerekli trafik verileri şöyle sıralanabilir.

- Kavşak kollarına ait sola, sağa dönüş ve direkt giden trafik hacim değerleri (Taşıt sınıflarına göre YOGT cinsinden)
- Kavşağı kullanan yaya ve bisiklet hacim değerleri
- Kavşak kollarının geometrik özellikleri ve trafik düzenlemeleri (kolların % eğimi, sola dönüş ceplerinin varlığı, sağa dönüşler için genişletmenin varlığı, kollardaki şerit sayısı, ana ve tali yol işaretlemelerinin varlığı)

Trafik akımlarının hacim değerleri Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) değeridir. YOGT, kent dışı yollarda; eşitlik 2.3'deki gibi

$$YOGT = \frac{M_{\text{maksimum}}}{0,15} \quad (2.3)$$

Kent içi yollarda ise; eşitlik 2.4'deki hesaplanır.

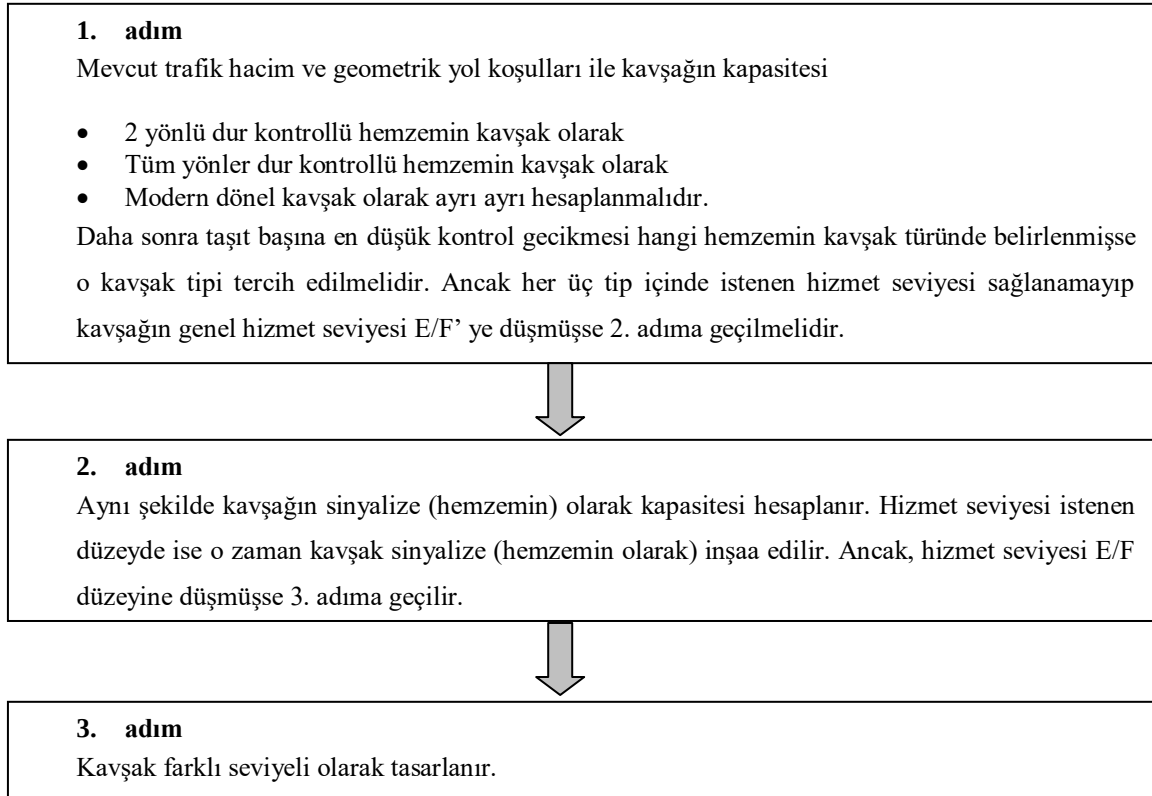
$$YOGT = \frac{M_{\text{maksimum}}}{0,10} \quad (2.4)$$

Burada; M_{maksimum} saatlik maksimum trafik hacmidir.

Hali hazırda mevcut olmayan ve gelecek yıllarda yapılması planlanan bir kavşağın tipine karar verebilmek için öncelikle yapılması gereken çalışma, seyahat başlangıç-son (O-D) matrisi etütleridir. Böylece oluşması muhtemel trafik talepleri bu çalışma sonucunda belirlenerek, elde edilen trafik hacimleriyle gerçekleştirilecek kapasite analizleri sonucunda, istenen hizmet seviyesini sağlayan kavşak tipi tespit edilmektedir. Diğer taraftan kavşak

tipinin tespitinde tek unsur kapasite değildir. Trafik güvenliği, arazi topografyası, maliyet, imar planları ve kamulaştırma problemleri, yerel talepler, kavşak yapılması düşünülen yörenin tarihi, kültürel ve turistik nitelikleri, kamunun gereksinimleri vb. hususlar da kavşak tipine karar verilirken, değerlendirilmesi gereken etkenlerdir.

Kapasite açısından kavşak tipine karar verme aşaması şu şekilde özetlenebilir (Şekil 2.21).



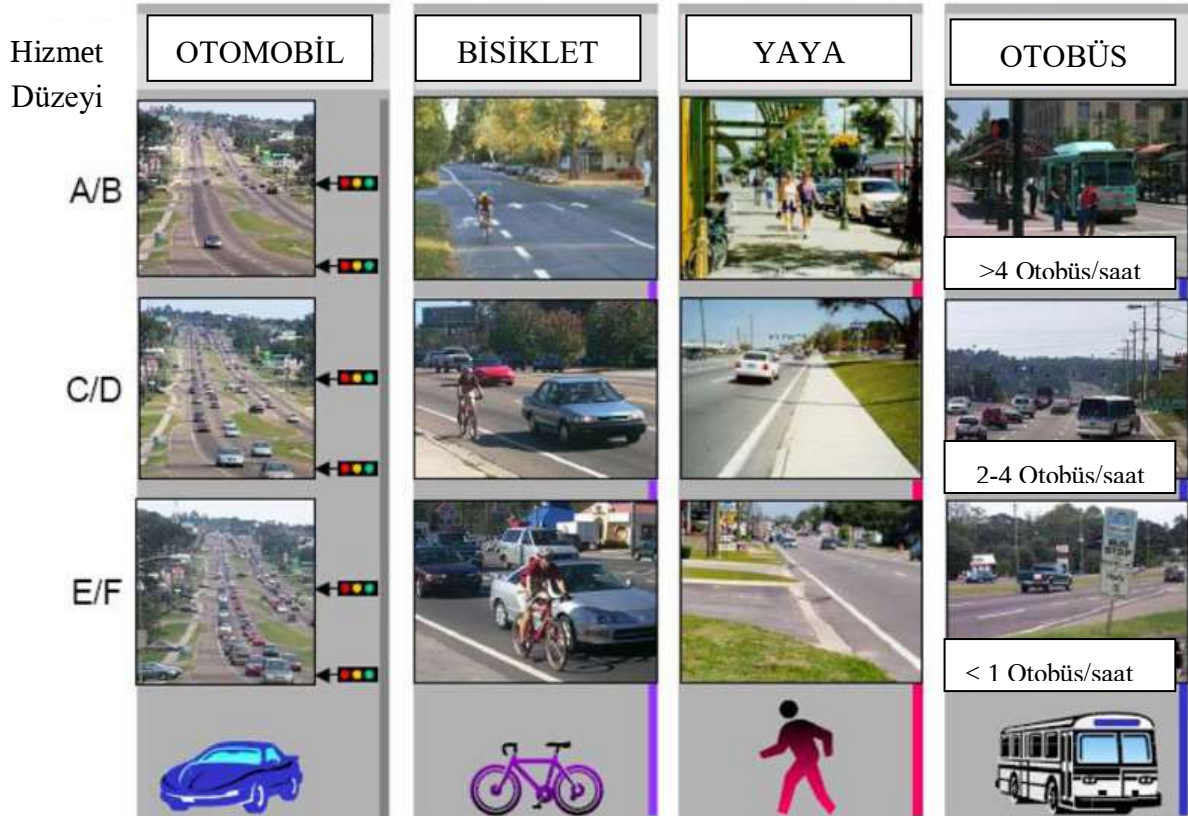
Şekil 2.21 Kapasite açısından kavşak tipi seçimi. (TCK, 2005)

2.4 Kapasite ve Hizmet Düzeyi

Karayollarının ve kavşakların değerlendirilmesinde kapasite ve hizmet düzeyi önemli ölçütlerdir. Bir yol kesiminin kapasitesi; nazara alınan bir zaman dilimi içinde, hakim yol, trafik ve denetim koşullarında geçebilen saatlik en yüksek taşıt sayısıdır. Tanımda yer alan zaman dilimi olarak, genelde, trafik akımının kararlı olduğu en uzun süre olarak kabul edilen 15 dakika alınır. Kapasite yolun tek şeridi ya da bütünü için bir yön veya iki yön olarak verilir. Birimi taşıt/saat'dir. Yine tanımda geçen yol koşulları; şerit sayısı, şerit genişliği, banket genişliği, yatay ve düşey geometri ile ilgili karakteristikler, yan açıklık ve proje hızı gibi hususlardır. Trafik koşulları; trafik akımındaki araçların türleri, trafiğin şeritlere ve yönlere göre dağılımı gibi karakteristiklerdir. Denetim koşulları ise, nazara alınan yol kesimindeki trafik yönetimi ile ilgili her türlü denetim cihaz ve elemanları ile kanun,

yönetmelik ve talimatlardır.

Hizmet düzeyi ise; yolu kullanan sürücüler ile yolcularca yoldaki işletme koşullarını kalitatif olarak değerlendirmede kullanılan bir ölçüttür. Hizmet düzeyi bir bakıma sürücüler ve yolcuların yoldaki trafik koşulları hakkındaki memnuniyet derecesi olarak da ifade edilebilir. Hizmet düzeyi kavramı sadece araçlar için değil bisiklet yolları, yaya yolları ve toplu taşıma için kullanılabilir.

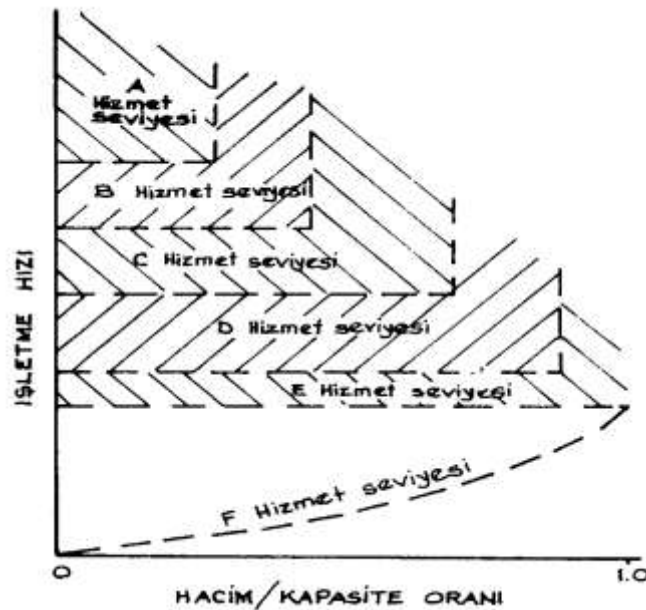


Şekil 2.22 Farklı türlere ait hizmet düzeyleri (FDOT, 2009)

Yoldaki işletme koşullarını belirleyen başlıca parametreler; hız, yolculuk süresi, sürücünün şerit değiştirme ve önündeki aracı geçmedeki serbestlik derecesi, kavşak veya sinyal sebebiyle trafik kesiklikleri, sürücü/yolcu konfor ve huzuru ile trafik güvenliğidir. Genel olarak, A, B, C, D, E ve F olmak üzere altı hizmet düzeyi tanımlanmıştır. A hizmet düzeyi serbest akımın olduğu en iyi durumu, F hizmet düzeyi ise zorlamalı akımın yani sık sık dur-kalkların söz konusu olduğu en kötü durumu ifade eder.

Hizmet hacmi ise; seçilen hizmet düzeyinin öngördüğü işletme koşullarında, yolun bir şeridi veya platformun tamamından hakim yol ve trafik koşullarında bir yönde geçebilen en yüksek saatlik taşıt sayısıdır.

Değişik hizmet düzeylerinde, yoldaki işletme hızı ile hacim/kapasite oranı ilişkisi Şekil 2.23’de genel gösterim olarak ve trafik durumu da fotoğraf olarak Şekil 2.24’de verilmiştir.



Şekil 2.23 Farklı hizmet düzeylerinde işletme hızı ve hacim/kapasite (Yayla, 2006)

Şekildeki işletme hızı; bir sürücünün uygun hava ve hakim trafik koşulları altında önceden belirlenmiş proje hızını aşmamak koşulu ile sağlayabileceği en yüksek ulaşım hızı (ticari hız)'dır.

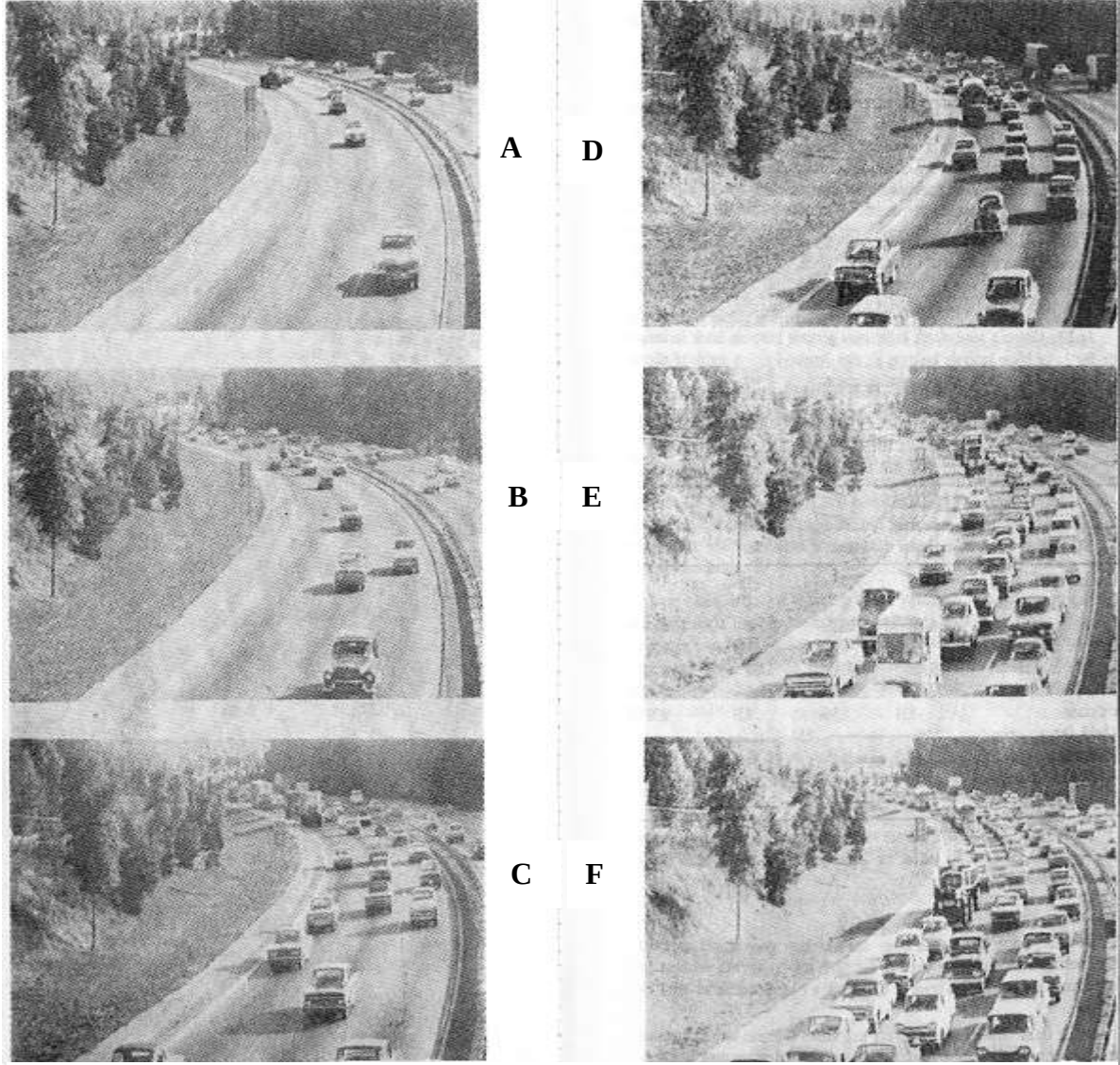
İki şeritli-iki yönlü bölünmüş kent dışı yollarda farklı hizmet düzeylerindeki işletme koşulları aşağıdaki gibi açıklanabilir. (Yayla, 2006)

A hizmet düzeyi - Sürücülerin birbirlerinden etkilenmediği serbest akım durumudur. Bu hizmet düzeyinde sürücüler hızlarını seçmede, sollama ve şerit değiştirme manevralarında büyük bir serbestliğe sahiptirler. Yolculuk konforu son derecede yüksektir. Bir sınırlandırma yoksa, ortalama hız 100 km/sa dolayındadır. Trafik akımında üç ve dört taşıttan oluşan kümeler yok denecek kadar az rastlanır. Ortalama gecikme yüzdesi %30 dan küçüktür. En yüksek hizmet hacmi, iki yön toplamı olarak ideal koşullarda 420 oto/sa den küçüktür.

B hizmet düzeyi - Trafik akımı karardlıdır. Sürücülerin hızlarını seçme ve manevra olanaklarında önemli bir kısıtlama yoktur. Yolculuk konforu A hizmet düzeyindeki kadar olmasa da yinede yüksektir. Düz araziden geçen yollarda ortalama hız 90 km/sa, ortalama gecikme yüzdesi %45, hizmet hacmi iki yön için ve ideal koşullarda 750 oto/sa dolayındadır.

C hizmet düzeyi - Trafik akımında kararlı bir durum söz konusu olmakla birlikte, dönüş yapan veya yavaş seyreden taşıtlar zaman zaman trafikte sıkışmaya neden olurlar. Sürücülerin

hızlarını seçmelerinde ve manevra olanaklarında kısıtlama vardır. Yolculuk konforu ve hızında azalma görülür. Hız 85 km/sa, gecikme yüzdesi %60, ideal şartlarda iki yön toplamı hizmet hacmi 1.200 oto/sa dolayındadır.



ŞEKİL 2.24 Farklı hizmet seviyelerinde trafik durumu (Yayla, 2006).

D hizmet düzeyi - Trafik akımında kararsız duruma yaklaşılmıştır. Sürücülerin, hızlarını seçme ve sollama isteklerinde yoldaki diğer araçlardan dolayı önemli sınırlama vardır. Yolculuk konforu düşüktür. Trafik hacminde küçük bir artma işletme koşullarında önemli sorunlar yaratır. Trafikte 5-10 taşıttan oluşan kümeler sıkça görülür. Ortalama hız düz kesimlerde 80 km/sa, ortalama gecikme yüzdesi %75, ideal koşullarda iki yönde toplam hizmet hacmi 1.800 oto/sa dolayındadır. Dönüş yapan veya yandan katılan taşıtlar önemli kuyruklanmalara sebep olurlar.

E hizmet düzeyi - Trafik hacminin kapasiteye yakın olduğu durumdur. Sürücüler için hız seçme, sollama, şerit değiştirme hususlarında hiçbir serbestlik yoktur. Akım kararsızdır ve önemli kuyruklanmalar görülür. Yolculuk konforu ve huzuru çok düşüktür. Ortalama hız 80 km/sa' den küçük, uzun rampalarda ise 40 km/sa dolayındadır. Ortalama gecikme süresi yüzdesi %75 den büyüktür. En büyük hizmet hacmi, ideal koşullarda ve iki yön olarak, bu tür yolların kapasitesi olarak kabul edilen 2.800 oto/sa dolayında olmakla birlikte bu değer, trafiğin yönlere dağılım oranlarına göre değişebilir. Örneğin 80/20 lik bir dağılımda hizmet hacmi 2.300 oto/sa'te düşer.

F hizmet düzeyi - Yolun kapasitesinden fazla bir trafik talebinin olması durumudur. Zorlamalı akım söz konusu olup büyük sıkışıklıklar yaşanır. Yoldan geçen taşıt sayısı kapasitesinden küçüktür.

2.4.1 Kapasite ve hizmet düzeyine etkiyen faktörler

Kapasite ve hizmet düzeyi analizlerinde ilk hareket noktası ideal koşullardaki değerlerin belirlenmesidir. Daha sonra gerçek yol, trafik ve denetim koşullarına göre düzeltmeler yapılır. Bir yol için ideal koşul; daha ileri bir iyileştirmenin yolun kapasitesi ve hizmet düzeyinde bir artışa yol açmadığı durumdur. Bir başka deyişle kapasite ve hizmet düzeyinin en üst mertebede elde edildiği durumdaki koşullar ideal yol, trafik ve denetim koşulları olup, iki şeritli iki yönlü yollar için bunlar aşağıda sıralanmıştır. (Yayla, 2006)

- Proje hızı iki şeritli yollarda 100 km/sa, çok şeritli yollarda 110 km/sa veya daha yüksek
- Şerit genişliği 3,65 m veya daha büyük
- Banket genişliği 1,80 m veya daha büyük ve bu genişlik içinde bir engel yok (yan açıklık en az 1,80 m)
- Geçişin kısıtlandığı (görüş mesafesinin 450 m den kısa olduğu) kesim yok
- Düz giden trafik için, dönüş yapan, ya da yandan katılan taşıtların sebep olduğu veya denetimden kaynaklanan bir sınırlandırma söz konusu değil
- Trafiki sadece otomobil türü taşıtlar oluşturuyor
- Trafikin yönlere dağılımı eşit (50/50)

Sıralanan ideal koşullarda iki şeritli-iki yönlü bir kırsal yolun iki yön toplamı olarak kapasitesi 2.800 oto/sa kabul edilir. Çok şeritli yollarda ise bu değer şerit başına, proje hızı 100 km/sa ise 2.000 oto/sa, proje hızı 80 km/sa ise 1.900 oto/sa'dır (Yayla, 2006).

Çizelge 2.6 Çok şeritli yollar için hizmet düzeyi kriterleri. (Yayla, 2006)

Hizmet Düzeyi	Yoğunluk (Oto/km/sa)	Proje Hızı 110 km/sa			Proje Hızı 100 km/sa			Proje Hızı 80 km/sa		
		Hız km/sa	Q/C	Mak. Hiz.ak.or.	Hız km/sa	Q/C	Mak. Hiz.ak.or.	Hız km/sa	Q/C	Mak. Hiz.ak.or.
A	$\leq 7,5$	≥ 91	0,36	700	≥ 80	0,33	650	-	-	-
B	$\leq 12,5$	≥ 85	0,54	1100	≥ 77	0,5	1000	≥ 67	0,45	850
C	$\leq 18,8$	≥ 80	0,71	1400	≥ 70	0,65	1300	≥ 62	0,6	1150
D	$\leq 26,3$	≥ 64	0,87	1750	≥ 64	0,8	1600	≥ 56	0,76	1450
E	$\leq 41,9$	≥ 48	1	2000	≥ 48	1	2000	≥ 45	1	1900
F	$> 41,9$	< 48	d*	d*	< 48	d*	d*	< 45	d*	d*

* Değişken

Bir yolun yukarıda sıralanan ideal koşulların tümünü bünyesinde toplaması pek mümkün değildir. Hız ve geometri ile ilgili koşullar sağlansa bile trafiğin yönlere dağılım oranı, ayrıca trafiği oluşturan taşıtların ideal şartlarda belirtildiği gibi, yani tümünün otomobil olması, pek mümkün değildir. Bu bakımdan gerçek kapasite ve hizmet düzeyini belirlerken hakim yolda, trafik ve denetim koşullarının ideal koşullardan olan sapmalarına göre gereken düzeltmelerin yapılması gerekir.

Kapasite ve hizmet düzeyine etkileyen faktörleri aşağıdaki başlıklar altında toplamak mümkündür.

1. Platform faktörleri

- Yolun sınıfı ile yakın çevresindeki arazi kullanımı ve gelişimi
- Şerit genişliği
- Banket genişliği ve yan açıklık
- Proje hızı
- Yatay ve düşey geçki durumu
- Kavşaklarda hız değişimi ve dönüşler için ilave şeritlerin olup olmaması, örülme kesimi uzunluğu
- Yüzey koşulları

2. Trafik faktörleri

- Trafiğin bileşimi (kompozisyonu)
- Denetim ve yönetim koşulları
- Sürücü ve yaya davranışları

3. EŞDÜZEY KAVŞAKLARDAN KATLI KAVŞAKLARA GEÇİŞ UYGUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada 2005 yılında sinyalizasyon eşdüzeyken, 2006 yılında katlı kavşak olarak dizayn edilmiş olan ve aynı koridor üzerinde ardı ardına bulunan kavşaklar ele alınmıştır. Bu kavşakların geçmişteki, günümüzdeki ve gelecekteki durumları analiz edilmiş, sunulan model yardımıyla değerlendirme alanlarında katlı kavşağa geçiş kararının ve zamanının doğruluğu incelenmiştir.

Bu amaçla ilk aşamada kavşakların geçmiş durumu (2005 yılı) ortaya konularak, katlı kavşağa geçiş yerine, geometrik düzenlemeler ve sinyalizasyon optimizasyonları ile elde edilebilecek hizmet düzeylerinin yeterliliği değerlendirilmiştir.

Geometrik düzenlemeler ve sinyal optimizasyonlarının yetersiz kaldığı durumda ise hali hazırda katlı kavşaklar üzerinde gerekli etütler yapılarak yeni durum ortaya konulmuştur. Mevcut katlı kavşakların değerlendirilmesi ise hem geçmişteki durum hem de gelecekteki durum ortaya konularak yapılmıştır.

Kavşakların performans değerlendirmelerinde, ele alınan iki kavşağa (A1 ve Garanti Kavşakları) ait trafik sayımları kullanılmıştır. Bu kavşakların sinyalizasyon optimizasyonları ve hizmet düzeyi analizleri Trafficware Synchro programı ile; sistem performansı, gecikme, durma sayıları gibi değerlendirmeler ise PTV Vissim programı ile elde edilmiştir.



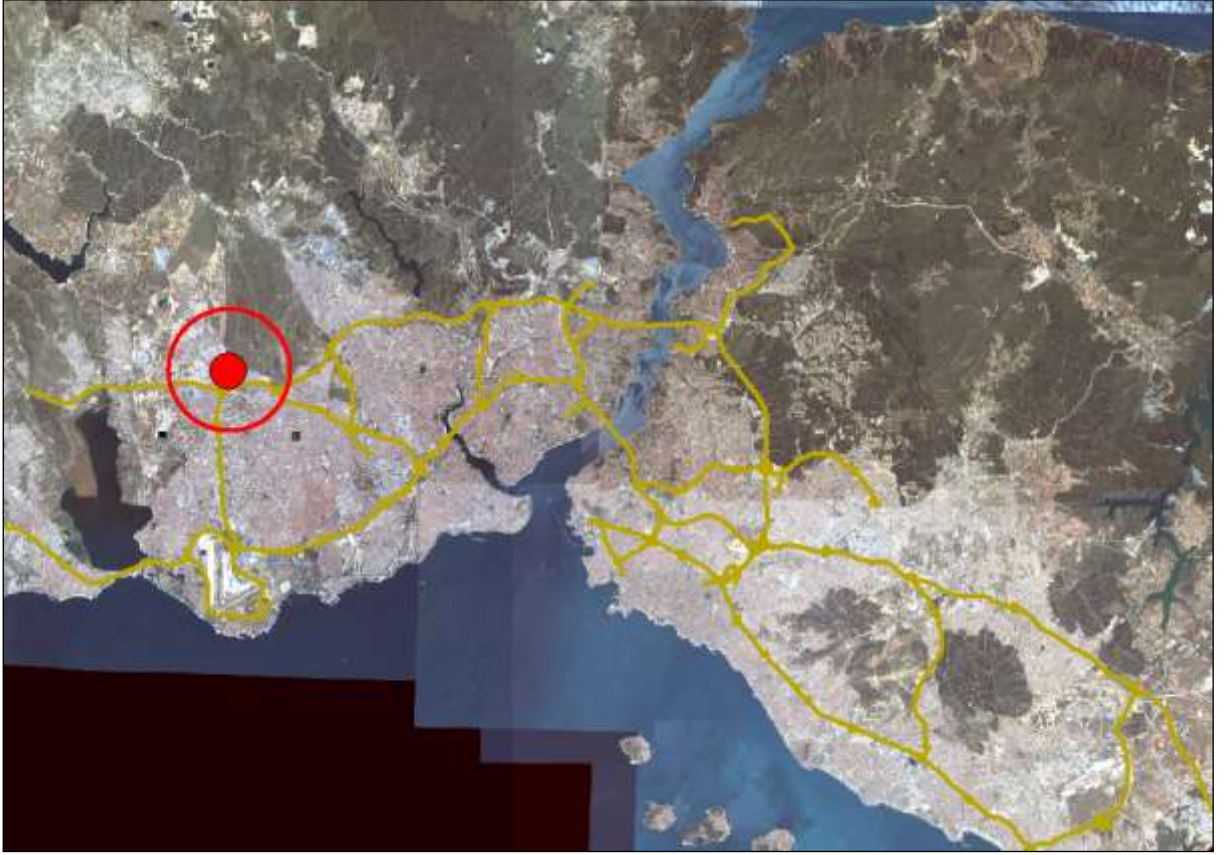
Şekil 3.1 Çalışmada izlenen yöntem.

Kısaca, bu çalışmada katlı kavşakların uygunluğu ve projenin uygulama zamanının doğruluğu

incelenmiştir. Ele alınan kavşaklardaki tüm bu değerlendirmeler benzetim modeli ve sinyalizasyon programları kullanılarak hızlı ve etkin bir şekilde yapılmıştır. Yukarıda verilen basit iş akış şemasıyla izlenecek yöntem özetlenmeye çalışılmıştır (Şekil 3.1).

3.1 Çalışma Alanı ve Bölgesel Yapı

İncelenen kavşaklar; Küçükçekmece ilçe sınırları içinde, Mahmutbey Batı Kavşağı'nın kuzeyinde önemli bir koridor olan Atatürk Caddesi'nin üzerinde yer almaktadırlar. Bölgede bulunan Olimpiyat Stadı, yoğun sanayi bölgeleri ve konut alanları nedeniyle bölgenin trafik talebi oldukça yüksektir. Kavşakların kent bütünü içindeki konumu Şekil 3.2'de verilmiştir.

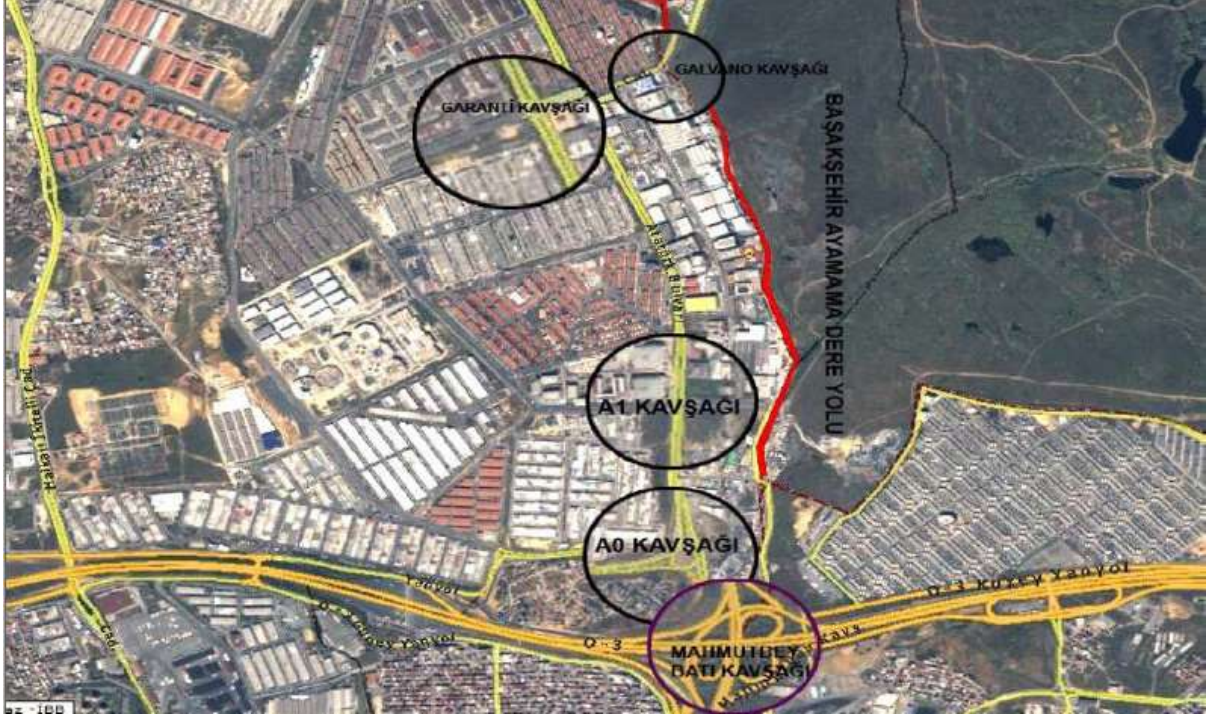


Şekil 3.2 Çalışma alanının kent bütünündeki konumu.

Yakın geçmişte bu koridor üzerinde bulunan kavşaklar, bölge ihtiyaçlarını karşılayabilmek için toplam 4 köprülü kavşak ve bir dere yolu şeklinde düzenlenmiştir. (Şekil 3.3). Bunlar;

1. İkitelli A0 Kavşağı
2. İkitelli A1 Kavşağı
3. Garanti Kavşağı

4. Galvano Kavşağı
5. Başakşehir – Ayamama Dere Yolu



Şekil 3.3 Bölgede gerçekleşen projeler

Bu kavşaklardan koridor üzerinde sıralanan iki kavşak ele alınacaktır. Bu kavşaklar Atatürk Caddesi – Bedrettin Dalan Caddesi Kesişimi (A1 Kavşağı) ve Atatürk Caddesi Y-5 Yolu kesişimidir (Garanti Bankası Kavşağı). Bu kavşakların ele alınmasının sebepleri, bu kavşakların aynı koridor üstünde ardı ardına sıralanmaları ve değerlendirme verilerine sahip olunmasıdır.

3.1.1 Atatürk Caddesi – Bedrettin Dalan Caddesi Kesişimi (A1 Kavşağı)

A-1 Kavşağı olarak adlandırılan kavşak; İkitelli Organize Sanayi Bölgesi, Başak Şehir 1, 2, 4 ve 5 etaplarını TEM'e bağlayan koridor üzerinde yer almaktadır. Kavşak, katlı kavşak projesi uygulanmadan önce hemzemin kavşak olarak hizmet vermekteydi (Şekil 3.11). Yoğun trafik hacmine sahip bir koridor üzerinde bulunup gecikmelere neden olan bu kavşak değerlendirme için uygundur. Bu hemzemin kavşak İBB tarafından katlı kavşak olarak projelendirilmiş ve uygulanmıştır.

Çalışmalarda öncelikle, kavşağın durumuna ait bilgilerin değerlendirilebilmesi için kavşak üzerindeki trafik sayımları elde edilerek bu sayım değerleri simülasyon ve sinyalizasyon programlarında analiz edilmiştir.



Şekil 3.4 A1 kavşağı yeni hali (25.09.2006)

Yaklaşık 6 milyon liralık maliyet ile tamamlanan bu kavşak 2006 yılında hizmete açılmıştır. Ana akım doğrultularında köprüler ile, kesintisiz akım devamlılığı ve önemli ölçüde hacim artışı sağlanmıştır. Köprünün altında bulunan dönel ada kavşak ise tali yolların bağlantısı ve dönüşlerin sağlanabilmesi için sinyalsiz hemzemin olarak tasarlanmıştır.

3.1.2 Atatürk Caddesi (Garanti Bankası) Y-5 Yolu Kesişim Kavşağı

Küçükçekmece ilçesinin merkezinde yer alan ve bölgenin en önemli iki caddesi olan Atatürk Caddesi ile Y-5 yolunun kesişim noktasında bulunan bu kavşak da aynı koridor üzerinde yapılan geometrik düzenleme ve yol projeleri kapsamında meydana gelen aşırı trafik yoğunluğunun azaltılması ve ışıklı kontrol sistemini kaldırarak transit geçişin sağlanması için katlı kavşak olarak projelendirilmiştir. Ana akım olan Atatürk Caddesi yeraltına alınarak üstte kalan alanda bir dönel ada tasarlanmıştır.

A1 kavşağına yakın bir maliyetle (5.5 milyon TL) tamamlanan Garanti kavşağı da, bölge için önemli yere sahip kesişim noktalarından biridir (Şekil 3.5)



Şekil 3.5 Garanti kavşağı yeni hali (25.09.2006)

Tamamlanan bu projelerin TEM'e bağlantısı ise Mahmutbey Batı Kavşağına ek olarak tasarlanan yönsel bir kol ile sağlanacaktır.



Şekil 3.6 Mahmutbey Batı Kavşağı yönsel kol (2007).

3.2 Trafik Sayımları

Trafik etütleri, bir kent veya belirli bir bölge için trafik ve ulaşım durumunun incelenmesi, tek yönlü yolların planlarının hazırlanması, anayollar, otoyollar gibi bölgesel yol planlama işlerinin yürütülmesi, genel yolcu aktarım sisteminin ve servislerinin etüt edilmesi, trafik

kazalarının önlenmesi, trafik sıkışıklıklarının azaltılması, trafik kapasitesinin artırılması gibi değişik amaçlarla yapılan çalışmaların bütünüdür. Ulaştırma hizmetinin hızlı, konforlu ve güvenli bir biçimde sunulabilmesinde trafik etütleri önemli bir role sahiptir. Bir trafik etüdünün hazırlanabilmesi için istatistiki verilere ihtiyaç vardır. Bu verilerin elde edilebilmesi için trafik sayım ve gözlemlerin yapılması gerekir. Trafik etütlerinin dayandığı ana noktalar trafik sayım ve gözlemleri ile elde edilen sonuçlardır. Bu nedenle herhangi bir yere ait doğru ve sağlıklı bir trafik etüdünün yapılabilmesi için trafik sayım ve gözlemlerinin doğru ve kurallara uygun olarak yapılması gerekir (Gedizlioğlu, 2002).

Trafik etütlerinin faydalı olabilmeleri için; trafik sayım yeri, zamanı, süresi ve sayılacak trafik birimleri doğru olarak tayin edilmeli, kullanılacak araç ve gereçler etüdün amacına göre en az hatayı verecek olanlardan seçilmeli ve sayım yöntemi uygun bir biçimde belirlenmelidir (Sönmez, 2005). Trafik birimlerinin belirli bir zaman içinde sayılarak kaydedilmesine veya bu birimlerin bazı hareketlerinin tespit edilmesi amacıyla yapılan gözlemlere trafik sayımı denir. Trafik sayımları belirli bir kesit üzerinde durularak veya hareketli bir araç içerisinde yapılabilir.

Bu çalışmada incelenen kavşaklarda gerçekleştirilen trafik sayımları ile kavşakların hacim değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler ile devre süreleri, gecikme süreleri, doygunluk derecesi gibi parametreler bilgisayar programları yardımıyla belirlenebilmektedir.

Sayımlar sabah, öğle ve akşam zirve saatlerinde olmak üzere günde üç kez yapılmıştır. Zirve saat değerlerinin elde edilebilmesi için tüm akım kollarından kavşağa giren araçlar, türlerine ve kavşaktaki güzergâhına göre ayrı ayrı sayım föylerine işlenmiştir. Sayımlarda 15 dakikalık zaman dilimlerinde geçen araç sayıları hesaplanarak toplam olarak yazılmıştır. Bu sayede mevcut trafik talebinin hangi güzergâhta yoğun olduğu tespit edilecektir.

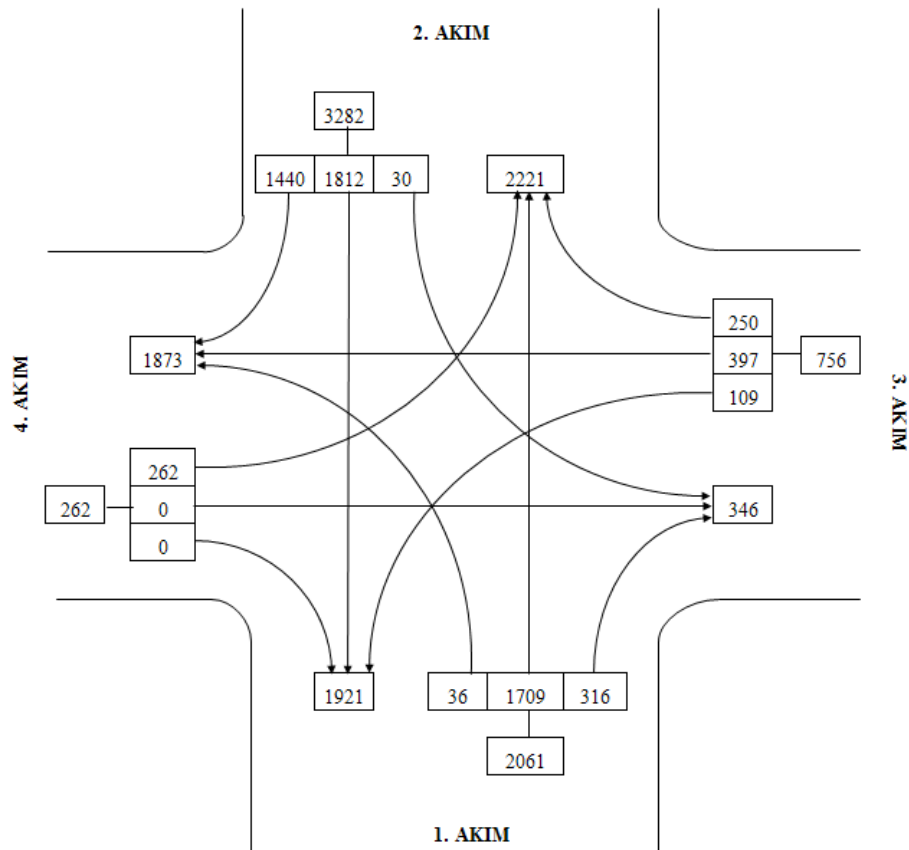
Sayımlar analiz edilirken araçlar altı ana gruba ayrılmıştır. Bunlar;

1. Otomobil
2. Taksi
3. Kamyonet (panelvanlar ve arkası camsız araçlar da bu gruba girer.)
4. Dolmuş (özel ve ticari)
5. Otobüs (tüm ÖHO ve İETT araçları)
6. Kamyon (diğer otobüs ve kamyonlar)

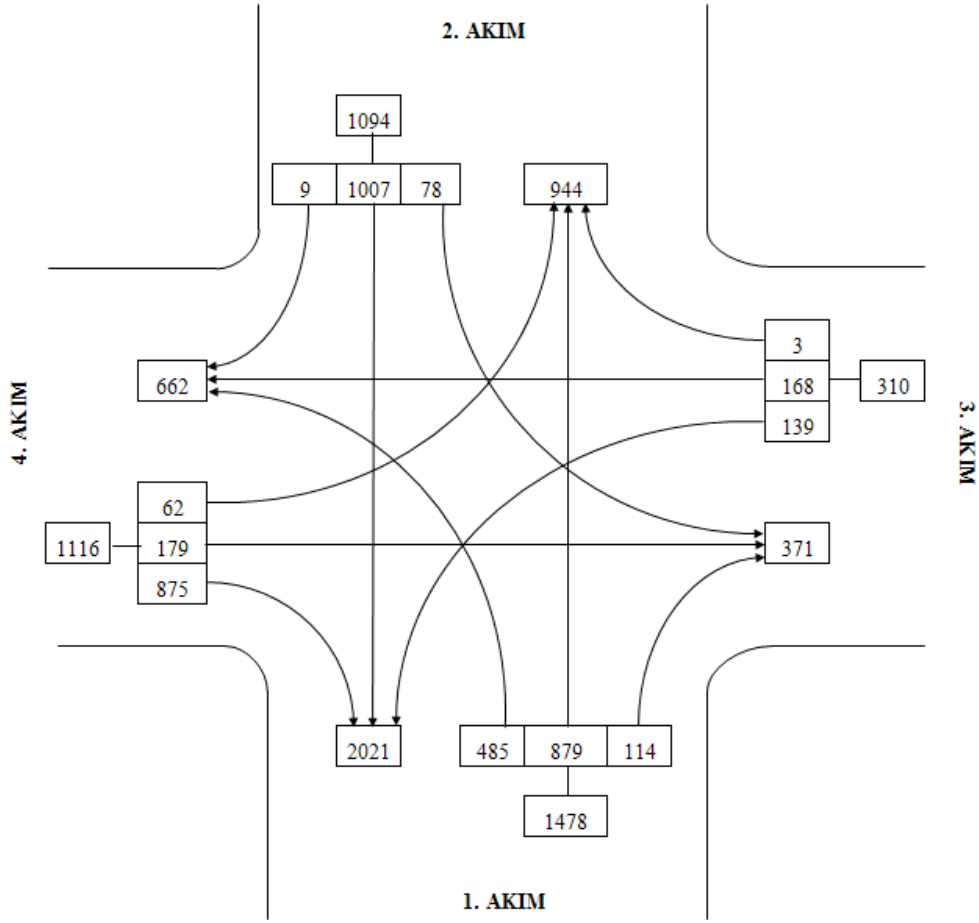
Trafik hacmi, bir kesitten birim süre boyunca geçen toplam taşıt sayısı olarak tanımlar.

Sayımlardan elde edilen veriler, bir saatlik dilimler halinde değerlendirilerek, çalışma alanında gerçekleşen günlük zirve hacim değerleri hesaplanmıştır. Trafik sayım föyleri Ek-1’de sunulmuştur. (İBB, 2005)

Ağır taşıt yüzdesi ve akım değerleri yüksek olan bu kavşaklardaki sayımlarda sinyalizasyonun yeterli verimlilikte çalışmadığı gözlemlenmiştir (Bkz. Ek-1, Trafik Sayım Tabloları). İncelenen kavşaklarda uzun kuyruklar oluşmakta, kavşaklarda tıkanıklar gözlenmektedir. Özellikle sola dönüşler trafiği oldukça olumsuz etkilemekte, kavşak kullanıcılarının gecikme-bekleme sürelerini arttırmaktadır. Kavşakların özet sayım değerleri ve yüzdeleri Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’da verilmiştir.



Şekil 3.7 A1 kavşağı sabah zirve akım değerleri (taşıt/saat) (İBB, 2005)



Şekil 3.8 Garanti kavşağı sabah zirve akım değerleri (taşıt/saat) (İBB, 2005)

3.3 Benzetim Modelinin Oluşturulması

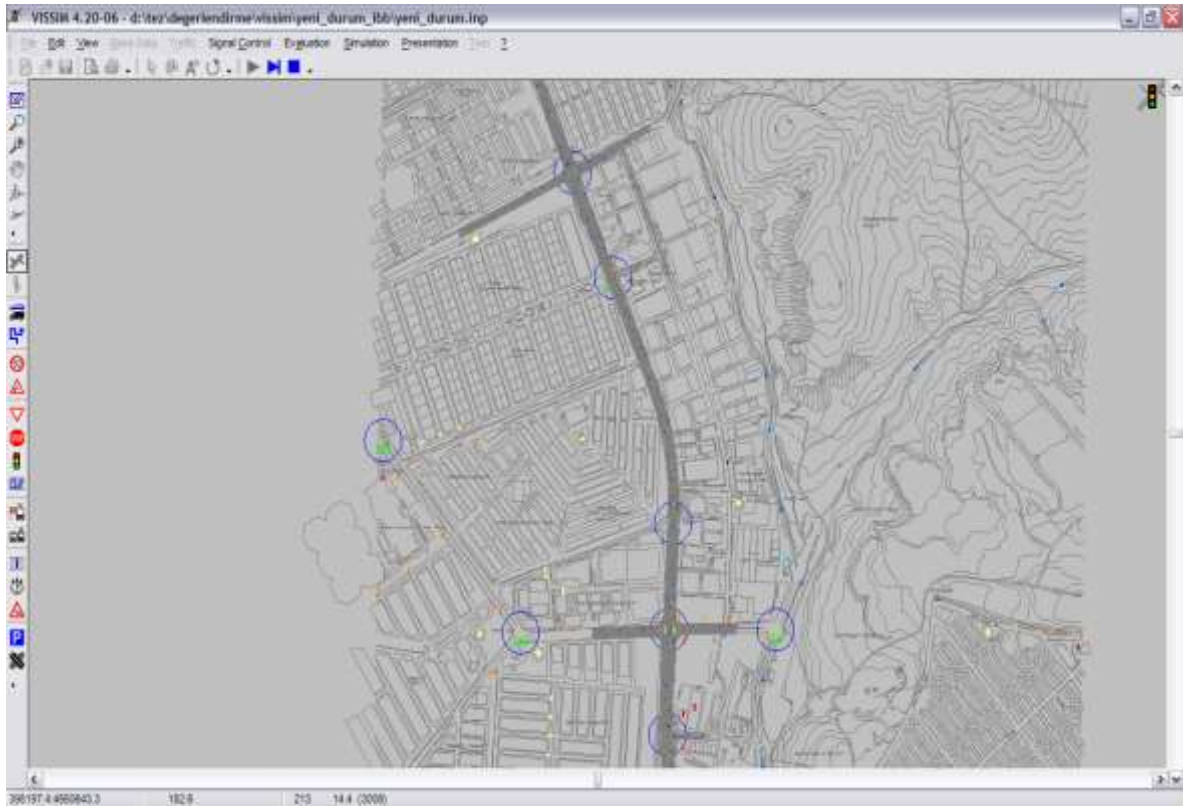
Bu aşamada söz konusu kavşaklara ait sayımlar ele alınarak akımlar PTV VISSIM Programı kullanılarak modellenmiştir. Küçükçekmece ilçesi İkitelli mevkiinde bulunan A1 ve Garanti Kavşaklarının geometrik düzenlemeleri ve sirkülasyon projelerinin değerlendirilebilmesi için trafik modellenmesi yapılmıştır. Bu benzetim modeli ile mevcut durumdaki sorun ve yetersizlikler belirlenmiştir. Planlanan ve projelendirilen alternatifler, bu mikro simülasyona girilerek mevcut durumla bire bir karşılaştırılması sağlanabilecektir.

VISSIM (Verkehr in Städten-Simulation; traffic in towns-simulation) şehir içi ulaşım sistemlerinde trafiğin ve transit ulaşım işlemlerinin (hafif metro gibi) modellenmesi ve değerlendirilmesi için geliştirilmiş; davranış tabanlı ve ayrık zamanlı bir mikroskobik simülasyon programıdır. Bir yazılım ve ulaşım danışmanlık kuruluşu olan PTV GmbH tarafından geliştirilen bu programın kalibrasyonu Karlsruhe Teknik Üniversitesince (Almanya) gerçekleştirilmiştir. VISSIM, simülasyon sürecinde trafiğin görünüşü ve kontrol parametrelerine ilişkin verilerin monitörden canlı olarak izlenebilmesi ve gerçek hayatta trafik

detektörleri üzerinden alınabilecek mikroskobik akım parametrelerinin sanal ortamda üretilebilmesi gibi yenilikleri ile; aynı amaçla kullanılan diğer simülasyon programlarına göre daha esnek kullanım imkanları sağlamaktadır (Evans, 2005).

Bu program vasıtasıyla, kent içi ve kentler arası karayolu trafiği; çeşitli yol konfigürasyonları, , trafik ışıkları ve transit duraklar gibi kıstaslara göre analiz edilebilir. Dolayısıyla VISSIM, kent içi ulaşımının planlanması ve trafiğin kontrolü açısından dikkate alınabilecek alternatif önerilerin hızla değerlendirilmesi ve çeşitli ulaşım problemlerinin çözülmesinde başvurulabilecek önemli bir araçtır.

VISSIM simülasyon paketi, iki farklı programdan oluşur: trafik simülatörü ve sinyal durum üretici. Trafik simülatörü, Weidmann taşıt takip modeli ile yol (şerit) değiştirme mantığının dikkate alındığı bir mikroskobik simülasyon programıdır. Yol ağı şerit bilgileri, sirkülasyon bilgileri, arazi gözlemleri sonucu elde edilerek bu çalışmaya aktarılmıştır.



Şekil 3.9 Mikro Simülasyon programı VISSIM'in ana ekranı

Değerlendirme alanına ait tüm ulaşım ağı bilgilerinin toplanması için arazi çalışmaları yapılmıştır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından, taleplerin ve trafik akımlarının ortaya konulabilmesi için çeşitli tarihlerde gerçekleştirilen trafik sayımları sayesinde tüm ağı ait akım ve yoğunluk değerleri elde edilmiştir. (EK-1) Mevcut sinyalizasyon değerleri aynen

kullanılarak durum olabildiğince gerçekçi bir şekilde yansıtılmaya çalışılmıştır. Araç türleri, güzergâhları, hacim değerleri, sinyalizasyon bilgileri ve yolların geometrik verileri aynen aktararak model elde edilmiştir.

3.4 Model Kalibrasyonu

Simülasyon karayolu ulaşım sisteminde gelişmelerin test edilebilmesi için çok kullanışlı bir araçtır. Oluşturulan model ile önerilen alternatiflerin yaratacağı sonuçlar önceden belirlenebilir ve diğer alternatifler ile karşılaştırılabilir. Simülasyon sonuçlarının doğruluğu ise ancak mevcut trafik durumunu tam olarak gösterebilmesine bağlıdır. Ölçülen trafik sayım değerleri ile simülasyondan çıkan değerlerin birbiri ile uyumlu olması ise ancak kalibrasyon ile sağlanabilir. Kalibrasyon, simülasyon modellerinin parametrelerinin ayarlanması olup saha koşullarının ölçülmesiyle simülasyon sonucunun birbiriyle bağdaşmasını sağlar (Gomes vd., 2003; Evans, 2005).

Trafik simülasyonu makroskobik veya mikroskobik olabilir. Makroskobik modeller trafikteki akım ve yoğunluk gibi birikim miktarını belirlerken, mikroskobik modeller her bir sürücünün davranışını ve mevcut koşullardaki tepkisini inceler. Mikroskobik modeller sistemleri değerlendirmede ve daha detaylı bir şekilde incelemede yardımcı olur (örneğin dar geçitlerdeki etkileşimler).

VISSIM, R. Wiedemann (1974) tarafından geliştirilmiş, sürücülerin fiziksel ve psikolojik davranışlarını kullanan trafik akım modelini kullanmaktadır. VISSIM, bir araç modeli ile sürücünün algısal modelini birleştirir. Kendine özgü davranışları bulunan her bir sürücüye spesifik bir araç verilir. Sonuç olarak sürücülerin davranışları araçlarının teknik kapasitelerine bağlıdır. Sürücüler için davranış modelleri, seçilen hız ile mesafeye cevabın sınıflandırılması ile oluşturulur. Sürücüler, gereksinimler doğrultusunda veya daha hızlı ilerlemek amacıyla şerit değiştirmeye karar verebilirler. VISSIM’de dört sürüş modeli belirlenmiştir; serbest sürüş, yaklaşma, takip etme, frene basma. Her bir modelde, sürücüler takip mesafelerine göre tepki verme veya önceden belirlenmiş hedef hıza ulaşmaya çalışma gibi farklı davranışlarda bulunurlar (Gomes vd., 2003; PTV, 2005).

VISSIM analizlerinde otomobil, kamyon ve otobüs gibi araç türlerini içerebilen multi-model kapasitesi kullanılır. VISSIM kullanmanın diğer bir faydası ağır taşıt şeritlerini, gişe alanlarını, emniyet şeritlerini, ayrılma katılma kollarını ve görüş alanlarını simüle edebilmesidir. Ayrıca tasarım seçeneklerini görmeyi kolaylaştıracak 3 boyutlu gösterim özelliğine sahip olması da diğer bir avantajıdır. Şerit sayısı, şerit sayısının artması ve

karayoluna ilişkin diğer geometrik tasarımlar da arazi gözlemlerini bire bir yansıtacak şekilde oluşturulabilir. Ayrıca VISSIM'e eklenecek daha fazla bilgi saha koşullarını daha iyi yansıtmayı sağlar. Ancak VISSIM'in varsayılan parametreleri ile çalışma alanı şartları ortaya koyulamamakta ve gerçek durumla bağdaşması için gerekli ayarların yapılması gerekmektedir. Ayrıca araç tiplerinin dağılımları da trafik sayımları ile elde edilen otomobil, ağır taşıt ve otobüs sayılarının yüzdeleri ile kalibre edilmelidir. Model kalibrasyonun hedefi, hesaplanan model performansı ile saha ölçümlerinin performansı arasındaki karşılaştırmanın mümkün olan en uyumlu şekilde olmasıdır. Ancak şu da belirtilmelidir ki, karmaşık ulaşım ağlarında yürütülen kalibrasyon ve doğrulama için kabul edilmiş genel bir yöntem bulunmamaktadır. Model oluştururken en önemli öncelik, modeli oluştururken kullanılacak uygun bir yöntem ile modelin hata paylarının kabul edilebilir düzeyde kalabilmesidir.

Çalışmada incelenen her iki kavşağın ana kollarında yüksek trafik akım değerleri gözlenmektedir. Bu değerlerin 20 yıl sonra günümüzden çok daha yüksek olacağı bir gerçektir. Simüle edilen kavşakların mevcut durumu ortaya koyulurken yapılacak küçük bir hata 20 yıllık bir dönemde yanlış kararlara yol açabilir.

Ele alınan kavşakların benzetim modellerinin gerçek durumu tam olarak veya en benzer şekilde yansıtabilmesi için model kalibrasyonlarının yapılması bir mecburiyettir. Bunu sağlayabilmek için çeşitli uygulama örnekleri değerlendirilmiş ve bunlardan vaka analizimize en uygun olan kalibrasyon yöntemi seçilerek simülasyonlar kalibre edilmiştir. VISSIM kalibrasyonu sırasında ise model çıktıları saha verileri ile kıyaslanıp ve elde edilen bulguların kabul edilebilir seviyede olup olmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmadaki doğrulama kriterleri Amerikan Federal Otoyol İdaresi (FHWA) tarafından yapılan önerilere ve geçmişte yürütülen çalışmalara dayanarak yapılmıştır (Gomes vd., 2003; Oketch ve Carrick, 2005).

Kalibrasyon kriterlerimiz şunlardır (CRC, 2006);

1. Sabah ve akşam zirve trafik saatlerdeki tıkanıklık ve kuyruklanma noktalarının belirlenmesi.
2. Modellenen kapasitenin saha ölçüm değerlerinden en fazla yüzde on sapması
3. Modellenen yol linkleri ile gözlemlenen akım ve seyahat süresi değerlerinin aşağıdaki kriterlere göre kıyaslanması:
 1. Model hacim değerinin gözlemlenen gerçek durum hacminin %85'den fazla uyumlu olduğu durumlarda;
 1. 700 araç/saat'den düşük hacimlerde 100 araç/saat'den fazla fark olmamalı,
 2. 700-2700 araç/saat arasındaki hacimlerde en fazla %15 fark olmalı,

3. 2700 araç/saat'den fazla hacimlerde 400 araç/saat'den fazla fark olmamalı,
2. Model hacim değerinin gözlemlenen gerçek durum hacminin %85'den fazla uyumlu olduğu durumlarda; GEH istatistik değeri 5'den küçük olmalı,
3. Bütün akımların hacimlerinin toplamında en fazla %5 fark olmalı,
4. Bütün akımların hacimlerinin toplamında GEH istatistik değeri 4'den küçük olmalı
5. Ortalama seyahat süresinde en fazla %15 fark olmalı,
4. Görsel olarak kabul edilebilir ayrılım ve katılımlardaki kuyruklanmalar,
5. Modellenen ortalama hızın gözlemlenen durumla kabul edilebilir aralıkta olmalı,

Model ve sayımlarla ortaya konan hacimler GEH diye adlandırılan ki-kare istatistiği ile de karşılaştırılmalıdır. GEH istatistiği trafik mühendisliğinde, trafik tahmininde ve modellenmesinde iki trafik hacminin karşılaştırılmasında kullanılan bir formüldür. GEH istatistiği adını; 1970'lerde ulaşım plancısı olarak Londra'da çalışan Geoffrey E.Havers'den almıştır. GEH istatistiği doğru bir istatistiksel test değildir. Ancak çeşitli trafik hacim değerlerinin analiz edilmesinde oldukça kullanışlı bir ampirik formüldür. (CRC, 2006)

GEH istatistik formülü eşitlik 3.1'deki gibidir:

$$GEH = \sqrt{(M - C)^2 / (0.5x(M + C))} \quad (3.1)$$

Burada "M" değeri trafik modelinden (veya yeni durumdan) gelen hacim değeri ve "C"de gerçek (veya eski durum) sayım değeridir.

Trafik hacimlerinin birbiriyle uyumlu olması durumu çeşitli GEH değer aralıklarıyla aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- $GEH < 5$ Akımların birbirine uyumlu olduğu söylenebilir.
- $5 < GEH < 10$ Akımların daha iyi değerlendirilmesi gerekli
- $10 < GEH$ Akımlar birbiriyle uyumsuzdur.

3.4.1 Mevcut Durumda Tıkanıklık ve Kuyruklanma

Sayımları gerçekleştirilen kavşakların video çekimlerinden ve eski fotoğraflarından tıkanıklık ve kuyruklanmaların olduğu kollar tespit edilerek bu kollardaki tahmini kuyruk boyları ve gecikme süreleri hesaplanmıştır. Aşağıda bu çalışmada kullanılan video çekimleri ve fotoğraflardan örnekler verilmiştir.



Şekil 3.10 Garanti Kavşağı trafik sayım görüntüsü (08.08.2005- Saat 08:44)



Şekil 3.11 A1 kavşağı eski durumu (03.08.2004, Saat 08:00)

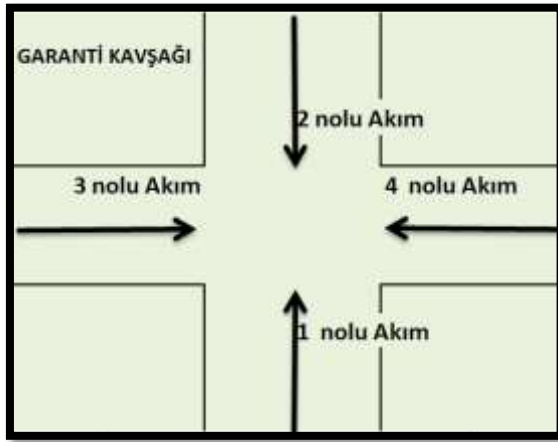
3.4.2 Model ile Mevcut Kapasite Karşılaştırılması

Simülasyon verileri girilirken sadece sayım değerleri değil aynı zamanda şerit sayıları, geometrisi, araç türleri ve araçların takip ettikleri güzergah bilgileri de girilir. Sahada gözlenen bu bilgiler ve detaylı arazi alımları simülasyona eklenerek ulaşım ağı detaylı olarak

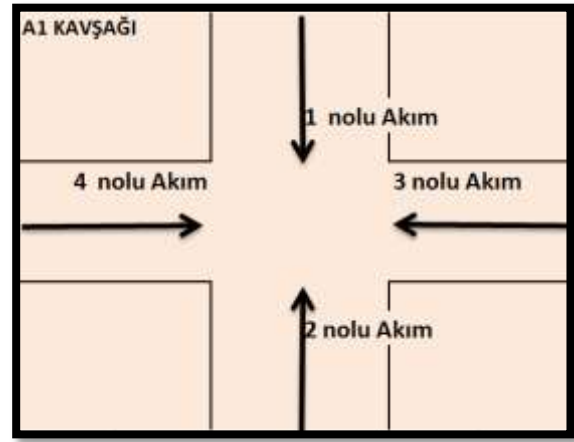
tanımlanır. Kapasite değerleri karşılaştırıldığında; eski durum ve simülasyon modelinin şerit sayıları, dönüş kolları ve diğer ulaşım ağı bileşenleri birebir aynı olduğu için aynı kapasiteye sahip oldukları görülür. Ayrıca araç hızları trafik sayım videolarından yaklaşık olarak tahmin edilerek modele girilmiştir. Bu hızlar her araç türü için ayrı ayrı girilmiştir. Taşıtlar için kabul edilen hızlar simülasyonun ilk çalıştırılmasında şehir içi hız olarak bütün araç türleri için 50 km/s seçilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Sayım ve modelden elde edilen hacim değerlerinin yüzde farkı.

Eski Durum (2005)	Akımlar	Sayım Hacmi (araç/saat)	Model Hacmi (araç/saat)	% Fark
A1 Kavşağı	2	3389	3101	8.50%
	3	791	786	0.63%
	4	228	229	-0.44%
	1	2100	1843	12.24%
Garanti Kavşağı	1	1816	1836	-1.10%
	4	1038	975	6.07%
	2	1189	1233	-3.70%
	3	343	354	-3.21%



Şekil 3.12a Akım yönleri(Garanti Kavşağı)



Şekil 3.12b Akım yönleri (A1 Kavşağı)

Fakat özellikle A1 kavşağında büyük hacim değerlerinin olduğu akımlarda önemli sapmalar gözlemlenmiştir. Bu değerlerin gerçeği tam yansıtabilmesi için sayım videolarından gözlemlenen ve hesaplanan hız değerleri girilerek simülasyon tekrarlanmıştır (Çizelge 3.2). Ayrıca araçların türe göre dağılımları, sayımlarda olduğu gibi girilerek en uygun değerlere ulaşılmıştır. (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.2 Araç türleri için düzeltilen hızlar.

Taşıt Türü	İlk Model Hızı(km/s)	Düzeltilen Hızlar (km/s)
Otomobil	50	60
Taksi	50	60
Kamyonet	50	40
Minübüs	50	50
Otobüs	50	30
Ağır Taşıt	50	30

Araç hızlarının gözlemlenen ve model sonuçlarının farklı olması hacim değerlerinin değişmesine sebep olmuştur. Araçların ivme değerleri ise her bir araç için farklı olacağı için Vissimin araç tipleri için varsayılan değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.3 Sayım ve model hacim değerlerinin yüzde farkı.(Araç hızları düzenlenmiştir.)

Eski Durum (2005)	Akımlar	Sayım Hacim (araç/saat)	Model Hacim (araç/saat)	% Fark
A1 Kavşağı	2	3389	3210	5.28%
	3	791	787	0.51%
	4	228	230	-0.88%
	1	2100	1862	11.33%
Garanti Kavşağı	1	1816	1898	-4.52%
	4	1038	969	6.65%
	2	1189	1235	-3.87%
	3	343	354	-3.21%

Türel dağılım değerlerinin ve hız değerlerinin düzenlenmesi hacim değerlerinde düzeltme sağlamıştır. Ancak bu değerler simülasyon sonuçlarıyla değerlendirme yapabilmek için yeterli değildir.

3.4.3 Model ile Mevcut Hacim Değerlerinin Karşılaştırılması

Oluşturulan simülasyon modelinin hacim değerlerinin doğruluğunun test edilmesi gereklidir. Bu aşamada ana kriterimiz model hacim değerinin gözlemlenen gerçek durum hacminin %85'den fazla uyumlu olduğu durumlarda;

1. Kriter: 700 araç/saat'den düşük hacimlerde 100 araç/saat'den fazla fark olmamalı,
2. Kriter: 700-2700 araç/saat arasındaki hacimlerde en fazla %15 fark olmalı,
3. Kriter: 2700 araç/saat'den fazla hacimlerde 400 araç/saat'den fazla fark olmamalı,

- 3.1. Model hacim değerinin gözlemlenen gerçek durum hacminin %85'den fazla uyumlu olduğu durumlarda; GEH istatistik değeri 5'den küçük olmalı,
- 3.2. Bütün akımların hacimlerinin toplamında en fazla %5 fark olmalı,
- 3.3. Bütün akımların hacimlerinin toplamında GEH istatistik değeri 4'den küçük olmalı, (CRC, 2006)

Çizelge 3.4 Model ve mevcut hacim karşılaştırması

Eski Durum (2005)	Akımlar	Sayım Hacim (araç/saat)	Model Hacim (araç/saat)	% Fark	1.Kriter	2. Kriter	3.Kriter
A1 Kavşağı	2	3389	3210	5.28%	-	< %15	179.00
	3	791	787	0.51%	-	< %15	-
	4	228	230	-0.88%	-2.00	< %15	-
	1	2100	1862	11.33%	-	< %15	-
Garanti Kavşağı	1	1816	1898	-4.52%	-	< %15	-
	4	1038	969	6.65%	-	< %15	-
	2	1189	1235	-3.87%	-	< %15	-
	3	343	354	-3.21%	-11.00	< %15	-

Yukarıdaki kriterlere göre değerlendirildiğinde (Çizelge 3.4) benzetim modelinin sonuçlarının kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı görülmektedir.

Çizelge 3.5 Hesaplanan GEH Değerleri

Eski Durum (2005)	Akımlar	Sayım Hacim (araç/saat)	Model Hacim (araç/saat)	GEH
A1 Kavşağı	2	3389	3210	3.12
	3	791	787	0.14
	4	228	230	0.13
	1	2100	1862	5.35
Garanti Kavşağı	1	1816	1898	1.90
	4	1038	969	2.18
	2	1189	1235	1.32
	3	343	354	0.59

GEH değerleri karşılaştırıldığında, genel olarak yeterli olmasına karşın A1 kavşağında 1nolu akımda GEH değerinin kısıtlamamızdan fazla olduğu görülmektedir. Modelin kalibre edilmesi gereklidir.

3.4.4 Model Kalibrasyonu

VISSIM' de elde edilen akım değerlerinin kalibre edilebilmesi için araçların hız değerleri,

yolların kapasiteleri ve sinyalizasyonlar tekrar gözden geçirilmiştir. Fakat değerlerde çok az bir değişiklik gözlenmiştir. Bu yüzden trafik akım modelinin parametrelerinin düzenlenmesinin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sebeple Wiedemann 74 araç takip modelinde sürücü davranışlarına ait parametrelerde düzenlemeler yapılarak modellenen alana özgü değerler kullanılmıştır.

Şekil 3.13 Wiedemann 74 araç takip modelinin parametreleri (PTV, 2005).

Takip modelinde değiştirilen iki ana parametre düzenlenerek gerekli kalibrasyonlar yapılacaktır. Bu parametrelerden ilki gözlenen araç sayısıdır. Bu değer ise araçların diğer araçların hareketlerini öngörmelerini ve buna göre tepki göstermelerini sağlar. Çok kısa mesafede fazla sayıda kesişim varsa bu değer artırılabilir. Bu değer ne kadar arttırılırsa simülasyon da o kadar yavaş çalışacaktır. İncelenen kavşakların sinyalizasyon olması sebebiyle bu değer 2’den 1’e düşürülmesi uygun olacaktır. Bu durumda hesaplanan GEH istatistik değerleri aşağıdaki gibi olmuştur.

Çizelge 3.6 Gözlenen araç sayısı değeri 1 alınarak hesaplanan GEH istatistik değerleri.

Eski Durum (2005)	Akımlar	Sayım Hacim (araç/saat)	Model Hacim (araç/saat)	GEH
A1 Kavşağı	2	3389	3401	0.21
	3	791	788	0.11
	4	228	230	0.13
	1	2100	1868	5.21
Garanti Kavşağı	1	1816	1893	1.79
	4	1038	996	1.32
	2	1189	1236	1.35
	3	343	353	0.54

Diğer parametre ise ileriye bakma mesafesidir. Taşıtların diğer araçlara tepki vermelerinde önemli olan aynı hat üzerindeki görüş mesafesini tanımlar. Bu parametreye en az ve en çok olmak üzere iki değer atanabilir. Bunlardan en çok alabileceği değer nadiren değiştirilmesi gerekir (örnek olarak trenlerin zamanında istasyonları ve sinyalizasyonları görebilmesi için). En az alabileceği değer ise şehir içi ulaşım modellerinde kullanılabilir. Yaklaşım hızına bağlı olarak değeri değişebilir. Şehir içinde 20 veya 30m gibi değerler alabilir. Bu değer burada 5m olarak varsayılmıştır. Çünkü özellikle İstanbul gibi yoğun trafikte araç kullanıcıları hızları az olduğu için çok yakın mesafeye dikkat ederler ve bu mesafe bir araç boyunu geçmez. Çizelge 3.7’de görüldüğü gibi GEH istatistiksel değerleri kabul edilebilir sınırlara inmiştir.

Çizelge 3.7. İleri bakma mesafesi en az 5 m alınarak hesaplanan GEH istatistik değerleri.

Eski Durum (2005)	Akımlar	Sayım Hacim (araç/saat)	Model Hacim (araç/saat)	GEH
A1 Kavşağı	2	3389	3398	0.15
	3	791	788	0.11
	4	228	230	0.13
	1	2100	1880	4.93
Garanti Kavşağı	1	1816	2005	4.32
	4	1038	991	1.48
	2	1189	1236	1.35
	3	343	353	0.54

Bütün akımların hacimlerinin toplamında en fazla %5 fark olması ve bütün akımların hacimlerinin toplamında GEH istatistik değerinin 4’den küçük olması diğer model değerlendirme kriterlerindendir. Bu değerlerle hesaplanarak oluşturulan sonuç değerler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.8. Kalibrasyon sonucu GEH istatistik değerleri.

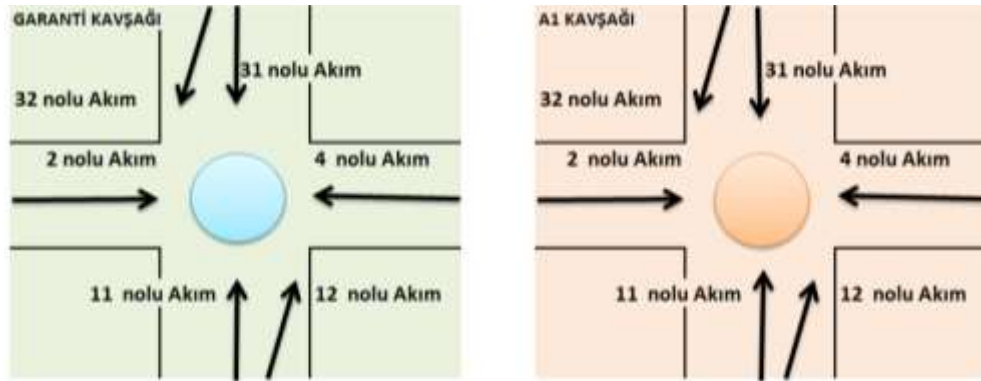
Eski Durum (2005)	Akımlar	Sayım Hacim (araç/saat)	Model Hacim (araç/saat)	% Hacim Farkı	1.Kriter	2. Kriter	3.Kriter	GEH
A1 Kavşağı	2	3389	3398	-0.27%	-	< %15	-9.00	0.15
	3	791	788	0.38%	-	< %15	-	0.11
	4	228	230	-0.88%	-2.00	< %15	-	0.13
	1	2100	1880	10.48%	-	< %15	-	4.93
Garanti Kavşağı	1	1816	2005	-10.41%	-	< %15	-	4.32
	4	1038	991	4.53%	-	< %15	-	1.48
	2	1189	1236	-3.95%	-	< %15	-	1.35
	3	343	353	-2.92%	-10.00	< %15	-	0.54
Toplam	Tümü	10894	10881	0.12%	-	-	-	0.12

3.5 Yeni Durum Modelinin Oluşturulması

Yeni duruma ait sayımlardan elde edilen veriler ve çalışma alanında yapılan arazi incelenmesinde elde edilen veriler ile kavşaklar yapıldıktan sonraki (yeni) durumun modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan yeni durum modelinde gerekli kalibrasyon çalışmaları yapılarak elde edilen veriler Çizelge 3.9’da sunulmuştur.

Çizelge 3.9 Yeni durum GEH istatistik değerleri

Yeni Durum (2005)	Akımlar	Sayım Hacim (araç/saat)	Model Hacim (araç/saat)	% Hacim Farkı	1.Kriter	2. Kriter	3.Kriter	GEH
A1 Kavşağı	11	2155	2161	-0.28%	-	< %15	-	0.13
	12	1544	1525	1.23%	-	< %15	-	0.49
	2	487	512	-5.13%	-25.00	< %15	-	1.12
	31	423	461	-8.98%	-38.00	< %15	-	1.81
	32	2009	2205	-9.76%	-	< %15	-	4.27
	4	1609	1496	7.02%	-	< %15	-	2.87
Garanti Kavşağı	11	1166	1109	4.89%	-	< %15	-	1.69
	12	996	986	1.00%	-	< %15	-	0.32
	2	446	440	1.35%	6.00	< %15	-	0.29
	31	473	475	-0.42%	-2.00	< %15	-	0.09
	32	1673	1550	7.35%	-	< %15	-	3.06
	4	563	560	0.53%	3.00	< %15	-	0.13
Toplam	Tümü	13544	13480	0.47%	-	-	-	0.55



Şekil 3.14 Yeni durum akım yönleri.

Model sonuçları gözden geçirildiğinde gerçek durumla farklılık gösteren akımların hacim değerlerinin yüksek olması tıkanıklık gösteren bölgelerin yeterli değerlendirilemediğini göstermektedir. Bu amaçla oluşturulan kalibrasyon tablosu aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 3.10 Yeni durum kalibrasyon sonucu GEH istatistik değerleri.

Yeni Durum (2005)	Akımlar	Sayım Hacim (araç/saat)	Model Hacim (araç/saat)	% Hacim Farkı	1.Kriter	2. Kriter	3.Kriter	GEH
A1 Kavşağı	11	2155	2147	0.37%	-	< %15	-	0.17
	12	1544	1521	1.49%	-	< %15	-	0.59
	2	487	512	-5.13%	-25.00	< %15	-	1.12
	31	423	467	-10.40%	-44.00	< %15	-	2.09
	32	2009	2228	-10.90%	-	< %15	-	4.76
	4	1609	1601	0.50%	-	< %15	-	0.20
Garanti Kavşağı	11	1166	1115	4.37%	-	< %15	-	1.51
	12	996	986	1.00%	-	< %15	-	0.32
	2	446	440	1.35%	6.00	< %15	-	0.29
	31	473	471	0.42%	2.00	< %15	-	0.09
	32	1673	1553	7.17%	-	< %15	-	2.99
	4	563	562	0.18%	1.00	< %15	-	0.04
Toplam	Tümü	13544	13603	-0.44%	-	-	-	0.51

3.6 Gelecek Durum Modelinin Oluşturulması

Gelecek durumda gerçekleştirilen katlı kavşakların gelecek için yeterli projeler olup olmadıkları değerlendirilecektir. Gelecekteki trafik hacim değerleri, yeni durum trafik sayım değerlerinin yıllık %3 artacağı varsayılarak hesaplanmıştır. Artış değerinin %3 alınmasında baz alınan faktörler motorlu taşıt sayısındaki ve nüfustaki yıllık artış oranlarıdır.

Çizelge 3.11 Yıllara göre motorlu taşıtlar sayısı ve artış yüzdeleri. (TÜİK, 2009)

Yıl	Türkiye (taşıt)	Yıllık Artış	İstanbul (taşıt)	Yıllık Artış
2005	11 145 826	-	2 261 356	-
2006	12 227 393	8.85%	2 430 560	6.96%
2007	13 022 945	6.11%	2 570 559	5.45%
2008	13 765 395	5.39%	2 685 756	4.29%

Çizelge 3.12 Yıllara göre nüfus ve artış yüzdesi (TÜİK, 2009).

Yıl	Türkiye(kişi)	Yıllık Artış	İstanbul (kişi)	Yıllık Artış
2007	70 586 256	-	12 573 836	-
2008	71 517 100	1.30%	12 697 164	0.97%
2009	72 561 312	1.44%	12 915 158	1.69%

Gelecek durum değerlendirmesi yapılırken modele girecek değerler için 10.yıl değerleri ele alınmıştır. Bunun en önemli nedeni kavşak kapasitesinin çok üstünde değerlerin modele girilmesinin anlamsız sonuçlara neden olacağıdır. İkişer şeritli dört kollu bir dönel adanın kapasitesinin 3000-3500 araç/saat olacağı göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 3.13 Gelecekteki durum hacim değerleri.(10 yıl sonra)

Yeni Durum (2005)	Akımlar	Sayım Hacim (araç/saat)	5.YIL	10.YIL	15.YIL	20.YIL
A1 Kavşağı	11	2155	2,498	2,896	3,357	3,892
	12	1544	1,790	2,075	2,406	2,789
	2	487	565	654	759	880
	31	423	490	568	659	764
	32	2009	2,329	2,700	3,130	3,628
	4	1609	1,865	2,162	2,507	2,906
Garanti Kavşağı	11	1166	1,352	1,567	1,817	2,106
	12	996	1,155	1,339	1,552	1,799
	2	446	517	599	695	806
	31	473	548	636	737	854
	32	1673	1,939	2,248	2,606	3,022
	4	563	653	757	877	1,017
Toplam	Tümü	13544	15,701	18,202	21,101	24,462

Eski ve yeni durumlarda olduğu gibi gelecek durum için de model kalibrasyonu yapılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 3.14’de verilmiştir. GEH değerlerinin bu kadar yüksek çıkmasının sebebi kavşağın kapasitesinin çok üzerinde yüklenmesidir. Bunun sonucu olarak sistemde tıkanmalar nedeniyle uzun kuyruklar oluşmuştur. Bu değerler kavşağın 10 yılını bile dolduramadan yetersiz kalacağının ifadesidir.

Çizelge 3.14 Gelecekteki durum (10 yıl sonra) kalibrasyon sonucu GEH istatistik değerleri.

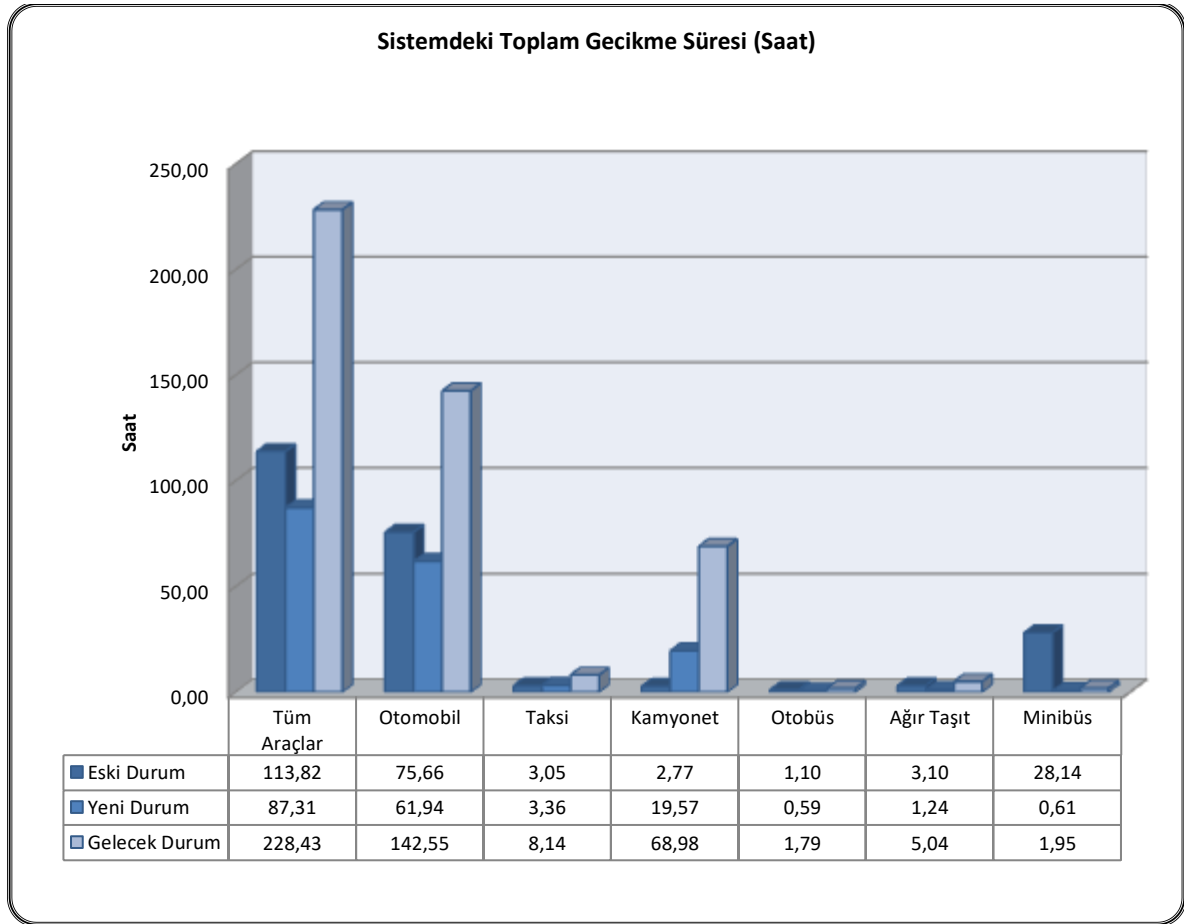
Yeni Durum (2005)	Akımlar	Sayım Hacim (araç/saat)	Model Hacim (araç/saat)	% Hacim Farkı	1.Kriter	2. Kriter	3.Kriter	GEH
A1 Kavşağı	11	2896	2151	25.73%	-	< %15	-	14.83
	12	2075	1537	25.93%	-	< %15		12.66
	2	654	686	-4.81%	-31.51	< %15	-	1.22
	31	568	509	10.46%	59.48	< %15	-	2.56
	32	2700	2457	9.00%	-	< %15		4.78
	4	2162	1614	25.36%	-	< %15	-	12.62
Garanti Kavşağı	11	1567	1140	27.25%	-	< %15	-	11.61
	12	1339	984	26.49%	-	< %15		10.40
	2	599	590	1.57%	9.39	< %15	-	0.38
	31	636	502	21.03%	133.67	< %15	-	5.60
	32	2248	1644	26.88%	-	< %15		13.70
	4	757	737	2.59%	19.62	< %15	-	0.72
Toplam	Tümü	18202	14551	20.06%	-	-	-	28.53

3.7 Eski, Yeni ve Gelecek Durum Model Sonuçları

Yapılan çalışma ile mikro simülasyon programında eski, yeni, ve gelecek durumlar ortaya konulmuştur. Ayrıca kavşakların eski ve yeni hizmet düzeyleri tespit edilmiştir. Kavşakların daha verimli çalışabilmesi için çeşitli önlemler alınmaya çalışılmıştır. Eşdüzey kavşaklarda yapılan katlı kavşak alternatifleri ele alınarak; ulaşım ağında sağladıkları düzeltilmeleri tespit edebilmek için kullanılan programların sonuç değerleri göz önünde bulundurulacaktır. Göz önünde bulundurulan bu değerler aşağıda belirtilmiştir.

- Toplam Gecikme Süresi, (Saat)
- Ortalama Hız, (km/sa)
- Araç Başına Düşen Ortalama Durma Sayısı, (Adet)
- Toplam Yolculuk Süresi (Saat)

3.7.1 Toplam Gecikme Süresi

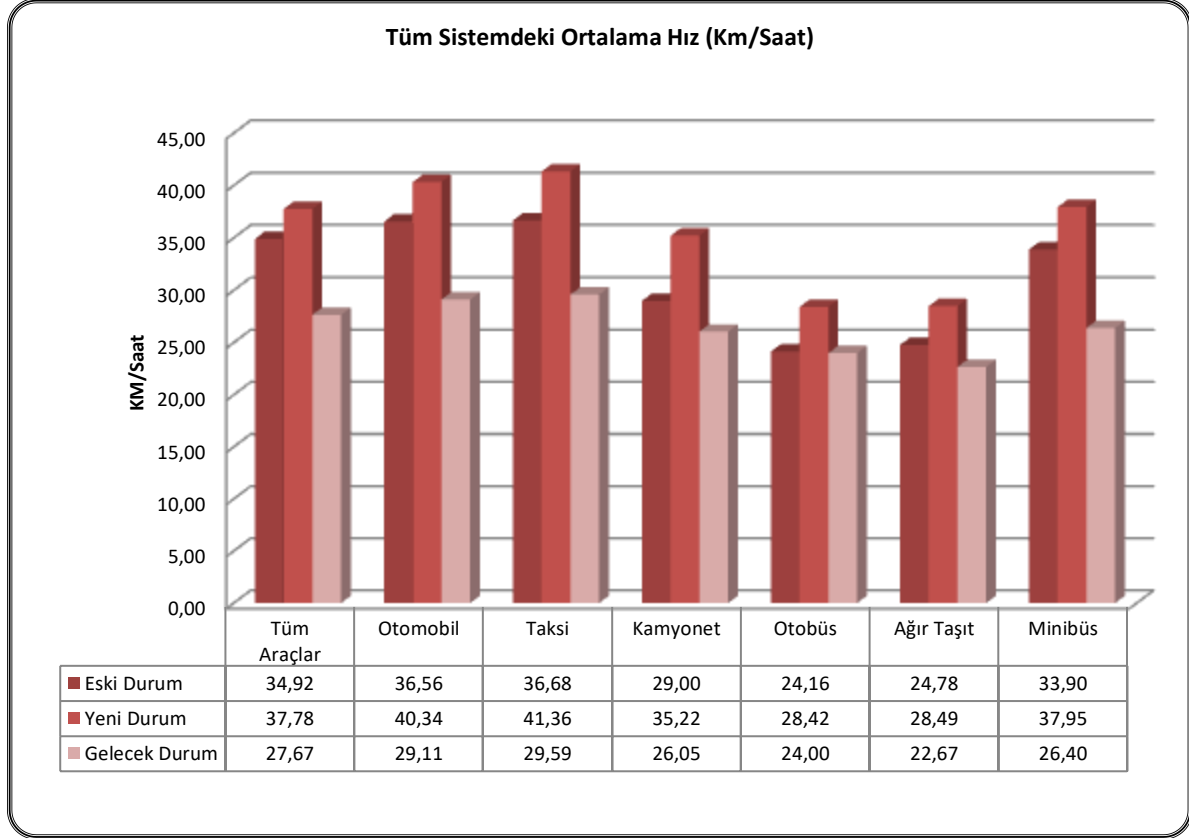


Şekil 3.15 Araç Tiplerine Göre Toplam ve Ortalama Gecikme Süreleri

Gecikme süresinin artması zaman değerine bağlı olarak genel maliyetleri artırmaktadır. Yolcuların sisteme olan güvenlerini, konforlarını ve dakikliği azaltmaktadır. Ele alınan

kavşaklar ve yapılan çalışmalar ile kesişmelerin azalması amaçlanmakta dolayısıyla gecikme zamanlarında önemli düşüşler beklenmektedir. Gecikme zamanı; toplam yolculuk sürelerinin artmasında da doğrudan etkilidir.

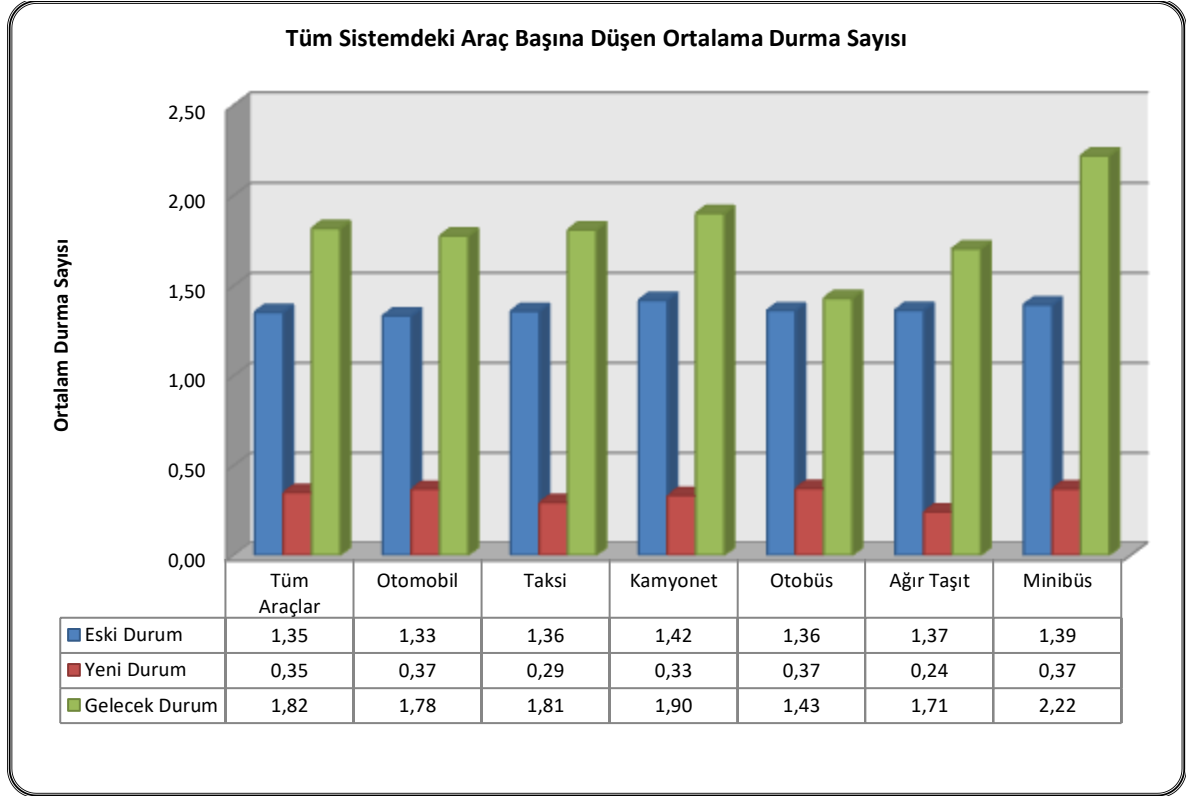
3.7.2 Ortalama Hız



Şekil 3.16 Araç Tiplerine Göre Ortalama Hızlar.

Hız değeri hizmet düzeyi değerlendirmesinde ve trafik mühendisliğinde önemli verilerden biridir. Oluşan hız değerleri ile sistemin ne kadar verimli çalıştığı anlaşılabilmektedir. Araç hızlarının çok düşük olması sistemde tıkanmalara ve kapasitenin düşmesine işaret eder.

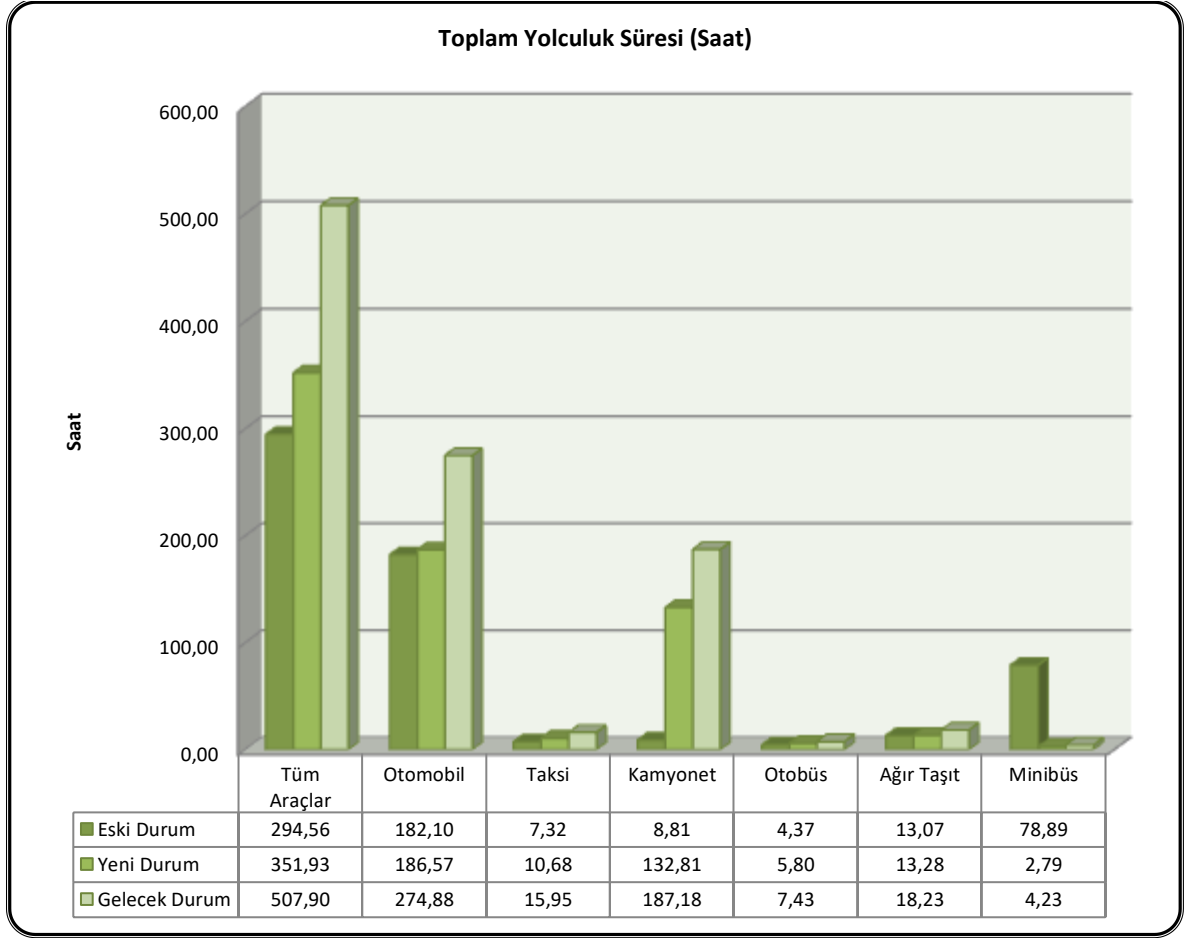
3.7.3 Araç Başına Düşen Ortalama Durma Sayısı



Şekil 3.17 Araç başına düşen ortalama durma sayısı.

Araç başına düşen ortalama durma sayısının büyük olması seyahat süresini artırdığı gibi, ulaşım ağında seyahat eden araçların yıpranmasını da artırmaktadır. Böylece bakım-onarım masrafları ve yakıt tüketimini olumsuz olarak etkilemektedir. Ayrıca araçlardan salınan gazların artışına neden olarak çevresel kirliliğe olumsuz etkide bulunmaktadır. Durma sayısının artması olası arkadan çarpma şeklinde gerçekleşebilecek trafik kazası riskini de artırmaktadır.

3.7.4 Toplam Yolculuk Süresi



Şekil 3.18 Toplam Yolculuk Süresi.

Ulaşım bir amaç değil bir araçtır. Kullanıcılar amaçları için ulaşım sisteminde en az süreyi harcamak isterler. Yolculuk süresinin azalması sisteme olan talebi doğrudan olumlu yönde etkiler. Yolculuk süresindeki artış araçların bir noktadan diğer noktaya gidiş süresindeki artışı ortaya koyar. Sürücüler gidecekleri güzergahları belirlerken doğrudan yolculuk sürelerini düşünerek karar verirler.



Şekil 3.20 A1 kavşağı geometrik düzenleme sonrası eski durum hizmet düzeyi. Garanti kavşağında ise hizmet düzeyi F mertebelerindedir. Bu kavşağında acil bir düzenlemeye ihtiyacı olduğu ortadadır.



Şekil 3.21 Garanti kavşağı eski durum hizmet düzeyi ve akım hacim değerleri.

Akım değerleri incelenerek kavşakta iyileştirmeler yapılmıştır. Ana koldaki yüksek hacimli sağ dönüş için ilave cep açılarak dönüş sağlanmıştır. Ayrıca sola dönüşler düzenlenmeleri ve sinyal optimizasyonu ile kavşak hizmet seviyesi D seviyesine kadar çıkarılabilir durumdadır. Fakat hacim artışları ile hizmet seviyesinin kısa sürede düşmesi kaçınılmazdır (Şekil 3.22). Bu süre araçların güzergahları ve trafik artışı sabit kalmak üzere tekrar değerlendirildiğinde 1 sene olarak ortaya çıkmıştır.

SIGNING SETTINGS													
Lanes and Sharing (#RL)													
Traffic Volume (vph)	48	189	209	284	235	44	359	229	108	300	50	266	157
Sign Control	—	Yield	—	—	Yield	—	—	—	Yield	—	—	Yield	—
Median Width (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	—	0.0	—	—	0.0	—
TwLTL Median	—		—	—		—	—	—		—	—		—
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	—	None	—	—	None
Critical Gap, tC (s)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Follow Up Time, tF (s)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Volume to Capacity Ratio	0.42	0.84	0.84	1.19	1.19	0.45	0.00	1.73	1.73	1.73	1.29	1.29	1.29
Control Delay (s)	18.6	31.4	44.2	137.5	78.0	18.4	0.0	360.8	360.8	360.8	174.5	174.5	174.5
Level of Service	C	D	E	F	F	C	A	F	F	F	F	F	F
Queue Length 95th (m)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Şekil 3.24 Garanti kavşağında kollarda oluşan hizmet düzeyi (LOS) değerleri (2007).

A1 kavşağının da yeterli performansta çalışmadığı görülmektedir. Garanti kavşağıyla aynı durum söz konusudur, ana akımlarda düzelmeler görülürken tali yollarda sıkışıklıklar ve kuyruklanmalar devam etmektedir.



Şekil 3.25 A1 kavşağı yapımından yaklaşık 1 sene sonraki (2007) hizmet düzeyi durumu.

SIGNING SETTINGS													
Lanes and Sharing (#RL)													
Traffic Volume (vph)	0	133	354	372	1063	174	230	752	376	186	116	172	132
Sign Control	—	Yield	—	—	Yield	—	—	—	Yield	—	—	Yield	—
Median Width (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	—	3.6	—	—	3.6	—
TwLTL Median	—		—	—		—	—	—		—	—		—
Right Turn Channelized	—	—	Free	—	—	None	—	—	—	None	—	—	None
Critical Gap, tC (s)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Follow Up Time, tF (s)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Volume to Capacity Ratio	—	1.25	1.25	2.68	2.68	2.01	0.00	2.30	1.59	1.59	0.64	0.66	0.68
Control Delay (s)	—	88.4	161.9	782.9	634.1	485.4	0.0	612.5	301.7	301.7	29.6	29.1	28.6
Level of Service	—	F	F	F	F	F	A	F	F	F	D	D	D
Queue Length 95th (m)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Şekil 3.26 A1 kavşağında kollarda oluşan hizmet düzeyi (LOS) değerleri (2007).

Bu sonuçlar ele alındığında kavşakların hizmet düzeyleri yetersiz düzeyde kalmakta, sadece tali yolların akım değerleri uygun değerlerde bulunmaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Değerlendirilen kavşaklardaki trafik sayımları, mikro simülasyon sonuçları, sinyal performansları ve hacim değerleri ele alındığında katlı kavşak çözümlerinin gerekli bir uygulama olduğu ortaya çıkmaktadır. Fakat katlı kavşaklar ve yeni yollar, toplu taşımayı kullanmak yerine otomobil kullanımını teşvik eder, hızla kendi taleplerini yaratırlar. Kavşaklarda çok kısa süreli rahatlamadan sonra, eskisinden daha yoğun bir trafik oluşur ve kavşakların kapasitelerinin yetersiz kalmasına sebep olur. Büyük kentlerde ve metropollerde karayolu kapasitesini arttıran yapımlar, insanların otomobillerini daha çok kullanmalarını teşvik etmekte ve özellikle pik saatlerde tıkanmayı azaltamamaktadır. Büyük kentlerde yeni bir yol açıldığında, yol hacmi hızlı bir şekilde doygunluğa erişmektedir. Böylece en geniş karayolu ağına sahip kentsel bölgelerde bile önemli tıkanmalar yaşanmaktadır.

Katlı kavşak planlaması ve projeleri yapılırken çok titiz davranılmalıdır. Kavşakların gelecekteki ulaşım talebini karşılayabilecek yapılar olmalarına özen gösterilmelidir. Çünkü bu projeler uzun vadeli olup, projelerin geri dönüşü zordur. Yapılan her bir katlı kavşak ileride ihtiyaç duyulabilecek diğer alternatiflere engel olabilecek ve diğer projelerin yapımını zorlaştırabilecektir.

Kavşak projelerinin eski duruma göre iyileşme sağlamasına rağmen, planlanan kapasitelerine çok kısa sürede ulaşmaları, projelerin geç kalınmış yatırımlar olduklarını göstermektedir. Gerçekleştirilen projeler ile yeterli rahatlama sağlanamamakta, kavşaklar düşük hizmet düzeylerinde çalışmaktadır. Bu hizmet düzeyi değerleri, kavşakların çok daha önce yapılması gerektiğini göstermektedir. Böylece bu kavşaklar günümüze kadar yeterli hizmet seviyelerinde çalışabileceklerdi. Ancak proje uygulamalarında geç kalınmış olması, önemli yakıt ve zaman kayıpları meydana getirmiştir.

Projelendirilen kavşaklarda bulunan dönel ada kavşaklar da yeterli kapasiteyi sağlamamaktadır. Projelerin gerçekleştirilmesinden bir yıl sonra tıkanmalar meydana gelmekte, uygun hizmet seviyelerine ulaşılamamaktadır. Yeni dönel adaların da, daha iyi standartlarda ve daha yüksek kapasitede planlanmaları gerekirdi.

Tıkanma sorunlarını azaltmak için yapılan bu tarz girişimler, kentleri tamamen tanınmaz hale getirebilmektedir. Yeni yollar oluşturarak trafiğin tıkanma sorununu çözme girişimlerinin hem bedeli çok ağırdır, hem de tıkanmaları gideremez. Eğer tıkanmanın yaşandığı kentlerde, talep artışı doğrultusunda, yolların kapasitesini arttırmak için kayda değer hiçbir şey yapılmazsa, bu kentlerde trafik felç olmaz. Kişiler ve kurumlar bu duruma uyararak, ya

kullandıkları ulaşım araçlarını ya da gidecekleri yolları değiştirirler. Kurumlar eğer olanakları varsa, kendilerine uygun olmayan bölgelerde yerleşmezler.

Kentler, zorunlu yolculuk talebini karşılayacak, tarihi alanların ve trafiğe karşı aşırı duyarlı bölgelerin korunmasına olanak verecek nitelikte bir karayolu ağına sahip olmalıdır. Sorunun çözümü için toplu taşımanın iyileştirilmesi, kentlerin ellerinde bulunan en önemli silahtır (OECD/CEMT, 1995).

Ulaşım sistemlerinin devamlı olarak gelişmesi ve büyümesi kaçınılmazdır. Bu nedenle bugün yeterli kapasitede olan hemzemin kavşakların sinyalize kavşaklara, sinyalize kavşakların dönel ada kavşaklara, dönel ada kavşakların ise katlı kavşaklara dönüşmesi gerekebilmektedir. Bu durumda ulaşım mühendislerinin en önemli görevlerinden biri, gerekli görülen düzenlemelerin ve projelerin doğru zamanda ve doğru şekilde yapılmasını sağlamaktır.

İncelenen koridor boyunca, karayolu sistemleri gerekli kapasiteyi sağlamamaktadır. Çözüm için raylı sistemler uygun ulaşım sistemi alternatifleridir. Konforlu bir toplu taşıma sistemi ile gecikmeleri minimuma indirmek gereklidir. Bu sayede park et – devam et gibi uygulamada oldukça avantajlı kombine ulaşım alternatifleri desteklenebilir. Ayrıca yaya ve bisiklet ulaşım imkânları sağlanarak daha çevreci ve motorsuz ulaşım seçenekleri sunulmalıdır.

Türkiye'nin özellikle İstanbul'un dinamik yapısı ulaşım planlamasını zorlaştırmaktadır. Şehrin oldukça hızlı gelişimi projelerin geç kalmasına ve gereken etkiyi gösterememesine neden olmaktadır. Kent içi kavşakların tasarımında ve kavşak türlerinin belirlenmesinde standartlar ve gerekli koşullar belirlenmelidir. Kavşaklar bu standartlar ve koşullar göz önüne alınarak düzenli olarak kontrol edilmeli, sorunlu kavşaklarda zamanında ve uygun çözümler gerçekleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- American Association of State Highway And Transportation Officials, (2001), “A Policy on Geometric Design of Highway and Streets”, Washington, D.C., 5-107.
- Akbaş, A., (2001), “Kent İçi Trafik Sinyal Sisteminin Optimal Kontrolü (Trafik Optimizasyonu)”, Marmara Üniversitesi F.B.E. Doktora Tezi, İstanbul.
- Akdoğan E., (2002), “Kavşak Trafiğinin Kontrolü İçin Bir Sinyal Zamanlama Algoritması Ve Uzman Sistem Yaklaşımında Kullanılması”, Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresinde Sunulan Bildiri, Gazi Üniversitesi, Ankara
- Ayfer M.Ö., (1977), “Trafik Sinyalizasyonu”, Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Bissell, H.H. ve Neudorff L.G., (1980), “Criteria for Removing Traffic Signals.” In 1980 Compendium of Technical Papers, Washington, D.C.: Institute of Transportation Engineers.
- Columbia River Crossing (CRC) Project, (2006), “Vissim Calibration and Validation Technical Report”.
- Washington State Department of Transportation (WSDOT), (2005), “Design Manual”, Chapter 915, 1-27, Washington.
- Evans, D., (2005). “I-5: Delta Park (Victory Boulevard to Lombard Section).” Transportation and Traffic Technical Report. Oregon Department of Transportation.
- FDOT, (2009). “2009 FDOT Quality/Level Of Service Handbook”, Florida Department of Transportation, USA-Florida.
- FHWA, (2004). “Signalized Intersections: Informational Guide”, Publication Number: FHWA-HRT-04-091.
- Gedizlioğlu, E. (1979), “Denetimsiz Kavşaklarda Yan Yol Sürücülerinin Davranışlarına Göre Pratik Kapasite Saptanması İçin Bir Yöntem”, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Gedizlioğlu, E. (2002). “Trafik Yönetimi”, Ders Notları, İstanbul.
- Gomes, G., May, A. ve Horowitz, R., (2003) “A Microsimulation of a Congested Freeway Using VISSIM.” Presented at 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington.
- Highway Capacity Manual, Transportation Research Board (TRB), Washington. National Research Council (NRC), 2000.
- Husch, D., ve Albeck, J. (2003), “SYNCHRO 6, Traffic signal software, User’s guide, Trafficware Corporation”, Albany, California
- Janssens, R. (1994), “Bir Dönel Kavşağın Performansının Belirlenmesi” CEEC’s Training Seminar On Road Development and Safety For Managerial Staff From Central and Eastern European Countries, Brussels.
- Karayolu Tasarım El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 127, (2005)
- Morales J.M. ve Morales J.M. & Associates (1995), Improving Traffic Signal Operations, Federal Highway Administration, U.S. Department Of Transportation
- İBB, (2008), Ulaşım Daire Başkanlığı Trafik Müdürlüğü Özet Rapor, İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı.

- İBB, (2005), Ulaşım Daire Başkanlığı Trafik Sayımları, İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı.
- İBB, (2007), Ulaşım Daire Başkanlığı Trafik Sayımları, İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı.
- OECD/CEMT, (1995) Transports urbains et developpement durable,.
- Oketch, T. ve Carrick M. (2005), “Calibration and Validation of a Micro-Simulation Model in Network Analysis.” Presented at 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, D.C.
- Özdirim M., (1994) “Trafik Mühendisliği I ve II”, Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Planung Transport Verkehr AG (PTV), (2005). “VISSIM User Manual – V.4.20”. Karlsruhe, Germany
- Sonuç, T. (1973), “Karayolu Tekniği” Cilt 1, İstanbul.
- Sönmez, C.(2005). Sinyalize Kavşaklarda Trafik Akımının Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İ.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- The Swedish National Road Consulting AB (Sweroad)., (2000). “Karayolu Tasarım Raporu”, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Transportation Research Board (2000), “Highway Capacity Manual 2000”, National Research Council, Washington, D.C.
- TSE, (1990) “TS 8503/Ekim 1990 Şehir içi Yollar-Kavşak Tipi Seçim Kriterleri”
- TCK, (2005) “Karayolları tasarım El Kitabı”, Karayolları Genel Müdürlüğü
- Yaman, N. ve Keman, D., (1979), “Yol Bilgisi”, Milli Eğitim Yayınevi.
- Yayla, N. (2006). Karayolu Mühendisliği, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Stevanovic A.Z. ve Martin P.T., (2008) “Assessment of the Suitability of Microsimulation as a Tool for the Evaluation of Macroscopically Optimized Traffic Signal Timings”

EK-1 TRAFİK SAYIM FÖYLERİ

EK-2 SİMÜLASYON SONUÇLARI

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 01.07.1980

Doğum yeri Ankara

Lise 1996-1999 Çankaya Atatürk Anadolu Lisesi

Lisans 1999-2003 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Müh. Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2006-2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı

Çalıştığı Kurumlar

2003-2004 Makimsan Asfalt Taah. İnş. San. Ve Tic. A.Ş.

2005-2008 MNL İnş. San. Ve Tic. Ltd. Şti.

2008-Devam ediyor Mescioğlu Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.