



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONYA'NIN ÖNEMLİ SİNYALİZE KAVŞAKLARININ BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE İNCELENMESİ

M. Mevlüt AKMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

M. Mevlüt AKMAZ
Tarih: 08.08.2012

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONYA'NIN ÖNEMLİ SİNYALİZE KAVŞAKLARININ BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE İNCELENMESİ

M. Mevlüt AKMAZ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

2012, 92 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK
Doç. Dr. Rıfat SEZER
Yrd. Doç. Dr. M. Çağlar MEŞHUR

Sinyalize kavşaklar, günümüz kentlerinde yaygın olarak kullanılan kavşaklardır. Bu kavşaklarda, çeşitli yönlerden gelen trafik akımları ve yayalar sırayla geçiş hakkı almaktadır. Nüfus artışları ve ekonomik gelişmelerden dolayı, şehirlerde araç sayıları artmaktadır. Bu durum, kavşağı kullanan trafik akımlarının yönetilmesi ve kavşaktaki sinyalizasyonun düzenlenmesi konularını ön plana çıkarmıştır. Bu gibi konular göz ardı edildiği takdirde, sinyalize kavşaklarda gecikmeler artacaktır. Dolayısıyla artan gecikmeler, işgücü hacmindeki kayıplara, araçların beklemesinden dolayı yakıt ve işletme maliyetlerindeki artışlara, araç sahipleri üzerinde olumsuz etkilere sebep olacaktır.

Bu tez çalışmasında, Konya şehiriçi trafiği açısından önem arz eden bazı kavşaklar incelenmiştir. Bu kavşaklar; Kule, Nalçacı–Sille ve Kabataş sinyalize kavşaklarıdır. İncelenen bu kavşaklarda; gecikmeleri minimize edecek, kapasite ve hizmet düzeylerini artıracak yeni devre sürelerinin önerilmesi hedeflenmiştir.

Kavşaklar, "Sidra Intersection" bilgisayar programıyla incelenmiştir. Kavşaklar hakkındaki verilerin programa girilmesi amacıyla, önce kavşaklarda kamera çekimi yapılarak trafik sayımı sonuçları elde edilmiştir. Daha sonra sinyal planları, faz süreleri, yeşil süreler, devre süreleri gibi sinyalizasyonla ilgili bilgiler ve kavşakların düzeni ile ilgili geometrik bilgiler temin edilmiştir. Sinyalizasyon analiz yöntemi olarak Avustralya yöntemine dayanan bu bilgisayar programında, Amerikan (HCM) yöntemine göre de analizler yapılabilmektedir. Kavşak analizleri, kavşaklardaki mevcut devre sürelerine ve yöntemlerin önerdiği optimum devre sürelerine göre her iki yöntem için de yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmış ve bazı çözüm önerileri getirilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, Avustralya ve Amerikan yöntemleriyle elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca, önerilen devre süreleri ile genellikle kavşaklarda gecikmelerin azaldığı ve kapasitelerin arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gecikme, Kapasite, Sidra Intersection, Sinyalize Kavşak

ABSTRACT

MS THESIS

EXAMINATION OF MAJOR SIGNALIZED INTERSECTION OF KONYA BY USING COMPUTER PROGRAM

M. Mevlüt AKMAZ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

2012, 92 Pages

**Jury
Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK
Doç. Dr. Rıfat SEZER
Yrd. Doç. Dr. M. Çağlar MEŞHUR**

Signalized intersections are widely used in today's cities where the traffic flows from various directions and the pedestrians have right to pass one by one. In the cities, the number of vehicles is increasing due to the increase in population and economic developments. This situation highlighted the management of the traffic flows using the intersection and the regulation of signalization at intersection issues. If these issues had been overlooked, delays will increase at signalized intersections. Therefore, the increasing delays will cause labor losses, increases in fuel and operating costs due to waiting vehicles and adverse effects on vehicle owners.

In this thesis, some of the intersections such as Kule, Nalçacı–Sille and Kabataş intersections that are important in terms of urban traffic were investigated in Konya. In these intersections, the proposed new cycle times were aimed to minimize delays and increase the capacities and level of services.

The intersections were examined using "Sidra Intersection 5.1" software based on the Australian methods that the traffic counting results were obtained by shooting cameras at intersections to enter intersection data into the computer program. Then the information of signalization such as signal plans, phase times, green times and cycle times and the information about the geometric layout of intersections were provided. Also signalization calculations can be made according to the American (HCM) methods by using the same software. The intersection analyses were performed using both methods according to the current cycle times and optimum cycle times proposed by the methods. The analytical results obtained were compared and some solution suggestions were tried to be introduced. When the results were analyzed, the values obtained by the Australian and American methods were observed to be close to each other. Additionally, the delays at the intersections and the increase in the capacities were generally observed as a result of the proposed cycle times.

Keywords: Delay, Capacity, Sidra Intersection, Signalized Intersection

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında yapılmıştır.

Böyle bir çalışmaya beni teşvik eden, çalışma boyunca yardımını ve desteğini esirgemeyen, tez çalışmasını yöneten saygıdeğer Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK hocama, bazı verileri temin etmem konusunda yardımcı olan Konya Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Daire Başkanlığı Ulaşım Trafik Sinyalizasyon Şube Müdürlüğü'nde çalışan değerli arkadaşım şehir plancısı Y.Remzi ÖZTOKLU'na ve çalışma boyunca beni desteğiyle sürekli motive eden değerli biricik eşime ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

M. Mevlüt AKMAZ

KONYA - 2012

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ iii

ÖZET iv

ABSTRACT v

ÖNSÖZ vi

İÇİNDEKİLER vii

SİMGELER VE KISALTMALAR ix

1. GİRİŞ 1

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 3

3. TEORİK ESASLAR 7

3.1. Kavşaklar 7
3.1.1. Eş düzey (Hemzemin) Kavşaklar 8
3.1.1.1. Eş düzey kavşak tipleri 8
3.1.1.1.1. Kol sayısına göre eşdüzey kavşaklar 8
3.1.1.1.2. Trafik kontrol sistemine göre eşdüzey kavşaklar 9
3.1.1.1.3. Kanalize durumuna göre eşdüzey kavşaklar 10
3.1.1.2. Eş düzey kavşakların planlanması 11
3.1.1.3. Eş düzey kavşaklardaki trafik hareketleri 13
3.1.2. Farklı seviyeli (düzeyli) kavşaklar 14
3.2. Trafik Sinyalizasyonu 15
3.2.1. Sinyalizasyon sistemleri 16
3.2.1.1. İzole sistemler 16
3.2.1.2. Koordine sistemler 17
3.2.2. Sinyalizasyon gerekliliği ve sistem seçimi 19
3.3. Sinyalizasyon Analiz Yöntemleri 21
3.3.1. Avustralya yöntemi ile sinyalizasyon hesapları 22
3.3.1.1. Akımlar, fazlar ve sinyal devresi 22
3.3.1.2. Akım özellikleri 23
3.3.1.3. Kapasite ve doygunluk derecesi 26
3.3.1.4. Devre süresi hesabı 27
3.3.1.5. Performans ölçümleri 30
3.3.2. Amerikan (HCM) yöntemi ile sinyalizasyon hesapları 32
3.3.2.1. Girdi parametreleri 33
3.3.2.2. Akım ve akım hacmi 35
3.3.2.3. Doygun akımın belirlenmesi 36
3.3.2.4. Kapasite ve hacim/kapasite oranının belirlenmesi 39
3.3.2.5. Performans ölçümleri 40
3.3.2.5.1. Gecikmelerin belirlenmesi 40
3.3.2.5.2. Hizmet düzeyinin (LOS) belirlenmesi 43

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 45

4.1. Kavşaklar Hakkında Genel Bilgiler 45
4.2. Kavşaklarda Yapılan Çalışmalar 47
4.2.1. Trafik sayımları 48
4.2.1.1. Kule kavşağı trafik sayımları 50
4.2.1.2. Nalçacı–Sille kavşağı trafik sayımları 54
4.2.1.3. Kabataş kavşağı trafik sayımları 56
4.2.2. Kavşaklarla ilgili gerekli diğer veriler 59
4.2.2.1. Kavşak düzeni ile ilgili olan veriler 59
4.2.2.2. Kavşaklardaki sinyal fazları ve zamanları 64

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 69

5.1. Sonuçlar 69
5.2. Öneriler 72

KAYNAKLAR 79

EKLER 81

Ek–1. Program Kullanımı 81

ÖZGEÇMİŞ 92

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simge		Tanımı	Birimi
C	:	Devre süresi	sn
G	:	Görünen yeşil süre	sn
I	:	Yeşiller arası süre	sn
G	:	Etkin yeşil süre	sn
ee’	:	Başlangıç kaybı	sn
ff’ (b)	:	Bitiş kazancı	sn
A	:	Başlangıç gecikmesi (I+ee’)	sn
L	:	Akım kayıp zamanı	sn
Q	:	Kapasite	araç/saat
S	:	Doygun akım	araç/saat
U	:	Akım yeşil zaman oranı	
Y	:	Akım oranı	
X	:	Akım doygunluk derecesi	
Q	:	Akım hacmi	araç/saat
U	:	Kavşak yeşil zaman oranı	
Y	:	Kavşak akım oranı	
L	:	Kavşak kayıp zaman	sn
X	:	Kavşak doygunluk derecesi	
X_p	:	Pratik doygunluk derecesi	
T	:	Gerekli akım zamanı	sn
t_m	:	Minimum gerekli akım zamanı	sn
G_m	:	Minimum görünen yeşil süre	sn
g_m	:	Minimum etkin yeşil süre	sn
T	:	Toplam gerekli akım zamanı	sn
C_p	:	Pratik devre süresi	sn
C_o	:	Optimum devre süresi	sn
C_{max}	:	Maksimum devre süresi	sn
K	:	Yakıt tüketimi v.b. etkenleri en aza indirgeyen parametre	
g_c	:	Kritik akımın etkin yeşil süresi	sn
I_c	:	Kritik akımın yeşiller arası süresi	sn
C^*	:	Kritik akımın süresi (bir alt devre süresi)	sn
L^*	:	Tekrarlı olmayan akımların toplam kayıp zamanı	sn
U^*	:	Tekrarlı olmayan akımların toplam yeşil zaman oranı	
D	:	Toplam gecikme	araç
N_o	:	Ortalama kuyruk uzunluğu	araç
D	:	Her bir araç için ortalama gecikme	sn
T_f	:	Akım periyodu	sn
$Q * T_f$	:	Belirlenen “T_f” süresince geçebilecek max. araç sayısı	
Z	:	“ x – 1 ” (x: doygunluk derecesi)	
x_o	:	Kuyruğun yaklaşık “0 (sıfır)” olduğu doygunluk derecesi	
HCM	:	Highway Capacity Manual (Karayolu Kapasite Kılavuzu)	
LOS	:	Hizmet düzeyi (Level of Service)	
PHF	:	Zirve saat faktörü (Peak Hour Factor)	
PFF	:	Zirve akış faktörü (Peak Flow Factor)	
HV	:	Ağır araç	
LV	:	Hafif araç	
N	:	Şerit sayısı	

W	:	Şerit genişliği	m
G (%)	:	Eğim	
LT	:	Sola dönen ve düz giden trafik akımı	
RT	:	Sağa dönen ve düz giden trafik akımı	
L_s	:	Şerit uzunluğu	m
S_o	:	Temel doygun akım	araç/saat
V_{ped}	:	Yaya hacmi	yaya/saat
N_B	:	Kavşakta duran belediye otobüsü sayısı	otobüs/saat
N_m	:	Park eden araç sayısı	
AT	:	Kavşak yaklaşım koluna varış tipi (arrival type)	
P	:	Yeşil süre boyunca geçen araçların oranı	
S_A	:	Kavşak yaklaşım hızı	km/h
Y	:	Yeşiller arası süre (Amerikan (HCM) yöntemine göre)	sn
G_p	:	Minimum yaya yeşil süresi	sn
R_p	:	Kümeleşme oranı (platoon ratio)	
N_{ped}	:	Karşıdan karşıya geçen yaya sayısı	
L	:	Yayalar için yürüme mesafesi	m
S_p	:	Yayaların ortalama hızı	m/s
V_p	:	Zirve 15 dakika boyunca akım hacmi	araç/saat
V	:	Saatlik akım hacmi	araç/saat
f_w	:	Şerit genişliği için doygun akım düzeltme faktörü	
f_{HV}	:	Trafik akımı içindeki ağır araçlar için düzeltme faktörü	
f_g	:	Yaklaşım kolunun eğimi için düzeltme faktörü	
f_p	:	Park şeridi düzeltme faktörü	
f_{bb}	:	Kavşak alanı içinde duran beld. otobüsü düzeltme faktörü	
f_a	:	Kavşağın bulunduğu bölgeden dolayı düzeltme faktörü	
f_{LU}	:	Şerit kullanımı için düzeltme faktörü	
f_{LT}	:	Sola dönen araçlar için düzeltme faktörü	
f_{RT}	:	Sağa dönen araçlar için düzeltme faktörü	
f_{Rpb}	:	Sağa dönen araçlarla çakışan yaya ve bisiklet düz. faktörü	
CBD	:	Merkezi iş bölgeleri (Central Business District)	
V_g	:	İncelenen akımın trafik hacmi	araç/saat
V_{g1}	:	Akım içindeki her bir şeritten geçen trafiğin en büyüğü	araç/saat
P_{LT}	:	İncelenen akımda sola dönen araçların oranı	
P_{RT}	:	İncelenen akımda sağa dönen araçların oranı	
c_i	:	"i" olan akımın kapasitesi (Amerikan yöntemine göre)	araç/saat
d_1	:	Tekdüze gelenleri varsayarak üniform kontrol gecikmesi	saniye/araç
PF	:	Üniform gecikme ilerleme düzeltme faktörü	
d_2	:	Doygun kuyruklar ve rastgele gelenlerin etkisi için hesaplanan, sinyal kontrol tipi ve analiz periyodu süresi için düzeltilen artırılmış gecikme	saniye/araç
d_3	:	Başlangıç kuyruklanma gecikmesi	saniye/araç
f_{PA}	:	Yeşil süresince gelen araçlar için tamamlayıcı düzeltme faktörü	
K	:	Artan gecikme faktörü	
I	:	Ölçüm düzeltme faktörü	
Pcu	:	Otomobil birimi eşdeğeri (passenger car unit)	
Λ	:	Etkin yeşil sürenin devre süresine oranı	
Φ	:	1.25 ile 1.98 arasında değişen devre süresi hesabı için katsayı	
SR	:	Standart Right Modellemesi	

1. GİRİŞ

Ulaşım, insan hayatını etkileyen önemli bir unsurdur. İnsanlığın gelişimi, kültürel ve teknik etkileşimler ulaşımın gelişmesi ile paralellik göstermektedir. Bununla birlikte nüfus artışına ve ekonomik gelişime bağlı olarak araç sayısı artmış ve bazı planlama eksikliklerinden dolayı trafik problemleri ortaya çıkmıştır. Bu problemler, insanların sağlığı ve düzenli bir hayat sürdürebilmeleri için çözüme kavuşturulmalıdır. Kavşaklar, birçok yönden gelen trafik akımlarının kesiştiği alanlar olduğundan, doğal olarak trafik problemleri de kavşaklarda daha yoğun olmaktadır (Murat, 1996).

Günümüzde hızlı nüfus artışına paralel olarak artan seyahat talebi, trafikte sorunlara neden olmaktadır. Özellikle şehir içinde trafik yoğunluğundan dolayı kavşaklarda tıkanmalar oluşmaktadır. Bu tıkanıklıkların sonucu olarak kavşakta gecikmeler artmaktadır. İstatistiklere göre, özellikle kentiçi ulaşımda gecikmelerin %70'den fazlasının kavşaklardaki duraklamalardan ileri geldiği gözlemlerle ortaya konmuştur (Yayla, 2002). Gecikmelere bağlı olarak kuyruktaki araçların duraklamaları; yakıt tüketimi, kirlilik ve işletme maliyetlerini artırmaktadır. Özellikle büyük kentlerde trafik tıkanıklıkları ve gecikmeler sebebiyle iş gücü hacminde azalmalar görülmektedir. Gecikmelerin araç sahiplerinin üzerinde olumsuz etkisini de eklersek, problemin çok yönlü olduğu ve ülke ekonomisini de olumsuz etkilediği ifade edilebilir.

Gecikmelerin yanında kavşaklarda görülen trafik kazaları, maddi hasar ve can kayıpları konunun önemini bir kez daha artırmaktadır. Tasarım ve düzenlemesi hatalı, standartlara uygun olmayan ve sürücülerin algılamasını güçleştiren kavşakların, karayolları üzerinde önemli kaza noktaları olduğu bilinmektedir. Hemen her ülkede, kentiçi ve kırsal yollarda trafik kazalarının %40–%60'ı kavşaklarda meydana gelmektedir (Yayla, 2002). Tüm bu sebeplerden dolayı; yol ve kavşak kullanıcılarının temel beklenti ve ihtiyaçlarının öncelikle ortaya konulması, mevcut durumun iyi etüt edilmesi, ekonomi, kapasite, güvenlik gibi kavşak tasarımı ve işletimi açısından gerekli kriterleri sağlayacak çözümlerin getirilmesi ve buna uygun karayolu ve özellikle kavşak altyapısının oluşturulması gerekmektedir.

Metro, hafif raylı tramvay, otobüs gibi toplu taşıma araçları, otomobil, minibüs, bisiklet gibi araçlar ve yayalar gibi birçok farklı trafik kompozisyonları ile şehiriçi ulaşımı bir bütündür. Bu ulaşım bütünlüğüne sahip kentiçi ulaşımda da, trafiğin düzenlenmesi ve yönetilmesi açısından sinyalizasyon önemli bir yere sahiptir. Bu yüzden sinyalizasyon, tek başına düşünülmemeli ve genel bir sisteminin parçası olarak

görülmelidir. Konya şehiriçi ulaşımına bu açıdan bakıldığında, sadece araç trafiğini hızlandırarak veya gecikmeleri araçlar üzerinde düşünerek diğer trafik gruplarını ihmal ederek yapılan yatırımların pek sağlıklı olmadığı görülmektedir. Ayrıca şehrin, birçok noktasında yapılan farklı düzeyli kavşaklar sinyalizasyon sisteminin de sağlıklı çalışmasını engellemektedir. Bu yüzden, şehiriçi ulaşımda trafik kompozisyonunun bütünlüğü düşünülmeli ve daha az araçla daha çok insanın taşınacağı toplu ulaşım sistemleri geliştirilmeye çalışılmalıdır.

Bu tez çalışmasında, Konya şehiriçi trafiğinde önemli olan Kule, Nalçacı–Sille ve Kabataş sinyalize kavşaklarında, kavşak gecikmelerini minimize edecek optimum devre sürelerinin bulunması hedeflenmiştir. Bu kavşaklarda trafik akımları üzerinde araştırma ve trafik etütleri yapılarak gerekli veriler elde edilmiştir. Bu veriler ışığında, "Sidra Intersection" bilgisayar programı kullanılarak mevcut problemlerin ortaya çıkarılması ve sinyalizasyon sisteminin en uygun şekilde kullanımının sağlanması amaçlanmıştır. Bu çalışma ile kavşaklarda maksimum kapasite, hizmet düzeyi ve minimum gecikmeyi sağlayacak optimum devre süreleri önerilmiştir.

Çalışmanın 2.bölümü olan kaynak araştırma kısmında, incelenen kavşakların analizinin yapıldığı "Sidra Intersection" bilgisayar programı hakkında genel bilgiler verilmiş ve program kullanılarak yapılan bazı çalışmalardan bahsedilmiştir.

Çalışmanın 3.bölümü olan teorik esaslar kısmı, temel olarak "kavşaklar, trafik sinyalizasyonu ve sinyalizasyon analiz yöntemleri" olmak üzere üç ana başlık altında ele alınmıştır. Kavşaklar başlığı altında; kavşaklar, kavşak tipleri ve tez çalışmasıyla daha ilgili olması sebebiyle eş düzey kavşakların sınıflandırılması, planlanması gibi konular işlenmiştir. Trafik sinyalizasyon konusunda; sinyalizasyon sistemleri ve sistem seçimi, sinyalizasyon ana terimleri ve proje ilkeleri gibi sinyalizasyonla ilgili genel bilgilerden bahsedilmiştir. Sinyalizasyon analiz yöntemleri konusunda ise, tez çalışmasında kullanılan bilgisayar programının da dayandığı yöntemleri (Avustralya ve Amerikan yöntemi) içeren sinyalizasyon hesap metotlarından bahsedilmiştir.

Çalışmanın 4.bölümü olan araştırma bulguları ve tartışma kısmında; tez kapsamında incelenen kavşakların bilgisayar programında analizlerinin yapılabilmesi için gerekli olan verilerden ve bununla ilgili olarak kavşaklarda trafik akımları üzerinde yapılan çalışma ve araştırmalardan bahsedilmiştir.

Çalışmanın 5.bölümü olan sonuçlar ve öneriler kısmında; kavşak analizlerinin bilgisayar programıyla yapılması neticesinde elde edilen sonuçlar verilmiş, buna bağlı olarak değerlendirmeler yapılmış ve bazı çözüm önerileri getirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada incelenen kavşakların, "Sidra Intersection" bilgisayar programı ile analizleri yapıldığı için bu bölümde program hakkında genel bilgiler verilmiş ve program kullanılarak yapılan bazı çalışmalardan bahsedilmiştir.

Trafik analizleri yapabilen birçok bilgisayar programı vardır. Bu bilgisayar programları; kavşakların işletim tipleri, geometrik şartları, trafik koşulları ve arazi gözlemleriyle elde edilen bilgileri olmak üzere, incelenen kavşaklar hakkında çeşitli verilerin girileceği girdi parametreleri kısmına sahiptir. Farklı durumlar için değişik bilgisayar programları tercih edilebilir. Çizelge 2.1'de, trafik analiz amacıyla kullanılan bazı bilgisayar programlarından ve özelliklerinden bahsedilmiştir (Paul, 2011).

Çizelge 2.1. Trafik analizi yapabilen bilgisayar programları (Paul, 2011)

Program	Sinyalize olmayan Kavşak analizi	Sinyalize Kavşak analizi	Dönel Kavşak analizi	Sinyal Optimizasyonu	Simülasyon
HCS Ver. 5.4	Evet	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Synchro Ver. 7.0	Evet	Evet	Hayır	Evet	Hayır
SIDRA Intersection Ver. 5.1	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır
Transyt-7F Release 11.3	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Evet
Sim Traffic Ver. 7.0	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Evet
TSIS–CORSIM Ver. 6.2	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Evet
GDOT Roundabout Ver. 1.1	Hayır	Hayır	Evet	Hayır	Hayır
VISSIM Ver. 5.2	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet

Sidra, en zengin bilgisayar tabanlı kavşak programıdır. Program, toplam ve ortalama gecikme, v/c oranları, kuyruklar, duraklamalar, hız, yakıt tüketimi, emisyon ve işletme maliyetleri gibi kavşaklarla ilgili çözümlemeler sunmaktadır. Kavşak yaklaşım kollarında her bir şeridin ayrı olarak ve buna ilave kavşağın bütün olarak kapasitesini hesaplayabilen tek programdır. Program, sinyal süreleri ve rastgele varış ihtimalleri (koordineli sinyaller tarafından oluşturulan grup olarak kavşağa gelen trafik akımları) için sabit zamanlı veya kumandalı sinyaller olarak tasarlanmıştır (Sabra and ark., 2000).

Sidra Intersection bilgisayar programı, kapasite açısından alternatif kavşak tasarımlarının değerlendirilmesi, hizmet seviyesi, araçlar ve yayalar için duraklama, kuyruk uzunluğu ve gecikme de dahil olmak üzere geniş bir yelpazede performans

ölçümleri ve bunların yanı sıra yakıt tüketimi, çevre kirliliği ve işletme maliyeti için kullanılan ileri mikro-analitik bir araçtır. Program Avustralya, ABD ve başka yerlerde yürütülen kapsamlı araştırmalara dayanan değerli bir teknoloji transfer aracı olmuştur. Trafik mühendisleri ve planlamacıların uygulamalarındaki geribildirimler doğrultusunda sürekli olarak geliştirilmiştir. Bu geribildirim, program içinde kullanılan metotları iyileştirmiş ve daha geniş bir aralığı kapsayan problemler programın işlevselliğini genişletmiştir. Sidra kelimesi, sinyalli ve sinyalsiz kavşak tasarımı ve araştırma yardımı için kullanılan bir kısaltmadır (SIDRA: **S**ignalised (and unsignalised) **I**ntersection **D**esign and **R**esearch **A**id) (Anonymous, 2011).

Program, sinyalli kavşaklar, sinyalli yaya geçitleri, tek bir noktaya sinyalli kavşak, dönel kavşaklar, iki yönlü ve tüm yönlü "dur, yol-ver, ana yol, tali yol…" işaret kontrollü kavşaklar v.b. birçok kavşak tiplerinin değerlendirilmesi ve tasarımı için bir yardım olarak kullanılmaktadır.

Her tek yönlü veya iki yönlü trafik, her bir yönde tek şeritli veya çok şeritli yaklaşımlar, sağa/sola dönüş şeritleri veya park/duraklama şeritleri gibi kısa şerit uygulamaları, dönüş yasakları gibi birçok kavşak geometrik özellikleri programda uygulanabilmektedir. Ayrıca trafik büyüme etkisi ve kavşak performansı üzerinde ağır vasıtaların etkisi analize dahil edilebilmekte ve analiz kapsamında kavşak zamanları, sinyal fazları, devre süreleri, geometriler v.b. birçok parametrenin optimize edilmesiyle farklı tasarım alternatifleri değerlendirilebilmektedir.

Program, ABD'de US Highway Capacity Manual (HCM) (ABD Karayolu Kapasite Kılavuzu), TRB Roundabout Guide (ABD Dönel Kavşak Kılavuzu) ve çeşitli yerel dönel kavşak kılavuzları tarafından tanınmakta ve Avustralya ve Yeni Zelanda'da ise, AUSTROADS (Avustralya Eyalet, Bölge ve Federal Yol ve Ulaşım Yönetimler Birliği) ve çeşitli yerel kılavuzlar tarafından onaylanmaktadır.

Şerit veya şerit gruplarının, hareket veya hareket gruplarının (araçlar ve yayalar gibi) ve bir bütün olarak kavşakların kapasite, zamanlama ve performans v.b. birçok sonuçları her biri için elde edilebilmekte ve her bir farklı parametre için tablolar ve grafikler ile sonuçlar görülebilmektedir. Ayrıca program kapsamında; trafik akış (gidiş) istikametinin sağdan veya soldan işlediği ülkeler ile ABD, Avustralya ve Yeni Zelanda ülkeleri için trafik modellemeleri mevcuttur (Anonymous, 2011).

Bilgisayar programıyla yapılan bazı çalışmalar da kısaca şu şekilde özetlenebilir:

Murat (1996), Denizli'de bazı kavşakların mevcut durumlarını etüt etmiş ve gecikmeler ile kuyrukların sebeplerini araştırarak yeni devre süresi uzunlukları

önermiştir. Sinyalizasyon hesapları, Sidra ve İngiliz Yöntemi'ne göre Quick Basic dili ile hazırlanan bilgisayar programları ile yapılmış ve kavşaklarda geometriye bağlı çözüm önerileri getirilmiştir.

Üçer (2000), Balıkesir ilinde bazı kavşaklarda gerekli sayım etütleri yapmış ve sinyalizasyon ile ilgili çözümlemeleri Avustralya yöntemi ile yapmıştır. Bu çalışmada, Sidra bilgisayar programı kullanılarak, sinyalizasyon hesapları yapılmış ve söz konusu kavşaklarda çeşitli öneriler ortaya konulmuştur.

Click and Rouphail (2000), Kuzey Carolina'da bazı kavşaklarda bilgisayar tabanlı sinyal zamanlama modellerinin performanslarının değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada; HCS, Evipas, Sidra, Sig/Cinema, Signal94, Transyt-7F bilgisayar programları kullanılmıştır. Bilgisayar programlarının sunmuş olduğu modellerin birçok yönden değerlendirildiği çalışmada, genel olarak model kullanımı yönünden Sidra programının en uygun yazılım olduğu tespit edilmiştir.

Lee, Rouphail and ark. (2003), kavşak performans analizini, HCM yöntemine ve aaSIDRA bilgisayar programına göre yapmışlardır. Yapılan çalışmada, kavşakla ilgili v/c oranı, gecikme, kuyruk tahmini gibi sonuçların her iki yöntemde de oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Levinson and Mentor (2004), sinyalize kavşaklarda paylaşılan (düz giden ve sola dönen taşıtlar tarafından ortak kullanılan) şeritlerin kapasiteleri üzerinde çalışma yapmışlar ve bu konu ile ilgili basitleştirilmiş bir yöntem sunmuşlardır. Çalışmada, Avustralya (Sidra bilgisayar programı), Kanada ve HCM yöntemlerine göre kavşaklardaki genel trafik koşulları altında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Darma, Karım and ark. (2005), sinyalize kavşakta kontrol gecikmesini etkileyen değişkenleri belirlemek amacıyla bir araştırma yapmışlardır. Yapılan çalışmada, HCM yöntemini temel alan gecikmenin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan Sidra ve Transyt-7F bilgisayar programları kullanılmış ve kırmızıda sola dönüş tipi dönüş hareketine izin verildiği takdirde kavşak kontrol gecikmesinin önemli ölçüde azalacağı gözlemlenmiştir.

Bashar and Madhar (2007), Ürdün'ün ikinci büyük şehri olan İrbid'de beş sinyalize kavşakta trafik hacimleri ve kontrol gecikmelerini zirve saat süresince video kamera kullanarak ölçmüşlerdir. Geometrik tasarım elemanları, sinyal zamanları ve fazları ve taşıt hızlarına ilişkin veriler arazi çalışmaları ile ölçülmüştür. Çalışmada; sinyalize kavşaklarda gecikme tahminleri için yaygın olarak kullanılan "HCM" ve "Sidra" yazılımları kullanılmıştır. Temel doygun akım veya otobüs "PCE" faktörlerinin

kalibre edilmesi ile iki yöntemin de önemli ölçüde geliştirilebileceği; ayrıca, hem temel doygun akım hem de otobüs PCE faktörlerinin kalibre edilmesiyle en iyi sonucun elde edilebileceği görülmüştür. Aynı zamanda, kalibrasyondan sonra Ürdün'de sinyalize kavşaklarda kontrol gecikmesi için iki yazılımın da iyi tahminler yaptığı fakat Sidra'nın HCM 2000 yazılımına (HCS) göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Idayu (2007), MHCM (Malezya Karayolu Kapasite Kılavuzu) 2006 ile diğer kılavuzları (HCM 2000, aaSidra) karşılaştırmıştır. Bu çalışmada; diğer kılavuzlar kullanılarak tahmin edilen sonuçlarla yeni kılavuzun sonuçları karşılaştırılarak, MHCM 2006 kılavuzunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma, Malezya Yarımadasının batı kıyısı boyunca birçok sinyalize kavşakta yapılmıştır. Malezya yollarında yüksek hacimli motosiklet olduğundan, motosiklet etkisini dikkate almak için doygun akım tahmininde bir prosedür önerilmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışmada; kavşaktaki doygun akım ve gecikme tahminlerinde, MHCM 2006 kılavuzunun diğer kılavuzlara göre daha doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Çetinkaya (2008), Ankara ilinde Adnan Kahveci Kavşağı'nı incelemiş ve kavşakta kamera ile trafik gözlem ve sayımı yapmıştır. Kavşak için kapasite ve gecikme çözümlemesi; Webster (İngiliz) yöntemi, HCM 1985 yöntemi, Avustralya yöntemi ve "Sidra Intersection 3.2" programı ile yapılmış ve program ile elde edilen çözümleme sonuçlarının gözlemlere oldukça yaklaştığı belirlenmiştir.

Eraslan (2008), İstanbul'da bulunan bir kavşağı inceleyerek gecikme değerlerini gözlemlemiş ve yöntemlere göre hesaplanan gecikme değerleriyle de elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda yöntemler hakkında değerlendirmeler yapmış ve gecikme değerlerini en aza indiren yöntemin Avustralya Yöntemi olduğu sonucuna varmıştır.

Azlina and Intan Suhana (2010), sinyalize kavşak performans analizinde, mikro–simülasyon modelleri yardımıyla üretilen sonuçların tutarlılığını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, mikro simülasyon modeli olarak Cube Dynasim ve mikro analitik model olarak da aaSidra kullanılmıştır. Çalışma için dört kollu bir sinyalize kavşak seçilmiştir. Sinyalize kavşağın trafik akışları, hız süreleri, gecikme, hizmet düzeyi ve kuyruklar gibi performans ölçüleri her iki modelleme için de karşılaştırılmış ve Cube Dynasim mikroskobik simulasyon modeli ile aaSidra mikroskobik analitik modelin birbiriyle benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, sinyalize kavşak analizinde Cube Dynasim yardımıyla elde edilen sonuçların makul ve tutarlı olabileceği çalışma neticesinde görülmüştür.

3. TEORİK ESASLAR

3.1. Kavşaklar

Kavşaklar, kent içi veya kent dışı karayollarında araç ve yaya trafiğinin çakıştığı bölgelerde yapılan mühendislik yapılarıdır. Kavşaklar, araç ile aracın ve/veya araç ile yayaların iki, üç veya daha fazla yol ile kesiştiği yerlerde; trafik akımının sürekliliğinin kesilmesi, emniyet, hız ve kapasitenin azalması, durma, gecikme ve taşıt işletme maliyetlerinin artması gibi olumsuzlukların giderilmesi amacıyla yapılan bir mühendislik yapısıdır ve yolun bir parçası olarak görev yapmaktadır (Tunç, 2003).

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

Kavşaklar sadece ana ve tali caddelerdeki taşıt ve yaya akımını kontrol altında tutmazlar, aynı zamanda yakınında bulunan kavşakların hizmet seviyelerini de etkilerler. Bir kavşağa girebilen ve bu kavşağı geçebilen taşıt trafiği miktarı; şerit sayısı, tipi ve genişliği gibi kavşak giriş platformunun özelliğine, sürücünün tecrübe ve hareketleri üzerinde etkisi olan çevre koşullarına, trafik akımının karakteristiklerine ve trafik kontrol tedbirlerine bağlıdır (Yalgın, 1975).

Kavşakların düzenlemesi söz konusu olunca, aşağıdaki hususların göz önüne alınması gereklidir (Sonuç, 1975):

- Farklı yönden gelen taşıtların çarpışmasını önlemek,

- Kavşağı kullanacak farklı yöndeki trafiğin birbirini engellemelerini en aza indirmek, yani hızlanma ve frenlemeden doğacak yakıt ve zaman kaybının toplamını en aza düşürmek,

- Farklı yöndeki trafiklere güvenlik ve yeterli geçiş süresi sağlamaktır.

Kavşaklar genel olarak trafik yoğunluğu az olan yollarda “hemzemin (eş düzey) kavşaklar”, trafik yoğunluğu fazla olan veya tam erişme kontrollü yollarda “farklı düzeyli (seviyeli) kavşaklar” olarak düzenlenirler (Tunç, 2003).

3.1.1. Eş düzey (Hemzemin) kavşaklar

Farklı yönlerdeki trafik akımlarının ortaklaşa kullandıkları yol alanına "eş düzey kavşak" denir. Bir yol üzerindeki kavşakların farklı düzeyli tipten planlanıp yapılması, maddi olanakları çok yüksek olan ülkelerde bile zordur ve ekonomik de olmayabilir. Dolayısıyla gerek kent içi ve gerekse kırsal yollarda kavşakların çoğunun eş düzey tipten planlanmasında zorunluluk vardır. Eş düzey kavşaklar, kavşağı oluşturan yolların sayısı ile bu yolların birleşme şekillerine yani geometrik durumlarına, ayrıca kavşaktaki denetim tarzına göre çeşitli tiplere ayrılırlar (Yayla, 2002).

3.1.1.1. Eş düzey kavşak tipleri

Eş düzey kavşakların sınıflandırılması; faaliyet alanı, şekil ve kanalize durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Eş düzey kavşaklar;

- Kol sayısına (geometrik durumlarına) göre:
  - Üç kollu eş düzey kavşaklar (T veya Y kavşaklar)
  - Dört kollu eş düzey kavşaklar
  - Çok kollu eş düzey kavşaklar
- Trafik kontrol sistemine (denetim tarzına, işletme özelliğine) göre:
  - Sinyalize (denetimli) kavşaklar
  - Sinyalize olmayan (denetimsiz) kavşaklar
  - Yuvarlak ada (dönel) kavşaklar
- Kapasiteyi artırmak amacıyla, işaretleme veya adalar ile yapılan yönlendirmeye (kanalize veya tesis durumuna) göre:
  - Kanalize edilmiş kavşaklar
  - Kanalize edilmemiş kavşaklar

olarak sınıflandırılırlar (Anonim, 2005).

3.1.1.1.1. Kol sayısına göre eş düzey kavşaklar

Üç kollu T kavşaklar, kanalize edilmeden düşük trafik hacimli 2x1 şeritli kırsal yollarda kullanılabildiği gibi, şehir içlerinde 2x2 şeritli yollarda da uygulanabilir. Daha yüksek trafik hacimli anayol–tali yol kesişmelerinde, dönen trafiği kontrol altına almak

ve yeterli dönüş yarıçaplarını sağlamak amacıyla kanalize edilerek uygulanır. Kanalize edilmiş kavşaklar, kapasite analizi sonuçlarına göre gerekli görüldüğünde, özellikle şehir geçişlerinde sinyalize edilerek uygulanırlar.

Üç kollu Y kavşaklar, anayol–tali yol kesişmesinin dar açılı olduğu, tali yolda dik veya dike yakın eksen düzenlemesinin imar, kamulaştırma, vb. nedenlerle yapılamadığı durumlarda tasarlanırlar. Anayoldan sol dönüş yapacak taşıtlar ile karşı yönden direk gelen taşıtların çakışma noktasında (trafik hacminin artması söz konusu olduğunda) ışıklı ikaz sisteminin uygulanması gerekir.

Dört kollu eş düzey kavşaklarda ise, anayolda hız değiştirme şeritleri tasarlanır. Bu şeritlerin paralel bölümleri anayoldan ayrılmalarda minimum 45 m, anayola katılmalarda ise minimum 60 m uygulanmalıdır. Kavşak köşelerindeki yarıçaplar büyük taşıtların dönüşlerini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Eş düzey kavşaklarda, normalde dörtten fazla kol olmasından kaçınılır. Ancak tasarlanmak durumunda kalınırsa, trafiğin az olduğu ve DUR kontrolünün uygulandığı yerler olması tercih edilmelidir (Anonim, 2005).

3.1.1.1.2. Trafik kontrol sistemine göre eş düzey kavşaklar

Denetim şekillerine göre eş düzey kavşaklar; denetimsiz, denetimli ve dönel kavşaklar olarak üç gruba ayrılırlar.

Denetimsiz kavşaklardaki taşıt hareketleri burada bulunan ışıksız trafik işaretleri ile düzenlenmiştir. Kavşağı oluşturan yollardan biri taşıdığı trafik miktarı veya geometrik standartları itibariyle anayol durumundadır ve bu yolda seyreden taşıtlar, diğer yol veya yollarda seyredenlere göre kavşakta ilk geçiş hakkına sahiptir. Trafik güvenliği yönünden tali yol durumunda bulunanlarda kavşağa girişte “DUR”, “YOL VER” mesajlı trafik işaretleri bulunur (Yayla, 2002). Denetimsiz kavşaklar, trafik işaret levhalarının bulunması veya bulunmaması ve bu kontrollerin durumuna bağlı olarak değişik şekillerde çalışırlar (Yalgın, 1975).

Kavşak yerinin konumu nedeni ile yetersiz görüş yüzünden kavşağa tali yollardan yaklaşan taşıtlar, ana yolun öncelik kuralına uyamayabilir. Tali yoldaki trafiğin yoğunluğu, ana yolunkinin düzeyine yaklaştığı için öncelik kuralı uygulanamayabilir. Bu gibi durumlarda mevcut kavşakta, serbest (denetimsiz) eş düzey kavşak yerine, değişik yönlerden kavşağa gelen trafiği sıra ile kesip birbiri ardından akıtacak biçimde ışıklı işaretle kumanda edilen denetimli bir kavşak düzenlenmesi

gerekir. Denetimli kavşaklar, trafik yoğunluğu yüksek yollarda durmalar, kalkmalar ve beklemeler gibi kesintiler nedeniyle ekonomik ve psikolojik sorunlar doğururlar. Eğer, kavşağa gelen tali yollardaki trafik yoğunluğu çok fazla değilse, denetimli kavşak uygulandığında işletme yönünden iyi randıman alınamaz ve ekonomik olmaz. Sadece güvenlik sağlanması endişesi ile bütün kavşakların denetimli yapılmasını öngörmek mantıklı değildir (Sonuç, 1975).

Genellikle kavşak kapasitesi ile ışıklı trafik işaretleri arasında sıkı bir ilişki vardır. Çünkü en az iki ayağında ağır trafik taşıyan kilit kavşaklar, ışıklı trafik işaretleri ile donatılmışlardır. Uygulamada, önemli kavşaklarda normal olarak ışıklı işaret tesis edilir. Bununla birlikte şehir içlerinde birçok ara kavşak, ışıklı trafik işaretiyle donatılmamıştır ve kırsal bölgelerde ışıklı işaretler enderdir (Yalgın, 1975).

Yukarıda denetimli ve denetimsiz kavşaklardan genel olarak bahsedilmiştir. Denetimsiz veya denetimli kavşaklara kıyasla geometri ve trafik kontrolü açısından farklılık gösteren ve dairesel veya buna benzer orta adası bulunan dönel kavşaklarda, hareket sürekliliği vardır. Aynı anda bütün yollardan kavşağa taşıt girebilir ve kavşaktan bu yollara ayrılmalar olabilir. Bu tip kavşaklarda kavşak içinde hareket halinde bulunan trafiğin, ayaklardan kavşağa girecek olan trafiğe göre geçiş önceliği vardır. Ayaklardan gelen taşıtlar, yavaş ve kontrollü bir hareketle tam olarak durmaya gerek kalmadan orta ada etrafında hareket etmekte olan akıma katılabilir ve belli bir örülme uzunluğu içinde istedikleri şeride geçebilirler (Yayla, 2002).

Dönel kavşaklar gerek kent içi gerekse kent dışı yollarda hızın kontrol altına alınması, çakışma nokta sayısının azaltılarak emniyetin artırılması, kavşak kollarındaki tıkanıklığın azaltılması, kavşakta araçların depolanmasına olanak tanınması v.b. nedenlerden dolayı tercih edilmektedir (Tunç, 2003).

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 arzu edilmez (Anonim, 2005).

3.1.1.1.3. Kanalize durumuna göre eşdüzey kavşaklar

Eş düzey kavşakların gerekli görülen ara noktalarında, yol veya kavşağın kapasitesini artırmak ve trafik güvenliğini sağlamak amacı ile taşıt ve yaya

hareketlerinin hız, yörünge v.b. yönlerden kontrol altına alınmasına "trafiğin yönlendirilmesi" veya "kanallama" denir (Yayla, 2002).

Hemzemin kavşaklardaki yönlendirmenin amacı, kavşak alanı içinde değişik tip adalar (yani yükseltilmiş) veya kaplama üzerinde yatay işaretlemeli alanlar (yani yükseltilmemiş) veya kaplama üzerinde uyarıcı butonlar (yani reflektörlü veya titreşim sağlayan elemanlar) vasıtasıyla kavşak içindeki trafiğin çakışma noktalarının ayrılması veya azaltılması, araçların veya yayaların belirli bir yörünge takip etmesi ve güvenli trafik seyrinin sağlanmasıdır. Böylece kavşakta düzenlenen adalar, ilave şeritler ve dönüş yarıçapları vasıtasıyla, trafik kanalize edilmekte, kapasite ve emniyetin artırılması, çakışmaların azaltılması v.b. hususlar sağlanarak trafik akımı kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Hemzemin kavşaklarda yönlendirmenin yapılabilmesi için; trafik şeritleri, trafik adaları, refüj ayırmaları, köşe kurpları, kaplama genişlemesi ve rakordman, yaklaşım geometrisi (yatay ve düşey) ve trafik kontrol araçları (işaretler, sinyaller v.b.) olmak üzere 7 farklı eleman kullanılabilmektedir.

Hemzemin kavşaklar; kontrolsüz, kontrollü, basit yönlendirilmiş (sağ/sol dönüş şeritli, basit adalı), tam kontrollü yönlendirilmiş (ilave şeritler ve adalar ile trafiğin kesin olarak yönlendirilmesi ve/veya kontrol altına alınması) ve en nihayetinde trafik sinyalizasyonu ile tam kontrol altına alınmış olarak en basit kavşak tipinden en ideal kavşak tipine kadar iyileştirilebilir. Bu iyileştirmelerin her biri belli bir maliyet gerektirmektedir. Dolayısıyla iyileştirmeler, kavşağın sahip olduğu trafik hacmi, sağ/sol dönüş yapan trafik hacmi, kaza sayısı ve/veya potansiyeli, gecikme süresi, servis seviyesi v.b. hususlar dikkate alınarak kademeli olarak yapılabilmektedir. (Tunç, 2003).

3.1.1.2. Eş düzey kavşakların planlanması

Hangi tipten olursa olsun bir kavşak planlanırken göz önünde tutulacak dört ana prensip; kazalara karşı güvenlik, yeterli kapasite, ekonomi ve çevreye uygunluktur. Başka bir deyişle; kavşaklar, çevre koşulları ile uyum göstermek üzere kaza ihtimali ile tesis ve bakım masrafları az olacak ve yüksek kapasite gösterecek şekilde planlanıp inşa olunmalıdır. Kavşak planlamasına başlanırken dikkate alınması gereken ana faktörler:

a) Kavşağın yol ağı içindeki önemi
b) Mevcut trafik özellikleri
c) Kavşağı oluşturan yolların geometrik özellikleri
d) Yakın kavşaklarda uygulanan veya uygulanacak denetim şekilleri

e) Sürücü ve yaya davranışları

f) Topoğrafik durum ve çevre koşullarıdır.

a) Kavşağın yol ağı içindeki önemi, kavşağa birleşen yolların sınıfı ile ilgili olup kavşağın geometrik standartları ile uygulanacak denetim şeklinin seçiminde etkili olur.

b) Planlama sırasında bilinmesi zorunlu olan trafik özellikleri:

- Kavşağa gelen trafik miktarı (YOGT olarak),
- Trafiğin gün, hafta ve yıl içinde değişim şekli,
- Otomobil, kamyon vb. taşıt cinslerinin toplam trafikteki yüzdeleri,
- Anayoldaki proje hızı,
- Her kavşak ayağından gelen trafiğin sağa ve sola dönenler ile düz geçenlerinin yüzdeleri (zirve saatlerdeki),
- Kent içi kavşaklar için kavşağın yakınında bulunan terminal, otopark, garaj vb. yerlerin durumları, kamu yolcu taşıması yapan taşıtların miktarı ve bunlara ait tesislerin kavşağa olan mesafeleri,
- Kavşak yakınındaki yaya hareketleri,
- Daha önce meydana gelen kazaların sayısı, türü vb. hususlardaki istatistik bilgilerdir

c) Planlama sırasında dikkate alınacak geometrik özellikler:

- Kavşağa birleşen yolların sayısı,
- Kavşak ayakları arasındaki açı,
- Görüş uzunlukları,
- Bir önceki ve sonraki kavşağa olan mesafelerdir.

d) Bir yol boyunca birbirine yakın kavşaklarda farklı denetim şekillerinin uygulanması sürücü davranışlarını kötü yönde etkileyen, dolayısıyla kapasiteyi azaltıp kaza ihtimalini artıran bir durumdur.

e) Sürücü ve yayaların trafik kurallarına uyma ve trafik işaretlerine riayet dereceleri; kavşak tipi ve denetim şeklinin seçiminde etkili diğer bir önemli hususdur.

f) Kavşak bölgesinin topoğrafik durumu; kavşaktaki görüş uzunlukları, kavşağın inşa maliyeti, kavşağa birleşen yolların eğimleri ve bunların birleşme açıları bakımından önemlidir. Çevre koşulları ise, kavşağın yakınında varsa tarihi ve diğer yapılar ve doğal güzellikler ile uyum sağlanması, kaza, gürültü vb. yönlerden yakın çevreye fazla zarar verilmesinin önlenmesi bakımından bilinmesi gereken hususlardır (Yayla, 2002).

Yukarıda genel olarak bahsedilen hususların yanı sıra, kavşaklardaki güvenliğin sağlanması için duruş görüş mesafesinin sağlanmasına çalışılmalıdır. Ayrıca, küçük yatay kurplar üzerinde kavşak düzenlenmesinden kaçınılmalı, görüşün açık olduğu büyük yatay kurplar, alinyman veya dere tipi düşey kurplar tercih edilmelidir. Kavşak civarında, kesişen yolların boyuna eğimlerinin normal şartlarda %3'den büyük olmasından kaçınılmalı, topoğrafik ve ekonomik gibi zorunlu hallerde eğim en fazla %6'ya kadar çıkarılmalıdır. Sürücülerin kavşağı yeterli mesafeden açık bir şekilde görüp anlayabilmeleri için, kavşak köşelerinde üçgen görüş alanları sağlanmalı ve üçgen görüş alanları içinde herhangi bir nesne (bina, istinat duvarı, köprü ayağı, yarma şevi, ağaçlık v.b.) olmamalıdır. Kavşakta uygun yatay ve düşey trafik işaretlemelerinin yapılması da önemli hususlardan birisidir (Anonim, 2005).

3.1.1.3. Eş düzey kavşaklardaki trafik hareketleri

Kavşaklar genel olarak yolların kesiştiği yerlerde teşekkül eden alanlardır ve bu alanlar çeşitli yönlerden gelen taşıt hareketlerine maruz kalmaktadır. Kavşak planlamasındaki esas amaç, kaza ihtimalini ve trafik güçlüğünü azaltmak ve uygun kapasite elde etmektir. Böylelikle trafik akımlarının birbirlerini kesmeden veya birbirlerini takip ederek kavşak alanından geçmeleri sağlanacaktır. Yani güven, konfor ve kapasite ön planda tutulmalıdır. Genel olarak kavşaklarda rastlanılan trafik hareketleri 3 şekilde sınıflandırılır:

Ayrılma hali, aynı yönde giden taşıtların ortak şeritten ayrılarak çeşitli yönlere gitmesidir. Yaklaşma hali ise, taşıtların aynı yönde gitmek üzere yaklaşmalarını ifade eder. Kesişme hali de, taşıtların birbirinin yolunu kesecek şekilde seyretmeleri halidir. Ayrılma, diğer manevra şekillerine göre en basit ve en kolay yapılabilendir.

Ayrılma, yaklaşma ve kesişme manevralarında bazı gecikmeler ve çatışmalar ortaya çıkmaktadır. Böylece, sadece bu manevraları yapan taşıtlar için değil, bu taşıtları takip eden taşıtlar için de karışıklık ve kaza ihtimalleri oluşmaktadır. Bu sebeple kaza ihtimalinin bulunduğu nokta etrafında, diğer taşıtların hız düşürmek, yavaşlamak v.b. nedenlerle etkilendiği bir "karışıklık sahası" meydana gelir. Kaza olması muhtemel olan saha da "kaza sahasıdır". Trafik düzenlemesinde kaza sahasının mümkün mertebe yok edilmesi ve kaza ihtimallerinin azaltılması şarttır. Karışıklık ve kaza ihtimalleri kavşağa ulaşan yol sayısına (kavşak kollarına) bağlıdır. Çizelge 3.1.'de kavşağa ulaşan yol sayısı arttıkça, artan karışıklık noktalarının sayısı gözükmektedir (Kutlu, 1993).

Çizelge 3.1. Eşdüzey kavşaklarda karışıklık görülen nokta sayıları (Kutlu, 1993)

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

3.1.2. Farklı seviyeli (düzeyli) kavşaklar

Farklı seviyeli kavşaklar, iki veya daha fazla karayolunun bir veya daha çok sayıda farklı düzeyde kesişme ve birleşmesiyle teşkil edilirler (Anonim, 2005).

Otoyollar gibi giriş kontrollü hız yollarında, alınan çeşitli önlemlere rağmen kazaların veya trafik sıkışıklığının azaltılamadığı eş düzey kavşaklarda, taşıt ve yolcu gecikmeleri ile kazaların sebep olduğu ekonomik kayıpların büyük olduğu yerlerde ve topoğrafik koşullar nedeniyle eş düzey kavşağın daha zor ve pahalı olacağı yerlerde farklı düzeyli kavşak kullanımı zorunlu ve uygun olmaktadır (Yayla, 2002).

Farklı seviyeli kavşaklar; yonca (tam veya yarım), rotari (dönel), trompet, diamond (baklava tipi), yönsel ve tek nokta şehir içi olarak sınıflandırılmaktadır. Farklı seviyeli kavşakların tasarımında en önemli husus kavşak tipinin seçimidir. Kavşak tipinin seçimi trafik mühendisinin deneyimi ve yargısına dayansa da;

- Kesişen yolların önemi ve fonksiyonu,
- Trafiğin hacmi, kompozisyonu ve karakteri,
- Tasarım hızı, kapasite ve servis seviyesi, erişme kontrol derecesi,
- Topografya ve zemin koşulları, arazi kullanımı ve nüfus yoğunluğu,
- Kamulaştırma, yapım maliyeti ve bütçe,
- Kesişen kollar üzerindeki mevcut veya planlanan kavşak tipleri ile uyum,
- Kamu beklentileri veya belirli grupların baskıları,
- Aciliyet, kademeli inşaat, çevre uyumu, estetik vb. zorunluluklar,
- Fayda/maliyet, geri kazanım süresi, iç karlılık oranı v.b. göstergeler,
- Konfor, zaman kazancı, kazaların azalması, vb. girdiler

gibi hususların detaylı olarak etüt edilmesi gerekir(Tunç, 2003).

Farklı düzeyli kavşaklarda, taşıt trafiğinin kavşaktan kesişmeden rahatça geçmesinin temin edilmesinin yanısıra yaya trafiğinin de iyice etüt edilerek emniyete alınması ve yeteri kadar park yerlerinin ayrılması, kavşak planlamasında önemli diğer hususlardandır (Kutlu,1993).

3.2. Trafik Sinyalizasyonu

Trafik akımlarının kontrol altına alınması, sürücü ve yayalara gerekli bilgilerin verilmesi, ikazların yapılması için diğer trafik işaretleri ile birlikte kullanılan ve genel olarak elektrik ve çeşitli renkli ışıklar ile çalışan trafik işaretlerine "ışıklı işaret" veya "sinyal" denilmektedir (Kutlu, 1993).

Bir sinyalize kavşağın başarılı olabilmesi için şu 3 koşula uyulmalıdır:

- Kavşağın adalarla düzenlenmesi (tasarlanması), trafik akımlarına uygun olarak yapılmış olmalıdır.
- Doğru sinyal düzeni (faz diyagramları) hazırlanmalıdır.
- Doğru devre süresi (akım hacimlerine uygun) hesaplanmalıdır.

Bunlara ek olarak, gün boyu daha iyi sonuçlar elde edebilmek için akımlardaki değişimlere duyarlı bir donanım kurularak devre sürelerinin gün içindeki akım değişimlerine uyumlu duruma getirilmesi başarı oranını artıracaktır. Burada belirtilmesi gereken çok önemli bir nokta uygun devre düzeni kurmak ve en iyi (taşıt başına ortalama gecikmeyi en az yapacak) devre süresini uygulamaktır (Gedizlioğlu, 2004).

Sinyaller, yollar üzerinde ve özellikle kavşaklarda düzenli ve güvenli bir akım sağlamak için kullanılan trafik kontrol gereçleridir. İlk olarak 1868 yılında Londra'da el ile yönetilen semaforlar biçiminde kullanılan trafik sinyalleri, gece görünümlerini sağlamak amacı ile gaz lambaları ile aydınlatılmıştır. Kırmızı ve yeşil ışıklı ilk sinyalizasyon tesisi 1914 yılında A.B.D.'nde Cleveland'da kurulmuş, 1920 yılında Detroit'te sarı ışıklar da kullanılmıştır (Ayfer, 1977).

1920'li yılların sonlarında, elektrikle çalışan sinyaller (kırmızı, sarı ve yeşil ışıklı) temel kavşak kontrol cihazı olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1.Dünya savaşından sonra, büyük üreticilerin trafik sinyal işine girmesi ve ulaşım projelerinin öncelik kazanmasıyla sinyal standartları gelişmiştir. 1920'lerden sonra, büyük teknolojik gelişmeler neticesinde günün farklı saatlerinde birden fazla devre süresine göre zamanlamaları ayarlanan sinyal kontrolleri geliştirilmiştir (Yauch, 1997).

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

- Kesişen akımlardan veya geometrik özelliklerden dolayı oluşan gecikmeleri, sıkışmaları ve tıkanıklıkları önlemek,
- Taşıtların diğer taşıtlarla veya yaya akımları ile kesiştikleri noktalarda güvenli bir geçiş düzeni sağlamak ve kaza ihtimalini azaltmak,

- Taşıt ve yaya yoğunluklarını göz önünde tutarak, akım yönlerine geçiş hakkı veya önceliği verirken uyumlu bir zaman dağıtımı yapmak,
- Yüklü trafik yoğunluğu olan bir yol üzerindeki taşıtları zaman zaman durdurarak tali yollardaki trafiğe ve yayalara da geçiş olanağı sağlamak.

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

- Sürücü ve yayaların dikkati çekilmelidir.
- Basit ve kesin anlamları olmalıdır.
- Sürücü ve yayaların saygı göstermeleri ve uymaları sağlanmalıdır.
- Özellikle sürücülere intikal ve reaksiyon için yeterli zaman tanınmalıdır.

3.2.1. Sinyalizasyon sistemleri

Sinyalizasyon sistemleri, "izole" ve "koordine" sinyalizasyon sistemleri olmak üzere iki sınıfta incelenir.

3.2.1.1. İzole sistemler

İzole bir sinyalizasyon sistemi, yakınındaki diğer kavşaklarda kurulmuş bulunan başka sinyalizasyon sistemleri ile herhangi bir bağıntısı olmayan ve diğer sinyalize tesislerin etkilemediği sistemdir. İzole sinyalizasyon sistemi dört değişik biçimde gerçekleştirilebilir:

- Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi
- Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi
- Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi
- El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi

Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi: Bu sistemde sinyalize tesise değişik yönlerden yaklaşan taşıt ve yaya trafiğine, önceden hazırlanmış zaman programlarına uygun olarak sıra ile geçiş hakkı verilir. Trafiğe verilecek geçiş hakkı süreleri (yeşil süreler) ve bu sürelerin birbirlerine olan oranları, ortalama trafik yükü değerlerine göre

belirlenir. Dolayısıyla, bu sistemin başarılı olabilmesi için mümkün mertebe çok sayıda ve dikkatli trafik sayımlarının yapılması gerekir.

Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi: Bu sistemde taşıtların geçiş hakkı sıra ve süreleri, uyarıcılar (detektörler) tarafından saptanan trafik talep ve yoğunluklarına göre düzenlenir. 2 farklı şekilde uygulanması mümkündür.

Bu uygulamalardan birincisi olan "yarı–trafik uyarmalı sistemde", kavşak yaklaşım kollarının bazılarından uyarı kabul edilir. Genellikle "ana yol" niteliğinde olan yol üzerindeki akım yönlerine sürekli olarak yeşil ışıklı sinyal verilir ve tali yol veya yolların herhangi birinden geçiş talebi uyarısı alınmadıkça cephe gruplarının ışıklı sinyallerinde bir değişiklik olmaz. Uygulamalardan diğeri olan "tam–trafik uyarmalı sistemde" ise, kavşak yaklaşım kollarının hepsinden sürekli olarak uyarı alınır ve geçiş hakkı sıra ve süreleri uyarı alınan yaklaşım kollarındaki trafik yoğunluklarına göre değiştirilerek otomatik olarak düzenlenir.

Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi: Sinyalizasyon tesisleri genellikle kavşaklarda, bazı bağlantı yollarının giriş çıkışlarında ve kavşak olmayan yaya geçitlerinde kurulur. Yaya akımının az olduğu yer ve saatlerde, taşıtlara verilen sürekli geçiş hakkı yayaların butonlara basmaları ile kesilir.

Yaya uyarmaları kavşaklarda da kullanılabilir. Bu uyarılar yarı veya tam–trafik uyarmalı olarak düzenlenmiş bir sistemin kapsamına alınabildiği gibi, sabit zamanlı olarak çalışan kavşaklarda da yararlı olabilir.

El İle Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi: Herhangi bir kavşaktaki bütün ışıklı cephe grupları bir kumanda tablosuna bağlanarak ışıklı sinyallerin dışarıdan yönetilmesi sağlanabilir. Bu sistem, özellikle sabit zamanlı olarak tesis edilmiş fakat bazı zamanlardaki trafik akımlarının ortalama değerlerden büyük sapmalar ve sık dalgalanmalar gösterdiği kavşaklarda kullanılır.

3.2.1.2. Koordine sistemler

Ana yolların birbirine çok yakın iki veya daha fazla sayıdaki kavşaklarında, gecikmeleri azaltmak ve sık sık duruş–kalkışları gidermek amacıyla, kavşaklardaki sinyalizasyon tesislerinin birbirine bağlanması (koordine edilmesi) öngörülür. Koordine sistemler genellikle ana yol üzerindeki kavşaklardan, tali yol trafiğine de yeterli geçiş hakkı tanıyarak, birim zaman içinde mümkün olan en yüksek sayıda taşıtın durmadan

geçirilmesi için düzenlenirler. İzole sinyalizasyon sisteminde olduğu gibi, koordine sinyalizasyon sistemi de dört değişik biçimde gerçekleştirilebilir:

- Senkronize Sistem
- Alternatif Sistem
- Progresif Sistem
- Arazi Trafik Kontrol Sistemi

Senkronize Sistem**:** Bu sistemde, birbirine bağlanan bütün kavşaklarda ana yol üzerindeki taşıt cepheleri aynı zamanda aynı ışıklı sinyalleri verirler (Ayfer, 1977).

Genel olarak tavsiye edilmeyen bir sistemdir. Trafiğe uyması güçtür. Kapasiteyi azaltır ve devamlı akıma engel olarak trafiği durdurabilir. Hızların artmasına sebebiyet verir. Yetersiz zaman ayarları ile her kavşağa uymayabilir, karışıklık olur. Tali yollardan çıkarak dönüş yapacak taşıtlar güçlük içinde kalırlar. Bütün kavşakların sinyalli, kavşaklar arasının kısa olması ve ana yola daha fazla yeşil bırakılması gereken durumlarda kullanılabilirler (Kutlu, 1993).

Alternatif Sistem: Bu sistemde bir ana yol boyunca birbirini izleyen kavşaklarda arka arkaya zıt ışıklı sinyaller verilir. Alternatif sistemin amacı, taşıtların iki kavşak arasındaki uzaklığı ışıklı sinyallerin bir devresinin yarısı kadar zamanda almalarını sağlamaktır. Böylece taşıtlar, ana yol boyunca belirli bir hızda seyredebilecektir. Bu sistemin başarıyla uygulanabilmesi için kavşak aralıklarının belirli uzaklıklar arasında olması ve birbirini izleyen kavşaklar arasındaki uzaklıkların çok farklı olmaması gerekmektedir. Kavşaklar arasındaki uzaklıkların alt ve üst limitleri sinyal devresindeki yeşil ve kırmızı süreler ile taşıtlar için öngörülen ortalama seyir hızına bağlıdır.

Progresif Sistem: Bu sistemde, ana yol üzerindeki bütün kavşaklarda ışıklı sinyallerin devre süreleri aynıdır. Ayrıca gerekli yeşil süreler, proje hızına uygun olarak seyreden bir taşıtın bütün kavşaklardan takılmadan geçebileceği biçimde ayarlanmıştır. Bu sistemlerde özellikle belirli hız limitleri dışına çıkmadan seyreden taşıtların birbiri ardınca her kavşakta durmadan geçiş hakkı elde edebilmeleri için, zaman–uzaklık diyagramı üzerinde içinde bulunmaları gereken bir alan vardır. Bu alana "yeşil dalga" denir. Yeşil dalga içinde seyreden bir taşıt her kavşakta kesinlikle yeşil ışıklı sinyal bulacaktır (Ayfer, 1977).

"Basit" ve "fleksibil" progresif sistem olmak üzere iki farklı şekilde uygulanır. Basit progresif sistem, her iki yön trafiği için uygun bir sistemdir fakat bu sistemde gün içinde trafik şartlarına göre zaman ayarlarını değiştirmek imkansızdır. Yani, ışık süreleri

her kavşakta başka olmakla birlikte aynı kavşak için bütün gün aynıdır. Bu yüzden, trafik akımlarının dengeli olduğu bazı şartlar ve saatlerde uygun olarak kullanılabilir.

Fleksibil progresif sistemde ise, otomatik olarak devre süreleri ve ışık süreleri her kavşakta ve günün muhtelif saatlerinde değişik olabilir. Devre ve ışıkların süreleri maksimum fayda sağlayacak şekilde trafik şartlarına göre değişebilir (Kutlu, 1993).

Arazi Trafik Kontrol Sistemi: Yukarıda özetlenen 3 farklı koordinasyon sistemi, aynı doğrultu üzerinde yer alan birkaç kavşak arasında gecikmeleri azaltmak veya en uygun olacak bir işletme biçimini gerçekleştirmek amacı ile bir yeşil dalga tesis etmek için kullanılır. Ancak birçok farklı doğrultu üzerindeki trafik akımları için aynı ilkenin uygulanması söz konusu olduğunda, kavşaktaki kesişmeler nedeniyle basit bir koordinasyon sistemi kurularak çözüme ulaşılması mümkün değildir. Bunun için, sinyalizasyon tesislerinin tümü arasında genel olarak gecikmelerin minimuma indirilmesini sağlamak üzere en uygun sinyallerin verilmesini düzenleyen ve bilgisayarlar kullanılarak yürütülen sistemler uygulanır. Bu sistemlere "arazi trafik kontrolü" denir. Bu sistem, özellikle büyük kentlerin ana arterlerinden oluşan yol şebekelerinde uygulanır ve üç etapta gerçekleştirilir:

a) Sistemin kurulduğu çevrede sürekli olarak trafik özelliklerine ilişkin bilgilerin uyarıcılar aracılığı ile toplanması ve bunların merkez kontrol ünitesine iletilmesi,

b) Elde edilen verilere göre önceden hazırlanmış sinyal programları arasından en uygun olanının bilgisayar aracılığı ile seçilmesi,

c) Seçilen program veya programların tüm kavşaklarda ve geçitlerde kurulu sinyalizasyon tesislerine iletilerek kontrol cihazlarının otomatik olarak istenen programı uygulamalarının sağlanmasıdır (Ayfer, 1977).

3.2.2. Sinyalizasyon gerekliliği ve sistem seçimi

Sinyalli tesislerin projelendirilmesini standartlaştırmak uygulanabilir değildir. Fakat bütünlük sağlamak için, tasarım işlemleri ve sinyalizasyonun işletim özelliklerini standartlaştırmak önemlidir. Temel olarak sinyalizasyon, kavşak geometrisi, hacim, trafik akımlarının yönetilmesi ve güvenli işletme esaslarına bağlıdır.

Aşağıdaki koşullardan herhangi biri bir kavşakta gerçekleşiyorsa, sinyalizasyon tesisinin kurulumu düşünülebilir:

- Bir günde ortalama dört saatlik dönemlerin her biri için, ana yolda her iki yöndeki trafik hacmi “600 araç/saat” ve tali yoldaki en yüksek trafik hacmi “200 araç/saat” değerini aştığı durumlarda,
- Bir günde ortalama dört saatlik dönemlerin her biri için, ana yolda her iki yöndeki trafik hacmi “900 araç/saat” ve tali yoldaki en yüksek trafik hacmi “100 araç/saat” değerini aştığı ve ana yoldaki araçların hızından veya tali yoldaki araçlar için sınırlı görüş mesafesinden dolayı, tali yoldaki araçların ana yol trafiğine kolaylıkla katılamadığı ve gecikmeler ile tehlikelerin olduğu durumlarda,
- Bir günde ortalama dört saatlik dönemlerin her biri için, ana yolda her iki yöndeki trafik hacmi “600 araç/saat” veya ana yolda yayaların durmasına elverişli refüj genişliği bulunan bir yol ise, her iki yöndeki trafik hacmi “1000 araç/saat” ve saatte karşıdan karşıya geçen yaya sayısı da 150 değerini aştığında; yüksek hızlı ana yollarda da, araçların % 85 oranla “75 km/saat” hız değerini aştığı ve orta refüj ile saatte 750 yayanın geçtiği, refüj olmadan ise 450 yayanın geçebildiği durumlarda,
- Sinyalize tesis kurulduğu takdirde, üç yıl boyunca yılda önlenebilecek tipteki trafik kaza sayısının ortalama 3 veya daha fazla olduğu ve ilk iki madde’deki trafik hacim değerlerinin en az %80’inin olduğu durumlarda,
- Yukarıdaki koşullardan hiçbirinin tek başına gerçekleşmemesi fakat herhangi iki koşuldaki değerlerin %80'inin aynı anda gerçekleşmesi durumlarda sinyalizasyon tesisi kurulabilir (Anonymous, 2003).

Sinyalizasyon tesisi kurulmasına karar verildikten sonra, sistem seçiminde de gelişigüzel değil, belirli kriterlere uyularak hareket edilmelidir. Eğer birkaç kavşak sinyalize edilecekse, kavşakların genel geometrik durumlarına göre tesislerin izole veya koordine seçilmesine karar verilmelidir. Uyarmalı veya sabit zamanlı sistem seçiminde kesişen trafik yükleri göz önünde tutulmalıdır. Koordine kavşakların bağlantı sisteminde, taşıt yoğunlukları ve akım hızları ile birlikte koordinasyonun amacı esas alınmalıdır. Kurulacak sinyalizasyon tesisinin esas amacı; kavşakta gecikmeleri azaltmak ve kazaları önlemektir.

Bir kavşakta kurulacak olan sinyalizasyon sisteminin öncelikle sabit zamanlı olması düşünülür ve bundan sonra trafik akım özelliklerine göre kavşağın yarı veya tam trafik uyarmalı olarak işletilmesine karar verilir (Ayfer, 1977).

Trafik uyarmalı sistemlerin faydaları şu şekilde sıralanabilir: (Kutlu, 1993)

- ✓ Gecikme ve beklemeleri azaltırlar.
- ✓ Kısa süreyle değişmeler gösteren trafik akımlarına kolayca uyarlar.
- ✓ Kapasiteyi artırırlar.
- ✓ Çok fazlı kavşaklarda bilhassa etkili olurlar.

İfade edilen faydalarıyla birlikte bazı sakıncaları da vardır: (Kutlu, 1993)

- ❖ Bu sistemler, sabit zamanlı olanlardan 2–5 misli daha pahalıdır.
- ❖ Trafik uyarmalı kontrolör ve detektörler çok daha karışıktırlar. Sabit zamanlılara göre bakım ve kontrol masrafları da fazladır.
- ❖ Detektörlerin tesisi masraflı olur ve karlı bölgelerde güçlük çıkarabilir.

Kavşaklar arasında bir koordinasyon düşünülüyorsa önce her kavşak izole olarak projelendirilir ve sonra geometrik özelliklere göre koordinasyon kurulur. Koordinasyon kurulurken bir kavşak diğerlerine oranla daha önemli ise, bu kavşak anahtar kavşak olarak kabul edilir ve diğer kavşaklardaki uygulamalar anahtar kavşağa göre ayarlanır. İki kavşağın sinyalize edilirken aralarında bir koordinasyon kurulabilmesi için, kavşakların birinde kırmızı ışıklı sinyalde bekledikten sonra geçiş hakkı elde ederek diğer kavşağa doğru yaklaşan taşıtların dalga hareketlerinin bozulmaması, yani iki kavşak arasındaki trafik akımının gelişigüzel dağılmış değil gruplar halinde olması gereklidir. İki kavşak arasındaki uzaklık 750 m. den az ise, dalga hareketleri bozulmayacağından bu kavşaklar arasında bir koordinasyon kurulabilir (Ayfer,1977).

Bunların yanısıra, sinyalizasyon uygulanacak kavşağın tasarımı ile ilgili bazı verilere ihtiyaç vardır. Bu veriler, sinyalize kavşağın geometrik düzen yeterliliğini, uygulanan sinyalizasyon sisteminin uygunluğunu ve sinyal fazları ve zamanlarının yeterliliğini değerlendirmek için kullanılır. Bu veriler doğru ve güncel olmalıdır. Gerekli bu veriler 4 ana kategoriye ayrılabilir. Bunlar:

- ➢ Kavşağın geometrik düzeni,
- ➢ Trafik verileri,
- ➢ Kaza verileri
- ➢ Geleceğe ilişkin planlama bilgileri ve gelişmelerdir (Anonymous, 2003).

3.3. Sinyalizasyon Analiz Yöntemleri

Sinyalizasyon hesap yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan yöntemler:

- ✓ Avustralya Yöntemi
- ✓ Amerikan (HCM) Yöntemi

- ✓ İngiliz (Webster) Yöntemi'dir.

Bu tez çalışmasında, incelenen kavşakların "Sidra Intersection" bilgisayar programıyla analizleri yapılmıştır. Bu konu başlığı altında, bilgisayar programının dayandığı yöntemler ele alınmıştır. Bunun için yukarıda ifade edilen, "Avustralya" ve "Amerikan (HCM)" yöntemleri üzerinde durulmuştur. Yöntemlere göre kapasite, gecikme gibi performans ölçüm değerleri, devre süresi ve faz süreleri gibi sinyalizasyonla ilgili bilgilerin nasıl belirlendiği ve ilgili formüllerle hesapların nasıl yapıldığı anlatılmaya çalışılmıştır.

3.3.1. Avustralya yöntemi ile sinyalizasyon hesapları

Avustralya yöntemi ile sinyalize kavşaklardaki trafiğin kapasite ve zaman gerekleri analiz edilmektedir. Bu yöntem, daha önce "Miller (1968), Webster ve Cobbe (1966)" tarafından yayınlanan sinyal tasarım uygulamalarının temel çerçevesini takip etmektedir. Fakat daha önceki geleneksel tekniklerde bazı değişiklikler yapılarak, yöntemde "faz-ilişkili" metot yerine "akım-ilişkili" metot kullanılmaktadır. Bu yapılan değişikliklerin önemli bir özelliği, faz kayıp zamanı yerine akım kayıp zamanının kullanılmasıdır. Böylece kavşak kayıp zamanı, faz kayıp zamanlarının toplamı yerine akım kayıp zamanlarının toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bu yapılan değişikliklerle, akım ve sinyal fazlarının özellikleri arasındaki ilişkilerin anlaşılması daha da kolaylaşmaktadır.

Ayrıca bu yöntemde, akımlar ve fazların temel içerikleri tanıtılarak; doygun akım, etkin yeşil süre, kayıp zaman, akım oranı ve doygunluk derecesi gibi akım ve kavşak parametreleri tanımlanmıştır. Sinyalize kavşakların kapasite analizinde en önemli parametre olan doygun akımların tahmininde çevre sınıfı, şerit tipi ve dönüş tipi kavramları yeni bir bakış açısıyla tanımlanmıştır. Bu yöntemde trafik sinyalizasyonu için performans ölçümleri; araçlar ve yayalar için kuyruk uzunluğu, durma sayıları ve gecikme tahminlerini içerir. Ayrıca arzu edilen işletim koşulları için devre süresi ve yeşil süreler hesaplanmaktadır. Avustralya yöntemine dayanan bilgisayar programları da mevcuttur. "Sidra Intersection" bilgisayar programı, bu yönteme dayanan ve gelişmeler neticesinde yeniden düzenlenen bir programdır (Akçelik, 1998).

3.3.1.1. Akımlar, fazlar ve sinyal devresi

Sinyal fazı, sinyalize bir kavşağın etkin işletimi ve güvenliğinin belirlendiği temel kontrol mekanizmasıdır. Sinyalizasyon teknolojisinde son gelişmeler, oldukça esnek aynı zamanda çok karmaşık sinyal fazlarının seçilmesini sağlamaktadır. Bu yüzden, trafik akımları ve sinyal fazlarının birbiriyle olan ilişkilerini anlamak oldukça önemlidir.

Sinyalize kavşaklarda kavşağa gelen her bir ayrı kuyruk olarak ifade edilen trafik akımları; yönleri, şerit işgalleri ve faz durumları ile karakterize edilir. Her bir trafik akımının geçiş hakkı, sinyal faz sistemi ile belirlenir. Sinyal fazı, bir veya daha fazla trafik akımının geçiş hakkı aldığı sinyal süresinin bir aşamasıdır. Bir sinyal fazının başlamasıyla, en az bir trafik akımı geçiş hakkı elde etmektedir. Sinyal fazının bitmesiyle de, en az bir trafik akımının geçiş hakkı sona ermekte ve bir diğer trafik akımı geçiş hakkı elde etmektedir. Sinyal faz sistemi "faz–akım matrisi" ile tanımlanabilir. Çizelge 3.2.'de görüleceği gibi, faz–akım matrisi her bir trafik akımının hangi fazla başlayıp hangi fazla bittiğini ifade eder (Akçelik, 1998).

Çizelge 3.2. Faz–Akım Matrisi (Akçelik, 1998)

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

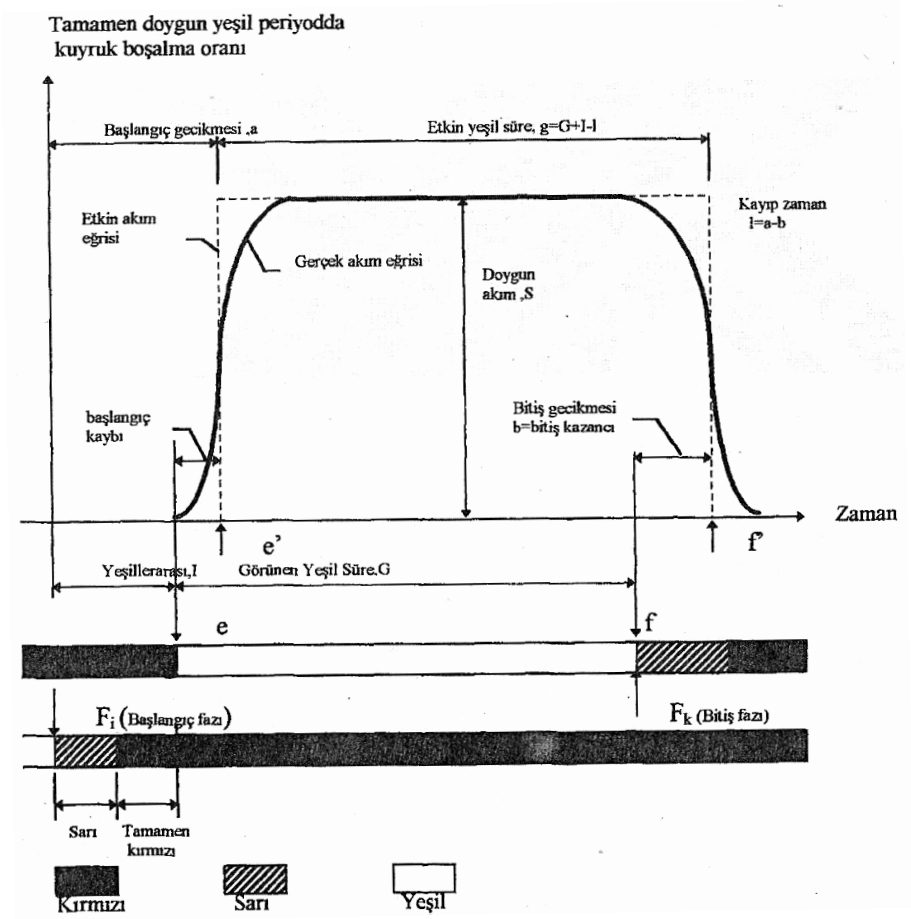
Sinyalize bir kavşakta, birbirini takip eden bir dizi sinyal fazının tamamlanması ile sinyal devresi oluşur. Sinyal devresinde, bir fazdaki yeşil sürenin bitişi ile bu fazı takip eden fazdaki yeşil sürenin başlangıcı arasındaki süre "yeşiller arası süre" olarak adlandırılır ve "I" ile gösterilir. Böylece tüm fazların yeşiller arası ve yeşil sürelerin toplamı devre süresini oluşturmaktadır. Devre süresi "C" ile yeşil süre de "G" ile gösterilir. Buna göre devre süresi şu şekilde ifade edilebilir:

$$C = \sum(I + G) \tag{3.1}$$

Ayrıca sinyal devresinde, kavşaktaki tüm trafik akımları ve fazlar için aynı anda kırmızı sinyalin yandığı "ortak (tamamen) kırmızı süre" vardır (Akçelik, 1998).

3.3.1.2. Akım özellikleri

Temel akım özellikleri, doygun akım, etkin yeşil süre ve kayıp zaman olarak tanımlanmaktadır. Sinyal faz düzenlemesi ile ilişkili olan temel akım özellikleri, Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Şekil 3.6'da ifade edilen bu temel model, "Clayton 1940-41; Wardrop 1952; Webster 1958; Webster and Cobbe 1966; Miller 1968; Allsop and Murchland 1978" tarafından geleneksel olarak kullanılmaktadır (Akçelik, 1998).



Şekil 3.6. Temel akım özellikleri ve tanımlamalar (Murat, 1996)

Temel modele göre, kavşakta yaklaşım kolunda bekleyen taşıtlar yeşil ışık yandığı zaman hızla harekete geçerler ve sabit bir oranda kavşağı terk ederler. Bu sabit orana "doygun akım" denir. Yeşil ışık yanmasıyla harekete geçen taşıtların hareketi başlangıçta yavaştır ve taşıtlar sabit bir oranda harekete geçinceye kadar birkaç saniye süre kaybı oluşmaktadır. Bu kayıp süre, başlangıç kaybı olarak ifade edilmektedir. Şekil 3.6'da başlangıç kaybı, görünen yeşil süre ile etkin yeşil sürenin başlangıç noktaları arasındaki mesafe ($|ee'|$) olarak gösterilmektedir. Benzer şekilde, doygun akıma ulaşıldıktan ve yeşil süre sona erdikten sonra kavşakta yeşiller arası sürede hareket eden taşıtlar bulunmaktadır. Bu durum, kavşakta yeşil yanan akım koluna belli bir süre

kazandırmaktadır. Bu süre, bitiş kazancı olarak ifade edilmektedir. Şekil 3.6'da bitiş kazancı, görünen yeşil süre ile etkin yeşil sürenin bitiş noktaları arasındaki mesafe (| ff' |) olarak gösterilmektedir. Böylece kavşakta yeşil yanan trafik akımı için etkin yeşil süre (g); görünen yeşil süreye (G) bitiş kazancının (| ff' |) eklenip, başlangıç kaybının (| ee' |) çıkarılmasıyla elde edilir ve şu şekilde ifade edilir (Akçelik, 1998):

$$g = G - |ee'| + |ff'| \tag{3.2}$$

Yukarıdaki ifadelerden yola çıkarak benzer şekilde akım kayıp zamanı (l); yeşiller arası süreye (I) başlangıç kaybının (| ee' |) eklenip, bitiş kazancının (| ff' |) çıkarılmasıyla elde edilir ve şu şekilde ifade edilir:

$$l = I + |ee'| - |ff'| \tag{3.3}$$

Yukarıdaki denklemde "(I + | ee' |)" ifadesi, yeşil yanan trafik akımı için başlangıç gecikmesidir ve "a" ile gösterilir. Bitiş kazancı da "b" ile gösterilirse, denklem şu şekilde düzenlenebilir (Akçelik, 1998):

$$l = a - b \tag{3.4}$$

Denklem (3.2) ile denklem (3.3) toplanırsa aşağıdaki ifade elde edilir:

$$g + l = G + I \tag{3.5}$$

Yukarıdaki denklemde "G + I", bir sinyal devresinde "F_i" ve "F_k" olan ve birbirini takip eden sinyal fazları arasındaki süreyi ifade etmektedir (Şekil 3.6). Başka bir deyişle bu süre (G + I), yeşil yanan trafik akımı için sinyal faz süresidir. Kavşaktaki her bir trafik akımı için sinyal faz sürelerinin toplamının devre süresini vereceğini daha önce belirtmiştik (Denklem (3.1)). Buradan hareketle kavşaktaki her bir trafik akımının etkin yeşil süresi (g) ile akım kayıp zamanının (l) toplanmasıyla, devre süresinin bulunabileceği yukarıda denklemde (3.5) görülmektedir. Yani, "G + I" faz yeşil ve yeşiller arası süreler cinsinden; "g + l" ise akım parametreleri cinsinden devre süresi ifadesidir. Böylece devre süresi şu şekilde ifade edilir:

$$C = \sum(I + G) = \sum(g + l) \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklemde de anlaşılacağı gibi, faz sürelerini referans almadan gerekli devre süresini belirlemek mümkündür. Eğer kritik akımlar bulunabilirse, devre süresi belirlenebilir. Kavşak kapasite ve zaman gereksinimlerini belirleyen akımlar, kritik akımlardır. Eğer her bir kritik akıma kapasite gereksinimlerini karşılamak için yeterli zaman verilirse, tüm akımlar yeterli kapasiteye sahip olur (Akçelik, 1998).

3.3.1.3. Kapasite ve doygunluk derecesi

Trafik sinyalinde bir akımının kapasitesi (Q), o akımın etkin yeşil süresinin devre süresine oranına (g/c) ve yeşil süre boyunca araçların hareket edebileceği en yüksek oran olan doygun akıma (s) bağlıdır. Kapasite şu şekilde ifade edilir:

$$Q = S * \frac{g}{C} \quad (3.7)$$

Yukarıdaki denklemde ifade edilen (g/c), etkin yeşil sürenin devre süresine oranıdır ve hareket eden trafik akımı için yeşil zaman oranıdır. Şu şekilde ifade edilir:

$$u = \frac{g}{C} \quad (3.8)$$

Yararlı olan bir diğer akım parametresi de, varış akımının (hacmin) doygun akıma oranıdır ve akım oranı olarak adlandırılır. Şu şekilde ifade edilir (Akçelik, 1998):

$$y = \frac{q}{s} \quad (3.9)$$

Bir akımın doygunluk derecesi (x), hacmin kapasiteye oranıdır. Aşağıdaki denklem (3.10)'da da görüleceği gibi; doygunluk derecesi, yukarıdaki denklemlerde (3.8 ve 3.9) ifade edilen yeşil zaman oranı ve akım oranı olmak üzere iki parametreye bağlıdır. Akım oranı 'talebi' temsil eden sabit bir parametre, yeşil zaman oranı da 'arzı' temsil eden kontrol parametresi olarak düşünülebilir. Buna göre, doygunluk derecesi (x) şu şekilde ifade edilir:

$$x = \frac{q}{Q} = \frac{q*C}{S*g} = \frac{y}{u} \quad (3.10)$$

Yeterli akım kapasitesini sağlamak için, " Q > q (x<1) " olmalıdır. Diğer bir ifadeyle, " s*g > q*c (u > y) " olmalıdır. Akım kapasitesi, yeşil zaman oranı arttıkça (doygunluk derecesi azaldıkça) artmaktadır (Akçelik, 1998).

Kavşaktaki tüm trafik akımlarının taleplerini karşılamak için yeterli olabilecek kapasite, kavşak kapasite koşuludur. Bundan dolayı kavşak için, tüm kritik akımların toplanması ile elde edilen " ∑u > ∑y " koşulu sağlanmalıdır. Bu ifadede, " U = ∑u " kavşak yeşil zaman oranı; " Y = ∑y " ise kavşak akım oranı olarak tanımlanmaktadır. Kavşak yeşil zaman oranı, devre süresi içindeki tüm etkin yeşil sürelerin toplamının devre süresine oranıdır ve şu şekilde ifade edilir:

$$U = \frac{C-L}{C} = \frac{\sum g}{C} \quad (3.11)$$

(L: Kavşak kayıp zamanı)

Kavşak doygunluk derecesi (X), kavşaktaki tüm trafik akımlarının doygunluk derecelerinin en büyük olanıdır. Pratikte, kabul edilebilir maksimum doygunluk derecesi 1.0'den küçük olmalıdır. Çünkü kavşakta aşırı gecikmeler, durmalar ve kuyruk uzunlukları nedeniyle, trafik durumları stabil değildir. Bu yüzden, pratik doygunluk derecesi (x_p) tanımlanmıştır. Gecikme, durma sayısı ve kuyruk uzunluğu gibi işletme özellikleri üzerinde yapılan çeşitli çalışmalar, tatminkar işletme koşulları açısından pratik doygunluk derecesinin 0.8–0.9 değerleri arasında olduğunu göstermiştir. Pratik doygunluk derecesinin 0.95 olması, istenmeyen işletme koşullarına sebep olmaktadır. Buna rağmen, bu değer (0.95) işletme koşulları açışından pratik sınır olarak da kullanılabilir (Akçelik, 1998).

3.3.1.4. Devre süresi hesabı

Avustralya yöntemi ile devre süresi hesabı aşağıda verilen adımları içermektedir. İlk 4 adım kritik akımların belirlenmesini, sonraki 6 adım da kapasite ve zamanların hesaplanmasını içermektedir. Son üç adım, hesaplanan devre süresinin kullanılmasında çeşitli kontrollerden oluşmaktadır. Bu adımlar şu şekilde sıralanabilir:

1) Gerekli akım zamanı (t) belirlenir.
2) Kritik akım arama diyagramı hazırlanır.

3) Tekrarlı olmayan akımlar için temsili akımlar belirlenir.
4) Tekrarlı akımlar için mümkün olan her bir akım kombinasyonu için toplam gerekli akım zamanı (T) hesaplanır ve en büyük (T) değerini veren kritik akım seçilir.
5) Kritik akım parametrelerine (l,y,u) göre kavşak kayıp zamanı (L), akım oranı (U) ve yeşil zaman oranı (Y) hesaplanır.
6) Pratik (C_p) ve yaklaşık optimum devre süreleri (C_o) hesaplanır.
7) C_p ve C_o değerleri arasında devre süresi seçilir ($C \leq C_{max}$).
8) Seçilen devre süresi için kritik akımların geçerliliği kontrol edilir.
9) Yeşil süreler hesaplanır.
10) Akım doygunluk derecesi (x) hesaplanır ve tüm akımlar için $x \leq x_p$ kontrol edilir.

Adım 1: Aşağıda verilen Çizelge 3.3 ve 3.4 doldurularak "t" belirlenir.

Çizelge 3.3. Kritik akım arama tablosu (Akçelik, 1998)

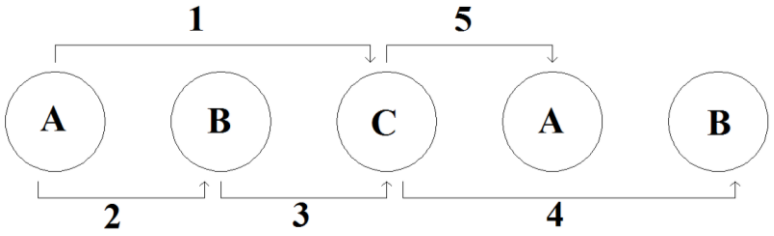
Akım	Başlangıç Fazı	Bitiş Fazı	Yeşiller arası Süre (I)	Minimum Görünen Yeşil Süre (G_m)	Hacim (q)	Doygun Akım (s)	Kayıp Zaman (l)	Minimum Etkin Yeşil Süre (g_m)	Pratik Doygunluk Derecesi (x_p)

Çizelge 3.4. Gerekli akım zamanının (t) hesaplanması (Akçelik, 1998)

Akım	Akım Oranı (y = q / s)	Yeşil Zaman Oranı (u = y / x_p)	100 * u + l	$t_m = G_m + I$	**t** ("100 * u + l" ve "t_m" değerlerinden büyük olanı)

Yukarıda verilen Çizelge 3.3 ve 3.4'den de anlaşılacağı gibi, her bir trafik akımı için değerler doldurulur. Yaya akımları için, "y" ve "u" değerleri "0 (sıfır)" alınır. Gerekli olan akım zamanı "t" ise, "$t = t_m = G_m + I$" olarak kullanılır (Akçelik, 1998).

Adım 2: Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi kritik akım arama diyagramı çizilir.



Şekil 3.7. Kritik akım arama diyagramı (Akçelik, 1998)

Adım 3: Her faz içinde tekrarlı olmayan akımların "t" değerleri karşılaştırılır ve en büyük "t" değerine sahip akım seçilerek diğer akımlar elenir.

Adım 4: Benzer şekilde, aynı faz süresince geçiş hakkı alan tekrarlı akımların "t" değerleri karşılaştırılır ve en büyük "t" değerine sahip akım seçilerek diğer akımlar elenir. Ayrıca, kritik akım arama diyagramından bir devrenin tamamlanmasını sağlayan akım kombinasyonları belirlenir. Örneğin; Şekil 3.7'de görülen A–A döngüsünü veren "$T_{1,5}$" ve "$T_{2,3,5}$" değerleri ile B–B döngüsünü veren "$T_{3,4}$" değerleri bulunur ve gerekli akım değerlerinin toplamı olan en büyük "T" değeri belirlenir. Başka bir ifadeyle, kritik akım arama diyagramı (Şekil 3.7) üzerindeki en uzun yol belirlenir.

Adım 5: Belirlenen en büyük "T" değerine göre, kavşak parametreleri kayıp zaman (L), akım oranı (Y) ve yeşil zaman oranı (U) hesaplanır.

Adım 6: Belirlenen kavşak parametrelerine (L,Y,U) göre, optimum ve pratik devre süresi belirlenir. Optimum devre süresi (C_o) şu şekilde hesaplanır:

$$Co = \frac{(1.4+k)*L+6}{1-Y} \tag{3.12}$$

Yukarıdaki denklemde ifade edilen "k" değeri; yakıt tüketimini, maliyetleri, kirletici emisyonları v.b etkenleri en aza indirgeyen bir parametredir ve "stop penalty" olarak adlandırılır. Pratik devre süresi (C_p) ise, şu şekilde hesaplanır:

$$Cp = \frac{L}{1-U} \tag{3.13}$$

Adım 7: "C_p" ve "C_o" değerleri arasında maksimum devre süresini (120–150 sn) aşmayacak bir devre süresi seçilir (Akçelik, 1998).

Adım 8: Kritik akımların devre süresine bağlı olduğu durumlar olabilir. Bunun için, belirlenen devre süresine göre "u * c + l" ve "$t_m = G_m + I$" değerleri hesaplanarak yeni gerekli akım zamanı (t^l) hesaplanır ve kritik akım arama işlemlerinin (Adım 1–4) tekrar yapılmasıyla bir değişiklik olup olmadığı kontrol edilir (Akçelik, 1998).

Adım 9: Seçilen devre süresi için akım ve fazların yeşil süreleri hesaplanır. Bunun için önce kritik akımların yeşil süreleri, sonra kritik olmayan akımların yeşil süreleri hesaplanır ve en son da faz yeşil süreleri belirlenir. Kritik akımların etkin yeşil süresi aşağıda verilen formülle hesaplanır:

$$g = \left(\frac{C - L}{U} \right) * u \qquad (3.14)$$

Yukarıdaki denklemde ifade edilen "C" seçilen devre süresi, "L" kritik akımların toplam kayıp zamanı, "U" kavşak yeşil zaman oranı ve "u" ise akım yeşil zaman oranıdır. Bu formül, gerekli zamanı minimum yeşil süre olarak belirlenen akımlar için uygulanmaz. Bu akımlar için etkin yeşil süre (g), "g_m" olarak alınır.

Tekrarlı akımların olmadığı durumlarda, kritik olmayan akım yeşil sürelerinin belirlenmesi için kritik akım yeşil sürelerinin hesaplanması yeterlidir. Bu durumda kritik olmayan akımların etkin yeşil süresi, aynı fazda geçiş hakkı alan kritik akımın yeşil süresi (g_c) ve kayıp zamanı (l_c)'ye bağlı olarak aşağıda verilen formülle hesaplanır:

$$g = (gc + lc) - l \qquad (3.15)$$

Tekrarlı akımın kritik akım olduğu durumda, kritik akımın süresi bir alt devre süresi ($c^* = g_c + l_c$) olarak düşünülür ve tekrarlı olmayan akımların yeşil süreleri aşağıda verilen formülle hesaplanır:

$$g = \left(\frac{c* - L*}{U*} \right) * u \qquad (3.16)$$

Yukarıdaki denklemde ifade edilen "L^*" tekrarlı olmayan akımların toplam kayıp zamanı, "U^*" tekrarlı olmayan akımların toplam yeşil zaman oranıdır.

Adım 10: Son kontrol olan bu adımda, tüm akımların doygunluk dereceleri (x) hesaplanır ve "$x \leq x_p$" koşulunun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir (Akçelik, 1998).

3.3.1.5. Performans Ölçümleri

Sinyal kontrollü bir kavşağın etkin işletimi çeşitli performans ölçümleri ile ifade edilmektedir. Gecikme ve duran araç sayısı performans ölçümlerinin iki temel terimidir. Bunların yanısıra yakıt tüketimi, işletme maliyetleri ve kirletici emisyonlar da diğer performans ölçümleridir.

Bir aracın gecikmesi, kavşağı durmadan geçtiği seyahat süresi ile durarak geçtiği seyahat süresi arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Bu tanımlanan gecikme, hızlanma

ve yavaşlama gecikmesi ile araç kuyrukta beklerken oluşan gecikmeyi içermektedir. İzole sabit zamanlı sinyalize bir kavşakta herhangi bir trafik akımı için yaklaşık toplam gecikme aşağıda verilen formülle hesaplanır (Akçelik, 1998):

$$D = \frac{q*c*(1-u)^2}{2*(1-y)} + No * x \qquad (3.17)$$

Yukarıdaki denklemde;

D: Toplam gecikme (araç biriminden),

q*c: Her sinyal devresinde gelen ortalama araç sayısı (q: araç/saniye biriminden akımı, c: saniye biriminden devre süresini ifade etmektedir),

u: Yeşil zaman oranı (g/c),

y: Akım oranı (q/s),

N_o: Ortalama kuyruk uzunluğu (araç biriminden),

x: Doygunluk derecesidir (q/Q).

Her araç için ortalama gecikme ise, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$d = \frac{D}{q} \qquad (3.18)$$

Yukarıda denklem (3.17)'de ifade edilen parametrelerin nasıl elde edileceği bu bölümün daha önceki konularında anlatılmıştı. Bu parametrelerden olan ortalama kuyruk uzunluğu (N_o) ise aşağıda verilen formülle hesaplanır (Akçelik, 1998):

$$No = \frac{Q*Tf}{4} * [\, z + \sqrt{z^2 + \frac{12*(x-xo)}{Q*Tf}}\,] \qquad (3.19)$$

Yukarıdaki denklem, "$x > x_o$" koşulu için geçerlidir. Eğer "$x < x_o$" ise, "N_o" değeri "0 (sıfır)" olmaktadır. Denklemde;

N_o: Ortalama kuyruk uzunluğu (araçlar için birkaç şerit varsa, "N_o" değeri tüm şeritlerde kuyruklanan toplam araç sayısıdır),

Q: Kapasite (araç/saat biriminden),

T_f: Akım periyodu ("q" değerinin elde edildiği sürenin saat cinsinden ifadesi),

Q * T_f: Belirlenen "T_f" süresi boyunca geçebilecek maksimum araç sayısı,

x: Doygunluk derecesi (q/Q),

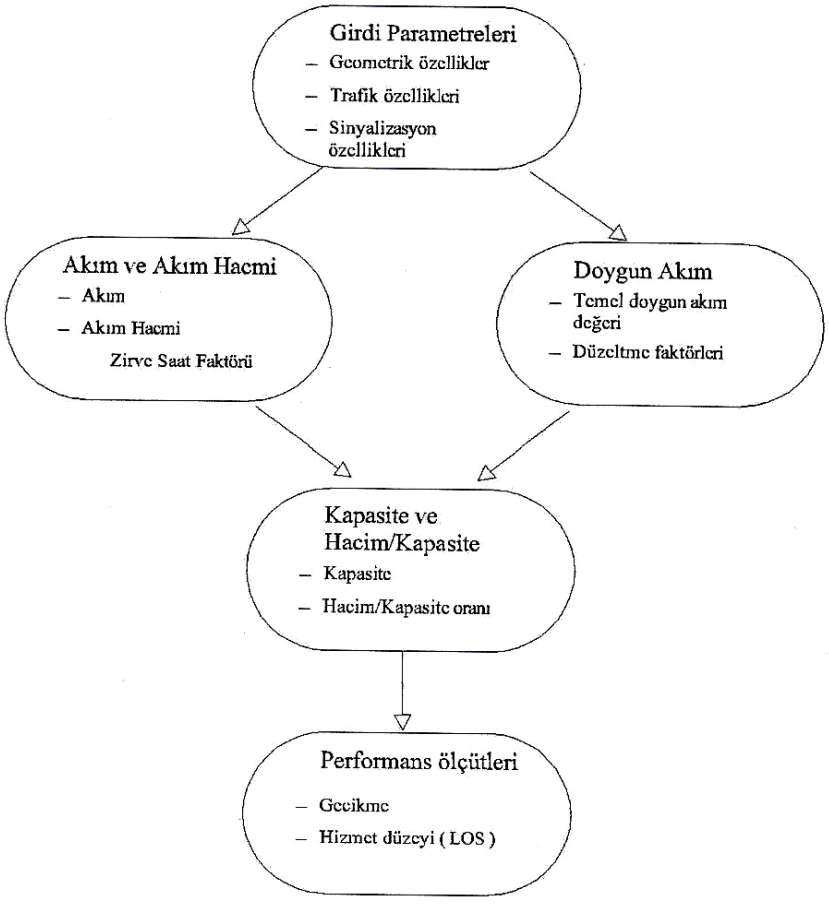
z: " x – 1 ",

x_o: Kuyruğun yaklaşık olarak "0 (sıfır)" olduğu doygunluk derecesidir ve şu şekilde ifade edilir:

$$x_o = 0.67 + \frac{S*g}{600} \quad (3.20)$$

3.3.2. Amerikan (HCM) yöntemi ile sinyalizasyon hesapları

HCM yöntemi; faz planlarının, şerit kullanımının ve sola dönüş seçeneklerinin kombinasyonları da dahil olmak üzere geniş bir işletme yapılandırma aralığını kapsar. Şekil 3.8'de yöntemin girdi ve çıktı parametreleri ile temel hesaplama adımları gösterilmektedir (Anonymous, 2000).



Şekil 3.8. Amerikan (HCM) yöntemi hesap adımları (Eraslan, 2008)

Bu yöntemde; sinyalize kavşakların kapasite ve hizmet düzeyi analizinde, trafik akımların miktarı ve dağılımı, trafik kompozisyonu, geometrik özellikler ve kavşak

sinyalizasyonunun detayları da dahil olmak üzere mevcut koşullar çok çeşitli olarak düşünülmektedir. Yöntem, bilinen veya öngörülen koşular için LOS'un (Level of Service: Hizmet Düzeyi) belirlenmesi üzerinde durmaktadır. Yöntem, şerit gruplarının ve kavşak yaklaşım kollarının kapasite, hizmet düzeyi ve diğer performans ölçümlerinin belirlenmesi ile bir bütün olarak kavşakların hizmet düzeyinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Kapasite, akım talep oranının (trafik hacminin) kapasiteye oranı (v/c); hizmet düzeyi ise, her bir araç için kontrol gecikmesi (sn/araç) olarak ifade edilmektedir. Kontrol gecikmesi, ilk yavaşlama gecikmesini, kuyruktaki hareket süresini, durma gecikmesini ve hızlanma gecikmesini içermektedir (Anonymous, 2000).

Sinyalize kavşaklar için kapasite analizi, bilinen veya öngörülen sinyalizasyon planlarına dayanmaktadır. Sinyalizasyon planlarının tahmininde kullanılan iki yol vardır. Birincisi, daha makul ve etkili sinyal zamanlama planının oluşmasını sağlayan yeşil sürelerin ve devre süresi uzunluğunun tahmininde kullanılan hızlı tahmin metodudur. Bu metot daha az veri gerektirir. İkincisi ise, trafik–kumandalı veya zamana bağlı sinyallerde zamanlama planlarının tahmininde kullanılan metottur.

3.3.2.1. Girdi parametreleri

Sinyalize kavşakların analizi için gerekli olan giriş bilgileri Çizelge 3.5'de özet olarak gösterilmektedir. Gerekli olan girdi parametreleri ayrıntılıdır ve çeşitlidir. Geometrik, trafik ve sinyalizasyon özellikleri olmak üzere üç ana kategoriye ayrılır.

Geometrik özellikler: Yaklaşım kollarının eğimi, şerit sayısı ve genişliği ve park koşulları da dahil olmak üzere kavşakla ilgili tüm bilgiler elde edilmelidir. Özel sol veya sağ dönüş şeritleri varsa, bu şeritler depolama uzunlukları ile birlikte ele alınmalıdır (Anonymous, 2000).

Trafik özellikleri: Kavşakta her bir yaklaşım kolunda her bir akım için trafik hacimleri belirlenmelidir. Trafik hacimleri 15 dakikalık zaman dilimleri ile belirlenir (Bu durumda, analiz periyodu T = 0.25'dir). 15 dakikalık trafik verisi bilinemezse, saatlik trafik hacimleri ve zirve saat faktörü (peak–hour factor: PHF) kullanılarak trafik hacimleri tahmin edilebilir. Trafik hacminin yanında, her bir trafik akımında ağır araç yüzdesi (% HV) olarak araç tipi dağılımı da belirlenmelidir. Ağır araç, dörtten fazla lastikli araç olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, kavşakta yolcu almak veya boşaltmak için yaptığı duruş sayısı da dahil olmak üzere her bir yaklaşım kolu için yerel otobüs sayısı

da tespit edilmelidir. Kavşakta bilinmesi gereken bir diğer faktör de, her bir kavşak kolu için yaya ve bisiklet hacmidir (Anonymous, 2000).

Çizelge 3.5. Her bir trafik akımının analizi için ihtiyaç olan girdi parametreleri (Anonymous, 2000)

Genel Özellikler	Parametre
Geometrik Özellikler	Kavşak tipi
	Şerit sayısı, N
	Ortalama şerit genişliği, W
	Eğim, G (%)
	Özel sola (LT) veya sağa (RT) dönüş şeridinin varlığı
	LT veya RT şeritlerinin uzunluğu, L_s
	Park şeridi
Trafik Özellikleri	Her bir akım için trafik hacimleri, V (araç/saat)
	Temel doygun akım, s_o (birim otomobil/saat/şerit)
	Zirve saat faktörü (PHF)
	Ağır araç yüzdesi, HV (%)
	Yaya hacmi, V_{ped} (yaya/saat)
	Kavşakta duran yerel otobüs sayısı, N_B (otobüs/saat)
	Park eden araç sayısı, N_m
	Varış tipi, AT
	Yeşil süre boyunca geçen araçların oranı, P
	Kavşak yaklaşım hızı, S_A
Sinyalizasyon Özellikleri	Devre süresi, C (saniye)
	Yeşil süre, G (saniye)
	Yeşiller arası süre, Y (saniye)
	Kumandalı veya zamana bağlı işletme durumu
	Yaya butonu
	Minimum yaya yeşil süresi, G_p (s)
	Faz planı
	Analiz periyodu, T (saat)

Bunların yanı sıra trafiğin ilerleme kalitesi, sinyalize kavşak analizinde önemli bir özelliktir. Bu özelliği ifade eden parametre, her bir şerit grubu için kullanılan varış tipi (arrival type : AT)'dir. Varış tipi (AT) mümkün olduğu kadar doğru belirlenmelidir. Çünkü "AT", gecikme tahminleri ve LOS'un belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. AT'nin belirlenmesi için kesin bir parametre olmamasına rağmen, "AT" aşağıda verilen "kümeleşme oranı (platoon ratio)" formülüyle hesaplanır (Anonymous, 2000):

$$Rp = \frac{P*C}{gi} \tag{3.21}$$

Yukarıdaki denklemde;

R_p: Kümeleşme oranı (platoon ratio),

P: Yeşil süre sırasında kavşağa gelen araç sayısının, yeşil süre boyunca kavşağı boşaltan tüm araç sayısına oranı,

C: Devre süresi (saniye),

g_i: Hareket halindeki trafik akımı için etkin yeşil süre (saniye)'dir.

"P" değeri, tahmin edilebilir veya kavşak alanında görülebilir ve "1.0"i geçemez.

Sinyalizasyon özellikleri: Sinyalizasyon ile ilgili tüm bilgiler, analizi gerçekleştirmek için gereklidir. Bu bilgiler, faz planını gösteren faz diyagramı, devre süresi, yeşil süre ve yeşiller arası süre olarak sıralanabilir. Yaya zamanlamalarına gereksinim varsa, öngörülen veya belirlenen sinyal zamanlamaları içinde yayalar için minimum yeşil süre aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$Gp = 3.2 + \frac{L}{Sp} + (2.7 * \frac{Nped}{We}) \longrightarrow W_e > 3.0 \text{ m için} \quad (3.22)$$

$$Gp = 3.2 + \frac{L}{Sp} + (0.27 * Nped) \longrightarrow W_e \leq 3.0 \text{ m için} \quad (3.23)$$

Yukarıdaki denklemde;

G_p: Yayalar için minimum yeşil süre (saniye),

L: Yürüme mesafesi (metre),

S_p: Yayaların ortalama hızı (metre/saniye),

W_e: Karşıdan karşıya geçilen yolun genişliği (bordürden bordüre) (metre),

N_{ped}: Karşıdan karşıya geçen yaya sayısı,

3.2: Yayaların harekete başlama süresi (saniye)'dir (Anonymous, 2000).

3.3.2.2. Akım ve akım hacmi

Sinyalize kavşaklarda, her bir şerit grubu ve kavşak yaklaşımları ayrı olarak düşünülmelidir. Sola veya sağa dönüş şeridi veya şeritleri, düz giden araçlar için yapılan şeritlerle ortak olmayacak şekilde ayrı olarak tasarlanmalıdır. Dönen araçlar ile düz giden araçlar tarafından ortak kullanılan şerit veya şeritler olması durumunda, uygun şerit gruplandırması akımlar arasındaki trafik hacimlerinin dağılımına bağlıdır. Bu durumda, trafik hacimleri arasında dengenin veya çok fazla dönüşün olup olmadığını belirlemek gereklidir. Ortak kullanılan şeritte hesaplanan sola dönüş oranı 1.0 (%100)'e eşitse, ortak şerit fiili bir sola dönüş şeridi olarak düşünülmelidir (Anonymous, 2000).

Akım hacmi, herhangi bir analiz periyodu için ortalama akım değeri (araç/saat) olarak belirlenmektedir. Analiz periyodu genellikle 15 dakikadır. Fakat trafik hacmi, birden fazla analiz periyodunu kapsayan bir süre (örneğin, bir saatlik hacim) olarak da belirlenebilir. Bu durumda, her bir analiz periyodu için (örneğin, 15 dakika) akım hacmi

değerleri bulunarak zirve faktörler belirlenmelidir. Böylece; örneğin 1 saat olarak belirlenmiş çalışma periyodu süresince, 15 dakikalık analiz periyodu ile saatte yaşanan gecikmenin daha doğru bir şekilde tespiti elde edilebilir. Zirve saat faktörü olarak ifade edilen "PHF" aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$Vp = \frac{V}{PHF} \tag{3.24}$$

Yukarıdaki denklemde;

V_p: Zirve 15 dakika süresince akım hacmi (araç/saat),

V: Saatlik akım hacmi (araç/saat),

PHF: Zirve saat faktörü (peak–hour factor)'dür.

Bunların yanısıra, kırmızı faz süresince sağa dönüşlerin devam etmesi kavşak analizinde önemlidir. Kırmızı faz süresince sağa dönüşü mümkün olabilecek araç sayısı, aşağıda ifade edilen bazı faktörlere bağlıdır:

- Sağa dönüş hareketinin ek şerit veya ortak şerit şeklinde olması,
- Sağa dönen araç miktarı,
- Kavşak yaklaşımında görüş mesafesi,
- Sağa dönüş hareketiyle çakışan düz giden akımın doygunluk derecesi,
- Çakışan akımdaki sola dönüşün sinyal fazı,
- Yaya çakışmalarıdır (Anonymous, 2000).

3.3.2.3. Doygun akımın belirlenmesi

İncelenen trafik akımında yeşil süre boyunca kavşaktan geçebilecek maksimum araç sayısının doygun akım değeri olduğunu, daha önce Bölüm 3.3.1'de Avustralya yönteminde de bahsetmiştik. Hesaplamalarda genellikle temel doygun akım değeri, bir şerit için yolcu otomobili cinsinden "1900 (b.o./saat/şerit)" olarak alınır. Kavşaklar için çeşitli koşullar dikkate alınarak bazı düzeltme katsayıları ile temel doygun akım değeri düzeltilir ve böylece her bir trafik akımı için doygun akım değeri elde edilir. Bu ifadelere göre doygun akım değeri, aşağıda verilen formülle hesaplanır:

$$S = S_o * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb} \tag{3.25}$$

Yukarıdaki denklemde;

S: Doygun akım (araç/saat),

S_o: Temel doygun akım (birim otomobil/saat/şerit),

N: İncelenen trafik akımı için şerit sayısı,

f_w: Şerit genişliği için düzeltme faktörü,

f_{HV}: Trafik akımı içindeki ağır araçlar için düzeltme faktörü,

f_g: Yaklaşım kolunun eğimi için düzeltme faktörü,

f_p: Park şeridinin ve park durumunun varlığına göre düzeltme faktörü,

f_{bb}: Kavşak alanı içinde duran belediye otobüslerinin etkisini engellemek için düzeltme faktörü,

f_a: Kavşağın bulunduğu bölgeden (il, ilçe… v.b.) dolayı düzeltme faktörü,

f_{LU}: Şerit kullanımı için düzeltme faktörü,

f_{LT}: Trafik akımı içinde sola dönen araçlar için düzeltme faktörü,

f_{RT}: Trafik akımı içinde sağa dönen araçlar için düzeltme faktörü,

f_{Lpb}: Sola dönen trafik akımıyla çakışan yaya ve bisiklet için düzeltme faktörü,

f_{Rpb}: Sağa dönen trafik akımıyla çakışan yaya ve bisiklet için düzeltme faktörü.

Denklem (3.25)'de ifade edilen doygun akım için düzeltme faktörleri, Çizelge 3.7'de ayrıntılı olarak özetlenmiştir. Bu özetlenen ve formüle edilen düzeltme faktörleri, HCM 2010'da da aynı şekilde formüle edilmiştir. Fakat HCM 2010'da sadece "f_w (şerit genişliği için düzeltme faktörü)"nin hesaplanmasında değişiklik yapılmıştır. Yapılan bu değişiklik aşağıda Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Şerit genişliği için düzeltme faktörü–f_w (Anonymous, 2010)

Ortalama Şerit Genişliği (ft.)	**Düzeltme Faktörü (f_w)**
$8{,}0 \leq W < 10{,}0$	0,96
$10{,}0 \leq W \leq 12{,}9$	1,00
$W > 12{,}9$	1,04

Çizelge 3.7. Doygun akım için düzeltme faktörleri (Anonymous, 2000)

Faktörler	**Formüller**	**Notlar**	
Şerit Genişliği	$fw = 1 + \frac{(W-12)}{30}$	W: Şerit genişliği (ft.)	W ≥ 8.0 olmalı ve W > 16 ise, analiz iki şeritli olarak düşünülmeli
Ağır Araçlar	$fHV = \frac{100}{100 + \%HV * (ET-1)}$	E_T: 2.0 b.o./HV	% HV: İncelenen akım hacminin ağır araç yüzdesi
Eğim	$fg = 1 - \frac{\%G}{200}$	-6 ≤ % G ≤ +10	% G: Kavşak yaklaşım kolunun eğimi
Park	$fp = \frac{N - 0.1 - \frac{18 * Nm}{3600}}{N}$	$0 \le N_m \le 180$ $f_p \ge 0.050$ $f_p = 1.000$ →	N: İncelenen akımın şerit sayısı N_m: Saatte park yapan araç sayısı (park durumu yoksa)
Otobüs Etkisi	$fbb = \frac{N - \frac{14.4 * Nb}{3600}}{N}$	$0 \le N_B \le 250$ $f_{bb} \ge 0.050$	N: İncelenen akımın şerit sayısı N_m: Saatte geçen otobüs sayısı
Kavşak Bölgesi	fa = 0.900 (CBD olan yer) fa = 1.000 (diğer yerler)	CBD: Merkezi iş bölgeleri (Central Business District)	
Şerit Kullanımı	$fLU = \frac{Vg}{Vg1 * N}$	V_g: İncelenen akımın trafik hacmi (araç/saat) V_{g1}: Akım içindeki her bir şeritten geçen trafiğin en büyüğü (araç/saat), N: İncelenen akımın şerit sayısı	
Sola Dönüşler	Dönüş Şeridi: fLT = 0.95 Ortak Kullanılan Şerit: $fLT = \frac{1}{1.0 + 0.05 * PLT}$	P_{LT}: İncelenen akım içinde sola dönen araçların oranı	
Sağa Dönüşler	Dönüş Şeridi: fRT = 0.85 Ortak Kullanılan Şerit: $fRT = 1.0 - (0.15) * P_{RT}$	P_{RT}: İncelenen akım içinde sağa dönen araçların oranı ($f_{RT} \ge 0.050$)	
Yaya ve Bisiklet	Sola Dönüş Faktörü: $fLpb = 1.0 - (1 - A_{pbT}) * P_{LT} * (1 - P_{LTA})$	P_{LT}: İncelenen akım içinde sola dönen araçların oranı A_{pbT}: Geçiş hakkı alan fazın düzeltme faktörü P_{LTA}: Sola dönen ve düz giden araçların toplam yeşil süresi içinde korunan yeşil süre oranı P_{RT}: İncelenen akım içinde sağa dönen araçların oranı P_{RTA}: Sağa dönen ve düz giden araçların toplam yeşil süresi içinde korunan yeşil süre oranı	
	Sağa Dönüş Faktörü: $fRpb = 1.0 - (1 - A_{pbT}) * P_{RT} * (1 - P_{RTA})$		

3.3.2.4. Kapasite ve hacim/kapasite oranının belirlenmesi

Sinyalize kavşaklarda kapasite, doygun akım kavramına bağlıdır. Herhangi bir trafik akımı için akım oranı, o akım için gerçek veya öngörülen trafik hacminin (v_i) doygun akıma (s_i) bölünmesiyle elde edilir ve "$(v/s)_i$" şeklinde gösterilir. Herhangi bir trafik akımının kapasitesi de, aşağıdaki verilen formülle hesaplanır:

$$ci = si * \frac{gi}{C} \tag{3.26}$$

Yukarıdaki denklemde;

c_i: "i" olarak ifade edilen trafik akımının kapasitesi (araç/saat),

s_i: "i" olarak ifade edilen trafik akımının doygun akım değeri (araç/saat),

g_i/C: "i" olarak ifade edilen trafik akımının etkin yeşil oranıdır (HCM, 2000).

Hacmin kapasiteye oranı ise, kavşak analizinde "X" sembolü ile gösterilir ve şu şekilde ifade edilir:

$$Xi = \left(\frac{v}{c}\right) i = \frac{Vi}{si * \left(\frac{gi}{C}\right)} = \frac{Vi * C}{si * gi} \tag{3.27}$$

Yukarıdaki denklemde;

X_i: "i" olarak ifade edilen trafik akımında hacim/kapasite oranı $(v/c)_i$,

v_i: "i" olarak ifade edilen trafik akımının hacmi (araç/saat),

c_i: "i" olarak ifade edilen trafik akımının kapasitesi (araç/saat),

s_i: "i" olarak ifade edilen trafik akımının doygun akım değeri (araç/saat),

g_i: "i" olarak ifade edilen trafik akımının etkin yeşil süresi (saniye),

C: Devre süresi (saniye)'dir.

Sinyalize kavşakları analiz etmek için kullanılan bir başka kavram, kritik hacim/kapasite (v/c) oranıdır ve "X_c" ile gösterilir. X_c, sadece belirli bir sinyal fazı için en yüksek akım oranına (v/s) sahip akımlar düşünülerek hesaplanan bir bütün olarak kavşağın "v/c" oranıdır. Örneğin; iki fazlı bir sinyalizasyonda, aynı yeşil süre boyunca hareket eden iki akım grubundan birisi diğerine göre genellikle daha yüksek akım oranına sahip olacağı için daha fazla yeşil süre gerektirir. Dolayısıyla bu akım, ele

alınan bu sinyal fazı için kritik akımdır. Her sinyal fazı, faz için yeşil süre gereksinimlerini belirleyen bir kritik akıma sahiptir. Sinyal fazları birleştiğinde, kritik akımların belirlenmesi daha karmaşık hale gelir. Herhangi bir kavşak için kritik "v/c" oranı (X_c) şu şekilde belirlenir:

$$Xc = \sum \left(\frac{v}{s}\right) ci * \left(\frac{C}{C-L}\right) \quad (3.28)$$

Yukarıdaki denklemde;

X_c: Kavşak için kritik "v/c" oranı,

$\sum \left(\frac{v}{s}\right)_{ci}$: "i" olarak ifade edilen tüm kritik akımların akım oranlarının toplamı,

C: Devre süresi (saniye),

L: Tüm kritik akımlar için "t_L" kayıp zamanların hesaplanmasıyla, bir devre süresi için elde edilen toplam kayıp zaman (saniye)'dır (Anonymous, 2000).

3.3.2.5. Performans Ölçümleri

Bu kısımda, sinyalize kavşak analizinde performans ölçümleri olarak gecikme ve hizmet düzeyinin belirlenmesinden bahsedilecektir.

3.3.2.5.1. Gecikmelerin belirlenmesi

Gecikme hesaplamalarından elde edilen değerler, analiz periyodu süresince gelen tüm araçlar tarafından yapılan ortalama kontrol gecikmesini ifade eder. Kontrol gecikmesi, araçların kuyrukta durduğu veya kavşak yaklaşımında yavaşladığı hareketleri içerir. Belirli bir trafik akımında her bir araç için ortalama kontrol gecikmesi şu şekilde belirlenir (Anonymous, 2000):

$$d = d_1 * (PF) + d_2 + d_3 \quad (3.29)$$

Yukarıdaki denklemde;

d: Her bir araç için kontrol gecikmesi (saniye/araç),

d_1: Tekdüze gelenleri varsayarak uniform kontrol gecikmesi (saniye/araç),

PF: Sinyal ilerlemesinin etkisini göz önüne alan, uniform gecikme ilerleme düzeltme faktörü,

d_2: Doygun kuyruklar ve rastgele gelenlerin etkisi için hesaplanan, sinyal kontrol tipi ve analiz periyodu süresi için düzeltilen artırılmış gecikme(saniye/araç),

d_3: Başlangıç kuyruklanma gecikmesi (saniye/araç)'dir (Anonymous, 2000).

Denklem (3.29)'da ifade edilen "d_1 (uniform kontrol gecikmesi)", tekdüze gelenler ve kararlı akımın olduğu ve başlangıç kuyruklanma gecikmesinin olmadığı varsayılarak şu şekilde hesaplanır:

$$d1 = \frac{0.5 * C * (1-\frac{g}{C})^2}{1-[\min(1,X) * \frac{g}{C}]} \tag{3.30}$$

Yukarıdaki denklemde;

C: Devre süresi (saniye),

g: İncelenen trafik akımı için etkin yeşil süre (saniye),

X: İncelenen trafik akımının doygunluk derecesi veya "v/c" oranıdır.

Yeşil süre boyunca gelen araçların oranı arttıkça, sinyalize bir kavşakta araçların ilerlemesi daha iyi olacaktır. Araçların bu ilerleme durumunu dikkate alan "PF" (progression adjustment factor) şu şekilde hesaplanır:

$$PF = \frac{(1-P) * fPA}{1-(\frac{g}{C})} \tag{3.31}$$

Yukarıdaki denklemde;

PF: İlerleme düzeltme faktörü,

P: Yeşil süre boyunca gelen araçların oranı,

g/C: Yeşil sinyal süresinin devre süresine oranı,

f_{PA}: Yeşil süre boyunca gelen araçlar için tamamlayıcı düzeltme faktörüdür.

Denklem (3.31)'de ifade edilen "P" değeri, varış tipinden (AT) tahmin edilebilir veya kavşak alanında ölçülebilir. Eğer yerinde ölçüm yapılırsa; "P" değeri, devre süresi içinde belirli bir trafik akımında yeşil sinyal görüntülenirken kuyruğa katılan veya duruş çizgisine gelen araçların oranı olarak belirlenmelidir (Anonymous, 2000).

Denklem (3.29)'da ifade edilen "d_2 (artırılmış gecikme)", rastgele gelenlerin olduğu ve "d_1" gecikme hesabında olduğu gibi başlangıç kuyruklanma gecikmesinin olmadığı varsayılarak şu şekilde hesaplanır:

$$d2 = 900 * T * [(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{8*k*I*X}{c*T}}] \quad (3.32)$$

Yukarıdaki denklemde;

d_2: Rastgele gelişler için artırılmış gecikme (saniye/araç),

T: Analiz süresi (saat),

k: Artan gecikme faktörü,

I: Ölçüm düzeltme faktörü,

c: İncelenen trafik akımının kapasitesi (araç/saat).

X: İncelenen trafik akımının doygunluk derecesi veya "v/c" oranıdır.

Gecikme hesabında (denklem 3.29) dikkate alınan "d_1" ve "d_2" gecikme değerleri dışında, başlangıç kuyruklanma gecikmesi olarak ifade edilen "d_3" değeri de dikkate alınır. İncelenen trafik akımı için bir önceki yeşil sinyal döneminden kalıntı bir kuyruk varsa, bu durum analiz süresinin başında bir başlangıç kuyruğunun oluşmasına sebep olur. Bu başlangıç kuyruğundan dolayı, analiz süresince gelen tüm taşıtlara eklenen ilave bir gecikme oluşur. Eğer analiz başlangıcında kuyruklanma yoksa "d_3" gecikme değeri "0 (sıfır)" alınır (Anonymous, 2000).

Her bir trafik akımı için belirlenen araç başına kontrol gecikmesi değerleri toplanarak, bir kavşak yaklaşım kolu için veya bir bütün olarak kavşak için gecikme değerleri tahmin edilebilir. Bir kavşak yaklaşımı için gecikme şu şekilde hesaplanır:

$$dA = \frac{\sum di*Vi}{\sum Vi} \quad (3.33)$$

Yukarıdaki denklemde;

d_A: "A" olarak ifade edilen kavşak yaklaşımı için gecikme (saniye/araç),

d_i: "i" olarak ifade edilen "A" kavşak yaklaşımı üzerindeki trafik akımı (şerit grubu) için gecikme (saniye/araç),

V_i: "i" olarak ifade edilen trafik akımının hacmi (araç/saat)'dir.

Benzer şekilde; kavşak yaklaşım kolları üzerindeki kontrol gecikmelerinin toplanması sonucu, kavşak için ortalama kontrol gecikmesi aşağıdaki formülde de gösterildiği gibi şu şekilde elde edilir:

$$dI = \frac{\sum dA * VA}{\sum VA} \tag{3.34}$$

Yukarıdaki denklemde;

$\underline{d_I}$: Kavşak için araç başına gecikme (saniye/araç),

$\underline{d_A}$: "A" olarak ifade edilen kavşak yaklaşımı için gecikme (saniye/araç),

$\underline{V_A}$: "A" olarak ifade edilen kavşak yaklaşımının hacmi (araç/saat)'dir.

3.3.2.5.2. Hizmet düzeyinin (LOS) belirlenmesi

HCM yönteminin uygulanması sonucu, iki anahtar çıktı elde edilir. Bunlardan birisi, bir bütün olarak kavşak içinde tüm kritik akımlar ve her bir trafik akımı (şerit grubu) için hacim/kapasite (v/c) oranıdır. Diğeri ise, "LOS" ile ilgili olarak bir bütün olarak kavşaklar, yaklaşım kolları ve her bir trafik akımı için ortalama kontrol gecikmesidir. (Anonymous, 2000).

Hizmet düzeyi; tüm kavşak, her bir kavşak yaklaşımı ve her bir trafik akımı (şerit grubu) için nitelendirilir. Kavşağın veya yaklaşım kollarının hizmet seviyesinin nitelendirmesinde, sadece kontrol gecikmesi kullanılır. Belirli bir şerit grubunun hizmet düzeyinin nitelendirilmesinde ise, kontrol gecikmesi ve hacim/kapasite (v/c) oranı kullanılır. Gecikme, trafik sinyal kontrolünden dolayı artan seyahat süresini ifade eder. Ayrıca sürücü hataları ve yakıt tüketiminin bir ölçüsüdür. "v/c oranı" ise, bir şerit grubu tarafından kullanılan faz kapasitesinin derecesini ifade eder. Hizmet düzeyi Çizelge 3.8'de gösterilmiş ve aşağıda her bir hizmet düzeyi açıklanmıştır (Anonymous, 2010).

Çizelge 3.8. Sinyalize kavşaklar için hizmet düzeyi kriterleri (Anonymous, 2010)

LOS (Hizmet Düzeyi)	Araç başına kontrol gecikmesi (saniye/araç)	Hacim/kapasite oranı (v/c)
A	≤ 10	≤ 1.0
B	> 10 – 20	≤ 1.0
C	> 20 – 35	≤ 1.0
D	> 35 – 55	≤ 1.0
E	> 55 – 80	≤ 1.0
F	> 80	> 1.0

A Hizmet Düzeyi: LOS A, kontrol gecikmesinin “10 sn./araç” veya daha küçük olduğu ve hacim/kapasite (v/c) oranının da 1.0’den küçük olduğu durumlardaki işletme koşullarıdır. Bu hizmet seviyesinde; “v/c” oranı çok düşük, araçların ilerlemesi olağanüstü bir şekilde elverişli ve devre süresi çok kısadır. Araçların çoğu yeşil süre esnasında gelir ve kavşak boyunca durmadan seyahat ederler.

B Hizmet Düzeyi: LOS B, kontrol gecikmesinin “10–20 sn./araç” arasında olduğu ve hacim/kapasite (v/c) oranının da 1.0’den küçük olduğu durumlardaki işletme koşullarıdır. Bu hizmet seviyesinde; “v/c” oranı düşük, araçların ilerlemesi oldukça elverişli ve devre süresi kısadır. Kavşaktan geçişlerde çok az araç durur.

C Hizmet Düzeyi: LOS C, kontrol gecikmesinin “20–35 sn./araç” arasında olduğu ve hacim/kapasite (v/c) oranının da 1.0’den küçük olduğu durumlardaki işletme koşullarıdır. Bu hizmet seviyesinde, araçların ilerlemesi elverişli ve devre süresi orta derecededir. Yetersiz kapasitenin sonucu olarak, bir veya daha fazla aracın devre süresi boyunca kuyruk oluşturduğu gözlemlenebilir. Kavşak boyunca hala birçok araç durmadan geçmesine rağmen, duran araç sayısı önemlidir (Anonymous, 2010).

D Hizmet Düzeyi: LOS D, kontrol gecikmesinin “35–55 sn./araç” arasında olduğu ve hacim/kapasite (v/c) oranının da 1.0’den küçük olduğu durumlardaki işletme koşullarıdır. Bu hizmet seviyesinde; “v/c” oranı yüksek, araçların ilerlemesi başarısız ve devre süresi uzundur. Birçok araç durur ve oluşan araç kuyrukları fark edilir.

E Hizmet Düzeyi: LOS E, kontrol gecikmesinin “55–80 sn./araç” arasında olduğu ve hacim/kapasite (v/c) oranının da 1.0’den küçük olduğu durumlardaki işletme koşullarıdır. Bu hizmet seviyesinde; “v/c” oranı yüksek, araçların ilerlemesi olumsuz ve devre süresi uzundur. Sık sık araç kuyrukları oluşur.

F Hizmet Düzeyi: LOS F, kontrol gecikmesinin “80 sn./araç”den büyük olduğu ve hacim/kapasite (v/c) oranının da 1.0’den büyük olduğu durumlardaki işletme koşullarıdır. Bu hizmet seviyesinde; “v/c” oranı çok yüksek, araçların ilerlemesi çok zayıf ve devre süresi uzundur. Kuyrukların boşalmasında çoğu devre süresi başarısızdır.

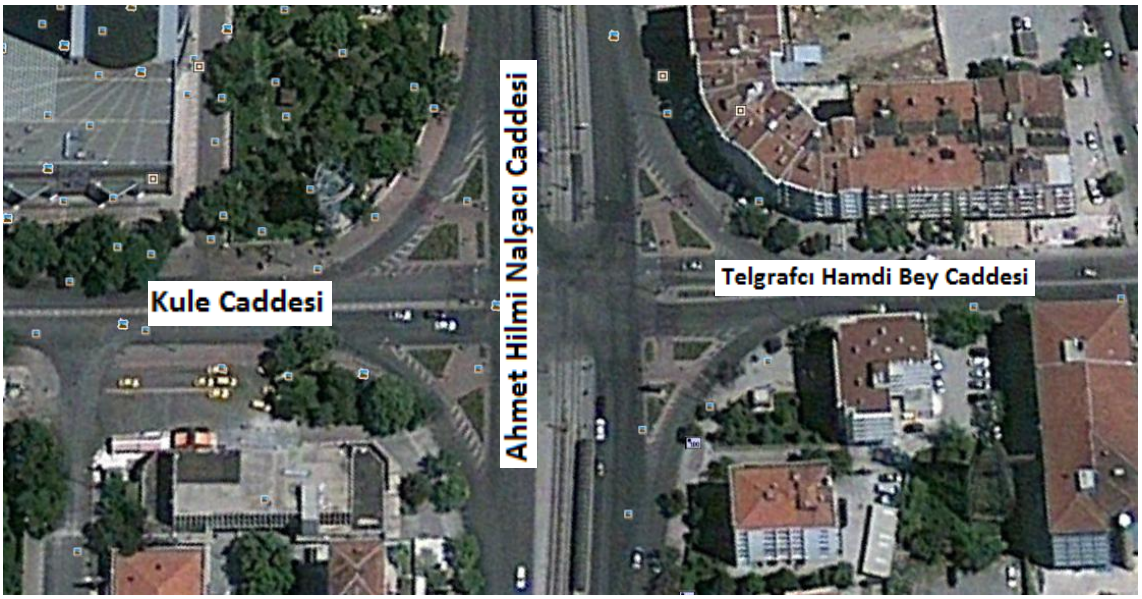
“v/c” oranının 1.0 veya daha fazla olması, kapasitenin tam olarak kullanıldığını gösterir ve bu durum, kapasite açısından başarısızlığı ifade eder. Gecikmenin “80 sn/araç” değerini aşması ise, gecikme açısından başarısızlığı ifade eder. Bir şerit grubu için “v/c” oranı 1.0’i aştığı halde, gecikme “80 sn./araç” değerinden az olabilir. Bu durum, genellikle devre süresinin kısa ve araçların ilerlemesinin olumlu olduğu koşullarda meydana gelir (Anonymous, 2010).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, Kule, Nalçacı–Sille ve Kabataş (Rauf Denktaş–Kerkük Caddesi Kavşağı) Kavşakları'nın incelemesi yapılmıştır. Bu kavşaklar, Konya'da trafik yoğunluğu en fazla olan kavşaklar arasındadır. Konya şehiriçi ulaşımında, Kuzey–Güney ve Doğu–Batı bağlantı hatlarının önemli noktalarında yer almaktadır. Ayrıca bu kavşaklar birbirine yakın kavşaklar olduğundan, üretilen çözümlemeler trafik akımlarının etkileşimi açısından da önemlidir. Bu gibi sebeplerden dolayı, tez çalışması için bu kavşaklar seçilmiştir.

4.1. Kavşaklar Hakkında Genel Bilgiler

Kule Kavşağı, 4 yönden gelen trafik akımlarının kesiştiği sinyalize eş düzey bir kavşaktır. Bu trafik akımları, Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesi boyunca şehir merkezi güzergâhında ve bunun tersi yönünde uzanan akımlar ile Kule A.V.M.–Emniyet güzergâhında ve bunun tersi yönünde uzanan akımlardır. Kule Kavşağı'nda her bir kolda sola ve sağa dönen ile düz giden trafik akımları mevcut olup, her bir kolda sadece U–dönüşü yasaktır. Kule Kavşağı aşağıda şekil 4.1'de gösterilmiştir. Kule Kavşağı'nda, şekilde de görüldüğü gibi her bir kolda sağa dönüş hareketleri trafik adaları ile ayrılmıştır. Ayrıca Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesi boyunca, orta refüj üzerinde iki yönlü olarak tramvay güzergahı bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Kule Kavşağı

Nalçacı–Sille Kavşağı, Kule Kavşağı gibi 4 kollu sinyalize eş düzey bir kavşaktır. Kavşaktaki trafik akımları, Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesi boyunca şehir merkezi güzergâhında ve bunun tersi yönünde uzanan akımlar ile Sille–Beşyol güzergâhında ve bunun tersi yönünde uzanan akımlardır. Nalçacı–Sille Kavşağı'nda, Kule Kavşağı'ndan farklı olarak her bir kolda U–dönüşü ile birlikte sola dönüşler de yasaktır. Nalçacı–Sille Kavşağı aşağıda Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Nalçacı–Sille Kavşağı'nda da, Kule Kavşağı'nda olduğu gibi her bir kolda sağa dönüş hareketleri trafik adaları ile ayrılmıştır. Yine aynı şekilde, kavşakta iki yönlü olarak tramvay hareketleri bulunmaktadır. Nalçacı–Sille Kavşağı; Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesi boyunca şehir merkezine doğru akan güzergâhta, Kule Kavşağı'ndan sonraki sinyalize eş düzey kavşaktır.



Şekil 4.2. Nalçacı–Sille Kavşağı

Kabataş Kavşağı da, yine aynı şekilde diğer incelenen kavşaklar gibi 4 kollu sinyalize eş düzey bir kavşaktır. Kavşaktaki trafik akımları, Kerkük Caddesi boyunca iş merkezleri güzergâhında ve bunun tersi yönünde uzanan akımlar ile Sille–Beşyol güzergâhında ve bunun tersi yönünde uzanan akımlardır. Kabataş Kavşağı'nda her bir kolda sola ve sağa dönen ile düz giden trafik akımları mevcut olup, her bir kolda sadece U–dönüşü yasaktır. Ayrıca diğer kavşaklardan farklı olarak Kabataş Kavşağı'nda, Sille–Beşyol güzergâhında bir miktar boyuna eğim (kavşak yaklaşımı çıkış eğimi) vardır. Kabataş Kavşağı, Beşyol–Sille güzergâhında Nalçacı–Sille Kavşağı'ndan sonraki sinyalize eş düzey kavşaktır. Kabataş Kavşağı aşağıda Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kabataş Kavşağı

4.2. Kavşaklarda Yapılan Çalışmalar

"Sidra Intersection" bilgisayar programı yardımıyla kavşakların incelenmesi için, kavşaklardan elde edilecek bazı verilere ihtiyaç vardır. Bu veriler; kavşak düzeni, trafik hacimleri ve sinyal fazları ile ilgili bilgiler olmak üzere genel olarak üç grupta ele alınabilir.

Kavşak düzeni ile ilgili olarak, şerit genişlikleri, orta refüj genişlikleri, kavşak yaklaşım kolları ve dönüş yasakları, yaklaşım ve çıkış yollarının eğimleri, dönüş şeridi veya park şeridi gibi kısa şeritler, özel şeritler (sağa veya sola dönüşler için) veya ortak kullanılan şeritler (sola dönenler ile düz gidenler veya sağa dönenler ile düz gidenler için) olarak tüm şeritlerin durumu ve kavşak yakınındaki park, otobüs durakları, tramvay v.b… ile ilgili bilgiler elde edilmelidir.

Trafik hacimleri ile ilgili olarak, kavşaktaki her bir kol ve her bir koldaki farklı yönler için trafik değerleri, ağır araç sayısı veya yüzdesi ve yaya hacimleri gibi bilgiler elde edilmelidir.

Sinyal fazları ile ilgili olarak, her bir fazda geçiş hakkı alan trafik hareketlerini gösteren faz açıklamaları ve faz sıraları, araç ve yaya hareketleri arasındaki farklılıkları açık bir şekilde gösteren sinyal diyagramları… v.b. bilgiler elde edilmelidir.

Bunların yanısıra, zirve akım periyodu ve zirve akım faktörü (PFF), kavşak sinyalizasyon sistemi, varış tipi (AT) bilgileri, başlangıç kaybı ve son kazanç süreleri, temel doygun akım değerleri ve sınırlı dönüşler… v.b. incelenen kavşakla ilgili özellikler elde edilmelidir (Anonymous, 2011).

Programın veri girişi hakkında yukarıdaki bahsedilen bilgiler ışığında, bu tez çalışmasında incelenen kavşaklar hakkında geometrik ve sinyal fazları ile ilgili bilgiler Konya Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı Ulaşım Trafik Sinyalizasyon Şube Müdürlüğü'nden alınmış ve kavşaklardaki trafik hacimlerini tespit etmek amacıyla da trafik sayımları yapılmıştır.

4.2.1. Trafik sayımları

Belirli bir zaman içinde trafik ünitelerinin sayılarak kaydedilmesine veya bu ünitelerin bazı hareketlerinin tespiti maksadıyla yapılan gözlemlere "trafik sayımları" denir. Trafiğe katılan yayalar, otomobiller, otobüsler, troleybüs ve tramvaylar, hafif ve

ağır kamyonlar, römorklu vasıtalar, bisikletler, motosikletler v.b. gibi elemanların her biri bir trafik ünitesi kabul edilir. Trafik sayımları bir kesitte durmak suretiyle yapılabileceği gibi bir vasıta içinde hareket halinde de yapılabilir.

Özel sebepler dışında, sayımların normal havalarda ve iş günlerinde yapılması uygundur. Sayım süresi 1 saatten 24 saate kadar alınabilir. Ancak, özel trafik etütlerinde ve sondaj sayımlarında daha kısa süre alınabilir. Sayımın süresi etüdün maksadına göre tecrübeli kimseler tarafından tayin ve tespit edilmelidir. Ekseriya genel trafik etütlerinde 8, 12, 24 saat esasları kabul edilir. Örneğin, sabah 7.00'den akşam 19.00'a kadar yapılacak 12 saatlik sayımlar birçok maksatlar için ihtiyacı karşılayabilir. Yaya sayımlarında genellikle 6 saat süre uygundur. Gerek yaya gerekse araç trafiği için, mümkün olduğu kadar maksimum trafik saatlerini ihtiva edecek şekilde sayım süresi ve başlangıç saati seçilmelidir (Kutlu, 1993).

Yapılacak etüdün tip ve maksadına göre farklı şekillerde olmakla beraber, esas itibariyle bütün sayımlarda önceden hazırlanmış bazı sayım föyleri ve tabloları kullanılır. Bunlar; izahat ve sayım föyü ile sayım toplama tabloları olarak sıralanabilir. İzahat föyleri; sayım yapılacak istasyon, sayılacak trafik üniteleri ve akımları, sayım gün ve saatleri, sayım süresi, föy değiştirme zamanı gibi gerekli bilgileri açıklayacak şekilde krokili, izahatlı ve okunaklı olarak hazırlanan ve sayım memurlarına verilen föylerdir. Yanlışlıklara sebep olmamak için, bu föylere sokak isimleri ve yönler yazılır. Sayım föyleri ise, sayım memurları tarafından doldurulacak föylerdir. Sayım idarecileri tarafından tespit edilen ve izahat föyünde de belirtilen bir zaman süresi sonunda değiştirilmelidir. Föy değiştirilmesi gereken bu zaman süresi, sayımın cinsine ve etüdün maksadına göre değişik olarak 5, 10, 15, 30 dakika veya 1 saat olarak kabul edilebilir. Her föyde, doldurulması gereken yerler doldurulmalı ve her föyün hangi saatte doldurulmaya başlandığı ve hangi saatte değiştirildiği mutlaka belirtilmelidir. Böylece, kısa zaman fasılalarına ait sayım değerleri ayrıca ve kolayca görülebilir. Sayım toplam süresi kaç saat olursa olsun, föy değiştirme zamanının 30 dakika veya 1 saatten fazla olması uygun değildir. Sayım toplama tabloları, sayım cinsine ve etüt maksadına göre kısa zaman fasılalarına ait föylerdeki neticeleri tablo halinde toplamak ve göstermek için kullanılır. Sayımın toplam süresi boyunca alınan neticeler ve trafik değerleri bu tablolarda açık bir şekilde gösterilmelidir (Kutlu, 1993).

Bu çalışmada, trafik hacim değerlerini tespit etmek amacıyla, incelenen kavşaklarda kamera çekimi ile trafik sayımı yapılmıştır. Kamera, kavşağın bütün kollarını ve her bir koldaki tüm trafik akımlarını görecek şekilde yüksek bir noktaya

yerleştirilmiştir. Kamera çekimi; günlük trafik hacminde en yoğun saatlik trafiği belirlemek amacıyla ve saat 22.00–07.00 arasında trafik yoğunluğunun daha az olacağı kabulüyle, 15 saat olarak 07.00–22.00 arasında yapılmıştır. Kamera çekimleri, her bir kavşak için ayın 15'inden sonraki ilk Cuma günü yapılmıştır. Piyasa hareketliliğinin veya ticaretin bunlara bağlı olarak da trafik yoğunluğunun daha fazla olabileceği kabulüyle, trafik sayımı için ayın 15'inden sonraki tarihler ve hafta içi günlerinin son günü olan Cuma günü belirlenmiştir.

Kamera çekimi görüntüleriyle, her bir kavşak kolu ve her bir koldaki farklı trafik akımları (sola ve sağa dönenler ile düz gidenler) için ilgili sayım föyleri saatlik olarak doldurulmuş ve trafik cinsleri ayrı olarak föye işlenmiştir. Her bir trafik akımı için elde edilen saatlik trafik hacim değerlerinin tablolaştırılmasıyla, incelenen kavşaklarda maksimum saat trafiği bulunmuştur. Bilgisayar programına trafik hacimlerinin yanısıra veri olarak girilecek olan zirve saat faktörü (PHF)'nün belirlenmesi için, bulunan maksimum saat trafiği 15'er dakikalık periyotlarla yeniden sayılmış ve sayımlar ilgili föy ve tablolara işlenmiştir. Böylece, PHF'nin bulunmasında kullanılan maksimum 15 dakika'yı veren trafik hacim değeri belirlenmiştir.

Kule Kavşağı'nın kamera çekimi 21.10.2011 Cuma günü, Kabataş Kavşağı'nın kamera çekimi 18.11.2011 Cuma günü ve son olarak Nalçacı–Sille Kavşağı'nın kamera çekimi 16.03.2012 Cuma günü yapılmıştır. Tarihlerde de görüldüğü gibi, çalışma için Ekim, Kasım ve Mart aylarının 15'inden sonraki ilk Cuma günleri seçilmiştir.

4.2.1.1. Kule kavşağı trafik sayımları

Kule Kavşağı'nda kamera çekiminin yapıldığı nokta Şekil 4.4'de gösterilmiştir (Şekilde ok işareti ile gösterilen binanın çatısına kamera kurulmuştur). Kamera çekimi ile oluşan örnek bir video görüntüsü de Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Çekim için kamera kurulan nokta (Kule Kavşağı)



Şekil 4.5. Kule Kavşağı video kamera görüntüsü

Şekil 4.4'de ayrıca, her bir kavşak kolunun numaralandırılması görülmektedir. Bu numaralandırmalar yardımıyla kavşaktaki trafik akımları isimlendirilmiş ve ilgili sayım föylerine ve tablolara işlenerek trafik sayımı yapılmıştır. Kule Kavşağı'nın dört kollu bir sinyalize kavşak olması ve her bir kolda sola ve sağa dönenler ile düz giden trafik hareketlerinin bulunması sebebiyle, kavşakta trafik hareketleri açısından 12 farklı akış yönü oluşmaktadır. Bu trafik hareketlerini (yönlerini) şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1–2 Akımı; Kule A.V.M.–Emniyet güzergâhında sola dönen araçlar,

- 1–3 Akımı; Kule A.V.M.–Emniyet güzergâhında düz giden araçlar,
- 1–4 Akımı; Kule A.V.M.–Emniyet güzergâhında sağa dönen araçlar,
- 2–1 Akımı; Kunduracılar–Ş.merkezi güzergâhında sağa dönen araçlar,
- 2–3 Akımı; Kunduracılar–Ş.merkezi güzergâhında sola dönen araçlar,
- 2–4 Akımı; Kunduracılar–Ş.merkezi güzergâhında düz giden araçlar,
- 3–1 Akımı; Emniyet–Kule A.V.M. güzergâhında düz giden araçlar,
- 3–2 Akımı; Emniyet–Kule A.V.M. güzergâhında sağa dönen araçlar,
- 3–4 Akımı; Emniyet–Kule A.V.M. güzergâhında sola dönen araçlar,
- 4–1 Akımı; Ş.merkezi–Kunduracılar güzergâhında sola dönen araçlar,
- 4–2 Akımı; Ş.merkezi–Kunduracılar güzergâhında düz giden araçlar,
- 4–3 Akımı; Ş.merkezi–Kunduracılar güzergâhında sağa dönen araçlar.

Kule Kavşağı'nda yapılan trafik sayımları sonucu maksimum saatlik trafik, saat 18.00–19.00 arası (5571 araç/saat) olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Kule Kavşağı maksimum saatlik trafik (araç/saat)

T.C. **SELÇUK ÜNİVERSİTESİ** **MÜHENDİSLİK – MİMARLIK FAKÜLTESİ** **İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**					**KAVŞAĞIN ADI**	KULE KAVŞAĞI		
					TARİH	21.10.2011 CUMA		
					HAVA DURUMU	AZ BULUTLU, 4 – 18 ˚C		
					18.00 – 19.00 SAATLERİ ARASINDAKİ TRAFİK HACMİ (ARAÇ / SAAT)			
KULE KAVŞAĞI TRAFİK SAYIM TOPLAMA TABLOSU								
AKIŞ YÖNÜ	**OTOMOBİL**	**OTOBÜS**	**KAMYON**	**KAMYONET MİNİBÜS**	**TIR**	**MOTOSİKLET**	**BİSİKLET**	**TOPLAM**
1 - 2 AKIMI	333	2	2	33	–	3	2	375
1 - 3 AKIMI	311	–	–	33	–	12	11	367
1 - 4 AKIMI	384	–	–	19	–	13	1	417
2 - 1 AKIMI	283	1	–	12	–	7	2	305
2 - 3 AKIMI	225	1	–	73	–	15	7	321
2 - 4 AKIMI	1050	15	1	195	–	31	15	1307
3 - 1 AKIMI	180	–	–	29	–	7	6	222
3 - 2 AKIMI	295	2	1	63	–	9	6	376
3 - 4 AKIMI	279	5	–	58	–	15	2	359
4 - 1 AKIMI	247	–	–	8	–	6	2	263
4 - 2 AKIMI	909	20	3	138	–	12	8	1090
4 - 3 AKIMI	138	3	2	24	–	2	–	169
TOPLAM	4634	49	9	685	0	132	62	**5571**

Maksimum saatlik trafik belirlendikten sonra; HCM (Amerikan) yönteminin önerdiğine göre zirve saat faktörünü belirlemek amacıyla, maksimum saatlik trafik 15 dakikalık periyotlarla sayılmış ve en büyük 15 dakika saat 18.30–18.45 arası (1606 araç/15 dak.) olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Kule Kavşağı maksimum 15 dakikalık trafik (araç/15 dak.)

T.C.		**KAVŞAĞIN ADI**	KULE KAVŞAĞI

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK – MİMARLIK FAKÜLTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ					TARİH	21.10.2011 CUMA		
					HAVA DURUMU	AZ BULUTLU, 4 – 18 °C		
					18.30 – 18.45 SAATLERİ ARASINDAKİ TRAFİK HACMİ (ARAÇ / 15 DAK.)			
KULE KAVŞAĞI TRAFİK SAYIM TOPLAMA TABLOSU								
AKIŞ YÖNÜ	**OTOMOBİL**	**OTOBÜS**	**KAMYON**	**KAMYONET MİNİBÜS**	**TIR**	**MOTOSİKLET**	**BİSİKLET**	**TOPLAM**
1 - 2 AKIMI	93	–	–	5	–	2	–	100
1 - 3 AKIMI	93	–	–	7	–	6	4	110
1 - 4 AKIMI	108	–	–	6	–	6	–	120
2 - 1 AKIMI	80	–	–	3	–	3	–	86
2 - 3 AKIMI	63	1	–	26	–	5	4	99
2 - 4 AKIMI	308	6	–	62	–	9	8	393
3 - 1 AKIMI	58	–	–	10	–	3	4	75
3 - 2 AKIMI	86	1	1	19	–	3	2	112
3 - 4 AKIMI	79	1	–	18	–	6	2	106
4 - 1 AKIMI	69	–	–	2	–	2	–	73
4 - 2 AKIMI	238	3	–	36	–	1	1	279
4 - 3 AKIMI	42	1	1	9	–	–	–	53
TOPLAM	1317	13	2	203	0	46	25	**1606**

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de görülen trafik sayımı sonuçlarına göre; zirve saat faktörü (PHF), HCM 2000'de verilen formül kullanılarak "PHF=**0.867"** olarak bulunur.

Her bir kol ve her bir koldaki farklı trafik yönleri (akımları) için trafik sayımlarından elde edilen hacim sonuçları ve hesaplanan "PHF" değerleri, bilgisayar programına girilir. Trafik hacim değerlerini programa girerken araç sınıflandırmasına dikkat edilmelidir.

Motorlu taşıtlar, motosiklet, otomobil, minibüs, otobüs, kamyonet, kamyon, lastik tekerlekli traktör, müteharrik makineler gibi motor gücü, biçim, taşıma sınırı ve kullanılma amacı açılarından değişik gruplara ayrılır. Bunlardan müteharrik makineler; çeşitli yol yapım makineleri ve askeri araçlar ile çeşitli tarım makinelerini içeren ve insan, hayvan ve eşya taşımada kullanılmayan araçlardır. Motorlu taşıtları, hafif taşıtlar ve ağır taşıtlar olmak üzere iki genel sınıfta toplamak mümkündür. Otomobil, minibüs ve kamyonet ile daha küçük yapıdaki taşıtlar **hafif taşıtlar** sınıfına girer. Bu taşıtların arka tarafında tek dingil ve bu tek dingilin her iki yanında tek tekerlek bulunur. Otobüs ve kamyon gibi büyük taşıtlar ise, **ağır taşıtlar** sınıfına girer. Bu taşıtların arka taraflarında birden fazla dingil olabileceği gibi bu dingillerin her iki ucunda iki tekerlek bulunur (Yayla, 2002).

Bu bilgiler ışığında; incelenen kavşaklarda yapılan trafik sayımları sonucu her bir araç için elde edilen değerler, "passenger car unit (pcu)" olarak ifade edilen otomobil birimi eşdeğerine çevrilmiştir.

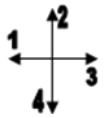
Sinyalize bir kavşakta farklı taşıt cinsleri için otomobil birimi eşdeğerleri (b.o.), aşağıda Çizelge 4.3'de gösterilmiştir (Slinn ve ark., 2005).

Çizelge 4.3. Farklı türdeki taşıtların otomobil birimi eşdeğerleri (Slinn ve ark., 2005)

Taşıt Cinsleri	Otomobil birimi eşdeğerleri
Otomobiller ve hafif yüklü taşıtlar	1.00 b.o. / araç
Orta büyüklükteki taşıtlar (minibüs, kamyonet v.b…)	1.50 b.o. / araç
Ağır yüklü taşıtlar (kamyon v.b…)	2.30 b.o. / araç
Otobüsler	2.00 b.o. / araç
Motosikletler	0.40 b.o. / araç
Bisikletler	0.20 b.o. / araç

Kule Kavşağı için bulunan 18.00–19.00 arası maksimum saatlik trafik, otomobil birimi eşdeğeri (b.o./araç/saat) olarak aşağıda Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Kule Kavşağı maksimum saatlik trafiğin birim otomobil cinsinden ifadesi

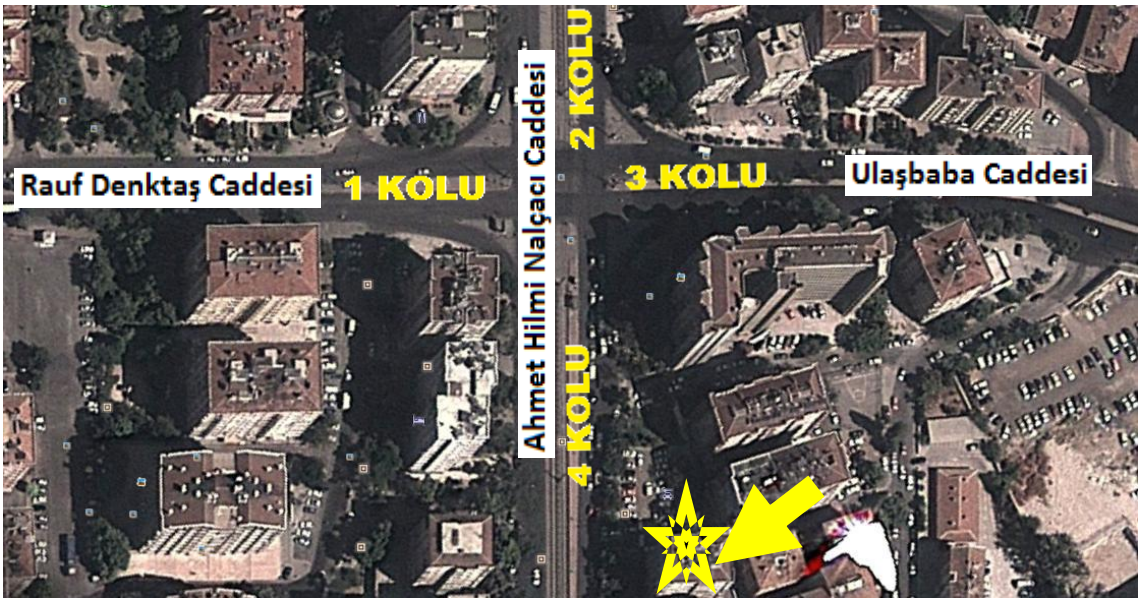
T.C. SELÇUK ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK – MİMARLIK FAKÜLTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ		KAVŞAĞIN ADI	KULE KAVŞAĞI
		TARİH	21.10.2011 CUMA
		HAVA DURUMU	AZ BULUTLU, 4 – 18 ˚C
		18.00 – 19.00 SAATLERİ ARASINDAKİ TRAFİK HACMİ (B.O. / ARAÇ / SAAT)	

KULE KAVŞAĞI TRAFİK SAYIM TOPLAMA TABLOSU

AKIŞ YÖNÜ	OTOMOBİL	OTOBÜS	KAMYON	KAMYONET MİNİBÜS	TIR	MOTOSİKLET	BİSİKLET	TOPLAM
1 - 2 AKIMI	333	4	4.6	49.5	–	1.2	0.4	392.7
1 - 3 AKIMI	311	–	–	49.5	–	4.8	2.2	367.5
1 - 4 AKIMI	384	–	–	28.5	–	5.2	0.2	417.9
2 - 1 AKIMI	283	2	–	18	–	2.8	0.4	306.2
2 - 3 AKIMI	225	2	–	109.5	–	6	1.4	343.9
2 - 4 AKIMI	1050	30	2.3	292.5	–	12.4	3	1390.2
3 - 1 AKIMI	180	–	–	43.5	–	2.8	1.2	227.5
3 - 2 AKIMI	295	4	2.3	94.5	–	3.6	1.2	400.6
3 - 4 AKIMI	279	10	–	87	–	6	0.4	382.4
4 - 1 AKIMI	247	–	–	12	–	2.4	0.4	261.8
4 - 2 AKIMI	909	40	6.9	207	–	4.8	1.6	1169.3
4 - 3 AKIMI	138	6	4.6	36	–	0.8	–	185.4
TOPLAM	**4634**	**98**	**20.7**	**1027.5**	**0**	**52.8**	**12.4**	**5845.4**

4.2.1.2. Nalçacı – Sille kavşağı trafik sayımları

Nalçacı–Sille Kavşağı'nda kamera çekiminin yapıldığı nokta Şekil 4.6'da gösterilmiştir (Şekilde ok işareti ile gösterilen binanın çatısına kamera kurulmuştur). Kamera çekimi ile oluşan örnek bir video görüntüsü de Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Çekim için kamera kurulan nokta (Nalçacı–Sille Kavşağı)



Şekil 4.7. Nalçacı–Sille Kavşağı video kamera görüntüsü

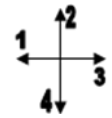
Şekil 4.6'da ayrıca, her bir kavşak kolunun numaralandırılması görülmektedir. Nalçacı–Sille Kavşağı'nın dört kollu bir sinyalize kavşak olması ve her bir kolda sağa dönenler ile düz giden trafik hareketlerinin bulunması sebebiyle, kavşakta trafik hareketleri açısından oluşan 8 farklı akış yönü şu şekildedir:

- 1–3 Akımı; Sille–Beşyol güzergâhında düz giden araçlar,
- 1–4 Akımı; Sille–Beşyol güzergâhında sağa dönen araçlar,
- 2–1 Akımı; Kule Kavşağı–Ş.merkezi güzergâhında sağa dönen araçlar,
- 2–4 Akımı; Kule Kavşağı–Ş.merkezi güzergâhında düz giden araçlar,
- 3–1 Akımı; Beşyol–Sille güzergâhında düz giden araçlar,
- 3–2 Akımı; Beşyol–Sille güzergâhında sağa dönen araçlar,

- 4–2 Akımı; Ş.merkezi–Kule Kavşağı güzergâhında düz giden araçlar,
- 4–3 Akımı; Ş.merkezi–Kule Kavşağı güzergâhında sağa dönen araçlar.

Nalçacı–Sille Kavşağı'nda maksimum saatlik trafik, saat 18.00–19.00 arası (6964 araç/saat) olarak bulunmuş (Çizelge 4.5); bu maksimum saatlik trafiğin de 15 dakikalık periyotlarla sayılmasıyla en büyük 15 dakika, saat 18.15–18.30 arası (1765 araç/15 dak.) olarak bulunmuştur (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.5. Nalçacı–Sille Kavşağı maksimum saatlik trafik (araç/saat)

T.C. **SELÇUK ÜNİVERSİTESİ** **MÜHENDİSLİK – MİMARLIK FAKÜLTESİ** **İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**		**KAVŞAĞIN ADI**	NALÇ.–SİLLE KAVŞAĞI
		TARİH	16.03.2012 CUMA
		HAVA DURUMU	ÇOK BULUTLU, (-3)–3 ˚C
		18.00 – 19.00 SAATLERİ ARASINDAKİ TRAFİK HACMİ (ARAÇ / SAAT)	

NALÇACI–SİLLE KAVŞAĞI TRAFİK SAYIM TOPLAMA TABLOSU								
AKIŞ YÖNÜ	**OTOMOBİL**	**OTOBÜS**	**KAMYON**	**KAMYONET**	**MİNİBÜS**	**M. SİKLET**	**BİSİKLET**	**TOPLAM**
1 - 3 AKIMI	736	24	5	21	73	16	4	879
1 - 4 AKIMI	413	33	3	13	40	1	1	504
2 - 1 AKIMI	468	2	3	7	14	2	2	498
2 - 4 AKIMI	1947	37	5	10	165	15	18	2197
3 - 1 AKIMI	955	39	3	12	123	22	12	1166
3 - 2 AKIMI	262	5	1	1	28	2	–	299
4 - 2 AKIMI	1095	41	5	9	111	4	6	1271
4 - 3 AKIMI	116	1	–	3	27	3	–	150
TOPLAM	5992	182	25	76	581	65	43	**6964**

Çizelge 4.6. Nalçacı–Sille Kavşağı maksimum 15 dakikalık trafik (araç/15 dak.)

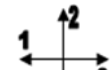
T.C. **SELÇUK ÜNİVERSİTESİ** **MÜHENDİSLİK – MİMARLIK FAKÜLTESİ** **İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**		**KAVŞAĞIN ADI**	NALÇ.–SİLLE KAVŞAĞI
		TARİH	16.03.2012 CUMA
		HAVA DURUMU	ÇOK BULUTLU, (-3)–3 ˚C
		18.15 – 18.30 SAATLERİ ARASINDAKİ TRAFİK HACMİ (ARAÇ / 15 DAK.)	

NALÇACI–SİLLE KAVŞAĞI TRAFİK SAYIM TOPLAMA TABLOSU								
AKIŞ YÖNÜ	**OTOMOBİL**	**OTOBÜS**	**KAMYON**	**KAMYONET**	**MİNİBÜS**	**M. SİKLET**	**BİSİKLET**	**TOPLAM**
1 - 3 AKIMI	185	3	2	7	16	7	2	222
1 - 4 AKIMI	111	7	2	3	8	–	–	131
2 - 1 AKIMI	128	–	–	–	1	1	–	130
2 - 4 AKIMI	499	7	2	2	49	6	3	568
3 - 1 AKIMI	222	7	–	4	33	6	4	276
3 - 2 AKIMI	77	2	–	–	5	–	–	84
4 - 2 AKIMI	264	8	2	3	34	1	4	316
4 - 3 AKIMI	27	–	–	1	9	1	–	38
TOPLAM	1513	34	8	20	155	22	13	**1765**

Bu sonuçlara göre, zirve saat faktörü "PHF=**0.986"** olarak bulunur.

Nalçacı–Sille Kavşağı için bulunan 18.00–19.00 arası maksimum saatlik trafik, otomobil birimi eşdeğeri (b.o./araç/saat) olarak aşağıda Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

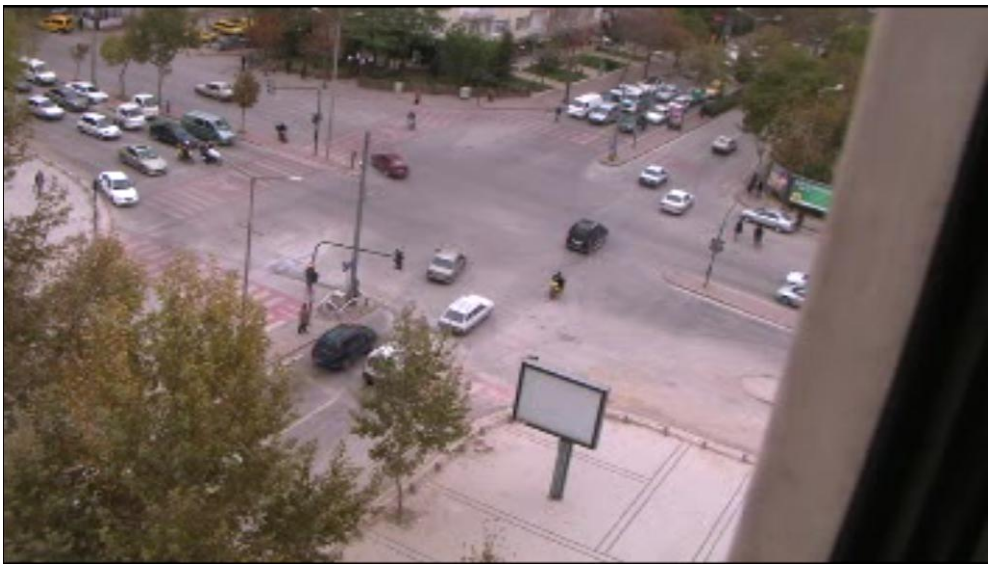
Çizelge 4.7. Nalçacı–Sille Kavşağı maksimum saatlik trafiğin birim otomobil cinsinden ifadesi

T.C. **SELÇUK ÜNİVERSİTESİ** **MÜHENDİSLİK – MİMARLIK FAKÜLTESİ**		**KAVŞAĞIN ADI**	NALÇ.–SİLLE KAVŞAĞI
		TARİH	16.03.2012 CUMA
		HAVA DURUMU	ÇOK BULUTLU, (-3)–3 ˚C

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ					18.00 – 19.00 SAATLERİ ARASINDAKİ TRAFİK HACMİ (B.O. / ARAÇ / SAAT)			
NALÇACI–SİLLE KAVŞAĞI TRAFİK SAYIM TOPLAMA TABLOSU								
AKIŞ YÖNÜ	**OTOMOBİL**	**OTOBÜS**	**KAMYON**	**KAMYONET**	**MİNİBÜS**	**M.SİKLET**	**BİSİKLET**	**TOPLAM**
1 - 3 AKIMI	736	48	11.5	31.5	109.5	6.4	0.8	943.7
1 - 4 AKIMI	413	66	6.9	19.5	60	0.4	0.2	566
2 - 1 AKIMI	468	4	6.9	10.5	21	0.8	0.4	511.6
2 - 4 AKIMI	1947	74	11.5	15	247.5	6	3.6	2304.6
3 - 1 AKIMI	955	78	6.9	18	184.5	8.8	2.4	1253.6
3 - 2 AKIMI	262	10	2.3	1.5	42	0.8	–	318.6
4 - 2 AKIMI	1095	82	11.5	13.5	166.5	1.6	1.2	1371.3
4 - 3 AKIMI	116	2	–	4.5	40.5	1.2	–	164.2
TOPLAM	**5992**	**364**	**57.5**	**114**	**871.5**	**26**	**8.6**	**7433.6**

4.2.1.3. Kabataş kavşağı trafik sayımları

Kabataş Kavşağı'nda kamera çekimi ile oluşan örnek bir video görüntüsü Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Kabataş Kavşağı video kamera görüntüsü



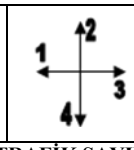
Şekil 4.9. Çekim için kamera kurulan nokta (Kabataş Kavşağı)

Kamera çekiminin yapıldığı nokta ve kavşak kollarının numaralandırılması Şekil 4.9'da gösterilmiştir (Şekilde ok işareti ile gösterilen binanın çatısına kamera kurulmuştur). Kule Kavşağı'nda olduğu gibi, trafik hareketleri açısından Kabataş Kavşağı'nda da 12 farklı akış yönü oluşmaktadır. Bu trafik hareketleri şu şekildedir:

- 1–2 Akımı; Sille–Beşyol güzergâhında sola dönen araçlar,
- 1–3 Akımı; Sille–Beşyol güzergâhında düz giden araçlar,
- 1–4 Akımı; Sille–Beşyol güzergâhında sağa dönen araçlar,
- 2–1 Akımı; Toptancılar–İş merkezleri güzergâhında sağa dönen araçlar,
- 2–3 Akımı; Toptancılar–İş merkezleri güzergâhında sola dönen araçlar,
- 2–4 Akımı; Toptancılar–İş merkezleri güzergâhında düz giden araçlar,
- 3–1 Akımı; Beşyol–Sille güzergâhında düz giden araçlar,
- 3–2 Akımı; Beşyol–Sille güzergâhında sağa dönen araçlar,
- 3–4 Akımı; Beşyol–Sille güzergâhında sola dönen araçlar,
- 4–1 Akımı; İş merkezleri–Toptancılar güzergâhında sola dönen araçlar,
- 4–2 Akımı; İş merkezleri–Toptancılar güzergâhında düz giden araçlar,
- 4–3 Akımı; İş merkezleri–Toptancılar güzergâhında sağa dönen araçlar.

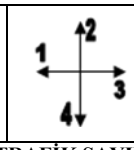
Kabataş Kavşağı'nda maksimum saatlik trafik, saat 17.00–18.00 arası (5034 araç/saat) olarak bulunmuş (Çizelge 4.8); bu maksimum saatlik trafiğin de 15 dakikalık periyotlarla sayılmasıyla en büyük 15 dakika, saat 17.30–17.45 arası (1282 araç/15 dak.) olarak bulunmuştur (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.8. Kabataş Kavşağı maksimum saatlik trafik (araç/saat)

T.C. SELÇUK ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK – MİMARLIK FAKÜLTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ		KAVŞAĞIN ADI	KABATAŞ KAVŞAĞI
		TARİH	18.11.2011 CUMA
		HAVA DURUMU	PARÇALI BULUTLU, 1–6˚C
		17.00 – 18.00 SAATLERİ ARASINDAKİ TRAFİK HACMİ (ARAÇ / SAAT)	

KABATAŞ KAVŞAĞI TRAFİK SAYIM TOPLAMA TABLOSU								
AKIŞ YÖNÜ	**OTOMOBİL**	**OTOBÜS**	**KAMYON**	**KAMYONET MİNİBÜS**	**TIR**	**MOTOSİKLET**	**BİSİKLET**	**TOPLAM**
1 - 2 AKIMI	228	–	–	30	–	7	2	267
1 - 3 AKIMI	524	24	7	162	–	24	8	749
1 - 4 AKIMI	228	–	5	58	–	6	8	305
2 - 1 AKIMI	256	–	2	78	–	11	6	353
2 - 3 AKIMI	272	11	5	71	–	4	1	364
2 - 4 AKIMI	374	1	3	71	–	9	7	465
3 - 1 AKIMI	721	26	6	124	–	43	22	942
3 - 2 AKIMI	151	14	1	29	–	1	1	197
3 - 4 AKIMI	210	1	–	25	–	3	–	239
4 - 1 AKIMI	482	2	1	58	–	10	1	554
4 - 2 AKIMI	422	2	1	65	–	9	12	511
4 - 3 AKIMI	71	1	–	10	–	1	5	88
TOPLAM	3939	82	31	781	0	128	73	**5034**

Çizelge 4.9. Kabataş Kavşağı maksimum 15 dakikalık trafik (araç/15 dak.)

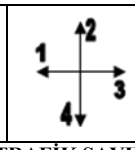
T.C. SELÇUK ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK – MİMARLIK FAKÜLTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ		KAVŞAĞIN ADI	KABATAŞ KAVŞAĞI
		TARİH	18.11.2011 CUMA
		HAVA DURUMU	PARÇALI BULUTLU, 1–6˚C
		17.30 – 17.45 SAATLERİ ARASINDAKİ TRAFİK HACMİ (ARAÇ / 15 DAK.)	

KABATAŞ KAVŞAĞI TRAFİK SAYIM TOPLAMA TABLOSU								
AKIŞ YÖNÜ	**OTOMOBİL**	**OTOBÜS**	**KAMYON**	**KAMYONET MİNİBÜS**	**TIR**	**MOTOSİKLET**	**BİSİKLET**	**TOPLAM**
1 - 2 AKIMI	59	–	–	12	–	2	1	74
1 - 3 AKIMI	108	6	2	42	–	7	3	168
1 - 4 AKIMI	56	–	1	5	–	–	2	64
2 - 1 AKIMI	85	–	–	24	–	3	2	114
2 - 3 AKIMI	80	2	–	18	–	2	–	102
2 - 4 AKIMI	103	1	–	19	–	2	–	125
3 - 1 AKIMI	190	10	–	25	–	6	5	236
3 - 2 AKIMI	54	4	–	9	–	–	–	67
3 - 4 AKIMI	43	–	–	5	–	–	–	48
4 - 1 AKIMI	141	1	–	12	–	2	–	156
4 - 2 AKIMI	93	–	–	15	–	1	2	111
4 - 3 AKIMI	13	–	–	2	–	1	1	17
TOPLAM	1025	24	3	188	0	26	16	**1282**

Bu sonuçlara göre, zirve saat faktörü "PHF=**0.982"** olarak bulunur.

Kabataş Kavşağı için bulunan 17.00–18.00 arası maksimum saatlik trafik, otomobil birimi eşdeğeri (b.o./araç/saat) olarak aşağıda Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Kabataş Kavşağı maksimum saatlik trafiğin birim otomobil cinsinden ifadesi

T.C. SELÇUK ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK – MİMARLIK FAKÜLTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ		KAVŞAĞIN ADI	KABATAŞ KAVŞAĞI
		TARİH	18.11.2011 CUMA
		HAVA DURUMU	PARÇALI BULUTLU, 1–6˚C
		17.00 – 18.00 SAATLERİ ARASINDAKİ TRAFİK HACMİ (B.O. / ARAÇ / SAAT)	

KABATAŞ KAVŞAĞI TRAFİK SAYIM TOPLAMA TABLOSU

AKIŞ YÖNÜ	OTOMOBİL	OTOBÜS	KAMYON	KAMYONET MİNİBÜS	TIR	MOTOSİKLET	BİSİKLET	TOPLAM
1 - 2 AKIMI	228	–	–	45	–	2.8	0.4	276.2
1 - 3 AKIMI	524	48	16.1	243	–	9.6	1.6	842.3
1 - 4 AKIMI	228	–	11.5	87	–	2.4	1.6	330.5
2 - 1 AKIMI	256	–	4.6	117	–	4.4	1.2	383.2
2 - 3 AKIMI	272	22	11.5	106.5	–	1.6	0.2	413.8
2 - 4 AKIMI	374	2	6.9	106.5	–	3.6	1.4	494.4
3 - 1 AKIMI	721	52	13.8	186	–	17.2	4.4	994.4
3 - 2 AKIMI	151	28	2.3	43.5	–	0.4	0.2	225.4
3 - 4 AKIMI	210	2	–	37.5	–	1.2	–	250.7
4 - 1 AKIMI	482	4	2.3	87	–	4	0.2	579.5
4 - 2 AKIMI	422	4	2.3	97.5	–	3.6	2.4	531.8
4 - 3 AKIMI	71	2	–	15	–	0.4	1	89.4
TOPLAM	**3939**	**164**	**71.3**	**1171.5**	**0**	**51.2**	**14.6**	**5411.6**

4.2.2. Kavşaklarla ilgili gerekli diğer veriler

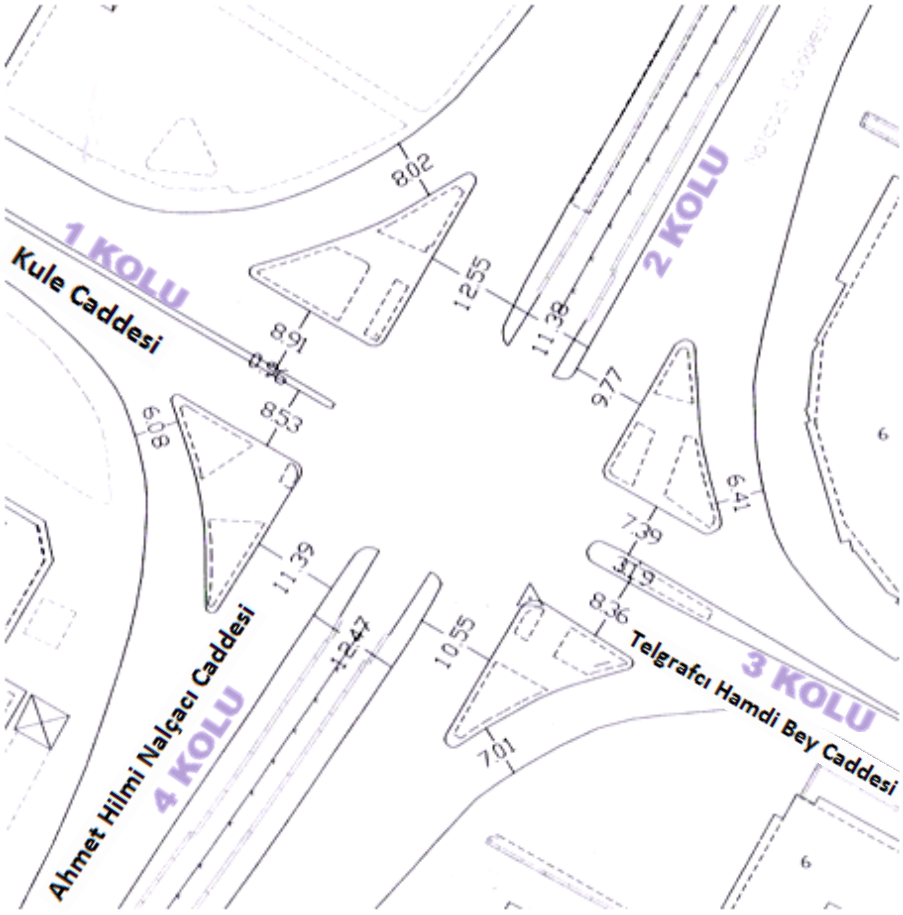
Bu konu başlığı altında, incelenen kavşaklarda, trafik sayımları dışında araştırma veya gözlemlere dayalı bulgulardan ve Konya Büyükşehir Belediyesi'nden alınan verilerden bahsedilmiştir.

4.2.2.1. Kavşak düzeni ile ilgili olan veriler

Kule Kavşağı'nda, aşağıda şekil 4.10'da da ifade edildiği gibi, "1 kolu" olarak tanımlanan "Kule A.V.M.–Emniyet" güzergâhında, kavşak yaklaşım kolu 2 şeritten oluşmaktadır. Bu şeritlerden ilki sola dönen ve düz giden araçlar, ikincisi ise sağa dönen ve düz giden araçlar tarafından kullanılmaktadır. Kavşağın bu kolunda, sağa dönen veya sola dönen araçlar için dönüş şeridi olarak kullanılan kısa şerit uygulaması yoktur. Aynı güzergâhın kavşak çıkış kolu (aynı kolda Emniyete doğru akan trafiğin tersi istikameti, yani aynı kolun soldan akan trafiği) da yine aynı şekilde 2 şeritten oluşmaktadır.

Şekil 4.10'da "2 kolu" olarak ifade edilen "Kunduracılar–Şehir merkezi" güzergâhında, kavşak yaklaşım kolu 3 şeritten oluşmaktadır. Bu şeritlerden ilki sola dönen araçlar, diğer ikisi de düz giden araçlar tarafından kullanılmaktadır. Kavşağın bu kolunda sağa dönen araçlar için dönüş şeridi veya dolmuş duraklaması olarak kullanılan yaklaşık 120 m. uzunluğunda kısa şerit uygulaması vardır. Sola dönenler için ise, dönüş şeridi yoktur. Aynı güzergâhın kavşak çıkış kolu (aynı kolun soldan akan trafiği) da

yine aynı şekilde 3 şeritten oluşmaktadır. Bu kolda, dolmuş duraklaması ve diğer kavşak kolundan (3 kolu) sağa dönen araçlar için katılım şeridi olarak kullanılan yaklaşık 50 m. uzunluğunda kısa şerit uygulaması vardır.



Şekil 4.10. Kule Kavşağı, kavşak kol ve orta refüj genişlikleri (metre)

Yukarıda Şekil 4.10'da "3 kolu" olarak ifade edilen "Emniyet–Kule A.V.M." güzergâhında, kavşak yaklaşım kolu 2 şeritten oluşmaktadır. Bu şeritlerden ilki sola dönen ve düz giden araçlar tarafından, ikincisi ise sağa dönen ve düz giden araçlar tarafından kullanılmaktadır. Fakat şekil 4.10'da da görüldüğü gibi, bu yaklaşım kolunun genişliği 1 koluna göre biraz daha azdır. Aynı zamanda bu kol üzerinde araç parkları trafiğin seyri açısından problem oluşturmaktadır. Park yasağına rağmen, kavşak girişinin yaklaşık 100 m. gerisinden itibaren, sağ şerit boyunca araç parklanmaları gün içerisinde hemen hemen eksik olmamaktadır. Böylece 2 şeritten işleyen trafik, sanki tek şeritten işliyormuş gibi çalışmaktadır. Kavşağın bu kolunda sağa dönen veya sola dönen araçlar için dönüş şeridi olarak kullanılan kısa şerit uygulaması yoktur. Aynı güzergâhın kavşak çıkış kolunda da aynı durumlar söz konusudur.

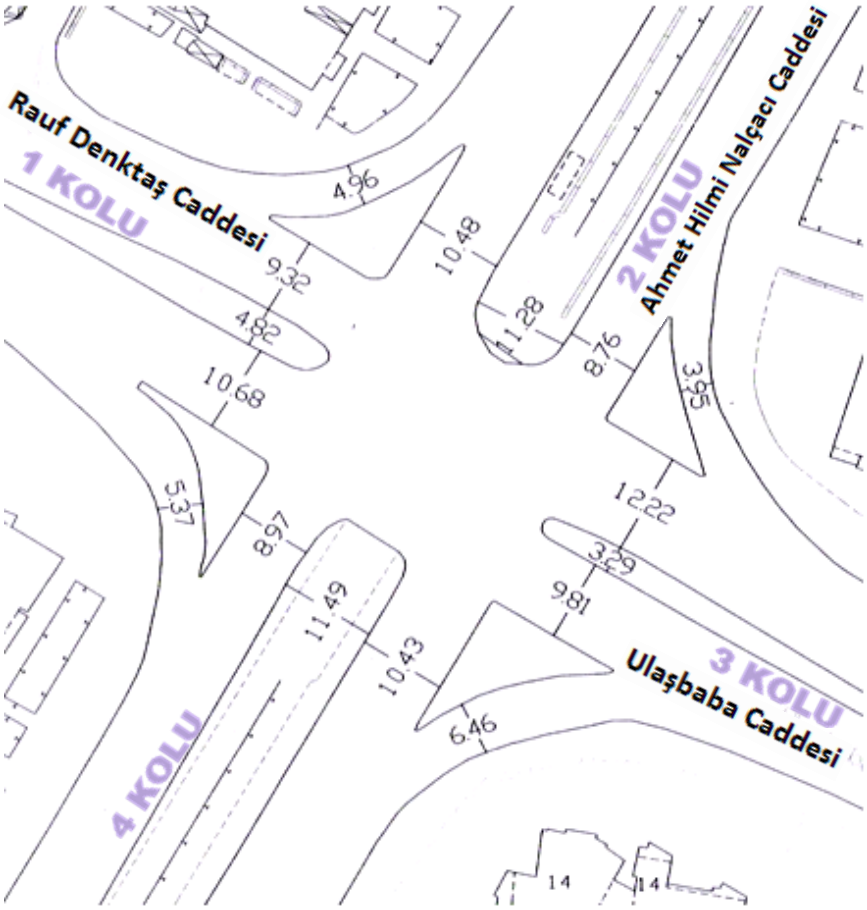
Şekil 4.10'da "4 kolu" olarak ifade edilen "Şehir merkezi–Kunduracılar" güzergâhında, kavşak yaklaşım kolu 3 şeritten oluşmaktadır. Bu şeritlerden ilki sola dönen araçlar, diğer ikisi de düz giden araçlar tarafından kullanılmaktadır. Kavşağın bu kolunda sağa dönen araçlar için yaklaşık 100 m. uzunluğunda dönüş şeridi veya dolmuş duraklaması olarak kullanılan kısa şerit uygulaması vardır. Sola dönenler için ise, dönüş şeridi yoktur. Aynı güzergâhın kavşak çıkış kolu (aynı kolun soldan akan trafiği) da yine aynı şekilde 3 şeritten oluşmaktadır. Bu kolda, dolmuş duraklaması ve diğer kavşak kolundan (1 kolu) sağa dönen araçlar için katılım şeridi olarak kullanılan yaklaşık 80 m. uzunluğunda kısa şerit uygulaması vardır. 4 kolunda, hem giriş (sağdan akan trafik) hem de çıkış (soldan akan trafik) istikametinde sağ şeritler boyunca ücretli otopark uygulaması vardır. Kavşak kolunun giriş güzergâhı boyunca bankaların yoğunluğu, çıkış güzergâhı boyunca dükkânların yoğunluğu göze çarpmaktadır. Dolayısıyla her iki güzergâh için de, trafiğin aktif olarak 2 şeritten aktığı söylenebilir.

Nalçacı–Sille Kavşağı'nda, aşağıda şekil 4.11'de de ifade edildiği gibi, "1 kolu" olarak tanımlanan "Sille–Beşyol" güzergâhında, kavşak yaklaşım kolu 3 şeritten oluşmaktadır. Bu şeritlerden ilk ikisi düz giden araçlar, üçüncüsü ise sağa dönen ve düz giden araçlar tarafından kullanılmaktadır. Kavşağın bu kolunda, sağa dönen araçlar için dönüş şeridi olarak kullanılan kısa şerit uygulaması yoktur. Aynı güzergâhın kavşak çıkış kolu da yine aynı şekilde 3 şeritten oluşmaktadır.

Şekil 4.11'de "2 kolu" olarak ifade edilen "Kule Kavşağı–Şehir merkezi" güzergâhında, kavşak yaklaşım kolu 3 şeritten oluşmaktadır. Fakat kavşak sola dönüşlere kapatıldığı için, bu şeritlerden biri şu anda kapatılmıştır. Kırmızı süre boyunca kavşağın bu yaklaşım koluna gelen ve kapalı şeride giren taşıtlar, yeşil yanmasıyla sağ şeride katılmaya çalışmakta ve bu durum da trafik seyrinde problem oluşturmaktadır. Şu anda düz giden ve sağa dönen araçlar tarafından kullanılmak üzere 2 şerit aktiftir. Ayrıca kavşağın bu kolunda, sağa dönen araçlar için dönüş şeridi veya dolmuş duraklaması olarak kullanılan yaklaşık 90 m. uzunluğunda kısa şerit uygulaması vardır. Aynı güzergâhın kavşak çıkış kolu da 3 şeritten oluşmaktadır. Bu kolda, dolmuş duraklaması veya katılım şeridi gibi kısa şerit uygulaması yoktur.

Şekil 4.11'de "3 kolu" olarak ifade edilen "Beşyol–Sille" güzergâhında, kavşak yaklaşım kolu 3 şeritten oluşmaktadır. Fakat bu yaklaşım yolu boyunca sağ tarafta belediye otobüs durağı ve araç parklanmaları nedeniyle, en sağ şeridin genişliği biraz daha azdır ve trafik genellikle 2 şerit olarak hareket etmektedir. Bu şeritlerden ilki düz

giden araçlar, ikincisi ise sağa dönen ve düz giden araçlar tarafından kullanılmaktadır. Aynı güzergâhın kavşak çıkış kolunda da, şerit sayısı olarak aynı durum söz konusudur.

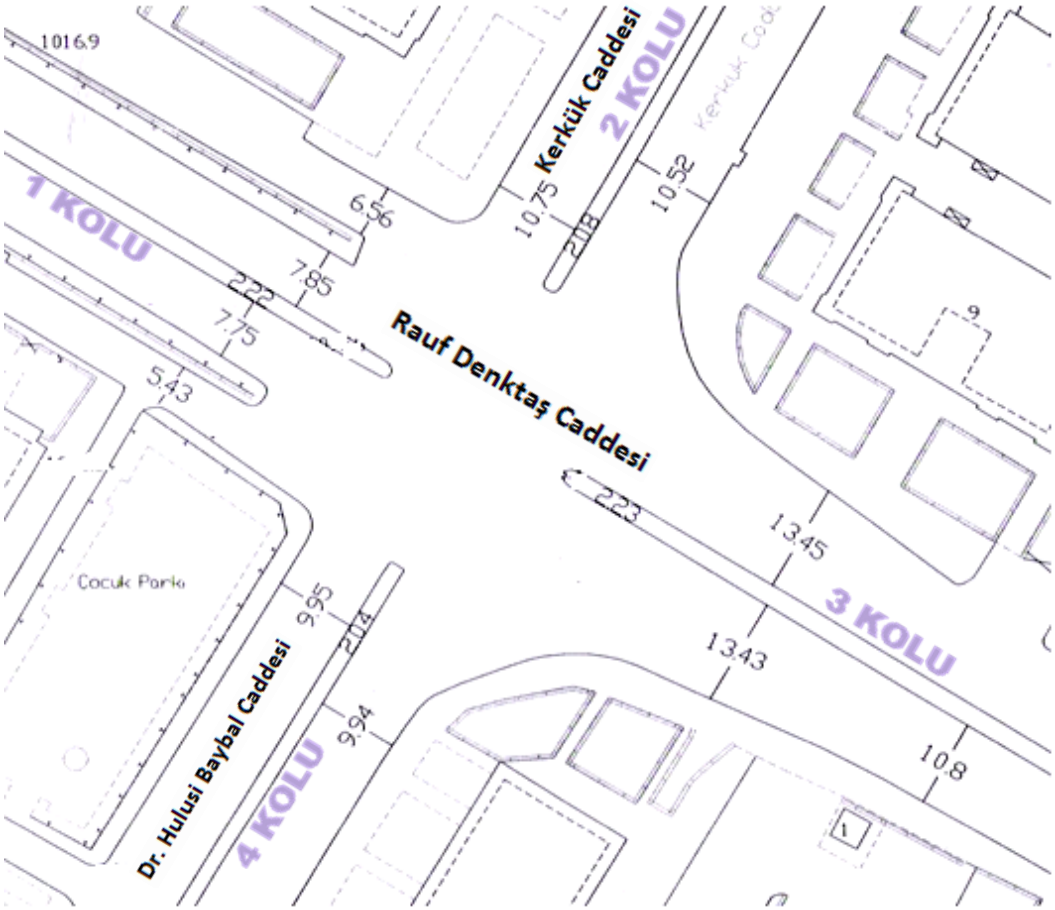


Şekil 4.11. Nalçacı–Sille Kavşağı, kavşak kol ve orta refüj genişlikleri (metre)

Yukarıda Şekil 4.11'de "4 kolu" olarak ifade edilen "Şehir merkezi–Kule Kavşağı" güzergâhında, kavşak yaklaşım kolu 3 şeritten oluşmaktadır. Fakat kavşak sola dönüşlere kapatıldığı için, 2 kolundaki aynı durum bu kolda da söz konusudur. Kavşağın bu kolunda sağa dönen araçlar için yaklaşık 80 m. uzunluğunda dönüş şeridi veya dolmuş duraklaması olarak kullanılan kısa şerit uygulaması vardır. Aynı güzergâhın kavşak çıkış kolu da 3 şeritten oluşmaktadır. Bu kolda ise, dolmuş duraklaması veya katılım şeridi gibi kısa şerit yoktur. Ayrıca, Kule Kavşağı'nda "4 kolu (Şehir merkezi–Kunduracılar)" olarak ifade edilen güzergâh boyunca olduğu gibi, Nalçacı–Sille Kavşağı'nın bu kolunda da her iki yöndeki trafiğin seyri açısından araç parklanmaları engel teşkil etmektedir.

Kabataş Kavşağı'nda, aşağıda şekil 4.12'de de ifade edildiği gibi, "1 kolu" olarak tanımlanan "Sille–Beşyol" güzergâhında, kavşak yaklaşım kolu 2 şeritten

oluşmaktadır. Bu şeritlerden biri sola dönen ve düz giden araçlar, diğeri ise sağa dönen ve düz giden araçlar tarafından kullanılmaktadır. Kavşağın bu kolunda, sağa veya sola dönen araçlar için dönüş şeridi yoktur ve kol boyunca yaklaşık % 3,75 değerinde boyuna eğim (çıkış eğimi) vardır. Aynı güzergâhın kavşak çıkış kolu da yine aynı şekilde 2 şeritten oluşmaktadır.



Şekil 4.12. Kabataş Kavşağı, kavşak kol ve orta refüj genişlikleri (metre)

Şekil 4.12'de "2 kolu" olarak ifade edilen "Toptancılar–İş merkezleri" güzergâhında, kavşak yaklaşım kolu 3 şeritten oluşmaktadır. Bu şeritlerden ilki sola dönen ve düz giden araçlar, ikincisi düz giden araçlar ve üçüncüsü ise düz giden ve sağa dönen araçlar tarafından kullanılmaktadır. Sola veya sağa dönüşler için dönüş şeridi yoktur. Aynı güzergâhın kavşak çıkış kolu da 3 şeritten oluşmaktadır.

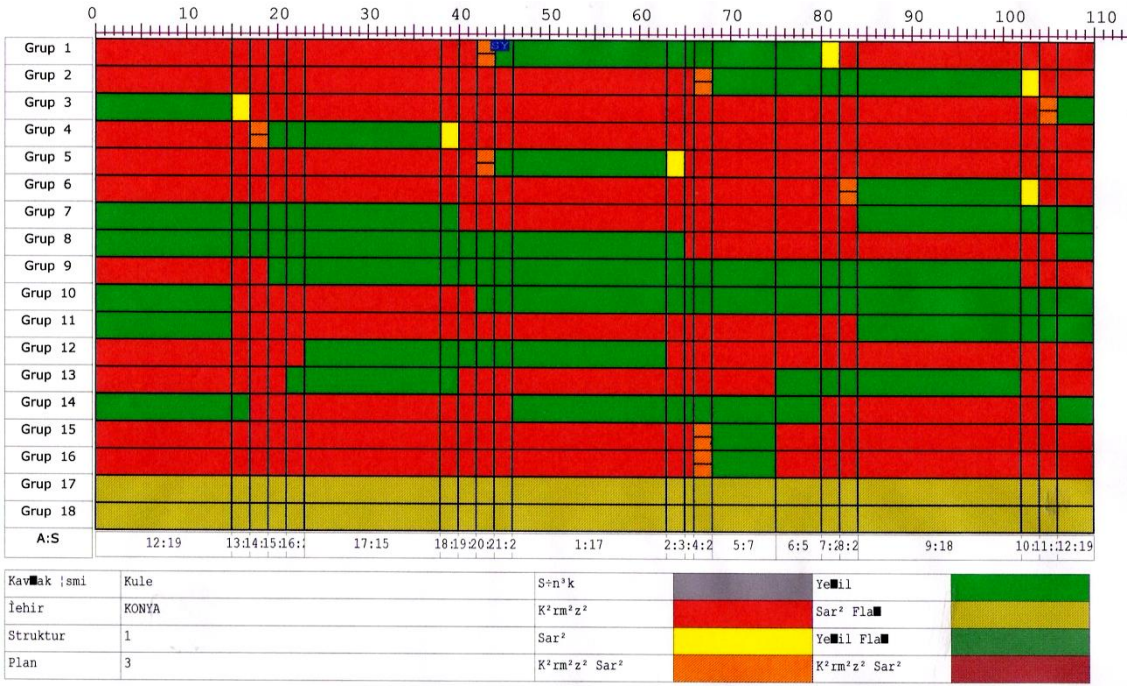
Şekil 4.12'de "3 kolu" olarak ifade edilen "Beşyol–Sille" güzergâhında, kavşak yaklaşım kolu 3 şeritten oluşmaktadır. Bu şeritlerden ilki sola dönen ve düz giden araçlar, ikincisi düz giden araçlar ve üçüncüsü ise düz giden ve sağa dönen araçlar tarafından kullanılmaktadır. Sola dönüşler için dönüş şeridi yoktur fakat sağa dönen

araçlar için yaklaşık 70 m. uzunluğunda dönüş şeridi vardır. Aynı güzergâhın kavşak çıkış kolunda da, şerit sayısı olarak aynı durum söz konusudur. Bu kolda da, diğer kavşak kolundan (4 kolu) sağa dönen araçların katılımı için yaklaşık 70 m. uzunluğunda kısa şerit uygulaması vardır.

Yukarıda Şekil 4.12'de "4 kolu" olarak ifade edilen "İş merkezleri–Toptancılar" güzergâhında, kavşak yaklaşım kolu 3 şeritten oluşmaktadır. Bu şeritlerden ilki sola dönen ve düz giden araçlar, ikincisi düz giden araçlar ve üçüncüsü ise düz giden ve sağa dönen araçlar tarafından kullanılmaktadır. Sola veya sağa dönüşler için dönüş şeridi yoktur. Aynı güzergâhın kavşak çıkış kolu da 3 şeritten oluşmaktadır. Bu şeritlerden en sağ şerit, genellikle park şeridi olarak kullanılmaktadır.

4.2.2.2. Kavşaklardaki sinyal fazları ve zamanları

Kule Kavşağı'nın devre süresi 110 sn.'dir. Kule Kavşağı'nın sinyal zaman diyagramı aşağıda şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Kule Kavşağı Sinyal Diyagramı

Şekil 4.13'de ifade edilen grupların açıklaması şu şekildedir:

Grup 1, Kunduracılar–Şehir merkezi güzergâhında düz giden araçları ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 36 sn. yeşil ve 2 sn. sarı olan grup 1 oto lambası 44.

saniyede başlayıp 80. saniyede bitmektedir. Sinyal diyagramında görüleceği gibi Grup 5 çalışması esnasında; Kule A.V.M.–Emniyet, Emniyet–Kule A.V.M. ve Şehir merkezi–Kunduracılar güzergâhları üzerinde hareket eden tüm taşıtlar için kırmızı yanmaktadır. Grup 5 sona erdikten sonra ise, Şehir merkezi–Kunduracılar güzergâhında düz giden taşıtlar da Grup 1 ile hareket etmektedir.

Grup 2, Şehir merkezi–Kunduracılar güzergâhında düz giden araçları ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 34 sn. yeşil ve 2 sn. sarı olan grup 2 oto lambası 68. saniyede başlayıp 102. saniyede bitmektedir. Sinyal diyagramında görüleceği gibi Grup 6 çalışması esnasında; Kule A.V.M.–Emniyet, Emniyet–Kule A.V.M. ve Kunduracılar–Şehir merkezi güzergâhları üzerinde hareket eden tüm taşıtlar için kırmızı yanmaktadır. Grup 6 başlamadan önce ise, Kunduracılar–Şehir merkezi güzergâhında düz giden taşıtlar da Grup 2 ile hareket etmektedir.

Grup 3, Kule A.V.M.–Emniyet güzergâhındaki tüm taşıtları ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 19 sn. yeşil ve 2 sn. sarı olan grup 3 oto lambası 106. saniyede başlayıp 15. saniyede bitmektedir. Grup 3 çalışması esnasında; Şehir merkezi–Kunduracılar, Emniyet–Kule A.V.M. ve Kunduracılar–Şehir merkezi güzergâhları üzerinde hareket eden tüm taşıtlar için kırmızı yanmaktadır.

Grup 4, Emniyet–Kule A.V.M. güzergâhındaki tüm taşıtları ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 19 sn. yeşil ve 2 sn. sarı olan grup 4 oto lambası 19. saniyede başlayıp 38. saniyede bitmektedir. Grup 4 çalışması esnasında; Şehir merkezi–Kunduracılar, Kule A.V.M.–Emniyet ve Kunduracılar–Şehir merkezi güzergâhları üzerinde hareket eden tüm taşıtlar için kırmızı yanmaktadır.

Grup 5, Kunduracılar–Şehir merkezi güzergâhında sola dönen araçları ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 19 sn. yeşil ve 2 sn. sarı olan grup 5 oto lambası 44. saniyede başlayıp 63. saniyede bitmektedir. Şekil 4.13'de de görüleceği gibi; Grup 5 ile Grup 1 beraber çalışmakta ve Grup 5 sona erdikten sonra ise, Grup 1 ile Grup 2 beraber çalışmaktadır.

Grup 6, Şehir merkezi–Kunduracılar güzergâhında sola dönen araçları ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 18 sn. yeşil ve 2 sn. sarı olan grup 6 oto lambası 89. saniyede başlayıp 102. saniyede bitmektedir. Şekil 4.13'de de görüleceği gibi; Grup 6 ile Grup 2 beraber çalışmakta ve Grup 6 başlamadan önce ise, Grup 1 ile Grup 2 beraber çalışmaktadır.

Grup 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13;14, kavşaktaki tüm kollardaki yaya akımlarını ifade etmektedir.

Grup 15 ve 16, kavşakta A.Hilmi Nalçacı Caddesi boyunca iki yönlü olarak hareket eden tramvayı ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 7 sn. yeşil olan grup 15–16 oto lambaları 68. saniyede başlayıp 75. saniyede bitmektedir. Sinyal diyagramından da anlaşılacağı gibi; grup 1 ile grup 2'nin beraber çalıştığı süre içerisinde grup 15 ve 16 da çalışmaktadır.

Grup 17 ve 18 ise, kavşaktaki tüm kollarda sağa dönen araçları ifade etmektedir. Kule Kavşağı'nda tüm kollarda sağa dönen araçlar için sarı flash yanmaktadır.

Nalçacı–Sille Kavşağı'nın devre süresi 75 sn.'dir. Nalçacı–Sille Kavşağı'nın sinyal zaman diyagramı aşağıda şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Nalçacı–Sille Kavşağı Sinyal Diyagramı

Şekil 4.14'de ifade edilen grupların açıklaması şu şekildedir:

Grup 1, Kule Kavşağı–Şehir merkezi güzergâhında düz giden ve sağa dönen araçları ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 34 sn. yeşil ve 4 sn. sarı olan grup 1 oto lambası 12. saniyede başlayıp 45. saniyede bitmektedir. Sinyal diyagramında görüleceği gibi Grup 1 çalışması esnasında, Sille–Beşyol ve Beşyol–Sille güzergâhları üzerinde hareket eden tüm taşıtlar için kırmızı yanmaktadır.

Grup 2, Şehir merkezi–Kule Kavşağı güzergâhında düz giden ve sağa dönen araçları ifade etmektedir. Grup 1 ile ilgili durumlar, grup 2 için de geçerlidir.

Grup 3, Sille–Beşyol güzergâhında düz giden ve sağa dönen araçları ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 28 sn. yeşil ve 4 sn. sarı olan grup 3 oto lambası 52. saniyede başlayıp 06. saniyede bitmektedir. Şekil 4.14'de de görüleceği gibi Grup 3

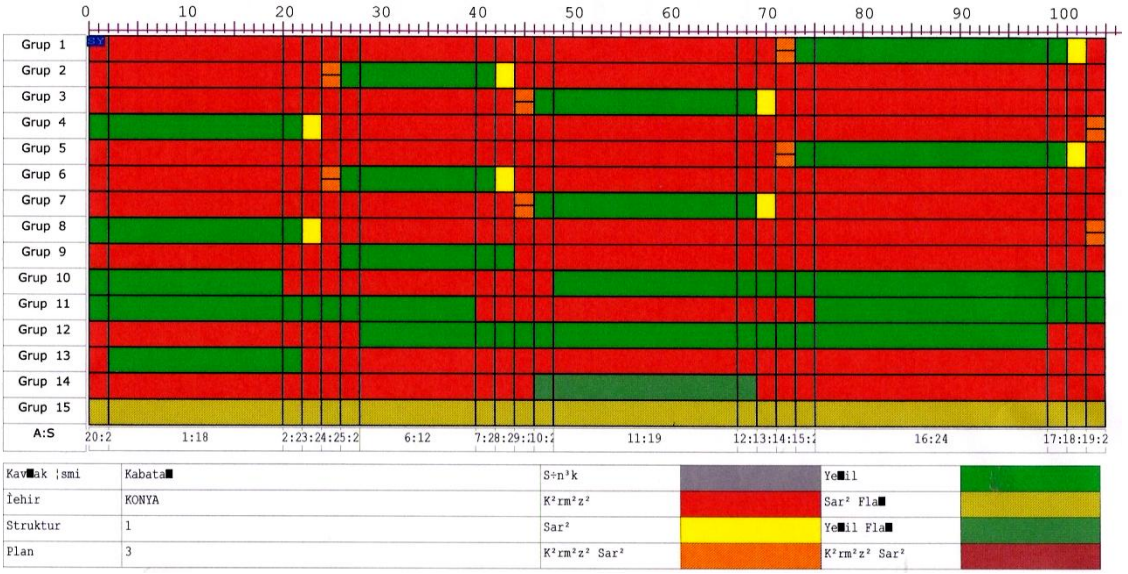
çalışması esnasında, Kule Kavşağı–Şehir merkezi ve Şehir merkezi–Kule Kavşağı güzergâhları üzerinde hareket eden tüm taşıtlar için kırmızı yanmaktadır.

Grup 4, Beşyol–Sille güzergâhında düz giden ve sağa dönen araçları ifade etmektedir. Grup 3 ile ilgili durumlar, grup 4 için de geçerlidir.

Grup 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11;12, kavşaktaki tüm kollardaki yaya akımlarını ifade etmektedir.

Grup 13 ve 14, kavşakta A.Hilmi Nalçacı Caddesi boyunca iki yönlü olarak hareket eden tramvayı ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 33 sn. yeşil olan grup 13–14 oto lambaları 12. saniyede başlayıp 45. saniyede bitmektedir. Sinyal diyagramından da anlaşılacağı gibi; grup 1 ile grup 2'nin beraber çalıştığı süre içerisinde grup 13 ve 14 de çalışmaktadır.

Kabataş Kavşağı'nın devre süresi 105 sn.'dir. Kabataş Kavşağı'nın sinyal zaman diyagramı aşağıda şekil 4.15'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Kabataş Kavşağı Sinyal Diyagramı

Şekil 4.15'de ifade edilen grupların açıklaması şu şekildedir:

Grup 1, Sille–Beşyol güzergâhında düz giden araçları; Grup 5 ise, aynı güzergâhta sola dönen araçları ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 28 sn. yeşil ve 2 sn. sarı olan grup 1 ve 5 oto lambaları 73. saniyede başlayıp 101. saniyede bitmektedir. Sinyal diyagramında görüleceği gibi Grup 1 ve 5 çalışması esnasında; Toptancılar–İş merkezleri, Beşyol–Sille ve İş merkezleri–Toptancılar güzergâhları üzerinde hareket eden tüm taşıtlar için kırmızı yanmaktadır.

Grup 2, Beşyol–Sille güzergâhında düz giden ve sağa dönen araçları; Grup 6 ise, aynı güzergâhta sola dönen araçları ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 16 sn. yeşil ve 2 sn. sarı olan grup 2 ve 6 oto lambaları 26. saniyede başlayıp 42. saniyede bitmektedir. Şekilde de görüleceği gibi, grup 2 ve 6 çalışması esnasında; Toptancılar–İş merkezleri, Sille–Beşyol ve İş merkezleri–Toptancılar güzergâhları üzerinde hareket eden tüm taşıtlar için kırmızı yanmaktadır.

Grup 3, İş merkezleri–Toptancılar güzergâhında düz giden ve sağa dönen araçları; Grup 7 ise, aynı güzergâhta sola dönen araçları ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 23 sn. yeşil ve 2 sn. sarı olan grup 3 ve 7 oto lambaları 46. saniyede başlayıp 69. saniyede bitmektedir. Grup 3 ve 7 çalışması esnasında; Toptancılar–İş merkezleri, Beşyol–Sille ve Sille–Beşyol güzergâhları üzerinde hareket eden tüm taşıtlar için kırmızı yanmaktadır.

Grup 4, Toptancılar–İş merkezleri güzergâhında düz giden ve sağa dönen araçları; Grup 8 ise, aynı güzergâhta sola dönen araçları ifade etmektedir. 2 sn. sarı–kırmızı, 22 sn. yeşil ve 2 sn. sarı olan grup 4 ve 8 oto lambaları 00. saniyede başlayıp 22. saniyede bitmektedir. Grup 4 ve 8 çalışması esnasında; İş merkezleri–Toptancılar, Beşyol–Sille ve Sille–Beşyol güzergâhları üzerinde hareket eden tüm taşıtlar için kırmızı yanmaktadır.

Grup 9; 10; 11; 12; 13; 14, kavşaktaki tüm kollardaki yaya akımlarını ifade etmektedir.

Grup 15 ise, Sille–Beşyol güzergâhında sağa dönen araçları ifade etmektedir. Kavşakta sadece bu kol üzerinde sağa dönen araçlar için sarı flash yanmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kavşaklarda araştırma, gözlem veya etütlere dayanarak elde edilen veriler (Tez çalışmasının 4.bölümünde ifade edilen kavşaklar hakkındaki bulgular) "Sidra Intersection" bilgisayar programına girilmiş ve kavşakların analizleri yapılmıştır. Kavşak analizleri sonucunda; kavşak kollarında doygunluk dereceleri, kapasiteler, hizmet düzeyleri, araç başına ortalama kontrol gecikmeleri gibi değerler elde edilmiştir.

5.1. Sonuçlar

Kavşak analizleri, Avustralya yöntemine dayanan ve sağ sürüş kuralının geçerli olduğu ülkeler için tasarlanan "Standart Right" modellemesi ve Amerikan (HCM) yöntemine dayanan "US HCM (Metric)" modellemesi ile yapılmıştır. Kule Kavşağı'nda mevcut sinyal diyagramına göre elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Mevcut devre süresine (110 sn.) göre Kule Kavşağı analiz sonuçları

Akış Yönü	"Standart Right" modellemesine göre				"US HCM (Metric)" modellemesine göre			
	Gecikme (sn.)	Doygunluk Derecesi	Kapasite (araç/saat)	Hizmet Düzeyi	Gecikme (sn.)	Doygunluk Derecesi	Kapasite (araç/saat)	Hizmet Düzeyi
1-2 YÖNÜ	534.5	2.02	204.0	F	577.9	2.16	191.3	F
1-3 YÖNÜ	519.9	2.02	218.5	F	570.3	2.16	204.9	F
1-4 YÖNÜ	522.1	2.02	236.9	F	563.7	2.16	222.1	F
2-1 YÖNÜ	7.8	0.24	1431.7	A	0.7	0.27	1248.4	A
2-3 YÖNÜ	332.6	1.58	268.0	F	346.0	1.63	259.0	F
2-4 YÖNÜ	156.8	1.21	1362.9	F	165.1	1.26	1314.0	F
3-1 YÖNÜ	489.4	1.96	156.4	F	545.3	2.11	145.6	F
3-2 YÖNÜ	492.8	1.96	241.0	F	539.7	2.11	224.3	F
3-4 YÖNÜ	507.1	1.96	226.2	F	556.6	2.11	210.5	F
4-1 YÖNÜ	141.3	1.14	254.6	F	164.1	1.19	244.1	F
4-2 YÖNÜ	58.0	0.94	1244.0	E	70.9	0.99	1185.3	E
4-3 YÖNÜ	7.8	0.17	1345.4	A	0.6	0.20	1128.9	A

Çizelge 5.1'den de anlaşılacağı gibi, Kule Kavşağı analiziyle elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

İki farklı modellemeye göre elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Fakat "SR" modellemesinde; gecikme ve doygunluk derecesi değerleri daha az, kapasite değerleri de daha fazla çıkmıştır.

Her iki modellemeye göre doygunluk derecesi değerleri, 3 yöndeki trafik akımı hariç diğer yönlerde 1.0'in üzerindedir. Bu 3 yönden biri olan "4-2" yönündeki trafik akımı (Şehir merkezi–Kunduracılar güzergâhında düz giden taşıtlar) için, bu değer 1.0'e çok yakındır. Diğer "2-1" ve "4-3" yönlerindeki trafik akımları için ise, bu değerler

oldukça düşüktür. Bu iki yöndeki trafik akımları; Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesi boyunca her iki yönde (şehir merkezi güzergâhı ve bunun tersi yönünde) de sağa dönen taşıtlardır. Bu taşıtlar için ilave sağa dönüş şeridi vardır ve kavşak girişinde "sarı flash" yanmasından dolayı, taşıtlar kontrollü olarak hareketlerine durmadan devam etmektedir. Dolayısıyla, bu yönlerdeki trafik akımları için gecikme, doygunluk derecesi ve hizmet düzeyi değerlerinin düşük olması beklenen bir sonuçtur.

Kavşaktaki bazı yönlerdeki trafik akımlarında kapasite değerlerinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu trafik akımları şu şekilde sıralanabilir:

- 2–1 Akımı; Kunduracılar–Ş.merkezi güzergâhında sağa dönen araçlar,
- 2–4 Akımı; Kunduracılar–Ş.merkezi güzergâhında düz giden araçlar,
- 4–2 Akımı; Ş.merkezi–Kunduracılar güzergâhında düz giden araçlar,
- 4–3 Akımı; Ş.merkezi–Kunduracılar güzergâhında sağa dönen araçlar.

"2-1" ve "4-3" yönlerinde, trafik akımları daha kolay ilerlemekte; "2-4" ve "4-2" yönlerinde ise, trafik akımları 2 veya daha fazla şerit olarak ilerlemektedir. Bu kavşak yönlerindeki kapasite değerlerinin, bu sebeplerden dolayı yüksek olduğu söylenebilir. Kapasite bakımından en küçük değerin, "3-1" yönünde (Emniyet–Kule güzergâhında düz giden taşıtlar) olduğu görülmüştür. Bölüm 4'de de anlatıldığı gibi; bu kavşak kolundaki parklanma etkisinden dolayı, kapasitenin düşük olduğu söylenebilir.

Yapılan çözümleme sonucunda; Kule Kavşağı'nın mevcut durumunun yetersiz olduğu, kavşakta özellikle trafiğin zirve saatlerinde uzun taşıt kuyruklarının oluştuğu, gecikmelerin büyük değerlere ulaştığı ve kavşağın istenen hizmet düzeyinde çalışmadığı anlaşılmış ve kavşak kollarının "F" hizmet düzeyinde çalıştığı tespit edilmiştir.

Nalçacı–Sille Kavşağı'nda mevcut devre süresine göre elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Mevcut devre süresine (75 sn.) göre Nalçacı–Sille Kavşağı analiz sonuçları

Akış Yönü	"Standart Right" modellemesine göre				"US HCM (Metric)" modellemesine göre			
	Gecikme (sn.)	Doygunluk Derecesi	Kapasite (araç/saat)	Hizmet Düzeyi	Gecikme (sn.)	Doygunluk Derecesi	Kapasite (araç/saat)	Hizmet Düzeyi
1-3 YÖNÜ	21.0	0.64	1448.8	C	24.8	0.67	1375.0	C
1-4 YÖNÜ	99.2	1.08	508.9	F	162.3	1.27	433.7	F
2-1 YÖNÜ	37.3	0.89	589.0	D	26.0	0.97	542.6	C
2-4 YÖNÜ	157.3	1.26	1855.9	F	174.8	1.33	1758.9	F
3-1 YÖNÜ	108.8	1.14	1063.7	F	135.5	1.22	990.6	F
3-2 YÖNÜ	118.4	1.14	308.2	F	138.6	1.22	287.0	F
4-2 YÖNÜ	28.9	0.88	1836.9	C	37.4	0.93	1731.5	D
4-3 YÖNÜ	21.3	0.29	566.0	C	14.7	0.33	501.8	B

Çizelge 5.2'den de anlaşılacağı gibi, Nalçacı–Sille Kavşağı analiziyle elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

İki farklı modellemeye göre elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Fakat "SR" modellemesinde; gecikme ve doygunluk derecesi değerleri daha az, kapasite değerleri de daha fazla çıkmıştır.

Her iki modellemeye göre, kavşakta bazı yönlerdeki trafik akımları için doygunluk derecesi değerleri 1.0'in altındadır ve gecikme değerleri de düşüktür. Dolayısıyla, aşağıdaki kavşak yönlerinin istenen hizmet düzeyinde olduğu görülmüştür.

- 1–3 Akımı; Sille–Beşyol güzergâhında düz giden araçlar,
- 2–1 Akımı; Kule Kavşağı–Ş.merkezi güzergâhında sağa dönen araçlar,
- 4–2 Akımı; Ş.merkezi–Kule Kavşağı güzergâhında düz giden araçlar,
- 4–3 Akımı; Ş.merkezi–Kule Kavşağı güzergâhında sağa dönen araçlar.

Kavşakta diğer yönlerdeki trafik akımları için ise, doygunluk derecesi değerleri 1.0'in üstündedir ve gecikme değerleri de yüksektir. Dolayısıyla aşağıda belirtilen, kavşaktaki diğer yönlerin istenen hizmet düzeyinde çalışmadığı tespit edilmiştir. Özellikle kavşaktaki gecikmeler bakımından, "2-4" yönünün en büyük değere sahip olduğu görülmüştür.

- 1–4 Akımı; Sille–Beşyol güzergâhında sağa dönen araçlar,
- 2–4 Akımı; Kule Kavşağı–Ş.merkezi güzergâhında düz giden araçlar,
- 3–1 Akımı; Beşyol–Sille güzergâhında düz giden araçlar,
- 3–2 Akımı; Beşyol–Sille güzergâhında sağa dönen araçlardır.

Kabataş Kavşağı'nda ise, mevcut devre süresine göre elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Mevcut devre süresine (105 sn.) göre Kabataş Kavşağı analiz sonuçları

Akış Yönü	"Standart Right" modellemesine göre				"US HCM (Metric)" modellemesine göre			
	Gecikme (sn.)	Doygunluk Derecesi	Kapasite (araç/saat)	Hizmet Düzeyi	Gecikme (sn.)	Doygunluk Derecesi	Kapasite (araç/saat)	Hizmet Düzeyi
1-2 YÖNÜ	314.4	1.55	198.3	F	365.2	1.70	180.0	F
1-3 YÖNÜ	306.6	1.55	523.1	F	365.5	1.70	474.9	F
1-4 YÖNÜ	341.9	1.55	209.5	F	365.9	1.70	190.2	F
2-1 YÖNÜ	304.6	1.52	324.9	F	406.7	1.78	277.2	F
2-3 YÖNÜ	250.1	1.40	318.4	F	268.7	1.47	303.4	F
2-4 YÖNÜ	185.3	1.27	412.8	F	207.2	1.33	394.9	F
3-1 YÖNÜ	502.8	2.09	491.4	F	517.8	2.12	492.2	F
3-2 YÖNÜ	91.2	1.00	217.0	F	102.4	1.00	198.1	F
3-4 YÖNÜ	562.4	2.09	119.2	F	562.3	2.12	117.2	F
4-1 YÖNÜ	488.0	1.92	336.2	F	496.7	1.99	325.5	F
4-2 YÖNÜ	43.8	0.75	705.4	D	53.6	0.79	668.1	D
4-3 YÖNÜ	52.2	0.75	117.6	D	54.6	0.79	111.4	D

Çizelge 5.3'den de anlaşılacağı gibi, Kabataş Kavşağı analiziyle elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

İki farklı modellemeye göre elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Fakat "SR" modellemesinde; gecikme ve doygunluk derecesi değerleri daha az, kapasite değerleri de daha fazla çıkmıştır.

Her iki modellemeye göre, doygunluk derecesi değerleri genellikle 1.0'in üzerindedir. Sadece "4-2" ve "4-3" yönlerindeki trafik akımları için, bu değerler 1.0'in altındadır. Bu trafik akımları, iş merkezleri–toptancılar güzergâhında düz giden ve sağa dönen taşıtlardır. Ayrıca, bu yönlerdeki trafik akımlarının "D" hizmet düzeyinde çalıştığı tespit edilmiştir.

Yapılan çözümleme sonucunda; Kule Kavşağı kadar olmasa da Kabataş Kavşağı'nın mevcut durumunun yetersiz olduğu, kavşakta özellikle trafiğin zirve saatlerinde taşıt kuyruklarının oluştuğu, gecikmelerin bazı kavşak kolları için büyük değerlere ulaştığı ve kavşağın istenen hizmet düzeyinde çalışmadığı anlaşılmış ve kavşak kollarının "F" hizmet düzeyinde çalıştığı tespit edilmiştir.

5.2. Öneriler

Kavşakların incelenmesi aşamasında, önce kavşakların durumunu tespit etmek amacıyla mevcut faz planları ve süreler (devre süresi, yeşil süreler… v.b.) girilerek programda analizler yapılmış, daha sonra aynı faz planları veya farklıları kullanılarak programa optimum devre süresi hesabı yaptırılmıştır. Böylece incelenen kavşaklarda gecikmeyi azaltacak, kapasiteyi ve hizmet düzeylerini artıracak yeni süreler (devre süreleri, yeşil süreler… v.b.) ve faz planları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Optimum devre süresi hesabında, kabul edilebilir maksimum ve minimum devre süresi ile referans aralığı programa girilmekte, programın yaptığı çözümleme ile bu iki değer arasındaki en uygun değer tespit edilmektedir.

Kule Kavşağı için optimum devre süresi; "SR" modellemesine göre **125 sn.**, "HCM" modellemesine göre ise **145 sn.** önerilmiştir. Nalçacı–Sille Kavşağı için optimum devre süresi; "SR" modellemesine göre **70 sn.**, "HCM" modellemesine göre ise **85 sn.** önerilmiştir. Kabataş Kavşağı için optimum devre süresi; "SR" modellemesine göre **115 sn.**, "HCM" modellemesine göre ise **125 sn.** önerilmiştir.

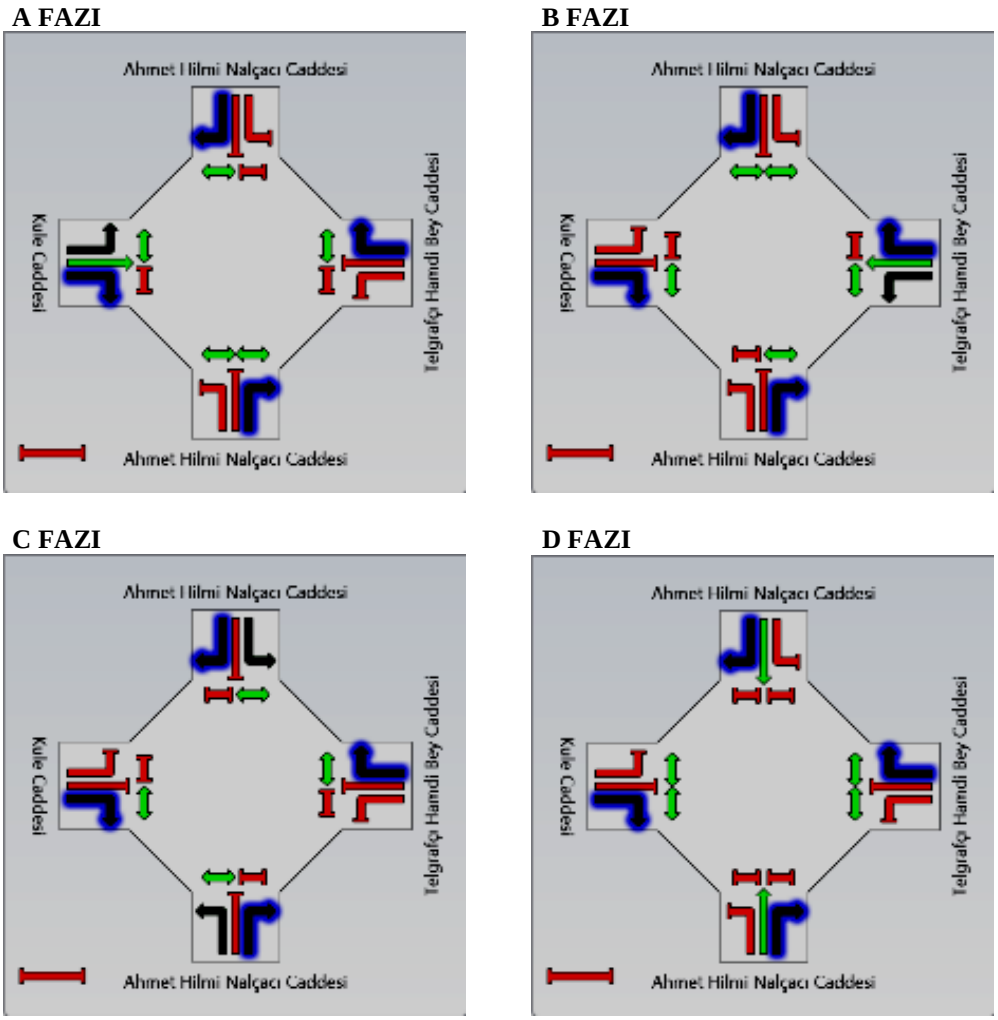
Kule Kavşağı'nda önerilen devre süresine göre elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Önerilen devre süresine göre Kule Kavşağı analiz sonuçları

Akış Yönü	"Standart Right" modellemesine göre				"US HCM (Metric)" modellemesine göre			
	Gecikme (sn.)	Doygunluk Derecesi	Kapasite (araç/saat)	Hizmet Düzeyi	Gecikme (sn.)	Doygunluk Derecesi	Kapasite (araç/saat)	Hizmet Düzeyi
1-2 YÖNÜ	356.4	1.62	255.4	F	373.1	1.68	245.4	F
1-3 YÖNÜ	342.5	1.62	273.6	F	367.1	1.68	262.8	F
1-4 YÖNÜ	344.3	1.62	296.6	F	360.1	1.68	284.9	F
2-1 YÖNÜ	7.7	0.25	1396.8	A	0.7	0.28	1215.2	A
2-3 YÖNÜ	360.5	1.62	260.7	F	392.7	1.70	248.2	F
2-4 YÖNÜ	336.8	1.59	1037.3	F	359.6	1.66	996.8	F
3-1 YÖNÜ	337.7	1.61	190.6	F	360.9	1.67	183.7	F
3-2 YÖNÜ	340.4	1.61	293.6	F	354.1	1.67	283.1	F
3-4 YÖNÜ	354.4	1.61	275.6	F	369.8	1.67	265.6	F
4-1 YÖNÜ	137.1	1.11	261.3	F	173.3	1.17	246.9	F
4-2 YÖNÜ	147.2	1.17	1000.9	F	174.5	1.23	950.6	F
4-3 YÖNÜ	7.8	0.17	1351.9	A	0.5	0.20	1142.2	A

Çizelge 5.1 ile 5.4 karşılaştırıldığında, program tarafından önerilen devre süresi ile Kule Kavşağı'nda hizmet düzeylerinde bir değişiklik olmadığı fakat kavşak yönlerindeki gecikmeler ve kapasiteler bakımından iyileşme olduğu görülmüştür. Daha önce mevcut devre süresine göre olan çözümde, Emniyet–Kule güzergâhında düz giden taşıtlar ile sola ve sağa dönen taşıtların (3-1, 3-2 ve 3-4 yönleri) ve Kule–Emniyet güzergâhında düz giden taşıtlar ile sola ve sağa dönen taşıtların (1-3, 1-2 ve 1-4 yönleri), diğer kavşak yönlerindeki taşıtlara kıyasla gecikme ve doygunluk derecelerinin daha yüksek, kapasite değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştü (Çizelge 5.1). Önerilen devre süresi ile bu yönlerdeki trafik akımlarında; gecikme değerlerinin yaklaşık **% 35**, doygunluk derecesi değerlerinin yaklaşık **% 20** azaldığı ve kapasite değerlerinin de yaklaşık **% 25** arttığı gözlemlenmiştir (Çizelge 5.4). Böylelikle kavşak yönlerindeki gecikme, kapasite ve doygunluk derecesi değerlerinin daha dengeli dağılmasıyla iyileştirmenin sağlandığı görülmüştür.

Kule Kavşağı, mevcut faz planına göre 5 fazlı bir sistemdir. Faz sayısının fazla olması da, fazlar arasındaki yeşiller arası süreyi artırmaktadır. Böylelikle, kavşakta yeşiller arası sürenin toplamı olan kayıp zamanlar da artmaktadır. Bu durum, gecikmelerin artmasına ve kapasitenin azalmasına sebep olabilmektedir. Bu yüzden, Kule Kavşağı'nın faz planı 4 fazlı bir sistem olarak programa girilmiştir. Çizelge 5.1 ve 5.4'den de anlaşılacağı gibi, önerilen faz planı ve devre süresinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Kule Kavşağı'nda iki farklı modelleme için de önerilen faz planı aşağıda şekil 5.1'de; yöntemlere göre önerilen faz süreleri de Çizelge 5.5 ve 5.6'da gösterilmiştir. Şekilde faz planında; kavşak kollarında düşey yönde gösterilen çizgiler taşıt akımlarını, yatay yönde gösterilen çizgiler yaya akımlarını ifade etmektedir. Herhangi bir hareket halindeki akım, "ok (⟶)" işareti ile gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Kule Kavşağı her iki modellemede de önerilen faz planı

Çizelge 5.5. SR modellemesine göre Kule Kavşağı faz süreleri (devre süresi 125 sn.)

Faz	A	B	C	D
Yeşil Süre (saniye)	29	27	21	32
Sarı Süre (saniye)	2	2	2	2
Ortak Kırmızı Süre (saniye)	2	2	2	2
Faz Süresi (saniye)	33	31	25	36
Faz Oranı	% 26	% 25	% 20	% 29

Çizelge 5.6. US HCM modellemesine göre Kule Kavşağı faz süreleri (devre süresi 145 sn.)

Faz	A	B	C	D
Yeşil Süre (saniye)	35	33	24	37
Sarı Süre (saniye)	2	2	2	2
Ortak Kırmızı Süre (saniye)	2	2	2	2
Faz Süresi (saniye)	39	37	28	41
Faz Oranı	% 27	% 26	% 19	% 28

Nalçacı–Sille Kavşağı'nda önerilen devre süresine göre elde edilen sonuçlar Çizelge 5.7'de gösterilmiştir.

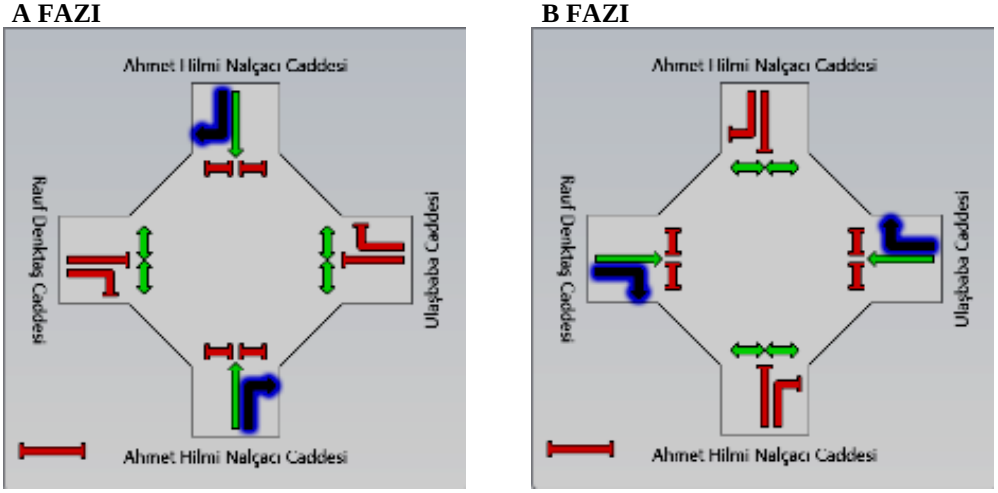
Çizelge 5.7. Önerilen devre süresine göre Nalçacı–Sille Kavşağı analiz sonuçları

Akış Yönü	"Standart Right" modellemesine göre				"US HCM (Metric)" modellemesine göre			
	Gecikme (sn.)	Doygunluk Derecesi	Kapasite (araç/saat)	Hizmet Düzeyi	Gecikme (sn.)	Doygunluk Derecesi	Kapasite (araç/saat)	Hizmet Düzeyi
1-3 YÖNÜ	18.9	0.62	1496.8	B	24.4	0.63	1473.2	C
1-4 YÖNÜ	84.1	1.05	525.8	F	129.0	1.19	464.7	F
2-1 YÖNÜ	26.0	0.79	665.3	C	25.1	0.98	534.3	C
2-4 YÖNÜ	78.5	1.08	2163.9	E	92.9	1.13	2054.1	F
3-1 YÖNÜ	91.8	1.10	1099.0	F	104.2	1.14	1061.4	F
3-2 YÖNÜ	101.3	1.10	318.4	F	107.4	1.14	307.5	F
4-2 YÖNÜ	14.5	0.75	2141.8	B	22.9	0.80	2022.1	C
4-3 YÖNÜ	17.1	0.26	644.4	B	12.5	0.32	512.7	B

Çizelge 5.2 ile 5.7 karşılaştırıldığında; her iki modellemeye göre program tarafından önerilen devre süresi ile bazı kavşak kollarında değişmese de genellikle hizmet düzeylerinde iyileşme olduğu, tüm kavşak kollarında gecikme, doygunluk derecesi değerlerinin azaldığı ve kapasite değerlerinin arttığı görülmüştür. Sadece "HCM" modellemesinde, "SR" modellemesinden farklı olarak hizmet düzeylerinde değişiklik olmadığı görülmüştür. Özellikle mevcut devre süresine göre en büyük gecikme değerine sahip olan "2-4" yönünde (Çizelge 5.2), önerilen devre süresi ile gecikme değerlerinin yaklaşık **% 50**, doygunluk derecesi değerlerinin yaklaşık **% 15** azaldığı ve kapasite değerlerinin de yaklaşık **% 15** arttığı gözlemlenmiştir (Çizelge 5.7).

Nalçacı–Sille Kavşağı, mevcut faz planına göre 2 fazlı bir sistemdir. Önerilen çözümde faz planında değişiklik yapılmamıştır. Aşağıda şekil 5.2'de her iki modelleme için de önerilen faz planı gösterilmiştir. Ayrıca, yöntemlere göre yapılan çözümlemeler neticesinde elde edilen faz süreleri çizelge 5.8 ve 5.9'da gösterilmiştir.

A FAZI **B FAZI**



Şekil 5.2. Nalçacı–Sille Kavşağı her iki modellemede de önerilen faz planı

Çizelge 5.8. SR modellemesine göre Nalçacı–Sille Kavşağı faz süreleri (devre süresi 70 sn.)

Faz	A	B
Yeşil Süre (saniye)	37	27
Sarı Süre (saniye)	2	2
Ortak Kırmızı Süre (saniye)	1	1
Faz Süresi (saniye)	40	30
Faz Oranı	%57	% 43

Çizelge 5.9. US HCM modellemesine göre Nalçacı–Sille Kavşağı faz süreleri (devre süresi 85 sn.)

Faz	A	B
Yeşil Süre (saniye)	45	34
Sarı Süre (saniye)	2	2
Ortak Kırmızı Süre (saniye)	1	1
Faz Süresi (saniye)	48	37
Faz Oranı	% 56	% 44

Kabataş Kavşağı'nda ise, önerilen devre süresine göre elde edilen sonuçlar Çizelge 5.10'da gösterilmiştir.

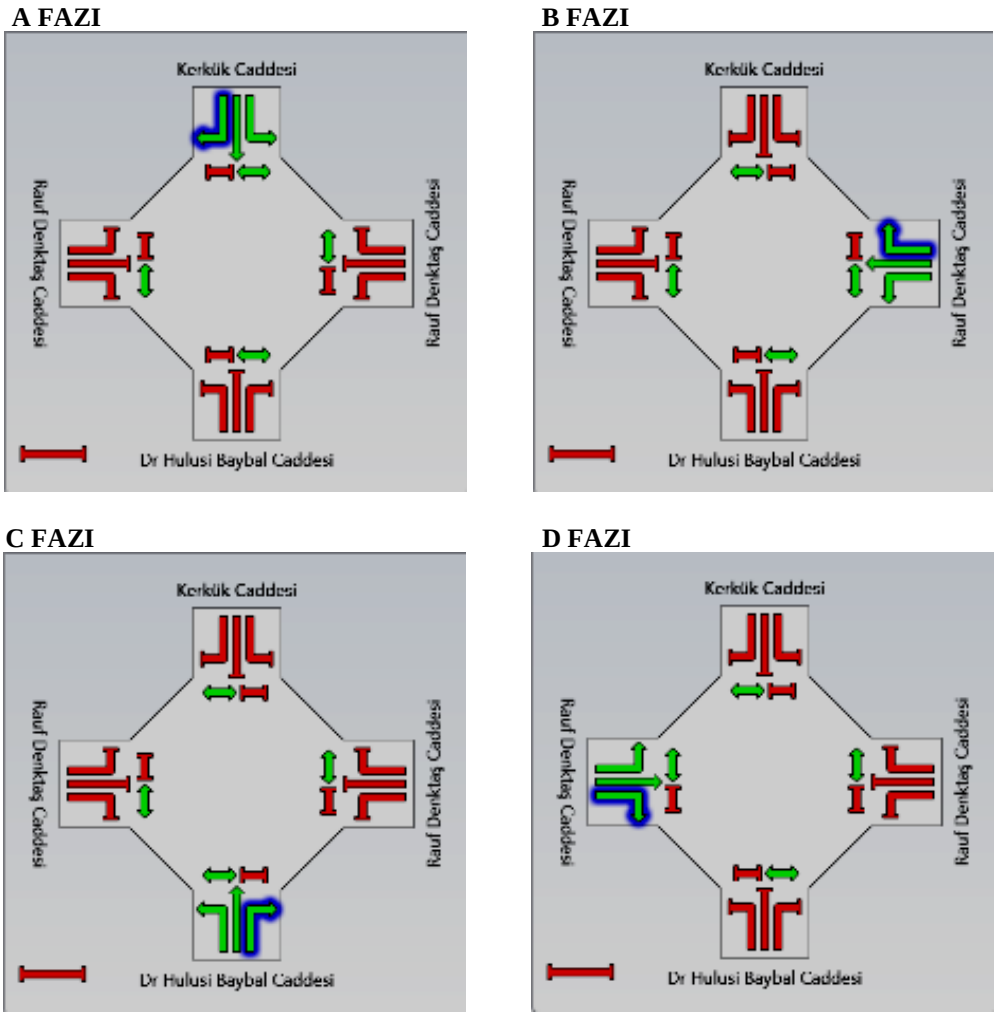
Çizelge 5.10. Önerilen devre süresine göre Kabataş Kavşağı analiz sonuçları

Akış Yönü	"Standart Right" modellemesine göre				"US HCM (Metric)" modellemesine göre			
	Gecikme (sn.)	Doygunluk Derecesi	Kapasite (araç/saat)	Hizmet Düzeyi	Gecikme (sn.)	Doygunluk Derecesi	Kapasite (araç/saat)	Hizmet Düzeyi
1-2 YÖNÜ	334.9	1.58	194.0	F	352.3	1.66	184.8	F
1-3 YÖNÜ	327.1	1.58	511.7	F	352.7	1.66	487.6	F
1-4 YÖNÜ	335.4	1.58	204.9	F	353.1	1.66	195.3	F
2-1 YÖNÜ	411.4	1.74	283.2	F	527.3	2.03	243.5	F
2-3 YÖNÜ	348.3	1.60	277.5	F	368.5	1.67	266.4	F
2-4 YÖNÜ	274.4	1.46	359.7	F	297.7	1.52	346.8	F
3-1 YÖNÜ	293.1	1.58	616.3	F	317.7	1.64	610.4	F
3-2 YÖNÜ	60.3	1.00	272.4	E	52.7	1.00	244.8	D
3-4 YÖNÜ	334.5	1.58	158.0	F	349.8	1.64	152.1	F
4-1 YÖNÜ	352.1	1.62	400.4	F	373.3	1.70	380.4	F
4-2 YÖNÜ	40.7	0.63	840.1	D	49.6	0.68	780.8	D
4-3 YÖNÜ	49.0	0.63	140.0	D	50.2	0.68	130.1	D

Çizelge 5.3 ile 5.10 karşılaştırıldığında; her iki modellemeye göre program tarafından önerilen devre süresi ile gecikme, doygunluk derecesi ve kapasite değerlerinin bazı kavşak yönlerinde arttığı, bazı kavşak yönlerinde de azaldığı gözlemlenmiştir. Hizmet düzeylerinde ise, "3-2" yönü (Beşyol–Sille güzergâhında sağa dönen taşıtlar) hariç diğer trafik akımı yönlerinde değişiklik olmadığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, mevcut devre süresinde en büyük gecikme değerlerine sahip olan "3-1" ve "3-4" yönleri (Beşyol–Sille güzergâhında sola dönen ve düz giden taşıtlar) referans alınarak yeni devre sürelerinin önerildiği görülmüştür (Çizelge 5.3 ve 5.10). Sonuç değerlerinin bazı kavşak yönlerinde artması, bazılarında da

azalmasının sebebinin bu olduğu söylenebilir. Fakat bütün olarak kavşak dikkate alındığında; önerilen devre süresi ile gecikme değerlerinin yaklaşık **% 15**, doygunluk derecesi değerlerinin yaklaşık **% 10** azaldığı ve kapasite değerlerinin de yaklaşık **% 10** arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuç çıktılarında, "SR" modellemesine göre mevcut devre süresinde tüm ortalama kavşak gecikmesinin **322.5 sn.** ve doygunluk derecesinin ise **2.09** olduğu görülmüştür. Önerilen devre süresi ile aynı değerlerin, **285.6 sn.** ve **1.74** olduğu görülmüştür. "HCM" modellemesine göre ise bu değerlerin, mevcut devre süresinde **355.4 sn.** ve **2.12**; önerilen devre süresinde **314,1 sn.** ve **2,03** olduğu görülmüştür.

Kabataş Kavşağı, mevcut faz planına göre 4 fazlı bir sistemdir. Önerilen çözümde faz planında değişiklik yapılmamıştır. Şekil 5.3'de her iki modelleme için de önerilen faz planı; çizelge 5.11 ve 5.12'de de yöntemlere göre yapılan çözümlemeler neticesinde elde edilen faz süreleri gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Kabataş Kavşağı her iki modellemede de önerilen faz planı

Çizelge 5.11. SR modellemesine göre Kabataş Kavşağı faz süreleri (devre süresi 115 sn.)

Faz	A	B	C	D
Yeşil Süre (saniye)	21	22	30	30
Sarı Süre (saniye)	2	2	2	2
Ortak Kırmızı Süre (saniye)	1	1	1	1
Faz Süresi (saniye)	24	25	33	33
Faz Oranı	% 21	% 22	%29	% 29

Çizelge 5.12. US HCM modellemesine göre Kabataş Kavşağı faz süreleri (devre süresi 125 sn.)

Faz	A	B	C	D
Yeşil Süre (saniye)	23	25	32	33
Sarı Süre (saniye)	2	2	2	2
Ortak Kırmızı Süre (saniye)	1	1	1	1
Faz Süresi (saniye)	26	28	35	36
Faz Oranı	% 21	% 22	% 28	% 29

Genel olarak yapılan çalışma değerlendirildiğinde, incelenen kavşaklarda önerilen devre süreleri ile iyileşmelerin olduğu, gecikme ve doygunluk derecesi değerlerinin azaldığı ve kapasite değerlerinin ise arttığı sonucuna varılmıştır. Fakat tüm kavşakların (bazı trafik akım yönleri hariç) genel olarak "F" hizmet düzeyinde çalıştığı tespit edilmiştir. Bu durum; incelenen kavşaklarda yeni sürelerin önerilmesinin yanısıra, trafik akımlarının yönetilmesi konusunda veya kavşakların geometrik olarak düzenlenmesi konusunda bazı çözümlerin yapılması gerektiğini göstermektedir.

Özellikle Kule Kavşağı'nda analiz sonuçlarının diğer kavşaklara göre daha kötü olduğu gözlemlenmiştir. Bu kavşakta yapılan gözlemler neticesinde, "Emniyet–Kule" ve "Şehir merkezi–Kunduracılar" güzergâhlarında kavşak yaklaşım ve çıkış kollarında parklanmanın önemli derecede olduğu görülmüştür. Bu kollarda kavşak girişinden yaklaşık 100 m. geriden itibaren parklanma sebebiyle bir şeridin tamamen kapandığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı da, kavşak performansının düştüğü söylenebilir. Bu yüzden park yasağının uygulanması konusunda daha kararlı yaptırımlar yapılması, mevcut durumu iyileştirebilir.

6. KAYNAKLAR

Akçelik, R., 1998, Traffic signals: capacity and timing analysis, Research Report ARR No. 123 Seventh reprint, *Australian Road Research Board Transport Research Ltd.*, Avustralya, 1–35.

Anonim, 2005, Karayolu tasarımı el kitabı, TCK Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 96–113; 169–188.

Anonymous, 2003, Guide to traffic engineering practice: Part 7–Traffic signals, *National Library of Australia*, Austroads Publication No. AP–G11.7/03, 3rd Edition, Sydney, 1–7.

Anonymous, 2000, Highway capacity manual, Transportation Research Board, *National Research Council*, Washington D.C., Chapter 16 (1–24).

Anonymous, 2010, Highway capacity manual, Transportation Research Board, *National Research Council*, Washington D.C., Chapter 18 (1–59).

Anonymous, 2011, Sidra intersection user guide, *Akçelik & Associates Pty. Ltd.*, Avustralya, Part 1 (1–8); Part 3 (17–18)

Ayfer, M. Ö. , 1977, Trafik sinyalizasyonu, Yayın No: 226, *T.C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası*, Ankara, 7–82.

Azlina, I. and Intan Suhana, M. R., 2010, Cube dynasim and aaSidra comparisons in analyzing a signalized intersection, *Proceeding of Malaysian Universities Transportation Research Forum and Conferences 2010,* Malezya.

Bashar, H. A. and Madhar, M. T., 2007, Validating HCS and Sidra software for estimating delay at signalized intersections in Jordan, *Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 1, No. 4*, Ürdün.

Click, S. M. and Rouphail N. M., 2000, Field assessment of the performance of computer–based signal timing models at individual intersections in North Carolina, Final report for the North Carolina Department of Transportation, Department of Civil Engineering, *North Carolina State University*, U.S.A.

Çetinkaya, G., 2008, Işıklı kavşaklarda değişik hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Darma Y., Karım M. R. and ark., 2005, Control delay variability at signalized intersection based on HCM method, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol. 5,* Malezya.

Eraslan, O., 2008, Işıklı kavşaklarda Amerikan ve Avustralya yöntemleri ile gecikme analizi ve örnek bir kavşak çözümü, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Gedizlioğlu, E., 2004, Kentlerimizde trafik yönetimi, *Türkiye mühendislik haberleri*, 434–2004/6, 20–21.

Idayu, N., 2007, Evaluating signalized intersection capacity based on Malaysian road conditions, Thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science, *University Sains Malaysia*, Malezya.

Kutlu, K., 1993, Trafik tekniği, Üçüncü Baskı, *İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul, 110–130; 261–298.

Lee J. J. , Rouphail N. M. and ark., 2003, Capturing lane performance at signalized intersections using current HCM Methods and software, *TRB 2003 Annual Meeting*, Kuzey Carolina, U.S.A.

Levinson H. S. and Mentor I., 2004, Simplified capacity concepts for access management, *Sixth Nationaal Conference on Access Management*, Kansas City–Missouri, U.S.A.

Murat, Y. Ş., 1996, Denizli şehiriçi kavşaklarındaki trafik akımlarının bilgisayarla incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli.

Paul, A. K., 2011, A guide on traffic analysis tools, *Massachusetts Department of Transportation Highway Division Ten Park Plaza*, Boston–Massachusetts, U.S.A.

Sabra Z., Wallace C. E. and Lin F., 2000, Traffic analysis software tools, Transportation Research Board, *National Research Council*, U.S.A.

Slinn M., Matthews P. and Guest P., 2005, Traffic engineering design principles and practice, Second edition, *Typeset by Charon Tec Pvt. Ltd.*, Çin, 102.

Sonuç, T., 1975, Karayolu tekniği: trafik–güzergah–ekonomi–toprak işleri, Cilt: 1, *Sermet Matbaası*, İstanbul, 173–201.

Tunç, A., 2003, Trafik mühendisliği ve uygulamaları, *Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti.,* Ankara, 655–783.

Üçer, F., 2000, Balıkesir ilindeki önemli kavşakların kapasite yönünden değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.

Yalgın, C. C., Yolların kapasitesi, Yayın No: 219, *T.C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası*, Ankara, 137–197.

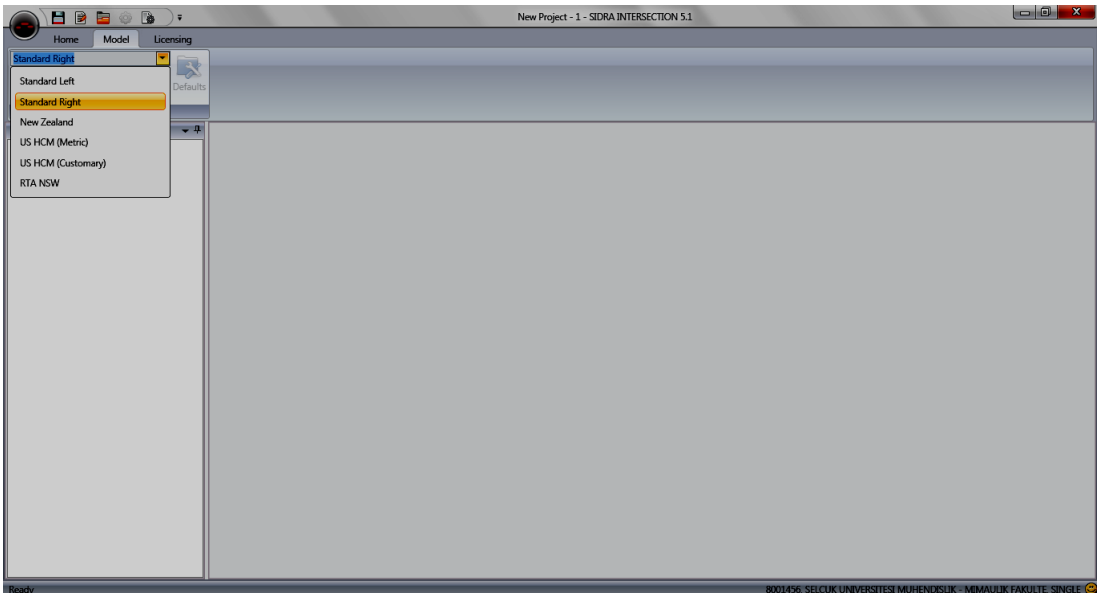
Yauch, P. J., 1997, Traffic signalization–a history, *Institute of Transportation Engineers 67th annual Meeting*, Washington D.C.

Yayla, N., 2002, Karayolu mühendisliği, *Birsen Yayınevi,* İstanbul, 211–223.

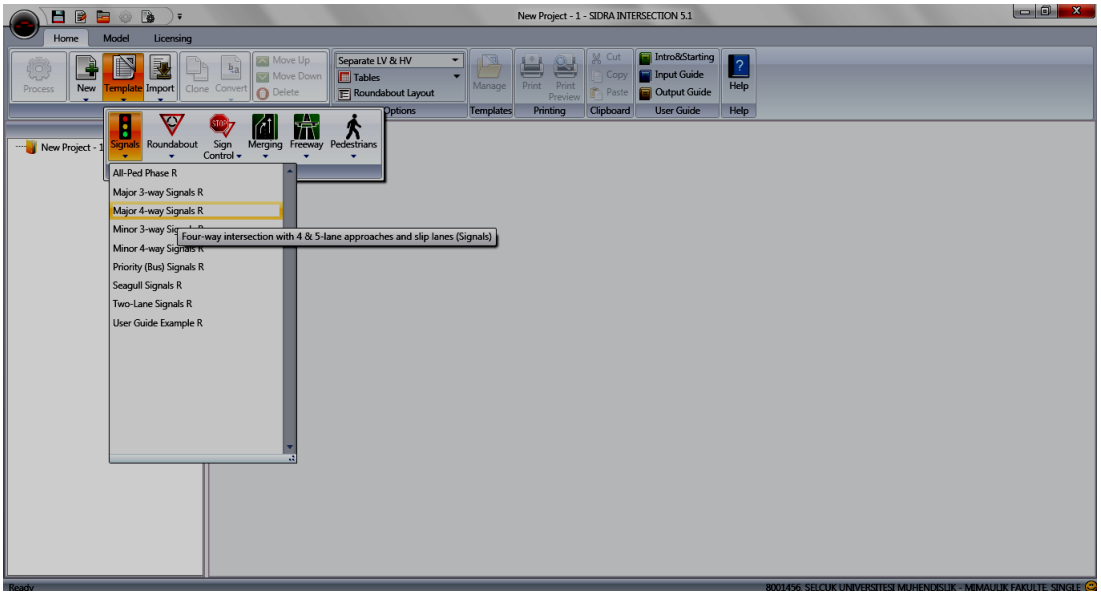
EKLER

EK–1 Program Kullanımı

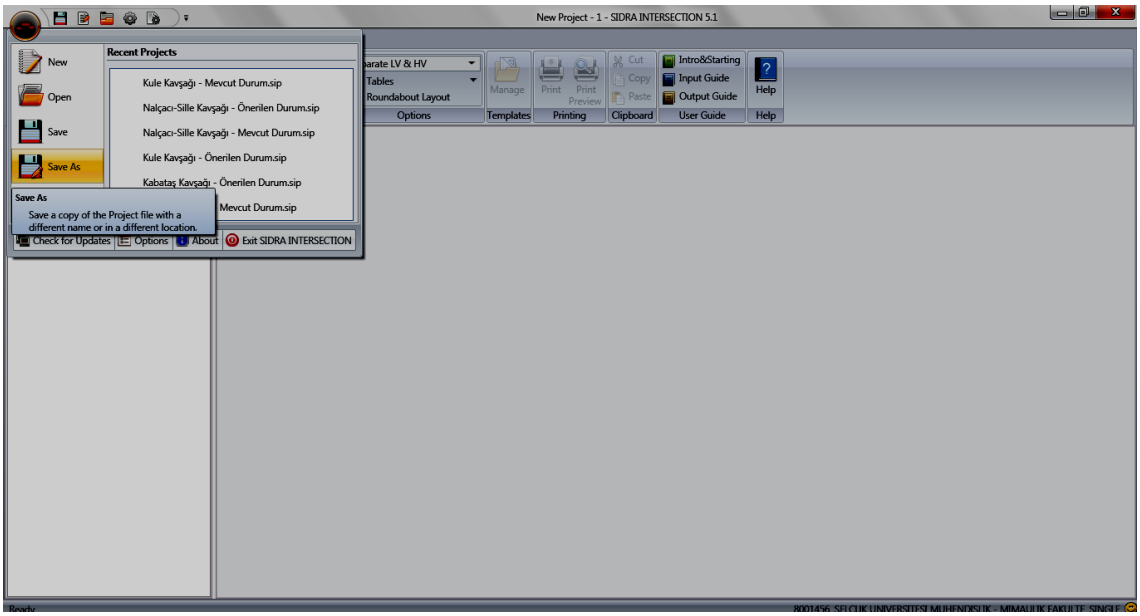
"Sidra Intersection" bilgisayar programına girildikten sonra üst sekmede **"model"** butonuna basılır ve çalışılacak model seçilir.



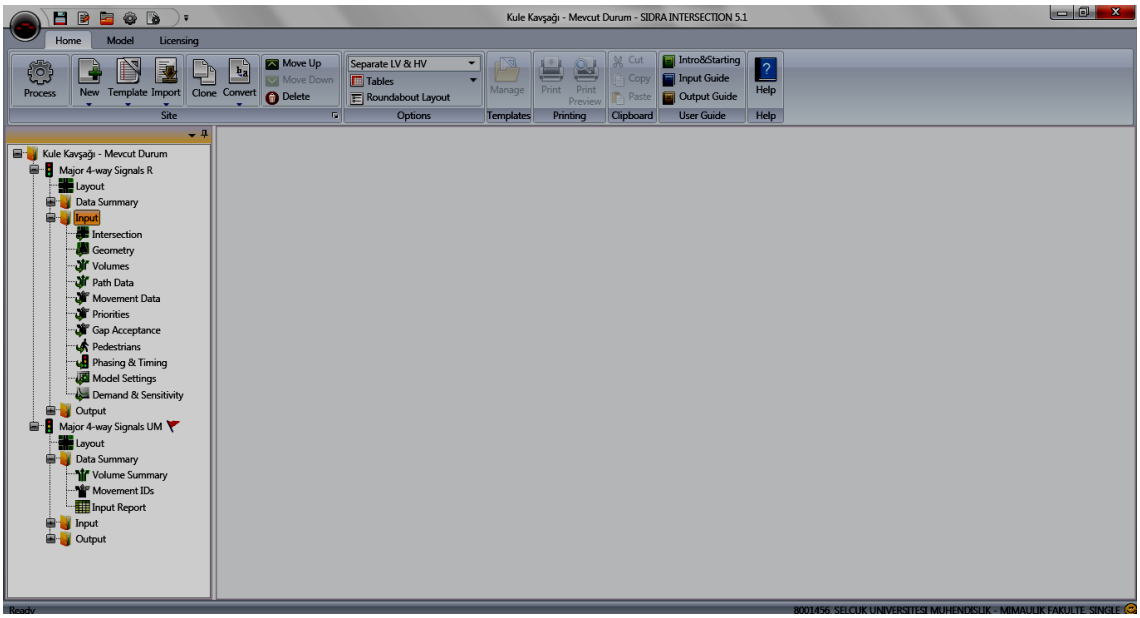
Uygun model seçiminden sonra üst sekmede bulunan **"home"** butonuna ve ardından **"template"** butonuna basılarak çalışılacak kavşak tipi seçilir.



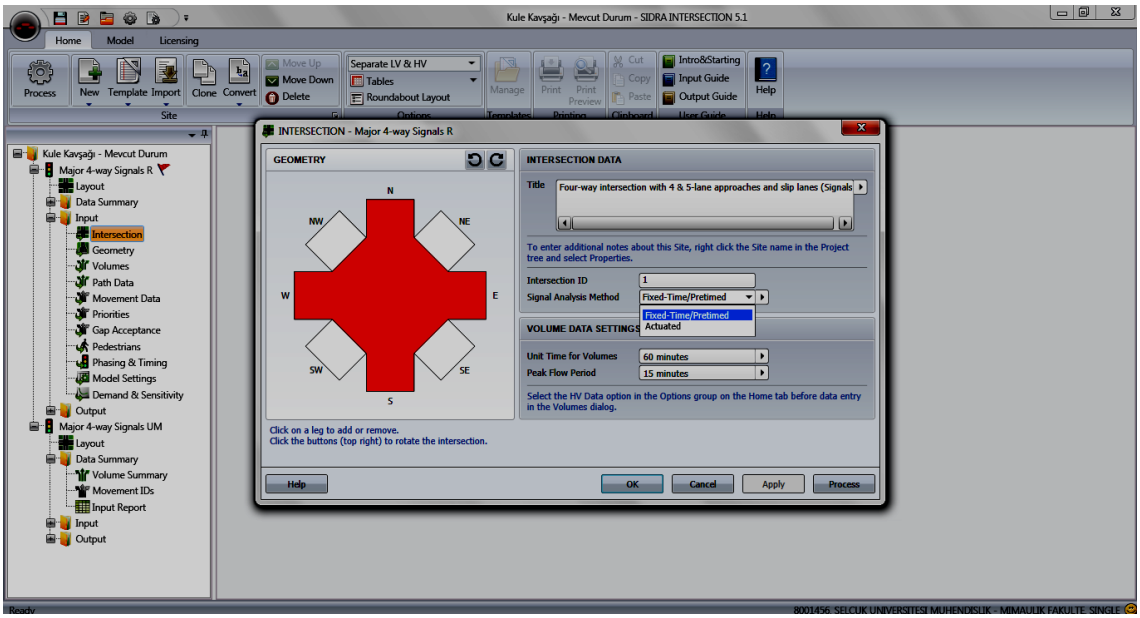
Çalışılacak kavşak tipi için uygun seçim yapıldıktan sonra ekranda üst ve sol köşedeki butona basılarak projenin kaydedilmesi, isim verilmesi v.b… işlemler yapılır.



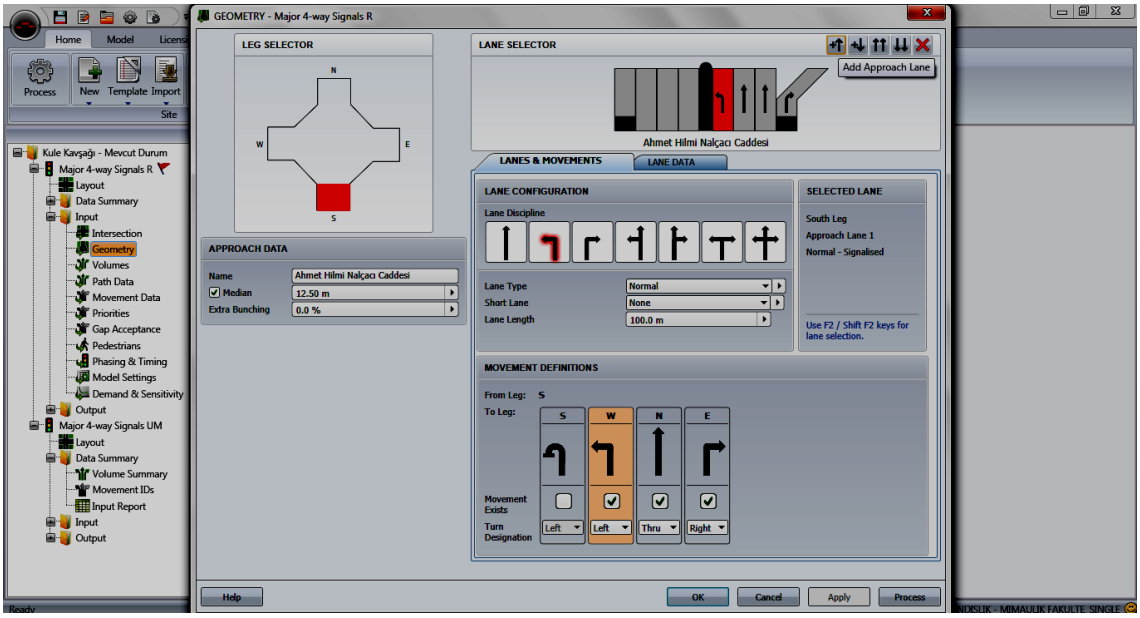
Projeye isim verilip, bilgisayarda açılan herhangi bir dosya içerisine kayıt yapıldıktan sonra ekrana gelen pencerede proje ismi görülür. Görülen proje dosyasında **“Input”** klasörüne tıklanır ve kavşakla ilgili veriler girilmeye başlanır.



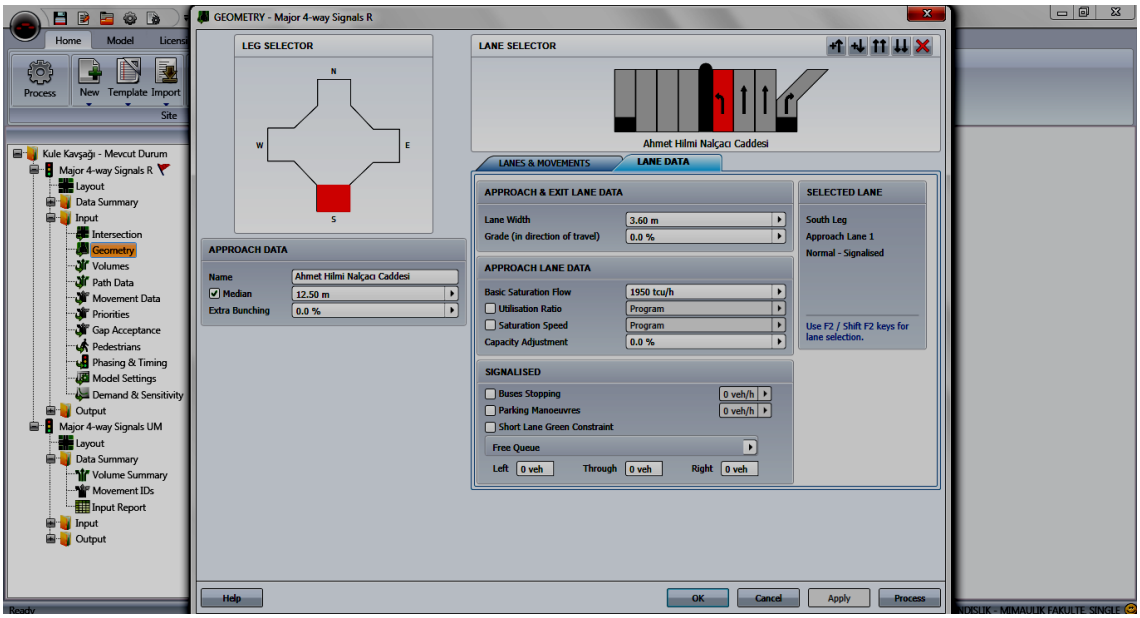
“Input” klasöründe **“Intersection”** butonuna tıklanır ve kavşağın sinyalizasyon sistemi, trafik hacimleri için analiz periyodu v.b… kavşakla ilgili genel bilgiler girilir.



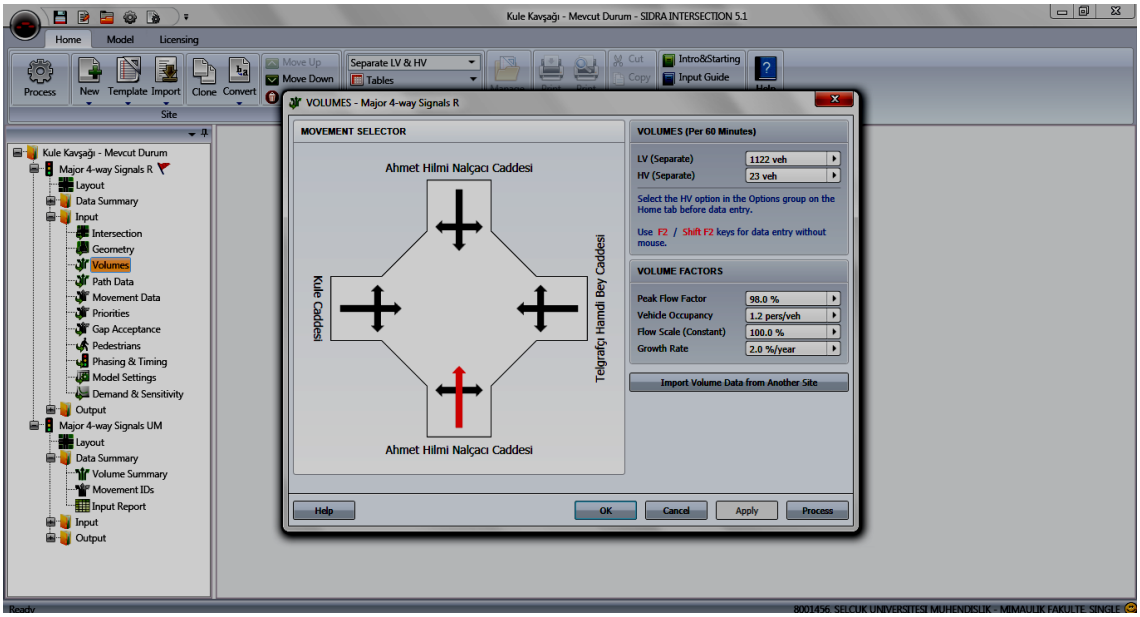
Daha sonra **"Geometry"** butonuna tıklanır ve bu durumda ekrana gelen pencerede **"Lanes & Movements"** butonu seçilidir. Bu kısımda kavşak kollarında şerit tipleri, sayıları, uzunlukları, kısa şeritler, hareket tanımlamaları, cadde isimleri, refüj genişlikleri v.b… kavşağın geometrik düzeni ile ilgili bilgiler girilir.



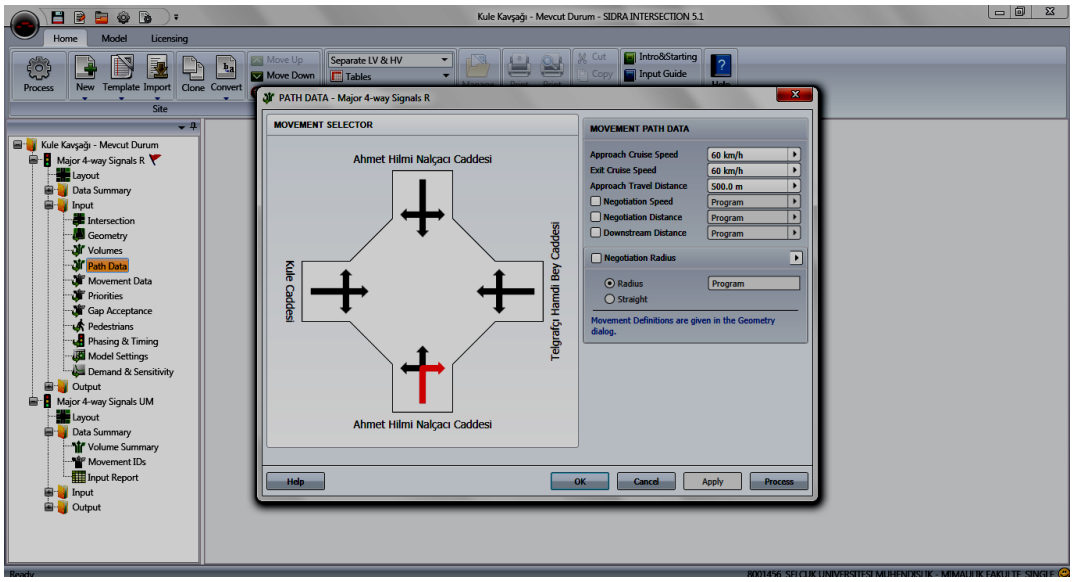
"Geometry" sekmesinde **"Lane Data"** komutuna tıklatıldığında ekrana yeni bir pencere gelir. Bu kısımda kavşak yaklaşım kolundaki şeritlere ait temel doygun akım değerleri, şerit genişlikleri, eğimler, şerit kullanım oranları, otobüs duraklama veya park durumları v.b… şeritlerle ilgili bilgiler girilir.

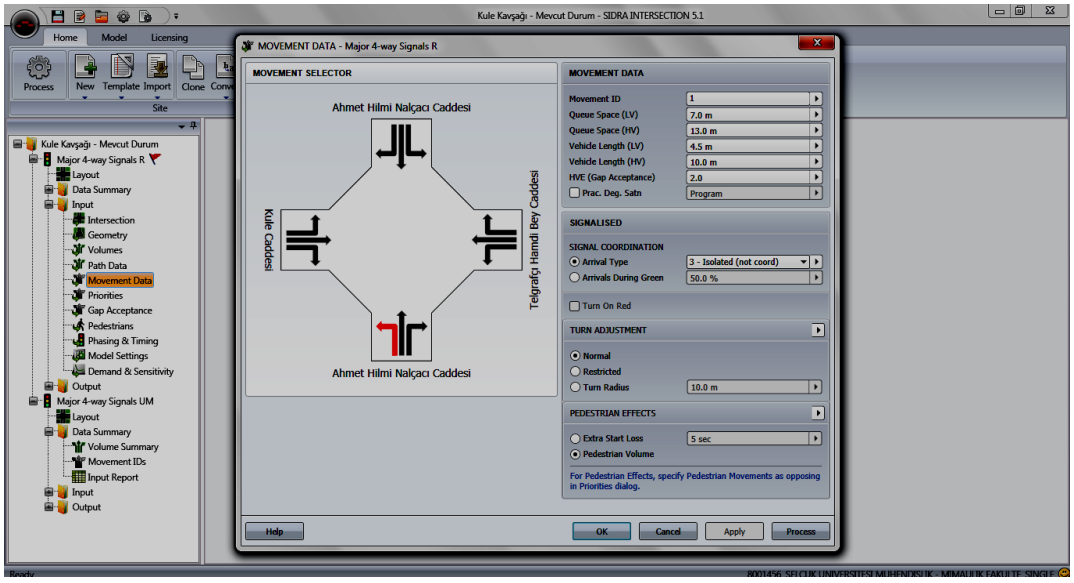


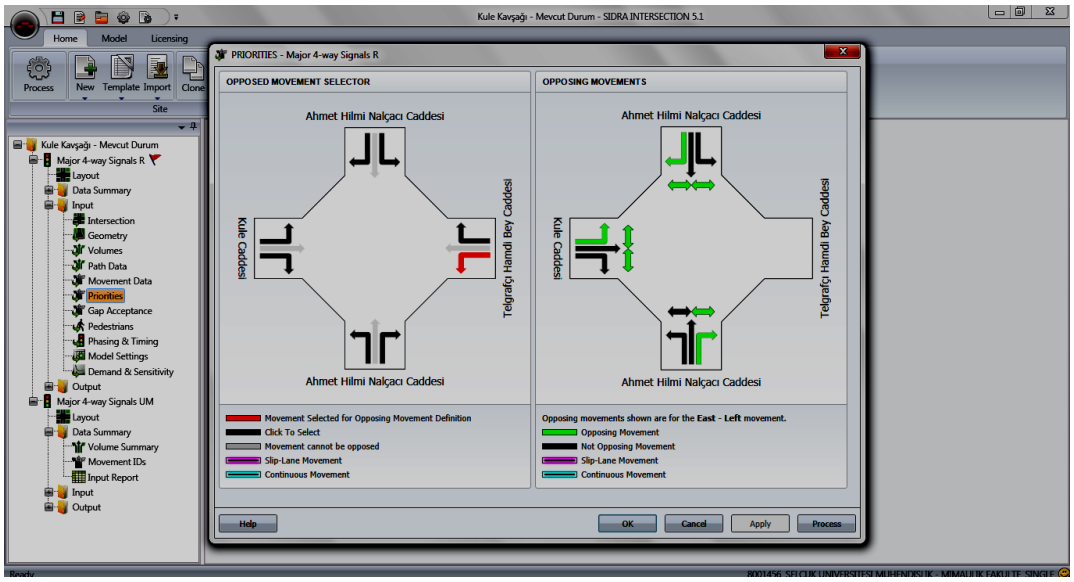
Daha sonra **"Volumes"** butonuna tıklanır ve kavşak yaklaşım kollarında sağa ve sola dönen araçlar ile düz giden araçların sayıları girilir. Ayrıca, PFF, trafik hacim artırma katsayısı, yıllık artış oranı v.b… trafik hacim parametreleri de girilir.



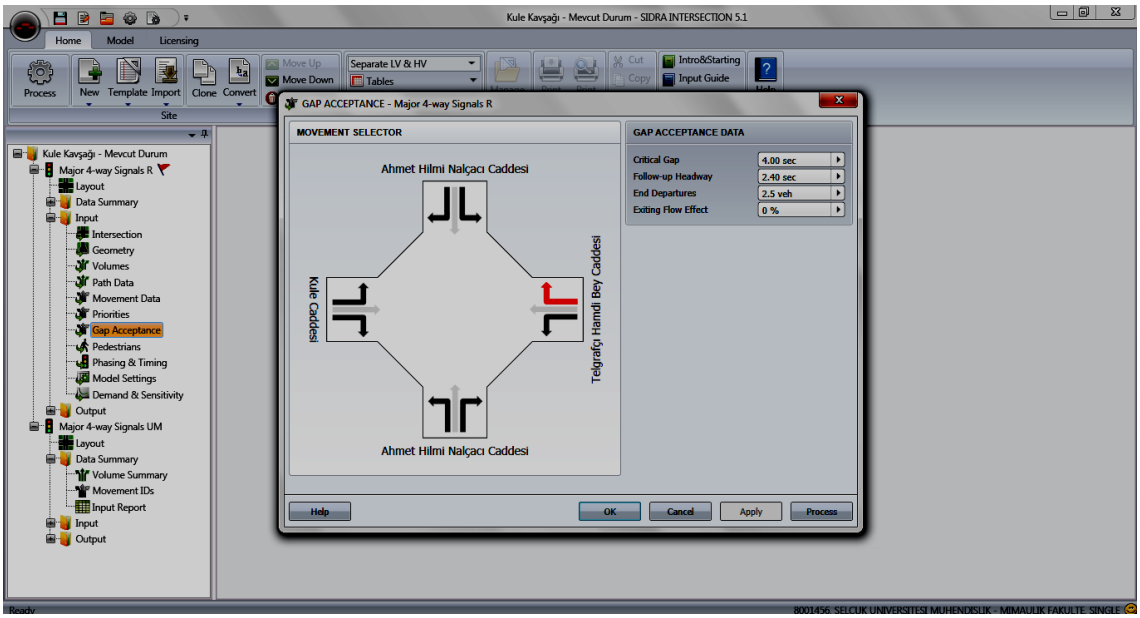
Daha sonra **"Path Data"** butonuna tıklanır ve kavşak yaklaşım kollarına gelen ve kollardan ayrılan araçların hareketleri ile ilgili gerekli bilgiler girilir. Bir diğer komut olan **"Movement Data"** butonuna tıklanırsa, hafif araç (LV) veya ağır araç (HV) olarak tanımlanan araçların uzunlukları, kuyruktaki aralıkları, kavşağa gelen araçların varış tipleri (AT değerleri), dönüşlerdeki durumlar v.b… bilgiler girilir.

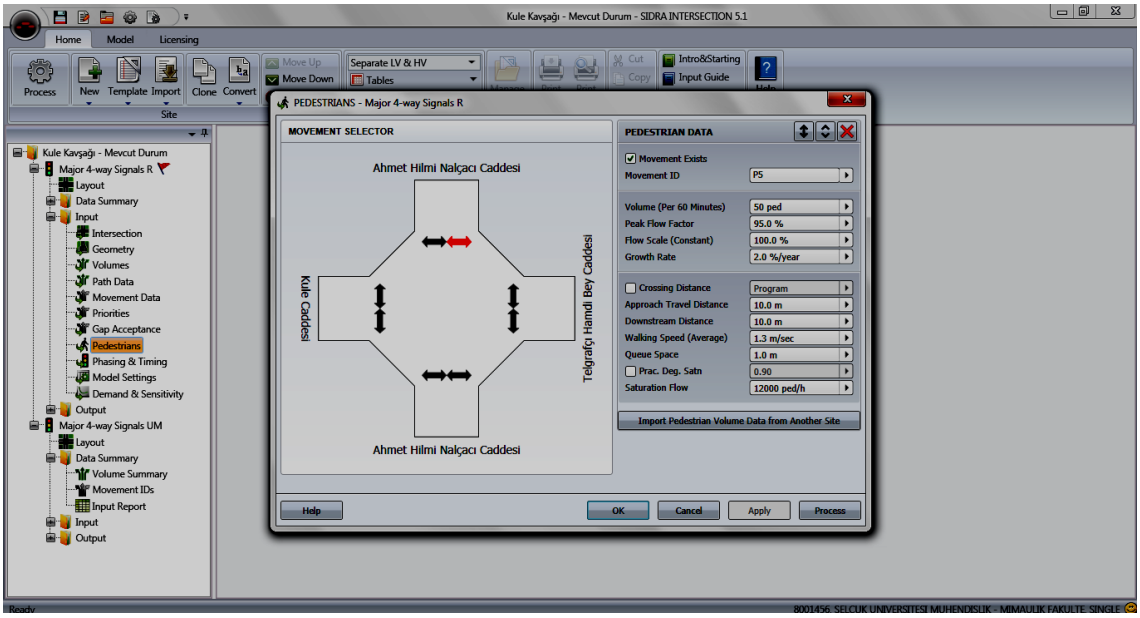

Kule Kavşağı - Mevcut Durum - SIDRA INTERSECTION 5.1
PATH DATA - Major 4-way Signals R
MOVEMENT SELECTOR
Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesi
Kule Caddesi
Telgrafçı Hamdi Bey Caddesi
Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesi
MOVEMENT PATH DATA
Approach Cruise Speed 60 km/h
Exit Cruise Speed 60 km/h
Approach Travel Distance 500.0 m
Negotiation Speed Program
Negotiation Distance Program
Downstream Distance Program
Negotiation Radius
Radius Program
Straight
Movement Definitions are given in the Geometry dialog.
Help
OK
Cancel
Apply
Process


Kule Kavşağı - Mevcut Durum - SIDRA INTERSECTION 5.1
MOVEMENT DATA - Major 4-way Signals R
MOVEMENT SELECTOR
Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesi
Kule Caddesi
Telgrafçı Hamdi Bey Caddesi
Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesi
MOVEMENT DATA
Movement ID 1
Queue Space (LV) 7.0 m
Queue Space (HV) 13.0 m
Vehicle Length (LV) 4.5 m
Vehicle Length (HV) 10.0 m
HVE (Gap Acceptance) 2.0
Prac. Deg. Satn Program
SIGNALISED
SIGNAL COORDINATION
Arrival Type 3 - Isolated (not coord)
Arrivals During Green 50.0 %
Turn On Red
TURN ADJUSTMENT
Normal
Restricted
Turn Radius 10.0 m
PEDESTRIAN EFFECTS
Extra Start Loss 5 sec
Pedestrian Volume
For Pedestrian Effects, specify Pedestrian Movements as opposing in Priorities dialog.
Help
OK
Cancel
Apply
Process

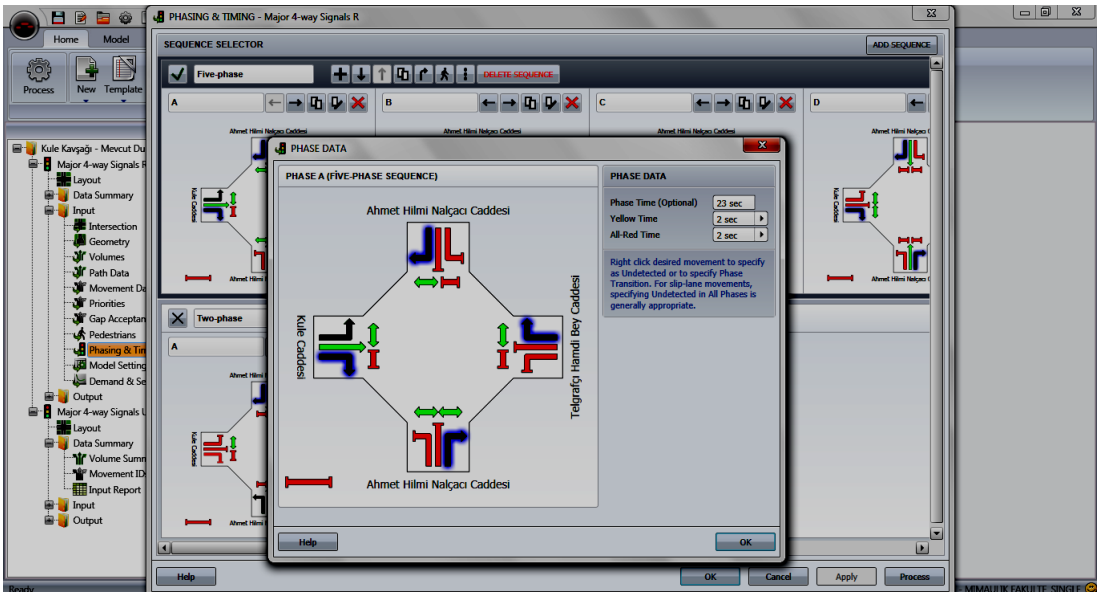

Kule Kavşağı - Mevcut Durum - SIDRA INTERSECTION 5.1
PRIORITIES - Major 4-way Signals R
OPPOSED MOVEMENT SELECTOR
OPPOSING MOVEMENTS
Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesi
Kule Caddesi
Telgrafçı Hamdi Bey Caddesi
Ahmet Hilmi Nalçacı Caddesi
Movement Selected for Opposing Movement Definition
Click To Select
Movement cannot be opposed
Slip-Lane Movement
Continuous Movement
Opposing movements shown are for the East - Left movement.
Opposing Movement
Not Opposing Movement
Slip-Lane Movement
Continuous Movement
Help
OK
Cancel
Apply
Process

“Input” dosyasında **“Priorities”** butonuna tıklanırsa, yukarıda gösterilen şekil ekrana gelir. Bu kısımda, sol pencerede seçilen herhangi bir harekete zıt olan (karşı olan) hareket sağ pencerede seçilir. Diğer komut olan **“Gap Acceptence”** butonuna tıklanırsa da, gelen pencerede sola ve sağa dönüş hareketleri için gerekli değerler girilir. Daha sonraki komut olan **“Pedestrian”** butonuna tıklanırsa da, kavşakta her bir kolda platform boyunca karşıdan karşıya geçen yaya sayıları ve yaya hacimleri ile ilgili parametreler girilir (Not: İncelenen kavşaklarda yaya sayımları yapılmamıştır. Yaya hacimleri olarak şehir merkezlerindeki kavşaklar için programın (yöntemlerin) önerdiği değerler girilmiştir).

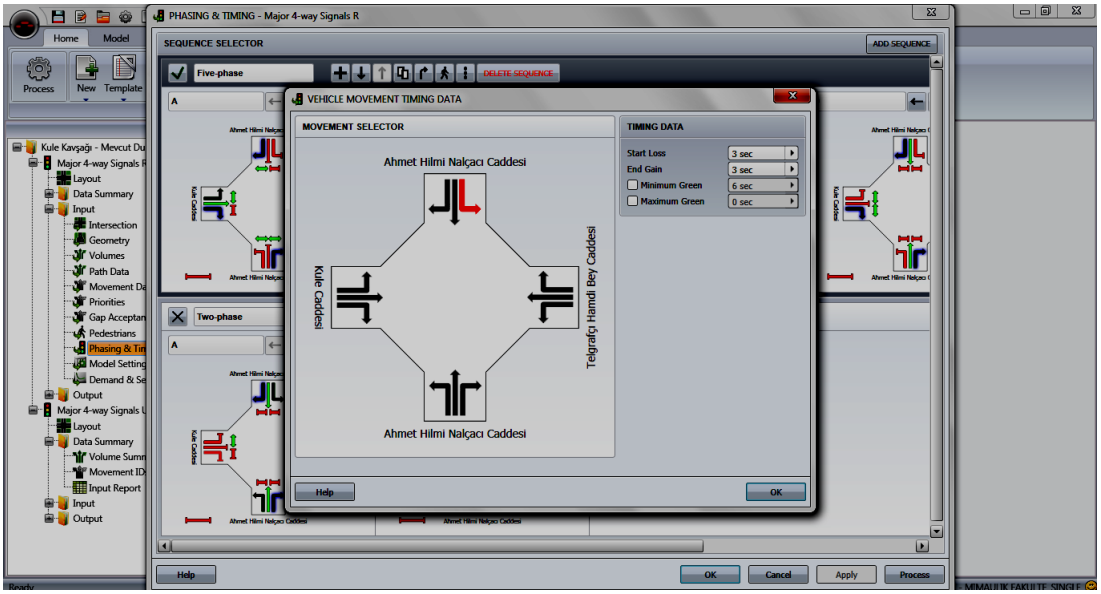




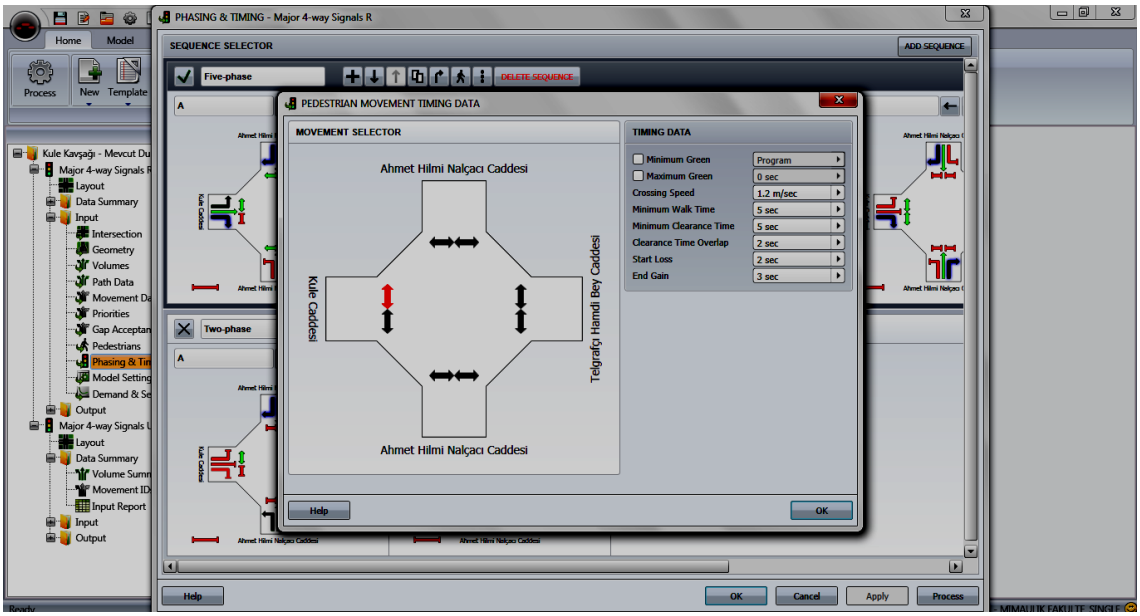
“Input” dosyasında **“Phasing & Timing”** butonuna tıklanır ve kavşağın faz planı ve süreleri, her bir fazdaki yeşil süre ve yeşiller arası süreler, araçlar için başlangıç kayıp ve son kazanç süreleri, yaya hareketleri, devre süresi seçenekleri v.b… sinyalizasyonla ilgili gerekli bilgiler girilir. Aşağıda kavşağın faz planı ve sürelerinin girildiği pencere gösterilmektedir (Her bir fazın gösterildiği pencere içerisinde köşedeki **“x”** simgesiyle gösterilen komutun yanındaki butona basılırsa aşağıdaki pencere gelir).



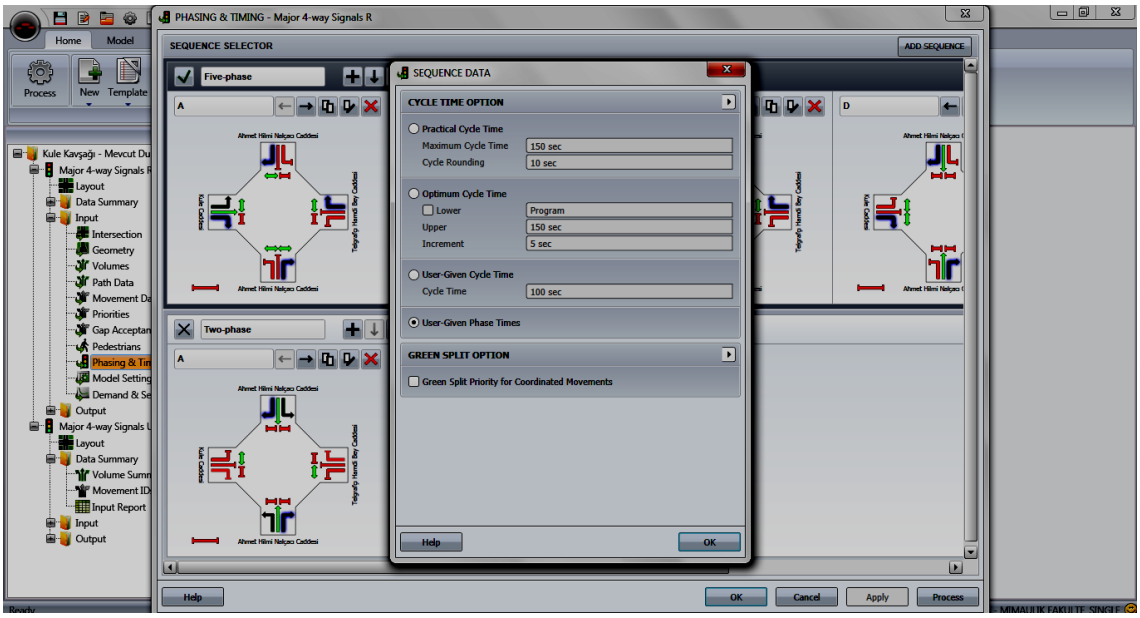
Yukarıda gösterilen şekilde, en üst sekmede **“Delete Sequence”** yazan komutun sol tarafında bulunan 3 butona sırasıyla tıklanır ve gerekli bilgiler girilir. Bu 3 butondan birincisi aşağıda gösterilmektedir. Burada araç hareketleri ile ilgili bilgiler girilir.



Bunlardan ikincisi olan butonda ise, aşağıdaki şekilde de gösterildiği gibi yaya hareketleri ile ilgili bilgiler girilmektedir.

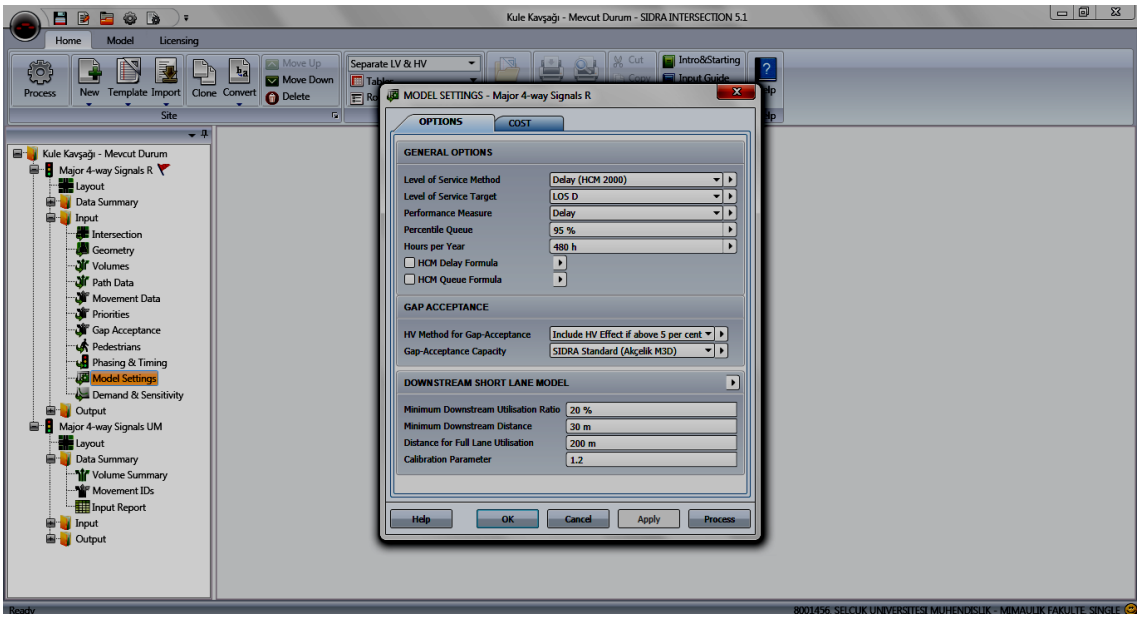


Son olarak 3.butona tıklanır ve devre süresi seçenekleri aşağıda şekilde gösterildiği gibi ekrana gelir. Kavşak tasarımcısının belirlemiş olduğu duruma göre, bu pencerede sunulan 4 farklı devre süresinden herhangi biri ile analiz yapılır.

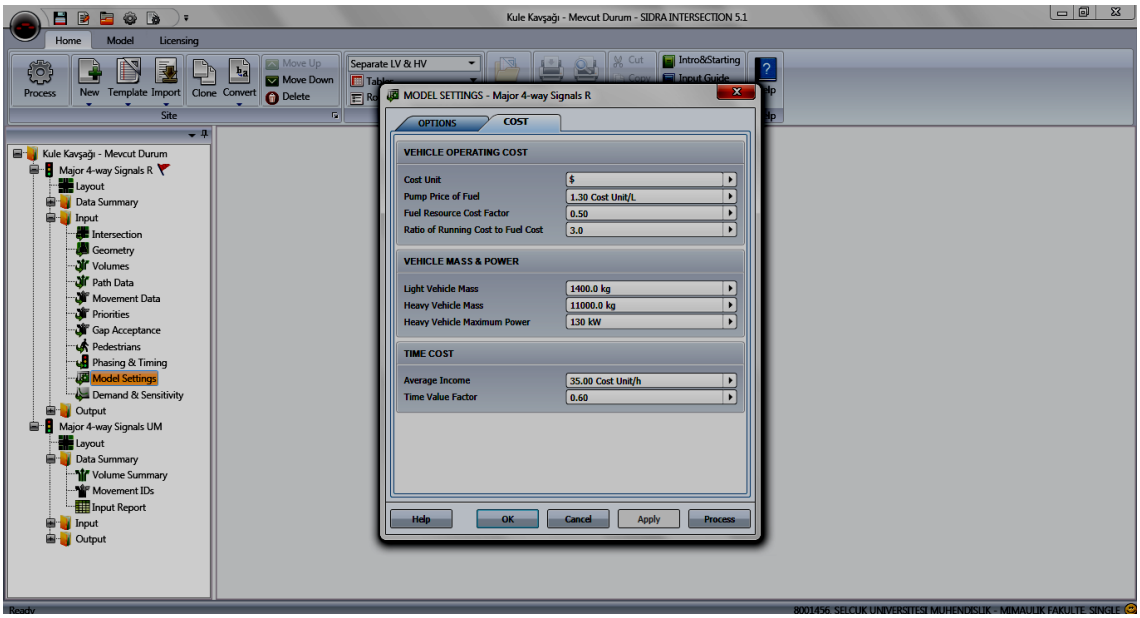


“Input” dosyasında bir diğer komut olan **“Model Settings”** butonuna tıklanırsa, ekrana gelen pencerede **“Options”** butonunun seçili olduğu görülür. Bu kısımda, daha

önceki komutlarla veri girişi yapılan kavşağın analizinde kullanılacak yöntemler, formüller v.b… ile ilgili bilgiler girilir.

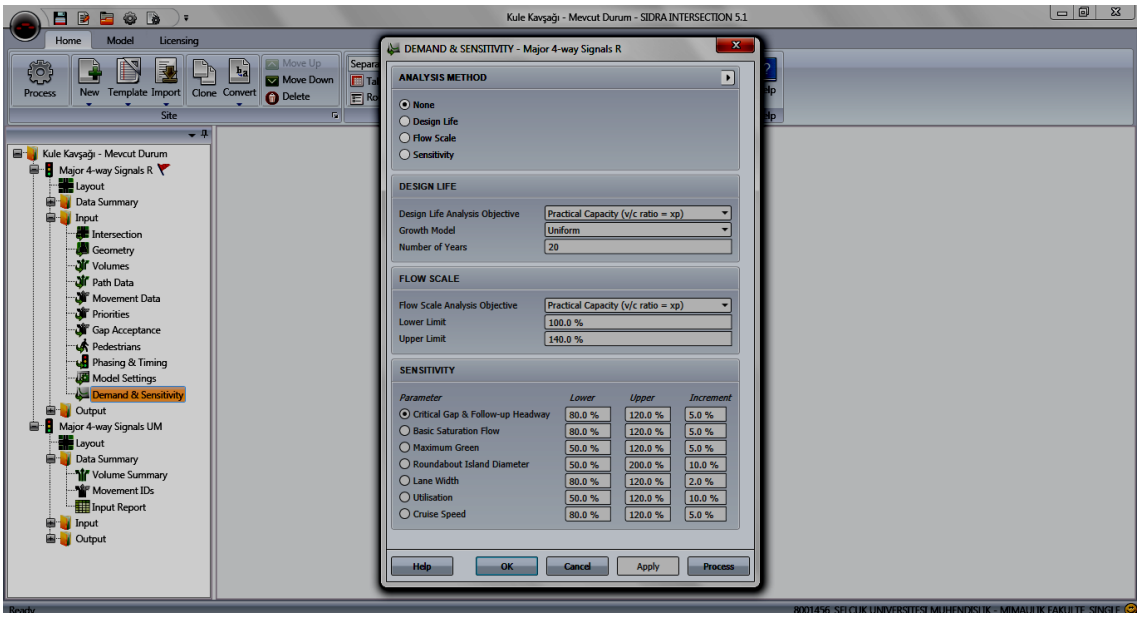


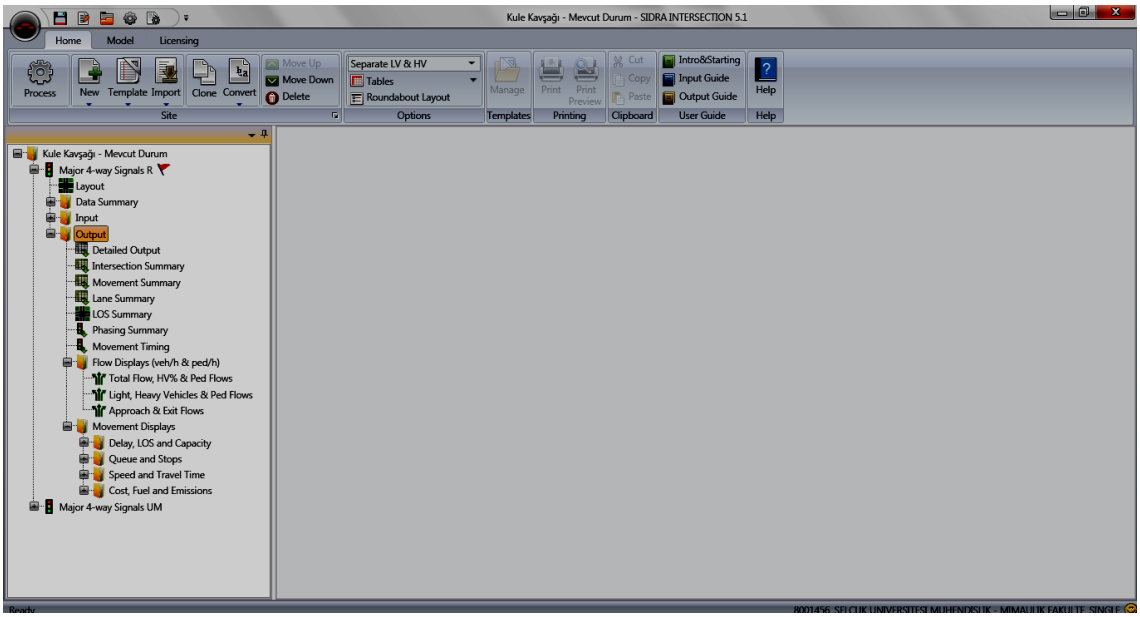
"Model Settings" sekmesinde **"Cost"** komutuna tıklatıldığında ekrana yeni bir pencere gelir. Bu kısımda ise, hafif araç ve ağır araç olarak ifade edilen araçların ağırlıkları, motor güçleri, işletme maliyetleri v.b… ile ilgili bilgiler girilir.



"Input" dosyasında son veri giriş komutu olan **"Demand & Sensitivity"** butonuna tıklanırsa, analiz metodu seçeneklerinin sunulduğu pencere ekrana gelir.

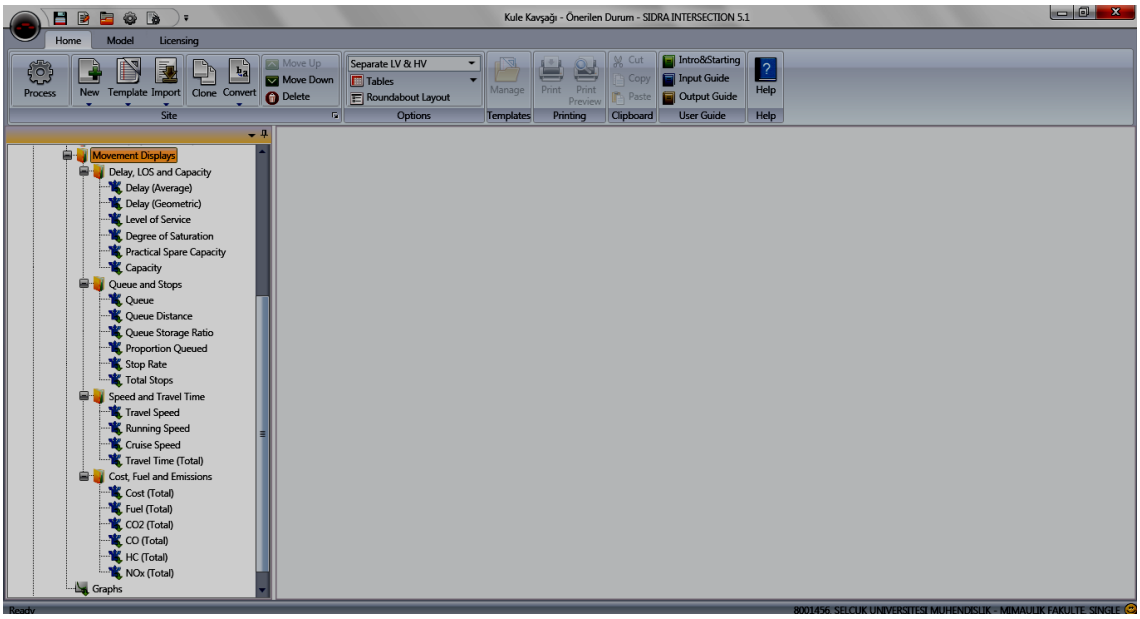
Tasarımcının belirleyeceği herhangi bir seçim yapılır. Tüm bunlardan sonra girilen veriler tamamlandığı için, herhangi bir veri giriş butonuna basıldığında ekrana gelen pencerede sağ köşede olan veya program ara yüzünde **"home"** sekmesinin seçili olduğu ekranda sol köşede olan **"Process"** komutuna tıklanır ve veri girişi yapılan kavşağın analizi yapılır. **"Process"** komutuna basılmasıyla ekranın sol tarafında **"Input"** dosyasının altına **"Output"** dosyasının geldiği görülür.





Yukarıdaki şekilde de gösterildiği gibi, yapılan analiz sonucu istenen hesap çıktıları **"Output"** dosyasından elde edilmektedir. **"Detailed Output"** komutuyla tüm

çıktı sonuçları görülebilmekte, **"… Summary"** komutlarıyla herhangi bir şerit, hareket, kavşak v.b… için çıktı sonuçları özetlenmiş olarak görülebilmekte ve **"Flow Displays"** ve **"Movement Displays"** klasör seçenekleriyle birçok parametrenin çıktı sonuçları görülebilmektedir. Ayrıca, aşağıdaki şekilde **"Output"** klasörünün en alt kısmında olan **"Graphs"** komutuyla da çıktı sonuçları grafik olarak alınabilmektedir. **"Output"** klasöründe herhangi bir çıktı sonucuna tıklanırsa, en üst sekmede **"home"** seçili ekranda alt sekmelerde bulunan **"Printing"** komutunun aktif hale geldiği görülür. Böylece, analiz sonuçlarının çıktısı da alınabilir. Tüm bunların yanısıra, program hakkında detaylı bilgi edinilmesi için **"home"** seçili ekranda alt sekmelerde bulunan **"User Guide"** komutuna tıklanırsa, programın kullanma kılavuzlarına ulaşılmış olur. Aşağıdaki şekilde, yukarıda şekilde görülemeyen **"Movement Displays"** klasörü kapsamında çıktı dosyaları görülmektedir.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Muhammet Mevlüt AKMAZ
Uyruğu	**:**	T. C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	KONYA 23.10.1985
Telefon	**:**	05554976271 / 0(332)2232237
Faks	**:**	
e-mail	**:**	mmakmaz@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Konya Lisesi (Y.D.A.L.)	2003
Üniversite	:	Sel. Ün. Müh.–Mim. Fak. İnşaat Müh. Böl.	2009
Yüksek Lisans	:	Sel. Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü	Devam Ediyor
Doktora	:	–	–

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
06/2009–03/2011	Konya Büyükşehir Beld. Fen İşl. Daire Başk. Yapı İşl. Şube Müd.	İnşaat Mühendisi
03/2011 – …	Sel. Ün. Müh.–Mim. Fak. İnşaat Müh. Bölümü Ulaştırma A.B.D	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİLLER

İngilizce