Kent İçi Sinyalize Eşdüzey Kavşaklarda Sinyalizasyon Sisteminin Modellenmesi ile Trafik Akışının İyileştirilmesi

Gülsüm Tekin Karagöz

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan 2018

Improvement of Traffic Flow by Modelling the Signalization System at Grade Signalized Intersections in the City

Gülsüm Tekin Karagöz

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

Nisan 2018

Kent İçi Sinyalize Eşdüzey Kavşaklarda Sinyalizasyon Sisteminin Modellenmesi ile Trafik Akışının İyileştirilmesi

Gülsüm Tekin Karagöz

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yöneylem Araştırması Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu

Nisan 2018

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Gülsüm Tekin Karagöz'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Kent İçi Sinyalize Eşdüzey Kavşaklarda Sinyalizasyon Sisteminin Modellenmesi ile Trafik Akışının İyileştirilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman **:** Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu

İkinci Danışman :

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu

Üye : Prof. Dr. Hasan Durucasu

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yeliz Buruk Şahin

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

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu danışmanlığında hazırlamış olduğum "Kent İçi Sinyalize Eşdüzey Kavşaklarda Sinyalizasyon Sisteminin Modellenmesi ile Trafik Akışının İyileştirilmesi" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 19/04/2018

Gülsüm Tekin Karagöz

İmza

ÖZET

Son yıllarda kentlerde nüfus yoğunluğunun ve trafiğe çıkan araç sayısının hızla artış göstermesiyle birlikte, kent içi ulaşımda trafik akışında yavaşlama ve trafik tıkanmaları ile trafikte zaman kayıpları, ortalama ulaşım hızında azalma ve yakıt tüketiminde artma gibi olumsuz etkiler söz konusudur. Bu olumsuz etkilerinin önemli derece yaşandığı alanlar olan kavşaklar kent içi trafiğinin kontrolünde çok önemli bir role sahiptir. Kent içinde kavşakların kontrolü ise sinyalizasyon sistemleri ile sağlanır. Bir sinyalizasyon sisteminin güvenlikten sonraki en önemli performans kriteri araç gecikmeleridir. Kavşağın performansının yükselmesi ise, ortalama araç gecikme süresinin azaltılmasına bağlıdır.

Bu çalışmada, Eskişehir'de trafik yoğunluğunun fazla olduğu Nayman-Kırım komşu kavşakları ele alınmıştır. Kavşak analizi ve modellemesi Avustralya Yöntemine dayanan "Sidra Intersection 7" adlı bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemle iki kavşağın ağ yapısı olarak birlikte sinyalize edilmesi durumunda mevcut duruma göre gecikme sürelerinde %42'lik azalış sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca komşu iki kavşak arası mesafe ve kavşakların devre sürelerinin kavşaklarda toplam gecikme üzerine etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sinyalize Eşdüzey Kavşaklar, Komşu Sinyalize Kavşaklar, Avustralya Yöntemi

SUMMARY

In recent years, with the rapid increase in population density and the number of vehicles in urban traffic, there are negative effects such as slowdown in traffic flow in urban transportation and traffic congestion, time losses in traffic, decrease in average transportation speed and increase in fuel consumption. Intersections, the areas where these negative effects are experienced significantly, play a important role in the control of urban traffic. Control of intersections in the city is provided by signaling systems. The second most important performance criterion for the safety of a signaling system is vehicle delays. The increase in the performance of the intersection depends on reducing the average vehicle delay time.

In this study, adjacent signalized intersection with high traffic density in Eskisehir are examined. The intersection analysis and modeling was carried out using the computer program "Sidra Intersection 7" based on Australian Method. With this method, it is observed that when the two intersections are signaled as network, there is a 42% decrease in the delay time according to the current situation. Also, the effect of the distance between the two neighboring intersections and the cycle times of the intersections on the total delay at intersections was investigated.

Keywords: Signalized at Grade Intersections, Adjacent Signalized Intersections, Australian Method

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasını hazırlama sürecinde çalışmalarımla ilgili rehberlik, tavsiye ve değerli birikimleri ile desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu olmak üzere tezle ilgili çalışmalarım sürecinde büyük katkıda bulunan ve yardımını esirgemeyen İ.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Anabilim Dalı'ndan Sayın Doç. Dr. Kemal Selçuk Öğüt'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın başlangıcından beri destek olan çalışma arkadaşım Dr. Sibel Balcı'ya, bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan annem, babam, kardeşim ve tez çalışmam esnasında her türlü fedakarlığı gösteren sevgili eşim Şakir Karagöz'e sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi
SUMMARY vii
TEŞEKKÜR viii
İÇİNDEKİLER ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ 1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 2
3. MATERYAL VE YÖNTEM 4
3.1. Kavşak ve Kavşak Özellikleri 4
3.2. Eşdüzey (Hemzemin) Kavşaklar 5
3.2.1. Denetimsiz eşdüzey kavşaklar 5
3.2.2. Dönel kavşaklar 6
3.2.3. Sinyalize eşdüzey kavşaklar 6
3.3. Sinyalizasyon Kavramları 7
3.4. Kavşaklarda Sinyalizasyon Sisteminin Gerekliliği 9
3.5. Sinyalize Kavşaklarda Kapasite 10
3.6. Kapasite Hesaplama Yöntemleri 12
3.6.1. İngiliz (Webster) yöntemi 13
3.6.2. Amerikan (HCM) yöntemi 17
3.6.2.1. Girdi parametreleri 18
3.6.2.2. Hacim düzeltme 20
3.6.2.3. Doygun akım değeri 22
3.6.2.4. Kapasite çözümleme 24
3.6.2.5. Performans ölçütleri 25
3.6.3. Avustralya yöntemi 28
3.6.3.1. Kavşak ve trafik akımlarının özellikleri 28

İÇİNDEKİLER (devam)

3.6.3.2. Kapasite ve doygunluk derecesi 32
3.6.3.3. Devre süresi hesabı 35
3.6.3.4. Performans ölçütleri 37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 39
4.1. Çalışma Alanı 39
4.2. Kavşaklarda Trafik Sayımları 41
4.3. Kavşaklarda Faz ve Devre Düzeni 44
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 47
KAYNAKLAR DİZİNİ 51
EK AÇIKLAMALAR 53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

3.1. Kavşak tipleri (KGM, 2005) 4
3.2. Sinyal devre diyagramı gösterimi 7
3.3. Faz düzeni örnek gösterimi 8
3.4. Devre düzeni örnek gösterimi 9
3.5. Doygun akım temel modeli 11
3.6. Sinyalize kavşak metodolojisi (HCM, 2000) 18
3.7. Düzeltme faktörleri (HCM, 2000) 23
3.8. Örnek faz diyagramı (Akçelik, 1998) 28
3.9. Sinyal devre diyagramı 29
3.10. Temel akım özellikleri 30
3.11. Kritik akım arama diyagramı örneği 31
4.1. Nayman-Kırım kavşaklarının genel görünümü 39
4.2. Kırım kavşak planı 40
4.3. Nayman kavşak planı 40
4.4. Kavşak görüntüleme (balık gözü) kamerası video kayıt görüntüsü 41
4.5. Kırım kavşağı faz düzeni 44
4.6. Nayman kavşağı faz düzeni 44
4.7. Kırım kavşağı devre düzeni 45
4.8. Nayman kavşağı devre düzeni 46
5.1. Devre sürelerine göre toplam gecikme süresi grafiği 49

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

3.1. Kavşak kolu genişliğine göre doygun akım değerleri (Webster ve Cobbe, 1966) 15
3.2. Farklı türdeki taşıtların otomobil birimi eşdeğeri (Webster ve Cobbe, 1966) 15
3.3. Analiz için tipik şerit grupları (HCM, 2000) 21
3.4. Şerit kullanım faktörü (HCM, 2000) 22
4.1. Kırım kavşağı trafik sayım tablosu 42
4.2. Nayman kavşağı trafik sayım tablosu 42
4.3. Araç sınıflandırmasına göre trafik sayım tablosu (Kırım Kavşağı) 43
4.4. Araç sınıflandırmasına göre trafik sayım tablosu (Nayman Kavşağı) 43
5.1. Kırım kavşağı analiz sonuçları 47
5.2. Nayman kavşağı analiz sonuçları 48
5.3. Devre süresi-kavşaklar arası mesafeye göre gecikme değerleri 49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
Q	Kavşaktan geçen akımın kapasitesi
g	Etkin yeşil süre
l_1	Başlangıç kaybı
l_2	Son kaybı
G	Görünen yeşil süre
e	Son kazancı
l	Akım kayıp zamanı
s	Doygun akım
C	Devre süresi
L	Toplam kayıp süre
a	Sarı ışık süresi
C_{min}	Minimum devre süresi
C_o	Optimum devre süresi
Y	Toplam akım oranı
φ	Düzeltme katsayısı
w_a	Kavşak kolu genişliği
z	Park halindeki aracın dur çizgisine olan mesafesi
$W_{kayıp}$	Park eden araçlardan dolayı şerit genişliğindeki kayıp
d	Taşıt başına ortalama gecikme
λ	Etkin yeşil sürenin devre süresine oranı
x	Doygunluk derecesi
R_p	Kümeleşme (toplulaşma) oranı
G_p	Yayalar için minimum yeşil süre
S_p	Yayaların ortalama hızı
V	Saatlik akım hacmi
V_{15}	Zirve saatteki 15 dakikalık maksimum hacim
q	Şerit grubu için düzeltilmiş akım talep oranı
q_g	Şerit grubu için düzeltilmemiş akım talep oranı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler	**Açıklama**
U_f	Şerit kullanım faktörü
S_o	Temel akım oranı
N	Gruptaki şerit sayısı
f_w	Yaklaşım kolu genişliği için düzeltme faktörü
f_{HW}	Ağır taşıtlar için düzeltme faktörü
f_g	Kavşağın eğimi için düzeltme faktörü
f_p	Parklanma düzeltme faktörü
f_{bb}	Otobüs blokajı düzeltme faktörü
f_a	Kavşağın bulunduğu alan türü için düzeltme faktörü
f_{LT}	Sola dönüşler için düzeltme faktörü
f_{RT}	Sağa dönüşler için düzeltme faktörü
f_{Lpb}	Sola dönüşler için yaya düzeltme faktörü
f_{Rpb}	Sağa dönüşler için yaya düzeltme faktörü
f_{LU}	Şerit kullanımı için düzeltme faktörü
PF	İlerleme faktörü,
d_1	Uniform kontrol gecikmesi
d_2	Eklenik gecikme
d_3	Başlangıç kuyruklanma gecikmesi
c	İncelenen trafik akımının kapasitesi

Kısaltmalar	**Açıklama**
BO	Birim Otomobil
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
PHF	Zirve Saat Faktörü
CO	Karbonmonoksit

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Son yıllarda kentlerimizde trafik tıkanmalarının sebep olduğu süre kayıpları hızla artış göstermektedir. Bunun, temel üç önemli sebebi mevcuttur. Birincisi, araç sahipliğinin hızla artmasıdır. İkincisi, yerel yönetimlerde toplu taşımacılık faaliyetlerinin göz ardı edilmesidir. Üçüncüsü ise, altyapının yanlış düzenlenmiş olması, düzensiz olması ve geliştirilmesi için yanlış yatırımlar yapılmış olmasıdır (Gedizlioğlu, 2004).

Kent içi trafiğinin yönetimi ile ilgili parametreler arasında trafiği en çok etkileyenlerden biri sinyalize kavşaklardır. Çeşitli nedenlerle tesis edilen sinyalize kavşaklar pek çok olumlu etkilerinin yanında araçları durdurarak geciktirmek gibi olumsuz bir etkiye de sahiptir. Bu gecikmelerin ve duruşların sebep olduğu performans kayıplarının en aza indirgenmesi şüphesiz sinyal zamanlamasının doğru hesaplanmasına bağlıdır.

Bu çalışmada, Eskişehir'de trafik yoğunluğunun fazla olduğu Nayman-Kırım komşu kavşakları incelenmiştir. Kavşak analizi ve modellemesi Avustralya Yöntemine göre yapılmış olup kavşakların ağ yapısı olarak sinyalize edilmesi durumunda mevcut duruma göre gecikme sürelerinde azalış gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca komşu iki kavşak arası mesafe ve kavşakların devre sürelerinin kavşaklarda toplam gecikme üzerine etkisi araştırılmıştır.

Tez çalışmasında, ikinci bölümünde literatür araştırması kapsamında sinyalizasyon hesaplarına ve kavşak kontrolü üzerine yapılan çalışmalara kısaca değinilmiştir. Üçüncü bölümünde materyal ve yöntem kapsamında kavşak ve kavşak özelliklerine, eşdüzey kavşaklara, sinyalizasyon kavramlarına, kavşaklarda sinyalizasyon sisteminin gerekliliğine, sinyalize kavşaklarda kapasiteye ve kapasite hesaplama yöntemlerine değinilmiştir. Dördüncü bölümünde bulgular ve tartışmalar kapsamında çalışma alanına, kavşaklarda trafik sayımlarına ve kavşaklarda faz ve devre düzenine değinilmiştir. Sonuçlar ve öneriler bölümünde, araştırmada elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sinyalize eşdüzey kavşaklarda sinyalizasyon hesapları ve kavşak kontrolü üzerine yapılan bazı çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Murat (1996) tarafından Denizli'de trafik yoğunluğu bakımından önemli sinyalize kavşaklar incelenmiş ve kavşaklarda oluşan gecikmeler ile kuyruklanma sebepleri araştırılarak kavşağın mevcut durumu etüt edilmiş ve yeni devre uzunlukları önerilmiştir. Sinyalizasyon hesapları, Avustralya Yöntemi'ne dayanan Sidra bilgisayar programı ve İngiliz Yöntemi'ne göre QuickBasic dili ile hazırlanan bilgisayar programı ile yapılmıştır.

Üçer (2000) tarafından Balıkesir'de önemli dört kavşak üzerinde gerekli trafik sayım etütleri yapıldıktan sonra Avustralya Yöntemi uygulanarak sinyalizasyon diyagramı elde edilmiş ve kavşaklardaki akımlarda meydana gelen gecikmeler ve devre süreleri hesaplanmıştır. Sidra adlı bilgisayar programı kullanılarak sinyalizasyon hesapları yapılmış ve söz konusu kavşaklardaki düzenleme ile ilgili olarak çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Bashar ve Madhar (2007) tarafından Ürdün'ün İrbid kentinde beş kavşakta video kamera kayıtları kullanılarak trafik hacimleri ölçülmüştür. Sinyalize kavşaklarda gecikme tahmini hesaplamak için Sidra ve HCM (Highway Capacity Manual) programları kullanılmıştır. Temel doygun akım faktörlerinin kalibre edilmesi ile iki yöntemin de önemli ölçüde geliştirilebileceği çıkarımı yapılmıştır.

Eraslan (2008) tarafından İstanbul'da bulunan dört kollu bir kavşak incelenerek gözlenen gecikme değerleri ile yöntemlere göre hesaplanan gecikme değerleri karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda incelenen yöntemler değerlendirilmiş ve yapılan bu değerlendirmeler neticesinde Avustralya Yöntemi'nin gecikme değerlerini en aza indirdiği tespit edilmiştir (Eraslan, 2008).

Çetinkaya (2008) tarafından Ankara ilinde kent içi sinyalize bir kavşak incelenmiştir. Video kamera ile gözlem ve sayımlardan elde edilen veriler ile sinyalize kavşak için kapasite ve gecikme hesaplanmıştır. İlk olarak kavşakta mevcut uygulanan devre süresine göre ve daha sonra yeni devre süresi hesaplanarak kapasite ve gecikme çözümlemesi karşılaştırılmıştır. Kapasite ve sinyalizasyon hesapları, ışıklı kavşaklarda kapasite çözümleme yöntemlerinden,

Webster Yöntemi, Amerikan Yöntemi ve Avustralya Yöntemi yapılmıştır. Çözümlemeler sonucunda elde edilen çıktılar irdelenmiş olup Sidra bilgisayar programı ile elde edilen sonuçlar gözlemlere oldukça yakın olduğu belirlenmiştir (Çetinkaya, 2008).

Akmaz (2012) tarafından Konya ilinde kent içi trafiği açısından önemli kavşaklar incelenmiş olup incelenen bu kavşaklarda; kapasite ve hizmet düzeylerini artıracak, gecikmeleri minimize edecek, yeni devre sürelerinin önerilmesi amaçlanmıştır. Sidra bilgisayar programıyla incelenen kavşakların trafik hacim verilerinin programa girilmesi için önce çalışma yürütülen kavşaklarda video kamera çekimi ile trafik sayımı yapılmıştır. Kavşak çözümlemeleri için her iki yöntem incelendiğinde, Amerikan ve Avustralya yöntemleriyle elde edilen değerlerin birbirine yakın değerler olduğu tespit edilmiştir. Yöntemlerin önerdiği devre süreleri ile genel olarak kavşaklarda kapasitelerin arttığı gecikmelerin azaldığı gözlenmiştir.

Tianzi vd. (2013) tarafından artan trafikte artan hacimle birlikte sürekli olarak kavşak sıkışıklıkları olup bu sorunu çözmenin etkili bir yolu trafik simülasyon yazılımı ile kontrol mekanizması aranmıştır. Bu çalışmada iki simülasyon yazılımı üzerinde durulmuştur: Sidra ve Vissim. Xianyang Şehri, Batı Wenhua Yolu ve Changchun Yolu kesişimi gerçek trafik verilerine göre operasyon kolaylığı açısından analiz edilmiş olup Sidra programı daha kolay bulunmuştur.

Ranjitkar vd. (2014) tarafından Sidra yazılımı kullanılarak farklı hacim ve dönüş oranlarına sahip bir dizi trafik koşulları altında öncelik kontrollü, dönel kavşak ve sinyalize kavşakların operasyonel verimliliğinin karşılaştırılmalı bir analizi sunulmaktadır. Operasyonel verimliliği temsil etmek için üç ölçüt kullanılmıştır: kavşak kapasitesi, ortalama gecikme ve toplam emisyon. Düşük trafik talebinde öncelik kontrollü kavşaklar, orta düzeyde trafik talebinde dönel kavşaklar ve yüksek trafik talebinde sinyalize kavşaklar en iyi performansı gösterdiği sonucuna varılmıştır.

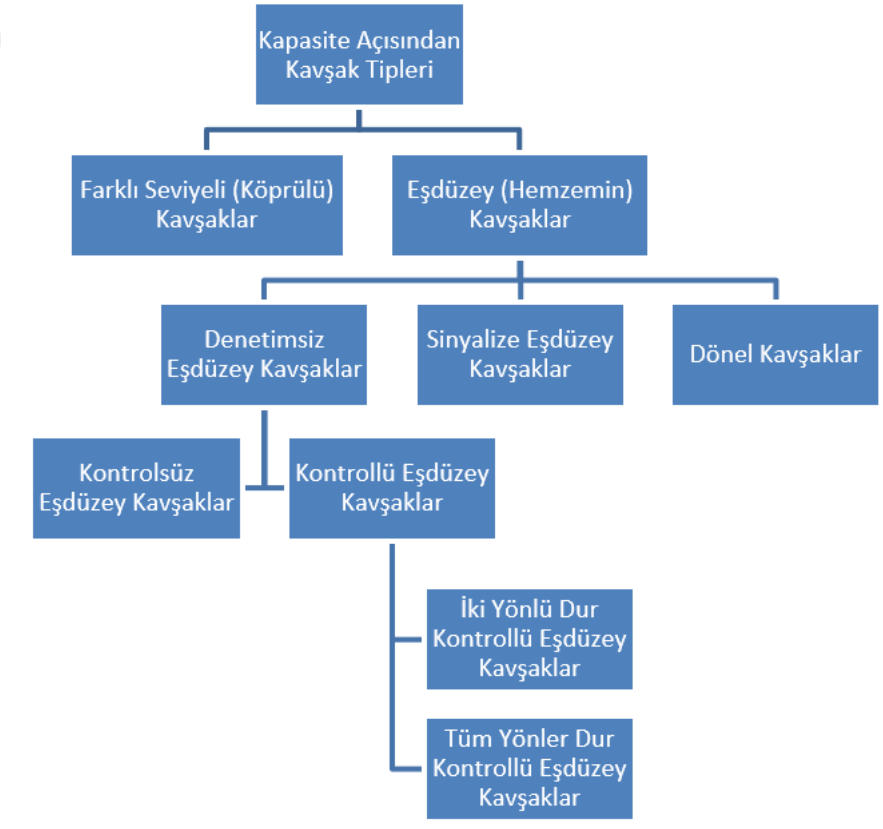
Korkmaz (2016) tarafından yapay zeka teknikleri ile sinyalize kavşaklarda gecikmeleri tutarlı tahmin edebilen modeller geliştirmek amaçlanmıştır. Bu çalışmada Corsim simülasyon programından yararlanılmıştır. Buna göre elde edilen gecikme değerleri ile HCM ve Avustralya gecikme modelleri ile elde edilen gecikme değerleri karşılaştırılarak yapılan çalışmanın tutarlılığı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kavşak ve Kavşak Özellikleri

Karayolu ulaştırma sisteminin altyapısı, aynı düzlemde bulunan farklı istikametlerdeki yollar üzerinde hareket eden trafik akımlarından meydana gelir. Farklı yön ve doğrultudan gelen iki veya daha fazla trafik akımının kesişmesi ile oluşan alana kavşak denir. Bir yolun kavşağa birleşen kısmına ise kavşak yaklaşım kolu denir.

Kavşaklar karayolu ulaşımının önemli bir parçasıdır. Çünkü yolun; güvenlik, işletme maliyeti, hız ve kapasite ve performansı gibi özellikleri kavşak tasarımına bağlı olan unsurlardır. Kavşak kapasitesi açısından 2 temel tipe ayrılır. Bunlar; eşdüzey (hemzemin) kavşaklar, farklı seviyeli (köprülü) kavşaklardır (Şekil 3.1). Bu tezde incelenecek kavşaklar eşdüzey kavşaklar olduğu için bu tip kavşaklar ilerleyen bölümde ele alınacaktır.



Şekil 3.1. Kavşak tipleri (KGM, 2005)

3.2. Eşdüzey (Hemzemin) Kavşaklar

Genel olarak farklı yönlerdeki trafik akımlarının aynı düzlemde kesiştiği kavşaklar eşdüzey kavşaklar olarak adlandırılır. Özellikle kent içi alanlarda trafik akımını kesintiye uğratan kavşaklardır (Yalgın, 1975).

İstatistiklere göre, kent içi ve kırsal yollarda meydana gelen trafik kazalarının yaklaşık olarak %40-%60'ı ve gecikmelerin %70'inden fazlasının eşdüzey kavşaklarda olduğu gözlemlenmiştir. Eşdüzey kavşaklar, kavşağı oluşturan yolların birleşme şekillerine ve kavşaklardaki denetim şekillerine göre üç şekilde ele alınır (Yayla, 2002):

- Denetimsiz Eşdüzey Kavşaklar
- Dönel Kavşaklar
- Sinyalize Eşdüzey Kavşaklar

3.2.1. Denetimsiz eşdüzey kavşaklar

Denetimsiz eşdüzey kavşaklar, trafik işaret levhalarının bulunması veya bulunmamasına göre farklı şekillerde çalışırlar. Bu kavşakların çalışma şekilleri; herhangi bir kontrol olmaması, YOL VER işareti ile kontrol ve DUR işareti ile kontrol halidir. Kent içi yollarda en sık karşılaşılan kavşak, hiçbir işaret levhasının olmadığı ve sağ koldan gelen trafiğe öncelik kuralı ile çalışmaktadırlar (Yayla, 2002).

Kavşaktaki yaklaşım kollarından biri trafik miktarı veya geometrik standartlarına göre anayol durumunda olan yoldaki araçlara kavşaktan ilk geçiş hakkı verilir. Bu sebeple trafik güvenliği açısından yan yol durumunda bulunan kavşak kollarında kavşağa girişte DUR, YOL VER işaretleri bulunur. Eğer kavşak kollarındaki trafik hacmi eşitse yani anayol ve tali yol olarak ayrılmıyorsa kavşaktaki geçiş hakkı ve kavşaktaki geçiş üstünlüğü kurallarına göre akımın akışı sağlanmaktadır (Yayla, 2002).

3.2.2. Dönel kavşaklar

Trafiğin, kavşak ortasında bir ada etrafında dolaşarak aktığı kavşak türüne yuvarlak ada (dönel) kavşak denilmektedir. Yuvarlak ada kavşaklar, yollarda hızın kontrol altına alarak ve çakışma nokta sayısını azaltarak trafik güvenliği arttırması, kavşak yaklaşım kollarındaki tıkanıklığın azalması, kavşakta olan araçların depolanabilmesinden dolayı tercih edilmektedir (Tunç, 2003).

Yuvarlak ada (dönel) kavşaklarda hareket süreklidir. Bu kavşaklarda geçiş üstünlüğü kavşak içerisindeki araçlara aittir. Eğer iki araç aynı anda kavşak girişlerine geldiyse diğerine göre sağdaki araç önce kavşağa girer. İşaret ve işaretçiler aksini belirtmediği sürece, sola veya geriye (U) dönecek araçlar sol şeride, düz gidecek araçlar orta şeride (yoksa sağ şeride) ve sağa dönecek araçlar sağ şeride geçerler. Araçlar kavşak içinde şeritlerini takip ederler ve sadece çıkışa yaklaştıklarında şerit değiştirirler. Dolayısıyla bu tip kavşaklarda tam olarak duruş olmasa da önemli derecede yavaşlama zorunluluğu olduğu için kazalara karşı güvenlik artar. Ancak, işaretleme iyi yapılmaz ve sürücülerin kurallara uyma derecesi az olursa sık sık tıkanmalar, hatta kilitlenmeler meydana geldiğinden dönel kavşağa ışıklı işaret de konulabilir (Yayla, 2002).

3.2.3. Sinyalize eşdüzey kavşaklar

Sinyalize eşdüzey kavşaklar, kavşaktan hangi trafik akımının hangi sırayla geçeceğini ışıklı donanımlarla sağlandığı kavşaklardır. Trafiğin yoğun olduğu kavşaklarda bu tür kavşaklar tercih edilir. Sinyalize eşdüzey kavşaklarda düzenli bir akım sağlandığından hem kapasite hem de güvenlik artmaktadır. Trafik akımında düzenin sağlanmasının yanı sıra yandan çarpma ve gibi kaza türlerinde düşüş görülmektedir. Genel olarak arkadan çarpma kazalar meydana gelir ve bu kaza türünde araçlar arasındaki hız farkı az olduğundan ölüm riski ve zarar düşüktür (Yayla, 2004).

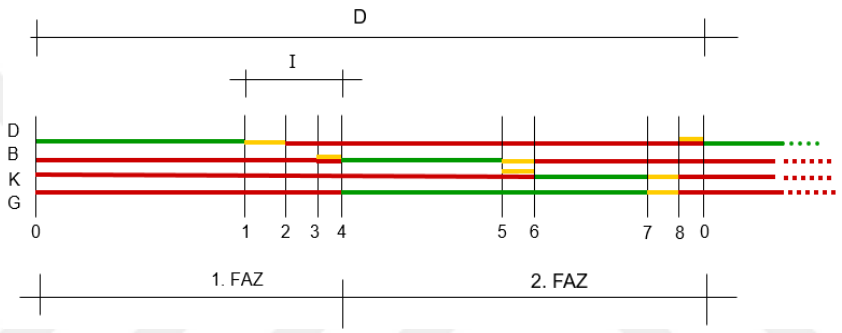
3.3. Sinyalizasyon Kavramları

Sinyalizasyon sistemlerinde kullanılan temel kavramlar aşağıdaki gibi belirtilebilir:

Devre: Tüm yaklaşımların geçiş yaptıkları ve sürekli tekrarlanan evredir.

Devre süresi: Kavşakta her yaklaşıma en az bir defa geçiş hakkının verildiği toplam süreye devre denir (Şekil 3.2).

Faz: Kavşakta en az bir yaklaşıma geçiş hakkının verildiği toplam süreye faz denir.



Şekil 3.2. Sinyal devre diyagramı gösterimi

Yeşil süre: Bir fazda, yeşil sinyalin verilme süresine yeşil süre adı verilir.

Sarı Süre: Bir fazda, sarı sinyalin verilme süresine sarı süre adı verilir.

Kırmızı Süre: Bir fazda, kırmızı sinyalin verilme süresine kırmızı süre adı verilir.

Flaş: Düzenli aralıklarla yanıp sönen sinyaldir.

Kırmızı flaş: "DUR" anayolu denetledikten sonra boş ise kavşağa girmeleri gerektiğini gösteren sinyaldir.

Sarı flaş: Kavşaktan yavaş ve yan yol akımına dikkat ederek geçmeye hazırlanmalarını öneren sinyale denir.

Yeşil flaş: Özellikle hızlı akım olan yollarda yeşil sinyal süresinin bitmek üzere olduğunu (uzakta isen) ve durmaya hazırlanmayı uyarmak için kullanılan sinyal süresidir.

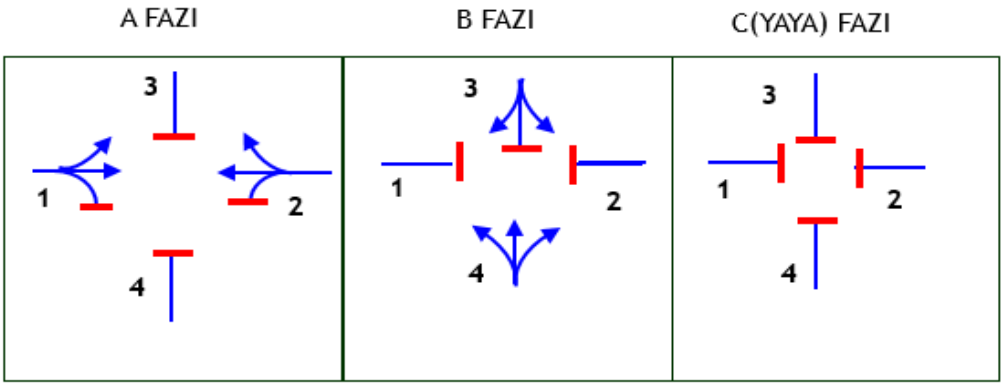
Yeşiller Arası Süre (I): Bir sinyalize kavşakta, bir fazın yeşil sinyal süresinin bitip bir sonraki fazın yeşil sinyal süresinin başlangıcı arasında geçen zamana denir.

Adım (Aralık): Bir sinyalize kavşakta hiçbir lambanın değişmediği süredir.

Koruma süresi: Birbirini izleyen çatışan akımlardan ilkinden yeşilin son anında giren taşıtı sonrakinden yeşilin başında giren taşıtı korumak için gerekli süredir.

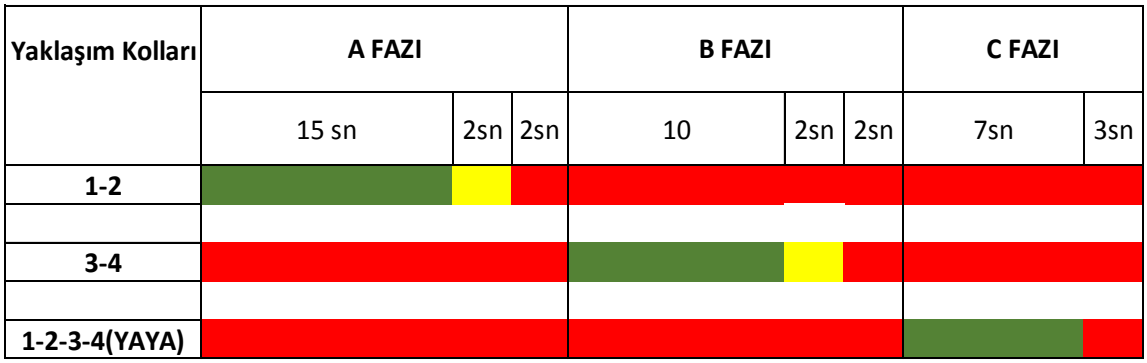
Kayıp Zaman: Bir devrede akımlara geçiş verilmeyen toplam süredir. Genellikle yeşiller arası süreler toplamı alınır (Gedizlioğlu, 2007).

Faz düzeni: Bir ışıklı kavşaktaki akımların geçiş sıralamasını belirleyen düzenlemeye denir. Şekil 3.3'te gösterildiği gibi akımların hangi fazda kavşaktan hangi sırada geçeceklerini gösteren gösterimdir.



Şekil 3.3. Faz düzeni örnek gösterimi

Devre düzeni: Kavşakta bir devre süresi boyunca hangi fazda hangi akımların geçiş hakkı aldığını ve bu akımların yeşil sürelerini ve yeşiller arası sürelerini bir zaman diyagramı ekseni üzerinde gösterimine denir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Devre düzeni örnek gösterimi

Sinyalizasyon sisteminin başarılı olabilmesi için sırasıyla aşağıdaki üç şarta uyması gerekmektedir:

- Trafik akımları uygun düzenlenmeli,
- Kavşağa uygun faz düzeni hazırlanmalı,
- Kavşağa uygun devre düzeni hesaplanmalıdır (Gedizlioğlu, 2004).

Ayrıca, devre sürelerinin trafik akımlarındaki yoğunluk farklılıklarına duyarlı bir sistem ile trafik yoğunluk değişimlerine uyumlu hale getirilmesi kavşak verimini yükseltecektir (Gedizlioğlu, 2004).

Burada önemli olan kısım kavşak sinyalizasyon sisteminde doğru devre düzeni kurarak ortalama gecikmeyi en aza indirgeyecek devre süresini uygulayabilmektir (Gedizlioğlu, 2004).

3.4. Kavşaklarda Sinyalizasyon Sisteminin Gerekliliği

Kavşaklarda sinyalizasyon sistemleri, kontrolsüz kavşaklarda kontrolü sağlamak ve trafik güvenliğini arttırarak kaza oluşumunu önlemek üzere geliştirilirler. Gereklilik kriterlerini sağlamadan kurulan bir sinyalizasyon sistemi kaza sayısının artmasına ve gecikmelerin uzamasına neden olacaktır. Öte yandan her kavşağa sinyalizasyon sistemi kurmak ekonomik açıdan maliyetlidir. Ancak bazı durumlarda sinyalizasyon sisteminin kurulmaması aşağıdaki durumlara neden olabilir (Kutlu, 1993):

- Kavşaklardaki işaretlemeler yapılmasına rağmen, ulaşım güvenliğinin sağlanamaması ve birbirine benzer kazaların olması,
- Kavşaktaki düzensiz ulaşım, gecikmelere ve tıkanıklıklara yol açması, bu yüzden kavşağın kapasitesi azalmakla birlikte zaman ve enerji kaybı olması,
- Yan yollardan kavşağa girmek isteyen araçların zaman boşluğu bulamaması ve anayoldan geçen araçların buna izin vermemesi,
- Yayaların emniyetle hareket olanağı bulamaması,
- Kavşak kapasitesinden yeterince yararlanılmaması,
- Kavşağın fiziki ve geometrik yapısının bir işaretlemeyi gerektirmesi.

Bu durumlardan bazıları bir kavşakta gözlenir ise, söz konusu kavşağa sinyalizasyon sistemi kurulması gerekir.

Kavşak sinyalizasyon sistemi belirli akımları yasaklayarak veya tekrar düzenleyerek araçların güvenli şekilde hareket etmelerini sağlar, oluşabilecek trafik kazalarını önler ve kavşak verimini arttırır. (Varlıorpak, 1982).

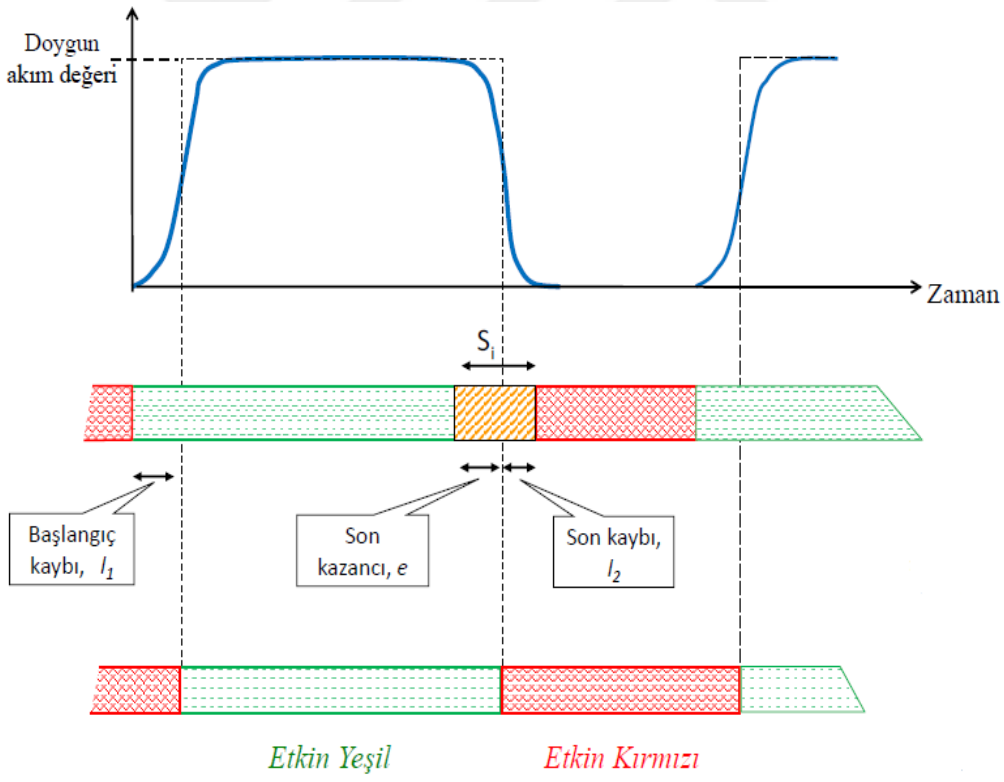
Sinyalizasyon sistemleri, kavşaklar üzerinde düzenli ve güvenli bir denetim sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Çünkü sinyalizasyon ile trafik akımlarının ve yayaların en güvenli şekilde ve optimum kapasite ile kavşağı kullanmalarına olanak verir. Sinyalizasyon sistemleri günümüzde sürekli artan ulaşım içerisinde önemli bir işletme tedbiri olarak yer almaktadır (Ayfer, 1977).

3.5. Sinyalize Kavşaklarda Kapasite

Sinyalize kavşaklarda kırmızı sinyalde araçlar birikip yeşil sinyalde düzenli olarak hareket etmeleri sağlandığı için kapasite kaybı kontrol edilebilmekte olup bundan dolayı sinyalize kavşaklarda denetimsiz kavşaklara göre %50'lere varan oranda kapasite artışı sağlanabilmektedir. Kavşağa ulaşan her akım, belli bir süre ve belli aralıklarla kavşağa giriş hakkı alır ve bu süreye akımın yeşil süresi denir. Yeşil süreler ile yeşiller arası sürelerin toplamı "devre süresi" olarak adlandırılmaktadır. Bir devre süresi içerisinde her akım en az bir kez geçiş hakkı almaktadır. Yeşil süre, kavşağa yönelen trafik hacmi ile birlikte, kavşağın kapasitesini etkileyen en önemli faktörlerden biridir (Gedizlioğlu, 2007).

Kavşağın kapasitesini etkileyen parametrelerden doygun akım değeri önemli bir faktördür. Şekil 3.5'e göre kırmızı ışıkta kuyrukta bekleyen araçlar için yeşil süre başladığında normal akış hızına ulaşana kadar biraz zamana ihtiyaç duyulur. Bu birkaç saniyelik süreden sonra kuyruklanma sabit bir oranda boşalır ve bu sabit orana doygun akım denir.

Kavşakta bir akım için yeşil süre başladığında, durmakta olan araçlar harekete geçip kuyruk sabit bir hızla boşalmaya başlayana kadar süre kaybı oluşur ve bu süre kaybına "başlangıç kaybı (l_1)" denir. Benzer şekilde doyma akımına ulaştıktan sonra yeşil sinyalin sönüp sarı sinyal yandığı halde bir süre daha araçlar kavşağı terk ederken süre kazancı oluşur. Bu süre "son kazanç (e)" olarak adlandırılır. Trafikte bir akım durduğunda, karşı taraftaki trafik akımının kavşağa girmeden önce güvenli bir zaman aralığı gerekli olup buna "son kayıp (l_2)" denir.



Şekil 3.5. Doygun akım temel modeli

Böylece akım kayıp zamanı aşağıdaki formülde ifade edilir:

$$l = l_1 + l_2 = l_1 + S_i - e \quad (3.1)$$

Kısacası doygun akım değeri, kavşaktaki bir yaklaşım kolundan 1 saatlik etkin yeşil sürede geçen taşıt sayısı olarak tanımlamak mümkündür.

Doygun akım değeri, kavşak kolunun genişliği, kavşağın geometrisine, eğimine, sağa ve sola dönen araçların sayılarına, trafik düzenlemesine ve özellikle ağır taşıt sayısına, park eden araç sayısına, yaya etkisine bağlıdır. Bu parametrelerin yanı sıra daha az önemi olan pek çok başka parametrelerin de doygun akım üzerinde etkisi vardır.

Bunun yanında bir başka önemli parametre olan etkin yeşil süre aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$g = G - l_1 + e \quad (3.2)$$

G: Görünen yeşil süre (sn),

g: Etkin yeşil süre (sn).

3.6. Kapasite Hesaplama Yöntemleri

Yaygın olarak kullanılan kapasite hesaplama yöntemleri:

- İngiliz (Webster) Yöntemi
- Amerikan (HCM) Yöntemi
- Avustralya Yöntemi

Kapasite hesaplama üzerine uygun tekniklerin geliştirilmesi Webster'ın orijinal çalışmaları ile başlar. Bu çalışmadan itibaren, sinyal sürelerinin hesaplanması için kullanılan analitik yöntemler performans geliştirme amacına yönelik geliştirilmiştir.

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler trafik analizi ve modellenmesi konusunda da birçok yazılım programının gelişmesine katkı sağlamıştır. Şu an pek çok ülkede yaygın olarak kullanılmakta olan bazı yazılımlar aşağıda listelenmiştir (Öztürk, 2004):

- HCS
- PASSER II-III-IV
- SYNCHRO
- SIMTRAFFIC
- SIDRA
- SIG/CINEMA
- HCM/CINEMA
- TRANSYT-7F
- NOSTOP
- TRAF-NETSIM
- VISSIM
- VISUM

Bu tez çalışmasında kapasite çözümleme yöntemlerinden, Avustralya yöntemi üzerinde durulmuştur. Çalışmaya konu olan kavşakların analizleri, Avustralya yöntemini kullanan "Sidra Intersection 7" bilgisayar programıyla gerçekleştirilmiştir.

3.6.1. İngiliz (Webster) yöntemi

İlk olarak Webster tarafından 1958 yılında İngiltere'de bu yöntem önerilmiş olup 1965 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Ulaşım Araştırmaları İdaresi tarafından bu yöntem geliştirmiştir. Sinyalizasyon sürelerinin hesaplamaları üzerine ilk olarak Webster tarafından geliştirilen bu yöntem daha sonraki çalışmalara ışık tutmuştur.

Bu yönteme göre sinyalize bir sinyalize kavşağın kapasitesi kavşaktan geçebilecek araç miktarı, yeşil süre boyunca kavşaktan geçen en fazla araç sayısına ve bu trafiğin aldığı yeşil süreye bağlıdır (Webster ve Cobbe, 1966).

Kavşaktan geçen akımın kapasitesi, o akımın işgal ettiği etkin yeşil sürenin devre süresine oranı ile doygun akımın çarpılmasıyla hesaplanmaktadır.

$$Q = \frac{g * s}{C} \tag{3.3}$$

Q: Kavşaktan geçen akımın kapasitesi (araç/sa),

C: Devre süresi (sn),

s: Doygun akım (araç/sa).

Etkin yeşil süre, görünen yeşil süreden kayıp sürenin çıkartılmasıyla hesaplanmaktadır.

$$g = G - l \tag{3.4}$$

l: Kayıp süre (sn).

Kayıp Zaman: Kayıp zamanın tespiti için Londra'da yapılan deneylerde ortalama bir sinyal devresinde başlangıç gecikmesi ve yavaşlayan akımdan dolayı meydana gelen kayıp zamanların her bir faz için yaklaşık 2 sn olduğu fakat çok değişken olduğundan 0 ile 7 sn arasında gözlenebilmektedir.

$$L = \sum(\mathrm{I} - \mathrm{a}) + \sum l \tag{3.5}$$

L: Devredeki toplam kayıp süre (sn),

I: Yeşiller arası süre (sn),

a: Sarı ışık süresi (sn),

l: Fazdaki kayıp süre (sn).

Başlangıç kaybı ve fazın sarı süresinin ikinci yarısının toplamı bir fazdaki kayıp süreyi verir. Bir devredeki tüm fazlardaki kayıp sürelerin toplamı, toplam kayıp süreyi verir.

Devre Süresi: Webster tarafından önerilen minimum ve optimum devre süresi aşağıdaki gibidir:

$$C_{min} = \frac{L}{1 - Y} \tag{3.6}$$

$$C_o = \frac{\varphi * L + 5}{1 - Y} \tag{3.7}$$

C_{min}: Minimum devre süresi (sn),

C_o: Optimum devre süresi (sn),

φ : Düzeltme katsayısı (1,2 - 1,8 arasında bir değer),

Y: Toplam akım oranı (trafik hacmi/doygun akım değeri).

Doygun Akım Değeri: Temel doygun akım değeri kavşak yaklaşım kolu genişliğine göre hesaplanır ve daha sonra, trafik kompozisyonu, eğim, sağa ve/veya sola dönen trafik, park şeridi etkisi ve yaya etkisine göre düzeltme yapılmaktadır.

$$s = 160 * w_a \tag{3.8}$$

s: Doygun akım (bo /sa),

w_a: Kavşak yaklaşım kolu genişliği, (ft) (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Kavşak kolu genişliğine göre doygun akım değerleri (Webster ve Cobbe, 1966)

w_a (ft)	10	11	12	13	14	15	16	17
s (bo/sa)	1850	1875	1900	1950	2075	2250	2475	2700

Eğim Etkisi: Doygun akımın değeri, her %1'lik çıkış eğiminde %3 azalır ve her %1'lik iniş eğiminde %3 artar.

Trafik Kompozisyonunun Etkisi: Çizelge 3.2'de gösterilen birim oto eşdeğerleri kullanılarak hacim düzeltmesi yapılır.

Çizelge 3.2. Farklı türdeki taşıtların otomobil birimi eşdeğeri (Webster ve Cobbe, 1966)

1 ağır yük taşıtı	1,75 bo (birim otomobil)
1 otobüs	2,25 bo
1 tramvay	2,50 bo
1 hafif taşıt	1,00 bo
1 motosiklet	0,33 bo
1 bisiklet	0,20 bo

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

- Zıt yönde akım yok ve özel sola dönüş şeridi mevcut değil ise dönüş akımları dikkate alınmadan diğer kurallara göre doygun akım tahmin edilir.

- Zıt yönde akım yok ve tekil sola dönüş şeridi mevcut ise, sola dönen akımın doygun akımı ayrı bir şekilde bulunur. Buna göre R (dönüş yarıçapı olmak üzere) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\text{Sola dönüş şeridi tek şerit ise } S = \frac{1800}{1+\frac{5}{R}}\ bo/sa$$
$$\text{Sola dönüş şeridi çift şerit ise } S = \frac{3000}{1+\frac{5}{R}}\ bo/sa \qquad (3.9)$$

- Zıt yönde akım mevcut, tekil sola dönüş şeridi yok ise, ilk olarak zıt trafikten dolayı taşıtlar kendilerini ve dönüş yapmayan diğer taşıtları geciktirir, ikinci olarak sola dönen taşıtların varlığı direkt geçen taşıtları engeller ve geciktirir. Üçüncü olarak yeşil periyodun sonunda sola dönen taşıtların hala kavşakta mevcut olması tahliye için belli bir süre alarak geçiş fazının başlamasını geciktirir.

- Zıt yönde akım mevcut, özel sola dönüş şeridi var ise, düz geçen trafikte (aynı yaklaşım kolunu kullanan) gecikme olmamalıdır. Fakat sola dönenlerde geçiş fazında bir etki söz konusu olabilir ve bir üst maddedeki şekilde hesaplanır.

Sağa dönen trafiğin etkisi: Doygun akıma sağa dönenlerin etkisi dönüş sayısına ve yaya akımına bağlıdır. Sağa dönen araçlar akımın %10'undan az ise düzeltme gerekmez, %10'dan çok ise 1 sağa dönen araç, 1.25 düz geçen araca eşit olmaktadır.

Park şeridi etkisi: Kavşak dur çizgisinde park varsa yol genişliği park genişliği kadar azaltılır. Kayıp yol genişliği:

$$W_{kayıp} = 5.5 - \frac{0.9(z-25)}{g} \quad (3.10)$$

$W_{kayıp}$: Park eden araç yüzünden şerit genişliğindeki kayıp (m),

z: Park eden aracın dur çizgisine olan mesafesi (m).

Gecikme Hesabı: Yaklaşım kolundaki ortalama gecikme aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$d = \frac{c-(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0.65(\frac{c}{q^2})^{\frac{1}{3}} x^{(2-5\lambda)} \quad (3.11)$$

d: Bir kavşak yaklaşım kolundaki taşıt başına ortalama gecikme (sn),

λ: Etkin yeşil sürenin devre süresine oranını (λ = g/C),

x: Doygunluk derecesi *x*=q/λS ile ifade edilir.

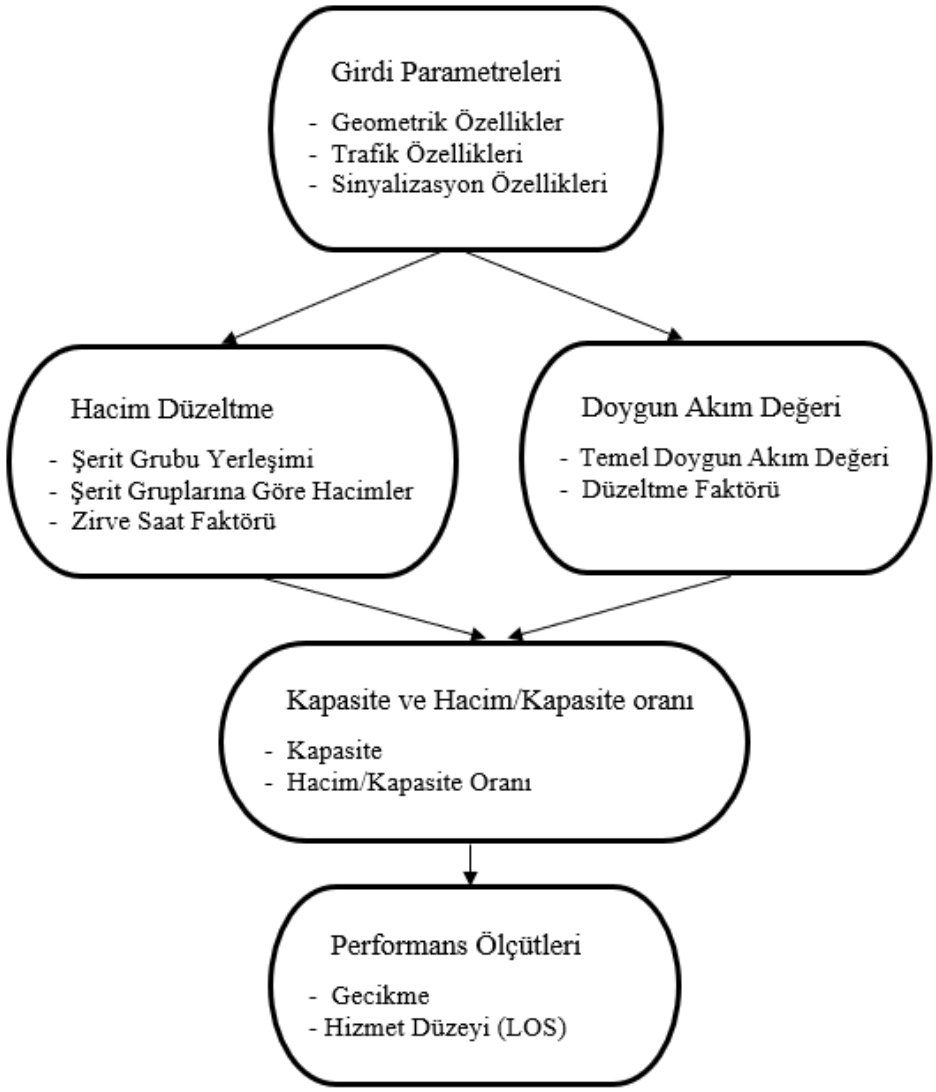
Denklem 3.11'in son kısmı gecikmenin %5-%15 arasında bir değeri ifade eder. Bu sebeple denklem aşağıdaki gibi basitleştirilebilir:

$$d = \frac{9}{10} * [\frac{c-(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)}] \quad (3.12)$$

3.6.2. Amerikan (HCM) yöntemi

Amerikan yönteminde, kavşaklarda kapasite her bir yaklaşım kolunun kapasitesine ve hizmet düzeyi ile kavşağın bir bütün olarak hizmet düzeyinin belirlenmesi ile yapılacak hesaplara dayanır. Kavşaklardaki yaklaşımların karşılaştırılması ve ana hareketlerin yerleşiminin farklılığı kavşakların tasarımı ve sinyalizasyonunda görünen değişik yaklaşımlar kavşağın kapasitesinin bir bütün olarak ele alınamayacağı gösterir (Murat, 1996).

Amerikan yönteminde sunulan metodolojide izlenen yol Şekil 3.6'da gösterildiği şekildedir.



Şekil 3.6. Sinyalize kavşak metodolojisi (HCM, 2000)

3.6.2.1. Girdi parametreleri

Sinyalize kavşakların analizi için kavşağın trafik özellikleri ve sinyal süreleri, geometrik özellikleri kavşağın girdi parametrelerini oluşturur. Bunlar 3 grupta incelenir (HCM, 2000).

Geometrik Özellikler: Sinyalize kavşağı geometrik özellikler bakımından etkileyen faktörler; yaklaşım kollarının eğimi, şerit sayısı ve genişliği ve park koşulları sola veya sağa dönüsün olup olmadığı, sağa veya sola dönüş için depolama mesafelerinin uzunluklarıdır.

Trafik Özellikleri: Kavşaktaki her bir akım için 15 dakikalık zaman dilimleri için trafik hacimleri belirlenmelidir. Zirve saat faktörüyle düzeltme yapılarak hesaplarda kullanılır. Zirve saat faktörü bölüm 3.6.2.2'de anlatılmaktadır. Trafik durumuna eklenmesi gereken bir başka etken ise ağır taşıt yüzdesidir. Dörtten fazla lastikli araç olarak tanımlanan ağır taşıtlar her bir akım için ayrı hesaplanıp analizde yerini alır. Kavşakta trafiği etkileyen faktörler arasında yaya ve bisiklet etkileri de önemli yer tutar.

Bunun yan sıra herhangi bir fazda kavşağa gelen araçların, o fazdaki geliş zamanları da önemli bir etkendir. Bunu ifade eden parametre, her bir şerit grubu için kullanılan varış tipidir. Varış tipi gecikme tahminleri ve hizmet düzeyinin belirlenmesinde önemli bir etkendir. Bu varış tipinin belirlenmesi için denklem haline getiren bir kümeleşme (toplulaşma) oranı vardır. Bu oran gelen araçların ilk yeşil süresinde kavşaktan tamamen boşalması durumuna, etkin yeşil süreye ve devre süresine bağlıdır (HCM, 2000).

$$R_p = \frac{P}{\frac{g_i}{C}} \tag{3.13}$$

R_p: kümeleşme (toplulaşma) oranı,

P: yeşil süresi boyunca kavşağı boşaltan araç sayısının, yeşil süresi boyunca gelen tüm araç sayısına oranı,

g_i: etkin yeşil süre (sn),

C: devre süresi (sn).

Sinyal Özellikleri: Sinyalizasyon ile ilgili bilinmesi gereken veriler; devre süresi, faz planını gösteren faz diyagramı, yeşil süre ve yeşiller arası süredir. Bu bilgilere göre çözümleme yapılır. Yaya zamanlamalarına gereksinim varsa, öncelikle yayalar dikkate alınmalıdır. Yayalar için minimum yeşil süre aşağıdaki formülle hesaplanır. Hesaplanan yaya fazı süresi mevcuttaki yaya fazı süresiyle karşılaştırılır (HCM, 2000):

$$G_p = 3{,}2 + \frac{L}{S_p} + (0{,}27 * N_{ped}) \qquad W_E < 3{,}0 \text{ m için} \tag{3.14}$$

$$G_p = 3{,}2 + \frac{L}{S_p} + (0{,}81 * \frac{N_{ped}}{W_E}) \qquad W_E > 3{,}0 \text{ m için} \tag{3.15}$$

G_p: Yayalar için minimum yeşil süre (sn),

3,2: Yayaların harekete başlama süresi (sn),

S_p: Yayaların ortalama hızı (m/sn),

L: Yürüme mesafesi (m),

W_E: Yolun genişliği (m),

N_{ped}: Karşıdan karşıya geçen yaya sayısı (HCM, 2000).

3.6.2.2. Hacim düzeltme

Hesaplamalar üç grup altında toplanmaktadır:

1. Zirve akım oranlarına göre hacimlerin düzeltilmesi,
2. Her şeridin kullanımına göre şerit gruplarının belirlenmesi,
3. Trafik hacimlerinin şerit kullanımına göre düzeltilmesi (HCM, 2000).

Zirve Akım Oranlarına Göre Hacimlerin Düzeltilmesi: İlk olarak saatlik hacim değerleri zirve saat faktörü yardımıyla 15 dakikalık zirve hacim değerlerine dönüştürülmektedir. Zirve saat faktörü şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$PHF = V/(4 * V_{15}) \tag{3.16}$$

PHF: Zirve saat faktörü (Pick Hour Factor),

V: Saatlik akım hacmi (araç/saat),

V_{15}: Zirve saatteki 15 dakikalık maksimum hacimdir.

Zirve saat faktörü hesaplandıktan sonra akım oranı;

$$V_P = \frac{V}{PHF} \tag{3.17}$$

V_p: 15 dakikalık zirve periyoda akım oranı (araç/sa).

Şerit gruplarının belirlenmesi: Şerit grubu, bir ya da daha fazla trafik akımına hizmet veren şerit sayısı olarak tanımlanmaktadır. Kavşağın yaklaşım kolunu şerit gruplarına bölerek incelenmelidir. Çizelge 3.3'te yaygın şerit grupları belirtilmektedir.

Çizelge 3.3. Analiz için tipik şerit grupları (HCM, 2000)

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

Şerit kullanımına göre trafik hacimlerinin düzeltilmesi: Yaklaşım kolunda birden çok şerit olduğunda akımlar eşit olarak dağılmadığında eşit olmayan şerit kullanımı söz konusu olmaktadır. Şerit kullanımı için yapılan düzeltmeler bu eşit olmayan kullanımı düzenlemekte ve akım oranını buna göre hesaplamaktadır. Bu düzeltme aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.

$$q = q_g * U_f \tag{3.18}$$

q_g : Düzeltilmemiş akım talep oranı (araç/sa),

U_f: Şerit kullanım faktörü,

q : Şerit grubu için düzeltilmiş akım talep oranı (araç/sa).

Çizelge 3.4. Şerit kullanım faktörü (HCM, 2000)

Gruptaki Direkt Geçen Şerit Sayısı	Şerit Kullanım Faktörü
1	1
2	1,05
≥3	1,10

3.6.2.3. Doygun akım değeri

Doygun akım oranı, trafik akımında yaklaşım koluna yeşil süre boyunca kavşaktan geçebilecek maksimum araç sayısıdır. Temel doygun akım değeri hesaplamalarda 1900 (b.o./saat/şerit) olarak alınır. Bu değer trafik akımlarının ve kavşak kolunun durumlarına göre aşağıda belirtilen düzeltme faktörleriyle tekrar hesaplanmaktadır:

$$S = S_o * N * f_{HW} * f_w * f_{bb} * f_p * f_a * f_g * f_{LT} * f_{LU} * f_{RT} * f_{Rpb} * f_{Lpb} \quad (3.19)$$

S: Doygun akım oranı (araç/sa),

S_o: Temel akım oranı (b.o./sa/şerit),

N: Gruptaki şerit sayısı,

f_{HW}: Ağır taşıtlar için düzeltme faktörü,

f_w: Şerit genişliği için düzeltme faktörü,

f_{bb}: Otobüs blokajı düzeltme faktörü,

f_p: Park için düzeltme faktörü,

f_a: Kavşağın bulunduğu alan türü için düzeltme faktörü,

f_g: Yaklaşım kolunun eğimi için düzeltme faktörü,

f_{LT}: Sola dönüşler için düzeltme faktörü,

f_{LU}: Şerit kullanımı için düzeltme faktörü,

f_{RT}: Sağa dönüşler için düzeltme faktörü,

f_{Rpb}: Sağa dönüşler için yaya düzeltme faktörü,

f_{Lpb}: Sola dönüşler için yaya düzeltme faktörü.

Doygun akım için düzeltme faktörleri, Şekil 3.7'de detaylı şekilde gösterilmiştir. Ancak sadece şerit genişliği için düzeltme faktörünün hesaplanmasında HCM 2010'da yapılan değişiklikler Çizelge 3.5'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.5. Şerit genişliği için düzeltme faktörü–fw (HCM, 2010)

Şerit Genişliği (ft.)	Düzeltme Faktörü (fw)
8 ≤ W <10	0,96
10 ≤ W ≤ 12,9	1
W >12,9	1,04

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: $fLpb = 1.0 - (1 - A_{pbT}) * P_{LT} * (1 - P_{LTA})$ Sağa Dönüş Faktörü: $fRpb = 1.0 - (1 - A_{pbT}) * P_{RT} * (1 - P_{RTA})$	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	

Şekil 3.7. Düzeltme faktörleri (HCM, 2000)

3.6.2.4. Kapasite çözümleme

Sinyalize kavşaklarda kapasite her akım için bir devre boyunca kavşaktan geçirebileceği saatlik en fazla araç sayısı olarak belirlenir. Bu değer o akımın doygun akım değerine, yeşil süresine ve kavşağın devre süresine bağlıdır. Daha önceki kısımlarda bulunan parametreler kullanılarak şu kapasite değişkenleri hesaplanmaktadır:

- Her şerit grubu için akım oranı, o akım için gerçek veya öngörülen trafik hacminin (v_i), doygun akıma (s_i) bölünmesiyle elde edilir.

- Her şerit grubunun kapasitesi de, aşağıdaki verilen formülle hesaplanır:

$$c_i = s_i * \frac{g_i}{C} \tag{3.20}$$

c_i: Yeşil süresi boyunca akımın geçirebileceği en fazla araç sayısı (araç/sa),
s_i: Doygun akım değeri (araç/sa),
g_i/C: İncelenen akım için yeşil süresinin devre süresine oranı (etkin yeşil oranı).

- Her şerit grubu için hacmin kapasiteye oranı ise, kavşak analizinde "X" sembolü ile gösterilir ve şu şekilde ifade edilir:

$$X_i = \frac{v_i}{c_i} = \frac{v_i}{s_i * (\frac{g_i}{C})} = \frac{v_i * C}{s_i * g_i} \tag{3.21}$$

X_i: Hacim / Kapasite oranı,
C: devre süresi (sn),
v_i: Düzeltilmiş akım hacmi (araç/sa),
s_i: Doygun akım değeri (araç/sa),
g_i: etkin yeşil süre (sn).

- Sinyalize kavşakları analiz etmek için kullanılan bir başka kavram, kritik hacim/kapasite (v/c) oranıdır ve "X_c" ile gösterilir. Herhangi bir kavşak için kritik "v/c" oranı (X_c) şu şekilde belirlenir:

$$X_c = \sum \left(\frac{v}{S}\right)_{c_i} \left(\frac{C}{C - L}\right) \tag{3.22}$$

X_c: Kavşağın kritik doygunluk derecesi,

$\sum \left(\frac{v}{S}\right)_{c_i}$: Kritik akımların akım oranları toplamı

C: Devre süresi (sn),

L: Toplam akım kayıp zamanı (sn) (HCM, 2000).

3.6.2.5. Performans ölçütleri

Bu bölümde, sinyalize kavşakların performans ölçümlerini belirleyen gecikme ve hizmet düzeyine değinilecektir.

Gecikme: Gecikme hesaplamalarından elde edilen değerler, analiz periyodu süresince gelen tüm araçların kuyrukta durduğu veya kavşak yaklaşımında yavaşladığı hareketleri içeren ortalama kontrol gecikmesini ifade eder. Belirli bir trafik akımında her bir araç için ortalama kontrol gecikmesi hesaplanırken üç farklı durumun oluşturduğu gecikme değerleri toplanarak kavşağın kontrol gecikmesi değeri şu şekilde belirlenir (HCM, 2000):

$$d = d_1 * (PF) + d_2 + d_3 \tag{3.23}$$

Yukarıdaki denklemde;

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

d_1: Uniform kontrol gecikmesi (sn/araç),

PF: İlerleme düzeltme faktörü,

d_2: Düzeltilen arttırılmış gecikme (sn/araç),

d_3: Başlangıç kuyruklanma gecikmesi (kuyruklanma yok ise sıfır) (sn/araç)'dir.

Denklem 3.23'te ifade edilen "d_1" şu şekilde hesaplanır:

$$d_1 = \frac{0.5 * C * (1 - \frac{g}{C})^2}{1 - [\min[(1, X) * \frac{g}{C}]} \quad (3.24)$$

C: Devre süresi (sn),

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

Denklem 3.23'te ifade edilen "PF" şu şekilde hesaplanır:

$$PF = \frac{(1 - P) * f_{PA}}{1 - (\frac{g}{C})} \quad (3.25)$$

P: Yeşil süre boyunca gelen araçların oranı,

f_{PA}: Yeşil süre boyunca gelen araçlar için tamamlayıcı düzeltme faktörü,

g/C: Yeşil süresinin devre süresine oranıdır.

Denklem 3.23'te ifade edilen "d_2" şu şekilde hesaplanır:

$$d_2 = 900 * T * [(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 * k * \mathrm{I} * X}{c * T}}] \quad (3.26)$$

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

T: Analiz süresi (sa),

X: İncelenen trafik akımının doygunluk derecesi veya "v/c" oranı,

k: Artan gecikme faktörü,

I: Ölçüm düzeltme faktörü,

c: İncelenen trafik akımının kapasitesi (araç/sa)'dir.

Gecikme değerleri, bir yaklaşım kolu için hesaplanabildiği gibi bütün kavşağın ortalama gecikmesini bulmak amacıyla da hesaplanabilir. Bir kavşak yaklaşım kolu için ortalama gecikme şu şekilde hesaplanır:

$$d_A = \frac{\sum d_i * V_i}{\sum V_i} \quad (3.27)$$

d_A: Yaklaşım kolu için ortalama gecikme (sn/araç),

d_i: i. şerit grubu gecikme (sn/araç),

V_i: i. şerit grubu düzeltilmiş akım (araç/sa).

Kavşak için ortalama kontrol gecikmesi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$d_I = \frac{\sum d_A V_A}{\sum V_A} \quad (3.28)$$

d_I: Kavşak için araç başına düşen ortalama gecikme (sn/araç),

d_A: A yaklaşımı için ortalama gecikme (sn/araç),

V_A: A kavşak yaklaşımının hacmi (araç/sa)'dir.

Hizmet Düzeyinin Belirlenmesi: Kavşak hizmet düzeyi, kavşağın gecikme süresine bağlıdır. Kavşak hizmet düzeyini taşıt başına düşen ortalama kontrol gecikmesi değeri belirler.

Hizmet düzeyi Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. A (en iyi durum)' dan F (en kötü durum)' ye hizmet düzeyleri gruplandırılır (HCM, 2010).

Çizelge 3.6. Sinyalize kavşaklar için hizmet düzeyi (HCM, 2010)

Hizmet Düzeyi	Araç Başına Kontrol Gecikmesi (sn)
A	≤10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-55
E	>55-80
F	>80

3.6.3. Avustralya yöntemi

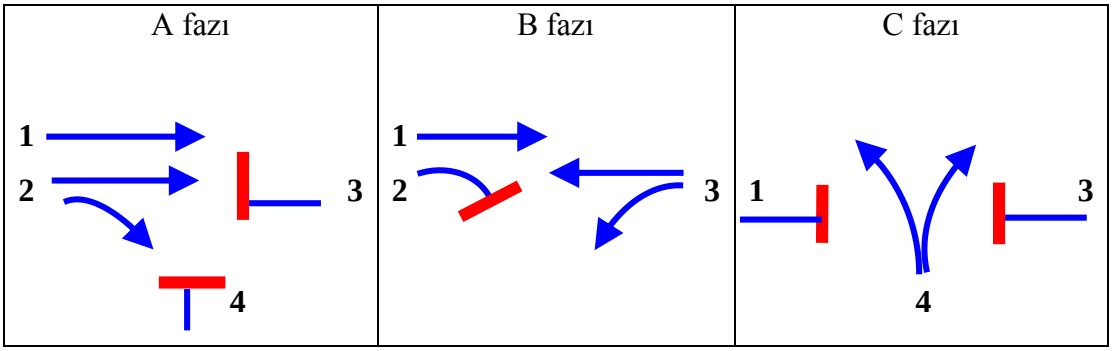
Avustralya yöntemi olarak adlandırılan yöntem Dr. Rahmi Akçelik tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem 1981 yılında "Avustralya Yol Araştırma Kurumu" tarafından yayınlanmıştır.

Avustralya yöntemi ile mevcut yöntemlere yeni bir boyut kazandırarak kavşak analizleri faz yerine akıma göre yapılır. Her akım için doygun akım değeri ve akım oranı belirlenerek, doygunluk derecesine göre kritik akımlar belirlenir. Buna göre kavşak kayıp zamanı, faz kayıp zamanı yerine, kritik akımların kayıp zamanları toplamıdır. Ayrıca bu kritik akımlar devre süresi ve yeşil süre hesabında kullanılır.

SIDRA (Signalized Intersection Design And Research Aid) isimli bilgisayar programı bu yönteme dayanan temel programlardan biridir ve sinyalize kavşakların modellenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır (Murat, 1996).

3.6.3.1. Kavşak ve trafik akımlarının özellikleri

Akım ve Fazlar: Sinyal faz sistemi faz-akım matrisi ile ifade edilir. Her bir akım hareketinin ne zaman başlayıp ne zaman sona erdiğini ve akım numaraları faz-akım matrisi ile göstermektedir.



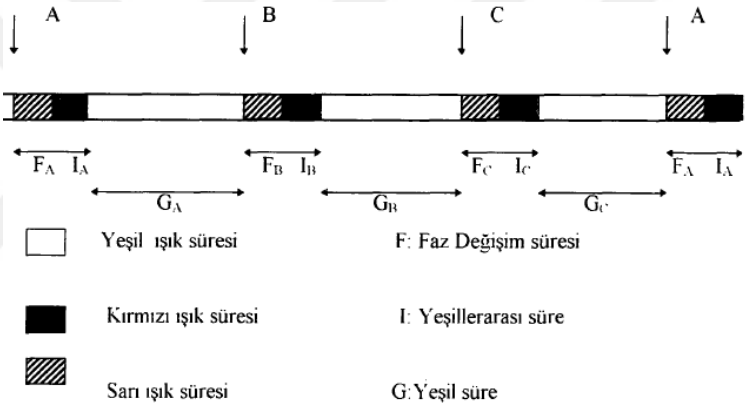
Şekil 3.8. Örnek faz diyagramı (Akçelik, 1998)

Şekil 3.8'deki örnek faz diyagramına göre faz akım matrisi Çizelge 3.7'deki gibi yazılır. (Akçelik, 1998).

Çizelge 3.7. Faz–akım matrisi (Akçelik, 1998)

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

Sinyal Devresi: Sinyalize kavşaktaki tüm fazların bir kez tekrarlanması ile oluşan süredir. Bir fazdaki yeşil periyodun bitişi ile, takip eden periyodun başlangıcı arasındaki süreye yeşiller arası süre denir. Yeşiller arası süre sarı ve hepsi kırmızı sürelerinin toplamına eşittir. Örnek faz diyagramı için sinyal devresi Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Sinyal devre diyagramı

Şekil 3.9'dan da anlaşılacağı üzere "A" fazı için yeşil ışık süresi "G_A" ile gösterilmekte, faz değişim süreleri F ile yeşiller arası süre "I" ile ifade edilmektedir. Tüm fazların yeşiller arası ve yeşil sürelerinin toplamı devre süresini oluşturmaktadır. Buna göre devre süresi;

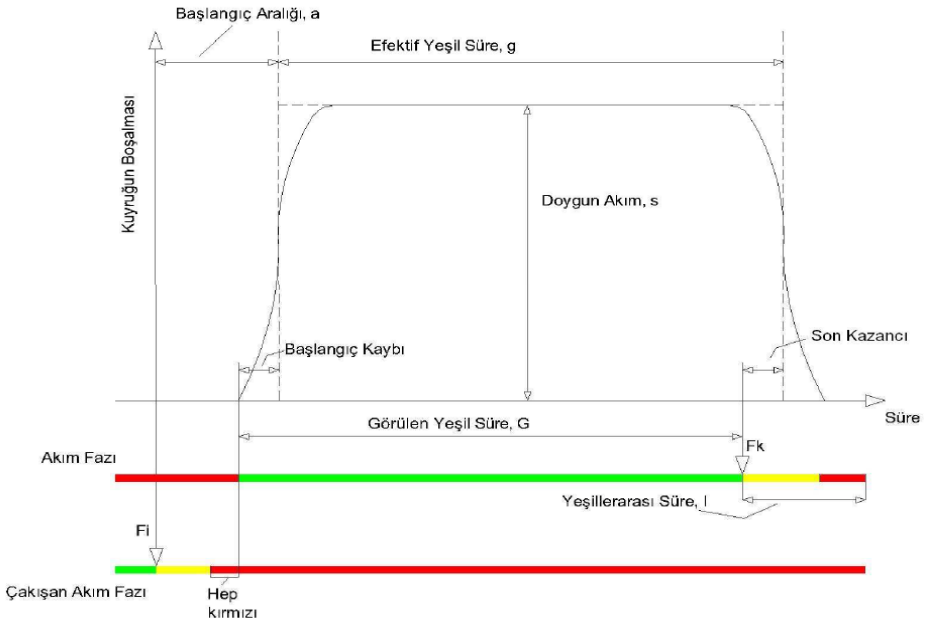
$$C = \sum (I + G) \tag{3.29}$$

C : Devre süresi (sn),

I : Yeşiller arası süre (sn),

G : Yeşil süre (sn).

Akım Özellikleri:



Şekil 3.10. Temel akım özellikleri

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi sinyal yeşile döndüğü zaman dur çizgisinden harekete geçen akım hızlı bir şekilde doygun akım (s) değerine ulaşır veya kuyruk boşalıncaya ya da yeşil süre sona erinceye kadar devam eder. Şekil 3.10' da görüldüğü üzere kesikli çizgi ile gösterilen yükseklik doygun akım değerini, genişlik ise etkin yeşil süreyi göstermektedir. Görünen yeşil süre (G) başlangıcı ile etkin yeşil süre (g) başlangıcı arasındaki fark, başlangıç kaybı olarak kabul edilir. Benzer olarak etkin yeşil süre sonu ile görünen yeşil süre sonu arasındaki fark ta son kazanç (bitiş aralığı) olarak kabul edilir. Böylece etkin yeşil süre görünen yeşil süreden başlangıç kaybının çıkarılması ve son kazancın eklenmesi ile bulunur. Akım kayıp zamanı (l) başlangıç kayıp zamanı ile son kazanç arasındaki fark olarak adlandırılır. Yeşiller arası süre (I) ise görünen yeşiller arası süredir.

$$(G + I = g + l) \tag{3.30}$$

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

- Başlangıç ve bitiş numaraları,

- Yeşiller arası süre (sn),
- Minimum görünen yeşil süre (araç/sa),
- Varış akım oranı (araç/sa),
- Doyma akımı oranı (araç/sa),
- Kayıp zaman (sn),
- Pratik doygunluk derecesi.

Kritik akımlar genel olarak bir kavşağın kapasite ve zaman ihtiyacının belirler. Kritik akım, bir fazdaki en uzun zamanı gerektiren akımdır. Kavşak sinyalizasyonu kritik akımlar en yüksek doygunluk dercesine sahip olduğundan bu akımlara göre planlanmalıdır. Kritik akımlara bağlı olarak devre süresi;

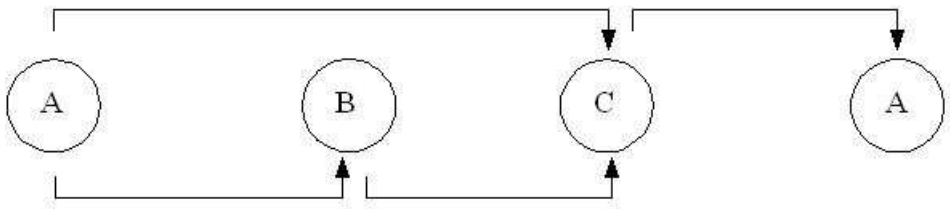
$$C = \sum (G + I) \tag{3.31}$$

ya da

$$C = \sum (g + l) \tag{3.32}$$

şeklinde tanımlanabilir.

Kritik akımları belirlenebilmesi için fazlara bağlı kritik akım arama diyagramından faydalanılmaktadır. Kritik akım arama diyagramında öncelikle faz değişimleri yazılır ve süreler yazılarak en fazla zamanı gerektiren akım $(g + l)$ kritik akım olarak belirlenir. Eğer tekrarlı akımlar varsa, tekrarlı akımın $(g + l)$ değeri ile bu akımla aynı zamanda geçiş hakkı alan diğer akımların $(g + l)$ değerleri karşılaştırılır. Diğer bir deyişle, kritik akım belirleme bir kritik akım arama diyagramında (Şekil 3.11) en uzun yolu belirleme işlemidir.



Şekil 3.11. Kritik akım arama diyagramı örneği

Kavşak Kayıp Zamanı: Bir kavşaktaki kayıp zaman, devre süresini ifade eden Denklem 3.32'nin $C = \sum g + \sum l$ şeklinde yazılması ile aşağıdaki formülle tanımlanır.

$$L = \sum l \tag{3.33}$$

Yani kritik akımların kayıp süreleri toplamı kavşak kayıp zamanını oluşturmaktadır.

3.6.3.2. Kapasite ve doygunluk derecesi

Bir akımın kapasitesi, araçların hareket edebileceği en yüksek oran, yani doygun akım ile o akımın etkin yeşil süresinin devre süresine oranına bağlıdır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir (Akçelik, 1998):

$$Q = s * (g/c) \tag{3.34}$$

Q: Akımın kapasitesi (araç/sa),
s: Doygun akım (araç/sa),
C: Devre süresi (sn).

Kapasite ve doygunluk derecesi hesaplarında göz önüne alınan diğer bir parametre ise etkin yeşil sürenin devre süresine oranı ile hesaplanan yeşil zaman oranıdır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir (Akçelik, 1998):

$$U = g/C \tag{3.35}$$

Bir diğer parametre ise, varış akımının (hacmin) doygun akıma oranıdır ve akım oranı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir (Akçelik, 1998):

$$y = q/s \tag{3.36}$$

Bir akımın doygunluk derecesi, hacmin kapasiteye oranıdır. Denklem 3.37'de görüldüğü gibi doygunluk derecesi, yeşil zaman oranı ve akım oranına bağlıdır.

$$x = \frac{q}{Q} = \frac{q * C}{s * g} = \frac{y}{u} \tag{3.37}$$

x: Doygunluk derecesi,

q: Akım değeri,

s: Doygun akım,

g: Etkin yeşil süre.

Bu ifadede akım oranı "talebi" simgeleyen sabit bir parametre ve yeşil süre oranı da "arzı" simgeleyen kontrol parametresi olarak düşünülmektedir. Doygunluk derecesi bu iki parametreyi birbirine bağlayan orandır (Akçelik, 1998).

Yeterli akım kapasitesi sağlamak için;

$$Q > q \; ya \; da \; X < 1 \tag{3.38}$$

Diğer bir ifadeyle şu şekilde ifade edilir:

$$s * g > q * c \; ya \; da \; u > y \tag{3.39}$$

Akım kapasitesi, yeşil süre oranı arttıkça artmaktadır. L, U ve Y kritik akım parametreleri olmak üzere ve toplamlar kritik akımlar için olmak üzere kavşak yeşil zaman oranı toplam uygun yeşil zamanın devre zamanına oranıdır (Akçelik, 1998):

$$U = \sum u = (C - L)/C \tag{3.40}$$

Kavşak akım oranı ise aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$Y = \sum y \tag{3.41}$$

Kavşak doygunluk derecesi X ise yaklaşım kollarındaki akımların en büyük doygunluk derecesi şeklinde düşünülmektedir. Kavşak doygunluk derecesi aynı zamanda şu şekilde ifade edilir (Akçelik, 1998):

$$X = Y * C/(C/L) \tag{3.42}$$

Pratik, kabul edilebilir maksimum doygunluk derecesi 1.0'den küçük olmalıdır. Çünkü yaklaşım akımları kapasitesi, aşırı gecikmeler, duruşlar ve kuyruk uzunlukları yüzünden trafik şartları sabit değildir. Genel olarak 0.8-0.9 arası değerler tatminkar işletim koşullarını ifade etmektedir (Akçelik, 1998).

Bir akıma tanınan süre;

$$t = g + l \tag{3.43}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu ifadede g, etkin yeşil süreyi; l ise kayıp sürelerin toplamını temsil etmektedir. Gereken akım süreleri iki şekilde de hesaplanır:

$$t = u * c + l \tag{3.44}$$

$$t = 100u + l \tag{3.45}$$

Denklem 3.45'te formüle edildiği gibi 100 sayısı ilk anda tahmin edilen devre süresi olarak alınmaktadır.

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

$$u = \frac{y}{X_p} \tag{3.46}$$

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

3.6.3.3. Devre süresi hesabı

Avustralya yöntemi ile devre süresi hesabı aşağıda verilen adımları içermektedir. İlk 4 adım kritik akımların belirlenmesini, sonraki altı adım da kapasite ve zamanların hesaplanmasını içermektedir. Son üç adım, hesaplanan devre süresinin kullanılmasında çeşitli kontrollerden oluşmaktadır. Bu adımlar şu şekilde sıralanabilir (Akçelik, 1998):

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

Adım 1: Aşağıda verilen Çizelge 3.8'de gösteriliği gibi kritik akım arama çizelgesi çizilir. Çizelgede sırayla akım numaraları, akımların başlangıç ve bitiş fazları, yeşiller arası süre, minimum gösterilen yeşil süre, akım hacimleri, doygun akım değerleri, kayıp süreler, minimum gösterilen etkin yeşil süreler ve pratik doygunluk derecesi değerleri girilir.

Çizelge 3.8. Kritik akım araştırma çizelgesi (Akçelik, 1998)

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

Adım 2: Şekil 3.11'de gösterilen kritik akım arama diyagramı çizilir.

Adım 3: Her faz için tekrarlı olmayan akımların t değerleri karşılaştırılır ve en büyük t değerine sahip akım seçilerek diğer akımların t değerleri elenir. Eğer varsa aynı akımda geçiş alan tekrarlı akımların t değerleri karşılaştırılır. En büyük t değerli akım seçilir. Sonuç olarak kritik akım arama diyagramında "en uzun yol" belirlenir.

Adım 4: Kayıp süre (L), akım oranı (Y), ve yeşil süre oranı (U) değerleri hesaplanır.

Adım 5: Bu aşamada pratik optimum devre süreleri bulunur. Optimum devre süresi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_o = (1.4 + k) + \frac{6}{1 - Y} \tag{3.47}$$

Bu ifadede k, yakıt tüketimini, maliyetleri, kirletici etkenleri vb. en aza indirgeyen bir parametredir. "Stop Penalty" olarak adlandırılır. Pratik devre süresi ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_p = \frac{L}{1 - U} \tag{3.48}$$

Adım 6: $C_p \; ve \; C_o$ değerleri arasında maksimum devre süresi (120-150 sn) aşmayacak şekilde bir devre süresi seçilir.

Adım 7: Kritik akımların devre süresine bağlı olduğu durumlar olabilir. Bunu kontrol etmek için önce $(u * c + l)$ değeri bulunur. Bu değerle $(g * m + l)$ değeri karşılaştırılarak büyük olan değer yeni gereken zaman (t) değeri olarak yazılır. Tekrar kritik akım arama işlemi yapılır ve bir değişiklik olup olmadığı kontrol edilir.

Adım 8: Faz yeşil zamanları bulunur. İlk olarak aşağıdaki denklem yardımıyla kritik ve kritik olmayan akımların etkin yeşil süreleri hesaplanır.

$$g = (\frac{c - L}{U})u \tag{3.49}$$

Eğer bir fazda iki tekrarsız akım varsa kritik olmayan akımın g değeri kritik akımlara bağlı olarak aşağıdaki şekilde bulunur:

$$c^* = (g_c + l_c) - \mathrm{I} \tag{3.50}$$

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

$$c^* = g_c + l_c \tag{3.51}$$

Bu durumda eldeki yeşil süre c*-L* dir. Burada L* tekrarsız akımların kayıp süreleri toplamıdır. Bu süre tekrarsız akımlara şu şekilde paylaştırılır:

$$g = \left(\sum g_c + \sum l_c\right) - I \tag{3.52}$$

$\sum g_c$ ve $\sum l_c$ tekrarsız akımların g ve l değerleri toplamı, I ise tekrarlı akımın kayıp süresidir. Ardından gösterilecek olan yeşil süre de aşağıdaki gibidir:

$$G = (g + l) - I \tag{3.53}$$

Adım 9: Son aşamada akımların doygunluk dereceleri hesaplanır ve $x \leq x_p$ koşulunu sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

$$x = (\frac{g}{c})y \tag{3.54}$$

3.6.3.4. Performans ölçütleri

Performans ölçümlerinde gecikme ve duran araç sayısı temel iki terimdir. Bu temel terimlerin yansıra yakıt tüketimi, fiyat, işletme maliyetleri ve kirletici emisyonlar gibi ikincil performans ölçümleri de mevcuttur.

Bir taşıt için gecikme, kavşağa yaklaşırken beklemeden yaptığı seyir süresi ile bekleyerek yaptığı seyir süreleri arasındaki fark olarak ifade edilir.

$$N_o = \frac{Q * T_f}{4} * [\, z + \sqrt{z^2 + \frac{12(x + x_o)}{Q * T_f}}\,] \tag{3.55}$$

Bir akımdaki araçların ortalama gecikmesini bulabilmek için öncelikle bu akımın oluşturduğu kuyruğun uzunluğun hesaplanması gerekmektedir. Kuyruk uzunluğu değeri su denklem yardımıyla hesaplanmaktadır. Eğer $x_o > x$ ise N_o değeri 0 olmaktadır. Denklemde kullanılan notasyon şu anlamları ifade etmektedir:

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

Q: Kapasite (araç/sa),

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

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

x: Doygunluk derecesi (q/Q),

$Z: x - 1$,

X_o: Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu en büyük doygunluk derecesi (0.67+s*g/600).

Bir sinyalize kavşakta bir akım için yaklaşık toplam gecikme değeri:

$$D = \frac{g * c * (1 - u)^2}{2 * (1 - y)} + N_o * \mathrm{x} \tag{3.56}$$

D: Toplam gecikme (araç biriminden),

$g * c$: 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),

x: Doygunluk derecesidir (q/Q).

Her araç için ortalama gecikme ise, aşağıdaki formülle hesaplanır:

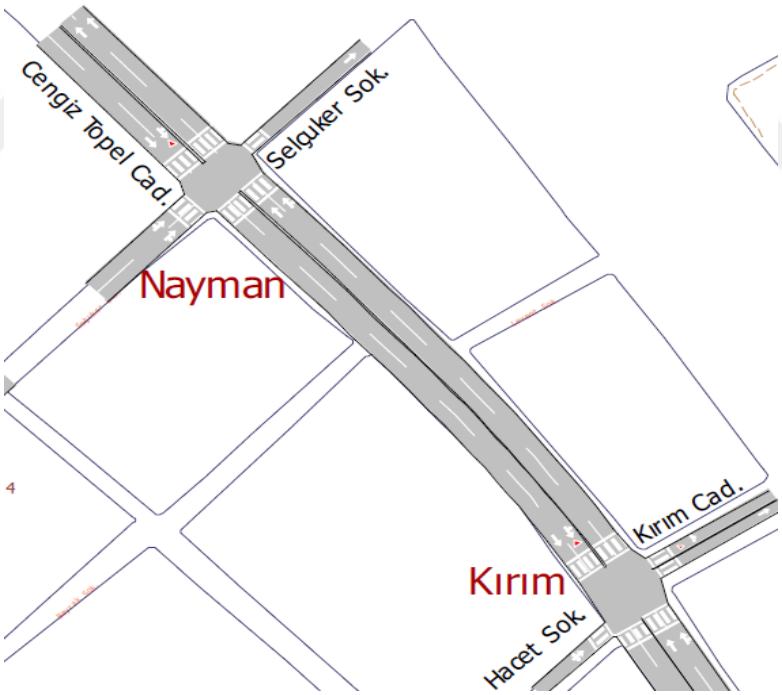
$$d = D/q \tag{3.57}$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çalışma Alanı

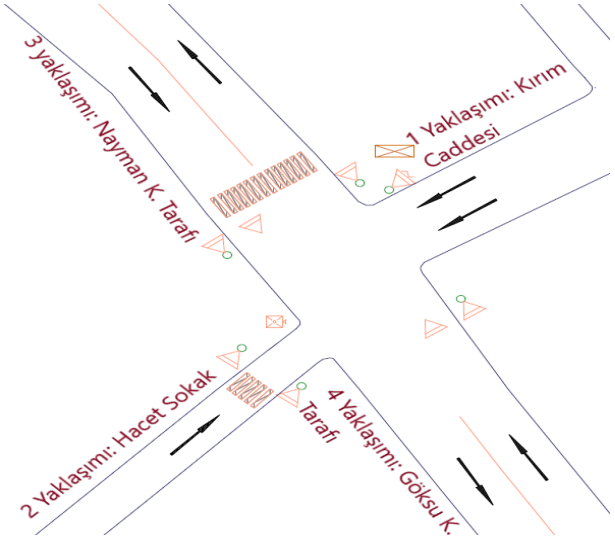
Bu çalışmada, Eskişehir'de trafik yoğunluğunun fazla olduğu Nayman-Kırım komşu sinyalize eşdüzey kavşaklar ele alınmıştır. Birbirine komşu olan sinyalize kavşakların birbiriyle bağlantılı olan yaklaşım kollarındaki trafik akımlarının bu kavşaklar üzerinde etkisi kavşak analizi yapılarak araştırılmıştır. Bu araştırma konusundan dolayı bu iki kavşak ele alınmıştır.

İncelenen kavşakların genel krokisi Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Bu kavşaklar birbirine komşu olan dört kollu sinyalize eşdüzey kavşaklardır.

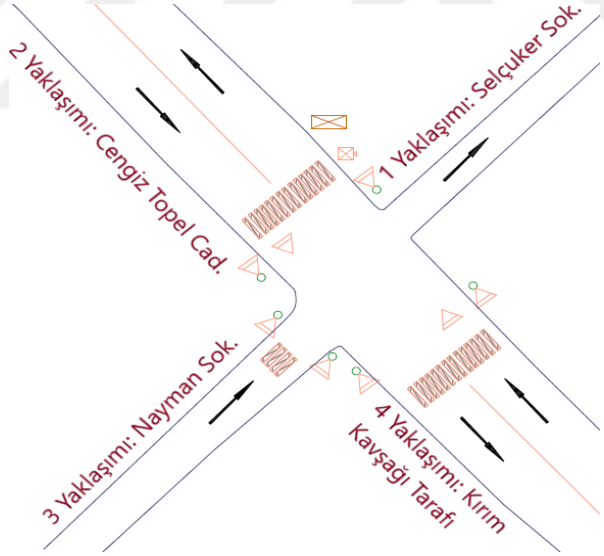


Şekil 4.1. Nayman-Kırım kavşaklarının genel görünümü

Şekil 4.2'de gösterildiği gibi Cengiz Topel Caddesi-Kırım Caddesi-Hacet Sokak kesişimi Kırım Kavşağı ve Şekil 4.3'de gösterildiği gibi Cengiz Topel Caddesi-Selçuker Sokak-Nayman Sokak kesişimi Nayman Kavşağı'dır.



Şekil 4.2. Kırım kavşak planı



Şekil 4.3. Nayman kavşak planı

Tez çalışmasında incelenen kavşaklar hakkında kavşak planı, devre-faz düzeni planları, trafik hacim değerleri ile ilgili veriler Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı bünyesindeki Ulaşım Planlama Birimi'nden alınmıştır.

4.2. Kavşaklarda Trafik Sayımları

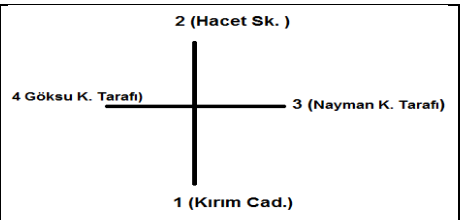


Şekil 4.4. Kavşak görüntüleme (balık gözü) kamerası video kayıt görüntüsü

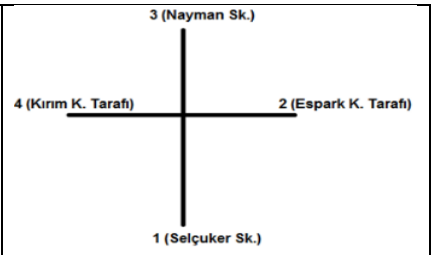
Trafik hacim verilerini tespit etmek amacıyla tüm kavşağı yukarıdan gören balık gözü kavşak görüntüleme kamerası ile elde edilen video kayıtları kullanılarak trafik sayımı yapılmıştır (Şekil 4.4). Bu trafik sayımları, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterildiği gibi kavşak kolları numaralandırılmış ve trafik akımları isimlendirilmiş olup araç cinsine göre sayım föyüne işlenmiştir. Trafik sayımı ikisi hafta içi gün olmak üzere dört farklı günde 7:00-21:00 saatleri arasında 14 saatlik trafik sayımı verileri analiz edilmiş ve en yoğun gün 06.12.2017 olarak belirlenmiştir. Nayman ve Kırım kavşaklarında yapılan trafik sayımları sonucu en yoğun trafiğin gözlendiği saat dilimi 18.30-19.30 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1) (Çizelge 4.2). Kavşakların zirve saat faktörlerini hesaplamak amacıyla, trafik hacimleri 15 dakikalık periyotlarla sayılmış ve maksimum 15 dakikalık trafik hacim değeri 19.00-19.15 dilimi olarak belirlenmiştir. Denklem 3.16 ile verilen formül kullanılarak Kırım ve Nayman Kavşakları için PHF değeri 0,92 olarak hesaplanmıştır.

Trafik hacim değerlerini programa girmek için özel otomobil/taksi, minibüs/kamyonet hafif taşıtlar; otobüs, kamyon/tır ağır taşıtlar sınıflandırması yapılmış olup her bir taşıt cinsinin mevcut fiziksel özelliklerini (uzunluk, genişlik vd.) dikkate alarak sonuç üretmesi nedeniyle, taşıtların otomobil eşdeğerlerinin hesabı ayrıca yapılmamıştır (Çizelge 4.3) (Çizelge 4.4).

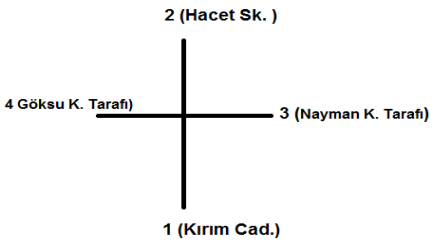
Çizelge 4.1. Kırım kavşağı trafik sayım tablosu

Kavşağın Adı: Kırım Kavşağı Tarih: 06.12.2017 Saat: 18:30-19:30						
Akım Yönü	Özel Otomobil/ Taksi	Otobüs	Kamyon/ Tır	Minibüs/ Kamyonet	Motosiklet	Bisiklet
1-3	148	2	2	4	4	3
1-4	124	-	2	21	1	2
2-1	4	-	-	-	-	-
2-3	26	-	1	1	2	-
2-4	14	-	2	-	-	-
3-1	63	-	2	3	1	1
3-4	624	-	45	23	28	12
4-1	11	-	-	-	3	-
4-3	188	3	11	6	15	6

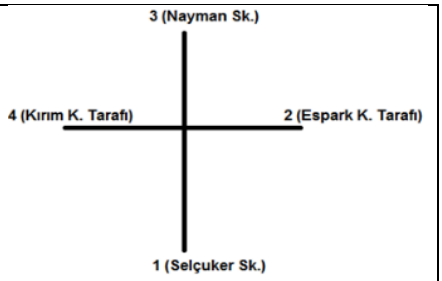
Çizelge 4.2. Nayman kavşağı trafik sayım tablosu

Kavşağın Adı: Nayman Kavşağı Tarih: 06.12.2017 Saat: 18:30-19:30						
Akım Yönü	Özel Otomobil/ Taksi	Otobüs	Kamyon/ Tır	Minibüs/ Kamyonet	Motosiklet	Bisiklet
2-1	10	-	-	-	-	-
2-4	478	-	18	17	11	27
3-1	15	-	-	-	-	-
3-2	414	-	16	29	12	22
3-4	164	-	-	23	4	3
4-1	3	-	-	-	-	-
4-2	332	6	7	11	4	21

Çizelge 4.3. Araç sınıflandırmasına göre trafik sayım tablosu (Kırım Kavşağı)

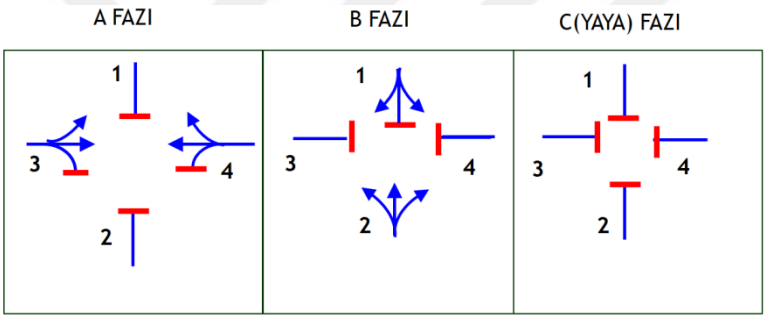
Kavşağın Adı: Kırım Kavşağı Tarih: 06.12.2017 Saat: 18:30-19:30		
Akım Yönü	Hafif Araçlar	Ağır Araçlar
1-3	152	4
1-4	145	2
2-1	4	0
2-3	27	1
2-4	14	2
3-1	647	45
3-4	66	2
4-1	11	0
4-3	194	14

Çizelge 4.4. Araç sınıflandırmasına göre trafik sayım tablosu (Nayman Kavşağı)

Kavşağın Adı: Nayman Kavşağı Tarih: 06.12.2017 Saat: 18:30-19:30		
Akım Yönü	Hafif Araçlar	Ağır Araçlar
2-1	10	0
2-4	495	18
3-1	15	0
3-2	443	16
3-4	187	0
4-1	3	0
4-2	343	13

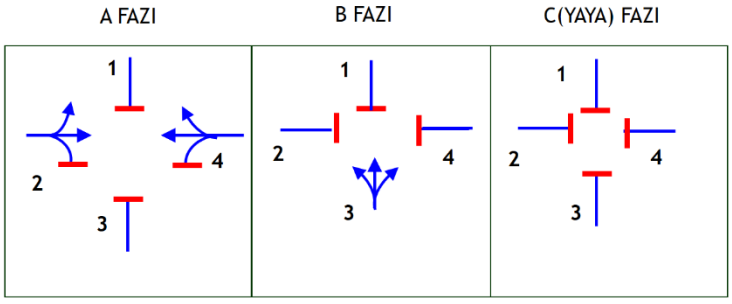
4.3. Kavşaklarda Faz ve Devre Düzeni

İncelenen kavşaklar 3 fazlı denetim tekniği ile yönetilmektedir. Her iki kavşak içinde A fazında doğu ve batı yaklaşım kollarına aynı fazda geçiş hakkı verilmiştir. Bunun sebebi sola dönen taşıt sayısı fazla olmadığı için kavşaktaki bekleme sürelerini en aza indirgemektir. B fazında Kırım kavşağı güney ve kuzey yaklaşım kolları aynı fazda geçiş hakkı verilmiş olup Nayman kavşağında güney ve kuzey yaklaşım kolları tek yönlü ve güney yaklaşım kolu kavşağa giriş yolu olduğu için güney yaklaşım koluna geçiş hakkı verilmiştir. C fazında ise her iki kavşak içinde yaya fazıdır. Ayrıca kavşakların Şekil 4.5'te ve Şekil 4.6'da üç fazlı yönetim planı gösterilmektedir.



1 Yaklaşımı : Kırım Caddesi
2 Yaklaşımı : Hacet Sk.
3 Yaklaşımı : Nayman K. Tarafı
4 Yaklaşımı : Göksu K. Tarafı

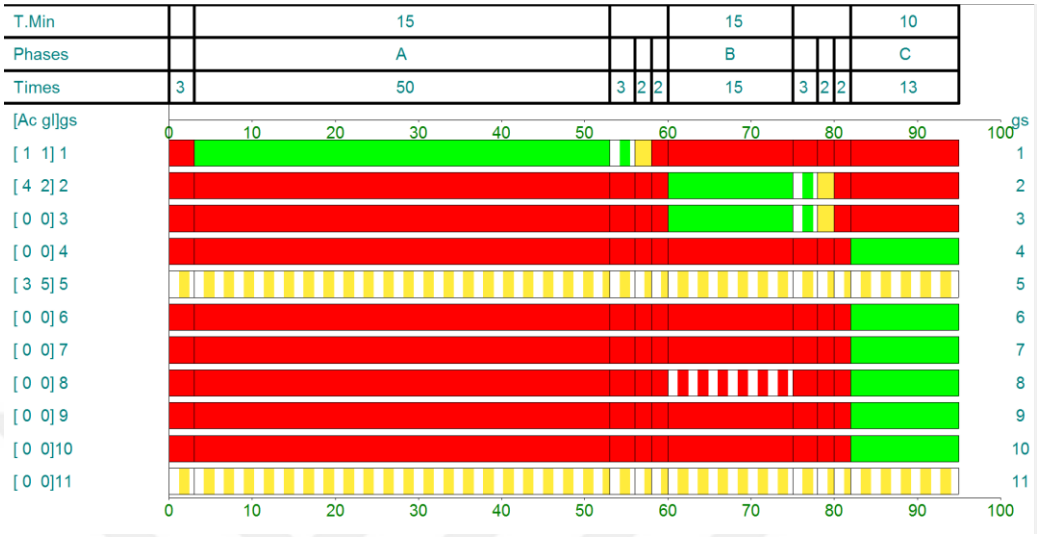
Şekil 4.5. Kırım kavşağı faz düzeni



1 Yaklaşımı : Selçuker Sokak
2 Yaklaşımı : Cengiz Topel Caddesi(Espark)
3 Yaklaşımı : Nayman Sokak
4 Yaklaşımı : Kırım K. Tarafı

Şekil 4.6. Nayman kavşağı faz düzeni

Kırım Kavşağı'nın devre süresi 95 saniye'dir. Kırım kavşağının devre düzeni aşağıdaki Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Kırım kavşağı devre düzeni

Şekil 4.7'de ifade edilen grupların açıklaması şu şekildedir:

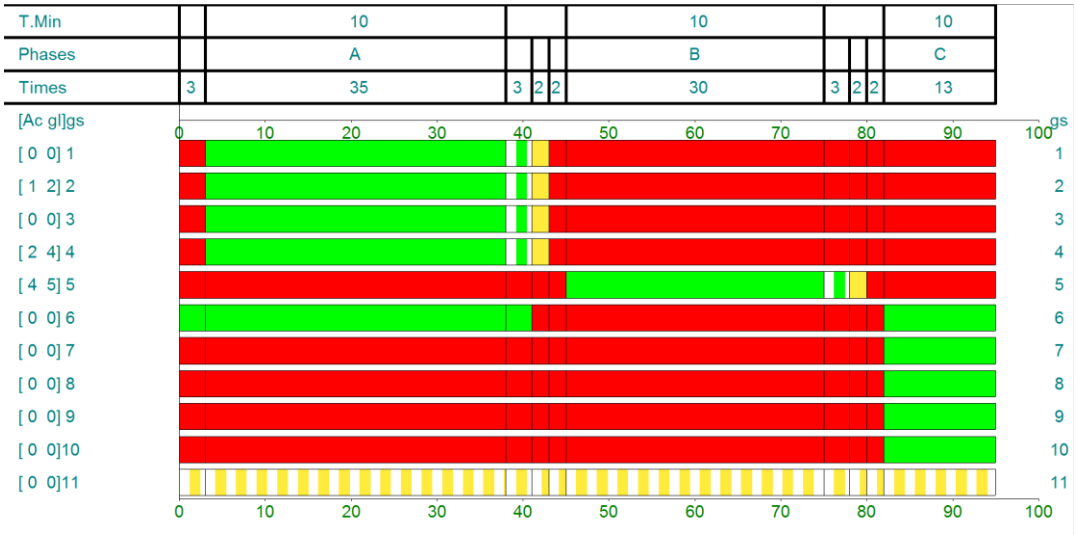
Grup 1, Nayman Kavşağı tarafı düz giden ve sola dönüş ile Göksu Kavşağı tarafı ve sağa dönüş akımları ifade etmektedir. Bu grup için faz süresi 50 sn. yeşil, 3 sn. yeşil flaş, 2 sn. sarı, 2 sn. kırmızı koruma süresi olmak üzere 57 saniyeden oluşmaktadır.

Grup 2, Kırım Caddesi tarafı sola ve sağa dönüş akımları ifade etmektedir. Bu grup için faz süresi 15 sn. yeşil, 3 sn. yeşil flaş, 2 sn. sarı, 2 sn. kırmızı koruma süresi olmak üzere 22 saniyeden oluşmaktadır.

Grup 3, Hacet Sokak düz giden, sağa ve sola dönüş akımlarını ifade etmektedir. Bu grup için faz süresi 15 sn. yeşil, 3 sn. yeşil flaş, 2 sn. sarı, 2 sn. kırmızı koruma süresi olmak üzere 22 saniyeden oluşmaktadır.

Grup 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 yaya fazı gruplarını ifade etmektedir. Bu grup için faz süresi 13 sn. yeşil, 3 sn. kırmızı koruma süresi olmak üzere 16 saniyeden oluşmaktadır.

Nayman Kavşağı'nın devre süresi 95 saniye'dir. Nayman Kavşağı devre düzeni aşağıdaki Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Nayman kavşağı devre düzeni

Grup 1, Cengiz Topel Caddesi (Espark) tarafı düz giden ve sağa dönüş akımları ifade etmektedir. Bu grup için faz süresi 35 sn. yeşil, 3 sn. yeşil flaş, 2 sn. sarı, 2 sn. kırmızı koruma süresi olmak üzere 42 saniyeden oluşmaktadır.

Grup 2, Cengiz Topel Caddesi (Espark) tarafı sola dönüş akımını ifade etmektedir. Bu grup için faz süresi 35 sn. yeşil, 3 sn. yeşil flaş, 2 sn. sarı, 2 sn. kırmızı koruma süresi olmak üzere 42 saniyeden oluşmaktadır.

Grup 3, Kırım Kavşağı tarafı düz giden ve sağa dönüş akımları ifade etmektedir. Bu grup için faz süresi 35 sn. yeşil, 3 sn. yeşil flaş, 2 sn. sarı, 2 sn. kırmızı koruma süresi olmak üzere 42 saniyeden oluşmaktadır.

Grup 4, Kırım Kavşağı tarafı sola dönüş akımları ifade etmektedir. Bu grup için faz süresi 30 sn. yeşil, 3 sn. yeşil flaş, 2 sn. sarı, 2 sn. kırmızı koruma süresi olmak üzere 37 saniyeden oluşmaktadır.

Grup 6, 7, 8, 9, 10 yaya fazı gruplarını ifade etmektedir. Bu grup için faz süresi 13 sn. yeşil, 3 sn. kırmızı koruma süresi olmak üzere 16 saniyeden oluşmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kavşak analiz çalışmaları iki bölümden oluşmaktadır. Birincisi mevcut durum ile oluşturulan iki senaryonun kavşaklardaki akım bazında hizmet düzeylerini ve gecikme sürelerinin kıyaslanmasıdır. İkincisi ise komşu iki kavşak arası mesafe ve kavşakların devre süresinin kavşaklarda toplam gecikme süreleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Kavşak analizleriyle elde edilen veriler Avustralya Yöntemi'ne dayanan Sidra Intersection 7" bilgisayar programına girilmiş ve kavşak modellemesi yapılmıştır.

Birinci bölümde kavşak analizleri 3 grupta kıyaslama yapılarak ele alınmıştır. Bu gruplar; mevcut devre süresine (95 sn), minimum gecikmeyi veren devre süresine (56 sn) (1. senaryo) ve ağ yapısı oluşturularak elde edilen devre süresine (70 sn) (2. senaryo) göre aşağıdaki tablolarda karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1'den anlaşıldığı gibi Kırım Kavşağının mevcut hizmet seviyesi D iken diğer iki senaryoda kavşağın hizmet seviyesi C olarak tespit edilmiştir. Ayrıca kavşağın gecikme süreleri kıyaslandığında 1. senaryo ile mevcut duruma göre %23'lük bir düşüş, 2. senaryo ile 1. senaryoya göre %26'lık bir düşüş sağlandığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.1. Kırım kavşağı analiz sonuçları

Akım Yönü	Mevcut Devre Süresine Göre (95 sn)		Minimum Gecikmeyi Veren Devre Süresine Göre (56 sn)		Network Yapısı (Kırım-Nayman) Devre Süresine Göre (70 sn)	
	Hizmet Düzeyi	Gecikme (sn)	Hizmet Düzeyi	Gecikme (sn)	Hizmet Düzeyi	Gecikme (sn)
1-3	F	114,8	D	40	D	50,2
1-4	F	114,8	D	40	D	50,2
2-1	D	39,2	B	19,8	C	50,2
2-3	D	39,2	B	19,8	C	26,1
2-4	D	39,2	B	19,8	C	26,1
3-1	B	13	C	28,5	A	6,5
3-4	B	13	C	28,2	B	12
4-1	B	10,1	B	14,2	B	13,1
4-3	B	10,1	B	14,2	B	13,1
Toplam	D	36,4	C	28,2	C	21

Çizelge 5.2'den anlaşıldığı gibi Nayman Kavşağının mevcut hizmet seviyesi C iken diğer iki senaryoda kavşağın hizmet seviyesi C olarak tespit edilmiştir. Fakat akım yönü bazında hizmet düzeyleri mevcut duruma göre daha homojen bir seviyeye getirilmiştir. Ayrıca kavşağın gecikme süreleri kıyaslandığında 1. senaryo ile mevcut duruma göre %2,8'lik bir düşüş, 2. senaryo ile 1. senaryoya göre %22,3'lük bir düşüş sağlandığı görülmüştür.

Çizelge 5.2. Nayman kavşağı analiz sonuçları

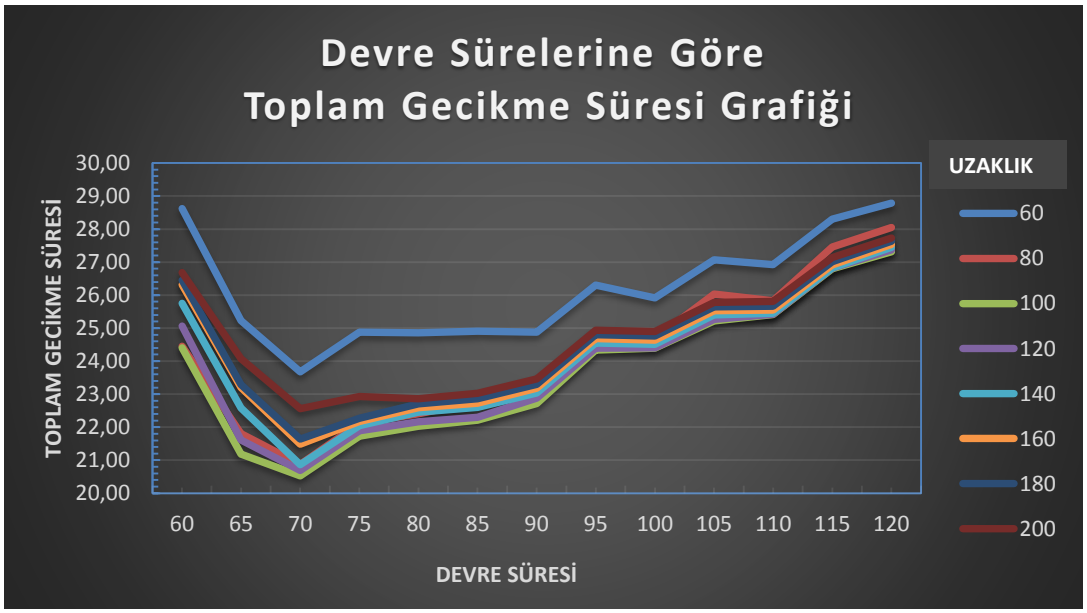
Akım Yönü	Mevcut Devre Süresine Göre (95 sn)		Minimum Gecikmeyi Veren Devre Süresine Göre (56 sn)		Network Yapısı (Kırım-Nayman) Devre Süresine Göre (70 sn)	
	Hizmet Düzeyi	Gecikme (sn.)	Hizmet Düzeyi	Gecikme (sn.)	Hizmet Düzeyi	Gecikme (sn)
2-1	C	21,3	D	39,6	C	29,1
2-4	C	21,3	D	39,3	C	29
3-1	E	64,4	D	40,1	C	34,5
3-2	E	64,4	D	40,1	C	34,5
3-4	C	24,1	B	14,5	B	15,8
4-1	B	19,7	C	22,9	C	22,7
4-2	B	19,7	C	22,9	B	19,8
Toplam	C	34,5	C	32,7	C	27

İkinci bölümde ise birbirine yakın komşu iki kavşağın birbirleri arasındaki mesafenin ve kavşakların devre süresinin kavşaklarda toplam gecikme süreleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çizelge 5.3'de de gösterildiği gibi bu kavşak analiz çalışmasından yola çıkarak Sidra programı aracılığıyla Nayman ve Kırım kavşakları için oluşturulan ağ yapısı ile devre süresi (60-120 sn) ve uzaklık değişiminin (60-200 m) toplam gecikme süresi üzerindeki etkisini göstermek için 104 farklı senaryo hesaplanmıştır. Her bir senaryoda devre süreleri için 5 dk'lık aralıklı 60-120 sn arasında ve kavşaklar arası mesafe için 20 m aralıklı 60-200 m arasında değişim göstermektedir.

Çizelge 5.3. Devre süresi-kavşaklar arası mesafeye göre gecikme değerleri

C \ D	60 m	80 m	100 m	120 m	140 m	160 m	180 m	200 m
60 sn	28,62	24,45	24,40	25,06	25,75	26,31	26,45	26,68
65 sn	25,23	21,80	21,18	21,61	22,58	23,20	23,29	24,07
70 sn	23,68	20,87	20,52	20,69	20,86	21,48	21,64	22,56
75 sn	24,88	22,11	21,73	21,89	22,05	22,17	22,27	22,93
80 sn	24,86	22,41	22,03	22,16	22,45	22,59	22,71	22,86
85 sn	24,91	22,76	22,21	22,30	22,60	22,73	22,86	23,03
90 sn	24,88	23,24	22,72	22,88	23,04	23,18	23,30	23,46
95 sn	26,30	24,87	24,33	24,39	24,55	24,68	24,80	24,94
100 sn	25,92	24,68	24,39	24,40	24,51	24,64	24,76	24,90
105 sn	27,07	26,03	25,22	25,27	25,40	25,53	25,64	25,78
110 sn	26,92	25,83	25,41	25,42	25,45	25,55	25,66	25,81
115 sn	28,30	27,46	26,80	26,82	26,83	26,91	27,01	27,14

Şekil 5.1'den anlaşıldığı gibi Nayman ve Kırım network kavşak yapısı için minimum gecikmeyi veren kavşaklar arası mesafe 100 m ve devre süresi 70 sn'dir. Kavşakların devre süreleri (60-120 sn) bazında minimum gecikmeyi veren kavşaklar arası mesafe arttıkça ya da azaldıkça gecikme süreleri de artış gözlemlenmektedir.



Şekil 5.1. Devre sürelerine göre toplam gecikme süresi grafiği

Hesaplanan veriler ve yapılan analizler ışığında, kavşak analizinin birinci bölümünde mevcut duruma göre önerilen senaryolar ile iyileşmelerin olduğu, gecikme azaldığı ve kavşak hizmet seviyesini akım kolları bazında daha homojen bir dağılım gösterdiği sonucuna varılmıştır. Uygulanan Avustralya Yöntemi iki kavşağın ağ yapısı olarak birlikte sinyalize edilmesi durumunda mevcut duruma göre gecikme sürelerinde %42'lik azalış sağlandığı gözlemlenmiştir. Birbirine yakın kavşaklarda kavşaktaki gecikme süresini en az indirmek için alt bölge oluşturulup ağ yapısı kurularak değerlendirilmesi tespit edilmiştir. Kavşak analizinin ikinci bölümünde ise komşu iki kavşak arası mesafe ve kavşakların devre sürelerinin kavşaklarda toplam gecikme üzerine etkisi araştırılmış olup kavşaklar arası mesafe arttıkça ya da azaldıkça kavşaklardaki gecikme sürelerin de artış gözlemlenmiştir.

Bu çalışmadan beklenen kazanım, kent içi sinyalize kavşakların tasarlanmasında sinyalizasyon devre süresinin yanı sıra kavşaklar arası mesafenin ve kavşak geometrik yapısının göz önünde bulundurulması ile kavşaklardaki gecikme ve bekleme sürelerinin minimize edilebilmesini, kavşakların kapasite ve performansların artırılabilmesini sağlamaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Akçelik, R., 1998, Traffic signals: capacity and timing analysis, Australian Road Research Board Transport Research Ltd. (seventh reprint), p.1-35.

Akmaz, M., 2012, Konya'nın Önemli Sinyalize Kavşakların Bilgisayar Programı ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.45-72.

Anonymous, 2017, Sidra intersection user guide, Akçelik & Associates Pty. Ltd., Avustralya, Section 5: p. 95–386, Sections 6-7: p. 387-450, Sections 8-9: p.451-624.

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

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, 1, 4, https://pdfs.semanticscholar.org/5841/8388f5fb2ba58d893d2c2d80bdc04c23515c.pdf, erişim tarihi: 1.10.2007.

Chen, T., Jin, S., Yang, H., 2013, Comparative Study of Vissim and Sidra on Signalized Intersection, 13th COTA International Conference of Transportation Professionals, 2004-2010, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042813023525, erişim tarihi: 06.11.2013.

Çetinkaya, G., 2008, Işıklı kavşaklarda değişik hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.46-58.

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, s.35-73.

Gedizlioğlu, E., 2004, Kentlerimizde trafik yönetimi, Türkiye mühendislik haberleri, 434–2004/6, s.17-22.

Gedizlioğlu, E., 2007, Trafik yönetimi ders notları.

Highway Capacity Manual (HCM), 2000, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., Chapter 16 p.1–24.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

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

Karayolları Genel Müdürlüğü, 2005, Karayolu tasarımı el kitabı, s.96–113, s.169–188.

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

Murat, Y. Ş., 1996, Denizli şehir içi kavşaklarındaki trafik akımlarının bilgisayarla incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 1-156.

Öztürk, E.A., 2004, Sinyalize Kavşaklarda Devre Süresinin Modellenmesi: Ankara Örneği, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.251.

Ranjitkar, P., Shahin, A., Shirwali, F., 2014, Operational Performance of Intersections Using SIDRA, The Open Transportation Journal, 8, 50-61, https://benthamopen.com/contents/pdf/TOTJ/TOTJ-8-50.pdf, erişim tarihi: 22.10.2014.

Tunç, A., 2003, Trafik mühendisliği ve uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., s.655-783.

Üçer, F., 2000, Balıkesir ilindeki önemli kavşakların kapasite yönünden değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.1-37.

Varlıorpak, Ç., 1982, Trafik ders notları. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Matbaası.

Webster, F. V., Cobbe, B. M., 1966, Traffic Signal Settings, Road Research Laboratory, Paper No.56, p.110.

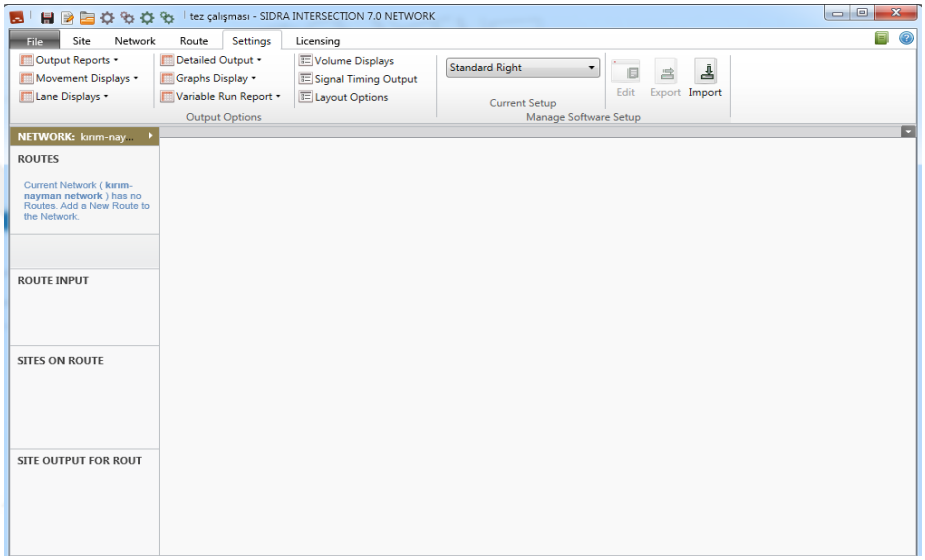
Yalgın, C. C., 1975, Yolların kapasitesi, T.C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, s.137-197.

Yayla, N., 2002, Karayolu mühendisliği, Birsen Yayınevi, s.211-223.

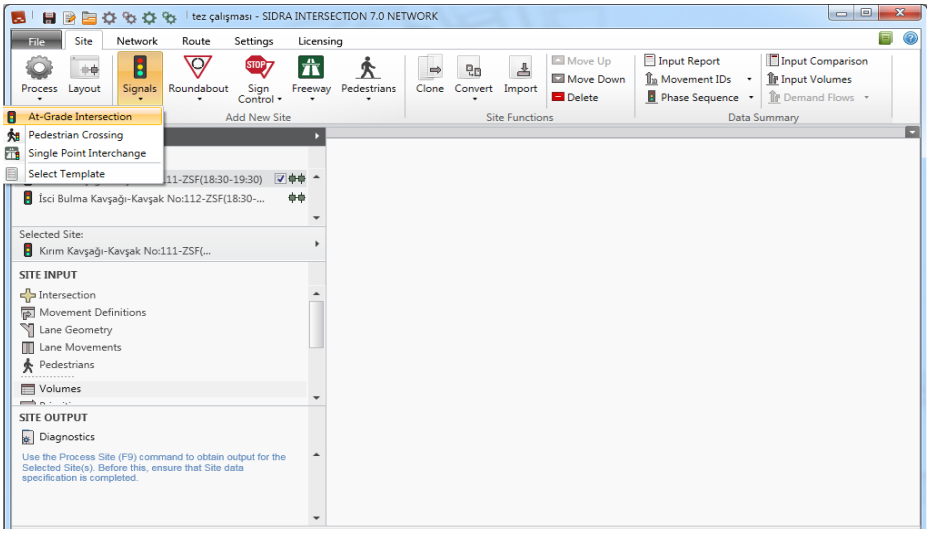
EK AÇIKLAMALAR

Program Girdileri

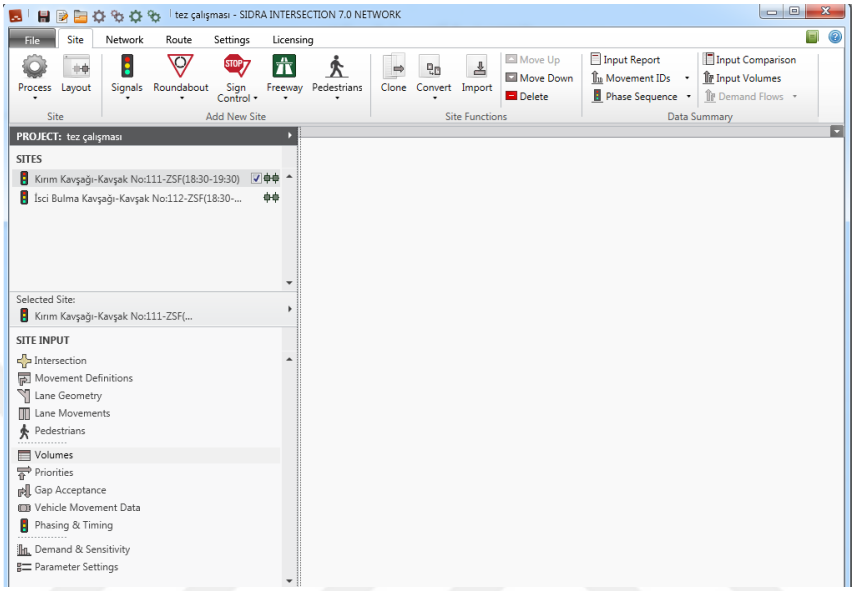
"Sidra Intersection 7" programında **"Setting"** sekmesine tıklanır ve Türkiye trafiği sağdan aktığı için çalışılacak model "Standard Right" seçilir.



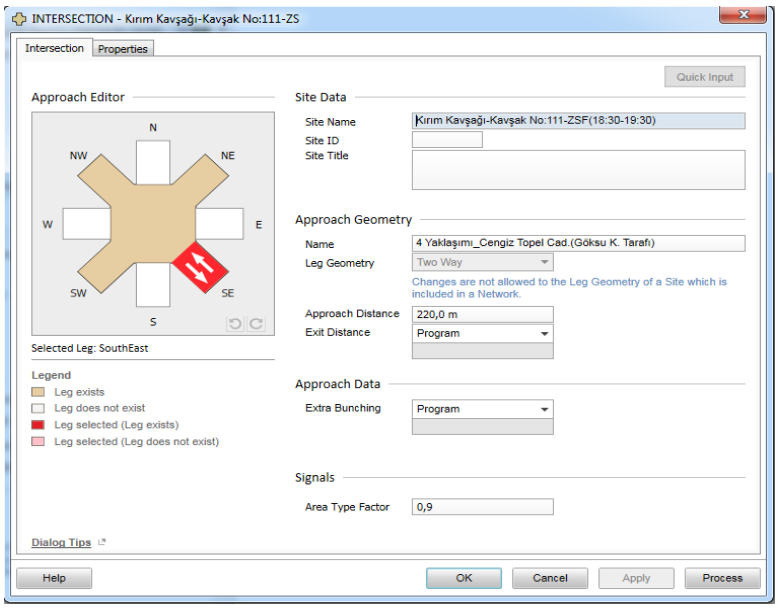
Daha sonra **"Site"** sekmesine tıklanır ve **"Signals"** butonuna tıklanarak modellenecek olan eşdüzey kavşaklar için **"At-Grade Intersection"** olarak 2 adet kavşak eklenir.



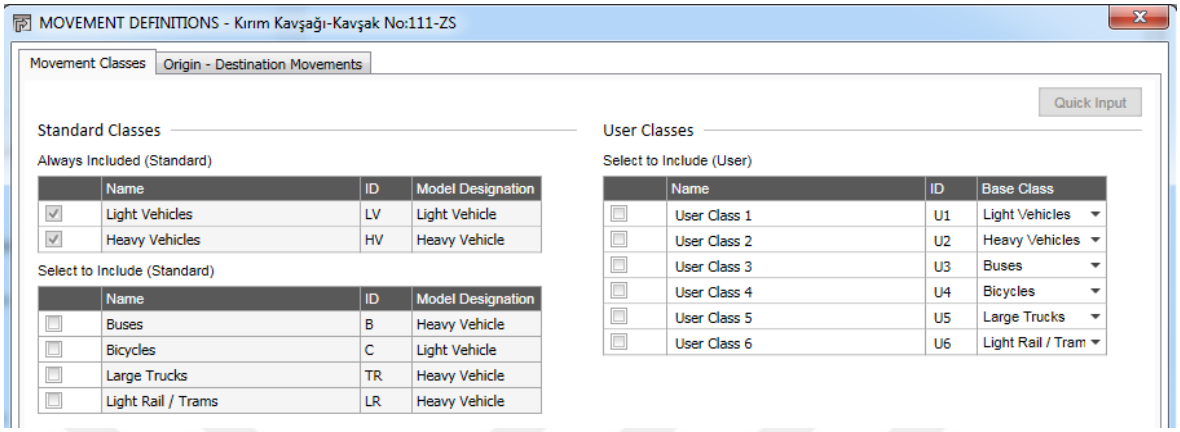
Daha sonra çalışılacak olan projeye isim verilip kaydetmek işlemi yapılır. Proje dosyasında bulunan kavşaklar için kavşaklarla ilgili genel bilgilerin girişi için **"Site Input"** bölümündeki 12 alana aşağıda belirtildiği gibi adım adım kavşakla ilgili gerekli verilerin tümü girilmeye başlanır.



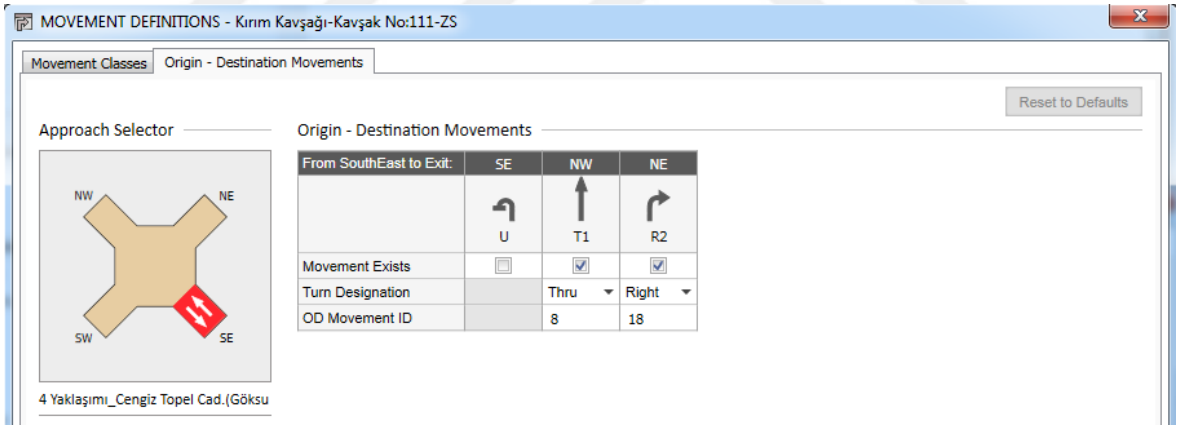
1.Kısım: "Intersection" kısmına tıklanır. Bu kısımda kavşak adı, yaklaşım kolu adı, yaklaşım mesafesi, bölge faktörü (area type factor: Sinyallerde doygun akım ayarlama faktörü olarak kullanılan parametredir. HCM merkezi iş bölgelerinde "0.9" önerir.) verileri girilir.



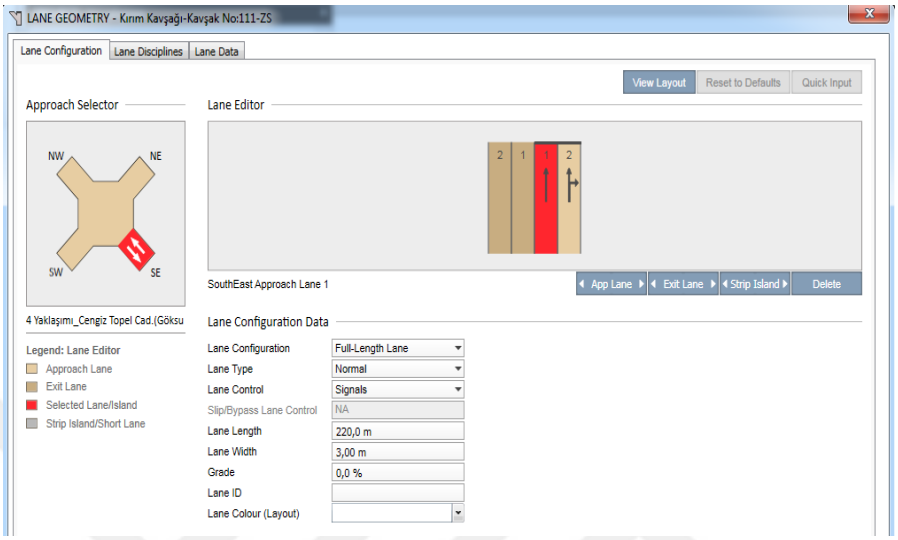
2.Kısım: "Movement Definitions" kısmına tıklanır. **"Movement Classes"** sekmesinde standart sınıflandırma (hafif ve ağır araçlar) seçili bırakılır.



"Origin-Destination Movements" sekmesinde kavşağın yaklaşım kollarının mevcut hareket durumuna göre düz gidiş, sağa veya sola dönüş hareketleri seçilir.



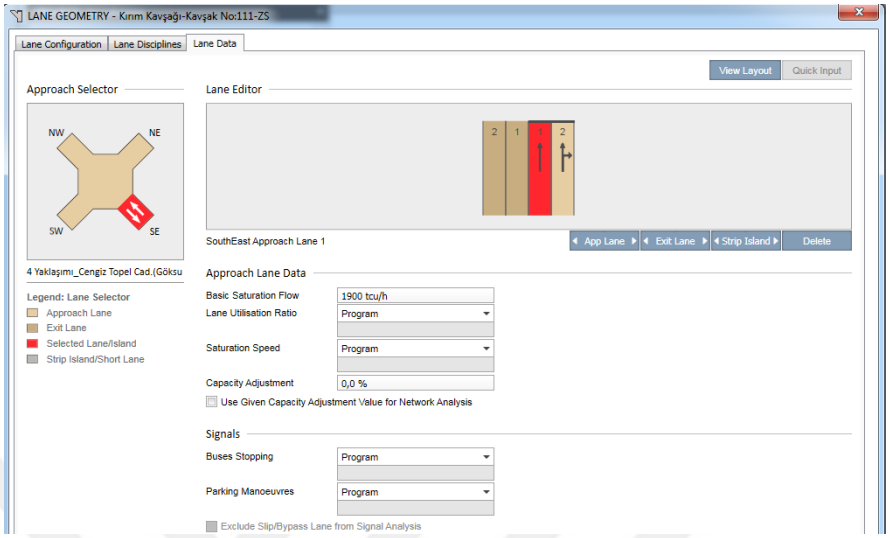
3.Kısım: "Lane Geometry" kısmına tıklanır. **"Lane Configuration"** sekmesinde şerit konfigürasyonu, şerit tipi, şerit kontrolü, şerit uzunluğu, şerit genişliği ve eğim ile ilgili veriler girilir.



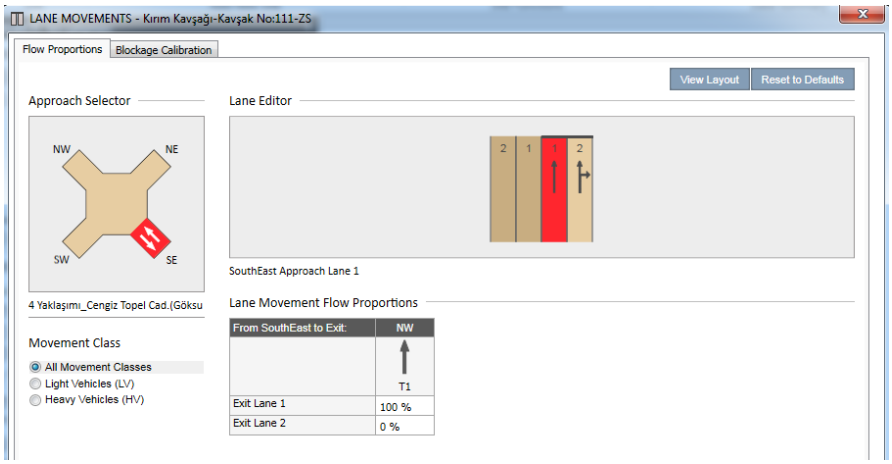
"Lane Disciplines" sekmesinde yaklaşım kollarındaki şerit bazında hafif ve ağır araç türüne göre düz gidiş, sağa veya sola dönüş hareketleri seçilir.



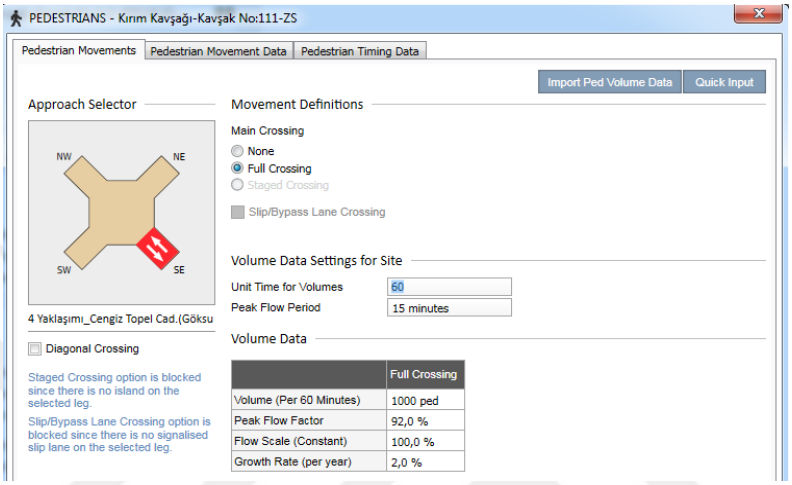
“Lane Data” sekmesinde temel doygun akım değeri (1900 b.o./saat/şerit) verisi girilir.

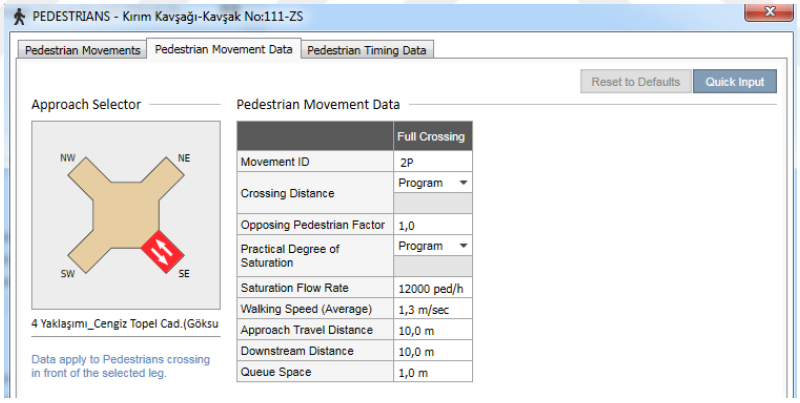


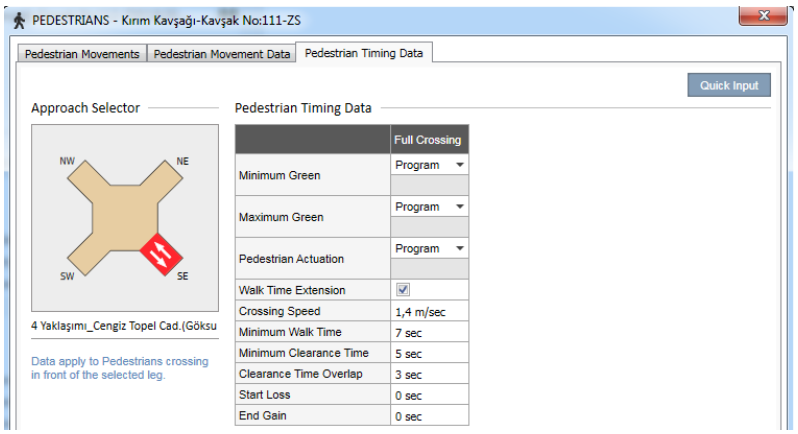
4.Kısım: “Lane Movement” kısmına tıklanır. **“Flow Proportions”** sekmesinde kavşağa gelen araç hangi yaklaşım şeridinden kavşağa giriyorsa aynı numaralı çıkış şeridini kullanması yönünde default olarak girilir.



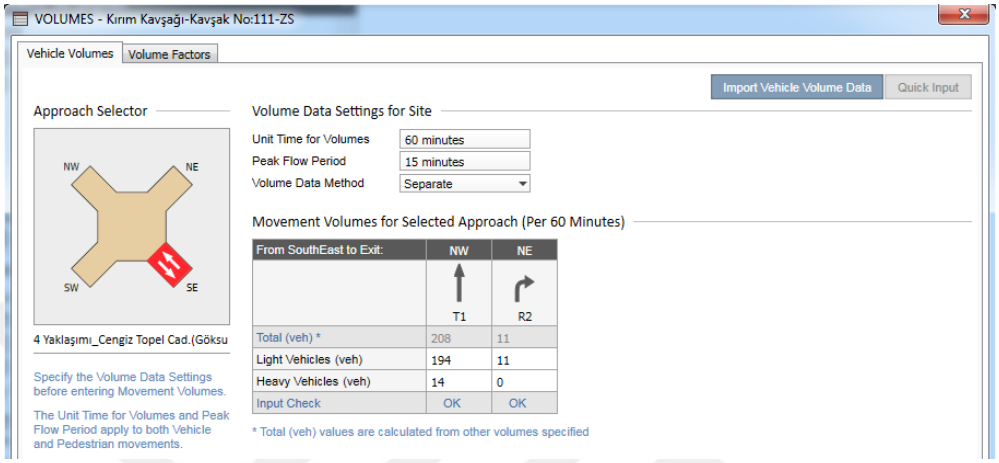
5.Kısım: "Pedestrians" kısmına tıklanır. "Pedestrian Movements" kavşakta her bir yaklaşım kolu için yayaların hareket tanımlaması full crossing olarak seçilir ayrıca yaya hacimleri ile ilgili veriler kavşaklarda yaya sayımları yapılmadığı için programın önerdiği şekilde girilmiştir.

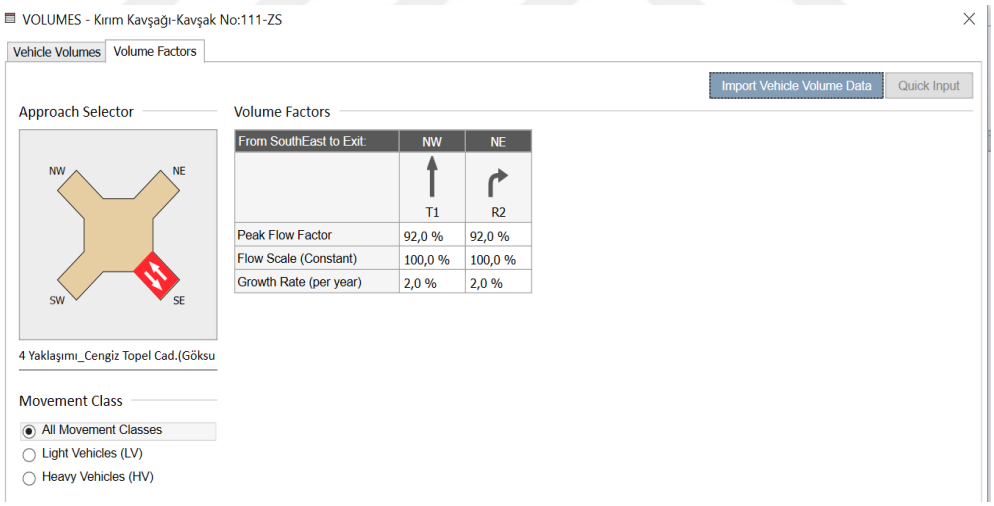




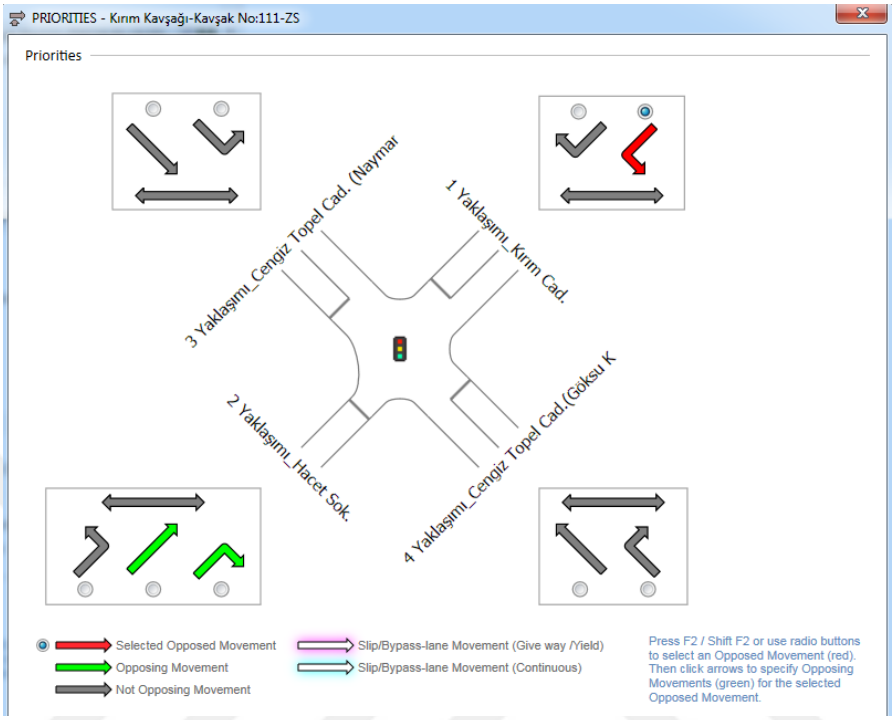


6.Kısım: "Volumes" kısmına tıklanır. Kavşak yaklaşım kollarında araç sınıflandırması bazında (hafif ve ağır araçlar) düz giden araçlar ile sağa ve sola dönen araç hacim değerleri ve trafik hacim parametreleri olan trafik hacim arttırma katsayısı, yıllık artış oranı ve zirve saat faktörü (PFF: 0.92) girilir.

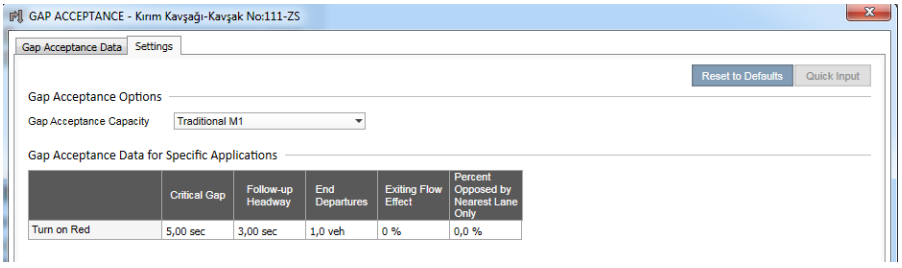




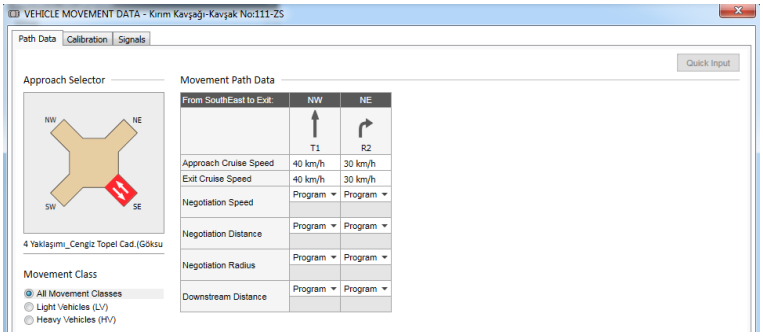
7.Kısım: "Priorities" kısmına tıklanır. Bu kısımda aynı fazda çakışan akımlar olduğunda hangi akımın öncelik verileceğini belirlemek için seçim yapılır.



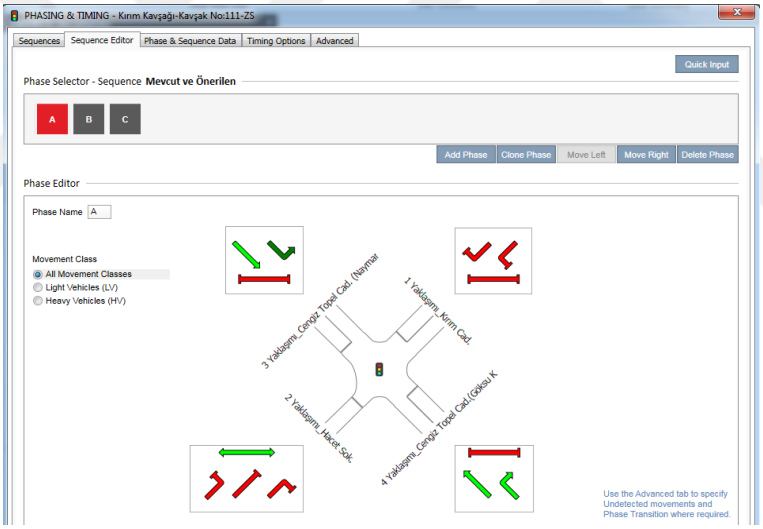
8.Kısım: "Gap Acceptance" kısmına tıklanır. Programın önerdiği default değerleri kullanılır.

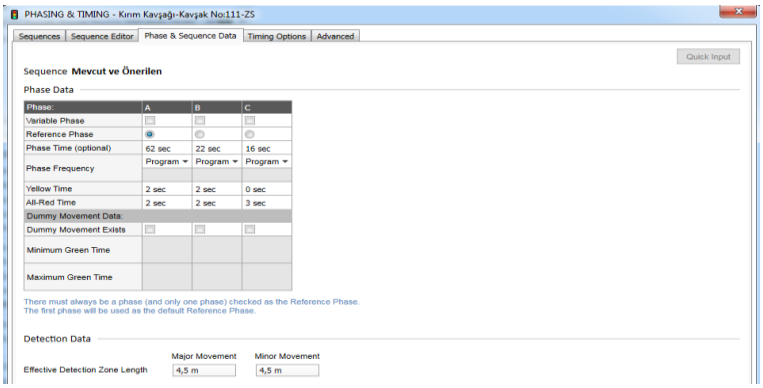


9.Kısım: "Vehicle Movement Data" kısmına girilir. Path data sekmesine tıklanır. Kavşak yaklaşım kolları bazında araçların hareketleri ile ilgili gerekli veriler girilir.

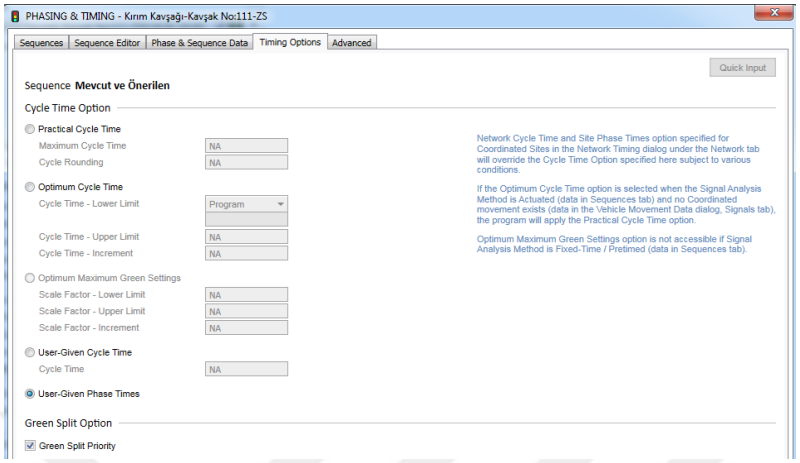


10.Kısım: "Phasing&Timing" kısmına girilir. Kavşağın faz düzeni ve devre düzeni ile ilgili gerekli veriler girilir.

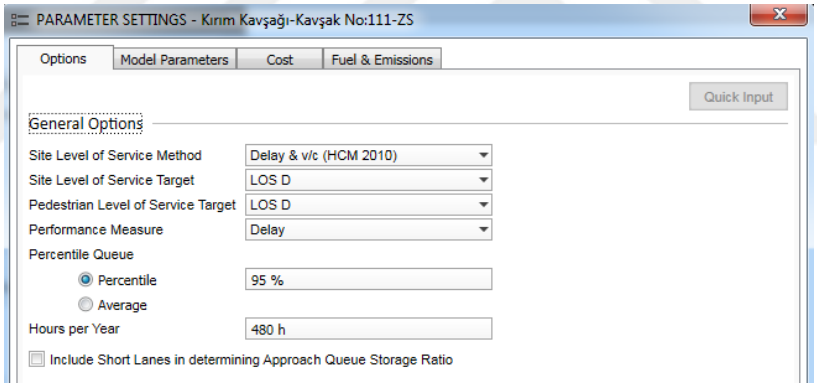


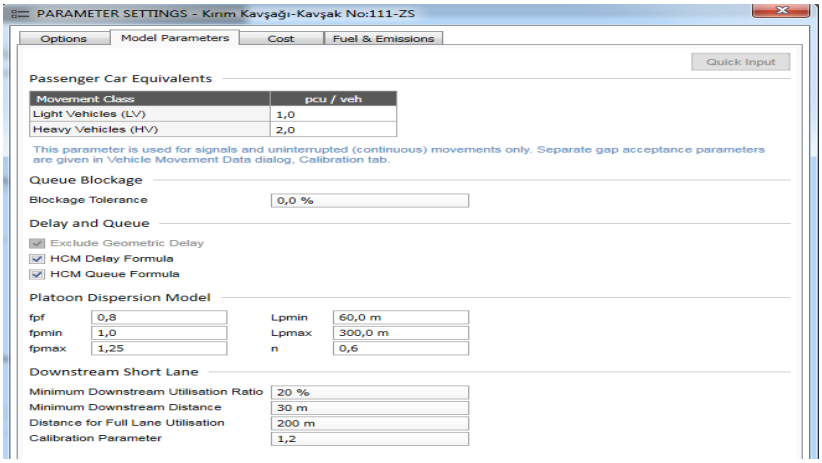


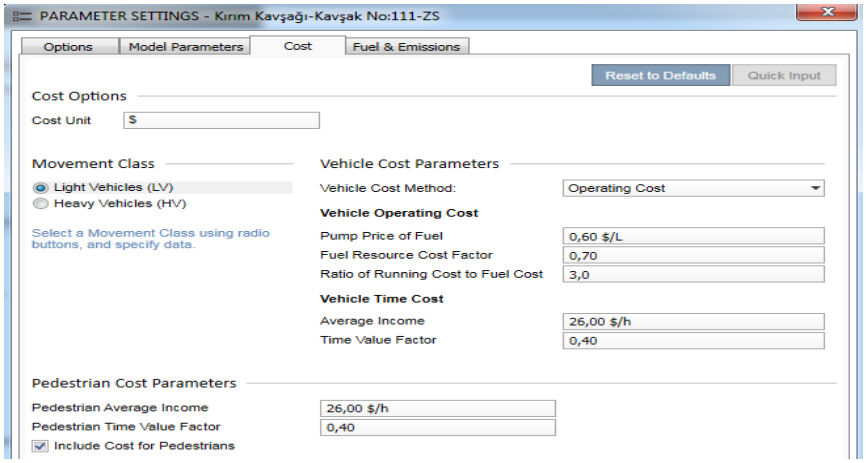
“Timing Options” sekmesine tıklandığında 4 farklı devre süresinde kavşak analizi yapılabilir yada verilen faz süreleri ile analizi gerçekleştirilir.

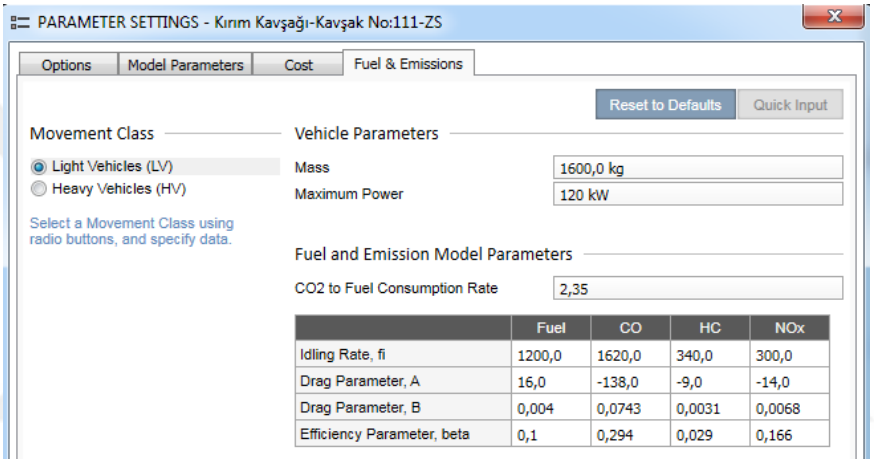


“Parameter Settings” kısmına girilir.

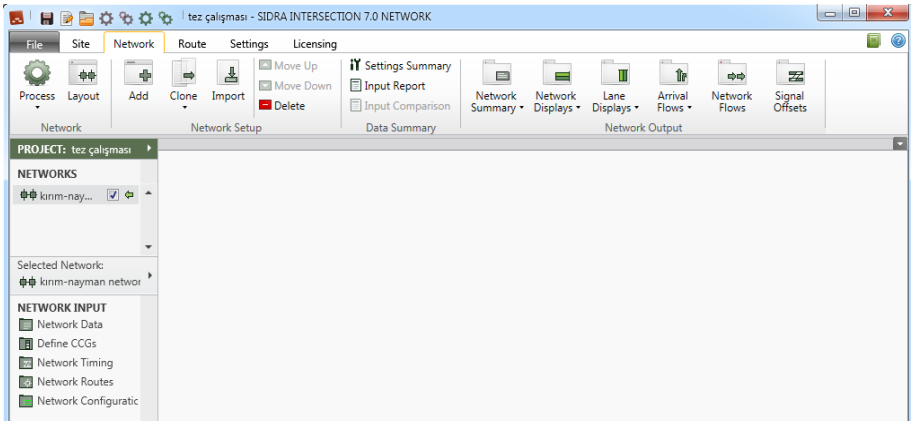




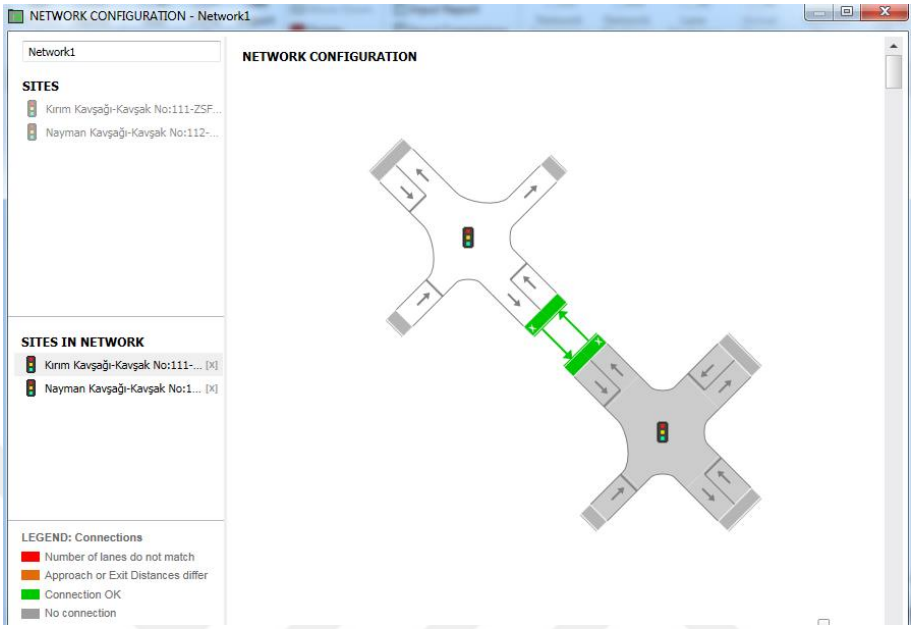




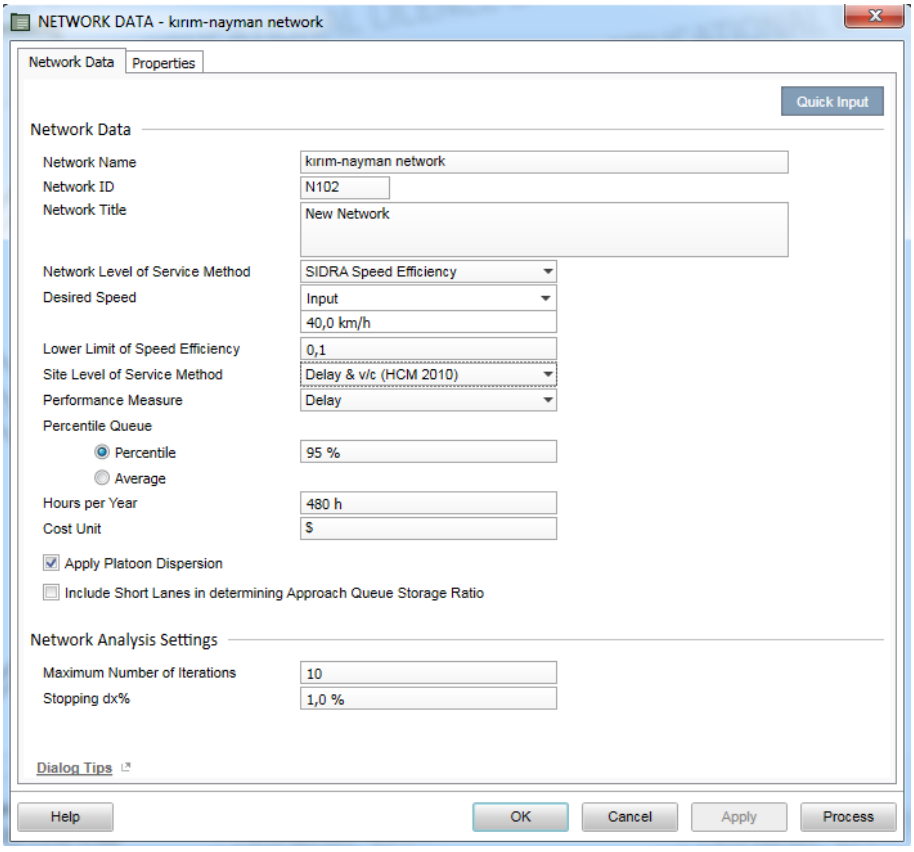
11.Kısım: Veri girişleri yapılan bu iki kavşak için network oluşturmak amacıyla üst sekmede bulunan **"Network"** kısmına tıklanır.



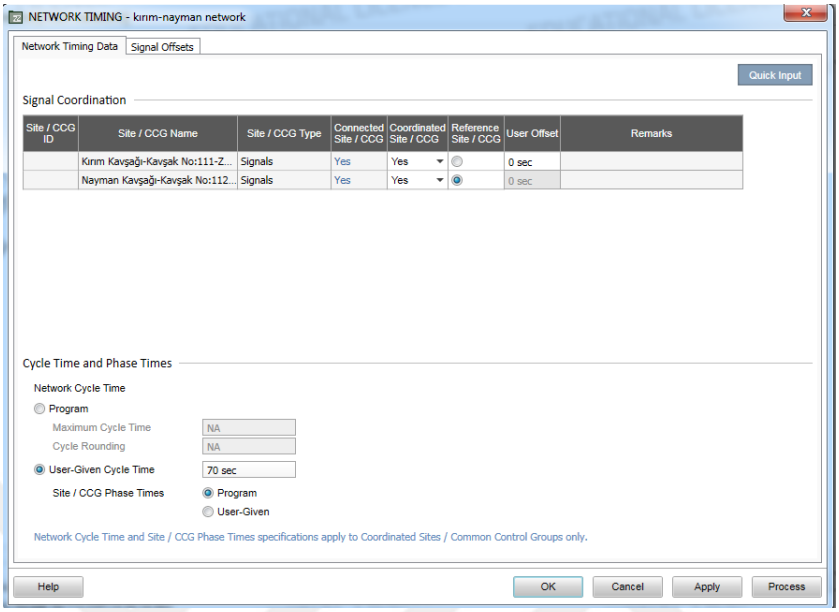
12.Kısım: Daha sonra kavşakları birbirine bağlamak için alt sekmede bulunan **"Add"** butonuna tıklanır ve kavşakların yaklaşım kolları mevcut duruma uygun olarak bağlanır.



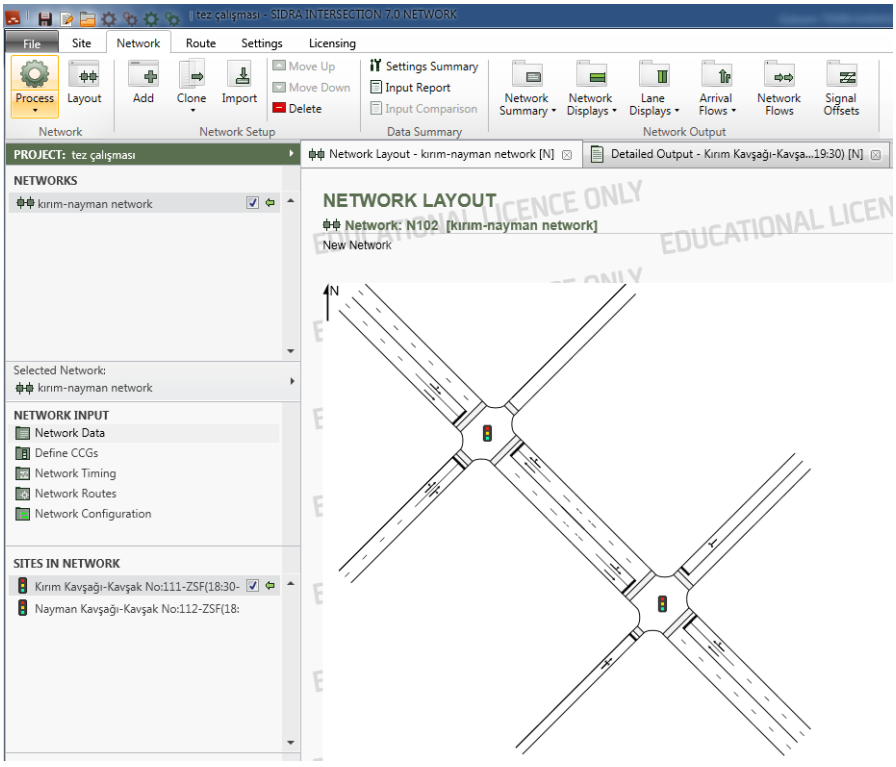
13.Kısım: "Network Input" kısmında network yapının network data veri girişleri yapılır.



14.Kısım: "Network Timing" kısmına tıklandığında programın önerdiği ya da verilen devre süresi ile kavşak analizi yapılabilir.



15.Kısım: Tüm veri girişlerinden sonra alt sekmede bulunan **"Process"** butonuna tıkanarak network yapının analizi gerçekleştirilir.



16.Kısım: Network yapısı için yapılan analizin çıktı sonuçları **"Detailed Output"** tıklanarak tüm analiz sonuçları elde edilmektedir (Anonymous, 2017).

