

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İŞIKLI KAVŞAKLARDA AMERİKAN VE
AVUSTRALYA YÖNTEMLERİ İLE GECİKME
ANALİZİ VE ÖRNEK BİR KAVŞAK ÇÖZÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Orhan ERASLAN

Anabilim Dalı: İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı: ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ

EKİM 2008

**İŞIKLI KAVŞAKLARDA AMERİKAN VE
AVUSTRALYA YÖNTEMLERİ İLE GECİKME
ANALİZİ VE ÖRNEK BİR KAVŞAK ÇÖZÜMÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Orhan ERASLAN
(501051410)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Eylül 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Ekim 2008**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Nadir YAYLA (İTÜ)
Doç.Dr. Yetiş Şazi MURAT (Pamukkale Üni.)**

EKİM 2008

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında; trafik denetim biçimlerinden ışıklı kavşaklar incelenmiştir. Işıklı kavşakların düzenlenmesinde çözümler sunan Amerikan yöntemi ile Avustralya yöntemi ayrı ayrı incelenmiş, yöntemler arasındaki benzerlik ve farklılıklar tespit edilerek söz konusu yöntemler hem kendi içlerinde hem de birbirleriyle karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.

Tez çalışması boyunca gösterilen çabada, değerli hocam sayın Prof. Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU'nun her aşamada büyük yardımı oldu. Kendisine desteklerinden ve yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum. Ayrıca çok sevdiğim arkadaşlarım Ayşegül GÜLER'e, Araş. Gör. Dr. Hilmi Berk ÇELİKOĞLU'na, Araş. Gör. Sabahat TOPUZ KİREMİTÇİ'ye ve Sinan YOLERİ'ye desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Son olarak kendilerine ait olan zamanlarını da bana bağışlayan, beni destekleyen, yüreklendiren ve her zaman yanımda olan aileme de teşekkürü bir borç biliyorum.

Ekim, 2008

Orhan ERASLAN

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAVŞAK VE KAVŞAK TİPLERİ	3
2.1 Kavşak	3
2.2 Kavşak Türleri	3
2.2.1 Denetimsiz kavşaklar	3
2.2.2 Işıklı kavşaklar	4
2.2.3 Katlı (köprülü) kavşaklar	5
2.3 Değerlendirme	5
3. IŞIKLI KAVŞAK DÜZENLEME YÖNTEMLERİ	6
3.1 Işıklı Kavşaklarda Temel Terim ve Tanımlamalar	6
3.2 Amerikan Yöntemi	8
3.2.1 Giriş	8
3.2.2 Girdi parametreleri	8
3.2.2.1. Geometrik özellikler	9
3.2.2.2. Trafik özellikleri	9
3.2.2.3. Sinyal özellikleri	10
3.2.3 Akım	11
3.2.4 Doygun akım	13
3.2.5 Kapasite ve hacim/kapasite oranı	14
3.2.5.1 Kapasite	14
3.2.5.2. Hacim / kapasite oranı	14
3.2.5.3. Gecikme	15
3.2.5.4. Hizmet düzeyi (LOS)	17
3.3. Avustralya Yöntemi	18
3.3.1. Giriş	18
3.3.2. Kavşak ve trafik akımlarının özellikleri	18
3.3.2.1. Akım ve fazlar	18
3.3.2.2. Sinyal devresi	18
3.3.2.3. Akım özellikleri	19
3.3.2.4. Kritik akımlar	19
3.3.3. Kapasite ve doyumluk derecesi	20
3.3.3.1. Akım özellikleri	20
3.3.3.2. Kavşak özellikleri	21
3.3.3.3. Pratik doyumluk derecesi	21
3.3.4. Doygun akımların tahmini	21

3.3.4.1. Temel doygun akım tablosu	21
3.3.4.2. Düzeltme katsayıları	22
3.3.4.3. Çatışan dönüşler	23
3.3.4.4. Şerit kullanımı	24
3.3.5. Kritik akımların hesaplanması	26
3.3.6. Kavşak işletim sistemlerinin belirlenmesi	28
3.3.6.1. Taşkın kuyruk	28
3.3.6.2. Gecikme	28
3.3.6.3. Durma sayıları	29
3.3.6.4. Kuyruk uzunluğu	29
3.3.6.5. Yayalar	30
3.3.7. Sinyal zamanlaması	30
3.3.7.1. Devre süresi	31
3.3.7.2. Yeşil süreler	32
3.4. Yöntem Karşılaştırılması	33
4. BENZETİM İLE KAVŞAK ÇÖZÜMLEMESİ	35
4.1 Benzetim Nedir	35
4.2 Benzetim Kategorileri	35
4.3 Benzetim Programları	36
4.3.1 Synchro	36
4.3.2 Sidra	37
4.4 Benzetimin Avantajları	37
4.5 Benzetilen Kavşak Modelinin Temel Yapısı	38
4.6 Değerlendirme	39
5. SAHA ÇALIŞMASI VE UYGULAMALAR	40
5.1 Yöntem ve Araştırma	40
5.2 Analitik Yaklaşım ve Analitik Araçların Seçimi	40
5.2.1 Veri toplama ve hazırlama	40
5.2.2 Gözlem ve sonuçları	44
5.2.3 Mevcut durum analizi	45
5.2.3.1 Amerikan yöntemi ile hesaplama	45
5.2.3.2 Avustralya yöntemi ile hesaplama	54
5.2.4 Benzetim yapılması	63
5.2.4.1 Synchro (Amerikan yöntemi)	63
5.2.4.2 Sidra (Avustralya yöntemi)	69
5.3 Sonuçların Oluşturulması	73
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR	72
EKLER	74
ÖZGEÇMİŞ	79

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Hizmet Düzeyi Tablosu.....	17
Tablo 3.2 Temel Doygun Akım Tablosu (Birim otomobil / Saat).....	21
Tablo 3.3 Şerit Genişliği Düzeltme Katsayısı Tablosu.....	22
Tablo 3.4 Trafik Kompozisyonu Katsayısı Tablosu.....	23
Tablo 5.1 Mevcut Durumdaki Akım Yeşil Süreleri.....	42
Tablo 5.2 Gözlenen Toplam Gecikmeler.....	44
Tablo 5.3 Zirve Saat Faktörü Tablosu.....	45
Tablo 5.4 Temel Doygun Akım Tablosu.....	56
Tablo 5.5 Synchro Amerikan Yöntemine Göre Mevcut Durum Analiz Raporu.....	66
Tablo 5.6 Synchro Amerikan Yöntemine Göre En Uygun Durum Analiz Raporu.....	69
Tablo 5.7 Sidra Mevcut Durum Araç Başına Toplam Gecikme Değerleri...	71
Tablo 5.8 Sidra İle Yapılan Sınama Sonucu Elde Edilen En Uygun Yeşil Süreler Ve Devre Süresi.....	72
Tablo 5.9 Sidra En Uygun Faz Planına Göre Hesaplanan Gecikme Değerleri	73

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : Sinyal Devre Diyagramı.....	6
Şekil 3.2 : Temel Model ve Akım Özellikleri.....	7
Şekil 3.3 : Amerikan Yöntemi İşleyiş Şeması.....	8
Şekil 3.4 : Şerit Başına Hareketlere Göre Muhtemel Akım Tablosu.....	11
Şekil 3.5 : Yetersiz Şerit Kullanım Örnekleri.....	26
Şekil 5.1 : İncelenen Kavşak ve Kol-Akım Numaraları.....	41
Şekil 5.2 : İncelenen Kavşak ve Taşıt Sayım Değerleri.....	42
Şekil 5.3 : İncelenen Kavşak Mevcut Haldeki Sinyal Faz Planı.....	43
Şekil 5.4 : Kritik Akımların Belirlenmesi.....	51
Şekil 5.5 : Synchro Kavşak Geometrisi Ekran Görüntüsü.....	64
Şekil 5.6 : Synchro Taşıt Sayım Değerleri.....	65
Şekil 5.7 : Synchro Taşıt Hareketleri.....	66
Şekil 5.8 : Synchro Taşıt Hareketleri.....	67
Şekil 5.9 : Synchro İle Hazırlanan Öneri Sinyal Faz Planı.....	68
Şekil 5.10 : Sidra Akım Hacimleri.....	70
Şekil 5.11 : Sidra İle Hazırlanan Öneri Sinyal Faz Planı.....	72
Şekil 5.12 : Yöntemlere Göre Gözlem Değerleri.....	74
Şekil 5.13 : Synchro ile Mevcut Devre ve Sınama Devreye Göre Taşıt Başına Ortalama Gecikme Analizi	75
Şekil 5.14 : Sidra ile Mevcut Devre ve Sınama Devreye Göre Taşıt Başına Ortalama Gecikme Analizi	76
Şekil 5.15 : Sidra ve Synchro Benzetim Programlarının Sınama Durumu İçin Taşıt Başına Ortalama Gecikmeler Bakımından Karşılaştırılması ..	77

**IŞIKLI KAVŞAKLARDA
AMERİKAN VE AVUSTRALYA YÖNTEMLERİ
İLE GECİKME ANALİZİ VE ÖRNEK BİR KAVŞAK ÇÖZÜMÜ**

ÖZET

Özellikle kent içi yollarda trafik akışının kesintiye uğradığı en önemli alanlar kavşaklardır. Kent içinde trafik akışının sürekliliğinin sağlanabilmesi için kavşakların iyi analiz edilip doğru bir şekilde düzenlenmesi gerekir. Bu çalışmanın amaçları Amerikan ve Avustralya yöntemlerinin analizi, bu yöntemlerin karşılaştırılması ve benzetim yapılarak incelenen kavşakta sınama yapılmasıdır.

Çalışmanın giriş bölümünde genel olarak trafik akışı üzerinde durulmuş ve kavşakların trafik akışı üzerindeki etkileri anlatılmıştır. Bu bölümde özellikle ışıklı kavşakların kentiçi trafik denetimi üzerindeki önemi vurgulanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde eşdüzey denetimsiz kavşaklar, eşdüzey ışıklı kavşaklar ve katlı kavşaklar hakkında genel bilgiler verilmiş ve bu bilgiler ışığında kavşak kapasitesine etki eden öge ve koşullar tanımlanmıştır. Ayrıca ışıklı kavşakların fayda ve sakıncaları hakkında bilgiler anlatılmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde öncelikle ışıklı kavşaklar ile ilgili temel terimler verilmiş ve ışıklı kavşak kapasitesinin hesaplanmasında iki farklı yöntem olan Amerikan yöntemi ile Avustralya yöntemi anlatılmıştır. Bu bölümün sonunda ise; yöntemlerin benzerlik ve farklılıkları üzerinde durulmuştur.

Çalışmanın dördüncü bölümünde benzetim (simülasyon) ile ilgili bilgiler verilerek kullanılan benzetim programları kısaca tanıtılmıştır. Kullanılan bu benzetim programları bir önceki bölümde anlatılan yöntemler ışığında kavşak analizi yapmaktadırlar.

Saha çalışmaları kullanılan yöntemlerin sınanması açısından çok önemlidir. Beşinci bölümde saha çalışması ele alınmıştır. İncelenen kavşak İstanbul Ümraniye’de bulunan dört kollu ışıklı bir kavşaktır. Bu kavşakta gecikme değerleri gözlemlenmiştir ve gözlemlenen gecikme değerleri hesaplanan gecikme değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda yöntemler hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışmanın altıncı ve son bölümünde hesaplamalar ve analizlerden elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu yapılan çalışmalardan hareketle incelediğimiz kavşakta gecikme değerlerini en aza indiren yöntemin Avustralya Yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır.

AMERICAN AND AUSTRALIAN METHODS OF SIGNALIZED INTERSECTION AND DELAY ANALYSIS AND A SAMPLE OF INTERSECTION SOLUTION

SUMMARY

The most important areas where traffic flow is interrupted are intersections especially, in urban roads. Intersections should be well analyzed to provide the continuity of traffic flow in urban areas. Moreover, there are lots of methodologies to analyze intersections are being capacity analyzed. The aim of the study is to analyse both American and Australian methodologies comparing each other and test out inquired intersection with respect to simulation basis.

In the introduction part of the study traffic flow is based generally and the effects of intersections on traffic flow are handled and explained. Especially discussed on the magnitude of intersections in urban city traffic and the importance of signalized intersections in urban city traffic. In this section it is emphasised that the severity of signalized intersections over the traffic inspection in urban roads.

Moreover in the second section of the study there have been information about uncontrolled intersections, signalized intersections and in the light of this acquirements, regulating factors and conditions that effects intersection capacity are illustrated. Additionally the notion regarding advantages and disadvantages of signalized intersections are subjected.

In the third part of the thesis, the basic terms regarding signalized intersections are received priority consideration and then two different methodologies on the calculation of signalized intersections, American method and Australian method are described. At the end of this part the similarities and the differences of these methodologies are explicated.

In the fourth part, the simulation programs benefited from in the thesis are described while giving information about general understanding of simulation. These benefited simulation programs are analyzing intersections on the basis of methodologies mentioned aforementioned part.

Field works are important to test theoretical methodologies. As a result of this in the fifth section field work is handled. The observed intersection which is a four armed signalized intersection is located in Ümraniye, İstanbul. In this intersection the delay values are watched over and this watched over delay values are compared to calculated delay values. There have been evaluations about the methodologies based on the results of this compares.

Consequently, in the sixth last section all calculations and results gathered after the analysis are evaluated. The analysis conclusion obtained from our study is summarized in this section. The methodology that reduces delay values minimum in the obtained intersection through the studies is Australian methodology.

1. GİRİŞ

Son yıllarda Türkiye’de de trafik akımları ve trafik tıkanmaları ile bunun neden olduğu zaman kayıpları hızla artmıştır. Bu durumun, başlıca üç önemli nedeni vardır. Otomobil sahipliğinin hızlı artması herkes tarafından bilinen bir gerçek olup, trafik tıkanmalarının birinci nedeni olarak gösterilebilir. Ülke genelinde, yerel yönetimlerin toplu taşımacılığı ihmal etmesi, ya da toplu taşıma hizmeti yapması olanaksız olan küçük işletmecilere görevi devretmesi ya da insanların çok fazla toplu taşıma araçlarına yönelmemesi ikinci bir neden olarak sayılabilir. Üçüncü neden ise, altyapının düzensiz olması, yanlış düzenlenmiş olması ve geliştirilmesi adına yanlış yatırımlar yapılmasıdır [4].

Kent içi ulaşımının planlanması, projelendirilmesi ve işletiminde trafik tıkanmalarının önemli sorunlar doğurduğu ve bu sorunların kentsel yaşam kalitesinin iyileştirilmesi yönünde sağlıklı çözümlere gereksinim duyduğu açıktır [3]. Bilindiği üzere, bir ülkenin gelişmişliğinin göstergesi ve teknolojik açıdan ilerleme, yoğun insan yerleşimlerindeki araç akışı ile belli olur. Günümüz modern şehirlerinde trafik akışının yönetimi ayrı bir yere sahip olup; yol ağının örgütlenmesi ve kavşakların inşaatı gittikçe önem kazanmaktadır. Trafik akışı yönetiminin temelini ise; ışıklı kavşaklardaki geçiş önceliği düzenlenmesi oluşturmaktadır.

Bu çalışma, yaşamın kalitesini geliştirmenin bir yordamı olarak, daha iyi trafik yönetimi sağlanması için ışıklı kavşakların kapasite hesaplaması ile ilgilidir. Çalışmanın ikinci bölümünde kavşaklar hakkında genel bilgiler verilmiş ve bu bilgiler ışığında kavşak kapasitesine etki eden öge ve koşullar tanımlanmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde ışıklı kavşak kapasitesinin hesaplanmasında iki farklı yöntem olan Amerikan yöntemi ile Avustralya yöntemi hakkında bilgiler verilerek, yöntemler karşılaştırılmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde yukarıda bahsedilen yöntemlere ilişkin olarak kullanılan benzetim (simülasyon) programları açıklanarak, benzetim kullanmanın avantajlarından bahsedilecektir.

Uygulama bölümünde yani tezin beşinci bölümünde seçilen kavşak tanıtılarak, kavşaktan derlenen veriler ile modelleme aşamaları anlatılmaktadır. Son bölümde modelleme uygulamaları anlatılmış, her iki yöntemle göre analizler yapılarak incelenen

kavşak için hesaplanan ve gözlenen sonuçlar ortaya konmuştur. Sonuç bölümünde ise elde edilen analiz sonuçları özetlenmiştir.

2. KAVŞAK VE KAVŞAK TÜRLERİ

2.1 Kavşak

Kavşak, farklı yön ve doğrultudan gelen trafik akımlarının önceden belirlenmiş kurallara uygun bir sırayla ortak kullandıkları yol parçalarıdır. Kent içi ulaştırma sisteminde kavşaklar özellikle taşıtların ve yayaların ulaştırmasında çok büyük bir öneme sahiptir.

Trafik akımının kesintiye uğradığı yerlerin başında kavşaklar gelmektedir. Bu kesintiler sebebiyle kavşaktaki trafik akımları gecikirler. Bu gecikmeleri azaltmanın yolları vardır. Gecikmeleri aza indirmek için öncelikle kavşak iyi analiz edilmeli ve kavşağa gelen taşıt ve yaya akımları sağlıklı bir şekilde tespit edilmeli ve bu akımlar esas alınarak kavşak düzenlemesi yapılmalıdır. Bir kavşağa girebilen ve kavşağı geçebilen taşıt trafiği miktarı platformların çeşitli fiziki ve işletme karakteristiklerine, sürücü tecrübe ve hareketleri üzerinde etkisi olan çevre koşullarına, trafik akımının karakteristiklerine ve trafik kontrol tedbirlerine bağlıdır [14].

Günümüz modern şehirlerinde trafik akışını düzenlemek için ışıklı kavşaklar sıkça kullanılır. Işıklı kavşak doğru kullanıldığında çok iyi sonuçlar verir. Ancak ışıklı kavşak iyi çözümleme yapıp, faz planları iyi ayarlanmaz ise; bu ışıklı kavşaktan istenilen verim alınamaz. Bu nedenle kavşağa gelen taşıt akımları iyi belirlenmeli, kavşağın kapasitesi doğru hesaplanmalı ve doğru bir faz planı belirlenmelidir. Bu çalışmadaki amaçta ışıklı kavşakların kapasite analiz yöntemlerinden Amerikan ve Avustralya yöntemlerini incelemektir.

2.2 Kavşak Türleri

Kavşaklarda trafik sorununu çözmek ve kavşaktaki trafik akışını düzenli ve güvenilir bir şekilde sağlamak için öncelikle kavşak özellikleri iyi bir şekilde analiz edilmelidir. Aşağıdaki bölümde kavşak türleri hakkında bilgiler verilmiştir.

2.2.1 Denetimsiz Kavşaklar

Denetimsiz kavşak; polis veya ışıklı trafik işaret cihazlarıyla kontrollü olmayan kavşaklardır. Denetimsiz kavşaklarda Türkiye'deki trafik kurallarına göre, sağdan gelen aracın geçiş önceliği vardır. Ancak bu kurala çoğu zaman uyulmamakta, sürücüler tarafından bu kural göz ardı edilebilmekte ve sonuç olarak kazalar meydana gelmektedir.

Denetimsiz kavşakların kapasitesi, ışıklı ve katlı kavşaklara göre daha düşüktür. Denetimsiz kavşaklarda geometriye ve trafik hacimlerine göre anayol ve tali yol belirlenir ve trafik işaretleriyle düzenleme yapılır. Denetimsiz kavşaklar, trafik işaretleri levhalarının bulunup veya bulunmamasına ve bu işaretlere özelliklerine bağlı olarak değişik şekillerde çalışırlar. Herhangi bir trafik işaretinin bulunmadığı kavşaklar, ‘YOL VER’ işaretiyle kontrol ve ‘DUR’ işaretiyle kontrol başlıca denetimsiz kavşak düzenleme şekilleridir [14]. Herhangi bir trafik işaretinin bulunmadığı kavşaklarda kavşağa girmeden kavşağın açık olduğunu görme ve kavşağın durumunu kontrol etmede sorumluluk sürücüler arasında eşit paylaşılır. Ancak uygulamada bir yolun diğer yoldan daha az önemli olduğu açık görülüyorsa (bir köy yolunun devlet yoluyla kesiştiği veya tali bir caddenin ağır trafik taşıyan şehir ana caddesi ile birleşmesi gibi) yan yoldaki seyrek trafik anayol trafiğine geçiş hakkı verir ve yüksek trafik hacimlerinde çalışma, ‘iki yönlü DUR’ işaretli kavşaklara benzer. Kavşak kollarındaki talepler birbirine yakın ise; kavşağa gelen taşıt sağdaki kavşak kolundan gelen taşıta yol vermek zorundadır. ‘YOL VER’ işareti, tüm kollardaki trafiğin yoğunluğunun tam durmaya gerek duymadan yollarına devam edebilecekleri düşük trafik hacimli yerlerde, bir trafik akımının diğeri üzerindeki kanuni üstünlüğünü kurmak veya güçlendirmek için kullanılan bir araçtır. Denetimsiz kavşakların düzenleme amaçları arasında güvenliği arttırmak, kapasiteyi arttırmadaki ekonomik bir düzenleme yapmak ve çevreye uyumluluğu sağlamaktır [4].

2.2.2 Işıklı Kavşaklar

Eşdüzey kavşakların denetiminde kullanılan ışıklı kavşak işaretleri, hem yaya ve taşıt güvenliğinin sağlanması, hem de kavşak kapasitesinin artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu işaretler trafiğin güvenliği ve kontrolü için; sürücü ve yayaların dikkatini çekebilmeli, basit olmalıdır. Ayrıca en önemlisi kavşağı kullanan taşıtlara ve yayalara yeterli yeşil süreyi tanımalıdır [13].

Bugün ışıklı işaretlerde kabul edilen renklerden kırmızı renk durmak gerektiğini, yeşil yolun açık olduğunu, geçilebileceğini ve sarı ise yerine göre durmağa veya harekete hazır olunmasını ifade etmektedirler.

Işıklı işaretler kullanılması halinde; daha düzenli bir trafik akımı sağlanarak, dik açılı kazalar, yaya kazaları gibi bazı tür kazaların önüne geçilmesi sağlanarak, kesişme önlenerek yoğun trafiği zaman zaman durdurarak zayıf trafiğe de geçiş hakkı verilerek sağlanmaktadır [7].

Işıklı işaretlerin faydaları yanında bazı sakıncaları da olabilmektedir. Bazı kaza türlerinde çoğalma olabilir, arkadan çarpma kazaları buna örnek olarak verilebilir [7].

Işıklı kavşakta devre süresi ve yeşil süreler uygun değilse fazla beklemelere sebep olabilmektedir.

Işıklı işaretler herhangi bir kavşağa uygulanmadan önce kavşak iyi analiz edilmeli faydaları ve sakıncaları göz önüne alınarak uygulanıp uygulanmamasına karar verilmelidir.

2.2.3 Katlı (Köprülü) Kavşaklar

Köprülü kavşaklar, kesişen yolların farklı düzeyden geçirilerek, kesişmelerin kaldırıldığı bir kavşak çeşididir. Bu yöntem sayesinde trafik akışının kesintisiz bir şekilde sağlanmasına karşın çok pahalı kavşaklardır. Bu kavşağın yapılması için o kavşak alanında çok büyük trafik sorununun olması gerekmektedir.

Otoyollar gibi giriş kontrollü hız yollarında, alınan çeşitli önlemlere rağmen kazaların ya da trafik sıkışıklığının azalmadığı şehiriçi yollardaki ışıklı kavşaklarda, taşıt ve yolcu gecikmeleri ile kazaların sebep olduğu ekonomik kayıpların büyük olduğu yerlerde köprülü kavşak kullanımı uygun ve yerinde olacaktır.

2.3 Değerlendirme

Hangi türün seçileceği hususunda etkili faktörler, kavşağa birleşen yol sayısı, bu yolların birleşme şekilleri, yollar üzerindeki trafik miktarı ile bunların sağa sola dönme oranları, kavşak için kullanmaya elverişli alanın büyüklüğü, topoğrafik durum ile mali olanaklardır.

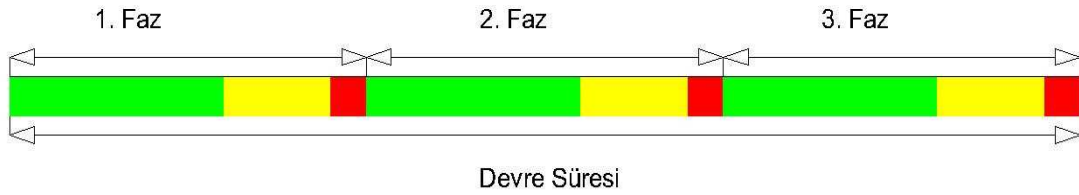
Bu çalışmada ışıklı kavşaklar incelenecek olup, ışıklı kavşaklarda sinyal sürelerinin tespit yöntemleri üzerinde durulacaktır. Işıklı kavşak planlaması yapılırken öncelikle kavşak kapasitesi göz önüne alınmalıdır. Bir sonraki bölümde kavşak kapasitesinin hesaplanma yöntemlerinden Amerikan yöntemi ile Avustralya yöntemi anlatılacaktır.

3. IŞIKLI KAVŞAK DÜZENLEME YÖNTEMLERİ

3.1 Işıklı Kavşaklarda Temel Terim ve Tanımlamalar

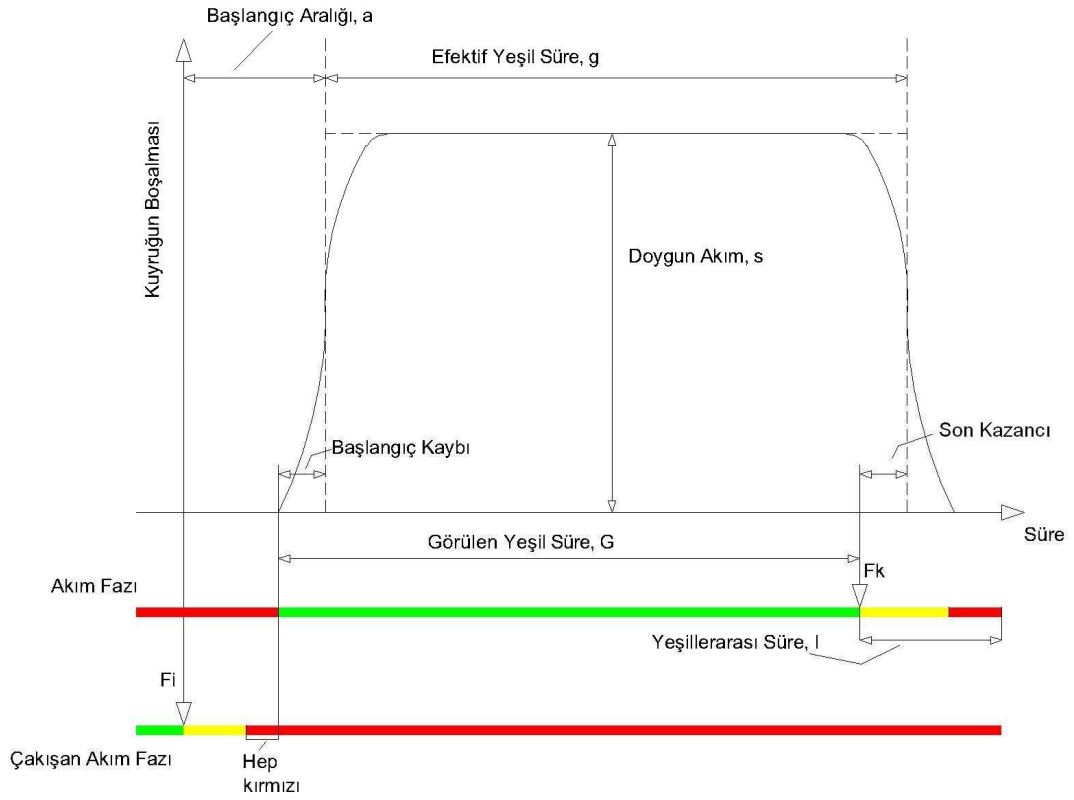
Devre süresi: Kavşağa gelen tüm yaklaşım kollarının geçiş hakkı aldıkları faz sürelerinin toplamından oluşan süre.

Faz süresi: Kavşaktaki yaklaşım kollarındaki trafik akımlarından en az bir tanesinin geçiş hakkı aldığı süre (Şekil 3.1).



Şekil: 3.1 : Sinyal Devre Diyagramı

Yaklaşım kolunda bekleyen taşıtlar yeşil ışık yandığı zaman hızla harekete geçerler ve sabit bir oranda kavşağı terk ederler. [8] Taşıtların kavşağa girdiği bu sabit orana doymun akım denir. Şekil 3.2’de düşey eksen tamamen doymun yeşil sürede kuyruk boşalma oranını, yatay eksen süreyi saniye cinsinden ifade etmektedir. Kavşakta başlangıçta bekleyen taşıtlar doymun akım değerine ulaşmadan önce hareketleri yavaştır. Doymun akım değerine ulaşıncaya kadar zaman kayıpları oluşur. Bu zaman kayıpları Şekil 3.2’te görüldüğü üzere **başlangıç kaybı** olarak adlandırılır. Kavşakta taşıtlar doymun akım halinde hareket ederlerken yeşil ışık sönüp sarı ışık yandığında da bir süre daha taşıtlar kavşağı terk ederler. Bu durum bir süre kazancına sebep olur. Kazanılan bu süreye Şekil 3.2’te görüldüğü üzere **son kazancı** olarak adlandırılır. Bunun yanında bir başka önemli parametre ise; etkin yeşil süredir. **Etkin yeşil süre** görülen yeşil süreye son kazancının eklenip, başlangıç kaybının çıkarılmasıyla bulunur. Genel olarak devre süresi boyunca kavşağın tüm yaklaşım kolları için sinyalin kırmızı olduğu zaman dilimleri vardır. Bu zaman dilimlerinde tüm kollara aynı anda kısa bir süre için kırmızı yanar. Bu zaman dilimine **ortak kırmızı süre** adı verilir. **Yeşiller arası süre** yeşil süreler arasındaki sarı ve ortak kırmızı sürelerin toplamına eşittir. Her bir akım için **akım kayıp zamanı (l)** yeşiller arası süreye başlangıç kaybının eklenip, son kazancın çıkarılmasıyla bulunur. Toplam akım kayıp zamanı (L) ise; her bir fazdaki kayıp zamanların toplamına eşittir.



Şekil: 3.2 Temel Model ve Akım Özellikleri [1]

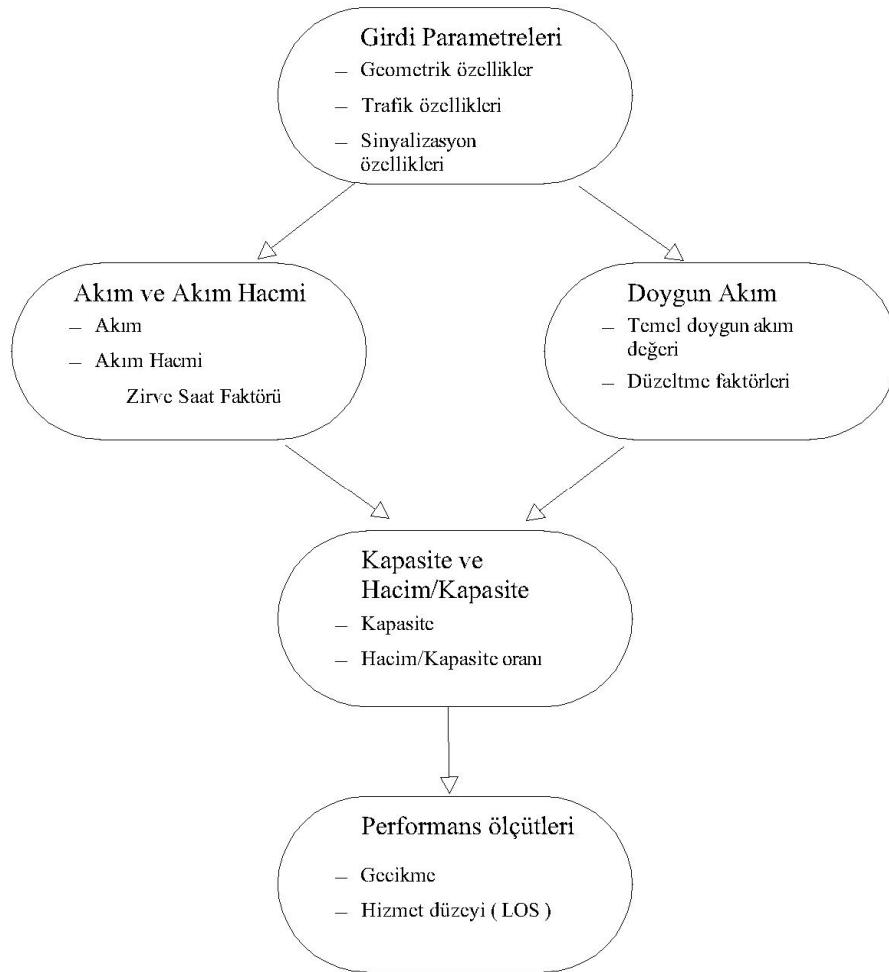
Işıklı kavşaklarda kapasiteyi önemli ölçüde etkileyen bir başka parametre ise; taşıt dönüş hareketlerini sağlayan faz tipleridir. **Korunmamış dönüşlü faz tipinde (permitted type)** taşıt hareketleriyle çatışan yaya, bisiklet veya başka bir taşıt dönüş hareketi vardır. Örneğin sola dönüş hareketiyle çatışan doğru giden hareket veya sağa dönüş hareketiyle çatışan yaya hareketi. Bunun yanında **korunmuş dönüşlü faz tipinde (protected type)** ise; hiçbir çatışma yoktur. Örneğin korunmuş faz tipinde, sola dönüş hareketi ile bununla çatışması muhtemel doğru giden hareket farklı fazlarda yer almalıdır. Bu çalışmada incelenen kavşak tamamen korunmuş dönüşlü faz tiplerinden oluşmuştur. Aynı fazda çatışan akımlar bulunmamaktadır.

3.2 Amerikan Yöntemi (HCM 2000)

3.2.1 Giriş

Bu bölümde ışıklı kavşakların kapasiteleri incelenecek ve hizmet düzeyleri belirlenecektir. Kapasite analizi hacim/kapasite oranı esas alınarak, hizmet düzeyi analizi ise; kavşaktaki araç başına düşen kontrol gecikmelerine göre yapılır.

Genel olarak izlenen yol aşağıdaki şekilde belirtilmiştir:



Şekil 3.3 : Amerikan Yöntemi İşleyiş Şeması [11]

3.2.2 Girdi Parametreleri

Işıklı kavşakta analizler yapabilmek için kavşağın geometrik özelliklerini, trafik özelliklerini ve sinyal sürelerini bilmek gerekir. Bunlar kavşağın özelliklerini ortaya koyabilmek için gerekli olan değişkenlerdir.

3.2.2.1. Geometrik özellikler

Işıklı kavşağımızı geometrik özellikler bakımından etkileyen faktörler; kavşağın bulunduğu bölgenin özelliği (yani şehir merkezinde bulunup bulunmadığı, kavşaktaki kolların şerit sayıları, kavşağa gelen şeritlerin ortalama genişlikleri, kavşağa gelen kolların eğimi, ek olarak sola veya sağa dönüşün olup olmadığı, sağa veya sola dönüş için depolama mesafelerinin uzunlukları ve son olarak parklanma durumlarıdır.

3.2.2.2. Trafik Özellikleri

Bu noktada tarif edilmesi gereken öncelikle kavşağa gelen akımların hacimleridir. Bu hacimler belirlenirken 15 dakikalık zaman dilimleri için belirlenebilir. Zirve saat faktörüyle düzeltme yapılarak hesaplarda kullanılır. Zirve saat faktörü bölüm 3.1.3'te açıklanmaktadır. 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 yanında herhangi bir fazda kavşağa gelen araçların, o fazdaki geliş zamanları da önemli bir etkindir. Örneğin bir kavşakta herhangi bir faz için araçlar genel olarak o fazın yeşil süresi boyunca geliyorlarsa kavşağı zaman kaybetmeden terk edebilirler. Bu durumun aksine araçlar genel olarak kırmızı süresinde geliyorsa kavşaktaki zaman kayıpları artacaktır. Bu gelişleri denklem haline getiren bir “kümeleşme (toplulaşma) oranı (platoon ratio) ” vardır. Bu oran gelen araçların ilk yeşil süresinde kavşaktan tamamen boşalması durumuna, etkin yeşil süreye ve devre süresine bağlıdır.

$$R_p = \frac{P}{\frac{g_i}{C}} \quad (3.1)$$

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

C = devre süresi

3.2.2.3. Sinyal Özellikleri

Sinyalizasyon ile ilgili tüm bilgiler analizi yapan kişi tarafından eksiksiz bir şekilde bilinmelidir. Bilinmesi gereken bilgiler, faz planı, devre süresi, yeşil süreler, kırmızı süreler, sarı süreler ve ortak kırmızı sürelerdir. Bu bilgiler ışığında taşıt fazları ve yaya fazlarıyla ilgili çözümleme yapılır.

Kavşağın sinyal özellikleri belirlenirken şu noktalar dikkat edilmelidir. Öncelikle ışıklı kavşağın kontrol tipi belirlenmelidir. Işıklı kavşağın kontrol tipi tam uyarmalı, yarı uyarmalı veya otomatik olabilir. Kontrol tipi belirlendikten sonra faz planı belirlenmelidir. Faz planı belirlenirken en önemli nokta kavşağın kaç fazlı planlanacağıdır. Genel olarak kavşaklar iki fazlı planlanmaktadır. Fakat zorunluluk hallerinde faz sayısı artırılabilir. Çünkü fazlar arasındaki faz değişim aralıkları kayıp zamanlara neden olur. Önemli bir başka nokta ise; yeşil sürelerin fazlara paylaştırılmasıdır. Her bir faza gelen taşıt miktarına bağlı olarak yeteri kadar yeşil süre verilmelidir.

Eğer yaya hareketleri fazla ise; öncelikle yayalar dikkate alınmalıdır. Yayalar için gerekli olan bir minimum yeşil süre vardır. Bu minimum yeşil süre aşağıdaki bağıntı ile hesap edilir.

$$G_p = 3.2 + \frac{L}{S_p} + \left(0.81 \frac{N_{ped}}{W_E} \right) \quad W_E > 3.0 \text{ m. için,} \quad (3.2)$$

$$G_p = 3.2 + \frac{L}{S_p} + \left(0.27 N_{ped} \right) \quad W_E \leq 3.0 \text{ m. İçin.} \quad (3.3)$$

G_p = yayalar için minimum yeşil süre (s)

L = yürüme mesafesi (m)

S_p = yayaların ortalama hızı (m/s)

W_E = karşıdan karşıya geçilen yolun genişliği (bordürden bordüre) (m)

N_{ped} = karşıdan karşıya geçen yaya sayısı

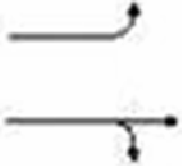
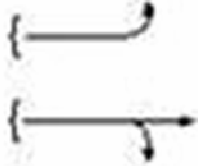
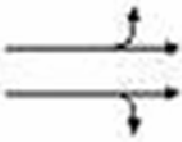
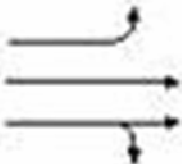
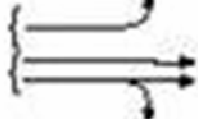
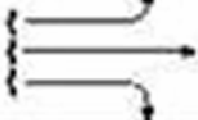
3.2 = yayaların harekete başlama süresi (s)

Minimum yeşil süre hesaplandıktan sonra mevcuttaki yaya fazı süresiyle karşılaştırılmalı ve sonuçları ortaya konmalıdır.

3.2.3 Akım

Her bir sola veya sağa dönüş hareketi ayrı bir akım olarak kullanılırken, kimi zaman kavşaktaki birden fazla hareket tek bir akım olarak kullanabilmektedir.

Ayrıca hareketlerin hacimlerine ve kavşağın geometrisine göre kimi zaman düz giden araçlar ile dönen araçlar tek bir akım olarak kullanabilirler. Şekil 3.4'te kullanım ilişkileri görülmektedir. Görüldüğü üzere aynı şerit başına hareketler farklı sayıda akım oluşturabilmektedir.

Şerit Sayısı	Şerit Başına Hareketler	Muhtemel Akım Sayısı
1		① 
2	Eksola dönüş şeridi 	② 
2		①  ② 
3	Eksola dönüş şeridi 	②  ③ 

Şekil 3.4 : Şerit Başına Hareketlere Göre Muhtemel Akım Tablosu [11]

Akım hacmi

Kavşağa gelen taşıt miktarı olarak tarif edilebilir. Bu değer belirlenirken saatlik değerler ele alınabilir. Eğer elde edilemiyorsa 15 dakikalık değerler saatlik değerlere dönüştürülerek kullanılabilir.

Analiz yapılırken sayım değerleri kullanılırken genel olarak zirve saat faktörü (Pick Hour Factor = PHF) kullanılır. Zirve saat faktörü belirlenirken şu yöntem izlenir. Öncelikle dilimler halinde yapılan sayımlardan en büyüğü belirlenir ve dilim sayısı ile çarpılarak bir değer elde edilir. Daha sonra tüm değerlerin toplamı bu sayıya bölünür. Hesaplanan değer zirve saat olarak adlandırılır. Daha sonra aşağıdaki formül ile düzeltilmiş sayım değeri bulunur.

$$v_p = \frac{V}{PHF} \quad (3.3)$$

V = gözlenen akım hacmi (taşıt/sa)

v_p = beklenen sayım değeri (taşıt/sa)

PHF = zirve saat faktörü

Kırmızıda Sağa Dönüş Hareketi İçin Düzeltme

Analiz yapılırken bu durumun da dikkate alınması önemlidir. Çünkü kırmızı yanarken yapılan sağa dönüşler o kavşakta sağa dönüşlerin daha rahat yapılmasını sağlayacaktır. Bu durum göz önüne alınmaz ise; doymuş akım gerektiği gibi hesaplanamayacak ve yanlış sonuçlar elde edilecektir.

Kırmızıda sağa dönüşleri etkileyen faktörler aşağıda sıralanmıştır;

- Sağa dönüş hareketinin ek şerit halinde mi yoksa ortak şerit kullanımı şeklinde mi olması
- Sağa dönen taşıt miktarı
- Kavşak yaklaşımında görüş mesafesi
- Sağa dönüş hareketiyle bununla çatışan düz gelen akımın doymuşluk dereceleri
- Çatışan akımdaki sola dönüşün sinyal fazı
- Yaya çatışmaları

3.2.4 Doygun Akım

Doygun akım değeri incelenen akımın geçirebileceği yeşil süre boyunca kavşaktan en fazla araç sayısıdır. Normal şartlarda bir şeritten saatte 1900 birim otomobil değerinde araç geçebilmektedir [11]. Bu değer temel doygun akım değeri olarak ele alınabilmektedir. Ancak kavşaklarda bu değeri yakalamak mümkün değildir. Bu nedenle düzeltme katsayıları kullanılarak doygun akım değeri düzeltilir. Çünkü kavşağı kullanan araçların hızlarını düşüren, kavşaktan geçişlerin geciktiren birçok etken vardır. Bu etkenler kavşaktaki şerit başına geçebilecek araç sayısını etkilerler. Bu etkenlerin her biri bir düzeltme katsayısı ile dikkate alınır. Formül 3.4’ te düzeltilmiş doygun akım değerinin hesaplanması görülmektedir.

$$s = s_0 * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{lu} * f_{LT} * f_{RT} * f_{L_{pb}} * f_{R_{pb}} \quad (3.4)$$

Burada s düzeltilmiş doygun akım değerini yani düzeltmeler yapıldıktan sonra kavşaktan geçebilecek en fazla araç sayısını göstermektedir. s_0 ise; temel doygun akım değeridir. N burada incelen akımın kullandığı şerit sayısını göstermektedir. Sırasıyla f_w şerit genişliği faktörüdür. Eğer incelenen akımın kullandığı şeritler dar ise bu akım kavşaktan daha az hacimde araç geçirebilecektir. Bir başka düzeltme faktörü ise; ağır taşıtlar için kullanılan düzeltme faktörüdür. Bilindiği gibi ağır taşıtların ivmelenmeleri otomobillere göre daha düşüktür. Böyle olunca kavşaktaki ağır taşıtlar gecikmelere otomobillerden daha fazla sebep olur. f_{hv} faktörü ile bu durum hesaplara katılır. f_g ise; eğim faktörüdür. Doğal olarak araçlar eğimden çok etkilenirler. Eğim faktörü ile kavşak kollarındaki eğimler dikkate alınır. f_p , parklanma faktörü kavşakta araçların hareketini engelleyen bir parklanma olması durumunda ortaya çıkar. Yani o kavşaktaki incelenen akımı kesen parklanma ve manevra sayılarını dikkate alır. f_{bb} otobüslerin kavşaktan yolcu alıp almamasıyla ilgilidir. Böyle bir durumda bu etki kavşağın kapasitesini çok etkiler. Ayrıca kavşağın şehir içinde veya kırsalda olması durumları farklıdır. Bu durum f_a faktörü ile formülize edilmiştir. Hesap yapılırken kavşağa gelen araçlar için şerit paylaşımları yapılmıştır. Eğer kavşaktaki araçlar şeritleri eşit şekilde kullanmaz ise; bu düzeltme faktörü (f_{lu}) devreye girer. f_{RT} , f_{LT} ise, sağa ve sola dönüşlerin incelenen akımın kapasitesine etkilerini göz önüne alır. $f_{L_{pb}}$ ve $f_{R_{pb}}$ ise sırasıyla sola ve sağa dönüşlerde çatışılan yaya ve bisiklet sayıları nedeniyle bu akımların doygun akım değerini hesaplamaya yardımcı olur.

3.2.5 Kapasite ve Hacim/Kapasite Oranı

3.2.5.1 Kapasite

Işıklı kavşaklarda kapasite her akım için bir devre boyunca o kavşaktan geçirebileceği en fazla araç sayısıdır. Bu değer o akımın yeşil süresine, kavşağın devre süresine ve doymun akım oranına bağıdır. Akım oranı gelen akım miktarının (v_i), doymun akım miktarına (s_i) oranı şeklinde bulunur. Her bir akım için akım oranı ise; $(v/s)_i$ şeklinde tanımlanır. Her bir akım için kapasite aşığıdaki denklemlle bulunur.

$$c_i = s_i \frac{g_i}{C} \quad (3.5)$$

c_i = yeşil süresi boyunca akımın geçirebileceği en fazla araç sayısı

s_i = doymun akım değeri

g_i / C = incelenen akım için yeşil süresinin devre süresine bölümü (yeşil süre oranı)

3.2.5.2. Hacim / Kapasite Oranı

Düzeltilmiş gözlenen akım hacminin, kapasiteye bölümünden elde edilir. Kapasite her bir akım için ayrı hesaplanır. Kapasite daha önce tarif edildiği gibi ilgili akımın doymun akım değeri, yeşil süresine ve bulunduğu ışıklı kavşağın devre süresine bağıdır.

$$x_i = \frac{v_i}{c_i} \quad (3.6)$$

x_i = hacim / kapasite Oranı

v_i = düzeltilmiş akım hacmi (taşıt/sa)

c_i = yeşil ışık süresine ve devre süresine bağı olarak kapasite (taşıt / sa.)

Kritik Akım Kavramı:

Işıklı kavşaklarda fazlar devre süresi boyunca birbirini takip edeler. Akımlar bu fazların yeşil sürelerine göre kavşağı terk ederler. Bu yeşil süreler, kavşaktaki akımların doymunluk derecelerine bağı olarak belirlenir. Bağıntı 3.8’de görüldüğü üzere kavşağın kritik doymunluk derecesi her bir kritik akımın doymunluk derecelerine,devre süresine ve kayıp zamanlara bağı olarak hesaplanır.

$$X_c = \sum \left(\frac{v}{s} \right)_{ci} \left(\frac{C}{C-L} \right) \quad (3.7)$$

X_c = kavşağın kritik doygunluk derecesi

$\sum \left(\frac{v}{s} \right)_{ci}$ = kritik akımların akım oranları toplamı

C = devre süresi (sn)

L = toplam akım kayıp zamanı (devre boyunca kaybedilen süre) (sn)

Doygunluk derecesi yüksek olan akımın daha fazla yeşil süreye ihtiyacı vardır. Buna bağlı olarak her bir faz için, fazlardaki yeşil süre ihtiyacı fazla olan akım yani doygunluk derecesi yüksek olan akım kritik akımdır. Tekrarlı olup olmamasına göre kritik akımların hesap yöntemleri farklıdır.

3.2.5.3. Gecikme

Gecikme hesaplanırken 3 farklı durumun oluşturduğu gecikme değerleri toplanarak kavşağın kontrol gecikmesi değeri hesaplanır.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (3.8)$$

Bu formüldeki;

d = kontrol gecikmesi (sn/taşıt)

d_1 = üniform kontrol gecikmesi (sn/taşıt)

PF = ilerleme faktörü

d_2 = eklenik gecikme (sn/taşıt)

d_3 = başlangıç kuyruklanma gecikmesi (sn/taşıt)

Burada ifade edilen kontrol gecikmesi (d) kavşağın toplam gecikme değeridir. Üniform kontrol gecikmesi (d_1) başlangıç kuyruklanması olmadan, kapasitenin aşılmamış olması durumuna göre kavşakta oluşan gecikmelerin hesaplandığı gecikmedir.

$$d_1 = \frac{0.5 * C * \left(1 - \frac{g}{c} \right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{c} \right]} \quad (3.8a)$$

d_1 = üniform kontrol gecikmesi (sn/taşıt)

C = devre süresi (sn)

g = etkin yeşil süre (sn)

X = doygunluk derecesi

Eklenik gecikme (d_2) kavşağa rastgele gelişler ve doygun haldeki kuyruklanma nedeniyle oluşan gecikmedir. Başlangıçta kavşakta kuyruklanma olmaması durumunu ele alır [9].

$$d_2 = 900 * T * \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{cT}} \right] \quad (3.8b)$$

d_2 = rastgele gelişleri tarif etmek için artan gecikme (sn/taşıt)

T = analiz süresi (sa)

X = doygunluk derecesi

k = artan gecikme faktörü

I = ölçüm düzeltme faktörü

c = şerit grubu kapasitesi (taşıt/sa)

Son olarak başlangıç kuyruklanma gecikmesi (d_3) değeri hesaba katılır. Bu kuyruklanma değeri kavşakta analize başlanmadan önceki kuyruklanmaların hesaba katıldığı gecikme değeridir. Analiz süresi başlangıcındaki başlangıç kuyruğundan dolayı tüm taşıtlara etkiyen gecikme değeri olarak tarif edilmektedir [9]. Eğer analiz başlangıcında kuyruklanma yoksa bu değer “0” alınmalıdır.

İlerleme Faktörü (Progression Factor _ PF)

İyi bir koordineli sinyal sisteminde amaç, yeşilde gelen araçların sayısını arttırmaktır. Bu oran taşıtlara kavşağa geldiği zaman aralığının etkisini ifade etmek için kullanılır. Örneğin herhangi bir fazdaki akım veya akımlar kırmızı sürenin sonuna doğru geliyorsa o kavşak tam kapasite ile çalışamaz. Bu durum genel olarak ardışık kavşakların etkileşimlerinden dolayı ortaya çıkar. Taşıt gelişlerinin çoğu yeşil ışık süresince geliyorsa, daha az gecikme olur. Ancak yeşil süresince gelişlerin oranı az ise; gecikmeler daha fazla olur. Yeşil ışık süresince gelişler daha fazla ise; ilerleme faktörü

düşük olduğu anlamına gelir. Bu çalışma izole bir kavşakta çalışma yapıldığından bu değerin etkisi yok kabul edilecek ve 1 alınacaktır.

$$PF = \frac{(1 - P)f_{PA}}{1 - \frac{g}{c}} \quad (3.9)$$

P = Yeşilde gelen araçların oranı,

g/c = Yeşil sinyal süresinin devre süresine oranı,

f_{PA} = Yeşil süre sırasında gelen araçlar için tamamlayıcı düzeltme katsayısı.

3.2.5.4.Hizmet Düzeyi (LOS)

Bu yöntemde hizmet düzeyi gecikmelere bağlıdır. Araç başına düşen ortalama kontrol gecikmesi değeri, o kavşak için hizmet düzeyini belirler. Ortalama kontrol gecikmesi tüm kavşak için her şerit grubu için kavşağa gelen akımlar için hesaplanır.

Tablo: 3.1: Hizmet Düzeyi Tablosu [11]

LOS	Araç başına kontrol gecikmesi (saniye/taşıt)
A	...<10
B	10<...<20
C	20<...<35
D	35<...<55
E	55<...< 80
F	80<...

3.3.Avustralya Yöntemi

3.3.1. Giriş

Burada tarif edilmeye çalışılacak olan Avustralya yöntemi yaptığı analizleri faza bağlı yapmaktansa akıma göre yapar. Yani bu yöntemde göre kavşak kayıp zamanı, fazların kayıp zamanları toplamı değil kritik akımların kayıp zamanları toplamıdır. Ayrıca bu yöntem klasik yöntemlerden farklı olarak, Amerikan yönteminde kullanılan doygunluk derecesini akım oranı olarak ele alır. Bu değer yeşil süresi hesabında kullanılmaz. Bunun dışında yeşil oranı denilen bir oran bulunur. Bu oran akım oranının pratik doygunluk derecesine bölümü ile bulunur. Daha sonra her bir akım için belirlenen devre sürelerinde Avustralya yöntemindeki doygunluk dereceleri belirlenir. Bu yeni doygunluk derecesine göre sinyal zamanlamaları yapılır.

3.3.2. Kavşak ve Trafik Akımlarının Özellikleri

Burada kavşak geometrisi, şerit kullanımı ve sinyal fazlanması ile çatışan akım, yetersiz şerit kullanımı ve kısa şeritlerin varlığı gibi özel halleri saptanır.

3.3.2.1.Akım ve fazlar

Yönü şerit kullanımı ile belirlenmiş olan geçiş sırasına göre karakterize edilmiş olan kavşaktaki her bir kuyruğa akım adı verilir. Birden fazla fazda geçiş hakkına sahip olan akımlara ise; tekrarlı akım adı verilir. Fazlanma faz-akım matrisi ile belirlenir. Faz-akım matrisinde akımlar ve hangi fazda başlayıp hangi fazda bittiği gösterilir.

3.3.2.2. Sinyal devresi

Bir devre, o ışıklı kavşaktaki tüm fazların tam bir kez tekrarlanmasıyla oluşan süredir. Bir devrede bir fazdaki yeşil sürenin bitimiyle, bir sonraki fazın yeşil süresinin başlangıcı arasındaki süreye yeşiller arası süre (I) denir. Bu süre sarı ve hepsi kırmızı sürelerinin toplamına eşittir. Faz başlangıç anı yeşiller arası sürenin başlama anıdır, faz bitiş anı yeşil sürenin sonudur. Toplam devre tüm yeşil sürelerin ve tüm yeşiller arası sürelerin toplamına eşittir.

$$C = \sum (I + G) \quad (3.10)$$

I = yeşiller arası süre,

G = yeşil süre

3.3.2.3.Akım özellikleri

Doygun Akım ve Etkin Yeşil Süre:

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi sinyal yeşile döndüğü zaman dur çizgisinden harekete geçen akım hızlı bir şekilde doymuş akım (s) değerine ulaşır veya kuyruk boşalınca ya da yeşil süre sona erinceye kadar devam eder. Şekil 3.2’ de görüldüğü üzere kesikli çizgi ile gösterilenin yüksekliği doymuş akım değerini genişliği ise etkin yeşil süreyi göstermektedir. Görülen yeşil süre (G) başlangıcı ile etkin yeşil süre (g) başlangıcı arasındaki fark, başlangıç kaybı olarak kabul edilir. Benzer olarak etkin yeşil süre sonu ile görülen yeşil süre sonu arasındaki fark ta son kazancı (bitiş aralığı) olarak kabul edilir. Böylece etkin yeşil süre görülen 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 görülen yeşiller arası süredir.

$$(G + I = g + L) \quad (3.11)$$

Kapasite ve Doymuşluk Derecesi:

Akım faktörleri, Trafik sinyallerinde kapasite doymuş akım, s ve etkin olarak kullanılan yeşil sürenin devreye oranına bağlıdır. Etkin yeşil sürenin, devre süresine bölümü yeşil süre oranı (u) olarak belirlenir. Bir diğer önemli parametre ise; akım oranıdır. Akım oranı (y), o akım hacminin (q) doymuş akım (s) değerine bölümünden elde edilir. Yeterli kapasitesi elde etmek için,

doymuş akım*etkin yeşil süre > akımın hacmi*devre süresi olmalıdır.

Bu eşitliğin sağlanması durumunda doymuşluk derecesi 1 olacaktır.

3.3.2.4.Kritik akımlar

Kavşakların kapasitesi ve yeşil sürelerinin ayarlanmasında etkin olan akımlara **kritik akımlar** denir. Kritik akımlarla ilgili detaylar 5. bölümde ele alınacaktır.

3.3.3. Kapasite ve Doygunluk Derecesi

3.3.3.1. Akım Özellikleri

Trafik sinyallerinde bir akımın kapasitesi, doymun akım, etkin olarak kullanılan yeşil sürenin devreye oranına bağılıdır.

$$Q = s * (g / c) \quad (3.12)$$

Q = kapasite, s = doymun akım, g = Etkin yeşil süre, c = devre süresi

Etkin yeşil sürenin devre süresine oranı ise yeşil süre oranı olarak adlandırılır.

$$u = g / c \quad (3.12a)$$

Bir diğerk önemli parametre ise; akım oranı olarak tarif edilen gelen akımın doymun akıma oranıdır.

$$y = q / s \quad (3.12b)$$

Burada tarif edilecek pratik doymunluk derecesi geleneksel yöntemlerden farklı olarak yeşil süre oranının akım oranına bölümüyle elde edilen değıerdir.

$$x = y / u \quad (3.12c)$$

Akım oranı burada talep edilen miktar olarak ele alınıp sabit kabul edilir. Burada hesaplamaları kontrol eden yeşil süre oranıdır. Bu ise arz olarak düşünölebilir. Burada akım oranı sabitken yeşil süre oranı arttığında doymunluk derecesi azalacak ve o akım için kapasite artmış olacaktır.

Yeşiller Arası ve Minimum Yeşil Sürenin Saptanması:

$$I = \text{Sarı süreler} + \text{Ortak kırmızı süreler} \quad (3.13)$$

şeklinde tanımlanır.

6 sn ila 10 sn. arasındadır

Yayalar için minimum yeşil süre ise;

$$G_m = 5 + (D/1.4) \quad (3.14)$$

olarak tanımlanır.

G_m = minimum yeşil süre

D = kaldırım taşından kaldırım taşına yürünecek yol genişliği

3.3.3.2.Kavşak Özellikleri

Her akım için gelişleri karşılayan yeterli kapasiteye kavşak kapasite koşulu adı verilir. Kavşak doygunluk derecesi (X), her bir akım için ayrı ayrı akım oranının yeşil süre oranına bölümünden elde edilir. Bu noktada önemli olan kritik akımların akım oranları ve yeşil süre oranlarıdır. Kritik akımların yeşil süre oranları toplamı kavşağın yeşil süre oranı (U) olarak, kritik akımların akım oranları toplamı ise kavşağın akım oranı (Y) olarak tanımlanır.

3.3.3.3.Pratik doygunluk derecesi

Uygulamada akım hacmi kapasiteden küçük olması istenir, yani doygunluk derecesinin 1.0' den az olması gerekir ve bu pratik doygunluk derecesi olarak kabul edilir. Akım için x_p , kavşak için X_p olarak gösterilir. Eğer akımlar arasında öncelikli veya az öncelikli akımlar varsa akımlar için farklı pratik doygunluk dereceleri alınabilir. Ancak çok özel durumlar dışında 0,9 olarak alınır.

3.3.4. Doygun Akımların Tahmini

Akıma ayrılmış her bir şerit için Tablo-3.2'den temel bir doygun akım değeri seçilmesi gerekmektedir. Değişik faktörler kullanılarak, taşıt / saat boyutunda bir doygun akım hesaplanmalıdır. Toplam akım doygunluğu eğer bir akım birden fazla şeritten oluşuyorsa, bu doygun akımlar toplanarak akımın doygun akım değerinin bulunması gerekmektedir.

3.3.4.1.Temel Doygun Akım Tablosu

Tablo 3.2: Temel Doygun Akımlar (Birim otomobil / Saat)

Çevre Sınıfı	Şerit Türü		
	1	2	3
A	1850	1810	1700
B	1700	1670	1570
C	1580	1550	1270

Sınıf A: Taşıtların hareketi serbest, görüş iyi, kavşakta indirme bindime yok ve yaya çok az

Sınıf B: Yeterli kavşak geometrisi, çok fazla olmayan yaya, indirme ve bindirmeler var, yerleşim yerlerine giren ve çıkan taşıtlar

Sınıf C: Çok fazla yaya, zayıf görüş, duran taşıtların etkisi, yüksek park yapma oranı

Şerit Tipleri:

Tür 1: Doğru şerit, sadece doğru giden trafiği taşıyan şerit

Tür 2: Her türden dönüş trafiği taşıyan şerit

Tür 3: Kısıtlı dönüş şeridi, 2 no'lu şerit gibi fakat dönüş yarıçapı küçük ve yaya geçişleri var.

3.3.4.2.Düzeltilme Katsayıları

Yukarıdaki tablodan alınan değerler aşağıdaki katsayılarla düzeltilir.

$$s = (f_w * f_g / f_c) * s_b \quad (3.15)$$

s = düzeltilmiş doymuş akım (taşıt/sa)

s_b = temel doymuş akım (birim otomobil / saat)

f_w = şerit genişlik katsayısı

f_g = eğim katsayısı

f_c = trafik kompozisyon katsayısı

Tablo 3.3: Şerit Genişliği Düzeltilme Katsayısı Tablosu

F_w	W
1.0	3.00 – 3.70 m. için,
$0.55 + 0.14 * w$	< 3.00 m. için,
$0.83 + 0.05 * w$	> 3.70 m. için

w = şerit genişliği (m.)

$$\text{Eğim düzeltme katsayısı: } f_g = 1 \pm 0.5 * (G_r / 100) \quad (3.16)$$

G_r = yüzde olarak eğim

Trafik kompozisyonu:

f_c : Trafik kompozisyonu düzeltme faktörü

$$f_c = (\sum (e_i * q_i)) / q \quad (3.17)$$

q_i = dönüştürülecek taşıt türü için trafik hacmi

q = toplam hacim

e_i = i tipi için doğru giden taşıt eşdeğeri

Tablo 3.4: Trafik Kompozisyonu Katsayısı Tablosu

		Çatışmadan Dönen	Çatışan Dönen
	Doğru	Normal – Kısıtlı	
Otomobil	1	1 – 1.25	e_0
Ağır Taşıt	2	2 – 2.25	$e_0 + 2$

Normal = Dönüş yarıçapları yeterince büyük ve yaya geçişleri olmayan dönüşler

Kısıtlı = Dönüş yarıçapları daha düşük ve yaya geçişleri olan geçişler

Çatışan dönüşler = Sinyal zamanlamasına ve çatışılan akım karakteristiğine göre değişir.

3.3.4.3.Çatışan Dönüşler

Çatışan dönüşler aşağıdaki şekillerde tanımlanır.

- Filtre sola dönüşler (karşıdan gelen araçlarla çatışan)
- Yayalara yol vererek tek yönlü bir yoldan sağa veya sola dönüşler
- Filtre sağa dönüşler
- Kırmızıda sağa dönüş kuralı
- Çatışan dönüş durumları;

Ortak şerit kullanımı

Eğer çatışan ve dönen taşıtlar diğer taşıtlar ile aynı şeridi paylaşıyorsa,

$$e_0 = \frac{0.5 * g}{s_u * g_u + n_f} \quad (3.18)$$

g = çatışan akım için yeşil süre,

s_u = karşılaşılan akımın doymun akım değeri (taşıt/sa),

g_u = karşılaşılan akımda doymun olmadan geçen yeşil süre,

n_f = paylaşılan şeritten yeşilden sonra geçen araç sayısı

3.3.4.4.Şerit Kullanımı

Kavşağa gelen yolların şeritlerinin bir kısmı tam kapasitede kullanılmayabilir. Yetersiz kullanılan bu şeritler kavşak zamanlamasını ve kapasiteyi etkilediğinden, yetersiz kullanıma durumu doğru olarak saptanmalı ve analizler ona göre yapılmalıdır. Sürücülerin şerit seçiminden ve kavşak özelliklerinden ortaya çıkan yetersiz şerit kullanımı örnekleri aşağıda gösterilmektedir.

$\rho_i = x_i / x$, i 'nci şerit kullanımı oranı,

x_i = i 'nci şeridin doymunluk derecesi,

x = yaklaşım kolundaki kritik akımın doymunluk derecesi

İstenen tüm şeritlerin kullanımının eşit olmasıdır. Yani, $x_1=x_2=.....=x_n=x$ ve $\rho_1=\rho_2=.....=\rho_n=1.0$. Burada n şerit sayısıdır. Doymunluk derecesi akımın kapasiteye oranıdır ve böylece şerit kullanımı,

$$q_1/Q_1=q_2/Q_2=q_3/Q_3=...=q_n/Q_n=(q_1+q_2+q_3+...+q_n) / (Q_1+Q_2+Q_3+...+Q_n)= q/Q=x \quad (3.19)$$

Bu hallerde tüm şeritlerdeki doymunluk derecesi x olur ve tek bir akım olarak tanımlanır. Eğer etkin yeşil sürenin tüm şeritler için eşit olduğu kabul edilirse, şerit kullanım oranı:

$$\rho_i = y_i / y \quad (3.20)$$

olarak,

y_i = i 'nci şerit için kullanım oranı

y = kritik şerit için kullanım oranı.

Eşit kullanıma sahip şeritler için $y_1=y_2=.....= y_n= y$ olup;

$$q_1/s_1=q_2/s_2=q_3/s_3=.....=q_n/s_n=(q_1+q_2+q_3+.....+q_n) / (s_1+s_2+s_3+.....+s_n)= q/s = y \quad (3.21)$$

Bu eşitliklere dayanılarak,

$$q_i = x * Q_i \text{ ve } q_i = y * s_i \quad (3.21a)$$

bulunabilir. Burada;

q_i = akım,

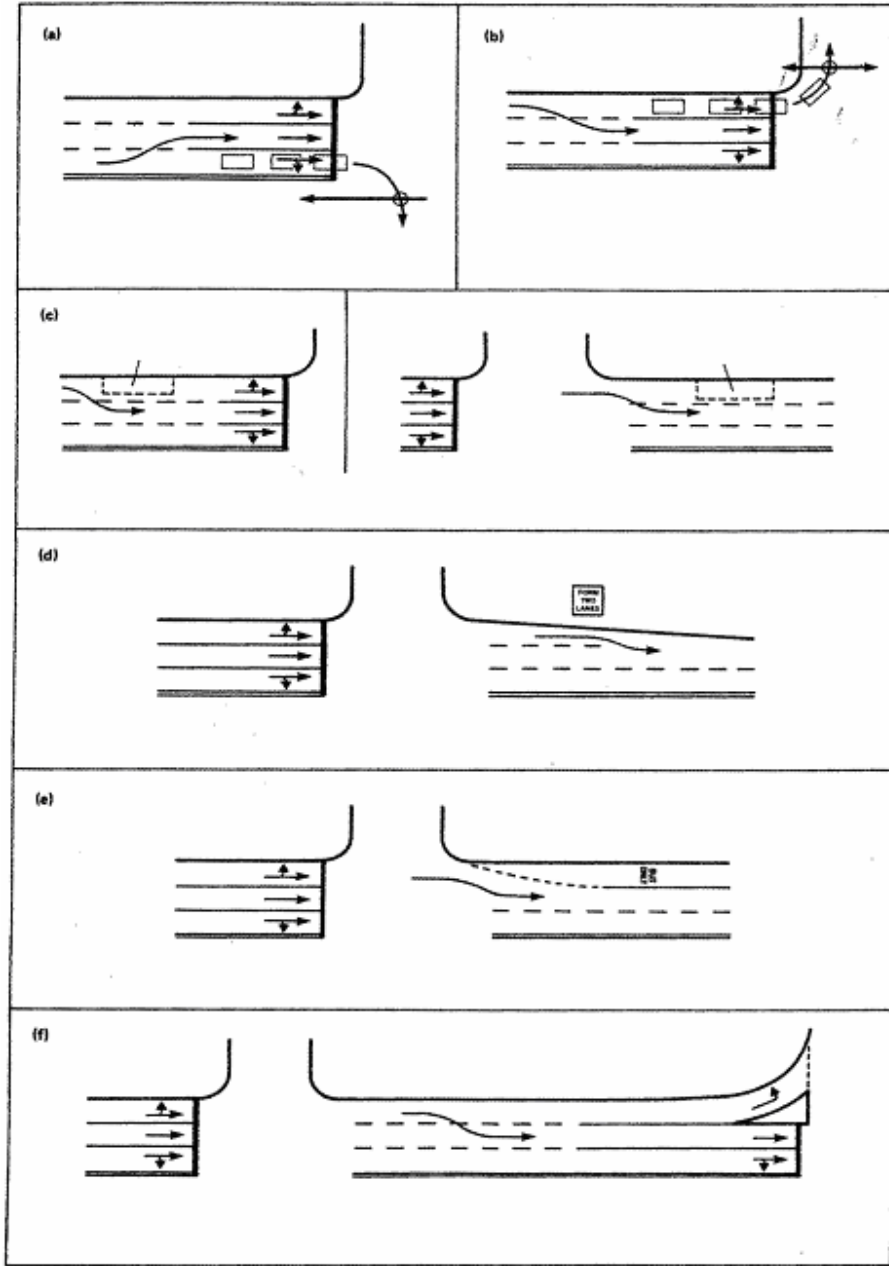
s_i = doygun akım

Q_i = kapasite

x = akım doygunluk derecesi

y = akım oranıdır.

Şekil 3.5’de yetersiz şerit kullanımına örnekler bulunmaktadır.



Şekil 3.5 : Yetersiz Şerit Kullanım Örnekleri [1]

3.3.5. Kritik Akımların Hesaplanması

Eğer her bir kritik akım için yeterli süre tayin edilmişse o kavşaktaki tüm akımlar için yeterli süre tayin edilmiş anlamına gelir. Burada ayrılmış olan süre (t) olarak ele alınmaktadır.

$$t = g + l = G + I \quad (3.22)$$

Burada t akım süresi olup, kritik akım tanımlanmasında önemli bir parametredir. Aynı zamanda

$$t = C * u + l \quad (3.22a)$$

olarak ele alınabilir. Hesaplara başlanırken C = 100 saniye olarak ve $t = 100 * u + l$ alınır. Bilindiği gibi l = kayıp zaman, u = yeşil süre oranıdır. İstenen yeşil süre oranı maksimum kabul edilen pratik doygunluk derecesini karşılamak üzere

$$u = y / x_p \quad (3.22b)$$

şeklinde hesaplanır. Burada y=akım oranı olarak tanımlanır ve $x_p = 0.90$ (pratik doygunluk derecesi) olarak alınması uygundur.

$$t \geq g_m + l \quad (3.22c)$$

$$g_m + l = G_m + I \quad (3.22d)$$

bağıntısından g_m değeri hesaplanabilir. G_m = minimum yeşil süre (taşıtlar ve yayalar için ayrı ayrı hesaplanır). Belirlenen t süresi minimum gerekli olan süreden büyük olmalıdır. Değilse bu değer direkt olarak ($G_m + I$) değerine eşit olarak kabul edilir.

Kritik Akımın Tanımlanması:

Tekrarlı olmayan akımlar için aynı fazda geçen yeşil alan akımlardan en fazla akım zamanı (t) gereken akım o fazın kritik akımıdır. Öncelikle daha önce belirtildiği gibi fazdaki tüm akımlar için pratik doygunluk dereceleri eşit olması istenir. Bu durum göz önüne alınarak ve kayıp zamanlar tüm akımlar için aynı ise herhangi bir fazdaki akım oranı büyük olan akım o fazın kritik akımıdır. Buna ek olarak her bir akım için doygun akımlarda birbirlerine eşit ise, bu durumda geliş akımı büyük olan kritik akımdır.

Tekrarlı akımlarda ise, durum daha farklıdır. Tekrarlı akımın için gerekli (t) akım süresi ilgili fazlardaki tekrarlı olmayan akımların akım sürelerinden küçük ise tekrarlı olmayan akım kritik akımdır. Ancak tersi durumda tekrarlı akım kritiktir. Tekrarlı akımların t değeri ile ilgili fazların tekrarlı olmayan akımlarının t değerlerinin toplamının karşılaştırılması suretiyle işlem yapılır. Tekrarlı akımın t değeri büyükse o kritiktir. Aksi halde öteki akımlar kritiktir.

Kritik akım tanımı istenen akım zamanı (t) değerlerinin karşılaştırılmasıdır. Tüm akımlar tekrarlı değilse; yani geçiş hakkı sadece tek bir fazda alınıyorsa, kritik akımların tanımlanması kolaydır. Ancak tekrarlı akım varsa durum biraz daha karışıktır.

3.3.6. Kavşak İşletim Sistemlerinin Etkinliğinin Belirlenmesi

Kritik akım tanımlandıktan sonra, devre süre hesabında kullanılacak ve kavşağın işletim etkinliğini gösteren özelliklerin belirlenmesi ve hesaplanması gerekir. Gecikme ve duruş sayısı iki temel işletim özellikleri olup yakıt harcaması, kirlilik ve maliyetler bunların türevleridir.

3.3.6.1. Taşkın Kuyruk

Yeşil ışık sonunda kuyruğun tamamen boşalmadığı durumlarda aşırı kuyruk kavramı ortaya çıkar. Aşırı kuyruk doygun üstü durumlarda görülür ve birkaç devre devam eder.

$x > x_0$ için;

$$N_0 = \frac{Q * T_f}{4} \left(z + \sqrt{z^2 + \frac{12(x - x_0)}{Q * T_f}} \right) \quad (3.23)$$

değerini alır. x 'in diğer tüm değerlerinde ise; N_0 , sıfır değerini alır.

N_0 = Taşıt cinsinden ortalama kuyruk uzunluğu (birden fazla şerit varsa, tüm şeritlerdeki taşıt sayısı toplamı)

Q = devre kapasitesi (taşıt / saat)

T_f = ortalama akışın devam ettiği zaman aralığı – akım süresi (sa)

$Q * T_f$ = T_f süresince geçebilecek maksimum taşıt sayısı

$x = q / Q$ doygunluk derecesi

$z = x - 1$ (doygunluk derecesi, 1'den küçük olduğu zamanlarda negatif değere sahiptir)

$x_0 = 0.67 + (s * g / 600)$ olarak hesaplanan doygunluk derecesi. Kuyruğun yaklaşık olarak 0 olduğu doygunluk derecesi.

3.3.6.2. Gecikme

Sabit zamanlı ve izole bir kavşaktaki gecikme;

$$D = \frac{q * c * (1-u)^2}{2 * (1-y)} + N_0 * x \quad (3.24)$$

D = Toplam gecikme (saat başına taşıt-saat ve sadece taşıt olarak)

q * C = Devre başına gelen ortalama taşıt sayısı (q = taşıt/sn cinsinde akım)

u = yeşil süre oranı (g / C)

y = akım oranı (q / s)

N₀= ortalama aşırı kuyruk (taşıt olarak)

Taşıt başına ortalama gecikme için genel formül: d = D / q (saniye cinsinden)

3.3.6.3. Durma Sayıları

Taşıt başına tam olarak ortalama durma oranı olarak adlandırılır ve h ile gösterilir. İzole sabit zamanlı bir kavşakta, bir akım için durma oranı,

$$h = 0.90 * \left(\frac{(1-u)}{(1-y)} + \frac{N_0}{q * c} \right) \quad (3.25)$$

Bu formüldeki 0.90 bir katsayı olup kısmi durma için kullanılmıştır. Çoklu duruşların etkisi, doygunluk derecesinden büyük durumlar için önemlidir. Birim zamanda taşıt başına tam durma sayısı H,

$$H = q * h \quad (3.25a)$$

3.3.6.4.Kuyruk Uzunluğu

Yeşil ışık başlangıcında, kuyruktaki taşıt sayısı,

$$N = q * r + N_0 \quad (3.26)$$

Kuyruk arkası ise;

$$N_b = (q * r / 1 - y) + N_0 \quad (3.27)$$

N_b = taşıt olarak kuyruk arkası

N = duruş çizgisi kuyruğu

r = c – g etkin kırmızı süre

l = metre olarak taşıt boyu

v = seyir hızı

Genel olarak $l / v = 0,5$ ($l = 7,2$ m. ve $v = 14,4$ m/sn.) olarak düşünülebilir. Daha genel olarak ise; $N_b = 1,10 * N$ 'dir. Yeşil süre başlangıcından bir süre sonra kuyrukta bekleyen taşıt sayısı maksimum olur. Bu da aşağıdaki formülde belirtilmiştir.

$$N_m = N / (1 - y) \quad (3.28)$$

Çok az aşılabilen bir kuyruk uzunluğu olan kritik kuyruk ise;

$$N_c = 2 * N_b \quad (3.29)$$

olarak tarif edilir.

3.3.6.5. Yayalar

Yaya başına ortalama gecikme,

$$d = r^2 / 2 * c \text{ ' dir.} \quad (3.30)$$

Burada r etkin kırmızı süre ve c ise; saniye olarak devre uzunluğudur.

Işıklı kavşakta duran yaya sayısı ise;

$$h = q * r / c \text{ ' dir.} \quad (3.31)$$

Burada q trafik hacmi (yaya / sn) dir.

Yeşil süre başlangıcındaki kuyruk sayısı ise;

$$N = q * r \quad (3.32)$$

Burada ise; q (yaya / sn) , r (sn) ve N (yaya) boyutundadır.

3.3.7. Sinyal Zamanlaması

Sinyal zamanlaması yani devre süresi, yeşil süreler ve eşgüdümlü sinyaller için kaydırmalar işletme koşullarının seçilmesiyle ortaya çıkar. Sinyal zamanlaması için geleneksel yöntemler, kavşak işletim özelliği olarak taşıt gecikmelerini (ayrık kavşaklarda) göz önüne aldığı halde, aslında, taşıt durmaları, kuyruk boyları sinyale

hesaplarında göz önüne alınmalıdır. Duruş değeri, gecikmeleri birleştiren bir faktör olarak, sinyal zamanlama hesabı için kullanılabilir.

Sinyal zamanlaması hesabi için ilk adım, hangi akımların kritik olduğunun saptanmasıdır. Kritik akım tanımlamaları yapıldıktan sonra kavşak kayıp zamanı (L), kavşak akım oranı (Y) ve kavşak yeşil süre oranı (U), kritik akım parametrelerinin (l, y, u) toplamı olarak tarif edilebilir.

3.3.7.1.Devre Süresi

Yaklaşık en uygun devre süresi

$$c_0 = \frac{((1.4 + k) * L + 6)}{1 - Y} \quad (3.33)$$

c_0 = yaklaşık en uygun devre süresi (sn)

L = kavşak kayıp zamanı (sn)

Y = kavşak akım oranı

k = K / 100, duruş değeri parametresi

k = 0,40 minimum yakıt harcaması için

k = 0,20 minimum maliyet için

k = 0 minimum gecikme için

Eğer kritik akım kuyruk uzunluğunun minimum olması isteniyor ise; bu durumda k = - 0,30 olarak alınmalıdır.

Pratik devre süresi

Maksimum doygunluk derecesinin altındaki bütün akımların doygunluk derecelerini sağlayan minimum devre süresi; pratik devre süresi (c_p)olarak tarif edilir ve aşağıdaki bağıntı verilir.

$$c_p = L / (1 - U) \quad (3.34)$$

L = kavşak kayıp zamanı

U = kavşak yeşil süre oranı

3.3.7.2. Yeşil Süreler

Seçilen bir devre süresi için yeşil sürelerin hesabı aşağıdaki adımlar izlenerek bulunabilir.

- Kritik akımların yeşil süreleri hesap edilir.
- Kritik olmayan akımların yeşil süreleri hesap edilir.
- Faz yeşil süreleri hesap edilir.

Genel olarak akım-faz zamanı ilişkisi diğer formüllerin bir temeli durumundadır.

$$\sum (g + 1) = \sum_{k=i}^{k-1} (G + I) \quad (3.35)$$

olarak tarif edilir.

Kritik akımın yeşil süresi

Belirli bir devre süresi c için, toplam elde edilebilir etkin yeşil süre c – L 'dir. L toplam kritik akımların kayıp zamanıdır. Toplam etkin yeşil süre ise; aşağıdaki formüle göre dağıtılmalıdır.

$$g = \left(\frac{(c - L)}{U} \right) * u \quad (3.35a)$$

Burada u ve U akım ve kavşak yeşil süre oranlarıdır. Bu formül hem eşit hem de eşit olmayan doyumluk dereceleri için geçerlidir. Eşit doyumluk dereceleri durumunda (u, U) yerine (y, Y)'nin kullanılması aynı sonucu vermekte bu da Webster ve Miller'in geleneksel yöntemiyle aynı olmaktadır.

Kritik olmayan akımların yeşil süreleri

Tekrarlı akımların olmaması durumunda kritik akım yeşil süre hesabı, diğer akımlar ve faz yeşil süreleri hesabı için yeterli olacaktır. Bu durumda kritik olmayan bir akımın etkin yeşil süresi (aynı fazda geçiş hakkı olan ve yeşil süresi g_c ve kayıp zamanı l_c olan bir akım olarak) aşağıdaki gibidir.

$$g = (g_c + l_c) - l \quad (3.35b)$$

olur. Burada l söz konusu akımın kayıp zamanıdır.

Eğer tekrarlı olmayan akımlar kritik ise; kritik olmayan akımın yeşil süresi;

$$g = \left(\sum g_c - \sum l_c \right) - 1 \quad (3.36e)$$

olarak bulunur. Burada g_c ve l_c tekrarlı olmayan kritik akımların yeşil süreleri ve kayıp zamanları, 1 ise; tekrarlı akım kayıp zamanıdır.

Faz yeşil süreleri

Bir faz için görülen yeşil süre;

$$G = (g + 1) - I \text{ 'dir.} \quad (3.37)$$

Burada $(g + 1)$ sadece fazda geçiş hakkı olan bir akıma ayrılan zaman ve I bu fazın yeşiller arası süresidir.

Eğer bir fazda tekrarlı olmayan bir akım yok ise; bu durumda yeşil süreler aşağıdaki genel formülle bulunur.

$$\sum (g + 1) = \sum_{k=i}^{k-1} G + I \quad (3.38)$$

3.4. Yöntem Karşılaştırılması

Kavşak kapasite ve analiz yöntemlerinde amaç kavşaktaki akımlar için en uygun yeşil süreleri belirlemektir. Bunun için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada incelenen Amerikan ve Avustralya Yöntemleri kapasite analiz yöntemlerinden sadece ikisidir. Her iki yöntemde de en uygun yeşil süreleri hesaplamak için öncelikle doyumluk dereceleri hesaplanmaktadır. Ancak bu doyumluk dereceleri birbirlerinden farklıdır. Amerikan yönteminde doyumluk derecesi düzeltilmiş akım hacminin düzeltilmiş doyum akım değerine bölümünden hesaplanırken, Avustralya yönteminde ise; yeşil süre oranının akım oranına bölümünden elde edilir.

Yeni bir faz diyagramı oluşturulacağı ve yeni yeşil süreler belirleneceği zaman Amerikan yöntemi yukarıda tarif edildiği gibi doyumluk derecesini kullanır. Ancak Avustralya yöntemi örnek bir faz planından ve yeşil sürelerinden hareketle yeni yeşil süreleri hesaplar. Yani yeşil süreleri önce tahmin eder ve daha sonra tüm akımlar için doyumluk derecelerinin en uygun olduğu devre süresini bulmaya çalışır. Avustralya yöntemi tekrarlı akımları göz önünde bulundurarak hesaplarını yapmaktadır. Bu durum

Avustralya yönteminin Amerikan yöntemine göre daha uygun sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Buradan hareketle Avustralya yöntemi öneri bir faz planı oluşturulurken daha iyi sonuçlar verir.

4. BENZETİM İLE KAVŞAK ÇÖZÜMLEMESİ

4.1 Benzetim Nedir

Bu çalışmada, söz konusu kapasite analizi, sistem benzetimi yapılarak ele alınacağından, benzetim tekniğini öz olarak anlatmakta yarar görülmüştür. Benzetim gerçek sistemin modelinin tasarlanması ve bu model ile sistemin işletilmesi amacına yönelik olarak sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi sürecidir.

Benzetim, teorik ya da gerçek bir sisteme ait neden sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışlarının izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir.

4.2 Benzetim Kategorileri

Bir sistemin benzetimi, bu sistemi, bilgisayar ortamında temsil ve taklit edebilecek bir model (yapay sistem) meydana getirme işlemidir [5]. Model oluşturarak, yapılması halinde gerçek sistem üzerindeki etkileri tahmin edilebilir. Böylece karşılaşılması muhtemel durumlara karşı hazırlıklı olunabilir.

Başka bir anlatımla benzetim, laboratuvar ortamında modellenmesi ya da gerçekleştirilmesi imkansız (jeolojik olaylar gibi) ve çok pahalı sistemler (hidroelektrik santraller, telefon şebekeleri gibi) veya deneysel etüdü ahlaki ve fiziksel nedenlerle imkansız olan (insan beyni, harp, salgın hastalıkları gibi) problemler üzerinde denemeler yapabilmek için bilgisayarda suni bir laboratuvar meydana getirme sanatıdır.

Benzetim yaklaşımında esas olarak problem iyi analiz edilmelidir. Veriler gerektiği kadar ve doğru veriler olmalıdır.

Benzetim yaklaşımı;

—Sistem iyi incelenmeli ve tanımlamalı,

—Teori veya hipotez kurulmalı,

—Bu teorileri kullanarak sistemdeki değişimlerin etkileri belirlenmeli ve böylece sistemin gelecekteki davranışlarını tahmin etme amacı taşıyan deneysel ve uygulamaya yönelik bir metot oluşturulmalıdır.

Benzetimlerin; tekrarlanan, prosedür, durum ve fiziksel benzetimler, olmak üzere dört kategoride toplanabileceğini belirtmişlerdir [12].

Prosedür benzetimleri bir hedefe ulaşmak için gerekli adımların öğretilmesini amaçlamaktadır. Uçuş benzetim programları, bir aygıtın çalışmasını gösteren programlar ve arıza giderici programlar prosedür benzetimlere örnek gösterilebilir.

Durum benzetimleri değişik durum ve koşullar altında kişilerin veya kurumların davranışları ile ilgilidirler. Bu simülasyonlar daha çok tıpta, hukukta ve iş dünyasında kullanılmaktadırlar.

Tekrarlanan benzetimler, bir nesneyi veya olayı öğretmekte, ancak benzetim parametreleri değiştirilerek olay incelenmekte ve istenen sonuca ulaşmaya kadar farklı parametrelerle işlem tekrarlanmaktadır. Bu benzetimlerde, çok yavaş ya da çok hızlı olayları inceleyebilmek amaçlandığından; zamanın yavaşlatılıp hızlandırılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Genetik ile ilgili biyoloji deneyleri örnek verilebilir.

Fiziksel benzetim programlarında ise bir fiziksel nesne veya olay bilgisayar ekranı üzerinde gösterilir ve kullanıcının inceleyerek öğrenmesi sağlanır. Temel bilimlerde (fotosentez olayı, kimyasal tepkimeler ve elektrik devreleri vb.) ve mühendislikte (elektrik motoru, bilgisayar devreleri vb.) özellikle kullanılmaktadır.

Bu çalışmada benzetim türlerinden fiziksel benzetim kullanılacak olup, trafik benzetimi uygulanacaktır. Trafik benzetimi çeşitli trafik problemlerinin çözümü ve senaryoların test edilmesinde kullanılan bir araçtır [10]. Bununla birlikte araştırmacılara, planlamacılara ve mühendislere trafik ve ulaşım ile ilgili alternatifleri değerlendirmede özel bir yöntem sağlamaktadır.

Sonuçta; modelleme çalışmalarının amacı, mevcut trafik akımlarının olabildiğince gerçeğe yakın modellerini oluşturmak ve sorunlu bölgeler için üretilen projelerin bu modeller sayesinde sahada uygulanmadan önce uygunluğunun araştırılarak gerekli düzeltmeleri yapabilmektir. Bu yöntem hatalı uygulamaların önüne geçerek kaynak israfını önlemektedir.

4.3 Benzetim Programları

4.3.1 Synchro

Işıklı kavşakların kapasitesini analiz etmek oldukça karışık ve zaman alıcı bir süreçtir. Bu analizin elle yapılması durumunda hesaplama hatalarına sıklıkla rastlanmaktadır. Söz konusu analizi, hatalara sebep olmadan benzetim programı ile oluşturmak pek çok

avantaj sağlamaktadır. SYNCHRO Yazılımı, hesaplamalardaki hataları azaltarak analiz sonuçları hesaplar. Aynı zamanda farklı analiz alternatifleriyle hızlı ve tam analiz yapmada zaman kayıplarının önüne geçerek, analiz sonuçlarının belgelenmesinde de profesyonelce sonuçlar ortaya çıkarmaktadır.

SYNCHRO, trafik akımlarının analizinde ve ışıklı kavşakların yeniden düzenlenmesinde programcı veya mühendise yardımcı olan bir kapasite analiz simülasyon programıdır. SYNCHRO, yaptığı hesaplamalarda Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000 – Amerikan Yöntemi) kaynağından faydalanmaktadır. Söz konusu benzetim programı mikro ölçekte çalışan bir benzetim programıdır. Her bir akım için ayrıca gecikme, kuyruk uzunlukları ve kullanılabilir yeşil süre program yardımıyla hesaplanabilmektedir.

SYNCHRO hesaplamalarda sinyal sürelerini eşleyerek analiz yapmakta, böylelikle trafik talebini optimum şekilde karşılayacak sinyal süresi bulmayı amaçlamaktadır. Kavşağın kapasitesini maksimum seviyeye çıkararak, kavşağın hizmet seviyesini en iyiye ulaştırmayı amaçlamaktadır.

Özet olarak, SYNCHRO programı; trafik talebine göre yeşil sürelerini dengeler, tanımlanan faz durumlarına göre kritik v/c oranlarını seçer ve toplar. Bir sonraki aşamada kavşaktaki yolun genişliğine ve ağır vasıtaların yüzdesine göre düzenlemeler yaparak, kavşaktaki her bir yol için gecikme, kuyruk uzunluğu ve hizmet düzeyini, hesaplama ve raporlama yapmaktadır.

4.3.2 Sidra

SIDRA benzetim programı ışıklı kavşakların analizinde ve ışıklı kavşakların yeniden düzenlenmesinde kullanılan bir programdır. Sidra hesaplamalarında Avustralya yöntemini esas alır. Yaptığı analiz sonucunda her kavşaktaki bir akım için, her bir kavşak kolu için ve tüm kavşak için ayrı gecikme değerleri ve hizmet düzeyleri hesaplar. SIDRA, SYNCHRO gibi hesaplamalarında sinyal sürelerini eşleyerek analiz yapmakta, böylelikle trafik talebini optimum şekilde karşılayacak sinyal süresi bulmayı amaçlamaktadır. Kavşağın kapasitesini maksimum seviyeye çıkararak, kavşağın hizmet seviyesini en iyiye ulaştırmayı amaçlamaktadır.

4.4 Benzetimin Avantajları

Benzetim tek başına problemleri çözemez fakat problemi açıkça tanımlar ve sayısal olarak alternatif çözümleri değerlendirir.

Bir sistemdeki sorunların sebeplerini bulmak ve bunları ortadan kaldıracılamak için, sistem içinde birbirinden bağımsız gibi görünen fakat aslında bir bütün olarak çalışan tüm elemanların arasında nasıl bir ilişki olduğunu, sistemin hangi parametrelere duyarlı olduğunu, belirli değişikliklere nasıl bir tepki verdiğini incelemek ve anlamak gerekir.

Benzetim, belirli kararların sonuçlarını ve gidişatlarını tahmin etmekte, gözlemlenen sonuçların sebeplerini belirlemede, yatırım yapmadan önce problem alanlarını belirlemede, değişikliklerin etkilerini ortaya çıkarmada, bütün sistem değişkenlerinin bulunmasını sağlamada, fikirleri değerlendirmede ve verimsizlikleri belirlemede, yeni fikir geliştirmeyi ve yeni düşünceyi teşvik etmede, planların bütünlüğünü ve fizibilitesini test etmede kullanılır.

Bu çalışmada ele alınan problemin benzetim modellemesi için İstanbul'da seçilen kavşak üzerinde sistem analizleri yapılmış ve olay gerçeğe uygun bir şekilde simülasyonda taklit edilmeye çalışılmıştır.

4.5 Benzetilen Kavşak Modelinin Temel Yapısı

Benzetim modellemelerinde, problemin içinde olduğu gerçek sistem, modele olduğu gibi aktarılmaya çalışılırsa da sadeliği sağlamak amacıyla ilgilenilmeyen değişkenler dikkate alınmaz ve bazı varsayımlar yapılır. Bu amaçla, sinyal benzetim modelinde de bazı akılcı varsayımlar yapılmış olup benzetilen modelin işletim kuralları aşağıdaki gibidir:

- Geliştirilen model, sabit zamanlı trafik ışıkları ile kontrol edilen kavşakların benzetimini yapmaktadır. Sistem olarak; ışık devresi ve kavşağın yaklaşım kolu dikkate alınmaktadır.
- Benzetim kırmızı ışığın başlangıcında başlamakta ve bu sırada kavşak kolunda hiçbir taşıtın bulunmadığı varsayılmaktadır. Ancak, istenirse programa, sıfır kuyruk yerine belli bir kuyruk uzunluğu başlangıç bilgisi olarak koyulabilir.
- Kırmızı ışık süresince gecikmeye maruz kalan taşıt kuyruk ya da kuyrukları yeşil ışık yanınca boşalmaya başlamaktadırlar. Gecikme, her taşıt duruş çizgisine varıncaya kadar devam etmektedir. Yeşil ışık sonunda kuyrukta taşıt varsa gecikmeye devam etmektedirler.
- Modelde taşıt cinsi ayrımı yapılmamıştır. Giriş bilgilerinde trafik hacmi, yolcu otomobili cinsinden verilmek suretiyle trafik kompozisyonundaki farklılık ortadan kaldırılmaktadır.

— Kavşakta meydana gelebilecek kazalar ve yayaların taşıt trafiğine olan etkileri dikkate alınmamaktadır.

4.6 Değerlendirme

Benzetim modelleri, kesin ve iddialı sonuçlardan daha çok istatistiksel tahminler sağlar, alternatiflerin en uygununu bulmaktan çok alternatifleri geliştirmeğe ve karşılaştırmaya ağırlık verir.

Benzetimde sisteme genellikle mikro düzeyde bir yaklaşım yapılır, sistemdeki her bir eleman ve bireysel davranışları tek tek ele alınır ve değişken olarak matematiksel modellerde olduğu gibi ortalamalar değil; her bir elemana ait rastgele gerçek değişkenler kullanılır.

5. SAHA ÇALIŞMASI VE UYGULAMALAR

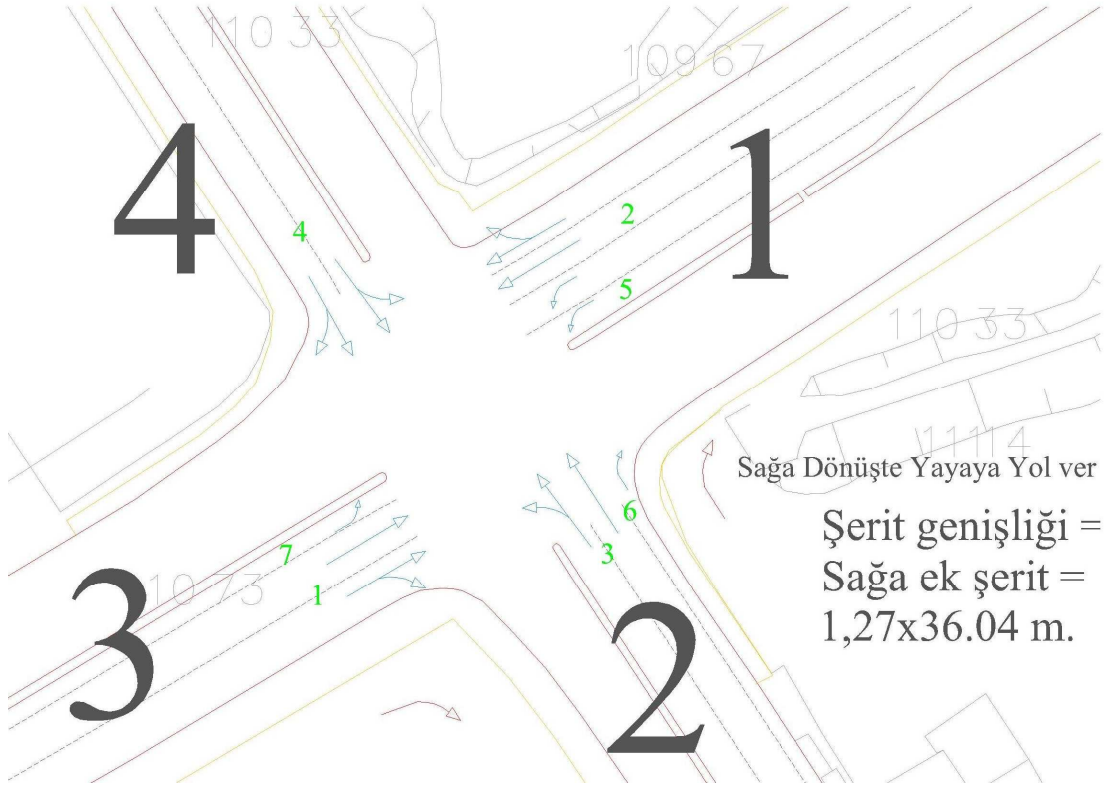
5.1 Yöntem ve Araştırma

Çalışmanın amacı mevcut bir kavşağın kapasitesini 2 farklı yöntemle belirlemek ve karşılaştırmak, ardından sinama benzetimi yaparak en uygun devre süresini belirlemek ve bu devre süresine göre gecikmeleri hesaplamaktır. Bu çalışmada öncelikle kavşağın mevcut durumu Amerikan ve Avustralya yöntemleriyle belirlenmiş, ardından bu yöntemler kullanan Synchro (Amerikan Yöntemi) ve Sidra (Avustralya Yöntemi) ile sinama benzetimi yapılmıştır.

5.2 Analitik Yaklaşım

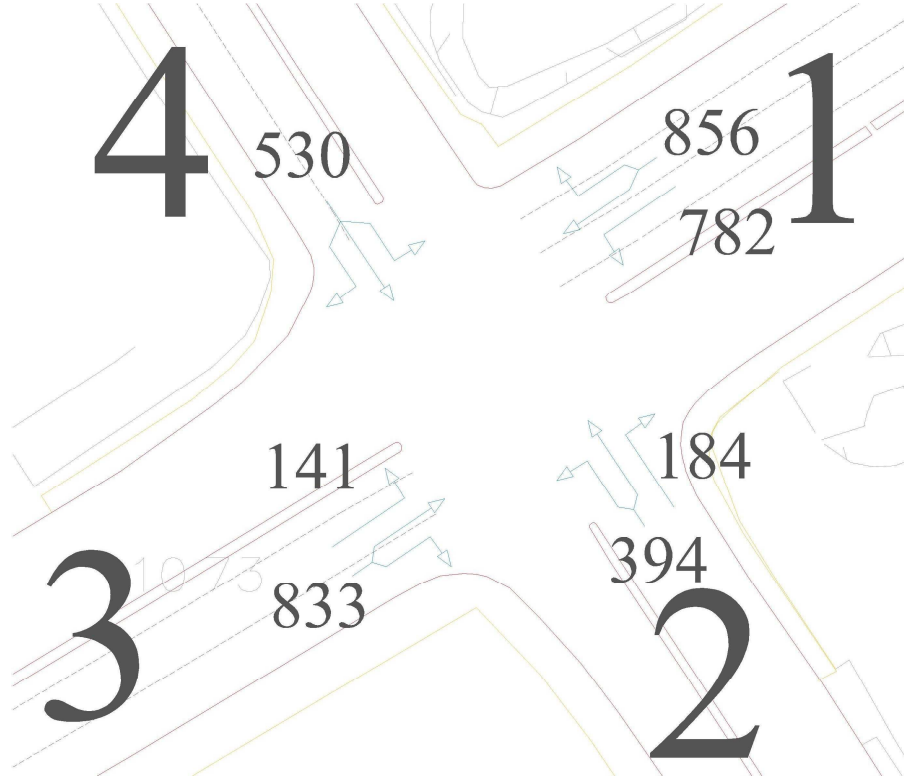
5.2.1 Veri Toplama ve Hazırlama

Çalışmanın yapıldığı kavşağın genel krokisi Şekil 5.1’te görölmektedir. Şekilden de göröldüğü üzere incelenen kavşak 4 kollu bir kavşaktır. Bu kavşakta mevcut durumda 7 adet taşıt akımı ve 3 adet yaya akımı bulunmaktadır. 1 numaralı kolda 2 ve 5 akımları, 2 numaralı kolda 3 ve 6 akımları, 3 numaralı kolda 1 ve 7 akımları, 4 numaralı kolda ise; 4 numaralı akım bulunmaktadır.



Şekil 5.1: İncelenen Kavşak ve Kol-Akım Numaraları

3 farklı günde kamera çekimi yapıldı. Bu kamera çekimleri DVD formatında ekte bulunmaktadır. Her gün ikişer saatten toplam altı saat çekim yapıldı. Bu çekimlere göre her 15 dakikalık zaman dilimi için taşıtlar otomobil ve ağır taşıtlar ayrı ayrı sayıldı. Tüm trafik hacimleri EKLERDE bulunmaktadır. Hesaplarda kullanılan sayım değerleri gözlemlenen saatler arasında en yoğun olan 19.03.2008 tarihindeki 11:00-12:00 arasındaki sayım değeri kullanıldı. Bu sayım değerlerine göre her bir akım için sayım değerleri aşağıdaki şekilde görülmektedir.



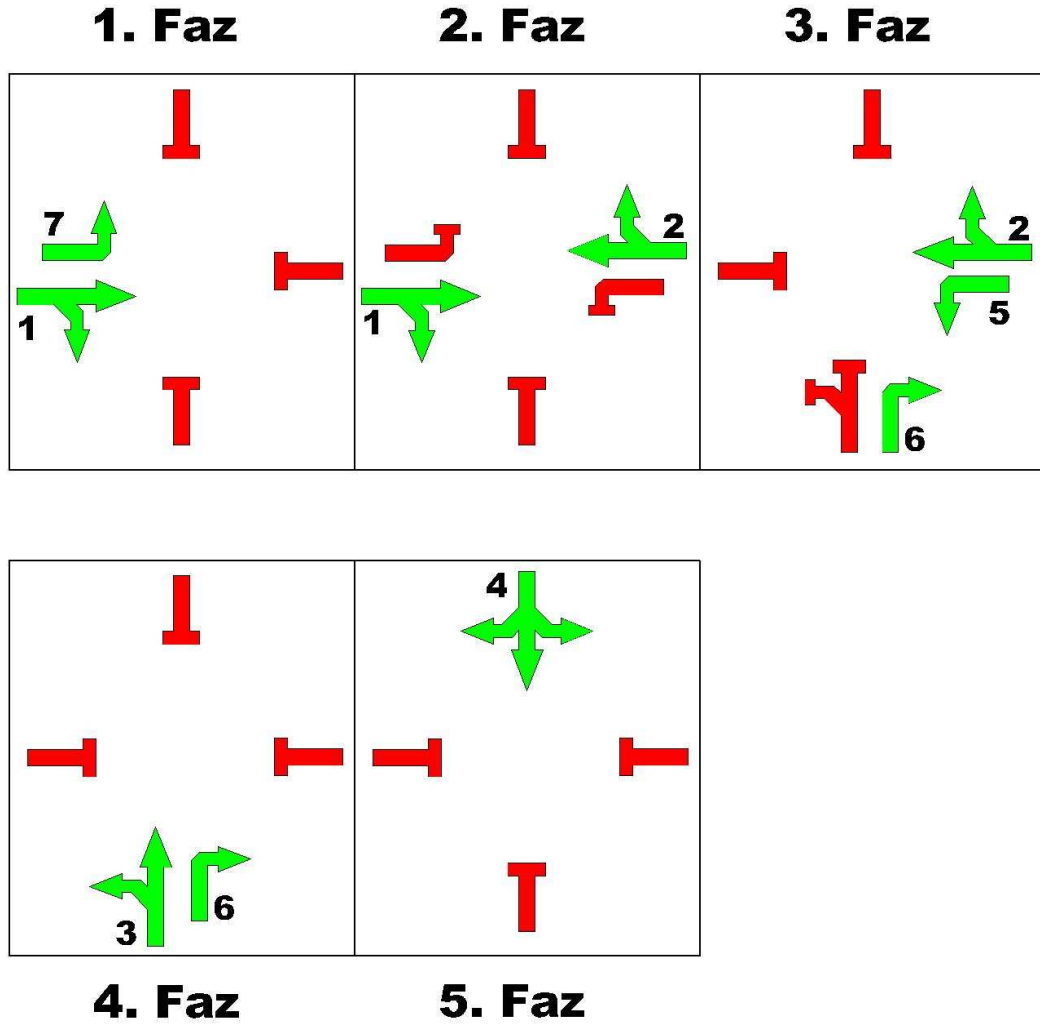
Şekil 5.2 : İncelenen Kavşak Ve Taşıt Sayım Değerleri

Tablo 5.1’de her bir akım için gözlemlenen yeşil, sarı ve hep kırmızı sürelerle beraber devre süresi bulunmaktadır.

Tablo 5.1: Mevcut Durumdaki Akım Yeşil Süreleri

AKIM	YEŞİL (g)	SARI	HEP KIRMIZI	DEVRE (C)
1	36	2	1	123
2	63	2	1	123
3	15	2	1	123
4	20	2	1	123
5	40	2	1	123
6	58	2	1	123
7	13	2	1	123

Şekil 5.3’te mevcut durumda arazide gözlemlenen sinyal faz planı görülmektedir.



Şekil 5.3 : İncelenen Kavşağın Mevcut Haldeki Sinyal Faz Planı

Arazi çalışmaları doğrultusunda sahadan alınan taşıt başına toplam ortalama gecikme değerleri Tablo 5.1’de görülmektedir. Bu tabloda ilk sütun gözlemlenen araç sayılarını göstermektedir. Diğer sütunlarda ise; gözlemlenen toplam gecikme değerleri bulunmaktadır. Örneğin 1 numaralı koldaki 2 numaralı akımda toplam 15 araç gözlemlenmiş ve bunlara karşılık gelen gecikme değerleri ilgili satırda belirtilmiştir. Buna benzer olarak 4 numaralı kolda toplam 30 araç gözlemlenmiş ve gözlemlenen her bir araç için gecikme değerleri ilgili sütunda belirtilmiştir.

Tablo 5.2: Gözlemlenen Toplam Gecikmeler

Gözlemlenen Toplam Gecikmeler (s)							
Kol Numarası	1		2		3		4
Akım Numarası	2	5	3	6	1	7	4
1	60	30	49	53	84	63	70
2	57	11	90	104	60	29	44
3	65	59	89	89	67	53	81
4	11	88	81	91	97	98	99
5	51	33	67	100	70	95	107
6	69	45	106	61	82	81	104
7	46	81	113	78	32	87	144
8	33	39	111	56	67	90	131
9	43	71	109	37	66	110	87
10	8	61	54	71	88	89	91
11	46	110	113	118	53	107	70
12	42	79	26	108	21	78	63
13	57	85	114	50	84	93	68
14	29	100	108	55	79	17	77
15	51	65	93	102	16	90	137
16				53			77
17				33			102
18							162
19							105
20							105
21							71
22							76
23							78
24							155
25							95
26							37
27							19
28							69
29							84
30							71
Ortalama	45	64	88	74	64	79	89

5.2.2 Gözlem ve Sonuçları

İncelenen kavşak 4 kollu ışıklı bir kavşaktır. Kavşaktaki gözlemler kameralar yardımıyla yapılmış ve daha sonra bilgisayar yardımıyla cd ortamına aktarılmıştır. Bu cd'ler izlenerek hem sayımlar yapılmış, hem de gecikmeler gözlemlenmiştir. Bu ışıklı kavşakta gözlemler 3 farklı günde ikişer saatten toplam 6 saat yapılmıştır. Bu 6 saat

incelemeden sonra en yoğun 1 saat hesaplarda kullanılmak üzere ele alınmıştır. Toplam 7 farklı trafik akımı kavşakta mevcut durumda bulunmaktadır. Bu akımların her biri için ayrı ayrı taşıt sayımları yapılmıştır. Yani her bir koldan bir diğerine giden taşıt sayıları ve türleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Çekimler kavşaktaki her bir kolu görecekt ve her bir koldaki kuyruklanmayı görecekt şekilde 6 kamerayla yapılmıştır. Gecikmelerin gözlemlenmesinde ise şu yöntem kullanılmıştır. İzlenen kolda araç kavşağa geldiği anda kronometre çalıştırılmış ve kavşağı tamamen terk edince durdurulmuştur. Bu ölçüm tüm akımlar için ve yaklaşık olarak her akım için 15-30 araç baz alınarak yapılmıştır.

5.2.3 Mevcut Durum Analizi

5.2.3.1 Amerikan Yöntemi ile Hesaplama

Zirve Saat Faktörü (PHF)

Sayımlar 15 dakikalık dilimler halinde her gün 2 saatten toplam 6 saat yapıldı. 19.03.2008 tarihindeki 11:00-12:00 saatleri arasındaki sayımı kullanıldı. 19.03.2008 tarihindeki 2 saatlik sayımlardan PHF hesaplandı. Bu değer her bir kol için toplam sayım değerinin, en büyük değerin 15 dakikalık dilim sayısı ile çarpılmasıyla elde edilen sayıya bölünmesiyle hesaplandı. Aşağıdaki gibi hesaplandı.

Tablo 5.3: Zirve Saat Faktörü Tablosu

Kol numarası	1	2	3	4
2 saatlik toplam araç sayısı	3191	1179	2001	1036
15 dakikalık zaman dilimlerinden en fazla geçen araç sayısı*8	3504	1368	2264	1176
PHF	0.911	0.862	0.884	0.881

$$PHF1 = 0.910, \quad PHF2 = 0.862, \quad PHF3 = 0.884, \quad PHF4 = 0.881$$

Düzeltilmiş sayım değeri:

$$v_p = \frac{V}{PHF} \quad (5.1)$$

1 kolunda;

$$v_{p_5} = \frac{782}{0.91} = 859 \text{ taşıt/sa.} \quad (5.2)$$

$$\left(v_{p_{2\text{doğru}}} = \frac{780}{0.91} = \right) 857 \quad + \quad \left(v_{p_{2\text{sağ}}} = \frac{76}{0.91} = \right) 84 = 941 \text{ taşıt/sa.} \quad (5.2a)$$

2 kolunda;

$$v_{p_6} = 214 \text{ taşıt/sa.} \quad v_{p_3} = 457 \quad (5.3)$$

3 kolunda;

$$v_{p_1} = 942 \text{ taşıt/sa} \quad v_{p_7} = 160 \text{ taşıt/sa} \quad (5.4)$$

4 kolunda;

$$v_{p_4} = 602 \text{ taşıt / sa} \quad (5.5)$$

Sağa ve sola dönüş oranları (Düzeltilmemiş sayım değerleri üzerinden yapılır.)

$$P_{LT_1} = \frac{782}{76 + 780 + 782} = 0.477 \quad (5.6a)$$

$$P_{RT_1} = \frac{76}{76 + 780 + 782} = 0.046 \quad (5.6b)$$

$$P_{RT_2} = 0.318 \quad P_{LT_2} = 0.237 \quad P_{RT_3} = 0.065 \quad (5.6c)$$

$$P_{LT_3} = 0.146 \quad P_{RT_4} = 0.181 \quad P_{LT_4} = 0.360 \quad (5.6d)$$

Şerit genişliği düzeltme faktörü:

$$F_w = 1 + \frac{(w - 3.6)}{9} \quad (5.7)$$

$$F_{w_{1D}} = 1 + \frac{(3.42 - 3.6)}{9} = 0.98 \quad (5.7a)$$

$$F_{w_{1s}} = 1 + \frac{(2.5 - 3.6)}{9} = 0.877 \quad (5.7b)$$

1 nolu kolda $\Rightarrow l = 3.42$ sola $= 2.5$

2 nolu kolda $\Rightarrow l = 3.3 \Rightarrow F_w = 0.966$, sağa $= 2.5 \Rightarrow F_w = 0.877$

3 nolu kolda $\Rightarrow l = 4 \Rightarrow F_w = 1.044$, sola $= 3.14 \Rightarrow F_w = 0.948$

4 nolu kolda $\Rightarrow l = 3.6 \Rightarrow F_w = 1$

Ağır taşıt düzeltme faktörü:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV(E_T - 1)}, \quad E_T = 2 \text{ pc/hv} \quad (5.8)$$

$$f_{HV_{1D}} = \frac{100}{100 + 5(2 - 1)} = 0.952 \quad (5.8a)$$

$$f_{HV_{1S}} = \frac{100}{100 + 12(2 - 1)} = 0.892 \quad (5.8b)$$

1 nolu kolda $\Rightarrow \%HV = 5$, sola $\%HV = 12$

2 nolu kolda $\Rightarrow \%HV = 12 \Rightarrow F_{HV} = 0.892$, sağa $\%HV = 5 \Rightarrow F_{HV} = 0.952$

3 nolu kolda $\Rightarrow \%HV = 12 \Rightarrow F_{HV} = 0.892$, sola $\%HV = 1 \Rightarrow F_{HV} = 0.990$

4 nolu kolda $\Rightarrow \%HV = 5 \Rightarrow F_{HV} = 0.952$

Eğim düzeltme faktörü:

$$f_g = 1 - \frac{\%G}{200} \quad (5.9)$$

$$f_{g_4} = 1 - \frac{0.011}{200} = 0.999 \quad (5.9a)$$

1, 2 ve 3 nolu kollarda eğim 0'a yakındır.

$$f_{g_1} = f_{g_2} = f_{g_3} = 1.000 \quad (5.9b)$$

Parklanma faktörü:

İncelenen kavşakta parklanma sorunu bulunmamaktadır.

$$f_{RT} = 1.0 - (0.15)P_{RT} \quad (5.10)$$

Otobüs etkisi:

İncelenen kavşakta otobüs duraklamalarından kaynaklanan sorun bulunmamaktadır.

$$f_{bb_1} = f_{bb_2} = f_{bb_3} = f_{bb_4} = 1.000 \quad (5.11)$$

Alan faktörü:

İncelenen bölge şehir merkezinde olduğundan tüm akımlar için alan faktörü = 0.9 alınmıştır.

$$f_{a_1} = f_{a_2} = f_{a_3} = f_{a_4} = 1.000 \quad (5.12)$$

Şerit düzeltme faktörü:

Ek- - şerit düzeltme'den

$$1 \text{ nolu kolda } \Rightarrow f_{LU_{1D}} = 0.952, \text{ sola } f_{LU_{1S}} = 0.971 \quad (5.13a)$$

$$2 \text{ nolu kolda } \Rightarrow f_{LU_{2D}} = 0.952, \text{ sağa } f_{LU_{2S}} = 1.000 \quad (5.13b)$$

$$3 \text{ nolu kolda } \Rightarrow f_{LU_{3D}} = 0.952, \text{ sola } f_{LU_{3S}} = 1.000 \quad (5.13c)$$

$$4 \text{ nolu kolda } \Rightarrow f_{LU_4} = 0.952 \quad (5.13d)$$

Sola dönüş düzeltme faktörü:

$$f_{LT} = \frac{1}{1 + 0.05P_{LT}} \quad (5.14)$$

P_{LT} = sola dönüşlerin oranı

$$1 \text{ nolu kolda sola dönüş ek şeritle sağlandığından } f_{LT} = 0.950 \quad (5.14a)$$

$$2 \text{ nolu kolda } \Rightarrow \text{ sola } = 0.348 \Rightarrow f_{LT} = 0.983 \quad (5.14b)$$

$$3 \text{ nolu kolda sola dönüş ek şeritle sağlandığından } f_{LT} = 0.950 \quad (5.14c)$$

$$4 \text{ nolu kolda } \Rightarrow \text{ sola } = 0.360 \Rightarrow f_{LT} = 0.982 \quad (5.14d)$$

Sağa dönüş düzeltme faktörü:

$$f_{RT} = 1.0 - (0.15)P_{RT} \quad (5.15)$$

P_{RT} = sağa dönüşlerin oranı

$$1 \text{ nolu kolda } \Rightarrow \text{ sağa } = 0.089 \Rightarrow f_{RT} = 0.986 \quad (5.15a)$$

$$2 \text{ nolu kolda sağa dönüş ek şeritten sağlandığından } \Rightarrow f_{RT} = 0.850 \quad (5.15b)$$

$$3 \text{ nolu kolda } \Rightarrow \text{ sağa } = 0.076 \Rightarrow f_{RT} = 0.988 \quad (5.15c)$$

$$4 \text{ nolu kolda } \Rightarrow \text{ sağa } = 0.181 \Rightarrow f_{RT} = 0.973 \quad (5.15d)$$

Sağa dönüşlerde yaya ve bisiklet fazlarıyla çakışma durumu:

Bu durum için sayım yapılmadığından düzeltme faktörü kullanılamamaktadır

Doygun akım:

$$s = s_0 * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{lu} * f_{LT} * f_{RT} * f_{L_{pb}} * f_{R_{pb}} \quad (5.16)$$

Her bir akım için ayrı ayrı bulunmalı

1 kolundaki akımlar için;	$s_2 = 2998$ taşıt / sa	$s_5 = 2468$ taşıt / sa
2 kolundaki akımlar için;	$s_3 = 2758$ taşıt / sa	$s_6 = 1214$ taşıt / sa
3 kolundaki akımlar için;	$s_1 = 2996$ taşıt / sa	$s_7 = 1525$ taşıt / sa
4 kolundaki akım için;	$s_4 = 2959$ taşıt / sa	

Kapasite:

$$c_i = s_i \frac{g_i}{C} \quad (5.17)$$

$$c_1 = s_1 \cdot (g_1/C) = 2996 \cdot (36/123) = 877 \text{ taşıt/sa} \quad (5.17a)$$

$$c_2 = 2998 \cdot (63/123) = 1536 \text{ taşıt/sa} \quad (5.17b)$$

$$c_3 = 2758 \cdot (15/123) = 336 \text{ taşıt/sa} \quad (5.17c)$$

$$c_4 = 2959 \cdot (20/123) = 481 \text{ taşıt/sa} \quad (5.17d)$$

$$c_5 = 2468 \cdot (40/123) = 803 \text{ taşıt/sa} \quad (5.17e)$$

$$c_6 = 1214 \cdot (58/123) = 572 \text{ taşıt/sa} \quad (5.17f)$$

$$c_7 = 1525 \cdot (13/123) = 161 \text{ taşıt/sa} \quad (5.17g)$$

Hacim / Kapasite oranı:

$$x_i = \frac{v_i}{c_i} \quad (5.18)$$

$$x_1 = (942/877) = 1.075 \quad (5.18a)$$

$$x_2 = (941/1536) = 0.613 \quad (5.18b)$$

$$x_3 = (457/336) = 1.359 \quad (5.18c)$$

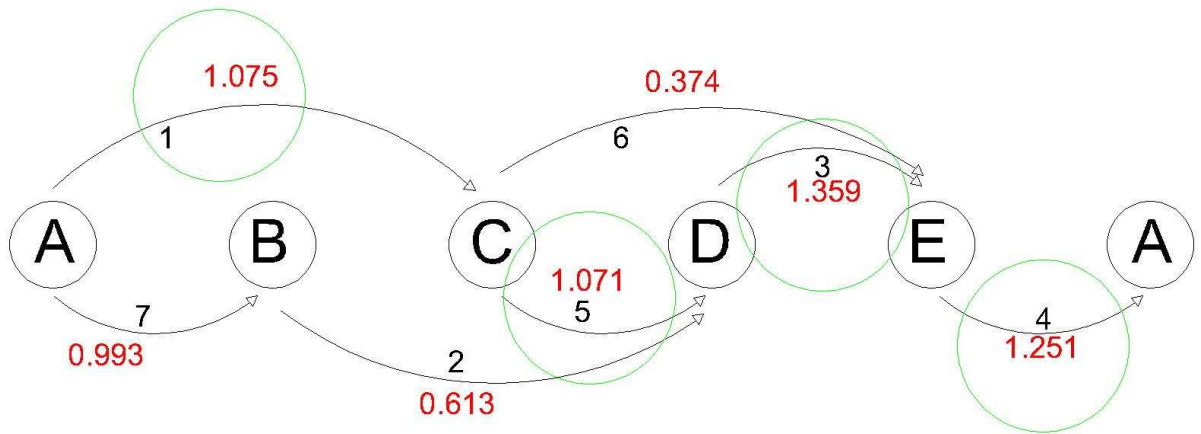
$$x_4 = (602/481) = 1.251 \quad (5.18d)$$

$$x_5 = (859/803) = 1.071 \quad (5.18e)$$

$$x_6 = (214/572) = 0.374 \quad (5.18f)$$

$$x_7 = (160/161) = 0.993 \quad (5.18g)$$

Kritik Akımların Belirlenmesi:



Şekil 5.4 : Kritik Akımların Belirlenmesi

Hacim/kapasite oranlarına göre kritik akımlar 1 (tekrarlı akımı), 5, 3 ve 4 akımlarıdır.

Kritik akımların akım oranları v/s

Direkt olarak düzeltilmiş akım değerleri, doygun akım değerlerine bölünerek bulunur.

Akım 1 için; $942/2996 = 0.315$

Akım 5 için; $859/2468 = 0.348$

Akım 3 için; $457/2758 = 0.166$

Akım 4 için; $602/2959 = 0.203$

Kritik akımların toplamı

$$Y_c = 0.315 + 0.348 + 0.166 + 0.203 = 1.032$$

Kritik akım değeri = X_c

$$X_c = \frac{Y_c * C}{C - L} = \frac{1.032 * 123}{123 - 9} = 1.113 \quad (5.19)$$

Üniform gecikme

$$d_1 = \frac{0.5 * c * \left(1 - \frac{g}{c}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{c}\right]} \quad (5.20)$$

Herbir akım için ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

Akım no:1 için;

$$d_{11} = \frac{0.5 * 123 * \left(1 - \frac{36}{123}\right)^2}{1 - \left[1 * \frac{36}{123}\right]} = \frac{30.768}{0.707} = 43.52 \text{sn.} \quad (5.20a)$$

Aynı şekilde tüm akımlar için yukarıdaki formül ile hesaplırsak;

$$d_{12} = 21.32 \text{ sn.}, \quad d_{13} = 54.00 \text{ sn.}, \quad d_{14} = 51.50 \text{ sn.},$$

$$d_{15} = 41.50 \text{ sn.}, \quad d_{16} = 20.85 \text{ sn.}, \quad d_{17} = 54.95 \text{ sn.}$$

olarak bulunur.

Artan gecikme:

$$d_2 = 900 * T * \left[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8kIx}{cT}} \right] \quad (5.21)$$

Yukarıdaki formül ile üniform olmayan gelişlerden kaynaklanan gecikmelerle ve doygun akım gecikmeler hesaplanır. Bu formülde T analiz edilen zaman süresi (sa), k:

artan gecikme faktörü (sabit zamanlı ışıklı kavşaklar için 0,5 alınır.). I ölçüm düzeltme katsayısı (izole kavşaklarda bu değer 1 alınır.).

Akım no: 1 için;

$$d_{21} = 900 * 0.25 * \left[(1.075 - 1) + \sqrt{(1.075 - 1)^2 + \frac{8 * 0.5 * 1 * 1.075}{877 * 0.25}} \right] = 52.54 \text{sn.} \quad (5.21a)$$

Aynı şekilde tüm akımlar için yukarıdaki formül ile hesaplırsak;

$$d_{22} = 1.83 \text{ sn.}, d_{23} = 179.79 \text{ sn.}, \quad d_{24} = 129.04 \text{ sn.},$$

$$d_{25} = 52.43 \text{ sn.}, \quad d_{26} = 1.87 \text{ sn.}, d_{27} = 69.08 \text{ sn.}$$

olarak bulunur.

Başlangıç kuyruklanma gecikmesi:

Analiz süresi başlangıcındaki başlangıç kuyruğundan dolayı tüm taşıtlara etkiyen gecikme değeridir. Bu değer hesaplarda 0 olarak alınacaktır.

$$d_3 = 0$$

Uniform ilerleme faktörü:

Hesaplamalarda 1 olarak kabul edilmiştir.

Taşıt başına toplam gecikme:

$$d = d_1 (PF) + d_2 + d_3 \quad (5.22)$$

$$d_1 = 43.52 * 1 + 52.54 + 0 = 96.06 \text{ sn / taşıt olmak üzere};$$

$$d_2 = 23.16 \text{ sn/taşıtlar}, \quad d_3 = 233.79 \text{ sn/taşıtlar}, \quad d_4 = 180.54 \text{ sn/taşıtlar},$$

$$d_5 = 93.93 \text{ sn/taşıtlar}, \quad d_6 = 22.72 \text{ sn/taşıtlar}, \quad d_7 = 124.03 \text{ sn/taşıtlar}$$

olarak hesaplanır.

Kavşak kollarının gecikmesi (sn/taşıtlar):

$$d = \frac{\sum(d)(v)}{\sum(v)} \quad (5.23)$$

d = akım gecikme değeri

v = düzeltilmiş akım hacmi

Her bir kol için ayrı ayrı hesaplanır.

1 kolunda;

$$d_1 = \frac{\sum(d)(v)}{\sum(v)} = \frac{93.93 * 859 + 23.16 * 941}{859 + 941} = 56.94 \quad (5.23a)$$

$d_2 = 166.48$ sn/ taşıt, $d_3 = 100.10$ sn / taşıt, $d_4 = 180.54$ sn/taşıt

olarak hesaplanmıştır.

Kavşağın ortalama gecikmesi:

Her bir kolun gecikmeleri esas alınarak yapılır.

$$d = \frac{\sum(d_A)(v_A)}{\sum(v_A)} = 103.76 \text{sn/taşıt} \quad (5.24)$$

5.2.3.2 Avustralya Yöntemi ile Hesaplama

Hesap Adımları

- 1) Kayıp zamanların belirlenmesi
- 2) Etkin yeşil sürelerin belirlenmesi
- 3) Doygun akım hesaplanması
- 4) Akım oranlarının hesaplanması
- 5) Yeşil oranlarının hesaplanması
- 6) Doygunluk derecesinin hesaplanması
- 7) Ortalama kuyruk uzunluğunun hesaplanması
- 8) Toplam gecikmenin hesaplanması
- 9) Araç başına toplam gecikmenin hesaplanması

1) Kayıp zamanların belirlenmesi:

İncelenen ışıklı kavşaktaki görüntülerden faydalanarak belirlediğim başlangıç kayıp değerleri ve son kazançları aşağıdaki gibidir.

Anayol akımları için; Başlangıç kaybı=3.5 s., Son kazancı=1.5 s.

Tali yol akımları için; Başlangıç kaybı=3 s., Son kazancı=2 s.

I = yeşiller arası süre, a = başlangıç aralığı, b = son kazanç

$a = I + \text{başlangıç kaybı},$

$l = \text{kayıp zaman}$

$l = a - b$

Anayol için;

$$a = 3 + 3.5 = 6.5 \text{ s.} \quad (5.25a)$$

$$l_1 = l_7 = l_2 = l_5 = a - b = 6.5 - 1.5 = 5 \text{ s.} \quad (5.25b)$$

Tali yol için;

$$a = 3 + 3 = 6 \text{ s.} \quad (5.26a)$$

$$l_3 = l_4 = l_6 = 4 \text{ s.} \quad (5.26b)$$

2) Etkin yeşil sürelerin belirlenmesi

1 kolunda;

Akım 2; $l_2 = 5 \text{ s.}$ $G_2 = 63 \text{ s.}$ $g_2 = \text{etkin yeşil süre}$

$$G_2 + I = g_2 + l_2$$

$$63 + 3 = g_2 + 5$$

$g_2 = 61 \text{ s.}$ olarak hesaplanır.

Akım 5; $l_5 = 5 \text{ s.}$ $G_5 = 40 \text{ s.}$ $g_5 = 38 \text{ s.}$

2 kolunda;

Akım 3; $l_3 = 4 \text{ s.}$ $G_3 = 15 \text{ s.}$ $g_3 = 14 \text{ s.}$

Akım 6; $l_6 = 4 \text{ s.}$ $G_6 = 58 \text{ s.}$ $g_6 = 57 \text{ s.}$

3 kolunda;

Akım 1; $l_1 = 5$ s. $G_1 = 36$ s. $g_1 = 34$ s.

Akım 7; $l_7 = 5$ s. $G_3 = 13$ s. $g_3 = 11$ s.

4 kolunda;

Akım 4; $l_4 = 4$ s. $G_4 = 20$ s. $g_4 = 19$ s.

olarak hesaplanmıştır.

3) Doygun akım hesaplanması:

Tablo 5.4 : Temel Doygun Akım Tablosu

Çevre Sınıfı	Şerit Türü		
	1	2	3
A	1850	1810	1700
B	1700	1670	1570
C	1580	1550	1270

Temel doymun akım değeri;

1 kolunda;

Akım 2; $s_{b2} = 1670 + 1700 = 3370$ taşıt/sa.

Akım 5; $s_{b5} = 1570 + 1570 = 3140$ taşıt/sa.

2 kolunda;

Akım 3; $s_{b3} = 1670 + 1670 = 3340$ taşıt/sa.

Akım 6; $s_{b5} = 1270$ taşıt/sa.

3 kolunda;

Akım 1; $s_{b1} = 1670 + 1700 = 3370$ taşıt/sa.

Akım 7; $s_{b7} = 1570$ taşıt/sa.

4 kolunda;

Akım 4; $s_{b4} = 1670 + 1670 = 3340$ taşıt/sa.

a. Şerit genişliği düzeltme faktörü

1 kolunda;

Akım 2; $W_2 = 3.42$ m., $f_{w2} = 1.0$

Akım 5; $W_5 = 2.5 \text{ m.}, f_{w5} = 0.55 + 0.14 * 2.5 = 0.9$

2 kolunda;

Akım 3; $W_3 = 3.3 \text{ m.}, f_{w3} = 1.0$

Akım 6; $W_6 = 2.5 \text{ m.}, f_{w6} = 0.55 + 0.14 * 2.5 = 0.9$

3 kolunda;

Akım 1; $W_1 = 4.0 \text{ m.}, f_{w1} = 0.83 + 0.05*4 = 1.03$

Akım 7; $W_7 = 3.14 \text{ m.}, f_{w7} = 1.0$

4 kolunda;

Akım 4; $W_4 = 3.6 \text{ m.}, f_{w2} = 1.0$

b. Eğim faktörü

1, 2 ve 3 kollarında eğim 0'a yakındır.

$$f_{g2} = f_{g5} = f_{g3} = f_{g6} = f_{g1} = f_{g7} = 1.0 \quad (5.27)$$

4 kolunda;

eğim = % 0.011

$$f_g = 1.0 + 0.5 (G_r/100) \text{ veya } f_g = 1.0 - 0.5 (G_r/100)$$

$$f_{g4} = 1.0 + 0.5 (0.011/100) = 1.000055 \quad (5.27a)$$

olarak hesaplanmıştır.

c. Trafik kompozisyonu

Bu değerler Tablo-3.4'ten alınmıştır.

1 kolunda; Akım 2; $f_{c2} = 1.14,$ Akım 5; $f_{c5} = 1.32$

2 kolunda; Akım 3; $f_{c3} = 1.22,$ Akım 6; $f_{c6} = 1.32$

3 kolunda; Akım 1; $f_{c1} = 1.15,$ Akım 7; $f_{c7} = 1.26$

4 kolunda; Akım 4; $f_{c4} = 1.19.$

Düzeltilmiş doymun akım değeri;

$$s = (f_w * f_g / f_c) * s_b \quad (5.28)$$

1 kolunda;

Akım 2; $s_2 = (1.0*1.0 / 1.14) * 3370 = 2956$ birim otomobil / sa. **(5.28a)**

Akım 5; $s_5 = (0.9*1.0 / 1.32) * 3140 = 2141$ bo / sa. **(5.28b)**

2 kolunda;

Akım 3; $s_3 = (1.0*1.0 / 1.22) * 3340 = 2738$ bo / sa. **(5.28c)**

Akım 6; $s_6 = (0.9*1.0 / 1.32) * 1270 = 866$ bo / sa. **(5.28d)**

3 kolunda;

Akım 1; $s_1 = (1.03*1.0 / 1.15) * 3370 = 3018$ bo / sa. **(5.28e)**

Akım 7; $s_7 = (1.0*1.0 / 1.26) * 1570 = 1246$ bo / sa. **(5.28f)**

4 kolunda;

Akım 4; $s_4 = (1.0*1.000055 / 1.19) * 3340 = 2807$ bo / sa. **(5.28g)**

olarak hesaplanmıştır.

4) Akım oranlarının hesaplanması

1 kolunda;

Akım 2; $y_2 = q_2 / s_2 = 856 / 2956 = 0.29$

Akım 5; $y_5 = 782 / 2141 = 0.37$

2 kolunda;

Akım 3; $y_3 = 394 / 2738 = 0.14,$

Akım 6; $y_6 = 184 / 866 = 0.21$

3 kolunda;

Akım 1; $y_1 = 833 / 3018 = 0.28,$

Akım 7; $y_7 = 141 / 1246 = 0.11$

4 kolunda;

Akım 4; $y_4 = 530 / 2807 = 0.19.$

5) Yeşil oranlarının hesaplanması

1 kolunda;

Akım 2; $u_2 = g_2 / c_2 = 61 / 123 = 0.496$

Akım 5; $u_5 = 38 / 123 = 0.309$

2 kolunda;

Akım 3; $u_3 = 14 / 123 = 0.114,$

Akım 6; $u_6 = 57 / 123 = 0.463$

3 kolunda;

Akım 1; $u_1 = 34 / 123 = 0.276,$

Akım 7; $u_7 = 11 / 123 = 0.089$

4 kolunda;

Akım 4; $u_4 = 19 / 123 = 0.154.$

6) Doygunluk derecelerinin hesaplanması

1 kolunda;

Akım 2; $x_2 = y_2 / u_2 = 0.29 / 0.496 = 0.585$

Akım 5; $x_5 = 0.37 / 0.309 = 1.197$

2 kolunda;

Akım 3; $x_3 = 0.14 / 0.114 = 1.228$

Akım 6; $x_6 = 0.21 / 0.463 = 0.456$

3 kolunda;

Akım 1; $x_1 = 0.28 / 0.276 = 1.014$

Akım 7; $x_7 = 0.11 / 0.089 = 1.236$

4 kolunda;

Akım 4; $x_4 = 0.19 / 0.154 = 1.234$

olarak hesaplanmıştır.

7) Ortalama kuyruk uzunluğunun bulunması

$$N_0 = \frac{Q * T_f}{4} \left(z + \sqrt{z^2 + \frac{12(x + x_0)}{Q * T_f}} \right); \quad x_0 = 0.67 + s * g / 600 \quad (5.29)$$

$x > x_0$ ise; kuyruklanma olmadığı kabul edildiğinden N_0 ortalama kuyruk uzunluğu 0 (sıfır) kabul edilir.

1 kolunda;

$$\text{Akım 2; } x_{02} = 0.67 + s_2 * g_2 / 600 = 0.67 + (2956 * 61 / 3600 * 600) = 0.753$$

$$x_{02} > x_2; \quad \text{kuyruklanma yok ve } N_{02} = 0$$

$$\text{Akım 5; } x_{05} = 0.67 + (2141 * 38 / 3600 * 600) = 0.688, \quad x_{05} < x_5 = 1.197$$

$$Q_5 = s_5 * g_5 / c_5 = 2141 * 38 / 123 = 661 \text{ taşıt / saat}$$

$$N_{05} = \frac{661 * 1}{4} \left(0.197 + \sqrt{0.197^2 + \frac{12(0.688 + 1.197)}{661 * 1}} \right) = 77.21 \text{ taşıt} \quad (5.29a)$$

2 kolunda;

$$\text{Akım 3; } x_{03} = 0.67 + s_3 * g_3 / 600 = 0.67 + (2738 * 14 / 3600 * 600) = 0.687$$

$$Q_3 = s_3 * g_3 / c_3 = 2738 * 14 / 123 = 312 \text{ taşıt / saat}$$

$$N_{03} = \frac{312 * 1}{4} \left(0.228 + \sqrt{0.228^2 + \frac{12(0.687 + 1.228)}{312 * 1}} \right) = 45.43 \text{ taşıt} \quad (5.29b)$$

$$\text{Akım 6; } x_{06} = 0.67 + (866 * 57 / 3600 * 600) = 0.693$$

$$x_{06} > x_6 = 0.456 \quad \text{kuyruklanma yok ve } N_{06} = 0$$

3 kolunda;

$$\text{Akım 1; } x_{01} = 0.67 + s_1 * g_1 / 600 = 0.67 + (3018 * 34 / 3600 * 600) = 0.718$$

$$x_{01} < x_1 = 1.014 \quad Q_1 = s_1 * g_1 / c_1 = 3018 * 34 / 123 = 834 \text{ taşıt / saat}$$

$$N_{01} = \frac{834 * 1}{4} \left(0.014 + \sqrt{0.014^2 + \frac{12(1.014 + 0.718)}{834 * 1}} \right) = 35.96 \text{ taşıt} \quad (5.29c)$$

$$\text{Akım 7; } x_{07} = 0.67 + (1246 * 11 / 3600 * 600) = 0.676$$

$$x_{07} < x_7 = 1.236 \quad Q_7 = 1246 * 11 / 123 = 111.4 \text{ taşıt / saat}$$

$$N_{07} = \frac{111.4 * 1}{4} \left(0.236 + \sqrt{0.236^2 + \frac{12(0.676 + 1.236)}{111.4 * 1}} \right) = 20.82 \text{ taşıt} \quad (5.29d)$$

4 kolunda;

$$\text{Akım 4; } x_{04} = 0.67 + (2807 * 19 / 3600 * 600) = 0.694$$

$$x_{04} < x_4 = 1.234 \quad Q_1 = 2807 * 19 / 123 = 433.6 \text{ taşıt / saat}$$

$$N_{04} = \frac{433.6 * 1}{4} \left(0.234 + \sqrt{0.234^2 + \frac{12(1.234 + 0.694)}{433.6 * 1}} \right) = 61 \text{ taşıt} \quad (5.29e)$$

8) Toplam gecikmelerin bulunması

$$D = \frac{q * c * (1 - u)^2}{2 * (1 - y)} + N_0 x \quad (5.30)$$

1 kolunda;

Akım 2;

$$D_2 = \frac{q_2 * c_2 * (1 - u_2)^2}{2 * (1 - y_2)} + N_{02} * x_2 = \frac{856 * 123 * (1 - 0.496)^2}{3600 * 2 * (1 - 0.29)} + 0 * x_2 = 5.231 \text{ s.} \quad (5.30a)$$

Akım 5;

$$D_5 = \frac{782 * 123 * (1 - 0.309)^2}{3600 * 2 * (1 - 0.37)} + 77.21 * 1.197 = 102.5 \text{ s.} \quad (5.30b)$$

2 kolunda;

Akım 3;

$$D_3 = \frac{394 * 123 * (1 - 0.114)^2}{3600 * 2 * (1 - 0.14)} + 45.43 * 1.228 = 61.94 \text{ s.} \quad (5.30c)$$

Akım 6;

$$D_6 = \frac{184 * 123 * (1 - 0.463)^2}{3600 * 2 * (1 - 0.21)} + 0 * x_6 = 2.295 \text{ s.} \quad (5.30d)$$

3 kolunda;

Akım 1;

$$D_1 = \frac{833 * 123 * (1 - 0.276)^2}{3600 * 2 * (1 - 0.28)} + 35.96 * 1.014 = 57.18 \text{ s.} \quad (5.30e)$$

Akım 7;

$$D_7 = \frac{141 * 123 * (1 - 0.089)^2}{3600 * 2 * (1 - 0.11)} + 20.82 * 1.236 = 30.23 \text{ s.} \quad (5.30f)$$

4 kolunda;

Akım 4;

$$D_4 = \frac{530 * 123 * (1 - 0.154)^2}{3600 * 2 * (1 - 0.19)} + 61 * 1.234 = 91.27 \text{ s.} \quad (5.30g)$$

9) Araç başına toplam gecikmenin bulunması

1 kolunda;

$$\text{Akım 2; } d_2 = \frac{D_2}{q_2} = \frac{5.231}{856/3600} = 21.99 \text{ s.} \quad (5.31a)$$

$$\text{Akım 5; } d_5 = \frac{D_5}{q_5} = \frac{102.5}{782/3600} = 471.8 \text{ s.} \quad (5.31b)$$

2 kolunda;

$$\text{Akım 3; } d_3 = \frac{D_3}{q_3} = \frac{61.94}{394/3600} = 565.95 \text{ s.} \quad (5.31c)$$

$$\text{Akım 6; } d_6 = \frac{D_6}{q_6} = \frac{2.296}{184/3600} = 44.92s. \quad (5.31d)$$

3 kolunda;

$$\text{Akım 1; } d_1 = \frac{D_1}{q_1} = \frac{57.18}{833/3600} = 247.11s. \quad (5.31e)$$

$$\text{Akım 7; } d_7 = \frac{D_7}{q_7} = \frac{30.23}{141/3600} = 771.83s. \quad (5.31f)$$

4 kolunda;

$$\text{Akım 4; } d_4 = \frac{D_4}{q_4} = \frac{91.27}{530/3600} = 619.95s. \quad (5.31g)$$

5.2.4 Benzetim Yapılması

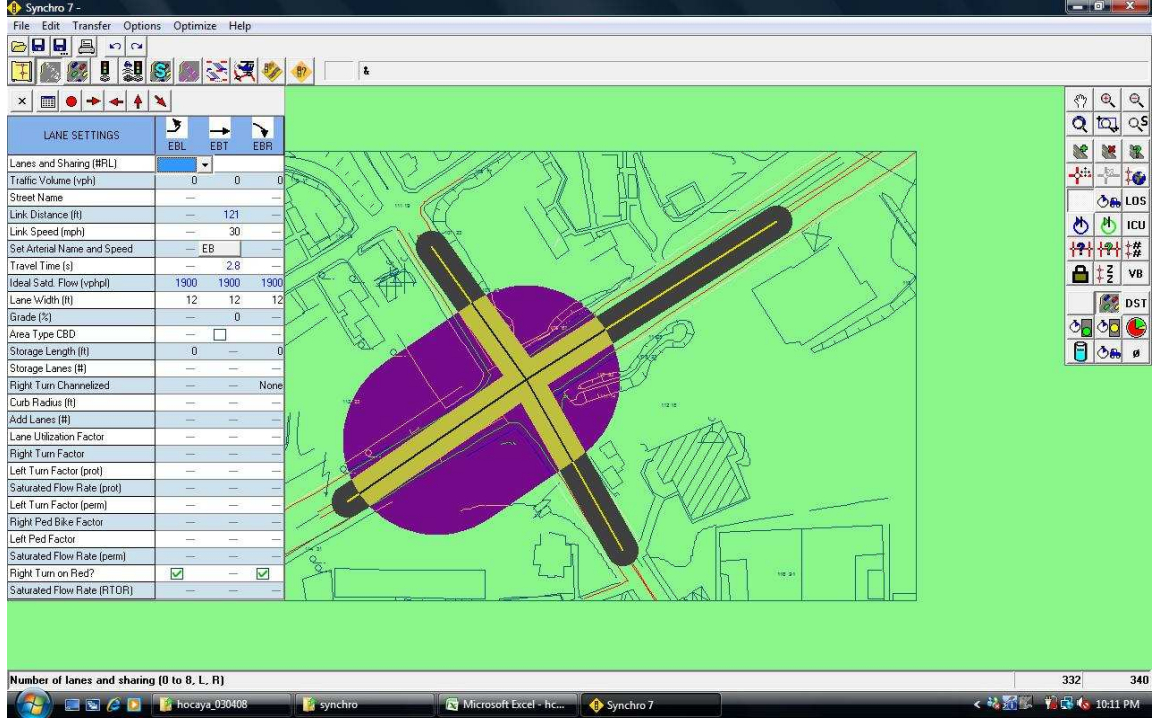
Benzetim yapılırken izlenecek yol şöyledir. Öncelikle Synchro yardımıyla mevcut durum analizi yapılacak ve ardından sinama benzetimi yapılacaktır. Daha sonra Sidra yazılımıyla mevcut durum analizi yapıp, ardından sinama benzetimi yapılacaktır. Mevcut durum analizi yapılırken kullanılacak veriler 5.2.2 bölümündeki Amerikan ve Avustralya yöntemleriyle yapılan hesaplamalarda kullanılan verilerdir. Sonuç olarak ise; yapılan mevcut durum ve öneri benzetimleri karşılaştırılacaktır.

5.2.4.1 Synchro (Amerikan Yöntemi)

Synchro, yaptığı hesaplamalarda Amerikan Yöntemini (HCM 2000) kullanmaktadır. Bu yöneme göre gelen akımları düzeltir, doygun akımı hesaplar. Yine bu yöntem yardımıyla kavşaktaki akımlar için gerekli yeşil sürelerini hesaplar. Öncelikle genel olarak benzetim yazılımının kullanımından bahsedilecek, ardından mevcut durum analizi verileri oluşturulacak ve son olarak eldeki verilere göre kavşağa en uygun faz planı belirlenecektir. Belirlenen faz planının uygulanması halinde oluşacak gecikme değerleri belirtilecektir.

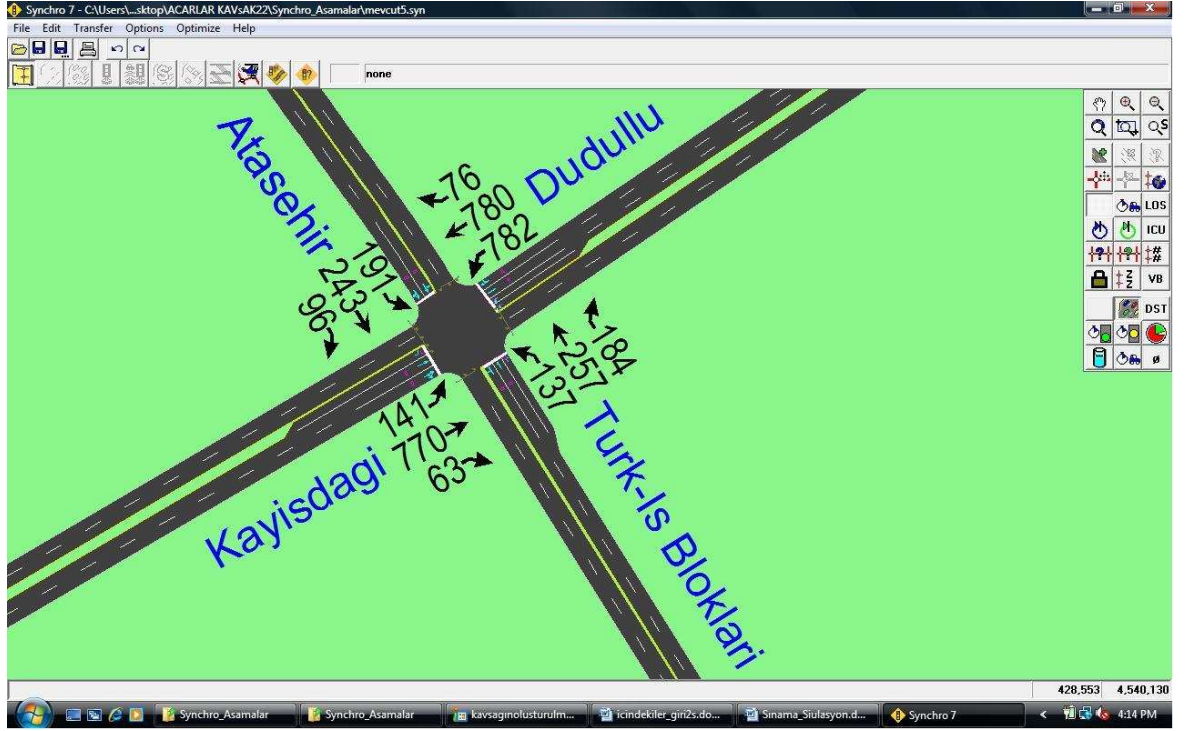
5.2.4.1.1 Mevcut Durum Benzetimi

Synchro altlık olarak Autocad dosyalarını kullanabilmektedir. Kavşağın geometrisini oluştururken kavşağın hali hazır haritasını kullanılmıştır.



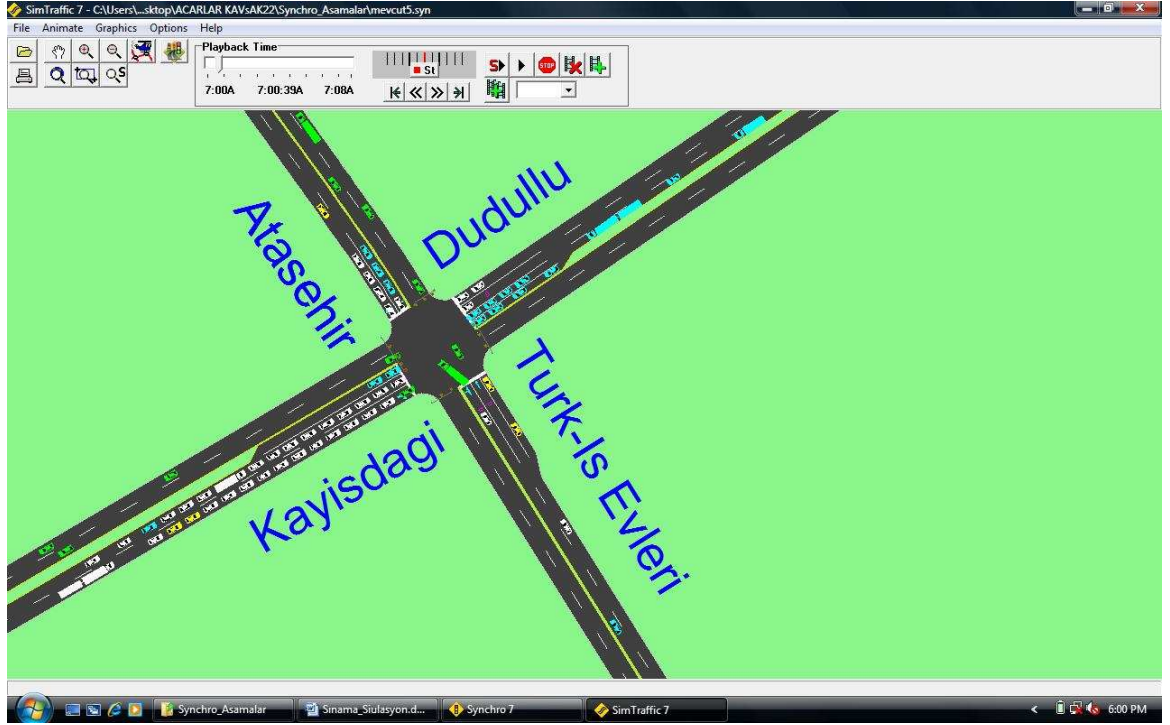
Şekil 5.5 : Synchro Kavşak Geometrisi Ekran Görüntüsü

Şekil 5.4’de görüldüğü üzere, kavşağın kolları çizilerek; şerit sayıları ve şerit genişlikleri benzetim programına işlenmiştir. Bu aşamadan sonra her bir kavşak kolu için dönüş hacimleri benzetim programına eklenmiştir. Bir sonraki aşamada ise Şekil 5.5’te gösterildiği gibi; kavşaktaki mevcut durumdaki sinyal faz planı benzetim programına işlenmiştir. Bu dönüş hacimleri değerler, gözlem yapılan süre boyunca söz konusu kavşaktan geçen en yüksek taşıt sayım değerleridir.



Şekil 5.6 : Synchro Taşıt Sayım Değerleri

Bu aşamadan sonra mevcut durum analizi Synchro benzetim programıyla yapılmıştır. Aşağıdaki Şekil 5.6’te ise mevcut durum araç hareketleri görülebilmektedir.



Şekil 5.7 : Synchro Taşıt Hareketleri

Mevcut durumda hesaplanan performans değerleri Tablo 5.3'te görülmektedir.

Tablo 5.5 : Synchro Amerikan Yöntemine Göre Mevcut Durum Analiz Raporu

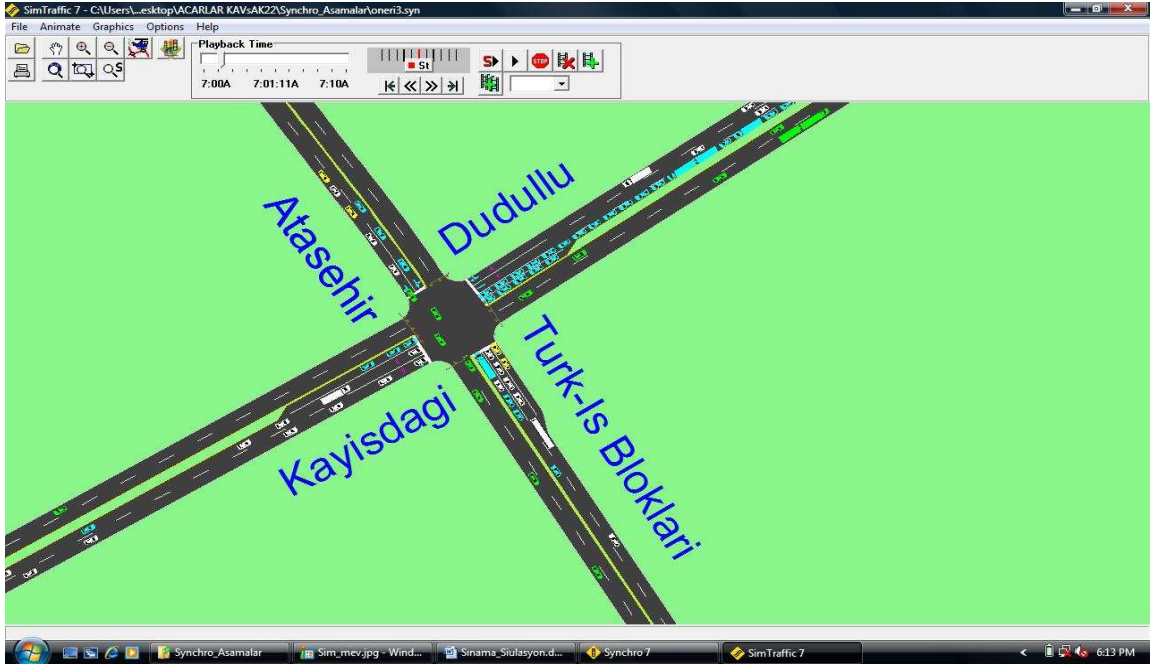
Kol Numarası Akım Numarası Hareket Yönü Şerit Sayısı Dönüş Hacmi (taşıt/sa) Temel Doygun Akım (taşıt/sa/şrt) Şerit Genişliği (m) Düzeltilmiş Doygun Akım Hacmi (taşıt/sa/şrt) Zirve Saat Faktörü, PHF Düzeltilmiş Dönüş Hacmi (taşıt/sa) Akım Hacmi (taşıt/sa) Ağır Taşıt (%) Yeşil Süre, g (s) Yeşil Süre/Devre Oranı Akım Kapasitesi (taşıt/sa) v/s Oranı Hacim/Akım Kapasitesi Oranı Üniform Gecikme, d1 Artan Gecikme, d2 Toplam Gecikme (s)	1			2			3			4		
	5	2	2	3	3	6	7	1	1	4	4	4
	BSOL	BDOĞ	BSAĞ	KSOL	KDOĞ	KSAĞ	DSOL	DDOĞ	DSAĞ	GSOL	GDOĞ	GSAĞ
	2	2	0	0	2	1	1	2	0	0	2	0
	782	780	76	137	257	184	141	770	63	191	243	96
	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
	2.5	3.4	3.4	3.3	3.3	2.5	3.1	4	4	3.6	3.6	3.6
	2635	2798			2756	1215	1519	2993			2957	
	0.91	0.91	0.91	0.86	0.86	0.86	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
	859	857	84	159	299	214	160	875	72	217	276	109
	859	941	0	0	458	214	160	947	0	0	602	0
	5%	12%	12%	12%	12%	5%	1%	12%	12%	5%	5%	5%
	40	60			15	58	13	36			20	
	0.33	0.49			0.12	0.47	0.11	0.29			0.16	
	857	1365			336	573	161	876			481	
	c0.33	0.34			c0.17	0.18	0.11	c0.32			c0.20	
	1	0.69			1.36	0.37	0.99	1.08			1.25	
	41.5	24.3			54	20.8	55	43.5			51.5	
	31.3	2.9			181.5	1.9	69.3	54.7			129.5	
	72.8	27.2			235.5	22.7	124.3	98.2			181	

Yukarıdaki Tablo 5.5'te hareket yönü satırında görülen B (batı), K (kuzey), D (doğu) ve G (güney) yönleri ifade etmektedir. Gecikme değerleri her bir akım için ayrı ayrı alt satırlarda görülmektedir. Yukarıda görüldüğü gibi Synchro benzetim programı

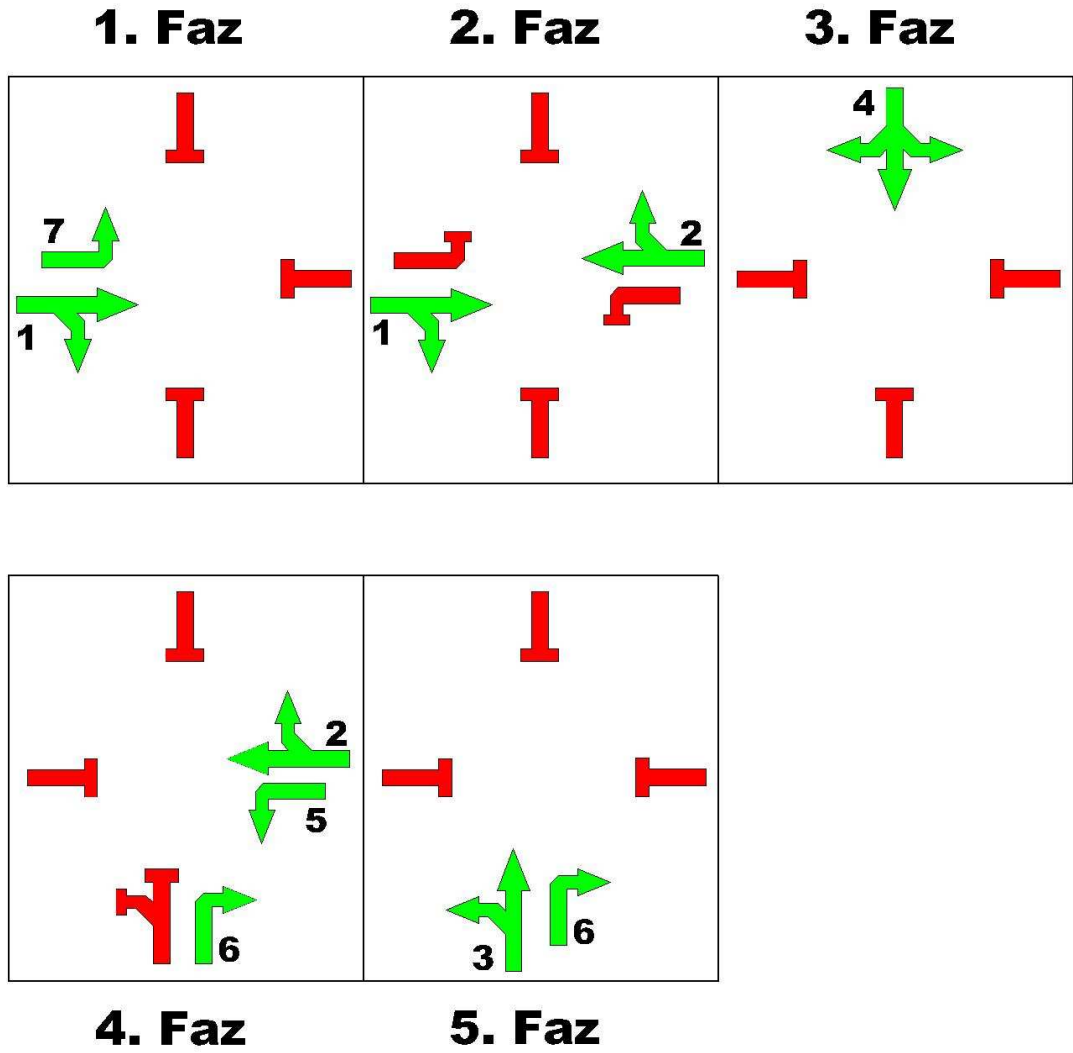
hesaplarda çok büyük kolaylık sağlamakta ve incelenen kavşakla ilgili tüm bilgileri tablo halinde vermektedir.

5.2.4.1.2 Sınama Benzetimi

Synchro ile mevcut durum analizi yapıldıktan sonraki aşama sınama aşamasıdır. Bu aşamada Amerikan Yöntemine göre verilen taşıt yükleri altında sistem en iyi nasıl çalışırın cevabı aranacaktır. En az gecikme değerleri için hangi akıma ne kadar yeşil süre verilmesi gerekir? Bunun için yapılması gereken Synchro benzetim yazılımı yardımıyla kavşak için en uygun sürelerin belirlenmesidir. Synchro ile mevcut durum analizi yapıldığından sınama yapılması çok basit olacaktır. Tekrar kavşak özelliklerinin girilmesine gerek yoktur. Yapılması gereken sadece en uygun yeşil sürelerin belirlenmesidir. En uygun yeşil süreler belirlendikten sonra taşıt hareketleri izlenmiştir. Taşıt hareketleri için Synchro ekran görüntüsü Şekil 5.7’teki gibidir.



Şekil 5.8: Synchro Taşıt Hareketleri



Şekil 5.9: Synchro İle Hazırlanan Öneri Sinyal Faz Planı

Şekil 5.8’de her bir akımın yer aldığı fazlar görülmektedir. Bu fazlarda bulunan her bir akımın yeşil süreleri Tablo 5.6’da görülmektedir. Tüm fazlar arasında sarı süresi 2 saniye, hep kırmızı süre ise; 1 saniye olarak hesaplanmıştır. Toplam devre süresi 130 saniye olarak hesaplanmıştır. Synchro ile yapılan sına benzetimi sonucunda 1 numaralı fazın süresi 27 saniye, 2 numaralı fazın süresi 14 saniye, 3 numaralı fazın süresi 26 saniye, 4 numaralı fazın süresi 41 saniye ve 5 numaralı fazın süresi 22 saniyedir. Tablo 5.6’da ayrıca taşıt sayım değerleri altında Amerikan yöntemiyle hesaplanan en uygun yeşil süreler ve gecikme değerleri görülmektedir.

Tablo 5.6 : Synchro Amerikan Yöntemine Göre En Uygun Durum Analiz Raporu

Kol Numarası Akım Numarası Hareket Yönü Şerit Sayısı Dönüş Hacmi (taşıt/sa) Temel Doygun Akım (taşıt/sa/şrt) Şerit Genişliği (m) Düzeltilmiş Doygun Akım Hacmi (taşıt/sa/şrt) Zirve Saat Faktörü, PHF Düzeltilmiş Dönüş Hacmi (taşıt/sa) Akım Hacmi (taşıt/sa) Ağır Taşıt (%) Yeşil Süre, g (s) Yeşil Süre/Devre Oranı Akım Kapasitesi (taşıt/sa) v/s Oranı Hacim/Akım Kapasitesi Oranı Üniform Gecikme, d1 Artan Gecikme, d2 Toplam Gecikme (s)	1			2			3			4		
	5	2	2	3	3	6	7	1	1	4	4	4
	BSOL	BDOĞ	BSAĞ	KSOL	KDOĞ	KSAG	DSOL	DDOĞ	DSAG	GSOL	GDOĞ	GSAG
	2	2	0	0	2	1	1	2	0	0	2	0
	782	780	76	137	257	184	141	770	63	191	243	96
	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
	2.5	3.4	3.4	3.3	3.3	2.5	3.1	4	4	3.6	3.6	3.6
	2635	2798			2756	1215	1519	2993			2957	
	0.91	0.91	0.91	0.86	0.86	0.86	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
	859	857	84	159	299	214	160	875	72	217	276	109
	859	941	0	0	458	214	160	947	0	0	602	0
	5%	12%	12%	12%	12%	5%	1%	12%	12%	5%	5%	5%
	38	49			19	60	24	38			23	
	0.29	0.38			0.15	0.46	0.18	0.29			0.18	
	770	1055			403	561	280	875			523	
	c0.33	0.34			c0.17	0.18	0.11	c0.32			c0.20	
	1.12	0.89			1.14	0.38	0.57	1.08			1.15	
	46	38			55.5	22.9	48.3	46			53.5	
	69	11.4			87.5	2	8.2	55.2			88.2	
	115	49.4			143	24.8	56.5	101.2			141.7	

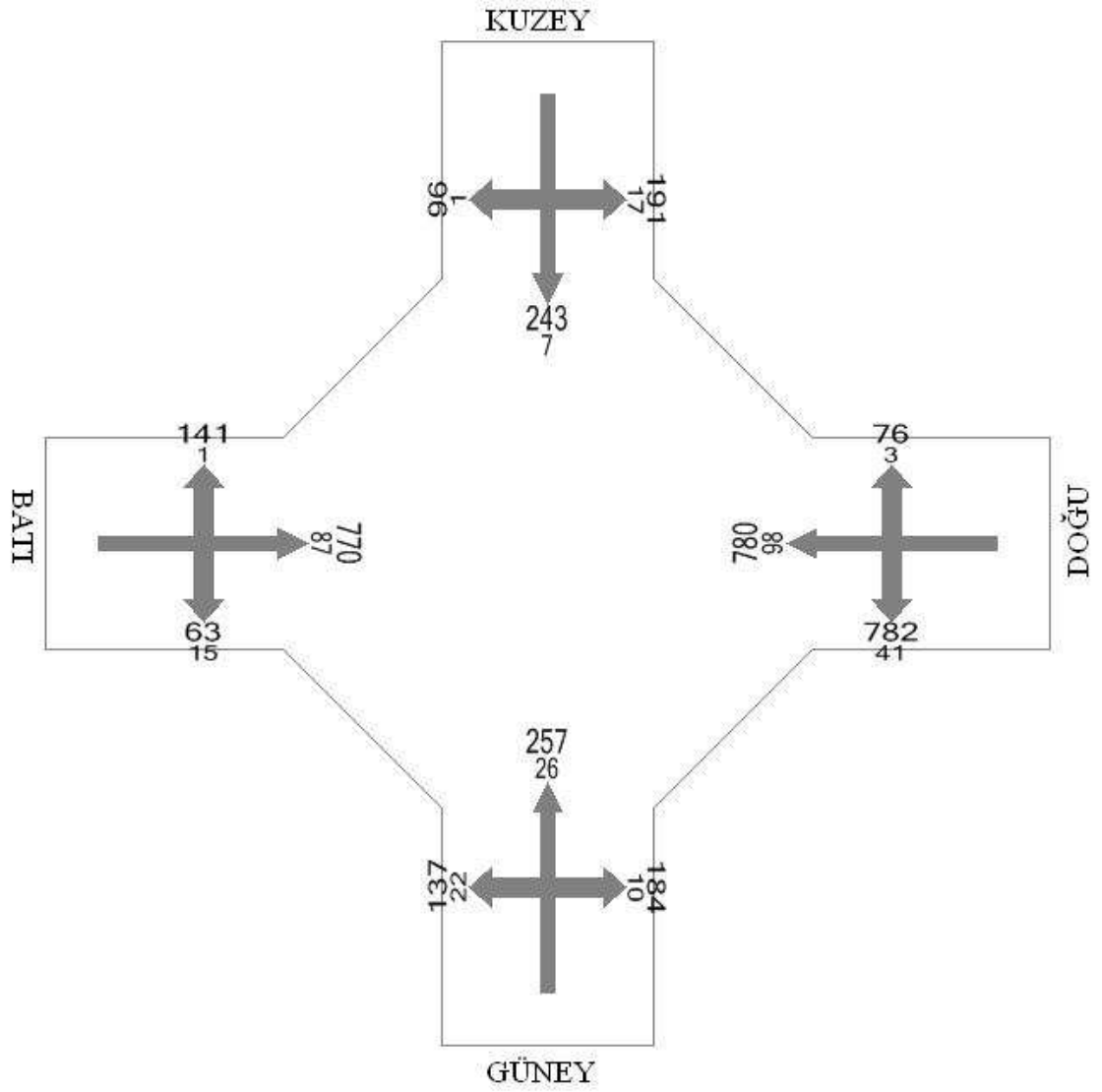
Ayrıca aynı tabloda her bir akım için hesaplanan akım oranları ve hacim/kapasite oranları görülmektedir. Buradan hareketle her bir fazdaki kritik akımlar 5, 3, 1 ve 4 numaralı akımlardır. Bu kritik akımlar bulundukları fazların yeşil sürelerini belirlemektedir. Bu tablodan da görüldü üzere en fazla gecikme 3 numaralı akımda olmaktadır.

5.2.4.2 Sidra (Avustralya Yöntemi)

Sidra yaptığı hesaplamalarda Avustralya Yöntemini kullanmaktadır. Bu yönteme göre akım hacmini düzeltir, doygun akımı hesaplar. Bu yöntem yardımıyla kavşağın mevcut durum kapasite analizi, sınaama durumu analizi yapılır, gecikme değerleri hesaplanacaktır.

5.2.4.2.1 Mevcut Durum Benzetimi

Sidra benzetim programıyla mevcut durum analizi yapılırken öncelikle kavşak geometrisi oluşturulur. Daha sonra akım özellikleri girilir. Bunlar arasında şerit kullanım ayarları, dönüş kısıtlama ayarları bulunur. Bu aşamadan sonra mevcut durumda ışıklı kavşak süreleri ayarlanır ve mevcut durum Sidra benzetimi oluşturulur. Aşağıdaki Şekil 5.9'da akım hacimleri görülmektedir. Aşağıdaki akım hacimlerine göre analizler yapılmıştır.



Şekil 5.10 : Sidra Akım Hacimleri

Mevcut durumda elde edilen araç başına toplam gecikme değerleri aşağıdaki Tablo 5.7'deki gibidir.

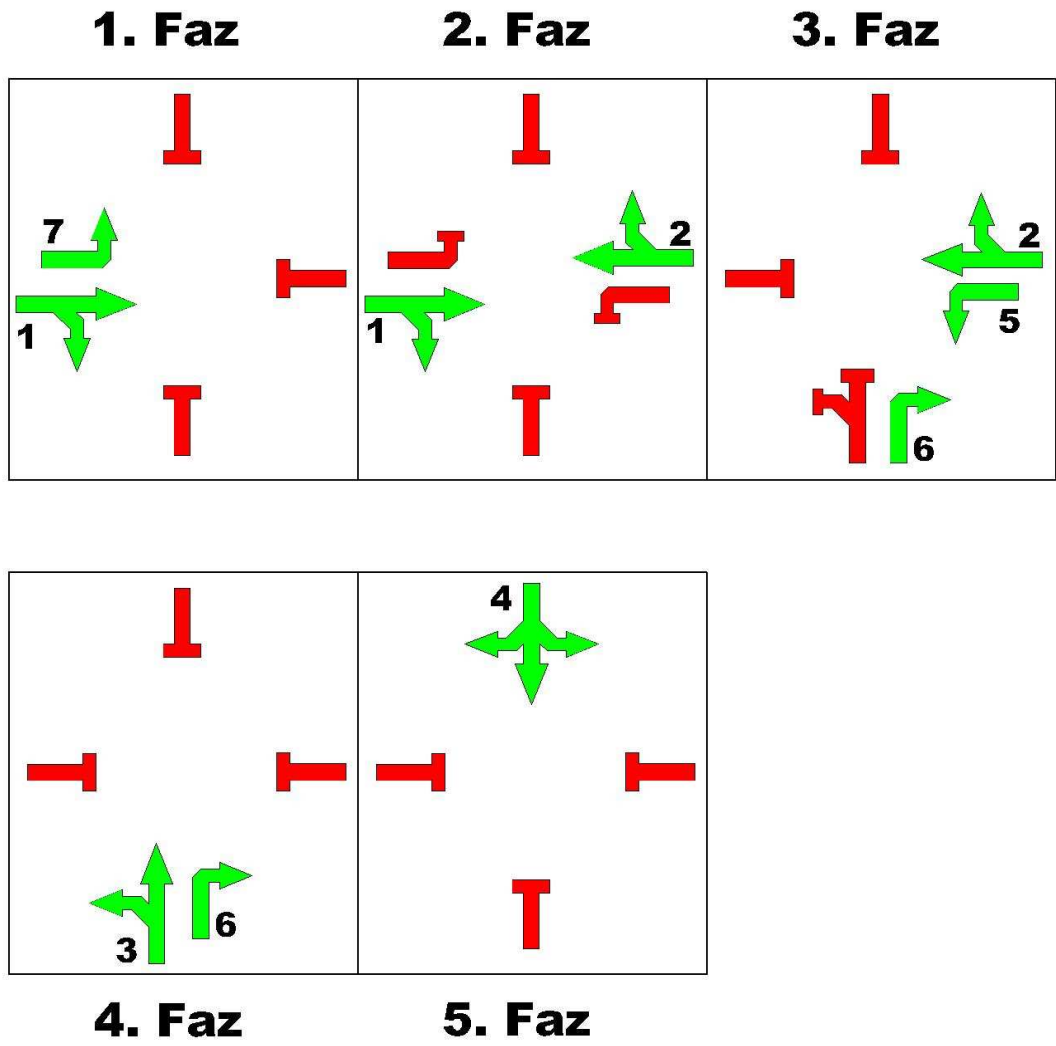
Tablo 5.7 : Sidra Mevcut Durum Araç Başına Toplam Gecikme Değerleri

Kol Numarası	Akım Numarası	Yön	Akım Hacmi (taşıt/sa)	Araç Başına Ortalama	Araç Başına Ortalama
				Toplam Gecikme s. (Yön)	Toplam Gecikme s. (Akım)
1	5	Sol	823	147.5	147.5
	2	Doğru	821	20.7	21.3
		Sağ	80	27.2	
2	3	Sol	144	65.9	195.7
		Doğru	271	264.7	
	6	Sağ	194	43.3	43.3
3	7	Sol	148	89	89.0
	1	Doğru	811	46.7	47.2
		Sağ	66	54	
4	4	Sol	201	60.7	152.3
		Doğru	256	202	
		Sağ	101	208.5	

5.2.4.2.2 Sınama Benzetimi

Sidra ile sınama benzetimi mevcut durumu analiz edilen kavşak üzerinden değişiklikler yapılarak oluşturulur. Sidra ile en uygun devre süreleri ve yeşil süreleri hesaplanmıştır. Buna göre en uygun devre süresi 70 s. olarak hesaplanmıştır.

Sidra ile yapılan sınama benzetimi sonucunda Şekil 5.10’da görülen sinyal faz diyagramı elde edilmiştir. Tüm fazlar arasında sarı süresi 2 saniye, hep kırmızı süre ise; 1 saniye olarak hesaplanmıştır. Toplam devre süresi 70 saniye olarak hesaplanmıştır. Sidra ile yapılan sınama benzetimi sonucunda 1 numaralı fazın süresi 13 saniye, 2 numaralı fazın süresi 11 saniye, 3 numaralı fazın süresi 19 saniye, 4 numaralı fazın süresi 13 saniye ve 5 numaralı fazın süresi 14 saniyedir. 1,2 ve 6 akımları birden fazla fazda yer almaktadırlar. Bu akımlar tekrarlanan akımlardır.



Şekil 5.11: Sidra İle Hazırlanan Öneri Sinyal Faz Planı

Şekil 5.8’de her bir akım için yeşil süreler ayrı ayrı gösterilmiştir.

Tablo 5.8: Sidra İle Yapılan Sınama Sonucu Elde Edilen En Uygun Yeşil Süreler Ve Devre Süresi

AKIM	YEŞİL (g)	SARI	HEP KIRMIZI	DEVRE (C)
1	21	2	1	70
2	27	2	1	70
3	10	2	1	70
4	11	2	1	70
5	16	2	1	70
6	29	2	1	70
7	10	2	1	70

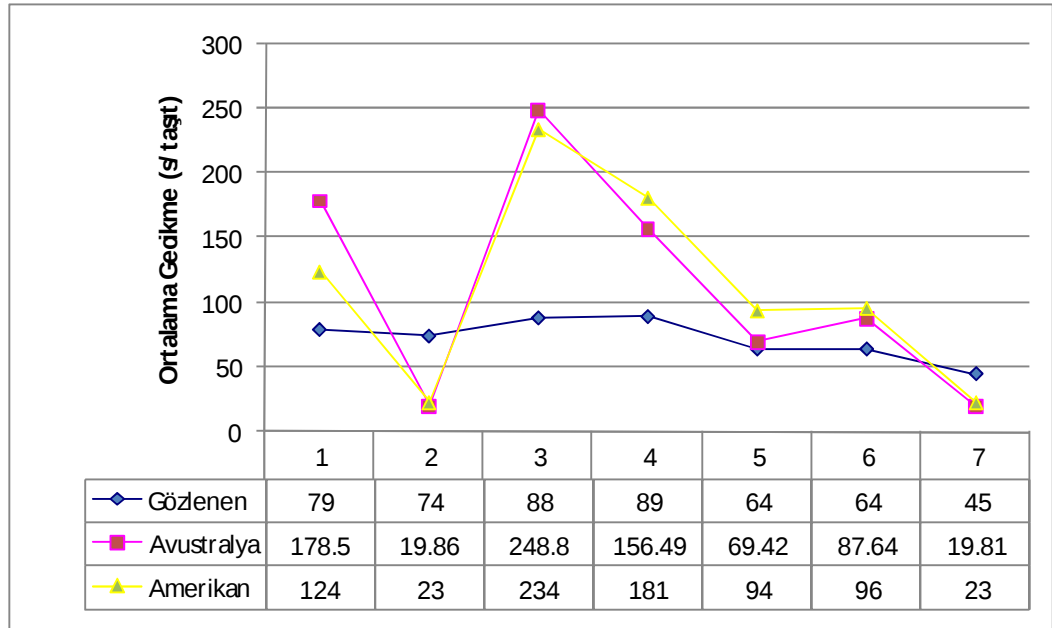
Bu faz planına göre hesaplanan gecikme değerleri ise; Tablo 5.8’de görülmektedir.

Tablo 5.9 : Sidra En Uygun Faz Planına Göre Hesaplanan Gecikme Değerleri

Kol Numarası	Akım Numarası	Yön	Akım Hacmi (taşıt/sa)	Araç Başına Ortalama	Araç Başına Ortalama
				Toplam Gecikme s. (Yön)	Toplam Gecikme s. (Akım)
1	5	Sol	823	99.3	99.3
	2	Doğru	821	20.2	20.8
		Sağ	80	26.7	
2	3	Sol	144	39.00	73.5
		Doğru	271	91.80	
	6	Sağ	194	18.50	18.5
3	7	Sol	148	40.7	40.7
	1	Doğru	811	90.2	90.8
		Sağ	66	97.7	
4	4	Sol	201	37.6	95.2
		Doğru	256	125.8	
		Sağ	101	132.2	

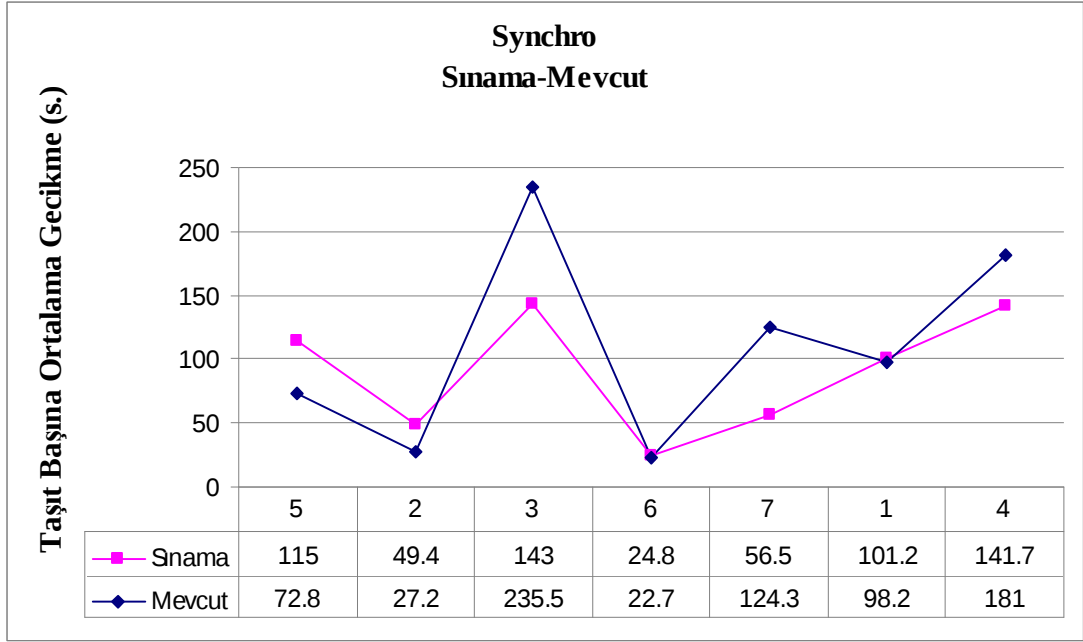
5.3 Sonuçların Oluşturulması

Öncelikle Amerikan yöntemiyle ve Avustralya yöntemiyle yapılan ilk hesaplama ele alınacaktır. Bu yöntemlerle yapılan hesaplamalar sahadan gözlemlenen veriler ile karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırma için aşağıdaki Şekil 5.10’dan hareketle denilebilir ki; Avustralya yöntemi, Amerika yöntemine göre gözlemlenen değerlere daha yakın gecikme değerleri vermektedir.



Şekil 5.12 : Yöntemlere Göre Gözlem Değerleri

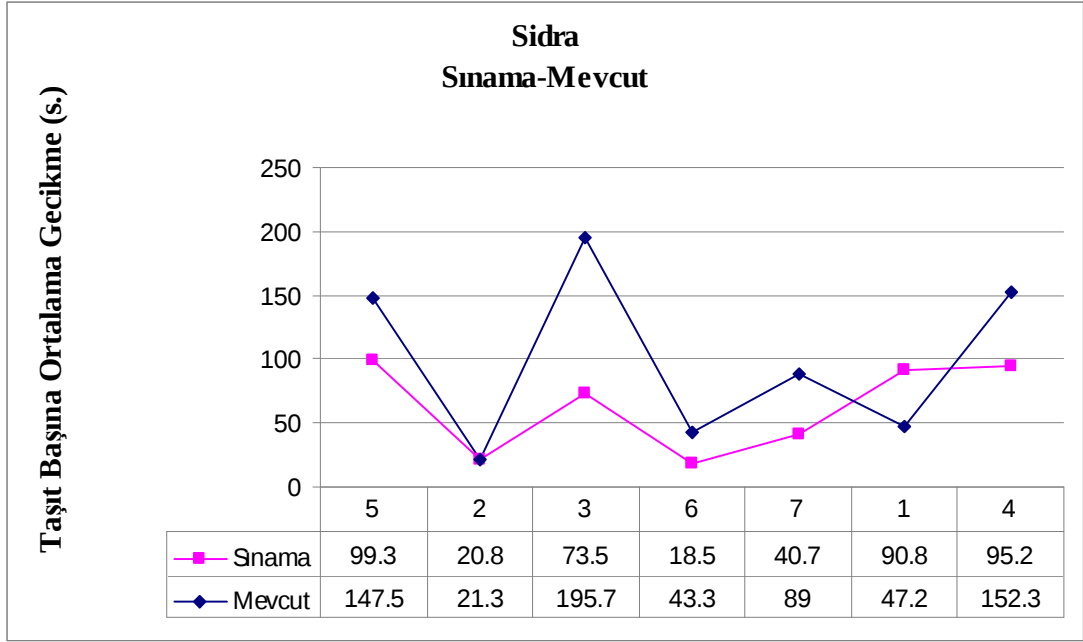
Synchro benzetim yazılımına göre mevcut durum ve sınaama yapıldıktan sonraki durumları performansları aşağıdaki Şekil 5.11’de görülmektedir. Aşağıdaki grafikten görüldüğü üzere Synchro benzetim yazılımı ile akımların gecikmeleri arasında bir dengeleme yapılmıştır. Gecikme sürelerinin her bir akım için kabul edilebilir bir düzeye getirilmeye çalışılmıştır. Mevcut durumda gecikme değerleri çok yüksek olan 3, 7 ve 4 numaralı akımların gecikme değerleri öneri durumunda belli bir oranda azaltılmıştır. Diğer akımların gecikme değerleri ise; mevcut durum değerlerinde hesaplanmıştır.



Şekil 5.13 : Synchro ile Mevcut Devre ve Sinama Devreye Göre Taşıt Başına Ortalama Gecikme Analizi

Şekil 5.11’den anlaşıldığı gibi Amerikan yöntemine göre bu kavşaktaki toplam bekleme sürelerinin daha fazla azaltılması ışıklı kavşakla sağlanamaz.

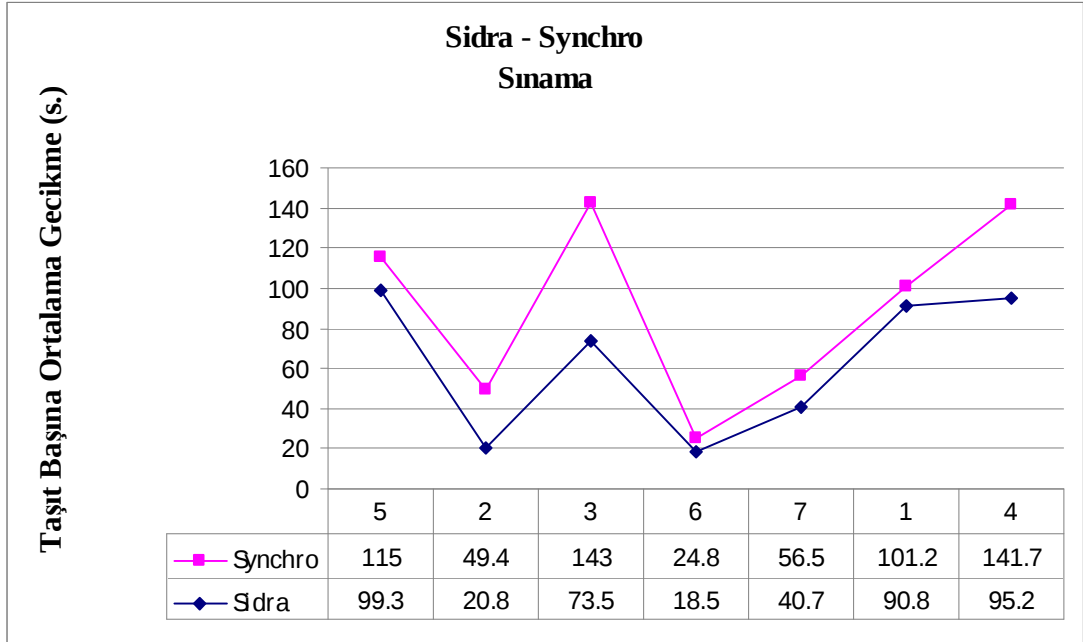
Sidra benzetim programıyla yapılan analizde hesaplanan sonuçlar Şekil 5.13’te görülmektedir. Taşıt başına ortalama toplam gecikme değerinin görüldüğü şekil mevcut ve sinama durumları için hazırlanmıştır.



Şekil 5.14 : Sidra ile Mevcut Devre ve Sınama Devreye Göre Taşıt Başına Ortalama Gecikme Analizi

Şekil 5.10’da görüldüğü üzere mevcut duruma göre sınama durumunda daha az taşıt gecikmeleri mevcuttur. Her bir akım ayrı ayrı düşünüldüğünde sadece 1 akımının gecikme değeri mevcut duruma göre daha fazla hesaplanmıştır.

Son olarak Synchro ve Sidra benzetim yazılımlarının aynı koşullar altında hesaplamaları incelenmiştir. Buna göre elde edilen hesaplanan taşıt başına ortalama gecikme değerleri aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 5.15: Sidra ve Synchro Benzetim Programlarının Sınama Durumu İçin Taşıt Başına Ortalama Gecikmeler Bakımından Karşılaştırılması

Yukarıdaki Şekil 5.13’de Synchro (Amerikan Yöntemi) ve Sidra (Avustralya Yöntemi) sınama durumu taşıt başına ortalama gecikmeleri görülmektedir. Buna göre sınama durumları düşünüldüğünde Sidra daha düşük gecikme değerleri hesaplamaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ışıklı kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerini tahmin etmek amacıyla Amerikan ve Avustralya Yöntemlerinden faydalanılmıştır. Taşıt başına ortalama gecikme değeri kavşak kapasitesinde çok önemli bir parametredir. Yapılan hesaplama ve değerlendirmelerde taşıt başına toplam gecikme değerleri esas alınmıştır. Işıklı kavşağın mevcut durum gecikme değerleri gözlemlenmiştir. Ayrıca ışıklı kavşağın mevcut durumu Amerikan ve Avustralya yöntemleriyle mevcut durum gecikme değerleri hesaplanarak tahmin edilmiştir. Elde edilen gecikme değerleri ışında Avustralya Yöntemi, Amerikan Yöntemi'ne göre gözlemlenen değerlere daha yakın sonuçlar hesaplamıştır. Ayrıca yine aynı kavşak için iki farklı benzetim programıyla sına benzetimleri yapılmıştır. Sına benzetimleri öneri bir faz planı ve en uygun yeşil süreler hesaplamak amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan benzetim programları Synchro (Amerikan Yöntemi) ve Sidra (Avustralya Yöntemi) programlarıdır. Yapılan sına benzetimleri sonucunda Sidra, Synchro'ya göre daha az gecikme değerleri hesaplayan öneri bir sinyal faz planı oluşturmuştur. Sidra benzetim programı devre süresi olarak 70 saniye hesaplarken, Synchro devre süresi olarak 130 saniye hesaplamıştır. Hesaplanan veriler ve yapılan analizler ışığında ışıklı kavşakların analizinde Avustralya yöntemi tercih edilmesi daha uygundur. Ayrıca benzetim programı olarak Sidra daha çok tercih edilmesi gereken bir programdır.

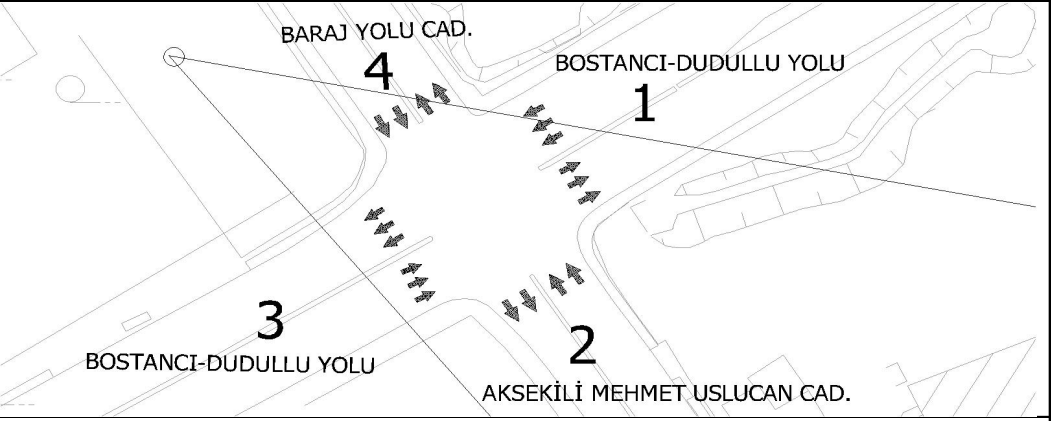
KAYNAKLAR

- [1] **Akçelik R.**, 1993. Research Report ARR 123, Australian Road Research Board LTD, Victoria, Australia.
- [2] **Akova, M.**, 1979. Kavşak Sinyalizasyon Hesabında Duruş, Kalkış ve Boşaltma Koşullarının Etkisi, Hesap Yöntemleri ve Ülkemiz Gerçeklerine Uygun Yöntem Araştırılması, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Elçi, A. ve Rahnama, B.**: Akıllı Kavşak: Trafik Yönetimiyle Kişilerin Yaşam Kalitesini Geliştirmek. <http://www.tmbd.org.tr/userfiles/bildiri5.doc>; son erişim: 07/04/2008.
- [4] **Gedizlioğlu, E.**, 2004. Kentlerimizde Trafik Yönetimi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 434-2004/6 s.17.
- [5] **Gökdağ, M.**, 1996. Sinyalize Kavşaklarda Meydana Gelen Taşıt Gecikmelerinin Simulasyon Modellenmesi, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- [6] **Kurar, H.**, 2001. Kavşak Sinyalizasyonuna CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) Yaklaşımı: İstanbul Örneği. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri-Fatih Üniversitesi.
- [7] **Kutlu, K.**, 1993. Trafik Tekniği. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [8] **Murat, Y.Ş.**, 2001. Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği İle Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [9] **Murat, Y.Ş.**, 2006. Sinyalize Kavşaklardaki Taşıt Gecikmelerinin Bulanık Mantık İle Modellenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 2006 3903-3916, Yazı 258.
- [10] **Uncu, C.**, 2006. Boğaziçi Köprüsü Gişe Sahasının Aımsun Mikrosimulasyon Yazılımı İle Modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi
- [11] Transportation Research Board, 2004. Highway Capacity Manual 2000, National Research Council, Washington, USA.
- [12] **Turan B.**, 1999. Sinyalize Eşdüzey Kapasitelerine Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesine Yönelik Bir Sistem Yaklaşımı, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi.

- [13] **Uysal, Y.**, 2001. Kavşak ve Kavşaklarda Sinyalizasyon, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- [14] **Yalın C.**, 1975 Yolların Kapasitesi, Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.

EKLER

Bölge :		Bilgi : IŞIK NO:3429	BOSTANCI	
İlçe : ÜMRANIYE		Cadde : BARAJ YOLU	Cadde : DUDULLU YOLU	
Kavşak No :		Cadde : AKSEKİLİ MEHMET USLUCAN	Sokak :	



ÜSTYAPI PROJESİ

ETÜD BİLGİLERİ			
	1. gün	2. gün	3. gün
Çekim Tarihi :	17 Mart 2008	19 Mart 2008	20 Mart 2008
Çekim Saati :	10:00-12:00	10:00-12:00	10:00-12:00

KAVŞAK DURUMU

Işıklı

AKIM NO

1

ÇEKİM TARİHİ

17-19-20.03.2008

ÇEKİM SAATİ

10:00-12:00

17.03.2008

SAAT	OTOMOBİL				KAMYONET, PANELVAN				TİCARİ TAKSİ				TİCARİ MINİBÜS				BELEDİYE - HALK OTOBÜSÜ				AĞIR TAŞIT				TOPLAM			
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4
10:00 10:15	7	80	66	6	1	59	50	2	1	4	8	2			5				7		10	22			9	153	158	10
10:15 10:30	5	96	94	13	3	73	60	4	1	6	7	1			5			3	4	1	1	5			10	183	170	19
10:30 10:45	4	102	85	13	2	67	54	2		5	7				5			2	7	1	1	4	15	1	7	180	173	17
10:45 11:00	5	99	69	4	1	62	66	7		5	6	1			4			1	6			1	17		6	168	168	12
11:00 11:15	3	83	95	13	4	65	58	3		4	11	2			7			1	4	1		3	15		7	156	190	19
11:15 11:30	9	95	93	4	2	83	60	4		3	4				4			1	6	1		8	18		11	190	185	9
11:30 11:45	9	85	79	11	4	77	63	4		5	7	2			5			1	6			7	7		13	175	167	17
11:45 12:00	9	113	102	7	4	56	70	4		8	8	1			5			1	7	1		16	16		13	194	208	13
TOPLAM	51	753	683	71	21	542	481	30	2	40	58	9	0	0	40	0	0	10	47	5	2	54	110	1	76	1399	1419	116

19.03.2008

SAAT	OTOMOBİL				KAMYONET, PANELVAN				TİCARİ TAKSİ				TİCARİ MINİBÜS				BELEDİYE - HALK OTOBÜSÜ				AĞIR TAŞIT				TOPLAM			
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4
10:00 10:15	5	87	77	11	6	45	57	2		4	13	1			4			1	5	1		2	22		11	139	178	15
10:15 10:30	2	112	83	8	6	74	53	8		1	8				1	5			7	2		5	28		8	193	184	18
10:30 10:45	6	96	90	8	1	69	64	3	3	2	9	1			4			1	7			11	24		10	179	198	12
10:45 11:00	2	91	85	14	2	77	68	7		5	7	2			5			5	5	1		13	19		4	191	189	24
11:00 11:15	6	94	97	16	4	73	71	1		3	7	1			5			1	7	1		6	16		10	177	203	19
11:15 11:30	14	95	79	3	1	72	62	5		3	7				5			1	6			10	21		15	181	180	8
11:30 11:45	9	77	104	15	4	78	65	5	1	6	4	2			5				5	1		10	15	1	14	171	198	24
11:45 12:00	8	105	89	21	2	83	68	2	1	2	8	2			6			2	7		1	10	21		12	202	199	25
TOPLAM	52	757	704	96	26	571	508	33	5	26	63	9	0	1	39	0	0	11	49	6	1	67	166	1	84	1433	1529	145

20.03.2008

SAAT	OTOMOBİL				KAMYONET, PANELVAN				TİCARİ TAKSİ				TİCARİ MINİBÜS				BELEDİYE - HALK OTOBÜSÜ				AĞIR TAŞIT				TOPLAM			
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4	1-1	1-2	1-3	1-4
10:00 10:15	5	80	75	9		63	70	3	1	9	6	2			3			1	3	1		3	24		6	156	181	15
10:15 10:30	4	95	78	11	1	77	68	5		1	17	3			6			1	6	1		8	24	2	5	182	199	22
10:30 10:45	7	90	90	8	3	79	58	2		5	9	1			5			1	6		1	7	10		11	182	178	11
10:45 11:00	6	92	80	6	4	85	59	6			5				5			1	5	1		8	15	1	10	186	169	14
11:00 11:15	1	98	91	10	4	77	84	4		1	6	1			5			2	8	1		3	19		5	181	213	16
11:15 11:30	12	94	77	9	3	88	70	5		2	6				4			1	6			18	19		15	203	182	14
11:30 11:45	7	81	87	11	1	83	74	3		4	6	1			5				4	1		11	19		8	179	195	16
11:45 12:00	7	95	95	13	4	80	65	4		5	9				5			1	8	1		11	19	1	11	192	201	19
TOPLAM	49	725	673	77	20	632	548	32	1	27	64	8	0	0	38	0	0	8	46	6	1	69	149	4	71	1461	1518	127

KAVŞAK DURUMU

Işık

AKIM NO

2

ÇEKİM TARİHİ

17-19-20.03.2008

ÇEKİM SAATİ

10:00-12:00

17.03.2008

SAAT		OTOMOBİL				KAMYONET, PANELVAN				TİCARİ TAKSİ				TİCARİ MINİBÜS				BELEDİYE - HALK OTOBÜSÜ				AĞIR TAŞIT				TOPLAM			
		2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4
10:00	10:15	24		26	21	14		10	24	3		2	6					1		4				3	1	42	0	45	52
10:15	10:30	17		17	24	16		10	23	2		3	7					1		2		1		1	11	37	0	33	65
10:30	10:45	17		27	38	11		12	40			1	4					2		5	1	1		1	5	31	0	46	88
10:45	11:00	25		15	29	11		10	32	3		4	6							3		1		5	10	40	0	37	77
11:00	11:15	23		11	26	22		10	25			7	6					1		2	1	1		3	3	47	0	33	61
11:15	11:30	29		11	32	10		6	31	1		2	6					1		4		2		6	1	43	0	29	70
11:30	11:45	26		8	14	17		11	32	1		3	3					1		3	1			2	8	45	0	27	58
11:45	12:00	27		18	34	17		10	20	3			4					1		3		2		2	9	50	0	33	67
TOPLAM		188	0	133	218	118	0	79	227	13	0	22	42	0	0	0	0	8	0	26	3	8	0	23	48	335	0	283	538

19.03.2008

SAAT		OTOMOBİL				KAMYONET, PANELVAN				TİCARİ TAKSİ				TİCARİ MINİBÜS				BELEDİYE - HALK OTOBÜSÜ				AĞIR TAŞIT				TOPLAM			
		2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4
10:00	10:15	31		15	21	18		15	33	3		3	5					1		2				2	4	53	0	37	63
10:15	10:30	26		16	28	20		15	27	1			4					1		3		1			2	49	0	34	61
10:30	10:45	20		14	21	25		16	39	1		3	11					1		4	1	1		1	7	48	0	38	79
10:45	11:00	22		17	26	15		10	30	1		5	6					1		3		1		1	1	40	0	36	63
11:00	11:15	21		8	15	27		11	21	1		2	3					1		2	1	1		3	2	51	0	26	42
11:15	11:30	31		13	35	11		10	25			3	5					1		3		1		2	8	44	0	31	73
11:30	11:45	17		12	23	16		19	23	1		2	6				1	1		4				3	12	35	0	40	65
11:45	12:00	29		24	28	19		11	38	1			8					1		4		4		1	3	54	0	40	77
TOPLAM		197	0	119	197	151	0	107	236	9	0	18	48	0	0	0	1	8	0	25	2	9	0	13	39	374	0	282	523

20.03.2008

SAAT		OTOMOBİL				KAMYONET, PANELVAN				TİCARİ TAKSİ				TİCARİ MINİBÜS				BELEDİYE - HALK OTOBÜSÜ				AĞIR TAŞIT				TOPLAM			
		2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-1	2-2	2-3	2-4
10:00	10:15	13		14	23	18		6	34	2		1	1					1		4		3		3	4	37	0	28	62
10:15	10:30	13		15	32	14		7	40			1						1		3		4		4	5	32	0	30	77
10:30	10:45	24		16	30	14		20	34	1		3	5					1		4	1	1		1	6	41	0	44	76
10:45	11:00	18		13	28	19		9	21			5	5					1		3		2		4	5	40	0	34	59
11:00	11:15	19		16	31	16		5	28			2	1					1		3	1	1		1	1	37	0	27	62
11:15	11:30	15		9	20	13		11	28	1		3	4					1		3		2		2	1	32	0	28	53
11:30	11:45	26		16	46	18		11	45			2	9					1		3	1	1			2	46	0	32	103
11:45	12:00	22		11	17	22		11	23	1		2	4					1		3		1		4	2	47	0	31	46
TOPLAM		150	0	110	227	134	0	80	253	5	0	19	29	0	0	0	0	8	0	26	3	15	0	19	26	312	0	254	538

KAVŞAK DURUMUİşıklı

AKIM NO3

ÇEKİM TARİHİ17-19-20.03.2008

ÇEKİM SAATİ10:00-12:00

17.03.2008

SAAT	OTOMOBİL				KAMYONET, PANELVAN				TİCARİ TAKSİ				TİCARİ MINİBÜS				BELEDİYE - HALK OTOBÜSÜ				AĞIR TAŞIT				TOPLAM				
	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	
10:00	10:15	94	8		18	75	5		11	4			1	4			1	7	6			21	1			205	20	0	31
10:15	10:30	96	7		6	59	1		12	3			2	5			2	8	3			18	1		1	189	12	0	23
10:30	10:45	85	6		13	68	1		11	6			3	5			1	5	2			11				180	9	0	28
10:45	11:00	108	9		12	69	1		23	4			2	4			2	4	5			17				206	15	0	39
11:00	11:15	83	5		12	49	4		9	7			2	6			1	7	2			20	1		1	172	12	0	25
11:15	11:30	89	5		15	67	7		21	6			4	6			2	3	2			24			1	195	14	0	43
11:30	11:45	105	3		14	58	13		10	5	1		1	5			1	6	4			20	2		1	199	23	0	27
11:45	12:00	101	1		14	61	2		14	6			4	4			2	6	4			24	1		1	202	8	0	35
TOPLAM		761	44	0	104	506	34	0	111	41	1	0	19	39	0	0	12	46	28	0	0	155	6	0	5	1548	113	0	251

19.03.2008

SAAT	OTOMOBİL				KAMYONET, PANELVAN				TİCARİ TAKSİ				TİCARİ MINİBÜS				BELEDİYE - HALK OTOBÜSÜ				AĞIR TAŞIT				TOPLAM				
	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	
10:00	10:15	125	6	1	18	71	6		14	8	1		4	5			1	9	3			11				229	16	1	37
10:15	10:30	102	7		9	64	6		17	7	1			4			1	6	3			1	2		1	184	19	0	28
10:30	10:45	83	10		12	61	8		17	5	2		1	3			1	4	3			19	1			175	24	0	31
10:45	11:00	110	3		24	72	5		18	4	1		1	6			2	6	3			26				224	12	0	45
11:00	11:15	93	6		23	57	2		16	3	1		2	4			1	8	3			13	3			178	15	0	42
11:15	11:30	96	6	1	14	74	13		16	5			2	6	1		2	5	3			11			1	197	23	1	35
11:30	11:45	99	3	1	12	68	6		13	7	1		2	4			1	6	3			14				198	13	1	28
11:45	12:00	88	3		16	66	5		15	8	1		3	5			2	5	3			25				197	12	0	36
TOPLAM		796	44	3	128	533	51	0	126	47	8	0	15	37	1	0	11	49	24	0	0	120	6	0	2	1582	134	3	282

20.03.2008

SAAT	OTOMOBİL				KAMYONET, PANELVAN				TİCARİ TAKSİ				TİCARİ MINİBÜS				BELEDİYE - HALK OTOBÜSÜ				AĞIR TAŞIT				TOPLAM				
	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-1	3-2	3-3	3-4	
10:00	10:15	108	5	2	17	61	2		23	10			3	5			1	9	5			13	1			206	13	2	44
10:15	10:30	96	6		17	57	3	1	15	6	3		2	5			2	5	2			17	1			186	15	1	36
10:30	10:45	98	8		10	59	10		10	5			1	4			1	6	3			13	1			185	22	0	22
10:45	11:00	110	6	1	12	56	4		13	7		1	1	5			1	8	3			14				200	13	2	27
11:00	11:15	125	3	1	12	65	3		17	10			1	5			3	7	2			9	1		1	221	9	1	34
11:15	11:30	78	4	1	11	52	7	1	16	7	1		2	4				6	3			20				167	15	2	29
11:30	11:45	69	10	1	15	51	4	1	14	6				4			2	5	3			24	1			159	18	2	31
11:45	12:00	89	6		13	83	3	1	16	6			1	5			2	10	4			14	1			207	14	1	32
TOPLAM		773	48	6	107	484	36	4	124	57	4	1	11	37	0	0	12	56	25	0	0	124	6	0	1	1531	119	11	255

KAVŞAK DURUMU Işıklı

AKIM NO4

ÇEKİM TARİHİ17-19-20.03.2008

ÇEKİM SAATİ10:00-12:00

17.03.2008

SAAT	OTOMOBİL				KAMYONET, PANELVAN				TİCARİ TAKSİ				TİCARİ MINİBÜS				BELEDİYE - HALK OTOBÜSÜ				AĞIR TAŞIT				TOPLAM			
	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4
10:00 10:15	30	24	10		17	20	10		3	9				1			1				7	4			58	57	21	0
10:15 10:30	32	21	8		17	10	6		1	2	1			2			1				6	2			57	35	17	0
10:30 10:45	20	27	14		16	23	14		3	4	1			1							3	4	1		42	58	31	0
10:45 11:00	25	29	9		11	32	14		1	5				2			1	1			6	2			44	69	25	0
11:00 11:15	19	24	13		17	26	14		3	8	3			1					1		7	1	1		46	59	33	0
11:15 11:30	26	16	4		19	31	11			4	1			2			2				6	3			53	54	18	0
11:30 11:45	22	24	14		19	33	6		1	6	3						1		1		6	7			49	70	24	0
11:45 12:00	18	28	13		16	31	9		2	3	1			1			1	1			6	1	2		43	64	26	0
TOPLAM	192	193	85	0	132	206	84	0	14	41	10	0	0	0	10	0	7	2	2	0	47	24	4	0	392	466	195	0

19.03.2008

SAAT	OTOMOBİL				KAMYONET, PANELVAN				TİCARİ TAKSİ				TİCARİ MINİBÜS				BELEDİYE - HALK OTOBÜSÜ				AĞIR TAŞIT				TOPLAM			
	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4
10:00 10:15	31	30	14		15	25	14		6	6				2			1					3			53	64	30	0
10:15 10:30	23	23	10		13	30	11		1	6							1				2	2	2		40	61	23	0
10:30 10:45	25	19	8		9	21	5		3	7	1			1				1			5	1			42	49	15	0
10:45 11:00	30	23	7		18	30	9		1	2	1			2			1	1			2	2			52	58	19	0
11:00 11:15	25	24	8		15	26	10		2	2				1			1				6	1			49	53	19	0
11:15 11:30	25	19	15		18	30	11		2	7	2			2			2				2	2			49	58	30	0
11:30 11:45	22	31	8		23	32	10		1	5	3						1				3	3			50	71	21	0
11:45 12:00	27	23	16		11	30	7		3	7				2			1				1	1	1		43	61	26	0
TOPLAM	208	192	86	0	122	224	77	0	19	42	7	0	0	0	10	0	8	2	0	0	21	15	3	0	378	475	183	0

20.03.2008

SAAT	OTOMOBİL				KAMYONET, PANELVAN				TİCARİ TAKSİ				TİCARİ MINİBÜS				BELEDİYE - HALK OTOBÜSÜ				AĞIR TAŞIT				TOPLAM			
	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-1	4-2	4-3	4-4
10:00 10:15	31	23	11		12	24	6		4		2						1	1			5	4	1		53	52	20	0
10:15 10:30	34	16	8		9	19	11		1	6	1			1			1				6	2	1		51	43	22	0
10:30 10:45	22	24	10		15	28	7		3	5	3			1			1	1			2	4	1		43	62	22	0
10:45 11:00	32	34	9		13	30	13			4	1			2				1			1	1			46	70	25	0
11:00 11:15	19	21	13		14	22	9		2	2	1			2			1				4	2			40	47	25	0
11:15 11:30	24	17	10		10	32	6		1	4				1			1				1	4			37	57	17	0
11:30 11:45	27	23	13		16	30	9		4	4	1			2			2				8				57	57	25	0
11:45 12:00	23	26	16		15	24	8		1		1			1			1				5	5	1		45	55	27	0
TOPLAM	212	184	90	0	104	209	69	0	16	25	10	0	0	0	10	0	8	3	0	0	32	22	4	0	372	443	183	0

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	23.07.1982	
Doğum yeri	Van	
Lise	1996-2000	Ümraniye Nevzat Ayaz Lisesi
Lisans	2000-2005	İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2005-2008	İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Programı

Çalıştığı kurum (lar)

2005-2006	Badişan İnşaat ve Taahhüt Ltd. Şti.
2006-	Bilge Planlama ve Proje Hiz. Ltd. Şti.