

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARTERLERİN YENİDEN YAPILANDIRILMASINDA SİMÜLASYON
TEKNİĞİ İLE KARAR VERME VE BİR KAVŞAK UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Selim OCAKDAN**

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Mühendislik Yönetimi

HAZİRAN, 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARTERLERİN YENİDEN YAPILANDIRILMASINDA SİMÜLASYON
TEKNİĞİ İLE KARAR VERME VE BİR KAVŞAK UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Selim OCAKDAN
(507071221)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2010

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. C. Erhan BOZDAĞ (İTÜ)

**Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. M. Mutlu YENİSEY (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Bersam BOLAT (İTÜ)**

HAZİRAN, 2010

ÖNSÖZ

“Arterlerin Yeniden Yapılandırılmasında Simülasyon Tekniği ile Karar Verme ve Bir Kavşak Uygulaması” konulu bu çalışma İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Yönetimi Programı kapsamında “Yüksek Lisans Tezi” olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmamda bana destek olan ve sevgilerini her an üzerinde hissettiğim çok kıymetli annem ve babam Huriye-Yusuf OCAKDAN çifti başta olmak üzere, tez danışmanlığım süresince desteğini benden esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Cafer Erhan BOZDAĞ’a, yönlendirmeleri ile bana destek olan aynı zamanda da lisanstan hocam İETT Genel Müdürü Doç. Dr. Hayri BARAÇLI’ya, tez çalışmam süresince desteğini üzerimde hissettiğim İ.B.B. Ulaşım Planlama Müdürü Atilla ALKAN’a, her adımda her türlü sorumu bıkmadan usanmadan cevaplayan, tezimde fikir işçiliği yapan İSBK A.Ş.’de Yük. Müh. Ersoy PEHLİVAN ile İSBK A.Ş. çalışanlarına, motive kaynağım gibi çalışan değerli arkadaşlarım Selim AKSOY, Yavuz BİBEROĞLU ve Adem ARSLAN’a ve de eğitimim sırasında bana maddi olarak destek sağlayan TÜBİTAK’a teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran, 2010

Selim OCAKDAN
(Endüstri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ii
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. ARTERLERDE TRAFİK SİNYAL KOORDİNASYON SİSTEMLERİ VE GEOMETRİK DÜZENLEMELER	5
2.1. Trafik Sinyal Koordinasyon Sistemleri – Genel Bilgiler	5
2.2. Koordinasyonun Faydaları	5
2.2.1. Koordinasyonun Faydasını Azaltan Faktörler.....	6
2.3. Sinyal Koordinasyon Sistemleri Amaçları	6
2.4. Bilgisayarlı Trafik Sinyal Kontrol Sistemleri.....	7
2.5. Adaptif Kontrol Sistemleri.....	9
2.6. Devre - Dışı” Sinyal Koordinasyon Programları.....	11
2.7. Sinyal Koordinasyonu Genel Prensipleri	13
2.8. Sinyal Koordinasyonuna İlişkin Temel Tanımlar	13
2.8.1. Yer-Zaman Grafiği ve Kayma.....	13
2.8.2. Bant Genişliği.....	15
2.9. Sinyal Koordinasyonunda Karşılaşılan Sorunlar.....	16
2.9.1. Araçların Arterdeki İlerleme Hızının Tahmin Edilenden Farklı Olması.....	16
2.9.2. Kuyrukta Bekleyen Araçların Sinyal Koordinasyonuna Etkisi	18
2.10. İki Yönlü Arterlerde Koordinasyon	20
2.10.1. Eş Zamanlı Sistem:.....	21
2.10.2. Değişen Sistem:	22
2.10.3. Çift Değişen Sistem.....	24
2.11. Arterlerde Sinyal Koordinasyonunun Yapılabilmesi için Yöntem.....	25
2.12. Literatür Taraması	27
3. SİMÜLASYON KAVRAMI.....	29
3.1. Simülasyon Modeli ve Nitelikleri	29
3.2. Simülasyonun Uygun Olduğu Durumlar.....	30
3.3. Simülasyonun Bileşenleri.....	31
3.4. Simülasyonun Çeşitleri.....	32
3.5. Simülasyonun Tarihsel Gelişimi	34
3.6. Simülasyonun Kullanım Alanları.....	34
3.6.1. Endüstri ve İş Alanlarında Uygulamalar	36
3.6.2. Mühendislik ve Fen Alanlarında Uygulamalar	36
3.6.3. Askeri ve İdari Alanlarda Uygulamalar	36
3.7. Simülasyonun Avantajları	37
3.8. Simülasyonun Dezavantajları.....	37

3.9. Simülasyonun Aşamaları.....	38
3.9.1. Problem Tanımlama ve Hedeflerin Durumu	38
3.9.2. Verilerin Toplanması ve Analizi	40
3.9.3. Model Geliştirme.....	41
3.9.4. Modelin Doğrulanması ve Geçerliliğin Araştırılması	42
3.9.5. Senaryoların Oluşturulması	45
3.9.6. Sonuçların Analizi	46
4. UYGULAMA.....	47
4.1. Amaç ve Kapsamın Belirlenmesi	47
4.1.1. Arterin Seçilmesi	47
4.1.2. Seçilen arterin seçim nedeni	47
4.1.3. Üsküdar Nuh Kuyusu Caddesi'nin Konumu	48
4.2. Sistem Verilerinin Toplanması ve Analizi	48
4.3. Modelin oluşturulması.....	48
4.3.1. Nuh Kuyusu Caddesi'nde Mevcut Durum Analizi	48
4.3.1.1 3405 Nolu Kavşak :.....	50
4.3.1.2 3436-A Nolu Kavşak :.....	51
4.3.1.3 3436-B Nolu Kavşak :.....	51
4.3.1.4 3344 Nolu Kavşak :.....	52
4.3.1.5 3358-A Nolu Kavşak :.....	53
4.3.1.6 3358-B Nolu Kavşak :.....	53
4.3.1.7 3357 Nolu Kavşak :.....	54
4.3.1.8 3317-A Nolu Kavşak :.....	55
4.3.1.9 3317-B Nolu Kavşak :.....	56
4.4. Senaryolar.....	56
4.4.1. Kritik İyileştirme Parametrelerinin Belirlenmesi	56
4.4.2. Senaryo 1 : Kavşağın Sinyal Sürelerinin Optimize Edilmesi.....	58
4.4.3. Senaryo 2: Arterde ve Kavşaklarda Geometrik Düzenlemeler için Yapılan Öneriler.....	61
4.4.3.1 3405 Nolu Kavşak :.....	62
4.4.3.2 3436-A Nolu Kavşak :.....	63
4.4.3.3 3436-B Nolu Kavşak :.....	64
4.4.3.4 Yeni Sinyalize Kavşak (Lokmanoğlu Sokak) :	65
4.4.3.5 3344 Nolu Kavşak :.....	65
4.4.3.6 3358-A Nolu Kavşak :.....	66
4.4.3.7 3358-B Nolu Kavşak :.....	67
4.4.3.8 3357 Nolu Kavşak :.....	67
4.4.3.9 3317-A Nolu Kavşak :.....	68
4.4.3.10 3317-B Nolu Kavşak :.....	68
4.5. Sonuçların Sunulması.....	69
4.5.1. Analiz Sonuçları	69
4.5.2. Yapılan İyileştirmelerin Simülasyon ile İrdelenmesi	74
5. SONUÇLAR	79
KAYNAKLAR	81
EKLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	99

KISALTMALAR

RTOR	: Right Turn On Red
ACS	: Adaptive Control Strategy
SCATS	: Sydney Coordinated Optimization Technique
SCOOT	: Split, Cycle, Offset Optimization Technique
ATSC	: Automated Traffic Surveillance and Control
OPAC	: Optimized Policies for Adaptive Control
RHODES	: Real-time Hierarchical Optimized Distributed Effective System
RTACL	: Real-time Traffic Adaptive Control Logic
FHWA	: Federal Highway Administration
TSIS	: Traffic Software Integrated System
ITS	: Intelligent Systems & Technology
AASHTO	: American Association fir State Highway and Transportation Officials
LOS	: Level Of Service

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Değişik seyir hızı ve devir süreleri için değişen sisteme uygun düşen ardıl kavşaklar arası mesafe değerleri	23
Çizelge 2.2 : Değişik seyir hızı ve devir süreleri için çift değişen sisteme uygun düşen ardıl kavşaklar arası mesafe değerleri.....	25
Çizelge 4.1 : Nuh Kuyusu Caddesi arteri önce-sonra iyileştirme hesapları (SenaryoI).....	72
Çizelge 4.2 : Nuh Kuyusu Caddesi arteri önce-sonra iyileştirme hesapları (SenaryoII)	73
Çizelge A.1 : ABC Arterinde Kontrol Sayımları.....	85
Çizelge A.2 : Kavşak Arazi Sayım Formu 1	87
Çizelge A.3 : Kavşak Arazi Sayım Formu 2	88
Çizelge A.4 : Kavşak Sayım Özeti Formu.....	89
Çizelge A.5 : Kavşak Trafik Hacimlerinin Grafikselsel Gösterimi	90
Çizelge B.1 : Nuh Kuyusu Caddesi'nde sinyal koordinasyonunda uygulanan senaryoların özeti.	92
Çizelge B.2 : Sabah zirvesinde Synchrono'nun önerdiği tüm arter için periyot süreleri ve değerleri.....	94
Çizelge B.3 : Öğle zirvesinde Synchrono'nun önerdiği tüm arter için periyot süreleri ve değerleri.....	94
Çizelge B.4 : Akşam zirvesinde Synchrono'nun önerdiği tüm arter için periyot süreleri ve değerleri.....	94
Çizelge B.5 : Tüm senaryolar için sabah zirve saatinde sinyal süreleri ve kayma zamanlarının karşılaştırılması	96
Çizelge B.6 : Tüm senaryolar için zirve dışı saatte sinyal süreleri ve kayma zamanlarının karşılaştırılması	97
Çizelge B.7 : Tüm senaryolar için akşam zirve saatinde sinyal süreleri ve kayma zamanlarının karşılaştırılması	98

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Örnek bir yer-zaman grafiği.....	14
Şekil 2.2 : Dört kavşaktan oluşan tek yönlü bir arter için yer-zaman grafiği.....	17
Şekil 2.4 : Dört kavşaktan oluşan tek yönlü bir arterde araç seyir hızının tahmin edilenden fazla oluşunun etkisi.....	18
Şekil 2.5 : Kuyrukta bekleyen araçların sinyal koordinasyonu etkisi	18
Şekil 2.6 : Kuyrukta bekleyen araçların göz önünde bulundurulmasıyla yeniden hesaplanan kayma değeri	19
Şekil 2.8 : Eş Zamanlı (Simultane) Sistem.....	22
Şekil 2.9 : Değişen Sistem.....	23
Şekil 2.10 : Çift Değişen Sistem.....	24
Şekil 2.11 : Arterlerin Yeniden Yapılandırılması İçin Yöntem.....	26
Şekil 3.1 : Simülasyon Sürecinin Aşamaları	38
Şekil 3.2 : Doğrulama ve Değerlendirme Teknikleri.....	45
Şekil 4.1 : Nuh Kuyusu Caddesi ve üzerindeki kavşaklar.....	49
Şekil 4.2 : SimTraffic programında 3405 nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve)....	50
Şekil 4.3 : SimTraffic programına göre 3436-A nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).	51
Şekil 4.4 : SimTraffic programına göre 3436-B nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).	52
Şekil 4.5 : SimTraffic programına göre 3344 nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).	52
Şekil 4.6 : SimTraffic programına göre 3358-A nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).	53
Şekil 4.7 : SimTraffic programına göre 3358-B nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).	54
Şekil 4.8 : SimTraffic programına göre 3357 nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).	54
Şekil 4.9 : SimTraffic programına göre 3317-A nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).	55
Şekil 4.10 : SimTraffic programına göre 3317-B nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).	56
Şekil 4.11 : 3317-A nolu kavşak sabah zirve saati mevcut durum analizi	59
Şekil 4.12 : 3317-A nolu kavşak sabah zirve saati öneri durum (senaryo I) analizi .	60
Şekil 4.13 : 3317-A nolu sabah zirve saati öneri durum (senaryo II) analizi	61
Şekil 4.14 : 3405 nolu kavşaktaki mevcut geometrik düzen	62
Şekil 4.15 : 3405 nolu kavşaktaki düzenleme önerisi.	62
Şekil 4.16 : 3436-A'nın önerilen görüntüsü	63
Şekil 4.17 : 3436 B' de kavşaktaki mevcut geometrik düzen.....	64
Şekil 4.18 : 3436 – B' de önerilen düzenleme.....	64
Şekil 4.19 : Yeni sinyalizasyon kavşaktaki düzenleme önerisi.....	65
Şekil 4.20 : 3344 nolu kavşakta yapılan düzenlemeler	66

Şekil 4.21 : 3358-A’da önerilen düzenleme	66
Şekil 4.22 : 3358-B’de önerilen düzenleme	67
Şekil 4.23 : 3357nolu kavşakta yapılan düzenlemeler	67
Şekil 4.24 : 3317-A’da önerilen düzenleme	68
Şekil 4.25 : 3317-B’de önerilen düzenleme	69
Şekil 4.26 : Mevcut durumdaki ve Senaryo2’ye göre Sabah Zirvede Arter Analiz Sonuçları.....	69
Şekil 4.27 : Mevcut durumdaki ve Senaryo2’ye göre Öğlen Zirvede Arter Analiz Sonuçları	70
Şekil 4.28 : Mevcut durumdaki ve Senaryo2’ye göre Akşam Zirvede Arter Analiz Sonuçları.....	71
Şekil 4.29 : SimTraffic programında 3436 A nolu kavşağın durumu (sabah zirve)..	74
Şekil 4.30 : SimTraffic programında senaryo 2’ye göre 3436A nolu kavşağın durumu (sabah zirve).....	75
Şekil 4.31 : SimTraffic programında 3358 A nolu kavşağın durumu (sabah zirve)..	75
Şekil 4.32 : SimTraffic programında senaryo 2’ye göre 3358A nolu kavşağın durumu (sabah zirve).....	76
Şekil 4.33 : SimTraffic programında 3357 nolu kavşağın durumu (sabah zirve).	76
Şekil 4.34 : SimTraffic programında senaryo 2’ye göre 3357 nolu kavşağın durumu (sabah zirve).	77
Şekil B.1 : Nuh Kuyusu caddesindeki kavşakların mevcut durumunun sinyal fazları..	91
Şekil B.2 : Nuh Kuyusu caddesindeki kavşaklar için önerilen sinyal fazları.....	93

SEMBOL LİSTESİ

t_{ideal}	: İdeal Kayma Değeri
L	: İki Kavşak Arası Mesafe
V	: Araçların Arterde İlerleme Hızı
E_B	: Bant Genişliği Etkinliği
B	: Bant Genişliği
C	: Sinyal Periyodu
C_B	: Bant genişliği kapasitesi
N	: Doğru istikametteki şerit sayısı
h	: Bir noktadan ard arda geçen seyir halindeki iki araç arasındaki zaman farkı
K	: Kuyrukta bekleyen şerit başına düşen araç sayısı
I_1	: Kalkış Zaman Kaybı
PI	: Performans İndeksi
D	: Bir saatte meydana gelen toplam gecikme
St	: Bir saatte araçların toplam duruş sayısı
E	: Eş zamanlı sistemin etkinliği

ARTERLERİN YENİDEN YAPILANDIRILMASINDA SİMÜLASYON TEKNİĞİ İLE KARAR VERME VE BİR KAVŞAK UYGULAMASI

ÖZET

Dünyanın sayılı kentleri arasında olan ve her geçen gün önemi gittikçe artan İstanbul'da artık ciddi ulaşım ve ulaştırma planlamaları ile mevcut sistemlerin olabildiğince etkin kullanılabilmesi için yeniden yapılandırmaların ele alınması gerekmektedir. Etkin ve verimli yönetim için birçok bilimsel metottan bahsedilebilir. Bu tez kapsamında ise bu metotlardan biri olan ve çok kavşaklı trafik sistemlerinin çözümünde ve planlanmasında etkili bir yöntem olan simülasyon ele alınmıştır. Tez çalışmamızın ana amacı trafik sistemlerinin önemli bir parçası olan arterlerin yeniden yapılandırılması için değişik senaryoların üretilerek en uygun sistemin hayata geçirilmesine örnek teşkil etmesini sağlamaktır.

Çalışmanın birinci bölümünde genel manada ulaşımın önemi, İstanbul'daki ulaşımın ulaştığı ciddi boyutlar ve ulaşım sistemlerin iyileştirilmesi için neden simülasyon gibi bir tekniğin kullanıldığı anlatılmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde arterlerin temel bileşeni olan sinyal koordinasyonu ile ilgili bilgiler verilmekte, böylelikle arterlerin çalışma prensipleri anlatılmaktadır. Ayrıca arterlerde sinyal koordinasyonu yapılabilmesi için bir de yöntemden bahsedilmektedir. Daha önce yapılmış simülasyon ve optimizasyon çalışmalarına da bu bölüm içerisinde yer verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde simülasyon kavramına genel bir bakış atılmıştır. Simülasyonun genel özellikleriyle birlikte avantajları, dezavantajları, çeşitleri ve aşamaları incelenmiştir.

Uygulama bölümü olan dördüncü bölümde ise çalışmanın yapıldığı Nuhkuyusu Caddesi anlatılmıştır. Neden bu caddenin seçildiği, stratejik önemi açıklandıktan sonra mevcut durumun modellenmesi yapılmıştır. Bütün kavşaklar tek tek ele alınarak incelenmiş ve iki adet senaryo üretilerek hangisini uygulamanın daha isabetli olduğu tespit edilmiştir. Önerilen sistemin de modeli ayrıntılarıyla anlatılmış ve kavşakta yapılacak geometrik değişikliklerden elde edilebilecek faydanın tutarı hesaplanmıştır.

Beşinci bölümde ise genel olarak sonuçlar açıklanmış, bu tarz çalışmaların öneminden bahsedilmiş ve baştan planlanması adeta imkânsız hale gelen şehirlerin en azından yeniden yapılandırılması için çaba gösterilmesi gerektiği belirtilmiştir. Simülasyon çalışması ile elde edilen değerlerin ve sonuç raporlarının öneminden bahsedilmiştir.

DECISION MAKING FOR REFORMING OF ARTERIAL ROADS WITH SIMULATION TECHNIQUE AND AN INTERSECTION APPLICATION

SUMMARY

Reconstructions have to be considered well then, in order to use existing systems insofar effective with serious transport and transportation planning in Istanbul, which is among the best cities of world and has increasing importance day by day. It can be discussed about many scientific methods for effective and productive management. As for the scope of this thesis, simulation, which is one of these methods and effective for solution and planning of traffic systems with many intersections, is considered. The main purpose of our thesis is to provide forming an example, for carrying out the most convenient system by producing different scenarios in order to reform arterial roads, which are the important parts of traffic systems.

In the first part of study, it is explained that importance of transport in general meaning, the significant dimensions of transport reaches in Istanbul and why the technique as simulation is used for optimizing the transport systems.

In the second part of study, information about signal coordination as the principal component of arterial roads is given, and in this way working principles of arterial roads are explained. Also it is discussed about a method to make signal coordination at arterial roads possible. On the other hand the simulation and optimization studies, which are already done, are included in this part.

In the third part of study, simulation concept is checked out generally. Along with the common properties of simulation, advantages, disadvantages, types and steps of simulation are examined.

As for in the fourth part which is the application part of study, The Nuhkuyusu Street where study took place, is explained. The modeling of existing condition has done, after the explanation of why this street was chosen and strategic importance of this street. All intersections are examined one by one, and afterwards by creating two scenarios, it is determined that whose application is more appropriate. Model of proposed system is explained in details and total benefit which is possible to gain from geometric changes done at intersection point, is calculated.

As for in the fifth part of study, conclusions are explained generally, it is mentioned that the importance of such studies and the necessity of struggling at least for reforming cities which are impossible to plan from the beginning, is clarified. The importance of values gained with simulation study and final reports is mentioned.

1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusu, hızlı yaşamın hayatın her kademesinde kendisini hissettirdiği ve zamanın eskiye kıyasla çok daha kıymetli bir madene dönüştüğü 21.yy'da hem araçların hem de yayaların trafiğinin artması, başta şehirlerin planlanması, daha sonra da sürekli olarak elde edilen veriler ile mevcut sistemlerin iyileştirilmesi ve ulaşım ve ulaştırma maliyet ve sürelerinin azaltılması için çalışmalar yapmaya bizi zorlamaktadır.

Ülkemiz nüfusunun yaklaşık %15'ini barındıran İstanbul, diğer pek çok hususta olduğu gibi, ulaşım açısından da özel bir öneme sahiptir. İki kıta arasında karayolu için başlıca geçit olması; ülkenin başta gelen sanayi, ticaret, kültür, spor ve turizm merkezi konumunda bulunması; hava, deniz ve karayolu ulaştırması açısından ülkenin önde gelen limanı olma özelliği taşıması, İstanbul'u ve İstanbul'da ulaşımın önemini daha da kıymetli kılmaktadır.

Günde ortalama 600 aracın, yılda da yaklaşık 200 bin aracın trafiğe eklendiği, Avrupa yakasında her 100 kişiden 25'inin, tüm İstanbul'da ise 100 kişiden 14'ünün otomobili bulunduğu İstanbul'da trafik gün geçtikçe daha büyük bir problem haline gelmektedir. Şehrin bu artışa göre planlanmadığı düşünüldüğünde, en büyük çare toplu taşımaya yönlendirme, ikinci büyük çare ise mevcut arter sistemlerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi olarak düşünülmektedir. Üçüncü çare ise büyük bir deniz ulaştırma potansiyeline sahip olan İstanbul'un deniz ulaştırma yüzdesini artırmaktır ki bu, ulaşım da yüzde 89'luk paya sahip karayolu trafiğinin azaltılması için önemli bir vasıta dır. Karayolu ulaşımının ise yüzde 30'u özel oto, yüzde 42'si toplu taşıma araçlarıyla yapıldığı düşünüldüğünde arterlerin planlanması ve iyileştirilmesinde belediye ve özel halk otobüsleri için özel düzenlemeler yapılması kaçınılmaz olmaktadır.

Ergün ve Şahin (2006) tarafından yapılan bir çalışmada İstanbul'daki karayolu trafik sıkışıklığının yıllık maliyetinin 144.713.430 taşıt-saat, 1.034.701.022 kişi-saatlik (118.117 kişi-senelik) gecikme, yılda 833.713.430 dolara malolan 144.713.430

litrelik ilave yakıt tüketimi, 2.286.689.258 ABD dolarlık zaman kaybı ve toplam olarak 4.206.556.359 YTL (=3.120.390.771\$) kayba neden olduğu görülmüştür. İstanbul'da trafik sıkışıklığının sebep olduğu kişi başına ortalama gecikme senede 73.9 saat/kişi'dir. Nüfusu İstanbul'la hemen hemen aynı olan ve ABD'nin en fazla trafik sıkışıklığı yaşayan kenti olan Los Angeles için bu değer 51 saat/kişi'dir. Toplanan bu istatistikler İstanbul'da yaşanan trafik sıkışıklığının çok ciddi boyutlara ulaştığını göstermektedir.

İstanbul'daki trafik sıkışıklığını gidermek amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. Gerek mevcut sistemlerde sadece sinyalizasyon düzenlemesi yaparak, gerek mevcut sistemlerin simülasyon tekniği ile bilgisayar ortamına aktarılıp senaryolar üretilerek bu çalışmalar yürütülmektedir. Örneğin; Ergün, Bayraksan ve Coşkun'un (1999) İstanbul'da yaptığı bir trafik simülasyonu ile gecikmeler, durmalar, yakıt harcamaları ve egzoz gazları açısından çok önemli miktarlarda iyileştirme yapılabileceği görülmüştür. ABD Kaliforniya eyaletinde yapılan bir trafik sinyal koordinasyon çalışmasında ise eyaletteki araç-saat gecikmeler yüzde 25 oranında azaltılmıştır (AASHTO, 2004).

Bu çalışmada incelen trafik olayına çözüm önerileri getirilirken simülasyon tekniğinden faydalanılmıştır. Peki neden simülasyon? Trafik olayı, zamanla değişen, çok etkenli, karmaşık bir olaydır. Özellikle kavşaklardaki trafik akışları öylesi bir olaydır ki en karmaşık matematik modeller bile tüm taşıt ve sürücülerin genel olarak aynı karaktere sahip olduğunu varsaymak zorunda kalırlar. Başka bir deyişle gerçeği ancak kaba çizgileri ile yansıtabilen bu modeller, trafik akışını ve dolayısıyla bu akış düzenini oluşturan zaman-yer değiştirmelerini bir bütün olarak inceler, değişken olarak bu bütünün ortalama değerlerini kullanırlar (Çelik, 1987).

Çok hızlı ve yetenekli elektronik hesaplayıcıların gelişmelerine paralel olarak gelişen bilgisayar simülasyonu ile artık, modellemeleri olanaksız, zor ya da çok pahalı olan sistem, süreç ve kavramların gerçeğe uygun bir biçimde ele alınmalarına olanak sağlamış bulunmaktadır. Hatta sadece mevcut sistemlerin değil, ilk defa planlanmakta olan sistemlerde dahi ortaya çıkacak olan sorunları önceden tahmin etmek, yani gerçek olaya geçmeden önce doğabilecek sorunları görmek ve gerekli önlemleri almak bu teknik ile mümkün olabilmektedir (Çelik, 1987).

İstanbul'un bu geniş karayolu hacmini düşününce yapılabilecek her türlü iyileştirme çalışmaları kent için çok büyük gereksinim arz etmektedir. Bu çalışmaların yapılmasında simülasyon tekniği kullanımı önemli araçlardan biri olarak ortaya çıkar. Yapılabilecek değişikliklerin gerçek ortamda deneme yanılma yöntemiyle test edilmesi *zaman kısıdı, maliyet kısıdı, itibar kısıdı* gibi faktörler yüzünden verimli olmayacaktır. Bu sebeple mevcut sistemde yürütülen çalışmaların yanında simülasyon da arter planlama aşamasında verilecek kararlar için önemli veriler ortaya çıkarabilir. Verilecek stratejik, taktiksel ve operasyonel kararlardan önce simülasyon sonuçları analiz edilerek bilimsel veriler ışığında işletmeyi ya da belediyeyi daha kârlı hale getirecek sonuçlar ve senaryolar değerlendirilebilir. Özellikle çok kavşaklı sistemlerin tasarlanmasında simülasyon vazgeçilmez bir teknik olarak kullanılmaktadır, çünkü bu tarz sistemler karmaşıktır ve sistemi öngörmek oldukça zordur, simülasyon senaryolarına ihtiyaç duyulmaktadır.

2. ARTERLERDE TRAFİK SİNYAL KOORDİNASYON SİSTEMLERİ VE GEOMETRİK DÜZENLEMELER

2.1. Trafik Sinyal Koordinasyon Sistemleri – Genel Bilgiler

Sinyalize kavşakların birbirlerine yakın olduğu hallerde yeşil zamanlar koordine edilerek araçların kavşak sisteminden daha etkin bir şekilde geçmesi sağlanabilir. Bazı hallerde sinyalli kavşaklar birbirlerine çok yakın olur ve bu hallerde iki kavşak tek bir kavşak olarak düşünülebilir. Bazı hallerde ise kavşaklar birbirlerinden çok uzaktır ve bu hallerde de kavşaklar “izole” yani kendi başlarına diğer kavşaklardan bağımsız olarak sinyalize edilip çalışabilir. Bir kavşaktan bırakılan taşıtların kümelerinin 300m’nin çok ötesine kadar bozulmadan gideceği bilinmektedir (Yol Kapasitesi El Kitabı, 2000). Uygulana gelen pratik, ana yollar ve karayolları üzerinde 800 m ye kadar uzaklıkta olan kavşakların koordine edilmesi yolundadır (Roess, Prassas ve McShane, 2004).

2.2. Koordinasyonun Faydaları

Sinyal koordinasyonunun ana faydası sağlanan servisin ki bu da gecikme ve durma sayısı gibi kriterlerle ölçülebilir, iyileştirilmesidir. Koordinasyonun faydası, genelde bir “maliyet” veya “ceza” fonksiyonu ile değerlendirilir. Bu fonksiyon da, aşağıda verildiği gibi durma sayısı ve gecikmenin ağırlıklı bir birleşimidir:

Maliyet = Ax (Toplam durmalar) + Bx (Toplam gecikme) + Diğer Terimler.

Buradaki A ve B katsayıları bu iki faktörün kullanıcılar açısından ne ölçüde önemli olduğuna bağlı olarak belirlenebilir. Örneğin, eğer bir duruş 5 saniyelik bir gecikme kadar rahatsız edici ise $A = 5B$ kullanılabilir. A ve B değerleri duruşların ve gecikmenin ekonomik maliyetini aksettirecek şekilde seçilebilir. Bu halde maliyet fonksiyonu ile bulunan toplam maliyetteki azalmalar direk olarak Fayda/Maliyet analizlerinde kullanılabilir. Durmalar ve gecikmelerdeki azalmalar, ancak sinyal optimizasyon bilgisayar programları ile, örneğin Synchro, Transyt gibi programlarla hesaplanabilir (Wallace, 1983).

Enerji tasarrufu ve çevrenin korunması son senelerde önem kazanmıştır. Taşıtların seyahat edeceği veya etmesi gerektiği varsayıldığında, yakıt tasarrufu ve en az hava kirliliği, araçların durdurulmadan ve uygun hızlarda hareketi ile sağlanabilir.

Koordine edilmiş bir sinyal sisteminde araçların kümeler halinde hareketi de bir faydadır. İyi teşekkül etmiş bir kümede araçlar arasındaki zaman açıklığı dururken harekete geçen araçlar arasındaki açıklıktan daha azdır. Doğal olarak, bu da kavşağın daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar.

2.2.1. Koordinasyonun Faydasını Azaltan Faktörler

Sinyal koordinasyonunun faydalarını kısıtlayan faktörler aşağıdaki gibidir:

- Yetersiz yol kapasitesi
- Yol boyunca oto park, yükleme-boşaltma, iki şerit park ve yola kenar yollardan girişlerden kaynaklanan, yol kenarında direnci önemli miktarda arttıran durumlar
- Çok fazla sinyal fazı kullanılmasını gerektirecek karışık kavşaklar
- Hızlardaki aşırı değişkenlik
- Sinyaller arasındaki çok kısa veya çok uzun mesafeler
- Caddeye veya caddeden olan çok fazla dönüş hareketleri

Yukarıdaki bütün faktörler araçların kümelerini bozacağı için koordinasyonun faydaları azalacaktır. Dolayısıyla, koordinasyon işine kalkışılmadan önce sistemin geometrik ve trafik karakterlerinin koordinasyona uygun olup olmadığı araştırılmalı ve eğer mümkünse bu bozukluklar sistem tatbik edilmeden giderilmeye çalışılmalıdır. Bazı hallerde, bu düzeltmeler yapılmadığı takdirde, koordinasyondan hiç bir fayda sağlanamaz.

2.3. Sinyal Koordinasyon Sistemleri Amaçları

Genelde, yolların genel konumları ve trafik akımlarının özellikleri sinyal sisteminin amacını belirler. Önce sistem tipi düşünülmelidir. Sistem tek-yönlü ana arter, iki-yönlü arter, tek-yönlü, çift- yönlü veya karışık yol ağı olabilir. Mevcut sistem iyi bir başlangıç noktası ise de, bazen en iyi çözüm bile yeterli olmayabilir. Bu hallerde mühendisin bazı yolları değiştirmesi, önemli geometrik düzenlemeler yapması gerekebilir.

Daha sonra, koordine edilecek akımlar düşünölmelidir. İki yönlü bir arterde sadece bir veya her iki yön birden koordine edilebilir. Eğer her iki yön birden koordine edilecekse iki çözüm arasında bazı tavizler vermek gerekecektir. Bir sinyal ağında, bazı tercihli yollar tespit edilebilir ve ilerleme için öncelik bu yollara verilebilir.

Sinyal koordinasyon amaçları arasında “bant genişliğinin” (giden araç kümeleri için yeşil açıklıkları) maksimize edilmesi, gecikme ve/veya durma sayısının minimize edilmesi sayılabilir. Sinyal koordinasyonu prensipleri çeşitli trafik mühendisliği kaynaklarından bulunabilir (Örneğin, Roess, Prassas ve McShane, 2004; Parsonson, 1992).

2.4. Bilgisayarlı Trafik Sinyal Kontrol Sistemleri

Bugün dünyanın birçok yerinde bilgisayarlar arterlerde veya ulaşım ağlarında trafik sinyallerinin kontrolünde kullanılmaktadır. Bu sistemlerin işleyişi aşağıda anlatılmıştır.

En basit sistemlerde, bir veya birkaç arterde sinyalleri kontrol eden zamanlamalar bir merkezi bilgisayardan gönderilir. Arazideki algılayıcılardan (detektörlerden) bir “yeni - besleme” olmaz ve sinyal-planları trafik şartlarına göre değişmez. Bu planlar, daha önce toplanan bilgilere dayanarak başka bir bilgisayarda bir programla saptanır. Buradaki ana özellik, kontrol planlarının daha önce toplanan bilgilere dayanarak “devre - dışı” hesaplanmasıdır. Bu planlar “gerçek zamanda” bilgisayarlarla son bilgilere dayanılarak yapılmaz. Bu sistem her ne kadar çok kısıtlı bir sistem olarak gözükse de bu sistemlerin hala kullanılmasını haklı kılacak pek çok avantajı vardır. Bu avantajlar aşağıda verilmiştir.

- a. Merkezi bir noktadan sinyal planlarının yenilenmesi: Her seferinde bütün sinyalli kavşaklara teknisyen göndererek ayarlama yapılması çok güç bir iştir. Bu sistemle bu iş çok kısa bir sürede tamamlanabilir.
- b. Çoklu ve özel sinyal planlarının yapılması olanağı: Pek çok yerde üç-zamanlı (sabah zirve, Akşam zirve ve zirve dışı) bir kontrol yeterli olur. Bilgisayarlarla bu N zamanlı bir hale getirilebilir. Böylece, Cumartesi, Pazar, aşırı yağmur, futbol maçları gibi özel zamanlar için de planlar saklanıp uygulanabilir.
- c. Cihazların bozulması hakkında bilgi toplanabilir ve bilgisayarla bozulan cihazlar hemen fark edilip tamir yapılabilir.

d. Müteahhitlerin veya servis personelinin çalışması hakkında bilgi toplanabilir. Bozulma zamanı ve tamir zamanı arasında geçen zaman merkezden saptanabilir.

Yukarıda anlatılan basit sistem trafik algılayıcıları kullanılarak değişik şekillerde geliştirilebilir.

- I. Kontrol planları için bir bilgi bankası kurulup araziden gelen bilgilere en uygun ve daha önce yapılmış kontrol planı bu bankadan seçilebilir.
- II. Kontrol planı sistemden gelen bilgilere göre ya başka bir bilgisayarda “geri-planda” ya da ana bilgisayarda yapılır.

“Gerçek-zamanlı” sistemlerde koordinasyon planları araziden bilgisayara trafik algılayıcılarından gelen bilgiler kullanılarak merkezi bir bilgisayarda otomatik olarak hazırlanır ve bu planlar gene otomatik olarak bilgisayardan gönderilen komutlarla arazide uygulanır. Bu sistemler Uyumlu Kontrol Stratejileri (Adaptive Control Strategies) olarak da bilinmektedir. İlk “gerçek zaman” sistemlerin yapılması sırasında ortaya çıkan sorunların pek çoğu bugünkü sistemlerde bile halen tam olarak çözümlenmiş değildir.

Bu sorunların bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- I. Trafik bilgilerinin tam ve eksiksiz olarak toplanması makul n çok üstünde detektörü gerektirir. Pratikte ise bunun çok altında detektör kullanılabilir. Bu nedenle detektörlerin yerlerinin seçimi çok dikkatli yapılmalıdır.
- II. Yeşilin başlaması sırasında kuyrukların saptanması için değişik yerlerde ayrıca detektörlere ihtiyaç vardır.
- III. Nokta detektörler bir bölge üstündeki araçların saptanması konusunda yetersizdirler.
- IV. Bütün detektörlerin çalışmasını beklemek gerçek dışı olacaktır. Mevcut detektörler sık sık arıza yapıp devre dışı kalabilirler.
- V. Bunlara ilaveten, detektör sayımları gelecek bir zamana ( rneğin 15 dakika sonrasına) tahmin yapılmasında kullanılır. Bu tahminlerdeki yanılmalar sistemin iyi işlememesine neden olabilir.

2.5. Adaptif Kontrol Sistemleri

Trafik Sinyal Sistemi için nihai çözüm kendi kendini ayarlayan (adaptif) bir kontrol sistemi (ACS: Adaptive Control Strategies) kurulmasıdır. ACS trafik sinyallerinin trafik şartlarına, trafik hacimlerine ve sistem kapasitesine dayanan gerçek zamanlı optimizasyonunu yapan algoritmalar kullanan sistemlerdir. ACS sinyal fazlarını, faz sıralarını ve zamanlarını, ofset zamanlarını ayarlayan yazılımları içerir. Böyle bir sistem çok kapsamlı bir detektör sistemine (lup veya diğer sistemlerle) ve merkezle veya lokal kontrol cihazlarıyla iletişimi sağlayan bir telekomünikasyon ağına ihtiyaç duyar. Bu sistemlerin klasik örnekleri olarak Avustralyalıların SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) ve İngiliz'lerin SCOOT (Split, Cycle, Offset Optimization Technique) sistemleri gösterilebilir. Los Angeles ABD'de ATSC (Automated Traffic Surveillance and Control) programı kullanılmaktadır.

ABD'de ACS şemsiyesi altında yeni algoritmalar geliştirilip denenmektedir. Örneğin OPAC (Optimized Policies for Adaptive Control) ve RHODES (Real-time Hierarchical Optimized Distributed Effective System) algoritmalarının arazi denemeleri Amerikan Federal Yol İdaresi (FHWA) tarafından desteklenerek yapılmaktadır. Her iki algoritma da arterlerde kullanılmak için tasarlanmıştır. OPAC doymuş arterler için, RHODES ise doymamış arterler için hazırlanmıştır. Diğer bir adaptif kontrol sistemi RTACL (Real-Time Traffic Adaptive Control Logic) Şikago'da bir yol şebekesinde 2000lerde denenmiştir. RTACL yol şebekeleri için geliştirilmiştir.

SCOOT ve SCAT gibi geleneksel adaptif sistemlerin faydaları bazı bölgelerde gösterilmişse de bu sistemler hakkında ulaşım mühendisleri hala bir karara varmış değildir. Bazı uzmanlar bu sistemlerin günün saatine göre sabit zamanlı olarak çalışan sistemlerden daha iyi olduğu kanısında değildir. Bu gözlem özellikle trafiğin çok fazla değişmediği ve tahmin edilebildiği yerlerde doğru olabilir. Adaptif kontrol sistemleri ile ilgili diğer problemler detektörlerin bakımı ve iletişim ile ilgili sorunlardır. Hâlihazırda OPAC, RHODES ve RTACL gibi daha yeni adaptif sistemlerin faydaları hakkında çok az bilgi vardır.

Aşağıda bilgisayar kontrollü sistemlere ait bazı örnekler verilmiştir:

- I. Toronto Sistemi: İlk sistemlerden biri 1963 te Toronto (Kanada) da çalışmaya başlayan sistemdir. Bu sistemde 864 kavşak vardır ve zamanının dünyadaki ilk kapsamlı projesidir. Bu sistem maliyetini, “kullanıcı kârı” açısından, ilk altı ay içinde kurtarmıştır.
- II. İngiltere: İlk olarak Glasgow ve Coventry’de uygulanan ve SCOOT (Split, Cycle and Offset Optimizing Technique) diye bilinen bu sistem, trafik sıkışıklığının giderilmesine yönelik bir programdır (Hunt, 1981). Bu metodun ana felsefesi sinyal zamanlamasının küçük ve sık aralıklarla ayarlanmasına dayanır. SCOOT daha önce Transyt sinyal-zamanlama programında geliştirilen sinyal-optimizasyon mantığına dayanır. Detektör sayımları bilgisayarda “dönüşümlü akım profilleri”, yani trafik akımı histogramlarının bir sinyal dönümü (cycle) içindeki değişimi, olarak saklanır. Bu “profiller” optimum derecede bir koordinasyon sağlayan bir sinyal programı elde etmek için kullanılır. Bu sistemde detektörler yolun bir önceki kavşaktan sonraki baş tarafına konulur; böylece yolda teşekkül edecek kuyruklar bulunur ve bu bilgi daha sonra kuyrukların yukarı kavşakların tıkanmasını önleyecek şekilde sinyal zamanlarının ayarlanmasında kullanılır.
- III. Transyt-7F programı bu programın ABD de kullanılan ve devre-dışı sinyal optimizasyonu ve koordinasyonu yapımında kullanılan, versiyonudur ve son değişikliği 2004’te yapılmıştır. Bu ve diğer programlar için son bilgiler aşağıda verilmiştir.
- IV. Japonya: Dünyadaki en büyük bilgisayar kontrollü sistem Tokyo’da kurulmuştur. (Inose, Okamoto, Yumoto, 1974). Sonunda 8.000 kavşağı idare etmesi düşünülen bir sistemdir. Buna benzer büyük sistemler Osaka ve Nagoyo şehirlerinde de kurulmuştur. Bu sistemler hafif trafik şartlarında durmaların minimize edilmesinden, ağır trafik şartlarında ise kapasitenin maksimizasyonuna kadar değişen bir sürü değişik kontrol kriteri kullanırlar.
- V. Almanya: Almanya’daki bilgisayarlı ulaşım ağı sinal kontrolu konusundaki en önemli proje Aachen şehrinde kurulan PBIL sistemidir (Roess, Prassas ve McShane, 2004). PBIL sistemi gecikmeleri

- VI. minimize eden bir sistemdir. Burada gecikme gerçek seyahat süresi ile serbest akım şartlarında olabilecek seyahat süresi arasındaki fark olarak tariflenir.

2.6. Devre - Dışı” Sinyal Koordinasyon Programları

Şu anda “Devre-dışı” sinyal optimizasyonu için kullanılan iki program aşağıda verilmiştir:

- I. *Transyt-7F*: Bu program bir trafik simülasyon ve optimizasyon programıdır. Programın esas fonksiyonu sinyal zamanlaması ve optimizasyonudur. Program genetic algoritmalar kullanarak dönüm (cycle) zamanı, faz sırası, faz ayırımı ve kavşaklar arası kayma (offset) zamanlarını optimize eder. Transyt-7F şu anda en modern optimizasyon yöntemlerini (genetic algoritmalar, tepetırmanma, ve çok periyodlu optimizasyon) gene en modern simülasyon modeliyle (kuyruk geri taşmaları “queue spillback”, küme dağılmaları “platon dispersion”, ve trafik uyarımlı control simülasyonunu da kapsayan) birleştiren tek pakettir. Bu program, trafik şebekeleri, arterler ve tek kavşaklara uygulanabilir.
- II. *Synchro*: Trafik sinyal zaman optimizasyonu ve kapasite analizi yapabilen bir programdır. Şu anda piyasada bulunan en kullanıcı-dostu yazılımlardan biridir. Bu yazılım izole kavşakların, bir arterin veya bir yol şebekesinin sinyal fazlarını, kayma zamanlarını ve dönüm zamanlarını optimize eder. Kullanımı son derecede yaygın olup dünyanın önde gelen pek çok şirketi ve belediyeler tarafından kullanılmaktadır. Uygulamamızda da Synchro programı kullanılacağı için program ile ilgili bazı detaylar verilecektir. LOS (Level Of Service) dediğimiz hizmet seviyesinin optimumu “C”dir. Her ne kadar “A” ve “B” daha iyi seviyeler de olsa bu, gereksiz arter genişliği manasına gelmektedir. “F” ise iyileştirilmesi şart olan kavşak demektir.

Bu programlara ilaveten trafik simülasyonu yapabilen aşağıdaki programlar da çeşitli senaryoların denenmesinde kullanılmaktadır:

I. TSIS (Traffic Software Integrated System)

Bu sistem ABD Federal Yol İdaresinin (FHWA) Turner - Fairbank ITS (Intelligent Systems & Technology) Bölümü tarafından geliştirilmiş ve dağıtımı ve bakımı “McTrans Merkezi” tarafından gerçekleştirilen en yeni programdır. bu sistemin 1997 Haziran’ında bitirilen 4. versiyonu Windows - 95 bazlı bir program olup aşağıdaki paketleri içerir.

- a. CORSIM: FHWA nin yeni mikro - simulasyon modeli. TSIS’in kalbi olan bu program çok sofistike bir mikro-simulasyon modeli olup eski FRESIM ve NETSIM modellerine dayanır. CORSIM, araç ve sürücü davranış modellerine dayanarak, ARAÇLARI teker teker hareket ettirmek suretiyle yol ve otoyol ağlarındaki akımı simule eder.
- b. TRAFVU: CORSIM’in çıktılarını kullanarak animasyon yapar.
- c. ITRAF: Graffic bir CORSIM prosessorü, TSIS paketinden ayrı olarak satılıyor.
- d. PASSER IV. “Teksas Ulaşım Enstitüsü”nün (TTI, Texas A ve M Üniversitesine bağlı bir kuruluş) geliştirdiği ulaşım ağı sinyali optimizasyonu yapan bir programdır. TTI şu anda paketi yenilemektedir ve bu program TSIS 4 ten ayrı olarak temin edilecektir.

II. *VISSIM Mikroskopik Trafik Simülasyonu:* VISSIM otomobil, kamyon, demiryolu, hafif raylı tren, bisiklet ve yayaları kapsayan çok modlu trafik akımları için mikroskopik trafik simülasyonu sağlayan çok yetenekli bir programdır. Esnek şebeke sistemi sayesinde her çeşit geometride sinyalli kavşak, döner kavşak, otoyol koridorları, otobüs durakları ve hatta hava alanları simülasyonu yapabilecek güçtedir. VISSIM hava fotoğrafları ve CAD çizimleri kullanarak arka plan harita uygulamaları sunar. Program 4 boyutlu. (X,Y, Z ve zaman) animasyonu sağlar. Bu program çok kuvvetli bir program olmakla beraber oldukça pahalıdır.

III. *SimTraffic Simülasyon Programı:* Bu program Synchro optimizasyon programını geliştiren firma (Trafficware) tarafından geliştirilmiş olup trafik sinyalli ve sinyalsiz kavşaklı yol şebekeleri için hazırlanan bir makro simülasyon modelidir. SimTraffic programının ana amacı trafik sinyal operasyonlarının kontrol edip ince ayarlarının yapılmasını sağlamaktır.

Synchro programı ile beraber çalışır ve şu anda mevcut en kullanıcı dostu programlardan biridir. SimTraffic özellikle makroskopik olarak kolayca modellenemeyecek aşağıdaki gibi karmaşık hallerin incelenmesi için çok faydalı olur:

- Birbirini tıkayabilecek ve şerit değiştirme sorunu yaratabilecek kadar birbirine yakın kavşakları olan şebekeler
- Kavşakların trafik sıkışıklığı altında incelenmesini gerektiren haller
- Sinyallerin yakındaki sinyalsiz kavşaklara olan etkilerinin incelenmesi için
- Aşağıdaki liste SimTraffic tarafından modellenen halleri özetler:
 - Önceden zamanlanmış sinyaller
 - İki yönlü dur işaretli kavşaklar
 - Trafik uyarımlı kavşaklar
 - Her-yönden dur işaretli kavşaklar.

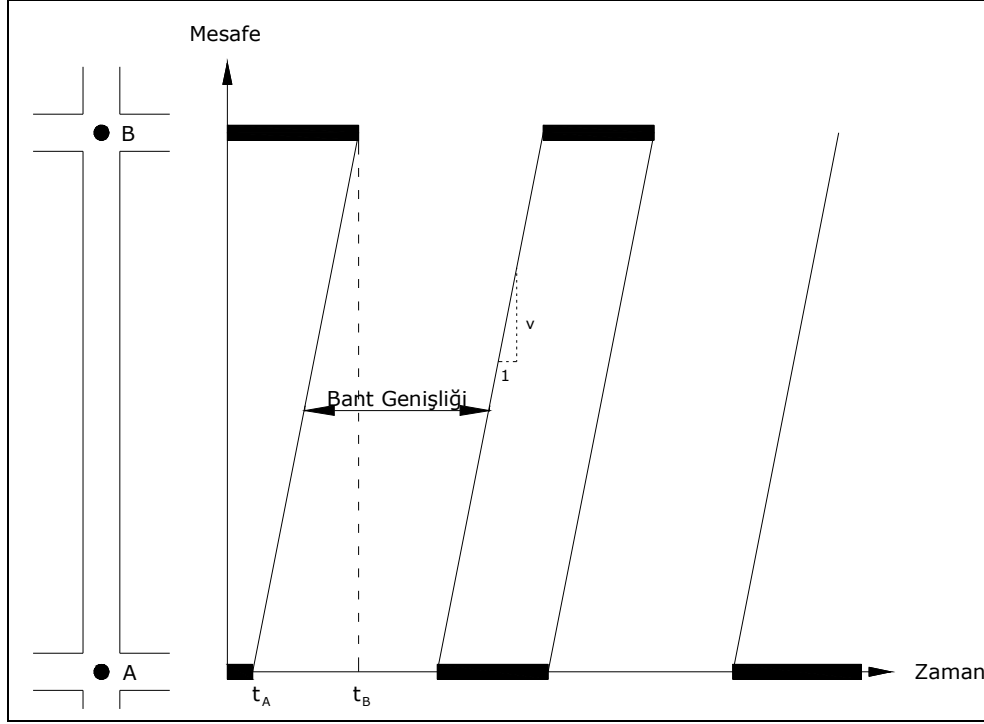
2.7. Sinyal Koordinasyonu Genel Prensipleri

Sinyal koordinasyonu uygulanan sistemlerde en temel gereksinim, tüm sinyallerin aynı devir süresiyle çalışıyor olmasıdır. Böylece sistemdeki herhangi bir sinyalin diğer sinyallere göre kayma zamanının sabit olması sağlanmaktadır. Bu gereksinime dair tek istisna, koordine edilecek sistemde trafik hacmi diğerlerine göre çok yüksek bir kavşağın yer alması durumudur. Bu koşullarda trafik hacmi yüksek kavşağın kapasitesini yeterli kılmak için, bu kavşakta sisteminkinin iki katı değerinde bir devir süresi uygulanabilir (Roess, Prassas ve McShane, 2004).

2.8. Sinyal Koordinasyonuna İlişkin Temel Tanımlar

2.8.1. Yer-Zaman Grafiği ve Kayma

Şekil2.1’de verilen örnekte olduğu gibi sinyal koordinasyonunda kullanılan *yer-zaman grafiği*, ard arda gelen kavşaklar için sinyal sürelerini gösterir. Dikey ölçek kavşaklar arası mesafeyi, yatay ölçek de zamanı belirttiği için kavşaklardan geçen bir aracın izlediği yolu zamana bağlı olarak göstermek mümkündür.



Şekil 2.1 : Örnek bir yer-zaman grafiği

Şekil 2.1’de A ve B kavşakları için yer-zaman grafiği gösterilmiştir. Her iki kavşakta da siyah taralı bölümler kırmızı ışığı simgelemektedir. A kavşağında t_A anında yeşil ışık başlamakta, B kavşağında ise t_B anında yeşil ışık başlamaktadır. Her iki kavşak için yeşil ışığın başlama anı arasındaki fark, bu iki kavşak için *kayma* (*offset*) değerini vermektedir. Bu örnekte A ve B kavşakları için kayma değeri $t_B - t_A$ ’dır.

Bu örnekte görüldüğü gibi kayma sıfır ile sinyal periyodu arasında herhangi bir değer alabilir. Ard arda birçok kavşaktan meydana gelen bir arter söz konusu olduğunda, her kavşak için kayma değeri genelde arterde belirlenen tek bir kavşak baz alınarak hesaplanır ve referans alınan kavşak için kayma değeri sıfır kabul edilir. Kayma değerini belli bir fazdaki yeşil ışık başlangıcı yerine herhangi bir fazdaki yeşil ışığın bitişine veya kırmızı ışığın başlangıcına göre belirlemek de mümkündür. Ayrıca kayma değeri saniye yerine arterdeki ortak devir süresinin yüzdesi olarak da ifade edilebilir.

Şekil 2.1’deki durum ele alındığında ard arda gelen iki kavşakta en iyi ilerlemenin sağlanması için *ideal kayma* değeri uygulanmalıdır. İdeal kayma değeri uygulandığı takdirde A kavşağından durmadan geçtiği varsayılan araç konvoyundaki ilk araç B’ye vardığı anda B’de yeşil ışık başlar ve böylece bu kümedeki ilk araç, B’den de

durmadan geçebilir. Bu durumu sağlayan ideal kayma değeri aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$t_{ideal} = L/v \quad (2.1)$$

Burada,

t_{ideal} = İdeal kayma değeri (san)

L = İki kavşak arası mesafe (m)

V = Araçların arterde ilerleme hızı (m/san)

Şayet bir önceki kavşakta taşıt konvoyu durmuşsa, bu durumda ideal kayma formülüne ilk kalkış gecikmesi (2-4 saniye) eklenmelidir (Roess, Prassas ve McShane, 2004).

2.8.2. Bant Genişliği

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi uygun kayma değeri belirlendiği takdirde t_A anında A kavşağına gelen bir araç, v hızıyla gittiği takdirde t_B anında B kavşağına varacaktır. Böylece bu araç, A kavşağında yeşil ışığın başlamasının hemen ardından her iki kavşaktan da durmadan geçebilen ilk araç olacaktır. Yine A kavşağında yeşil ışık bitmek üzereyken A’dan geçen bir araç, v hızıyla gittiği takdirde yine yeşil ışık bitmek üzereyken B kavşağına varacak ve bu yeşil ışık süresince her iki kavşaktan da durmadan geçebilen son araç olacaktır. Bir arterde ilerleyen bir araç konvoyu için tüm kavşaklardan hiç durmadan geçebilen ilk araç ve son araç arasındaki zaman farkına *bant genişliği* denir. Şekil 2.1’de bant genişliği, yeşil ışık süresine eşittir; çünkü:

- Her iki kavşaktaki yeşil ışık süresi eşittir,
- İdeal kayma değeri uygulanmıştır.

Öte yandan birçok durumda sağlanabilen bant genişliği, yeşil ışık süresine eşit olmayıp, yeşil ışık süresinden bir hayli düşük de çıkabilir. İdeal kayma değeri uygulanmadığı takdirde bant genişliği azalacak ve arterde ilerleyen araçlar için gecikme süresi ve durma sayısı artacaktır. Bant genişliği etkinliği aşağıdaki gibi bant genişliğini sinyal periyoduna oranlayarak bulunur:

$$E_B = (B/C) * 100 \quad (2.2)$$

Burada,

E_B = Bant genişliği etkinliği (% olarak)

B = Bant genişliği (saniye)

C = Sinyal periyodu (saniye)

Genelde bant genişliği etkinliği için %40 - %55 arası değerler iyi kabul edilir (Roess, Prassas ve McShane, 2004). Ayrıca ideal kayma değerinden aynı miktarda pozitif veya negatif sapma, bant genişliği etkinliği üzerinde farklı etkiler oluşturur (Roess, Prassas ve McShane, 2004).

Bir arter boyunca yer alan ard arda kavşaklardan hiç durmadan geçebilen araç sayısı *bant genişliği kapasitesi* ile ifade edilir. Bant genişliği kapasitesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_B = \frac{3600 * B * N}{C * h} \quad (2.3)$$

C_B = Bant genişliği kapasitesi (araç/saat)

N = Doğru istikametteki şerit sayısı

C = Sinyal periyodu

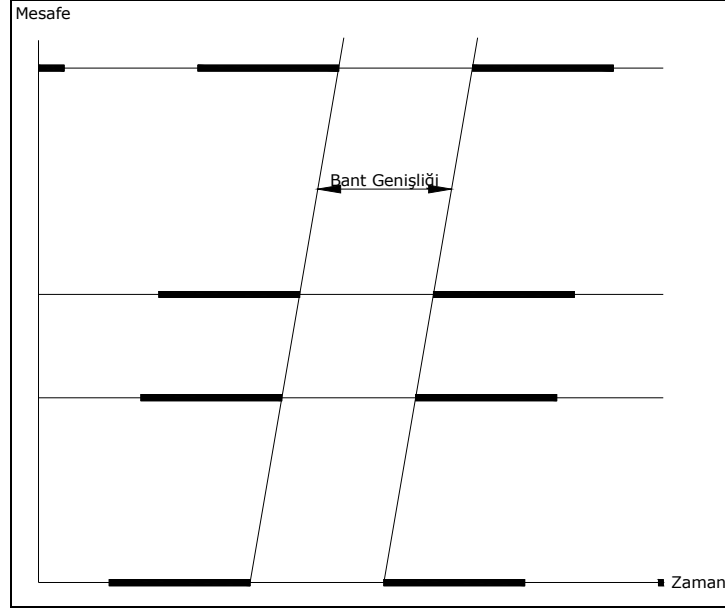
h = Bir noktadan art arda geçen seyir halindeki iki araç arasındaki zaman farkı

2.9. Sinyal Koordinasyonunda Karşılaşılan Sorunlar

2.9.1. Araçların Arterdeki İlerleme Hızının Tahmin Edilenden Farklı Olması

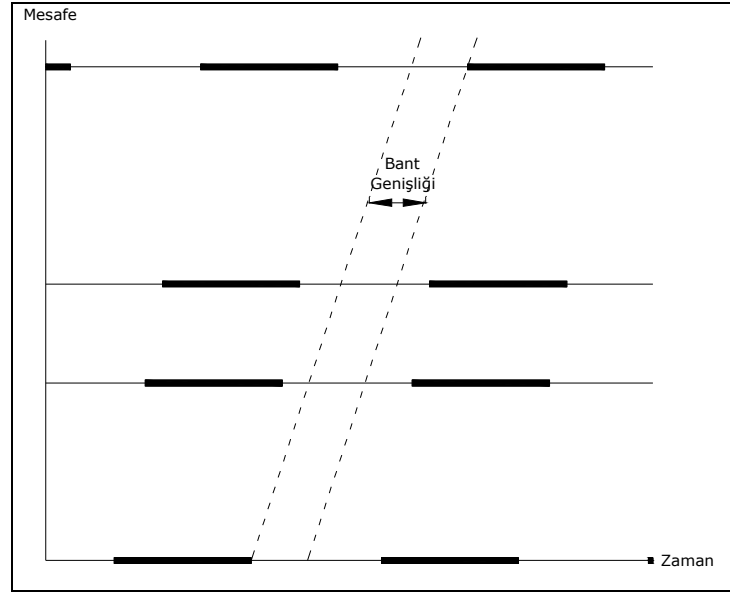
Şekil 2.2’de dört kavşaktan oluşan tek yönlü bir arter için yer-zaman grafiği verilmiştir. Bu arterde kayma değerleri, arterdeki araç seyir hızının 50 km/saat olduğu düşünülerek hesaplanmıştır. Mevcut kayma değerleri ile bant genişliği yeşil ışık süresine eşit olmaktadır.

Öte yandan arterde ilerleyen araçların hızının 50 km/saat’ten farklı olması, bant genişliğini düşürecektir. Şekil 2.3’te arterde 40 km/saat hızla ilerleyen araçların yer-zaman grafiğindeki konumu gösterilmiştir. Görüldüğü gibi gerçek seyir hızının tahmin edilen seyir hızından düşük olması, bant genişliğini ciddi derecede düşürmektedir ve dört kavşaktan da durmadan geçebilen araç sayısı önemli ölçüde azalmaktadır.

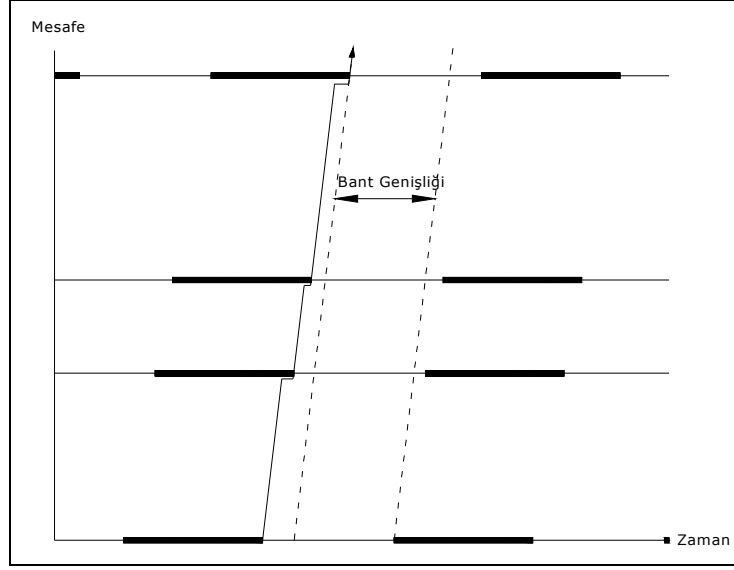


Şekil 2.2 : Dört kavşaktan oluşan tek yönlü bir arter için yer-zaman grafiği.

Şekil 2.4'te ise aynı arterde 60km/saat hızla ilerleyen araçların yer-zaman grafiğindeki konumu gösterilmiştir. Bu durumda yeşil ışığın başlamasıyla bir sonraki kavşağa doğru yol alan araçlar, bir sonraki kavşağa yeşil ışık başlamadan önce varmakta ve bir müddet beklemek zorunda kalmaktadır. Bant genişliği ve dolayısıyla dört kavşaktan da durmadan geçebilen araç sayısı azalmıştır; ancak bu azalma, araç seyir hızının olduğundan daha düşük tahmin etme durumundaki kadar ciddi bir azalma değildir.



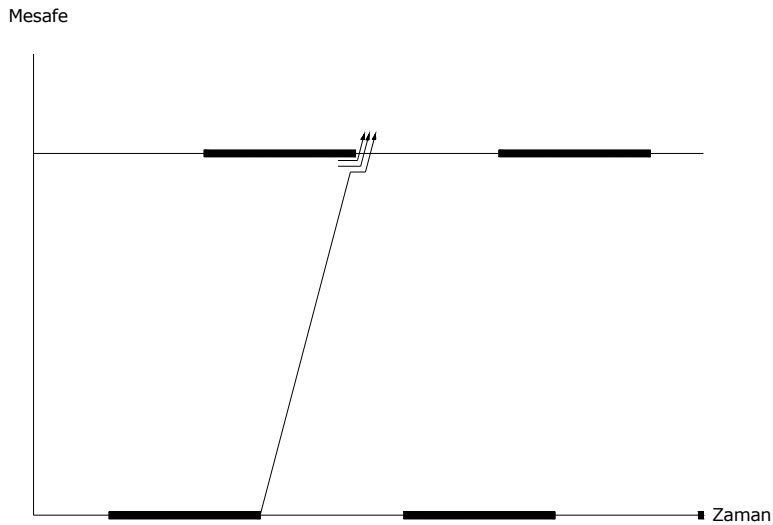
Şekil 2.3 : Dört kavşaktan oluşan tek yönlü bir arterde araç seyir hızının tahmin edilenden düşük oluşunun etkisi.



Şekil 2.4 : Dört kavşaktan oluşan tek yönlü bir arterde araç seyir hızının tahmin edilenden fazla oluşunun etkisi.

2.9.2. Kuyrukta Bekleyen Araçların Sinyal Koordinasyonuna Etkisi

İdeal kayma değeri hesabında bir kavşaktan geçip sonraki kavşağa doğru ilerleyen araç konvoyunun herhangi bir araç kuyruğu ile karşılaşmadığı varsayılır. Ancak çoğu zaman araç konvoyunu bir sonraki kavşağa ulaştığı zaman bir araç kuyruğu ile karşılaşır. Bir sonraki kavşaktaki kuyruk iki kavşak arasındaki yan yollardan, park yerlerinden veya başka kavşaklardan gelip artere katılan araçlardan ve bir önceki konvoyda kırmızıya yakalanan araçlardan oluşur. Bu durumda bir önceki kavşaktan gelmekte olan araç konvoyu kuyruk tamamen hareket edene kadar beklemek zorunda kalır.



Şekil 2.5 : Kuyrukta bekleyen araçların sinyal koordinasyonu etkisi

Araç konvoylarının bir sonraki kavşakta araç kuyruğuyla karşılaşmalarını önlemek için kayma değeri hesabında araç kuyrukları da göz önünde bulundurulmalıdır. İdeal kayma değeri, aşağıdaki gibi yeniden hesaplanmalıdır:

$$t_{ideal} = L/v - (K \cdot h + I_1) \quad (2.4)$$

Burada:

t_{ideal} = Araç kuyruğu göz önünde bulundurularak yeniden hesaplanan ideal kayma değeri (saniye)

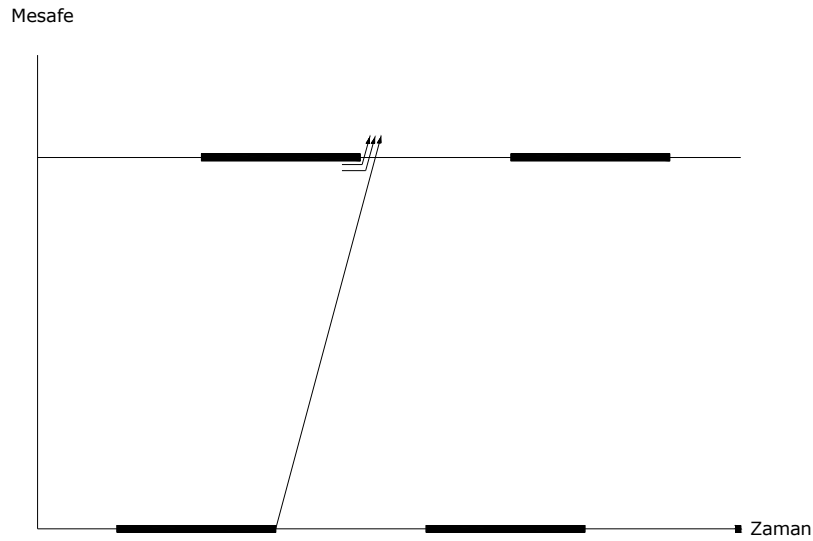
L = İki kavşak arası mesafe (m)

V = Araçların arterdeki ilerleme hızı (m/san.)

K = Kuyrukta bekleyen şerit başına düşen araç sayısı

h = Kuyrukta bekleyen araçların boşalması için taşıtlar arası zaman aralığı (tipik değer 2 saniye)

I_1 = Kalkış zaman kaybı (saniye)



Şekil 2.6 : Kuyrukta bekleyen araçların göz önünde bulundurulmasıyla yeniden hesaplanan kayma değeri

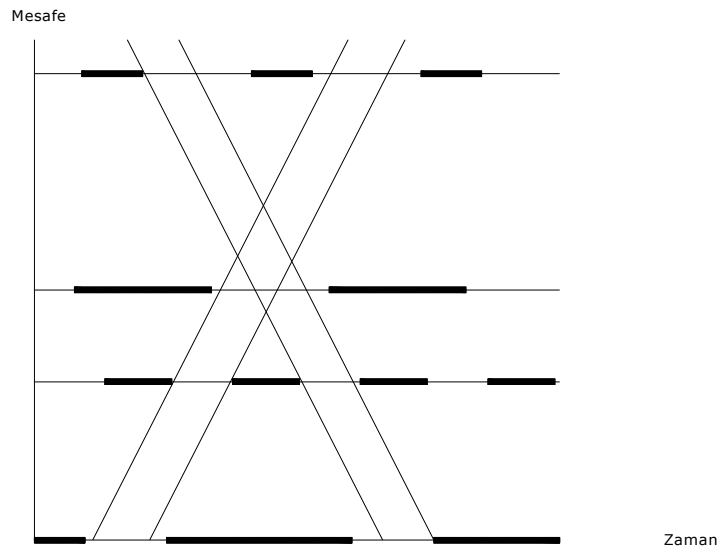
Söz konusu kavşaktaki kuyruk uzunluğu her devir için farklı olabilir. Bu durumda ortalama bir kuyruk uzunluğunun hesaplanması gerekmektedir. Ayrıca kayma değerlerindeki değişim de yan yollardan artere katılan araçların gelişinin zamana göre dağılımını değiştireceği için, kuyruk uzunluğunu doğru hesaplamak oldukça önemlidir.

Ayrıca yeniden hesaplanan kayma değerinin bant genişliğini azalttığı, Şekil 2.6’da görülmektedir. Zira yeşil ışığın ilk anları, kuyrukta beklemekte olan araçların hareket etmesi için ayrılmıştır ve kalan yeşil ışıktaki da bir önceki kavşaktan gelen araç konvoyunun geçişi gerçekleşir.

2.10. İki Yönlü Arterlerde Koordinasyon

Tek yönlü arterde sinyal koordinasyonunun sağlanması nispeten kolay olmasına rağmen, çift yönlü arterde sinyal koordinasyonunun sağlanması oldukça güçtür. Çünkü her iki yöndeki bant genişlikleri birbirinden bağımsız olarak ayarlanamamaktadır. Bir yöndeki bant genişliği belirlendiğinde diğer yöndeki de belirlenmiş olur. Bu nedenle her iki yönde de bant genişliğini olabildiğince yüksek değerlerde tutmak zordur.

İki yönlü bir arterde devir süresi arter geometrisi ve araç konvoyu hızı göz önünde bulundurularak belirlenirse ve her üçünün de uygun bir kombinasyonu sağlanırsa, verimli bir koordinasyon sağlanabilir. Sinyalli kavşaklar arası mesafe özellikle koordinasyonun etkinliği üzerinde önemli rol oynar. Yeni sinyallerin eklenmesi durumunda da devir süresi, geometri ve araç konvoyu hızı arasındaki kombinasyon göz önünde bulundurulmalıdır. Elle yapılan sinyal koordinasyonunda elde edilebilecek en büyük bant genişliği, yer-zaman grafiği üzerinde deneme-yanılma yöntemi uygulanarak bulunabilir. Şekil 2.7’deki yer-zaman grafiğinde deneme yanılma yöntemiyle iki yönde de elde edilmiş bant genişlikleri görülmektedir.



Şekil 2.7 : Yer-zaman grafiğinde bant genişliğinin deneme-yanılma yöntemiyle bulunması

Sinyal koordinasyonunda farklı amaçlar baz alınabilir. Sinyal koordinasyonunun hedefi trafik gecikmesini, duruş sayısını veya yakıt tüketimini en düşük düzeye indirmek yahut belli bir rota boyunca en iyi ilerlemeyi sağlamak olabilir. Örneğin bu projede kullanılan Synchro bilgisayar programında sinyal koordinasyonu, performans indeksi olarak tanımlanan değeri en düşük düzeye indirmek suretiyle gerçekleştirilir. Synchro kullanıcı kılavuzunda performans indeksi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$PI = [(D * 1) + (St * 10)] / 3600 \quad (2.5)$$

Burada,

PI = Performans indeksi

D = 1 saatte meydana gelen toplam gecikme (s)

St = 1 saatte araçların toplam duruş sayısı

Bazı özel geometrik durumlar için aşağıdaki koordinasyon sistemleri kullanılabilir:

2.10.1. Eş Zamanlı Sistem:

Birbirine çok yakın kavşakların veya yüksek hızla ilerleyen araç konvoylarının olduğu arterlerde eş zamanlı sistemler kullanılabilir. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi arterdeki tüm kavşaklarda aynı anda yeşil ve kırmızı yandığı için eş zamanlı sistem olarak adlandırılmaktadırlar.

Eş zamanlı bir sistemin etkinliği, arterdeki kavşak sayısına bağlıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$E = \left[\frac{1}{2} - \frac{(N-1) * L}{v * C} \right] \quad (2.6)$$

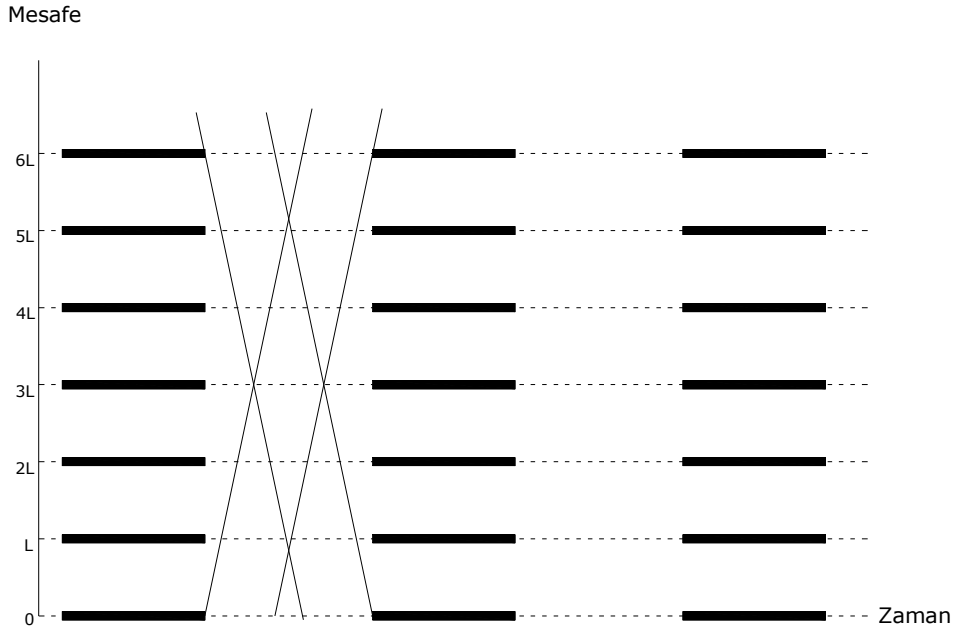
Burada,

E = Eş zamanlı sistemin etkinliği (% olarak)

N = Sistemdeki kavşak sayısı

V = Araç konvoyunun arterde ilerleme hızı

L = İki kavşak arası mesafe



Şekil 2.8 : Eş Zamanlı (Simultane) Sistem

Eş zamanlı sistemler birbirine çok yakın kavşakların olduğu arterlerde ve yüksek trafik hacimlerinde iyi çalışırlar. Çünkü yüksek trafik hacmi olan bir arterde kuyruk oluşumu kaçınılmazdır ve tüm kavşaklarda aynı anda yeşil ışık yanması, bir önceki kavşaktan gelen araçlar gelene kadar bir sonraki kavşaktaki kuyruğun sona ermesini sağlar. Böylece kavşak tıkanmaları önlenmiş veya mümkün olduğunca azaltılmış olur.

2.10.2. Değişen Sistem:

Kavşaklar arası mesafenin eşit olduğu bir arterde tüm kavşaklar 50:50 sinyal fazı ile çalışıyorsa, devir uzunluğunu

$$C/2 = L/v \quad (2.7)$$

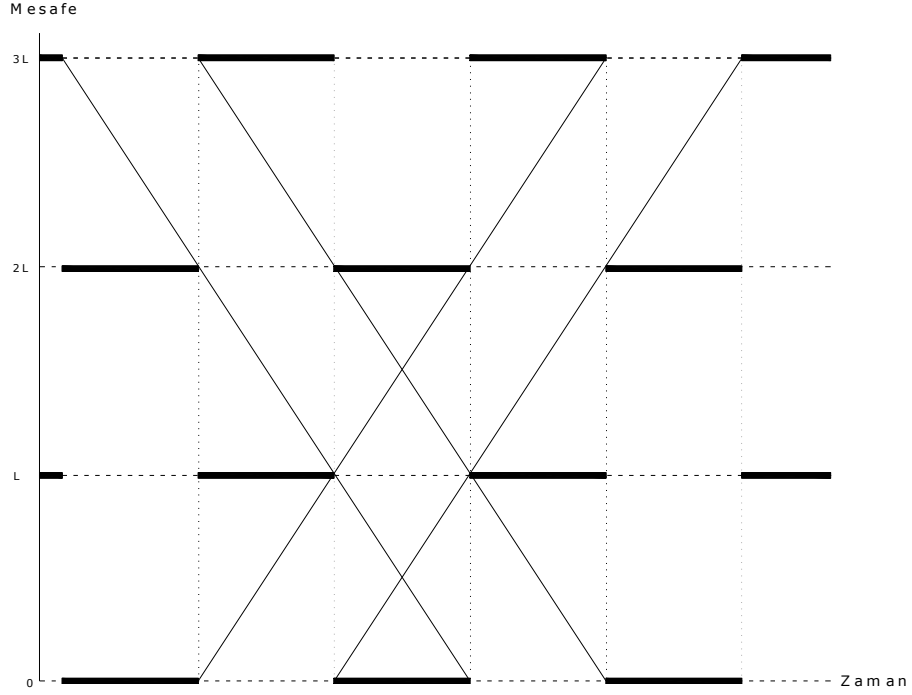
Burada,

C = Sinyal devir süresi (saniye)

L = İki kavşak arası mesafe (m)

V = Araçların arterdeki ilerleme hızı (m/san.)

şeklinde düzenleyerek değişen sistem oluşturmak mümkündür.



Şekil 2.9 : Değişen Sistem

Şekil 2.9’da da görüldüğü gibi değişen sistemde kayma değeri, kuyruklanma olmadığı varsayılırsa L/v olarak alınır. Böylece sistemdeki kavşak sayısı ne olursa olsun, bant genişliği yeşil ışık süresine eşit olmaktadır ve bant genişliği etkinliği %50’dir. %40 - %55 arası bant genişliği etkinliği iyi olarak değerlendirildiği için, değişen sistem sinyal koordinasyonu açısından oldukça başarılı sonuç vermektedir. Değişen sistem için h (bir noktadan ard arda geçen seyir halindeki iki araç arasındaki zaman farkı) değeri 2.0 saniye alınır, bant genişliği kapasitesi ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$C_B = \frac{3600 * B * N}{C * h} = \frac{3600 * 0.5C * L}{2.0 * C} = 900L \quad (2.8)$$

Çizelge 2.1 : Değişik seyir hızı ve devir süreleri için değişen sisteme uygun düşen ardıl kavşaklar arası mesafe değerleri

Devir Süresi (san.)	Araç Konvoyu Seyir Hızı (km/saat)	Ardıl Kavşaklar Arası Mesafe (m)
60	50	420
60	80	670
90	50	625
90	80	1000

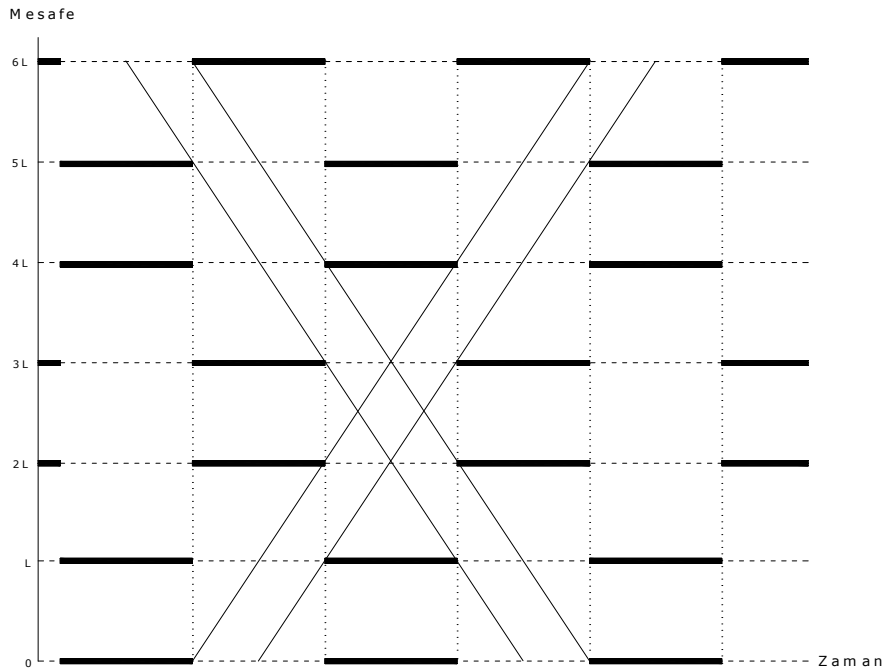
Çizelge 2.1’de 50 km/saat ve 80 km/saat araç seyir hızı için, değişen sistemde $c=60$ san. Ve $c=90$ san. değerlerine denk gelen ardıl kavşaklar arası mesafeler verilmiştir. Bu mesafeler ancak kentin dış bölgelerinde bulunabilecek yüksek kalite bir artere karşıt gelir.

2.10.3. Çift Değişen Sistem

Bazı durumlarda sinyal fazı 50:50 şeklinde olmasına rağmen ardıl kavşaklar arası mesafe değişen sistem için uygun olmayabilir. Bu koşullarda $C/4 = L/v$ olacak şekilde bir sinyal devir süresi seçmek mümkündür.

Şekil 2.10’da da görüldüğü gibi çift değişen sistemde kayma değeri, kuyruklanma olmadığı varsayılırsa $L/2v$ olarak alınır. Böylece sistemdeki kavşak sayısı ne olursa olsun, bant genişliği yeşil ışık süresinin yarısına eşit olmaktadır ve bant genişliği etkinliği %25’tir. Çift değişen sistem için h (bir noktadan ard arda geçen seyir halindeki iki araç arasındaki zaman farkı) değeri 2.0 saniye alınır, bant genişliği kapasitesi ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$C_B = \frac{3600 * B * N}{C * h} = \frac{3600 * 0.25C * L}{2.0 * C} = 450L \quad (2.9)$$



Şekil 2.10 : Çift Değişen Sistem

Çizelge 2.2’de 50 km/saat ve 80 km/saat araç seyir hızı için, çift değişen sistemde $c=60$ san. ve $c=90$ san. değerlerine denk gelen ardıl kavşaklar arası mesafeler verilmiştir:

Çizelge 2.2 : Değişik seyir hızı ve devir süreleri için çift değişen sisteme uygun düşen ardıl kavşaklar arası mesafe değerleri.

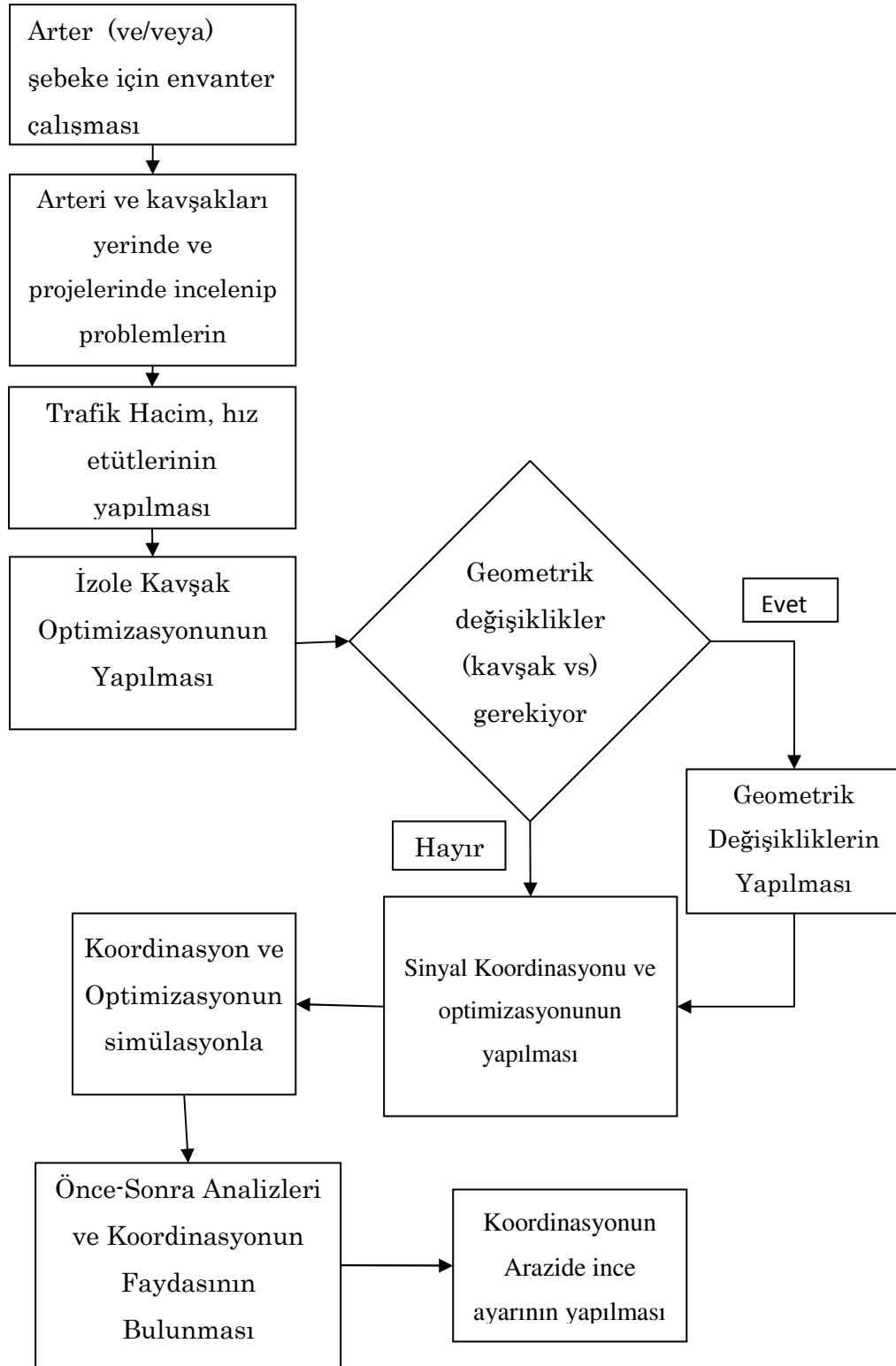
Devir Süresi (san.)	Araç Konvoyu Seyir Hızı (km/saat)	Ardıl Kavşaklar Arası Mesafe (m)
60	50	210
60	80	335
90	50	313
90	80	500

Çizelge 2.2’deki mesafeler ancak kentin dış bölgelerinde bulunabilecek yüksek kalite bir artere karşıt gelir. Ancak kısa devir uzunlukları ile şehir içinde uygulanabilir.

2.11. Arterlerde Sinyal Koordinasyonunun Yapılabilmesi için Yöntem

Arterlerde trafik sinyal koordinasyonu yapılırken takip edilecek yöntem Şekil 2.11’de verilen akım diyagramında verilmiştir. Bu yöntem aşağıda açıklanmıştır:

- I. Seçilen arter(ler) ve/veya şebeke parçaları için envanter çalışması: Bu çalışmayla seçilen sistemin geometrik özellikleri (1/500 veya 1/1000 ölçekli haritalarda) ve diğer ilgili bilgiler elde edilecektir.
- II. Arter ve kavşaklardaki bariz geometrik ve trafik işletmesi ile ilgili hatalar ve eksiklikler (örneğin küçük kurplu sağa dönüş, kavşak içine kadar serbest bırakılan yol kenarı otoparkı, yol kenarındaki küçük işletmelerden veya apartmanlardan ana caddeye ve caddeden dönüşler, erişim kontrol problemleri, vs.) arazide ve projeler üzerinde yapılan bir çalışmayla ve aşağıda yapılacak kapasite çalışmaları sonunda ortaya çıkartılacak ve düzeltmeler (örneğin kavşağın trafik kanallamasının değiştirilmesi, ilave sola dönüş şeritlerinin eklenmesi, kavşağa yakın yerlerde park etme yasaklarının konması, otobüs, minibüs durak yerlerinin sağlanması, değiştirilmesi, erişim kontrolünün sağlanması gibi) yapılacaktır.
- III. Trafik ve yaya hacım bilgileri: Trafik çalışmaları aşağıdaki işleri kapsar:
 - a. Arterdeki zirve saatlerin saptanması için en az 12 saatlik (örneğin, Sabah 7-10 öğlen 12-14 akşam 17-20 arasında) bir kontrol sayımı. Bu sayımla zirve saatlerin ne zaman başlayıp ne zaman bittiği, ne kadar sürdüğü ve 24 saatte kaç adet sinyal programı



(Ergün,2006)

Şekil 2.11 : Arterlerin Yeniden Yapılandırılması İçin Yöntem

saatte gerektiği ortaya çıkarılır. Bunun için örnek bir arterdeki sayım Çizelge A.1’de verilmiştir.

- b. Zirve ve zirve dışı saatlerde en az birer saatlik (15'er dakikalık sürelerle) kavşaklarda dönüş hareketlerini, taşıt cinslerini, durup kalkan otobüs sayılarını, kuyruk uzunluklarını ve her yaya yolunu kullanan yaya sayılarını, koordinasyon programlarının kalibrasyonu için gerekli olan doyma akımı, kalkış gecikmeleri gibi konuları kapsar. Bu verilerin derlenmesi için kullanılan form EK A'da verilmiştir.
- IV. Toplanan bilgiler değerlendirilerek ve profesyonel yazılımlar kullanılarak (Synchro, Transyt-7F gibi) önce her kavşak için sinyal zaman optimizasyonu yapılacaktır.
- V. Madde IV'te yapılan optimizasyonlarda kavşaklardaki ek sorunlar ortaya çıkartılabilir. Örneğin sola dönüşler genelde 200 araç/saat'ten fazlaysa bu dönüşler için bir sola dönüş şeridi gerekir. Dolayısıyla bu sağlanmamışsa bu düzeltmelere bu etapta karar verilebilir. Ayrıca ortaya çıkacak kapasite sorunlarının halledilmesi için kavşaklarda ilave şerit ekleyerek veya şerit genişliklerini daraltıp şerit sayılarını çoğaltarak yeni düzenlemeler yapılabilir. Sola dönüşler şerit genişlikleri için 2.5m darlığa kadar şerit düşünülebilir.
- VI. Daha sonra yapılacak yeniden yapılandırma önerileri simülasyon programları kullanılarak denenecektir.
- VII. Yeni zamanlar ve kayma zamanları arazide kavşaklara uygulanıp, kritik zamanlarda denenecek ve gerekiyorsa son ayarlamalar yapılacaktır.
- VIII. Sinyal koordinasyon ve arterlerin yeniden dizaynının her üç-beş sene içinde veya gerekiyorsa daha sık tekrarlanması gerekir. İlk koordinasyon kavşak ve arterler için kullanılan program için dosyaların hazırlanmasını gerektir ve bu nedenle uzun sürebilirse de bu dosyalar bir kere hazırlandıktan sonra yeni koordinasyon çalışmaları sadece kavşak sayımları yenilenerek çok kısa bir sürede bitirilebilir.

2.12. Literatür Taraması

Michael TRUEBLOOD, (2006) yaptığı çalışmada dokuz sinyalize kavşaktan oluşan sistemi hem Corsim hem de SimTraffic ile modellemiş ve elde ettiği sonuçları kıyaslamıştır. Parametre olarak hız, hacim, gecikme ve durmaları belirlemiş ve sonuçta her iki programın da birbirine çok yakın raporlar sunduğunu test etmiştir.

Akbaş'ın (2001) yaptığı çalışmada Barbaros Bulvarı – 4.Levent istikametinde seyreden araçların hız azaltıcı faktörlerinin kent içi ulaşım performansına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada seçilen güzergâhta 9 adet sinyalize kavşakta yapılan sayımlar SimTraffic ile modellenmiş daha sonra hız azaltıcı faktörlerin etkisiyle ilgili 3 farklı senaryo oluşturup çıktılar değerlendirilmiştir. İlk test, arter boyunca taşıtların

serbest ulaşım hızını azaltıcı hiçbir etkenin söz konusu olmadığı şartları simüle etmek için tasarlanmıştır. İkinci testte serbest ulaşım hızının taşıtların teknik özelliklerinden kaynaklanan nedenlerle; üçüncü testte ise, yol üst yapısı ve geometrik düzenleme hatalarından kaynaklanan nedenlerle azaldığı şartlar dikkate alınmıştır. Serbest ulaşım hızlarının taşıtların teknik özelliklerinden kaynaklanan nedenlerle azaldığı durumlarda kent içi karayolu ulaşımında önemli bir performans azalmasına neden olmamaktadır. Buna karşılık, özellikle yol üst yapısı ve geometrik düzenleme hatalarından kaynaklanan serbest ulaşım hızını azaltıcı faktörler, performansı önemli ölçüde azaltmaktadır.

Bir başka çalışma ise Fethiye ilçesinde yapılmıştır. Synchro ve SimTraffic kullanılarak yapılan bu çalışmada İnönü Bulvarı üzeri Muğla Makası Kavşağı ile Ovacık Köprüsü Kavşağı arasında kontrol sayımı yapılmıştır. Sonuçta da geometrik düzenlemeler konusunda şerit genişlikleri ve refüj genişlikleri ölçülmüş ve proje üzerinde gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Yatay düzey işaretlemeler harita üzerinde güncellenmiş yeniden düzenlenmiştir. Genişletilmeye uygun yol kesimleri belirlenmiş ihtiyaç halinde gerekli genişletme ve daraltmalar yapılmıştır. Akaryakıt istasyonu, alışveriş merkezi kamu binaları, oto park alanları giriş çıkışları taksi durak yerleri proje üzerinde yeniden düzenlenmiştir. Yol kenarı paklanma alanları, otobüs ve minibüs durak cepleri düzenlenmiştir.

(http://www.gozdegazetesifethiye.com/haber_detay.asp?haberID=2790)

Zheng (2006)'da yaptığı çalışmada U dönüşlerinin kavşaktaki hizmet seviyesine ne gibi olumsuz etki yaptığını ortaya koymuştur. Bunun için U dönüşleriyle ilgili 2 parametre kullanmıştır. Birincisi, U dönüşlerinin kapasitesi, diğeri ise araçların dönüşleri yapma anındaki hızları. Synchro ve SimTraffic kullanarak gerçekleştirdiği bu çalışmada araçların U dönüş hızlarını lineer regresyon analizi yaparak bulmaya çalışmıştır. Florida'da 15 farklı sinyalizasyon kavşaktan elde edilen verilerle elde edilen sonuçlar şunlar olmuştur : U dönüşlerinin yarıçapı ne kadar yüksek olursa dönüş hızı, dolayısıyla kavşağın etkinliği de o kadar fazla olmaktadır. Mümkünse U dönüşler yerine sola dönüşlü sistemler geliştirilmelidir, çünkü U dönüşleri kavşakların etkinliğini azaltmaktadır. Saha ölçümleri ile simülasyon sonuçları yaklaşık aynı sonuçları vermiştir (Zheng,2006).

3. SİMÜLASYON KAVRAMI

Simülasyonu tanımlamadan önce, simülasyonun temelini oluşturan “sistem” kavramı açıklanmalıdır. En basit tanımı ile sistem; “belirli bir hedef ulaşmak için birbiri ile ilişki halinde bulunan elemanların birleşmesinden oluşan bir bütündür.” (Atıcı vd, 1997).

Simülasyon; bir işletmenin ya da ekonomik sistemin davranışını belirten belli matematiksel ve mantıksal modeller ile bilgisayarda deneyler yapmak için kullanılan sayısal bir tekniktir (Naylor,1966).

Gerçeklere ve varsayımlara dayalı olarak belirsizlik koşulları altında seçenekleri değerlendirmek için, gerçek karar vermeyi temsil eden ve bilgisayara programlanmış matematiksel bir model kullanan kantitatif bir tekniktir (Thirau ve Klekamp,1975).

Simülasyon tekniği, sistemlerin davranışını inceleme ve tanımlama, gözlenen sistem davranışını açıklayan teori ya da hipotezleri deneme ve uygulama, bu teorileri kullanarak sistemdeki değişmelerin etkilerini belirleme ve böylece sistemin gelecekteki davranışını tahmin etme amacı taşıyan deneysel ve uygulamalı bir metodolojidir (Shannon,1975).

Simülasyon, sistemin davranışını tanıma teorisi veya hipotez kurma, kurulan teoriyi sistemin gelecekteki davranışlarını tahmin etmek için kullanmak şeklinde bir deneme veya uygulama tekniğidir (Horoz, 1995).

3.1. Simülasyon Modeli ve Nitelikleri

Her geçen gün rekabetin arttığı, piyasa koşullarının zorlaştığı günümüzde karmaşık süreç ve sistemlerin tasarlanmasında simülasyon en güçlü analiz araçlarından biridir. Çünkü simülasyon; sistemde oluşabilecek risklere karşı sisteme yeterli esnekliği kazandırabilmek için sistemin işletiminden sorumlu kişilere çalışmalar yapma imkânı sunar (Pektaş, 1995).

Çeşitli işletme sistemlerinin çok karmaşık yapıda olmaları, bunların çözümlerine matematik ve istatistik çözüm tekniklerini uygulama imkanı vermemekte ve bilgisayarlarla çözülme şansına sahip olan simülasyon modellerine kayma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Simülasyon modelleri, matematik modellerde karşılaşılan yapısal sırayı izler. Yalnız, model matematik denklemlere değil, denemelere de dayanır. Ayrıca simülasyon modelleri matematik modellerde olduğu gibi optimum sonuçlar ortaya çıkarmaz. (Erkut, H., 1991) Ancak simülasyon deneyleri doğru bir biçimde yapılırsa sonuçlar optimal çözüme çok yaklaşıp (Thirau ve Klekamp, 1975).

Her ne kadar gerçek bir sistemi birebir temsil edemese de bilgisayar dünyasının büyük gelişmeler kaydettiği günümüzde simülasyon uygulamaları düşük maliyet ve sonuca yüksek hızda ulaşım gibi nedenlerden dolayı avantajlı hale gelmiştir. Örneğin işletme probleminin analizi için tanımlanan bir sistemin modeli bazen çok karmaşık olabileceği gibi, kurulan modelin analitik ve nümerik olarak çözümü güç olabilir. Bu gibi durumlarda simülasyon önemli bir model kurma ve çözme tekniği olarak kullanılır (Genç, 2000).

Simülasyonun çok fazla sayıda ve çok fazla özellikli değişkenleri tek bir modelde toplayabilme özelliği, bugünkü kompleks sistemlerin dizaynı için vazgeçilmez bir araç olmasını sağlamaktadır (Erkut, 1991). Yalnız model kurulurken dikkat edilecek husus, modelin gerçek sistemin temel karakteristik özelliklerini temsil etmesidir. Bu temsil ne kadar yaklaşık olursa elde edilecek sonuçlar da gerçek sisteme o kadar yakın olur (Halaç, 1993).

3.2. Simülasyonun Uygun Olduğu Durumlar

Bilgisayar teknolojisinin gelişimi ve simülasyon metodolojisinde yaşanan ilerlemeler, simülasyonu, yöneylem araştırması ve sistem analizinde en yaygın olarak kullanılan araçlarından biri haline getirmiştir. Naylor ve diğerlerine (1966) göre , simülasyon, aşağıdaki durumlarda uygun bir araç olarak kullanılabilir.

1. Simülasyon, karmaşık bir sistemin ya da karmaşık bir sistem içerisindeki bir alt sistemin incelenmesini ve deneylere tabi tutulmasını sağlar.

2. Bilgisel , kurumsal ve çevresel değişimler simülasyona girilerek değişimlerin model davranışı üzerindeki etkileri gözlemlenebilir.
3. Bir simülasyon modeli tasarlarırken edinilen bilgi birikimi, incelenen sistemin iyileştirilmesi ile ilgili önerilerin geliştirilmesi açısından son derece değerli olacaktır.
4. Simülasyonun girdilerini değiştirerek ve buna bağlı çıktıları gözlemleyerek, hangi değişkenlerin daha önemli olduğu ve hangi değişkenlerin nasıl karşılıklı etkileşim içerisinde olduklarına ilişkin bilgi edinilebilir.
5. Simülasyon, analitik çözüm metodolojilerinin geliştirilmesinde pedagojik bir araç olarak kullanılabilir.
6. Simülasyon, gerçekte ne yaşanacağına ilişkin hazırlıklı olmak amacıyla , uygulamadan önceki yeni tasarım ve politikaları denemek amacıyla kullanılabilir.

Simülasyon, analitik çözümleri doğrulamak için kullanılabilir.

3.3. Simülasyonun Bileşenleri

Bir sistemi anlamak ve analiz etmek için bir dizi terimin tanımlanması gerekmektedir. Bir “gezenbirim”(entity) sistemde, ilgi alanına giren bir nesne olarak tanımlanabilir. Gezenbirimlerin çeşitli özellikleri (attribute) bulunmaktadır. Bir “faaliyet” (activity),tanımlı bir süreye verilen isimdir.

Bir çalışma için göz önüne alınan bir sistemi oluşturan gezenbirim kümesi, başka bir çalışmadaki bütünsel bir sistemin yalnızca bir alt birimi olabilir (Law ve Kelton,1991).

Bir sistemin “durum”u (state),sistemi herhangibir anda, çalışmanın amaçlarına bağlı olarak açıklamak için gerekli değişkenlerin bütünü olarak tanımlanabilir. Bir “olay”(event),sistemin durumunu değiştirebilen anlık bir oluşturdur . “İçsel”(endogenous) terimi, bir sistemin içerisinde meydana gelen faaliyet ve olayların açıklanmasında,”dışsal”(exogenous) terimi ise çevrede meydana gelip sistemi etkileyen faaliyet ve olayları açıklamak için kullanılır.

3.4. Simülasyonun Çeşitleri

Simülasyonda önde gelen yöntem, Monte Carlo örnekleme düşüncesini temel olmaktadır. Monte Carlo simülasyonunda bir deneyin çıktısını tahmin edebilmek için rastgele örneklemeden yararlanılmaktadır. Burada, gerçek sistem davranışları, zamanın bir fonksiyonu olarak araştırılmaktadır.

Simülasyonda asıl olarak iki ayrı türden bahsedilebilir . Bunlar “sürekli modeller” ve “kesikli modeller “olarak adlandırılmaktadır.

Sürekli modeller, davranışları zaman içerisinde sürekli olarak değişim gösteren sistemleri ele alır. Sürekli simülasyon modellerinde genel olarak, sistemin farklı bileşenleri arasındaki karşılıklı etkileşim, değişik diferansiyel denklemlerle ifade edilmektedir .

Kesikli modeller, sistemlerin davranışlarındaki değişimleri sadece verili bir anda izleyen modellerdir (Taha, 2000). Sistemin durumu sadece bir kullanıcının sisteme girdiği ya da sistemden çıktığı anda değişir. Diğer zamanlar, istatistiksel veri toplama açısından hiçbir şey ifade etmemektedir. Sistemde herhangi bir değişiklik meydana geldiği anda modeldeki olaylar tanımlı hale gelmektedir. Bu değişimler, kesikli noktalarda meydana geldikleri için, bu tür durumları ele alan simülasyon çeşidine “kesikli olay simülasyonu” adı verilmektedir.

Ulaştırma sistemleri, simülasyonla analiz edilmek istendiğinde, kesikli simülasyon modellerinin bu sistemleri daha iyi yansıttığı görülmektedir. Bu nedenle kesikli simülasyon modelleri ulaştırma alanında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kesikli simülasyon, bir kullanıcının sisteme girmesi ile sistemden çıkmadan önce hizmet görmesini tanımlar. Kullanıcının sisteme girmesi, sistemde bir kuyruk oluşumu söz konusu ise bu kuyrukta beklemesini de içermektedir. Kesikli olay modelleri, birbiriyle karşılıklı etkileşim ve ilişki içerisinde bulunan kuyrukların oluşturduğu bir ağ meydana getirmektedir.

Sistemde, kuyruk boyu, hizmet yerinin durumu ve benzeri koşullarda herhangi bir değişiklik olması durumunda, kesikli model aracılığıyla bir performans ölçümü

gerçekleştirilebilir. Kesikli simülasyon modellerinde geliş ve gidiş olarak adlandırılabilen iki temel olgu söz konusudur.

Modeller arasında, çeşitli özellikleri göz önünde bulundurularak başka ayrımlar da yapılabilir.

Örneğin, modelleri “fiziksel” ya da “matematiksel” olarak adlandırmak mümkündür. Matematiksel modeller, sembolik notasyonlar ve matematiksel denklemler yardımı ile sistemleri yansıtır. Bir simülasyon modeli, bir sistemi yansıtan özel bir matematiksel model türüdür.

Simülasyon modellerini “statik” ya da “dinamik” olarak ayırmak da mümkündür. Monte Carlo simülasyonu olarak da adlandırılan statik simülasyon modelleri, bir sistemi, zaman içerisinde belirli bir anında temsil eder. Dinamik simülasyon modelleri ise sistemleri, zaman içerisindeki değişimleri ile birlikte temsil eder.

Rastgele değişken barındırmayan simülasyon modelleri “deterministik” olarak adlandırılır. Deterministik modellerde belirli bir girdi bütünü bulunmaktadır; ve bu girdi bütünü tek bir çıktı bütünü verir.”Stokastik” bir simülasyon modeli ise girdi olarak bir ya da birden fazla rastgele değişken içerir. Rastgele girdiler, rastgele çıktıların ortaya çıkmasına yol açar. Çıktılar rastgele olduğundan, bir modelin gerçek özelliklerine yakınsayan değerler halini alırlar. Çıktılar, bir sistemin gerçek özelliklerinin istatistiksel öngörüleridir.

Simülasyon modelleri, yukarıda tanımlanan “kesikli” ya da “sürekli” sınıfları ile de anılabilir. Ancak bir kesikli simülasyon modeli her zaman kesikli bir sistemi tanımlamaz. Benzer şekilde, sürekli bir simülasyon modeli de her zaman sürekli bir sistemi tanımlamaz. Simülasyon modelleri aynı zamanda hem sürekli hem de kesikli olabilir. Kesikli ya da sürekli simülasyon modelinin kullanımı, sistemin özelliklerine ve çalışmanın amacına bağlıdır.

Simülasyon modelleri analitik yöntemlerden ziyade, sayısal yöntemler aracılığı ile çözümlenir. Analitik yöntemler modeli “çözmek” amacıyla matematiğin çıkarsama mantığını kullanır. Sayısal yöntemler ise matematiksel modelleri “çözmek” için hesaplama işlemlerini ve bu bağlamda bilgisayar aracını kullanır. Sayısal yöntemlerin kullanıldığı simülasyon modelinde modeller çözülmek yerine

“çalıştırılır”.Yani, model kabullerine dayanılarak, sistemin yapay bir tarihçesi üretilir; ve gerçek sistem performans ölçülerini tahmin etmek için veriler derlenir ve çözümlenir.

3.5. Simülasyonun Tarihsel Gelişimi

Simülasyon tarihi “WEICH” şeklinde adlandırılan Çin Savaş Oyunlarından, 5000 yıl öncesinden gelir ve 1780’lere kadar devam eder. Ta ki Prussian lar bu oyunları ordularındaki trenlerde kullanana kadar. O zamandan beri, tüm askeri güçlerin başkanları, simule edilmiş çevre koşulları altında askeri stratejileri test etmek için savaş oyunlarını kullanmışlardır.

2.Dünya Savaşı esnasında büyük matematikçi Jhon Van Neumann tarafından bu teknik, askeriyeden ve operasyonel oyunlardan, yeni bir teknik olan Monte Carlo Simülasyon Tekniğine dönüştürülmüştür. Oyun yapısı nedeni ile Van Neumann kanunların değişimi çalışmasını Monte Carlo Modeli olarak adlandırdı.

1950’lerde iş bilgisayarlarının gelişi ve birleşik kullanımı ile simülasyon bir yönetim aracı olarak gelişti. Uzmanlaşıp özelleşen bilgisayar dilleri, geniş ölçülü problemleri daha etkili ele almak için 1960’larda geliştirildi.1980’lerden itibaren bilgisayar dillerinin gelişmesi ile değişik adlarla bir çok simülasyon programı yazılmıştır (Erkut, 1991).

3.6. Simülasyonun Kullanım Alanları

Ekonomide, işletmelerde ve diğer sosyal bilimlerde kullanılan simülasyon teknikleri, dinamik bir süreci temsil eden sayısal bir model üzerinde denemeler yapmayı içerir. Yani, amaca uygun bir sayısal model geliştirildikten sonra, başlangıç koşullarının, parametrelerin ve dışa bağımlı değişkenlerin değerleri verilerek zaman içinde sürecin davranışı belirlenmeye çalışılır. Bu değişkenler seti belirli bir zaman diliminin başlangıcında sistemin konumunu tanımlamak içindir. Daha sonra söz konusu değişkenler dış etmenler bağımlı bilgilerle birlikte belirlenen zaman diliminde sistemin davranışını türetmek için modelde kullanılır. Analizin sonunda elde edilen sonuçlar ele alınan zaman diliminin sonunda sistemin konumunu belirleyen değişkenlerin değerleridir. Bu süreç arzu edilen uzunluktaki zaman dilimi için tekrarlanabilir.

Simülasyon modellerinin en önemli özelliklerinden biri, zamanın en temel elemanlarından biri olmasıdır. Yani simülasyon tekniği ile bir sistemin çözümü demek, sistemin zaman içinde davranışının belirlenmesi demektir. Bu nedenle çözümlenecek olan sistemin zaman içindeki davranışı önem arz ediyorsa, analiz için uygun bir analitik yöntem olmasına rağmen simülasyon en uygun çözüm olabilir. Ancak, doğrusal programlama, maksimizasyon ve minimizasyon gibi yöntemler bu sınırlandırmanı dışında bırakılmamalıdır. Bununla beraber, söz konusu analitik yöntemlerin son derece uygun olduğu problemlerde bile simülasyon teknikleri başarı ile kullanılmıştır.

Simülasyon amacına göre değişik tanımlamalar yapılabilir. Kimilerine göre simülasyon bir işletmenin yada ekonomik sistemin davranışını belirten belli matematiksel ve mantıksal modeller ile bilgisayarda deneyler yapmak için kullanılan sayısal bir tekniktir. Başka bir tanıma göre de simülasyon gerçeklere ve varsayımlara dayalı olarak belirsizlik koşulları altında çeşitli seçenekleri değerlendirmek ve bu şekilde karar vericiye yardımcı olmak amacıyla, bilgisayara programlanmış matematiksel bir model kullanan kantitatif bir tekniktir.

Özel simülasyon programlarının varlığı, işlem sürelerini ve maliyetlerin azalmasına yol açmış; bu durum da simülasyonu, yöneylem araştırmasında ve sistem analizinde en çok kullanılan ve kabul edilen yöntemlerden biri haline getirmiştir. Simülasyon aşağıdaki amaçlar için kullanılabilir (Naylor vd,1966):

- Karmaşık sistemlerin alt sistemlerini veya sistemlerin içindeki etkileşimleri incelemek için yapılan deneyleri ve çalışmaları olanaklı hale getirir.
- Çevresel ve organizasyonel değişikliklerin etkisi bir model üzerindeki simülasyon yöntemiyle incelenebilir.
- İncelenen sistemlerde gelecekteki iyileştirme çalışmaları açısından simülasyon modelinin dizaynı aşamasında edinilen bilgi büyük değer taşımaktadır.
- Girdilerin değiştirilmesi ve sonuçların incelenmesi değişkenlerin önem derecesi ve birbirleriyle ilişkileri hakkında bilgi verir.

- Olacakları önceden tahmin etmek için, yeni dizaynların ve politikaların uygulamadan önce test edilmesinde simülasyon kullanılabilir.
- Analitik sonuçları doğrulamak için simülasyon kullanılabilir.

3.6.1. Endüstri ve İş Alanlarında Uygulamalar

Endüstri ve iş alanlarında en çok karşılaşılan problemler, bekleme hatları ve envanter sistemleridir. Bu gibi problemlerle karşılaşıldığında simülasyon modeli kurularak olaylar gerçekleştirilir. Model üzerinde istenilen değişkenlerle oynayarak sistemin tepkisi ölçülür. Ayrıca PERT, tamir bakım vb. konularda da simülasyon çalışmaları yapılmaktadır (Genç, 2000).

3.6.2. Mühendislik ve Fen Alanlarında Uygulamalar

Courgen, Sranson ve Triemc'nin bir nükleer reaktör üzerinde yaptıkları, simülasyon çalışması vardır. Bu çalışmanın amacı, reaktör alanının dinamik karakteristiklerini saptamak ve seçilen alanın, operatörün ve kontrol sisteminin etkilerini incelemektir.

Benzer şekilde Cohen, bazı kimyasal reaksiyonları bir simülasyon modeli üzerinde uygulamıştır. Böylece deney sayısı azaldığı gibi fiziksel olarak denenemeyen bazı reaksiyonları da model üzerinde inceleme fırsatı bulmuştur.

İnsan hayatının çok önem taşıdığı uzay çalışmalarında simülasyon modellerinin kullanımı kaçınılmazdır. Burada bilgisayar modellerinin yanı sıra basınçsız bir ortam hazırlanarak astronotlar eğitilebilir (Genç, 2000).

3.6.3. Askeri ve İdari Alanlarda Uygulamalar

Simülasyon modellerinin en yaygın kullanıldığı alanlarından biri de askeri çalışmalardır. Hatırlanacağı gibi endüstri mühendisliği (özellikle harekât araştırması sistem analizi dalları)dünya savaşları sırasında önemli gelişmeler göstermiştir. Günümüzde de özellikle “savaş oyunları” bilgisayar üzerinde simülasyon yolu ile yapılmaktadır. Doğal olarak bu gibi durumlarda herhangi bir varsayımın, örneğin nükleer bir saldırının sonucunu almak için önümüzde model kurmaktan başka bir seçenek yoktur.

İdari alanlarda da simülasyon çalışması yapılmıştır. Örneğin Thoreson ve Littswager mahkeme bölgelerini belirlemek üzere kurdukları modelde temel kriter olarak nüfus

dağılımını almışlardır. Benzer şekilde trafik problemlerinin çözümünde simülasyon modelleri kurulmuştur. Özellikle şehir içi ulaşımında büyük kolaylıklar sağlanmıştır (Genç, 2000).

3.7. Simülasyonun Avantajları

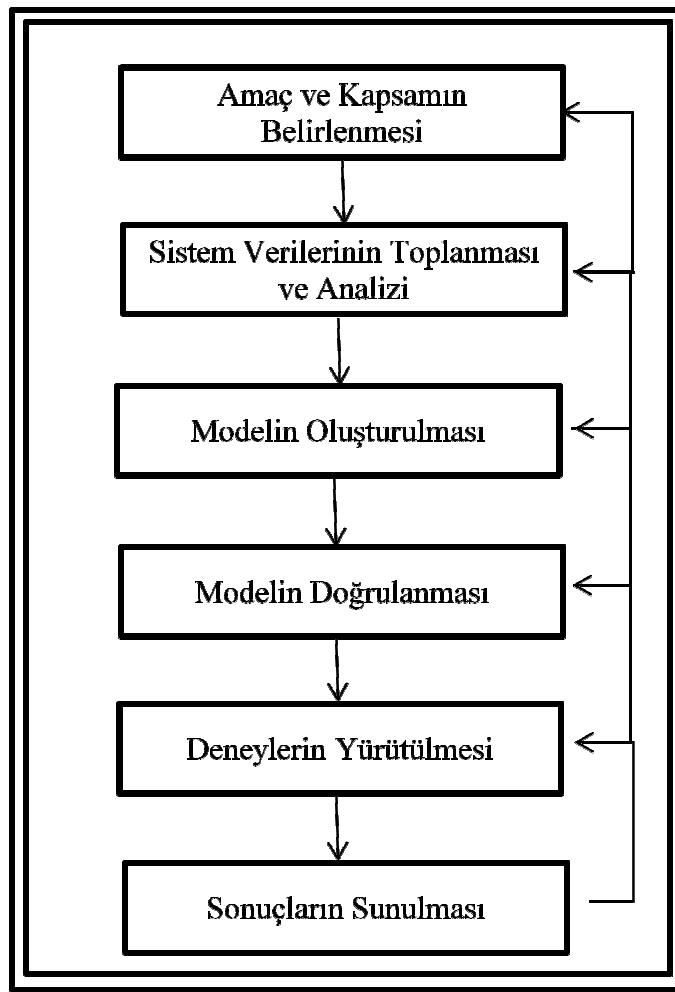
1. Sistemin modeli kurulduktan sonra farklı durumların analizi için istenildiği kadar kullanılabilir.
2. Simülasyon yöntemleri, sistem verilerinin detaylı olmadığı durumlarda elverişlidir.
3. Simülasyon modeli üzerinde daha sonra yapılacak analiz için veri, çoğu kez gerçek hayatta olduğundan daha ucuz elde edilir.
4. Simülasyon, bir sistemdeki dâhili karmaşık etkileşimleri etüt etmek ve bunlar üzerinde deney yapma olanağı sağlar.
5. Simüle edilen sistemin ayrıntılı gözlemi, daha iyi anlaşılması, daha önce görülmemiş eksikliklerin giderilebilmesi, daha etkin fiziksel ve operasyonel sistemin kurulmasını sağlayabilir.
6. Simülasyon, değişik koşullar altında sistemin nasıl olacağı hakkında çok az veya hiçbir veriye sahip olmadığımız yeni durumlar üzerine deney yapma amacıyla kullanılabilir.
7. Simülasyon analitik çözümlerin doğruluğunu gerçeklemek üzere kullanılabilir.
8. Simülasyon ile dinamik sistemlerin gerçek zamanı, daraltılmış veya genişletilmiş süre içinde incelenebilir.
9. Simülasyon analistleri daha geniş düşünmeye zorlar.

3.8. Simülasyonun Dezavantajları

1. Modelin gereğinden fazla detaylandırılması
2. Başlangıçta pahalı ve zaman alıcı olabilir.
3. Animasyonun yanlış kullanılması
4. Kurulan modelin geçerliliği çok iyi test edilmelidir ki aksi durumda yanlış kararlara sebebiyet vererek istenmeyen maliyetler ortaya çıkarır.
5. Sisteme etki eden önceden belirlenemeyen bozucu faktörler, makine ve diğer arızalardan dolayı incelenen sistemin yapısı deterministik değil stokastiktir.

6. Bu nedenle çıkış analizinde, olayların incelenmesinde ve güvenilirlik sınırlarını belirlemede uzmanlık gerektirir (Uzman, 1990).
7. Araştırmacılar simülasyon tekniğini öğrendikten sonra onu analitik yöntemlerin daha uygun olduğu durumlarda da kullanma eğilimindedirler (Halaç, 1993).
8. Performans değerlendirme için yanlış ölçütlerin kullanılması sonucu olumsuz etkileyebilmektedir (Hillier ve Lieberman, 1995).

3.9. Simülasyonun Aşamaları



Şekil 3.1 : Simülasyon Sürecinin Aşamaları

3.9.1. Problem Tanımlama ve Hedeflerin Durumu

Etkili bir çalışma yapabilmek için potansiyel problemleri olan sistem parçalarının incelenmesi ve çalışmanın buna göre hazırlanması gerekir. Üzerinde çalışacak modelin kesin ve öz bir tanımını yapılması, beklenenden daha zor olabilir.

Simülasyon çalışmalarının amaçları, genellikle üzerinde çalışacak problemin durumuna göre saptanır. Çünkü model kurulduktan sonra yapılacak çalışmaların problemi çözmesi gerekmektedir (Atçı vd., 1997).

Her simülasyon çalışması kapsamlı bir amaç ifadesi ile başlamalı ve en önemli konular ifade edilmelidir. Böyle bir açıklama olmadan başarı beklemek doğru değildir. Alternatif sistemler her zaman göz önünde bulundurulmalıdır (Law ve Kelton, 1991).

Modelin kurulmasında, analist sistemin bütün bileşenlerini belirtecek ve bu bileşenler arasındaki ilişkiler açıklanacaktır (Altaylı, 1994). Herhangi bir çalışmanın ilk amacı, yürütülen çalışmanın açık ve tam olarak belirlenmesidir. Çalışma amacın tanımlanmasının önemli bir parçası da araştırmanın sonuçlarını ölçecek olan ölçütlerin belirlenmesidir. Bu ölçütlerin belirlenmesi çalışma alanına göre değişecektir. Örneğin birçok endüstri sistemlerinin optimum performansı çoğunlukla en düşük maliyet ve en büyük kar iken, askeri sistemlerde ölçülecek olan optimum performansın değerlendirilmesinde para aynı ağırlığı taşımayacaktır. Bir atölyenin performans ölçümü; teslim gecikmelerinin düzeyi, boş zaman miktarı, hurda miktarı vb. ile değerlendirilir. Çalışmanın amacı tanımlanırken, neyin optimize edilmek istendiği açık ve tam olarak belirlenmelidir.

Amacı tanımlarken, ümit edilen en son modelin ne olacağı konusunu da dikkate almak gerekir. Bazı modeller, bir defa kullanıldıktan sonra ihraç edilen analizi temelinde sürekli kullanılmak amacıyla kurulur. Bazı modeller sadece nicel sayıları cevapları sağlamaya ihtiyaç duyar. Diğerleri, müşterileri ikna etmek için gerçekçi animasyonlar gerektirir. Bazı modeller sadece analistler tarafından kullanılmak için tasarlanmıştır. Bazıları ise çok az simülasyon tabanıyla yöneticiler tarafından kullanılması kolay olması hedeflenmiştir. Bir kısım modeller ise sadece önemli finansal kararları vermek üzerinde odaklandırılmışlardır.

Açık bir şekilde tanımlanan amaçlarla ve çalışma için en iyi organize edilmiş bir planla simüle edilecek sistem, tanımlanmaya başlanabilir. Bu simülasyon modelinin dayandırılacağı kavramsal bir modelin gelişimi gibi algılanabilir. Birbiri ile ilişkisi olmayan veri yığınların düzenlemeyle karşılaşıldığında sistem bilgisinin toplanması ve geçerliliğinin sağlanması karşı konulmaz olabilir. Sistem çalışmasının tamamen

nasıl tanımlanacağını gösteren bir formda verilere ulaşmak mümkündür. Veri toplamak amaca yönelik olmalıdır.

Hakkında çok az bilgiye sahip olunana sistemler için tahminlerde bulunulmamalıdır. Karşılıklı anlaşıldığı sürece tahminde bulunmanın olumsuz bir tarafı yoktur. Herhangi bir tasarı çalışması, tamamlanmış veya doğru bilginin olmadığı durumlarda tahminler verimli bir şekilde kullanılmalıdır (Sevgin, 2000).

3.9.2. Verilerin Toplanması ve Analizi

Modelin gerektirdiği verileri tanımlama ve verilerin kullanılabilecek ölçülere indirgeme aşamasıdır. Simülasyon deneyleri için veriye duyulan gereksinim iki temel çerçevede ele alınabilir.

- Parametrelerin değerleri, değişkenlerin davranışını ve ilişkilerin biçimini öngörebilmek için geçmişe yönelik veriler
- Veriler kaynağında bulup yakalayarak, tüm verilerin güncelleştirilmesini sağlayacak veriler.

Araştırmacı hangi tür verilerin gerekli olduğunu belirlemelidir. Bu, aşağıdaki değerleri tahmin etmek için gereklidir:

- Sistemin parametreleri: rassal değişkenlerin yoğunluk parametreleri, maksimum kuyruk uzunluğu, depolama sınırlamaları
- Sistemin değişkenlerinin tanımı: rassal değişkenlerin olasılık dağılımları
- Sistemdeki ilişkilerin biçimleri: içsel bileşkeler arasındaki bağımlılık.

Kullanılan veriler, geçerlilik, verilerin dağılımı, teorik dağılımlara uygunluk simülasyon başarısını etkileyen faktörlerdir.

Bilgiye nadiren tek bir kaynaktan ulaşılır. Carsson (1986), “ Büyük ölçekli gerekli sistemlerde doğru simülasyon modelini kurmak için yeterli detay içinde sistemin nasıl çalışacağını kimin anladığını bilen nadir olduğunu deneyimlerimden çıkardım. Model kurucu, gerekli bilgiyi bulunduğu yerden çıkarabilecek bir dedektif hırsıyla çalışmalıdır.”

İyi derecedeki sistem veri kaynakları aşağıdakilerdir.

- İşlem merkezi kuruluşu
- Zaman çalışmaları
- Önceden saptanmış standart zamanlar
- Akış şemaları
- İmkân planları
- Pazar tahminleri
- Muhafaza raporları
- Üretim logaritmaları
- Araç üreticileri
- Yöneticiler
- Mühendisler vb.

Belirli bir veri kaynağını kullanıp kullanmamaya karar verirken kaynağın uygunluğunu, güvenilirliğini ve kolay bulunabilirliğini göz önünde bulundurmak önemlidir. Kaynağın güvenilirliği, modelin geçerliliğini etkileyecektir. Sonuç olarak kaynağa ulaşmakta zorlanıyorsa, uzak bir yerdeki benzer bir işlem merkezi gibi ulaşılmadan geçilmesi gerekebilir (Sevgin, 2000).

3.9.3. Model Geliştirme

Modelleme genellikle sistemin soyut bir ortamın oluşturulmasıyla başlar ve gittikçe daha detaylı bilgilerin eklenmesiyle devam eder. Bu soyut model, sistemin mantıksal bir modelidir ve sistemdeki olaylar arasındaki ilişkileri tanımlar (Altaylı, 1994).

Modelin geliştirilmesinde çalışan kişilerin birbiriyle düzenli ilişkiler içinde olmaları gerektiği de göz ardı edilmemelidir. Detaylarla ilgili çalışma, projenin amaçlarından sapmasını önleyebileceği gibi önerilen değişikliklerin ileriki aşamalarının geliştirilmesini sağlar. Bunun doğrulama ve değerlendirme diye iki aşaması vardır (Atçı vd., 1997).

Formüle edilen ve bilgisayar modeli biçiminde yazılan simülasyon modelinin bilgisayar diline tercüme edilmesi yani kodlamaya geçiş işlemidir. Simülasyon modelinin bilgisayar ile yapılması şu aşamalardan oluşur.

- Akış diyagramların çizilmesi
- Kodlama (genel amaçlı derleyici, özel amaçlı simülasyon dilleri)
- Hataların ayıklanması
- Verilerin kullanılması ve başlama koşulların belirlenmesi
- Verilerin üretilmesi
- Çıktı raporlarının incelenmesi

Akış diyagramının hazırlanmasından sonra özel amaçlı bir simülasyon dilinin kullanılması daha çok bilgisayar zamanından tasarruf sağlamak içindir. Çalışmanın amacı tanımlanırken, neyin optimize edilmek istendiği açık ve tam olarak belirlenmelidir. Günümüzde paket programlar sayesinde analistler kodlama yapmadan sistemi modelleme imkânına kavuşmuşlardır.

3.9.4. Modelin Doğrulanması ve Geçerliliğin Araştırılması

Bir bilgisayar modeli, eğer modellenen gerçek dünya sisteminin ürettiği yakın sonuçlar üretiyorsa, bu bilgisayar modeli geçerlidir. Model mantığı doğru değil ise ve gerçek sistemi temsil etmediği saptanırsa bunlar giderilmeden bir sonraki aşamaya geçilmez.

Mantığı ve geçerliliği saptanan model ile amaçlanan karar seçeneklerinin değerlendirilmesi için deneyler yani çeşitli seçeneklerin gerçek sistemi temsil eden model üzerinde uygulama sonuçlarını görmek için tüm seçenekler denir.

Özde deneysel nitelikli olan simülasyon modelleri istatistiksel deney hatalarına açıktırlar. Çünkü her deney gerçek evrenden (ana kütleden) alınan bir örneği temsil ettiği içim istatistiksel örnekleme hataları kaçınılmazdır. Bu nedenle simülasyon modelleri ile ana kütle parametreleri hakkında belli bir olasılıkla belli bir güven aralığında tahminde bulunabilmek ve istatistiksel deney hatalarını kabul edilebilir bir düzeyde tutabilmek için simülasyon deneylerinin çok iyi planlanması gerekir.

Çıktı analizi, simülasyon çıktısı üzerine kurulmuş gerçek sistem ile farkları araştırır. Simülasyon sonuçlarının yorumlanmasında özel bir dikkat gösterilmelidir. Akademik düzeyde ya da iş ortamında simülasyon yapan kişilerin buldukları model sonuçlarının istatistiksel olarak önemlerine dikkat etmeleri gerekir.

Modelin doğrulanmasında ve hataların düzeltilmesinde birkaç farklı yöntemden söz edilebilir. Örneğin sistemdeki parçaların veya müşterilerin hareketlerinin sağlıklı olarak görülebileceği bir hızda animasyon yapılır. Fakat animasyon tek başına bir doğrulama aracı olarak kullanılmamalıdır. Değişkenler ve sayaçlar istenilen sonuçların göstergesi olarak animasyonda kullanılabilir. Diğer doğrulama yöntemi de model yapısının bir başka model kurucu tarafından incelenmesidir. Vazgeçilmez doğrulama araçlarından birisi de modeli “takip (trace)” etmektir (Öztürk, 1997).

Değerlendirme, kurulan modelin üzerinde çalışılan sistemdeki problemi yansıtip yansıtmadığının belirlenmesidir. Değerlendirme testi, modeli kuran kişinin diğer potansiyel kullanıcılar ve sistemdeki işlemlerle ilgili kişilerle yapacağı ortak bir çalışmaya bağlıdır.

Modeli kuran kişi genellikle modeli ve modelin gerçek sistemle olan ilişkisini gösteren yapısal bir plan çıkarır. Modeli kuran kişi aynı zamanda modelde kullanılan tahmini verilerin muhtemel etkilerini ve önemini de açıklar. Sistemi iyi bilen kişilerden alacağı yardımla da bu tahmini verilerin doğruluğunu kontrol etmelidir. Animasyon genelde doğrulamadan sonra yapılırsa da bir değerlendirme aracı olarak kullanılabilir.

Girilen verilerin değiştirilerek, kurulan modelin sonuçlarıyla sistemin kendisini karşılaştırmak, test etme yollarından biridir.

Bir başka yaklaşım da, sistemi çok iyi bilen uzmanların sistemle model arasındaki farklılıkları ve benzerlikleri bulmalarıdır. Bu işlem “Twing Test “ olarak adlandırılır (Öztürk, 1997).

Modelin doğrulanması çalışmaları, modelin bir formdan diğer bir forma doğru bir şekilde dönüştürüldüğünden emin olmak için yapılır. Model doğrulama, modelin doğru oluşturulması ile ilgilenir. Bir problem formülasyonunun modele ne kadar doğru çevrildiği veya bir akış diyagramının geçerli bir bilgisayar programına ne derece doğru çevrildiği modelin doğrulanması ile değerlendirilir.

Modelleme ve simülasyon amaçlarının oluşturulan modelle ne kadar uyumlu olduğunu ölçmek için modelin değerlendirilmesi çalışmaları yapılır. Model değerlendirilmesi doğru modelin kurulmasıyla ilgilenir.

Doğrulama ve değerlendirme arasındaki farkı ile soruyla ortaya çıkarabiliriz: Modelin davranışları ile zihinsel olarak mı yoksa bilgisayar uygulaması olarak mı karşılaştırılıyor? Eğer sorunun cevabı zihinsel ise model değerlendirmesi, aksi halde model doğrulaması çalışmaları yürütülmüştür.

Modellerin onaylanması, bir modelin veya simülasyonun özel bir amaç için kullanabilmesinin resmi olarak izin verilmesi anlamına gelir. Doğrulama ve değerlendirme çalışmaları yaparken aşağıdaki prensiplerin anlaşılması ve uygulanması önemlidir:

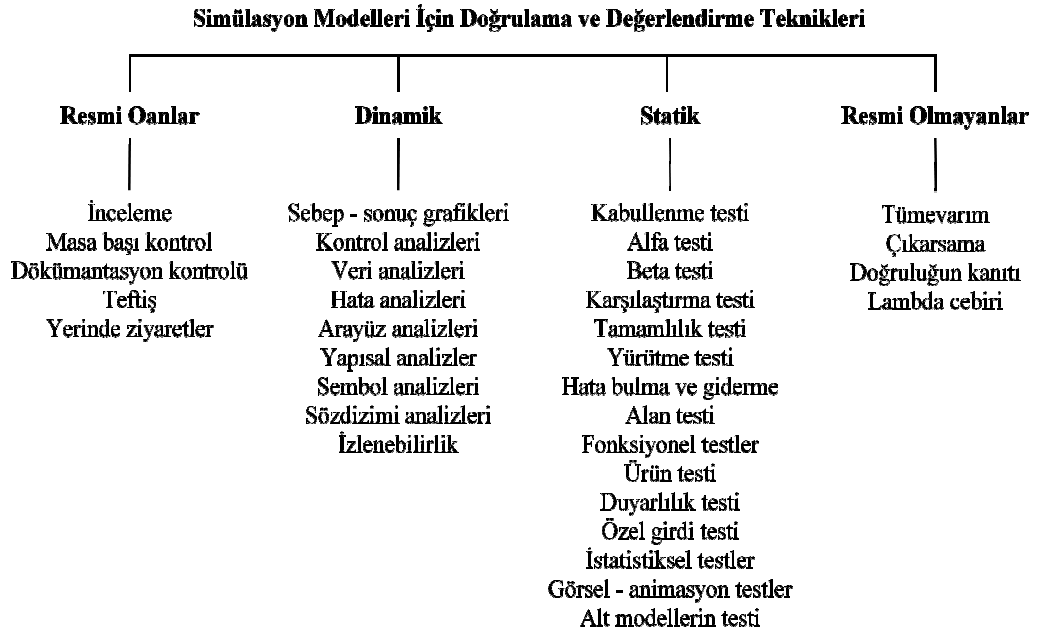
- Doğrulama ve değerlendirme çalışmaları, tüm simülasyon projesi süresince devam etmelidir.
- Doğrulama ve değerlendirme çalışmalarının sonucunda, model ve simülasyonun tamamının hatalı veya tamamının kusursuz olduğu iki sonuç çıkacağı düşünülmemelidir.
- Doğrulama ve değerlendirme çalışmalarının model geliştiricilerinin eğilimlerinden etkilenmemeleri için bağımsız olmalıdırlar.
- Doğrulama ve değerlendirme zorlayıcı ve yaratıcılık gerektiren çalışmalardır.
- Simülasyon modelinin her ayrıntısının kontrol edilmesi mümkün değildir.
- Doğrulama ve değerlendirme çalışmaları planlanmalı ve dökümanite edilmelidir.
- Hatalar mümkün olduğunca simülasyon çalışmasının başlangıcında ortaya çıkarılmalıdır.
- Tüm alt modellerin ayrı ayrı doğrulanması, modelin tamamının doğrulandığı anlamına gelmez
- Modellerin doğrulanması ve değerlendirilmesi, simülasyon sonuçlarının kabul edilebilirliğini garanti etmez.

Geleneksel simülasyon modellerinin doğrulanması ve değerlendirilmesi için kullanılan yöntemler Şekil 3.2’ de görülmektedir. Tekniklerin az bir kısmı modelleme ve simülasyon alanına özel olmakla birlikte geri kalan büyük bir kısmı yazılım mühendisliği disiplininin gelmektedir.

Resmi olmayan teknikler, en çok kullanılanlar arasındadırlar. Resmi olmayan olarak tanımlanmalarının sebebi, bu tekniklerin insan mantığına ve nesnellığe bağlı olmalarıdır. Gayri resmi olmaları tekniklerin kullanımı için standart bir yapının

olmadığı anlamına gelmez. Eğer doğru bir yapıda gerçekleştirilse çok kullanışlı tekniklerdir.

Statik teknikler, doğrulama çalışmalarında modelin dizaynı ve kaynak kodların yapılarını incelemek için kullanılırlar. Dinamik teknikleri, modellerin çalıştırılmalarını gerektirirler ve simülasyonun uygulama durumunda incelenmesine yardımcı olurlar. Resmi teknikler ise modelin doğruluğunun matematiksel olarak kanıtlanmasını hedeflerler (Balcı,1997).



Şekil 3.2: Doğrulama ve Değerlendirme Teknikleri

3.9.5. Senaryoların Oluşturulması

Çoğu durumda, projede yer alan kişilerin değişik alternatif çözümlere ilişkin temel ve basit fikirleri vardır. Her alternatif için bir model geliştirmeden önce, simülasyon uzmanı kabul edilebilir sonuçlar elde etmek için gereken simülasyon zamanının ve modelin eğer mümkünse sabit duruma gelmesi için geçmesi gerekli zamanı hesaplar. Daha sonra değişik sonuçlara göre gerçekçi bir istatistiksel örnek çıkarmak için gerekli olan tekrarlar sayısını bulur. Çok fazla simülasyon zamanı ve tekrar gerektiren fakat çok fazla bilgi sağlamayan sonuçlar simülasyon maliyetini artırır.

Deneme tasarımı, alternatiflerin karşılaştırılması ve analizi için yapılır. Amacı simülasyondan elde edilen bilgilerden azami derecede faydalanmaktır. Her deneme

için benzer olaylar sırası ile oluşturulabilir ve alternatifler arasındaki farkı görebilmek için “Varyans Azaltma Teknikleri” kullanılabilir (Altaylı, 1994).

3.9.6. Sonuçların Analizi

Her model konfigürasyonunun sonuçlarının mutlaka iyi bir dökümantasyonu yapılmalıdır. Normal raporlara ek olarak yapılacak dikkatli bir dökümantasyon modeli kuran kişinin hangi alternatifin en iyi sonucu verdiğini belirlemesine ilave olarak, yeni alternatifler doğuracak eğilimleri de kolaylıkla görmesini sağlayacaktır.

Genel olarak modeli kuran kişi, modelden alternatiflerin ve elde edilen sonuçların sağlıklı bir şekilde tablo formatında saklasa da grafiklerle yapılacak bir takdim çok daha etkili olacaktır (Altaylı, 1994).

Model ile yapılan deneyler sonucu elde edilen bilgi ve veriler başlangıçta belirlenen amaçlar göz önünde bulundurularak çözümlenir, değerlendirilir, karar seçeneklerine ilişkin olarak yorumlanır ve gerçek sistem işleyişi konusunda karar verilir.

4. UYGULAMA

Ele aldığımız arterin yeniden yapılandırılması, önerilerin ve senaryoların derlenmesi ve sonuç raporlarının hazırlanmasında ana amaçlarımız trafik yoğunluğunu azaltarak akışı artırmak, yakıt ve kuyrukta beklemeden kaynaklanan maliyetleri azaltmak, emniyeti sağlayarak kazaları ve kaza maliyetlerini azaltmak ve bir noktadan diğerine ulaşım süresini ve maliyetini azaltmaktır.

4.1.Amaç ve Kapsamın Belirlenmesi

4.1.1. Arterin Seçilmesi

Orta ölçekli bir kentte dahi farklı trafik ve ulaşım karakterlerine sahip olan bölgeler olabilir. Bu durum ulaşım ihtiyaçlarının farklılığından kaynaklanır. Ev-işyeri arasındaki ulaşımında kullanılan arterler, günün farklı zaman dilimlerinde hareketliliği devam eden arterler, iş faaliyetlerinde kullanılan lojistik trafiğin daha yoğun olduğu arterler farklı olabilir. Bu unsurlara ek olarak, fiziksel şartlar da analizlerde fonksiyonel şartlar kadar etkilidir. Burada kastedilen, yolun oluşmuş olan kesiti, genişliği, eğimi, yol üzerindeki kavşakların kontrol stratejileridir.

4.1.2. Seçilen arterin seçim nedeni

Üsküdar ilçesindeki Nuh Kuyusu Caddesi'nin çalışma arteri olarak seçilmesinde ana faktörler şunlar olmuştur:

- a. Eski ve merkezi bir semt olan Üsküdar ilçesinin en önemli arterlerinden biri olması.
- b. Birçok semti ilgilendiren bir arter olması (örneğin: Bağlarbaşı, Zeynepkamil, Altunizade).
- c. Arterde kontrol stratejisinin sinyalizasyon ağırlıklı olması.
- d. Arterin yoğunluğu nedeniyle, elde edilmesi beklenen faydanın yüksek olması

- e. Çevrede bulunan Zeynepkamil hastanesine ambulans geliş süresinin en aza indirilmeye çalışılması
- f. Stratejik konumu

4.1.3. Üsküdar Nuh Kuyusu Caddesi'nin Konumu

Nuh Kuyusu Caddesi, Üsküdar ilçesini doğu sınırı boyunca besleyen, kuzeyde Boğaziçi Köprüsü'ne (O-1 karayolu), Ümraniye'ye, güneyde ise Kadıköy ilçe merkezine bağlayan bir arterdir. Güzergâhı boyunca Bağlarbaşı, Zeynepkamil, Altunizade gibi merkezi alanlardan geçer. Harem yolu olarak bilinen D-100 karayolu bağlantısı ile Koşuyolu, semtlerinden talep alır. Doğu ve batısında Koşuyolu Tophanelioğlu Caddesi ve Harem Sahil Yolu dışında paralel bir yol daha yoktur, bu bakımdan bölgenin en önemli toplayıcı yoludur. Arterde 9 adet sinyalize kavşak bulunmaktadır.

Nuh Kuyusu Caddesi, güneydeki Tıbbiye Caddesi ve Dr. Eyüp Aksoy Caddesi, Tunusbağı Caddesi ile kuzeydeki Cumhuriyet Caddesi, Kısıklı Caddesi, Çavuşdere Yolu, her iki yöndeki Dr. Fahri Atabey Caddesi (Toptaşı caddesi) ve Mütevelli Çeşmesi Sokakların bağlandığı tek ana yoldur. Arterin genel konumu Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

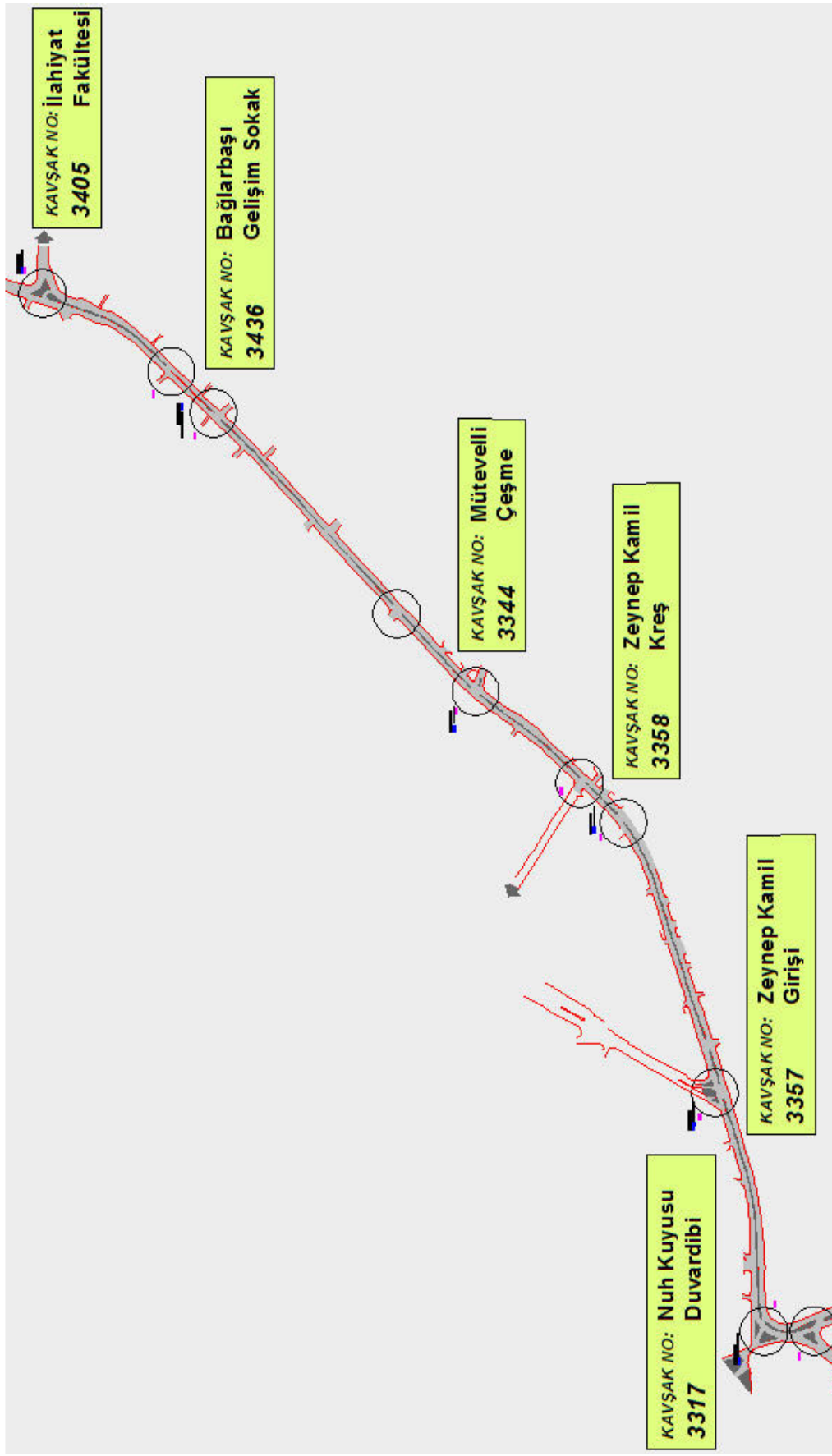
4.2.Sistem Verilerinin Toplanması ve Analizi

Sistem verileri EK A'da verilen form örneğindeki gibi toplanmıştır ve analizleri yapılmıştır, ancak gizlilik esası çerçevesinde sadece örnek olarak verilmiştir. Sayımlar sabah zirve, zirve dışı ve akşam zirve olarak yapılır. Ancak biz sabah zirveye göre çalışmamızı değerlendirdik. Bunun sebebi zirve dışı saatler İstanbul'da gün boyu yaşanan daha hafif bir trafik olduğu için, akşam zirvesini ise zamana daha yaygın olduğu için daha kısa zaman aralığında başlayıp biten sabah zirvesini kullanılır. Sabah zirve 07:00-10:00, zirve dışı saatler 12:00-14:00, akşam zirve ise 17:00-20:00 saatleri arasında sayım yapılan saatlerdir.

4.3.Modelin oluşturulması

4.3.1. Nuh Kuyusu Caddesi'nde Mevcut Durum Analizi

Çalışma alanı olarak seçilen Üsküdar Nuh Kuyusu Caddesi üzerindeki sinyalize kavşaklara ait problemlerin saptanması için, arazide yapılan gözlemlere ek olarak Synchro ve SimTraffic



Şekil 4.1 : Nuh Kuyusu Caddesi ve üzerindeki kavşaklar

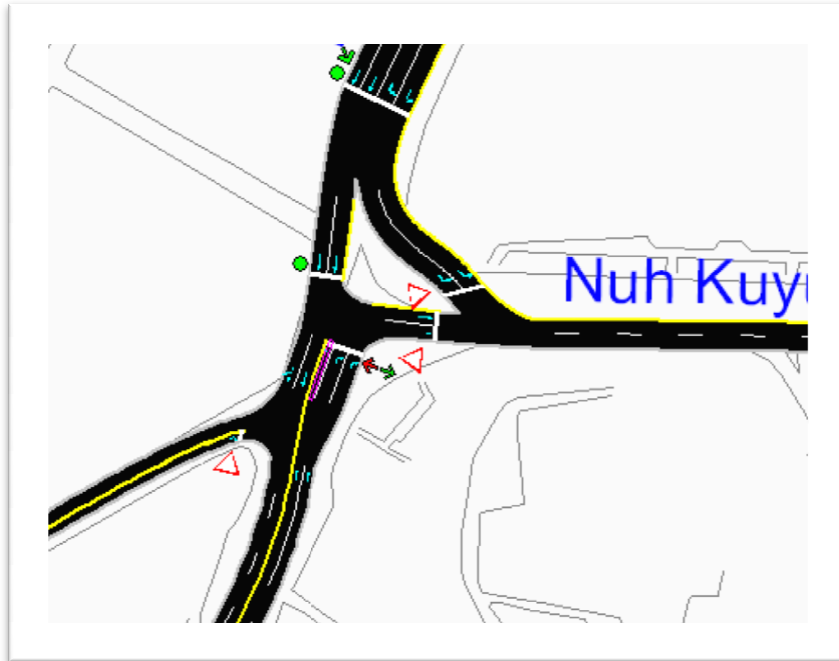
programları ile arter ve kavşaklar irdelenmiştir. Aşağıda bu programla bulunan inceleme sonuçları verilmiştir.

Bu irdelenmenin önemi, sahadaki gerçek durum ile yazılımda ortaya çıkan benzetim modeli arasındaki benzerliktir. Bu benzetimde şerit sayısı, geometrik düzen, sinyal planları ve süreleri, kavşak kollarındaki araç hacimleri ve ağır taşıt oranları, kontrol tipleri veri olarak girilir. Amaç yapılacak olan analizde planlamacının ölçülebilir verilere sahip olmasıdır.

Nuh Kuyusu Caddesi üzerindeki bazı sinyalize kavşaklar, aynı kavşak kontrol cihazı ile yönetildiği için ortak kavşak numarası ile anılmaktadır. Bu çalışma kapsamında kavşak numaraları değiştirilmeden A ve B olarak adlandırılmıştır.

4.3.1.1 3405 Nolu Kavşak :

Mevcut durumu ile 3405 nolu sinyalize kavşakta U dönüşü ve yaya geçişlerinde yaya butonu kullanılmaktadır. Kavşaktaki U dönüşü talebi ile yaya talebinin aynı sıklıkta olması ve kavşağın doğu ve kuzey kolundaki tek yön uygulaması nedeniyle, kavşak temelde iki fazlı olarak çalışmaktadır.



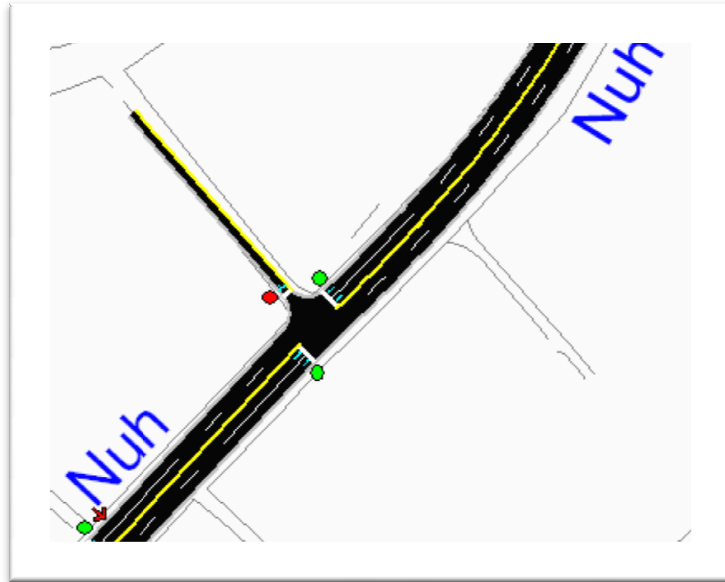
Şekil 4.2 : SimTraffic programında 3405 nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).

Buna rağmen Şekil 4.2’de görüldüğü gibi güney kolundan kavşağa katılan araçlar için 2 şerit ayrılmıştır. Kavşağın yakınında bulunan “İlahiyat Fakültesi” durağındaki

otobüslerin yola katılım manevraları nedeniyle yaşanan gecikmelere rağmen sabah, zirve dışı ve akşam zirvesinde kavşak “A” hizmet seviyesindedir. Sadece U dönüşü yapılan kol sabah zirvede “D” seviyesindedir. Maksimum v/c oranı kavşak bütününde sabah zirve saatinde 0,61’dir.

4.3.1.2 3436-A Nolu Kavşak :

Mevcut durumda kavşak 2 fazlı olarak çalışmaktadır. Anayola katılan ve kavşağa adını veren Gelişim Sokak çıkışında sensör yoktur. Dolayısıyla sabit zamanlı olarak çalışmaktadır. Bir önceki kavşağa göre hizmet seviyesi (LOS) düşerek “B” olmuştur. Bunda tali yol çıkışının toplam gecikmesinin 118,7 taşıt/saat olmasının etkisi vardır.



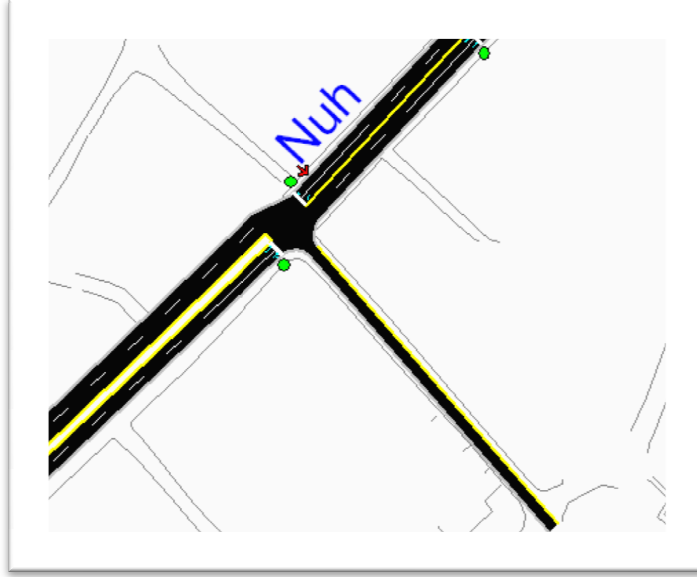
Şekil 4.3 : SimTraffic programına göre 3436-A nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).

Program üzerinde yapılan incelemede kuzey istikametindeki araçların kavşak alanında beklemeleri nedeniyle tali yoldan çıkan araçlar kavşak alanına girmemektedir. Bu durum yerindeki durumla karşılaştırıldığında yüksek benzerlik göstermektedir. Kavşağın durumu Şekil 4.3’te verilmiştir.

4.3.1.3 3436-B Nolu Kavşak :

Şekil 4.4’te görülen kavşağın bütününde LOS B seviyesindedir ve periyot süresi 95 sn.’dir 3436-A nolu kavşak ile yakın olduğu için koordineli olarak çalışmaktadır. Ancak, kavşağın A ya da B kısmında meydana gelen bir sorun kayma sürelerinin ayarlanmasındaki güçlükten dolayı, her iki kavşağı birden etkilemektedir. Sabah zirvede kuzey istikametinde araç hacmi 1400 araç/saat olduğu, buna karşın güney

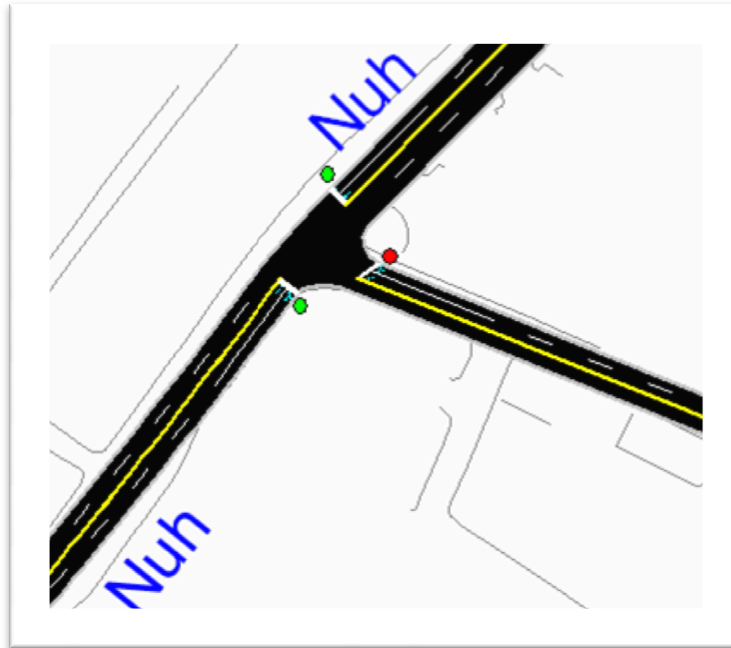
yönündeki hacim 900 araç/sa. olduğu için kavşak sürelerinde fazla sorun bulunmamaktadır.



Şekil 4.4 : SimTraffic programına göre 3436-B nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).

4.3.1.4 3344 Nolu Kavşak :

Kavşak, trafik mühendisliğinde en optimum hizmet seviyesi olan “C” seviyesinde çalışmaktadır. Kavşakta doğu kolundaki Mütevelli Çeşmesi sokağına sadece güney yaklaşımından giriş verilmiş olması olumlu bir tablo oluşturmaktadır.



Şekil 4.5 : SimTraffic programına göre 3344 nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).

Kavşak tamamında toplam gecikme sabah zirve saatte 69,5 araç/saat, maksimum hacim/kapasite oranı (v/c) 0,99'dur. Bu kavşaktaki analiz sonucunda, bazı küçük değişiklikler ile kavşaktaki yaya güvenliğinin artırılması söz konusu olabilecektir. Şekil 4.5'ten de görüleceği üzere kavşak kısmında kuyruklanma oluşmamaktadır.

4.3.1.5 3358-A Nolu Kavşak :

Nuh Kuyusu caddesi üzerindeki 3436 ve 3317 nolu kavşaklarda olduğu gibi "Zeynepkamil Kreşi" kavşağında da iki yakın kavşak aynı kavşak kontrol cihazı ile yönetilmektedir.

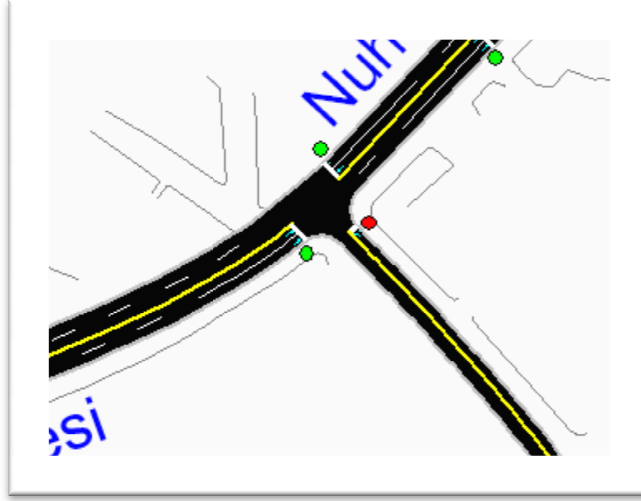


Şekil 4.6 : SimTraffic programına göre 3358-A nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).

Kavşağın hizmet seviyesi (LOS) sabah zirvede " C" dir. Kavşaktaki toplam gecikmeler (total delay) ise sabah zirvede 181,4 araç/saat'tir. Kavşağın bu ideal durumda olmasında T kavşak olmasının ve kuzey yaklaşımında sağa dönüşün serbest bırakılmasının (RTOR) etkisi vardır, bu durum Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

4.3.1.6 3358-B Nolu Kavşak :

3358 nolu iki kavşağın tek kavşak kontrol cihazı ile yönetildiği durumunda iki kavşağa tek kayma süresi (offset) verildiği için yapılacak olan sinyal koordinasyonu çalışmasında beklenen sonuç alınamayabilir. Ancak her iki kavşağın, da T geometrik şekline sahip olması bu olumsuzluğun ortaya çıkmasını engellemektedir.



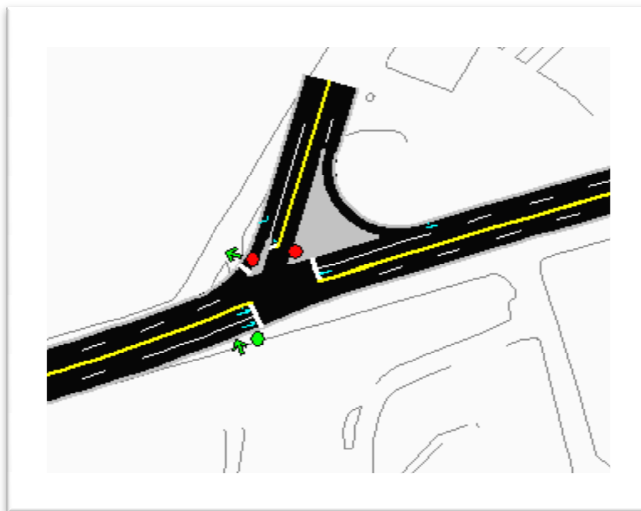
Şekil 4.7 : SimTraffic programına göre 3358-B nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).

Şekil 4.7’deki mevcut durumda kavşaktaki 2 fazlı sinyal planı uygulanmaktadır. Ancak zaman zaman ağır taşıtların kurallara aykırı biçimde ana yoldan Seyyid Ahmet sokağına dönmeleri, kısa süreli sıkışıklıklara ve kazalara neden olmaktadır.

Kavşağın tamamında sabah zirvesi için hizmet seviyesi “B”, anayollardaki kollarda A-D aralığındadır. Mevcut sabah zirve periyot süresi 95 sn.’dir. Kavşak bütününde gecikme değerleri sabah 39,2 araç/saat’tir.

4.3.1.7 3357 Nolu Kavşak :

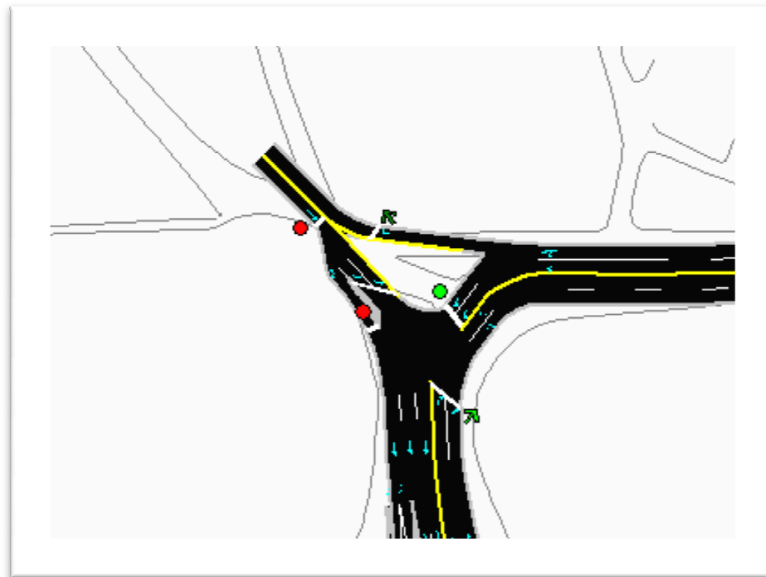
Arteri bir bütün olarak ele aldığımızda 3357 nolu kavşağın Salı Sokak ile olan bağlantısının güçlü olması nedeniyle, kuzeydoğusunda bulunan 3358 nolu kavşaklardan çok, güneybatısındaki 3317 nolu iki kavşakla daha fazla ilgilidir.



Şekil 4.8 : SimTraffic programına göre 3357nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).

Şekil 4.8’den de görülebileceği gibi sola dönüş cebinin yeterli olmaması nedeniyle, sabah ve özellikle akşam saatlerinde yaklaşık 80 metreyi aşan uzun kuyruklanmalar ortaya çıkmaktadır. Bu durum SimTraffic raporlarında da görülebilmektedir.

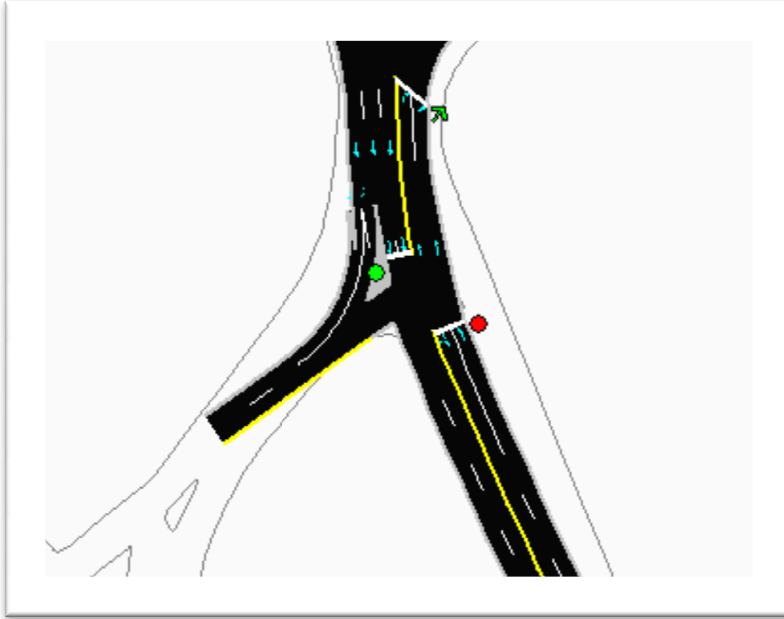
4.3.1.8 3317-A Nolu Kavşak :



3317-A kavşağında otobüs duraklarının yakın olması, Karacaahmet mezarlığı içinden ana yola katılarak kuzeydoğu istikametine giden araçların yoğunluğu nedeniyle bazı olumsuzluklar mevcuttur. Kavşağın analiz raporuna göre sabah zirvede v/c 1,86, toplam gecikme 700 araç/sa. Ve kavşak bütününde hizmet seviyesi “F”tir. Şekil 4.9’da gösterilen kavşağın özellikle batı ve kuzeybatıdaki iki yaklaşım kolunun gecikmeleri kavşağın tümünü etkilemektedir.

4.3.1.9 3317-B Nolu Kavşak :

Kavşak sabah zirvede LOS “F” seviyesindedir ve en fazla v/c oranı 1,86’dır. Kuzey istikametinde gelen araçların RTOR ile sağa dönüşleri kavşağı kısmen rahatlatır da güney istikametinden gelen araçları iki şeritlik yolda sola dönmek için beklemeleri ve tek şeridi kapamaları etkinliği büyük ölçüde azaltmıştır. Şekil 4.10’da bu durum açıkça görülmektedir.



Şekil 4.10 : SimTraffic programına göre 3317-B nolu kavşağın mevcut durumu (sabah zirve).

4.4. Senaryolar

Mevcut durumu iyileştirmek ve arterin yeniden planlanmasını sağlamak amacıyla öncelikle kritik parametreleri belirleyip daha sonra mevcut duruma alternatif senaryolar üretilecektir. Bu senaryolar simüle edilip sonuçları mevcut durumla kıyaslanacaktır. Burada iki alternatif senaryo üretilmiştir.

4.4.1. Kritik İyileştirme Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu projedeki kritik parametreler;

- Kavşak kollarındaki hacim/kapasite oranı (v/c)
- Kavşak kollarındaki toplam gecikme (total delay)
- Kavşak kollarının hizmet seviyeleri (approach LOS)
- Kavşak kollarında ortaya çıkan CO emisyonu ve NO türevlerinin miktarları
- Maksimum hacim/kapasite oranı (max v/c)

- Kavşak sinyal gecikmesi (Intersection Signal delay)
- Kavşak hizmet seviyesi (Intersection LOS)
- Trafik ağındaki toplam gecikme (total delay)
- Trafik ağında ortaya çıkan CO emisyonu ve NO türevlerinin miktarlarıdır.

Yapılan çalışmada bu kritik değerlerin optimum faydayı sağlamasına yönelik sinyal optimizasyonu ile yeni yapılacak öneriler tasarlanmıştır. Bu önerileri iki farklı senaryo olarak deneyecek ve sonuçları mevcut durumla kıyaslayarak yapılacak iyileştirmelerden elde edilen faydanın sayısal değerine ulaşacağız. öncelikle Senaryo1 denenecek ve kavşakta sadece sinyalizasyon değişikliklerin getirisi bulunacak, ardından da Senaryo 2’de geometrik değişiklikler önerilecektir. Daha sonra Senaryo 2’nin de faydası hesaplanacak ve daha fazla getiri sağlayan senaryonun uygulamaya konması önerilecektir.

SENARYO I: İlk senaryoda arterde geometrik açıdan hiçbir değişiklik yapılmamış; bununla beraber her kavşağın sinyal süreleri ve kayma değeri Synchro programı kullanılarak optimize edilmiştir. Sadece sinyal sürelerinin değiştirildiği bu senaryo için de performans değerleri belirlenmiştir.

SENARYO II: Bu senaryoda kavşakta ve arterde öngörülen geometrik değişiklikler, sola dönüş şeritleri, yer çizgileri vs gibi, bilgisayar modellerine işlenmiş, her kavşağın sinyal süreleri ve kayma değeri, Synchro programı kullanılarak 50 – 150 saniye aralığında 5’in katı olan her devir süresi için optimize edilmiştir. Hem sinyal sürelerinin, hem de arter geometrisinin değiştirildiği bu senaryonun uygulanması sonucunda her devir süresi için oluşan performans değerleri saptanmıştır.

Düzenleme çalışmalarının bir bölümü de söz konusu arterin fiziksel olarak iyileştirilmesidir. Bu konuda yapılabilecek birçok değişiklik olduğu gibi, bu değişiklikler aynı zamanda trafiğin tasarlandığı gibi gerçekleşmesini de sağlar. Bu değişiklikler bazen bir dönüş cebi yapılması olabileceği gibi kimi zaman sirkülasyonun değiştirilmesi, şerit genişliklerinin azaltılması, erişim kontrolünün sağlanması için bir refüjün kapatılması olabilir. Ancak bu sayede düzenleme ve iyileştirme çalışması verimli olacaktır. Çoğu zaman bu aşamanın gerçekleşmediği durumlarda yapılan sinyal koordinasyonu istenen sonucu vermeyecektir.

Çalışılan arterlerin tasarlandığı gibi işletilmesine yönelik bazı yardımcı düzenlemelere de ihtiyaç vardır. Sadece kavşaklarda değil arterin tümünde yatay-düşey işaretlemelerin (levhalandırma, yer çizgileri vb.) yapılması, uygun yol kesimlerinde parklanma alanlarının düzenlenmesi, önemli donatı alanlarına (sağlık tesisleri, idari binalar, parklar, emniyet tesisleri, sanayi tesisleri vb.) giriş ve çıkışlarının yeniden düzenlenmesi, ilkelere uygun olmayan peyzaj düzenlemelerinin revize edilmesi, toplu taşıma duraklarının yeniden düzenlenmesi bunlardan bazılarıdır.

4.4.2. Senaryo 1 : Kavşağın Sinyal Sürelerinin Optimize Edilmesi

Arterler üzerindeki kavşakların ilk analizleri her kavşak için ayrı (yani izole) olarak Synchro programı kullanılarak yapılmıştır. Bu analizin ana hedefleri aşağıda verilmiştir:

1. Her kavşaktaki özel problemlerin anlaşılması,
2. Geometrik iyileştirmelerle elde edilebilecek sonuçların ilk analizlerinin yapılması,
3. Optimum faz dizilerinin bulunabilmesidir.

Böyle bir analizle her kavşak ayrı ayrı çok detaylı bir şekilde incelendiği için kavşak sorunlarının anlaşılması ve çözüm yollarının geliştirilmesi mümkün olmuştur.

Kavşakların mevcut geometrik özellikleri, trafik hacim bilgileri, sinyalizasyon faz diyagramları ve süreleri Synchro programına doğru bir şekilde girildikten sonra kavşakların tek tek analiz raporları alınmış, gecikme miktarları, hacim/kapasite oranları, yakıt tüketimi, CO salınımı gibi değerler incelenerek kavşaklardaki sıkıntılar hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Daha sonra kavşaklar için uygun olabilecek faz diyagramları Synchro programında analiz edilerek en uygun faz diyagramları bulunmuştur. Uygun faz diyagramları belirlendikten sonra kavşakların izole olarak yeşil zamanları ve periyot uzunlukları program yardımıyla hesaplanmıştır. Daha sonra iyileştirme sonucunda elde edilen gecikme, hacim/kapasite, yakıt tüketimi ve CO değerleri mevcut durum ile karşılaştırılmış, sonuç olarak da, ne kadar iyileştirme yapıldığı hesaplanmıştır.

Aşağıdaki şekillerde 3317-A nolu kavşağa ait mevcut durum değerlendirme analizleri bulunmaktadır. Diğer kavşaklara ait değerlere ek olarak verilen CD'den ulaşılabilir, onlar burada irdelenmemiştir.

						
Lane Group	WBL	WBR	NBL	NBR	SEL	SER
Lane Configurations	TTT			TT	TT	
Total Lost Time (s)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Satd. Flow (prot)	4448	0	0	2564	2949	0
Flt Permitted	0.958				0.973	
Satd. Flow (perm)	4448	0	0	2564	2949	0
Satd. Flow (RTOR)	77					
Volume (vph)	1187	162	0	1537	269	222
Confl. Peds. (#/hr)						
Confl. Bikes (#/hr)						
Peak Hour Factor	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Growth Factor	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Heavy Vehicles (%)	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	0	0
Parking (#/hr)						
Mid-Block Traffic (%)	0%		0%		0%	
Adj. Flow (vph)	1290	176	0	1671	292	241
Lane Group Flow (vph)	1466	0	0	1671	533	0
Turn Type				Over	Prot	
Protected Phases	1			1	2	
Permitted Phases						
Total Split (s)	60.0	0.0	0.0	60.0	20.0	0.0
Act Effct Green (s)	56.0			56.0	16.0	
Actuated g/C Ratio	0.70			0.70	0.20	
w/c Ratio	0.47			0.93	0.90	
Control Delay	1.5			21.1	52.5	
Queue Delay	0.5			0.0	0.0	
Total Delay	2.1			21.1	52.5	
LOS	A			C	D	
Approach Delay	2.1				52.5	
Approach LOS	A				D	
Intersection Summary						
Cycle Length: 80						
Actuated Cycle Length: 80						
Offset: 0 (0%), Referenced to phase 1:WBL, Start of Green, Master Intersection						
Control Type: Pretimed						
Maximum w/c Ratio: 0.93						
Intersection Signal Delay: 18.1				Intersection LOS: B		
Intersection Capacity Utilization 63.1%				ICU Level of Service B		
Analysis Period (min) 15						

Şekil 4.13 : 3317-A nolu sabah zirve saati öneri durum (senaryo II) analizi

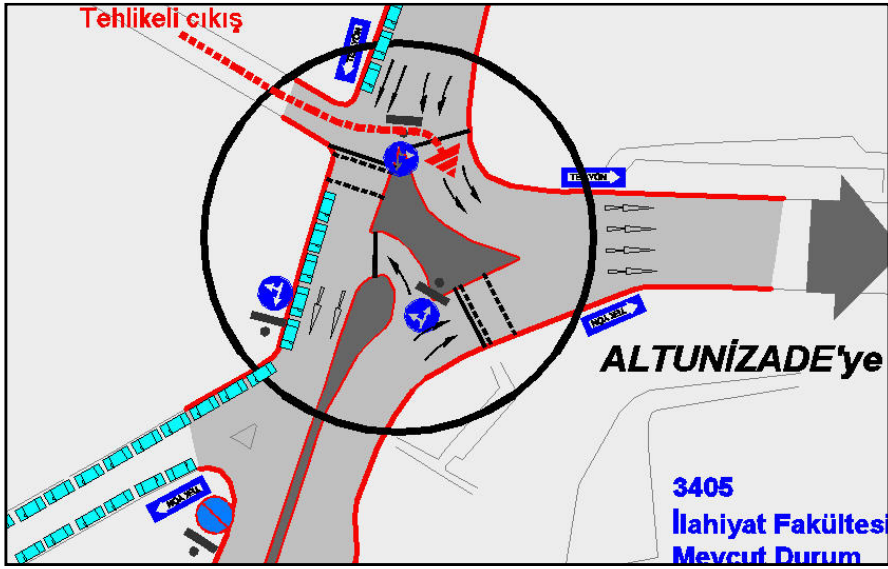
Şekil 4.13'te geometrik düzenleme önerisi getirilen kavşağın hizmet seviyesi “B” olarak iyileştirilmiştir. Burada Senaryo 2'nin rapounun verilme sebebi bir kavşakta her üç durum arasındaki farkın gösterilebilmesidir. Kavşaklarda yapılması önerilen düzenlemeler aşağıda her kavşak ayrı ayrı ele alınarak incelenecektir.

4.4.3. Senaryo 2: Arterde ve Kavşaklarda Geometrik Düzenlemeler için

Yapılan Öneriler

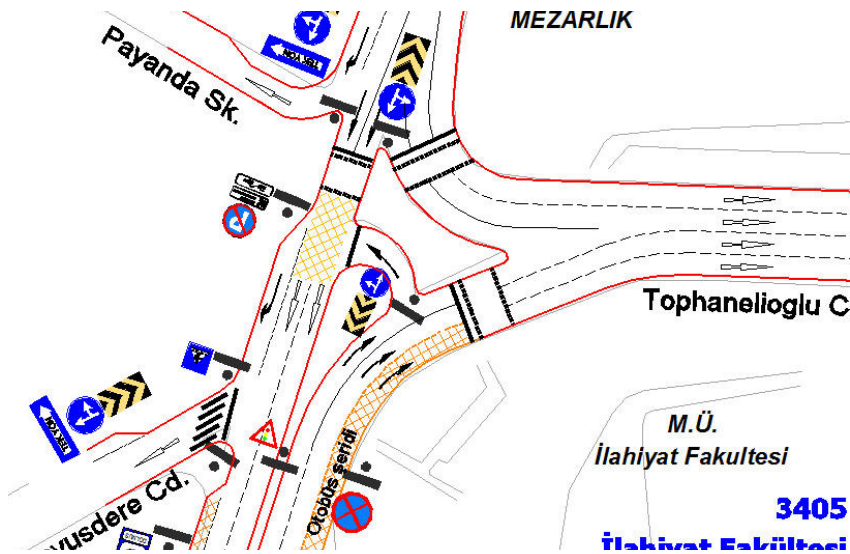
Aşağıda kavşaklarda ve arterde yapılan geometrik düzeltmeler ve yatay ve düşey işaretlerde önerilen değişiklikler detaylı olarak anlatılmıştır.

4.4.3.1 3405 Nolu Kavşak :



Şekil 4.14 : 3405 nolu kavşaktaki mevcut geometrik düzen

Nuh Kuyusu Caddesi'nin çalışma kapsamında seçilen başlangıç kavşağı İlahiyat Fakültesi kavşağıdır. Tek yön uygulamasının birçok sorunu ortadan kaldırmış olmasına karşın kavşak alanı içerisindeki parklanmalar, araçların kavşak bölgesinden ayrılmasını güçleştirmektedir. Ayrıca parklanmaların zaman zaman yaya geçidi alanı içinde de yapıldığı görülebilir. Bu nedenle zaten kuzey-güney istikametinde aktif olarak işleyen 2 şerit olduğu ve devamında da 2 şeritlik akışın devam ettiği göz önünde bulundurularak 2 şeritlik kısım Şekil 4.14'teki gibi düzenlenerek, artan alan yaya kaldırımına katılmış, dolmuş ve otobüsler için faydalı bir cep tasarlanmıştır.



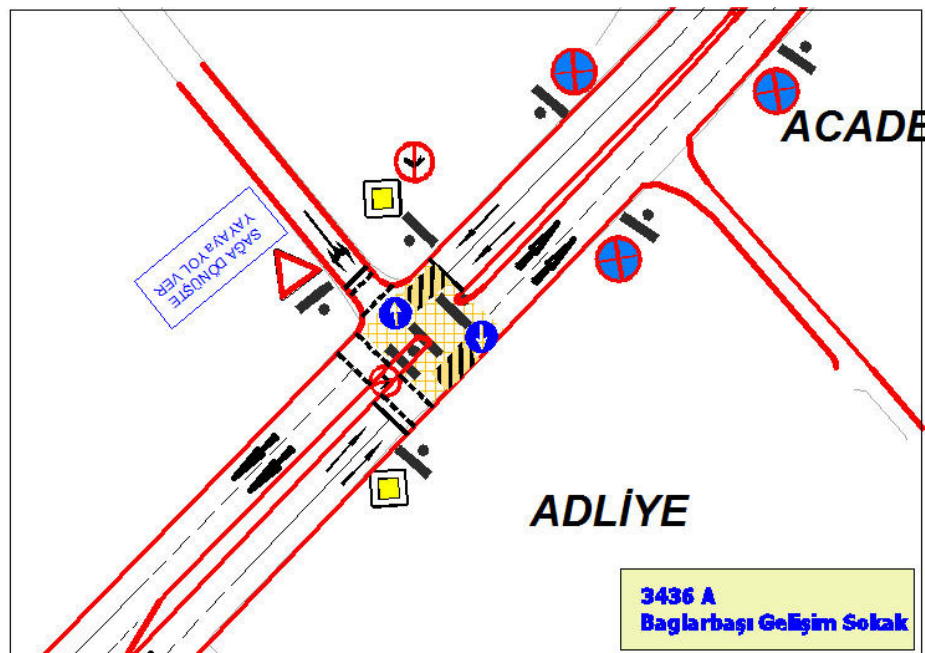
Şekil 4.15 : 3405 nolu kavşaktaki düzenleme önerisi.

Şekil 4.15'ten de görüleceği üzere Payanda Sokak'tan çıkan araçların tehlikeli biçimde kavşağa girdikleri gözlenmiştir. Hacminin de ihmal edilebilir olduğu görüldüğü için tek yönlü arterden çıkış sokağı olmasına karar verilmiş ve bu karara uygun olarak düzenlenmiştir.

Kavşak kapasitesine önemli bir katkısı olan ve durağa yanaşma ve ayrılma sırasında ortaya çıkan olumsuzlukları gidermek üzere, yolun doğu tarafındaki duraktan kavşağa dek toplu taşıma araçlarına ait bir şerit (otobüs öncelikli şerit) oluşturulmuştur.

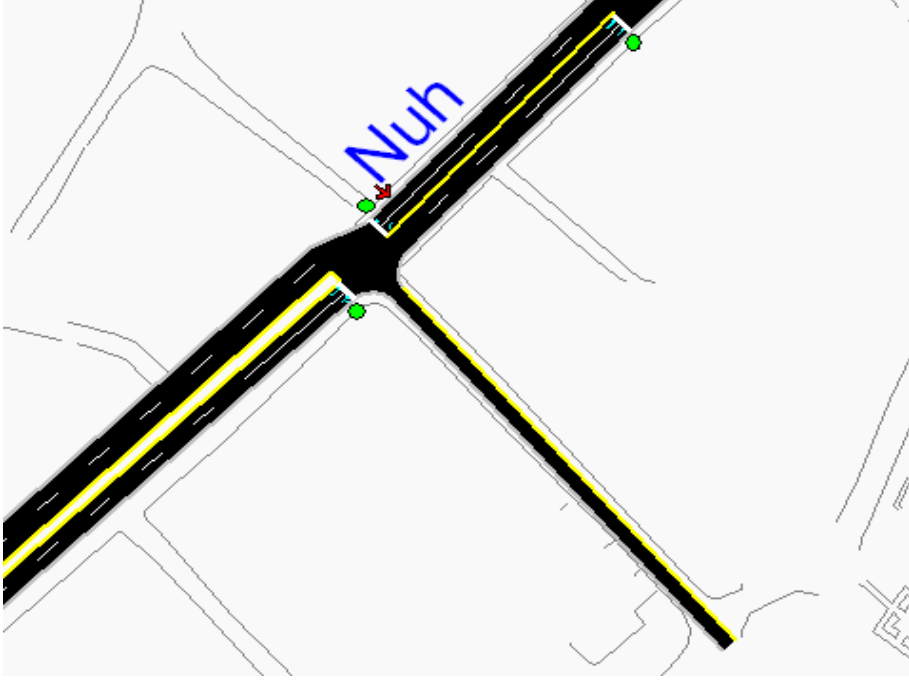
4.4.3.2 3436-A Nolu Kavşak :

Bu kavşakta geometrik düzenlemeye ihtiyaç duyulmamıştır. Ancak gecikmenin azaltmak üzere Gelişim Sokak'ta detektör ile talep alınmasına karar verilmiştir. Ayrıca, SimTraffic benzetim modelinde de görülebilen kavşak içinde bekleyen araçlardan kaynaklanan gecikmeleri önlemek üzere Şekil 4.16'da gösterildiği gibi **“sarı taralı alan” (yellow box)** uygulaması yapılmasına karar verilmiştir. Bu uygulama pek çok gelişmiş ülkede, kavşak alanını boşaltmak üzere sinyal süresi verilmesi ihtiyacını ortadan kaldırmakta, kavşak kapasitesinin suni sebeplerle düşmesini önlemektedir. Bu nedenle sadece 3436-A kavşağında değil, arter boyunca tüm kavşaklarda uygulama yapılmasına karar verilmiştir.



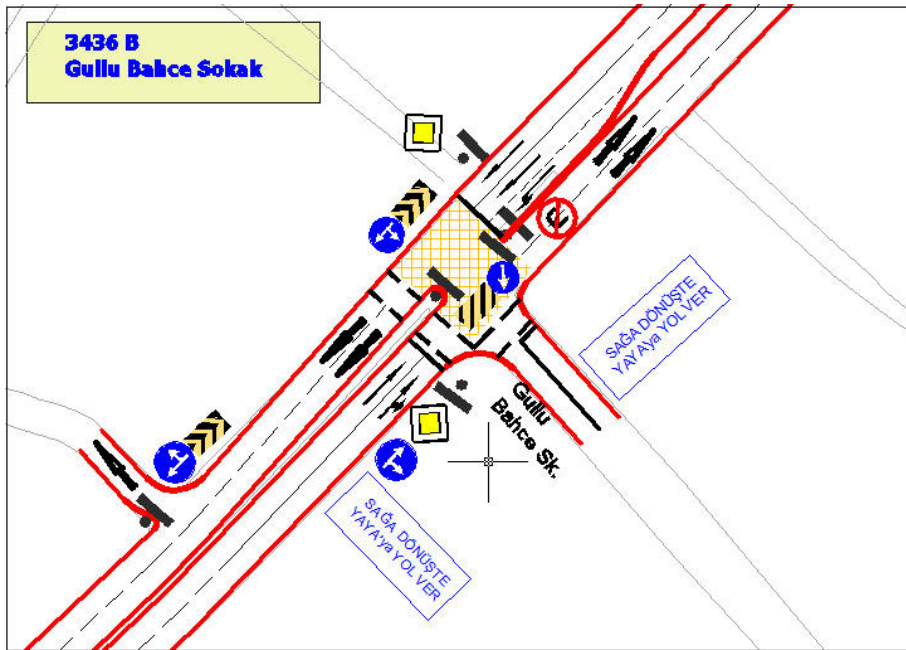
Şekil 4.16 : 3436-A'nın önerilen görüntüsü

4.4.3.3 3436-B Nolu Kavşak :

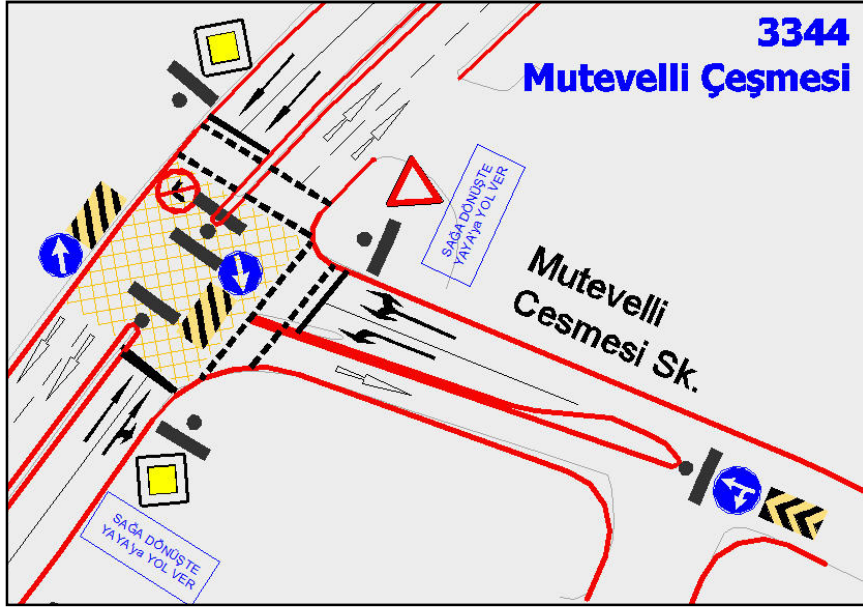


Şekil 4.17 : 3436 B' de kavşaktaki mevcut geometrik düzen

Mevcut durumu Şekil 4.17'de gösterilen kavşağa Güllü Bahçe Sokak girişini sağlamak için oluşmuş olan bu sinyalizasyon kavşağına yol genişliğinden faydalanılarak bir sola dönüş cebi ilave edilmiştir. Böylece arkadan çarpmalı kazalar önlenmiş olacaktır ve arterdeki şerit sürekliliği korunabilecektir. Önerilen durum Şekil 4.18'de yer almaktadır.



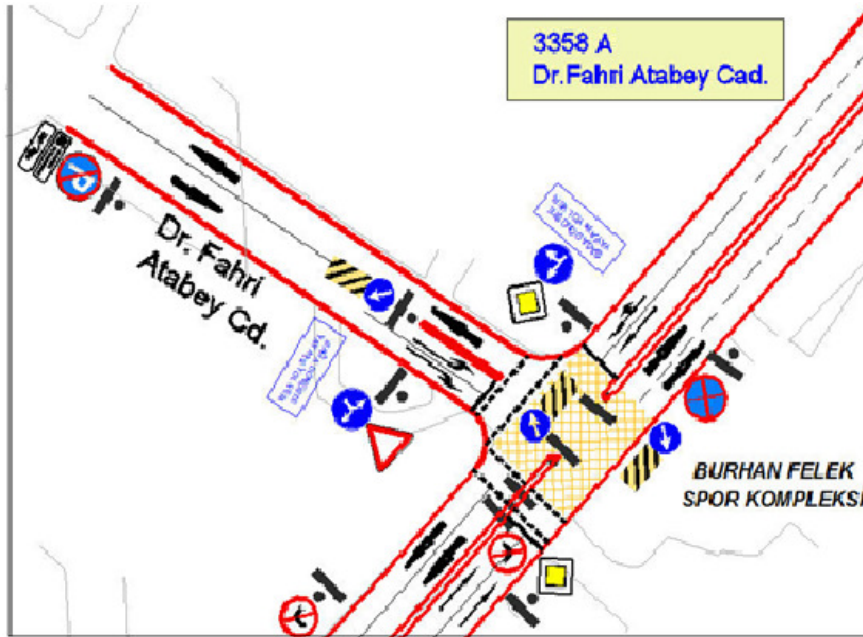
Şekil 4.18 : 3436 - B'de önerilen düzenleme



Şekil 4.20 : 3344 nolu kavşakta yapılan düzenlemeler

4.4.3.6 3358-A Nolu Kavşak :

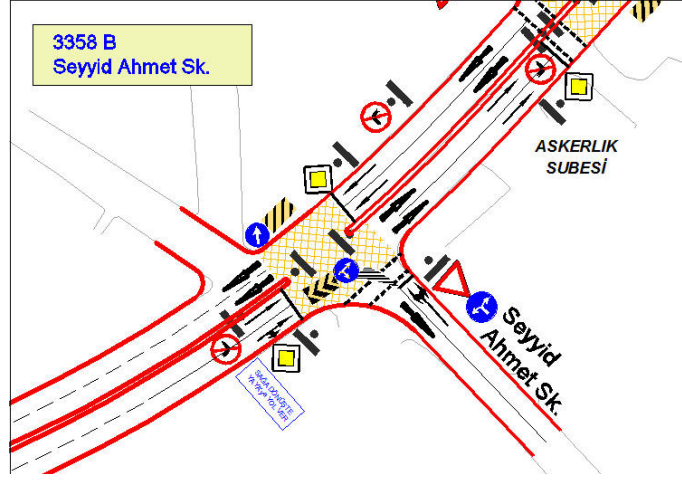
Şekil 4.21'deki kavşağın tali yol kolu olan Dr.Fahri Atabey caddesindeki şerit sayısı toplam üç şeride çıkarılarak parklanmaların önlenmesi ve oldukça dar olan yaya kaldırımının genişletilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca ana yolun her iki tarafına önerilen “durma ve park etme yasağı” ile seyahat süresi çalışmasında bu kesimde ortaya çıkan gecikmelerin önlenmesi amaçlanmıştır. Böylece durak alanındaki toplu taşıma araçları da kavşağa dek sorunsuz biçimde erişebileceklerdir.



Şekil 4.21 : 3358-A'da önerilen düzenleme

4.4.3.7 3358-B Nolu Kavşak :

Şekil 4.22’deki bu kavşakta sadece “sarı taralı alan” işaretlemesi yapılmıştır.

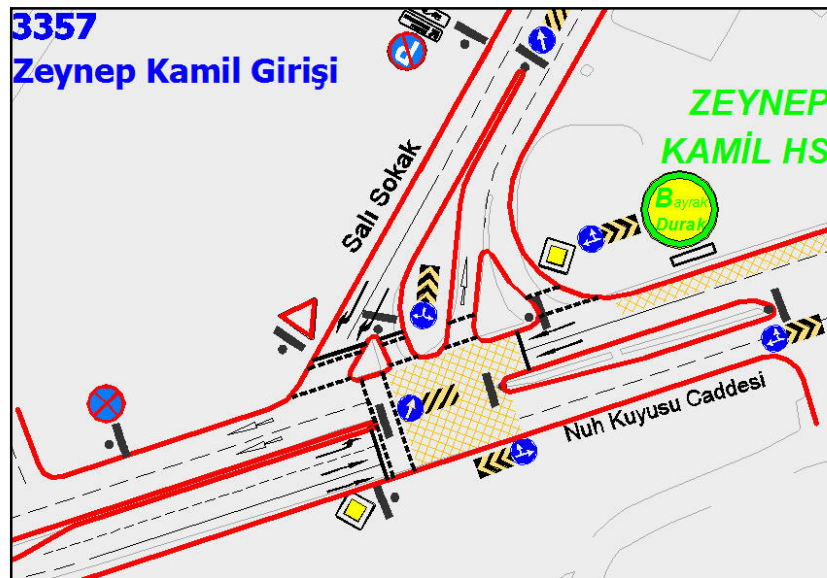


Şekil 4.22 : 3358-B’de önerilen düzenleme

4.4.3.8 3357 Nolu Kavşak :

Bu kavşaktaki temel değişiklik, güneybatı (Kadıköy) yönünden gelerek Salı sokağına dönmek isteyen araçlara hizmet verecek bir şerit oluşturulmasıdır. Böylece kavşaktaki sabah ve akşam saatinde gözlenen kuyruklanmalar ve kaza riski azaltılmıştır.

Ayrıca, yatay ve düşey işaretlemeler de yeni geometrik düzene göre yeniden projelendirilmiştir. Son durum Şekil 4.23’te verilmiştir.

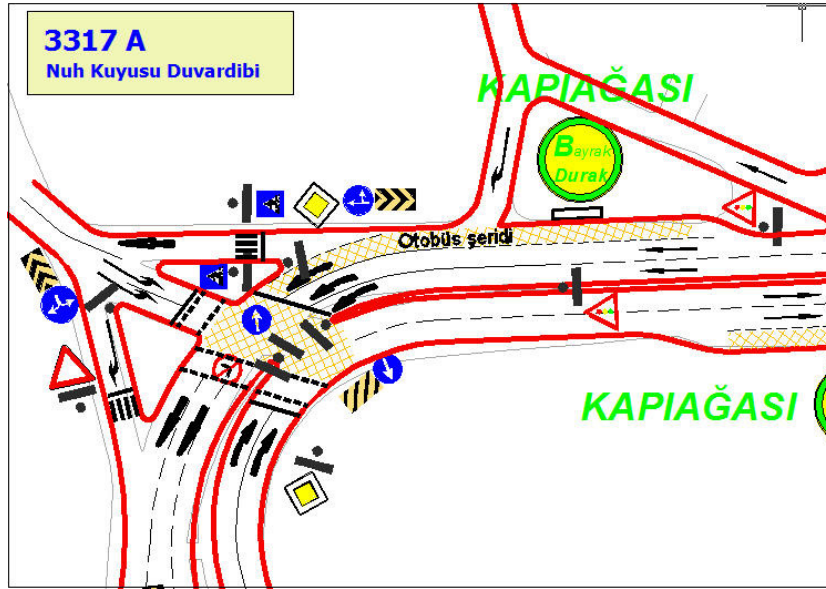


Şekil 4.23 : 3357nolu kavşakta yapılan düzenlemeler

4.4.3.9 3317-A Nolu Kavşak :

Nuh Kuyusu Duvardibi kavşağına oldukça yakın olan Kapiağası durağı, seyahat süresi ve gecikme çalışmasında da ortaya konduğu gibi, kavşaktaki gecikmeleri oldukça artırmaktadır. Bu nedenle Kadıköy istikametine doğru duraktan kavşağa dek bir otobüs şeridi ilave edilmiştir. Böylece kavşağa ait benzetim modellerinde de rastlanan kapasite sorunu da üçüncü şeridin katılmasıyla çözülmüştür. Ancak mevcut mezarlığın sınırları dâhilinde değişiklik yapmanın mümkün olmaması nedeniyle, daha geniş çaplı bir çözüm uygulanamamıştır.

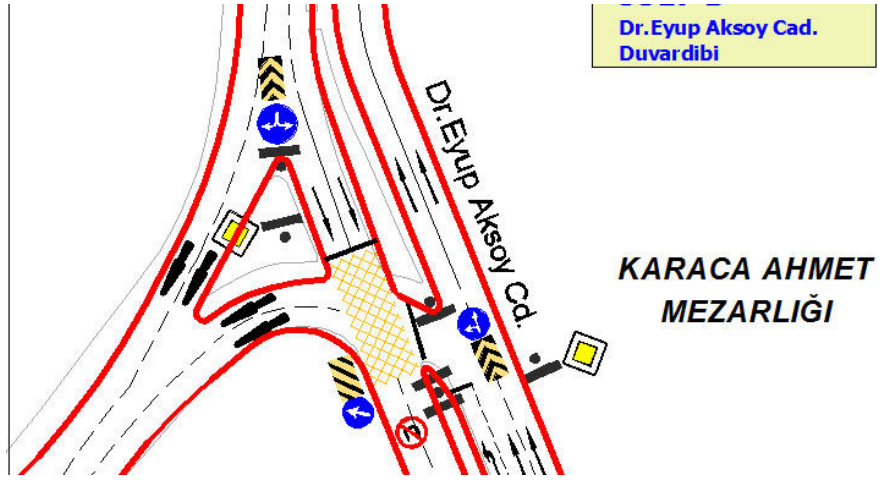
Arakiyeci Sokak- Nuh Kuyusu Caddesi bağlantıları da yeriden düzenlenmiş, otobüs cebi ve tek yön uygulamalarının yapılmasına olanak sağlanmıştır. Buna göre yatay-düşey işaretlemeler Şekil 4.24'teki gibi belirlenmiştir.



Şekil 4.24 : 3317-A'da önerilen düzenleme

4.4.3.10 3317-B Nolu Kavşak :

Özellikle sabah saatlerinde D-100 Harem bağlantısından kavşağa kadar olan yoğunluk sabah ve akşam zirvede kavşağın “F” hizmet seviyesinde olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle hem sola dönüşler hem de Kadıköy ve D-100 Harem bağlantısından Dr. Eyüp Aksoy Caddesi'ne katılan yüksek hacmin karşılanması için mevcut yol kesitinden faydalanılmış ve yaklaşık 55 cm.'lik bir genişlik orta refüjden alınmış, böylece güney-kuzey istikameti 3 şeride, caddenin kesiti de 5 şeride çıkarılmıştır.



Şekil 4.25 : 3317-B’de önerilen düzenleme

4.5.Sonuçların Sunulması

4.5.1. Analiz Sonuçları

SABAH Mevcut Network				SABAH ÖNERİ Network			
Nuh Kuyusu Caddesi				Nuh Kuyusu Caddesi			
Direction	NE	SW	All	Direction	SB	NE	All
Control Delay / Veh (s/v)	108	20	68	Control Delay / Veh (s/v)	14	11	12
Queue Delay / Veh (s/v)	78	17	51	Queue Delay / Veh (s/v)	4	0	2
Total Delay / Veh (s/v)	187	37	119	Total Delay / Veh (s/v)	18	11	14
Total Delay (hr)	1030	167	1197	Total Delay (hr)	91	64	155
Stops / Veh	0.43	0.31	0.37	Stops / Veh	1.14	0.29	0.69
Stops (#)	8489	5073	13562	Stops (#)	21224	6074	27298
Average Speed (km/hr)	3	12	5	Average Speed (km/hr)	18	26	22
Total Travel Time (hr)	1101	218	1319	Total Travel Time (hr)	145	132	276
Distance Traveled (km)	3524	2594	6118	Distance Traveled (km)	2678	3400	6078
Fuel Consumed (l)	3379	821	4200	Fuel Consumed (l)	982	635	1617
Fuel Economy (km/l)	1.0	3.2	1.5	Fuel Economy (km/l)	2.7	5.4	3.8
CO Emissions (kg)	62.84	15.28	78.12	CO Emissions (kg)	18.27	11.81	30.08
NOx Emissions (kg)	12.13	2.95	15.08	NOx Emissions (kg)	3.53	2.28	5.81
VOC Emissions (kg)	14.49	3.52	18.02	VOC Emissions (kg)	4.21	2.72	6.94
Unserved Vehicles (#)	2008	322	2329	Unserved Vehicles (#)	46	90	136
Vehicles in dilemma zone (#)	0	0	0	Vehicles in dilemma zone (#)	0	0	0
Performance Index	1053.7	180.6	1234.3	Performance Index	150.2	80.4	230.6
Network Totals				Network Totals			
Number of Intersections	14			Number of Intersections	16		
Control Delay / Veh (s/v)	81			Control Delay / Veh (s/v)	13		
Queue Delay / Veh (s/v)	50			Queue Delay / Veh (s/v)	2		
Total Delay / Veh (s/v)	131			Total Delay / Veh (s/v)	14		
Total Delay (hr)	1468			Total Delay (hr)	177		
Stops / Veh	0.41			Stops / Veh	0.65		
Stops (#)	16405			Stops (#)	28975		
Average Speed (km/hr)	4			Average Speed (km/hr)	21		
Total Travel Time (hr)	1597			Total Travel Time (hr)	307		
Distance Traveled (km)	6483			Distance Traveled (km)	6507		
Fuel Consumed (l)	5049			Fuel Consumed (l)	1757		
Fuel Economy (km/l)	1.3			Fuel Economy (km/l)	3.7		
CO Emissions (kg)	93.91			CO Emissions (kg)	32.68		
NOx Emissions (kg)	18.13			NOx Emissions (kg)	6.31		
VOC Emissions (kg)	21.66			VOC Emissions (kg)	7.54		
Unserved Vehicles (#)	2424			Unserved Vehicles (#)	136		
Vehicles in dilemma zone (#)	0			Vehicles in dilemma zone (#)	0		
Performance Index	1513.2			Performance Index	257.4		

Şekil 4.26 : Mevcut durumdaki ve Senaryo2’ye göre Sabah Zirvede Arter Analiz Sonuçları

Şekil 4.26’da yukarıdaki değerler arterde kuzey-güney istikametindeki değerlerdir ve tali yollar bu hesaba katılmamıştır. Aşağıdaki değerler ise bütün ağın değerleridir. Dolayısıyla değerlendirme yapılırken ağ değerleri baz alınacaktır. Buna göre mevcut durumda 1468 araç/saat olan toplam gecikme değerleri, Senaryo 2’nin faaliyete

geçmesi halinde 177 araç/saate kadar inmektedir. CO salınımı 93,91 kg'dan 32,68 kg'a; yakıt tüketimi ise günlük 5049 lt'den 1757 lt'ye gerilemektedir.

ÖĞLEN MEVCUT Network				ÖĞLEN ÖNERİ Network			
Nuh Kuyusu Caddesi				Nuh Kuyusu Caddesi			
Direction	NE	SW	All	Direction	SB	NE	All
Control Delay / Veh (s/v)	40	8	24	Control Delay / Veh (s/v)	8	6	7
Queue Delay / Veh (s/v)	15	0	8	Queue Delay / Veh (s/v)	0	0	0
Total Delay / Veh (s/v)	55	8	32	Total Delay / Veh (s/v)	9	6	7
Total Delay (hr)	234	32	266	Total Delay (hr)	40	25	64
Stops / Veh	0.27	0.37	0.32	Stops / Veh	1.06	0.24	0.66
Stops (#)	4118	5392	9510	Stops (#)	17678	3891	21569
Average Speed (km/hr)	9	30	14	Average Speed (km/hr)	28	33	30
Total Travel Time (hr)	289	79	368	Total Travel Time (hr)	89	75	164
Distance Traveled (km)	2721	2355	5076	Distance Traveled (km)	2460	2514	4974
Fuel Consumed (l)	999	433	1432	Fuel Consumed (l)	739	395	1134
Fuel Economy (km/l)	2.7	5.4	3.5	Fuel Economy (km/l)	3.3	6.4	4.4
CO Emissions (kg)	18.59	8.06	26.64	CO Emissions (kg)	13.74	7.34	21.09
NOx Emissions (kg)	3.59	1.55	5.14	NOx Emissions (kg)	2.65	1.42	4.07
VOC Emissions (kg)	4.29	1.86	6.14	VOC Emissions (kg)	3.17	1.69	4.86
Unserved Vehicles (#)	113	0	113	Unserved Vehicles (#)	0	0	0
Vehicles in dilemma zone (#)	0	0	0	Vehicles in dilemma zone (#)	0	0	0
Performance Index	245.5	47.0	292.5	Performance Index	88.6	35.7	124.3
Network Totals				Network Totals			
Number of Intersections	14			Number of Intersections	16		
Control Delay / Veh (s/v)	40			Control Delay / Veh (s/v)	7		
Queue Delay / Veh (s/v)	7			Queue Delay / Veh (s/v)	0		
Total Delay / Veh (s/v)	47			Total Delay / Veh (s/v)	7		
Total Delay (hr)	434			Total Delay (hr)	74		
Stops / Veh	0.34			Stops / Veh	0.64		
Stops (#)	11452			Stops (#)	22798		
Average Speed (km/hr)	10			Average Speed (km/hr)	29		
Total Travel Time (hr)	542			Total Travel Time (hr)	179		
Distance Traveled (km)	5379			Distance Traveled (km)	5241		
Fuel Consumed (l)	1971			Fuel Consumed (l)	1214		
Fuel Economy (km/l)	2.7			Fuel Economy (km/l)	4.3		
CO Emissions (kg)	36.66			CO Emissions (kg)	22.57		
NOx Emissions (kg)	7.08			NOx Emissions (kg)	4.36		
VOC Emissions (kg)	8.46			VOC Emissions (kg)	5.21		
Unserved Vehicles (#)	113			Unserved Vehicles (#)	0		
Vehicles in dilemma zone (#)	0			Vehicles in dilemma zone (#)	0		
Performance Index	456.3			Performance Index	137.4		

Şekil 4.27 : Mevcut durumdaki ve Senaryo2'ye göre Öğlen Zirvede Arter Analiz Sonuçları

Şekil 4.27'deki verilerde de zirve dışı saatlerde 434 araç/saat olan toplam gecikme önerilerle 74 araç/saat'e; CO salınımı günlük 36,66 kg'dan 22,57 kg'a ve yakıt tüketimi 1971 lt'den 1214 ly'ye gerilemektedir.

Mevcut geometri ve yeni sinyal fazları ile yapılan optimizasyon çalışması (Senaryo I) neticesinde, Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi mevcut duruma göre önemli, derecede iyileştirme elde edilmiştir. Sabah zirve saatte mevcut durumda gecikme miktarı 1468 saat, zirve dışında 434 saat, akşam zirvede ise 825 saat iken senaryo I sonucunda bu değer arter genelinde sabah için 579 saat, zirve dışında 345 saat, akşam zirve için ise 449 saate gerilemiştir. Arter genelinde iyileştirme sonucu oluşan senelik fayda 32.567.933 TL'dir.

Geometrik düzenlemeler kısmında da anlatıldığı gibi, arter üzerinde ve kavşaklarda yapılan birtakım geometrik düzenlemeler neticesinde (Senaryo II) Çizelge 4.2'de görüldüğü üzere Nuh Kuyusuarterinde daha fazla iyileştirme sağlamak mümkün olmuştur. Gecikme değeri, sabah zirve saatinde 1468 saatten 177 saate, zirve dışı saatte 434 saatten 70 saate, akşam zirve saatinde 825 saatten 120 saate düşmüştür.

AKSAM MEVCUT Network				AKSAM ÖNERİ NETWORK			
Nuh Kuyusu Caddesi				Nuh Kuyusu Caddesi			
Direction	NE	SW	All	Direction	SB	NE	All
Control Delay / Veh (s/v)	40	22	31	Control Delay / Veh (s/v)	15	6	11
Queue Delay / Veh (s/v)	37	27	32	Queue Delay / Veh (s/v)	0	0	0
Total Delay / Veh (s/v)	77	48	63	Total Delay / Veh (s/v)	16	6	11
Total Delay (hr)	344	218	562	Total Delay (hr)	81	28	109
Stops / Veh	0.32	0.34	0.33	Stops / Veh	2.20	0.27	1.28
Stops (#)	5141	5594	10735	Stops (#)	41106	4584	45690
Average Speed (km/hr)	7	10	8	Average Speed (km/hr)	20	33	25
Total Travel Time (hr)	403	270	672	Total Travel Time (hr)	135	82	218
Distance Traveled (km)	2909	2589	5497	Distance Traveled (km)	2710	2728	5438
Fuel Consumed (l)	1346	975	2321	Fuel Consumed (l)	1401	439	1841
Fuel Economy (km/l)	2.2	2.7	2.4	Fuel Economy (km/l)	1.9	6.2	3.0
CO Emissions (kg)	25.03	18.14	43.16	CO Emissions (kg)	26.07	8.17	34.24
NOx Emissions (kg)	4.83	3.50	8.33	NOx Emissions (kg)	5.03	1.58	6.61
VOC Emissions (kg)	5.77	4.18	9.96	VOC Emissions (kg)	6.01	1.88	7.90
Unserved Vehicles (#)	380	294	674	Unserved Vehicles (#)	0	0	0
Vehicles in dilemma zone (#)	0	0	0	Vehicles in dilemma zone (#)	0	0	0
Performance Index	358.6	233.6	592.2	Performance Index	195.0	40.7	235.7
Network Totals				Network Totals			
Number of Intersections	14			Number of Intersections	16		
Control Delay / Veh (s/v)	53			Control Delay / Veh (s/v)	11		
Queue Delay / Veh (s/v)	28			Queue Delay / Veh (s/v)	0		
Total Delay / Veh (s/v)	82			Total Delay / Veh (s/v)	11		
Total Delay (hr)	825			Total Delay (hr)	123		
Stops / Veh	0.36			Stops / Veh	1.22		
Stops (#)	12919			Stops (#)	47092		
Average Speed (km/hr)	6			Average Speed (km/hr)	24		
Total Travel Time (hr)	942			Total Travel Time (hr)	237		
Distance Traveled (km)	5832			Distance Traveled (km)	5712		
Fuel Consumed (l)	3129			Fuel Consumed (l)	1936		
Fuel Economy (km/l)	1.9			Fuel Economy (km/l)	3.0		
CO Emissions (kg)	58.20			CO Emissions (kg)	36.01		
NOx Emissions (kg)	11.23			NOx Emissions (kg)	6.95		
VOC Emissions (kg)	13.42			VOC Emissions (kg)	8.31		
Unserved Vehicles (#)	700			Unserved Vehicles (#)	0		
Vehicles in dilemma zone (#)	0			Vehicles in dilemma zone (#)	0		
Performance Index	860.9			Performance Index	253.4		

Şekil 4.28 : Mevcut durumdaki ve Senaryo2’ye göre Akşam Zirvede Arter Analiz Sonuçları

Yakıt tüketim değeri ise sabah zirve saatinde 5049 litreden 1755 litreye, zirve dışı saatte 1971 litreden 1202 litreye, akşam zirve saatinde de 3129 litreden 1926 litreye düşmüştür. Arter genelinde günlük toplam gecikme değerlerinde 7.632 saat, yakıt tüketiminde 21.175 litre, CO emisyon hacminde ise 394 kg iyileştirme sağlanmıştır. Sonuç olarak arter genelinde 63.668.937 TL senelik fayda sağlamak mümkün olmuştur.

Bu değerler hesaplanırken Türkiye’de bir kişinin yıllık geliri olan 8500\$’ın saatlik değeri 4,1\$ olarak bulunmuştur. Her araçta bulunan insan sayısı verilerden elde edilen bir araçta bulunan ortalama insan sayısı baz alınarak 3,59 hesaplanmıştır. Bu değere, arterden geçen otomobil, kamyonet, taksi, minibüs, ağır taşıtlar, iett ve özel halk otobüslerinin sayısı ve her birinde bulunan insan sayısının ortalaması alınarak ulaşılmıştır.

Günlük toplam değerler hesaplanırken sabah ve akşam zirve saatleri üç ile, zirve dışı saatteki veriler ise on ile çarpılmıştır. Gece kuyruklanma olmadığı varsayımı üzerine zirve dışı saatler on ile çarpılmıştır. Yıllık işgünü sayısı 260 düşünülerek senelik fayda, günlük faydanın bu değer ile çarpılmasıyla bulunur.

Çizelge 4.1 : Nuh Kuyusu Caddesi arteri önce-sonra iyileştirme hesapları (SenaryoI)

Zaman	Gecikmeler		Yakıt		CO Emisyonu		Azaltmalar		
	Mevcut	Optimum*	Mevcut	Optimum*	Mevcut	Optimum*	Gecikme(Saat)	Yakıt (lt)	CO(kg)
Sabah Zirve	1468	579	5049	2514	93,91	46,76	889	2535	47,15
Zirve Dışı	434	345	1971	1687	36,66	31,39	89	284	5,27
Akşam Zirve	825	449	3129	2060	58,2	38,31	376	1069	19,89
Günlük Toplam							3.420	13.652	254
Senelik Fayda (\$)							13.060.570	8.944.790	
Toplam Fayda (\$)							22.005.360		
Senelik Fayda (TL)							19.329.643	13.238.290	
Toplam Fayda (TL)							32.567.933		
Senelik CO Azalma Miktarı (kg)									65.993

Kabuller:

Kişi Başına Milli Gelir : 8500\$
Yakıt : 2,52\$
1 \$: 1,48 TL
Araç başı ort kişi say : 3,6
*Optimum: Yeni fazlarla
1 yıl : 260 işgünü

Çizelge 4.2 : Nuh Kuyusu Caddesi arteri önce-sonra iyileştirme hesapları (SenaryoII)

Zaman	Gecikmeler		Yakıt		CO Emisyonu		Azaltmalar		
	Mevcut	Optimum*	Mevcut	Optimum*	Mevcut	Optimum*	Gecikme(Saat)	Yakıt (lt)	CO(kg)
Sabah Zirve	1468	177	5049	1757	93,91	32,68	1291	3292	61,23
Zirve Dışı	434	70	1971	1202	36,66	22,36	364	769	14,3
Akşam Zirve	825	120	3129	1926	58,2	35,83	705	1203	22,37
Günlük Toplam									
Senelik Fayda (\$)									
Toplam Fayda (\$)									
Senelik Fayda (TL)									
Toplam Fayda (TL)									
Senelik CO Azalma Miktarı (kg)									

4.5.2. Yapılan İyileştirmelerin Simülasyon ile İrdelenmesi

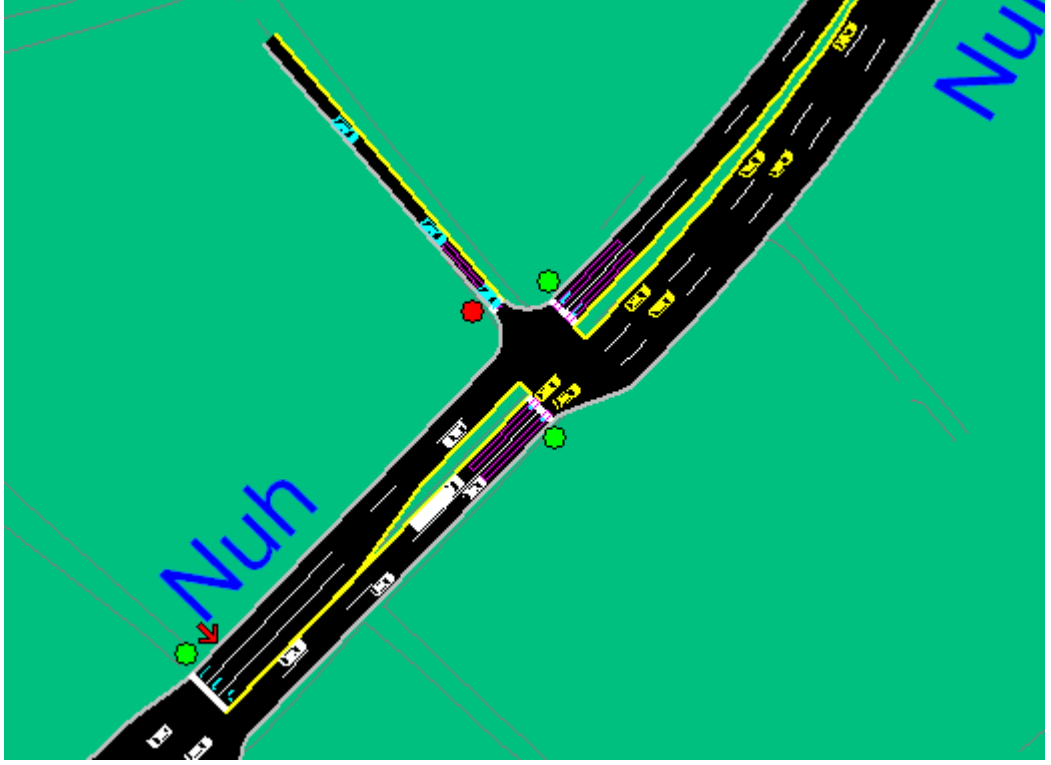
Nuh Kuyusu Caddesi üzerinde yapılan sinyal koordinasyonu ve optimizasyon çalışmasında mevcut durum ve yapılan düzenlemelerin sonuçları açık bir biçimde görülmekte ve sayılabilir veriler ortaya konmaktadır.

En çok dikkate değer olan veriler, raporun başlangıcındaki teorik kısımlarda anlatıldığı gibi, gecikme değerleri, hizmet seviyeleri, CO emisyonu ve yakıt miktarlarıdır. Yapılan koordinasyon ve optimizasyon çalışmasında Nuh Kuyusu arteri ile birlikte tali yollar Synchrono sinyal koordinasyonu yazılımı ve SimTraffic simülasyon programı ile yapılan iyileştirmeler ve çıktıları eklerde yer almaktadır.

Örnek olarak, Salı Sokak kesişimindeki Zeynep Kamil Girişi kavşağında batı yaklaşım kolu mevcut durumda toplam 2X2 dört şeritlidir ve sola dönüş cebinin yer almamasından dolayı kavşak bütününde gecikme 179 sn/taşıt., bu kolda ise 295 sn/taşıt.'dır. Oluşan kuyruklanmalar Şekli 4.29'da görülebilir.

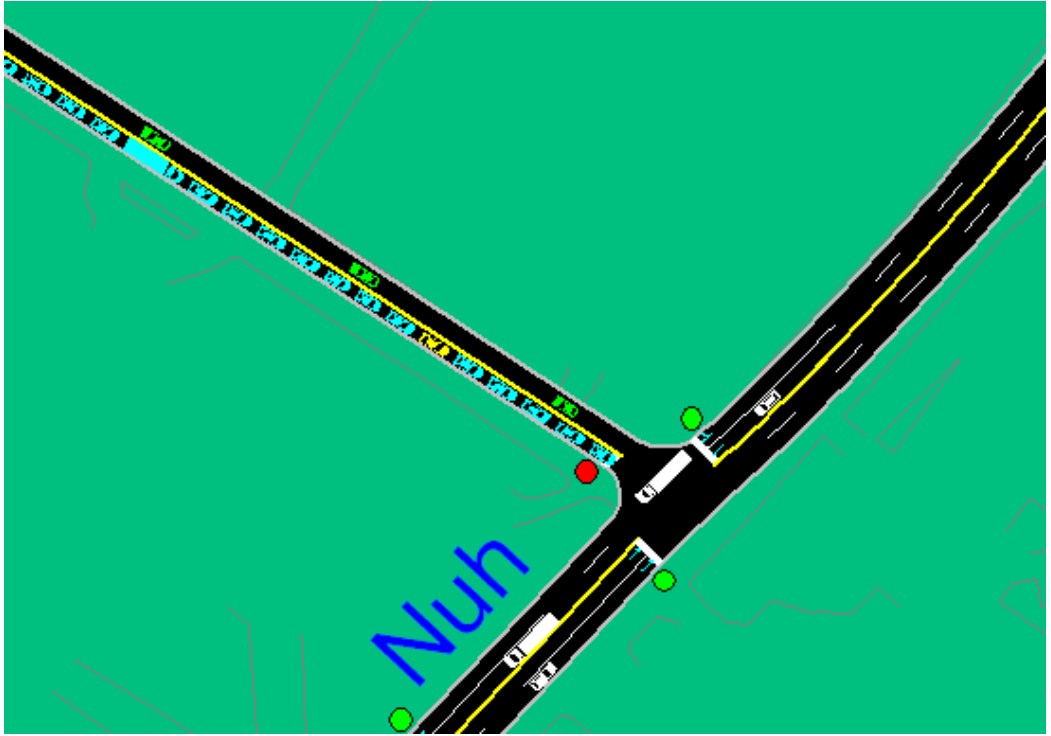


Şekil 4.29 : SimTraffic programında 3436 A nolu kavşağın durumu (sabah zirve).



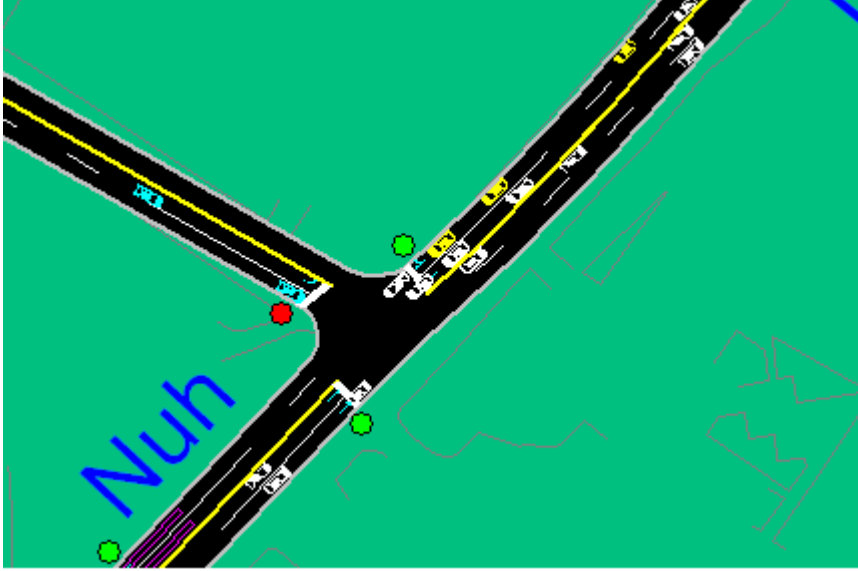
Şekil 4.30 : SimTraffic programında senaryo 2'ye göre 3436A nolu kavşağın durumu (sabah zirve).

Önerilerimizin ardından kavşakta meydana gelen durum Şekil 4.30'dan kolaylıkla gözlemlenebilmektedir.

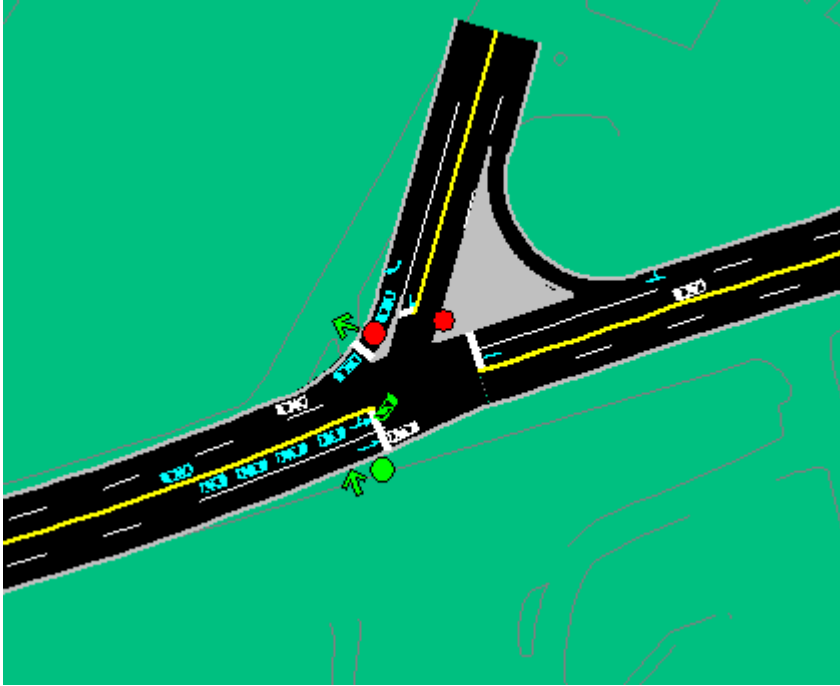


Şekil 4.31 : SimTraffic programında 3358 A nolu kavşağın durumu (sabah zirve).

Şekil 4.31’de ise 3358-A kavşağındaki mevcut durum yansıtılmıştır. Kuzey-güneye istikametinde herhangi bir sorun gözükme de tali yoldan ana yola katılan araçlar uzun kuyruklar oluşturmaktadır. Önerilerin ardından meydana gelen iyileştirme Şekil 4.32’de açık bir şekilde gözlemlenebilir.



Şekil 4.32 : SimTraffic programında senaryo 2’ye göre 3358A nolu kavşağın durumu (sabah zirve). Son olarak da 3357 nolu kavşaktaki mevcut durum ve simülasyon önerisi yer almaktadır. Şekil 4.33’te ana yoldan tali yola dönüşte kuyuk meydana gelmektedir. Ve gecikmelere sebep olmaktadır. Ancak çözüm önerileri ile iki şeritli yol üç şeride çıkarılmış ve sola dönüş için cep ayrılmıştır.



Şekil 4.33 : SimTraffic programında 3357 nolu kavşağın durumu (sabah zirve).



Şekil 4.34 : SimTraffic programında senaryo 2'ye göre 3357 nolu kavşağın durumu (sabah zirve).

Şekil 4.34'teki gibi sadece bir şeritli sola dönüşün ilave edilmesi ile birlikte hem kavşakta iyileşme sağlanmış, hem de şebekedeki iyileşmeye katkıda bulunmuştur. Kavşaktaki gecikme 23 sn/taşıt. olmuş ve hizmet seviyesi sabah zirvede F'den C'ye yükselmiştir.

5. SONUÇLAR

Dünyanın en eski ve en büyük metropollerinden biri olan İstanbul'da trafik sıkışıklığı en önemli sorunlardan biridir. İstanbul Boğazı'nın iki yakasında on beş milyona yakın nüfus barındıran İstanbul'da ulaşımın %90'ının kara yoluyla gerçekleştiği düşünüldüğünde ne kadar devasa bir problemin çözüm stratejilerinden geçirilmesi gerektiği tablosu daha net ortaya çıkacaktır.

Büyük hacimli toplu taşıma sistemleri İstanbul'da daha yeni yeni gündeme alınmaktadır. Son zamanlarda yapılan metro ve metrobüs hatları her ne kadar trafiğe olumlu bir hava katsa da bu tarz toplu taşıma sistemlerinin artırılması gerekliliği apaçık bir gerçektir. Buna şimdilerde Marmaray ve üçüncü köprü gibi seçenekler ilave edilmiş olsa da günde altı yüz, senede de iki yüz bin yeni aracın trafiğe katıldığı İstanbul'da mevcut sistemlerin ve arterlerin de gerek optimize edilerek gerekse de geometrik şekil düzenlemeleri yapılarak geliştirilmesi gerekliliği bu tezin ana sonuçlarından biridir.

Sadece dokuz adet sinyalize kavşaktan oluşan Nuhkuyusu arterinde yaptığımız simülasyon çalışması neticesinde yıllık 63.668.937 TL'lik fayda elde edileceği düşünüldüğünde İstanbul genelinde ne kadar fazla düzenleme yapılması gerektiği, en azından eldeki bütçeye göre kavşakların sinyal sürelerinin optimize edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Çünkü sadece sinyal süreleriyle bile oynayarak ve onları optimize ederek elde edilen fayda yıllık 32.567.933 TL'dir. Ayrıca buna CO ve diğer gazların emisyonundan elde edilen faydayı da eklediğimizde daha yaşanır bir şehir ve daha etkin bir arter ile insanlarda stresin de azaldığı daha güzel bir trafiğe kavuşulacağı bir gerçektir.

Yapılan çalışmadan elde ettiğimiz sonuca göre sinyalize kavşakların yalnızca sinyal periyotlarını değiştirmek ileri vadede getirisi az olan bir yöntemdir. Buna ek olarak mutlaka geometrik düzenlemelere de gitmek gerekmektedir ve bu çalışmada da her kavşak izole olarak ele alınarak her biri için çözüm önerileri getirilmeye çalışılmıştır. Bunun sonucunda da elde edilebilecek fayda sayısal olarak da ifade edilmiştir. Ancak

bu çalışmanın sayısal değerlere dönüştüremediği CO ve diğer gazların salınımının azalması, trafikte beklemede kaynaklanan stresin azalması, şehrin saygınlığını koruması ve aidiyet duygusunu pekiştirmesi gibi olumlu daha birçok yön vardır ve bunlar da hiç kuşku yoktur ki çalışmanın sosyal boyutunu ortaya koymaktadır.

Çalışmanın diğer arterler ve kavşaklarda yapılacak geometrik düzenleme çalışmalara emsal teşkil edebilmesi açısından kavşaklarda yapılabilecek geometrik değişiklikler için bazı öneriler şunlar olacaktır :

- RTOR, yani sağa dönerken kırmızı ışık için beklemeden dönülebilecek sistemlerin tasarlanması
- Ana yoldan tali yola sola dönüşlerde ceplerin oluşturulması
- Trafik yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde yeşilde geçen araçların öndeki kuyruğa yakalanmaması için sarı taralı alanların oluşturulması
- Gerekirse şerit genişliklerinin azaltılması ve şerit sayılarının artırılması
- Toplu taşıma araçları için ayrı şerit tasarlanması

Bunlar mevcut sistem üzerinde ciddi yatırım maliyeti gerektirmeyen ancak ciddi fayda getiren kalemler olarak göze çarpmaktadır. Bunlara ek olarak yeni bir sinyalizasyon kavşak oluşturarak sistem performansı artırılmıştır.

KAYNAKLAR

AASHTO (American Association for State Highway and Transportation Officials), 2004. "Optimizing the System : Saving Lives Saving Time," Publ. No OT-1.

Akbaş, A., 2001. Taşıtların Serbest Ulaşım Hızını Azaltıcı Faktörlerin Kentiçi Ulaşım Performansı Üzerine Etkileri.

Altaylı, B., 1994. Simülasyon Kullanımıyla Sistem İyileştirme, Hava Basımevi, Ankara.

Atçı, B., Gürsoy, G., Nazar, R., Şen D. Ve Kuş, P., 1997. Denetimsiz Eşdüzey Kavşaklarda Kazalar, Üçüncü Uluslararası Travmatoloji ve Trafik Kazaları Kongresi, Ankara.

Çelik, F., 1987. Denetimsiz Eşdüzey Kavşak Sisteminin Simülasyonu ve Taşıt Gecikmelerinin Formüle Edilmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ergün, G., 2006. Arterlerde Sinyal Koordinasyonu ve Optimizasyonu : Yöntem ve Uygulama El Kitabı, İstanbul.

Erkut, H., 1991. Yönetimde Simülasyon Yaklaşımları, İrfan Yayımcılık, İstanbul.

Genç, T., 2000. Bekleme Hattı ve Simülasyon Modelleri ile Türk Silahlı Kuvvetlerinde Örnek Bir Uygulama, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Halaç, O., 1993. İşletmelerde Simülasyon Teknikleri, Alfa Basım, İstanbul.

Hillier, F.S. and Lieberman, G.J., 1995. Introduction to Operation Research, McGraw-Hill, New York.

Horoz, G., 1995. PC Model ile Bir İmalat Benzetimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hunt, P.B. ve diğerleri, 1981. "SCOOT-Trafiğe Dayalı bir Sinyal Koordinasyon Metodu" TRRL Rapor No. 1014, Yol Araştırma Lab., Crowthorne, Berks, İngiltere.

Inose, H., Okamoto, H., ve Yumoto, N., 1974. Tokyo'da Çok Bilgisayarlı Bir Şehir Trafik Kontrol ve Denetim Sistemi, Traffic Control and Transportation, American Elsevier Basım Evi, New York.

Law, Averill M. and Kelton, David M., 1991. Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill, New York.

Naylor, T.H., Balintfiy, I.L., Burdick, D.S., and Chu,K., 1966. Computer Simulation Techniques, John Wiley and Sons,Inc., New York.

Öztürk, A., 1997. Yöneylem Araştırması, Ekin Kitapevi Yayınları, Bursa.

Parsonson, P.S., 1992. Sinyal Zamanlamasında Gelişmeler, Ulaşım Araştırma İdaresi, NCHRP Sentez Rapor No. 172.

Pektaş, İ., 1995. Simülasyon Yardımıyla İmalat Sistemlerinin Grup Teknoloji Esaslı Yeniden Yapılandırması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Roess, R.P., Prassas, E.S. ve McShane, W.R., 2004. Trafik Mühendisliği, Pearson Basım Evi, New York.

Sevgin, G., 2000. Sıra Bekleme Sistemlerine Benzetim Tekniği Yaklaşımı ve Bir Hastane Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Shannon, Robert E., 1975. Systems Simulation : The Art and Science, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc, S.2

Taha, Hamdy A., 2000.Operations Research. Second Edition. MacMillan Publishing, New York.

Thirauf, R.J. and Klekamp R.C., 1975. Decision Making Through Operations Research, Second Edition, John Wiley and Sons,Inc., New York.

Trueblood, M., 2006. Should I Use Corsim or SimTraffic?

Uzmen, M., 1990. Montaj Hattı Dengeleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Wallace, C.E. ve diğerleri, 1984. Transyt-7F Kullanıcı El Kitabı, ABD Yol İdaresi Rapor No UF-TRC-U32, Washington D.C.

Zheng, C. and Lui, P., 2006. Evaluating the Effects of U-turns on Level of Service of Signalized Intersections Using Synchron and SimTraffic,China.

İnternet Kaynakları

URL <http://www.gozdegazetesifethiye.com/haber_detay.asp?haberID=2790>

Son Erişim Tarihi,6 Mayıs 2010.

EKLER

EK A : Trafik Sayımları Metodolojisi

EK B : Arterin Sinyal Koordinasyonu Değerleri

EK A: TRAFİK SAYIMLARI METODOLOJİSİ:

Arter optimizasyonu için genelde, kontrol sayımları ve kavşak sayımları olmak üzere iki çeşit sayım gerekecektir. Kontrol sayımlarının gayesi gün içinde kaç sinyal programının gerektiğinin anlaşılabilmesi için yapılan 12-16 saatlik sayımlardır. Bu sayımlar 15'er dakikalık sürelerde, tercihen araç sınıflandırması da yaparak ve genelde sayım aletleri kullanılarak yapılır. Bu sayımlar çalışma yapılan arterin ortalarında bir yerde iki kavşak arasında, normal bir iş gününde ve her iki yönde yapılır. Çok uzun bir arter incelenmiyorsa tek bir kontrol sayımı yeterli olacaktır. Bu sayımlardan Sabah, ve Akşam zirve saatleri, zirve dışı saatler tespit edilir ve gece flaşlı operasyonun kullanılacağı saatler de kararlaştırılabilir. Kontrol sayımlarına örnek olarak Çizelge A.1 incelenebilir.

Kavşak sayımları, aşağıda verilen arazi sayım formu kullanılarak yapılabilir. Burada dikkat edilecek hususlardan birisi, eğer kavşak doymuş olarak çalışıyorsa sayımdan önce ve sayımdan sonra kuyruktaki araç sayısının sayılması gereğidir. Kuyruk fark eğer pozitifse bu kavşaktan geçmek isteyen fakat geçemeyen sayıdır ve ana formda bu sayımlara eklenir. Ayrıca eğer kavşaktan önce otobüs durağı varsa ve önemli sayılarda otobüs varsa bunların da sayılması lazımdır. Otobüslerin durup kalkması kavşağın işletmesini kötüleştirecektir. Gene yol boyunca otopark varsa saatte kaç araç otoparka girip çıkıyorsa bunun da sayılması gerekir. Sayımların özetlediği formların örnekleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

Çizelge A.1 : ABC Arterinde Kontrol Sayımları

Yön										
Başlangıç	Batıdan					Doğudan				
	Ara Sayısı	oto	otobüs	minibüs	Toplam	oto	otobüs	minibüs	Toplam	İki yön Top.
06:00	1	45	7	5	57	28	5	2	35	149
06:15	2	69	6	9	84	39	0	2	41	209
06:30	3	101	8	9	118	62	4	2	68	304
06:45	4	152	8	11	171	80	5	5	90	432
07:00	5	238	14	13	265	113	11	5	129	659
07:15	6	269	9	18	296	155	9	5	169	761
07:30	7	262	17	17	296	161	9	6	176	768
07:45	8	282	11	23	316	165	9	9	183	815
08:00	9	270	8	15	293	173	8	10	191	777
08:15	10	259	6	11	276	163	6	14	183	735
08:30	11	251	7	12	270	179	7	13	198	737
08:45	12	243	8	12	263	195	7	11	213	739
09:00	13	275	9	13	297	192	5	11	208	802
09:15	14	290	6	11	307	194	9	10	213	827
09:30	15	295	6	9	310	208	6	10	224	844
09:45	16	272	5	7	284	191	8	9	208	776
10:00	17	278	9	10	297	158	7	12	177	771
10:15	18	278	8	14	300	192	8	8	208	808
10:30	19	287	9	14	310	226	10	13	249	869
10:45	20	283	9	14	306	226	11	12	249	860
11:00	21	279	8	14	301	226	11	11	248	850
11:15	22	279	10	16	305	220	6	12	238	848
11:30	23	272	9	14	295	243	8	10	261	851
11:45	24	301	6	11	318	215	10	9	234	870
12:00	25	259	8	14	281	199	8	10	217	779
12:15	26	286	8	14	308	219	9	12	240	856
12:30	27	256	5	14	275	224	8	9	241	791
12:45	28	242	7	17	266	179	9	13	201	733
13:00	29	235	8	14	257	193	8	11	212	726
13:15	30	234	10	15	259	181	7	11	199	717
13:30	31	221	7	11	239	210	5	11	226	704
13:45	32	306	8	13	327	216	2	8	226	880
14:00	33	216	5	7	228	153	8	8	169	625
14:15	34	303	7	13	323	206	4	8	218	864
14:30	35	308	5	11	324	218	6	7	231	879
14:45	36	265	8	15	288	202	11	9	222	798
15:00	37	277	9	13	299	214	3	7	224	822
15:15	38	253	8	13	274	206	8	9	223	771
15:30	39	278	6	9	293	220	8	13	241	827
15:45	40	302	9	14	325	200	11	7	218	868
16:00	41	290	4	12	306	212	8	11	231	843

Başlangıç Zamanı	Ara Sayısı	Batıdan				Doğudan				İki yön Top.
		oto	otobüs	minibüs	Toplam	oto	otobüs	minibüs	Toplam	
16:15	42	274	6	14	294	234	7	10	251	839
16:30	43	231	6	6	243	246	7	13	266	752
16:45	44	224	9	6	239	222	12	11	245	723
17:00	45	238	9	11	258	217	10	11	238	754
17:15	46	211	5	13	229	227	7	12	246	704
17:30	47	253	6	12	271	223	7	10	240	782
17:45	48	246	8	9	263	218	7	9	234	760
18:00	49	224	6	9	239	198	4	7	209	687
18:15	50	235	6	8	249	232	9	14	255	753
18:30	51	226	7	11	244	274	7	12	293	781
18:45	52	217	6	10	233	247	9	8	264	730
19:00	53	225	6	12	243	241	11	15	267	753
19:15	54	215	6	10	231	259	3	11	273	735
19:30	55	251	4	13	268	225	6	10	241	777
19:45	56	229	4	12	245	227	4	8	239	729
20:00	57	244	3	8	255	240	5	9	254	764
20:15	58	237	7	11	255	219	8	17	244	754
20:30	59	296	4	10	310	237	10	11	258	878
20:45	60	264	6	15	285	208	10	8	226	796
21:00	61	267	4	11	282	218	13	12	243	807
21:15	62	283	2	11	296	227	9	8	244	836
21:30	63	229	6	7	242	203	7	10	220	704
21:45	64	236	4	6	246	223	3	11	237	729

Toplam 48071

Çizelge A.2 : Kavşak Arazi Sayım Formu 1**FORM No 1
KAVŞAK ARAZİ SAYIM FORMU ÖZETİ**

Sayfa: ____ / ____

Kavşak No: 1162 A

Tarih:

Saatler:

Süre: ____ 60 ____ dak.

Kavşak İsmi:

Sayım Zamanı: Sabah Zirvesi []

Zirve Dışı []

Akşam Zirvesi []

Kesişen Caddeler:

Hava Durumu:

Hafif Yağmurlu []

Karlı []

Sisli []

Şiddetli Yağmurlu []

Açık [x]

Seyhan Gur. Mustafa Cil

ZAMAN	SOLA DÖNÜŞ		DÜZ GİDİŞ		SAĞA DÖNÜŞ		
	K.T.	AT	K.T.	AT	K.T.	AT	
Kuyruk							Park
0 - 15							Var ☐ Yok ☐
							Manevra Sayısı
							Otobüs D.
							Var ☐ Yok ☐
						Duran #	
Toplam							
Kuyruk							
Kuyruk							Park
15-30							Var ☐ Yok ☐
							Manevra Sayısı
							Otobüs D.
							Var ☐ Yok ☐
						Duran #	
Toplam							
Kuyruk							
Kuyruk							Park
30-45							Var ☐ Yok ☐
							Manevra Sayısı
							Otobüs D.
							Var ☐ Yok ☐
						Duran #	
Toplam							
Kuyruk							
Kuyruk							Park
45-60							Var ☐ Yok ☐
							Manevra Sayısı
							Otobüs D.
							Var ☐ Yok ☐
						Duran #	
Toplam							
Kuyruk							

Çizelge A.3 : Kavşak Arazi Sayım Formu 2

FORM No 1/B
KAVŞAK ARAZİ SAYIM FORMU ÖZETİ

Sayfa: __1__ / __3__

Kavşak No: 1162 A Tarih: 10.04.2005 Saatler: 09:15-10:15 Süre: __60__ dak.

Kavşak İsmi: Sayım Zamanı: Sabah Zirvesi [x] Zirve Dışı [] Akşam Zirvesi []

Kesişen Caddeler: Hava Durumu: Hafif Yağmurlu [] Karlı [] Sisli []
Şiddetli Yağmurlu [] Açık []

Sayımı Yapan:

		SOLA DÖNÜŞ		DÜZ GİDİŞ		SAĞA DÖNÜŞ		TOPLAM			
YÖN	ZAMAN	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	Araç	AT	ZSF	
GÜNEYE DOĞRU	İlk kuyruk							0	0	0,98	Park
	0 - 15	64	2	101	2	6	1	171	5		
	15-30	56	0	108	3	6	0	170	3		Manevra Sayısı
	30-45	46	0	125	0	4	0	175	0		
	45-60	49	1	116	1	8	0	173	2		
	Toplam	215	3	450	6	24	1	689	10		O.büs D.
	Kuyruk farkı							0	0		
	Toplam + K. farkı	215	3	450	6	24	1	689	10		Saatte Duran #
	% AT	1,40		1,33		4,17		1,45			
BATIYA DOĞRU	İlk kuyruk							0	0	0,96	Park
	0 - 15	65	0	110	15			175	15		
	15-30	67	2	133	9			200	11		Manevra Sayısı
	30-45	75	7	117	11			192	18		
	45-60	67	2	131	12			198	14		
	Toplam	274	11	491	47	0	0	765	58		O.büs D.
	Kuyruk farkı							0	0		
	Toplam + K. farkı	274	11	491	47	0	0	765	58		Saatte Duran #
	% AT	4,01		9,57		#DIV/0!		7,58			
KUZEYE DOĞRU	İlk kuyruk							0	0	0,91	Park
	0 - 15	43	8	88	6	25	1	156	15		
	15-30	49	9	92	4	37	0	178	13		Manevra Sayısı
	30-45	49	9	77	3	34	0	160	12		
	45-60	54	7	78	5	25	0	157	12		
	Toplam	195	33	335	18	121	1	651	52		O.büs D.
	Kuyruk farkı							0	0		
	Toplam + K. farkı	195	33	335	18	121	1	651	52		Saatte Duran #
	% AT	16,92		5,37		0,83		7,99			
DOĞUYA DOĞRU	İlk kuyruk							0	0	0,95	Park
	0 - 15	28	0	221	15	1	0	250	15		
	15-30	38	0	209	12	0	0	247	12		Manevra Sayısı
	30-45	28	0	199	10	1	0	228	10		
	45-60	30	1	197	14	0	0	227	15		
	Toplam	124	1	826	51	2	0	952	52		O.büs D.
	Kuyruk farkı							0	0		
	Toplam + K. farkı	124	1	826	51	2	0	952	52		Saatte Duran #
	% AT	0,81		6,17		0,00		5,46			

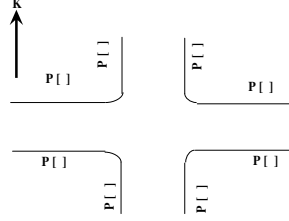
Çizelge A.4 : Kavşak Sayım Özeti Formu

FORM No 2-B
KAVŞAK SAYIM ÖZETİ

Kavşak No: 1162 A

Kavşak İsmi:

Sayımı Yapan:



			TRAFİK HACİMLERİ																							
			KUZEYE (°e)						GÜNEYE (°a)						DOĞUYA (°ye)						BATIYA (°e)					
SAYIM ZAMANI	SAYIM SAATI	SAYIM TARİHİ	SOL	AT %	DÜZ	AT %	SAG	AT %	SOL	AT %	DÜZ	AT %	SAG	AT %	SOL	AT %	DÜZ	AT %	SAG	AT %	SOL	AT %	DÜZ	AT %	SAG	AT %
SABAH ZİRVESİ	09:15-10:15	38452	195	16,9	335	5,4	121	0,8	215	1,4	450	1,3	24	4,2	124	0,8	826	6,2	2	0,0	274	4,0	491	9,6	0	####
ZİRVE DİŞİ	12:30-13:30	38452	225	16,0	346	4,3	139	2,9	173	3,5	417	2,6	22	18,2	167	4,2	671	8,0	3	0,0	267	4,1	512	10,2	0	####
AKŞAM ZİRVESİ	17:15-18:15	10.03.2005	267	12,0	610	1,3	155	0,6	179	4,5	332	0,3	32	3,1	131	2,3	653	6,4	4	0,0	268	0,7	590	8,0	0	####

Çizelge A.5 : Kavşak Trafik Hacimlerinin Grafiksel Gösterimi

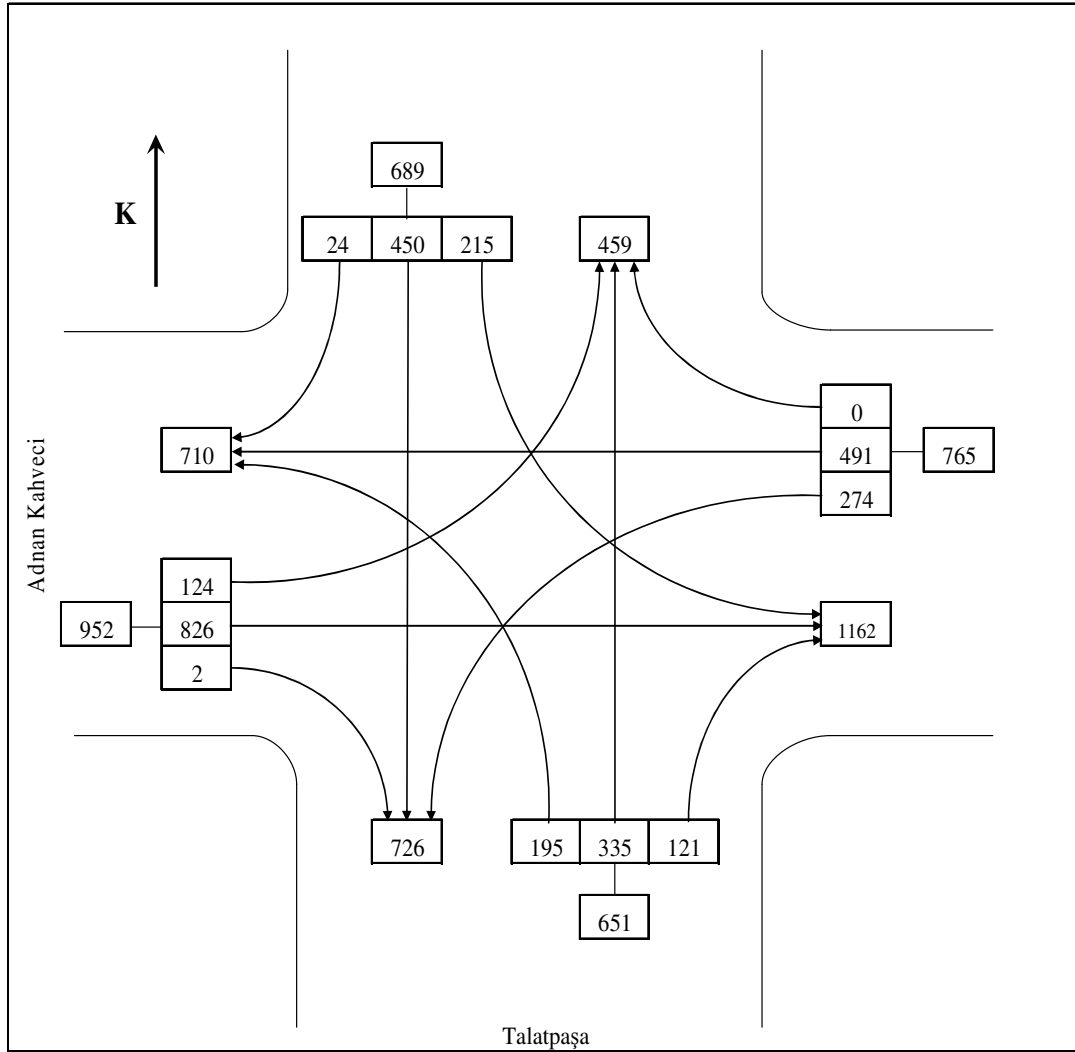
KAVŞAK TRAFİK HACİMLERİNİN GRAFİKSEL GÖSTERİMİ

Kavşak No: 1162 A

Kavşak İsmi: Ünverdi

SAYIM ZAMANI: SABAH ZİRVESİ

Sayımı Yapan:



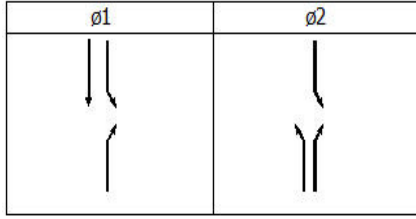
EK B

Nuh Kuyusu Arterinin Synchro Programı ile Sinyal Koordinasyonunun Yapılması:

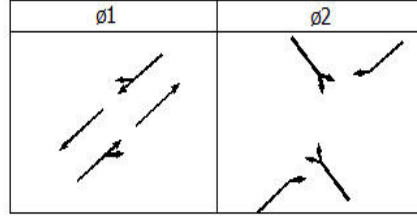
Nuh Kuyusu Caddesi arterinin sinyal koordinasyonunda ve bilgisayar programlarıyla modellenmesinde üç değişik senaryo uygulanmıştır. Bu senaryolar aşağıda anlatılmıştır:

MEVCUT DURUM : Arterde hiçbir değişiklik yapılmadan mevcut durum doğrudan bilgisayarda modellenmiş, böylece mevcut duruma dair trafik gecikmesi, yakıt tüketimi, CO₂ salınımı gibi performans değerleri elde edilmiştir.

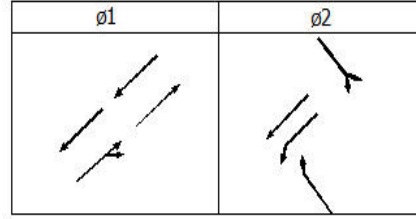
KAVŞAK # : 3405



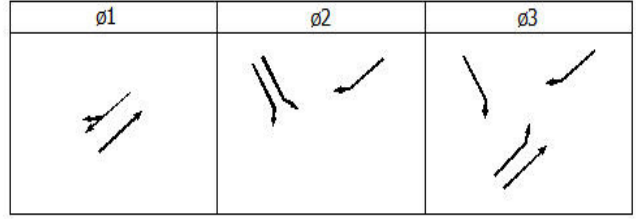
KAVŞAK # : 3358



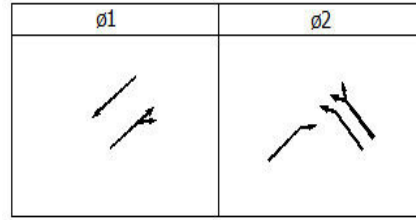
KAVŞAK # : 3436



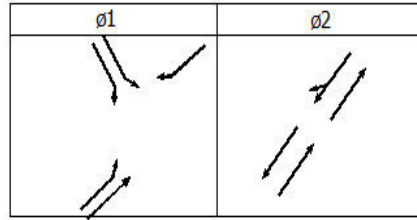
KAVŞAK # : 3357



KAVŞAK # : 3344



KAVŞAK # : 3317



Şekil B.1 : Nuh Kuyusu caddesindeki kavşakların mevcut durumunun sinyal fazları

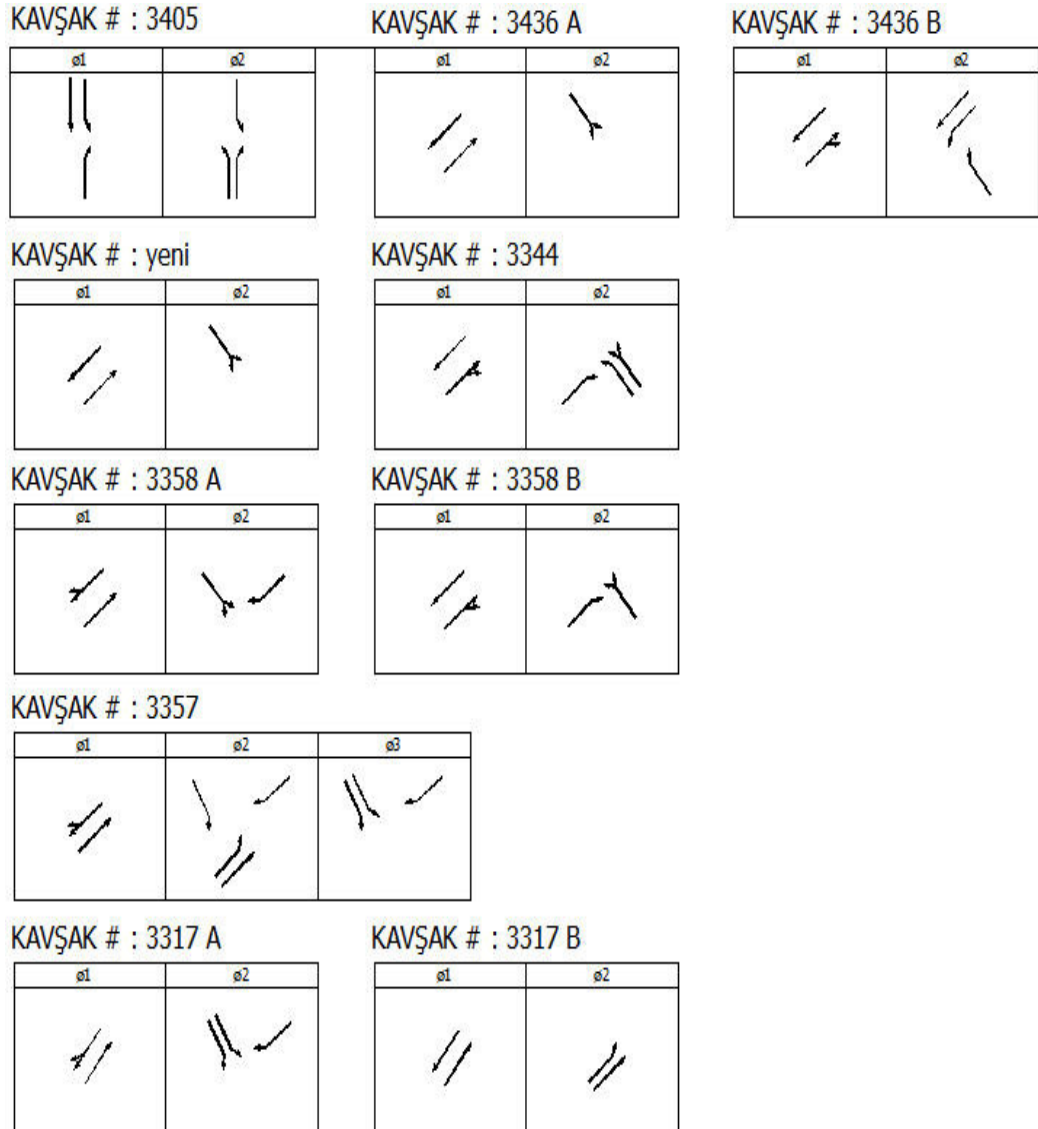
Çizelge B.1 : Nuh Kuyusu Caddesi’nde sinyal koordinasyonunda uygulanan senaryoların özeti.

Senaryo	Geometrik İyileştirm e	Sinyal Optimizasyon u	İzole Kavşak Optimizasyo nu	Kayma Değerlerinin Optimizasyon u
Mevcut Durum	YOK	YOK	-	-
1. Mevcut geometri SYNCHRO optimizasyonu	YOK	VAR	SYNCHRO	SYNCHRO
2. Yeni geometri ile SYNCHRO optimizasyonu	VAR	VAR	SYNCHRO	SYNCHRO

Arter ve kavşaklar üzerinde herhangi bir değişiklik yapmadan sadece sinyalizasyon faz dizilerinin ve sinyal sürelerinin optimize edilmesiyle yapılan “Senaryo 1” çalışmasında, sabah zirve, zirve dışı ve akşam zirve saatlerinde farklı periyot süreleri kullanılmıştır.

Arter ve kavşaklar üzerinde birtakım geometrik düzenlemeler yapılması neticesinde sinyalizasyon faz dizilerinin ve sinyal sürelerinin optimize edilmesiyle yapılan “Senaryo 2” çalışmasında ise, sabah, zirve dışı ve akşam zirve saatlerinde farklı periyot süreleri kullanılmış olup arter boyunca tüm kavşaklarda aynı periyot süreleri bulunmuştur.

Aşağıdaki şekillerde arter boyunca önerilen sinyalizasyon faz dizileri yer almaktadır:



Şekil B.2 : Nuh Kuyusu caddesindeki kavşaklar için önerilen sinyal fazları

Synchro tarafından değerlendirilen arter optimizasyonunda önerilen periyot süreleri ve bunlara bağlı gecikme süreleri, durma sayısı, yakıt tüketimi karşılaştırması aşağıdaki şekilde analiz yapan kullanıcıya sunulur. Koyu bant halinde çizelgede görünen kısım programın seçtiği periyot süresidir.

Çizelge B.2 : Sabah zirvesinde Synchro'nun önerdiği tüm arter için periyot süreleri ve değerleri

Select Cycle Lengths											
Cycle Length	Perform Index	Block Delay (hr)	Total Delay (hr)	Delay / Veh (s)	Total Stops	Stops / Veh	Fuel (l)	Unservd Vehicles	Dilemma Vehicles	% Dilemm Vehicles	Average Spd (km/h)
50	245	8	209	25	12986	0.44	1358	636	0	0%	17
60	190	10	157	19	11875	0.40	1191	262	0	0%	20
70	225	52	188	23	13435	0.45	1310	192	0	0%	18
80	234	71	200	24	12371	0.42	1320	136	0	0%	17
90	254	89	218	26	12833	0.43	1382	110	0	0%	16
100	275	106	238	29	13364	0.45	1448	89	0	0%	15
110	297	123	261	32	12892	0.43	1502	87	0	0%	14
120	317	139	282	34	12456	0.42	1550	72	0	0%	13
130	333	151	296	36	13030	0.44	1603	58	0	0%	13
Mixed	187	21	153	18	12231	0.41	1187	136	170	1%	20

Çizelge B.3 : Öğle zirvesinde Synchro'nun önerdiği tüm arter için periyot süreleri ve değerleri

Select Cycle Lengths											
Cycle Length	Perform Index	Block Delay (hr)	Total Delay (hr)	Delay / Veh (s)	Total Stops	Stops / Veh	Fuel (l)	Unservd Vehicles	Dilemma Vehicles	% Dilemm Vehicles	Average Spd (km/h)
50	97	0	71	11	9279	0.39	793	77	0	0%	27
60	77	0	54	8	8352	0.35	724	0	0	0%	30
70	78	1	55	8	8167	0.34	723	0	0	0%	30
80	82	2	58	9	8519	0.36	739	0	0	0%	29
90	88	3	63	10	9010	0.38	764	0	0	0%	28
100	97	4	71	11	9060	0.38	788	0	0	0%	27
110	99	6	75	11	8588	0.36	787	0	0	0%	26
120	208	110	185	28	8332	0.35	1086	0	0	0%	15
130	111	9	87	13	8585	0.36	820	0	0	0%	24

Çizelge B.4 : Akşam zirvesinde Synchro'nun önerdiği tüm arter için periyot süreleri ve değerleri

Select Cycle Lengths											
Cycle Length	Perform Index	Block Delay (hr)	Total Delay (hr)	Delay / Veh (s)	Total Stops	Stops / Veh	Fuel (l)	Unservd Vehicles	Dilemma Vehicles	% Dilemm Vehicles	Average Spd (km/h)
50	126	1	95	13	11038	0.42	935	106	0	0%	24
60	103	0	74	10	10622	0.41	866	0	0	0%	27
70	99	1	71	10	10132	0.39	848	0	0	0%	28
80	125	24	97	13	9945	0.38	917	0	0	0%	24
90	143	35	113	16	10535	0.40	974	0	0	0%	22
100	119	6	88	12	11052	0.42	916	0	0	0%	25
110	177	58	148	20	10365	0.40	1066	0	0	0%	19
120	134	11	105	15	10443	0.40	949	0	0	0%	23
130	139	12	110	15	10437	0.40	963	0	0	0%	22

Alman sinyalizasyon esaslarının ortaya koyan RILSA'ya göre önerilen periyot süreleri:

Minimum : 30 saniye

Normal : 50 -75 saniye

Maksimum : 90-120 saniye

arasında olması önerilmektedir. Buna göre de Synchro tarafından önerilen ve kabul edilen periyot süreleri uygun aralıklar arasında olduğu görülebilmektedir.

Analizi yapan teknik kişinin bu durumda vermesi gereken karar, yerel olarak sürücülerin alışkın olduğu periyot sürelerinden fazla uzaklaşmamak ve arter bütününde en düşük gecikme değerine sahip periyotu (dolayısıyla en iyi faydayı) seçmektir.

Analiz sürecinde Nuh Kuyusu Caddesi 2 zona ayrılmıştır. Güneybatı tarafındaki 3 kavşak 3317-A, 3317-B ve 3357 Bölge-1, diğer kavşaklar da Bölge-2 olarak ayrılmıştır. Bunun sebebi kavşaklar arası mesafenin giderek artması ve daha önemlisi kavşaklar arasındaki etkileşimdir. Bu durumda Bölge-1 ayrı Bölge-2 ayrı periyot süresi de verilebilirdi ancak arter için tüm kavşaklara aynı periyot süreleri verilmiştir. Bu süreler şöyledir:

Sabah zirvesi : 80 saniye (Bölge 1: 60 saniye / Bölge 2: 80 saniye)

Öğlen zirvesi : 60 saniye*

Akşam zirvesi: 70 saniye

() İstanbul sürücülerinin alışkın oldukları periyot süreleri dikkate alınarak, toplam faydası çok yakın bir değere karşılık gelen 70 sn.'lik periyot tercih edilebilir.*

Çizelge B.5 : Tüm senaryolar için sabah zirve saatinde sinyal süreleri ve kayma zamanlarının karşılaştırılması

SABAH ZİRVE		MEVCUT DURUM			SENARYO 1			SENARYO 2		
Kavşak No	Faz No	Y	S	K	Y	S	K	Y	S	K
3405	Φ1	55	3	1	66	3	1	37	2	1
	Φ2	11	2	1	27	2	1	17	2	1
	C (sn)	73			100			60		
3436 A	Φ1	64	3	2	60	3	1	35	3	1
	Φ2	22	2	2	32	2	2	17	2	2
	C (sn)	95			100			60		
3436 B	Φ1	64	3	2	60	3	1	39	3	1
	Φ2	22	2	2	32	2	2	13	2	2
	C (sn)	95			100			60		
Yeni Sinyalize Kavşak	Φ1	-	-	-	-	-	-	36	2	1
	Φ2	-	-	-	-	-	-	18	2	1
	C (sn)	0			0			60		
3344	Φ1	64	3	1	64	3	1	37	3	1
	Φ2	24	2	1	29	2	1	16	2	1
	C (sn)	95			100			60		
3358 A	Φ1	65	3	1	57	3	1	39	3	1
	Φ2	22	3	1	35	3	1	13	3	1
	C (sn)	95			100			60		
3358 B	Φ1	65	3	1	57	3	1	39	3	1
	Φ2	22	3	1	35	3	1	13	3	1
	C (sn)	95			100			60		
3357	Φ1	30	2	1	58	2	1	32	2	1
	Φ2	40	2	1	16	2	1	7	2	1
	Φ3	16	2	1	17	2	1	32	2	1
	C (sn)	95			100			80		
3317 A	Φ1	31	2	1	32	2	1	57	2	1
	Φ2	14	2	1	13	2	1	17	2	1
	Φ3	5	2	1	45	3	1	-	-	-
	Φ4	22	3	1	-	-	-	-	-	-
	C (sn)	85			100			80		
3317 B	Φ1	31	2	1	38	2	1	21	2	1
	Φ2	14	2	1	55	3	1	53	2	1
	Φ3	5	2	1	-	-	-	-	-	-
	Φ4	22	3	1	-	-	-	-	-	-
	C (sn)	85			100			80		

Çizelge B.6 : Tüm senaryolar için zirve dışı saatte sinyal süreleri ve kayma zamanlarının karşılaştırılması

ÖĞLEN ZİRVE		MEVCUT DURUM			SENARYO 1			SENARYO 2		
Kavşak No	Faz No	Y	S	K	Y	S	K	Y	S	K
3405	Φ1	35	3	1	64	3	1	36	2	1
	Φ2	11	2	1	24	2	1	18	2	1
	C (sn)	53			95			60		
3436 A	Φ1	48	3	2	59	3	2	35	3	1
	Φ2	18	2	2	27	2	2	17	2	2
	C (sn)	75			95			60		
3436 B	Φ1	48	3	2	59	3	2	37	3	1
	Φ2	18	2	2	27	2	2	15	2	2
	C (sn)	75			95			60		
Yeni Sinyalize Kavşak	Φ1	-	-	-	-	-	-	32	2	1
	Φ2	-	-	-	-	-	-	22	2	1
	C (sn)	0			0			60		
3344	Φ1	54	3	1	59	3	1	36	3	1
	Φ2	14	2	1	29	2	1	17	2	1
	C (sn)	75			95			60		
3358 A	Φ1	45	3	1	50	3	1	37	3	1
	Φ2	22	3	1	37	3	1	15	3	1
	C (sn)	75			95			60		
3358 B	Φ1	45	3	1	50	3	1	34	3	1
	Φ2	22	3	1	37	3	1	18	3	1
	C (sn)	75			95			60		
3357	Φ1	28	2	1	53	2	1	24	2	1
	Φ2	22	2	1	16	2	1	7	2	1
	Φ3	16	2	1	17	2	1	20	2	1
	C (sn)	75			95			60		
3317 A	Φ1	15	2	1	26	2	1	40	2	1
	Φ2	15	2	1	16	2	1	14	2	1
	Φ3	5	2	1	43	3	1	-	-	-
	Φ4	20	3	1	-	-	-	-	-	-
	C (sn)	68			95			60		
3317 B	Φ1	15	2	1	42	2	1	17	2	1
	Φ2	15	2	1	46	3	1	37	2	1
	Φ3	5	2	1	-	-	-	-	-	-
	Φ4	20	3	1	-	-	-	-	-	-
	C (sn)	68			95			60		

Çizelge B.7 : Tüm senaryolar için akşam zirve saatinde sinyal süreleri ve kayma zamanlarının karşılaştırılması

AKŞAM ZİRVE		MEVCUT DURUM			SENARYO 1			SENARYO 2		
Kavşak No	Faz No	Y	S	K	Y	S	K	Y	S	K
3405	Φ1	54	3	1	65	3	1	45	2	1
	Φ2	11	2	1	23	2	1	19	2	1
	C (sn)	72			95			70		
3436 A	Φ1	65	3	2	55	3	2	40	3	1
	Φ2	21	2	2	31	2	2	22	2	2
	C (sn)	95			95			70		
3436 B	Φ1	65	3	2	55	3	2	41	3	1
	Φ2	21	2	2	31	2	2	21	2	2
	C (sn)	95			95			70		
Yeni Sinyalize Kavşak	Φ1	-	-	-	-	-	-	42	2	1
	Φ2	-	-	-	-	-	-	22	2	1
	C (sn)	0			0			70		
3344	Φ1	64	3	1	62	3	1	46	3	1
	Φ2	24	2	1	26	2	1	17	2	1
	C (sn)	95			95			70		
3358 A	Φ1	60	3	1	51	3	1	44	3	1
	Φ2	27	3	1	36	3	1	18	3	1
	C (sn)	95			95			70		
3358 B	Φ1	60	3	1	51	3	1	44	3	1
	Φ2	27	3	1	36	3	1	18	3	1
	C (sn)	95			95			70		
3357	Φ1	30	2	1	53	2	1	28	2	1
	Φ2	40	2	1	16	2	1	7	2	1
	Φ3	16	2	1	17	2	1	26	2	1
	C (sn)	95			95			70		
3317 A	Φ1	26	2	1	30	2	1	48	2	1
	Φ2	14	2	1	16	2	1	16	2	1
	Φ3	5	2	1	39	3	1	-	-	-
	Φ4	27	3	1	-	-	-	-	-	-
	C (sn)	85			95			70		
3317 B	Φ1	26	2	1	39	2	1	20	2	1
	Φ2	14	2	1	49	3	1	44	2	1
	Φ3	5	2	1	-	-	-	-	-	-
	Φ4	27	3	1	-	-	-	-	-	-
	C (sn)	85			95			70		

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selim OCAKDAN
Doğum Yeri : İskenderun
Adres : Küçükçekmece / İstanbul
e-mail : selimocaktan@yahoo.com



Eğitim Durumu:

- 2007 – 2010 **Yüksek Lisans - İstanbul Teknik Üniversitesi**
Mühendislik Yönetimi Programı (3.00/4.00)
- 2003 – 2007 **Lisans - Yıldız Teknik Üniversitesi**
Endüstri Mühendisliği (3.22/4.00)
- 1996 – 2003 **İskenderun İstiklal Makzume Anadolu Lisesi (İskenderun)**
Ortaokul-Lise eğitimi (4.97/5.00)
- 1991 – 1996 **Abdulkadir Kocabaş İlköğretim Okulu (İskenderun)**
İlkokul eğitimi (5.00/5.00)

Deneyimler :

15.07.2008 – 30.07.2009 : NASA Yurt Dışı Eğitim ve Kariyer Danışmanlığı