

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**10.YIL ARTERİNDEKİ 3 EŞ DÜZEY SİNYALİZE KAVŞAĞIN AKILLI KAVŞAK
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUNAHAN ÖZKUL

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ HASAN BOZKURT

BİLECİK 2023

10553312

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**10.YIL ARTERİNDEKİ 3 EŞ DÜZEY SİNYALİZE KAVŞAĞIN AKILLI KAVŞAK
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUNAHAN ÖZKUL

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ HASAN BOZKURT

BİLECİK 2023

10553312

BEYAN

“10.Yıl Arterindeki 3 Eş Düzey Sinyalize Kavşağın Akıllı Kavşak Performanslarının İncelenmesi” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projeyi destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgileri beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		☐	DESTEK ALINMAMIŞTIR
☒		☐	☒
Destek alındı ise;			
Destekleyen Kurum:			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;			
ETİK KURUL onayı var			
ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:			

Tunahan Özkul

Tarih

İmza

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hasan BOZKURT’a değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez araştırma sırasında veri sağlamak konusunda yardımlarından dolayı İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığına ve analizlerimi gerçekleştirmem için lisans tanımlaması yapan AIMSUN Simülasyon şirketine çok teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bugüne kadar her adımda desteklerini esirgemeyen aileme ve kıymetli eşime çok teşekkürlerimi sunuyorum.

Tunahan Özkul

2023

ÖZET

10.YIL ARTERİNDEKİ 3 EŞ DÜZEY SİNYALİZE KAVŞAĞIN AKILLI KAVŞAK PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Kentlerdeki nüfus artışı hızıyla beraber araç sayısı da artmış ve buna bağlı olarak yaşanan trafik problemleri de artış göstermektedir. Tarih boyunca verimli kullanımı için çeşitli çalışmalara konu olan zaman kavramının ulaştırma mühendisliği açısından tasarrufunu sağlamak için farklı metot ve yöntemlerde iyileştirme çalışmaları yapılmıştır

İstanbul ili Zeytinburnu ilçesi 10.yıl arterinde bulunan Mevlana Kapı, Silivri kapı ve Belgradkapı eş düzey sinyalize kavşaklarında gerçekleştirdiğimiz çalışmamızda artan trafik yükleri sebebiyle araç gecikme süreleri, ortalama hız değerleri ve seyahat sürelerinde artışların olduğu tespit edilmiş ve değerlerin optimum seviyeye indirilmesi için iyileştirme çalışmalarına ihtiyaç olduğu görülmüştür.

Çalışmada kullanılacak veriler İstanbul Büyükşehir Belediyesi ulaşım daire başkanlığı tarafından yol içerisine yerleştirilmiş araç sayım loplari tarafından zirve saat trafiği (08.00-09.00) ve zirve saat dışı trafiği (14.00-15.00) olarak sayımları yapılmış, mevcut kullanımda olan sinyalize devre süreleri de İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından temin edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında şehir içi trafik yoğunluğu dünya sıralamasında 5 ve Avrupa sıralamasında ise 2. Sırada yer alan İstanbul ili seçilmiştir. Seçilen hat üzerinde bulunan kavşakların koordine olarak çalıştırılması ve farklı senaryolar ile akıllı kavşakların kombinasyonların denenmesi yöntemi ile hat üzerindeki araç başı gecikmelerin, toplam seyahat süresi, ortalama hız, CO₂ salınımı, NO_x salınımı ve Yakıt tüketim değerlerinin azaltılması ve güzergah boyundaki ortalama hızın arttırmak için akıllı kavşak yaklaşımı Aimsun mikro simülasyon programı kullanılarak incelenmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda araç başı gecikmelerde %10'dan %97'ye kadar, toplam seyahat sürelerinde %9'dan %67'ye kadar, ortalama hız değerlerinde %5'den %67'ye kadar, CO₂ salınım değerlerinde %1'den %18'e kadar, NO_x salınım değerlerinde %-4'den %16'ya kadar, Yakıt tüketim değerlerinde %1'den %32'ye kadar iyileştirmeler farklı senaryolar üzerinden hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sinyalize Kavşak, Trafik, Ulaşım, Gecikme Süresi.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF SMART INTERSECTION PERFORMANCES OF 3 PEER-LEVEL SIGNALIZED INTERSECTIONS IN THE 10TH YEAR ARTERY

With the increase in population in cities, the number of vehicles has also increased and the traffic problems experienced accordingly increase. Improvement studies have been made in different methods and methods in order to save the concept of time, which has been the subject of various studies for its efficient use throughout history, in terms of transportation engineering. In our study, which we carried out at the Mevlana Gate, Silivri Gate and Belgradkapı at-grade signalized intersections located in the 10th year artery of Zeytinburnu district of Istanbul province, it was determined that there were increases in vehicle delay times, average speed values and travel times due to increasing traffic loads, and improvement studies were needed to reduce the values to the optimum level. seen.

The data to be used in the study were counted as peak hour traffic (08.00-09.00) and peak out-of-hours traffic (14.00-15.00) by the vehicle counting lobes placed in the road by the Istanbul Metropolitan Municipality Department of Transportatın, and the signalized circuit times in current use were determined by the Istanbul Metropolitan Municipality. provided.

Within the scope of the thesis study, the city of Istanbul, which ranks 5th in the world ranking and 2nd in the European ranking, was chosen for urban traffic density. By coordinating the intersections on the selected line and testing combinations of smart intersections with different scenarios, smart intersections are used to reduce delays per vehicle on the line, total travel time, average speed, CO₂ emissions, NO_x emissions and fuel consumption values, and to increase the average speed along the route. approach was examined using the Aimsun micro simulation program.

As a result of the examinations made, delays per vehicle range from %10 to %97, total travel times from %9 to %67, average speed values from %5 to %67, CO₂ emission values from %1. Improvements from %4 to %16 in NO_x emission values, from %1 to %32 in fuel consumption values, are calculated over different scenarios.

Keywords: Signalized Intersections, Traffic, Transport, Delay Time

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ	11
3.1.İzole Sinyalizasyon Sistemleri.....	11
3.1.1. Sabit Zamanlı sinyalizasyon Sistemi.....	11
3.1.2.1 Yarı Uyarmalı Trafik Sistemleri.....	12
3.1.2.2. Tam Uyarmalı Trafik Sistemleri	12
3.1.3. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi.....	12
3.1.4. El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi.....	12
3.2. Koordine Sinyalizasyon Sistemleri.....	12
3.2.1. Senkronize Sistem	13
3.2.2. Alternatif Sistem	14
3.2.3. Progresif Sistem	15
3.2.4. Alansal Trafik Kontrol Sistem.....	17
4. AKILLI TRAFİK KAVŞAKLARI	18
4.1. Geleneksel Trafik Kavşakları ve Karşılaşılan Zorluklar	18
4.1.1 Trafik Sıkışıklığı Ve Gecikmeler:.....	19
4.1.2 Güvenlik Endişeleri:	19
4.1.3 Çevresel Etki;	19

4.1.4 Kaynakların Verimsiz Kullanımı:.....	19
4.2. Akıllı Trafik Kavşakları ve Kavşakları Oluşturan Bileşenler	20
4.2.1 Trafik Sensörler Ve Kameralar:	20
4.2.2 İletişim Sistemleri:	20
4.2.3 Veri Analitiği Ve İşleme:	20
4.2.4. Akıllı Trafik Sinyalleri:	21
4.2.5. Diğer Ulaşım Sistemleriyle Entegrasyon:	21
4.3. Kavşaklarda Geliştirilen Teknolojiler Ve Yenilikler:	22
4.3.1. Yapay Zeka Ve Makine Öğrenimi	22
4.3.2. Nesnelerin İnterneti (IoT)	22
4.3.3. Araçtan-Herşeye (V2X) İletişimi.....	22
4.3.4. Edge Hesaplama.....	23
4.3.5. Bilgisayarlı Görü.....	23
4.4. Akıllı Trafik Kavşaklarının Faydaları:	23
4.4.1. Uyarlanabilir Sinyal Kontrolü ve Dinamik Rotalama ile Trafik Akışının İyileştirilmesi ve Sıkışıklığın Azaltılması:.....	23
4.4.2. Gerçek Zamanlı Çarpışma Önleme ve Erken Uyarı Sistemleri ile Sürücüler, Yaya ve Bisiklet Sürücüleri için Artan Güvenlik:	23
4.4.3. Etkili Kaynak Tahsisi ve Bakım Maliyeti Tasarrufu:	24
4.4.4. Gelişmiş İletişim ve Navigasyon Sistemleri ile Otonom ve Bağlantılı Araçlara Destek:	24
4.5. Dünyada Akıllı Kavşak Uygulamaları;.....	25
5.YÖNTEM.....	27
5.1. AIMSUN Simülasyon Programı	28
5.1.1 Mikro Simülasyon.....	29
5.1.2 Mezoskopik Simülasyon	29
5.1.3. Makroskopik Simülasyon.....	30
5.2. Aimsun Simülasyon Kesişim Noktaları Analiz Yöntemleri	30

5.2.1. Mikroskobik Simülasyon Aracı.....	31
5.2.2. Dedektör Aracı.....	32
5.2.3. Sinyal Zamanlaması Optimizasyonu Aracı.....	34
5.2.4. Kapasite Analizi Aracı.....	35
5.3. Aimsun Simülasyon Programıyla Analizlerin Yapılması	36
5.3.1. Seyahat Süresi Analiz Yöntemi	36
5.3.2. Gecikme Süresi Analiz Yöntemi.....	37
5.3.3. Ortalama Hız Analiz Yöntemi	39
5.3.4. CO ₂ Salınımı Analiz Yöntemi	40
5.3.5. NO _x Salınımı Analiz Yöntemi	41
5.2.6. Yakıt Tüketimi Analiz Yöntemi	42
6.ÇALIŞMA ALANI.....	44
6.1 10. Yıl Arteri Trafik Verileri	45
6.1.1 Mevlanakapı Kavşağı Trafik Verileri.....	46
6.1.1.1 Mevlanakapı Kavşağı Trafik Hacim Verileri.....	46
6.1.1.2 Mevlanakapı Kavşağı Trafik Fazlanma Verileri	48
6.1.1.3 Mevlanakapı Kavşağı Trafik Devre Süresi Verileri	49
6.1.2 Silivrikapı Kavşağı Trafik Verileri	49
6.1.2.1 Silivrikapı Kavşağı Trafik Hacim Verileri	50
6.1.2.2 Silivrikapı Kavşağı Trafik Fazlanma Verileri.....	50
6.1.2.3 Silivrikapı Kavşağı Trafik Devre Süresi Verileri.....	51
6.1.3 Belgradkapı Kavşağı Trafik Verileri	51
6.1.3.1 Belgradkapı Kavşağı Trafik Hacim Verileri	52
6.1.3.2 Belgradkapı Kavşağı Trafik Fazlanma Verileri.....	54
6.1.3.3 Belgradkapı Kavşağı Trafik Devre Süresi Verileri.....	55
7. VERİLERİN AIMSUN SİMÜLASYON PROGRAMINA AKTARILMASI	56

7.1. Çalışma Alanındaki Verilerin Sınıflandırılması	56
7.2 Verilerin Simülasyon Programına Girilmesi.....	56
8 .BULGULAR.....	70
8.1 Çalışma Kapsamında İyileştirilen veriler	70
8.1.1 10. Yıl Arteri Gecikme Süresi Optimizasyon Sonuçları.....	71
8.1.2. 10. Yıl Arteri Ortalama Hız Optimizasyon Sonuçları.....	72
8.1.3. 10. Yıl Arteri Seyahat Süresi Optimizasyon Sonuçları	73
8.1.4. 10. Yıl Arteri CO ₂ Salınımı Optimizasyon Sonuçları.....	74
8.1.5. 10. Yıl Arteri NO _x Salınımı Optimizasyon Sonuçları	75
8.1.6. 10. Yıl Arteri Yakıt Tüketimi Optimizasyon Sonuçları	76
8.2. 10. Yıl Arteri Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma.....	77
8.2.1 10. Yıl Arteri Gecikme Süresi Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma	77
8.2.2 10. Yıl Arteri Ortalama Hız Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma	77
8.2.3 10. Yıl Arteri Seyahat Süresi Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma	78
8.2.4 10. Yıl Arteri CO ₂ Salınımı Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma	78
8.2.5 10. Yıl Arteri NO _x Salınımı Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma	79
8.2.6 10. Yıl Arteri Yakıt Tüketimi Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma	79
9. MALİYET VE TASARRUF ANALİZİ	80
9.1 Akıllandırma Maliyetinin Hesaplanması.....	80
9.1.1 Endüktif Döngü Dedektör Maliyetinin Hesaplanması	80
9.1.2 Veri İşleme ve İletişim Ekipmanlarının Maliyetinin Hesaplanması	80
9.1.3 Yazılım Geliştirme Ve Entegrasyon Maliyetinin Hesaplanması	81
9.1.4 Bakım Ve Destek Maliyetinin Hesaplanması	82

9.2 Akıllandırma Sonucu Tasarrufun Hesaplanması	82
10.SONUÇ.....	83
KAYNAKÇA	85



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Senkronize sistemin uzaklık-zaman diyagramı	14
Şekil 3.2. Alternatif sistemin uzaklık-zaman diyagramı.....	15
Şekil 3.3. Progresif sistemin uzaklık-zaman diyagramı	16
Şekil 5.1 Aimsun Mikro Simülasyon Hareket Görünümü.....	29
Şekil 5.2. Aimsun Mezoskopik Simülasyon Hareket Görünümü	29
Şekil 5.3. Aimsun Makroskopik Simülasyon Hareket Görünümü	30
Şekil 6.1 10. Yıl Arteri Güzergah Görünümü.....	44
Şekil 6.2. 10. Yıl Arteri Kavşaklar Arasındaki Mesafe Planı.....	45
Şekil 6.3. Mevlanakapı Üst Yapı Planı.....	46
Şekil 6.4. Mevlanakapı Zirve Saat Trafik Hacim Şeması.....	47
Şekil 6.5. Mevlanakapı Zirve Saat Dışı Trafik Hacim Şeması.....	47
Şekil 6.6. Mevlanakapı Zirve Saat Faz Şeması	48
Şekil 6.7. Mevlanakapı Zirve Saat Dışı Faz Şeması.....	48
Şekil 6.8. Mevlanakapı Zirve Saat ve Zirve Saat Dışı Devre Süresi Şeması	49
Şekil 6.9. Silivrikapı Üst Yapı Planı.....	49
Şekil 6.10. Silivrikapı Zirve Saat ve Zirve Saat Dışı Trafik Hacim Şeması.....	50
Şekil 6.11. Silivrikapı Zirve Saat ve Zirve Saat Dışı Faz Şeması	50
Şekil 6.12. Silivrikapı Zirve Saat ve Zirve Saat Dışı Devre Süresi Şeması	51
Şekil 6.13. Belgradkapı Üst Yapı Planı	52
Şekil 6.14. Belgradkapı Zirve Saat Trafik Hacim Şeması.....	53
Şekil 6.15. Belgradkapı Zirve Saat Dışı Trafik Hacim Şeması	53
Şekil 6.16. Belgradkapı Zirve Saat Faz Şeması.....	54
Şekil 6.17. Belgradkapı Zirve Saat Dışı Faz Şeması	54
Şekil 6.18. Belgradkapı Zirve Saat ve Zirve Saat Dışı Devre Süresi Şeması.....	55

Şekil 7.1. 10.Yıl Arteri Senaryo Planlaması Detayları	56
Şekil 7.2. 10.Yıl Arteri Verilerinin Yüklenmesi.....	57
Şekil 7.3. Harita Geometrik Verilerinin Belirlenmesi	57
Şekil 7.4. Güzergâh Şerit Sayılarının Ayarlanması	58
Şekil 7.5. Kavşak Alanlarının oluşturulması	59
Şekil 7.6. Kavşak Alanlarında Yaya Geçitlerini Atanması	59
Şekil 7.7. Kavşak Alanlarında Detektörlerin Atanması.....	59
Şekil 7.8. Kavşak Güzergah Üzerindeki Dönüşlerin Kontrolü.....	60
Şekil 7.9. Kavşak Güzergah Üzerindeki Dönüş ve Yaya Yollarının Atanması	60
Şekil 7.10. Trafik Verilerinin Atanması İçin Trafik State Menüsünün Açılması.....	61
Şekil 7.11. Trafik Verilerinin Atanması İçin Trafik State Menüsünün Doldurulması	61
Şekil 7.12. Trafik Verilerinin Atanması İçin Trafik State Yönlerin Oransal Atanması	61
Şekil 7.13. Trafik Talep Atanması İçin Trafik Demand Sekmesi Açılımı	62
Şekil 7.14. Trafik Talep Atanması İçin Trafik Demand Sekmesinin Doldurulması	62
Şekil 7.15. Control Plan Sekmesinin açılması.....	63
Şekil 7.16. Control Plan Sekmesinin Doldurulması	63
Şekil 7.17. Edit Control Plan Sekmesinin Açılması	65
Şekil 7.18. Edit Control Plan Sekmesinin Standart Kavşak Verilerine Göre Doldurulması	65
Şekil 7.19. Edit Control Plan Sekmesinin Akıllı Kavşak Verilerine Göre Doldurulması ..	65
Şekil 7.20. Master Control Plan Sekmesinin Açılması.....	66
Şekil 7.21. Master Control Plan Sekmesinin Doldurulması	66
Şekil 7.22. Dynamic Scenario Sekmesinin Açılması	67
Şekil 7.23. Dynamic Scenario Sekmesinin Doldurulması	68
Şekil 7.24. Senaryolara Uygun Olarak Analizlerin Yapılması	68
Şekil 7.25. Analizlerinin Toplu Sonuç Gösterimi	68
Şekil 7.26. Yakıt Tüketimi Analizlerin Sonuçları Grafik Gösterimi	69

Şekil 7.27. Gecikme Analizlerin Sonuçları Grafik Gösterimi	69
Şekil 7.28. Hız Analizlerin Sonuçları Grafik Gösterimi.....	69
Şekil 8.1. 10.Yıl Arteri Senaryo Planlaması Detayları	70
Şekil 8.2. Zirve Saat Araç Başlı Gecikme Sonuçları	71
Şekil 8.3. Zirve Saat Dışlı Araç Başlı Gecikme Sonuçları	71
Şekil 8.4. Zirve Saat Ortalama Hız Sonuçları.....	72
Şekil 8.5. Zirve Saat Dışlı Ortalama Hız Sonuçları	72
Şekil 8.6. Zirve Saat Seyahat Süresi Sonuçları.....	73
Şekil 8.7. Zirve Saat Dışlı Seyahat Süresi Sonuçları	73
Şekil 8.8. Zirve Saat CO₂ Salınımı Sonuçları.....	74
Şekil 8.9. Zirve Saat CO₂ Salınımı Sonuçları	74
Şekil 8.10. Zirve Saat NO_x Salınımı Sonuçları	75
Şekil 8.11. Zirve Saat Dışlı NO_x Salınımı Sonuçları	75
Şekil 8.12. Zirve Saat Yakıt Tüketimi	76
Şekil 8.13. Zirve Saat Dışlı Yakıt Tüketimi	76
Şekil 9.1. Endüktif Döngü Dedektör Kurulum Maliyeti	80
Şekil 9.2. Veri İşleme Ve İletişim Ekipmanlarının Kurulum Maliyeti.....	81
Şekil 9.3. Yazılım Geliştirme Ve Entegrasyon Kurulum Maliyeti.....	81
Şekil 9.4. Bakım Ve Destek Kurulum Maliyeti.....	82

1.GİRİŞ

Son on yılda hızla artan nüfus ve buna bağlı olarak araç sayısındaki artış, dünya çapında trafik sıkışıklığına neden olmaktadır. Trafik sıkışıklığının 2030 yılına kadar %60 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Özellikle yaşam alanlarının yoğunlaştığı yerlerde nüfus ile orantılı olarak artan araç sayısı trafikte sıkışıklıklara neden olmaktadır. Trafik sıkışıklığı nedeniyle oluşan zaman kaybı çalışma verimliliğini düşürmekte ve ekonomik zarara neden olmaktadır.

Şehir içi karayollarında oluşan bu taşıt artışları trafik yoğunluğunun artmasına sebep olurken buna bağlı olarak gecikme süresi, seyahat süresi, ortalama hız, kullanılan yakıt miktarı, buna bağlı olarak açığa çıkan karbondioksit miktarı ve azot oksit gibi çeşitli parametreler de artışlar gözlenmektedir. Ortaya çıkan bu maddesel etkilerin yanında insan hayatı üzerinde etkili olan stres, tahammülsüzlük, agresiflik gibi olumsuz psikolojik etkilerin artmasına neden olmaktadır. Şehir içi trafiğinde meydana gelen ölümlü veya yaralamalı kazaların yarıya yakını kavşaklarda meydana geldiği bilinmektedir.

Şehir içi ulaşımında kritik bir yere sahip olan eş düzey kavşaklar, farklı yönlerden gelen taşıtların, yayaların ve seyahat hızı farklı olan motorlu taşıtların birleşim noktası olması nedeniyle tasarım parametreleri ve işletme yöntemlerinin uygunluğu ve güncelliği konusunda önemli noktalardandır. Sinyalize kavşaklarda meydana gelen ortalama taşıt gecikmeleri, yani taşıtların kavşaklarda kendi kontrolünde olmayan nedenlerden dolayı kaybettiği zaman, tüm trafik sistemini etkilemektedir. Sinyalize kavşaklar arasında koordinasyon kurularak kentsel alanlarda trafik yönetim sistemlerinin verimliliği önemli ölçüde değiştirilebilmektedir. Tüm bu durumlar düşünüldüğünde trafik ağlarında ve kavşaklarda yapılacak iyileştirmeler önemli hale gelmektedir.

Şehir içi kavşaklarda oluşan problemlerin azaltabilmek için kavşakların tasarım kriterlerinin yanında uygun işletme yönteminin bulunması ve uygulanması da etkin rol oynamaktadır. Trafik sıkışıklığı sorununu minimum düzeye indirmek için, tasarım kriteri olarak farklı tip kavşaklar kullanılmaktadır. Eş düzey kavşaklar, farklı düzeyli kavşaklar ve son zamanlarda ülkemizde yaygın olarak kullanılmaya başlanan sinyalize dönel kavşaklarda kavşak türlerindendir.

Şehir içi yol ağlarında meydana gelen gecikmeler sinyalizasyon kavşaklarından kaynaklanmaktadır. Bunun sebebi de sinyalizasyon sisteminin trafiğin yoğunluğundan bağımsız olarak çalışmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum trafiğin en yoğun olduğu saatlerde yoğunluğu önlemek yerine daha da arttırmaktadır. Tam tersi durumda ise, trafiğin yoğun olmadığı saatlerde, araçların gereksiz bekleme yapmasına neden olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında eş düzey sinyalizasyon kavşaklarda detektörler yardımıyla sinyalizasyon sürelerinin trafik yoğunluğuna göre değişkenlik göstermesi üzerine farklı senaryolaştırma yöntemleri ile 3 eş düzey kavşağın güzergâh boyunca koordine bir şekilde çalışması planlanmış ve analizler sonucu minimum gecikmenin, minimum seyahat süresinin, ortalama hızın yükseltilmesi, harcanan yakıt miktarının düşürülmesi ve buna bağlı olarak doğaya salınımı gerçekleşen karbondioksit ve azot oksit gazlarının salınım miktarlarının azaltılmaya çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışma kapsamında koordine sinyalizasyon kavşakları ve sinyalizasyon sistemleri üzerine yapılan çalışmaların bir literatür taraması metodolojisiyle derlemesi yapılmıştır. Bu kısımda literatürde yer alan çalışmalara tarih sıralamasına göre yer verilmiştir

Webster'ın ilk çalışmasıyla başlayarak, trafik ışıklarını kontrol etmek için uygun yöntemler geliştirilmiştir (Webster, 1958; Webster ve Cobbe, 1966). Bu çalışmadan sonra, sinyal sürelerini hesaplamak için kullanılan analitik teknikler, performansı artırmak amacıyla sürekli olarak geliştirilmiştir. İngiliz yöntemi olarak da bilinen Webster tekniğinin ardından literatürde bahsedilen ikinci analitik model Avustralya modelidir. Akdoğan (2001) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sinyalizasyon kavşaklarının kontrolünde kullanılabilecek bir kavşak kontrol cihazı tasarlanmıştır.

Bilgisayar teknolojisindeki bu ilerlemeler, trafiğin analiz edilmesinde pek çok yazılım programlarının gelişmesini sağlamıştır. Şu an pek çok ülkede yaygın olarak kullanılmakta olan bazı yazılımlar şunlardır (Öztürk, 2004):

- | | |
|--------------|---------------------------|
| • HCS | • PASSER II-III-IV |
| • HCM/CINEMA | • TRANSYT-7F |
| • SOAP | • SYNCHRO |
| • SIGNAL97 | • CORSIM/NETSIM |
| • SIDRA | • INTEGRATION |
| • EVIPAS | • CORFLO-FREFLO |
| • TEXAS | • CORSIM NETFLO 1&NETFLO2 |

Öztürk ve Bektaş 2004 yılında yaptıkları çalışmada Ankara şehrinin merkezindeki kavşakların gün içerisindeki pik saatlerdeki trafik yoğunluklarını incelenmiştir. Çalışma kapsamında bir matematiksel modül hazırlanarak kavşaklardaki devre sürelerinin tayini yapılarak oluşan trafik yoğunluğuna bağlı araç bekleme sürelerinin azaltılması sağlanmıştır. (Öztürk, Bektaş, 2004)

List & Cetinin 2004 yılında yapmış olduğu çalışmada, sinyalizasyon dönüşümleri sağlanmış kavşakların işletmesinin takip edilebilmesi için Petri Ağları (PN) modelleme yöntemi kullanılmaya çalışılmıştır. Sekiz fazlı yoğun trafik değişimlerinin bulunduğu kavşaklarda uygulanmaya elverişli bir sistemdir. Uygulanan kavşakta trafik işletme kurallarının uygulanabilirliğini test etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. (List, Cetinin, 2004)

Özturan tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada İstanbul boğazında bulunan Fatih Sultan Mehmet Köprüsünde araç geçişleri sırasında gişeler kaynaklı oluşan araç beklemelerinin azaltılması, yakıt kullanımının en aza indirilmesi, yakıt kullanımına bağlı olarak artan zararlı gaz emisyonlarının azaltılması ve insanlar üzerinde stress ve huzursuzluk seviyelerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk kısmında sahadan elde edilen veriler AIMSUN trafik simülasyon ortamına aktarılmış ve trafik akış modeli kurularak analizler gerçekleştirilmiştir. İkinci kısmında ise mevcut gişe tasarımlarına ilaveten yeni tasarımlar önerilmiş ve bu tasarımlara göre AIMSUN programı üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın son kısmında ise gişelerden geçen toplam araç sayısı, nihai gecikme, yakıt kullanımı ve havaya salınan emisyon gazları ile ilgili değerler seçilen modeller üzerinden incelenmiş ve istatistiki analiz yöntemleri ile aralarında performans kriterine göre değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda en iyi iyileşme değerleri ek şeritlerin kaldırıldığı tasarımda oluşmuş yakıt tüketimi %61, gaz emisyonları %76, toplam araç gecikmeleri %95 azalma gösterirken gişelerden geçen araç sayısı %2 oranında artış göstermiştir. (Özturan, 2006)

Demirci'nin 2007 yılında yaptığı çalışmada eş düzey 4 kollu trafik kavşağının bulanık mantık yöntemi aracılığıyla sinyalizasyon sistemi oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında mevcut kavşak verilerinin değerlendirilmesi için veriler öncelikle mevcut konumunda analiz edilmiş sonrasındaysa bulanık mantık yöntemine göre günün belirli saat dilimlerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucu mevcut sinyalizasyon sistemi sadece sabah pik saatlerde bulanık mantık uygulanan analizlere göre %19 daha etkin sonuçlar verirken günün diğer saat dilimlerinde bulanık mantık yöntemi araç başı gecikme ve duraklama sürelerinde %45 ve üstünde değerlerde iyileşme sağlamıştır. (Demirci, 2007)

Kulkarni ve Waingankar'ın 2007 yılında yaptıkları çalışmada belirlenen bir kavşak üzerinde bulanık mantık ve sabit sistem yöntemlerinin analizi için Visual Basic 6 Matlab üzerinde bir prototip tasarım oluşturulmuştur. Bu tasarım üzerinden araçların kavşakta yaşadıkları gecikme sürelerinin iyileştirilmesi için aktarılan verilerin prototip üzerinden analizleri yapılması sağlanmıştır. Analizler sonucu bulanık mantık sinyalizasyon kontrol sisteminin sabit kontrol sistemine göre daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. (Kulkarni, Waingankar, 2007)

Normanyo vd.'nin 2009 yılında yaptığı çalışmada kavşaklarda kullanılan sinyalizasyon sisteminde araçların ve yayaların kontrolünü sağlayan trafik ışık sinyalleri üzerinde bir görüşte bulunulmuştur. 3 ana kategoride yeşil, sarı, ve kırmızı formatında bulunan sinyalizasyon ışıklarının devre sürelerinin kontrolünde Sabit Zamanlı (FT) kontrol sistemi veya Gerçek zamanlı (RT) kontrol sistemi kullanımlarının incelendiği bir çalışma ortaya koymuşlardır. (Normanyo, Dodoo-Quartey, Adetunde, 2009)

Turky vd.'nin 2009 yılında yaptığı çalışmada trafik yoğunluğunun azaltılması konusunda genel olarak kullanılan yöntemlerin dışında kavşağa giren hareketli trafik yüklerinin kontrolüne dayanan akıllı yeşil süreler belirlemek yöntemi ile kavşaklardaki yoğunluğun azalmasına amaçlayan Genetik Algoritma modelini kullanmıştır. Genetik algoritma bilgisayar ortamında farklı tasarımlar, optimizasyon ve ekonomi açısından analizlerin yapılabilmesi yönüyle kritik rol oynamaktadır. Algoritma bir kullanıcı ve denetleyici olmadan çalışmasıyla şeritlere yerleştirilen sensörler yardımıyla elde edilen veriler araç ve yaya trafiğin kontrolünü belirli bir kontrole ihtiyaç duymadan kendi çözümlerini üreterek sinyalizasyon kurallarının yenilenmesine olanak sağlamaktadır. (Turky, Ahmad, Yusoff, Sabar, 2009)

Sheraz vd.'nin 2009 yılında yaptığı çalışmada trafik yüklerini dikkate almayan sabit zamanlı devre süresi tasarımına dayanan geleneksel devre süresi kontrol yöntemlerinin artan trafik yüklerine çözüm olmadığını öngörmüştür. Dinamik trafik yükleri altında sabit olarak kullanılan devre sürelerinin hangi fazın trafik yükünün daha fazla olduğu dikkate alınmadığından uzun yeşil süreler ve dolayısıyla kavşaklarda gecikme, duraklama ve seyahat sürelerinin azaltılması için döngü periyodundan önce sona ermesi gerekmektedir. Bulanık mantık tabanlı kontrol mekanizmalarında ise trafik yüklerinin ihtiyacı olan optimum karar alma yeteneklerinin daha başarılı olduğu kanıtlanmıştır. Bulanık mantık algoritmaları ile bekleme sürelerinde azalma kavşak güvenilirliği ve ekonomiklik performanslarında artışların olduğu gözlenmiştir. (Sheraz, Abbas, Noor, 2009)

Tanyel ve Yayla tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada İzmir ili içerisinde çok şeritli dairesel kavşaklar arasından seçilen kavşakların trafik verileri üzerinden kavşakların kapasite tespit yöntemleri kıyaslanmıştır. Ters öncelik ve aralık zorlamanın etkisi üzerinde durularak bunlara benzer bir bağıntı tavsiye edilmiştir. Tavsiye edilen bağıntı regresyon analizi temeline dayandırılmış ve analiz sonuçları kritik aralık yöntemi ile yapılan analiz sonuçları ile kıyaslanmıştır. (Tanyel, Yayla, 2010)

Kopal tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, İstanbul'un Anadolu'yu Avrupa'ya bağlayan Boğaziçi köprüsünde pik saatlerde katılım kollarında oluşan trafik yüklerinin hafifletilmesi ve trafik hizmet seviyesinin daha iyi bir düzeye gelmesi için yoldaki araç hızlarının düzenlenmesi üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Vissim mikrosimilasyon programı sayesinde modellenen çalışma analiz edilmiş ve mevcut durumda 23,3 km/sa olan araç seyahat hızının 60 km/sa çıkartılmasıyla araç başı gecikme değerlerinde %60, toplam seyahat sürelerinde ise %38 bir iyileşme oluşabileceği tespit edilmiştir. (Kopal, 2011)

Barzegar ve Mehrabian tarafından 2011 yılında çalışmada, ana arter kesişim noktalarında oluşan kavşak birleşim noktalarını kontrol eden yeni bir model sunulmuştur. Model temel olarak kavşakların akıllandırılması ile trafik yoğunluğunu algılayarak tahmini parametreler üzerinden trafik kontrolü sağlayabilmektedir. Elde edilen parametreleri kontrol merkezine iletebilmekte ve kontrol merkezinden de parametre girilebilmektedir. Oluşturulan modelin kontrol edilebilmesi için CPN modelleme aracı kullanılarak olası kusurların giderilmesi ve giriş parametrelerinin değerlendirilmesi fırsatı elde edilmesi sağlanmıştır. (Barzegar, Mehrabian, 2011)

Taha ve Ibrahim 2012 yılında yaptıkları çalışmada trafik yönetim sistemlerinden biri olan bulanık mantık yönteminin analizi ve kontrol edilebilmesi için bir simülasyon sistemi fikrini ortaya koymuşlardır. Oluşturulan sistem ile çok şeritli kavşaklar, izole edilmiş kavşaklar veya koordine bir kavşak ağını inceleyebilmek mümkündür. Sistemde girdi değerleri, trafik akışı, bulanık mantık kuralları oluşturulabilir veya kontrol edilebilir. Analizler sonucu elde edilen değerler incelenerek oluşturulan sistemin verimliliği takip edilebilmektedir. (Taha, Ibrahim, 2012)

Jha ve Shukla'nın 2014 yılında yaptıkları çalışmada Matlab programı üzerinden trafik modeli ve denetleyici bir sistem oluşturmuşlardır. Oluşturulan trafik denetleme arayüzü farklı parametrelerin girilmesi sonucu sistemden tek bir parametre çıkışı sağlamak üzere programlanmıştır. Trafik denetleyicisi bulanık mantık uygulamasını baz alarak Matlab SimEvent paneli üzerinden oluşturulmuş ve trafik işletmesinde geçiş üstünlüğü bulunan araçların dahil olması ile kavşak işletmesinde geçiş üstünlüklerini dikkate alarak sinyalizasyon sistemini değerlendirip değişiklikler yapabilmektedir. (Jha, Shukla, 2014)

Alam ve Pandey 2015 yılında yaptıkları çalışmada trafik kavşaklarında gerçek zamanlı bir kontrol sağlayabilmek için çift aşamalı bir yöntem önermişlerdir. Çalışma alanı olarak seçilen izole edilmiş kavşakta trafik fazlarının ve devre sürelerinin hareketli olarak kontrol edilebilmesi için ilk olarak acil durum karar modülü (TUBM) ve uzatma süresi karar modülü (ETDM) kullanılmıştır. Sistemi oluşturabilmek için Matlab algoritmasında bulanık mantık yöntemi kullanılarak izole bir sinyal kontrol sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan modülde kırmızı ışık sürelerinin belirlenmesi için acil durum karar modülü (TUBM) kullanılmış ve geçen araç sayısı dikkate alınarak yeşil ışık sürelerinin hesaplanmasında uzatma süresi karar modülü (ETDM) kullanılmıştır. Bulanık mantık ile bileştirilen iki kademeli trafik ışık sistemi, kavşak kontrollerine istenen esnekliği sağlamış ve mevcut kullanılan bir çok sistemden daha iyi sonuçlar vermektedir. (Alam, Pandey, 2015)

Li ve Ranjikart tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada bulanık mantık sisteminin kullanımı devam eden VSL kontrol algoritmasına entegrasyonu önerilmiştir. Oluşturulan entegrasyon ile duyarlılık derecesinde kontrol aralık derecesini ayarlayabilmek için keskin kümeler yerine bulanık küme modülleri kullanılarak artış sağlanmıştır. Yapılan iyileştirme sonucunda kritik saat tıkanıklık derecesinde %6,42 ve toplam araç seyahat süresinde %12,39 azalma ile mevcut kullanılan sistemlerden performans olarak daha iyi sonuçlar vermiştir. (Li, Ranjikart, 2015)

İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin gerçekleştirdiği "Akıllı Trafik Yönetim Sistemi" projesi, akıllı trafik kavşakları sayesinde trafik akışının %30 oranında azaltıldığını ve sürücülerin ortalama seyahat sürelerinin %25 oranında kısaltıldığını göstermiştir. Proje, İstanbul'da trafik sıkışıklığının azaltılması ve trafik kazalarının önlenmesi yönünde önemli bir adım olarak nitelendirilmektedir.

Bu proje, İstanbul'daki trafik sorununun yanı sıra dünya genelindeki trafik sorunlarına da çözüm olabilecek bir perspektif sunmaktadır. Özellikle, akıllı trafik kavşaklarının yayaların geçiş güvenliğini artırabileceği ve trafik kazalarını azaltabileceği de belirtilmektedir.

Ayrıca, akıllı trafik kavşaklarının hava kirliliği ve çevreye olan olumsuz etkilerini de azaltabileceği görülmüştür. Bu sayede, çevre dostu bir ulaşım sistemine geçiş sağlanabilir ve şehirlerde yaşayan insanların yaşam kalitesi artırılabilir.

Türkiye'deki bu çalışma, akıllı trafik kavşaklarının trafik akışını daha verimli hale getirdiğini ve sürücülerin trafik kurallarına uyumunu artırdığını tespit ederek, ülkemizde bu teknolojinin kullanımına yönelik farkındalık oluşturulmasına da katkı sağlamaktadır. (İBB, 2016)

Erol tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada, şehir içi güzergah kesişim noktalarında kullanılan sinyalizasyon ve modern dönel kavşaklarda araç başı gecikme ve hız verileri incelenmiştir. İnceleme için seçilen kavşağın Vissim programı üzerinden bir modeli oluşturulmuş ve mevcut durumdaki performans değerleri elde edilmiştir. Kavşağın devre süreleri Transyt-7f programı üzerinden optimize edilerek faz diyagramları değiştirilmiş son hali ile analizler sağlanarak mevcut durumla arada oluşan fark gözlenmiştir. Sinyalizasyon dönel kavşağın geometrik olarak değişiklikleri yapılarak modern dönel kavşak olarak tasarlanmış ve vissim programı ile analizleri sağlanmış ve elde edilen parametreler önceki değerlerle karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında mevcut durumunda modern dönel kavşak olarak kullanılan başka bir kavşağın sinyalizasyon bir kavşak haline çevrilmesi de ikinci olarak analiz edilmiş ve sonuçları mevcut durumdaki değerleri ile kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen ve revizyonları sağlanan kavşaklar arasında trafik hacimleri, ağır taşıt oranı ve sola dönüş oranları temel alınarak 3 adet senaryo oluşturulmuş ve analizler sonucunda elde edilen parametreler kıyaslanmıştır. Nihai olarak çalışma sonucunda modern kavşakların eşik trafik hacmine kadar sinyalizasyon dönel kavşaklardan araç başı gecikme ve hız değerleri bakımından daha iyi olduğu tespit edilmiştir. (Erol, 2018)

Bayata ve Bayrak tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada, Erzurum ve Bingöl illeri arasında bulunan devlet yolu üzerinde Atatürk Üniversitesi merkez kampüsünün yoğunluğunun bulunduğu alanda Karayolları 12.Bölge Müdürlüğü tarafından yapımı planlanan kavşağın trafik verileri üzerindeki etkisi akademik olarak araştırılmıştır. Çalışma kapsamında yapımı planlanan yeni kavşak birleşimi ve mevcut trafik güzergahı Vissim programı üzerinde modellenmiş ve analiz edilerek elde edilen değerler üzerinden karşılaştırılmıştır. Yapılacak olan yeni kavşak planlaması ile toplam araç seyahat süresi ve araç başı gecikme sürelerinde %35 bir iyileşme tespit edilirken, kavşak kuyruklanma uzunluğunda %83 ve doğaya salınan emisyon değerlerinde %23'luk bir iyileşme değeri elde edilmiştir. (Bayata, Bayrak, 2018)

Çalışkaneli 2018 tarafından yapılan çalışmada İzmir, Bursa ve Denizli şehir merkezlerindeki toplam on adet kavşaktan elde edilen verilerle SIDRA analiz programını 22 kullanılarak ideal doygun akım değerleri belirlenmiştir. Bu çalışmaya göre ideal doygun akım değeri 1720 araç/saat/şerit olarak bulunmuştur. (Çalışkaneli, 2018)

Demiriz tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada Erzincan il merkezinde bulunan trafik yoğunluğu yüksek olan 14 kavşak tespit edilmiş ve bu kavşaklar üzerinde geometrik ve sinyalizasyon optimizasyonları sağlanarak kavşak parametreleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Koordine olarak bir hat üzerinde yapılan çalışmada Aimsun programı üzerinden analizler sağlanmıştır. 7 kavşakta geometrik optimizasyon sağlanırken 7 kavşakta ise sinyal süresi optimizasyonu ile analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu en iyi sonuçların alındığı koordine kavşak kombinasyonunu sağlamak için 4 farklı senaryoda AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi ile en ideal işletme yönteminin tespiti sağlanmıştır. Değerlendirmeler sonucunda toplam seyahat sürelerinde %23, araç başı gecikme sürelerinde %47, ortalama hız değerlerinde %30, kavşak kuyruklanma uzunluklarında %48, CO₂ salınım miktarında %13 ve NO_x salınım miktarlarında %11 oranında iyileşmeler tespit edilmiştir. (Demiriz, 2019)

Ozan, Başkan ve Mutlu tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada şehir içi trafik kavşaklarından en çok kullanımı mevcut olan denetimsiz eş düzey kavşakların performanslarının iyileştirilmesi için Aydın Adnan Menderes Üniversitesi etrafında yer alan 3 denetimsiz eş düzey kavşağın SIDRA programı üzerinden modellemesi yapılmış ve performans kriterleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Optimizasyon için araç başı gecikme süreleri ve kavşak doygunluk dereceleri dikkate alınmış ve farklı senaryolar üzerinden çözüm yolları denenmiş ve SIDRA programında modellemeleri yapılarak analiz sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen analiz parametreleriyle kavşak performanslarında %38 ile %50 arasında bir optimizasyon değerine ulaşılmıştır. (Ozan, Başkan, Mutlu, 2020)

Karaoğlu tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada Denizli ili Pamukkale ilçesi şehir merkezinde bulunan 3 eş düzey koordine kavşağın trafik verilerinin iyileştirilmesi için optimizasyon yapılmıştır. Şehir içi aynı güzergahta bulunan kavşakların geometrik olarak bant genişlik değerlerinin optimizasyonu, sinyalizasyon olarak aynı hat üstünde bulunan kavşakların arasındaki faz planlamalarının, ofset ve devre sürelerini optimizasyonun sağlanmıştır. Elde edilen değerler oluşturulan senaryoların ve mevcut durumdaki hallerin kıyaslanabilmesi için Synchro analiz programı yardımı ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda araç başı gecikme sürelerinde %30'a varan iyileşmelerin olabileceği tespit edilmiştir. (Karaoğlu, 2021)

Demircioğlu 2021 yılında yaptığı çalışmada Erzincan İlinde bulunan koordine 7 trafik kavşağının geometrik ve sinyalizasyon optimizasyonlarının sağlanması şeklinde 7 farklı senaryo üzerinden incelemeler yapılarak değerler Aimsun bilgisayar programına girilerek CO₂ salınımı, gecikme süresi, VOC salınımı, kuyruk uzunluğu, NOx salınımı, hız, bekleme süresi ve seyahat süresi gibi kriterlerin iyileştirilmesi ölçülmüştür elde edilen değerler Topsis Yöntemi ile değerlendirilmiştir. Analizler sonucu farklı değerlendirme ölçütlerinde farklı senaryolar ile %38 den %2 ye kadar bir iyileşme sağlanmasının mümkün olduğu gözlenmiştir. (Demircioğlu, 2021)

Dinç 2021 yılında yaptığı çalışmada, Eskişehir ilindeki yapığı çalışmada koordine sinyalizasyon kavşakların akıllı kavşaklar haline getirilmesiyle zirve saatlerde seyahat sürelerinde 22 saatlik bir iyileşmenin olabileceğini tespit etmiştir. Buna bağlı olarak zirve saatte yakıt tüketiminde 32,82lt, CO₂ salınımında 73,28 kg iyileşmenin mümkün olduğunu tespit etmiştir. (Dinç, 2021)

Hisar 2022 yılında yaptığı çalışmada Manisa İli Salihli İlçesinde bulunan iki kavşağın sabah ve akşam pik saatlerde ölçümleri sonucu elde edilen veriler webster yöntemiyle incelenerek farklı senaryo yöntemiyle kavşaklar üzerinde iyileşme elde edilmeye çalışmıştır. 1-Senaryo: Trafik akımlarını yönler arasında arttırıp azaltmak yolu ile farklı durumlar incelenmiş 2-Senaryo da ise yeşil ışık süreleri üzerinden +3,-3 +6,-6 -9+9 gibi değişiklikler yapılarak iyileşme sonuçları analiz edilmeye çalışılmıştır. Farklı senaryo ve yöntemlere göre ortalama gecikme sürelerinde %93 den %1 e kadar farklı durumlar karşında iyileşmeler sağlandığı tespit edilmiştir. (Hisar 2022)

3. SİNYALİZASYON SİSTEMLERİ

Sinyalizasyon sistemleri taşıt ve yaya akımlarının ışıklı işaretler ile bilgilendirilerek geçiş sıralarının ve zamanlarının düzenlenmesini sağlayan sistemlerdir. Hem yaya ve taşıt güvenliğinin sağlanması, hem de kavşak kapasitesinin arttırılmasında sinyalizasyon sistemlerinin rolü önemlidir. Kazalara da sebep olan olumsuz etkileri en aza indirmek için ışıklı kavşak tasarımının doğru bir şekilde yapılması ve en uygun şekilde işletilmesi gerekmektedir. Trafik ışıkları ile kontrol edilen kavşaklara sinyalize kavşak denmektedir.

Sinyalize kavşaklar, birbirine yakın ve komşu olma durumlarına göre aralarında koordinasyon sağlanabilmektedir. Kavşaklar arasındaki mesafe kısmen uzak olduğunda kavşaklar izole yani birbirinden bağımsız olarak çalıştırılmaktadır. Aynı hat üzerinde trafik işletmesinin birlikte birbirine bağlı olarak yapılan kavşaklar bütününe koordine kavşak denmektedir.

3.1. İzole Sinyalizasyon Sistemleri

İzole sinyalizasyon sistemleri; kavşağın tek başına kontrol edildiği, bir kavşağın kendisinden önceki veya sonraki kavşaklarla ilişkilendirilmeyen sinyalizasyon sistemleridir. İzole sinyalizasyon sistemleri 4 ana başlık altında incelenmektedir.

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

3.1.1. Sabit Zamanlı sinyalizasyon Sistemi

Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sisteminde çeşitli yönlerden kavşağa yaklaşan araç ve yayalara, önceden hazırlanan zaman planlarına göre geçiş hakkı tanımlanmaktadır. Sabit zamanlı sinyalizasyon sisteminde kavşak genelindeki devre süreleri ölçümü yapılan trafik yükleri üzerinden yapılan analizler sonucunda elde edilerek uygulamaya alınmaktadır.

3.1.2. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sisteminde taşıtların geçiş hakkı, sıra ve süreleri kavşak yaklaşım kollarına yerleştirilen algılayıcılar (detektörler) yardımıyla trafik parametrelerindeki değişiklikler doğrultusunda düzenlenmektedir. Bu sistem de iki türe ayrılmaktadır.

- Yarı Uyarmalı Trafik Sistemler
- Tam Uyarmalı Trafik Sistemler

3.1.2.1 Yarı Uyarmalı Trafik Sistemleri

Yarı Uyarmalı Trafik Sistemlerinde, ana yol akımını sürekli olarak yeşil ışık ile akımın sağlandığı sistemde yan tali yol bağlantılarına yerleştirilen sensörler yardımıyla bir katılım talebinin alınması ile ana yoldaki akış durdurulur. Tali yola verilen yeşil süre ana yola katılan araç sayısına bağlı olarak anlık olarak tespit edilerek belirlenir.

3.1.2.2. Tam Uyarmalı Trafik Sistemleri

Tam Uyarmalı Trafik Sistemlerinde, ana yol ve tali yollar üzerindeki trafik değerleri yol üzerine yerleştirilen sensörler yardımıyla anlık olarak tespit edilir. Yapılan tespitler sonucunda trafik ve yaya yoğunluğu dikkate alınarak değişiklik gösterecek şekilde programlanır. Tam uyarmalı sistemler trafik verilerini kavşaklardaki dinamik etkilere göre anlık kararlar doğrultusunda belirledikleri için kavşaklardaki performans değerleri en optimum seviyede tutulan sistemlerdir.

3.1.3. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi, kavşaklarda anayol ve tali yol üzerinden yayaların geçişi için oluşturulan yaya geçitlerinin uzak olması durumlarında anayol ve tali yol birleşim yerlerinde güvenli geçiş sağlanabilmesi için yayalar tarafından bir buton yardımıyla tetiklenmesi üzerine devre süresinde geçişe izin verecek duraklamaların oluşturulduğu sistemlerdir.

3.1.4. El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi

El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi, trafik akımının gün içinde fazla değişiklik göstermediği ana yol veya tali yollar üzerinde kurulan sabit zamanlı olarak belirlenen devre sürelerine ani olarak artan trafik hacim değerlerinde trafik akışının rahatlatmak ve trafiği kontrol edebilmek için sisteme yol kenarından bir kontrol paneli yardımıyla müdahale edilebildiği sistemlerdir.

3.2. Koordine Sinyalizasyon Sistemleri

Koordine sinyalizasyon sistemleri, ulaşım ağı üzerinde birbirine yakın mesafede bulunan kavşakların yönetilmesinde, kavşak yönetim parametrelerinin birbiri ile bağlantılı olarak seçilmesi ile kavşak değerlerinin araç başı gecikme, duraklama sayısı ve ortalama hızların iyileştirilmesi için uygulanan sinyalizasyon sistemleridir. Sistemin amacı trafik yükünü kavşaklara olarak dağıtmak ve kademeli olarak (belirli bir seyahat süresi ile) trafik sağlamaktır.

Kavşaklar arasında organizasyon sağlanabilmesi için kullanılan yöntemlerden kavşakların sinyalizasyon devre sürelerinin birbirine denk veya tam katı olması yaygın kullanılan bir yöntemdir. Böylece kavşaklar arasındaki zaman kaymaları engellenmiş olur

Özellikle birbirine yakın mesafede olan kavşaklar için (800 m ve altında) sinyal koordinasyonunun temel amaçları

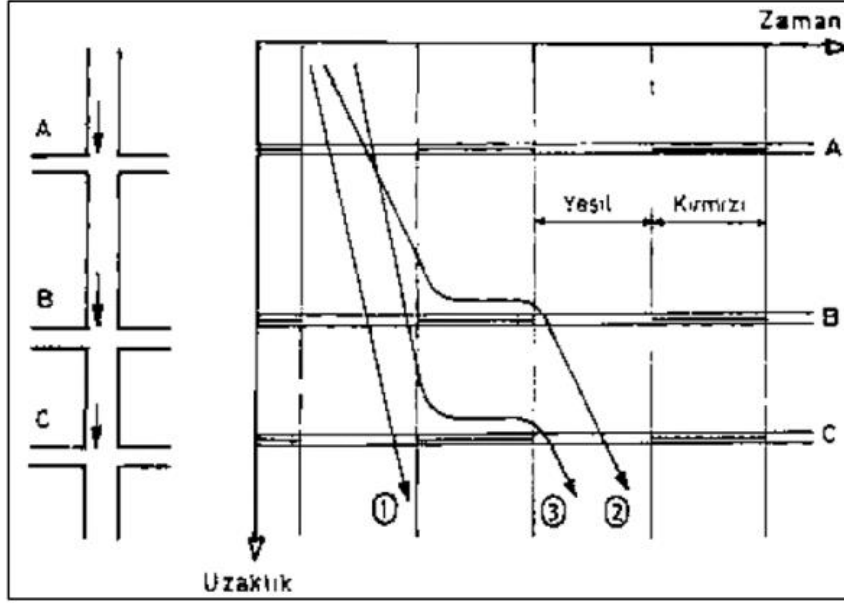
- Taşıtların gecikme ve yakıt tüketimlerini azaltmak
- Arter boyunca etkin bir akış sağlamak
- Kavşak-arter-ağ kapasitesini artırmak
- Kavşaktaki taşıt kuyruğu oluşumunu azaltmak
- Taşıtların hızlarını kontrol etmek
- Taşıtların küme biçiminde hareket etmesini sağlamaktır.

Koordine sinyalizasyon sistemleri dört grupta incelenir. Bunlar;

1. Senkronize Sistem;
2. Alternatif Sistem;
3. Progresif Sistem;
4. Alansal Trafik Kontrol Sistemidir.

3.2.1. Senkronize Sistem

Senkronize Sistemde, tüm bağlantılı çerçevelerde, ana yol karşısındaki araç aynı zamanda senkronize sistem uyarınca aynı ışık sinyalleri yayar. Aynı hat üzerindeki kavşaklar arasında organizasyonun için gerekli olan ofset süresi burada yoktur. Kavşakların birbiri arasındaki mesafenin yakın olması ve ana akım yönündeki trafik değerleri yüksek olmasından dolayı trafik akımlarının yeşil ışık sürelerinin uzun olması durumunda tercih edilmektedir.



Şekil 3.1. Senkronize sistemin uzaklık-zaman diyagramı

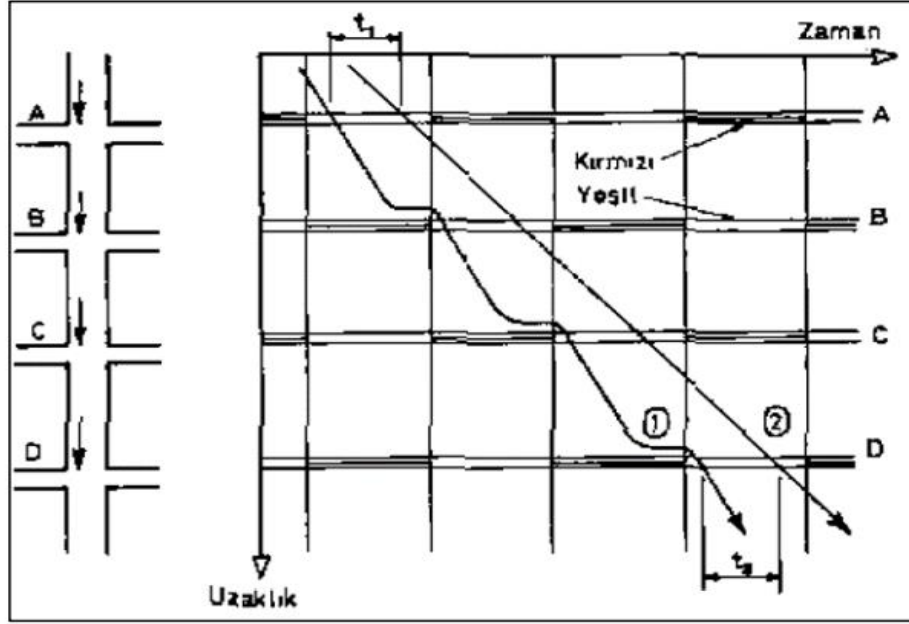
Kaynak: (Yiğit, 2019)

Şekil 3.1’de bir aynı güzergah üzerinde optimizasyon sisteminde sinyalizasyonu ayarlanmış üç kavşak yer almaktadır. Proje hızıyla seyreden (1) numaralı taşıt her üç kavşaktan da yeşil ışık süresinde geçmektedir. (2) numaralı araç ise (A) kavşağındaki trafik ışığından geçtikten sonra (B) kavşağında kırmızı trafik ışığında duraklamak zorunda kalmaktadır. İlk durumda diğer iki taşıtın gerisinde bulunan (3) numaralı taşıt ise daha hızlı gittiği için (A) kavşağında (2) numaralı taşıtı geçerek (B) kavşağındaki yeşil ışığa yetişebilmektedir.

Senkronize sistemler yukarıda Şekil 1’de uzaklık- zaman diyagramıyla örneği verildiği araçların kırmızı sürelerle yakalanmamak için ana yol üzerinde daha hızlı seyir etmeye yöneltmektedir. Yüksek trafik akım değerlerinin bulunduğu yollarda tali yollara geçiş hakkı vermek için sürenin az tutulmasına ve tali yollarda kuyruklanma değerlerinin artmasına sebep olurken artan hızlar sebebiyle şehir içi yollarda taşıt ve yaya güvenliği açısından riskli durumların oluşmasına sebep olabilmektedir.

3.2.2. Alternatif Sistem

Alternatif sistemler ana arterler üzerinde bulunan kavşakların koordine olarak birbirleri ile organize olarak çalışması temeline dayanır. Çalışma prensibi olarak art arda gelen kavşakların devre sürelerini ayarlanması aşamasında birbirleri ile zıt sinyaller vererek taşıtların hareketleri sırasında iki kavşak arasında bulunan mesafeyi devre süresinin yarısı kadar sürede alması ile ana akım üzerindeki hızın kontrol altında tutulması amaçlanmıştır.



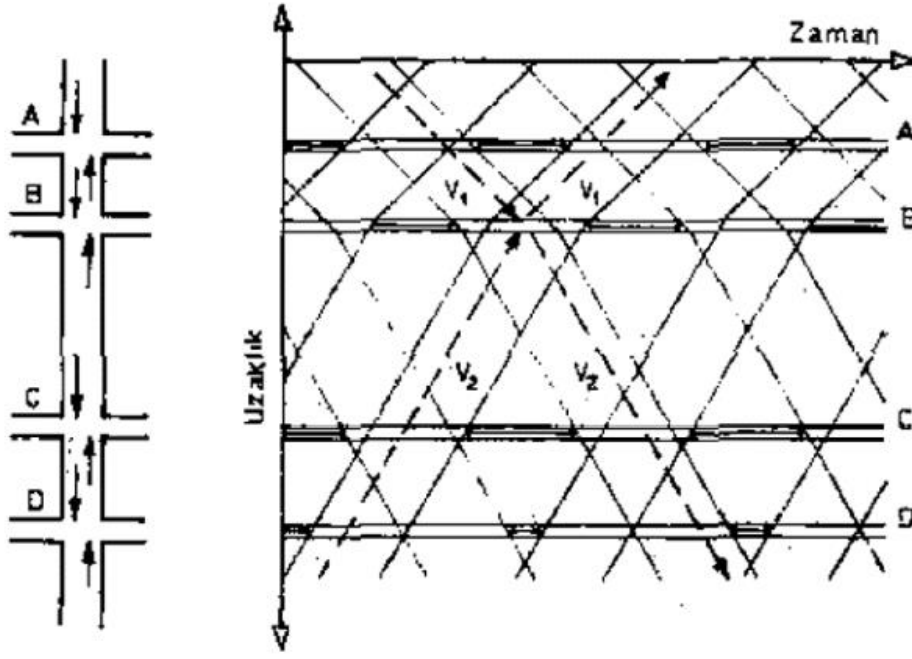
Şekil 3.2. Alternatif sistemin uzaklık-zaman diyagramı

Kaynak: (Yiğit, 2019)

Şekil 3.2’de bir ana yol üzerinde alternatif sistemde sinyalizasyon edilmiş dört kavşak yer almaktadır. (2) numaralı taşıt, sabit hızla seyir ederek bütün kavşaklarda yeşil sürede geçiş sağlayarak dört kavşaktan bekleme zamanı kaybetmeden geçmiştir. (1) numaralı taşıt ise kalkışından sonra yüksek hızla seyretmekte olup her kavşakta kırmızı süreye takılarak duraklamak zorunda kalmıştır. (A) kavşağında (1) numaralı taşıt ile (2) numaralı taşıt arasındaki mesafe t_1 kadar iken (D) kavşağı sonunda bu mesafe t_1 olarak korunmuştur. Alternatif sistemde hızlı giden araçların kavşaklarda duraklama zorunda olmasından dolayı araçların hızlarını kontrol altında tutmayı amaçlamaktadır.

3.2.3. Progresif Sistem

Progresif sistemler ana arterler üzerinde bulunan kavşakların koordine olarak birbirleri ile organize olarak çalışması temeline dayanır. Çalışma prensibi olarak art arda gelen kavşakların devre sürelerini ayarlanması aşamasında birbirleri ile aynı sinyalleri vererek taşıtların hareketleri sırasında iki kavşak arasında bulunan mesafeyi ofset süresinde giderek proje hızına uygun hareket eden araçların bütün kavşaklardan bekleme yapmadan geçebilmesini amaçlanmıştır.



Şekil 3.3. Progresif sistemin uzaklık-zaman diyagramı

Kaynak: (Yiğit, 2019)

Şekil 3.3'te bir ana yol üzerinde progresif sistemde sinyalizasyon edilmiş dört kavşak yer almaktadır. Taşıtların hat boyunca uyması gereken 2 farklı proje hızı kullanılmıştır. İlk iki kavşak arasında araç proje hızı V_1 iken ikinci kavşak ve sonrasındaki kavşaklar arasında araç proje hızları V_2 olarak planlanmıştır. (A) kavşağında yola çıkan bir araç (B) kavşağına kadar V_1 hızı ile seyir ederken (B) kavşağından sonra hızını V_2 'ye arttırıp sabit tutarak devam etmesi durumunda (C) ve (D) kavşaklarında bekleme süresine maruz kalmadan yoluna devam edebilmektedir. Tam ters istikametten yola başlayana bir diğer taşıt ise ilk baştaki hızını V_2 olarak güzergâhta yola başlaması durumunda (D), (C) ve (B) kavşaklarından beklemeden geçerken hızını (B) ve (A) kavşakları arasında V_1 e düşürerek (A) kavşağından da beklemeden geçiş yapabilmektedir. Progresif sistemlerdeki araçların bir hat boyunca yeşil ışıklarda duraklamadan geçtiği sistem “yeşil dalga” uygulaması denilmektedir.

3.2.4. Alansal Trafik Kontrol Sistem

Çeşitli yönlerde seyahat eden tellerin aynı anda yönetilmesini sağlayan koordine edilmiş bir sinyal sistemi, bir araç trafik kontrol sistemi olarak bilinir. Şehir taşımacılığının arterleri, çok sayıda geçiş yönüne sahip olduğu biliniyor. Diğer koordinat işaretleme teknikleri bu durumlarda yetersiz olduğu için, bilgisayar kontrolü alan trafik kontrol sistemleri kullanılır. Yerel trafik kontrol sistemi tarafından belirlenen alanın sınırları içinde, sensörler çerçeveye monte edilir. Sonuç olarak, merkezi bilgisayar sürekli veri akışı alır, trafik hacmi değerleri sürekli olarak izlenir ve trafik etkili bir şekilde ele alınır.

Alansal trafik kontrol sistemi, kavşakların tüm sinyal planlarını tek bir merkezden yönetilmesini sağlamaktadır. Günün farklı zamanlarında değişen sinyal planları hazırlanabilmektedir, zamandan ve maliyetten kazanç sağlamaktadır. Kavşak etkinliği sürekli olarak takip edilerek olası bir arıza ve kesilme durumlarının hızla fark edilmesine olanak verir, toplu taşıma sistemlerinin geçişlerine uygun olarak planlanabilmektedir.

4. AKILLI TRAFİK KAVŞAKLARI

Akıllı trafik kavşakları, ileri teknolojileri, veri analitiği ve iletişim sistemlerini kullanarak trafik akışını optimize etmek ve kavşaklarda güvenliği artırmak için akıllı ulaşım sistemlerinin (AUS) önemli bir bileşenidir. Dünya genelinde kentsel alanların sürekli olarak büyümesiyle birlikte, trafik sıkışıklığını yönetmek, yol güvenliğini sağlamak ve ulaşımın çevresel etkisini en aza indirmekle ilgili zorluklar giderek daha önemli hale gelmektedir. Akıllı trafik kavşakları, trafik akışını optimize etmek, seyahat süresini azaltmak ve genel yol güvenliğini iyileştirmek için yenilikçi çözümler sunarak bu zorluklara yanıt vermektedir.

Son yıllarda, akıllı trafik kavşakları kavramı hükümetler, ulaşım ajansları, teknoloji sağlayıcıları ve genel halk arasında önemli bir ilgi çekmektedir. Bu artan ilgi, hızlı kentsel dönüşüm, artan araç sahipliği ve değişen hareketlilik modellerinden kaynaklanan karmaşık sorunlarla başa çıkmak için geleneksel trafik yönetimi yaklaşımlarının yetersiz olduğunun fark edilmesinden kaynaklanmaktadır. Yapay zeka (AI), Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Araçtan-Herşeye (V2X) iletişim gibi son teknolojileri entegre ederek akıllı trafik kavşakları, şehir ulaşım ağlarının verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için etkili bir yol sunmaktadır. Ayrıca, paylaşımlı mobilite hizmetleri, otonom araçlar ve toplu taşıma dahil olmak üzere çeşitli ulaşım seçeneklerinin yönetimine ve entegrasyonuna da önemli katkılar sağlamaktadırlar.

Doğrudan faydalarının yanı sıra, akıllı trafik kavşakları akıllı şehirlerin daha geniş hedeflerine de katkıda bulunur. Trafik akışını optimize ederek ve seyahat sürelerini azaltarak, bu kavşaklar kentsel sakinlerin genel yaşam kalitesini artırabilir, ekonomik kalkınmayı teşvik edebilir ve ulaşımın çevresel etkisini en aza indirebilir. Dünya genelinde şehirler akıllı ulaşım sistemleri ve diğer akıllı şehir girişimlerine yatırım yapmaya devam ettikçe, akıllı trafik kavşakları kentsel hareketliliğin geleceğini şekillendirmede merkezi bir rol oynamaya hazırdır.

4.1. Geleneksel Trafik Kavşakları ve Karşılaşılan Zorluklar

Geleneksel trafik kavşakları, genellikle trafik sinyalleri, dur işaretleri ve diğer altyapıların kurulumunu gerektiren karmaşık bir yapıdır. Bu kavşaklar sıklıkla trafik sıkışıklığına neden olur ve zaman zaman hava kirliliğini artırabilir. Ayrıca, sürücülerin kavşaklarda bekletilmeleri zaman ve yakıt kaybına neden olur. Geleneksel trafik kavşakları ayrıca, sürücüler için kör noktalar yaratabilir ve bu da diğer araçları, yaya veya bisikletleri görülmesini zorlaştırabilir.

Karşılaşılan zorluklar 4 temel başlıkta incelenebilir;

- a) Trafik sıkışıklığı ve gecikmeleri
- b) Güvenlik endişeleri
- c) Çevresel etki
- d) Kaynakların verimsiz kullanımı

4.1.1 Trafik Sıkışıklığı Ve Gecikmeler:

Geleneksel kavşaklarda trafik akışı trafik sinyalleri tarafından düzenlenir ve bu yoğun saatlerde önemli gecikmelere neden olabilir. Bu durum bir kavşağın kapasitesinin yeşil ışık aşamasında geçebilecek araç sayısı ile sınırlı olmasından kaynaklanır. Araçların dönüş yaparken veya kırmızı ışıkta dururken diğer araçlar tarafından bloke edilmesi de trafik sıkışıklığına neden olabilir. Sonuç olarak sürücüler için daha uzun bekleme süreleri ve daha uzun seyahat süreleri anlamına gelebilir.

4.1.2 Güvenlik Endişeleri:

Geleneksel kavşaklar, özellikle yüksek trafik hacmine veya kötü yol tasarımına sahip kavşaklarda araçlar, yaya ve bisikletler arasında çarpışmalara neden olabilir. Örneğin, uygun işaretlerin, aydınlatmanın ve yaya geçitlerinin eksikliği kazaların riskini artırabilir. Ayrıca, geleneksel kavşakların tasarımı sürücüler için kör noktalar yaratabilir ve bu da sürücülerin diğer araçları, yaya veya bisikletleri görmelerini zorlaştırabilir.

4.1.3 Çevresel Etki;

Geleneksel kavşaklar, gürültü ve hava kirliliğini artırarak çevre üzerinde olumsuz etkiye sahip olabilir. Kırmızı ışıklarda bekleyen arabalardan kaynaklanan tehlikeli kirleticiler, karbon monoksit, azot oksitleri ve partikül madde gibi artan emisyonlar oluşturabilir. Ayrıca, artan trafik hacmi ile birlikte artan gürültü seviyeleri, yakındaki insanları rahatsız edebilir.

4.1.4 Kaynakların Verimsiz Kullanımı:

Geleneksel kavşaklar, çok sayıda dur işareti, trafik lambası ve diğer altyapıların kurulumunu gerektirdiği için inşa edilmesi ve bakımı maliyetli olabilir. Ek olarak, sürücülerin kavşaklarda beklediği zaman ve yakıt kaybolmaktadır çünkü bu süreyi diğer görevler veya etkinlikler için kullanabilirler. Bu verimsizlik, işletmeler ve hükümet kurumları için artan maliyetlere neden olabilir, çünkü kavşaklardaki trafik akışını yönetmek için ek kaynaklar sağlamaları gerekebilir.

4.2. Akıllı Trafik Kavşakları ve Kavşakları Oluşturan Bileşenler

Akıllı trafik kavşakları, trafik akışını optimize eden, güvenliği artıran ve emisyonları azaltan bir ulaşım teknolojisidir. Bu kavşaklar, sensörler ve kameralar gibi teknolojileri kullanarak gerçek zamanlı verileri analiz eder ve trafik sinyallerinin zamanlamasını ayarlayarak trafik akışını optimize eder. Ayrıca, dinamik rota algoritmaları kullanarak araçları daha az yoğun rotalara yönlendirerek trafik birikimini ve sıkışıklığı azaltabilirler. Bu teknolojiler, trafik sensörler ve kameralardan gelen verilerin gerçek zamanlı olarak analiz edilmesinde, trafik koşullarının izlenmesinde, sinyal zamanlamasının ayarlanmasında ve çarpışma önleme sistemlerinde kullanılır. Akıllı trafik kavşakları, sürdürülebilir ulaşımı teşvik eder, trafik sıkışıklığını azaltır ve güvenliği artırırken aynı zamanda maliyetleri düşürür. Bu teknoloji, modern şehirlerin ulaşım zorluklarına bir çözüm sunarak daha yaşanabilir ve sürdürülebilir bir gelecek için umut verici bir adımdır. Akıllı trafik kavşaklarının bileşenleri 5 temel başlık altında inceleyebiliriz;

- a) Trafik sensörler ve kameralar
- b) İletişim sistemleri
- c) Veri analitiği ve işleme
- d) Akıllı trafik sinyalleri
- e) Diğer ulaşım sistemleriyle entegrasyon

4.2.1 Trafik Sensörler Ve Kameralar:

Sensörler ve cihazlar trafik akışını izlemek ve herhangi bir anormallik veya sıkışıklık tespit etmek için kullanılır. Ayrıca, kazalar veya yol hasarı gibi olayları tespit etmek ve yetkilileri uyarmak için de kullanılabilir.

4.2.2 İletişim Sistemleri:

İletişim sistemleri kavşağın farklı bileşenlerinin birbirleriyle gerçek zamanlı olarak iletişim kurmasını sağlar. Bu, trafik sinyalleri, sensörler, kameralar ve diğer cihazlar arasındaki iletişimi içerir. Ayrıca, toplu taşıma veya acil durum hizmetleri gibi diğer ulaşım sistemleriyle de iletişim kurmalarına izin verirler.

4.2.3 Veri Analitiği Ve İşleme:

Sensörler ve kameralar tarafından toplanan büyük veri hacimlerine anlam kazandırmak için veri analizi ve işleme yöntemlerini kullanır. Bu verilerdeki kalıpları, trendleri ve anormallikleri belirleyerek, karar vericiler daha iyi bilgilendirilmiş kararlar alabilir ve trafik akışını iyileştirebilirler.

4.2.4. Akıllı Trafik Sinyalleri:

Akıllı trafik sinyalleri, gerçek zamanlı veri ve analitiklere dayanarak zamanlama ve fazlanma sürelerini değiştirerek trafik akışını iyileştirir. Trafik akışını yönetmek için, diğer kavşak bileşenleriyle de iletişim kurabilirler.

4.2.5. Diğer Ulaşım Sistemleriyle Entegrasyon:

Akıllı trafik kavşakları, toplu taşıma gibi diğer ulaşım sistemleriyle entegre edilerek genel ulaşım verimliliğini artırabilir ve sıkışıklığı azaltabilir. Bu bileşenlerin birleştirilmesiyle birlikte, akıllı trafik kavşakları trafik akışını daha iyi yönetebilir, sıkışıklığı azaltabilir ve sürücüler, yaya ve bisiklet sürücüleri için güvenliği artırabilir.

Akıllı trafik kavşakları, geleneksel trafik kavşaklarından farklı olarak, veri toplama ve analizine dayalı olarak trafik akışını optimize edebilir. Trafik sensörler ve kameraları sayesinde trafik akışı anlık olarak takip edilerek, trafik sıkışıklığı, kazalar ve diğer olaylar hakkında bilgi toplanabilir. Bu veriler, iletişim sistemleri aracılığıyla diğer bileşenlere aktarılır ve veri analitiği ve işleme yöntemleriyle verilerin anlam kazanması sağlanır.

Veri analitiği ve işleme, sensörler ve kameralar tarafından toplanan verilerin kalıplarını, trendlerini ve anormalliklerini belirleyerek, karar vericilerin daha iyi bilgilendirilmiş kararlar almasını sağlar. Akıllı trafik sinyalleri, gerçek zamanlı veri ve analitiklere dayanarak akıllı ve optimize edilmiş zamanlama ve fazlama süreleri kullanarak trafik akışını iyileştirir.

Akıllı trafik kavşakları, yalnızca trafik akışını optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda diğer ulaşım sistemleriyle de entegre olabilir. Bu, toplu taşıma veya acil durum hizmetleri gibi diğer ulaşım sistemleriyle iletişim kurarak, genel ulaşım verimliliğini arttırır ve sıkışıklığı azaltır.

Akıllı trafik kavşakları, geleneksel trafik kavşaklarına kıyasla daha fazla veri toplayarak, daha iyi kararlar alınmasını sağlar. Bu da, trafik akışının optimize edilmesi, sürücülerin, yaya ve bisiklet sürücülerinin güvenliği ve genel ulaşım verimliliğinin artırılması anlamına gelir.

4.3. Kavşaklarda Geliştirilen Teknolojiler Ve Yenilikler:

Akıllı trafik kavşakları, sensörler, kameralar ve yapay zeka gibi teknolojileri kullanarak trafik akışını optimize eden, güvenliğini artıran ve emisyonları azaltan yenilikçi bir ulaşım teknolojisidir. Bu teknolojiler, geleneksel trafik kavşaklarının zorluklarını aşarak daha sürdürülebilir, verimli ve güvenli bir ulaşım sistemi oluşturmak için potansiyel bir adımdır.

Son yıllarda, trafik kavşaklarında kullanılan teknolojiler geliştirilerek daha akıllı ve verimli bir ulaşım sağlanması hedeflenmektedir. Akıllı trafik kavşakları, trafik akışını optimize etmek için gerçek zamanlı sensörler, kameralar ve yapay zeka gibi teknolojiler kullanarak sürücülerin trafikte harcadığı zamanı ve yakıt tüketimini azaltabilir. Ayrıca, trafik kazaları ve diğer güvenlik sorunlarına karşı çözümler sunarak sürücülerin güvenliğini artırabilir. Bu nedenle, akıllı trafik kavşakları, modern şehirlerin ulaşım zorluklarına çözüm sunarak daha yaşanabilir ve sürdürülebilir bir gelecek için umut verici bir adımdır. Akıllı kavşaklardaki gelişmeleri 5 temel başlık altında inceleyebiliriz;

- a) Yapay zeka ve makine öğrenimi
- b) Nesnelerin İnterneti (IoT)
- c) Araçtan-Herşeye (V2X) iletişimi
- d) Edge hesaplama
- e) Bilgisayarlı görüş

4.3.1. Yapay Zeka Ve Makine Öğrenimi

Yapay zeka ve makine öğrenimi, trafik sensörleri ve kameralardan toplanan verilerin gerçek zamanlı olarak analiz edilmesinde kullanılır. Bu veriler, mevcut trafik koşullarına göre trafik sinyal zamanlamalarının ayarlanmasıyla trafik akışını optimize etmek ve sıkışıklığı azaltmak için kullanılabilir.

4.3.2. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin İnterneti (IoT), fiziksel cihazların, araçların ve altyapının birbirine bağlanarak veri alışverişinde bulunabildiği bir ağa işaret eder. Akıllı trafik kavşaklarında, IoT teknolojisi farklı sistemleri ve cihazları bağlamak için kullanılır, bu da trafik koşullarının gerçek zamanlı izlenmesine ve analiz edilmesine olanak tanır.

4.3.3. Araçtan-Herşeye (V2X) İletişimi

Araçtan-Herşeye (V2X) iletişimi, araçların diğer araçlar, yaya ve altyapıyla iletişim kurabilme yeteneğine işaret eder. Bu teknoloji, sürücülerin olası tehlikeler hakkında uyararak ve çarpışmaları önlemelerine yardımcı olarak güvenliğini artırmak için kullanılabilir.

4.3.4. Edge Hesaplama

Edge hesaplama, verilerin merkezi bir veri merkezine gönderilmeden kaynağa yakın işlendiği bir hesaplama altyapısıdır. Akıllı trafik kavşaklarında, edge hesaplama trafik sensörleri ve kameralarından toplanan verilerin gerçek zamanlı olarak işlenmesinde kullanılabilir, bu da daha hızlı yanıt süreleri ve daha doğru trafik yönetimi için gereklidir.

4.3.5. Bilgisayarlı Görü

Bilgisayarlı görüş, trafik sensörleri ve kameralarından gelen görüntü ve video verilerinin analiz edilmesinde kullanılır. Bu teknoloji, gerçek zamanlı olarak olayları ve tehlikeleri tespit etmek için kullanılabilir, bu da daha hızlı yanıt süreleri ve daha iyi güvenlik sağlar.

Genel olarak, akıllı trafik kavşaklarında bu ileri teknolojiler ve yeniliklerin kullanımı, başarıları için önemlidir. Bu teknolojileri kullanarak, akıllı trafik kavşakları trafik akışını optimize edebilir, güvenliğini artırabilir ve emisyonları azaltabilir. Bu, modern şehirlerin karşı karşıya kaldığı ulaşım zorlukları için umut verici bir çözüm yapar.

4.4. Akıllı Trafik Kavşaklarının Faydaları:

4.4.1. Uyarlanabilir Sinyal Kontrolü ve Dinamik Rotalama ile Trafik Akışının İyileştirilmesi ve Sıkışıklığın Azaltılması:

Akıllı trafik kavşakları, sensörler ve kameralardan gelen gerçek zamanlı verileri kullanarak trafik sinyali zamanlamasını ayarlayarak trafik akışını optimize eder. Ayrıca, dinamik rota algoritmaları kullanarak araçları daha az yoğun rotalara yönlendirebilir, trafik birikimini ve sıkışıklığı azaltabilirler.

4.4.2. Gerçek Zamanlı Çarpışma Önleme ve Erken Uyarı Sistemleri ile Sürücüler, Yaya ve Bisiklet Sürücülerini İçin Artan Güvenlik:

Akıllı trafik kavşakları, gerçek zamanlı çarpışma önleme, erken uyarı sistemleri ve yaya algılama gibi çeşitli güvenlik sistemlerini entegre ederek, kazaları azaltabilir ve tüm yol kullanıcıları için güvenliğini artırabilir.

Akıllı trafik kavşakları, enerji verimli teknolojileri ve sürdürülebilir ulaşım planlama kavramlarını birleştirerek emisyonları azaltır ve sürdürülebilir ulaşımı teşvik eder, bu da çevreye olumlu bir etki yapar. Örneğin, adaptif sinyal kontrolünü kullanarak, araçların kavşaklarda boşta beklemelerinin süresini azaltarak emisyonları ve yakıt kullanımını azaltabilirler.

4.4.3. Etkili Kaynak Tahsisi ve Bakım Maliyeti Tasarrufu:

Akıllı trafik kavşakları, kaynak tahsisini ve bakım programlarını maksimize ederek, belediyeler ve ulaşım ajansları için işletme maliyetlerini düşürebilirler. Ekipman arızalarını önceden tahmin edebilen öngörücü bakım için teknoloji kullanarak, fiziksel bakım ihtiyacını da azaltabilirler.

4.4.4. Gelişmiş İletişim ve Navigasyon Sistemleri ile Otonom ve Bağlantılı

Araçlara Destek:

Akıllı trafik kavşakları, gelişmiş iletişim ve navigasyon sistemleri sağlayarak otonom ve bağlantılı araçların geliştirilmesi ve benimsenmesine destek olabilirler. Örneğin, V2X iletişimini kullanarak, araçlar ve altyapı arasındaki iletişimi kolaylaştırabilirler, daha yumuşak ve güvenli sürüş deneyimleri sağlayabilirler.

Geleneksel trafik kavşakları, güvenlik riskleri, trafik sıkışıklığı, gürültü ve hava kirliliği ve verimsiz kaynak kullanımı gibi zorluklarla karşı karşıya kalır. Ayrıca, geleneksel kavşakların tasarımı, sürücüler için kör noktalar yaratabilir ve bu da diğer araçları, yaya veya bisikletleri görmenizi zorlaştırabilir.

Akıllı trafik kavşakları, yukarıda bahsedilen geleneksel kavşak zorluklarına bir çözüm sunar. Bu teknolojiler trafik akışını optimize edebilir, güvenliği artırabilir ve emisyonları azaltabilir. Bu, modern şehirlerin karşı karşıya kaldığı ulaşım zorlukları için umut verici bir çözüm yapar.

Sonuç olarak, akıllı trafik kavşakları, sürdürülebilir ulaşımı teşvik eder, trafik sıkışıklığını azaltır ve güvenliği artırırken maliyetleri düşürür. Bu, modern şehirlerin ulaşım zorluklarına çözüm sunarak daha yaşanabilir ve sürdürülebilir bir gelecek için umut verici bir adımdır.

4.5. Dünyada Akıllı Kavşak Uygulamaları;

Singapur'un "Akıllı Hareketlilik" girişimi: Singapur, 1.000'den fazla birbirine bağlı kavşak içeren kapsamlı bir akıllı trafik sistemi uygulamıştır. Sistem, gerçek zamanlı trafik verilerini toplamak için çeşitli sensörler, kameralar ve iletişim teknolojileri kullanır ve ardından trafik akışını optimize etmek ve sıkışıklığı azaltmak için analiz eder. Sistem ayrıca, kazalar veya diğer olaylara yanıt olarak trafik yönlendirme yapabilen dinamik yönlendirme içerir. Sonuçlar etkileyici olmuştur, bazı bölgelerde seyahat süreleri %25'e kadar azaltılmış ve ortalama hızlar %20'ye kadar artmıştır. Girişimin karşı karşıya kaldığı zorluklar arasında yüksek uygulama maliyeti, önemli altyapı yükseltmelerinin gerekliliği ve gizlilik ve veri güvenliği endişeleri yer almaktadır.

Los Angeles'ın "Akıllı Sinyaller" programı: Los Angeles şehri, gerçek zamanlı trafik sensörleri ve iletişim sistemleri de dahil olmak üzere akıllı teknolojilerle trafik sinyallerini yükseltmek için bir program uygulamıştır. Sistem, trafik akışını optimize etmek ve sıkışıklığı azaltmak için yapay zeka algoritmalarını kullanır ve trafik koşullarına göre trafik sinyalleri gerçek zamanlı olarak ayarlanır. Sonuçlar umut verici olmuştur, seyahat süreleri %12'ye kadar azaltılmış ve ortalama hızlar %16'ya kadar arttırılmıştır. Programın karşılaştığı zorluklar önemli fonlama ve altyapı yükseltmeleri gerektirirken, aynı zamanda daha iyi akış nedeniyle bazı bölgelerde artan trafik potansiyeli konusunda endişeler de bulunmaktadır.

Ohio, ABD'deki Columbus şehri: 2016 yılında, ABD Ulaştırma Bakanlığı, Columbus'u Akıllı Şehir Meydan Okuması 'nın kazananı olarak seçti. Girişimin bir parçası olarak, şehir gerçek zamanlı veri ve makine öğrenme algoritmalarını kullanarak sinyal zamanlamalarını ayarlayan ve trafik akışını optimize eden bir akıllı trafik yönetim sistemi uyguladı. Sistem, seyahat süresinde %29 azalma ve araç emisyonlarında %21 azalma sağladı. Ancak, uygulama veri gizliliği endişeleri ve departmanlar arası işbirliği gereksinimi gibi zorluklarla karşılaştı.

Hangzhou, Çin: Hangzhou, bilgisayar görüşü ve derin öğrenme teknolojilerini kullanarak akıllı bir kavşak sistemi uyguladı. Sistem, araçları ve yayaları tespit eden sensörler ve kameralar içerir ve gerçek zamanlı trafik koşullarına göre sinyal zamanlamalarını ayarlayan bir akıllı sinyal kontrol sistemi içerir. Sistem, seyahat süresinde %15 azalma ve sıkışıklıkta %50 azalma sağladı. Ancak, uygulama donanımının yüksek maliyeti ve sürekli bakım ve yükseltme ihtiyacıyla karşı karşıya kaldı.

Adelaide, Avustralya: Adelaide, trafik sensörleri ve kameraları içeren bir akıllı trafik yönetim sistemi uyguladı ve trafik koşullarına göre sinyal zamanlamalarını izleyen ve ayarlayan gerçek zamanlı bir trafik yönetim merkezi de dahil oldu. Sistem, seyahat süresinde %30 azalma ve emisyonlarda %30 azalma sağladı. Uygulama, sürekli bakım ve yükseltme gereksinimleri, sistem hakkında kamu eğitimi ve farkındalık gereksinimleri gibi zorluklarla karşılaştı.

Bu örnekler, akıllı trafik kavşaklarının potansiyel faydalarını göstermekle birlikte, maliyet, bakım, gizlilik ve işbirliği konularında karşılaşılan zorlukları ve çıkarılan dersleri de vurgulamaktadır.

Akıllı trafik kavşağı uygulamalarının incelenmesinin ardından, trafik yönetiminde teknolojinin kullanımının trafik akışını iyileştirmek, güvenliği artırmak ve çevresel etkiyi azaltmak gibi önemli faydalar sağlayabileceği açıktır. Singapur ve Columbus örneklerinde görülen adaptif sinyal kontrolü ve dinamik yönlendirme sistemlerinin kullanımı, trafik akışının iyileştirilmesine ve sıkışıklığın azaltılmasına yol açarak seyahat sürelerinin azaltılmasına ve verimliliğin artırılmasına neden olabilir. Ek olarak, Utah örneğinde kullanılan gerçek zamanlı çarpışma önleme ve erken uyarı sistemleri gibi sistemler, sürücüler, yaya ve bisiklet sürücülerini için güvenliği önemli ölçüde artırarak kazalar ve yaralanmalar riskini azaltabilir. Ayrıca akıllı enerji yönetimi ve çevre dostu ulaşım planlamasının uygulanması çevre üzerinde olumlu bir etki yapabilir. Akıllı trafik kavşakları, sera gazı emisyonlarını azaltarak hava kirliliğini azaltabilir ve iklim değişikliğinin etkilerini hafifletebilirler. Bunlar, emisyonları ve yakıt kullanımını azaltarak bunu yaparlar.

Ayrıca, Columbus, belediyelere ve ulaşım kuruluşlarına maliyet tasarrufu sağlayarak daha etkili ve verimli kaynak yönetimi için kullanılabilecek akıllı kaynak yönetimi ve tahsisinin bir örneğini sunar.

Tüm bu örnekler düşünüldüğünde, akıllı trafik kavşaklarının potansiyel avantajlarını göstermekte ve trafik yönetim sistemlerine teknoloji ve yeniliklerin dahil edilmesinin önemini vurgulamaktadır. Böyle sistemlerin kurulumu sırasında zorluklar ve öğrenilecek dersler olsa da, artan güvenlik, daha iyi trafik akışı, azalan çevresel etki ve maliyet tasarrufu gibi avantajları, dünya genelindeki şehirler ve ulaşım otoriteleri için çekici bir seçenek yapar. Akıllı trafik kavşakları, daha etkili, sürdürülebilir ve güvenli gelecekteki ulaşım sistemlerinin yaratılmasına önemli ölçüde katkıda bulunma potansiyeline sahiptir ve daha fazla çalışma, geliştirme ve uygulama ile potansiyelleri daha da artacaktır.

5.YÖNTEM

Kentlerdeki nüfus artışı hızıyla beraber araç sayısı da artmış ve buna bağlı olarak yaşanan problemlerde artış göstermektedir. Artan trafik yükleri sonucu planlaması yapılan şehir içi ulaşım ağlarımız taşıma kapasitesine ulaşmış ve yer yer planlanan kapasitenin üstüne çıkmış, bunun sonucu olarak trafik akımında yavaşlamalar ve tıkanmalar yaşanmaya başlamıştır.

Yavaşlamalar ve tıkanmalar sebebiyle trafikte geçirilen zaman kaybında artışlar yaşanmaya başlamış ve tarih boyunca verimli kullanımı için çeşitli çalışmalara konu olan zaman kavramının ulaştırma mühendisliği açısından tasarrufunu sağlamak için farklı metot ve yöntemlerde iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

Şehir planlama, İnşaat ve Ulaştırma mühendisliği açısından şehir içinde yoğunlaşan birçok kavşağın iyileştirmesi konusu incelenmiş geometrik veya planlama ve yapılandırma mühendisliği ile iyileştirme çalışmaları yapılmaya çalışılmıştır.

Kavşaklarda yapılabilecek olan geometrik iyileştirmeler şehir merkezlerinin yerleşmiş olması, çalışma alanlarını kısıtlı olması ve kamulaştırma alanlarının sınırlı ve zor olması gibi sebeplerden şehir merkezlerinde yeterli imkânı bulamamaktadır.

Planlama ve yapılandırma açısından kavşakların sinyalize edilmesi, sinyalize olan kavşakların devre sürelerinin optimizasyonu veya kameralar yardımıyla adaptif akıllı kavşaklar haline getirilmesi geometrik düzeltmelere nazaran daha kolay ve az maliyetli olabilmesi açısından mühendislik iyileştirme çalışmalarının bu alana yoğunlaşmasına olanak sağlamıştır.

Dünyada üretim ve tüketimin artması, sanayi sektörünün hızla gelişmesine buna bağlı olarak kırsal bölgelerden şehirlere göç akımlarının yoğunlaşması ile kentleşme ve çevre sorunlarının arttırmasına olanak sağlamaktadır. Düzensiz ve plansız olarak artan şehir yoğunlukları sebebiyle doğal yapının bozulması, iklim değişikliği, çölleşme ve bazı biyolojik türlerin giderek azalması ciddi tehlike oluşturmaktadır.

Fosil yakıtların kullanımı ile ortaya çıkan sera gazları, toprak ve arazinin düzensiz kullanımı iklim değişikliğine neden olan etkenlerin başında gelmektedir.

Dünya genelinde ulaşım sektörü içerisinde ulaşım ağlarına göre salınım değerleri incelendiğinde ise karayolunda yapılan yolcu ve yük taşımacılığından kaynaklı sera gazı emisyon değeri yaklaşık %74,5 gibi bir oranla ilk sırada gelmektedir.

Karayolunu sırasıyla %11,6'yla havayolu, %10,6'yla denizyolu, %1'le demiryolu ve %2,2'le diğer ulaşım ağları takip etmektedir. Ülkemizde de yaygın ulaşım ağı olarak karayolu ulaşımı tercih edilmesi ulaşım alanında yapılacak olan iyileştirmelerin önemini arttırmaktadır.

Şehir içi ulaşım ağlarında yapılacak olan iyileştirme yöntemlerinden biri olan sinyalizasyon kavşaklarında akıllı kavşak uygulamasına geçiş sağlayarak araçların kavşak üzerindeki gecikmelerini azaltılarak seyahat sürelerinin azaltılması sağlanacağı gibi bunun bir sonucu olarak kavşaklardaki araçların harcadığı fosil yakıt tüketiminin azalması sebebiyle salınan CO₂ miktarlarında azalmaların olabileceği düşünülmektedir. Yakıt tüketiminin azalması çevreye verilen zararın azalmasının yanında ülke ekonomisinde büyük oranlarda tasarruf sağlanmasına olanak sağlayabileceği düşünülmektedir.

5.1. AIMSUN Simülasyon Programı

Aımsun, trafik mühendisleri, şehir planlamacıları ve taşımacılık şirketleri tarafından kullanılan bir sinyalizasyon programıdır. Bu program, trafik akışını iyileştirmek ve trafik sıkışıklığını minimize etmek için tasarlanmıştır.

Aımsun, kullanıcıların trafik verilerini analiz etmelerini, trafik akışını simüle etmelerini ve sinyalizasyon planlarını optimize etmelerini sağlar. Program, gerçek zamanlı trafik verilerine dayalı olarak sinyalizasyon planlarını otomatik olarak ayarlayabilir. Aımsun ayrıca, kullanıcıların farklı senaryoları simüle etmelerine ve farklı sinyalizasyon planlarını karşılaştırmalarına olanak tanır. Bu, kullanıcıların en iyi sinyalizasyon planını seçmelerine ve trafik akışını maksimize etmelerine yardımcı olur.

Aımsun'un kullanımı birçok avantaj sağlar. Bu program, trafik akışını iyileştirmek ve trafik sıkışıklığını minimize etmek için tasarlandığından, trafik güvenliğini artırır ve seyahat süresini kısaltır. Aımsun ayrıca, sinyalizasyon planlarının manuel olarak ayarlanması yerine otomatik olarak ayarlanması sayesinde, zaman ve emek tasarrufu sağlar. Program, kullanıcıların analiz ve karar verme sürecini hızlandırır ve daha fazla verimlilik sağlar.

Aımsun, trafik mühendisleri, şehir planlamacıları ve taşımacılık şirketleri için vazgeçilmez bir araçtır. Bu program, trafik akışının iyileştirilmesi ve trafik sıkışıklığının minimize edilmesi için tasarlanmıştır. Aımsun'un kullanımı, trafik güvenliğinin artması, seyahat süresinin kısalması ve zaman/ emek tasarrufu sağlaması gibi birçok avantaj sağlar.

Aimsun Simülasyon programı 3 temel yöntem üzerinden incelemeler gerçekleştirmektedir

- Mikro Simülasyon
- Mezoskopik Simülasyon
- Makroskopik Simülasyon

5.1.1 Mikro Simülasyon

Bireysel araçların bağlantı ve şerit tabanlı simülasyonunu ifade eder. Her adımda birim zaman Δt artırılır, Her araç için izin verilen hızı ve şerit seçimi dikkate alır, Zaman adımı içinde belirlenen mesafe kadar hareket ederek sonuçlar anlık olarak incelenebilir.



Şekil 5.1 Aimsun Mikro Simülasyon Hareket Görünümü

5.1.2 Mezoskopik Simülasyon

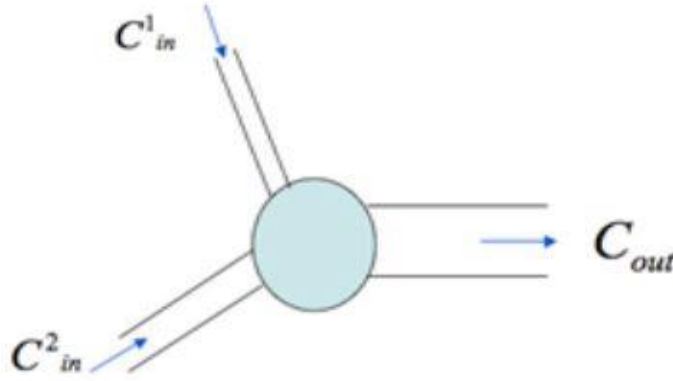
Bireysel araçların bir yol bölümüne girerken ve çıkarken durumları kabul edilerek bir simülasyon yapılır. Şekilde, araç $t \sim 1$ zamanında bir bölüme giriyor, $t \sim 2$ 'de o bölümden ve tahmin edilen bir hızda çıkıyor ve öngörülen bir şeritte ve $t \sim 3$ 'de bir sonraki bölüme giriyor. Tüm araçlar her seferinde güncellenmez



Şekil 5.2. Aimsun Mezoskopik Simülasyon Hareket Görünümü

5.1.3. Makroskopik Simülasyon

Tek tek araçların incelenmesi yerine araçlar, yükü dengelemek ve yolculuk süresini en aza indirmek için ağa atanan akışlara toplanır.



Şekil 5.3. Aimsun Makroskopik Simülasyon Hareket Görünümü

Sinyalizasyon sistemleri kavşaklardaki trafiklerin sürekli ve güvenli işletilmesini amaçlamaktadır. Sinyalizasyon sistemi uygun olmayan kavşaklarda can ve mal kayıplarının oluşabileceği tehlikeli durumlar ortaya çıkmakta ve bu durumlara bağlı olarak trafik akışı olumsuz etkilenmekte seyahat hızlarının düşmesi, kavşaklarda duraklamaların oluşması ve kavşak kapasitesinin düşmesine yol açabilmektedir. Kavşakların etkin ve verimli kullanılabilmesi için sinyalizasyon planlamasının iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Araç yoğunluğunun fazla ve dinamik olarak değiştiği kavşaklarda trafik akışının iyileştirilmesi klasik iyileştirme metotları ile sınırlı kalmakta ve akıllı kavşak uygulamaları ile yeşil ışık sürelerinin etkin şekilde planlanmasını gerekli kılmaktadır.

5.2. Aimsun Simülasyon Kesişim Noktaları Analiz Yöntemleri

Şehirler büyüdükçe ve trafik daha sıkışık hale geldikçe, kavşakların verimli yönetimi giderek daha kritik hale geliyor. Bunu kolaylaştırmak için ulaşım planlamacıları ve mühendisler, kavşak performansını analiz etmek ve optimize etmek için Aimsun gibi gelişmiş yazılım programları kullanır.

Geliştirilen bu araçlar ve yöntemler, kavşak operasyonlarını iyileştirmek için sinyal zamanlaması optimizasyonu, kavşak kapasite analizi ve çeşitli senaryoların simülasyonunu içerir. Aimsun ayrıca, gerçek zamanlı trafik bilgileri ve yaya davranışı gibi çeşitli veri kaynaklarının entegrasyonuna izin vererek, kavşak performansının daha kapsamlı bir analizini sağlar.

Bu analiz sayesinde ulaşım uzmanları, kavşak operasyonlarının nasıl iyileştirileceği, tıkanıklığın nasıl azaltılacağı ve tüm kullanıcılar için güvenliğin nasıl artırılacağı konusunda bilinçli kararlar alabilir. Aimsun, gelişmiş modelleme ve simülasyon tekniklerini kullanarak, hem kentsel hem de banliyö ortamlarındaki kavşaklar için etkili ulaşım çözümlerinin tasarlanması ve uygulanmasına yardımcı olabilir.

Aimsun programı, kesişim analizi için çeşitli araçlar ve yöntemler sunar. Başlıca olanlardan bazıları şunlardır:

1. Mikroskobik Simülasyon
2. Dedektörler
3. Sinyal Zamanlaması Optimizasyonu
4. Kapasite Analizi

5.2.1. Mikroskobik Simülasyon Aracı

Mikroskobik simülasyon, tek tek araçları ve bunların bir yol ağı içindeki hareketlerini modellemek ve simüle etmek için trafik analizinde kullanılan bir yöntemdir. Aimsun, karmaşık trafik senaryolarının son derece ayrıntılı bir şekilde modellenmesine izin veren mikroskobik bir simülasyon motoru kullanır.

Aimsun tarafından kullanılan mikroskobik simülasyon motoru, sürücülerin önlerindeki aracın davranışına göre hızlarını ve konumlarını nasıl ayarladıklarını açıklayan bir araba takip modeli olan Akıllı Sürücü Modeli'ne (IDM) dayanmaktadır. IDM, aracın istenen hızını, öndeki araçla olan mesafeyi ve iki araç arasındaki hız farkını dikkate alır.

IDM modeli için formül denklem (5.1) ile gösterilmiştir:

$$a = a_0 (1 - (v/v_0)^\delta - (s^*(v)/s)^2) \quad (5.1)$$

a aracın ivmesidir

a_0 , aracın maksimum ivmesidir

v aracın hızıdır

v_0 aracın istenen hızıdır

delta hassasiyet parametresidir

s, araç ile öndeki araç arasındaki mesafedir

s^* , v hızının bir fonksiyonu olan istenen güvenlik mesafesidir.

IDM modeline ek olarak Aimsun, yayalar, bisikletler ve otobüsler gibi diğer yol kullanıcılarının davranışlarını simüle etmek için diğer mikroskobik simülasyon modellerini kullanır.

Aimsun'daki mikroskobik simülasyon motoru ayrıca, modellenmekte olan trafik senaryolarının ayrıntılı animasyonlarının oluşturulmasına izin veren bir görselleştirme aracı içerir. Bu araç, tek tek araçların davranışını ve ayrıca ağ içindeki genel trafik akışını analiz etmek için kullanılabilir.

Genel olarak, mikroskobik simülasyon, karmaşık ulaşım ağlarında trafik akışını analiz etmek ve optimize etmek için güçlü bir araçtır. Aimsun, IDM modelini ve diğer simülasyon modellerini kullanarak, bir ağ içindeki trafik davranışının son derece ayrıntılı ve doğru bir temsilini sunabilmektedir; bu, ulaşım planlaması ve karar alma sürecinde bilgi sağlamak için kullanılabilir.

5.2.2. Dedektör Aracı

Trafik analizi bağlamında, dedektörler, trafik akışı ve araç davranışı hakkında veri toplamak için karayolu ağının çeşitli yerlerine kurulan sensörlerdir. Aimsun programı, trafik sinyali kontrol sistemlerinin performansını izlemenin yanı sıra kavşaklardaki trafik hacmi, hız ve doluluk hakkında bilgi toplamak için dedektörler kullanır.

Dedektör verileri, daha sonra çeşitli analiz görevleri için kullanılabilen programın veri tabanında toplanır ve saklanır. Detektör verilerinin ana kullanımlarından biri, kavşaktaki akış hızı, hız ve yoğunluk gibi trafik akış parametrelerini tahmin etmektir.

Aimsun, trafik akışı parametrelerini hesaplamak için Greenshields modeli, Underwood modeli veya Daganzo-Newell modeli gibi çeşitli ampirik formüller kullanır. Bu formüller, trafik akışı parametrelerini dedektörler tarafından toplanan doluluk ve hız verileriyle ilişkilendirir.

Örneğin, Greenshields modeli denklem (5.2) gösterilmiştir;

$$q = k v \quad (5.2)$$

q trafik akış hızıdır (araç/saat),

k yoğunluktur (araç/mil)

v ortalama hız (mil/saat).

Dedektör verilerinin diğer bir önemli kullanımı, sabit zamanlı veya çalıştırılan sinyal kontrolü gibi trafik sinyali kontrol sistemlerinin performansını değerlendirmektir. Program, kavşakta araçların yaşadığı gecikmeyi ve seyahat süresini tahmin etmek ve tıkanıklığı azaltmak ve trafik akışını iyileştirmek için sinyal zamanlama parametrelerini optimize etmek için dedektör verilerini kullanabilir.

Gecikme süresi, gecikme süresini ortalama kuyruk uzunluğu ve kavşaktaki akış hızı ile ilişkilendiren Webster'ın gecikme formülü kullanılarak hesaplanabilir. Denklem (5.3) deki şekilde verilmiştir;

$$D = L / (2q - s) \quad (5.3)$$

D gecikme süresidir (saniye),

L ortalama kuyruk uzunluğudur (feet),

q akış hızıdır (araç saat başına)

s doyum akış hız (araç saat başına).

Özetle, dedektörler trafik analizinde kritik bir rol oynar ve Aimsun programı, trafik akış parametrelerini tahmin etmek ve trafik sinyal kontrol sistemlerinin performansını değerlendirmek için dedektör verilerini kullanır. Program, bu parametreleri hesaplamak ve trafik yönetimi kararlarını bildirmek için Greenshields modeli ve Webster'ın gecikme formülü gibi çeşitli ampirik formüller kullanır.

5.2.3. Sinyal Zamanlaması Optimizasyonu Aracı

Sinyal Zamanlaması Optimizasyonu, trafik akışını iyileştirmek ve gecikmeleri azaltmak için bir kavşakta sinyal zamanlama parametrelerini optimize etme sürecidir. Aimsun programı, bu optimizasyon sürecini gerçekleştirmek için çeşitli araçlar ve yöntemler sunar.

Böyle bir yöntem, sinyal zamanlamalarını optimize etmek için yaygın olarak kullanılan bir teknik olan Webster yöntemi, sinyal zamanlamasını varış hızına ve doyma akış hızına göre ayarlayarak bir kavşaktaki ortalama gecikmeyi en aza indirmeyi amaçlar. Webster yönteminde denklem (5.4), (5.5) ve (5.6) ampirik formülleri kullanılır:

Yeşil zaman (GT) formülü:

$$GT = (DS + 2 * HS) / S \quad (5.4)$$

DS'nin tahliye yolu olduğu yerde, HS kayıp zamandır ve S doymuluk akış hızıdır.

Sarı zaman (YT) formülü:

$$YT = 1,5 * DS / S \quad (5.5)$$

Burada DS, tahliye yolu ve S, doymuluk akış hızıdır.

Kırmızı zaman (RT) formülü:

$$RT = (ST - GT - YT) / (1 - (ST / CT)) \quad (5.6)$$

Burada ST çevrim süresidir, GT yeşil zamandır, YT sarı zamandır ve CT kritik doymuluk akış hızıdır.

Webster'ın yöntemi, sinyal zamanlamalarının ilk tahmini ile başlar ve bunları ortalama gecikme en aza indirilene kadar yinelemeli olarak ayarlar. Aşağıdaki adımlar optimizasyon sürecinde yer alır:

1. Kavşakta varış oranını ve doymuluk akış oranını hesaplayın.
2. Kavşaktaki her hareket için tahliye yolunu ve kayıp zamanı tahmin edin.
3. Yukarıdaki formülleri kullanarak her hareket için yeşil zamanı, sarı zamanı ve kırmızı zamanı hesaplayın.
4. Her hareket için gecikme formüllerini kullanarak kesişme noktasındaki toplam gecikmeyi hesaplayın.
5. Yeşil, sarı ve kırmızı süreleri değiştirerek sinyal zamanlamasını ayarlayın ve ortalama gecikme en aza indirilene kadar yukarıdaki adımları tekrarlayın.

Aimsun programı, Webster yöntemini kullanarak sinyal zamanlama optimizasyonu işlemini gerçekleştirmek için kullanıcı dostu bir ara yüz sağlar. Kullanıcı, varış hızı, doygunluk akış hızı ve döngü süresi gibi gerekli parametreleri girebilir ve program, yukarıdaki formülleri ve yinelemeli işlemi kullanarak optimize edilmiş sinyal zamanlamalarını otomatik olarak hesaplar.

Genel olarak, sinyal zamanlaması optimizasyon süreci, trafik akışını iyileştirmede ve kavşaklardaki gecikmeleri azaltmada kritik bir rol oynar ve Aimsun programı, bu optimizasyonu başarmak için etkili araçlar ve yöntemler sağlar.

5.2.4. Kapasite Analizi Aracı

Taşımacılık planlamasının önemli bir bileşeni olan kapasite analizi, belirli bir kavşak veya yol kesiminden belirli bir süre içinde geçebilecek araç sayısını hesaplamayı içerir. Aimsun yazılımı, mikrosimilasyon modelleri ve ampirik formüller gibi çeşitli yöntemleri kullanarak kapasite analizi yapar.

Bir belirli bir rota segmenti veya kavşaktan geçmesi beklenen araç sayısını yansıtan talep akışı, kapasite analizinin önemli bir girdisidir. Trafik sayım verilerini kullanarak veya geçmiş trafik verilerinden çıkarımlar yaparak, talep akışı tahmin edilebilir. Aimsun yazılımı, talep akışı tanımlandıktan sonra maksimum araç sayısını belirlemek için çeşitli kapasite analizi yaklaşımları kullanabilir.

Kapasite analizi için tipik bir ampirik metodoloji olan Highway Capacity Manual (HCM) yaklaşımı, bir kavşak veya yol kesimi boyunca maksimum akım oranını hesaplamak için çeşitli denklemler kullanır. HCM yöntemi, şerit genişliği, şerit sayısı, araç hızı ve sinyal zamanlaması gibi çeşitli değişkenleri dikkate alır. HCM yönteminin denklemleri karmaşık olsa da ve birçok değişkeni içerse de, taşımacılık planlamasında yaygın olarak kullanılır ve iyi tanınmıştır.

Trafik akışı açısından bir yolun ne kadar iyi performans gösterdiğini değerlendiren hizmet düzeyi (LOS) kavramı, kapasite analizinin önemli bir bileşenidir. LOS bazen A'dan F'ye kadar bir ölçeğe ifade edilir, burada A serbestçe hareket eden trafik ve F aşırı yoğun trafik karşılık gelir. Aimsun yazılımı, kapasite ve talep akışına bağlı olarak LOS'u belirlemek için HCM yaklaşımını veya diğer ampirik formülleri kullanır.

Aimsun programı, mikrosimülasyon modellerini HCM yaklaşımıyla birlikte kapasite analizi yapmak için kullanır. Mikrosimülasyonlar olarak adlandırılan bilgisayar tabanlı modeller, bir yol ağına giren belirli araçların ve sürücülerin nasıl davrandığını taklit eder. Bu modeller, trafik akışını etkileyen sürücü davranışı, araç özellikleri ve yol koşulları gibi çeşitli değişkenleri hesaba katabilir. Geleneksel kapasite analizi tekniklerinin aksine, mikrosimülasyon modelleri, bireysel araç davranışını modelleyerek daha kapsamlı ve kesin bir trafik akışı görünümü verebilir.

Genel olarak, Aimsun programının kapasite analizi bölümü, taşımacılık mühendisleri ve planlamacıları için önemli bir araç olup, trafik akışı ve rota performansı hakkında bilgi sağlar. Aimsun yazılımı, ampirik formülleri mikrosimülasyon modelleriyle birleştirerek, sinyal zamanlamasını optimize etmeye, rota tasarımını geliştirmeye ve genel trafik güvenliğini ve verimliliğini artırmaya yardımcı olabilir.

5.3. Aimsun Simülasyon Programıyla Analizlerin Yapılması

Ulaşım mühendisliği alanında, trafik analizi ulaşım ağlarının oluşturulması ve yönetilmesinin önemli bir bileşenidir. Trafik akışını artırmak ve ulaşım verimliliğini yükseltmek için trafik analizi, trafik hacmi, hız ve gecikme dahil trafik akışı davranışı hakkında bilgi sağlamaya çalışır. Trafik analizinde en popüler araçlardan biri olan Aimsun yazılımı, deneysel formüller ve trafik akışı modelleri kullanarak çeşitli koşullar altında trafik akışını simüle eder.

Seyahat süresi, gecikme süresi, ortalama hız, yakıt tüketimi, CO₂ ve NO_x emisyon oranlarının hesaplanması da dahil olmak üzere trafik akışını değerlendirmek için Aimsun yazılımı tarafından kullanılan çok sayıda teknik incelenecektir. Aimsun programının nasıl çalıştığı ve ulaşım planlaması ve yönetiminin artırılması için nasıl kullanılabileceği konusunda daha kapsamlı bir açıklama sağlamak için, her teknik için teknik bilgi ve deneysel hesaplamalar sunulacaktır. Bu bilgiyi kullanarak, ulaşım planlamacıları ve mühendisleri, veri odaklı kararlar alarak ulaşım sistemlerini optimize edebilir ve ulaşım ağlarımızın genel etkinliğini artırabilir.

5.3.1. Seyahat Süresi Analiz Yöntemi

Aimsun programı, analiz sonucunda seyahat süresi verilerini elde etmek için birkaç yöntem kullanır. Bu yöntemler arasında doğrudan ölçüm, deneysel formüller ve sıra teorisi bulunur. Doğrudan ölçüm, bir aracın iki nokta arasında seyahat etmesi için geçen süreyi ölçmeyi ve ardından varış ve kalkış zamanları arasındaki farkı hesaplamayı içerir. Bu yöntem, belirli bir araç veya birkaç araç için seyahat süresini tahmin etmek için kullanışlıdır.

Yeşil dalga modeli gibi deneysel formüller, araçların hızına dayanarak seyahat süresini tahmin etmek için de kullanılır. Yeşil dalga modeli, trafik akış hızını trafik yoğunluğu ve hızla ilişkilendiren bir deneysel formüldür. Yeşil dalga modeli için formül (5.7)'de verilmiştir;

$$q = kp(1 - \rho/\rho_{max}) \quad (5.7)$$

q, trafik akış hızını, ρ trafik yoğunluğunu,

k serbest akış hızını ve ρ_{max} kritik yoğunluğu temsil eder.

Hız yoğunluğa dayanarak tahmin edilebilir ve ardından seyahat süresi, tahmini hız bölünerek iki nokta arasındaki mesafe ile hesaplanabilir. Ancak, bu yaklaşım, aracın iki nokta arasında sabit bir hızda hareket ettiği varsayımına dayanır ve bu her zaman böyle olmayabilir. Bu nedenle, sıra teorisi, tıkanıklık, darboğazlar ve diğer faktörler tarafından neden olunan gecikmeleri modellemek için kullanılır. Sıra teorisi, bekleyen hatların davranışını modellemek için kullanılabilen bir matematiksel çerçevedir. Trafik akış analizi bağlamında, araçlar müşteriler ve yol segmentleri hizmet tesisleri olarak ele alınır. Sıra teorisi, trafik sıkışıklığı tarafından neden olunan gecikmeleri modellemek için kullanılabilir. Sonuç olarak, Aimsun programı, doğrudan ölçüm, Yeşil dalga modeli gibi deneysel formüller ve sıra teorisi de dahil olmak üzere seyahat süresi verilerini elde etmek için birkaç yöntem kullanır. Bu yöntemler, trafik yoğunluğu ve hız gibi çeşitli faktörlere dayalı olarak seyahat süresinin doğru bir şekilde tahmin edilmesine izin verir ve trafik akışının analiz edilmesinde ve ulaşım sistemlerinde iyileştirmeler yapılmasında faydalı olabilir.

5.3.2. Gecikme Süresi Analiz Yöntemi

Gecikme süresi, araçların ideal koşullardaki seyahat süresine kıyasla trafik akışında fazladan geçirdiği zamanı ifade eder. Trafik sinyal sistemlerinin, yol geometrisinin ve diğer trafik yönetimi stratejilerinin performansını değerlendirmek ve trafik sıkışıklığını belirlemek için önemli bir göstergedir.

Aimsun programında, gecikme süresi verileri genellikle mikroskopik simülasyon modelleri kullanılarak elde edilir. Bu modeller, yol geometrisi, trafik talebi, araç özellikleri ve diğer faktörlerle ilgili ayrıntılı veriler kullanılarak oluşturulur. Modeller, ivme, yavaşlama, şerit değişiklikleri ve diğer araçlarla etkileşim gibi faktörleri hesaba katarak, zaman içinde bireysel araç hareketlerini simüle ederler.

Simülasyon sırasında, Aimsun programı, her aracın trafik akışında geçirdiği süreyi kaydeder ve gecikme süresini gerçek seyahat süresi ile ideal seyahat süresi arasındaki fark olarak hesaplar. Bu gecikme süresi verileri, trafik sıkışıklığındaki kalıpları ve trendleri belirlemek, trafik yönetimi stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek ve gelecekteki planlama ve tasarım kararları için bilgi sağlamak için analiz edilebilir.

Aimsun programı analizi ile elde edilen gecikme süresi verileri, HCM Gecikme Denklemi gibi deneysel formüller kullanılarak ifade edilebilir. Denklem (5.8)'deki gibidir;

$$\text{Gecikme} = (1/2) \times (n/s) \times [(v - u)/u] \times [(v + u)/2] \quad (5.8)$$

n = yol segmentindeki araç sayısı

s = kullanılabilir yol segmenti kapasitesi

v = trafik akışının ortalama hızı

u = trafik akışının serbest akış hızı

Bu denklem, yol segmentindeki araçların deneysel verilerine dayanır ve yol segmentindeki ortalama gecikmeyi tahmin etmek için kullanılabilir. HCM, farklı hizmet seviyeleri için gecikme faktörleri de sağlar, bu faktörler yol segmentinin hacim/kapasite oranına göre gecikmeyi tahmin etmek için kullanılabilir.

Gecikme süresi tahmini için diğer deneysel formüller arasında Bureau of Public Roads (BPR) fonksiyonu, Greenshields modeli ve Underwood modeli yer alır. Bu formüller, trafik davranışı hakkında farklı varsayımlara dayanır ve farklı yol segmentleri veya trafik koşulları için daha uygun olabilir.

Özetle, Aimsun programı analizi ile elde edilen gecikme süresi verileri, trafik sıkışıklığını değerlendirmek ve trafik yönetimi stratejileri hakkında bilgi sağlamak için önemli bir araçtır. Bu veriler, HCM Gecikme Denklemi gibi deneysel formüller kullanılarak ifade edilebilir ve farklı trafik koşullarında farklı yol segmentlerinde gecikmeyi tahmin etmek için kullanılabilir.

5.3.3. Ortalama Hız Analiz Yöntemi

Aimsun programı, seyahat süresinin verilerini elde etmek için mikroskopik simülasyon tekniklerini kullanarak, bir araç hareketlerini modeller. Bu modellerde, her araca hız, ivme ve frenleme gibi benzersiz özellikler atanır ve ardından diğer araçlarla ve çevresindeki altyapı ile etkileşime girmesine izin verilir. Bu, trafik hacmi, sinyal zamanlaması veya şerit yapılandırması gibi farklı senaryoların simülasyonunu sağlar ve ortalama hızı tahmin etmek için kullanılabilir.

Trafik hacmi ve yoğunluğuna dayalı olarak ortalama hızı tahmin etmek için Greenshields modeli gibi deneysel formüller de kullanılabilir. Greenshields modeli, trafik yoğunluğu ve akışı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ve ortalama hızın trafik hacmi arttıkça azaldığını varsayar:

$$V = V_f (1 - K\rho) \quad (5.9)$$

V ortalama hızı,

V_f serbest akış hızını (yani, trafik hacmi düşük olduğunda ulaşılabilen maksimum hızı),

K yoğunluk-akış ilişkisinin eğimini temsil eden bir sabit

ρ trafik yoğunluğunu temsil eder.

Ortalama hız için başka bir yaygın olarak kullanılan deneysel formül Underwood modelidir, bu model trafik akışının serbest akış hızı ile gerçek hız arasındaki farka orantılı olduğunu varsayar:

$$V = V_f (1 - \exp(-K\rho)) \quad (5.10)$$

$\exp$: üs alma işlemidir ve diğer terimler Greenshields modelindeki ile aynı anlama gelir.

Özetle, Aimsun programı, Greenshields ve Underwood modelleri gibi deneysel formüller ve simülasyon modelleri ile ortalama hız verilerini elde edebilir. Bu yöntemler, trafik hacmi, yoğunluğu ve diğer faktörlere dayalı olarak ortalama hızın tahmin edilmesine izin verir ve ulaşım sistemlerinde iyileştirmeler yapılması için trafik akışının analizinde faydalı olabilir.

5.3.4. CO₂ Salınımı Analiz Yöntemi

Aimsun programı, bir aracın yakıt tüketimini ve emisyonlarını etkileyen çeşitli faktörleri dikkate alan mikroskopik simülasyon modelleri kullanarak, bireysel araçların taşımacılık sistemi üzerinden hareketini simüle eder. Bu modeller, araç tipi, hız, ivme ve frenleme gibi her aracın yakıt tüketimini ve kirleticisi emisyonlarını etkileyen bir dizi faktörü hesaba katarlar. Aynı zamanda, yol ağı özelliklerini de dikkate alırlar, örneğin eğim, kıvrım ve yüzey sürtünmesi.

Aimsun'da kullanılan mikroskopik simülasyon modelleri, yukarıda bahsedilen faktörleri yakıt verimliliği ve kirleticisi emisyonlarla ilişkilendiren deneysel formüllere dayanmaktadır. Örneğin, bir aracın hızı ve ivmesi, yakıt tüketimini ve CO₂ gibi kirleticilerin emisyonlarını tahmin etmek için kullanılabilir. Bu formüller, araç performansı ve kirleticisi emisyonlarının laboratuvar testleri ve saha ölçümlerine dayanır.

CO₂ emisyonlarını tahmin etmek için kullanılan diğer önemli bir faktör, birim yakıt tüketimi başına salınan CO₂ miktarını ölçen emisyon faktörüdür. Emisyon faktörü, kullanılan yakıt ve araç tipi gibi faktörlere bağlıdır, ayrıca hız, yük ve sıcaklık gibi diğer faktörler de etkileyebilir. Aimsun, Avrupa Çevre Ajansı ve Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı gibi kaynaklardan bir dizi CO₂ emisyon faktörü kullanır.

Aimsun programını kullanarak CO₂ emisyonlarını tahmin etmek için genellikle aşağıdaki formül kullanılır:

$$CO_2 = FC \times EF \times CF \quad (5.11)$$

CO₂ toplam salınan CO₂ miktarını,

FC toplam yakıt tüketimini

EF CO₂ emisyon faktörünü

CF yakıtın karbon içeriğini hesaba katan bir düzeltme faktörünü temsil eder.

Karbondaki denge yöntemi, salınan CO₂ miktarının tüketilen yakıt miktarına orantılı olduğu varsayımına dayanır. Bu yöntem, taşımacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılır ve CO₂ emisyonlarını tahmin etmek için basit ve doğru bir yöntem sağlar. Bu yöntem kullanılarak, Aimsun, farklı taşımacılık sistemleri için doğru ve güvenilir CO₂ emisyon tahminleri sağlayabilir.

Özetle, Aimsun programı, mikroskopik simülasyon modelleri ve emisyon faktörleri kullanarak CO₂ emisyon verileri elde edebilir. Bu yöntemler, araç özellikleri, yol koşulları ve diğer faktörlere dayanarak yakıt tüketimi ve kirlетici emisyonların tahmin edilmesine izin verir ve taşımacılık sistemlerinin çevresel etkisini değerlendirmek ve azaltma stratejilerini değerlendirmek için faydalı olabilir. Deneysel formüller ve karbon dengesi yöntemi kullanarak, Aimsun, ulaşım planlamacıları ve politika yapıcılarının bilgilі kararlar almasına yardımcı olacak doğru ve güvenilir CO₂ emisyon tahminleri sağlar.

5.3.5. NO_x Salınımı Analiz Yöntemi

Aimsun programı, trafik akışından kaynaklanan nitrojen oksit (NO_x) emisyonlarının tahmin edilmesi için de kullanılabilir. NO_x, insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilen zararlı bir kirlетicidir.

Aimsun programı, trafik akışındaki araçların hızı ve ivmesine dayanarak NO_x emisyonlarını tahmin etmek için bir ampirik denklem kullanır. Kullanılan formül, Motorlu Taşıt Emisyonları Simülatörü (MOVES) modeli olarak bilinir ve araç emisyonlarının tahmin edilmesi için yaygın bir yöntemdir.

MOVES modeli, aracın hızı, aracın yaşı ve tipi, ve ortam sıcaklığı gibi birçok faktöre dayanarak NO_x emisyonlarını tahmin eder. Aimsun programı, belirli bir trafik akışı için NO_x emisyonlarını tahmin ederken bu faktörleri hesaba katar.

MOVES modelinin NO_x emisyonlarını tahmin etmek için kullandığı ampirik denklemi (5.12) şöyledir:

$$NO_x = (F \times EF \times VMT \times AF) / (D \times 1000) \quad (5.12)$$

NO_x: Nitrojen oksit emisyonları (gram cinsinden)

F: Trafik akışındaki toplam araç sayısı

EF: Belirli araç tipi ve yaşı için emisyon faktörü

VMT: Araç milinin toplamı (mil cinsinden)

AF: Ortam sıcaklığı için ayarlama faktörü

D: Analiz dönemindeki toplam gün sayısı

NO_x emisyonlarını tahmin etmek için, Aimsun programı denklemdaki her bir değişkenin değerlerini hesaplar. Trafik akışındaki araç sayısı, simülasyon sonuçlarından elde edilir ve her araç tipi ve yaşı için emisyon faktörü, MOVES modeli veritabanından alınır. Araç milini, trafik akışı ve araçların ortalama hızının çarpımı olarak hesaplanır. Ortam sıcaklığı için ayarlama faktörü, analiz dönemi boyunca ortalama günlük sıcaklığa dayanarak hesaplanır. Son olarak, analiz dönemindeki toplam gün sayısı, emisyonları günlük gramdan yıllık gram cinsine dönüştürmek için kullanılır. Bu, emisyonların raporlanması için daha yaygın olarak kullanılan bir birimdir.

Genel olarak, Aimsun programı, trafik akışından kaynaklanan NO_x emisyonlarının ayrıntılı ve doğru bir tahminini sağlar. Bu tahmin, ulaşım sistemlerinin çevresel etkilerini değerlendirmek ve emisyonları azaltmayı amaçlayan politika kararlarını bilgilendirmek için kullanılabilir.

5.2.6. Yakıt Tüketimi Analiz Yöntemi

Aimsun programı, yol araçlarının yakıt tüketimini tahmin etmek için empirik bir model kullanır. Model, araç özellikleri, sürüş koşulları ve yol ağı özellikleri gibi birçok faktörü yakıt tüketimini etkileyen faktörler olarak dikkate alır. Model, bu faktörlerin bir fonksiyonu olarak yakıt tüketimini tahmin etmek için regresyon analizini kullanır.

Aimsun'daki yakıt tüketim modeli aşağıdaki ampirik denklemler temel alınarak oluşturulmuştur:

$$FC = a + bv + ca \quad (5.13)$$

Müşterinin, Aimsun'dan yakıt tüketimi istatistiklerini almak için öncelikle araç filosu bileşimini, farklı araç tiplerini ve özelliklerini, örneğin motor boyutu ve ağırlığını seçmesi gerekir. Bilgisayar daha sonra arabaların ağ üzerinde nasıl hareket edeceğini simüle eder ve her zaman adımında hızlanma ve hızını kaydeder. Daha sonra, bu veriler üzerinde ampirik formül uygulanarak her aracın yakıt tüketim oranı belirlenir.

Aimsun aracılığıyla alınan yakıt tüketimi verileri, çeşitli trafik durumlarının yakıt verimliliğini incelemek ve hız sınırlarını düşürmek, trafik akışını artırmak veya yakıt tasarruflu araçlar kullanmak gibi alternatif yakıt tasarrufu taktiklerinin etkililiğini değerlendirmek için kullanılabilir. Bu, planlamacılara ve politikacılara, ulaştırma altyapısına yapılan yatırımlar ve düzenlemelerle ilgili bilinçli kararlar vermede yardımcı olabilir.

Aimsun programı ayrıca, araçta klima kullanımı veya araçtaki yolcu sayısı gibi yakıt tüketimini etkileyebilecek ek faktörleri de dahil etme seçeneği sunar. Model, farklı bağlamlarda daha doğru yakıt tüketimi tahminleri için özel olarak bölge ve araç türüne göre özelleştirilebilir.

Özetle, Aimsun'daki yakıt tüketim modeli gerçek dünya verilerine dayanan bir ampirik modeldir ve farklı trafik senaryolarının yakıt verimliliğini analiz etmek ve yakıt tüketimini azaltmak için stratejilerin etkililiğini değerlendirmek için değerli bir araç sağlar.



6.ÇALIŞMA ALANI

Tez çalışması kapsamında şehir içi trafik yoğunluğu dünya sıralamasında 5 ve Avrupa sıralamasında ise 2. Sırada yer alan İstanbul ili seçilmiştir. Seçilen hat üzerinde bulunan kavşakların koordine olarak çalıştırılması ve farklı senaryolar ile akıllı kavşakların kombinasyonların denenmesi yöntemi ile hat üzerindeki araç başı gecikmelerin, toplam seyahat süresi, CO₂ salınımı, NO_x salınımı ve Yakıt tüketim değerlerinin azaltılması ve güzergah boyundaki ortalama hızın arttırmak için akıllı kavşak yaklaşımı Aimsun mikro simülasyon programı kullanılarak incelenmiştir.

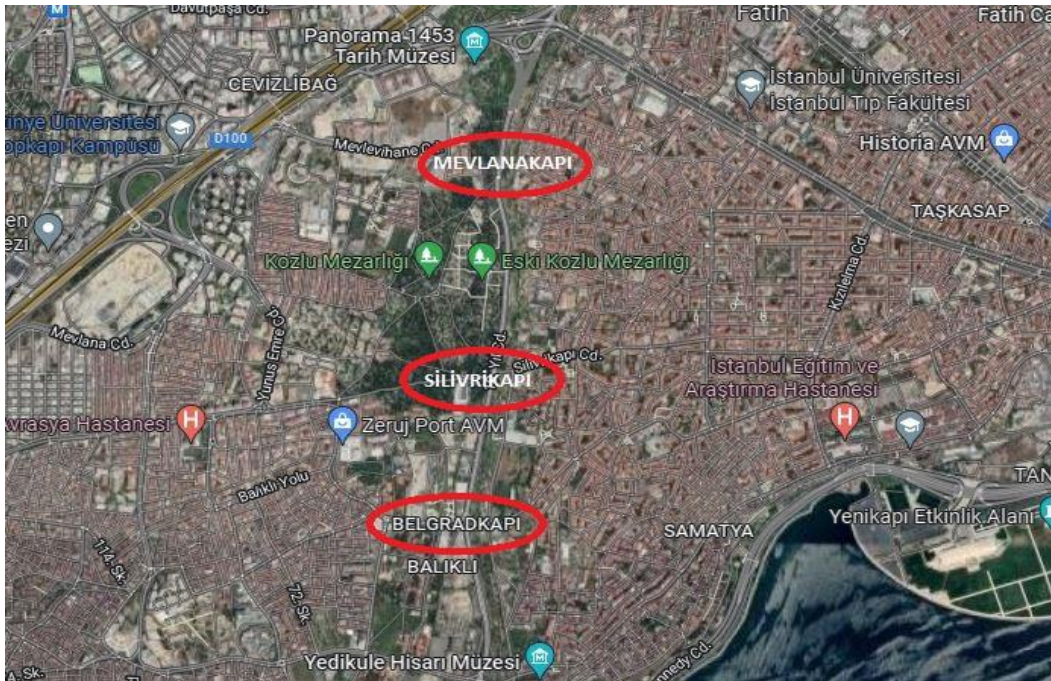
Çalışma alanı olarak İstanbul İli, Zeytinburnu İlçesi, 10.Yıl Arterinde Bulunan;

Mevlanakapı, Silivrikapı, Belgradkapı Kavşakları İçin:

- Kavşaklara Ait Zirve Saat (08.30-09.30) Ve Zirve Saat Dışı (14.00-15.00) Kavşak Kollarından Geçen Araç Sayımları
- Kavşaklara Ait Zirve Saat (08.30-09.30) Ve Zirve Saat Dışı (14.00-15.00) Sinyalizasyon Devre Süreleri
- Kavşaklara Ait Üst Yapı Planları

İBB Ulaşım Daire Başkanlığı Trafik Şube Sinyalizasyon Birimi Tarafından Sağlanmıştır.

Mevlanakapı, Silivrikapı ve Belgradkapı kavşaklarına ait uydu görüntüsü Şekil 6,1'de verilmiştir.



Şekil 6.1 10. Yıl Arteri Güzergah Görünümü

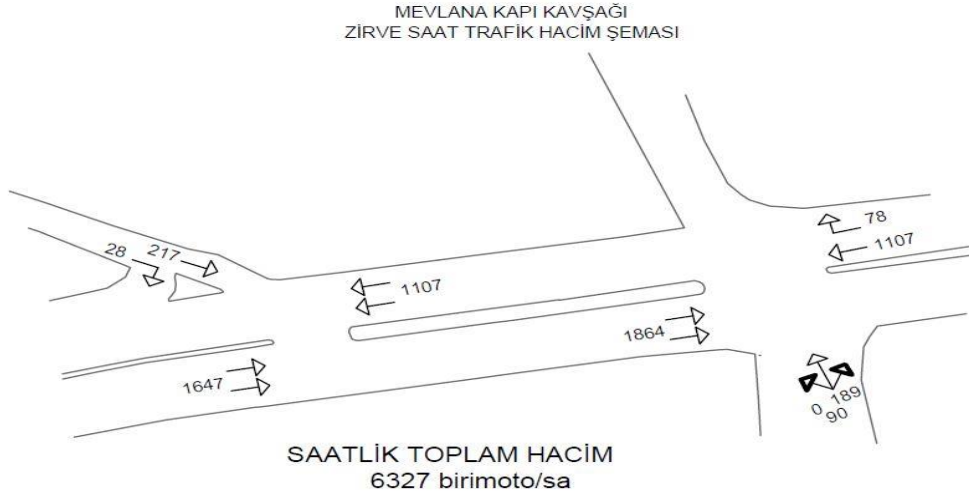
6.1 10. Yıl Arteri Trafik Verileri

Çalışma kapsamında güzergâh detayları aşağıdaki gibidir;

Mevlanakapı kavşağı bünyesinde iki farklı sinyalize kavşak bulundururken kavşaklar arasında 70 m mesafe mevcuttur. Mevlanakapı ve Silivrikapı kavşakları arası 900m mesafe bulurken Silivrikapı ve Belgradkapı kavşakları arasında 700 m mesafe mevcuttur. Mesafeler ve güzergâh görünümü Şekil 6,2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. 10. Yıl Arteri Kavşaklar Arasındaki Mesafe Planı



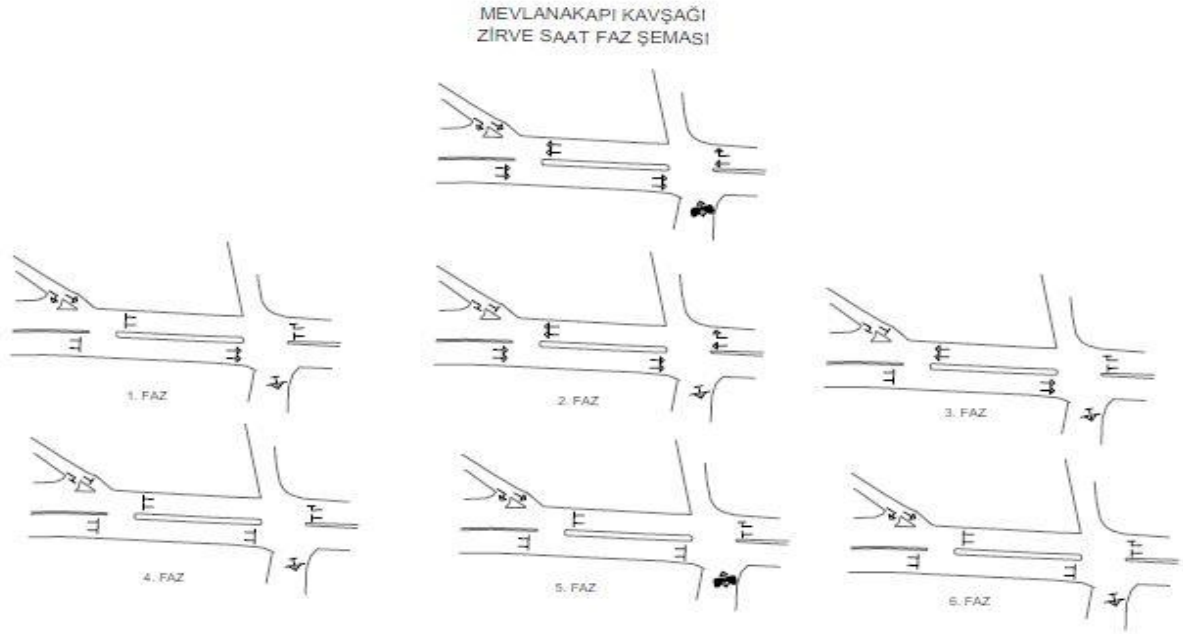
Şekil 6.4. Mevlanakapı Zirve Saat Trafik Hacim Şeması



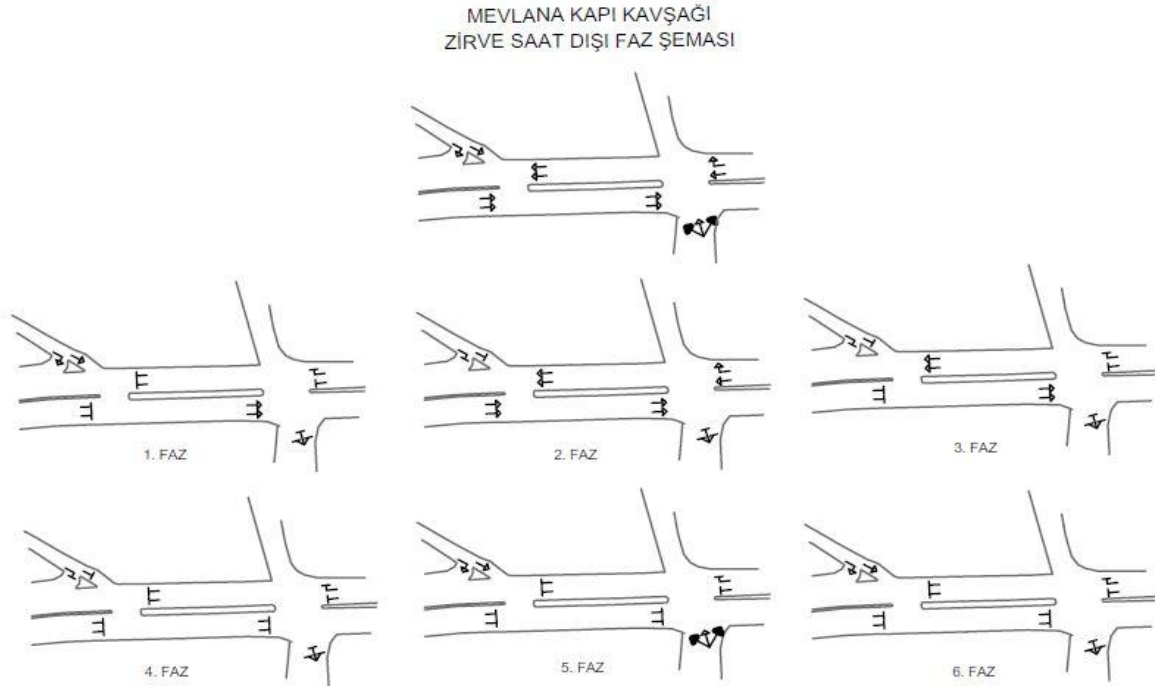
Şekil 6.5. Mevlanakapı Zirve Saat Dışı Trafik Hacim Şeması

6.1.1.2 Mevlanakapı Kavşağı Trafik Fazlanma Verileri

Mevlanakapı kavşağına ait kavşak işletme düzeninde kullanılan faz hareket dağılımları zirve saatte 6 ayrı faz ve zirve dışı saatte 6 ayrı faz olmak üzere ayrılarak Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’da verilmiştir.



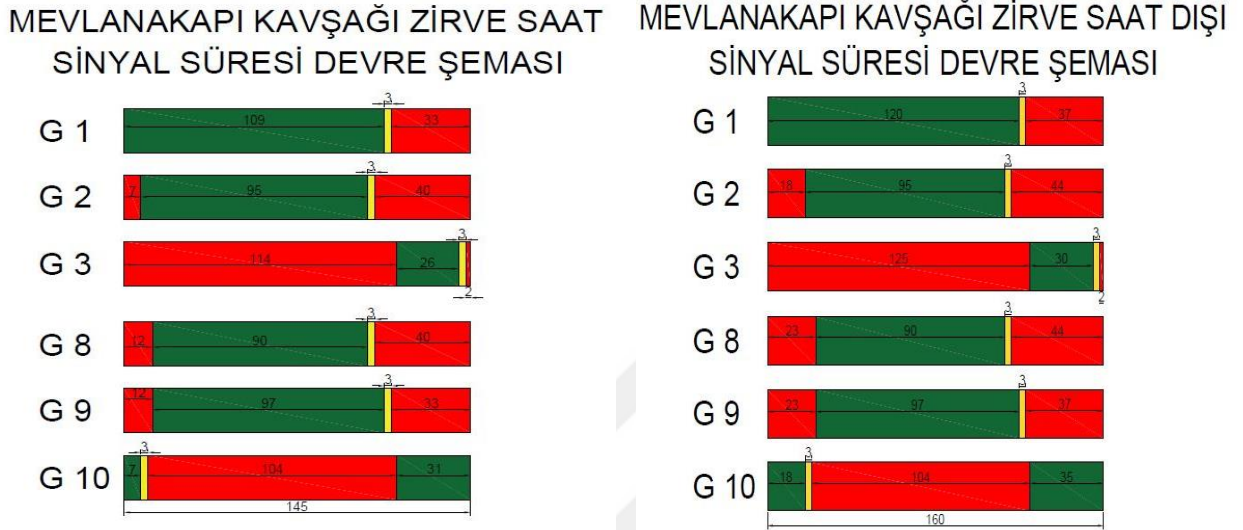
Şekil 6.6. Mevlanakapı Zirve Saat Faz Şeması



Şekil 6.7. Mevlanakapı Zirve Saat Dışı Faz Şeması

6.1.1.3 Mevlanakapı Kavşağı Trafik Devre Süresi Verileri

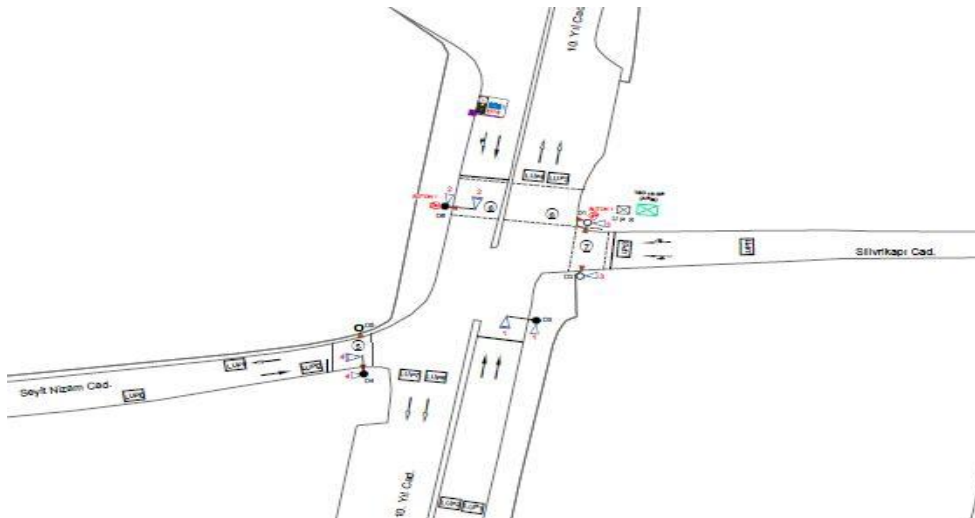
Mevlanakapı kavşağına ait kavşak işletme düzeninde kullanılan devre süresi şemaları zirve saatte 145 saniye toplam devre süresi ve zirve saat dışı saatte 160 saniye toplam devre süresi olarak işletilmektedir. Şekil 6.8 de detaylı olarak belirtilmiştir.



Şekil 6.8. Mevlanakapı Zirve Saat ve Zirve Saat Dışı Devre Süresi Şeması

6.1.2 Silivrikapı Kavşağı Trafik Verileri

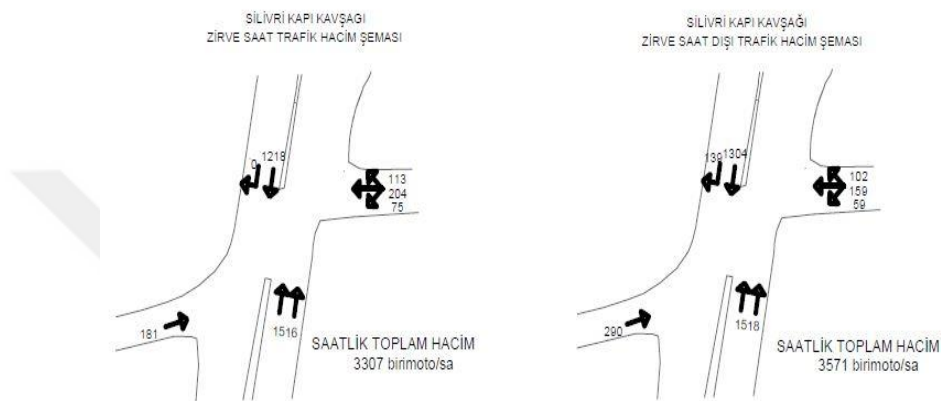
Silivrikapı kavşağı 2 şeritten oluşan 2 ana hat ve güzergâha dâhil olan 2 tali yol ile hat üzerinden çıkış yapan 1 tali yol ile geometrik olarak şekillenmiştir. 4 adet sinyalize trafik ışığı ile trafik ağı işletilmesi yapılmaktadır. Silivrikapı kavşağına ait üst yapı planı Şekil 6.9’de verilmiştir.



Şekil 6.9. Silivrikapı Üst Yapı Planı

6.1.2.1 Silivrikapı Kavşağı Trafik Hacim Verileri

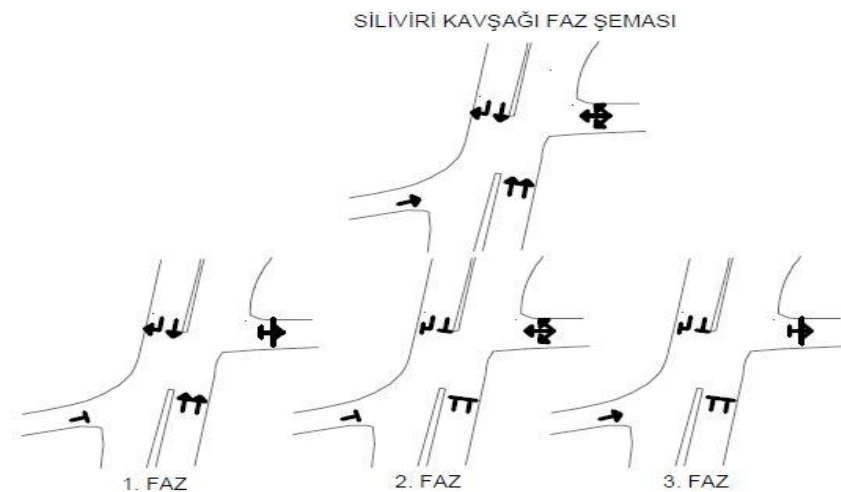
Silivrikapı kavşağı zirve saat (08.00-09.00) ve zirve dışı saat (14.00-15.00) arasındaki kavşaklara ait trafik akım verileri birim otomobil cinsinden kavşak toplamında zirve saatte 3307 birim otomobil iken zirve saat dışı trafikte 3571 birim otomobil olarak şeritlere yerleştirilen araç sayım loları yardımı ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi ulaşım daire başkanlığı tarafından ölçülmüştür. Silivrikapı kavşağına ait zirve ve zirve dışı saat trafik verileri şerit ve yön ayrımına göre Şekil 6.10’de verilmiştir.



Şekil 6.10. Silivrikapı Zirve Saat ve Zirve Saat Dışı Trafik Hacim Şeması

6.1.2.2 Silivrikapı Kavşağı Trafik Fazlanma Verileri

Silivrikapı kavşağına ait kavşak işletme düzeninde kullanılan faz hareket dağılımları zirve saatte 3 ayrı faz ve zirve dışı saatte 3 ayrı faz olmak üzere ayrılarak Şekil 6.11’de verilmiştir

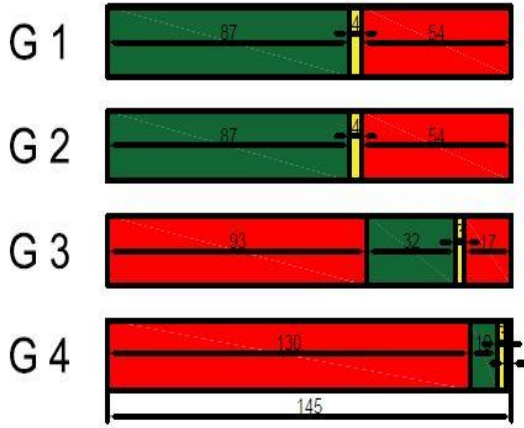


Şekil 6.11. Silivrikapı Zirve Saat ve Zirve Saat Dışı Faz Şeması

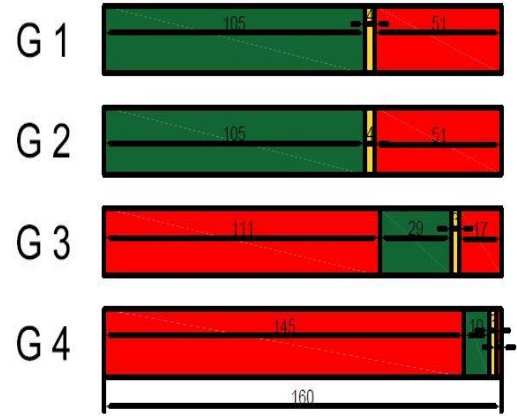
6.1.2.3 Silivrikapı Kavşağı Trafik Devre Süresi Verileri

Silivrikapı kavşağına ait kavşak işletme düzeninde kullanılan devre süresi şemaları zirve saatte 145 saniye toplam devre süresi ve zirve saat dışı saatte 160 saniye toplam devre süresi olarak işletilmektedir. Şekil 6.12 da detaylı olarak belirtilmiştir.

SİLİVRİ KAPI KAVŞAĞI ZİRVE SAAT SİNYAL SÜRESİ DEVRE ŞEMASI



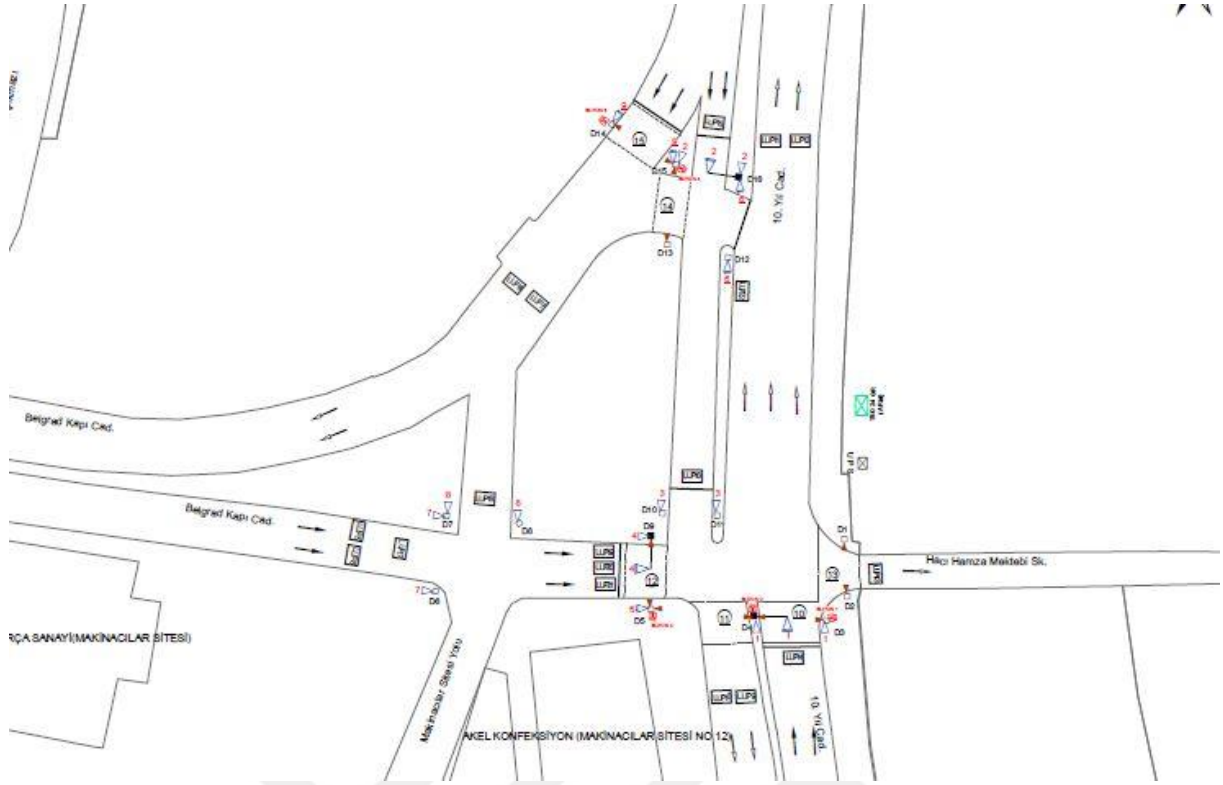
SİLİVRİ KAPI KAVŞAĞI ZİRVE SAAT DIŞI SİNYAL SÜRESİ DEVRE ŞEMASI



Şekil 6.12. Silivrikapı Zirve Saat ve Zirve Saat Dışı Devre Süresi Şeması

6.1.3 Belgradkapı Kavşağı Trafik Verileri

Belgradkapı kavşağı 2 şeritten oluşan 2 ana hat, 1. Ana hattan ayrılan 2 şeritli bir tali yol ve bu yolu kesen ana hatta katılan 2 şeritli bir tali yol kesişmesi mevcuttur. Bu kesişimde sinyalizasyon bir trafik ışığı ile kontrol edilmektedir. Ana hat üzerinden çıkış yapan 1 tali yol ile geometrik olarak şekillenmiştir. 5 adet sinyalizasyon trafik ışığı ile trafik ağı işletilmesi yapılmaktadır. Belgradkapı kavşağına ait üst yapı planı Şekil 6.13’de verilmiştir.

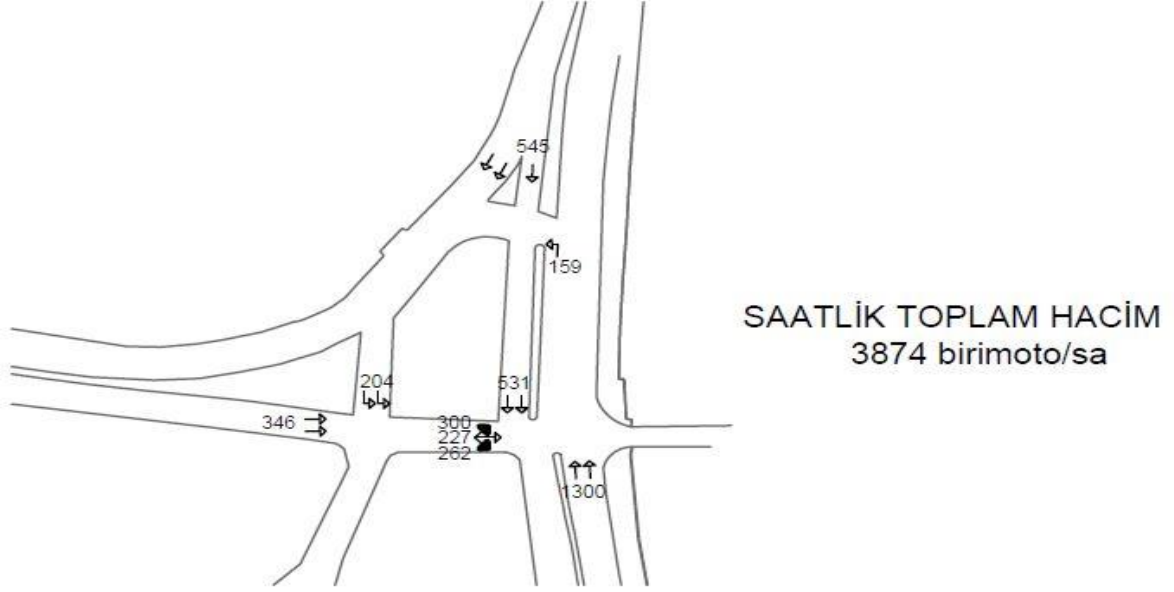


Şekil 6.13. Belgradkapı Üst Yapı Planı

6.1.3.1 Belgradkapı Kavşağı Trafik Hacim Verileri

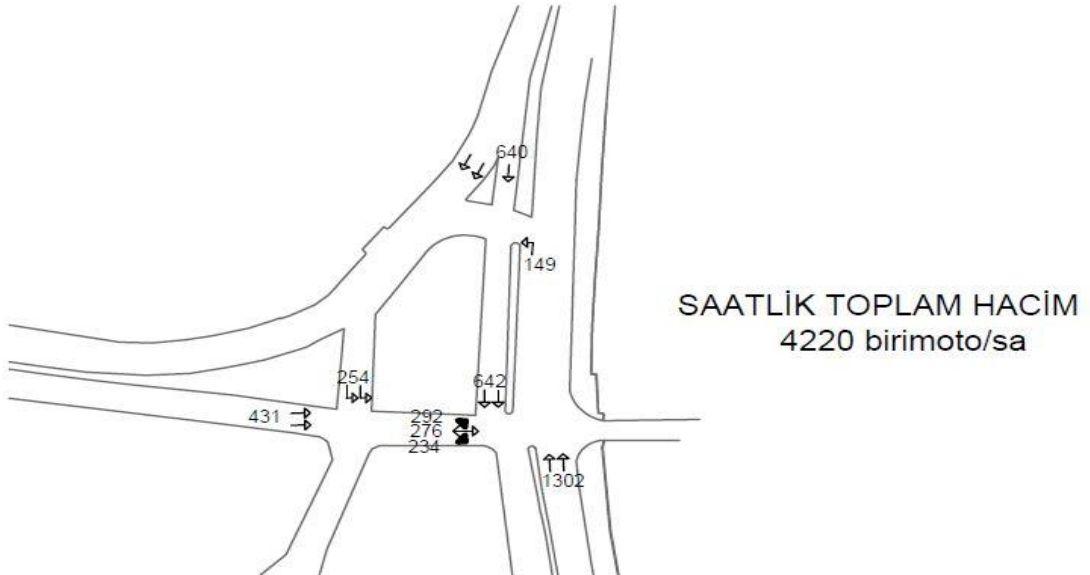
Belgradkapı kavşağı zirve saat (08.00-09.00) ve zirve dışı saat (14.00-15.00) arasındaki kavşaklara ait trafik akım verileri birim otomobil cinsinden kavşak toplamında zirve saatte 3874 birim otomobil iken zirve saat dışı trafikte 4220 birim otomobil olarak şeritlere yerleştirilen araç sayım lopları yardımı ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi ulaşım daire başkanlığı tarafından ölçülmüştür. Belgradkapı kavşağına ait zirve ve zirve dışı saat trafik verileri şerit ve yön ayırımına göre Şekil 6.14 ve Şekil 6.15’de verilmiştir.

BELGRADKAPI KAVŞAĞI
ZİRVE SAAT TRAFİK HACİM ŞEMASI



Şekil 6.14. Belgradkapi Zirve Saat Trafik Hacim Şeması

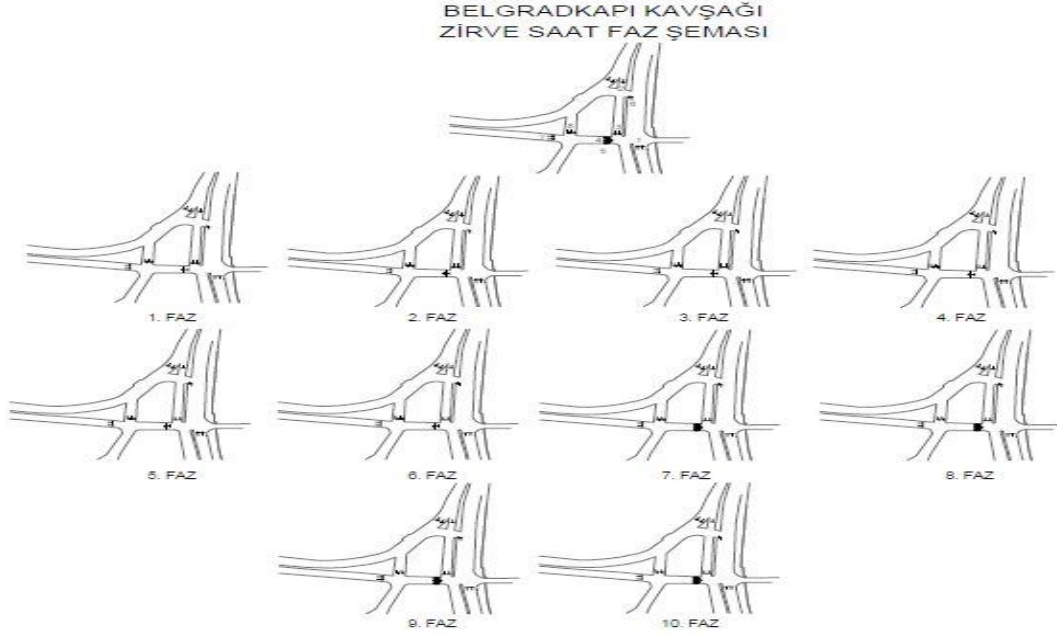
BELGRADKAPI KAVŞAĞI
ZİRVE SAAT DIŞI TRAFİK HACİM ŞEMASI



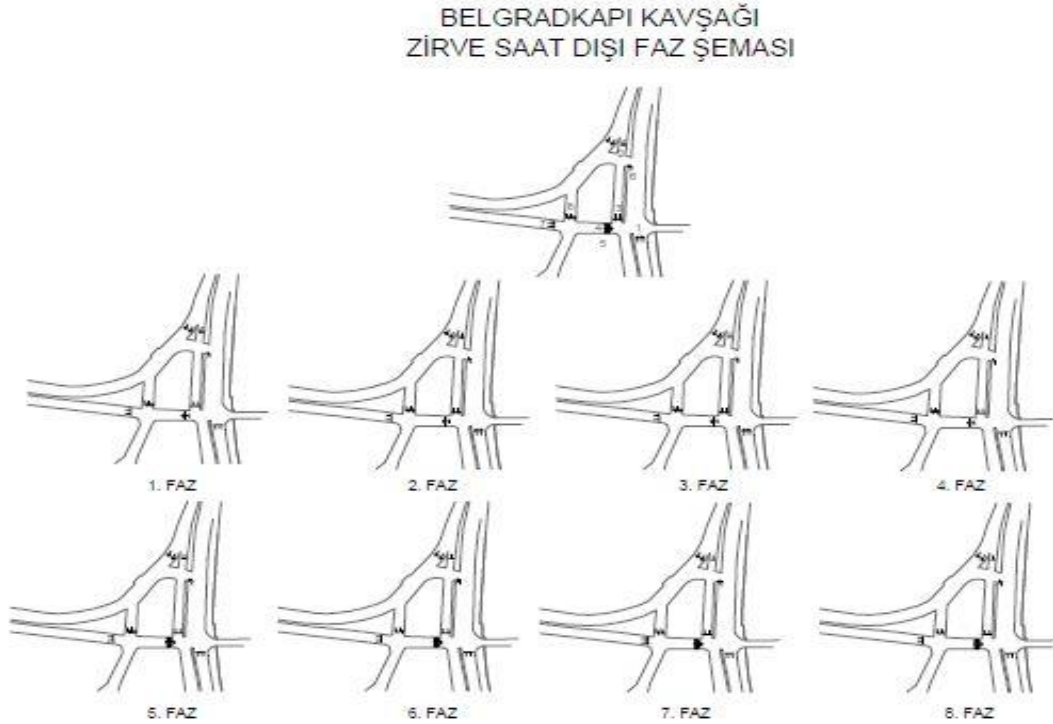
Şekil 6.15. Belgradkapi Zirve Saat Dışı Trafik Hacim Şeması

6.1.3.2 Belgradkapı Kavşağı Trafik Fazlanma Verileri

Belgradkapı kavşağına ait kavşak işletme düzeninde kullanılan faz hareket dağılımları zirve saatte 10 ayrı faz ve zirve dışı saatte 8 ayrı faz olmak üzere ayrılarak Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’da verilmiştir.



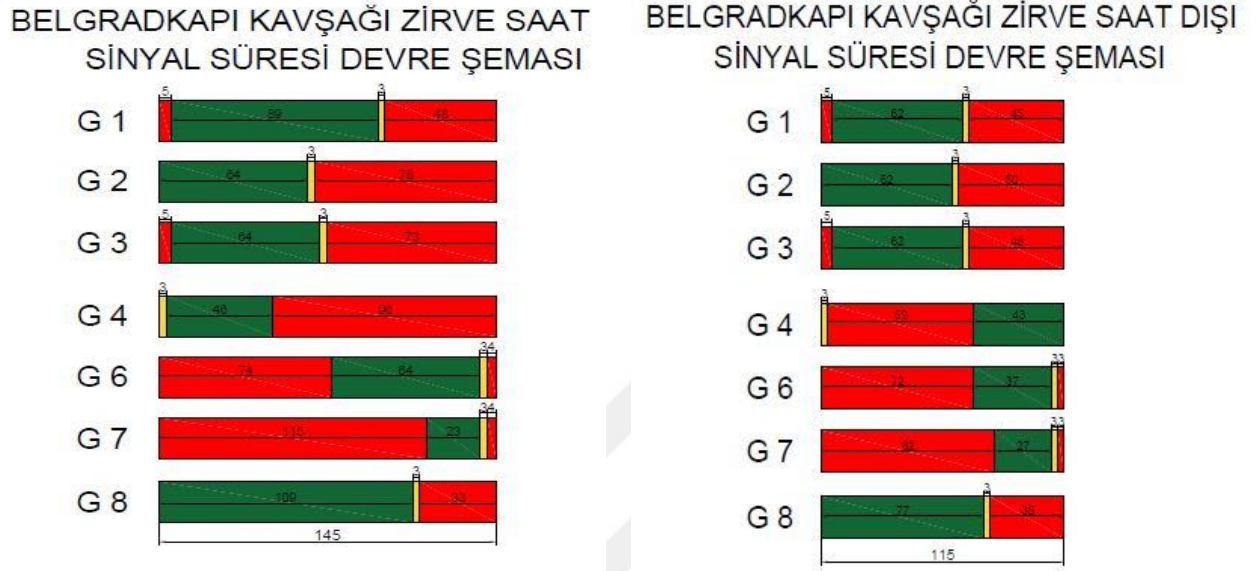
Şekil 6.16. Belgradkapı Zirve Saat Faz Şeması



Şekil 6.17. Belgradkapı Zirve Saat Dışı Faz Şeması

6.1.3.3 Belgradkapı Kavşağı Trafik Devre Süresi Verileri

Belgradkapı kavşağına ait kavşak işletme düzeninde kullanılan devre süresi şemaları zirve saatte 145 saniye toplam devre süresi ve zirve saat dışı saatte 115 saniye toplam devre süresi olarak işletilmektedir. Şekil 6.18 da detaylı olarak belirtilmiştir.



Şekil 6.18. Belgradkapı Zirve Saat ve Zirve Saat Dışı Devre Süresi Şeması

7. VERİLERİN AIMSUN SİMÜLASYON PROGRAMINA AKTARILMASI

7.1. Çalışma Alanındaki Verilerin Sınıflandırılması

Çalışmamızda 10.yıl arteri üzerinde bulunan yukarıda detaylı bilgileri verilen kavşaklarımızın birbirleri ile koordine bir şekilde çalıştıkları ve AUS uygulaması olan akıllı kavşağın 7 farklı senaryo olarak eklenmesi ile trafik verileri üzerindeki faydaları değerlendirmesi yapılmaya çalışılmıştır. Şekil 7.1’ de verilmiştir.

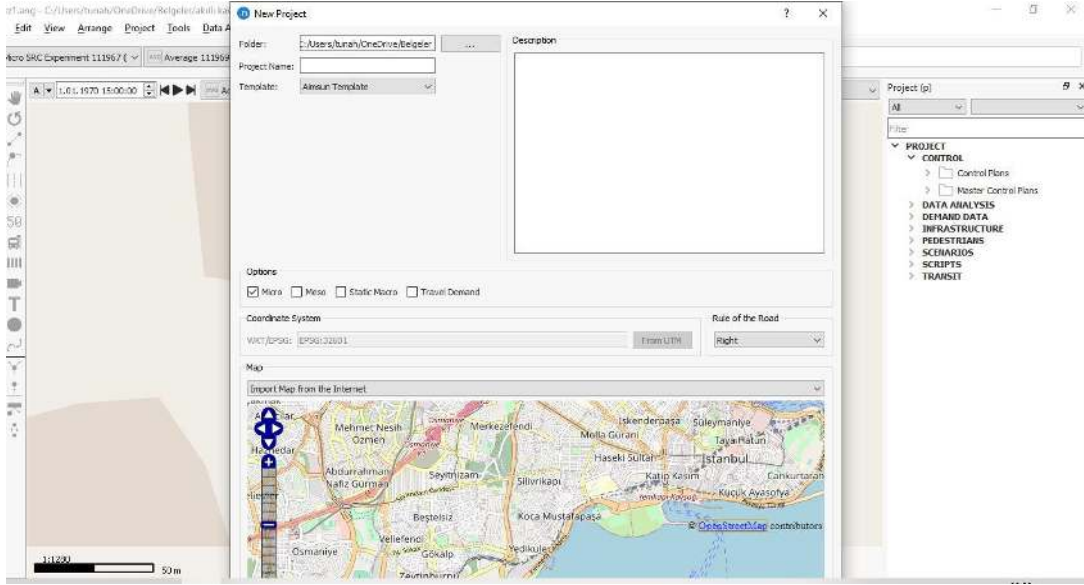
10.YIL ARTERİ SENARYO PLANLAMASI DETAYLARI

DURUM	KAVŞAKLAR					
	MEVLANAKAPI KAVŞAĞI		SİLİVRİKAPI KAVŞAĞI		BELGRADKAPI KAVŞAĞI	
	STANDART	AKILLI	STANDART	AKILLI	STANDART	AKILLI
MEVCUT DURUM	+		+		+	
1A2S3S		+	+		+	
1S2A3S	+			+	+	
1S2S3A	+		+			+
1A2A3S		+		+	+	
1S2A3A	+			+		+
1A2S3A		+	+			+
1A2A3A		+		+		+

Şekil 7.1. 10.Yıl Arteri Senaryo Planlaması Detayları

7.2 Verilerin Simülasyon Programına Girilmesi

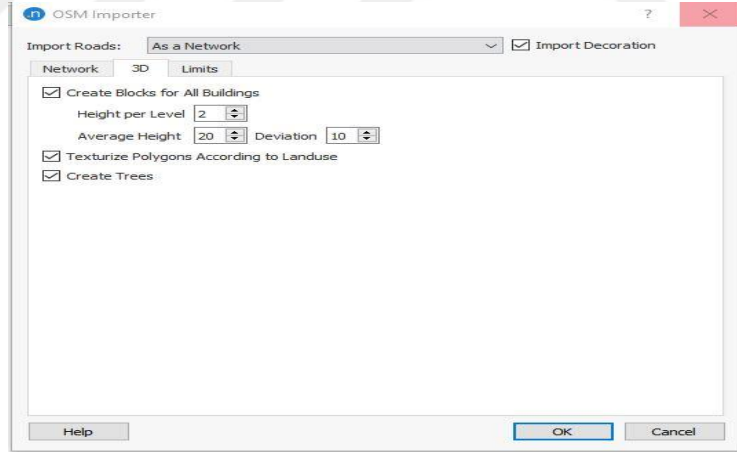
1. AIMSUN programını bilgisayar ortamında açılır.
2. Yeni proje açabilmek için File - New – New Project
3. Proje simülasyon yöntemi seçilir. Mikro simülasyon yapılacağı için mikro seçilir.
4. Harita üzerinden güzergah verilerini alabilmek için Map – Import map from the internet seçimi yapılır. Şekil 7.2’ de verilmiştir.



Şekil 7.2. 10.Yıl Arteri Verilerinin Yüklenmesi

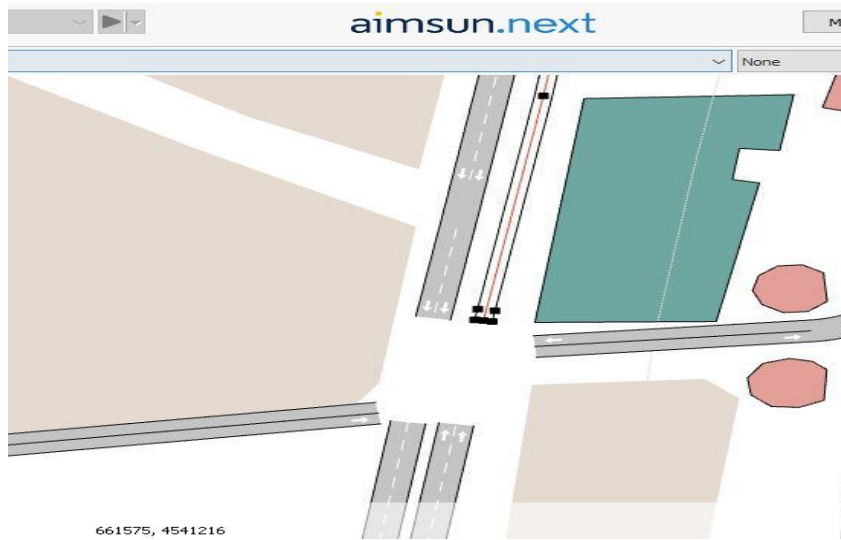
5. Geometrik düzenleme sayfasına geçilir

- Import Roads: As a Network seçilir.
- 3D sekmesi altındaki tüm kutucukları işaretlenir.
- Average: Height: 20, Deviation:10 olarak belirtilir.

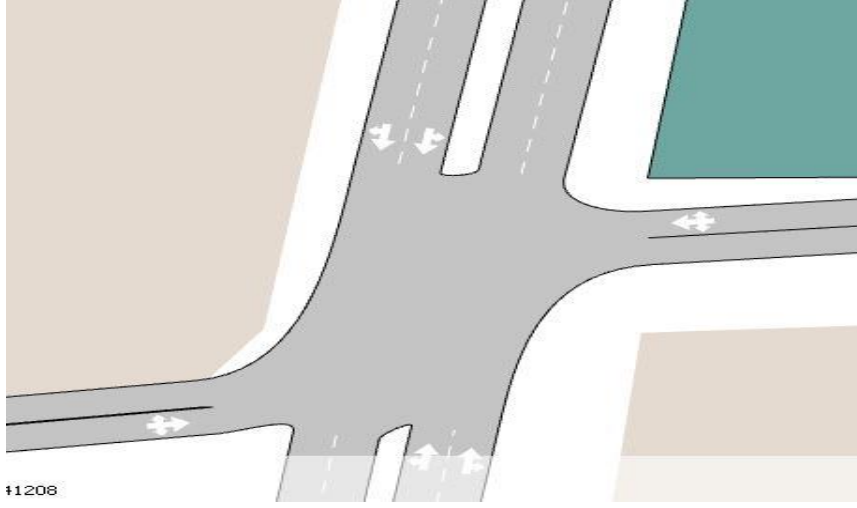


Şekil 7.3. Harita Geometrik Verilerinin Belirlenmesi

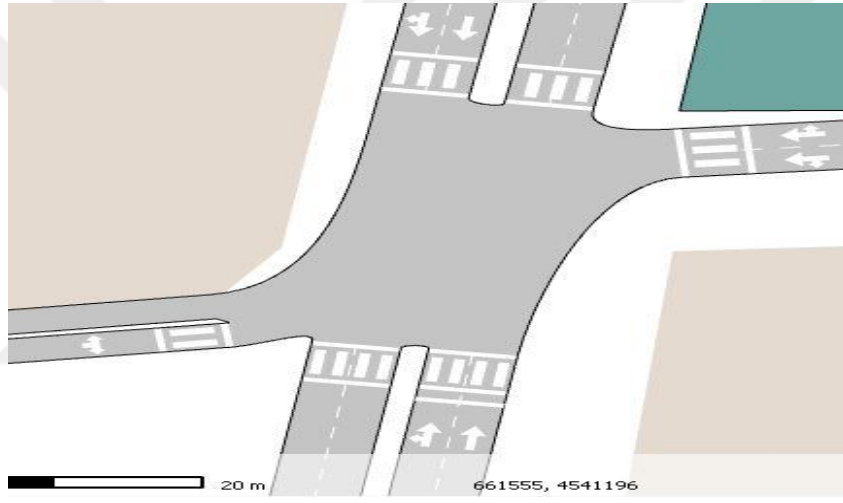
6. İnternet üzerinden yüklenen haritalarda kavşak ve şerit düzeltmeleri yapılır.
- Şerit sayıları mevcut durumuna uygun şekilde arttırmak için yön seçimi yapıldıktan sonra kısa yol olarak (CTRL, İSTENEN ŞERİT SAYISI) kullanılarak şerit sayıları istenen sayıya getirilir. Şekil 7.4’de gösterilmiştir.
 - Kesişim bölgesinde kalan kavşak alanını atamak için güzergahlar seçildikten sonra  ikonuna basılarak birleşim noktası oluşturulur. Şekil 7.5’de gösterilmiştir.
 - Kavşak alanlarında bulunan yaya geçitleri  ikonunu seçildikten sonra yaya geçit alanları seçilerek ataması yapılmış olur. Şekil 7.6’de gösterilmiştir.
 - Kavşaktaki verilerin toplanıp değerlendirilebilmesi için  ikonunu ile detektörlerin ataması yaya geçitleri arkasına atanır. Şekil 7.7’de gösterilmiştir.
 - Kavşak alanına çift tıklanarak açılan pencerede kavşak üzerindeki yönlerin düzenlenmesi amacı ile main sekmesi altında yolun birleşimine göre otomatik olarak atanan dönüş güzergâhların kontrol edilir. Şekil 7.8’de gösterilmiştir.
 - Kavşak düzenleme sekmesinde Signal Groups sekmesi altında kavşaklardaki dönüşlerin new butonu ile açılan sinyal grupları turn sekmesinden dönüşler, pedestrian sekmesi altından da yaya yolları seçilerek sinyal grupları atamaları yapılır. Şekil 7.9’de gösterilmiştir.



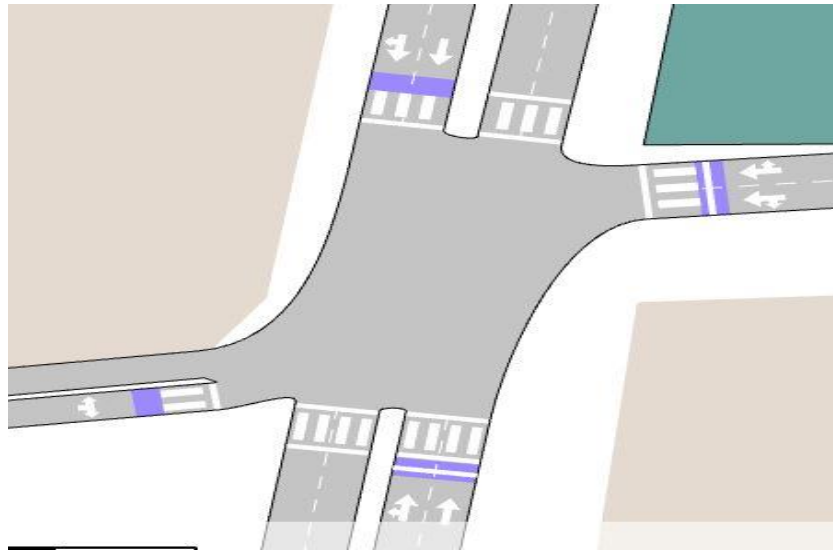
Şekil 7.4. Güzergâh Şerit Sayılarının Ayarlanması



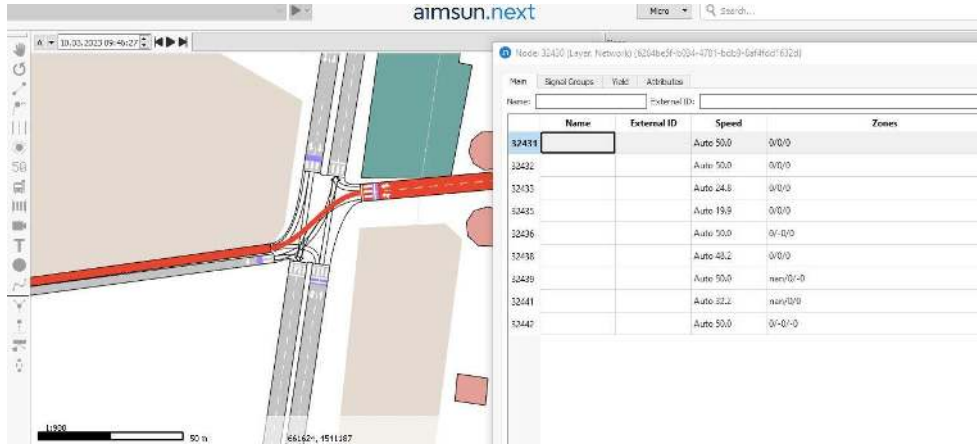
Şekil 7.5. Kavşak Alanlarının oluşturulması



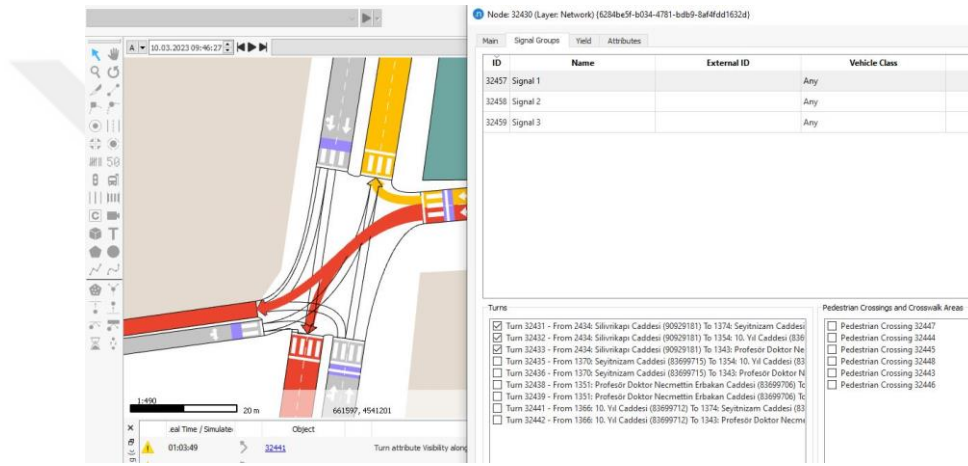
Şekil 7.6. Kavşak Alanlarında Yaya Geçitlerini Atanması



Şekil 7.7. Kavşak Alanlarında Detektörlerin Atanması



Şekil 7.8. Kavşak Güzergah Üzerindeki Dönüşlerin Kontrolü

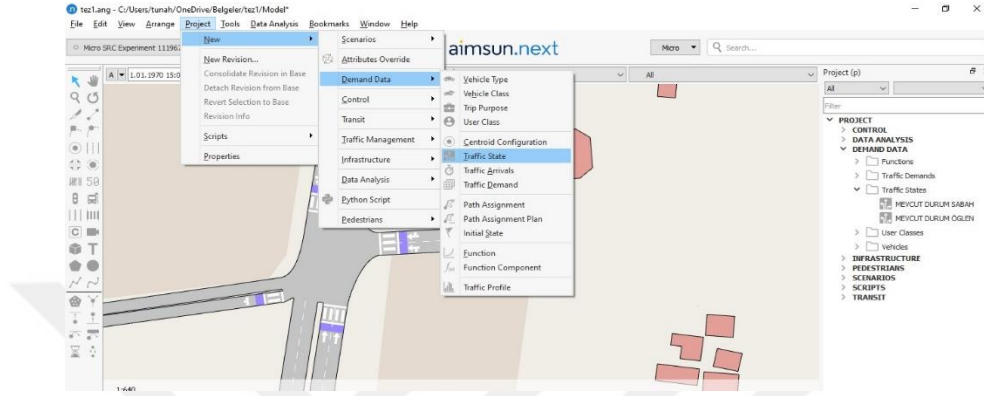


Şekil 7.9. Kavşak Güzergah Üzerindeki Dönüş ve Yaya Yollarının Atanması

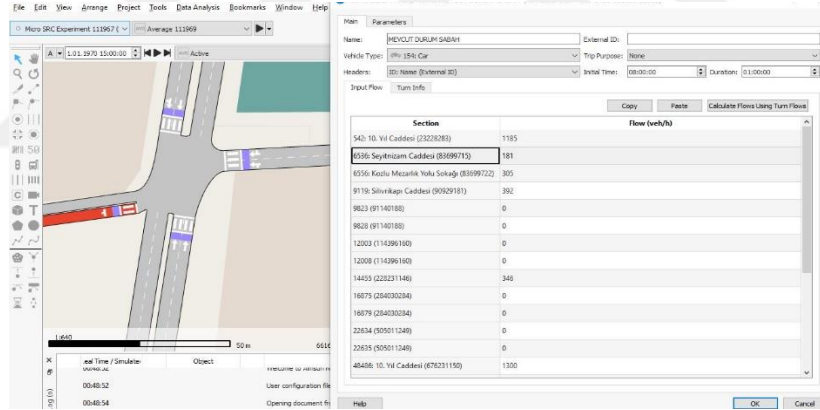
7. Kavşaklardaki Trafik verilerinin ayarlanmasına geçilerek İstanbul Büyükşehir Belediyesinden alınan veriler atanmıştır.

- Project - New - Demand Data - Traffic State seçilerek AIMSUN project menüsünde açılan traffic state sekmesinin oluşması sağlanır. Şekil 7.10'da gösterilmiştir.
- Traffic State Menüsündeki alanlar aşağıda verildiği gibi doldurulur. Şekil 7.11 ve Şekil 7.12'de gösterilmiştir.
 - Name: Proje Trafik verisine verilen isim yazılır.
 - Vehicle Type: Güzergâhtaki değerlendirme birim otomobil seçildiği için car olarak seçilir.
 - Initial Time: Verinin başlangıç saati olarak 08.00 olarak girilir.
 - Duration: Verinin uygulanacağı sürenin sınırlandırılması için 01.00 saat olarak atanır.

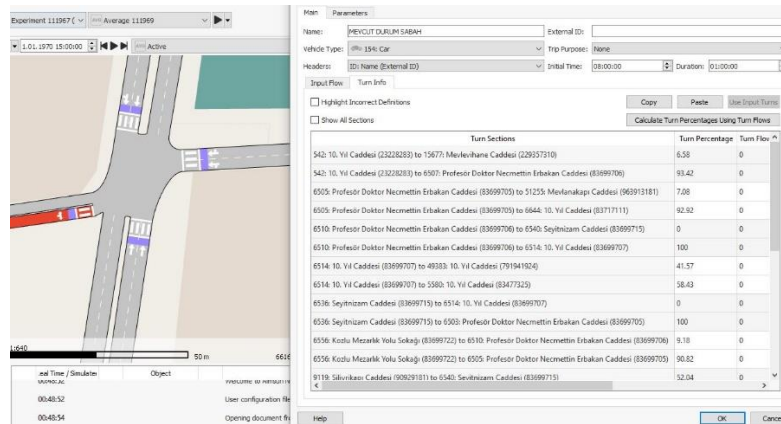
- v. Input Flow: güzergahlardan geçen araç sayıları Flow sekmesi altında güzergahla eşleştirilerek mevcut durum için sayımları alınan veriler atanır.
- vi. Turn Info: Güzergahlara atanan araç yüklerinin kavşak dönüş noktalarında ana yoldan ayrılma ve katılma oranları yüzdesel olarak hesaplanarak verilerin atanması sağlanır.



Şekil 7.10. Trafik Verilerinin Atanması İçin Trafik State Menüsünün Açılması



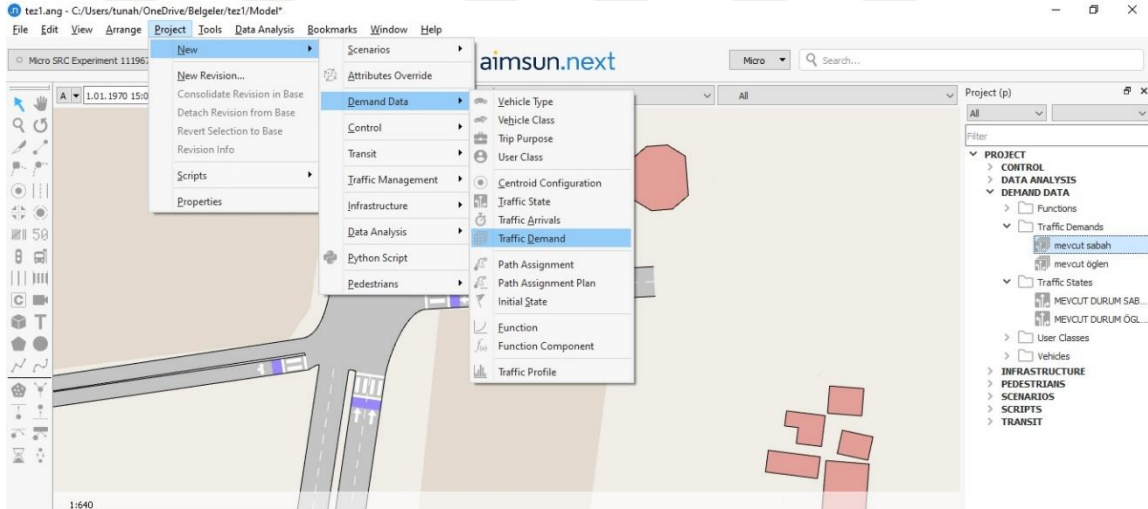
Şekil 7.11. Trafik Verilerinin Atanması İçin Trafik State Menüsünün Doldurulması



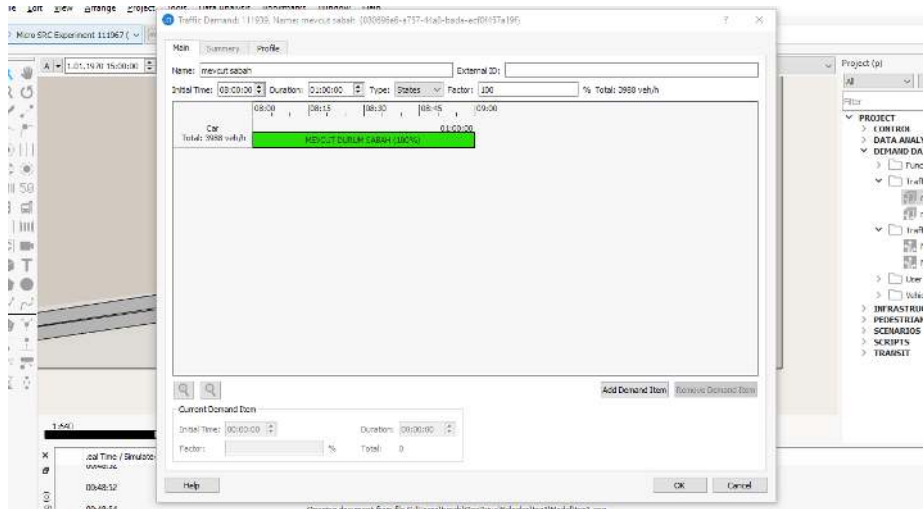
Şekil 7.12. Trafik Verilerinin Atanması İçin Trafik State Yönlerin Oransal Atanması

8. Trafik talep modülünün belirlenmesi

- Project - New - Demand Data - Traffic Demand sekmesi seçilerek AIMSUN Project menüsünde açılan Traffic Demand sekmesinin oluşması sağlanır. Şekil 7.13’de gösterilmiştir.
- Traffic Demand Menüsündeki alanlar aşağıda verildiği gibi doldurulur. Şekil 14’de gösterilmiştir.
 - Name: Proje Trafik verisine verilen isim yazılır
 - Initial Time: Verinin başlangıç saati olarak 08.00 olarak girilir.
 - Duration: Verinin uygulanacağı sürenin sınırlandırılması için 01.00 saat olarak atanır.
 - Add Demand Item sekmesi açılarak Traffic State menüsünde atanan trafik verileri seçilir.



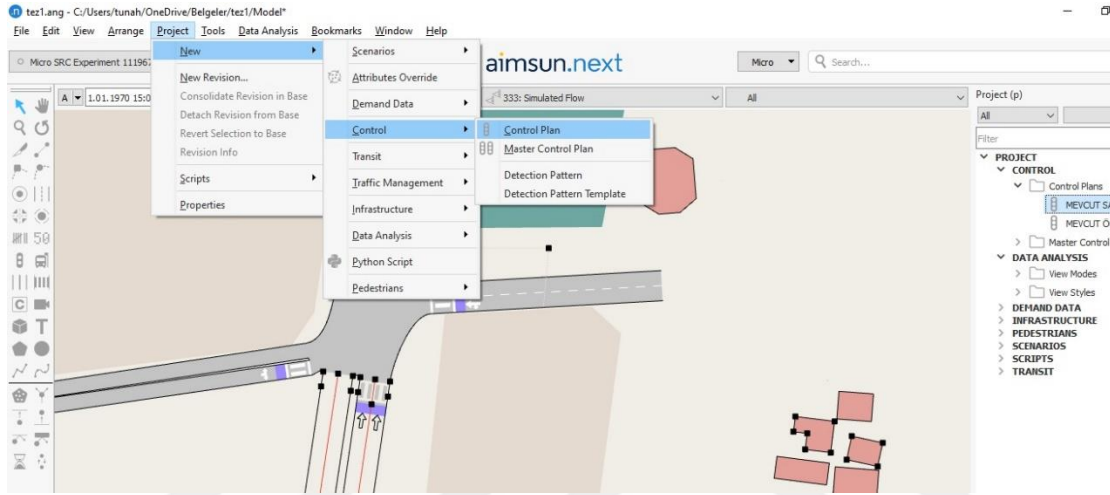
Şekil 7.13. Trafik Talep Atanması İçin Trafik Demand Sekmesi Açılımı



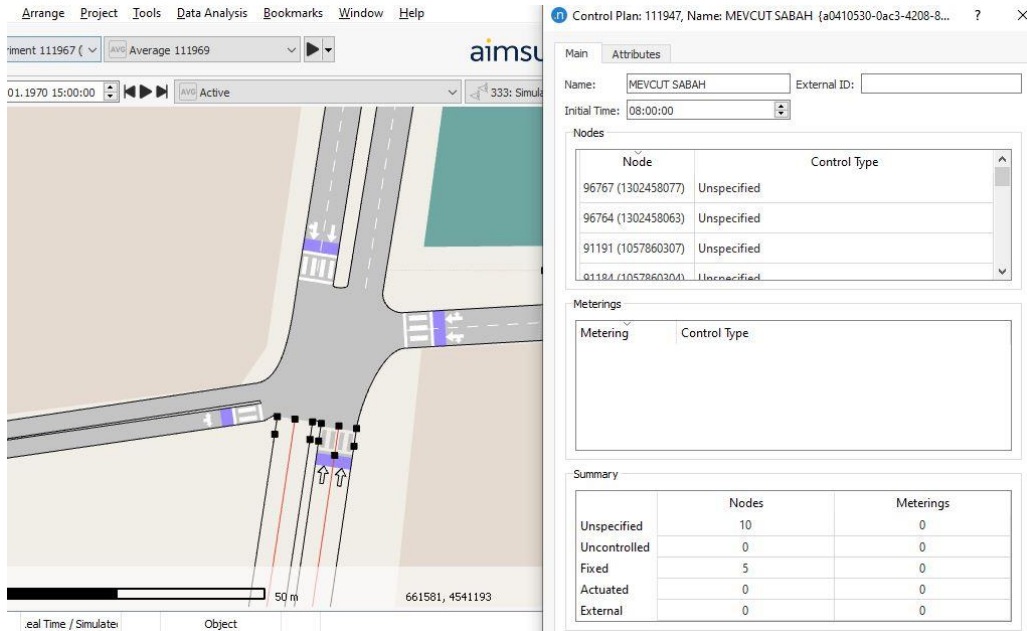
Şekil 7.14. Trafik Talep Atanması İçin Trafik Demand Sekmesinin Doldurulması

9. Sinyalizasyon Verilerinin Atanması

- Project - New – Control - Control Plan sekmesi seçilerek AIMSUN Project menüsünde açılan Control Plan sekmesinin oluşması sağlanır. Şekil 7.15’de gösterilmiştir.
- Control Plan Menüsündeki alanlar aşağıda verildiği gibi doldurulur. Şekil 7.16’da gösterilmiştir.
 - Name: Proje Trafik verisine verilen isim yazılır
 - Initial Time: Verinin başlangıç saati olarak 08.00 olarak girilir.



Şekil 7.15. Control Plan Sekmesinin açılması



Şekil 7.16. Control Plan Sekmesinin Doldurulması

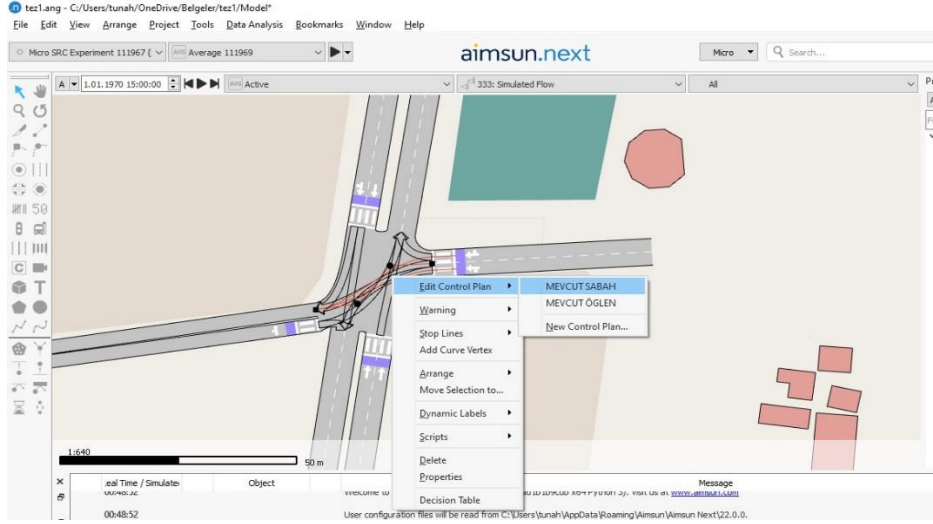
c. Kavşaklarda ataması yapılan yön işaretlerinden birinin üzerine sağ tıklanarak Edit Contol Plan Sekmesi seçilerek kavşak özelinde sinyalizasyon değerleri atanır. Şekil 7.17’de gösterilmiştir. Edit Contol Plan Sekmesi aşağıda verildiği gibi doldurulur.

i. Kavşakta akıllı sistem detektörleri kullanılmayacaksa aşağıdaki yöntem izlenir. Şekil 7.18’de gösterilmiştir

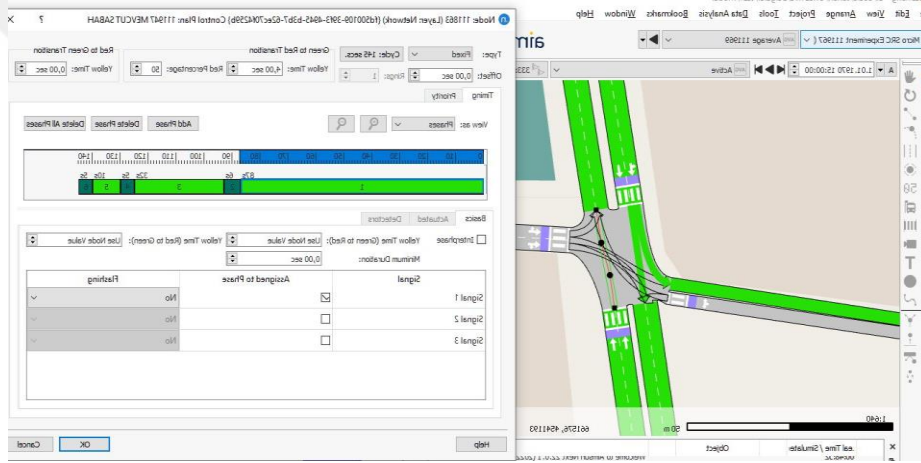
1. Type: Fixed olarak seçilir.
2. Cycle: Kavşakta kullanılan devre süresi girilir.
3. Green to Red Transition: Yeşil ve kırmızı ışık arasındaki sarı süre girilir.
4. Red to Green Transition: Kırmızı ve yeşil ışık arasındaki sarı süre girilir.
5. View As: Signal Groups seçilir. Ve daha önce seçilen sinyal grupları için yeşil süreleri devre sürelerine uygun olarak doldurulur.

ii. Kavşakta akıllı sistem detektörleri kullanılacaksa aşağıdaki yöntem izlenir. Şekil 7.19’da gösterilmiştir

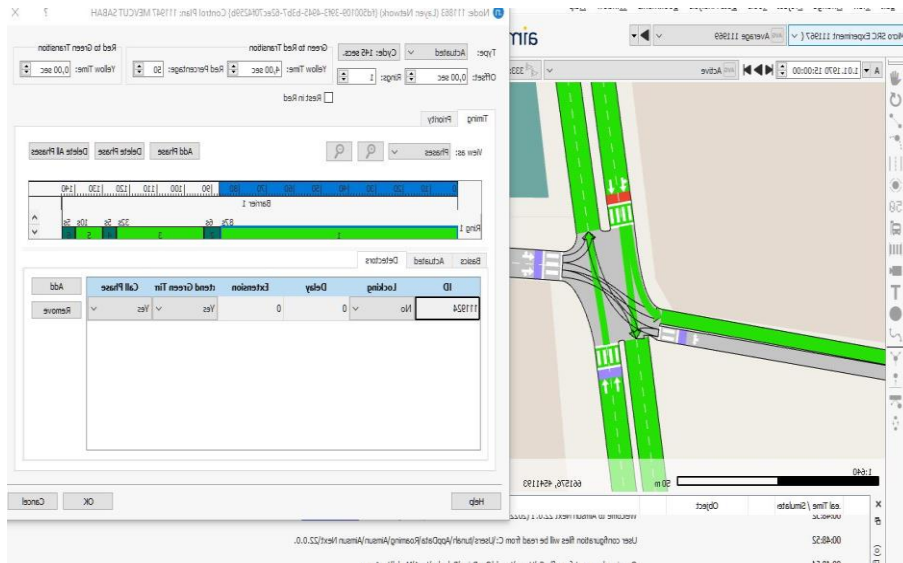
1. Type: Actuated olarak seçilir.
2. Cycle: Kavşakta kullanılan devre süresi girilir.
3. Green to Red Transition: Yeşil ve kırmızı ışık arasındaki sarı süre girilir.
4. Red to Green Transition: Kırmızı ve yeşil ışık arasındaki sarı süre girilir.
5. View As: Phases seçilir. Ve daha önce seçilen sinyal grupları için atamalar yapılır.
6. Basic: Sinyal grubu seçilir
7. Actuated: Detektörlerin vermesini istediğimiz minimum ve maksimum yeşil süre ve pas geçilecek sarı süre değerleri girilir.
8. Detectors: sekmesi altında sinyal grupları için kavşak üzerine yerleştirilen detektörler seçilir.



Şekil 7.17. Edit Control Plan Sekmesinin Açılması

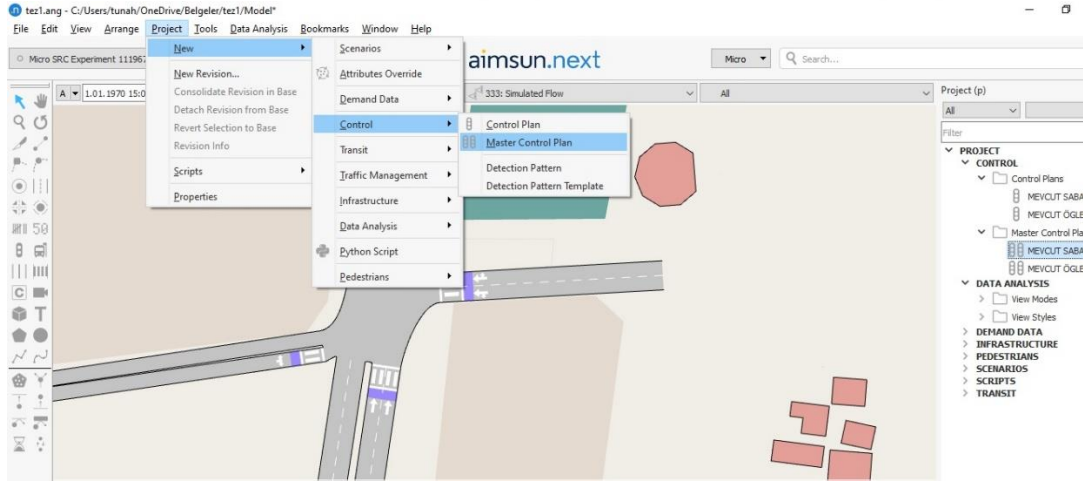


Şekil 7.18. Edit Control Plan Sekmesinin Standart Kavşak Verilerine Göre Doldurulması

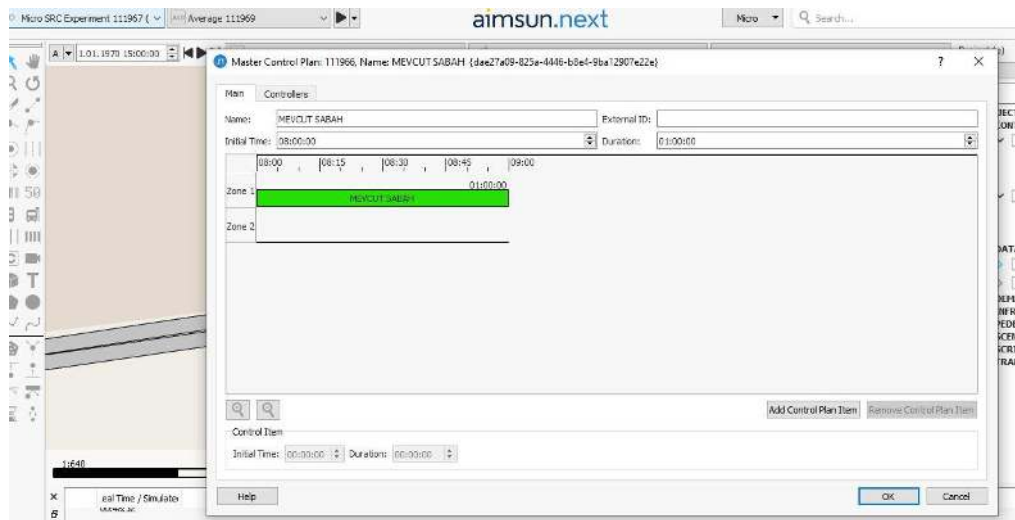


Şekil 7.19. Edit Control Plan Sekmesinin Akıllı Kavşak Verilerine Göre Doldurulması

- d. Project - New - Control - Master Control Plan sekmesi seçilerek AIMSUN Project menüsünde açılan Master Control Plan sekmesinin oluşması sağlanır. Şekil 7.20’de gösterilmiştir.
- e. Master Control Plan Menüsündeki alanlar aşağıda verildiği gibi doldurulur. Şekil 7.21’de gösterilmiştir.
- Name: Proje Kontrol verisine isim yazılır
 - Initial Time: Verinin başlangıç saati olarak 08.00 olarak girilir
 - Duration: Verinin uygulanacağı sürenin sınırlandırılması için 01.00 saat olarak atanır.
 - Add Control Plan Item: Girilen saat diliminde uygulanması istenen control planı seçilir.



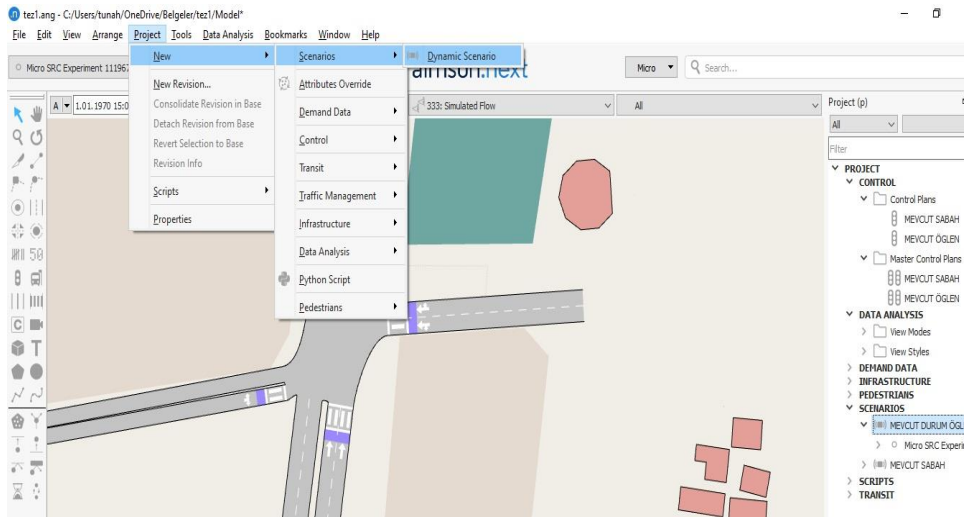
Şekil 7.20. Master Control Plan Sekmesinin Açılması



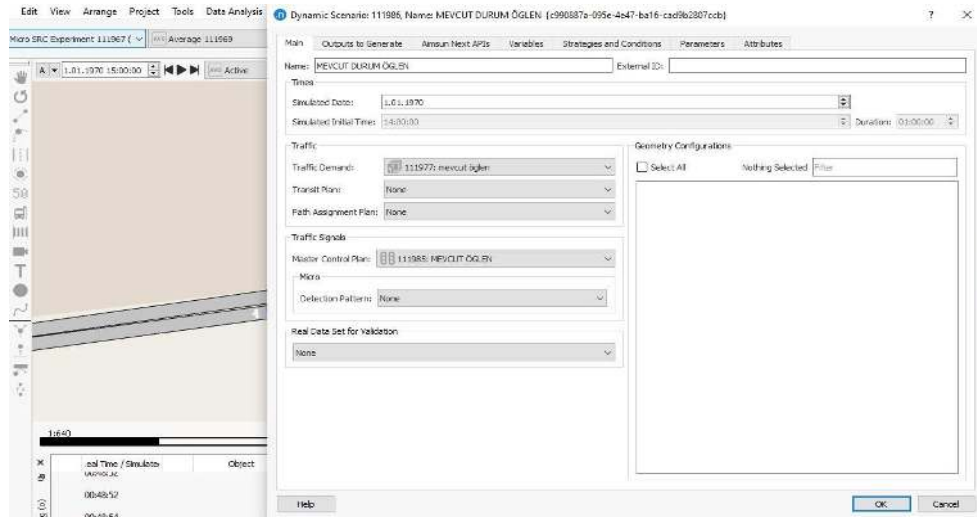
Şekil 7.21. Master Control Plan Sekmesinin Doldurulması

10. Simülasyon senaryolarının tanımlanması

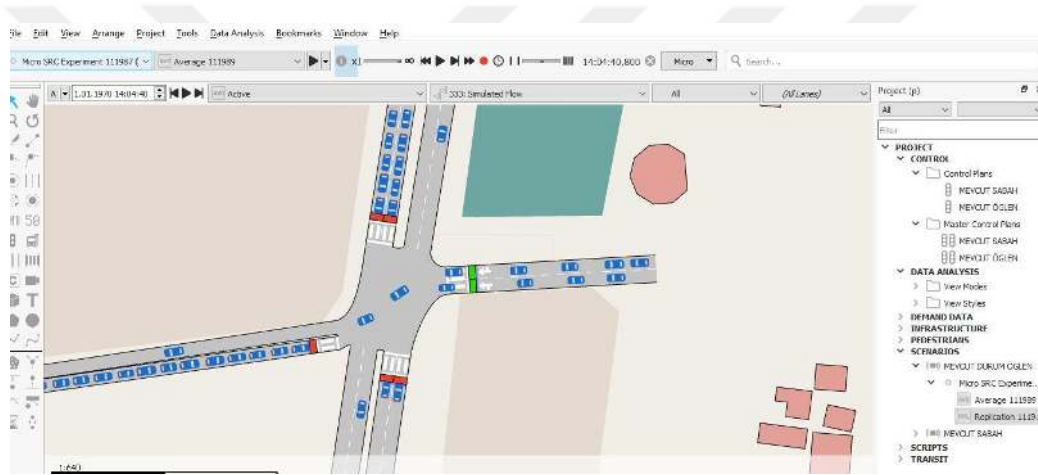
- Project - New - Scenarios - Dynamic Scenario sekmesi seçilerek AIMSUN Project menüsünde açılan Dynamic Scenario sekmesinin oluşması sağlanır. Şekil 7.22’da gösterilmiştir.
- Açılan Dynamic Scenario sekmesine farenin sağ tuşuyla tıklanarak New Experiment seçilir.
- Açılan pencerede Mikrosopic Simulator, Stochastic Route Choice sekmeleri seçilir ve OK tuşuna basılır
- Dynamic Scenario sekmesine çift tıklayarak Menü açılır ve alanlar aşağıda verildiği gibi doldurulur. Şekil 7.23’da gösterilmiştir.
 - Name: Proje ismi yazılır.
 - Traffic Demand: Yukarıdaki Bölümlerde Girilen Değerler Seçilir.
 - Master Control Plan: Yukarıdaki Bölümlerde Girilen Değerler Seçilir.
 - Analizlerde çevresel faktörlere etkinin araştırılması istenirse Outputs to Generate Sekmesi altındaki değerler projeye uygun olarak işaretlenerek değerlendirmeye alınır.
- Micro SRC Experiment sekmesine farenin sağ tuşuyla tıklanılır, New - Replication seçilir, oluşan Replication sekmesine sağ tıklayarak Run Animated Simulation (Aurun) sekmesi seçilir ve simülasyon gerçekleştirilmiş olur. Şekil 7.24’da gösterilmiştir.



Şekil 7.22. Dynamic Scenario Sekmesinin Açılması



Şekil 7.23. Dynamic Scenario Sekmesinin Doldurulması

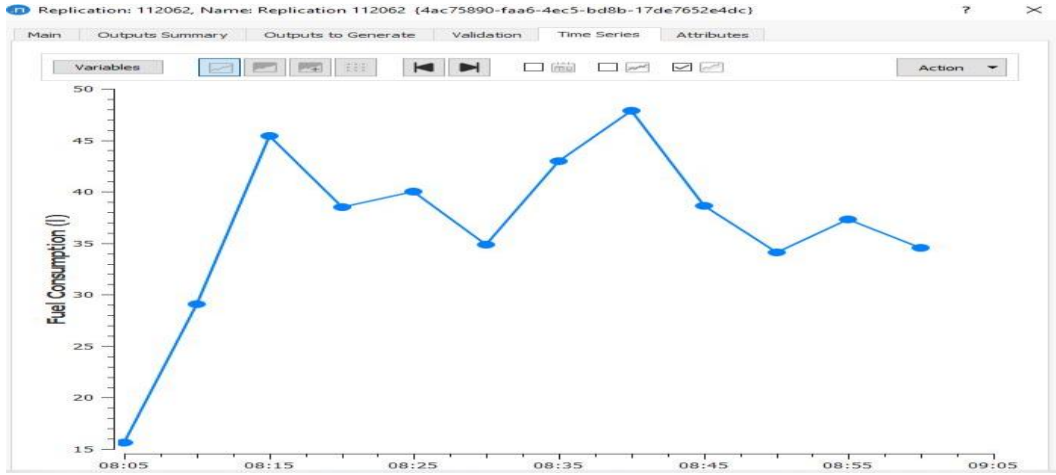


Şekil 7.24. Senaryolara Uygun Olarak Analizlerin Yapılması

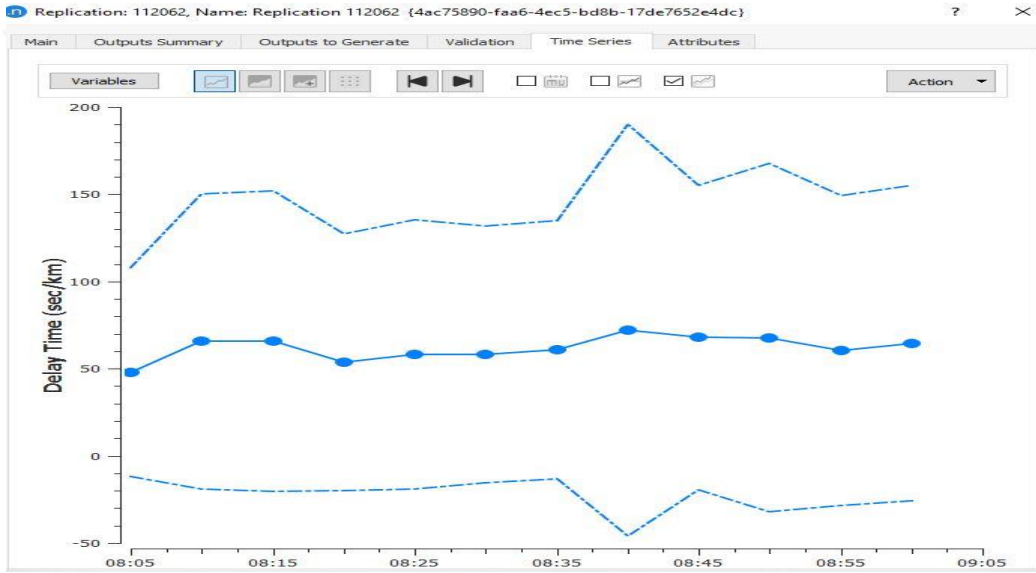
Replication: 112062, Name: Replication 112062 {4ac75890-faa6-4ec5-bd8b-17de7652e4dc}

Time Series	Value	Standard Deviation	Units
Battery Consumption - Car	0	N/A	kWh
Delay Time - Car	62,62	87,15	sec/km
Density - Car	15,25	N/A	veh/km
Flow - Car	3835	N/A	veh/h
Fuel Consumption - Car	438,98	N/A	l
Harmonic Speed - Car	27,81	13,41	km/h
IEM Emission - Car - CO2	1147788,4	N/A	g
IEM Emission - Car - NOx	2574,1	N/A	g
IEM Emission - Car - PM	412,31	N/A	g
IEM Emission - Car - VOC	1121,63	N/A	g
IEM Emission - Interurban - Car - CO2	217141,34	N/A	g/km
IEM Emission - Interurban - Car - NOx	486,98	N/A	g/km
IEM Emission - Interurban - Car - PM	78	N/A	g/km
IEM Emission - Interurban - Car - VOC	212,19	N/A	g/km
Input Count - Car	3999	N/A	veh
Input Flow - Car	3999	N/A	veh/h
Max. Virtual Queue - Car	10	N/A	veh
Mean Queue - Car	34,97	N/A	veh
Mean Virtual Queue - Car	0,66	N/A	veh
Missed Turns - Car	3	N/A	

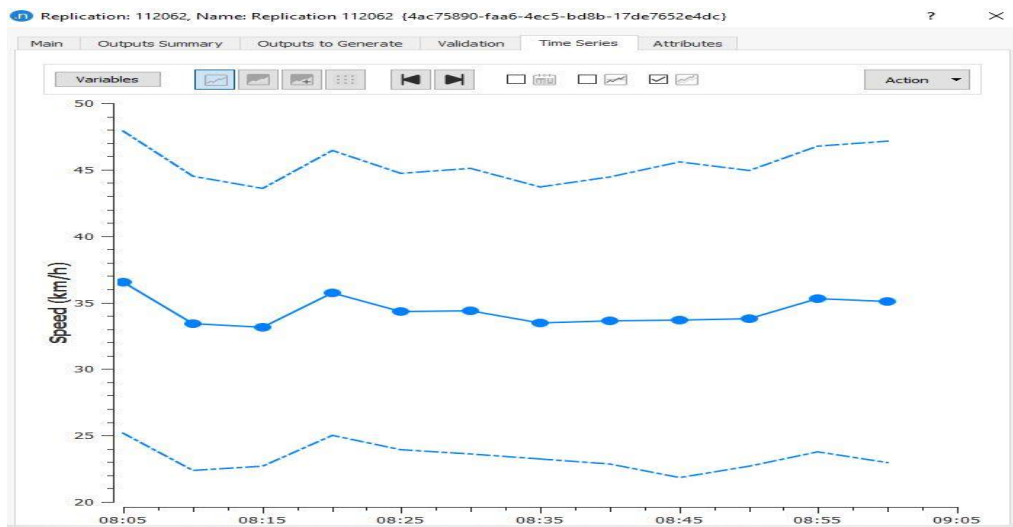
Şekil 7.25. Analizlerinin Toplu Sonuç Gösterimi



Şekil 7.26. Yakıt Tüketimi Analizlerin Sonuçları Grafik Gösterimi



Şekil 7.27. Gecikme Analizlerin Sonuçları Grafik Gösterimi



Şekil 7.28. Hız Analizlerin Sonuçları Grafik Gösterimi

8 .BULGULAR

İstanbul İli Zeytinburnu İlçesi 10.Yıl Arterinde bulunan Mevlanakapı, Silivrikapı ve Belgradkapı kavşakları üzerinde yapılan araştırma kapsamında 3 kavşak için mevcut durumu iyileştirilmesi için akıllı kavşak sisteminin 7 farklı senaryo üzerinden zirve saat (08.00 – 09.00) ve zirve saat dışı (14.00 – 15.00) optimizasyonu sağlanarak 10.yıl arteri genelinde araç başı gecikme süresi, seyahat süresi, ortalama hız, CO₂ salınımı, Nox salınımı ve yakıt tüketimi verilerinde bir iyileşmeler elde edilmeye çalışılmıştır.

Güzergâh boyunca uygulanan senaryo planları aşağıdaki Şekil 8.1’de gösterilmiştir.

10.YIL ARTERİ SENARYO PLANLAMASI DETAYLARI

DURUM	KAVŞAKLAR					
	MEVLANAKAPI KAVŞAĞI		SİLİVRİKAPI KAVŞAĞI		BELGRADKAPI KAVŞAĞI	
	STANDART	AKILLI	STANDART	AKILLI	STANDART	AKILLI
MEVCUT DURUM	+		+		+	
1A2S3S		+	+		+	
1S2A3S	+			+	+	
1S2S3A	+		+			+
1A2A3S		+		+	+	
1S2A3A	+			+		+
1A2S3A		+	+			+
1A2A3A		+		+		+

Şekil 8.1. 10.Yıl Arteri Senaryo Planlaması Detayları

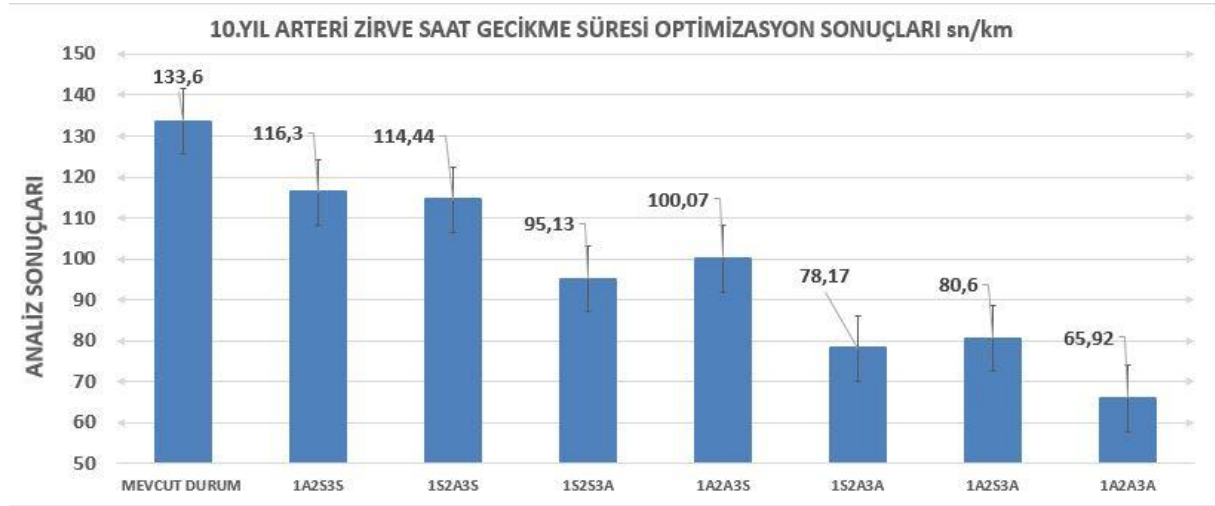
8.1 Çalışma Kapsamında İyileştirilen veriler

Güzergâh üzerinde yapılan iyileşme sonuçları;

- Araç Başı Gecikme Süresi,
- Seyahat Süresi,
- Ortalama Hız,
- CO₂ Salınımı,
- NOx Salınımı
- Yakıt tüketimi verileri üzerinden değerlendirilmiş ve aşağıda sıra ile karşılaştırılmıştır.

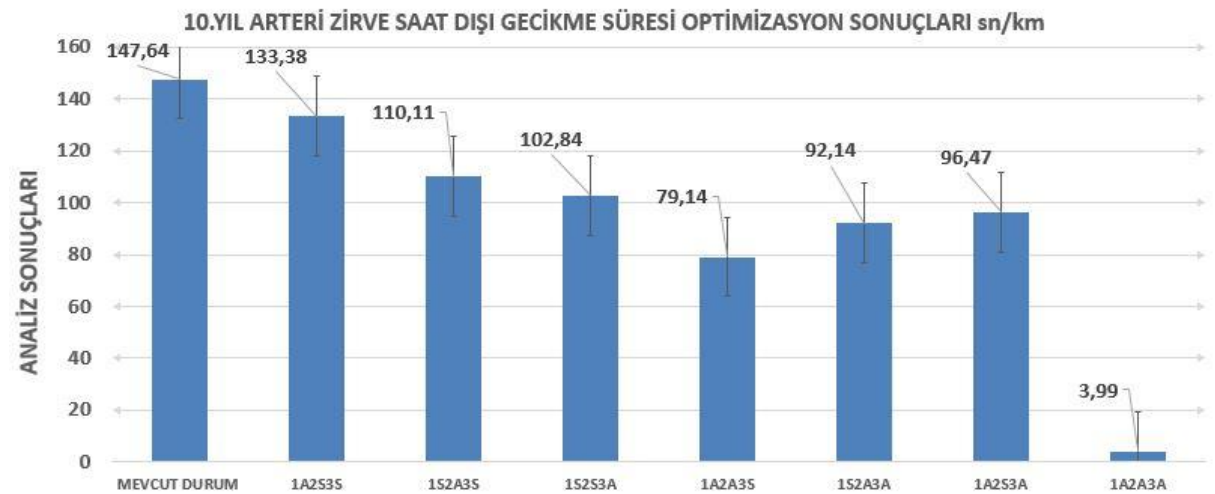
8.1.1 10. Yıl Arteri Gecikme Süresi Optimizasyon Sonuçları

10. Yıl arteri zirve saatte yapılan iyileştirmeler sonucunda arter genelinde araç başı gecikme sürelerinde iyileşme miktarları Şekil 8.2’de verilmiştir. 1A2S3S İçin: %13, 1S2A3S İçin: %14, 1S2S3A İçin: %29, 1A2A3S İçin: %25, 1S2A3A İçin: %41, 1A2S3A İçin: %40 ve 1A2A3A İçin: %51 olacak şekilde iyileşme sağlanmıştır. En İyi iyileştirme oranlarının 1A2A3A yöntemi ile karşılandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.2. Zirve Saat Araç Başı Gecikme Sonuçları

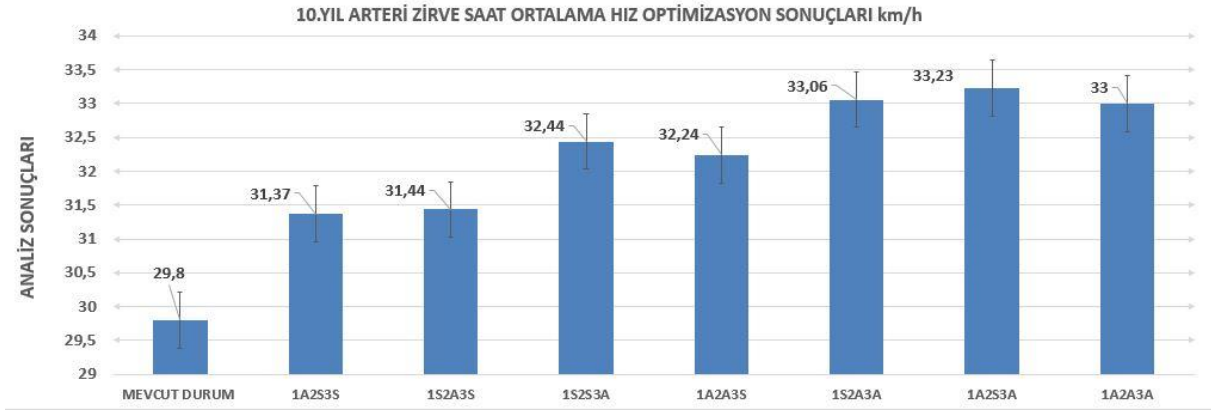
10. Yıl arteri zirve saat dışı yapılan iyileştirmeler sonucunda arter genelinde araç başı gecikme sürelerinde iyileşme miktarları Şekil 8.3’de verilmiştir. 1A2S3S İçin: %10, 1S2A3S İçin %25, 1S2S3A İçin: %30, 1A2A3S İçin: %46, 1S2A3A İçin: %38, 1A2S3A İçin: %35 ve 1A2A3A İçin: %97 olacak şekilde iyileşme sağlanmıştır. En İyi iyileştirme oranlarının 1A2A3A yöntemi ile karşılandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.3. Zirve Saat Dışı Araç Başı Gecikme Sonuçları

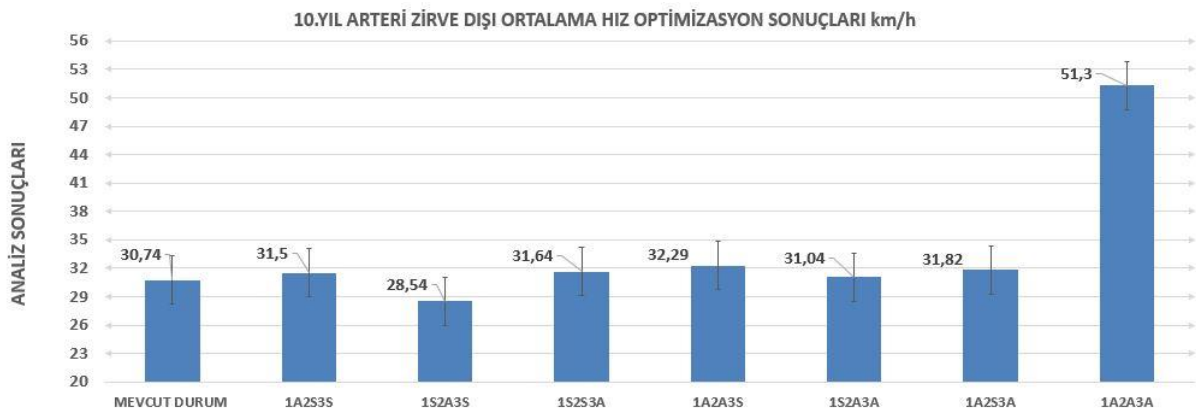
8.1.2. 10. Yıl Arteri Ortalama Hız Optimizasyon Sonuçları

10. Yıl arteri zirve saatte yapılan iyileştirmeler sonucunda arter genelinde ortalama hız iyileşme miktarları Şekil 8.4’de verilmiştir. 1A2S3S İçin: %5, 1S2A3Sİçin: %6, 1S2S3A İçin: %9, 1A2A3S İçin: %8, 1S2A3A İçin: %11, 1A2S3A İçin: %12 ve 1A2A3A İçin: %11 olacak şekilde iyileşme sağlanmıştır. En İyi iyileştirme oranlarının 1A2S3A yöntemi ile karşılandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.4. Zirve Saat Ortalama Hız Sonuçları

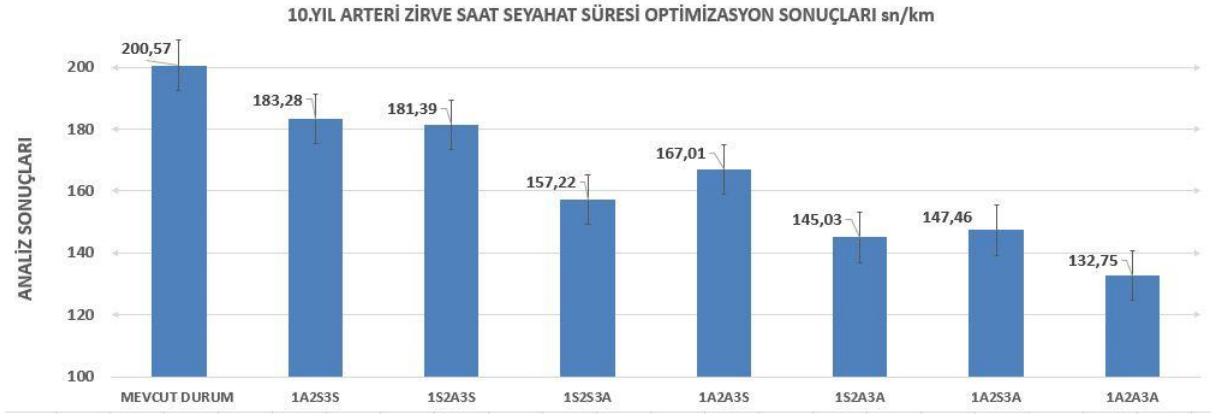
10. Yıl arteri zirve saat dışı yapılan iyileştirmeler sonucunda arter genelinde ortalama hız iyileşme miktarları Şekil 8.5’de verilmiştir. 1A2S3S İçin: %2, 1S2A3Sİçin: %-7, 1S2S3A İçin: %3, 1A2A3S İçin: %5, 1S2A3A İçin: %1, 1A2S3A İçin: %4 ve 1A2A3A İçin: %67 olacak şekilde iyileşme sağlanmıştır. En İyi iyileştirme oranlarının 1A2A3A yöntemi ile karşılandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.5. Zirve Saat Dışı Ortalama Hız Sonuçları

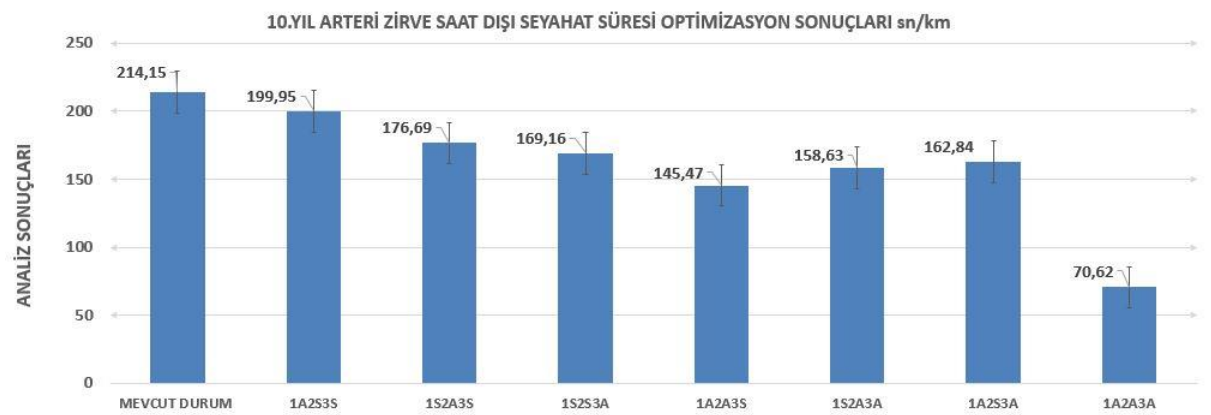
8.1.3. 10. Yıl Arteri Seyahat Süresi Optimizasyon Sonuçları

10. Yıl arteri zirve saatte yapılan iyileştirmeler sonucunda arter genelinde seyahat süresi iyileşme miktarları Şekil 8.6’de verilmiştir. 1A2S3S İçin: %9, 1S2A3Sİçin: %10, 1S2S3A İçin: %28, 1A2A3S İçin: %17, 1S2A3A İçin: %28, 1A2S3A İçin: %26 ve 1A2A3A İçin: %34 olacak şekilde iyileşme sağlanmıştır. En İyi iyileştirme oranlarının 1A2A3A yöntemi ile karşılandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.6. Zirve Saat Seyahat Süresi Sonuçları

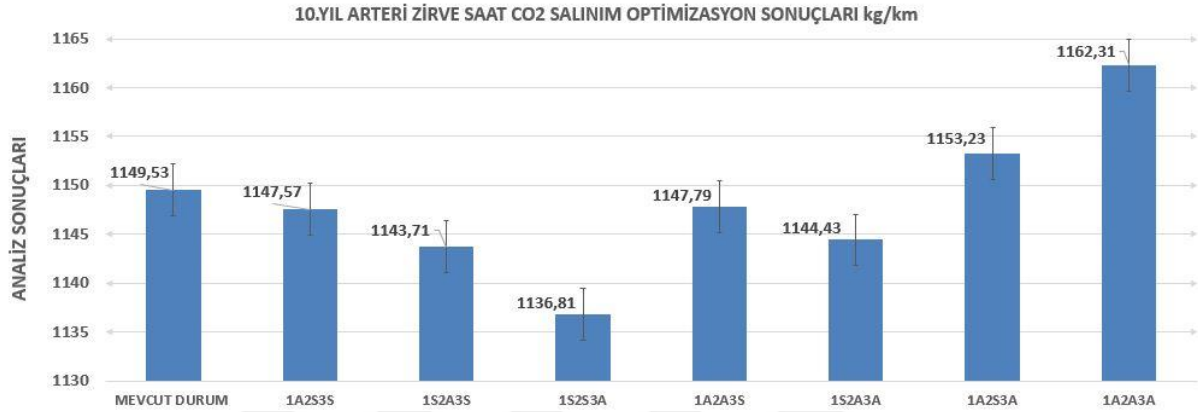
10. Yıl arteri zirve saat dışı yapılan iyileştirmeler sonucunda arter genelinde seyahat süresi iyileşme miktarları Şekil 8.7’de verilmiştir. 1A2S3S İçin: %7, 1S2A3Sİçin: %17, 1S2S3A İçin: %27, 1A2A3S İçin: %32, 1S2A3A İçin: %26, 1A2S3A İçin: %24 ve 1A2A3A İçin: %67 olacak şekilde iyileşme sağlanmıştır. En İyi iyileştirme oranlarının 1A2A3A yöntemi ile karşılandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.7. Zirve Saat Dışı Seyahat Süresi Sonuçları

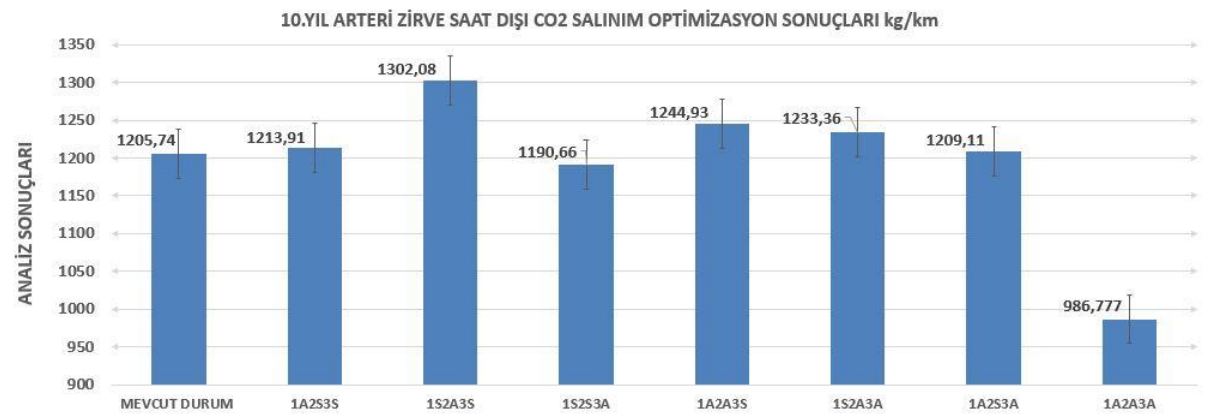
8.1.4. 10. Yıl Arteri CO₂ Salınımı Optimizasyon Sonuçları

10. Yıl arteri zirve saatte yapılan iyileştirmeler sonucunda arter genelinde CO₂ salınımı iyileşme miktarları Şekil 8.8’de verilmiştir. 1A2S3S İçin: %0, 1S2A3Sİçin: %1, 1S2S3A İçin: %1, 1A2A3S İçin: %0, 1S2A3A İçin: %0, 1A2S3A İçin: %0 ve 1A2A3A İçin: %-1 olacak şekilde iyileşme sağlanmıştır. En İyi iyileştirme oranlarının 1S2A3S yöntemi ile karşılandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.8. Zirve Saat CO₂ Salınımı Sonuçları

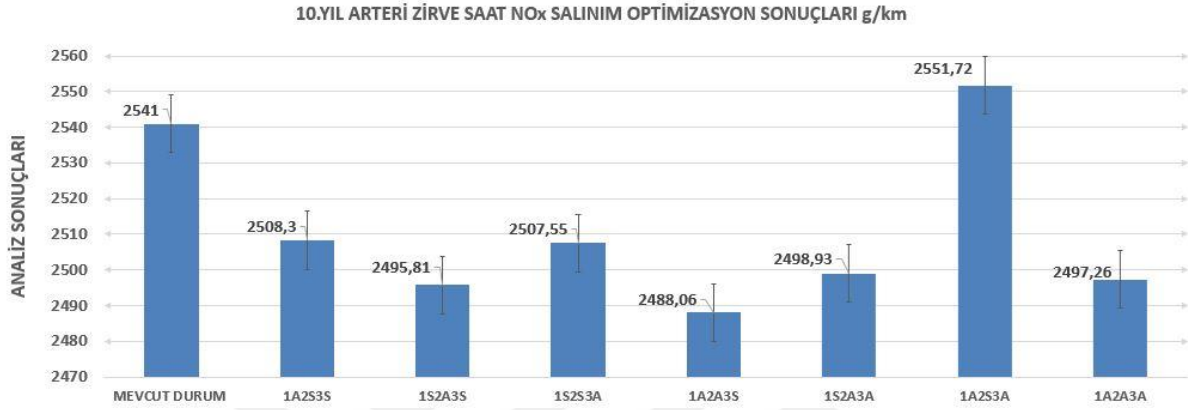
10. Yıl arteri zirve saat dışı yapılan iyileştirmeler sonucunda arter genelinde CO₂ salınımı iyileşme miktarları Şekil 8.9’de verilmiştir. 1A2S3S İçin: %-1, 1S2A3Sİçin: %-8 1S2S3A İçin: %1, 1A2A3S İçin: %-3, 1S2A3A İçin: %-2, 1A2S3A İçin: %0 ve 1A2A3A İçin: %18 olacak şekilde iyileşme sağlanmıştır. En İyi iyileştirme oranlarının 1A2A3A yönteminde karşılandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.9. Zirve Saat CO₂ Salınımı Sonuçları

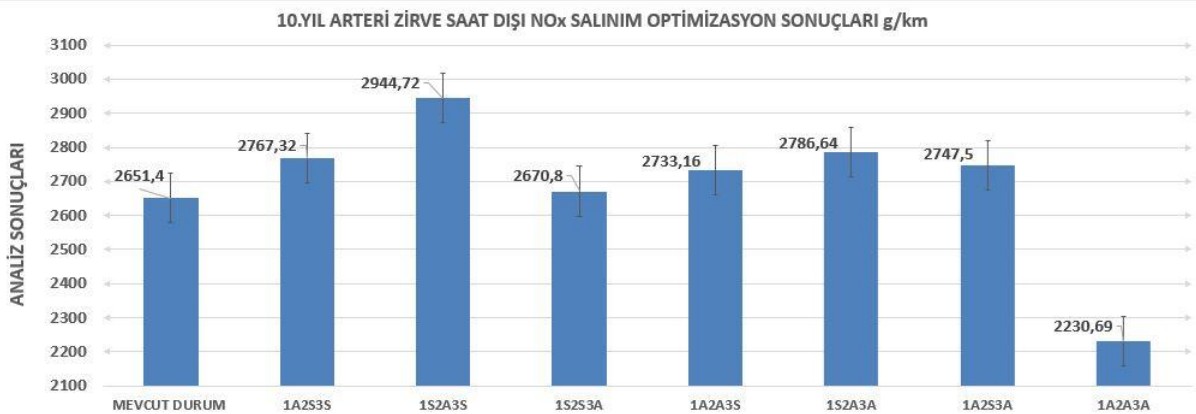
8.1.5. 10. Yıl Arteri NOx Salınımı Optimizasyon Sonuçları

10. Yıl arteri zirve saatte yapılan iyileştirmeler sonucunda arter genelinde NOx salınımı iyileşme miktarları Şekil 8.10'de verilmiştir. 1A2S3S İçin: %1, 1S2A3S İçin: %2, 1S2S3A İçin: %1, 1A2A3S İçin: %2, 1S2A3A İçin: %2, 1A2S3A İçin: %0 ve 1A2A3A İçin: %2 olacak şekilde iyileşme sağlanmıştır. En İyi iyileştirme oranlarının 1S2A3A yöntemi ile karşılandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.10. Zirve Saat NOx Salınımı Sonuçları

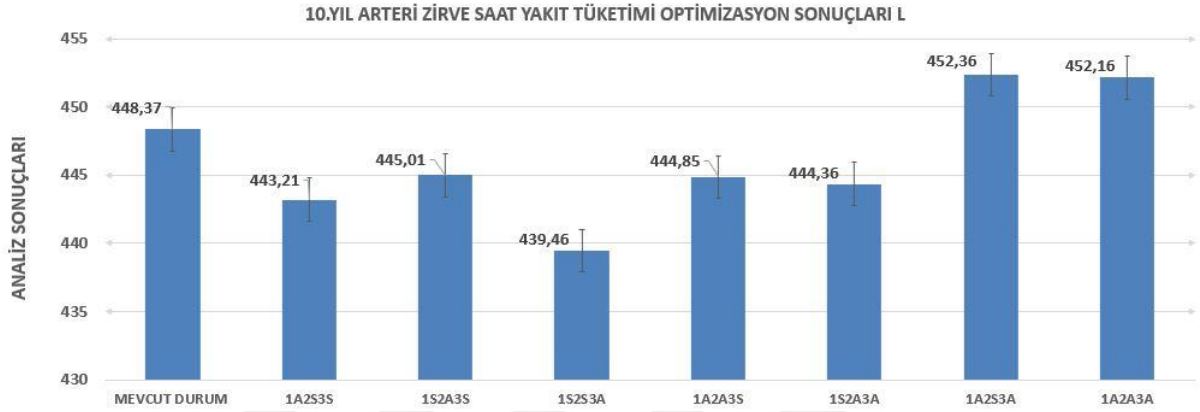
10. Yıl arteri zirve saat dışı yapılan iyileştirmeler sonucunda arter genelinde NOx salınımı iyileşme miktarları Şekil 8.11'de verilmiştir. 1A2S3S İçin: %-4, 1S2A3S İçin: %-11, 1S2S3A İçin: %-1, 1A2A3S İçin: %-3, 1S2A3A İçin: %-5, 1A2S3A İçin: %-4 ve 1A2A3A İçin: %16 olacak şekilde iyileşme sağlanmıştır. En İyi iyileştirme oranlarının 1A2A3A yöntemi ile karşılandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.11. Zirve Saat Dışı NOx Salınımı Sonuçları

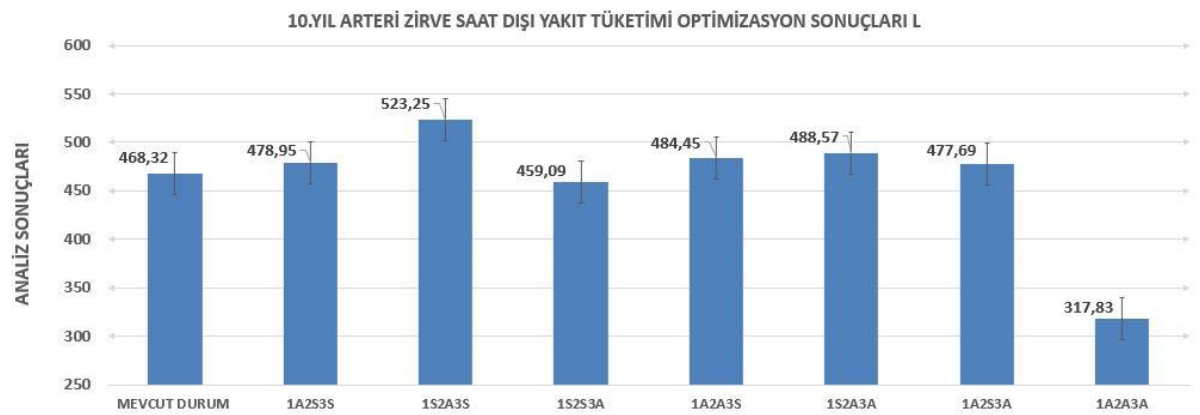
8.1.6. 10. Yıl Arteri Yakıt Tüketimi Optimizasyon Sonuçları

10. Yıl arteri zirve saatte yapılan iyileştirmeler sonucunda arter genelinde yakıt tüketimi iyileşme miktarları Şekil 8.12’de verilmiştir. 1A2S3S İçin: %1, 1S2A3S İçin: %1, 1S2S3A İçin: %2, 1A2A3S İçin: %1, 1S2A3A İçin: %1, 1A2S3A İçin: %-1 ve 1A2A3A İçin: %-1 olacak şekilde iyileşme sağlanmıştır. En İyi iyileştirme oranlarının 1A2A3S yöntemi ile karşılandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.12. Zirve Saat Yakıt Tüketimi

10. Yıl arteri zirve saat dışı yapılan iyileştirmeler sonucunda arter genelinde yakıt tüketimi iyileşme miktarları Şekil 8.13’de verilmiştir. 1A2S3S İçin: %2, 1S2A3S İçin: %12, 1S2S3A İçin: %2, 1A2A3S İçin: %-3, 1S2A3A İçin: %-4, 1A2S3A İçin: %-3 ve 1A2A3A İçin: %32 olacak şekilde iyileşme sağlanmıştır. En İyi iyileştirme oranlarının 1A2A3A yöntemi ile karşılandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.13. Zirve Saat Dışı Yakıt Tüketimi

8.2. 10. Yıl Arteri Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma

8.2.1 10. Yıl Arteri Gecikme Süresi Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma

10.Yıl arteri zirve saatte yapılan iyileştirmeler ve zirve saat dışı yapılan iyileştirmeler arasında araç başı gecikme süreleri açısından bir karşılaştırma yapılmıştır.

- Zirve saatte yapılan iyileştirmelerde, en iyi iyileştirme oranları 1A2A3A yöntemi ile karşılanmaktadır ve %51'e kadar iyileşme sağlanmıştır. Diğer senaryoların iyileştirmeleri %13 ile %41 arasında değişmektedir.
- Zirve saat dışı yapılan iyileştirmelerde de en iyi iyileştirme oranları 1A2A3A yöntemi ile karşılanmaktadır ve %97'ye kadar iyileşme sağlanmıştır. Diğer senaryoların iyileştirmeleri %10 ile %46 arasında değişmektedir.

Bu sonuçlar, 10.yıl arterindeki trafiğin ve çevresel etkilerin azaltılması için en etkili yöntemin 1A2A3A olduğunu göstermektedir.

8.2.2 10. Yıl Arteri Ortalama Hız Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma

10.Yıl arteri zirve saatte yapılan iyileştirmeler ve zirve saat dışı yapılan iyileştirmeler arasında ortalama hız açısından bir karşılaştırma yapılmıştır.

- Zirve saatte yapılan iyileştirmelerde, en iyi iyileştirme oranları 1A2A3A 6 yöntemi ile karşılanmaktadır ve %12'e kadar iyileşme sağlanmıştır. Diğer senaryoların iyileştirmeleri %5 ile %11 arasında değişmektedir.
- Zirve saat dışı yapılan iyileştirmelerde de en iyi iyileştirme oranları 1A2A3A yöntemi ile karşılanmaktadır ve %67'ye kadar iyileşme sağlanmıştır. Diğer senaryoların iyileştirmeleri %-7 ile %5 arasında değişmektedir.

Bu sonuçlar, 10.yıl arterindeki trafiğin ve çevresel etkilerin azaltılması için en etkili yöntemin 1A2A3A olduğunu göstermektedir.

8.2.3 10. Yıl Arteri Seyahat Süresi Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma

10.Yıl arteri zirve saatte yapılan iyileştirmeler ve zirve saat dışı yapılan iyileştirmeler arasında seyahat süreleri açısından bir karşılaştırma yapılmıştır.

- Zirve saatte yapılan iyileştirmelerde, en iyi iyileştirme oranları 1A2A3A yöntemi ile karşılanmaktadır ve %34'e kadar iyileşme sağlanmıştır. Diğer senaryoların iyileştirmeleri %9 ile %28 arasında değişmektedir.
- Zirve saat dışı yapılan iyileştirmelerde de en iyi iyileştirme oranları 1A2A3A yöntemi ile karşılanmaktadır ve %67'ye kadar iyileşme sağlanmıştır. Diğer senaryoların iyileştirmeleri %7 ile %32 arasında değişmektedir.

Bu sonuçlar, 10.yıl arterindeki trafiğin ve çevresel etkilerin azaltılması için en etkili yöntemin 1A2A3A olduğunu göstermektedir.

8.2.4 10. Yıl Arteri CO₂ Salınımı Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma

10.Yıl arteri zirve saatte yapılan iyileştirmeler ve zirve saat dışı yapılan iyileştirmeler arasında CO₂ salınımı açısından bir karşılaştırma yapılmıştır.

- Zirve saatte yapılan iyileştirmelerde, en iyi iyileştirme oranları 1S2A3S yöntemi ile karşılanmaktadır ve %1'e kadar iyileşme sağlanmıştır. Diğer senaryoların iyileştirmeleri %-1 ile %0 arasında değişmektedir.
- Zirve saat dışı yapılan iyileştirmelerde de en iyi iyileştirme oranları 1A2A3A yöntemi ile karşılanmaktadır ve %18'ye kadar iyileşme sağlanmıştır. Diğer senaryoların iyileştirmeleri %-8 ile %0 arasında değişmektedir.

Bu sonuçlar, 10.yıl arterindeki trafiğin ve çevresel etkilerin azaltılması için en etkili yöntemin 1A2A3A olduğunu göstermektedir.

8.2.5 10. Yıl Arteri NOx Salınımı Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma

10.Yıl arteri zirve saatte yapılan iyileştirmeler ve zirve saat dışı yapılan iyileştirmeler arasında NOx salınımı açısından bir karşılaştırma yapılmıştır.

- Zirve saatte yapılan iyileştirmelerde, en iyi iyileştirme oranları 1A2A3A yöntemi ile karşılanmaktadır ve %2'e kadar iyileşme sağlanmıştır. Diğer senaryoların iyileştirmeleri %0 ile %1 arasında değişmektedir.
- Zirve saat dışı yapılan iyileştirmelerde de en iyi iyileştirme oranları 1A2A3A yöntemi ile karşılanmaktadır ve %16'ye kadar iyileşme sağlanmıştır. Diğer senaryoların iyileştirmeleri %-11 ile %-1 arasında değişmektedir.

Bu sonuçlar, 10.yıl arterindeki trafiğin ve çevresel etkilerin azaltılması için en etkili yöntemin 1A2A3A olduğunu göstermektedir.

8.2.6 10. Yıl Arteri Yakıt Tüketimi Optimizasyon Sonuçlarını Zirve ve Zirve Dışı Saat Verilerini Karşılaştırma

10.Yıl arteri zirve saatte yapılan iyileştirmeler ve zirve saat dışı yapılan iyileştirmeler arasında Yakıt Tüketimi açısından bir karşılaştırma yapılmıştır.

- Zirve saatte yapılan iyileştirmelerde, en iyi iyileştirme oranları 1S2S3A yöntemi ile karşılanmaktadır ve %2'e kadar iyileşme sağlanmıştır. Diğer senaryoların iyileştirmeleri %-1 ile %1 arasında değişmektedir.
- Zirve saat dışı yapılan iyileştirmelerde de en iyi iyileştirme oranları 1A2A3A yöntemi ile karşılanmaktadır ve %32'ye kadar iyileşme sağlanmıştır. Diğer senaryoların iyileştirmeleri %-12 ile %2 arasında değişmektedir.

Bu sonuçlar, 10.yıl arterindeki trafiğin ve çevresel etkilerin azaltılması için en etkili yöntemin 1A2A3A olduğunu göstermektedir.

9. MALİYET VE TASARRUF ANALİZİ

9.1 Akıllandırma Maliyetinin Hesaplanması

9.1.1 Endüktif Döngü Dedektör Maliyetinin Hesaplanması

Endüktif döngü dedektörleri, kavşaklarda ve yol boyunca arabaların varlığını ve hareketini kesin olarak belirlemek için kullanılır. Bu kaldırım içi dedektörler, otomobillerin varlığının neden olduğu endüktanstaki değişiklikleri algılamak için elektromanyetik alanları kullanır. Bu değişiklikleri takip ederek trafik sinyal kontrolü, trafik yönetim sistemleri ve trafik verilerinin toplanması için yararlı bilgiler sağlayabilirler. Endüktif döngü dedektörleri, gerçek trafik koşullarına dayalı olarak gerçek zamanlı izleme ve duyarlı sinyal kontrolü sağlayarak, kavşak verimliliğini, trafik akışını ve genel yol güvenliğini artırmaya önemli ölçüde katkıda bulunur. Trafik operasyonlarının daha etkin ve verimli kontrolünü sağlarlar ve akıllı ulaşım sistemlerinin çok önemli bir parçasıdır. Şekil 9,1’de çalışma yapıldığı tarihlerdeki ortalama dedektör maliyetinin özel sektör firmalarından alınan birim maliyeti üzerinden hesaplama yapılmıştır.

ENDÜKTİF DÖNGÜ DEDEKTÖR KURULUMU

	BİRİM FİYAT	ADET	TOPLAM
ENDÜKTİF DÖNGÜ DEDEKTÖRLERİ (Her bir şerit için)	\$ 500,00	29	\$ 14.500,00

Şekil 9.1. Endüktif Döngü Dedektör Kurulum Maliyeti

9.1.2 Veri İşleme ve İletişim Ekipmanlarının Maliyetinin Hesaplanması

Veri İşleme ve İletişim Ekipmanlarının amacı, trafik ile ilgili verilerin toplanmasını, işlenmesini ve yayılmasını kolaylaştırmaktır. Trafik sinyal kontrolörleri ve iletişim cihazları gibi bu ekipman bileşenleri, sistemin omurgasını oluşturarak farklı bileşenler ve paydaşlar arasında bilgi alışverişini sağlar. Trafik sinyali denetleyicileri gibi veri işleme ekipmanları, sensörlerden gelen gerçek zamanlı verileri analiz ederek ve sinyal zamanlamaları ve faz değişiklikleri hakkında bilinçli kararlar vererek trafik akışını verimli bir şekilde yönetir. İletişim cihazları, dedektörler, kontrolörler ve merkezi yönetim sistemleri dahil olmak üzere çeşitli sistem öğeleri arasında kesintisiz iletişim ve veri aktarımı sağlar. Şekil 9,2’de çalışma yapıldığı tarihlerdeki ortalama veri işleme ve iletişim ekipmanlarının maliyetinin özel sektör firmalarından alınan birim maliyeti üzerinden hesaplama yapılmıştır.

VERİ İŞLEME VE İLETİŞİM EKİPMANLARI

	BİRİM FİYAT	ADET	TOPLAM
TRAFİK SİNYAL DENETLEYİCİ SİSTEMİ (Her bir kavşak kol'u için)	\$ 10.000,00	14	\$ 140.000,00
İLETİŞİM CİHAZLARI (Her bir kavşak kol'u için)	\$ 1.000,00	14	\$ 14.000,00

Şekil 9.2. Veri İşleme Ve İletişim Ekipmanlarının Kurulum Maliyeti

9.1.3 Yazılım Geliştirme Ve Entegrasyon Maliyetinin Hesaplanması

Yazılım geliştirme ve entegrasyon, etkili trafik yönetimi ve kontrolü sağlayan yazılım çözümlerinin tasarlanması, geliştirilmesi ve entegre edilmesi amacına hizmet eder. Sensörler, dedektörler ve iletişim cihazları dahil olmak üzere birçok kaynaktan gelen verileri işlemek ve analiz etmek için yazılım geliştirme uygulamaları, algoritmalar ve arayüzler geliştirmeyi gerektirir. Bu yazılım çözümleri, veri analitiği araçlarını, uyarlanabilir trafik yönetim sistemlerini, trafik sinyallerini kontrol etmeye yönelik algoritmaları ve izleme ve kontrol sistemleri için kullanıcı ara yüzlerini içerebilir. Çeşitli donanım ve yazılım cihazlarının akıllı trafik sistemine entegre edilmesi, sorunsuz iletişim ve uyumluluğun garanti edilmesini gerektirir. Nihai amaç, trafik akışını optimize etmek, sıklıkla azaltmak, güvenliğini artırmak ve ulaşım ağlarının genel etkinliğini iyileştirmek için gerçek zamanlı izleme, analiz ve karar vermeyi sağlayan kapsamlı bir yazılım altyapısı geliştirmektir. Şekil 9,3'de çalışma yapıldığı tarihlerdeki ortalama Yazılım geliştirme ve entegrasyon maliyetinin özel sektör firmalarından alınan birim maliyeti üzerinden hesaplama yapılmıştır.

YAZILIM GELİŞTİRME VE ENTEGRASYON

	BİRİM FİYAT	ADET	TOPLAM
YAZILIM GELİŞTİRME (Her bir kavşak için)	\$ 20.000,00	3	\$ 60.000,00
ENTTEGRASYON (Her bir kavşak için)	\$ 5.000,00	3	\$ 15.000,00

Şekil 9.3. Yazılım Geliştirme Ve Entegrasyon Kurulum Maliyeti

9.1.4 Bakım Ve Destek Maliyetinin Hesaplanması

Bakım ve Desteğin amacı, uygulanan sistemin sürekli bakımını, desteğini ve optimizasyonunu sağlamaktır. Bu, düzgün çalışmasını sağlamak için dedektörler, kontrolörler ve iletişim cihazları gibi donanım bileşenlerinin düzenli olarak izlenmesini, incelenmesini ve bakımını içerir. Ayrıca, sistemde ortaya çıkabilecek sorunları veya arızaları gidermek için teknik destek sağlanmasını da içerir. Bakım ve Destek, sistemi güncel ve gelişen trafik yönetimi gereksinimleriyle uyumlu tutmak için yazılım güncellemelerini, hata düzeltmelerini ve geliştirmeleri de kapsar. Ek olarak, iyileştirme ve optimizasyon alanlarını belirlemek için sistem performansının, veri kalitesinin ve güvenilirliğin proaktif olarak izlenmesini içerir. Şekil 9,4’de çalışma yapıldığı tarihlerdeki ortalama bakım ve desteğin maliyetinin özel sektör firmalarından alınan bilgi üzerine kurulum maliyetinin %15 olarak alınarak hesaplama yapılmıştır.

BAKIM VE DESTEK MALİYETİ

	BİRİM FİYAT	ADET	TOPLAM
BAKIM VE DESTEK (Kurulumun %15'i kadar)	\$ 36.525,00	1	\$ 36.525,00

Şekil 9.4. Bakım Ve Destek Kurulum Maliyeti

10.Yıl arterinde yapılan çalışmada, Arter boyunca sırasıyla Mevlanakapı, Silivrikapı ve Belgradkapı kavşaklarının en iyi trafik sonuçlarının verdiği akıllı kavşak şeklinde optimizasyonunu sağlandığı varsayılırsa yukarda detaylı olarak anlatılan başlıklar altında toplamda akıllandırma maliyeti 1 yıllık bakım ve destek maliyetini de içine alarak hesaplandığında 280.025 \$ olarak bulunmaktadır.

9.2 Akıllandırma Sonucu Tasarrufun Hesaplanması

10.Yıl arterinde yapılan çalışmada, Seyahat süresinin azalması ile ekonomideki iyileşme, CO₂ ve NO_x salınımından oluşacak gazın temizlenmesi için harcanacak olan maliyet göz ardı edilerek sadece ana kalem olan Yakıt Tüketiminden kaynaklanacak olan yıllık bazdaki tasarruf miktarı hesaplanmıştır.

Yakıt tüketimi bazında bakıldığında arter boyunca sırasıyla Mevlanakapı, Silivrikapı ve Belgradkapı kavşaklarının en iyi trafik sonuçlarının verdiği akıllı kavşak şeklinde optimizasyonunu sağlandığı varsayılırsa saatlik bazda 150,49 litre, günlük bazda 3.611 litre ve yıllık bazda 1.300.233 litre olarak tasarruf miktarı hesaplanmıştır. Çalışmanın yapıldığı sırada 1 Litre benzinin karşılığı olarak 0.93 \$ kabul edilerek toplam tasarruf edilen yakıttan maliyete dönüşüm yapılmış ve yıllık bazda 390.070 \$ tasarruf edileceği tahmin edilmektedir.

10.SONUÇ

10.Yıl arteri üzerinde gerçekleştirilen iyileştirme çalışmaları, sadece trafik sorunlarının çözümüne değil aynı zamanda çevre koruma adına da önemli bir adımdır. Özellikle günümüzde artan hava kirliliği sorunları düşünüldüğünde, araçların çevreye daha az zarar vermesi gerekmektedir.

Araç başı gecikme sürelerinde zirve saatte en iyi iyileştirme oranının 1A2A3A yöntemi ile %51 olarak hesaplandığı gözlemlenirken, zirve dışı saate en iyi iyileştirme oranının 1A2A3A yöntemi ile %97 olarak hesaplandığı gözlemlenmiştir. Araç başı gecikme sürelerindeki bu iyileşmeler sürücülerin trafik içerisinde daha az zaman kaybetmelerine imkan sağlamaktadır. Bu durum, sürücülerin stres ve sinirlerinin azalmasına, trafikteki kazaların önlenmesine ve daha güvenli bir ulaşım ortamının oluşmasına katkı sağlamaktadır.

Ortalama hızda zirve saatte en iyi iyileştirme oranının 1A2S3A yöntemi ile %12 olarak hesaplandığı gözlemlenirken, zirve dışı saate en iyi iyileştirme oranının 1A2A3A yöntemi ile %67 olarak hesaplandığı gözlemlenmiştir. Ortalama hızdaki bu iyileştirmeler sürücülerin trafikte daha rahat ve verimli bir şekilde ilerlemelerine olanak tanımaktadır. Ayrıca, trafik akışının daha hızlı hale gelmesi, zaman kaybını en aza indirerek daha fazla iş yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Seyahat süresinde zirve saatte en iyi iyileştirme oranının 1A2A3A yöntemi ile %34 olarak hesaplandığı gözlemlenirken, zirve dışı saate en iyi iyileştirme oranının 1A2A3A yöntemi ile %67 olarak hesaplandığı gözlemlenmiştir. Seyahat süresindeki bu iyileşme oranları, yolcuların trafikte daha kısa sürede hedeflerine ulaşabilmelerine imkan sağlamaktadır. Bu durum, özellikle iş hayatında zaman yönetimi açısından büyük bir önem taşımaktadır.

CO₂ salınımindaki zirve saatte en iyi iyileştirme oranının 1S2A3S yöntemi ile %1 olarak hesaplandığı gözlemlenirken, zirve dışı saate en iyi iyileştirme oranının 1A2A3A yöntemi ile %18 olarak hesaplandığı gözlemlenmiştir. CO₂ salınımindaki bu iyileşme oranları, çevre koruma açısından son derece önemlidir. Artan hava kirliliği sorunları göz önüne alındığında, araçların çevreye daha az zarar vermesi büyük bir önem taşımaktadır. Bu nedenle, yapılan iyileştirmelerin CO₂ salınımindaki azalmaları, çevre dostu bir ulaşım sağlama açısından önemlidir.

NOx salınımlarında zirve saatte en iyi iyileştirme oranının 1S2A3A yöntemi ile %2 olarak hesaplandığı gözlemlenirken, zirve dışı saate en iyi iyileştirme oranının 1A2A3A yöntemi ile %16 olarak hesaplandığı gözlemlenmiştir. NOx salınımlarındaki bu iyileşme oranları, yüksek seviyelerdeki hava kirliliği ile mücadele açısından önemlidir. Bu durum, özellikle şehirlerde yaşayan insanlar için büyük bir sorun oluşturmaktadır. Yapılan iyileştirmelerin NOx salınımlarındaki azalmaları, hava kirliliği sorununu azaltma açısından önemlidir.

Yakıt tüketiminde zirve saatte en iyi iyileştirme oranının 1A2A3S yöntemi ile %1 olarak hesaplandığı gözlemlenirken, zirve dışı saate en iyi iyileştirme oranının 1A2A3A yöntemi ile %32 olarak hesaplandığı gözlemlenmiştir. Yakıt tüketimi oranlarındaki bu iyileşmeler, sürücülerin yakıt tasarrufu yapmalarına imkan sağlamaktadır. Bu durum, sürücülerin ekonomik açıdan daha avantajlı bir duruma gelmelerine katkı sağlamaktadır.

Tüm bu iyileştirmelerin sonucunda, 1A2A3A 'da ki gibi kavşakları akıllı kavşak haline getirmek trafik akışı daha verimli hale gelmekte, çevrenin korunması sağlanmakta, araçların daha az yakıt tüketmeleri sağlanmaktadır. Bu da sürücüler, yolcular ve çevre açısından büyük bir fayda sağlamaktadır.

Yapılan maliyet ve tasarruf hesaplamalarına göre 10.Yıl arteri boyunca akıllı kavşak yönteminin kullanılması ilk yatırım maliyeti olarak 280.025 \$ bir yatırım maliyeti meydana getirirken sistemin sadece bir yıllık kullanımı ile tasarrufu sağlanacak olan yakıt tüketimi ile 390.070 \$ kazanç elde etmek mümkündür. Yapılan yatırım sonucunda yatırımın 1 yıldan daha kısa bir sürede kendini amorti ettiği gözükmemekte ve sonraki yıllarda ekonomik olarak ülke ekonomisine katkısının ne denli önemli olduğu gözükmemektedir.

KAYNAKÇA

- Abbas, M., Sun, J., Javed, F., & Khan, M.** (2021). *A review on edge computing for the internet of things. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(3), 2313-2333
- Abdelaziz, A., Elhenawy, M., & Choudhury, C. F.** (2020). Smart traffic light control system using IoT and machine learning. 166-172.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M.** (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- Alpan, M.P.** (2018) , “Yağmura bağlı olarak doymun akım değeriindeki değişimin incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, s. 61,
- Akbaş, A.** (2001). *Kentiçi Trafik Sinyal Sisteminin Optimal Kontrolü (Trafik Optimizasyonu)*. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 226s.
- Akdoğan, E.** (2001). *Mikrodenetleyici Kullanarak Kavşak Kontrol Cihazı Tasarımı ve Kontrol Eğitiminde Kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 121s.
- Arıkan, Öztürk, E.** (2004). *Sinyalize Kavşaklarda Devre Süresinin Modellenmesi: Ankara Örneği*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 251s.
- Alam, J., & Pandey, M.** (2015). Design and analysis of a two stage traffic light system using fuzzy logic. *J Inform Tech Softw Eng*, 5(162).
- Asaduzzaman, M., Rahman, M. A., & Islam, M. R.** (2021). Development of vehicle-to-everything communication for smart transportation systems: A review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 128, 103104.
- Barzegar B., Mehrabanian M. ve Bandegan S** (2011). *Fuzzy Logic For A Traffic Signal Control With Colored Petri Net*. Islamic Azad University
- Bayata, H. F. ve Bayrak, O. Ü.** (2018) .*Yeni Yapılması Planlanan Bir kavşağın MikroSimülasyon ile Değerlendirilmesi*. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3), 550-559.

- Bayata, H. F. ve Bayrak, O. Ü.** (2018). “*Yeni Yapılması Planlanan bir Kavşağın MikroSimülasyon ile Değerlendirilmesi*”. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 11(3): 550-559.
- Belyaev, A., & Ufimtcev, E.** (2020). *Edge computing for intelligent transport systems*. International Conference on Smart Transport and Logistics (TransLog), 1-5.
- Çalışkanelli, S.P., ve Tanyel,S.** (2018) , “*Işıksız kavşaklardaki anayol araç gecikmelerinin irdelenmesi*”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi 24(6), 1093-1099,
- Ceyhan, İ.F., Ceyhan, E.B.** (2021). “*Trafik Sinyalizasyon Sistemlerinin Optimizasyonu: Bartın İli Örneği*” UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3(1), 1-17
- Demirci, O.** (2007). Akıllı Trafik Sinyalizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Sf. 63,64
- Demiriz, A. O.** (2019) .*Mezokopik Simülasyon ile Koridor Kapasite Analizi Yapılması: Erzincan İli Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum
- Demiriz A.O.** (2021), “*Mezoskopik Simülasyon İle Koridor Kapasite Analizi Yapılması: Erzincan İli Örneği*”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi
- Demircioğlu S.** (2021), “*Sinyalize Kavşaklarda Performans Analizi Ve Simülasyonu: Erzincan İli Örneği*”, Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
- Dinç E.** , (2021), ” *Sürdürülebilir Ve Akıllı Ulaşım Sistemlerinin İnşaat Mühendisliği Açısından Değerlendirilmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
- Dib, H., Kaaniche, M., & Abdellatif, T.** (2020). Smart intersection management for autonomous vehicles: An overview of emerging technologies. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 11(12), 5479-5495.
- Erol, D.** (2018) .*Kentiçi Işıklı ve Dönel Kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisi: Denizli Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Pamukkale Üniversitesi, Denizli
- Feldman, O.** (2012). “The GEH measure and quality of the highway assignment models.” Association for European Transport and Contributors: 1-18.
- Gökdağ, M.** (1996) *Sinyalize Kavşaklarda Meydana Gelen Taşıt Gecikmelerinin Simülasyon Modellemesi*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 48s.

- Gu, L., Huang, X., Xiang, W., & Zhang, Y.** (2021). A survey on computer vision-based smart intersection: Algorithms, systems and applications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(5), 3261-3284.
- Gupta, N., & Jain, R.** (2019). IoT-based smart traffic management system using edge computing. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(11), 4239-4251.
- Hamouda, M., & Karray, F.** (2020). Smart intersection systems: a comprehensive review. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 24(1), 1-19.
- Hartwig, M., Müller, J., & Schiermeyer, C.** (2020). Sustainable smart city traffic: The impact of the internet of things on urban mobility. *International Journal of Urban Sciences*, 24(1), 1-19
- Hisar A.** (2022), “*Trafik Sinyalizasyon Optimizasyonu*”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi
- H. Liu, S. Li, Y. Wang, H. Li, and Y. Yuan,** (2019) "Development and Applications of Smart Intersection Technologies: A Review," *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 4, pp. 329-342,
- Janarthanan, R., & Rengarajan, R.** (2021). A survey on V2X communication in intelligent transportation systems. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(7), 6761-6781.
- Jha, M., & Shukla, S.** (2014). Design Of Fuzzy Logic Traffic Controller For Isolated Intersections With Emergency Vehicle Priority System Using MATLAB Simulation. arXiv preprint arXiv:1405.0936.
- J. Zhang, Z. Lu, and L. Wang,** (2017) "A Survey of Smart Traffic Systems: Frameworks and Perspectives," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, no. 10, pp. 2628-2639,
- Karaoğlu, M. E.** (2021). *Koordine Sinyalize Kavşaklarda Optimizasyon.Yüksek Lisans Tezi.* Pamukkale Üniversitesi,Denizli.
- Kopal, B.** (2011) “*Boğaziçi Köprüsü Üzerinde Trafik Sıkışıklığının Hız Yönetimi Yöntemiyle Azaltılması*”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.
- Khattak, A. J., & Dai, W.** (2005). *Analysis of capacity and level-of-service of signalized intersections: a comprehensive review.* *Transportation Research Record*, 1933(1), 1-17.

- Kulkarni, G. H., & Waingankar, P. G.** (2007). *Fuzzy logic based traffic light controller*. Paper presented at the 2007 International Conference on Industrial and Information Systems.
- Li, D. and Ranjitkar, p.** (2015) .*A Fuzzy Logic-Based Variable Limit Controller*.*Journal of Advanced Transportation*, 49(8), 913-927.
- List, G. F., & Cetin, M.** (2004). *Modeling traffic signal control using Petri nets. IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 5(3), 177-187
- Liu, Y., Du, X., Cui, J., & Song, X.** (2019). A deep learning-based traffic signal control system for smart cities. *Sensors*, 19(20), 4497.
- Mahmassani, H. S., & Hu, H. J.** (2009). Microscopic traffic simulation. In *Handbook of Transportation Science* (pp. 161-190). Springer, Boston, MA.
- Murat, Y.Ş., & Gedizlioğlu, E.** (2003). *Ayrık Sinyalize Kavşaklar için Bulanık Mantık Denetim Modeli. İMO Teknik Dergi*, 196, 2949–2963.
- Mutlu, A.** (2019) .*Balıkesir Şehir Merkezinde Trafik kaynaklı Hava Kirliliği Seviyelerinin Analizi*. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 21(1), 152-168.
- Namazi, E., Li, J., & Lu, C.** (2019). Intelligent Intersection Management Systems Considering Autonomous Vehicles: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*, 7, 91946–91965.
- Normanyo, E., Dodoo-Quartey, N., & Adetunde, I.** (2009). *Telemetric Control of Traffic Lights Intersections in Ghana*. Paper presented at the Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science
- Ozan, C., Başkan, Ö. ve Mutlu, M.** (2020) .Denetimsiz Eşdüzey Kavşakların Performans Analizi: Aydın Örneği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 637-648
- Öncüloğlu C. ,** (2021), "Sinyalize Dönel Kavşaklarda Doygun Akım Değerinin Belirlenmesi: Niğde Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
- Özturan, T.** (2006) *Köprü Ücretli Geçiş Gişelerinin Mikrosimülasyon Kullanılarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- Öztürk,** (2008), *Ankara İçin Bir Sinyal Zamanlaması Modeli: Beşevler Kavşağı Örneği* Süleyman Demirel Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12-1 49-57
- Öztürk, E. A.** (2008). *Ankara için Bir Sinyal Zamanlaması Modeli: Beşevler Kavşağı Modeli*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12-1, 49-57.

Öztürk, N., & Bektaş, T. E. I. (2004). *Nitrate removal from aqueous solution by adsorption onto various materials*. Journal of hazardous materials, 112(1-2), 155-162.

Papageorgiou, M., & Kotsialos, A. (2007). Fundamentals of traffic flow theory. In Advanced modeling and optimization of manufacturing processes (pp. 105-132). Springer, New York, NY.

Polat, Y., Kuloğlu, Ş.D. (2002). *Mikrodenetleyici Kontrollü Dışarıdan Süre Ayarlı Sabit Zamanlı İki Fazlı Trafik Sinyalizasyonu*. Lisans Tezi, SDÜ. Teknik Eğitim Fakültesi, Isparta, 22s

Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2011). Traffic engineering. Pearson Prentice Hall.

Shankar, K.R., Priya, H., Prasad, C.S.R.K. and Reddy, T.S. (2013). "Evaluation of area traffic management measures using microscopic simulation model." ProcediaSocial and Behavioral Sciences 104: 815-824.

Sheraz, S. M., Abbas, S. A., & Noor, H. (2009). *Fuzzy rule based traffic signal control system for oversaturated intersections*. Paper presented at the 2009 International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing.

Taha, M. A., & Ibrahim, L. (2012). *Traffic simulation system based on fuzzy logic*. Procedia Computer Science, 12, 356-360.

Tanyel, S. ve Yayla, N. (2010). *Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma*. İMO Teknik Dergi, 21(1), 4935-4958.

Treiber, M., Hennecke, A., & Helbing, D. (2000). Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations. Physical review E, 62(2), 1805.

Treiber, M., & Kesting, A. (2013). Traffic flow dynamics: Data, models, and simulation. Springer Science & Business Media.

Turky, A. M., Ahmad, M., Yusoff, M. Z. M., & Sabar, N. R. (2009). *Genetic algorithm application for traffic light control*. Paper presented at the International United Information Systems Conference.

Urbanik, T., Papageorgiou, M., & Zhang, Y. (2014). Coordinated signal control: State-of-the-art and future trends. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 43, 127-148.

Yılmaz H. , (2022), *“Eşdüzey Kavşakların Performans Etkilerinin Araştırılması: Bursa Esentepe Kavşağı Örneği”*, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Yiğit, H. İ. (2019). *Koordine Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Modellemesi: Ulus Bulvarı Örneği*, Denizli. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Y. Chen, M. Huang, L. Yin, and H. Zhang, (2019 "A Traffic Light Control Strategy Based on Image Recognition and Particle Swarm Optimization," Journal of Physics: Conference Series, vol. 1368, no. 4,

Zeren, N. (1998). *Sinyalize Kavşakların Poisson Dağılımı ile Verimliliğin Belirlenmesi*", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta. 68s.

Zeydan, Ö., Polat, M., Demirel Bayık, G., Tanış, M., (2017), "Sıdra Intersection Programı ile Kavşak İyileştirmesinin Taşıt Emisyon Miktarlarına Etkisi: Zonguldak Örneği", VII. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 438-449.

Webster, F.V., Cobbe, B.M. (1966). Traffic Signals. Road Research Laboratory, Technical Paper No:56, London, 38-46.

W. Wang, W. Zhang, Z. Yan, Y. Han, and J. Zhang, (2019). "Real-time Traffic Signal Control Using Multi-agent Deep Reinforcement Learning," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 329-344,