



**MEZOSKOPİK SİMÜLASYON İLE
KORİDOR KAPASİTE ANALİZİ YAPILMASI:
ERZİNCAN İLİ ÖRNEĞİ**

Ahmet Oğuz DEMİRİZ

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Bilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Osman Ünsal BAYRAK
2019**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MEZOSKOPIK SİMÜLASYON İLE KORİDOR KAPASİTE
ANALİZİ YAPILMASI: ERZİNCAN İLİ ÖRNEĞİ**

Ahmet Oğuz DEMİRİZ

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Ulaştırma Bilim Dalı**

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

MEZOSKOPİK SİMÜLASYON İLE KORİDOR KAPASİTE ANALİZİ
YAPILMASI: ERZİNCAN İLİ ÖRNEĞİ

Dr.Öğr.Üyesi Osman Ünsal BAYRAK danışmanlığında, Ahmet Oğuz DEMİRİZ tarafından hazırlanan bu çalışma 27/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Ulaştırma Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ahmet TORTUM

İmza :

Üye : Doç. Dr. Muhammed Yasin ÇODUR

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Osman Ünsal BAYRAK

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu .09.../01.../2020 tarih ve .02.../..38..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MEZOSKOPİK SİMÜLASYON İLE KORİDOR KAPASİTE ANALİZİ YAPILMASI: ERZİNCAN İLİ ÖRNEĞİ

Ahmet Oğuz DEMİRİZ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Osman Ünsal BAYRAK

Günümüzde mevcut trafik ağları artan ulaşım taleplerini ve trafik hacmini kaldıramamakta ve yetersiz kalmaktadır. Bu durum, ekonomik ve sosyal açıdan zararlara yol açmaktadır. Erzincan kent merkezinde artan ulaşım talepleri ve trafik hacmi, ana arterlerin ve ana arterler üzerinde bulunan kavşakların yetersiz kalmalarına neden olmaktadır. Bu tür problemlerde genellikle seyahat ve gecikme süreleri ile egzoz emisyonları gibi parametreler kullanılarak çözümler üretilmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir husus da iyileştirilen kavşakların bir bütün içerisinde çalışmalarını sağlamaktır.

Bu çalışmada Erzincan kent merkezindeki ana arterler ve üzerinde bulunan kavşaklar ele alınmıştır. Bu bağlamda toplam 14 kavşak iyileştirilmeye çalışılmıştır. Tasarım kriterleri olarak gecikme, seyahat süresi, kuyruk uzunlukları, NO_x ve CO₂ emisyonları ve ortalama hız değerleri kullanılarak öneriler sunulmuştur. Mevcut durum ve dört farklı senaryo için AIMSUN programında simülasyonları yapılmıştır. Ele alınan ağ için çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) uygulanarak hangi senaryonun daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Çalışma sonuçlarından, seyahat süreleri için %23, gecikmeler için %47, kuyruk uzunlukları için %48, NO_x için %11, ve CO₂ için %13'lere varan oranlarda azalmalar, ortalama hızda ise %30'lara varan artış elde edilmiştir. AHS'ye göre tüm alternatifler içerisinde en yüksek öncelik değerine Senaryo 4 sahip olmuştur.

2019, 102 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kavşaklar, Trafik yönetimi, Mezoskopik simülasyon, yol ağı, AIMSUN

ABSTRACT

Master Thesis

CORIDOR CAPACITY ANALYSIS WITH MESOSCOPIC SIMULATION: ERZINCAN PROVINCE SAMPLE

Ahmet Oğuz DEMİRİZ

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Department of Transportation

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Osman Ünsal BAYRAK

Nowadays, existing traffic networks cannot handle the increasing transportation demands and the volume of traffic and remain inadequate. This situation leads to economic and social damages. Increasing transportation demands and traffic volume in Erzincan city center cause the main arteries and intersections on the main arteries to be inadequate. These problems are generally solved by using parameters such as travel and delay times and exhaust emissions. It is also important to ensure that the intersections that are being developed work in harmony.

In this study, the main arteries in the city center of Erzincan and the intersections on it are discussed. In this context, a road network with a total of 14 intersections has been tried to be improved. Recommendations were made using design criteria such as delay, travel time, tail lengths, NO_x and CO₂ emissions and average speed values. Simulations were made in AIMSUN software for the existing situation and four different scenarios. Analytical Hierarchy Process (AHP), which is one of the multi-criteria decision making methods, was applied to determine the most appropriate scenario.

The results of the study showed reductions of up to 23% for travel times, 47% for delays, 48% for tail lengths, 11% for NO_x, and 13% for CO₂, and an increase in average speed of up to 30%. According to AHP, Scenario 4 has the highest priority value among all alternatives.

2019, 102 pages

Keywords: Intersections, traffic management, mesoscopic simulation, road network, AIMSUN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın yürütücülüğünü üstlenen ve çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi O. Ünsal BAYRAK'a

Çalışmalar esnasında yardımları ve önerileri ile tezimin gelişmesine katkıda bulunan değerli hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Halim Ferit BAYATA ile Sayın Öğr. Gör. Fatih İrfan BAŞ'a,

Çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen değerli meslektaşlarım Sayın Arş. Gör. Muhammed Ali ÇOLAK'a ve Sayın Arş. Gör. Ömer Faruk KELEŞ'e,

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Nurdan DEMİRİZ'e ve babam Nuri DEMİRİZ'e, aileme ve arkadaşlarıma,

Ayrıca tez çalışmam süresince sabrını, sevgisini ve desteğini esirgemeyen eşim Hazel DEMİRİZ'e sonsuz teşekkür ederim.

Ahmet Oğuz DEMİRİZ

Aralık, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kavşaklar.....	2
1.1.1. Kavşak planlamada genel prensipler.....	2
1.1.2. Kavşak tasarımını etkileyen faktörler.....	3
1.1.3. Kavşak tasarımı için gerekli veriler.....	5
1.1.4. Kavşaklarda trafik hareketleri	6
1.1.5. Kavşak tipleri	8
1.1.5.a. Eşdüzey kavşaklar	8
1.1.5.b. Katlı kavşaklar.....	12
1.1.6. Kavşaklarda sinyalizasyon	19
1.2. Trafik ile İlgili Genel Kavramlar.....	20
1.3. Hizmet Düzeyi.....	22
2. KAYNAK ÖZETLERİ	25
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	34
3.1. Trafik Simülasyonu	34
3.2. AIMSUN Mezoskopik Trafik Simülasyonu.....	35
3.3. GEH Analizi	36
3.4. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)	36
3.4.1. AHS yönteminin matematiksel altyapısı.....	37
3.5. Webster Yöntemi.....	39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	43
4.1. Çalışma Alanı	43
4.2. Verilerin Toplanması.....	46

4.2.1. Faz süreleri	46
4.2.2. Trafik sayımları	56
4.2.3. Parklanma durumları ve hız limitleri.....	57
4.3. Simülasyon Modellenmesi	60
4.3.1. Mevcut durum simülasyon modellenmesi.....	61
4.3.2. Webster yöntemi uygulamaları	65
4.3.3. Modern dönel kavşak uygulamaları	70
4.3.4. Işıklı dönel kavşak uygulaması	73
4.3.5. Altgeçit uygulaması.....	75
4.3.6. GEH analizleri	78
4.3.7. Simülasyon Sonuçları.....	81
4.4. AHS Uygulaması.....	85
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	93
EKLER.....	96
EK 1.....	96
EK 2.....	97
EK 3.....	98
EK 4.	99
EK 5.	100
EK 6.	101
EK 7.....	102
ÖZGEÇMİŞ	103

KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ

Kısaltmalar

AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
AIMSUN	Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
TSH	Tasarım Saatlik Hacmi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
YOGT	Yıllık Ortalama Günlük Trafik
ZSH	Zirve Saat Hacmi

Simgeler

A	Karşılaştırma Matrisi
C_0	Optimum Periyot
CI	Tutarlılık indeksi
CR	Tutarlılık Oranı
f	Düzeltilme Faktörü
g_i	Efektif Yeşil Süre
K	Kavşak Kapasitesi
km	Kilometre
m	Metre
RI	Rastgele değer indeksi
s	Doyum Akımı
Sn	Saniye
Sn^2	Saniyekare
t	İntikal-Reaksiyon Süresi
Ta/Sa	Taşıt/Saat
U	Şerit Kullanım Faktörü
W	Ağırlık Matrisi
Y	Boşaltım Fasilası

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Ayrılma	6
Şekil 1.2. Katılma	7
Şekil 1.3. Kesişme	7
Şekil 1.4. Örülme	7
Şekil 1.5. T ve Y şeklinde üç kollu kavşakla	10
Şekil 1.6. Dik ve açılı dört kollu kavşaklar	10
Şekil 1.7. Çok kollu kavşak	11
Şekil 1.8. Sırası ile yarım dönel, mini dönel ve modern dönel kavşak	11
Şekil 1.9. Trompet kavşak	13
Şekil 1.10. Yarım yonca kavşak	13
Şekil 1.11. Yönsel kavşak	14
Şekil 1.12. Tek döngülü kavşak	15
Şekil 1.13. Elmas kavşak	15
Şekil 1.14. Yonca kavşak	16
Şekil 1.15. Dönel katlı kavşak	17
Şekil 1.16. Yönsel kavşak	17
Şekil 1.17. Tek nokta kavşak	18
Şekil 1.18. Pinavia tipi kavşak	19
Şekil 1.19. Hizmet düzeyleri	24
Şekil 3.1. AIMSUN model seviyeleri	35
Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan kavşaklar	44
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan kavşaklar ve koridorlar	45
Şekil 4.3. Bahçesaray kavşağı mevcut durum faz süreleri	46
Şekil 4.4. Işıkpınar kavşağı mevcut durum faz süreleri	47
Şekil 4.5. Eski Mit kavşağı mevcut durum faz süreleri	48
Şekil 4.6. Esentepe kavşağı mevcut durum faz süreleri	48
Şekil 4.7. Adnan Menderes kavşağı mevcut durum faz süreleri	49
Şekil 4.8. Hastane kavşağı mevcut durum faz süreleri	50
Şekil 4.9. Askerlik Şubesi kavşağı mevcut durum faz süreleri	51

Şekil 4.10. Emniyet kavşağı mevcut durum faz süreleri	52
Şekil 4.11. SGK kavşağı mevcut durum faz süreleri	52
Şekil 4.12. Dört yol kavşağı mevcut durum faz süreleri	53
Şekil 4.13. Eski Terminal kavşağı mevcut durum faz süreleri	54
Şekil 4.14. Tedaş kavşağı mevcut durum faz süreleri	54
Şekil 4.15. Terzibaba kavşağı mevcut durum faz süreleri	55
Şekil 4.16. Sümer kavşağı “yolver” tanzim işaretleri	55
Şekil 4.17. Trafik ağındaki yol bölümlerinin hız limitleri	57
Şekil 4.18. Emniyet kavşağındaki parklanma yapılan şerit bölümleri.....	58
Şekil 4.19. Programda oluşturulan kavşakların model görünüşleri	61
Şekil 4.20. Oluşturulan trafik ağı modeli.....	63
Şekil 4.21. Otomobil hacimlerinin tanımlanması	64
Şekil 4.22. Otobüs hacimlerinin tanımlanması	65
Şekil 4.23. Emniyet kavşağı Webster yöntemi ile oluşturulan fazlar	66
Şekil 4.24. SGK kavşağı Webster yöntemi ile oluşturulan fazlar	67
Şekil 4.25. Tedaş kavşağı Webster yöntemi ile oluşturulan fazlar	67
Şekil 4.26. Terzibaba kavşağı Webster yöntemi ile oluşturulan fazlar.....	68
Şekil 4.27. Eski Mit kavşağı Webster yöntemi ile oluşturulan fazlar.....	68
Şekil 4.28. Askerlik Şubesi kavşağı Webster yöntemi ile oluşturulan fazlar	69
Şekil 4.29. Emniyet kavşağı modern dönel kavşak uygulaması	70
Şekil 4.30. Dört yol kavşağı modern dönel kavşak uygulaması	71
Şekil 4.31. Bahçesaray kavşağı modern dönel kavşak uygulaması	71
Şekil 4.32. Işıkpınar kavşağı modern dönel kavşak uygulaması	72
Şekil 4.33. Tedaş kavşağı modern dönel kavşak uygulaması	72
Şekil 4.34. Eski Terminal kavşağı modern dönel kavşak uygulaması.....	73
Şekil 4.35. Hastane kavşağı ışıklı dönel kavşak uygulaması.....	74
Şekil 4.36. Hastane ışıklı dönel kavşak faz süreleri.....	75
Şekil 4.37. Emniyet kavşağı altgeçit uygulaması	76
Şekil 4.38. SGK kavşağı altgeçit uygulaması	76
Şekil 4.39. Dört yol kavşağı altgeçit uygulaması	77
Şekil 4.40. Eski Terminal kavşağı altgeçit uygulaması	77
Şekil 4.41. Gecikme süresi	82

Şekil 4.42. Seyahat süresi	82
Şekil 4.43. Kuyruk uzunluğu	83
Şekil 4.44. NO _x emisyonu.....	84
Şekil 4.45. CO ₂ emisyonu.....	84
Şekil 4.46. Hız	85



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Trafik Kaza Bilgileri.....	1
Çizelge 3.1. Göreceli önem dereceleri tablosu	37
Çizelge 3.2. Rastgele değer indeksi	39
Çizelge 3.3. Otomobil eşdeğer faktörü	42
Çizelge 3.4. Şerit kullanım faktörü	42
Çizelge 4.1. Oluşturulacak senaryolar	59
Çizelge 4.2. Kavşak bazlarında GEH analizleri.....	78
Çizelge 4.3. İkili karşılaştırma matrisi	86
Çizelge 4.4. Gecikme süresi açısından senaryoların ikili karşılaştırılması.....	86
Çizelge 4.5. Seyahat süresi açısından senaryoların ikili karşılaştırılması	87
Çizelge 4.6. Kuyruk uzunluğu açısından senaryoların ikili karşılaştırılmaları.....	87
Çizelge 4.7. NO _x emisyonu açısından senaryoların ikili karşılaştırılmaları	88
Çizelge 4.8. CO ₂ emisyonuna açısından senaryoların ikili karşılaştırılması	88
Çizelge 4.9. Ortalama hız açısından senaryolarının ikili karşılaştırılması.....	89
Çizelge 4.10. Yapım maliyetleri açısından senaryoların ikili karşılaştırılması	89
Çizelge 4.11. Tüm kriterlerin birleşik ağırlığı	90

1. GİRİŞ

Ulaşım insanların hayatındaki her aşama ile iç içe olan en önemli unsurlardan bir tanesidir. Nüfusun artması, şehirlerin büyümesi, sanayileşmenin artması gibi faktörlerle birlikte ulaşım talepleri de her geçen gün artmaktadır. Artan ulaşım talepleri sonucunda ulaşım ağlarında yoğunluklar oluşmakta ve yer yer tıkanıklıklar baş göstermeye başlamaktadır. Trafik yoğunluğu arttıkça yakıt tüketimi, seyahat süresi, kaza riski gibi insan hayatını olumsuz etkileyen parametreler de artmaktadır. Ülkemizde en çok trafik kazasının olduğu yol bölümü kavşaklardır. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün açıkladığı trafik kaza verilerine göre; 2018 yılında 186 532 tane ölümlü/yaralanmalı trafik kazası olmuştur. Bu kazaların kavşak bazında sayısı ve oranları Çizelge 1.1'de verilmiştir (KGM 2018).

Çizelge 1.1. Trafik Kaza Bilgileri (KGM 2018)

Kavşak Tipi	Yerleşim Yeri		Yerleşim Yeri Dışı		TOPLAM	
	Kaza Sayısı	Yüzde Oranı	Kaza Sayısı	Yüzde Oranı	Kaza Sayısı	Yüzde Oranı
Dört Yönlü	26 433	18.89	1 439	3.09	27 872	14.94
Üç Yönlü (T)	18 178	12.99	1 780	3.82	19 958	10.70
Üç Yönlü (Y)	3 760	2.69	746	1.60	4 506	2.42
Dönel	8 032	5.74	2 521	5.41	10 553	5.66
Katlı	685	0.49	141	0.30	826	0.44
Diğer	5 844	4.18	915	1.96	6 759	3.62
Kavşaksız	76 990	55.02	39 068	83.82	116 058	62.22
Toplam	139 922	100	46 610	100	186 532	100

Kavşaklar kaza riskini, seyahat süresini, yakıt tüketimini ve yolun performansını en çok etkileyen unsurlardan birisidir. Bu sebeplerden ötürü trafik yoğunluğunun artmasıyla ilk iyileştirilme ihtiyacı doğan unsurlardan biri kavşaklar olmaktadır. Kavşaklar tasarlanırken simülasyonlardan faydalanılır. Simülasyonlardan faydalanmak model üretilmesi ve üretilen modellerin nasıl sonuçlar vereceğinin görülmesi açısından hem çok önemli hem de çok ekonomiktir.

Erzincan'da kent nüfusu 231 511 iken, 2018 yılında 4 523 kişi artarak 236 034 olmuştur. Motorlu kara taşıtları sayısı ise 57 518'den 59 357'ye yükselmiştir. 2017 yılında ölümlü-yaralanmalı 885 trafik kazası olmuşken, 2018 yılında bu rakam 966'ya yükselmiştir (TÜİK 2019). Erzincan kent merkezinde trafik yoğunluğu yüksek 14 adet kavşak bulunmaktadır. Bu kavşaklardan 11 tanesinde hem dönüş adaları hem de sinyalizasyon ile trafik kontrolü sağlanırken, 2 tanesinde sadece sinyalizasyon ile trafik kontrolü ile diğer 1 kavşakta ise trafik tanzim işaretleri ile trafik kontrolü sağlanmaktadır. Bu çalışmada trafik yoğunluğu yüksek olan 14 kavşak ele alınmış ve bu kavşaklarla ilgili araç sayımları, sinyal süreleri gibi veriler toplanmıştır. Toplanan veriler ışığında AIMSUN mezoskopik trafik simülasyonu kullanılarak mevcut durum ve alternatif senaryoların simülasyonu yapılmıştır. Alternatif senaryoların değerlendirilmesinde analitik hiyerarşi süreci (AHS) kullanılmıştır. Trafik ağındaki gecikme süreleri, seyahat süreleri, kuyruk uzunluğu, NO_x emisyonu, CO₂ emisyonu ve ortalama hız incelenmiştir. Bu tez çalışmasının amacı, Erzincan Merkez'de bulunan 14 adet kavşağı analiz ederek koridor kapasitesini artırmaya yönelik çözüm ve öneriler sunmaktır.

1.1. Kavşaklar

Kavşaklar ya yayalar ile araçların ya araç ile aracın ya da hepsinin en az iki yol ile kesiştiği alanlarda yapılan mühendislik yapılarıdır. Kavşaklar; güvenliğin sağlanması, kapasitenin artırılması, istenilen hizmet seviyesinin sağlanması, taşıt işletme maliyetinin azaltılması, durma ve gecikmelerin azaltılması gibi amaçlar için uygulanmaktadır (Tunç 2003).

1.1.1. Kavşak planlamada genel prensipler

Mühendisliğin her alanında olduğu gibi, bir kavşak planlanırken de "3 E kuralı" olarak bilinen emniyet, ekonomi, estetik prensiplerine uyulmalıdır. Ve bunlara ek olarak yeterli hizmet seviyesi temel prensipler arasında yer almaktadır. Belirtilen prensipler ile kavşak

planlamasına başlamadan önce göz önünde bulundurulması gereken başlıca faktörler aşağıdaki gibidir.

- Kavşağın yol içindeki önemi (kavşağın geometrik standartları, birleşen yolların sınıfı, uygulanacak denetim şekli gibi)
- Mevcut trafik özellikleri (trafik miktarı, proje hızı, pik saatlerdeki dönüş oranları, trafiğin bileşimi gibi)
- Kavşağı oluşturan yolların geometrik özellikleri (birleşen yol sayısı, görüş uzunlukları, kavşak ayakları arasındaki açı gibi)
- Yakın kavşaklarda uygulanacak denetim şekilleri (Yakın kavşaklarda birbirinden farklı denetim şekilleri uygulamak sürücüler üzerine negatif yönde etki etmektedir bu sebepten yakın kavşaklarda aynı tip denetim şekli uygulanmasına dikkat edilmelidir)
- Sürücü ve yaya davranışları (İnsanların trafik kurallarına ve işaretlerine uyma dereceleri kavşak tipi ve denetim şekli belirlemede başlıca hususlardan biridir)
- Topoğrafik durum ve çevre koşulları (Dönüş çapları, görüş uzunlukları, yapım maliyeti, eğim gibi parametreleri doğrudan etkilemektedir) (Yayla 2011).

1.1.2. Kavşak tasarımını etkileyen faktörler

İnsan faktörü:

- Sürücü alışkanlığı
- Sürücünün karar verme yeteneği ve beklentileri
- Karar ve reaksiyon süreleri
- Hareket yörüngesine uyum
- Yaya alışkanlıkları ve kavşağı kullanım sıklığı

Kavşak tasarlanırken insan faktörleri en çok dikkat edilmesi gereken faktörlerin başında gelir. İnsanların tasarlanan kavşağı uyumu ne kadar üst seviyede olursa işletim kalitesi de o kadar yüksek olur.

Trafik faktörü:

- Mevcut hal ve tasarım kapasitesi
- Zirve saat trafik değerleri
- Taşıt hızları
- Dönüş trafiklerini de içeren trafik hacim değerleri (taşıt sınıflarına göre saatlik, günlük)
- Kavşak alanının geometrik özellikleri
- Yaya hareketleri
- Trafik kazalarının sayısı ve analizi
- Taşıt boyutları ve nitelikleri

Fiziksel faktörler:

- Kavşak bölgesinin geometrik özellikleri
- Mülkiyet ve imar durumu (özellikle kamulaştırma durumunda)
- Güvenlik şartları
- Trafik levhaları ve aydınlatma teçhizatları
- Yaya geçitleri

Ekonomik faktörler:

- İlk yapım maliyeti
- İşletme maliyeti
- İmar ve kamulaştırma maliyetleri

Sosyal faktörler:

- Nüfus yapısı
- Kamuoyu

Fonksiyonel kavşak alanı:

- Algılama – reaksiyon mesafesi
- Manevra mesafesi
- Depolama mesafesi (KGM 2005)

Taşıt özellikleri:

- Uzunluk (yardımcı şerit uzunluğunu belirlemek için)
- Genişlik (şeritlerin ve dönüş yapan yolların genişliğini belirlemek için)
- Yükseklik (Tepe sinyal ve trafik işaretlerinin yerleşimini belirlemek için)
- Dönüş manevrası (Dönüş yarıçapını ve şerit genişliğini belirlemek için)
- Hızlanma ivmesi (Hızlanma şeritleri ve uzunluklarını belirlemek için)
- Yavaşlama ve fren yeteneği (Yavaşlama şeritlerini, yol daralmasının uzunluğunu ve duruş görüş mesafesinin belirlenmesi için kullanılır) (Murat 2012).

1.1.3. Kavşak tasarımı için gerekli veriler

Kavşak tasarımı için gerekli verileri aşağıdaki gibi bölgesel veriler ve trafik verileri diye iki ana sınıfa ayırabiliriz.

Bölgesel Veriler

- Kavşak bölgesinin topoğrafik durumu, haritası ve plantokesi
- Kesişmekte olan yolların yatay ve düşey geometrileri, enkesit tipleri ve kaplama durumları
- Kavşak bölgesinde varsa kültürel, tarihi, fiziksel ve hukuki sınırlama durumu
- Mevcut zemin ve drenaj sistemi
- Kavşak bölgesindeki yerel, mevcut veya planlanmış kavşakların tipleri
- Mevcut imar durumu ve kamulaştırma sınırları

- Önem arz eden tesis ve kurumların konumu

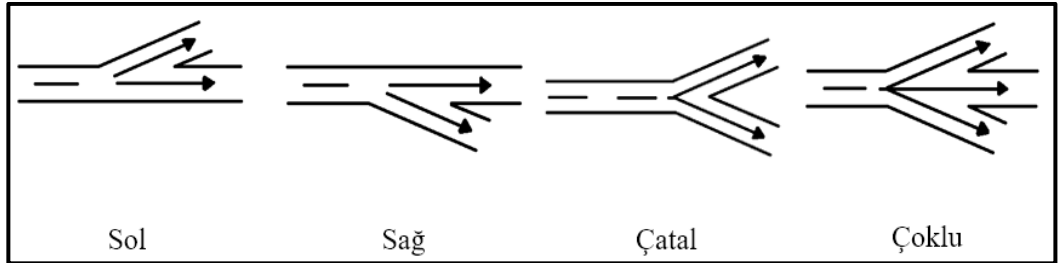
Trafik Verileri

- Kavşağa erişimi olan yolların taşıt sınıfına ve günlere göre trafik sayımları
- Zirve saat değerleri
- Taşıt sınıfları ve özellikleri
- Kavşağa erişimi olan bütün yollar için taşıt hızları
- Kaza analizleri
- Yaya hareketleri
- Mevcut bulunan kavşakların kapasite analizleri
- Planlanan kavşakların analizleri (KGM 2005)

1.1.4. Kavşaklarda trafik hareketleri

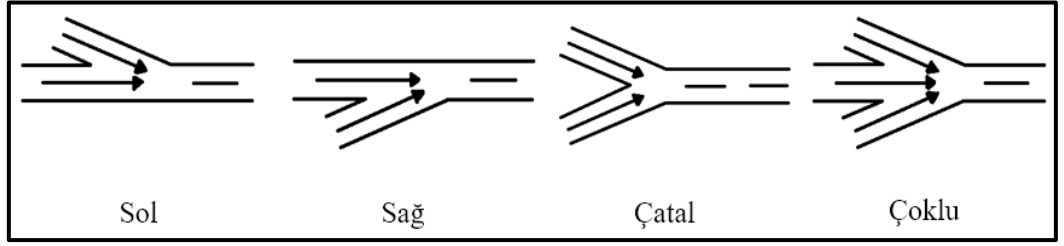
Kavşaklardan bahsedilirken kullanılan dört tane trafik hareketi vardır. Bunlar; ayrılma, katılma, kesişme ve örülmedir.

- Ayrılma: Bir yolun aynı trafik yönünde iki veya daha fazla yol ile birleştiği bölgelerde oluşan trafik hareketidir.



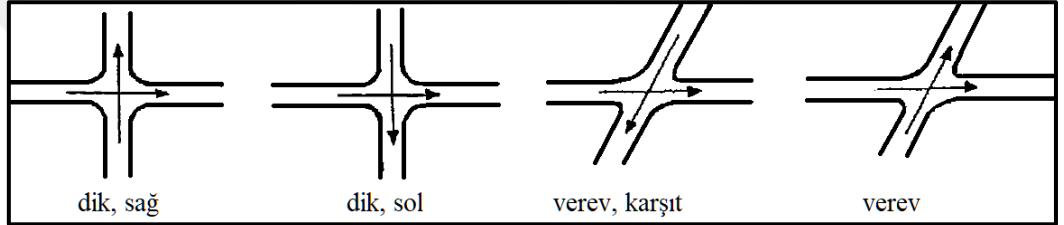
Şekil 1.1. Ayrılma

- Katılma: Bir anayola aynı trafik yönünde iki veya daha fazla yolun birleştiği bölgelerde oluşan trafik hareketidir.



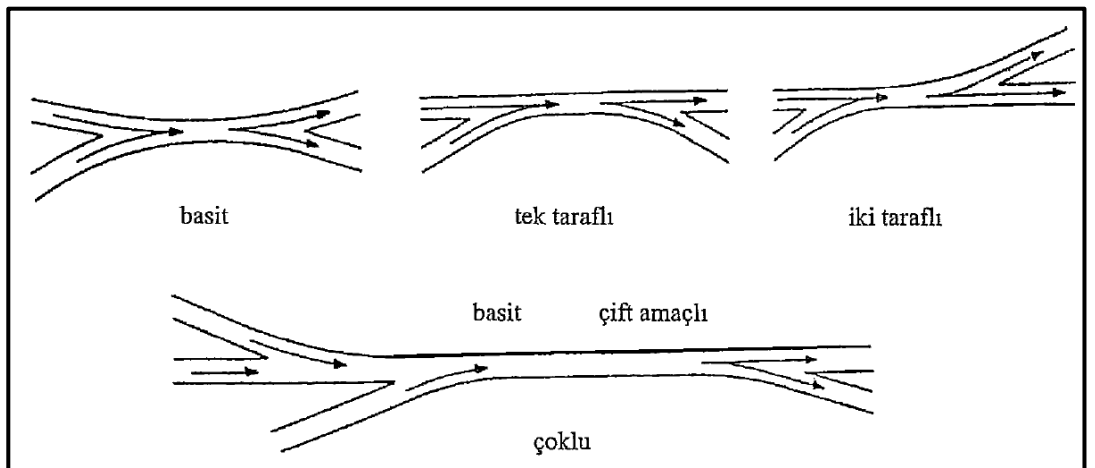
Şekil 1.2. Katılma

- Kesişme: Farklı yönlerden gelen trafik akımlarının çakıştığı noktalara kesişme denir.



Şekil 1.3. Kesişme (KGM 2005)

- Örülme: Ayrılma ve katılma hareketlerinin çakıştığı noktalara denir.



Şekil 1.4. Örülme (KGM 2005)

1.1.5. Kavşak tipleri

Kavşak tipleri eşdüzey (hemzenin) kavşaklar ve farklı seviyeli (katlı) kavşaklar olmak üzere ikiye ayrılır. Eşdüzey kavşaklar genellikle hız kesmenin göz ardı edildiği ve trafik yoğunluğu düşük olan yollarda tercih edilmektedir. Katlı kavşaklar ise araçlarda hız kesmenin istenmediği, trafik yoğunluğunun yüksek olduğu yollarda tercih edilmektedir (Kılınçaslan 2012).

1.1.5.a. Eşdüzey kavşaklar

Eşdüzey kavşaklar, farklı yönlerden gelen trafik akımlarının aynı düzlemde kesişmesi sonucunda oluşan kavşaklardır. Bir yolun kavşağa birleşen kısmına kavşak kolu (ayağı) denir. Eşdüzey kavşaklarda, ana veya yan yoldaki trafik hacmi, dönüş trafik hacmi ve tasarım hızı göz önünde bulundurularak; güvenlik ve kapasitenin artması, trafik akımının kontrol edilmesi, durma ve gecikmelerin minimize edilmesi gibi hususları sağlayacak şekilde kol sayısı tasarlanmaktadır (KGM 2005; Kılınçaslan 2012).

Eşdüzey kavşak planlanmasında dikkate alınması gereken konular aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kavşak bölgesinin yakınında ve kavşak bölgesinde sürücüleri yanıltacak düzenlemelerden uzak durulmalıdır.
- Planlanan kavşakta sürücü, diğer yollardan gelen araçlar ile bu araçların gideceği yönleri yeterli uzaklıktan net bir şekilde tahmin edebilmelidir.
- Birleşme, ayrılma ve kesişme açılarına dikkat edilmeli güvenliği artıracak şekilde belirlenmelidir.
- Dönüşler için köşe yarıçapları, sürücülerin kesintisiz bir hareketle rahatça dönebilmeleri için yeterli olmalıdır. Dönüş sırasında aracın diğer şeridi ihlal etmemesi gerektiğinden yeterli şerit genişletilmesi de yapılmalıdır (Yayla 2011).

Eşdüzey kavşak tipleri;

Fiziki özelliklerine göre dört ana grupta gösterilebilirler.

- T ve Y şeklinde üç kollu (60° ile 120° arasında olmalıdır)
- Dik veya açılı dört kollu (60° ile 120° arasında olmalıdır)
- Çok kollu
- Dönel (yarım dönel, mini dönel, modern dönel)

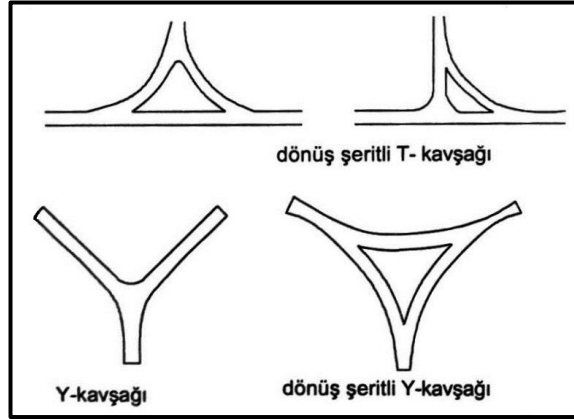
İşletme yönünden üç ana grupta gösterilebilirler.

- Kontrolsüz
- Kontrollü (Trafik işaretleri ile)
- Sinyalizasyonlu

Kavşak tesisleri yönünden iki ana grupta gösterilebilirler.

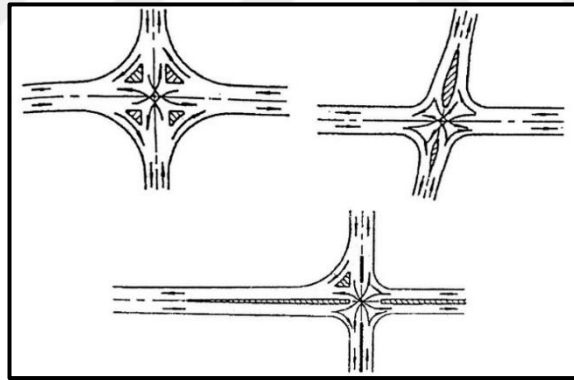
- Yönlendirilmiş
- Yönlendirilmemiş (Tunç 2003, KGM 2005)

T ve Y şeklinde üç kollu kavşaklar: Dönüş yarıçaplarını yeterli düzeyde tutmak için kanalize edilerek de uygulanabilen, anayol ile tali yol arasında bulunan kesişme açısının 60° ile 120° arasında olduğu üç kollu eşdüzey kavşaklardır (KGM 2005).



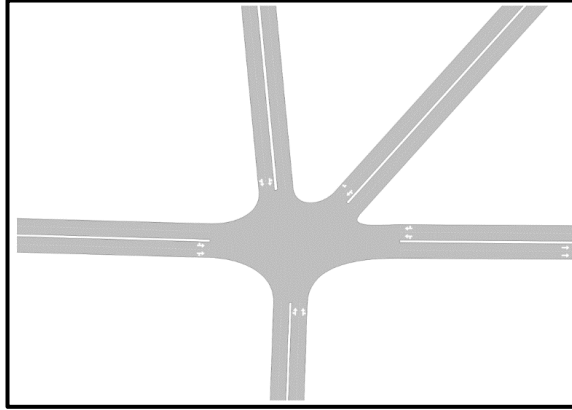
Şekil 1.5. T ve Y şeklinde üç kollu kavşaklar (Yayla 2011)

Dik veya açılı dört kollu kavşaklar: İki yolun birbirini kestiği bölgelerde oluşan kavşaklardır. Üç kollu kavşaklarda da olduğu gibi anayol ve tali yol arasındaki açı 60° ile 120° arasında olmalıdır.



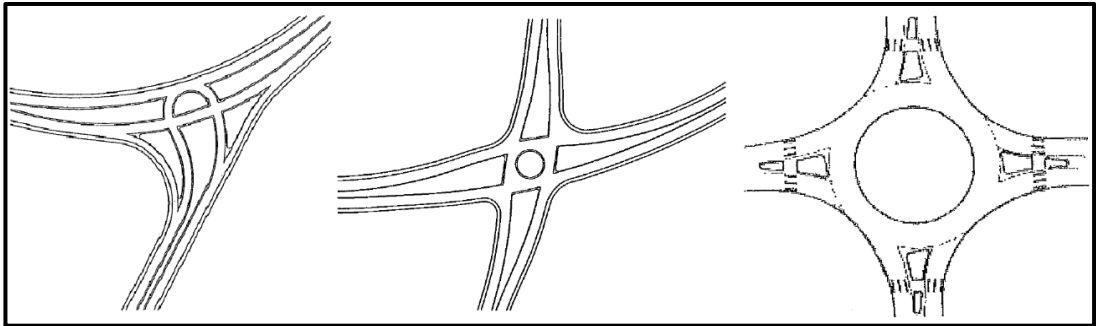
Şekil 1.6. Dik ve açılı dört kollü kavşaklar (Tunç 2003)

Çok kollü kavşaklar: Eşdüzey kavşaklarda istenmeyen bir durum olmasına rağmen zorunlu kalınan hallerde en az 5 koldan oluşan kavşak tipleridir. Trafik akımının az olduğu kollarda DUR kontrolü uygulanmaktadır (KGM 2005).



Şekil 1.7. Çok kollu kavşak

Modern dönel kavşaklar: Kesişen yolların merkezine koyulan daire veya elips şeklindeki adalar ile trafiği yönlendiren kavşaklara dönel kavşaklar denir. Dönel kavşaklar; yarım dönel, mini dönel ve modern dönel kavşak olmak üzere üçe ayrılır. Yarım dönel kavşaklar sadece üç koldan oluşan dönel kavşaklara verilen isimdir. Mini dönel ve modern dönel kavşak en az üç koldan oluşur ancak dört koldan fazla kol olması çok istenilen bir durum değildir. Mini dönel kavşaklarda ada yarıçapı en az 8 metre, modern dönel kavşaklarda ise en az 20 metre olarak kabul edilir. Modern dönel kavşaklarda araçların kavşağa girmeden önce yavaşlaması istendiğinden yol bölümü bir karp ile kavşağa bağlanmaktadır. Kavşağa giren yol bölümlerine “yolver” trafik tanzim işareti koyularak kavşak içindeki hareket öncelikli hareket olarak tanımlanmaktadır. (KGM 2005).



Şekil 1.8. Sırası ile yarım dönel, mini dönel ve modern dönel kavşak (KGM 2005)

1.1.5.b. Katlı kavşaklar

Alt geçit, üst geçit gibi mühendislik yapıları kullanılarak kesişen trafik akımlarının birbirinden ayrıldığı kavşaklara katlı (farklı düzey) kavşak denir. Otoyol inşaatlarında, yoğun debili kesişme bölgelerinde, trafik kazalarının yoğun olduğu yerlerde, topoğrafik özelliklerden dolayı eşdüzey kavşak yapımının daha zor veya daha maliyetli olması durumunda katlı kavşaklar yapılmaktadır.

Katlı kavşak kullanımının faydaları:

- Kapasiteleri eşdüzey kavşaklara göre oldukça yüksektir.
- Kesişme olmadığı için daha emniyetlidir.
- Kademeli inşaat uygulanabilir.

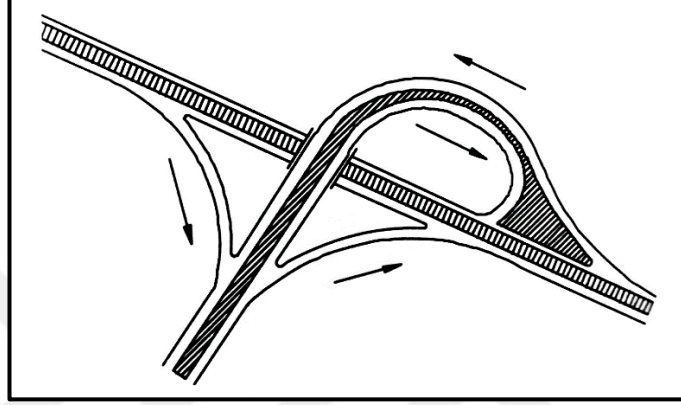
Katlı kavşak kullanımının zararları:

- Maliyetleri yüksektir.
- Topoğrafik özelliklere bağlı olarak düz arazilerde istenmeyen rampalar oluşabilir
- Tarihsel çevrenin korunması gereken yerlerde görsel bozulmalara neden olabilir.
- Kent içinde gereksiz hız artışlarına yol açabilir.
- Kamulaştırma ve istimlak bedelleri çok yüksek olabilir (Güldamlaşı 2007; Kılınçaslan 2012).

Katlı kavşaklar üç kollu kavşaklar, dört kollu kavşaklar olmak üzere ikiye ayrılabilir.

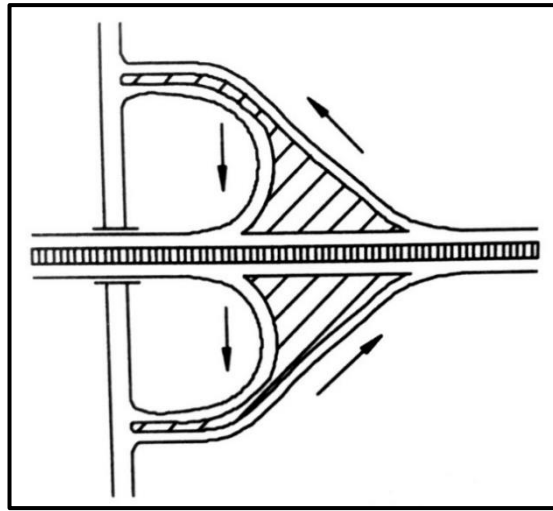
Üç kollu kavşaklar: Üç kollu kavşaklar, tek taraflı tali yol ile bir ya da birkaç farklı seviyeli bağlantı kesişim bölgesini kapsar. Trompet, yarım yonca ve yönsel kavşak olarak üç gruba ayrılabilir.

Trompet kavşak; cazibe merkezleri ve çevre yolu gibi ekspres yollar arasında bağlantıyı sağlayan anayollar bulunur. Trafik akımı yüksek olduğu için, anayollar farklı düzey kavşak kullanılarak ekspres yol ile birleştirilir. Şeklinden dolayı böyle kavşaklara trompet kavşak denmektedir.



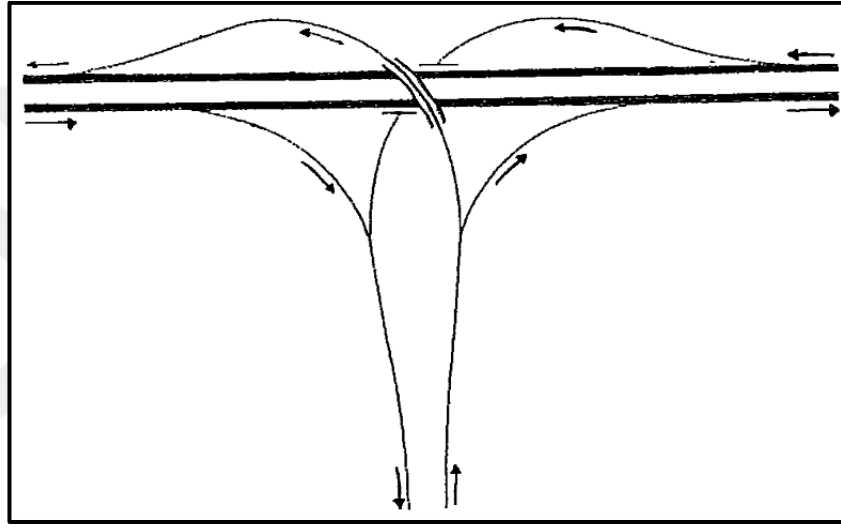
Şekil 1.9. Trompet kavşak (Yayla 2011)

Yarım yonca kavşak; her iki hareket yönünde de sola dönüşlerin döngü rampalarıyla (luplarla) sağlandığı kavşak tipidir. Tali yönde geriye dönüş imkanı sunan kavşak tipidir (KGM 2005).



Şekil 1.10. Yarım yonca kavşak (Yayla 2011)

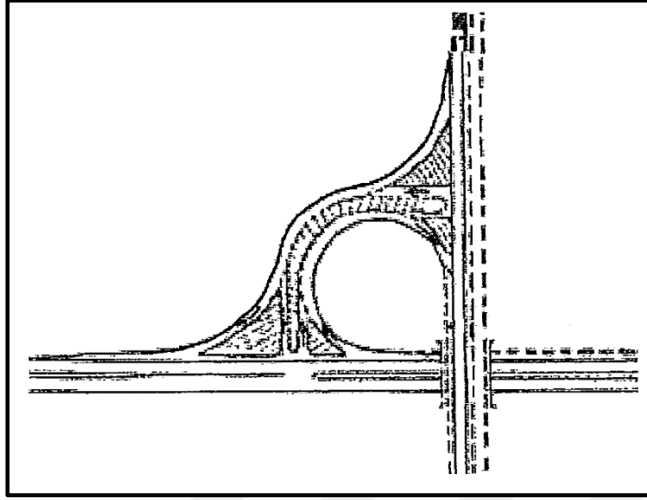
Yönsel ve yarı yönsel kavşak; en az bir sola dönüşü sağlayan, en az bir tane farklı seviyeli rampalardan oluşan kavşak tipine denir. Genellikle şehir içi bölgelerde iki ana anayolun kesişmesi gibi önemli kesişmelerde kullanılır. Buradan da anlaşılacağı gibi bu kavşak tipleri en yüksek kapasiteye, emniyete, konfora sahip olan kavşaklardır. Ayrıca yönsel kavşak tipi “Y” tipi farklı seviyeli üç kollu kavşaklar için uygulanabilecek tek kavşak tipidir (KGM 2005).



Şekil 1.11. Yönsel kavşak (KGM 2005)

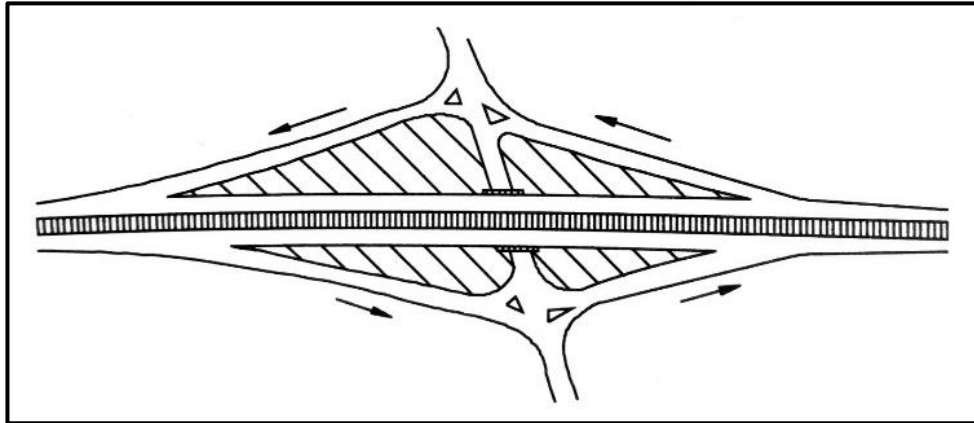
Dört kollü katlı kavşaklar: Dört kollü kavşaklar tek döngülü, elmas (baklava tipi), yonca, dönel, yönsel ve tek nokta kavşak olmak üzere altıya ayrılmaktadır.

- Tek döngülü kavşaklar, tek bir döngü rampasıyla oluşturulan kavşak tipleridir. Düşük trafik hacmine sahip yollarda yapılması uygundur. Ancak istisna olarak kamulaştırma, topoğrafya, kültür, doğa gibi etkenlerden ötürü, dönüş trafik oranı yüksek olan yollarda da uygulanabilir (KGM 2005).



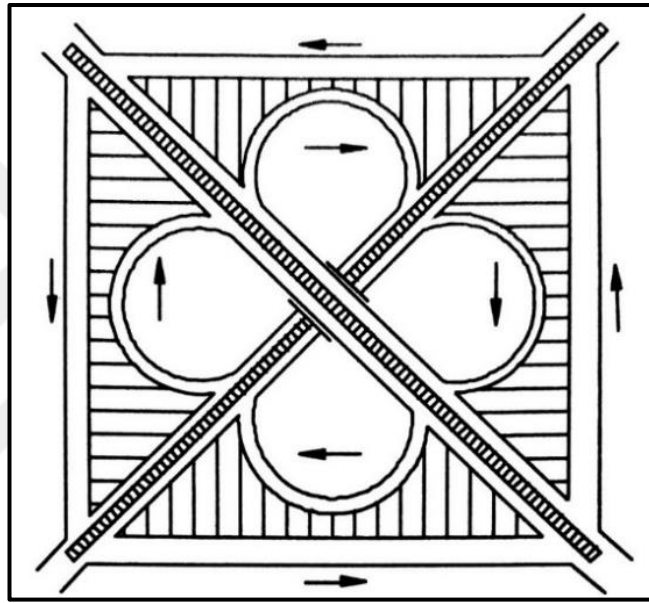
Şekil 1.12. Tek döngülü kavşak (KGM 2005)

- Elmas (baklava tipi) kavşaklar, genel itibari ile tüm dönüş hareketlerinin rampalarla sağlandığı kavşaklardır. Bu tip kavşaklarda kullanılan rampalar en güvenli, kaza riski en az olan rampalardır. Elmas kavşaklar genellikle tali yollardaki trafik artışının beklenmediği durumlarda yapılmaktadır. Diğer dört kollu kavşak tiplerine göre daha az kamulaştırma alanı gerektirmesi en önemli faydasıdır. Bu kavşak tipinde örülme çakışması yoktur, sadece ayrılma ve katılma çakışması vardır (Tunç 2003; KGM 2005).



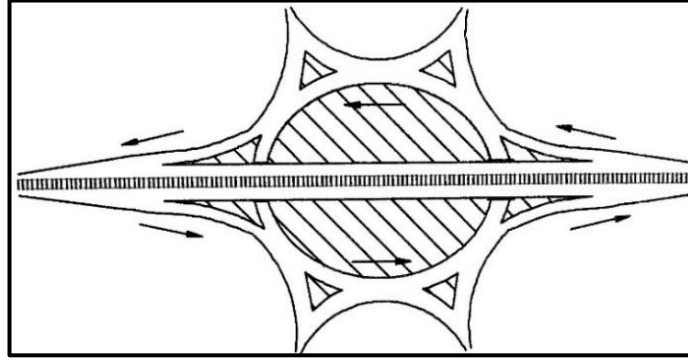
Şekil 1.13. Elmas kavşak (Yayla 2011)

- Yonca kavşaklar, tüm yöndeki hareketler serbest akımdır. Sola dönüşlerde çakışma olmamasını sağlayacak şekilde rampaları vardır. Sol dönüşlerde döngü rampaları, sağa dönüşler içinse diyagonal rampalar kullanılmaktadır. Kademeli inşaat, sola dönüş kesişmelerinin ortadan kaldırılması gibi faydalarının yanında kamulaştırma alanının fazla olması, ilave örülme şeritlerinin maliyeti gibi zararları da vardır. Kendi içerisinde toplayıcı yollu yonca kavşak ve yarım yonca olmak üzere ikiye ayrılır (Tunç 2003; KGM 2005).



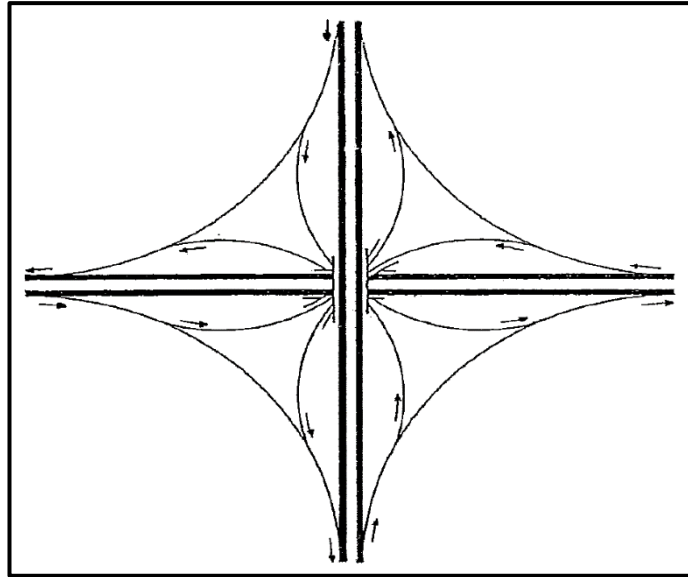
Şekil 1.14. Yonca kavşak (Yayla 2011)

- Dönel katlı kavşaklar; eşdüzey dönel kavşakların bir nevi katlı kavşaklara tatbiki olup, kesişen kol sayısı fazla ya da sol/sağ/U dönüş trafik hacminin çok fazla olduğu bölgelerde bir seçenek olarak düşünülebilir. Yapı itibari ile dönel kavşak, kesişen yollardan ayrılan başka bir ana güzergaha sahiptir. Kesişen trafik dönel adaya aktarılarak direk geçiş trafiği rahatlatılır. Özellikle direk geçiş hareketlerinin diğer hareketlere oranla çok yüksek olduğu bölgelerde tercih edilir (KGM 2005).



Şekil 1.15. Dönel katlı kavşak (Yayla 2011)

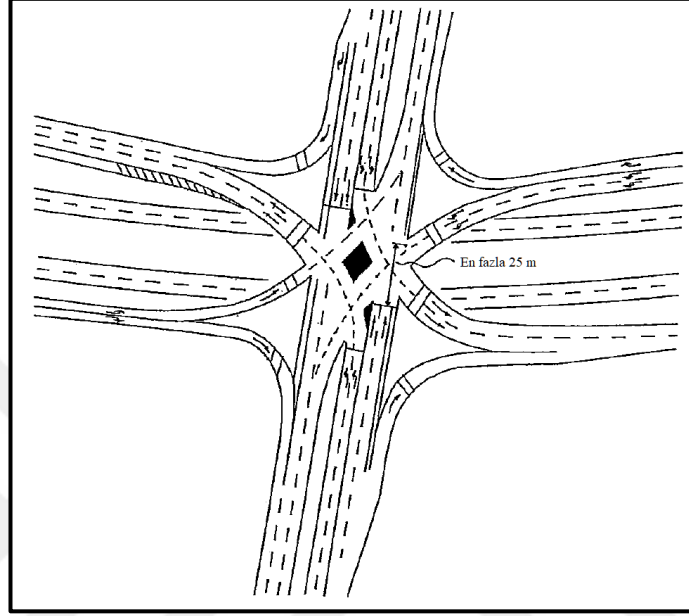
- Yönsel ve yarı yönsel kavşaklar; her bir yön için en uygun olan bağlantıların diyagonal olarak yapıldığı, örülmelerin oluşmadığı yüksek kapasiteli ve nitelikli kavşak tipidir. Tüm yönlere doğrudan erişimi var ise yönsel, bazı yönlerde döngüler kullanılarak devam ediyorsa yarı yönsel olarak isimlendirilir. Yönsel kavşakların yüksek kapasitelerinin yanı sıra maliyetleri de bir o kadar fazla olduğu için genellikle otoyollarda kullanılırlar (KGM 2005).



Şekil 1.16. Yönsel kavşak (KGM 2005)

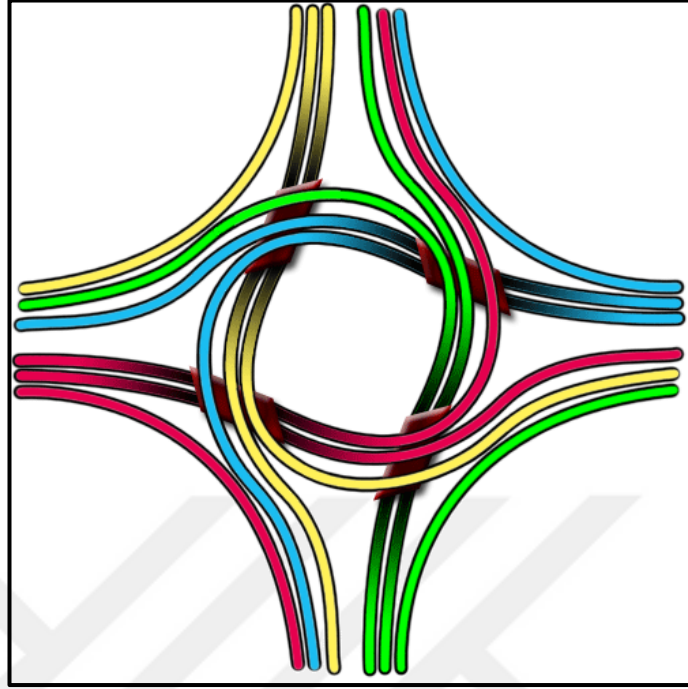
- Tek nokta kavşaklar; anyolda kesintisiz trafik akımı sağlarken, tali yolla rampaların kesişmeleri dört kollu eşdüzey kavşaklar gibi düzenlenmiş olan kavşak tipidir.

Kamulaştırmanın yapılamadığı ya da çok maliyetli olduğu durumlarda genellikle tercih edilir. Çakışma noktaları diğer katlı kavşak tiplerinden farklı olarak kavşak içinde yer almaktadır (KGM 2005).



Şekil 1.17. Tek nokta kavşak (KGM 2005)

- Pinavia tipi kavşaklar; en az iki anayolun ya da ekspres yolun kesiştiği noktalarda yapılmak üzere tasarlanmış yeni bir kavşak tipidir. Dönüş hareketleri başlamadan önce araçlar dönüş şeritlerindeki yerlerini aldığı için hiçbir çakışma ya da karmaşıklık bulunmamaktadır. Her bir hareket farklı düzey rampalar ile sağlanmaktadır. Yapım maliyeti yüksektir.



Şekil 1.18. Pinavia tipi kavşak (Pinaviateam 2019)

1.1.6. Kavşaklarda sinyalizasyon

Yeşil, sarı ve kırmızı renkli ışıkların birlikte veya ayrı ayrı kullanılarak trafik akımlarını kontrol altına aldığı; kavşak kollarına ve/veya yayalara geçiş haklarının paylaştırıldığı ya da uyarı verildiği sistemlere sinyalizasyon denilmektedir. Doğru bir şekilde uygulandığında; kapasitenin arttırılmasına, kaza riskinin azaltılmasına ciddi manada katkı sunar. Sinyal ayarlanmaları; ön zamanlı sinyal, yarı trafik uyarmalı sinyal ve tam trafik uyarmalı sinyal olarak üçe ayrılır.

Ön zamanlı sinyal: Bir kavşağın yeşil, sarı, kırmızı ve periyod sürelerinin önceden belirlenerek uygulamaya konulmasıdır.

Yarı trafik uyarmalı sinyal: Tali yollarda değişen trafik hacmine bağlı olarak yeşil, sarı, kırmızı ve periyod sürelerinin değiştirilmesidir.

Tam trafik uyarımalı sinyal: Bir kavşakta bulunan tüm kollardan gelen trafik hacminin değişmesine bağlı olarak yeşil, sarı, kırmızı ve periyod sürelerinin ayarlanma işlemidir (Tunç 2003).

Işıklı dönel kavşaklar: Sinyalizasyon uygulaması yapılan kavşaklar genellikle ışıklı kavşak olarak adlandırılmaktadır. Gecikme süresini azaltmak, olası kazaları önlemek gibi amaçlar doğrultusunda uygulanmaktadırlar. Uygulama yapılırken kriterlere uyulmadığında ise gecikme süresini ve trafik kazalarını artırmaktadır. Bu sebeple sinyalizasyon periyodunun ve kavşak kollarına verilecek fazların hesapları iyi yapılmalı ve mümkünse dönüş adaları ya da cepleri uygulanmalıdır. Dönel ada uygulaması yapıldığında ışıklı dönel kavşak olarak adlandırılmaktadır. Işıklı dönel kavşaklarda genellikle ada içinde trafik ışığı koyulması istenmemektedir.

1.2. Trafik ile İlgili Genel Kavramlar

Periyod: Sinyal ışıklarının saniye cinsinden bir tam dönüşüne denir.

Faz: Belirli bir trafik akımına ayrılan periyod bölümüdür. Fazların toplamı periyoda eşittir.

Yeşil süre: Herhangi bir yönde hareket etmek için müsaade edilen süredir.

Sarı süre: Hareketin başlatılması ya da durdurulması için geçen süredir. Yeşil ile kırmızı sürenin arasında yer almaktadır.

Kırmızı süre: Bir fazda harekete izin verilmeyen süredir.

Boşaltma süresi: Bir hareket bitirildikten sonra diğer hareketin başlaması için geçen süredir ve koruma kırmızısı olarak da bilinir.

Flaş: Sürekli olarak yanıp sönerek sürücü veya yayaların çeşitli durumlara dikkat göstermelerini amaçlayan sinyallerdir.

Kırmızı flaş: Sürücü ya da yayanın durarak, geçiş yapacağı yolun müsait olması halinde geçiş yapabileceğini gösteren sinyal türüdür.

Sarı flaş: Sürücünün geçiş yapacağı yola yavaşlayarak geçiş yapması gerektiğini gösteren sinyal türüdür.

Seyahat süresi: Bir taşıtın harekete başladığı noktadan varacağı noktaya gidene kadar geçen toplam süredir.

Gecikme süresi: Bir taşıtın harekete başladığı noktadan varacağı noktaya gidene kadar yavaşlama veya durmaya maruz kalmaması varsayıldığında geçecek süre ile seyahat süresinin arasındaki fark gecikme süresidir. Diğer bir deyişle taşıtın zorunlu olarak yavaşlaması ve durmasından dolayı kaybedilen toplam süredir.

Durma süresi: Bir noktadan diğer bir noktaya giderken zorunlu olarak taşıtın durduğu ve hareketsiz kaldığı sürelerin toplamına denir.

Trafik hacmi: Belli bir yoldan birim zamanda geçen toplam taşıt sayısıdır.

Kapasite: Bir yol ya da yol bölümünden birim zamanda geçebilecek maksimum taşıt sayısıdır.

Trafik yoğunluğu: Herhangi bir anda bir kilometreye düşen araç sayısıdır.

Doğgun akım: Sinyalizasyona sahip bir kavşakta sürekli bir kuyruk oluşması halinde, kesintisiz geçiş hakkı şartları altında sabit hızla boşalan akımdır (Tunç 2003; Güldamlaşı 2007; Yayla 2011).

1.3. Hizmet Düzeyi

Hizmet düzeyi yolu kullanan sürücülerin ve yolcuların mevcut trafik şartlarındaki memnuniyet derecesi olarak ifade edebilir. Sürücülerin manevra serbestliği, şerit değiştirme serbestliği, seyahat süresi, işletme hızı, güvenlik ve elverişlilik parametrelerinin kalite düzeyidir. Altı adet hizmet düzeyi bulunmaktadır.

A Hizmet Düzeyi: Sürücülerin birbirini etkilemediği, şerit değiştirme ve manevra kabiliyetinin çok yüksek olduğu serbest akım şartlarını ifade etmektedir. Bir kısıtlama olmadığı varsayılırsa; ortalama hızın 100 km/sa civarında olduğu ve hizmet hacminin iki yön toplamında saatte 420 araçtan az olduğu hizmet düzeyidir.

B Hizmet Düzeyi: Dengeli bir trafik akımına sahiptir. Sürücülerin şerit değiştirme ve manevra kabiliyetlerinde önemli bir azalma yoktur. Bir kısıtlama olmadığı varsayılırsa; ortalama hızın 90 km/sa civarında olduğu ve hizmet hacminin iki yön toplamında saatte 420 ile 750 araç arasında olduğu düzeydir.

C Hizmet Düzeyi: Dengeli akım ile dengesiz akım arasında bir akıma sahiptir. İşletme koşulları trafik yoğunluğundan etkilenmeye başlamaktadır. Dönüş hareketi yapmak isteyen araçlar ile yavaş seyreden araçlar ara sıra sıkışmaya sebebiyet verebilir. Manevra serbestliği ve hız seçimi seçenekleri kısıtlıdır. Ortalama hız 85 km/sa civarında ve hizmet hacminin iki yön toplamında saatte 750 ile 1200 araç arasında olduğu düzeydir.

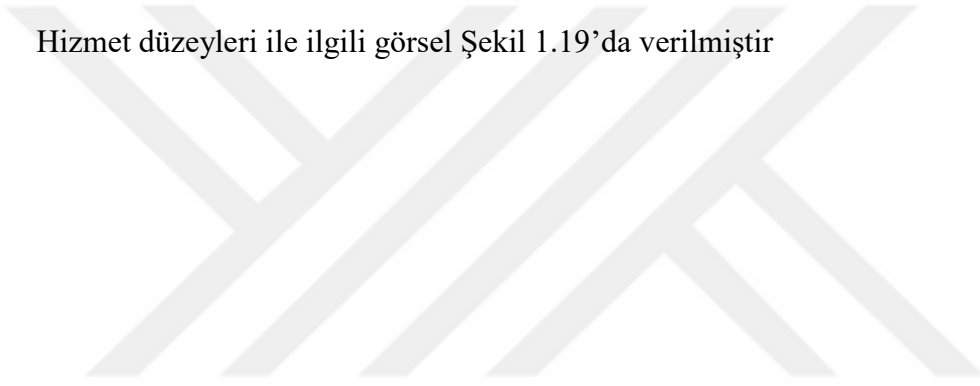
D Hizmet Düzeyi: Dur-kalk hareketlerinin olduğu dengesiz bir akım mevcuttur. Manevra serbestliği ve hız seçimi seçenekleri oldukça kısıtlıdır. Ortalama hız 80 km/sa civarında ve hizmet hacminin iki yön toplamında saatte 1200 ile 1800 araç arasında olduğu düzeydir.

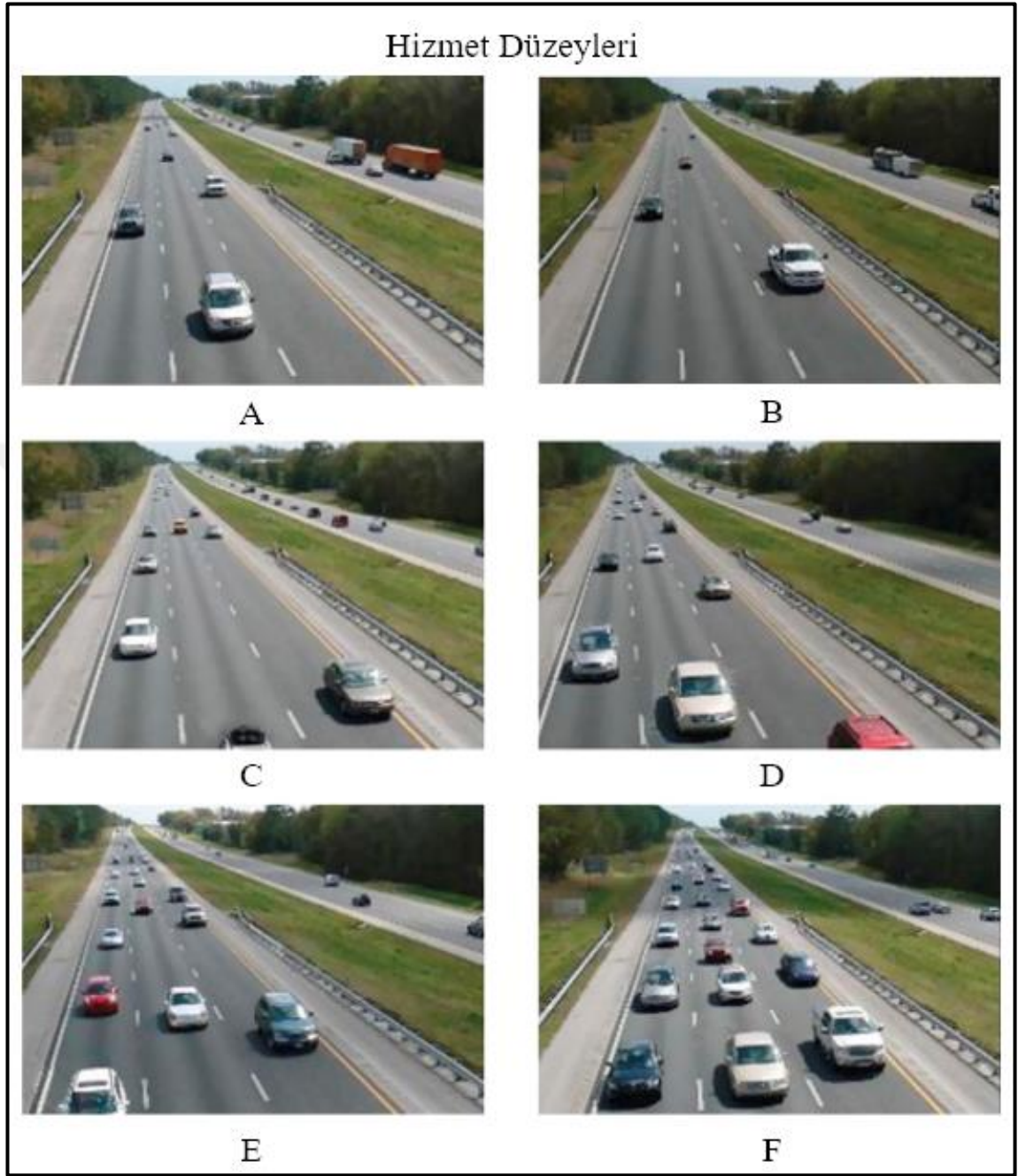
E Hizmet Düzeyi: Kapasite ile trafik hacminin birbirine çok yakın olduğu düzeydir. Dur-kalk hareketlerinin sıklaştığı dengesiz akım mevcuttur. Kuyruklanmalar oluşur ve

şerit değişimi, hız seçimi gibi isteklerde hiçbir serbestlik yoktur. Ortalama 40 ile 80 km/sa arasında ve hizmet hacminin iki yön toplamında saatte 1800 ile 2800 arasında olduğu düzeydir.

F Hizmet Düzeyi: Trafik hacminin kapasiteye eşit veya daha yüksek olduğu düzeydir. Zorlamalı akım mevcuttur. Trafik talebi kapasitenin çok üzerindedir. Konfor, manevra serbestliği yoktur. Sürekli kuyruklanmalar hakimdir. En kötü koşulları barından hizmet düzeyidir (Tunç 2003; Yayla 2011).

Hizmet düzeyleri ile ilgili görsel Şekil 1.19'da verilmiştir





Şekil 1.19. Hizmet düzeyleri (Findley *et al.* 2015)

Verilmiş olan kavşak tiplerine ve özelliklerine bakıldığında kavşak tiplerinin trafik akımı ile iç içe olduğu görülmektedir. Bu nedenle trafik akımını iyileştirmek için kavşak tasarımları çok önemlidir. Bütün bu hususlar göz önünde bulundurularak çeşitli senaryolarda kavşak tasarımları oluşturularak koridor kapasite analizi yapılacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yapılacak olan kavşak tasarımları ve sinyal optimizasyonu AIMSUN programında mezoskopik olarak modellenecektir. Modellenen trafik ağının doğruluğu belirlemek için GEH formülü kullanılacaktır. Modellenen kavşak tasarımları ve sinyal optimizasyonları belirli senaryolar altında karşılaştırılacak ve en iyi senaryo belirlenecektir. En iyi senaryonun belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılacaktır. AIMSUN, mezoskopik simülasyon, GEH formülü, AHS yöntemi, kavşak tasarımı ve sinyal optimizasyonu ile ilgili kaynak özetleri aşağıda verilmiştir.

Celikoglu and Dell'Orco (2007) tarafından yapılan çalışmada mezoskopik bir dinamik ağ yükleme modeli önerilmiştir. Akış koruma kurallarını, hız ve yoğunluk arasındaki ilişkinin varlığı dikkate alınarak, kapasite kısıtlaması açısından bir çıkış bağlantısı işlevi benimsenerek yinelemeli mezoskopik model çerçevesinde bir algoritma elde edilmiştir. Önerilen model diğer mevcut modeller ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarında önerilen modelin diğerlerine göre trafik akış yasalarını daha doğru bir biçimde temsil ettiği görülmüştür. Özellikle aşırı yoğun koşullarda bile doğru sonuçlar üretme yeteneği olduğu ortaya konmuştur.

Schenk *et al.* (2009) tarafından yapılan çalışmada ticarete artan tedarikçi sayısı ve rekabetten dolayı taşıyıcılık ağların önemi vurgulanmış ve taşıyıcılık ağların modellenmesi araştırılmıştır. Taşıyıcılık ağlarının karmaşıklığını azaltmak, teslimat sürelerinin düşürülmesini sağlamak amacıyla mezoskopik bir model önerilmiştir. Önerilen modelin birçok üretim ve taşımacılık sürecinde uygulanabilir, basit ve evrensel olduğu belirtilmiştir.

Jiang and Huang (2009) tarafından yapılan çalışmada hız-yoğunluk ilişkilerinin, trafik dinamiklerini göstermek için mezoskopik trafik simülasyonlarında çokça kullanıldığı ve trafik dinamikleri problemlerinin çözümünde faydalı bilgiler sağladığı, ancak bu tür uygulamalar için aynı zamanda kısıtlayıcı da olabildikleri ifade edilmiştir. Bu

çalışmada, veri madenciliği teknikleri kullanılarak hız-yoğunluk ilişkisi parametrelerinin kalibre edilmesi sorununu ele alınmıştır ve K-ortalama kümelemesine (makine öğrenim algoritması) dayanan yeni bir hiyerarşik kümeleme algoritması önerilmiştir. K-araçlarını aglomeratif hiyerarşik kümelemeyle birleştirerek, önerilen yeni algoritma aglomeratif hiyerarşik kümelemede içsel olan erken evre hatalarını azaltabildiği ve kümelenme performansında iyileşme sağladığı görülmüştür. Ayrıca, parametrik kalibrasyonun hassasiyetini arttırmak için, yoğunluklar ve akışlar değişkenler olarak kullanılabilmesine değinilmiştir. Önerilen yaklaşım, Pekin 3. Çevre Yolu'ndan alınan sensor verilerine karşı test edilmiştir. Test sonuçları, algoritmanın performansının mevcut çözümlerden daha iyi olduğunu göstermiştir.

Dağüstü (2010) tarafından yapılan tez çalışmasında Webster yöntemi kullanılarak oluşturulan bir algoritma modeli önerilmiştir. Önerilen algoritmanın değerlendirilmesi için dokuz adet sinyalizasyon kavşakta sinyal zamanlama işleme yapılmış ve VISSIM trafik simülasyon programında kavşaklar modellenerek analizleri yapılmıştır. Karşılaştırmalarda kriter olarak gecikme süresi, ortalama durma sayısı, ortalama durma süresi, CO ve NO_x emisyonu, yakıt tüketimi ve bir saat içinde kavşağı terk eden taşıt sayısı alınmıştır. Mevcut durum ile önerilen algoritmanın sonuçları karşılaştırıldığında, algoritmanın başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle gecikme süresi kriteri göz önünde bulundurulduğunda kavşak performanslarının %4 ile %73 arasında azaldığı ortaya konmuştur.

Toledo *et al.* (2010) tarafından yapılan çalışmada, özellikle “İleri Toplu Taşıma Sistemleri” bağlamında, operasyonların değerlendirilmesini, planlanmasını ve kontrolünü desteklemek için tasarlanmış bir transit simülasyon modeli sunulmuştur. Bu alandaki önceki çalışmaların çoğundan farklı olarak, simülasyon modeli, yol trafiğiyle etkileşimler nedeniyle stokastikliği hesaba katarak büyük ölçekli transit sistemlerin çalışma dinamiğinin modellenmesine izin veren bir mezoskopik trafik simülasyon modelinin bir platformunda inşa edilmiştir. Yapılan modelin transit operasyonlarının bir değerlendirme aracı olarak kabiliyetleri, çeşitli senaryolar altındaki Tel-Aviv metropol bölgesinde gerçek dünyadaki bir üst düzey otobüs hattına yapılan bir uygulama ile

gösterilmiştir. İki duraktaki ana hat dağılımları saha gözlemleriyle karşılaştırılmış ve benzetilen ve gözlemlenen veriler arasında iyi tutarlılık olduğu bulunmuştur. Geliştirilen model; seyahat zincirleri, geride kalan yolcular, duraklama süresi gibi değişkenleri verebilmektedir. Modelin aynı zamanda gecikmeleri sistem boyunca aktardığı ve tutarlı olduğu belirlenmiştir.

Alp ve Engin (2011) tarafından yapılan çalışmada ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı kazaların nedenleri TOPSIS ve AHS yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Kriter olarak aşırı hız, alkol kullanımı, kurallara uymama, taşıt kusuru, yaya kusuru, yol kusuru, uykusuzluk, hatalı sollama parametreleri alınmıştır. Ağırlıkların belirlenmesi için trafik kazaları konusunda bilirkişilik yapan akademisyenlere anket uygulanmıştır. TOPSIS ve AHS analizleri sonucunda oluşan grafiğin birbirleri ile aynı eğimde olduğu ancak bazı sıralamalarda farklılıklar olduğu görülmüştür. Ancak aşırı hız ve alkol kullanımı tüm kaza sonuçlarında (ölümlü, yaralanmalı, maddi hasarlı) en önemli trafik kaza nedeni olarak öne çıkmıştır.

Dalaff *et al.* (2013) tarafından yapılan çalışmada toplu taşıma yönetiminin daha iyi yapılabilmesi amacıyla bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde kritik trafik durumlarını önceden belirlemek için, trafik durumu sürekli olarak izlenmekte 30 dakika sonrası içinde trafik durumunun öngörüsü verilmektedir. SUMO programı için bir arayüz ve eklenti yapılmıştır. Bu makale GEH istatistikleri kullanarak trafik simülasyon sonuçlarının tutarlılığı analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda oluşturulan modelin hem daha kullanışlı olduğu hem de birçok alandaki araştırmalar için yararlı olabileceği ortaya konulmuştur.

Yun and Ji (2013) tarafından yapılan çalışmada kontrolsüz kavşaklarda seyahat verimliliği ve trafik güvenliği; trafik yönetimi ve kontrolü açısından iki ana hedef olarak kabul edildiği ifade edilmiştir. DUR ve YOLVER trafik tanzim işaretleri sinyalize olmayan kavşaklarda tüm yönlerden gelen araçlar için geçiş haklarını göstermek için kullanılan en yaygın işaretlerdir. Bu çalışmada DUR-YOLVER tanzim işaretli kavşak ve sinyalize kavşak arasındaki gecikme farklarını ortaya çıkarmak için analizler

yapılmıştır. Öncelikle kavşaklar VISSIM yazılım programı ile tasarlanmıştır ve doğrulaması yine VISSIM programı ile yapılmıştır. Farklı trafik hacimleri kullanılarak DUR-YOLVER işaretleri bulunan kavşakta ortalama araç gecikme analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda en düşük gecikme süresinin yaşanması için DUR-YOLVER işaretlerinin kritik trafik hacmine göre ayarlanması ile en uygun durumun oluşacağı söylenmiştir. Sonuçların trafik tanzim işaretleri kurulumunda bir yol gösterici olarak kabul edileceği belirtilmiştir.

Ciuffo *et al.* (2013) tarafından yapılan çalışmada, model duyarlılık analizi için meta model tabanlı bir teknik benimsenmiş ve AIMSUN mezoskopik modele uygulanmıştır. Meta model kestirimi ile ilgili önemli konular AIMSUN modeline göre araştırılmış ve yorumlanmıştır. Sobol dizileri ve Gaussian süreç meta modelleri uygun seçenekler olarak kabul edilmiştir. Değerlendirilen beş senaryodan dördünde (yani, yoldan kesişme, birleştirme-uzaklaşma, rampa ve trafik ışığı kesişme), gerçek model ile meta model üzerinde yapılan analiz sonuçlarının oldukça benzer olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonuçları önerilen yöntemin gücünü doğrulamış ve ayrıca karmaşık trafik simülasyon modelleri için mevcut olan duyarlılık analiz tekniklerinin daha kapsamlı bir uygulamasının ortaya konduğunu göstermiştir.

Xu *et al.* (2014) tarafından yapılan çalışmada bütün bir şehrin simülasyonunu gerçekleştirmek için hesaplama süresinin çok uzun olduğu söylenmiş ve bu problemin çözümü için, mezoskopik uygulamaların performansını iyileştirecek giriş zamanına dayalı tedarik çerçevesi adlı yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen çerçevede; araçların bağlantılarının (yol-şerit) ve durumlarının (hareket halinde-kuyrukta) hesaplanması için her bir şeridin 'giriş zamanı-geçiş' ve 'giriş zamanı-kuyruk' parametreleri güncellenmektedir. Önerinin doğruluğunun araştırılması için Singapur'un bir ağında deneyler yapılmıştır. Çalışmada; önerilen çerçevenin büyük ağlarda ve sıkışık trafik senaryolarında, uygulama süresini %50–95 oranında azaltarak mevcut arz çerçevesinden daha iyi performans gösterdiği ortaya konulmuştur.

Zhou *et al.* (2015) tarafından yapılan çalışmada hem etkin mikroskobik hem de makroskopik trafik akışı gösterimi gerektiren bir dizi yeni emisyon ve yakıt tüketimi ile ilgili uygulamalar için hesaplamalı olarak etkin ve teorik olarak titiz bir dinamik trafik atama (DTA) modeli ve çözüm algoritması sunulmaktadır. Önerilen model, Newell'in sadeleştirilmiş kinematik dalgasını ve aşağıdaki modelleri izleyen lineer otomobilleri temel alan tutarlı bir çapraz çözünürlüklü trafik durumu gösterimini içermektedir. Mezoskopik bir simülasyon tabanlı dinamik ağ yükleme yazılımı DTALite, emisyon tahmin yazılımı MOVES Lite ile birleştirilerek; trafik dinamiklerini ve farklı trafik yönetimi stratejilerinin araç emisyon / yakıt tüketimi etkisini değerlendirmek için uyarlanmıştır. Çalışma sonucunda Newell'in otomobil takip modelinin, araç yörüngeleri, anlık hız ve anlık ivme oluşturmak için uygulanabilir olduğu görülmüştür. Trafiğe bağlı emisyonları tahmin etmek için tutarlı bir birleşim yapıldığı ortaya konulmuştur.

Dell'Orco *et al.* (2016) tarafından yapılan çalışmada mezoskopik bir trafik akışı modeline dayanan seyahat süresi tahmini için bir çerçeve önerilmiştir. Seyahat süresi ölçümü, sadece ulaştırma sistemlerinin performans değerlendirmesinde önemli bir kriter olmayıp, aynı zamanda ileri yenilikçi bilgi sistemleri için de önemli bir kriter olduğu çalışmada vurgulanmıştır. Seyahat sürelerinin ve gerçek zamanlı trafik bilgilerinin doğru tahmini dinamik trafik sistem uygulamalarının, uygulanabilirliğini doğrudan etkileyen önemli faktörlerden olduğu belirtilmiştir. Yol ağındaki uzamsal-zamansal akış yayılımı, doğrusal bir bağlantı performans modelini içeren ve bir seyahat süresi işlevine dayanan mezoskopik model ile simülasyon yapılmıştır. Seyahat süreleri, araç gruplarının ivmelenmesi göz önünde bulundurularak hesaplanmış, böylece seyahat süresi yayılımının hız ile tutarlılığı daha yüksek olması sağlanmıştır. Ağa trafik tahsisi, arı kolonisi özelliklerine dayanarak tamamen yeni bir model ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucundaki veriler başka bir mezoskopik model (DYNASMART) kullanılarak yapılan simülasyon sonuçları ile karşılaştırıldığında, önerilen yöntemle elde edilen seyahat sürelerinin daha gerçekçi olduğu ortaya konulmuştur.

Bayrak vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada Atatürk Üniversitesi Kampüsündeki kavşaklardan en yoğun trafik hacmine sahip olan ve yıllık ortalama 15 kazanın olduğu Teknokent Kavşağı incelenmiştir. Araziden elde edilen ölçümler VISSIM programı ile simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon değerleri ile gözlemlenen değerlerin tutarlılığının kontrol edilmesi için GEH formülünden yararlanılmıştır. Farklı sinyal programları ve geometrik düzenlemeler yapılmış ve simülasyonların sonucuna göre düzenlemelerin başarılı olduğu görülüp uygulanması önerilmiştir. Önerilen düzenlemelerin uygulanmasından sonra ilgili kavşaktaki sağa dönüş adaları kollarındaki gecikmeleri ve oluşan kazaları minimize etmiştir.

Barić *et al.* (2016) tarafından yapılan çalışmada karasal kesit tasarımını kentsel bir ortamda değerlendirmek için 6 adet ana kriter ve 24 adet alt kriter belirlenmiş ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi uygulanmıştır. Model, Hırvatistan Podstrana bölgesinde, D8 Ulusal Yolu üzerinde bulunan 4 kavşakta test edilmiştir. Çalışma sonucunda ana kriterler arasında en önemli kriterin verimlilik olduğu görülmüştür. Önerilen modelin, yol kesit tasarımlarının uygunluğunu değerlendirmek ve seçmek için başarılı olduğu belirtilmiştir.

Çakıcı ve Murat (2016) tarafından yapılan çalışmada sinyalizasyon dönel kavşaklar ele alınmıştır. Kavşak yaklaşım kolları ve dönel ada etrafındaki akımlarda optimum sinyal fazlarını ayarlayabilmek için bir hesap yöntemi sunulmuştur. Sunulan hesap yöntemini değerlendirmek için Denizli ilinde bulunan 4 fazlı bir dönel kavşak ele alınmıştır. Çalışmada hem farklı kavşak tipleri hem de önerilen hesap yöntemi ile ayarlanması yapılmış sinyalizasyon dönel kavşak tipi karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre sinyalizasyon dönel kavşakların faz dağılımlarında önerilen hesap yönteminin faydalı olduğu bulunmuştur.

Murat vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada ekonomi, güvenlik ve kapasite parametrelerinin kavşak seçimi için belirleyici olduğu söylenmiş ve kavşak seçimi için analitik hiyerarşi süreci kullanılmıştır. Karşılaştırmalarda dört kavşak tipi kullanılmıştır. AHS Karar sürecinde yakıt tüketimi, emisyon oranları, gecikme, kavşak tipi maliyeti ve

güvenlik parametreleri kriter olarak alınmıştır. Karşılaştırılacak kavşaklar SIDRA yazılımı ile modellenmiştir. Simülasyon sonucundaki veriler ışığında AHS yöntemiyle kavşak tipi belirlenmiştir. En ekonomik ve güvenli kavşak tipi dönel kavşak olarak ifade edilmiştir.

Rahimov *et al.* (2016) tarafından yapılan çalışmada pinavia kavşak ile dönel kavşak tipi AIMSUN trafik simülasyon programı ile tasarlanarak teknik ve ekonomik açıdan ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Teknik açıdan karşılaştırmak için; trafik yoğunluğu, emisyon değerleri, yakıt tüketimi, seyahat süresi ve gecikme süresi kriter olarak alınmıştır. Dönel kavşaktaki ve pinavia kavşaktaki verileri karşılaştırmak için; bir örneğin belirli bir işlemle yapılıp yapılamayacağını belirlemede kullanılan t-testi kullanılarak iki örneklem oluşturulmuştur. Ekonomik açıdan karşılaştırma yapmak için ise; yakıt tüketim maliyeti, seyahat süresi maliyeti, ilk yapım maliyeti, işletme maliyeti ve güvenlik kriterleri alınmıştır. AHS uygulaması için bu kriterler ağırlıklandırılmış ve AHS uygulanmıştır. Sonuç olarak 20 yıllık bir kullanım süreci için pinavia tipi kavşakların dönel kavşağa oranla %49 daha verimli olduğu ortaya konmuştur.

Jamshidnejad *et al.* (2017) tarafından yapılan çalışmada yüksek doğruluk ve düşük hesaplama süresi arasında dengeli bir oran sağlayan yeni bir mezoskopik bütünleşmiş akış emisyonu modeli önerilmiştir. Trafik sıklığından ve trafikten kaynaklanan emisyonlardan belirgin çevresel ve ekonomik problemler nedeniyle, trafiğin analizi ve kontrolünün esas olduğu vurgulanmıştır. Önerilen yaklaşım, tek tek araçların (mikroskobik) veya tüm araç grubunun (makroskobik) davranışını dikkate almak yerine, farklı araç grupları (mezoskopik) için toplu bir davranış olarak ele alınmıştır. Ortaya çıkan mezoskopik bütünleşmiş akış emisyon modelinin performansını göz önünde bulundurarak önerilen çerçeveyi değerlendirmek için bir örnek vaka çalışması yapılmıştır. Karşılaştırma platformu olarak mikroskobik emisyon modeli VT-Micro ile trafik simülasyon yazılımı SUMO kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, önerilen yaklaşımın makroskobik ve mikroskobik yöntemlere göre daha yüksek doğruluk seviyelerinde sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Bennett and Betts (2017) tarafından yapılan çalışmada AIMSUN 8.2.0 sürümündeki varsayılan parametrelerin, mikroskobik ve mezoskopik simülasyonunda doygunluk akış hızlarını incelenmiştir. Hibrit ağ gelişimi için mezoskopik ve mikroskobik seviyeler karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada, doygunluk akışının kalibrasyonunda bir başlangıç noktası olarak kullanılabilir göstere niteliğindeki parametre değerleri belirlenmiştir. Doygunluk akışının; araç reaksiyon sürelerinden, dönüş hızlarından ve sıkışma yoğunluklarından etkilenebildiği ortaya konulmuştur. Ayrıca, AIMSUN 8.2.0 sürümündeki varsayılan parametrelerin, mikroskobik ve mezoskopik simülasyonda doygunluk akış hızlarının fazla tahmin edilmesine yol açabileceğini belirlenmiştir.

Bayata ve Bayrak (2018) tarafından yapılan çalışmada Erzurum'da trafik yoğunluğunun artmasından dolayı Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılması planlanan kavşağın bölge trafiğine etkisi ile çevreye etkisi incelenmiştir. Yapılması planlanan kavşak ve mevcut durum, VISSIM mikro-simülasyon programı ile modellenerek seyahat süresi, gecikme süresi, kuyruk uzunlukları, CO₂ emisyonu, NO_x emisyonu, VOC (uçucu organik bileşenler) emisyonu ve yakıt tüketimi değişkenleri bazında karşılaştırmalar yapılmıştır. Oluşturulan modelin tutarlılığını kontrol etmek için GEH formülü kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre yapılması planlanan kavşağın; seyahat süreleri ve gecikme sürelerinde %35, kuyruk uzunluklarında %83, emisyon değerlerinde ise %23 oranlarında azalmalar sağlayacağı ortaya konmuştur.

Zlatkovic *et al.* (2019) tarafından yapılan çalışmada, Utah'ta üç topluluk ölçeğinde (mezoskopik) ve üç mahalle ölçeğinde (mikroskobik) ağın ulaştırma modellemesi yoluyla gelişmiş sokak bağlantısının trafik performansı ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Artan sokak bağlantısının farklı tür ve boyutlardaki ağlarda aynı anda meydana getirdiği trafik performansı ve sürdürülebilirlik etkileri araştırılmıştır. Topluluk ölçeğinde, sokak bağlantı alternatiflerinin artırılması sayesinde seyahat sürelerinde ve gecikme sürelerinde önemli bir azalmanın olduğu görülmüştür. Ayrıca özellikle mahalle ölçeğinde sokak bağlantısının artırılmasının; ağ kapasitelerini artırmanın, trafik akışlarının daha iyi dağılımını sağlamanın, erişilebilirliği artırmanın

bir yolu olduğu belirlenmiştir ve daha sŸrdŸrŸlebilir ortamlara yol açtığını gŸsterilmiřtir.

Zhang and Yao (2019) tarafından yapılan çalışmada elektrikli taşıtların kullanılmasının teşvik edilmesi, sŸrdŸrŸlebilir taşımacılığın geliştirilmesinde etkili bir yol olarak gŸrŸldŸđu ifade edilmiştir. Doğru enerji tŸketimi tahmini, Ÿcretlendirme altyapısını planlamanın ve elektrikli taşıt mŸřterileri için akıllı hizmet sunmanın anahtarı olduğu ve bu durumun elektrikli taşıtların popŸlerliđini daha da hızlandırabileceği ifade edilmiştir. Çalışmada, model doğruluğu ile veri yoğunluğu arasında bir uzlaşma sağlamak için, gerçek sŸrŸř koşulu verilerine dayanarak elektrikli taşıtların enerji tŸketimini tahmin etmek için bir mezoskopik model erevesi oluşturulmuştur. Ŗncelikli olarak, elektrikli taşıtların enerji tŸketimi Ŗzellikleri ve elektrikli taşıtların enerji tŸketim mekanizmasını ortaya çıkarmak için hem istatistiksel hem de fiziksel açıdan analizler yapılmıştır. Daha sonra, elektrikli taşıtların ayırt edici bir Ŗzelliđi olan yavaşlama modunda rejeneratif frenlemenin açıkça gŖz ŖnŸnde bulundurulmasıyla, gerekli rejeneratif frenleme gŸcŸ Ŗzel bir işleme tabi tutulmuş ve modellenme çerçevesine dahil edilmiştir. Son olarak, enerji tŸketimini ilişkilendirmek için ortalama seyahat hızına dayalı bir enerji tŸketim faktŖrŸ modeli oluşturulmuştur. Ŗnerilen model, saha ŖlŸmleriyle doğrulanmış ve sonuçlar modelin iyi bir tahmin yeteneği olduğunu gŸstermiřtir.

Yapılan çalışmalardan farklı olarak Erzincan kent merkezinde bulunan 14 adet kavşak AIMSUN programında mezoskopik olarak modellenerek koridor kapasite analizi yapılacaktır. Mevcut durumda oluşan gecikme sŸresi, seyahat sŸresi, kuyruk uzunluğu, ortalama hız, CO₂ emisyonu, NO_x emisyonu koridor Ÿzerinde hesap edilecektir ve çeşitli değişiklikleri içeren senaryolar ile karşılaştırılacaktır. Uygun senaryonun seçimi için çok değişkenli karar verme yŖntemlerinden biri olan AHS yŖntemi uygulanacaktır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Trafik Simülasyonu

Simülasyon gerçek dünyadaki olguların gerçekçi bir yaklaşım ile sanal dünyaya aktarılması olayına denmektedir. Günümüzde çok çeşitli alanlarda ve çeşitli amaçlar için kullanılmaktadırlar. Trafik simülasyon kavramı ise mevcut trafiğin aynı fiziki şartlar ile elektronik ortamda oluşturulmuş birer benzetimidir. Trafik simülasyonları sayesinde öncelikli olarak; modellenen bir trafikte gecikme süreleri, yakıt tüketimleri, seyahat süresi, yoğunluk, emisyon değerleri, kuyruk uzunlukları gibi birçok parametre hesaplanabilmekte ve bu hesaplar sonucunda varsa trafik sorunları da açıkça belirlenebilmektedir. Trafik sorunlarının çözülmesi için yine trafik simülasyonu kullanılarak önerilen çözümlenin vereceği sonuçlar hayata geçirilmeden önce incelenmiş olmaktadır. Bu sayede önerilen çözümlerin avantaj ve dezavantajları daha iyi analiz edilerek en makul seçeneği belirlemek kolaylaşır.

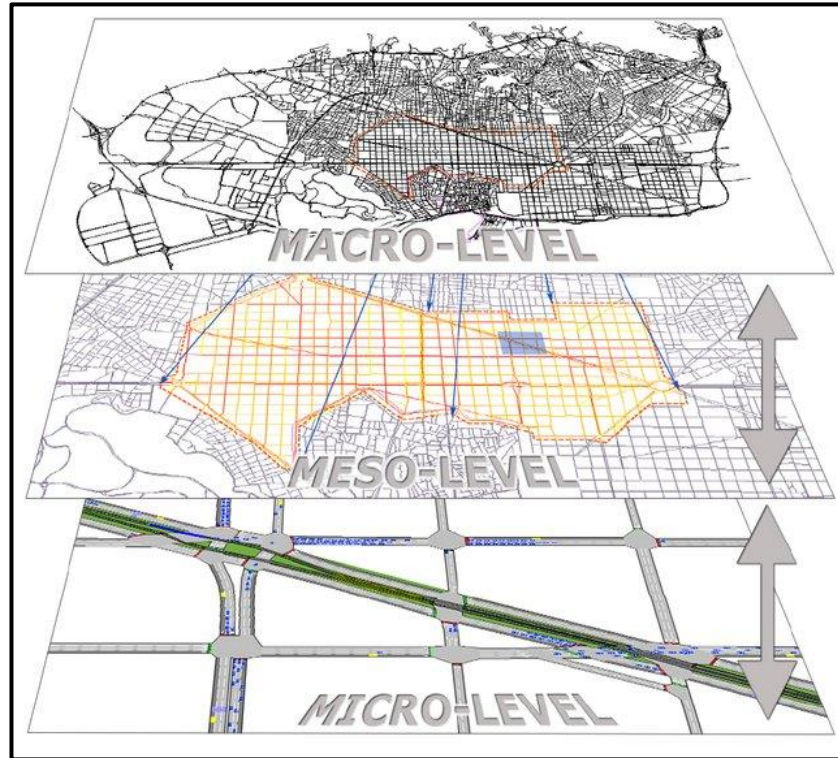
Trafik simülasyonları üç seviyede modellere ayrılırlar. Bunlar mikroskobik, mezoskopik ve makroskopik simülasyon modelleridir. Mikroskobik modelli seviyede araç hareketleri açık bir şekilde izlenmekte ve bağlantı performansları ayrı ayrı ifade edilmektedir. Genellikle küçük ağlarda kullanılmaktadır. Mezoskopik modelli seviyede araç hareketleri yine açık bir şekilde izlenmekte ancak bağlantı performansları toplu olarak ifade edilmektedir. Genellikle orta büyüklükteki ağlarda kullanılmaktadır. Makroskopik modelli seviyede ise araç hareketleri dolaylı olarak izlenebilmekte ve bağlantı performansları mezoskopik seviyede olduğu gibi toplu olarak ifade edilmektedir. Genellikle büyük ağlarda kullanılmaktadır (Celikoglu and Dell'Orco 2007).

Günümüzde birçok trafik simülasyon programı vardır. Bunlardan bazıları; AVENUE, AIMSUN, DRACULA, METANET, MITSIMLab, SUMO, PARAMICS, SIDRA,

TRANSIMS ve VISSIM olarak örneklendirilebilir. Bu çalışmada AIMSUN programı kullanılacaktır.

3.2. AIMSUN Mezoskopik Trafik Simülasyonu

AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks) kentsel ve kentsel olmayan ağlar için gelişmiş etkileşimli mikroskobik simülator'ün bir kısaltmasıdır. Bu program Katalonya Üniversitesi'nde Simülasyon ve Operasyon Araştırma Laboratuvarı üyeleri tarafından 1989'da geliştirilmeye başlanmıştır ve 2018 itibarı ile de Siemens tarafından geliştirilmeye devam etmektedir. AIMSUN programı başlangıçta sadece mikroskobik simülasyon modeline sahip iken şu anda makroskobik, mezoskopik ve mikroskobik modelleri içermektedir. Mikroskobik model küçük boyutlu, mezoskopik orta boyutlu, makroskobik ise büyük boyutlardaki ağlarda kullanılan simülasyon modelleridir. AIMSUN model seviyeleri Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. AIMSUN model seviyeleri (Barceló *et al.* 2005)

3.3. GEH Analizi

GEH formülü 1970 yıllarında ulaşım planlamacısı Geoffrey E. Harvers tarafından oluşturulmuş ve trafik tahmini ile trafik modellenmesinde kullanılan bir formüldür. Çeşitli trafik analizleri için kullanımının yararlı olduğu söylenmiştir (Miller *et al.* 2010). GEH analizi, üretilen bir modelin verdiği değerler ile gözlemlenen değerler arasında bir kıyaslama yaparak modelin uygunluğunu temsil etmek için kullanılmaktadır. GEH analizinde kullanılan formül aşağıda verilmiştir.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(K_j - M_j)^2}{K_j + M_j}}$$

GEH formülünde; K değeri gözlemlenen değer, M değeri ise simülasyon modelinde çıkan değerdir. Formülden elde edilen GEH değerinin 5'in altında olması durumunda modelin uygun olduğu ve kalibre edildiği, aksi durumda ise modelin gerçeği yansıtmakta uygun olmadığı belirtilmektedir (Feldman 2012; Shankar *et al.* 2013; Bayata ve Bayrak 2018).

3.4. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

AHS 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından karmaşık yapıdaki problemlerin çözümü için geliştirilen çok kriterli karar verme tekniğidir. Diğer çok kriterli karar verme tekniklerine göre uygulaması daha kolaydır. Karar vericinin görüşleri dahil edildiği için objektif kanıların yanında subjektif kanılarına da içeren karmaşık problemlerde uygulanabilmektedir (Yıldırım ve Önder 2015). AHS'nin temelde üç aşaması; hiyerarşi yapısının oluşturulması, ikili karşılaştırmanın yapılması ve ağırlıkların hesaplanması olarak tanımlanabilir (Soba 2014). Karar vericiler tarafından karşılaştırmalar yapılırken Thomas L. Saaty'nin 1-9 ölçeği diğer bir adı ile göreceli önem dereceleri tablosu kullanılmaktadır. Bu ölçekte alternatiflere önem derecesine göre 1'den 9'a kadar değer verilir (Soba 2014; Yıldırım ve Önder 2015).

Çizelge 3.1. Göreceli önem dereceleri tablosu (Yıldırım ve Önder 2015)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	Her iki seçenek eşit öneme sahiptir
3	Orta derecede önemli	Bir seçenek diğerine göre biraz daha tercih edilebilirdir
5	Kuvvetli derecede önemli	Bir seçenek diğerinden oldukça önemlidir
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir seçenek diğerine göre kuvvetli düzeyde önemlidir
9	Mutlak derecede önemli	Bir seçenek diğerine göre kesin surette önemlidir
2, 4, 6, 8	Ara değerleri temsil etmektedir	

AHS tekniği ile karar verme problemi çözümünde uygulanan adımlar dokuz adet olarak sayılabilir. Bunlar;

- Amacın belirlenerek problemin tanımlanması,
- Karar kriterlerinin belirlenerek listelenmesi,
- Karar için olası alternatiflerin belirlenmesi,
- Kriterlerin ikili karşılaştırılması ve önem derecelerinin belirlenmesi,
- Alternatiflerin belirlenen kriterlere göre ikili karşılaştırılması ve önceliklerinin hesap edilmesi,
- Uyum oranının hesap edilmesi,
- Alternatiflerin göreceli öncelik değerlerine göre sıralanarak yüksek olanın seçilmesi
- Duyarlılık analizinin uygulanmasıdır (Yıldırım ve Önder 2015).

3.4.1. AHS yönteminin matematiksel altyapısı

AHS yöntemindeki işlem adımlarının uygulanması için öncelikli olarak kriter ağırlıkları oluşturulmalıdır. Kriter ağırlıkları “ w ” ile gösterilir ve ikili karşılaştırmalar ile elde edilir. Karşılaştırma matrisinde 1-9 ölçeği diğer bir adı ile göreceli önem dereceleri tablosu kullanılarak değerler yazılır, köşegen elemanları yani kriterin kendisi ile kıyaslanması 1 olmaktadır.

AHS yönteminde ilk olarak; n adet kriter için $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ olacak şekilde ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Bu matrisin genel yapısı aşağıda verilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nj} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Bu matriste $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ ve $a_{ij} = \frac{a_{ik}}{a_{jk}}$ olmaktadır. Kriter ağırlıkları n adet sayıda; $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ olacak biçimde gösterilmektedir. Ağırlık matrisinin genel yapısı aşağıda verilmiştir.

$$W = \begin{matrix} & w_1 & \cdots & w_j & \cdots & w_n \\ \begin{matrix} w_1 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \cdots & w_1/w_j & \cdots & w_1/w_n \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_i/w_1 & \cdots & w_i/w_j & \cdots & w_i/w_n \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_n/w_1 & \cdots & w_n/w_j & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Özdeğer bulma problemi çözümü için W ve w değerleri çarpılarak aşağıda verilen denklem kullanılır.

$$W = \begin{matrix} & w_1 & \cdots & w_j & \cdots & w_n \\ \begin{matrix} w_1 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \cdots & w_1/w_j & \cdots & w_1/w_n \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_i/w_1 & \cdots & w_i/w_j & \cdots & w_i/w_n \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_n/w_1 & \cdots & w_n/w_j & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

Öznel kararların tutarlılığını ve göreceli ağırlıkların kalibre edilmesi için tutarlılık indeksi (CI) ve tutarlılık oranı (CR) olmak üzere iki katsayı kullanılmaktadır. Tutarlılık

indeksinin formülü aşağıda verilmiştir. Denklemden λ_{Maks} en büyük özdeğerdir ve n toplam kriter sayısını ifade etmektedir.

$$CI = \frac{(\lambda_{Maks} - n)}{(n - 1)}$$

Tutarlılık oranı için aşağıda verilen formül kullanılmaktadır. Denklemden RI rastgele değer indeksini göstermektedir. Alternatif sayısına göre uygun olan RI değerleri Çizelge 3.2'den seçilir.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Çizelge 3.2. Rastgele değer indeksi

Karar Alternatiflerinin sayısı (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rastgele Değer İndeksi (RI)	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,15	1,49

AHS uygulamalarında tutarlılık oranının (CR) 0,1'in altında olduğu takdirde güvenilir ve tutarlı sonuçlar alınmaktadır (Yıldırım ve Önder 2015).

3.5. Webster Yöntemi

Webster yöntemi sinyalizasyon ile kontrole alınan kavşaklarda sinyallerin faz sürelerini ve periyodunu düzenlemek için kullanılan bir yöntemdir ve İngiliz yöntemi olarak da bilinmektedir. Sinyalizasyona sahip kavşaklarda trafik akımı sinyaller ile kesintiye uğramakta olduğu için kesintisiz akımdan söz edilemez. Webster yöntemi bu nedenle kesintili trafik akımını esas alan bir yaklaşım izlemektedir. Webster yöntemine göre

sinyalizasyonlu bir kavşağın kapasitesi, yeşil sürede geçebilecek taşıt sayısına bağlıdır (Tunç 2003, Çetinkaya 2008). Bu yöntemde kullanılan formüller sırasıyla verilmiştir.

- Kavşaktaki bir yön için daima yeşil ışığın yandığı varsayılırsa her bir şeritten geçebilecek maksimum trafik akımına doyum akımı denir. Doyum akımı aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$s = s_o N f_i$$

s : Mevcut durumda kavşak doyum akımı

s_o : İdeal şartlarda kavşak doyum akımı

N : Şerit sayısı

f_i : Düzeltme faktörü

- Kavşak kapasitesi aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$K = s(g/C)$$

K : Kavşak kapasitesi

s : Doyum akımı

g : Yeşil süre

C : Periyod süresi

- Değişim fasılası tayini için kullanılması gereken formül aşağıda verilmiştir.

$$Y_i = t + \frac{0.3H}{2a} + \frac{W + l}{H}$$

Y_i : i yönündeki boşaltım fasılası (saniye)

t : İntikal – reaksiyon süresi (saniye)

H : Araç hızı (metre/saniye)

a : Fren ivmesi (4.6 m/sn^2 olarak alınması uygundur)

W : Hareket uzunluğu (metre)

l : Araç uzunluğu (metre cinsindedir ve 6 metre alınması uygundur)

- Webster yönteminde etkin kullanım süreleri dikkate alındığından efektif yeşil süre kullanılmaktadır. Efektif yeşil süre aşağıda verilmiştir.

$$g_i = G_i + Y_i - t_L = G_i + (y + r_h) - t_L$$

g_i : i fazı için efektif yeşil süre (saniye)

G_i : i fazında fiili yeşil süre (saniye)

Y_i : Sarı + tüm kırmızı süre (saniye)

t_L : Toplam kayıp süre (saniye)

y : Sarı süre (saniye)

r_h : Hep kırmızı süre (saniye)

- Minimum gecikme dikkate alınarak optimum periyot süresi aşağıda ile hesaplanmaktadır.

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{l - \sum x_i} = \frac{1.5(nl + r_h) + 5}{l - \sum x_i}$$

C_o : Optimum periyod (saniye)

L : Kayıp süre (saniye)

n : Faz sayısı

l : Kalkıştaki kayıp süre (saniye)

r_h : Tüm kırmızı süre (genellikle 1 veya 2 saniye)

x_i : Tasarım akımının i 'inci fazdaki doyum akımına oranı

- Otomobil eşdeğer faktörü kullanılarak trafik kompozisyonu içerisindeki araçlar otomobil hacmine dönüştürülür. Otomobil eşdeğer faktörü Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Otomobil eşdeğer faktörü

Vasıta türleri ve dönüşler	Otomobil eşdeğer faktörü
Otomobil	1
Ağır vasıta	1,5
Sola dönüş yapan vasıtalar	1,6
Sağa dönüş yapan vasıtalar	1 ile 1,4 arasında

- Tasarım saatlik hacmi, zirve saat içindeki maksimum akımı temsil etmektedir. Aşağıda verilen çizelge ve formül yardımı ile hesaplanır.

Çizelge 3.4. Şerit kullanım faktörü

Şeritteki trafik akım yönü	Şerit sayısı	Şeridin kullanım yüzde sınırları	Şerit kullanım faktörü (<i>U</i>)
Sapmayan veya paylaşılan	1	100	1,00
	2	52,5	1,05
	≥3	36,7	1,10
Özel sol dönüş şeridi	1	100	1,00
	≥2	51,5	1,03
Özel sağ dönüş şeridi	1	100	1,00
	≥2	56,5	1,13

$$V = TSH \times U = \frac{\text{Zirve Saat Hacmi}}{ZSF} \times U$$

V: Şerit sayısına göre düzeltilmiş talep akımı (araç/saat)

U: Şerit kullanım faktörü (Tunç 2003)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Çalışma Alanı

Erzincan 236 034 nüfusa sahip bir şehirdir. Merkez ilçe nüfusu 157 452'dir (TÜİK 2018). Erzincan'da motorlu araç sayısı 2017 yılında 57 518 iken bu rakam 2018 yılında 59 357'e yükselmiştir (TÜİK 2019). Artan nüfus ve araç sayısı ile kentte trafik talepleri ve yoğunlukları artmıştır.

Kent merkezinde başlıca 20 adet kavşak bulunmaktadır. Bu çalışmada trafik yoğunluğu en yüksek olan ve ana arterler üzerinde olan 14 adet kavşak ele alınmıştır. Bu kavşaklar; Bahçesaray, Işıkpınar, Eski Mit, Esentepe, Hastane, Adnan Menderes, Askerlik Şubesi, Emniyet, SGK, Dört Yol, Eski Terminal, Tedaş, Terzibaba ve Sümer kavşaklarıdır ve Şekil 4.1'de sırası ile gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan kavşaklar (GoogleEarth 2019)

Çalışmada ele alınan 14 kavşağın yerleri ve bağlantı yolları Google Earth'den alınan Erzurum kent merkezi görüntüsü üzerinde Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan kavşaklar ve koridorlar (GoogleEarth 2019)

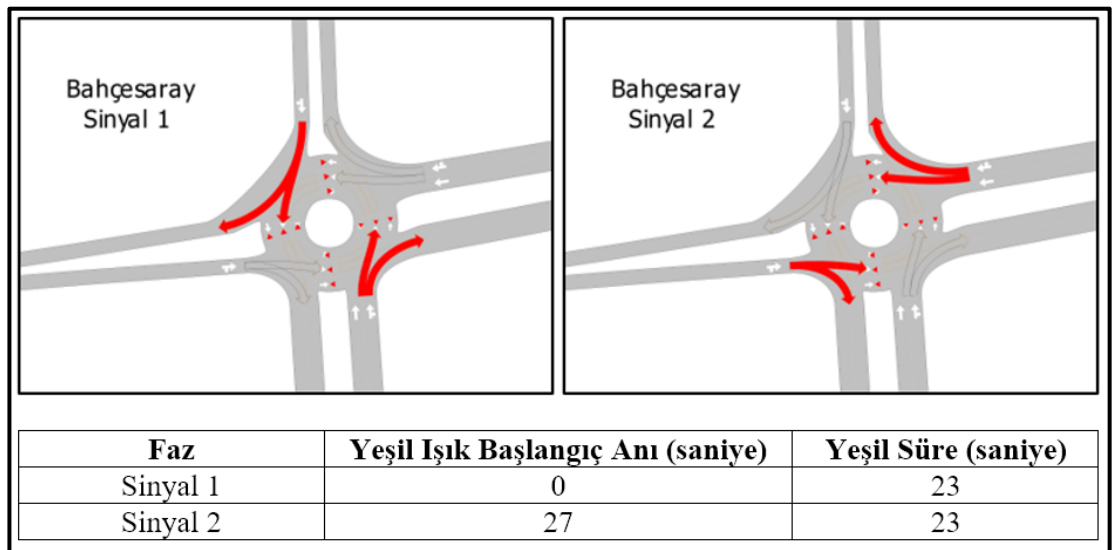
4.2. Verilerin Toplanması

Simülasyon modellemesi yapmak ve yapılan modelin gerçeği yansıtabilmesi için verilerin toplanması en önemli husustur. Bir simülasyon modellemesi için gerekli duyulan başlıca veriler; türlerine göre araç sayımları ve sinyalizasyon fazlarıdır.

Bu çalışmada sinyalizasyon fazları Erzincan Belediyesi'nin Sinyalizasyon biriminden alınmıştır. Araç sayımları araç türlerine göre (otobüs ve otomobil) kavşaklarda manuel olarak pazartesi, çarşamba, cuma ve pazar günlerinde; saat 07:45–08:45, 12:00–13:00, 16:45–17:45 aralarında yapılmıştır. Yapılan araç sayımlarında en yoğun trafik pazartesi günü 07:45–08:45 olduğu belirlenmiştir.

4.2.1. Faz süreleri

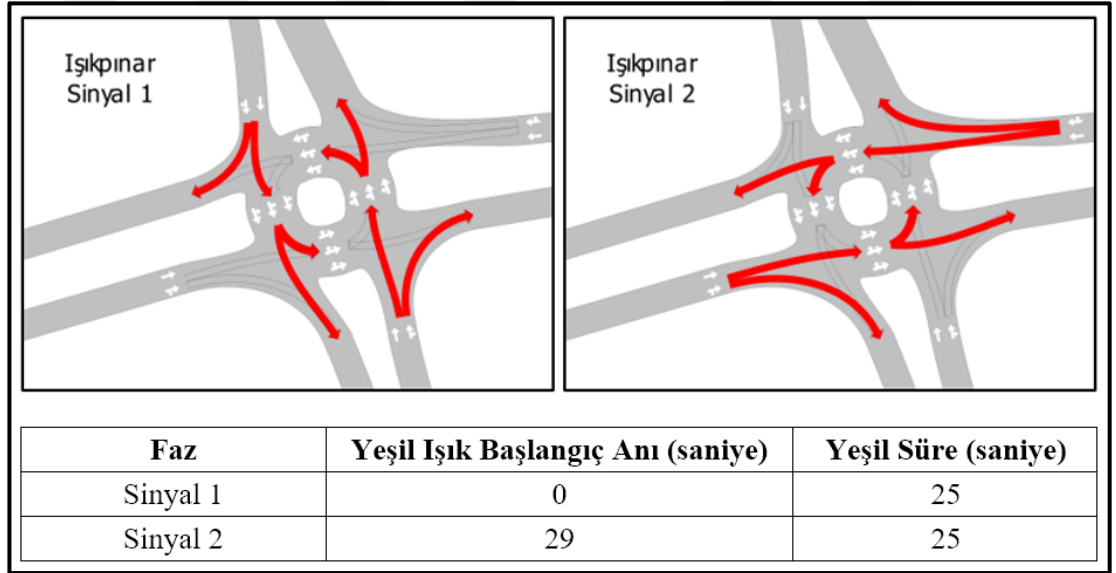
Bu kısımda sinyalizasyonlu kavşakların faz sürelerine, sinyalizasyon bulunmayan Sümer kavşağının ise geçiş öncelikleri şekiller üzerinde gösterilmiştir. Verilen şekiller fazlarda müsaade edilen geçişleri, varsa kavşaktaki geçiş önceliklerini ve faz sürelerini göstermektedir.



Şekil 4.3. Bahçesaray kavşağı mevcut durum faz süreleri

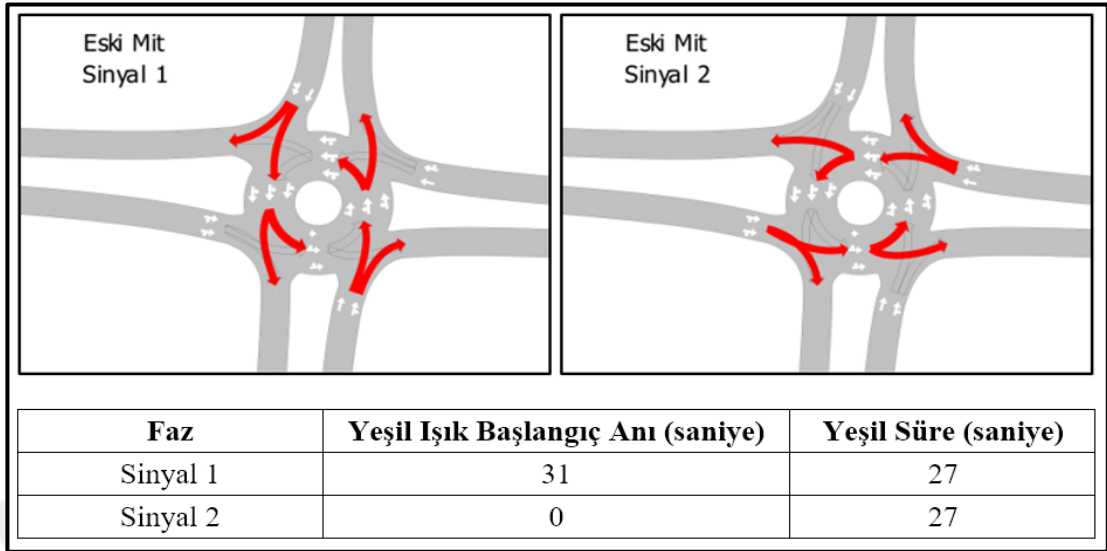
Şekil 4.3'te verilen Bahçesaray kavşağında periyot 54 saniye, kırmızı ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir. Kırmızı ile gösterilen okların başlangıç noktası trafik ışıklarının bulunduğu noktayı göstermekte olup okun yönü ise müsaade edilen geçiş fazlarını göstermektedir. Kavşak içinde sinyalizasyon Şekil 4.3'de de gösterildiği gibi bulunmamakta olup, YOLVER tanzim işareti bulunmaktadır. Sinyal 1'de karşılıklı iki kol aynı fazda çalışmaktadır, Sinyal 2'de de diğer karşılıklı iki kol birlikte aynı fazda çalışmaktadır. Sinyal 1'de 0.saniyede yeşil ışık yanar ve 23 saniye sürer sonra 2 saniye koruma kırmızı yanar. Sinyal 2'de de bu süre zarfından sonra 2 saniye sarı ışık yanar ve ardından 23 saniyelik yeşil ışık yanar. Koruma kırmızı olarak adlandırılan kırmızı süre her faza kırmızı ışığın yandığı, kavşakta araç kalmış ise boşaltılması için güvenlik amacıyla konulan süredir.

Diğer faz sürelerinin verildiği şekillerde de format aynı olduğu için burada yorumlanan Bahçesaray kavşağı gibi diğer kavşaklarda yorumlanabilir.



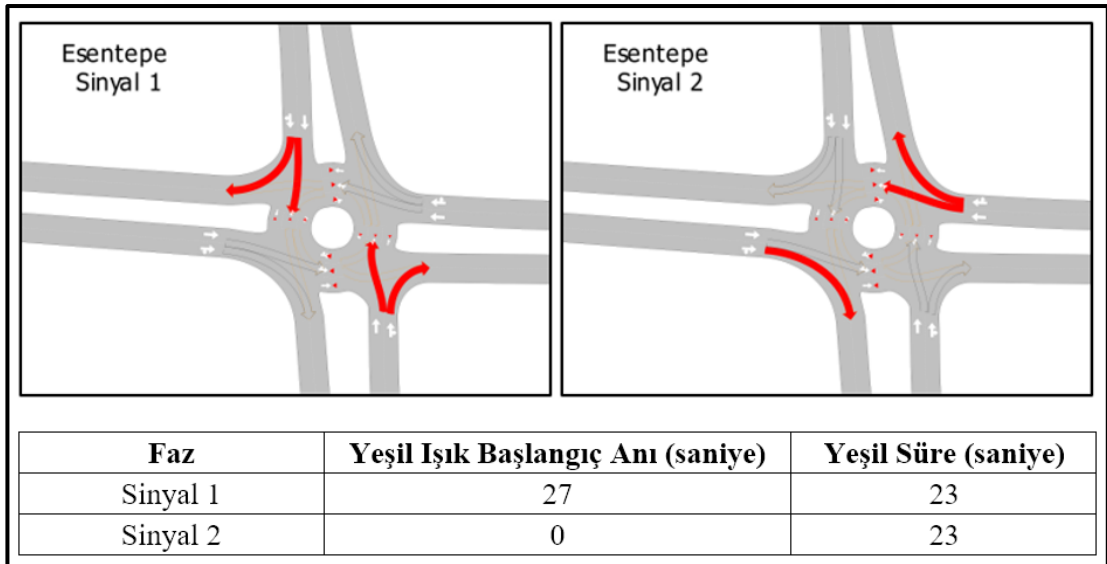
Şekil 4.4. Işıkpınar kavşağı mevcut durum faz süreleri

Şekil 4.4'te verilen Işıkpınar kavşağında periyot 58 saniye, kırmızı ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir.



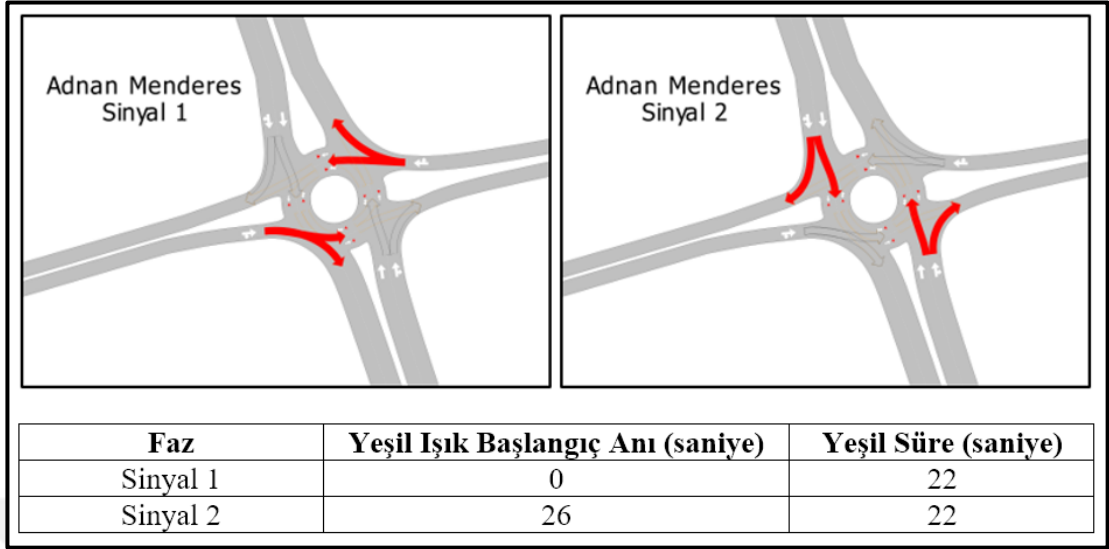
Şekil 4.5. Eski Mit kavşağı mevcut durum faz süreleri

Şekil 4.5'te verilen Eski Mit kavşağında periyot 62 saniye, kırmızı ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir.



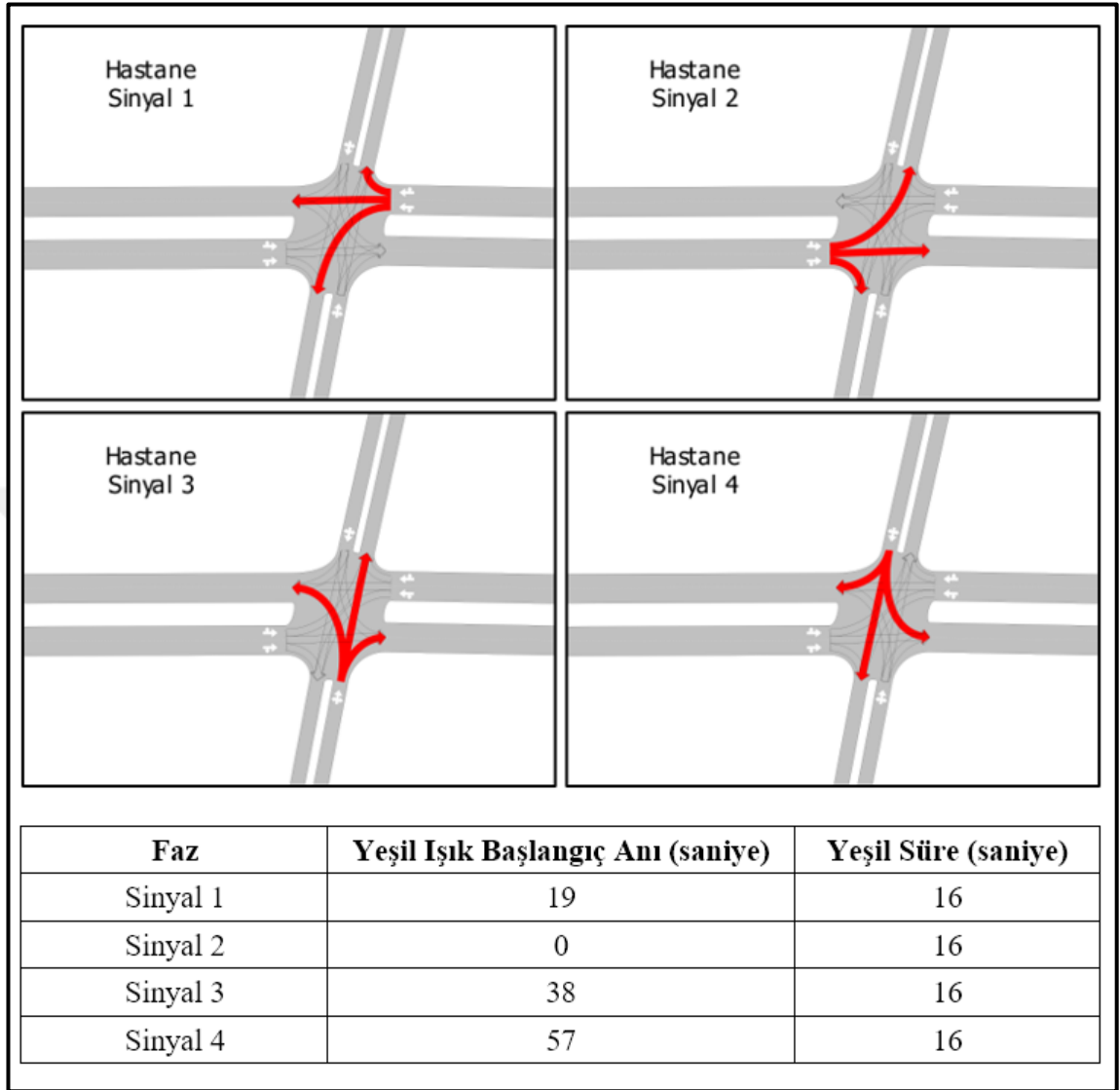
Şekil 4.6. Esentepe kavşağı mevcut durum faz süreleri

Şekil 4.6'da verilen Esentepe kavşağında periyot 54 saniye, kırmızı ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir.



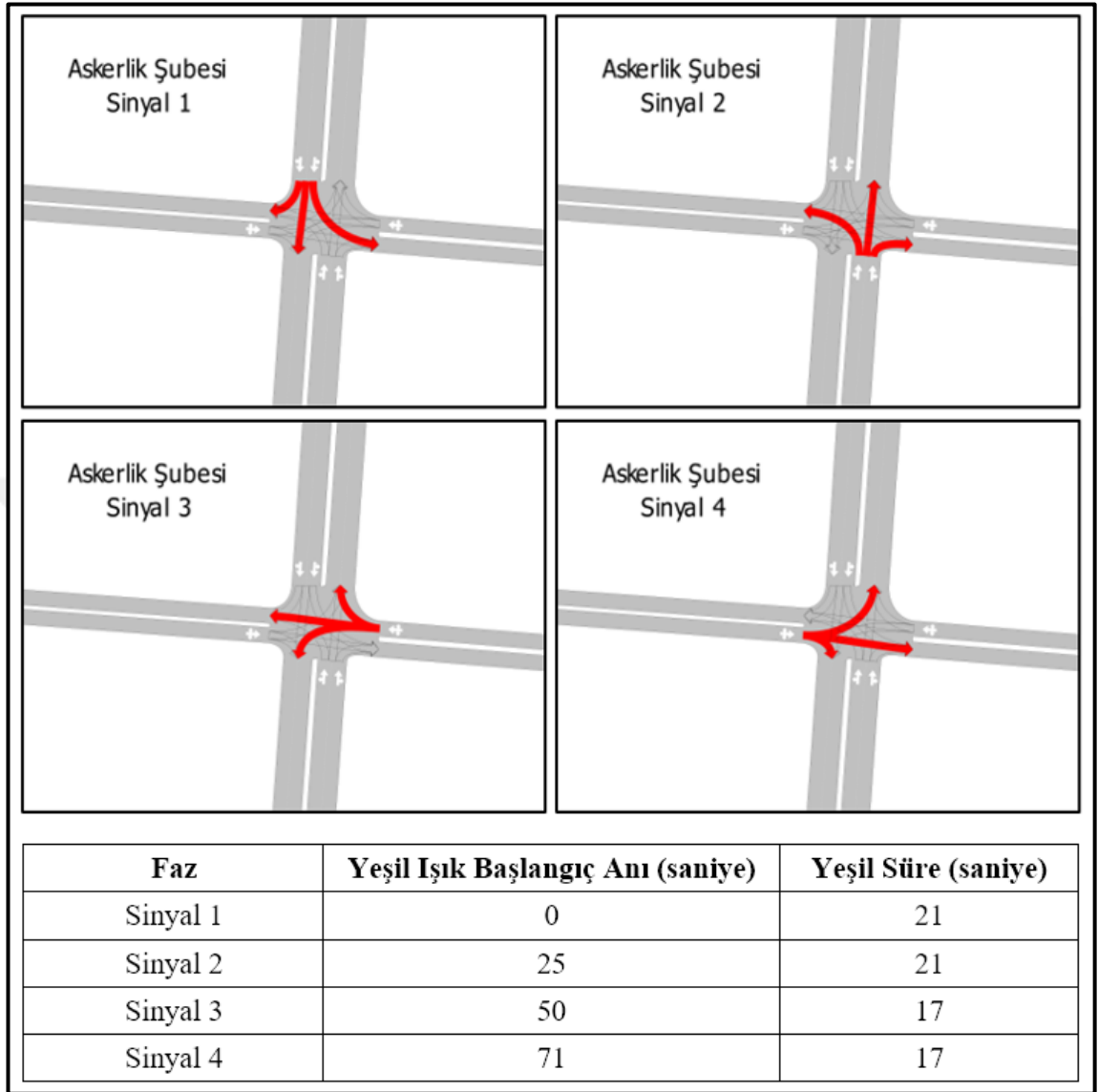
Şekil 4.7. Adnan Menderes kavşağı mevcut durum faz süreleri

Şekil 4.7’de verilen Adnan Menderes kavşağında periyot 52 saniye, kırmızı ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir.



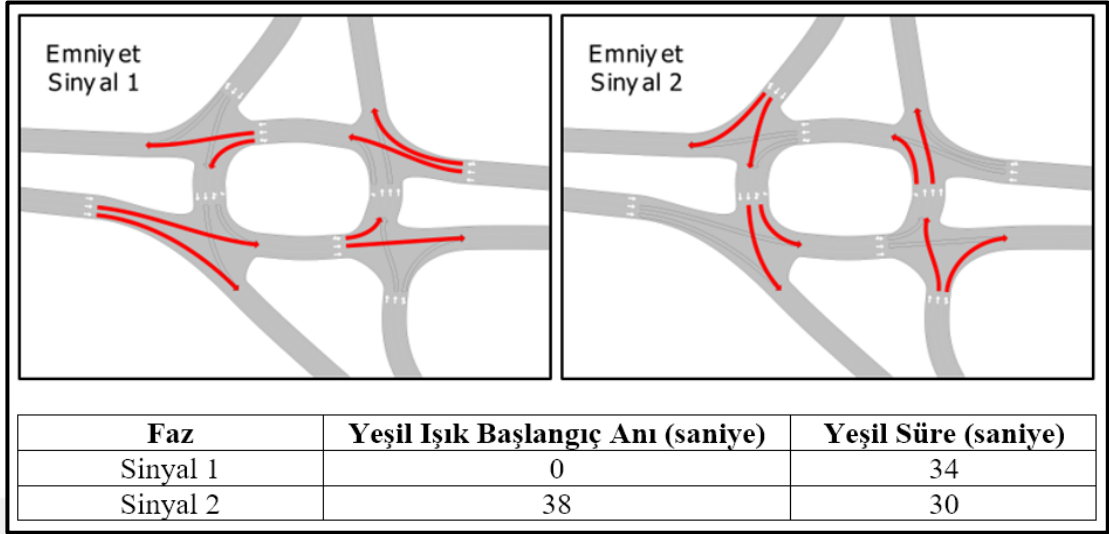
Şekil 4.8. Hastane kavşağı mevcut durum faz süreleri

Şekil 4.8’de verilen Hastane kavşağında periyot 76 saniye, kırmızı ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 1 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir.



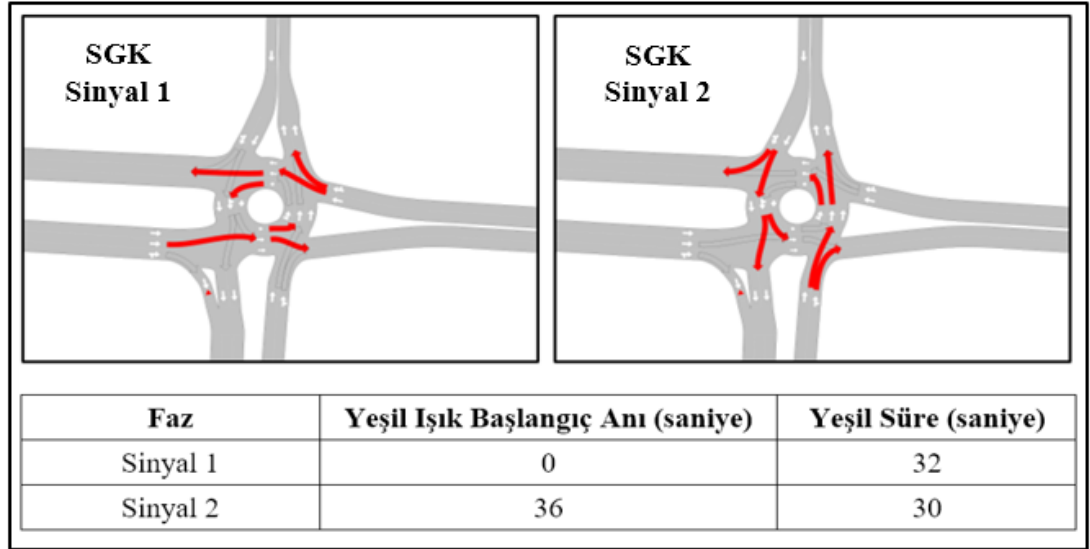
Şekil 4.9. Askerlik Şubesi kavşağı mevcut durum faz süreleri

Şekil 4.9’da verilen Askerlik Şubesi kavşağında periyot 52 saniye, kırmızı ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir.



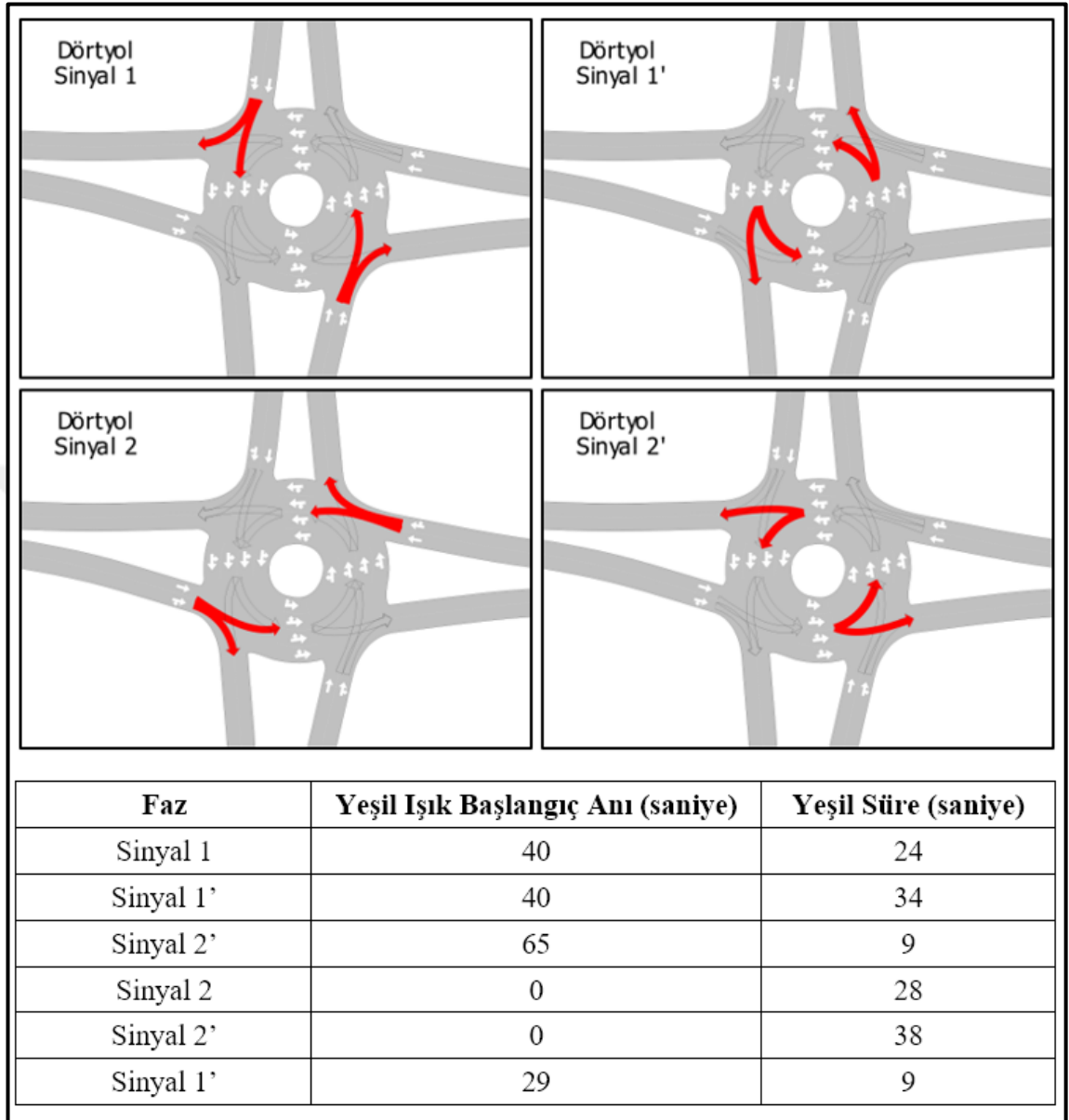
Şekil 4.10. Emniyet kavşağı mevcut durum faz süreleri

Şekil 4.10'da verilen Emniyet kavşağında periyot 72 saniye, kırmızı ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir.



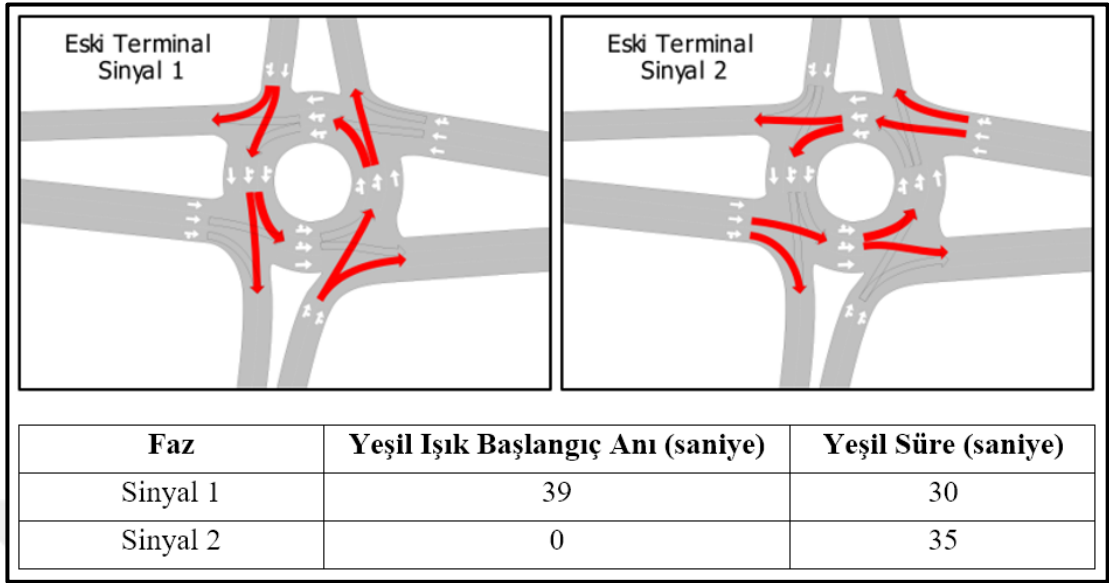
Şekil 4.11. SGK kavşağı mevcut durum faz süreleri

Şekil 4.11'de verilen SGK kavşağında periyot 70 saniye, kırmızı ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir.



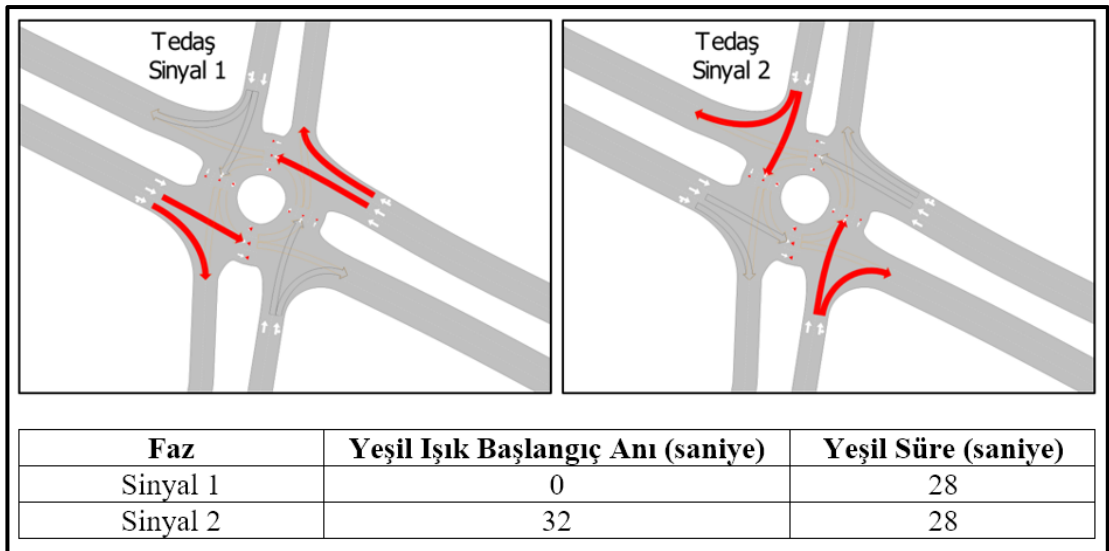
Şekil 4.12. Dört yol kavşağı mevcut durum faz süreleri

Şekil 4.12'de verilen Dört yol kavşağında periyot 76 saniye, kırmızı ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 1 saniye, koruma kırmızısı 1 saniyedir.



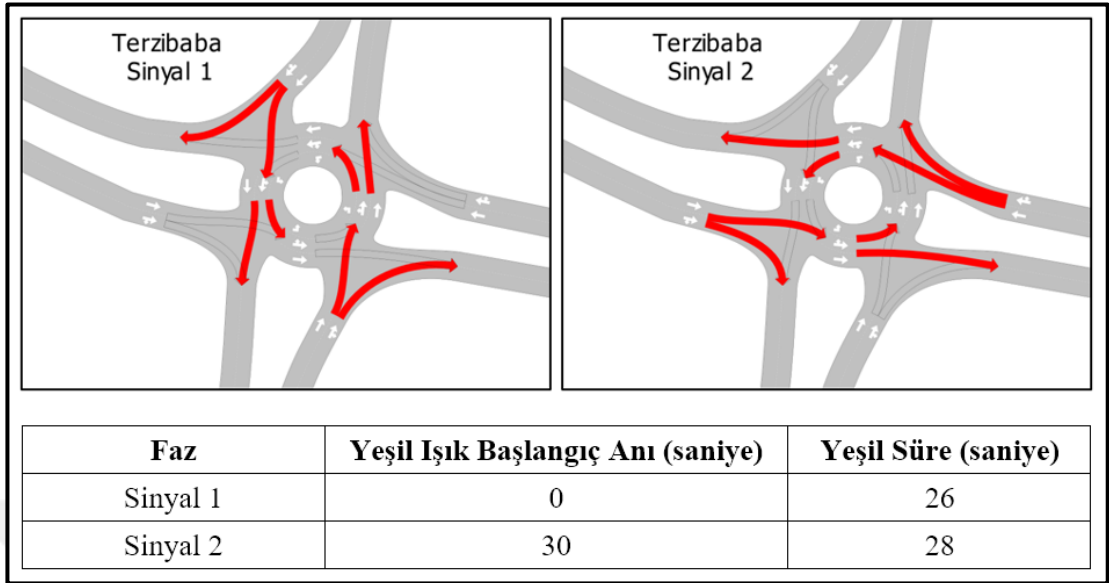
Şekil 4.13. Eski Terminal kavşağı mevcut durum faz süreleri

Şekil 4.13'te verilen Eski Terminal kavşağında periyot 73 saniye, kırmızı ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir.



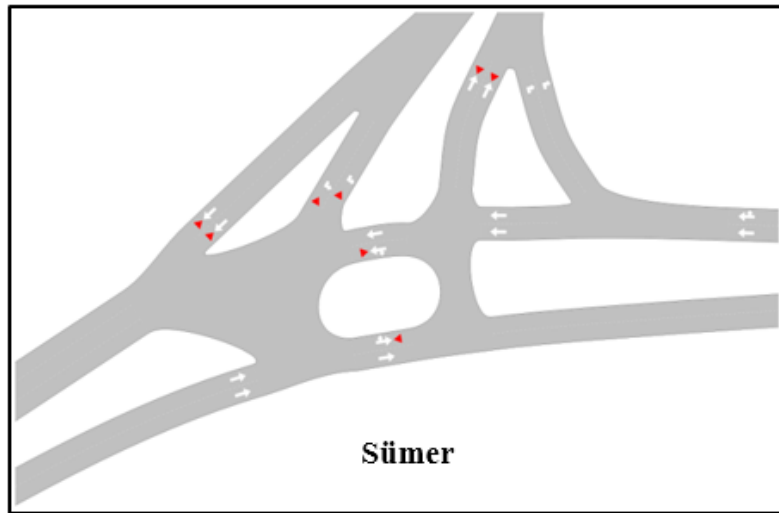
Şekil 4.14. Tedaş kavşağı mevcut durum faz süreleri

Şekil 4.14'te verilen Tedaş kavşağında periyot 64 saniye, kırmızı ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir.



Şekil 4.15. Terzibaba kavşağı mevcut durum faz süreleri

Şekil 4.15'te verilen Terzibaba kavşağında periyot 62 saniye, kırmızı ile yeşil ışık arasındaki sarı ışık süresi 2 saniye, koruma kırmızısı 2 saniyedir.



Şekil 4.16. Sümer kavşağı "yolver" tanzim işaretleri

Şekil 4.16'da verilen Sümer kavşağında Mevcut durumda sinyalizasyon bulunmamaktadır. Trafik tanzim işaretleri ile trafik kontrol edilmektedir.

4.2.2. Trafik sayımları

Erzincan kent merkezinde trafik kompozisyonunu arabalar ve otobüsler oluşturmaktadır. Trafik sayımı yapılacak kavşaklardan bir kısmına gözlemci yerleştirilmiş diğer bir kısmına ise kamera yerleştirilmiştir. Trafik sayımları; araçların girdiği ve çıktığı kollar dikkate alınarak araç cinsine göre yapılmıştır. Pazartesi, çarşamba, cuma ve pazar günü; sabah, öğle, akşam saatlerinde yapılan sayımlar sonucu en yoğun trafiğin pazartesi günleri sabah 07:45 ile 08:45 arasında olduğu belirlenmiştir. Çalışmada trafik hacmi en yüksek olan pazartesi günü sabah sayımları kullanılmıştır. Bahçesaray, Işıkpınar, Eski Mit ve Esentepe, Hastane, Adnan Menderes, Askerlik Şubesi, Emniyet kavşağı, SGK, Dört Yol, Eski Terminal, Tedaş, Terzibaba ve Sümer kavşağı sayımlarının çizelgeleri Ekler bölümünde verilmiştir. Çizelgelerde kavşak kollarının doğrultuları Doğu-Batı, Batı-Doğu, Kuzey-Güney, Güney-Kuzey olarak verilmiştir. Kavşağa giren araçların hareket yönleri; Sol, Sağ, Düz ve U dönüşü olarak gösterilmiştir.

Örneğin EK 1'e bakılacak olursa Bahçesaray kavşağında Doğu-Batı yönünden gelip (1 numaralı yol olarak da gösterilmiştir) düz giden (4 Numaralı yola) 99 otomobil ve 6 otobüs, sola dönen (6 numaralı yola) 125 otomobil, U dönüşü yapan (8 numaralı yola) 50 otomobil ve 2 otobüs, sağa dönen (2 numaralı yola) 16 otomobil olduğu görülmektedir. Batı-Doğu yönünden ayrı gelip düz giden 230 otomobil ve 6 otobüs, sola dönen 7 otomobil ve 2 otobüs, sağa dönen 14 otomobil olduğu görülmektedir. Kuzey-Güney yönünden gelip sola dönen 14 otomobil 6 otobüs, düz giden 122 otomobil, sağa dönen 155 otomobil olduğu görülmektedir. Güney-Kuzey yönünden gelip, sola dönen 8 otomobil, düz giden 88 otomobil, sağa dönen 125 otomobil olduğu görülmektedir. Ekler bölümünde verilen diğer çizelgelerde örnekte verildiği format ile aynı olduğu için benzer şekilde yorumlanabilirler.

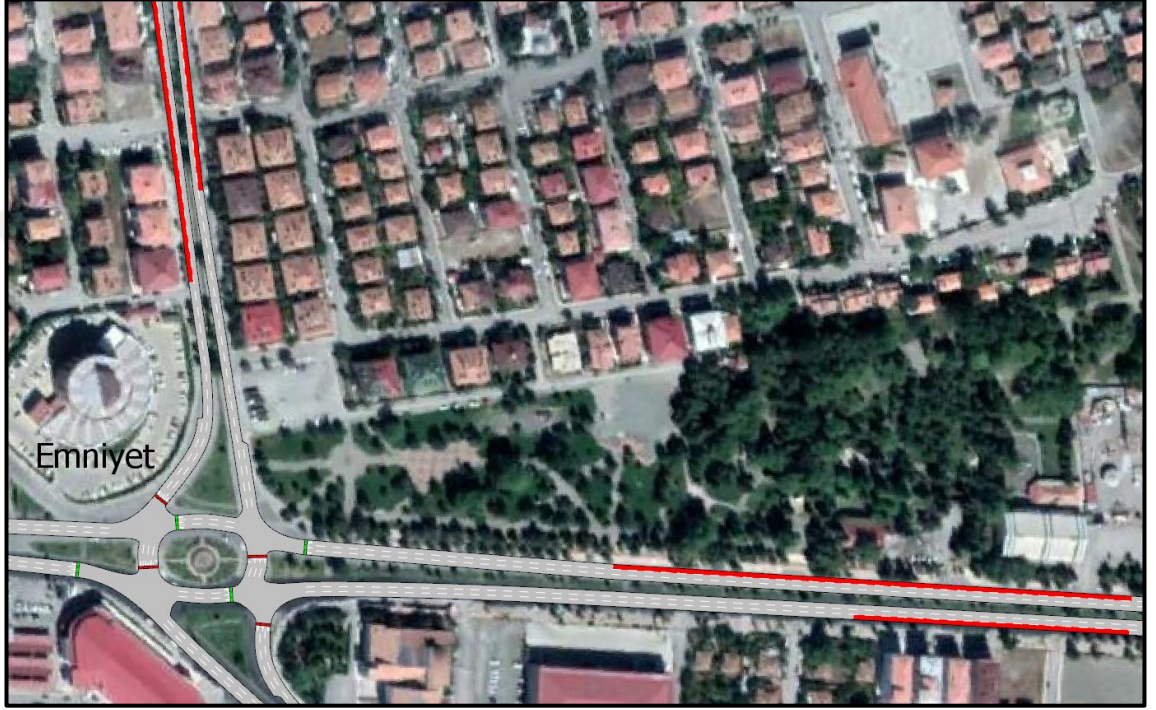
4.2.3. Parklanma durumları ve hız limitleri

Erzincan kent merkezindeki 50 km/sa, 60 km/sa ve 70 km/sa olmak üzere farklı hız limitleri uygulanmaktadır. Trafik ağında uygulanan hız limitleri Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Trafik ağındaki yol bölümlerinin hız limitleri

Şehrin pek çok arterinde parklanmaya müsaade edildiğinden dolayı bazı caddelerde şerit kullanımını düşmektedir. Örnek olarak Şekil 4.18’de emniyet kavşağına bağlanan arterlerdeki şeritlerin parklanmadan dolayı kullanılmayan bölümleri kırmızı renk ile işaretlenmiştir.



Şekil 4.18. Emniyet kavşağındaki parklanma yapılan şerit bölümleri

Yapılacak olan simülasyon modellemesinde trafik ağındaki arterlerin hız limitleri ve parklanma durumları dikkate alınarak mevcut durum olduğu gibi yansıtılacaktır.

Kavşaklarda çeşitli düzenlemeler yapılarak 4 adet senaryo ile mevcut durumu gösteren bir senaryo uygulanacaktır. Uygulanacak senaryolar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Oluşturulacak senaryolar

Kavşaklar	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5
Bahçesaray	Mevcut	Mevcut	Modern	Modern	Mevcut
	Durum	Durum	Dönel Kavşak	Dönel Kavşak	Durum
Işıkpınar	Mevcut	Mevcut	Modern	Modern	Mevcut
	Durum	Durum	Dönel Kavşak	Dönel Kavşak	Durum
Eski Mit	Mevcut	Webster	Mevcut	Webster	Mevcut
	Durum	Yöntemi	Durum	Yöntemi	Durum
Hastane	Mevcut	Mevcut	Mevcut	Işıklı Dönel	Mevcut
	Durum	Durum	Durum	Kavşak	Durum
Adnan	Mevcut	Mevcut	Mevcut	Mevcut	Mevcut
Menderes	Durum	Durum	Durum	Durum	Durum
Askerlik Şubesi	Mevcut	Webster	Mevcut	Webster	Mevcut
	Durum	Yöntemi	Durum	Yöntemi	Durum
Emniyet	Mevcut	Webster	Modern	Modern	Farklı Düzey
	Durum	Yöntemi	Dönel Kavşak	Dönel Kavşak	Kavşak
SGK	Mevcut	Webster	Mevcut	Webster	Farklı Düzey
	Durum	Yöntemi	Durum	Yöntemi	Kavşak
Dört Yol	Mevcut	Mevcut	Modern	Modern	Farklı Düzey
	Durum	Durum	Dönel Kavşak	Dönel Kavşak	Kavşak
Eski Terminal	Mevcut	Mevcut	Modern	Modern	Farklı Düzey
Tedaş	Durum	Durum	Dönel Kavşak	Dönel Kavşak	Kavşak
	Mevcut	Webster	Modern	Modern	Mevcut
Terzibaba	Durum	Yöntemi	Dönel Kavşak	Dönel Kavşak	Durum
	Mevcut	Webster	Mevcut	Webster	Mevcut
Sümer	Durum	Yöntemi	Durum	Yöntemi	Durum
	Mevcut	Mevcut	Mevcut	Mevcut	Mevcut
	Durum	Durum	Durum	Durum	Durum

4.3. Simülasyon Modellenmesi

AIMSUN mezoskopik simülasyon programı kullanılarak çeşitli senaryolar modellenecektir. Simülasyon sonucunda elde edilen veriler ile senaryolar karşılaştırılacaktır. Senaryoların karşılaştırılması ve değerlendirilmesinde kullanılmak üzere belirlenen kriterler aşağıda verilmiştir. Kriterlerin tanımları AIMSUN programında, mezoskopik simülasyon ağ sonuçları için kullanılan şekliyle verilmiştir.

- Kriter 1 gecikme süresi: Programda gecikme süresi kilometre başına düşen araçların ortalama gecikme süresidir. Tüm araçların gecikme sürelerinin ortalaması hesaplanır ve daha sonra kilometre başına zamana dönüştürülür. Birimi saniye/kilometredir.
- Kriter 2 seyahat süresi: Programda simülasyonun başından sonuna kadar tüm araçların toplam seyahat süresinin toplam kat edilen yola oranıdır ve saniye/km cinsinden ifade edilir.
- Kriter 3 ortalama kuyruk uzunluğu: Programda simülasyon boyunca trafik ağının tamamında oluşan ortalama kuyruk uzunluğudur, araç cinsinden ifade edilir.
- Kriter 4 NO_x emisyonu: Nitrojen Oksit emisyonu programda trafik ağını terk eden tüm araçların kilometrede salınım yaptığı NO_x miktarıdır ve gram/kilometre olarak ifade edilir.
- Kriter 5 CO₂ emisyonu: Karbon Monoksit emisyonu programda trafik ağını terk eden tüm araçların kilometrede salınım yaptığı CO₂ miktarıdır ve gram/kilometre olarak ifade edilir.
- Kriter 6 hız: AIMSUN Programında trafik ağını terk eden tüm araçların ortalama hızıdır ve kilometre/saat olarak ifade edilir.
- Kriter 7 yapım maliyeti: Kavşaklarda oluşturulacak düzenlemelerin faydaları kadar maliyeti de önemlidir. Bu sebeple düzenlemeler yapılırken fayda/maliyet oranı da göz önünde bulundurulması gerektiğinden yapım maliyeti kriter olarak eklenmiştir.

4.3.1. Mevcut durum simülasyon modellenmesi

Trafik ağının bilgisayar ortamında birebir oluşturulabilmesi için Google Earth programı kullanılarak Erzincan kent merkezinin görüntüsü alınmış ve altlık olarak kullanılmıştır. Bu altlık üzerinde yol bölümleri ve kavşaklar programa aslına uygun olarak eklenmiştir. Oluşturulan trafik ağındaki kavşakların model görüntüleri Şekil 4.19’da verilmiştir.

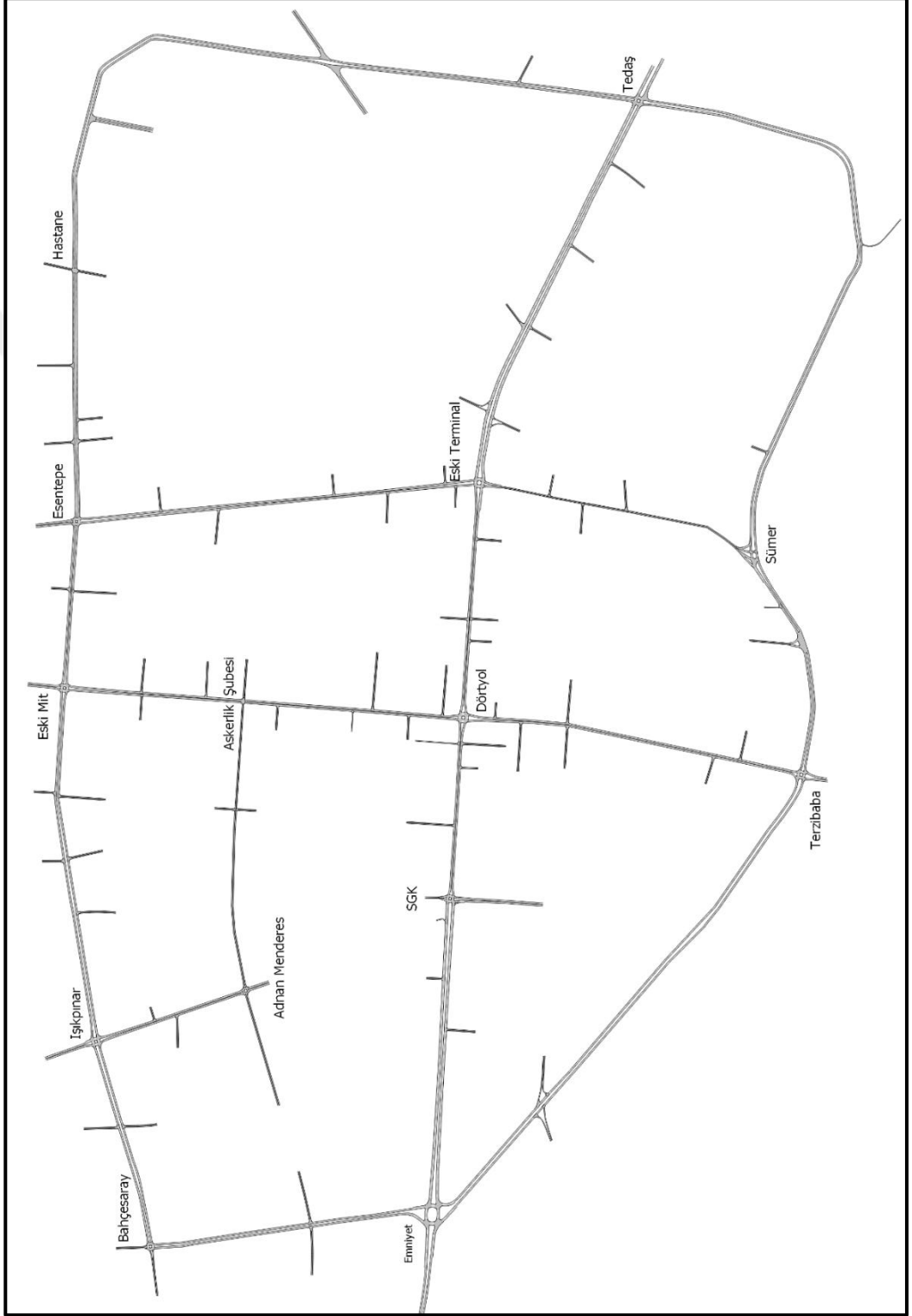


Şekil 4.19. Programda oluşturulan kavşakların model görüntüleri



Şekil 4.19. Programda oluşturulan kavşakların model görünüşleri (devam)

Oluşturulan trafik ağı modeli net bir şekilde görülebilmesi amacıyla altlıksız bir biçimde Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Oluşturulan trafik ağı modeli

Programda eklenen yol bölümleri arazi üzerinde de ölçülmüş ve doğrulukları teyit edilmiştir. Ardından trafik sayımlarında elde edilen veriler araç cinslerine göre programa tanımlanmış ve sinyalizasyona sahip kavşaklarda güncel trafik fazları oluşturulmuştur. Otomobil hacimleri; dönüş hacimlerine (sağa dönüş, sola dönüş, düz geçiş ve U dönüşü hacimlerine) ve dönüş oranlarına göre yol bölümlerine Şekil 4.21’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

Traffic State: 25581, Name: 07:45 araba (c33df761-b8eb-4556-ad0f-328d2ac3ebf0) ? X

Main Parameters

Name: 07:45 araba External ID:

Vehicle Type: Trip Purpose:

Headers: Initial Time: Duration:

Input Flow Turn Info

Highlight Incorrect Definitions

Show All Sections

Turn Sections	Turn Percentage	Turn Flow (veh/h)
23162 to 25366	14.4105	99
23162 to 23262	85.5895	588
23163 to 23443	92.2581	143
23163 to 23166	7.74194	12
23165 to 24973	77.7202	300
23165 to 23744	17.3575	67
23165 to 25248	4.92228	19
23167 to 23439	80	144
23167 to 25033	20	36
23168 to 23691	64.69	240
23168 to 23685	35.31	131

Help

Şekil 4.21. Otomobil hacimlerinin tanımlanması

Otobüs hacimleri de dönüş hacimlerine ve oranlarına göre Şekil 4.22’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

Traffic State: 26196, Name: 07:45 otobüs - copy (998251f8-6365-46bd-ac2e-0f26c3ec0d92)

Main Parameters

Name: 07:45 otobüs External ID:

Vehicle Type: Bus Trip Purpose: None

Headers: Name Initial Time: 07:45:00 Duration: 01:00:00

Input Flow Turn Info

Highlight Incorrect Definitions Show All Sections

Copy Paste Use Input Turns

Calculate Turn Percentages Using Turn Flows

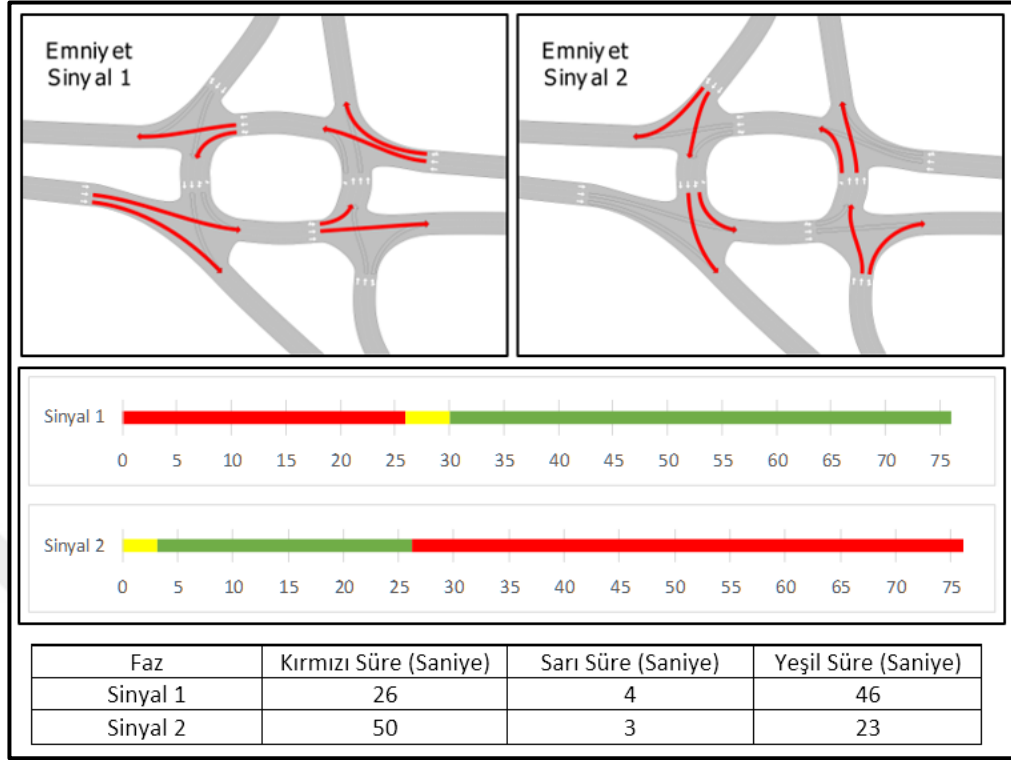
Turn Sections	Turn Percentage	Turn Flow (veh/h)
23531 to 24012	0	0
23532 to 24914	40	16
23532 to 23865	60	24
23533 to 24215	1.23457	1
23533 to 23588	98.7654	80
23534 to 24851	0	0
23534 to 23864	100	66
23536 to 23539	30.6818	27
23536 to 23570	69.3182	61
23538 to 24346	8	2
23538 to 23571	92	23

Help OK Cancel

Şekil 4.22. Otobüs hacimlerinin tanımlanması

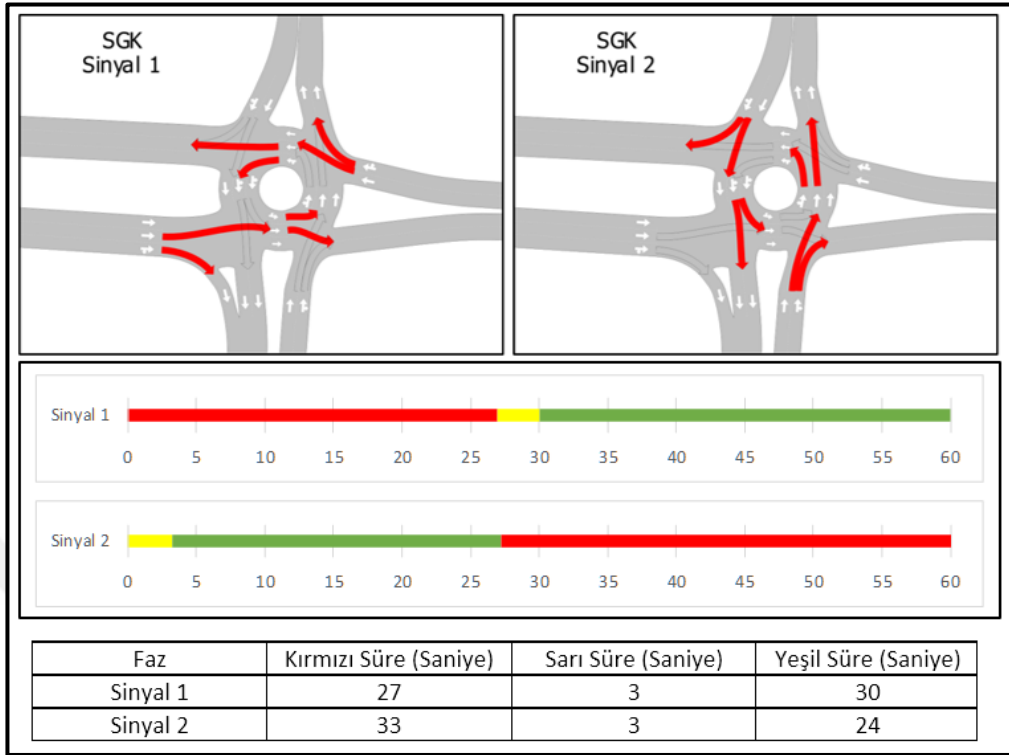
4.3.2. Webster yöntemi uygulamaları

Webster yöntemi ile sinyal optimizasyonu, sinyalizasyona sahip her kavşağa ayrı ayrı yapılmış ve aralarında en başarılı olanlar bu çalışmada kullanılacaktır. Bu kavşaklar; Emniyet, SGK, Tedaş, Askerlik Şubesi, Terzibaba ve Eski Mit kavşağıdır. Bu kavşaklara ait Webster yöntemi ile oluşturulan yeni fazlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Şekillerde faz süreli ve fazlardaki geçiş hakları detaylı bir biçimde gösterilmiştir.

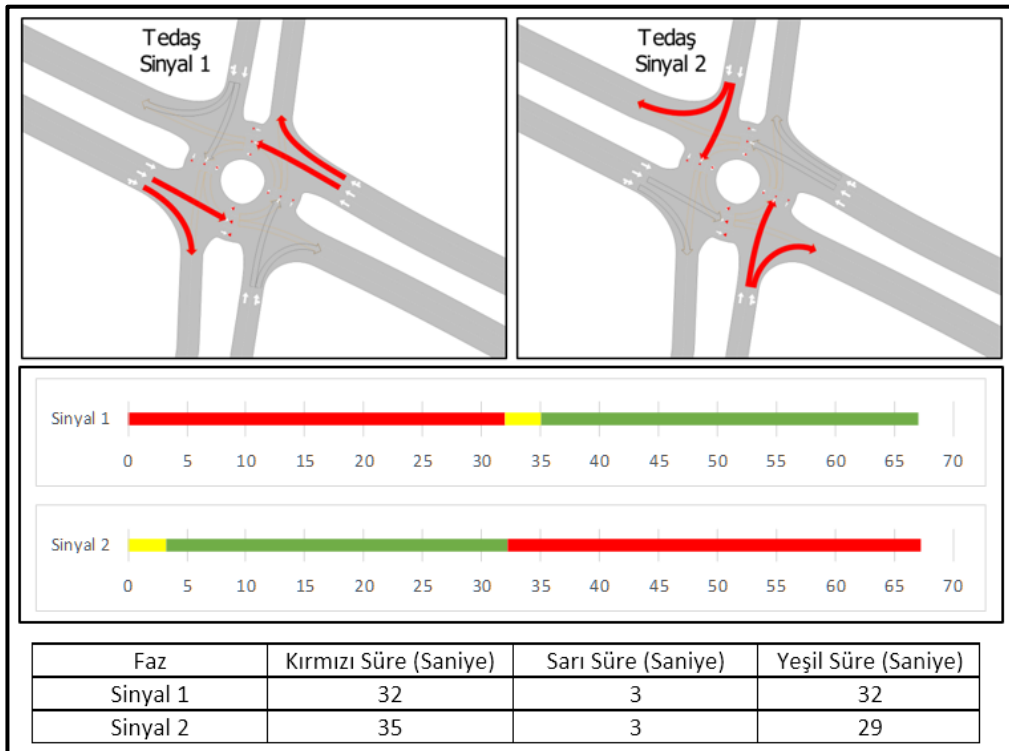


Şekil 4.23. Emniyet kavşağı Webster yöntemi ile oluşturulan fazlar

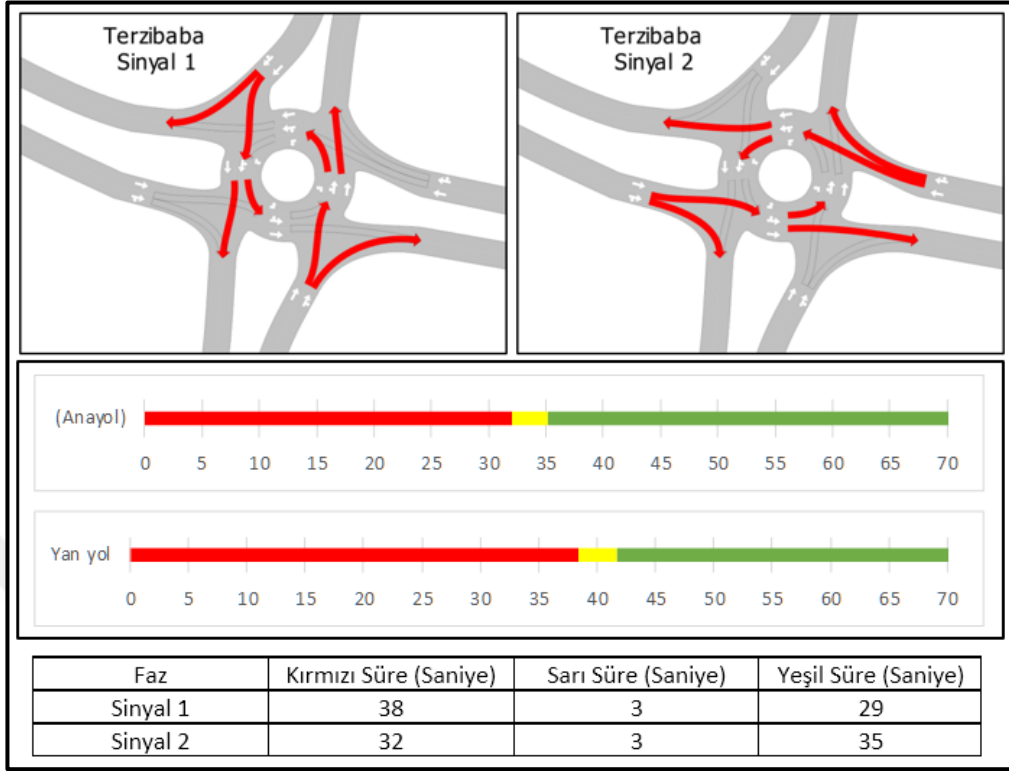
Şekil 4.23'te Emniyet kavşağının Webster yöntemi ile oluşturulan yeni fazları gösterilmiştir. Şeklin üst bölümünde Sinyal 1 ve Sinyal 2 fazında müsaade edilen geçişler gösterilmektedir. Orta bölümünde Sinyal 1 ve Sinyal 2 faz diyağramları, alt bölümde ise fazlardaki ışık süreleri verilmiştir. Şekle göre; Sinyal 1'de 26 saniye kırmızı ışık süresi, 4 saniye sarı ışık süresi ve 46 saniye yeşil ışık süresi vardır. Sinyal 2'de ise 50 saniye kırmızı ışık süresi, 3 saniye sarı ışık süresi ve 23 saniye yeşil ışık süresi vardır. Şekil 4.24'te SGK kavşağı, Şekil 4.25'te Tedaş kavşağı, Şekil 4.26'da Terzibaba kavşağı, Şekil 4.27'de Eski Mit kavşağı ve Şekil 4.28'de Askerlik Şubesi kavşağı için Webster yöntemi ile oluşturulan fazlar verilmiştir. Diğer kavşak fazlarının verildiği şekillerde aynı format ile hazırlandığından benzer şekilde yorumlanabilirler.



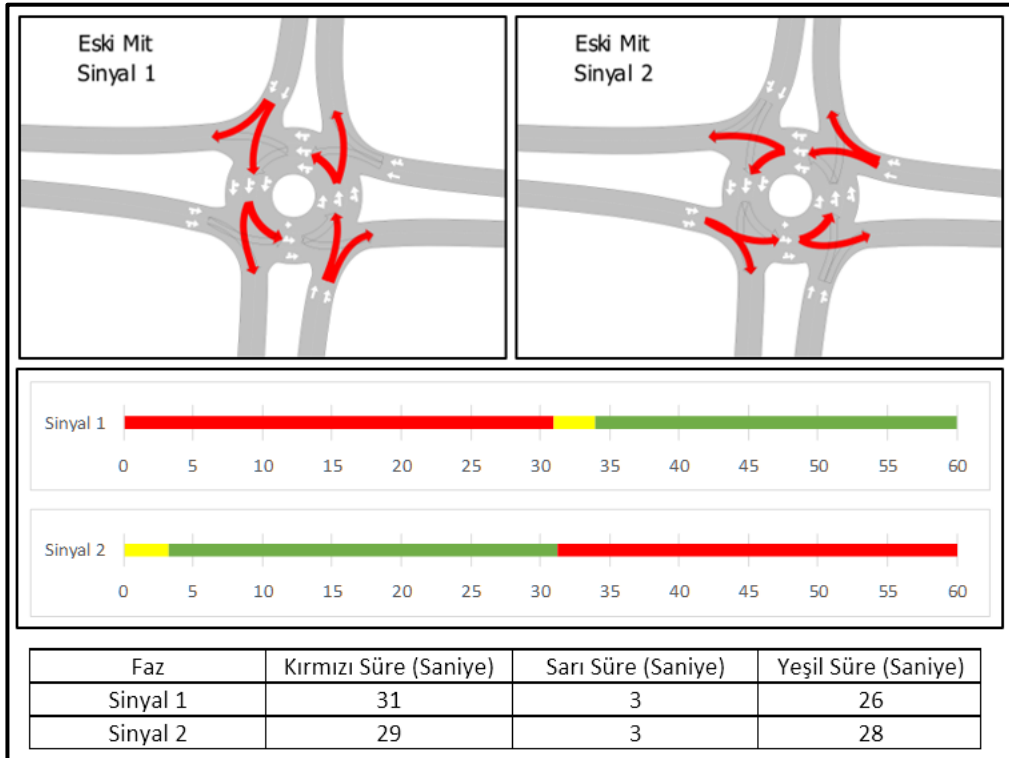
Şekil 4.24. SGK kavşağı Webster yöntemi ile oluşturulan fazlar



Şekil 4.25. Tedaş kavşağı Webster yöntemi ile oluşturulan fazlar



Şekil 4.26. Terzibaba kavşağı Webster yöntemi ile oluşturulan fazlar



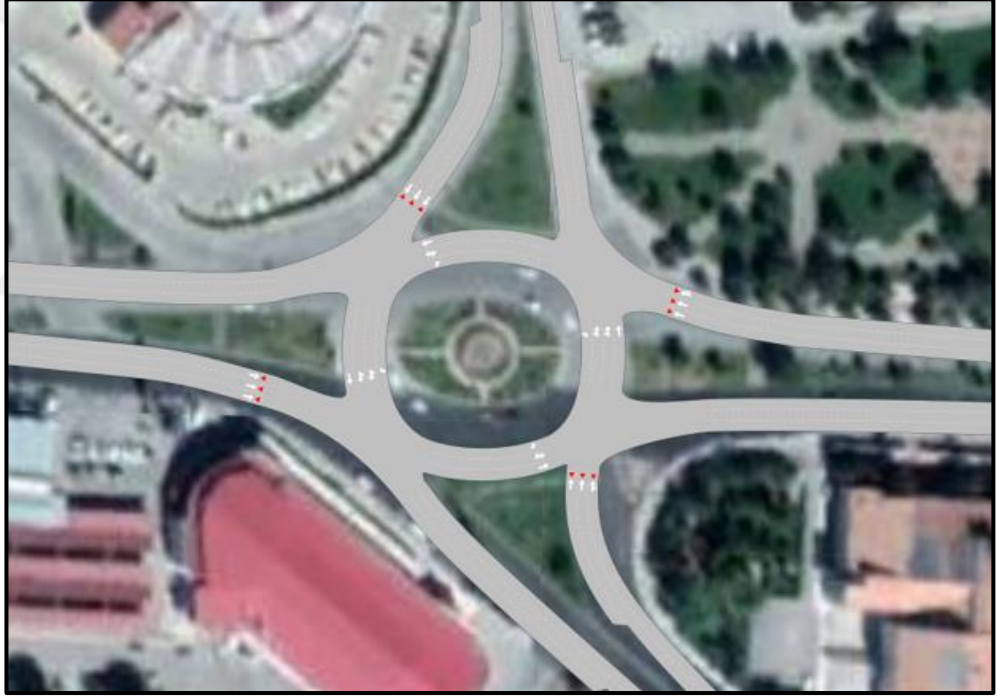
Şekil 4.27. Eski Mit kavşağı Webster yöntemi ile oluşturulan fazlar



Şekil 4.28. Askerlik Şubesi kavşağı Webster yöntemi ile oluşturulan fazlar

4.3.3. Modern dönel kavşak uygulamaları

Mevcut trafik ağında gerekli geometrik şartları sağlayan ve trafik yoğunluğu fazla olan kavşaklar modern dönel kavşak olarak modellenmiştir. Modern dönel kavşağa çevrilen kavşaklar; Emniyet, Dörtüyl, Bahçesaray, Işıkpınar, Eski Terminal ve Tedaş kavşağıdır. Oluşturulan modern kavşaklar aşağıdaki şekillerde ayrı ayrı verilmiştir ve hepsinde oluşturulabilecek maksimum yarı çap kullanılmıştır. Emniyet kavşağında 50 m, Dörtüyl, Bahçesaray ve Işıkpınar kavşağında 20 m, Eski Terminal ve Tedaş kavşağında ise 26 m yarı çapta dönel kavşak modellenmiştir.

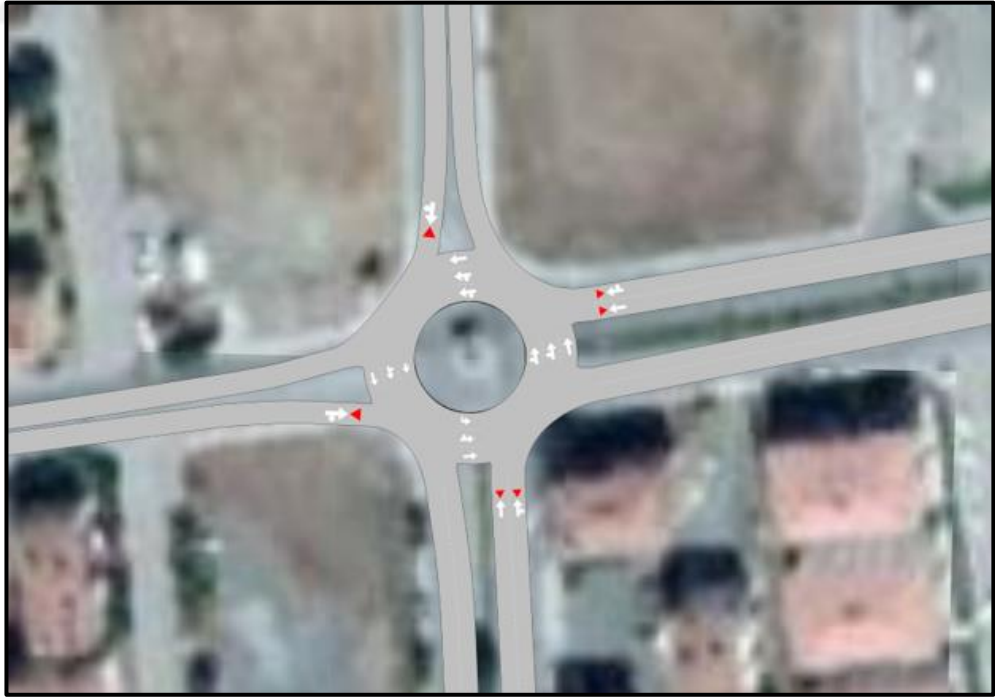


Şekil 4.29. Emniyet kavşağı modern dönel kavşak uygulaması

Şekil 4.29’da Emniyet kavşağının modern dönel kavşak uygulanmış modeli gösterilmektedir. Kavşak içindeki akıma öncelik atanmış ve kavşağa giren kollara “yolver” tanzim işareti eklenmiştir. Şekil 4.30’da Dörtüyl, Şekil 4.31’de Bahçesaray, Şekil 4.32’de Işıkpınar, Şekil 4.33’te Tedaş ve Şekil 4.34’te Eski Terminal kavşaklarının modern dönel kavşak tasarımları verilmiştir. Diğer modern dönel kavşak şekilleri de bu şekilde yapıldığı gibi yorumlanabilir.



Şekil 4.30. Dört yol kavşağı modern dönel kavşak uygulaması



Şekil 4.31. Bahçesaray kavşağı modern dönel kavşak uygulaması



Şekil 4.32. Işıkpınar kavşağı modern dönel kavşak uygulaması



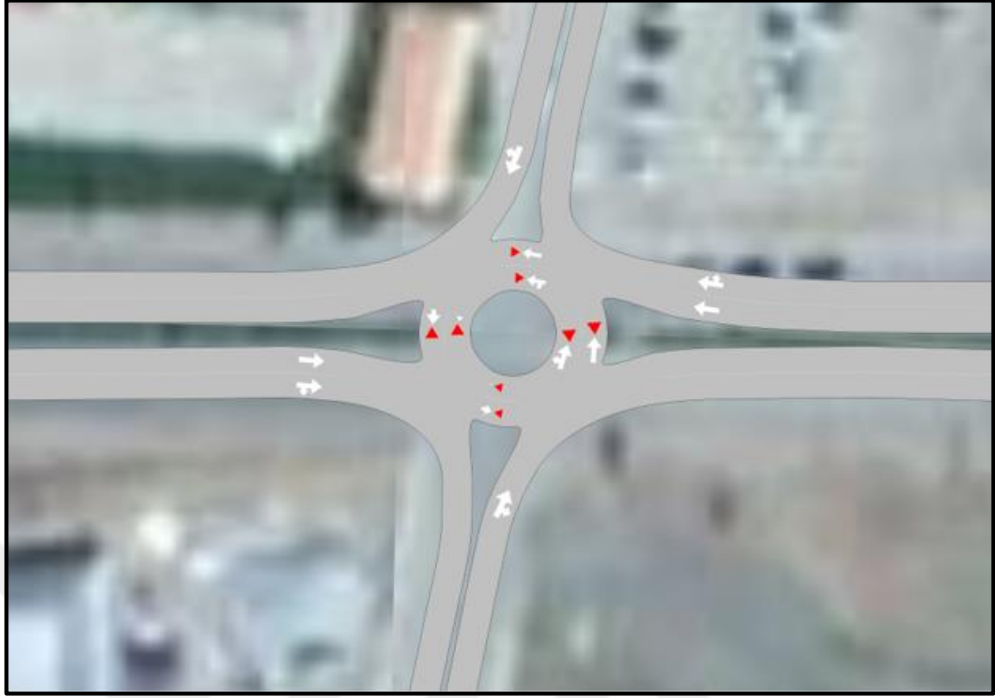
Şekil 4.33. Tedaş kavşağı modern dönel kavşak uygulaması



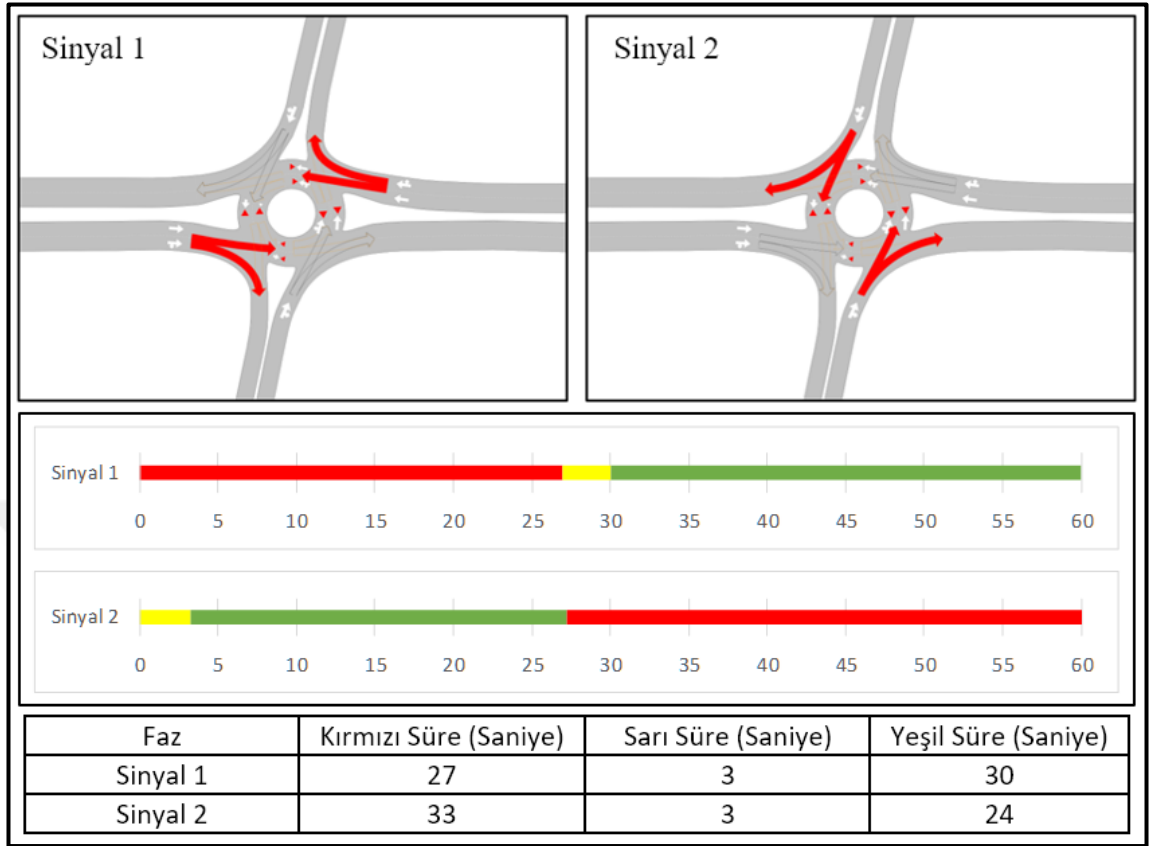
Şekil 4.34. Eski Terminal kavşağı modern dönel kavşak uygulaması

4.3.4. Işıklı dönel kavşak uygulaması

Mevcutta dört kollu kavşak olan ve dört fazlı sinyalizasyona sahip Hastane kavşağına ışıklı dönel kavşak uygulaması yapılmıştır. Webster yöntemi kullanılarak 2 fazlı yeni bir sinyalizasyon oluşturulmuştur. Tasarlanan dönel ada içerisinde sinyalizasyon bulunmamaktadır ve “yolver” trafik tanzim işareti bulunmaktadır. Şekil 4.35’de oluşturulan dönel ada ve trafik tanzim işaretleri gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Hastane kavşağı ışıklı dönel kavşak uygulaması

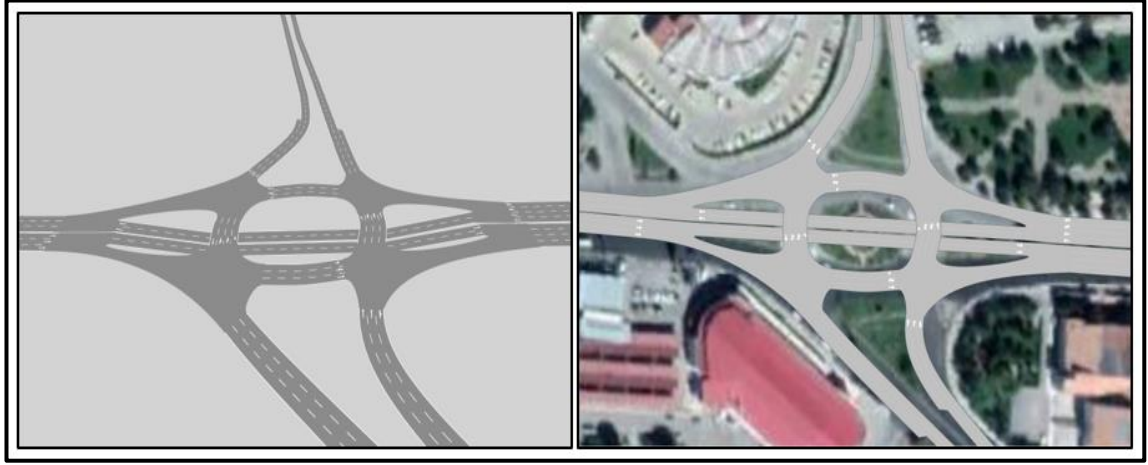


Şekil 4.36. Hastane ışıklı dönel kavşak faz süreleri

Şekil 4.36’de gösterildiği üzere Sinyal 1’de karşılıklı iki kol aynı fazda ve Sinyal 2’de karşılıklı diğer iki kolda aynı fazda çalışmaktadır. Trafik ışıkları kırmızı okların başlangıcında bulunmaktadır. Kırmızı oklar ise müsaade edilen geçişleri göstermektedir. Sinyal 1’de 27 saniye kırmızı ışık süresi, 3 saniye sarı ışık süresi ve 30 saniye yeşil ışık süresi vardır. Sinyal 2’de ise 33 saniye kırmızı ışık süresi, 3 saniye sarı ışık süresi ve 24 saniye yeşil ışık süresi vardır.

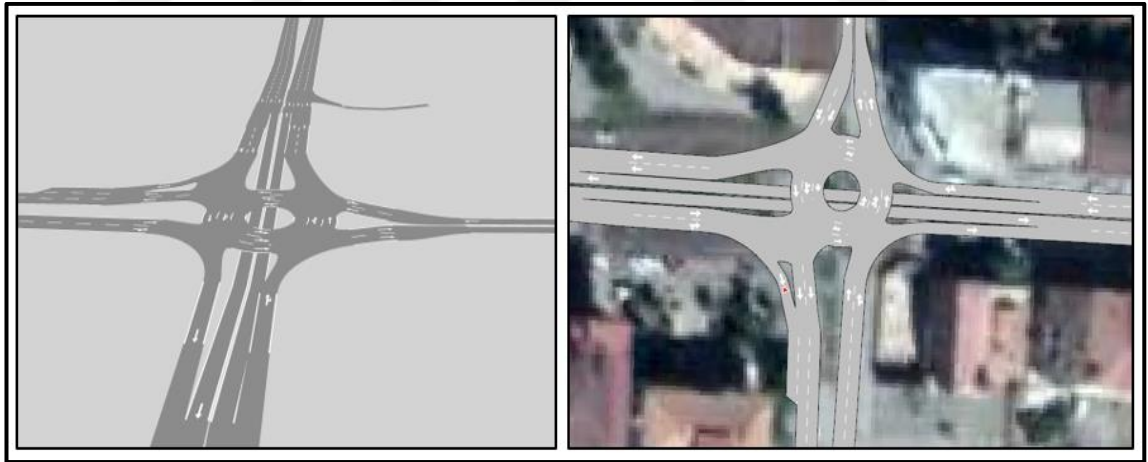
4.3.5. Altgeçit uygulaması

Trafiğin en yoğun olduğu Emniyet, SGK, Dört Yol ve Eski Terminal kavşağında trafik hacminin en fazla olduğu doğu–batı yönünde altgeçit uygulaması yapılmıştır. Oluşturulan kavşak modelleri aşağıdaki şekiller ile gösterilmiştir.



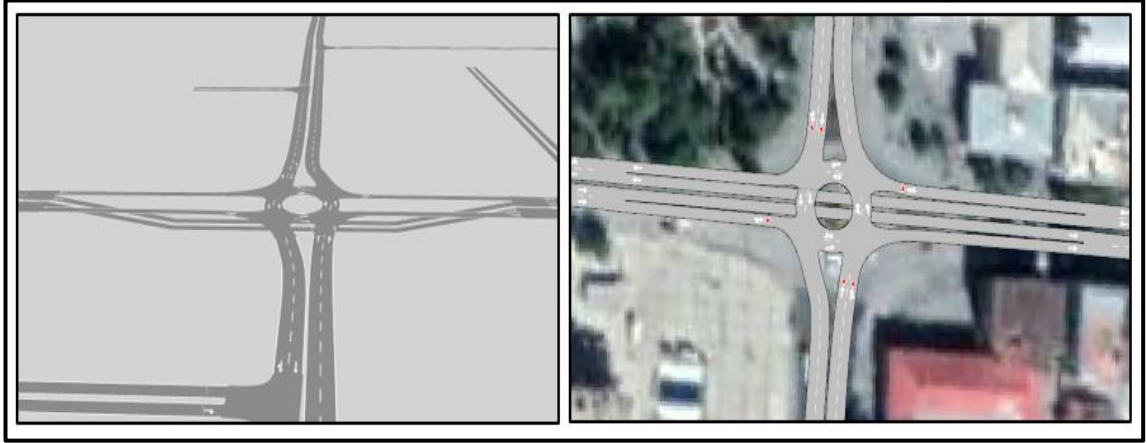
Şekil 4.37. Emniyet kavşağı altgeçit uygulaması

Şekil 4.37’de Emniyet kavşağının sol kısımda 3 boyutlu, sağ kısımda ise üstten görünümü verilmiştir. Emniyet kavşağında mevcut geometri müsaade ettiği için 2’şer şeritli alt geçit tasarlanmıştır.



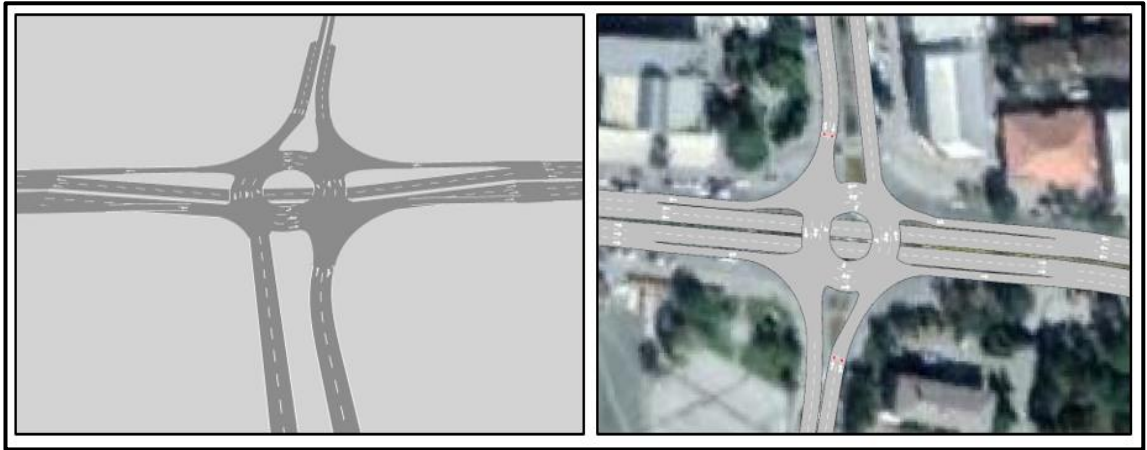
Şekil 4.38. SGK kavşağı altgeçit uygulaması

Şekil 4.38’de SGK kavşağının sol kısımda 3 boyutlu, sağ kısımda ise üstten görünümü verilmiştir. SGK kavşağında mevcut geometriye göre tek şeritli altgeçit tasarlanmıştır.



Şekil 4.39. Dört yol kavşağı altgeçit uygulaması

Şekil 4.39’de Dört yol kavşağının sol kısmında 3 boyutlu, sağ kısmında ise üstten görünümü verilmiştir. Dört yol kavşağında mevcut geometriye göre tek şeritli altgeçit tasarlanmıştır.



Şekil 4.40. Eski Terminal kavşağı altgeçit uygulaması

Şekil 4.40’de Eski Terminal kavşağının sol kısmında 3 boyutlu, sağ kısmında ise üstten görünümü verilmiştir. Eski Terminal kavşağında mevcut geometriye göre 2’şer şeritli altgeçit tasarlanmıştır.

Çizelge 4.2. (devam)

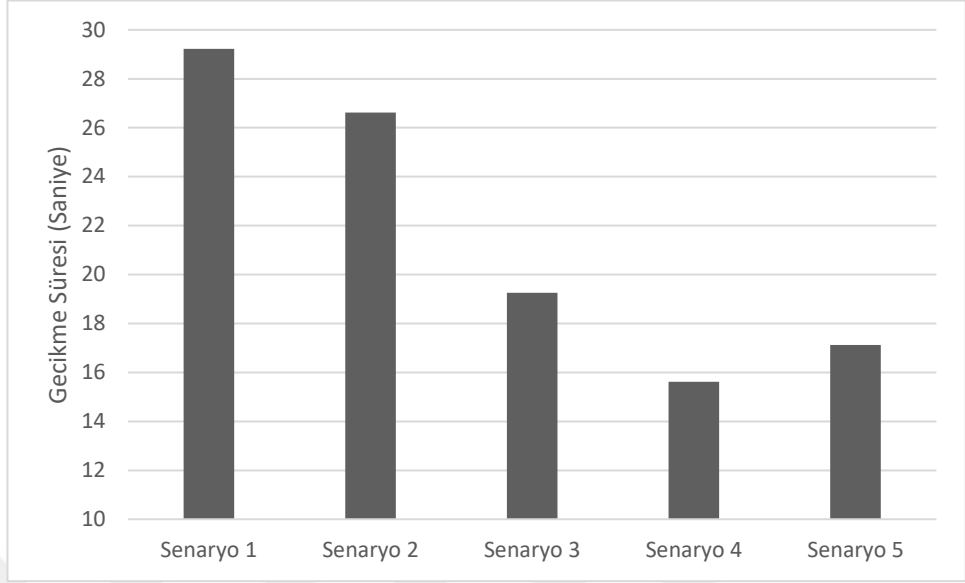
Terzibaba Kavşağı									
GEH	BATI-DOĞU		DOĞU-BATI		KUZEY-GÜNEY		GÜNEY-KUZEY		TOPLAM
	Araba	Otobüs	Araba	Otobüs	Araba	Otobüs	Araba	Otobüs	
Gözlenen Değerler	556	18	398	0	194	12	225	12	1415
Simülasyon Değerleri	529	20	357	0	170	14	187	15	1292
GEH Değeri	1.64	0.65	2.98	0.00	2.52	0.78	3.74	1.15	4.73
Kriter GEH<5	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET

Sümer Kavşağı								
GEH	BATI-DOĞU		DOĞU-BATI		KUZEY-GÜNEY		TOPLAM	
	Araba	Otobüs	Araba	Otobüs	Araba	Otobüs		
Gözlenen Değerler	406	0	280	0	225	0	911	
Simülasyon Değerleri	372	0	246	0	219	0	837	
GEH Değeri	2.44	0.00	2.96	0.00	0.57	0.00	3.54	
Kriter GEH<5	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	

Çizelge 4.2’de mevcut durumdaki değerler gözlenen değerler olarak verilmiştir.

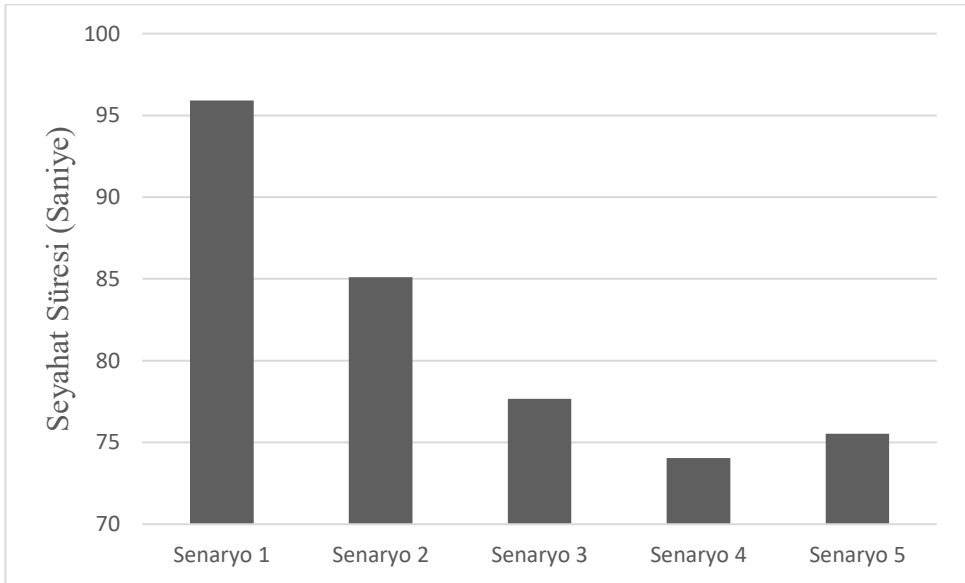
4.3.7. Simülasyon Sonuçları

Senaryolar AIMSUN programında ayrı ayrı modellenmiş olup belirlenen kriterler doğrultusunda sonuçlar elde edilmiştir. Oluşturulan senaryoların kriterler ölçütünde karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Gecikme süresi, seyahat süresi, kuyruk uzunluğu, NO_x emisyonu, CO₂ emisyonu ve hız kriterlerinin grafikleri ayrı ayrı aşağıda verilmiştir.



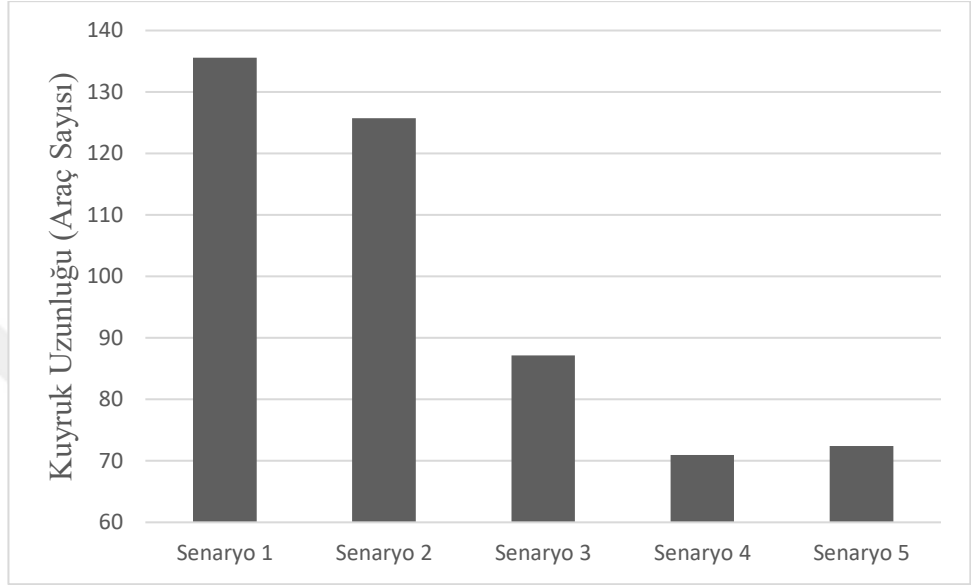
Şekil 4.41. Gecikme süresi

Şekil 4.41’de gecikme süresi grafiğinde gösterilen değerlere göre; Senaryo 4 en düşük gecikme süresi değeri olan durumdur, Senaryo 1 ise en yüksek gecikme süresinin yaşandığı durumdur.



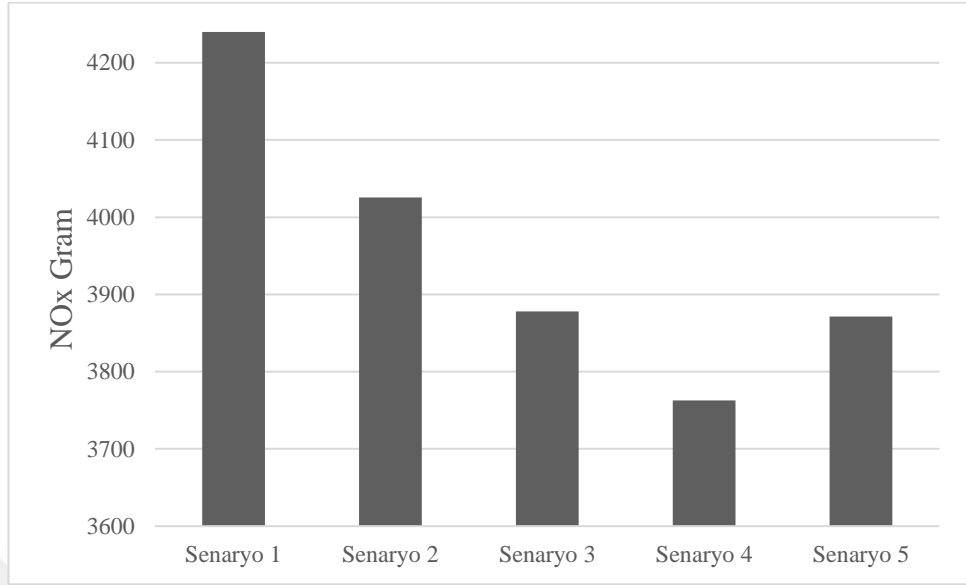
Şekil 4.42. Seyahat süresi

Şekil 4.42’de seyahat süresi grafiğinde gösterilen değerlere göre; Senaryo 4 en düşük seyahat süresi değeri olan durumdur, Senaryo 1 ise en yüksek seyahat süresinin olduğu durumdur.



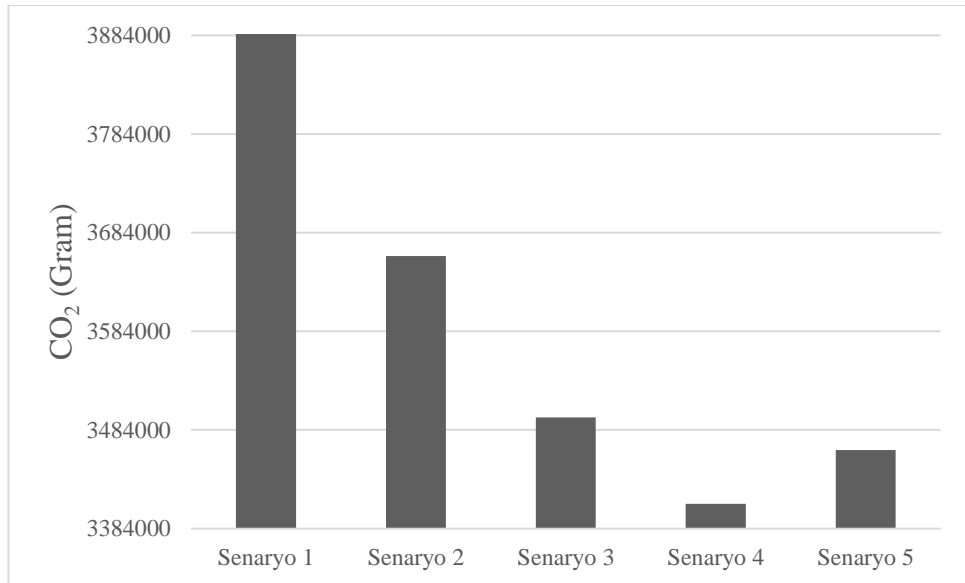
Şekil 4.43. Kuyruk uzunluğu

Şekil 4.43’te kuyruk uzunluğu grafiğinde gösterilen değerlere göre; en çok kuyruklanmanın Senaryo 1’de olduğu, en az kuyruklanmanın ise Senaryo 4’de olduğu görülmektedir.



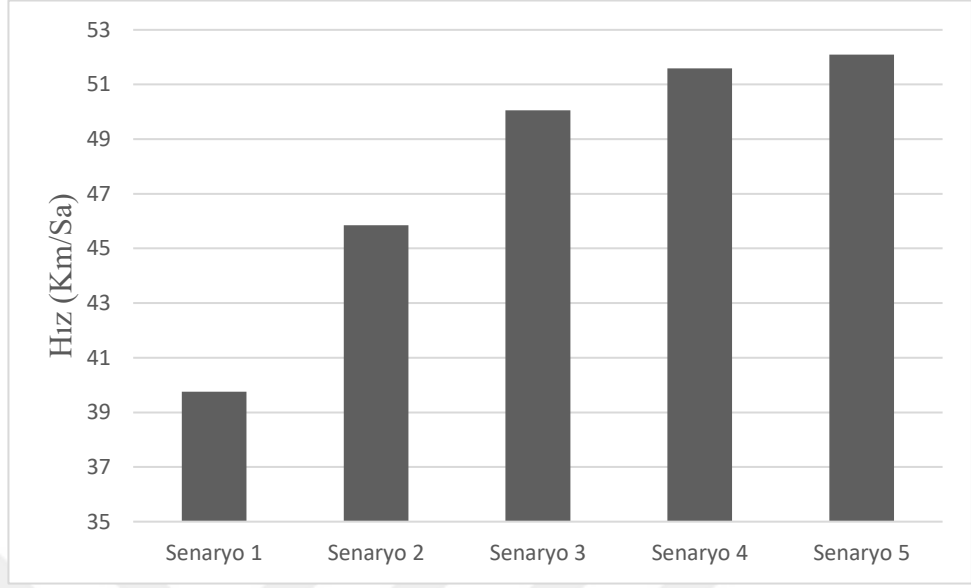
Şekil 4.44. NO_x emisyonu

Şekil 4.44'te NO_x emisyonu grafiğinde gösterilen değerlere göre; en fazla NO_x emisyonunun Senaryo 1'de, en az ise Senaryo 4'de olduğu gözükmektedir.



Şekil 4.45. CO₂ emisyonu

Şekil 4.45'te CO₂ emisyonu grafiğinde gösterilen değerlere göre; en fazla CO₂ emisyonunun Senaryo 1'de, en az ise Senaryo 4'de olduğu gözükmektedir.



Şekil 4.46. Hız

Şekil 4.46’da hız grafiğinde gösterilen değerlere göre Senaryo 1 en düşük ortalama hıza, Senaryo 5 ise en yüksek ortalama hıza sahip olan senaryodur.

4.4. AHS Uygulaması

Belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması için karar vericiler kriterleri ikili karşılaştırma yöntemi ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırılma işleminde 1-9 ölçeği kullanılmıştır. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. İkili karşılaştırma matrisi Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. İkili karşılaştırma matrisi

Kriterler	Gecikme Süresi	Seyahat Süresi	Kuyruk Uzunluğu	NO _x Emisyonu	CO ₂ Emisyonu	Hız	Yapım Maliyeti	Ağırlık
Gecikme Süresi	1	1/2	5	4	4	2	1/2	0,186
Seyahat Süresi	2	1	3	5	4	2	1/3	0,212
Kuyruk Uzunluğu	1/5	1/3	1	1/2	1/2	1/2	1/4	0,047
NO _x Emisyonu	1/4	1/5	2	1	1/2	1/3	1/6	0,048
CO ₂ Emisyonu	1/4	1/4	2	2	1	1/3	1/4	0,064
Hız	1/2	1/2	2	3	3	1	1/3	0,116
Yapım Maliyeti	2	3	4	6	4	3	1	0,327
Lambda (maks): 7,396			CI: 0,066		CR: 0,05 (<0,10)			
			RI: 1,32					

İkili karşılaştırma matrisinin verildiği Çizelge 4.3'te satırlardaki kriterin sütundaki kritere karşı üstünlük durumu keşişim noktalarında verilmiştir. Örneğin çizelge incelenecek olursa gecikme süresine göre seyahat süresinin ve yapım maliyetinin az daha önemli olduğu, diğer kriterlerin ise daha az önemli oldukları görülmektedir. İkili karşılaştırma matrisi sonucunda hesap edilen ağırlıklar tablonun son sütununda verilmiştir. Hesaplanan ağırlıklara göre en önemli kriterin yapım maliyeti olduğu ve en az öneme sahip kriterin ise kuyruk uzunluğu olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4. Gecikme süresi açısından senaryoların ikili karşılaştırılması

Senaryolar	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Ağırlıklar
Senaryo 1	1	1/2	1/5	1/7	1/6	0,044
Senaryo 2	2	1	1/5	1/6	1/5	0,062
Senaryo 3	5	5	1	1/2	1/2	0,213
Senaryo 4	7	6	2	1	1	0,351
Senaryo 5	6	5	2	1	1	0,330
Lambda (maks): 5,090			CI: 0,022		CR: 0,02 (<0,10)	
			RI: 1,12			

Çizelge 4.4’de simülasyon sonuçlarına göre senaryoların gecikme süresi açısından ikili karşılaştırma matrisleri verilmiştir. Gecikme süresi açısından Senaryo 1 en küçük ağırlığa, Senaryo 5 ise en büyük ağırlığa sahiptir.

Çizelge 4.5. Seyahat süresi açısından senaryoların ikili karşılaştırılması

Senaryolar	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Ağırlıklar
Senaryo 1	1	1/3	1/5	1/7	1/6	0,043
Senaryo 2	3	1	1/3	1/4	1/3	0,095
Senaryo 3	5	3	1	1/2	1/2	0,203
Senaryo 4	7	4	2	1	1	0,343
Senaryo 5	6	3	2	1	1	0,316
Lambda (maks): 5,078		CI: 0,020		CR: 0,02 (<0,10)		
		RI: 1,12				

Çizelge 4.5’te simülasyon sonuçlarına göre senaryoların seyahat süresi açısından ikili karşılaştırılma matrisleri verilmiştir. Çizelgeye göre seyahat süresi açısından Senaryo 1 en küçük ağırlığa, Senaryo 4 ise en büyük ağırlığa sahiptir.

Çizelge 4.6. Kuyruk uzunluğu açısından senaryoların ikili karşılaştırılmaları

Senaryolar	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Ağırlıklar
Senaryo 1	1	1/2	1/5	1/7	1/7	0,042
Senaryo 2	2	1	1/4	1/6	1/6	0,062
Senaryo 3	5	4	1	1/2	1/2	0,199
Senaryo 4	7	6	2	1	1	0,349
Senaryo 5	7	6	2	1	1	0,349
Lambda (maks): 5,049		CI: 0,012		CR: 0,01 (<0,10)		
		RI: 1,12				

Çizelge 4.6’da simülasyon sonuçlarına göre senaryoların kuyruk uzunlukları açısından ikili karşılaştırma matrisleri verilmiştir. Kuyruk uzunluğu açısından Senaryo 1 en küçük ağırlığa sahip iken Senaryo 4 ve Senaryo 5 en büyük ağırlığa sahiptir.

Çizelge 4.7. NO_x emisyonu açısından senaryoların ikili karşılaştırılmaları

Senaryolar	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Ağırlıklar
Senaryo 1	1	1/3	1/6	1/7	1/6	0,041
Senaryo 2	3	1	1/2	1/4	1/3	0,102
Senaryo 3	6	2	1	1/2	1	0,219
Senaryo 4	7	4	2	1	2	0,398
Senaryo 5	6	3	1	1/2	1	0,240
Lambda (maks): 5,055		CI: 0,014 RI: 1,12		CR: 0,0123 (<0,10)		

Çizelge 4.7’de simülasyon sonuçlarına göre senaryoların NO_x emisyonu açısından ikili karşılaştırılmaları verilmiştir. NO_x emisyonu açısından Senaryo 1 en küçük ağırlığa, Senaryo 3 ise en büyük ağırlığa sahiptir.

Çizelge 4.8. CO₂ emisyonuna açısından senaryoların ikili karşılaştırılması

Senaryolar	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Ağırlıklar
Senaryo 1	1	1/4	1/6	1/7	1/7	0,039
Senaryo 2	4	1	1/3	1/4	1/4	0,094
Senaryo 3	6	3	1	1/2	1/2	0,205
Senaryo 4	7	4	2	1	2	0,389
Senaryo 5	6	3	2	1/2	1	0,272
Lambda (maks): 5,115		CI: 0,029 RI: 1,12		CR: 0,03 (<0,10)		

Çizelge 4.8’de simülasyon sonuçlarına göre senaryoların CO₂ emisyonu açısından ikili karşılaştırma matrisleri verilmiştir. CO₂ emisyonu açısından Senaryo 1 en küçük ağırlığa sahip iken, Senaryo 4 ve Senaryo 5 en büyük ağırlığa sahiptir.

Çizelge 4.9. Ortalama hız açısından senaryolarının ikili karşılaştırılması

Senaryolar	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Ağırlıklar
Senaryo 1	1	1/4	1/6	1/7	1/7	0,037
Senaryo 2	4	1	1/3	1/3	1/4	0,099
Senaryo 3	6	3	1	1/2	1/2	0,207
Senaryo 4	7	3	2	1	1	0,319
Senaryo 5	7	4	2	1	1	0,338
Lambda (maks): 5,112		CI: 0,028		CR: 0,02 (<0,10)		
		RI: 1,12				

Çizelge 4.9’da simülasyon sonuçlarına göre senaryoların ortalama hız açısından ikili karşılaştırma matrisleri verilmiştir. Ortalama hız açısından Senaryo 1 en küçük ağırlığa, Senaryo 4 ise en büyük ağırlığa sahiptir.

Çizelge 4.10. Yapım maliyetleri açısından senaryoların ikili karşılaştırılması

Senaryolar	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Ağırlıklar
Senaryo 1	1	1	3	5	9	0,381
Senaryo 2	1	1	3	4	7	0,350
Senaryo 3	1/3	1/3	1	2	5	0,147
Senaryo 4	1/5	1/4	1/2	1	3	0,085
Senaryo 5	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,037
Lambda (maks): 5,070		CI: 0,017		CR: 0,02 (<0,10)		
		RI: 1,12				

Çizelge 4.10’da uzman görüşlerine göre senaryoların yapım maliyeti açısından ikili karşılaştırma matrisleri verilmiştir. Yapım maliyeti açısından Senaryo 5 en küçük ağırlığa, Senaryo 1 ise en büyük ağırlığa sahiptir.

Çizelge 4.11. Tüm kriterlerin birleşik ağırlığı

Kriterler	Kriter Ağırlıkları	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5
Gecikme Süresi	0.186	0,044	0,062	0,213	0,351	0,330
Seyahat Süresi	0.212	0,043	0,095	0,203	0,343	0,316
Kuyruk Uzunluğu	0.047	0,042	0,062	0,199	0,349	0,349
NOx Emisyonu	0.048	0,041	0,102	0,219	0,398	0,240
CO Emisyonu	0.064	0,037	0,093	0,203	0,333	0,333
Hız	0.116	0,037	0,099	0,207	0,319	0,338
Yapım Maliyeti	0.327	0,381	0,350	0,147	0,085	0,037
Birleşik Ağırlıklar		0,152	0,171	0,188	0,263	0,225

Çizelge 4.11’de tüm kriterlerin birleşik ağırlığı diğer bir deyişle sonuç matrisi verilmiştir. Çizelgeye göre AHS metodu uygulandığında en yüksek birleşik ağırlığa sahip Senaryo 4’ün optimum seçenek olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca Senaryo 1 yani mevcut durum ise en uygun olmayan senaryo olarak ortaya çıkmaktadır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, Erzincan kent merkezindeki tüm ana arterlerin ve üzerinde bulunan Bahçesaray, Işıkpınar, Eski Mit, Esentepe, Hastane, Adnan Menderes, Askerlik Şubesi, Emniyet, SGK, Dört Yol, Eski Terminal, Tedaş, Terzibaba ve Sümer kavşakları incelenerek, konfor ve yapım maliyeti açısından gecikme süresi, seyahat süresi, kuyruk uzunluğu, NO_x emisyonu, CO₂ emisyonu ve hız değerlerini iyileştirmeye yönelik öneriler sunmaktır. Bu amaç doğrultusunda, Erzincan kent merkezindeki koridorların mevcut durumu ve 4 farklı alternatif senaryo önerilerek incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan AHS yöntemine göre, yukarıda verilen parametreler açısından en uygun kavşak tiplerinin alternatifler arasında hangilerinin olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Yapılan simülasyonlarda gecikme süresini; “Senaryo 2” %9 oranında, “Senaryo 3” %34 oranında, “Senaryo 4” %47 oranında, “Senaryo 5” ise %41 oranında azaltmaktadır.
- Yapılan simülasyonlarda seyahat süresini; “Senaryo 2” %11 oranında, “Senaryo 3” %19 oranında, “Senaryo 4” %23 oranında, “Senaryo 5” ise %21 oranında azaltmaktadır.
- Yapılan simülasyonlarda kuyruk uzunluğunu; “Senaryo 2” %7 oranında, “Senaryo 3” %36 oranında, “Senaryo 4” %48 oranında, “Senaryo 5” ise %47 oranında azaltmaktadır.
- Yapılan simülasyonlarda NO_x emisyonunu; “Senaryo 2” %5 oranında, “Senaryo 3” %9 oranında, “Senaryo 4” %11 oranında, “Senaryo 5” ise %9 oranında azaltmaktadır.
- Yapılan simülasyonlarda CO₂ emisyonunu; “Senaryo 2” %6 oranında, “Senaryo 3” %10 oranında, “Senaryo 4” ve “Senaryo 5” ise %13 oranında azaltmaktadır.
- Yapılan simülasyonlarda ortalama hızı; “Senaryo 2” %15 oranında, “Senaryo 3” %26 oranında, “Senaryo 4” %30 oranında, “Senaryo 5” ise %31 oranında artırmaktadır.

- AHS metoduna göre en uygun alternatif, Senaryo 4 olarak elde edilmiştir. Senaryo 4'de yapılan iyileştirmeler; Bahçesaray, Işıkpınar, Emniyet, Dört Yol, Eski Terminal ve Tedaş kavşağının modern dönel kavşak olarak uygulanması, Eski Mit, Askerlik şubesi, SGK ve Terzibaba kavşaklarının Webster yöntemi ile optimizasyonu, Hastane kavşağının ışıklı dönel kavşak yapılmasıdır.
- AIMSUN programı mezoskopik simülasyon modelinin koridor analizinde kullanılabilirliği görülmüştür.

Bu çalışmada, koridorlar üzerindeki yayaların sayıları ve rotaları ile toplu taşıma talepleri modellenmemiştir. Toplu taşıma için yolcu talepleri, durak yerleri ve yolcu rotaları da eklenerek yeni bir araştırma yapılabilir. Ayrıca, bu çalışmada sadece yağış olmayan günlerdeki pik saatler ele alınmıştır. Karlı ve yağmurlu günlerde sürücülerin hızlanma- yavaşlama ivmelerini azaltması ve takip aralığını artırması gibi değişen karakteristik özellikler sonucunda kavşak ve yollarda kapasite değişmektedir. Bu sebeple yağışlı günlerdeki pik saatler için de araştırma yapılması da önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Alp, S. and T. Engin (2011). Trafik Kazalarının Nedenleri Ve Sonuçları Arasındaki İlişkinin TOPSIS ve AHP Yöntemleri Kullanılarak Analizi ve Değerlendirilmesi. *İstanbul Fen Bilimleri Dergisi* 10(3): 65-87.
- Barceló, J., Casas, J., Garcia, D. and Perarnau, J. (2005). Methodological Notes On Combining Macro, Meso And Micro Models For Transportation Analysis, Workshop on Modeling and Simulation, Sedona.
- Barić, D., Pilko, H. and Strujić, J. (2016). An Analytic Hierarchy Process Model To Evaluate Road Section Design. *Transport* 31(3): 312-321.
- Bayata, H. F. ve Bayrak, O. Ü. (2018). Yeni Yapılması Planlanan bir Kavşağın Mikro-Simülasyon ile Değerlendirilmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 11(3): 550-559.
- Bayrak, O. Ü., Ü., Bayata, H.F., Hattatoğlu, F. ve Çolak, M.A. (2016). Evolution of a Junction Traffic Management Measures Using Microsimulation Model. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 6(3): 87-96.
- Bennett, J. and Betts, B. (2017). Aimsun Saturation Flow Calibration For Hybrid Simulation: Challenges And Recommendations. Australian Institute of Traffic Planning and Management (AITPM) National Conference, 2017, Melbourne, Victoria, Australia.
- Celikoglu, H. B. and M. Dell'Orco (2007). Mesoscopic Simulation Of A Dynamic Link Loading Process. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 15(5): 329-344.
- Ciuffo, B., Casas, J., Montanino, M., Perarnau, J. and Punzo, V. (2013). Gaussian Process Metamodels For Sensitivity Analysis of Traffic Simulation Models: Case Study of AIMSUN Mesoscopic Model. *Transportation Research Record* 2390(1): 87-98.
- Çakici, Z. ve Murat, Y. Ş. (2016). Sinyalize Dönel Kavşaklar İçin Hesap Yöntemi Önerisi Ve Performans Analizi. *Teknik Dergi* 27(4): 7569-7592.
- Çetinkaya, G. (2008). Işıklı Kavşaklarda Değişik Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dağüstü, H. Ş. (2010). Trafik Yönetiminde Kavşak Trafiğinin Kontrolü İçin Bir Sinyal Zamanlama Modeli. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dalaff, C., Ebendt, R., Erdmann, J., Gurczik, G. and Tcheumadjeu, L.C.T. (2013). 5 Benchmarking SUMO Generated Traffic Simulation Results Based on GEH Statistic. 1st SUMO User Conference, Berlin, Germany.
- Dell'Orco, M., Marinelli, M. and Silgu, M.A. (2016). Bee Colony Optimization For Innovative Travel Time Estimation, Based On A Mesoscopic Traffic Assignment Model. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 66: 48-60.
- Feldman, O. (2012). The GEH measure and quality of the highway assignment models. Association for European Transport and Contributors: 1-18.

- Findley, D. J., Schroeder, B. J., Cunningham, C. M. and Brown, T.H. (2015). Highway Engineering: Planning, Design, and Operations. Butterworth-Heinemann, 697 s, Waltham, USA.
- GoogleEarth (2019). Google Earth. <https://www.google.com/earth/>. (7.11.2019)
- Güldamlaşı, G. A. (2007). Tek Yön Sistemlerinin Çift Yöne Dönüştürülmesinin Sonuçları ve Performans Analizi Üzerine Araştırma (Balıkesir ve İzmir örnekleri), Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Jamshidnejad, A., Papamichail, I., Papageorgiou, M. and Schutter, B.D. (2017). A Mesoscopic Integrated Urban Traffic Flow-Emission Model. Transportation Research Part C: Emerging Technologies 75: 45-83.
- Jeihani, M., James, P., Saka, A.A. and Ardeshiri, A. (2015). Traffic Recovery Time Estimation Under Different Flow Regimes In Traffic Simulation. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) 2(5): 291-300.
- Jiang, Z. and Y.-X. Huang (2009). Parametric Calibration Of Speed-Density Relationships In Mesoscopic Traffic Simulator With Data Mining. Information Sciences 179(12): 2002-2013.
- KGM (2005). Karayolu Tasarım El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, 297 s, Ankara.
- KGM (2018). Trafik Kazaları Özeti. Karayolları Genel Müdürlüğü <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TrafikKazalariOzeti.aspx>. (22.10.2019).
- Kılınçaslan, T. (2012). Kentsel Ulaşım. NİNOVA Yayıncılık, 368 s, İstanbul.
- Miller, F.P., Vandome, A.F. and Mcbrewhster, J. (2010). Geh, Alphascript Publishing.
- Murat, Y.S., Arslan, T., Çakıcı, Z. and Akçam, C. (2016). Analytical Hierarchy Process (AHP) Based Decision Support System For Urban Intersections In Transportation Planning. Using Decision Support Systems for Transportation Planning Efficiency, IGI Global: 203-222.
- Murat, Y. Ş. (2012). Trafik Mühendisliği Ders Notları, Pamukkale Üniversitesi.
- Oketch, T. and M. Carrick (2005). Calibration And Validation Of A Micro-Simulation Model In Network Analysis. Proceedings of the 84th TRB Annual Meeting, Washington, DC.
- PinaviaTeam (2019). "Pinavia Road Junction." Retrieved 25.10.2019, 2019, from <https://pinavia.com/start.phtml>.
- Rahimov, K., Motamadnia, A. and Samadi, S. (2016). "Technical And Economic Evaluation Of Pinavia Interchange In Comparison With Roundabout Intersection By AIMSUN." Civil engineering journal 2(3): 102-112.
- Russo, C. (2008). The Calibration And Verification Of Simulation Models For Toll Plazas Department of civil and environmental engineering, University Of Central Florida, Orlando132.
- Schenk, M., Tolujew, J. and Reggelin, T. (2009). Mesoscopic Modeling And Simulation Of Logistics Networks. IFAC Proceedings Volumes 42(4): 582-587.
- 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." Procedia-Social and Behavioral Sciences 104: 815-824.

- Soba, M. (2014). Banka Yeri Seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci ve Electre Metodu İle Belirlenmesi: Uşak İlçeleri Örneği. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 11(25): 459-473.
- Toledo, T., Cats, O., Burghout, W. and Koutsopoulos, H.N. (2010). Mesoscopic Simulation For Transit Operations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 18(6): 896-908.
- Tunç, A. (2003). *Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları*, Asil Yayın Dağıtım, 790 s, Ankara.
- TÜİK (2018). İl ve İlçelere Göre İl/İlçe Merkezi, Belde/Köy Nüfusu ve Yıllık Nüfus Artış Hızı. Türkiye İstatistik Kurumu, <https://tuik.gov.tr> (09.08.2019).
- TÜİK (2019). İl Göstergeleri. Türkiye İstatistik Kurumu, <https://biruni.tuik.gov.tr/ilgosterge> (10.10.2019).
- Xu, Y., Song, X., Weng, Z. and Tan, G. (2014). An Entry Time-based Supply Framework (ETSF) for Mesoscopic Traffic Simulations. *Simulation Modelling Practice and Theory* 47: 182-195.
- Yayla, N. (2011). *Karayolu mühendisliği*, Birsen Yayınevi, 285 s, İstanbul.
- Yıldırım, B. F. ve Önder, E. (2015). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*. Dora Basım-Yayın Dağıtım, 338 s, Bursa.
- Yun, M. and Ji, J. (2013). Delay Analysis Of Stop Sign Intersection And Yield Sign Intersection Based On Vissim. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 96: 2024-2031.
- Zhang, R. and Yao, E. (2019). Mesoscopic Model Framework For Estimating Electric Vehicles' Energy Consumption. *Sustainable Cities and Society* 47: 101478.
- Zhou, X., Tanvir, S., Lei, H., Taylor, J., Liu, B., Roupail, N.M. and Frey, H.C. (2015). Integrating A Simplified Emission Estimation Model And Mesoscopic Dynamic Traffic Simulator To Efficiently Evaluate Emission Impacts Of Traffic Management Strategies. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 37: 123-136.
- Zlatkovic, M., Zlatkovic, S., Sullivan, T., Bjornstad, J. and Shahandashti, S.K.F. (2019). Assessment Of Effects Of Street Connectivity On Traffic Performance And Sustainability Within Communities And Neighborhoods Through Traffic Simulation. *Sustainable Cities and Society* 46: 101409.

ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Erzincan'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Erzincan'da tamamladı. 2013 yılında girdiği Erzincan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında mezun oldu. Şubat 2017-Aralık 2019 yılları arasında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimini tamamladı. Mart 2019'dan itibaren Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

