

**T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS

**SİNYALİZE KAVŞAKLARDA PERFORMANS ANALİZİ VE
SİMÜLASYONU: ERZİNCAN İLİ ÖRNEĞİ**

Muhammed Sami DEMİRCİOĞLU

Danışman: Doç. Dr. Halim Ferit BAYATA

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**ERZİNCAN
2021
Her Hakkı Saklıdır.**

ÖZET

Yüksek Lisans

SİNYALİZE KAVŞAKLARDA PERFORMANS ANALİZİ VE SİMÜLASYONU: ERZİNCAN İLİ ÖRNEĞİ

Muhammed Sami DEMİRCİOĞLU

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Halim Ferit BAYATA

Dünyamızda artan nüfus ile birlikte karayollarında yer alan taşıt sayısı artmıştır. Artan bu taşıt sayısından dolayı trafikte istenmeyen problemler oluşmuştur. Bu sorunlar gecikme, zararlı gaz salınımları ve trafik sıkışıklığı olarak sıralanabilir ve özellikle kent içi kavşaklarda meydana gelmektedirler. Bu nedenle kavşak tasarımında en ideal çözüme ulaşmak toplum için çok önemlidir. Günümüz teknolojisi ile çalışma alanında uygulama yapılmadan simülasyon programları ile sonuçlar gözlemlenir ve en ideal çözüme ulaşılabilir.

Yapılan bu çalışmada, Erzincan'daki en yoğun trafiğe sahip güzergahlardan biri olan ve şehir merkezi ile şehrin doğusu boyunca uzanan güzergah incelenmiştir. Bu koridorda yer alan yedi sinyalize kavşak incelenerek koridordaki trafiği iyileştirmek hedeflenmiştir. Kriter olarak CO₂ salınımı, gecikme süresi, VOC salınımı, kuyruk uzunluğu, NO_x salınımı, hız, bekleme süresi ve seyahat süresi kullanılmıştır. Yedi farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar AIMSUN simülasyon programı ile incelenmiştir. Bulunan simülasyon sonuçları arasındaki en iyi senaryo, TOPSİS yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Çalışmada Dört Yol ve Eski Terminal Kavşakları modern dönel kavşak olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, bu koridorda, CO₂ salınımı %10, gecikme süresi %35, VOC salınımı %14, kuyruk uzunluğu %35, NO_x salınımı %13, bekleme süresi %38 ve seyahat süresi %19 azalmıştır. Hız %15 artmıştır. En iyi durum, senaryo 4 olarak belirlenmiştir.

2021, 76 sayfa

Anahtar Kelimeler: AIMSUN, Kavşaklar, Simülasyon, Sinyalizasyon, TOPSİS

ABSTRACT

Master Thesis

PERFORMANCE ANALYSIS AND SIMULATION OF SIGNALIZED INTERSECTIONS: ERZINCAN PROVINCE EXAMPLE

Muhammed Sami DEMİRCİOĞLU

Erzincan Binali Yıldırım University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Halim Ferit BAYATA

With the increasing population in our world, the number of vehicles on highways has increased. Due to this increasing number of vehicles, unwanted problems have occurred in traffic. These problems can be listed as delay, harmful gas emissions and traffic congestion and they have occurred especially in urban intersections. For this reason, it is very important for the society to reach the most ideal solution in intersection design. With today's technology, the most ideal solution can be reached and observed with simulation programs without any application in the field.

In this study, the route which is one of the routes with the most traffic in Erzincan and extending along the city center and the city center and the east of the city has been examined. It has been aimed to improve the traffic in the corridor by examining seven signalized intersections in this corridor. CO₂ emission, delay time, VOC emission, tail length, NO_x emission, speed, waiting time and travel time have been used as design criteria. Seven different scenarios have been created. These scenarios have been examined with AIMSUN simulation program. The best scenario among the simulation results has been determined by using TOPSIS method.

In the study, Dört Yol and Eski Terminal Intersections have been determined as modern roundabouts. As a result of the study, in this corridor, CO₂ emission by %10, delay time %35, VOC emissions by %14, tail length by %35, NO_x emission by %13, waiting time by %38 and travel time by %19 have decreased. Speed has increased by %15. The best case has been determined as scenario 4.

2021, 76 pages

Keywords: AIMSUN, Intersections, Signalization, Simulation, TOPSIS

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın danışmanlığını üstlenen, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Halim Ferit BAYATA' ya,

Çalışmalar esnasında yardımlarını ve önerilerini esirgemeyerek tezimin gelişimine önemli katkılar sağlayan değerli hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Ali ÇOLAK, Sayın Arş. Gör. Ahmet Oğuz DEMİRİZ ve kıymetli tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Sayın Fatih İrfan BAŞ' a

Hayatım boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Muhammed Sami DEMİRCİOĞLU

Haziran, 2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Kavşaklar.....	2
1.1.1. Kavşak tipleri	2
1.1.1.1. Eşdüzey (Hemzemin) kavşaklar.....	2
1.2. Kavşaklarda Sinyalizasyon	12
1.2.1. Ayrık sinyalizasyon sistemleri	12
1.2.1.1. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi.....	12
1.2.1.2. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi	13
1.2.1.3. Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi	13
1.2.1.4. El ile kumandalı sinyalizasyon sistemi	14
1.2.2. Eşgüdümlü sistemler	14
1.2.3. Kavşaklarda sinyalizasyon sisteminin gerekliliği	15
1.3. Araç Gecikme Hesabında Kullanılan Yöntemler	15
1.3.1. Avusturya (Akçelik) yöntemi.....	15
1.3.2. Webster (İngiliz) yöntemi	17
1.3.3. HCM-2000 yöntemi	18
1.4. Hizmet Düzeyi.....	18
2. KAYNAK ÖZETLERİ	21
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	29
3.1. Materyal	29
3.2. Yöntem	29
3.2.1. Trafik simülasyonu.....	29

3.2.2. Simülasyon aracı: AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks).....	30
3.2.3. GEH analizi	31
3.2.4. Webster yöntemi	31
3.2.5. TOPSİS yöntemi	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	38
4.1. Çalışma Alanı.....	38
4.2. Veri Toplanması.....	42
4.2.1. Taşıt sayımları.....	42
4.2.2. Oluşturulacak senaryolar.....	45
4.2.2.1. Mevcut durum modellemesi.....	46
4.2.2.2. Modern dönel kavşak uygulaması.....	50
4.2.2.3. Alt geçit uygulaması	51
4.2.2.4. Sinyalize dönel kavşak uygulaması	52
4.2.2.5. Webster yöntemi uygulaması.....	53
4.2.2.6. Yeşil dalga uygulaması	54
4.3. Modellemeler Sonucu Oluşan Senaryolar.....	55
4.4. GEH Analizleri.....	58
4.5. Simülasyon Sonuçları.....	60
4.6. TOPSİS Çalışması.....	65
5. SONUÇLAR	69
KAYNAKLAR	71
EKLER.....	75
Ek-1. Tez esnasındaki akademik çalışmalar.....	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Üç kollu eşdüzey kavşak tipleri (Yayla, 2006).....	4
Şekil 1.2. Dört kollu kavşaklar (KGM, 2005).....	5
Şekil 1.3. Çok kollu kavşak (Demiriz, 2019).....	5
Şekil 1.4. Sırasıyla yarım dönel, mini dönel, modern dönel kavşak (KGM, 2005).....	6
Şekil 1.5. Trompet kavşak (KGM, 2005).....	7
Şekil 1.6. Tek nokta şehir içi kavşak (Tunalıoğlu, 2005)	7
Şekil 1.7. Baklava (diamond) kavşak (KGM, 2005).....	8
Şekil 1.8. Yarım yonca kavşak (KGM, 2005).....	9
Şekil 1.9. Yonca kavşak (Yayla, 2006).....	9
Şekil 1.10. Dairesel dönel kavşak (KGM, 2005)	10
Şekil 1.11. Eliptik dönel kavşak (KGM, 2005).....	10
Şekil 1.12. Yönlendirici kavşaklar (KGM, 2005)	11
Şekil 1.13. Hizmet düzeyleri (Demiriz, 2019)	20
Şekil 3.1. Çalışmanın yapıldığı koridor (Google Earth, 2020)	29
Şekil 4.1. Dört yol Kavşağı (Google Earth, 2020).....	38
Şekil 4.2. Merplaza Kavşağı (Google Earth, 2020)	39
Şekil 4.3. Eski Terminal Kavşağı (Google Earth, 2020).....	39
Şekil 4.4. Terzibaba Kavşağı (Google Earth, 2020)	40
Şekil 4.5. Eski Polis Okulu Kavşağı (Google Earth, 2020)	40
Şekil 4.6. Tedaş Kavşağı (Google Earth, 2020).....	41
Şekil 4.7. Yeni Terminal Kavşağı (Google Earth, 2020).....	41
Şekil 4.8. Çalışmanın yapıldığı güzergah (Google Earth, 2020)	41
Şekil 4.9. Dört yol Kavşağı mevcut durum.....	46
Şekil 4.10. Merplaza Kavşağı mevcut durum	47
Şekil 4.11. Eski Terminal Kavşağı mevcut durum	47
Şekil 4.12. Terzibaba Kavşağı mevcut durum	48
Şekil 4.13. Eski Polis Okulu Kavşağı mevcut durum	48
Şekil 4.14. Tedaş Kavşağı mevcut durum.....	49
Şekil 4.15. Yeni Terminal Kavşağı mevcut durum.....	49
Şekil 4.16. Dört yol modern dönel kavşak uygulaması	50
Şekil 4.17. Eski Terminal modern dönel kavşak uygulaması	50

Şekil 4.18. Tedaş modern dönel kavşak uygulaması	51
Şekil 4.19. Terzibaba alt geçit uygulaması	51
Şekil 4.20. Terzibaba sinyalize dönel kavşak uygulaması.....	52
Şekil 4.21. Eski Polis Okulu sinyalize kavşak uygulaması.....	52
Şekil 4.22. Yeni Terminal sinyalize dönel kavşak uygulaması	53
Şekil 4.23. Merplaza webster uygulaması.....	53
Şekil 4.24. Tedaş webster uygulaması	54
Şekil 4.25. Hız limitleri.....	54
Şekil 4.26. Senaryo 1	55
Şekil 4.27. Senaryo 2 ile oluşan yeni koridor	55
Şekil 4.28. Senaryo 3 ile oluşan yeni koridor	56
Şekil 4.29. Senaryo 4 ile oluşan yeni koridor	56
Şekil 4.30. Senaryo 5 ile oluşan yeni koridor	57
Şekil 4.31. Senaryo 6 ile oluşan yeni koridor	57
Şekil 4.32. Senaryo 7 ile oluşan yeni koridor	58
Şekil 4.33. CO ₂ salınımı	61
Şekil 4.34. Gecikme süresi.....	62
Şekil 4.35. VOC salınımı	62
Şekil 4.36. Kuyruk uzunluğu	63
Şekil 4.37. NO _x salınımı.....	63
Şekil 4.38. Hız.....	64
Şekil 4.39. Bekleme süresi.....	64
Şekil 4.40. Seyahat süresi	65

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Otomobil eşdeğer faktörü	33
Tablo 3.2. Şerit kullanım faktörü	34
Tablo 4.1. Dört yol Kavşağı otomobil sayımları.....	42
Tablo 4.2. Dört yol Kavşağı otobüs sayımları	43
Tablo 4.3. Merplaza Kavşağı otomobil sayımları.....	43
Tablo 4.4. Merplaza Kavşağı otobüs sayımları.....	43
Tablo 4.5. Eski Terminal Kavşağı otomobil sayımları	43
Tablo 4.6. Eski Terminal Kavşağı otobüs sayımları.....	43
Tablo 4.7. Terzibaba Kavşağı otomobil sayımları	44
Tablo 4.8. Terzibaba Kavşağı otobüs sayımları.....	44
Tablo 4.9. Eski Polis Okulu Kavşağı otomobil sayımları.....	44
Tablo 4.10. Eski Polis Okulu Kavşağı otobüs sayımları.....	44
Tablo 4.11. Tedaş Kavşağı otomobil sayımları	44
Tablo 4.12. Tedaş Kavşağı otobüs sayımları	45
Tablo 4.13. Yeni Terminal otomobil sayımları.....	45
Tablo 4.14. Yeni Terminal otobüs sayımları	45
Tablo 4.15. Oluşturulacak senaryolar	46
Tablo 4.16. Dört yol GEH analizi	58
Tablo 4.17. Merplaza GEH analizi	59
Tablo 4.18. Eski Terminal GEH analizi.....	59
Tablo 4.19. Terzibaba GEH analizi.....	59
Tablo 4.20. Eski Polis Okulu GEH analizi	60
Tablo 4.21. Tedaş GEH analizi	60
Tablo 4.22. Yeni Terminal GEH analizi	60
Tablo 4.23. Karar matrisi	65
Tablo 4.24. Standart karar matrisi.....	66
Tablo 4.25. Ağırlıklı standart karar matrisi.....	67
Tablo 4.26. İdeal çözüm.....	67
Tablo 4.27. İdeal ölçütler	68
Tablo 4.28. İdeal çözüme yakınlık.....	68

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

c	Devre Süresi
C	Gözlenen Değer
D	Toplam Gecikme
g	Etkin Yeşil Süre
k	Karar Noktası Sayısı
M	Model Değeri
n	Değerlendirme Sayısı
Q	Kapasite
q	Trafik Hacmi
s	Doygun Akım
S_i^-	Negatif İdeal Çözüme Uzaklık
S_i^*	Pozitif İdeal Çözüme Uzaklık
T_f	Akım Süresi
X	Doygunluk Derecesi
$\%$	Yüzde

Kısaltmalar

AIMSUN	Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks
HCM	Highway Capacity Manual
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
TOPSİS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
VOC	Uçucu Organik Bileşenler

1. GİRİŞ

Ulaştırma, bir ürünün veya bir yolcunun belirli bir yerden başka bir yere aktarılması olarak ifade edilebilir ve hayatımızda önemli bir yere sahiptir. Ulaşımın güvenli, hızlı, ekonomik ve konforlu olması ülkelerin kalkınmasında önemli bir yeri vardır. Sanayileşme ile birlikte ekonomik gelişmeler ve artan nüfustan dolayı taşıt sayıları da artmıştır. Bu durum özellikle kent içi ulaşımında olumsuz durumlara neden olmuştur. Bu olumsuzlukların başında trafik kazaları, çevre kirliliği ve gecikmeler gelmektedir.

Kavşaklar, farklı doğrultularda hareket eden trafik akımlarının kesiştiği yer olmasından dolayı önemli trafik sorunları yaşanabilmektedir. Kent içi ulaşımındaki gecikmelerin yaklaşık %70'i, trafik kazalarının %40-60'ı kavşaklarda meydana gelmektedir (Erol, 2018).

Erzincan Doğu Anadolu Bölgesi'nde yukarı Fırat bölümünde yerleşmiş bir vilayettir. Kuzeyinde Bayburt ve Gümüşhane, doğusunda Erzurum, güneydoğusunda Bingöl, güneyinde Tunceli, güneybatısında Elazığ ile Malatya, batısında Sivas, kuzey batısında Giresun olmak üzere bu şehirler arasında konumlanmıştır. Erzincan sınırları içerisinde merkez dahil 9 ilçe, 15 belediye ve 522 köye sahiptir. Toplam da Erzincan 234.747 nüfus sayısına sahiptir. Erzincan'ın yüz ölçümü 11.974 km² ve 1185 m denizden olan yüksekliğe sahiptir (TÜİK, 2020).

E-80/D100 Karayolu'nun bir bölümü üzerinde yerleşmiş olan Erzincan, 412 km devlet yolu ve toplamda 443 km il yoluna sahiptir. Aynı zamanda komşu şehirlere de karayolu ile ulaşım mevcuttur (KGM, 2020).

Erzincan sosyo-ekonomik olarak gelişmekte olan bir şehirdir. Bu sebeple şehrin nüfusu ile birlikte taşıt sayısı da artarak, şehrin trafiğine ek bir yük olmuştur. Bu nedenle bu tez çalışmasında Erzincan'ın en yoğun trafiğine sahip güzergahlardan biri olan Dört Yol Kavşağı'ndan Yeni Terminal Kavşağı'na kadar olan yedi sinyalizasyon kavşak incelenmiştir. Bu kavşakların sinyal süreleri ve taşıt sayıları AIMSUN trafik simülasyon programına aktararak, mevcut durum ve alternatif senaryolar olmak üzere yedi farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu sayede Erzincan'ın artan trafik yüküne alternatif bir çözüm ve öneriler geliştirmek hedeflenmiştir.

1.1. Kavşaklar

Kavşaklar, taşıtlar ve yayaların ya da bunların birbirleri ile minimum iki yolun kesiştiği yerlerde inşa edilen mühendislik yapılarıdır. Kavşaklar iki veya daha fazla yolun kesiştiği yerlerde; trafik akımının sürekliliği, güvenlik, gecikme, durma, istenilen hizmet düzeyi, taşıt işletme maliyetinin azaltılması gibi amaçlar için tasarlanıp, uygulanır (Tunç, 2003).

Kavşaklar, en az iki ya da daha fazla karayolunun birleşmesi veya ayrılmasından oluştukları için trafikte önemli bir yeri vardır. Aynı zamanda performans, güvenlik, hız, işletme maliyeti ve kapasite gibi özellikler kavşakların tasarımına bağlıdır. Kavşaklar en az iki karayolunun birleşmesi ile oluşan trafiğin yanı sıra, bu karayollarının arasındaki manevraları da kapsar. Bu manevralar kavşağın geometrik yapısına göre çeşitli trafik kontrolleri ile yönlendirilir (Akmaz, 2012).

Kavşak düzenlemesinde aşağıdaki verilen maddeler önemli bir yer alır:

- Ters yönlerden birbirlerine doğru hareket eden araçların çarpışmasını engellemek.
- Ters yönlerden gelen araçların kavşağı kullanacakları anda hızlanma ve yavaşlamadan dolayı oluşacak yakıt ve zaman kaybını azaltmak
- Ters yönlerde oluşan trafikte güvenlik ve yeterli geçiş süresi sağlamak olacaktır.

1.1.1. Kavşak tipleri

Kavşaklar birçok özelliklerine göre ayrı ayrı bölümler halinde ayrılabilir. Ama kavşak yaklaşım kollarının kesiştiği yerlerin durumlarına göre aşağıdaki gibi iki ana grupta incelenebilir.

- Eşdüzey (Hemzemin) Kavşaklar
- Farklı Düzeyli (Seviyeli) Kavşaklar

1.1.1.1. Eşdüzey (Hemzemin) kavşaklar

Eşdüzey kavşak, trafik akımlarının aynı düzlemde kesiştiği kavşaklara denir. Eşdüzey kavşaklar genellikle trafik hacmi az olan şehir içi ve şehir dışı yollarda yapılmaktadır. Bu tür eşdüzey kavşaklarda öncelikli olarak ele alınması gereken hususları güvenlik, konfor,

ve kapasite olarak sıralayabiliriz. Eşdüzey kavşakların tasarımı için önem gerektiren diğer hususlar ise aşağıdakiler gibi sıralanabilir.

- Ekonomi
- Kavşağa giriş ve çıkış yapan taşıtların hepsinin görünebilir olması
- Estetik
- Topografya
- Minimum manevra yaparak kavşaktan ayrılabilmek (Tunç, 2003)

Hemzemin kavşaklar kendi aralarında dört şekilde incelenebilir.

- Denetimli (sinyalize) hemzemin kavşaklar
- Denetimsiz hemzemin kavşaklar
- Dönel kavşaklar
- Sinyalize dönel kavşaklar

Eşdüzey (Hemzemin) kavşak tipleri

Eş düzey kavşakları geometrik şekillerine göre dört grupta inceleyebiliriz.

- T şeklinde üç kollu ve Y (çatal) tip şeklinde üç kollu
- Dört kollu
- Çok kollu
- Dönel

Trafik kontrol sistemine göre üç grupta incelenebilir.

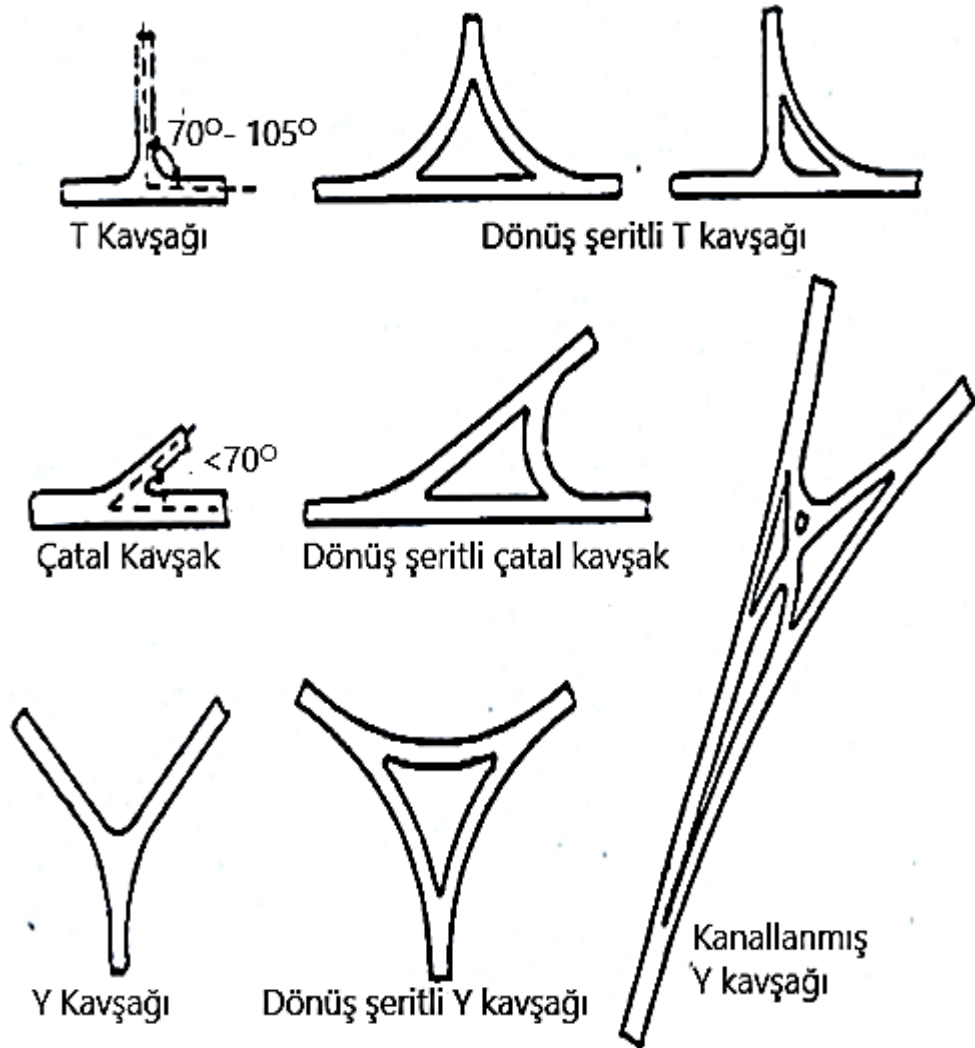
- Kontrolsüz
- Kontrollü (Trafik işaretleri ile)
- Sinyalizasyonlu

Yönlendirmeye göre iki şekilde incelenebilir.

- Kanalize edilmiş
- Kanalize edilmemiş (KGM, 2005)

T ve Y şeklinde üç kollu kavşaklar:

Y şeklindeki üç kollu kavşakların kollar arasındaki açı 70 dereceden küçüktür. Yani anayol ile tali yolun kesişimleri 70 dereceden az olmalıdır. Eğer açı 70 ile 105 derece arasında ise kavşak T tipi kavşak olarak adlandırılır (Yayla, 2006).

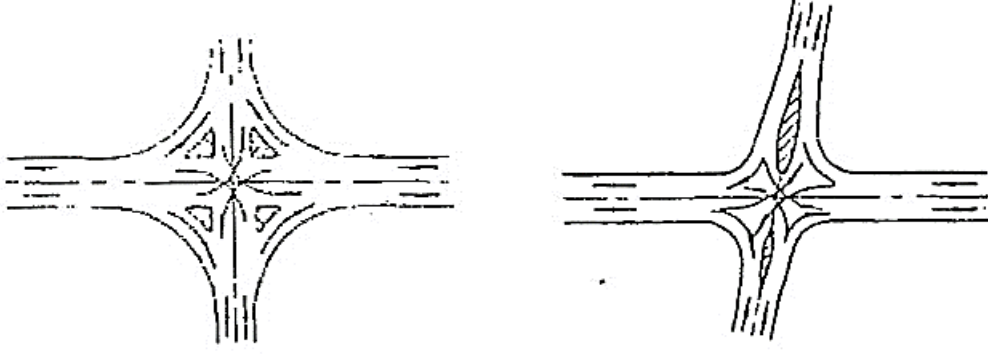


Şekil 1.1. Üç kollu eşdüzey kavşak tipleri (Yayla, 2006)

Şekil 1.1 ile üç kollu eşdüzey kavşak tipleri gösterilmiştir.

Dört kollu kavşaklar

İki yolun birbirlerini kestiği bölgelerde oluşan kavşaklardır. Bu kesişen iki yol arasındaki açı 70 ile 105 derece arasında olmalıdır (Yayla, 2006).

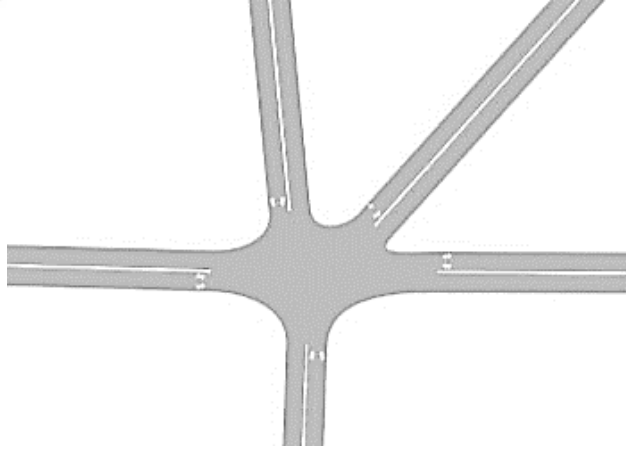


Şekil 1.2. Dört kollu kavşaklar (KGM, 2005)

Şekil 1.2 ile dört kollu kavşak tipleri gösterilmiştir.

Çok kollu kavşaklar

Çok kollu kavşaklar en az beş kolun birleşmesi sonucu oluşur. Zorunlu bir durum olmadığı sürece uygulanması istenilmeyen bir kavşaktır. Çünkü çok kollu kavşaklarda sürücüler kavşaktaki bütün kolları kontrol edebilmesi zor olacaktır. Şekil 1.3 ile çok kollu kavşak gösterilmiştir.



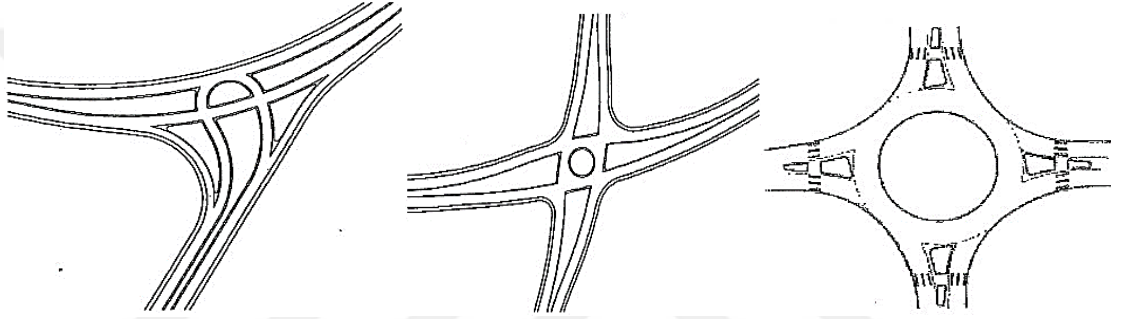
Şekil 1.3. Çok kollu kavşak (Demiriz, 2019)

Dönel kavşaklar

Dönel kavşaklar üç şekilde sınıflandırılabilir

- Yarım dönel
- Mini dönel
- Modern dönel

Mini dönel ve modern dönel kavşaklar en fazla dört kollu tasarlamak istenilir. Mini dönel kavşakta ada yarıçapı minimum 8m olmalıdır. Modern dönel kavşaklarda ise bu yarıçap en az 20m ile 25m arasında olmalıdır. En az beş kollu modern dönel kavşaklarda ada yarıçapı 60m'ye kadar uygulanabilir. Yarım dönel kavşaklarda yarım dönel olan ada sola dönüşler için idealdir. Fakat bu ada U dönüşler için kullanılmaz. Ana yol ve tali yolun trafik hacimleri farklı olduğu dört kollu kavşaklarda elips şeklinde uygulanabilir. Dönüş trafik hacmi, transit trafik hacmine kıyasla daha fazla olan ve yaya ve ağır araçların oranı fazla ise kavşaklardaki araç hızının düşürülüp güvenliğin artırılması için modern dönel kavşak uygulamak daha verimli bir çözüm olabilir (KGM, 2005).



Şekil 1.4. Sırasıyla yarım dönel, mini dönel, modern dönel kavşak (KGM, 2005)

Şekil 1.4 ile yarım dönel, mini dönel ve modern dönel kavşak tipleri gösterilmiştir

Farklı düzeyli (Katlı) kavşaklar

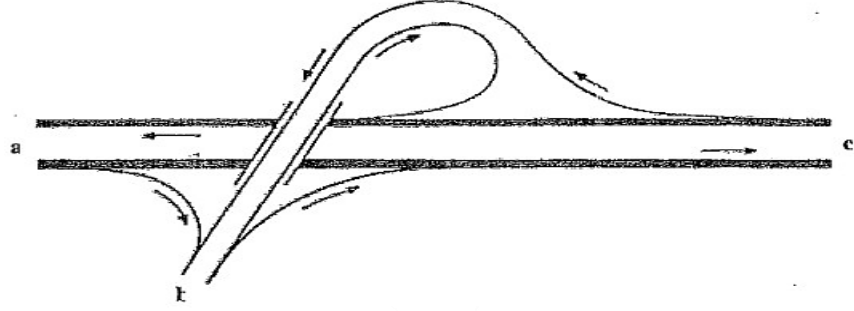
Farklı düzeyli kavşaklar trafik akımlarının alt ve üst geçitler kullanarak farklı seviyelere taşıyan kavşaklara denir. Aşırı fazla trafik sıkışıklığı olan yerlerde, kazaların yoğun bir şekilde gerçekleştiği alanlarda, otoyol veya ekspres inşaatlarında ve topografyanın herhangi bir başka imkanı olmadığı zamanlarda bu kavşaklar kullanılır (Güldamlası, 2007).

Katlı kavşakları trompet, tek nokta şehir içi, baklava (diamond), yarım yonca, yonca, dönel, yönlendirici (yönsel) tipli kavşaklar olmak üzere yedi ayrı şekilde ayırabiliriz (Tunalıoğlu, 2005).

Trompet veya T tipi kavşaklar

Trompet tipi köprülülü kavşaklar kesişen anayol ve ekspres yolları birbirlerine bağlamak için uygulanır. Bu tip kavşaklar serbest akım hızı (free flow speed) yüksek olan anayolu

kesen, hızı daha az olan tali yol için düşünülmelidir. Trafikte sola dönüşün fazla tercih edilmesi durumunda bu yöne direksiyonel rampa yerleştirilir, az tercih edilen yöne ise lup (döngü) yerleştirilir (KGM, 2005).

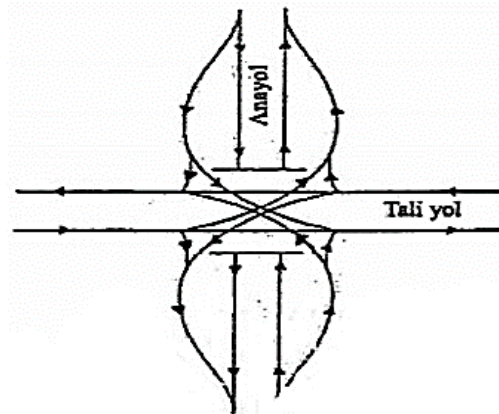


Şekil 1.5. Trompet kavşak (KGM, 2005)

Şekil 1.5 ile trompet kavşak gösterilmiştir.

Tek nokta şehir içi kavşaklar

Şehir merkezlerinde kamulaştırma alanlarını en aza indirmek için tek nokta şehir içi kavşaklar geliştirilmiştir. Bu kavşaklar tipinde ana yola kesintisiz bir akım imkanı sağlar. Rampalar ve tali yolun kesişmeleri ise dört kollu eşdüzey kavşaklar şeklinde düzenlenmiştir. Diğer kavşaklardan farklı olarak çakışmalar kavşak içerisinde olur. Bu nedenden dolayı tek nokta şehir içi kavşaklar diğer tipteki farklı düzeyli kavşaklardan farklı özelliği vardır. Kamulaştırma kısıtlamalarından dolayı zorlamalı bir şekilde ortaya çıkmıştır (Tunalıoğlu, 2005).



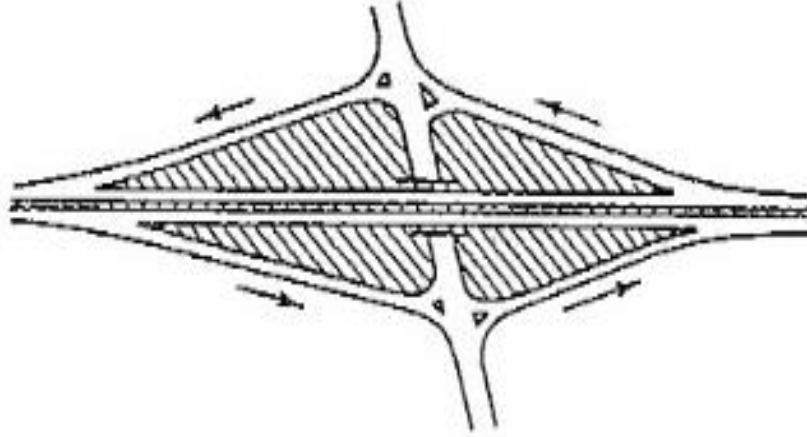
Şekil 1.6. Tek nokta şehir içi kavşak (Tunalıoğlu, 2005)

Şekil 1.6 ile tek nokta şehir içi kavşak gösterilmiştir.

Tek nokta şehir içi kavşaklar baklava (diamond) tipli kavşaklara benzetilmesine rağmen en önemli fark baklava tip kavşaklarda diyagonal rampaların sonlandığı yerlerde kavşak gereksinimi olmadığı gibi tek nokta şehir içi kavşaklarda anayola bağlanan diyagonal rampalar için kavşağa gereksinim yoktur. Bu yüzden bu kavşaklar baklava tip kavşaklara benzemesine rağmen yonca tip kavşak özelliğine sahiptir (Tunalıoğlu, 2005).

Baklava (diamond) kavşaklar

Baklava (diamond) kavşak tipleri köprülülük kavşak tipi olarak en yaygındır. Bu tip kavşaklarda uygulama alanı oldukça geniştir ve her yöne dönüş mümkündür. Ana yol da trafik hacmi yüksek ve tali yolun trafik hacmi düşük olduğu zamanlarda baklava tip kavşaklar çok verimli olur. Aynı zamanda bu tip kavşaklar ekonomik tip kavşak modelidir. Bu tip kavşakların dezavantajı olarak tali yoldaki aracı sola dönüş kapasitesi düşük olması gösterilebilir (Camcı, 2019).

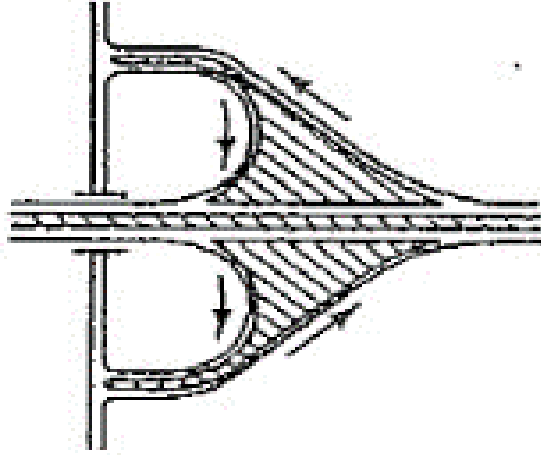


Şekil 1.7. Baklava (diamond) kavşak (KGM, 2005)

Şekil 1.7 ile baklava (diamond) kavşak gösterilmiştir.

Yarım yonca kavşaklar

Luplar (Döngü rampaları) yardımıyla iki yönden de sola dönüşlerin sağlandığı kavşaklardır. Yarım yonca kavşaklar, tam yonca kavşakların başlangıç aşaması için ideal kullanım sağlar. Bir sonraki aşamada ise eksik olan rampaların yapılması ve tali yol da diğer yöne uzatılırsa tam yonca kavşak tipine dönüştürülebilir (KGM, 2005)

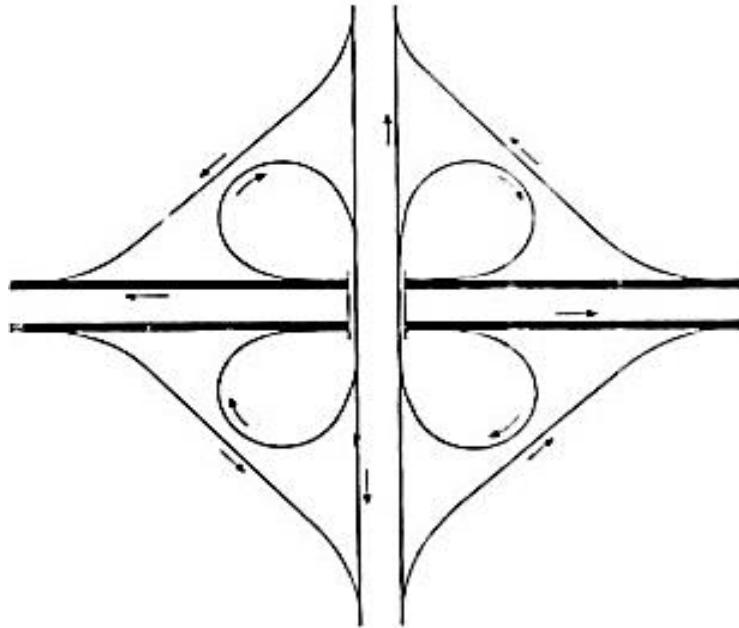


Şekil 1.8. Yarım yonca kavşak (KGM, 2005)

Şekil 1.8 ile yarım yonca kavşak gösterilmiştir.

Yonca kavşaklar

Bu tip kavşaklar, kesişmekte olan yollarda sola dönüşlerde çakışmaları ortadan kaldırmış olan bir kavşak türüdür. Fakat çok fazla bir alan gerektirdiği için az tercih edilir. Bu nedenle yerde uygulamak zor olacaktır. Çeşitli tiplerde yonca kavşaklar vardır (Camcı, 2019).



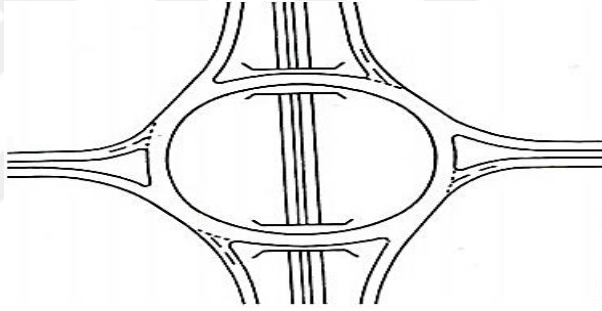
Şekil 1.9. Yonca kavşak (Yayla, 2006)

Şekil 1.9 ile yonca kavşak gösterilmiştir.

Dönel kavşaklar

Bu tip dönel kavşaklar hemzemin dönel kavşaklarda farklı olarak farklı düzeyli olarak uygulanır. Bu kavşaklar sağa sola ve U dönüşün fazla olana ve kesişen kollar olması durumunda katlı dönel kavşaklar uygulanır.

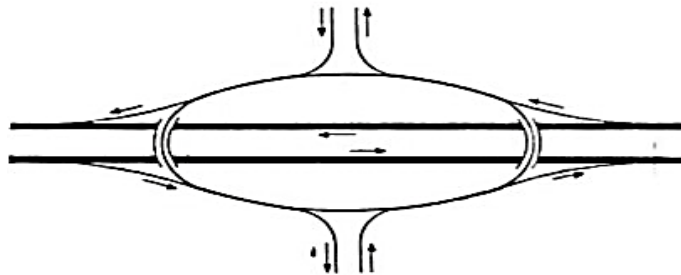
Bu kavşakların, kesişmekte olan yollarından ayıran başka bir güzergahı bulunur. Doğrudan trafik akımını rahatlatmak için dönel bir şekilde olan ada etrafında, rampadaki veya çakışan trafiği yola yönlendirir. Transit geçişlerin haricindeki hareketlerin kıyasla daha az olduğu için örülmenin (birleşme, kesişme) problem olmayacağı yerlerde uygulanabilir. Bu durum en az beş yolun kesişmesi durumu için geçerlidir. Trafik ve hız hacminin fazla olduğu ve ez an dört kollu olan şehir dışı kavşakları için kolay çözüm sağlar (KGM, 2005).



Şekil 1.10. Dairesel dönel kavşak (KGM, 2005)

Şekil 1.10 ile dairesel dönel gösterilmiştir.

Tali yol ve anayolun trafik hacimlerini yakın olması durumunda dairesel ada tercih edilir. Ama ana yolun trafik hacmi tali yolun trafik hacminden fazla olması halinde eliptik ada tercih edilir (KGM, 2005).

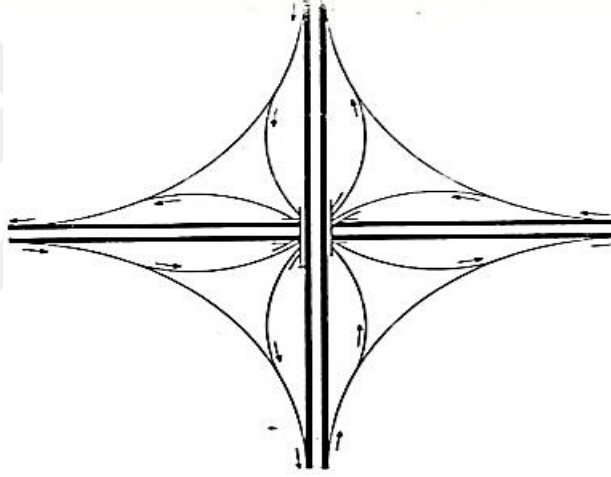


Şekil 1.11. Eliptik dönel kavşak (KGM, 2005)

Şekil 1.11 ile eliptik kavşak gösterilmiştir.

Yönlendirici (yönsel) kavşaklar

Bu tip katlı kavşaklar diğer düzeyli kavşaklara göre daha fazla işletme hızı, kapasite ve konfora sahiptir. Fakat diğer katlı kavşaklar içinde de en yüksek maliyete sahiptir. Yönlendirici kavşaklar, yüksek hızla ve kolaylıkla sürücülerin yönlendirebilir. Yönlendirici kavşaklar rampa gerektirmeden her yön için seyahat mesafesini kısaltır, hızı, kapasiteyi ve güvenliği artırır ve örülmeleri kaldırabilir. Bunlar en önemli avantajlarındandır. Bu nitelikler ise yönlendirici kavşakları diğer katlı kavşaklar arasında daha üstün kılar. Tam yönsel ve yarı yönsel olarak ikiye ayrılabilir. Tam yönsel kavşaklar sola dönüş hareketlerinde doğrudan bağlantı sağlar. Yarı yönsel kavşaklar da ise en az bir doğrudan bağlantı için en bir döngü rampası kullanılır (Tunalıoğlu, 2005).



Şekil 1.12. Yönlendirici kavşaklar (KGM, 2005)

Şekil 1.12 ile yönlendirici kavşak gösterilmiştir

Farklı düzeyli kavşakların avantajları

- Kapasitesi daha yüksek kavşaklardır
- Daha güvenli geçişler yapılır
- Konforlu ve görüş açısında rahatlık sağlar. Bundan dolayı işletme maliyeti düşüktür
- Çakışmalar için ideal çözümler sağlayabilir
- Kademeli bir şekilde inşa edilebilir
- Kapasitesi fazla olan yollar için etkilidir

gibi avantajları vardır (Güldamlası, 2007).

Farklı düzeyli kavşakların dezavantajları

- Yüksek maliyet
- Engeli arazi olmasa bile rampa oluşturur
- Karmaşık çözümler ortaya çıkarır

gibi dezavantajları vardır (Güldamlası, 2007).

1.2. Kavşaklarda Sinyalizasyon

Kavşaklarda sinyalizasyonu daha çok ayrı ve eşgüdümlü sistemler olarak iki ayrı şekilde incelenebilir (Murat, 2001)

1.2.1. Ayrık sinyalizasyon sistemleri

Bu sistemlerde, etrafında bulunan herhangi bir diğer sinyalizasyon sistemi ile bağlantısı olmayan ve de başka bir sinyalizasyonun etkilemediği bir sinyalizasyon sistemidir. Ayrık sinyalizasyon sistemlerde devre uzunlukları olabildiğince kısa ayarlanmalıdır. Yaklaşık olarak 35 ile 60 saniye tavsiye edilir. Ama trafik hacmi yüksek olan kavşaklarda bu süre trafik hacmi ile doğru orantılı olarak artar. Bu sinyalizasyon sistemlerini dört ayrı sınıfa ayırabiliriz (Murat, 2001).

- Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi
- Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi
- Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi
- El ile kumandalı sinyalizasyon sistemi

1.2.1.1. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi

Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinde, farklı taraflarda gelen hem taşıt hem de yaya trafiğine önceden zaman programına uygun bir şekilde taşıt ve yayaların geçiş sıralarını sağlar. Trafik akımı günün her saatinde birçok kavşak da farklı özellikler gösterir. Bu farklılıklara uygun bir şekilde sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi, günün farklı saatlerindeki ve sene içerisindeki farklı günlerdeki istatistikleri kullanarak otomatik bir şekilde değişen farklı programlar uygulanıp yerel belleğe kaydedilir. Bu uygulamaların amacı trafik akımını en iyi hale getirmektir. Bu yöntem herhangi bir kavşakta

oluşabilecek trafik yükünü kontrol etmek için basit bir yöntemdir. Diğer sistemlere kıyasla ayrıklı sinyalizasyon sistemi trafik yükü varyasyonlarına tam olarak cevap veremez. Özellikle düzenli bir biçimde devam etmezse çakışma olan yerlerde zamanlamayı ayarlayamaz ve uygulayamaz. (Gonca ve Gülün, 2019).

1.2.1.2. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi

Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemleri gün içerisindeki farklı saatlerde trafik yoğunluğuna bakarak devre süreleri ve faz sıralarını hem denetleyip hem de değiştirebilir. Trafik sinyalizasyonunda genellikle trafik uyarmalı sinyalizasyon ya da sabit zamanlı sinyalizasyon tercih edilir ama bunların arasında daha çok trafik uyarmalı sinyalizasyon yöntemi tercih edilir (Şimşir vd., 2013).

Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi, yarı trafik uyarmalı sistem ve tam trafik uyarmalı sistem olarak daha çok iki türde uygulanır.

Yarı trafik uyarmalı sistem

Yarı trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemlerinde, kavşak yaklaşım kollarının bazılarında uyarı kabul edilir. Daha çok ana yol özelliklerine sahip olan yolda akım yönlerine devamlı bir şekilde yeşil ışık yakar. Tali yollara ise geçiş talebi ikazı verilmediği sürece cephelerin ışık sinyallerinde bir değişiklik görülmez (Başkan, 2004).

Tam trafik uyarmalı sistem

Tam trafik uyarmalı sinyalizasyon sisteminde, kavşak yaklaşım kollarında kesintisiz bir şekilde bir uyarı alır. Alınan bu uyarı ile geçiş hakkı ve süreleri yaklaşım kollarındaki trafiğin yoğunluğuna göre otomatik olarak ayarlar. Tam trafik uyarmalı sistemlerde, trafik yoğunluklarının neredeyse gerçek değerlerine göre geçiş hakkı sağlar. Bu sayede toplam gecikmeleri en az indirmek için daha uygun bir sistemdir (Murat, 2001).

1.2.1.3. Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi

Bu tip sinyalizasyon sistemleri, daha çok kavşaklarda, bazı bağlantı yollarındaki giriş-çıkışlarda ya da herhangi bir kavşak olmayan yerlerde uygulanır. Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemler hem kavşaklara yakın olmayan hem de yaya trafiği fazla olmayan

yerlerde bu sistem kurulur. Bu sayede yayalar için geçiş hakkı verilir. Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemlerinde araçların geçiş üstünlüğü olan yerlerde GEÇ tuşuna basılarak bu hakkı yayalara verir (Çevik, 2011).

Bu tip sistemleri sadece kavşaklara uzak yerlerde kullanılmaz. Aynı zamanda kavşaklarda da kullanabiliriz. Hem gecikmeleri hem de zaman kaybını azaltmada özellikle sabit zamanlı kavşaklarda bir yayadan ikaz gelmediğı zaman belirli yaya geçişleri için kırmızı ışık yanacaktır. Ama yaya eğer bu geçiş kullanmak isterse GEÇ tuşunu kullanarak bir müddet sonra yaya için yeşil ışık yanacaktır (Çevik, 2011).

1.2.1.4. El ile kumandalı sinyalizasyon sistemi

Herhangi bir kavşaktaki ışıklıları kumanda tablosuna bağı bir şekilde ışıkların yönetilmesini sağlar. “El ile kumandalı sinyalizasyon sistemi” olarak isimlendirilen sistem, özellikle sabit zamanlı olarak kurulan ancak bazı vakitlerdeki trafik akımlarının ortalamalarının sık sık dalgalanma olması durumunda kavşaklarda kullanılır. “Manuel sistem” olarak da isimlendirilebilir. Bu sistem aynı zamanda hem yaya uyarmalı hem de trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemine benzemektedir. Lakin talepler dışardan gözlemlerle değerlendirilir. Özetle el ile kumandalı sinyalizasyon sistemleri trafik polislerinin el ve kol ile yönlendirmesi yerine ışıkların kullanılmasıdır (Başkan, 2004).

1.2.2. Eşgüdümlü sistemler

Aralarında uzun mesafe olmayan kavşakların uyumlu bir şekilde farklı biçimlerde uygulamaların da olabileceğı gibi genellikle koordine sinyalizasyon sistemi diye de isimlendirilebilir. Bu sistemde ilk olarak bir amaç ortaya konmalı. Daha sonra sistemin tasarımına geçilmelidir. Örneğın sürekli olarak akmakta olan trafiğı belirli hızla devam ettirmekse yeşil dalga sistemi tercih edilebilir.

Eş güdümlü sinyalizasyon sistemler, aynı zamanda aralarındaki mesafenin kısa olduğı sinyalizasyon kavşaklarda oluşan taşıt kuyruklarının, kavşak alanına taşınmaması için koordine edilir. Eşgüdümlü sistemler yol üzerindeki trafik akımı, ardışık bir şekilde bulunan sinyalizasyon kavşakları kullanarak bilgisayar kontrollü ayarlanır. Bu sayede taşıtların durma, bekleme ve yol verme sürelerini düzenlemeye çalışır. Böylece;

- Ulaşım güvenliği artar
- Kapasite kullanımında artış
- Gecikme azalır
- Yakıt tasarrufu
- Seyahat süresi azalır ve konfor artması

gibi durumlar sağlanmış olur (Ghasemlou, 2012).

1.2.3. Kavşaklarda sinyalizasyon sisteminin gerekliliği

Sinyalizasyon sistemlerinin en önemli amacı sinyalizasyon kavşaklarda trafik kazalarını ortadan kaldırmak ve güvenliği sağlamaktır. Yanlış bir şekilde kurulan sinyalizasyon sistemi, güvenliği azaltabilir ve gecikmeye yol açabilir. Aynı zamanda sinyalizasyon sistemi, maliyetinden dolayı tüm kavşaklarda kullanılması gerekli değildir. Fakat işaretlemeler yetersiz kalıyorsa yani kavşaklarda kazalar, geçiş düzensizliği ve gecikmeler yaşıyorsa sinyalizasyon sistemi kurulmalıdır. Ana yola, yan yoldan güvenli bir şekilde giriş sağlanamıyorsa ya da yaya geçişlerinin güvenliği için sinyalizasyon kullanılması çok idealdir. Kavşaklarda düzeni sağlamak ve güvenlik için genellikle sinyalizasyon sistemleri kullanılır. Taşıt ve yaya yoğunluğunun fazla olduğu kavşaklarda en uygun bir şekilde trafiğin akışını sinyalizasyon sistemleri ile sağlanır. Trafikte, sinyalizasyon sistemlerinin tercih edilmesinin nedeni trafikte istenmeyen olumsuz durumları azaltmak için uygun yöntemdir (Camcı, 2019).

1.3. Araç Gecikme Hesabında Kullanılan Yöntemler

Araç gecikme hesabı üç şekilde sınıflandırılabilir (Savaş, 2019).

- Avusturya (Akçelik) Yöntemi
- Webster Yöntemi
- HCM 2000 Yöntemi

1.3.1. Avusturya (Akçelik) yöntemi

Bu yöntem kullanılarak sinyalizasyon kavşakların trafik kapasitesi ve zaman gerekleri analizi yapılmaktadır. Avusturya yöntemi ile geleneksel tekniklere değişiklikler kazandırmıştır. Avusturya yöntemi ile, faz-ilişki metot yerine akım-ilişki tercih edilmektedir. Bu

değişikliği faz kayıp zamanı yerine akım kayıp zamanının kullanımı da söylenebilir. Aynı zamanda Avusturya yöntemi ile akımlar ve fazların temel içerikleri tanıtılır. Yani doymun akım, etkin yeşil süre, kayıp süre, akım oranı ve doymunluk derecesi parametreler tanımlanmıştır (Dağüstü, 2010).

Avusturya yöntemine göre, akım içerisindeki araçların ortalama gecikmelerini hesaplamak için öncelikle akım değerin sebep olduğu kuyruk mesafesi hesaplanmalıdır. Bu değeri ise Denk. 1.1 kullanılarak hesaplanır (Savaş, 2019).

$$N_0 = \frac{QT_f}{4} \left(z + \sqrt{z^2 + \frac{12(x+x_0)}{QT_f}} \right) \quad (1.1)$$

Eğer $x_0 > x$ ise N_0 değeri sıfır alınmalıdır.

N_0 : Araç türünden ortalama kuyruk uzunluğu (en az iki şerit varsa her şeritteki araçların toplam sayısı)

Q : Araç/saat cinsinden kapasite

T_f : Akım süresi

QT_f : akım süresince maksimum geçen araç sayısı

X : Doymunluk derecesi

Z : $x-1$

X_0 : Kuyruğun yaklaşık 0 olduğu maksimum doymunluk derecesidir. Denk. 1.2 ile hesaplanır.

$$x_0 = 0.67 + sg/600 \quad (1.2)$$

s : Araç/saniye cinsinden doymun akım

g : etkin yeşil süre

Toplam gecikme Denk. 1.3 ile hesaplanır.

$$D = \frac{qc(1-u)^2}{2(1-y)} + N_0x \quad (1.3)$$

D: Toplam gecikme

gc: ortalama araç sayısı (q = araç/saniye biriminde akım)

c: Saniye olarak devre süresi

u: Yeşil zaman oranı (g/c)

y: Akım oranı (g/s)

Denk. 1.4 de ise her aracın ortalama gecikmesi hesaplanır.

$$d = D/q \quad (1.4)$$

D: Toplam gecikme

q: araç/saniye olarak akım değeri

1.3.2. Webster (İngiliz) yöntemi

Sinyalize bir kavşaktaki yaklaşım kolundan geçen trafik hacmi, araçların efektif yeşil süre ve tanımlanan yeşil ışık süresi esnasında durma noktasından geçen en fazla araç oranıyla ilişkili olarak değişim gösterir. Daha önceden ayarları tanımlanmış sinyalizasyonda ortalama gecikmeyi hesaplamak için farklı trafik akımları, doymun akım değeri ve sinyal fazları ele alınarak tekil yaklaşım kolundaki ortalama gecikmeyi Denk 1.5 ile hesaplayabiliriz (Savaş, 2019).

$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0.65(C/q^2)^{1/3} x^{2+5\lambda} \quad (1.5)$$

d: her koldaki her araç için ortalama gecikme

λ : Etkin yeşilin devre süresine oranı

x: doymunluk derecesi

C: devre süresi (sn)

Q: Her koldaki akım (ta/sa)

Doygun akım derecesi, akımın en fazla olduğu akıma oranı olarak ifade edilir. Denk. 1.6 ile hesaplanır.

$$x = \frac{q}{\lambda_s} \quad (1.6)$$

q: Trafik hacmi

s: Doygun akım

1.3.3. HCM-2000 yöntemi

Bu yöntem, gecikme değerlerini hesaplamak için 1985 yılında ortaya çıkmıştır. HCM 2000 yöntemi devamlı bir şekilde güncellenir. Bu yöntemle göre şeritteki ortalama gecikme Denk. 1.7 deki formülle hesaplanabilir.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (1.7)$$

d: Taşıma başına kontrol gecikmesi (sn/ta)

d₁: Üniorm varışlar kabulüyle üniorm kontrol gecikme (sn/ta)

PF: Üniorm gecikme dizisi düzeltme faktörü (sinyal süreci etkilerini açıklamak için)

d₂: Rastgele varışların ve doygun akımdaki kuyrukların etkisini açıklamak için eklenen gecikme

d₃: Tüm araçları etkileyen gecikme değeri

1.4. Hizmet Düzeyi

Hizmet düzeyi, yoldaki işletme koşullarını ifade etmek için tercih edilmiş bir kavramdır. Hız ve seyahat süresi, konfor, güvenlik ve yolculuk süresi gibi niteliklerle hizmet düzeyi belirlenir. Bu kavram ilk defa 1965 senesinde Karayolları Kapasitesi El Kitabında (HCM) belirtilmiştir. A, B, C, D, E, F gibi harflerle hizmet düzeyi ifade edilir. En iyi hizmet düzeyi A, en kötü hizmet düzeyi F harfleri ile ifade edilmektedir.

A Hizmet Düzeyi: A hizmet düzeyinde gecikme on saniye veya on saniyeden daha az olması durumudur. Bu hizmet düzeyinde sürücülerin manevraları çok fazla bir şekilde

serbesttir. Seyahat boyunca konfor yüksektir. Herhangi bir kısıtlama olmazsa ortalama 100 km/sa hız ile trafik akar. Her iki yönden saatte toplam 420 taşıttan az olur (Shalanova, 2017).

B Hizmet Düzeyi: B hizmet düzeyinde gecikme on saniye ile yirmi saniye arasında olması durumudur. Seyahat konforu A hizmet düzeyinde daha düşüktür. Ortalama 90 km/sa hız ile trafik akar. Her iki yönden saatte 420-750 arasında taşıt olan hizmet düzeyidir.

C Hizmet Düzeyi: C hizmet düzeyinde gecikme yirmi saniye ile otuz beş saniye arasında olması durumudur. Seyahat konforu daha da azalmıştır. Ortalama 85 km/sa hız ile trafik akar. Manevra serbestliği daha azalmıştır. Her iki yönden saatte 750- 1200 arasında taşıt olan hizmet düzeyidir.

D Hizmet Düzeyi: D hizmet düzeyinde gecikme otuz beş saniye ile elli beş saniye arasında olması durumudur. Dur-kalk hareketleri olur. Yola giriş ve çıkışlarda kuyruklar oluşur. Düz yollarda ortalama 80 km/sa hız ile trafik akar. Her iki yönden saatte 1200-1800 arasında taşıt olan hizmet düzeyidir.

E Hizmet Düzeyi: E hizmet düzeyinde gecikme elli beş saniye ile seksen saniye arasında olması durumudur. Sıkışıklık ve dur-kalk olayları vardır. Seyahat konforu oldukça düşüktür. Ortalama 40-80 km/sa arasında trafik akışı değişiklik gösterir. Her iki yönden saatte 1800-2800 arasında taşıt olan hizmet düzeyidir.

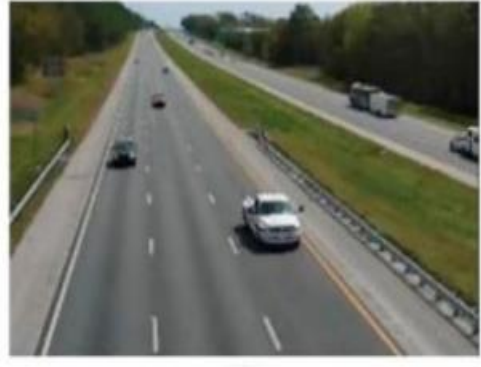
F Hizmet Düzeyi: F hizmet düzeyinde gecikme seksen saniyeden daha fazla olması durumudur. Bu hizmet düzeyinde yol, kapasitesinden daha fazla talebin olması sonucu oluşur. Manevra serbestliği yoktur. En olumsuz şartlara sahip hizmet düzeyidir.

Türkiye’de yol yapımında en uygun hizmet düzeyi C hizmet düzeyidir. A ve B hizmet düzeyi yollar yüksek maliyetli olur. D hizmet düzeyi kısa zaman sonra artan taşıtlar nedeniyle yetersiz kalacaktır. Bu da E hizmet düzeyine geçmesiyle sonuçlanacaktır. Bu durum trafik akımını karasız kılar ve kötü işletmeye sebep olur. Bundan dolayı bu durum kabul edilemez (Shalanova, 2017).

Şekil 1.13 ile hizmet düzeyleri gösterilmiştir.



A



B



C



D



E



F

Şekil 1.13. Hizmet düzeyleri (Demiriz, 2019)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Özturan (2006) tarafından yapılan çalışmanın amacı, AIMSUN simülasyon programı kullanılarak Fatih Sultan Mehmet Köprüsünün gişelerinde oluşan beklemleri en aza indirmek, yakıt tüketiminden tasarruf etmek, hava kirliliğini azaltmak ve yaşam kalitesini artırabilmek gibi problemlere çözümler üretebilmek. Özturan (2006) tarafından yapılan çalışmanın birinci kısmında model için girdi verileri toplanmış ve bu veriler için analiz yapılmış, trafik ağı modeli kurularak çalışmanın gerçekliği ifade edilmiştir. İkinci bölümde uygun çözüm olabilecek başka gişe tasarım tercihleri oluşturulmuş ve benzetim yöntemi kullanılarak analizler yapılmış. Performans ölçüm verileri için belirlenmiş gişe taşıt geçiş sayıları, sistemden çıkış yapan taşıt sayısı, toplam gecikme, yakıt tüketimi ve hava kirlilik değerleriyle alakalı olan benzetim çıktı verileri belirlenmiş ve kaydedilmiştir. Çalışmanın son kısmında ise tercihlerden elde edilmiş olan veriler değerlendirilip istatistiki analiz yöntemiyle performans ölçüm verileri temel alınarak tercihler kıyaslanmıştır. Ek şeridin kaldırıldığı seçenek ise şu anki duruma kıyasla açık bir şekilde iyileşme olmuştur. Benzin tüketimi %61 düşmüş, sistemden çıkış yapan taşıt sayısı %2 yükselmiş, gaz emisyonu %76 düşmüş, toplam gecikme %95 azalmış ve gişelerden geçiş yapan taşıt sayısı ise %2 yükselmiştir.

Burghout vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, mezoskopik bir modelle daha geniş bir alanı daha az ayrıntılı olarak simülasyon yapılırken belirli ilgi alanlarına mikroskobik simülasyon uygulayan hibrit mezoskopik-mikroskobik bir model sunmaktadır. Hibrit bir modelin farklı ayrıntı düzeylerinde modeller arasında tutarlı olması için önemli gereksinimler tanımlanır. Bu gereksinimler ağ ve rota seçimi tutarlılığından mikroskobik ve mezoskopik alt modellerin sınırlarındaki trafik dinamiklerinin tutarlılığına kadar değişir. Bu gereksinimleri karşılayan bir entegrasyon önerilmektedir. Entegrasyon çerçevesinin uygulanması ve çeşitli entegrasyon sorunlarının çözümünü göstermek için bir hibrit modelleme kullanılır. Hibrit model, mikroskobik bir trafik simülasyon modeli olan MITSIMab ile yeni geliştirilen bir mezoskopik model olan Mezzo'yu entegre ediyor. Sonuçlar hem mikroskobik hem de mezoskopik modellerin entegre edilmesinin önemini vaat etmiş ve desteklemiştir.

Quiroga ve Bullock (1999) tarafından yapılan çalışmada, doğrusal olarak referans alınan global konumlandırma sistemi verilerini kullanarak sinyalizasyon kavşaklarında gecikmeyi

ölçmek için yeni bir metodoloji sunmaktadır. Metodoloji, kontrol gecikmesini (yavaşlama gecikmesi, durma gecikmesi ve hızlanma gecikmesini içeren) tahmin eden yeni modelleri değerlendirmek için kullanılabilir. Gecikmenin ana bileşenleri bir seyahat süresi çalışmasının mesafe-zaman, hız-zaman ve ivme-zaman diyagramlarının analiz edilmesiyle belirlenmiştir. Prosedür, kritik gecikme noktalarını tespit etmek için hızları ve ileri ve geri hızlanma algoritmalarını kullanmıştır. Durma gecikmesi ile kontrol gecikmesi ilişkisi doğrusal bulunmuştur. Böyle bir ilişkinin başlangıç noktasından geçmediği ve kontrol gecikmesi elde etmek için durdurulmuş gecikme süresine bir yavaşlama-hızlanma gecikme değerinin eklenmesi gerektiği bulunmuştur.

Ozan vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’ de şehir içi trafiğinde genellikle tercih edilen eşdüzey kavşaklardan olan denetimsiz eşdüzey kavşakların performansları incelenmiştir. Bu sebep ile Aydın Adnan Menderes Üniversitesi girişi ve etrafında yer alan üç kavşak SIDRA Intersection ile modellemesi yapılmıştır. Bu kavşaklardaki trafik sorunlarını minimize etmek için çözümler üretip performansları kıyaslanmıştır. Performans karşılaştırmaları yapılırken gecikme değeri ve doygunluk derecesi dikkate alınmıştır. Analizlerin sonucunda ise SIDRA Intersection yazılımında kullanılan kritik aralık kabulü yönteminin ana parametreleri olarak Türkiye için tavsiye edilen değerler kullanılmıştır. Sonuç olarak, getirilen çözüm önerileri sayesinde bu kavşakların performansları yüzde 38 ile yüzde 50 arasında iyileşmeler olacağı tespit edilmiştir.

Bayata ve Bayrak (2018) tarafından yapılan çalışmada, Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü’ nün yapmayı düşündüğü bir kavşak noktasının bölgedeki trafik üzerindeki etkiler incelenmiştir. Planlan bu kavşak, Erzurum ve Bingöl arasındaki devlet yolu ve Atatürk Üniversitesi Kampüsünü bu yola bağlayan bir noktada planlanmıştır. Şu an ki bulunan mevcut durum ve planlanmış olan yeni durumun modellemesini VISSIM mikro-simülasyon programı kullanılarak yapılmıştır. Aynı zamanda seyahat süresi, kuyruk uzunluğu ile CO salınımı, NO_x salınımı, VOC (uçucu organik bileşenler) salınımı ve yakıt tüketimleri kıyaslanmıştır. Yapılan analizlere bakılınca, seyahat süresi ve gecikme yüzde 35, kuyruk uzunlukları yüzde 83, emisyon değerlerinde yüzde 23 oranında iyileşmeler tespit edilmiştir.

Li ve Ranjitkar (2015) tarafından yapılan çalışmada, mevcut VSL kontrol algoritmasına alternatif olarak bulanık mantık tabanlı VSL kontrol algoritması önerilmektedir. Önerilen bu algoritma, öznitelik alanlarının üst üste binen aralıklara ayrılmasını sağlamak için

keskin kümeler yerine bulanık kümeler kullanılmıştır. Bulanık kümeler kullanılarak yapılan ayrıştırma, mevcut VSL algoritmalarında kullanılan keskin ayrışmaların neden olduğu duyarlılık sorununun üstesinden gelinebilir. Yapılan simülasyon sonuçları, tavsiye edilen algoritmanın, kontrolsüz senaryoya kıyasla kritik tıkanıklık kapasitesi %6,42 ve toplam seyahat süresinin %12,39 azalmasıyla otoyol sisteminin verimlilik performansını artırmak için mevcut durumdan daha iyi bir performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Moridpour vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, ağır taşıt hareketlerinin trafik üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ağır taşıtların sayıları küçük yüzdelerle ifade edilse de etkileri yüksektir. Bu taşıtlar hem hızlanma ve yavaşlama hem de fiziksel boyutlarından dolayı trafik akışında bazı etkiler bırakır. Moridpour vd. (2015) tarafından yapılan çalışmanın amacı, ağır taşıtlar ve binek otomobillerin çevresindeki trafik özelliklerini incelemektir. Analiz, Kaliforniya'daki I-80 otoyolundaki verileri kullanarak yoğun trafik koşullarına (hizmet düzeyi E) odaklanmıştır. Sonuçlar, ağır araçların binek araçlara nazaran ön ve arka boşlukları daha fazladır. Bunun sebebi ise ağır taşıtların manevra kabiliyeti sınırlı olması ve arkadaki araç sürücülerinin kaygısı olabilir. Ek olarak ise ağır taşıt sürücülerini hızlarını sabit olarak sürdürürler. Çalışmada aynı zamanda AIMSUN trafik simülasyon ile ağır taşıtların, toplam seyahat süresi ve şerit değiştirme sayıları gibi trafik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlara göre şeritte ağır taşıt sayısı artarsa seyahat süresinde artar. Ağır taşıtların ortalama seyahat süresine etkisini yansıtmak için, ağır taşıtların yüzdesi ile ilgili bir terim iki farklı seyahat süresi denklemine, Toplu Yollar Bürosu ve Akçelik denklemlerine sokulmuştur. Sonuç olarak ağır taşıtlar için özel bir terimin kullanılması seyahat süresine %10'dan fazla etki edebileceği tahmin edilmiştir. Son olarak, bu şeritte daha ağır taşıtların olması durumunda binek araçların şerit değiştirme manevraları artacaktır. Bu durum ise trafik yoğunluğunun artmasına neden olacaktır. Çok sayıda şerit değiştirme manevraları olursa eğer trafik kazalarında artış olabilir ve trafik güvenliği azaltabilir. Sonuçlar ise ağır taşıtların yüzdesi toplam trafiğin %30'na kadar artarsa, kaza ihtimallerinde %5 oranında artış olduğu gözlenmiştir.

Erol (2018) tarafından yapılan çalışmada, şehir içi ulaşımında genellikle tercih edilen ışıklı ve modern dönel kavşakların gecikme süreleri ve hız verileri araştırılmıştır. Öncelikle mevcut durumu ışıklı kavşak olan Emniyet Kavşağı Vissim programı ile benzetim yapılarak performans analizi yapılmıştır. Performans iyileştirmesi için ilk

olarak kavşağın ışık süreleri TRANSYT-7F programında optimize edilmiştir. Daha sonra ise mevcut durumdaki faz değiştirilip bulunan veriler kıyaslanmıştır. Devamında bu kavşağı modern dönel kavşak şeklinde tasarlanarak modellenmiş ve performans verileri Vissim programı kullanılarak analiz yapılmıştır. Bir sonraki aşamada ise mevcut durumu modern dönel kavşak olan Albayrak Kavşağı Vissim benzetim yardımıyla analiz esnasında şoför davranışlarını tanımlayan verilerin en ideal değerleri tespit edebilmek için iki seviyeli çözüm algoritması geliştirilmiş ve kalibrasyon çalışması yapılmıştır. Çalışmalar sonucu bulunan veriler kullanılarak Albayrak Kavşağı için benzetim yapılmıştır. Aynı zamanda söz konusu olan kavşak ışıklı olarak modellenmiş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Bu iki kavşağın trafik hacmi, ağır araç oranı ve sola dönüş oranlarına bakılarak üç senaryo oluşturulmuş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Sonuç olarak modern dönel kavşakların trafik hacminin belirli bir değerine kadar gecikme süresi ve hız verileri açısından ışıklı kavşaklara kıyasla performansının daha üstün olduğu tespit edilmiştir.

Tanyel ve Yayla (2010) tarafından yapılan çalışmada, İzmir’de yer alan bazı kavşaklardaki verilerden faydalanılarak, çok şeritli dairesel adaya sahip olan kavşakların kapasite hesap yöntemleri hakkında konuşulmuştur. Öncelikle kapasite ve performans hesaplamak için tercih edilen kritik aralık kabul yöntemi hakkında araştırma yapılmış. Ters öncelik ve aralık zorlamanın etkisi üzerinde durulmuştur. TRL yöntemi gösterilerek olabilirliği tartışılmıştır. Bu çalışmada yeni bir bağıntı tavsiye edilmiştir. Bu bağıntı regresyon analizine dayanmaktadır. Çalışmanın sonunda kritik aralık yöntemi ile regresyon analizi yöntemi kıyaslanmıştır. Bu iki yöntem de kabul görülecek neticeler vermiştir. Fakat sonuç olarak daha fazla örneklerde incelemeler yapılmasına karar verilmiştir.

Mutlu (2019) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’nin nüfus ve trafik bakımından en yoğun illeri olan İstanbul, İzmir ve Bursa’yı bağlayan yolların ortasında bulunan Balıkesir şehrindeki trafiğin sebep olduğu emisyon değerleri araştırılmıştır. Balıkesir şehir merkezinde yer alan 24 kavşak incelenmiş ve bu 24 kavşaktan geçiş yapan araçlar sayılmıştır. Bu veriler COPERT programı kullanılarak incelenmiş ve emisyon değerleri hesaplanmıştır. Bu kavşaklardaki oluşan trafik sonucunda senede 682 ton CO ve 133 ton NO_x salınımı olduğu tahmin edilmiştir. Şehir merkezinde yer alan İzmir-Bursa-İstanbul yol hattında yer alan kavşaklarda trafik yoğunluğu daha yüksektir. Bunun sonucu olarak CO ve NO_x salınımı ile birlikte yakıt tüketimi de yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışkanelli ve Tanyel (2018) tarafından yapılan çalışmanın amacı, ışıklı kavşakların kapasitesini tespit etmede kullanılan doygun akım değerinin incelenmesidir. İzmir, Bursa ve Denizli şehirlerinde bulunan on kavşaktaki değerlerden faydalanmıştır. Bu değerlerden faydalanılarak sinyalize kavşaklardaki uygun doygun akım değeri ve doygun akıma etki eden parametreler tavsiye edilmeye çalışılmıştır. Analizler sonucunda uygun doygun akımı bir saate şeritten geçen otomobil sayısını 1720 olduğu bulunmuş ve sinyalize dönel kavşaklar için bu değer 1634 olduğu hesaplanmıştır. Aynı zamanda ağır taşılar, sağa ve sola dönüş yapan taşıtlar için “Eşdeğer Otomobil Birim” değeri tavsiye edilmiştir.

Kopal (2011) tarafından yapılan çalışmada, Boğaziçi Köprüsü O-1 yolunda Anadolu’dan Avrupa’ya geçiş doğrultusuna katılım kollarına sahip olan Beylerbeyi, Acıbadem, Göztepe ve Altunizade bölgelerine ait kısımlar araştırılmış ve aynı zamanda aynı yoldaki hız yönetimiyle köprüdeki trafik sıkışıklığını daha iyi seviyelere taşımak için tavsiyeler vermeyi hedeflemiştir. Çalışmanın ikinci kısmında hız, hacim ve yoğunluk gibi kavramlara değinilmiş, trafik akımı ve trafik sıkışıklığı anlatılmıştır. Üçüncü kısımda trafik simülasyonu anlatılmış ve VISSIM mikrosimülasyon programı üzerinde durulmuştur. Dördüncü kısımda öncelikle belirlenmiş olan bölgedeki trafik sıkışıklığı mikrosimülasyon kullanılarak modellenmiş. Model kalibre edilmiş ve modeldeki belirlenmiş bölgelerde hız yönetimi yöntemi kullanılmış ve seçilen bölgedeki yolun performansı incelenmiştir. Bu bölgedeki şu an ki duruma göre hız 60 km/sa olduğunda, her araç için gecikmede ortalama %60 azalma olmuştur. Şu an ki var olan durumda her araç için ortalama hız 23,3 km/sa hesaplanmıştır. 60 km/sa hız yönetimi yöntemi ile hızın %76 artarak 412 km/sa ve toplam seyahat süresinde ortalama %38 azalma olduğu hesaplanmıştır.

Erda (2018) tarafından yapılan çalışmada, otonom taşıtların trafik yönetim stratejileri altında olan bir ağda olduklarında bu taşıtların artıları ve eksileri üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Simülasyon modelinde PARAMICS programından yararlanılmış. Bu program, taşıtların ve yolların çeşitli kalibre niteliklerinin girilmesine yarayan mikroskobik benzetim yazılımıdır. Bu tez çalışması için iki nokta üzerinde Şerit Kontrol Sinyallerine sahip olan benzetim modeli yapılmıştır. Kurulan bu benzetim modeli trafik kazası esnasında, otonom taşıt katılımını yaparak doksan ayrı senaryo için taşıtların seyahat süreleri ve hızları incelenmiştir. Yapılan analizlerde üç şeritte 3000 ta/sa olduğunda en ideal iyileştirmelerin olduğu belirtilmiştir. Şerit kontrol sinyalleri

uygulanmasının olmadığı zamanlarda otonom taşıt oranı yüzde sıfırdan yüzde yüze doğru değiştikçe en uygun otonom taşıt senaryosunda, bu taşıtların seyahat süresinde %20.26 azalma ve ortalama hızda ise %25.38 artış olmuştur. Bu taşıtların olmadığı en uygun senaryoda ise Şerit Kontrol Sinyalleri seyahat süresi %16.05 azalmış ve hız %19.08 artmıştır. Şerit Kontrol Sinyalleri ve otonom taşıtlar aynı anda olduğunda ve benzetim modelindeki senaryoların en ideali ile Şerit Kontrol Sistemi ve Otonom taşıt senaryosunda seyahat süresinde %21.33 ve hızda ise %27.08 iyileşmeler olmuştur.

Demiriz (2019) tarafından yapılan çalışmada, Erzincan şehir merkezinde yer alan, trafiğin yoğun olduğu 14 kavşak incelenmiştir. Gecikme süresi, seyahat süresi, NO_x salınımı, CO₂ salınımı, kuyruk uzunluğu ve ortalama hız gibi değerler incelenerek bir sonuca ulaşılmıştır. Bu çalışmada AIMSUN simülasyon programı kullanılmıştır. Mevcut durum ve dört farklı senaryo uygulanmıştır. AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) ile ideal olan durum tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu, seyahat süresi %23 azalmış, gecikmeler %47 oranında azalmış, kuyruk uzunluğu %48 azalmış, NO_x salınımı %11 azalmış ve CO₂ salınımı %13 azalmıştır. Ortalama hız %30 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Bahçesaray, Işıkpınar, Emniyet, Dört Yol, Eski Terminal ve Tedaş kavşakları modern dönel kavşak olarak uygulanmış. SGK ve Terzibaba kavşakları Webster yöntemi ile optimizasyon, Hastane kavşağı ise ışıklı dönel kavşak olarak tasarlanmıştır.

Mengi (2019) tarafından yapılan çalışmada, bu bölgede oluşan ek trafik yükü ile şehirdeki ulaşımında yaşanan problemleri belirleyerek olası çözümler belirlemektir. Kavşakların birbirleri ile uyumu, trafik akışı ve faz ayarlanmasının önemini belirlemek için Erzincanpark Alışveriş Merkezi çevresinde çalışma yapılmıştır. Aynı zamanda Halitpaşa Caddesi boyunca yer alan kavşaklar üzerinde çalışılmıştır. Seyahat süresi, gecikme süresi CO salınımı, NO_x salınımı, VOC salınımı, yakıt tüketimi ve sinyal optimizasyonu gibi veriler üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Çalışmada en uygun durum olması için Yıldız ve Nedim Muradoğlu Kavşakları için modern dönel kavşak uygulanması sonucuna varılmıştır. En ideal ikinci durum, kavşakların göbeksiz kavşak olarak uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ergen Kavşağı için sinyalizasyon, göbeksiz kavşak ya da modern dönel kavşak olarak üç ayrı durum içinde verilerde bir farklılık olmadığı belirlenmiştir.

Özden (2019) tarafından yapılan çalışmada, AHP ve TOPSİS kullanılarak Antalya şehrinin Manavgat kazasında bulunan belirli otellerin müşterilerine vermiş olduğu hizmet

kaliteleri kıyaslanmıştır. Çalışmanın yapıldığı yerdeki yer alan bazı otellerdeki müşterilerin otel hakkında ve kişisel bilgileri hakkında müşterilere anketler yapılmış. Bu anketlerdeki veriler çok kriterli karar verme yöntemleri olan AHP ve TOPSİS ile incelenmiştir. Daha sonra TOPSİS kullanılarak otellerin müşterilerine vermiş olduğu hizmet kaliteleri değerlendirilmiş. Sonuç olarak yapılan bu değerlendirmede en yüksek puanı alan oteller sırasıyla O2, O10, O4, O7, O8, O5, O1, O9, O3, O11 ve O6 şeklinde belirlenmiştir.

Çilingir (2019) tarafından yapılan çalışmanın amacı, Borsa İstanbul’ da bulunan bazı firmaların ekonomik performanslarını incelemektir. Bu inceleme çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSİS yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada sekiz kriter ele alınmıştır. Bu yöntem başka çalışmalardan farklı bir şekilde senede iki defa hesaplama yapılmıştır. Elde edilen hesaplamaların sonuçlarına göre TOPSİS değerlerine bakılarak firmalardan iki farklı portföy elde edilmiş. Birinci portföyde en fazla değeri alan firmalar bulunurken, ikincisinde ise daha az değerleri alan firmalardan seçilmiştir. Bu çalışmanın sonucu olarak TOPSİS yöntemiyle yapılan analizler sonucu elde edilen verilere göre TOPSİS puanı fazla olan firmaların, TOPSİS puanı daha az olan firmalara kıyasla daha fazla getirisi olduğu tespit edilmiştir.

Ceylan (2018) tarafından yapılan çalışmada, çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS, ELECTRE ve Gri İlişkiler Analizi anlatılmıştır. Uygulama kısmında ise TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir. Çalışmada BIST30’ da işlem gören bazı şirketlerin 2010-2016 senelerindeki Karlık Oranları ve Dikey Yüzde Oranları çalışma verisi kabul edilmiştir. TOPSIS yardımıyla geçmişte belirlenmiş finansal analiz sonuçları kriter kabul edilmiş ve analiz yapılmıştır. Ceylan (2018) tarafından yapılan çalışmada uygulama üç kısma ayrılmıştır. Bu üç kısım içinde finansal analiz oranları aynıdır. Ama tercih edilecek olan kriterler üç kısımda da farklıdır. Birinci kısım da şirketlerin finansal analiz oranları bir sıraya koyulmuş. İkinci kısım da seneler kriter olarak belirlenmiş. Bu kriterlere göre sene şirketlerin birbirleri arasında sıraya koyulmuştur. Üçüncü kısımda şirketlerin senelik performansları sıraya koyulmuştur. Elde edilen verilere göre çok kriterli karar verme yöntemleri zaman ve maliyet kazancı sağlamıştır. Tek kişi veya bir ekip ile çalışılabilen hem öznel hem de nesnel olabilen analizler yapılabileceği gibi sonuçlara ulaşılmıştır.

Uncu (2006) tarafından yapılan çalışmanın amacı, mikrosimülasyonun faydalarına dikkat çekmek ve çalışma alanına doğrudan uygulama olmadan program üzerinde modelleme

yapılmasını göstermek hedeflenmiştir. Bu sayede yanlış olabilecek bir çalışmadan dolayı oluşabilecek maddi zararlar engellenmiş olabilir. Çalışmada Boğaziçi Köprüsü üzerinde Asya çıkışında bulunan 13 tane gişe incelenmiştir. Bu köprüde bulunan bu 13 gişe oluşan kuyruk uzunluğu ve gecikme gibi oluşan sorunlar bu alının verimli bir şekilde kullanılıyor mu ve gişe adetlerinin ödeme türüne göre yeterli sayıda mı gibi soruları ortaya koymuştur. Uncu (2006) tarafından yapılan çalışmada AIMSUN simülasyon programı kullanılmıştır. AIMSUN ile çalışma alanı simülasyon yapılarak modellenmiş ve farklı senaryolar modellenmiştir. Uncu (2006) tarafından yapılan çalışmanın sonucu olarak şu an bulun durum da taşıt kompozisyonunda otomatik geçiş sistemi olan gişeler fazla sayıda bulunduğu anlaşılmıştır. Nakit ödeme ile geçiş sağlanan gişelerin sayısı az bulunmuştur. Bu sebeple nakit ödeme yapılarak geçilen gişelerde kuyruk uzunluklarına sebep olmuştur. Buda verimliliği azalmasına neden olmaktadır. Mevcut taşıt kompozisyonunda sadece otomatik geçiş sisteminin %15' ten fazla yükselmesi esnasında otomatik geçiş sisteminin 1 yükseltilmesi küçük bir oranda yarar sağlayacakmış.

Kırımlı (2019) tarafından yapılan çalışmada, eş düzey kavşakların birbirlerine olan uzunluklarının kavşaklarda oluşturacağı etkiler incelenmiştir. Türkiye il merkezlerinde yer alan 61 güzergah ve 413 kavşak çeşitli sebeplerden dolayı kavşakların birbirlerine olan uzaklıkları farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışma alanı olarak Trabzon' un Ortahisar ilçesinin en yoğun trafiğe sahip yolları arasından biri seçilmiştir. PTV VISSIM ile simülasyon çalışması yapılmıştır. Belirlenmiş olan yolda ve aynı yol üzerinde 250m, 500m ve 750m uzunluklarında güzergahlarda kavşak uzaklıklarının kavşak verimliliği incelenmiştir. Kavşakların birbirlerine olan uzunluklarına bakılarak tasarlanan simülasyon verilerinde ort. CO emisyonu, ort. yakıt tüketimi, ort. taşıt gecikmesi ve hizmet seviyesi gibi değerlerde iyileşmeler olduğu belirlenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Yapılan bu tez çalışmasında, Erzincan şehir merkezi ile yeni terminal koridoru boyunca yer alan yedi sinyalize kavşak üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Seçilen bu güzergah yaklaşık olarak 4150 m uzunluğundadır ve şehrin en yoğun trafik akışının yaşandığı güzergahlardandır. Bu yoğunluk trafikte gecikme ve kuyruk uzunluğu gibi bazı sorunlara neden olmaktadır. Bu kavşaklar ve koridor Şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmanın yapıldığı koridor (Google Earth, 2020)

3.2. Yöntem

3.2.1. Trafik simülasyonu

Simülasyon, yaşamımızdaki verileri gerçekçi bir şekilde bilgisayar ortamına aktarılmasına denir ve son zamanlarda birçok alanda kullanılmaktadır. Trafik simülasyonu ise gerçek hayatta yer alan trafiğin bilgisayar ortamına aktarılması ve bazı veriler üzerinde analiz yapılmasıdır. Bu sayede trafik hacmi, kuyruk uzunluğu, ortalama hız, NO_x ve CO_2 salınımı gibi bazı parametrelerin değerleri hakkında önemli veriler elde edilir.

Trafik simülasyon modellerini mikroskobik, mezoskopik ve makroskopik olmak üzere üç ayrı şekilde incelenebilir. Mikroskobik simülasyon modelleme de ayrı olarak her taşıtın durumu eşit zaman aralıkları ile hesaplanır. Mezoskopik modellemede taşıtın yeni bir yol

ayrımından geçtiğinde hız-yoğunluk grafiğine göre yeni hız atanır. Mezoskopik yaklaşım taşıtların yolun bitişine erişmesi için geçen zamanı bir simülasyon adımıyla uygular. Bu sayede simülasyonu önemli bir şekilde hızlandırmış olacaktır. Makroskopik modelleme ise çıplak gözle görülebilen modeller şeklinde de ifade edilebilir. Fazla sayıda olan taşıtların hareketlerini ortalama hızı (v), trafik yoğunluğunu (k), trafik akışını (q) ve taşıt sayısı (N) şeklinde ifade edilir (Yılmaz, 2006).

Trafik simülasyonu için kullanılan programlara; AIMSUN, SIDRA, VISSIM, SUMO, DYNAMIT, TRANSIMS, ARTEMIS, THOREAU, MAINSIM gibi örnekler verilebilir. Yapılan bu çalışmada AIMSUN trafik simülasyon programı tercih edilmiştir.

Simülasyonun avantajları

- Daha düşük maliyet
- Hızlı bir şekilde sonuca ulaşma
- Saha çalışmalarından daha kolay bir şekilde veriler elde etme
- Geliştirilen tasarımların, ilerleyen zamanlardaki trafiğe olan etkilerini önceden tespit etmek.
- Trafik yönetiminde oluşabilecek karmaşıklardan uzak durmak

gibi avantajlara sahiptir (Zorer, 2003).

Simülasyonun dezavantajları

- Gerçekçiliği yansıtabilmek için girilecek olan veriler hatsız olmalıdır. Aksi halde hatalı sonuçlara ulaşılabilir
- Yetenek ve tecrübe şarttır
- Tüm problemlerin için farklı çözümler gerekmektedir

gibi dezavantajları vardır (Özçetin, 2019).

3.2.2. Simülasyon aracı: AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks)

AIMSUN (Kentsel ve kentsel olmayan yol ağları için gelişmiş etkileşimli mikroskobik simülatör) dünyada birçok ülkede tercih edilen bir trafik simülasyon programıdır. İlk

olarak küçük ölçekli (mikroskobik) simülasyon programı olarak çıkmıştır. Günümüzde ise orta ölçekli (mezoskopik) ve büyük ölçekli (makroskopik) modeller olarak da kullanılabilir. Bu simülasyon programı trafik ağlarını bilgisayar ortamına aktararak bu ağların simülasyonunu yapmak için geliştirilmiştir. AIMSUN taşıt takip modeline dayanmaktadır. Bu sebeple, çarpışmaları önleme, aracı takip etme modeline dayanmaktadır. Trafik giriş akışları ve dönüş hareketleri, varış noktası matrisleri ve rota seçim modelleri ile modellenebilir (Güven, 2019).

3.2.3. GEH analizi

Geoffrey E. 1970 senesinde GEH formülünü bulmuştur. Trafik tahmininde ve modelleme, trafik hacmi kıyaslamada ve trafik mühendisliğinde bu formülden faydalanır. GEH formülünde iki farklı veri kullanılarak istatistik yapılır. Bu formül Denk. 3.1 ile gösterilmiştir.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (3.1)$$

M: Model değeri

C: Gözlem değeri

GEH değeri daha çok 0-5 ya da 5-10 arasında bir değer olması istenir. Fakat bu değerlerin %80-85' i beşten düşük bir değer olması şarttır. 5-10 arası değer alırsa bazı incelemeler yapılması gerekebilir. Ondan fazla değer olursa kabul edilemez bir durum olur (Yiğit, 2019).

3.2.4. Webster yöntemi

Bu yöntem ile kontrole alınan sinyalize kavşakların faz ve periyot sürelerini için tercih edilen bir yöntemdir. İngiliz yöntemi olarak da bilinmektedir. Sinyalize kavşaklarda trafik akımı sinyaller ile durduğu için sürekli akım olmaz. Bu sebepten dolayı bu yöntem kesintili trafik akımını dikkate almaktadır. Bu yönteme göre sinyalize kavşağın kapasitesi, yeşil ışık bitene kadar geçiş yapabilen araç sayısı kadardır (Demiriz, 2019).

Bu yöntemde uygulanırken izlenecek adımlar sırasıyla;

- Kavşaktaki bir yön için sürekli yeşil yandığı varsayılarak bir şeritten geçilebilen en fazla trafik akımına doymun akım denir ve Denk. 3.2 ile belirlenir

$$s = s_0 N f_i \quad (3.2)$$

s: mevcut durumda kavşak doymun akımı

s₀: ideal şartlarda doymun akımı

N: şerit sayısı

f_i: düzeltme faktörü

- Kavşak kapasitesi Denk. 3.3 ile hesaplamaktadır

$$K = s(G/C) \quad (3.3)$$

K: kavşak kapasitesi

s: doymun akım

g: yeşil süre

C: periyod süresi

- Değişim fasılası tayini için kullanılması gereken formül Denk. 3.4 ile gösterilmiştir

$$Y_i = t + \frac{0.3H}{2a} + \frac{W+l}{H} \quad (3.4)$$

Y_i: i yönündeki boşaltım fasılası (saniye)

t: intikal-reaksiyon süresi(saniye)

H: araç hızı (metre/saniye)

a: fren ivmesi (4.6 m/sn² alınması uygundur)

W: hareket uzunluğu (metre)

l: araç uzunluğu (metre cinsindendir ve 6m alınması uygundur)

- Webster yönteminde etkin kullanım süreleri dikkate alındığından efektif yeşil süre kullanılmaktadır. Efektif yeşil süre Denk. 3.5 ile hesaplanmaktadır

$$g_i = G_i + Y_i - t_L = G_i + (y + r_n) - t_L \quad (3.5)$$

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_n : hep kırmızı süre (saniye)

- Minimum gecikme dikkate alınarak optimum periyot süresi Denk. 3.6 ile hesaplanmaktadır

$$C_0 = \frac{1.5L+5}{l-\sum x_i} + \frac{1.5(nl+r_n)+5}{l-\sum x_i} \quad (3.6)$$

C_0 : optimum periyod (saniye)

L : kayıp süre (saniye)

n : faz sayısı

l : kalkıştaki kayıp süre (saniye)

r_n : tüm kırmızı süre (genellikle 1 veya 2 saniye)

x_i : tasarım akımının i'inci fazdaki doyum akımına oranı

- Otomobil eşdeğer faktörü ile trafik kompozisyonu içerisindeki taşıtların otomobil hacmine dönüştürmede otomobil eşdeğer faktörü kullanılır

Tablo 3.1 ile otomobil eşdeğer faktörü verilmiştir.

Tablo 3.1. Otomobil eşdeğer faktörü

Vasıta türleri ve dönüşleri	Otomobil eş değer 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 ve Denk. 3.7 ve Tablo 3.2 ile hesaplanır

Tablo 3.2. Şerit kullanım faktörü

Şeritteki trafik akım yönü	Şerit sayısı	Şeridin kullanım yüzde sınırları	Şerit kullanım faktörü (U)
Sapmayan veya paylaşılan	1	100	1,00
	2	52,5	1,05
	≥	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

$$V = TSH * U = \frac{\text{Zirve Saat Hacmi}}{ZSF} * U \quad (3.7)$$

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

U: şerit kullanım faktörü (Tunç, 2003).

3.2.5. TOPSİS yöntemi

TOPSİS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Kriterler arasında en ideal tercihin seçilmesine olanak sağlar. Bu yöntem Hwang ve Yoon' nın çalışmaları ile 1981 senesinde geliştirilmiştir. TOPSİS, sonuçların kolay yorumlanması ve anlaşılabilirliği basit olması gibi avantajları olduğu için tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntem; mühendislik, işletme,

pazarlama ve üretim sistemleri gibi geniş kullanım alanlarına sahiptir. Bu yöntemde seçilen kriterin ideal çözüme uzak olması beklenmez. İdeal çözüme erişmek mümkün olmadığı durumlarda ideale en yakın olan tercih edilir. TOPSİS yöntemi excel yardımıyla altı aşamada sonuca ulaşılabilir (Çilingir, 2019).

Aşama 1: Karar Matrisi (A) Oluşturma

Karar matrisinde satırlar tercih edilebilecek seçenekler, sütun ise kriterleri göstermelidir. Bu başlangıç matrisi A matrisidir. Bu matris Denk. 3.8 ile gösterilmiştir (Özden, 2019).

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

m: Karar noktası sayısı

n: Değerlendirme sayısı

Aşama 2: Standart Karar Matrisi (R) Oluşturma

A matrisi elemanları ve Denk. 3.9 kullanılarak bulunur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (3.9)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Aşama 3: Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi (V) Oluşturma

İlk olarak değerlendirme ölçütlerinin önemine göre ağırlıkları Denk. 3.10 ve Denk 3.11 ile belirlenir.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (3.10)$$

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Aşama 4: İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümler

(V_{ij}) matrisine bakılarak en iyi değerler ideal çözümü (A^*) belirler ve Denk. 3.12 ile gösterilmiştir. En kötü değerler ise negatif ideal çözümü (A^-) belirler ve Denk. 3.13 ile gösterilmiştir.

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} \mid j \in J), (\min_i v_{ij} \mid j \in J') \right\} \quad (3.12)$$

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} \mid j \in J), (\max_i v_{ij} \mid j \in J') \right\} \quad (3.13)$$

Aşama 5: Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması

Seçeneklerin ideal çözüme uzaklığı (S_i^*) Denk. 3.14 ile gösterilmiştir. Negatif ideal çözüme uzaklığı (S_i^-) denk. 3.15 ile gösterilmiştir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (3.14)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3.15)$$

Aşama 6: İdeal Çözüme Göre Yakınlıklar ve Önem Önceliği

İdeal çözüme göre yakınlık (C_i^*) ideal ve negatif ideal çözüme uzaklıklar ile hesaplanır. Bu formül Denk. 3.16 ile gösterilmiştir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (3.16)$$

Elde edilen C_i^* değeri bire yakın olursa ideal çözüme yakın olur. Ama sıfıra yakınsa negatif ideal çözüme yakın olur. Sonuçlar hesaplanan değerlere bakılarak sıralanır (Özden, 2019).



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

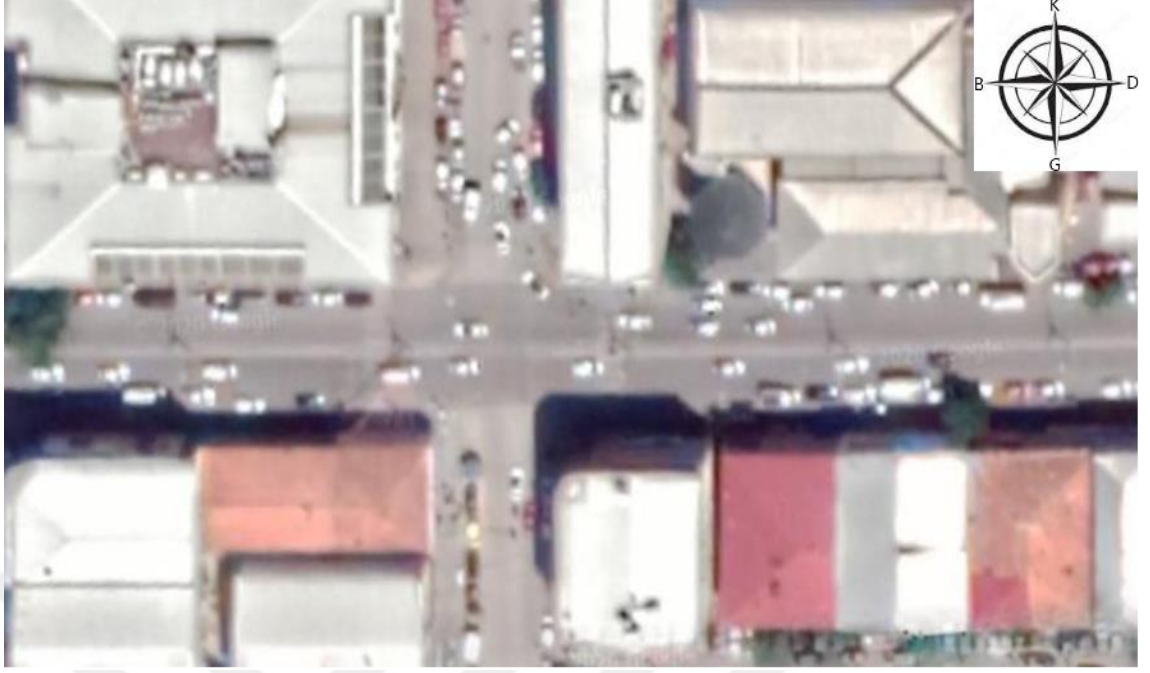
4.1. Çalışma Alanı

Bu tez çalışmasında, Erzincan şehir merkezi ve doğu girişi boyunca uzanan güzergah çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Belirlenen güzergahta bulunan yedi adet sinyalize kavşak incelenmiştir. Bu güzergah Erzincan trafiğinde en yoğun güzergahlarından biridir. Şehrin doğusunu şehir merkezine bağladığından ve artan taşıt sayısından dolayı bu güzergahta ek trafik yükü oluşmuştur. Bu nedenle bu güzergahta yer alan sinyalize kavşaklar incelenerek bu yük azaltılmak istenmiştir. Bu kavşaklar sırasıyla; Dört Yol Kavşağı, Merplaza Kavşağı, Eski Terminal Kavşağı, Terzibaba Kavşağı, Eski Polis Okulu Kavşağı, Tedaş Kavşağı ve Yeni Terminal Kavşağı'dır. Bu kavşaklar ve güzergah Şekil 4.1-4.8' de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Dört Yol Kavşağı (Google Earth, 2020)

Dört Yol Kavşağı, Erzincan şehrinin merkezinde yer alan sinyalize dönel kavşaktır. 13 Şubat Caddesi, Fevzi Paşa Caddesi, Ordu Caddesi ve Halit Paşa Caddesi Erzincan şehir merkezinin en yoğun trafik hacmine sahip caddeleridir. Bu caddeler Dört Yol Kavşağında birleşir. Bu nedenle Dört Yol Kavşağı şehrin en yoğun kavşaklarından biridir.



Şekil 4.2. Merplaza Kavşağı (Google Earth, 2020)

Merplaza Kavşağı, Dört Yol Kavşağı'ndan sonraki kavşaktır. Bu kavşakta sola dönüşler yasaktır. Sadece düz veya sağa dönüşlerin yapıldığı bir sinyalizasyon kavşaktır.



Şekil 4.3. Eski Terminal Kavşağı (Google Earth, 2020)

Eski Terminal Kavşağı, Merplaza Kavşağı'ndan sonraki kavşaktır. Eski Terminal Kavşağı sinyalizasyon dönel kavşaktır. Şehrin eski sanayi bölgesine ulaşım için tercih edilen güzergahlardan biridir.



Şekil 4.4. Terzibaba Kavşağı (Google Earth, 2020)

Terzibaba Kavşağı, Eski Terminal Kavşağı'ndan sonraki kavşaktır. Terzibaba Kavşağı sinyalize kavşaktır. Bu kavşakta ana cadde üzerindeki araçlar sağa dönüşleri kontrollü olarak yapmaktadır.



Şekil 4.5. Eski Polis Okulu Kavşağı (Google Earth, 2020)

Eski Polis Okulu Kavşağı, Terzibaba Kavşağı'ndan sonraki kavşaktır. Eski Polis Okulu Kavşağı sinyalize kavşaktır. Bu kavşakta ana cadde üzerindeki batı yönünden gelen araçlar sağa dönüşleri kontrollü olarak yapmaktadır.



Şekil 4.6. Tedaş Kavşağı (Google Earth, 2020)

Tedaş Kavşağı, Eski Polis Okulu Kavşağı'ndan sonraki kavşaktır. Tedaş Kavşağı sinyalize kavşaktır. Ada üzerinde sinyalizasyon bulunmamaktadır.



Şekil 4.7. Yeni Terminal Kavşağı (Google Earth, 2020)

Yeni Terminal Kavşağı, Tedaş Kavşağı'ndan sonraki kavşaktır. Yeni terminal Kavşağı şehrin girişindeki kavşaklardandır. Bu kavşakta çevre yolu ile birleşmektedir.



Şekil 4.8. Çalışmanın yapıldığı güzergah (Google Earth, 2020)

4.2. Veri Toplanması

Simülasyon kullanılarak yapılan modellemelerde en önemli unsur veri girişidir. Veri girişlerinin hatalı bir şekilde girilmesi durumunda simülasyon sonuçları gerçeği göstermeyecektir.

Yapılan bu çalışmada otomobil ve otobüs olmak üzere taşıt sayıları ve hareketleri aynı zamanda sinyalizasyon süreleri veri olarak alınmıştır.

4.2.1. Taşıt sayımları

Çalışmanın yapıldığı alanlardaki taşıt sayımlarında, türlerine göre otobüsler ile otomobil olmak üzere kavşaklarda yer alan gözlemciler ile yapılmıştır. Bu gözlemciler kavşaklardaki araçların hangi yönden gelip hangi yöne doğru kaç araç hareket ettiğini belirlemiştir. Sayımlar Pazartesi, Çarşamba, Cuma ve Pazar günleri sabah, öğle ve akşam olmak üzere üç ayrı saatlerde yapılmıştır. Yapılan sayımlar sabah 07:45-08:45, öğlen 12:00-13:00 ve akşam 16:45-17:45 aralıklarında yapılmıştır. Sayımlar sonucu en yoğun trafik pazartesi günü sabah olarak tespit edilmiştir.

Dört Yol Kavşağı için Tablo 4.1 otomobillerin hareket yönleri verilmiştir. Örneğin otomobil için batı yönünden gelip güneye hareket eden otomobil sayısı 66, güneyden gelip doğu yönünde hareket eden otomobil sayısı 68, doğudan gelip kuzeye hareket eden otomobil sayısı 52 ve kuzeyden gelip batıya hareket eden otomobil sayısı ise 71 olarak gösterilmiştir. Aşağıda verilen diğer tablolardaki araç sayıları aynı şekilde verilmiştir. Tablo 4.1-4.14 ile güzergahta bulunan kavşakların otomobil ve otobüs sayımları her kavşak için verilmiştir.

Tablo 4.1. Dört Yol Kavşağı otomobil sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	66	462	243	31
GÜNEY	8	68	229	123
DOĞU	170	28	52	448
KUZEY	313	186	43	71

Tablo 4.2. Dört yol Kavşağı otobüs sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	14	48	13	0
GÜNEY	0	13	29	12
DOĞU	16	0	11	49
KUZEY	33	12	0	16

Tablo 4.3. Merplaza Kavşağı otomobil sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	206	648	0	0
GÜNEY	0	138	360	0
DOĞU	0	0	158	482
KUZEY	442	0	0	100

Tablo 4.4. Merplaza Kavşağı otobüs sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	3	70	0	0
GÜNEY	0	3	4	0
DOĞU	0	0	4	70
KUZEY	3	0	0	5

Tablo 4.5. Eski Terminal Kavşağı otomobil sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	77	363	62	15
GÜNEY	0	83	92	61
DOĞU	113	4	36	511
KUZEY	249	135	3	55

Tablo 4.6. Eski Terminal Kavşağı otobüs sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	4	53	9	0
GÜNEY	0	2	22	12
DOĞU	4	0	7	67
KUZEY	9	4	0	8

Tablo 4.7. Terzibaba Kavşağı otomobil sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	9	389	175	5
GÜNEY	0	27	43	5
DOĞU	27	2	41	435
KUZEY	114	24	0	156

Tablo 4.8. Terzibaba Kavşağı otobüs sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	3	37	14	0
GÜNEY	0	0	0	1
DOĞU	2	0	6	56
KUZEY	0	1	0	19

Tablo 4.9. Eski Polis Okulu Kavşağı otomobil sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	4	335	40	12
GÜNEY	0	14	35	14
DOĞU	9	0	14	378
KUZEY	41	34	0	113

Tablo 4.10. Eski Polis Okulu Kavşağı otobüs sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	5	24	7	0
GÜNEY	0	1	1	5
DOĞU	0	0	3	49
KUZEY	2	2	0	7

Tablo 4.11. Tedaş Kavşağı otomobil sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	48	512	48	4
GÜNEY	4	144	172	56
DOĞU	96	5	70	460
KUZEY	62	228	3	4

Tablo 4.12. Tedaş Kavşağı otobüs sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	3	12	4	0
GÜNEY	0	2	3	2
DOĞU	2	0	2	14
KUZEY	1	2	3	3

Tablo 4.13. Yeni Terminal otomobil sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	15	283	-	12
GÜNEY	6	34	-	65
DOĞU	57	6	-	344
KUZEY	-	-	-	-

Tablo 4.14. Yeni Terminal otobüs sayımları

YÖNLER	GÜNEY	DOĞU	KUZEY	BATI
BATI	2	8	-	0
GÜNEY	0	3	-	6
DOĞU	1	0	-	8
KUZEY	-	-	-	-

Çalışma alanında bulunan yedi kavşaktaki otobüs ve otomobillerin hareket yönleri tablolar ile gösterilmiştir.

4.2.2. Oluşturulacak senaryolar

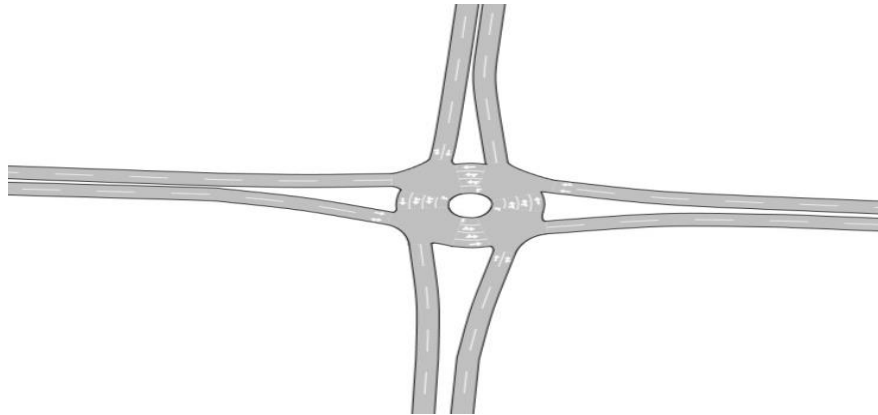
Bu çalışmada yedi farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryolarda mevcut durum, modern dönel kavşak, sinyalize dönel kavşak, yeşil dalga ve webster uygulamaları kullanılmak üzere yedi farklı senaryo incelenmiştir ve bu senaryolar Tablo 4.15 ile gösterilmiştir.

Tablo 4.15. Oluşturulacak senaryolar

Kavşak	Sen. 1	Sen. 2	Sen. 3	Sen. 4	Sen. 5	Sen. 6	Sen. 7
Dörtyol	Mevcut Durum	Modern Dönel Kavşak	Mevcut Durum	Modern Dönel Kavşak	Yeşil Dalga	Modern Dönel Kavşak	Modern Dönel Kavşak
Merplaza	Mevcut Durum	Webster	Webster	Mevcut Durum	Yeşil Dalga	Webster	Webster
Eski Terminal	Mevcut Durum	Mevcut Durum	Modern Dönel Kavşak	Modern Dönel Kavşak	Yeşil Dalga	Mevcut Durum	Mevcut Durum
Terzibaba	Mevcut Durum	Mevcut Durum	Sinyalize Dönel Kavşak	Mevcut Durum	Yeşil Dalga	Alt Geçit	Mevcut Durum
Eski Polis Okulu	Mevcut Durum	Sinyalize Dönel Kavşak	Mevcut Durum	Sinyalize Dönel Kavşak	Yeşil Dalga	Mevcut Durum	Mevcut Durum
Tedaş	Mevcut Durum	Webster	Modern Dönel Kavşak	Webster	Yeşil Dalga	Webster	Modern Dönel Kavşak
Yeni Terminal	Mevcut Durum	Mevcut Durum	Mevcut Durum	Mevcut Durum	Yeşil Dalga	Mevcut Durum	Sinyalize Dönel Kavşak

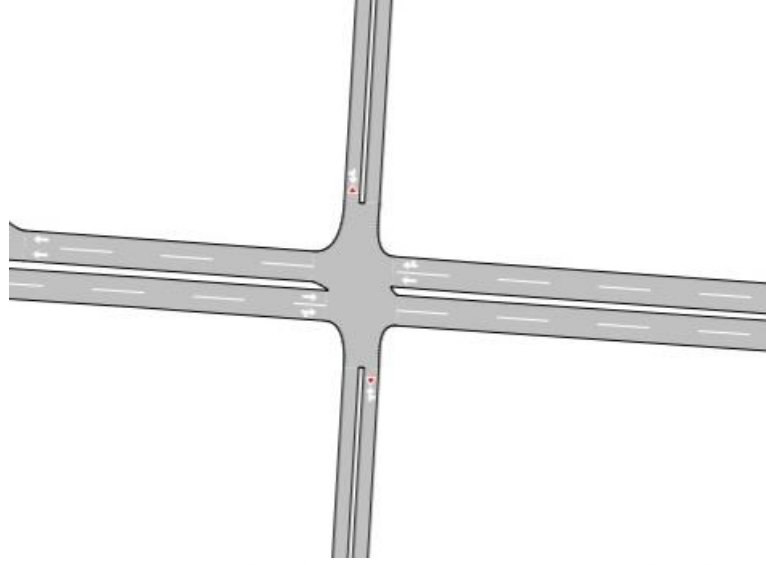
4.2.2.1. Mevcut durum modellemesi

Seçilen yedi adet kavşağın, mevcut durum modellemeleri aşağıda verilen şekiller ile gösterilmiştir.



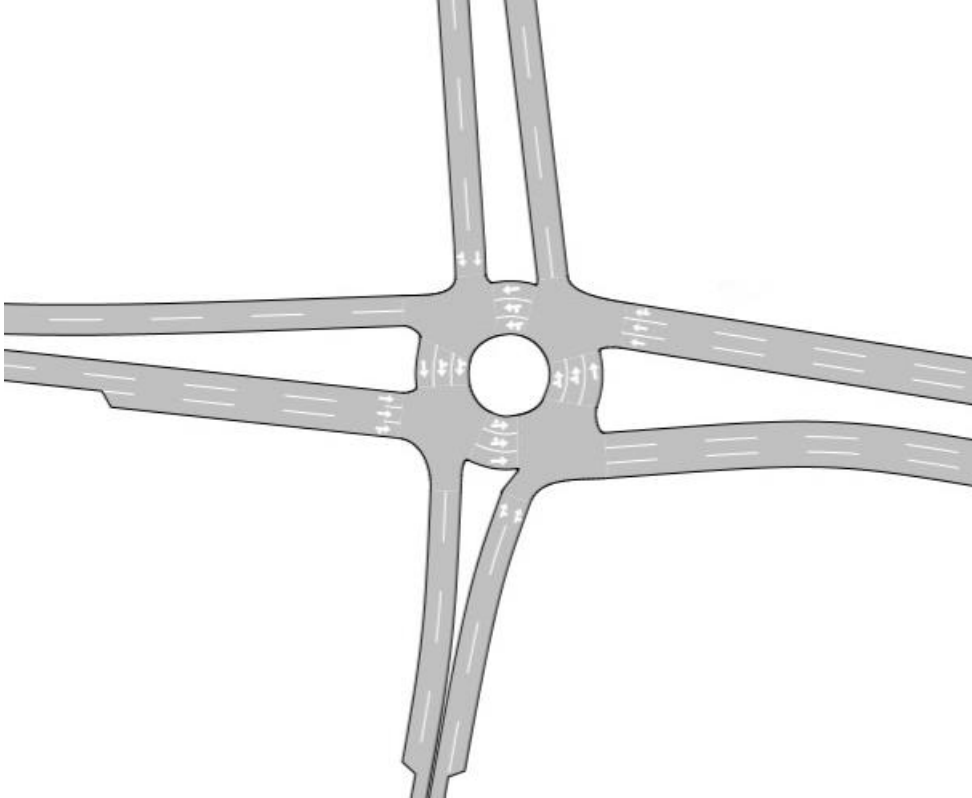
Şekil 4.9. Dörtyol Kavşağı mevcut durum

Şekil 4.9 ile Dörtyol Kavşağı'nın mevcut durumunun simülasyon programındaki modeli gösterilmiştir.



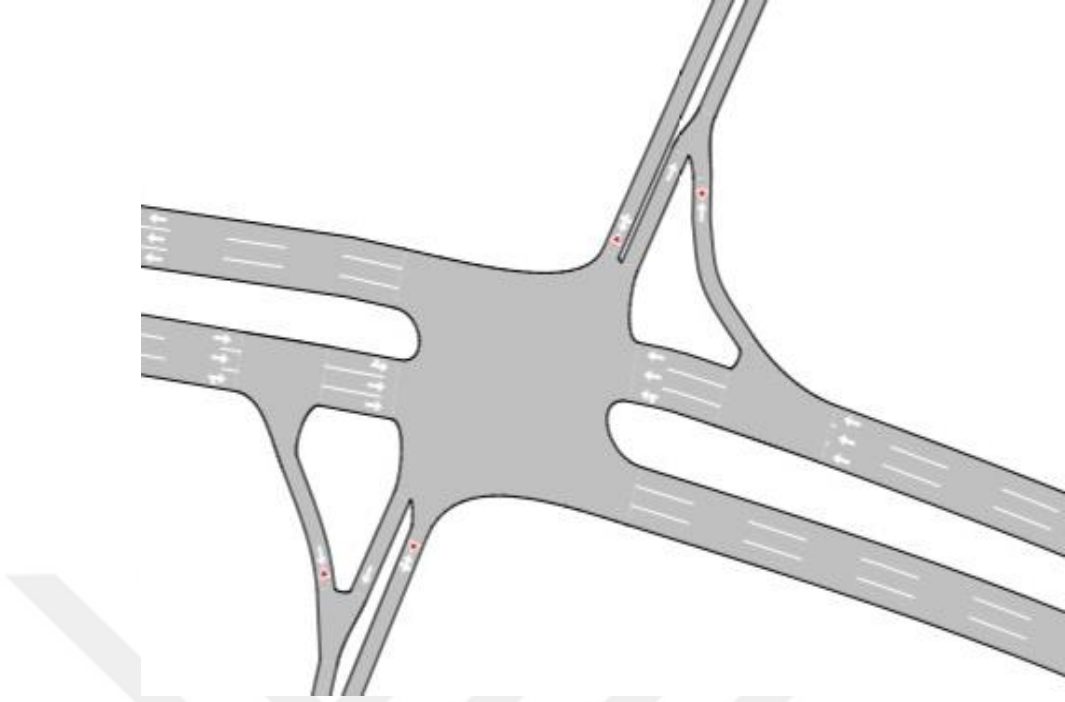
Şekil 4.10. Merplaza Kavşağı mevcut durum

Şekil 4.10 ile Merplaza Kavşağı'nın mevcut durumunun simülasyon programındaki modeli gösterilmiştir.



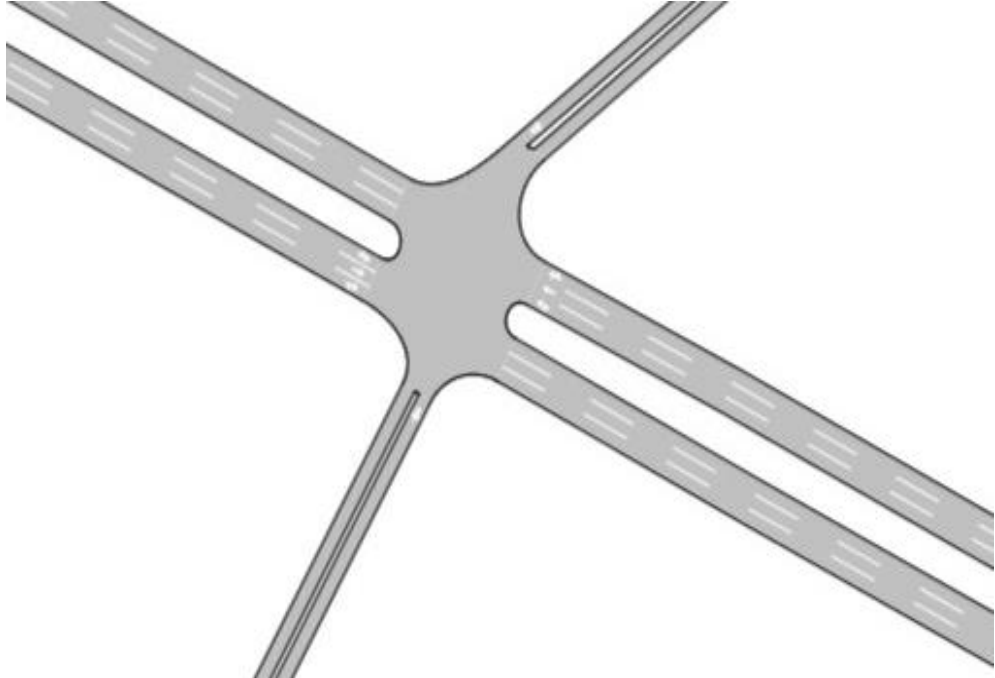
Şekil 4.11. Eski Terminal Kavşağı mevcut durum

Şekil 4.11 ile Eski Terminal Kavşağı'nın mevcut durumunun simülasyon programındaki modeli gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Terzibaba Kavşağı mevcut durum

Şekil 4.12 ile Terzibaba Kavşağı'nın mevcut durumu simülasyon programındaki modeli gösterilmiştir.



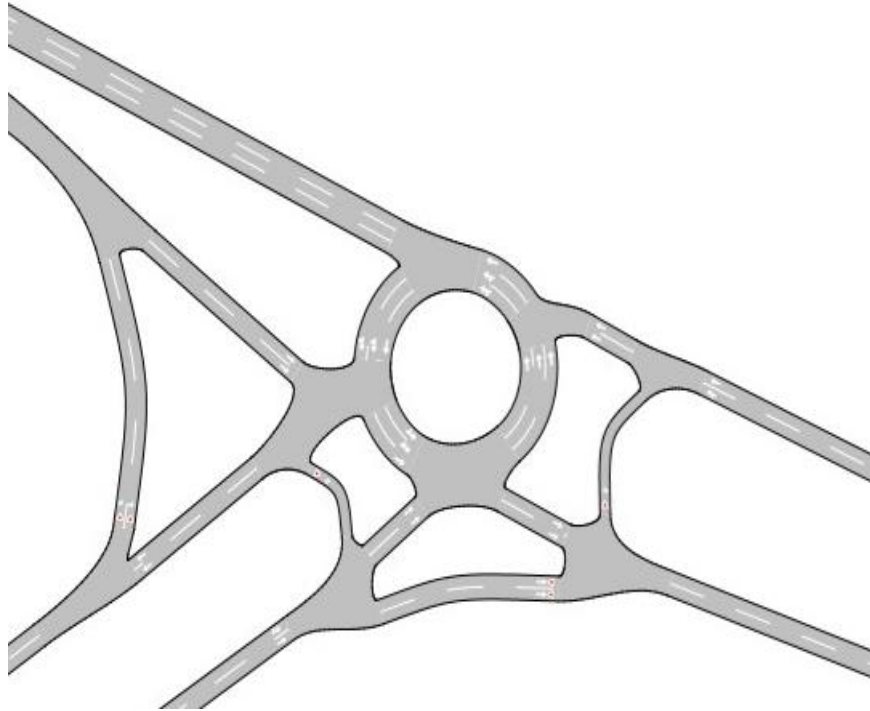
Şekil 4.13. Eski Polis Okulu Kavşağı mevcut durum

Şekil 4.13 ile Eski Polis Okulu Kavşağı'nın mevcut durumu simülasyon programındaki modeli gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Tedaş Kavşağı mevcut durum

Şekil 4.14 ile Tedaş Kavşağı'nın mevcut durumu simülasyon programındaki modeli gösterilmiştir.

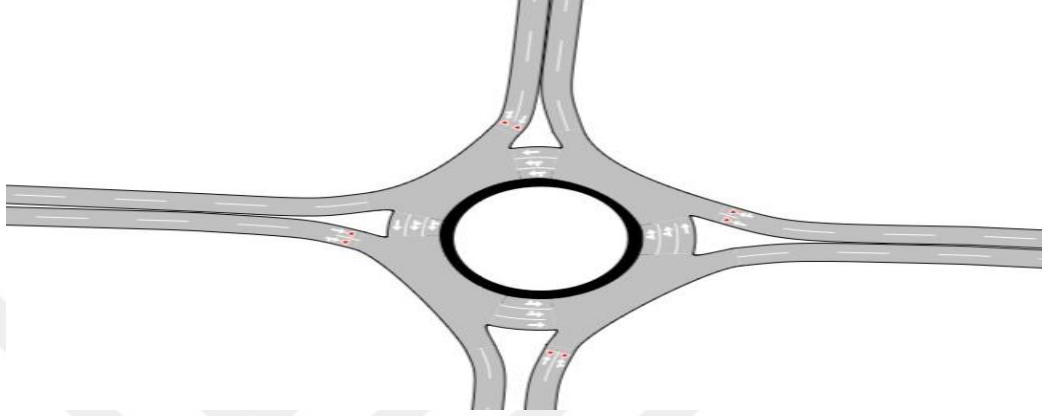


Şekil 4.15. Yeni Terminal Kavşağı mevcut durum

Şekil 4.15 ile Yeni Terminal Kavşağı'nın mevcut durumu simülasyon programındaki modeli gösterilmiştir.

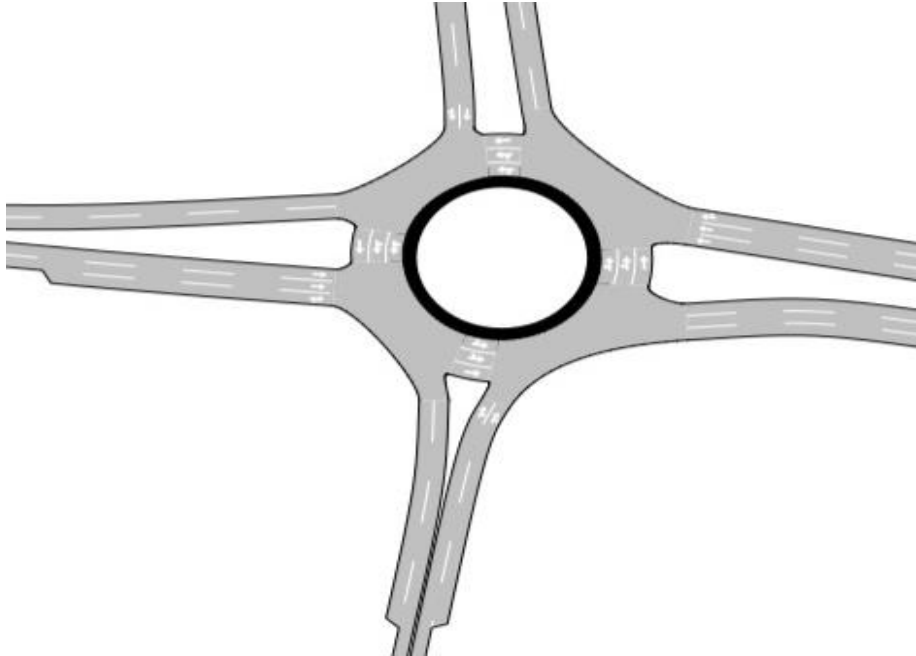
4.2.2.2. Modern dönel kavşak uygulaması

Modern dönel kavşak uygulaması yapılan kavşaklarda, kavşağa girecek aracın yol vererek kavşak içinde yer alan araca öncelik verilecek şekilde ve Dört yol ve Eski Terminal için 19m, Tedaş için 20m çapında modellenmiştir.



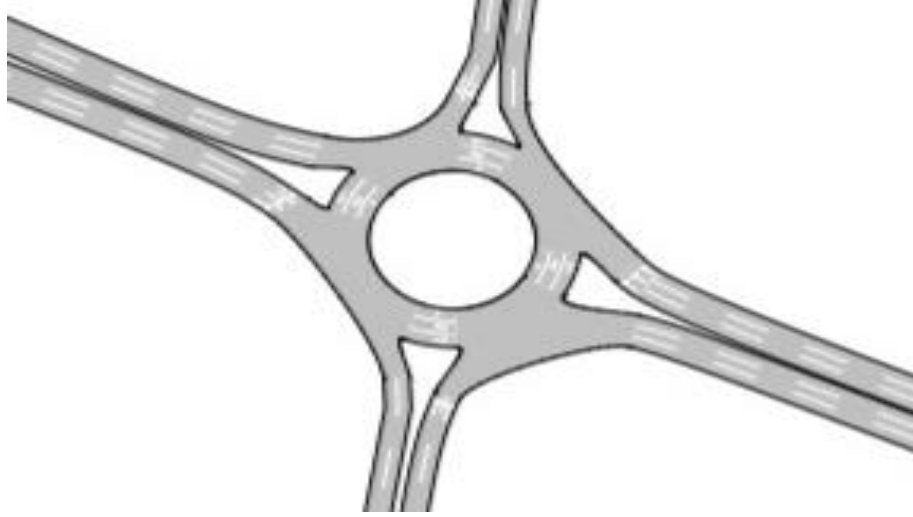
Şekil 4.16. Dört yol modern dönel kavşak uygulaması

Şekil 4.16 ile Dört yol Kavşağı'nın simülasyon programındaki modern dönel kavşak uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Eski Terminal modern dönel kavşak uygulaması

Şekil 4.17 ile Eski Terminal Kavşağı'nın simülasyon programındaki modern dönel kavşak uygulaması gösterilmiştir.

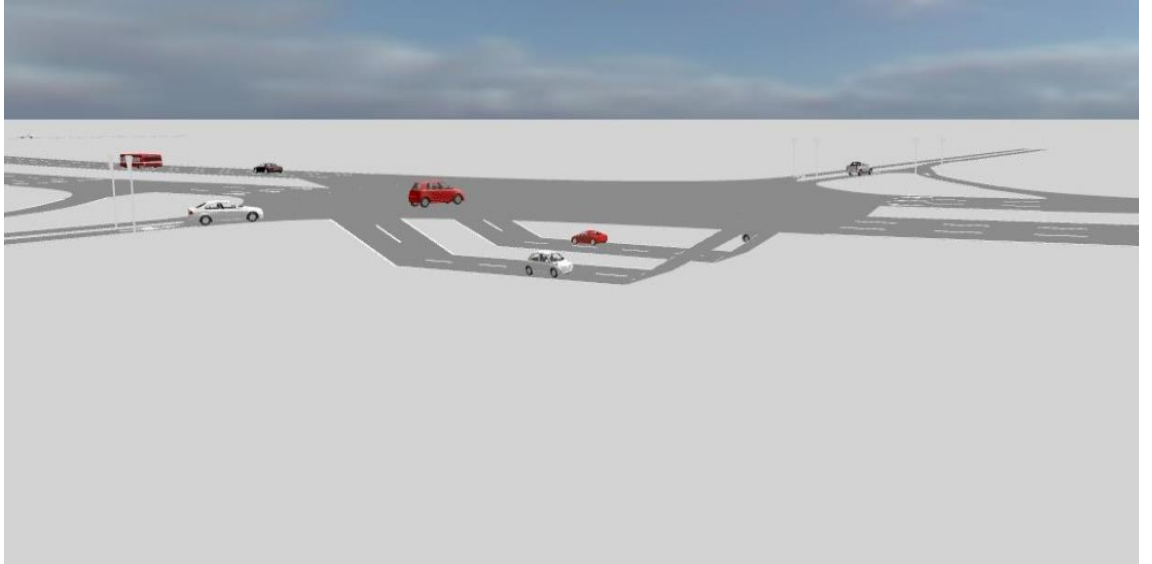


Şekil 4.18. Tedaş modern dönel kavşak uygulaması

Şekil 4.18 ile Tedaş Kavşağı'nın simülasyon programındaki modern dönel kavşak uygulaması gösterilmiştir.

4.2.2.3. Alt geçit uygulaması

Alt geçit uygulaması Terzibaba Kavşağı'nda kullanılmıştır. Trafik yoğunluğunun en fazla olduğu doğu ile batı yönleri arasında çift şeritli olarak modellenmiştir.

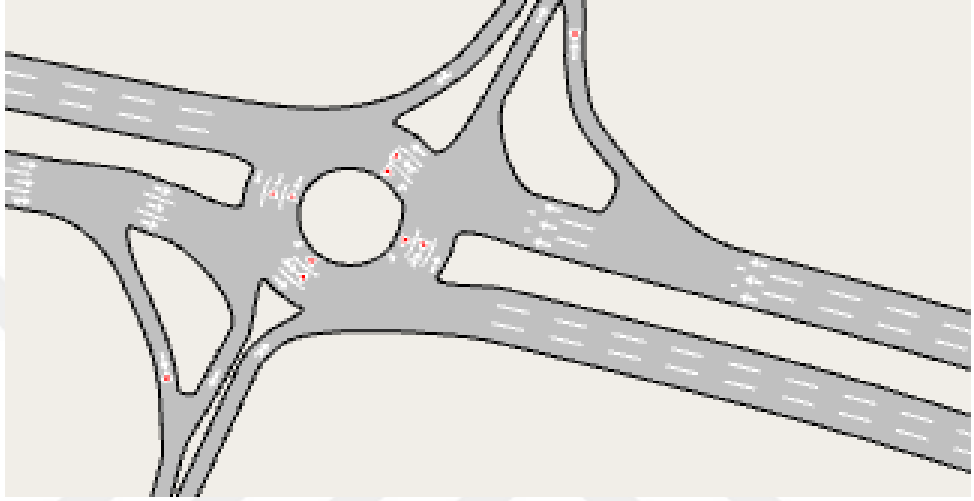


Şekil 4.19. Terzibaba alt geçit uygulaması

Şekil 4.19 ile Terzibaba Kavşağı'nın simülasyon programındaki alt geçit modeli gösterilmiştir.

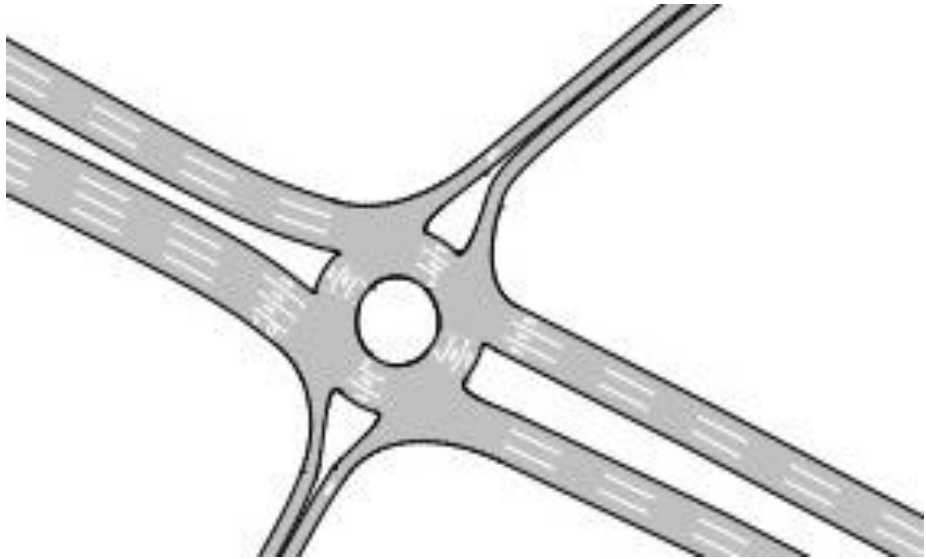
4.2.2.4. Sinyalize dönel kavşak uygulaması

Şekil 4.20. ile Terzibaba Kavşağı'nın simülasyon programındaki sinyalize dönel kavşak uygulaması gösterilmiştir. Tasarlanan bu kavşakta yer alan ada içerisinde sinyalizasyon yoktur ve “yolver” trafik işareti yer almaktadır. Bu kavşaktaki yeşil ışık süreleri, ana yol için 32 saniye ve yan yol için 30 saniye olarak ayarlanmıştır.



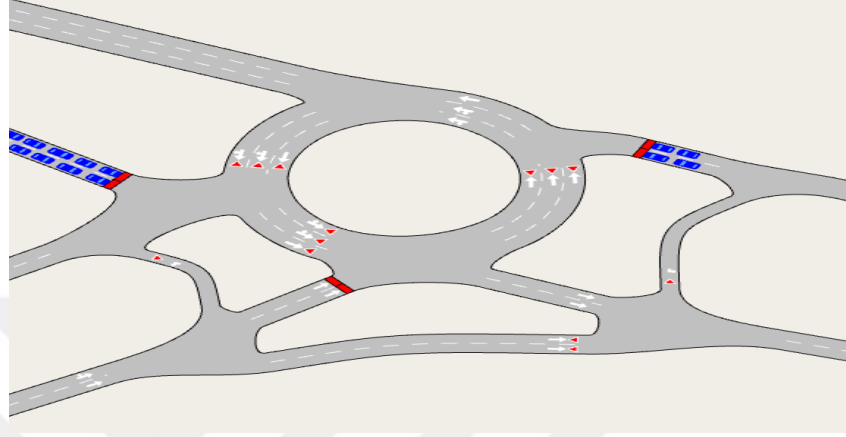
Şekil 4.20. Terzibaba sinyalize dönel kavşak uygulaması

Şekil 4.21. Eski Polis Okulu Kavşağı'nın simülasyon programındaki sinyalize dönel kavşak uygulaması gösterilmiştir. Bu kavşaktaki yeşil ışık süreleri, ana yol için 30 saniye ve yan yol için 24 saniye olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.21. Eski Polis Okulu sinyalize kavşak uygulaması

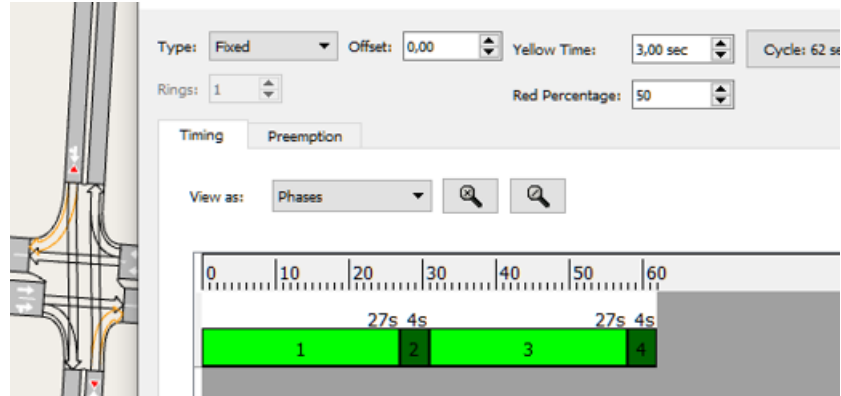
Şekil 4.22. ile Yeni Terminal Kavşağı'nın simülasyon programındaki sinyalize dönel kavşak uygulaması gösterilmiştir. Tasarlanan bu kavşakta yer alan ada içerisinde sinyalizasyon yoktur ve “yolver” trafik işareti yer almaktadır. Bu kavşaktaki yeşil ışık süreleri, ana yol için 31 saniye ve yan yol için 30 saniye olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.22. Yeni Terminal sinyalize dönel kavşak uygulaması

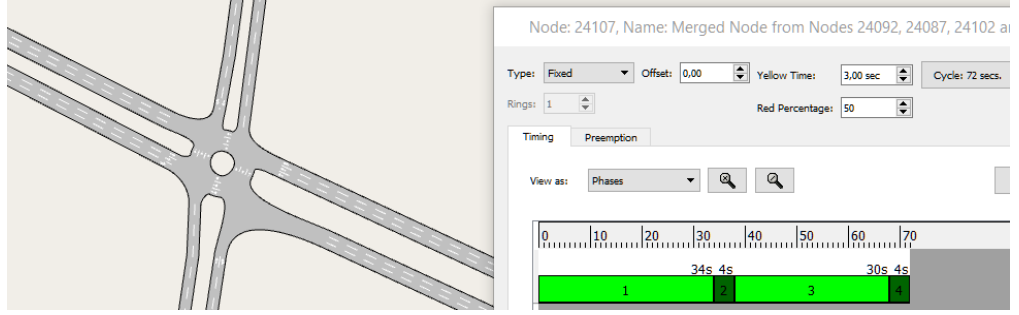
4.2.2.5. Webster yöntemi uygulaması

Webster yöntemi ile sinyal optimizasyonu, uygulanan sinyalize kavşaklar arasında daha iyi sonuç veren kavşaklar için uygulanmıştır. Bu kavşaklar Merplaza Kavşağı ve Tedaş Kavşağı'dır.



Şekil 4.23. Merplaza webster uygulaması

Şekil 4.23. ile Merplaza Kavşağı için webster yöntemi kullanılarak oluşturulan yeni ışık süreleri gösterilmiştir. Bu kavşaktaki yeşil ışık süreleri, ana yol ve yan yol için 27 saniye belirlenmiştir. Sarı ışık 3 saniye, koruma kırmızı süresi ise 1 olarak ayarlanarak 62 saniyelik periyot oluşmuştur.

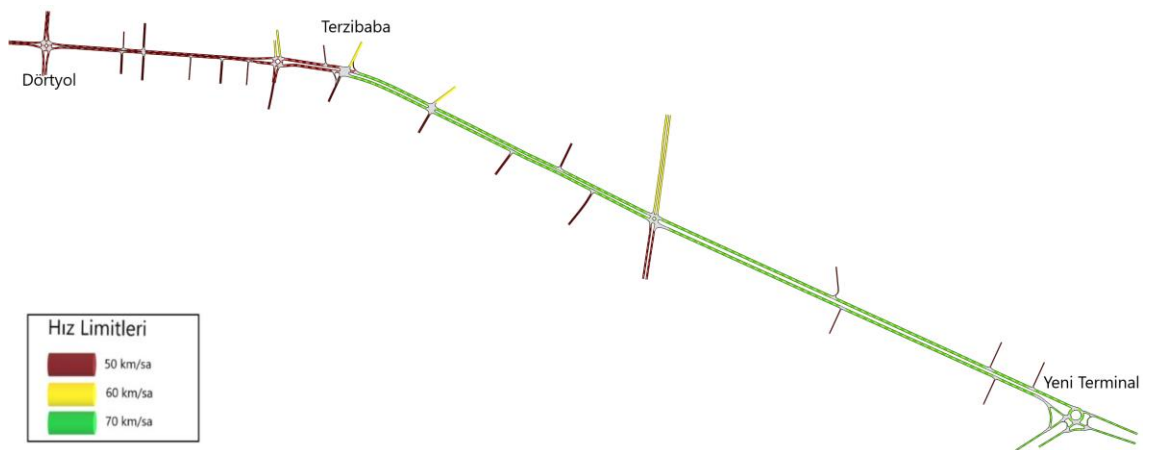


Şekil 4.24.Tedaş webster uygulaması

Şekil 4.24. ile Tedaş Kavşağı için webster yöntemi kullanılarak oluşturulan yeni ışık süreleri gösterilmiştir. Bu kavşaktaki yeşil ışık süreleri, ana yol için 34 saniye, yan yol için 30 saniye belirlenmiştir. Sarı ışık 3 saniye, koruma kırmızı süresi ise 1 olarak ayarlanarak 72 saniyelik periyot oluşmuştur.

4.2.2.6. Yeşil dalga uygulaması

Yeşil dalga uygulaması, belirlenen güzergahın batı-doğu yönünde hareket eden araç sayısı doğu-batı yönünde hareket eden araç sayısından daha fazla olduğu için batı-doğu yönü boyunca uygulanmıştır. Yeşil dalga hesaplanırken kavşaklar arası mesafe ve hız limitleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Şekil 4.25 ile güzergah boyunca uzanan hız limitleri gösterilmiştir. Dört yol ile Terzibaba kavşakları arası 50 km/sa iken Terzibaba ile Yeni Terminal kavşakları arası 70 km/sa dir.



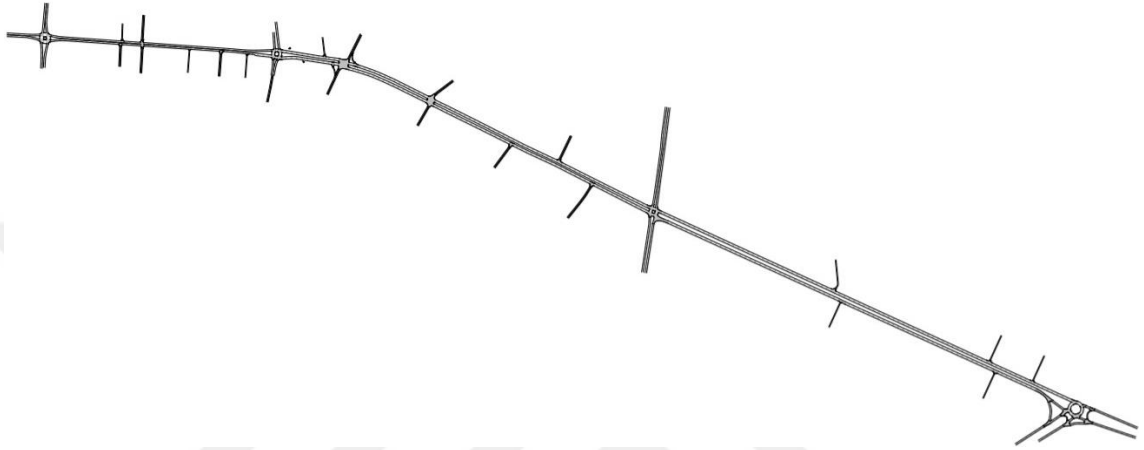
Şekil 4.25. Hız limitleri

Kavşakların periyot süreleri 74 saniyedir ve yeşil ışık ve ofset süreleri sırasıyla; Dört yol yeşil ışık 27 saniye, ofset 0, Merplaza yeşil ışık 32 saniye, ofset 27, Eski Terminal yeşil ışık 36 saniye, ofset 61,92, Terzibaba yeşil ışık 25 saniye, ofset 5,03, Eski Polis Okulu

yeşil ışık 27 saniye, ofset 24,14, Tedaş yeşil ışık 33 saniye, ofset 71,14, Yeni Terminal yeşil ışık 29 saniye, ofset 11,70 şeklinde düzenlenmiştir.

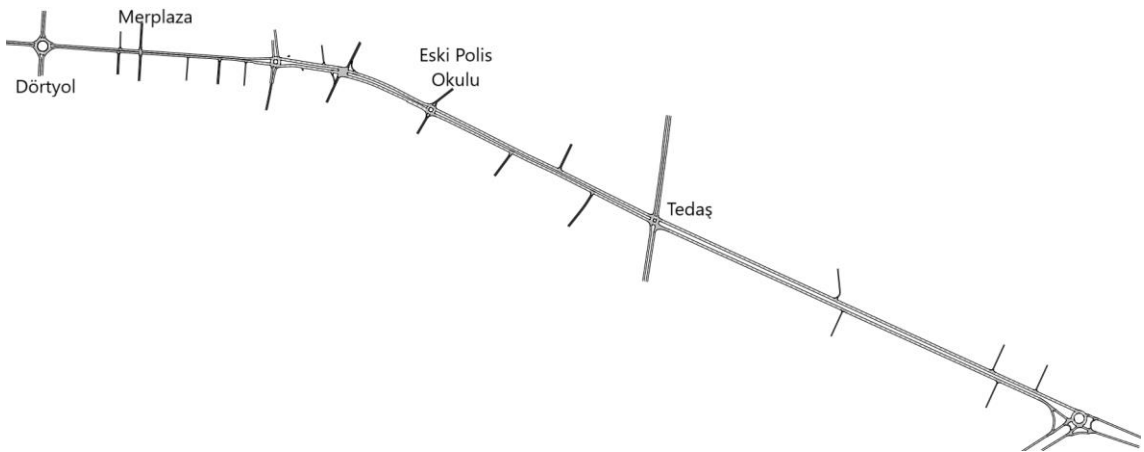
4.3. Modellemeler Sonucu Oluşan Senaryolar

Modellemeler sonucu oluşan yedi adet senaryo Şekil 4.26-4.32’ de gösterilmiştir.



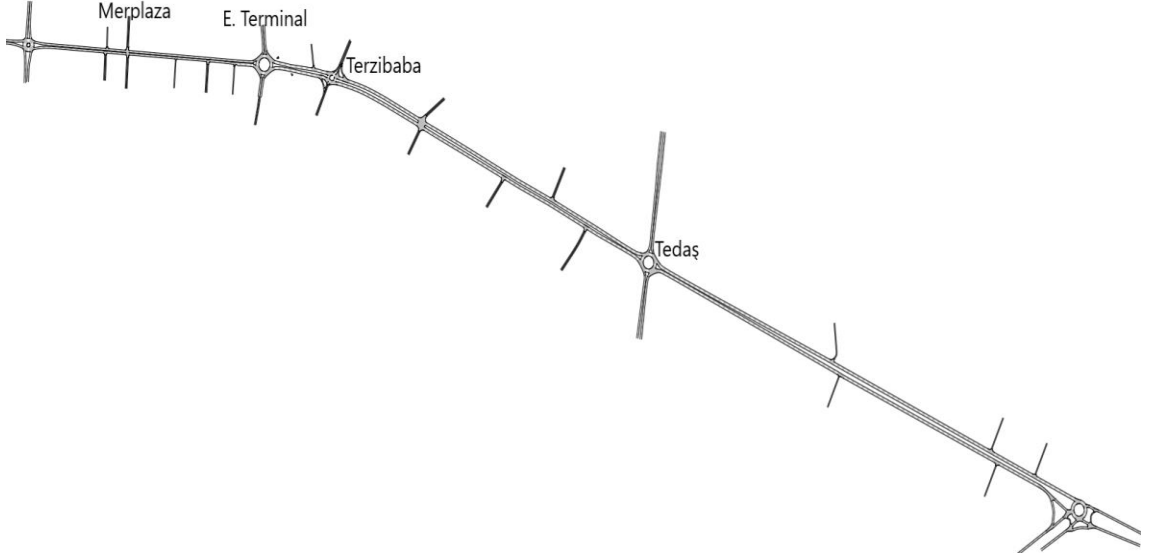
Şekil 4.26. Senaryo 1

Senaryo 1 için mevcut durum olarak belirlenmiştir ve çalışmanın yapıldığı kavşaklar mevcut bulunduğu şekillerde incelenmiştir.



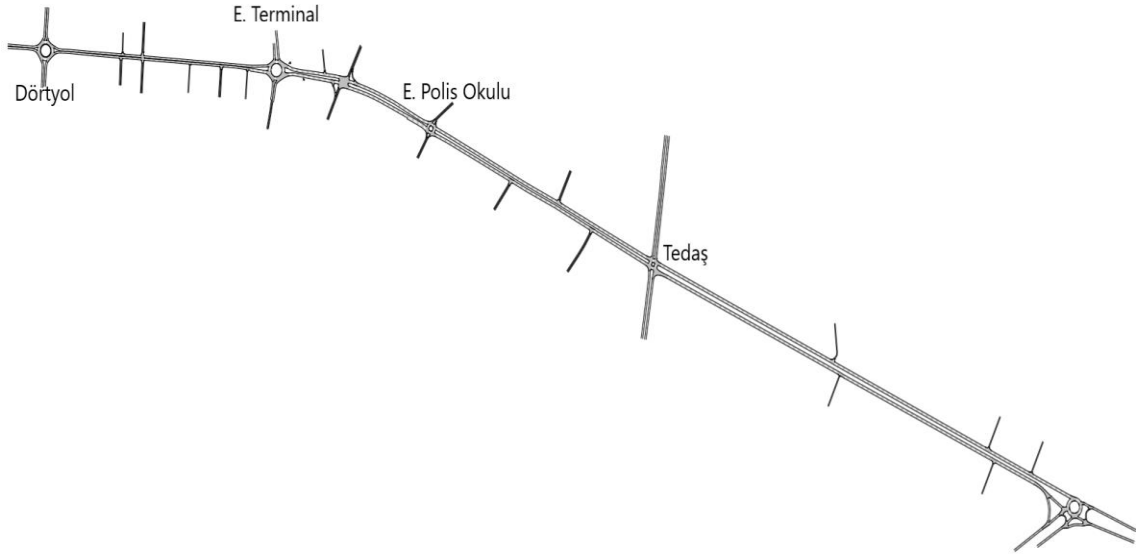
Şekil 4.27. Senaryo 2 ile oluşan yeni koridor

Senaryo 2 ile Dört yol Kavşağı modern dönel kavşak, Eski Polis Okulu sinyalize dönel kavşak, Merplaza ve Tedaş Kavşaklarına ise webster yöntemi uygulanarak çalışmanın yapıldığı koridordaki trafiğe olan etkileri incelenmiştir.



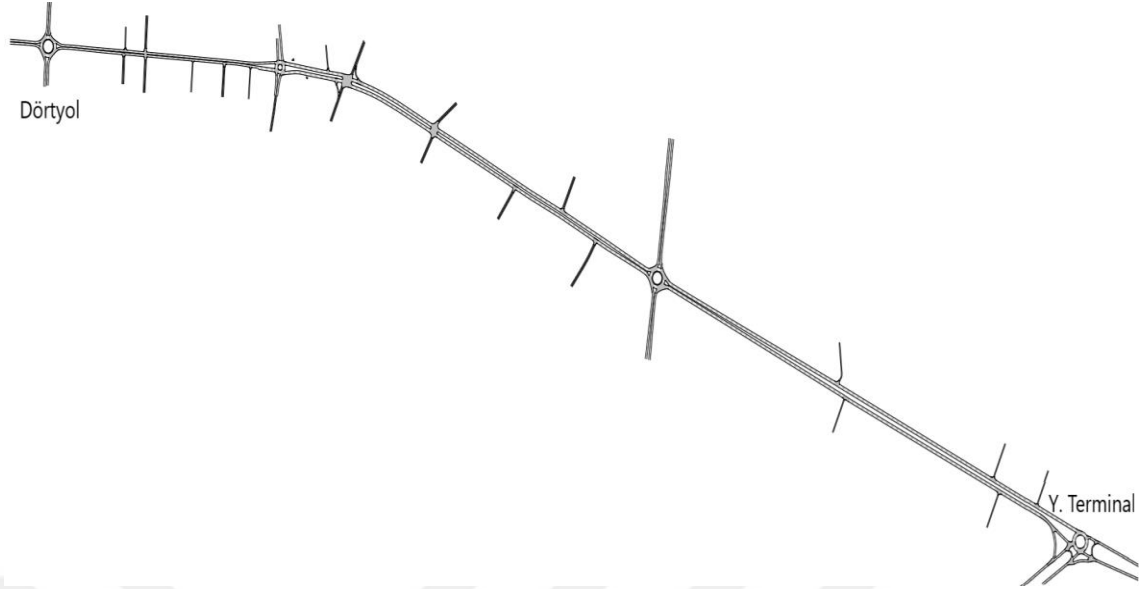
Şekil 4.28. Senaryo 3 ile oluşan yeni koridor

Senaryo 3 ile Eski Terminal ve Tedaş Kavşağı modern dönel kavşak, Terzibaba sinyalizasyon dönel kavşaktır. Terzibaba Kavşağı'nda bulunan ada üzerinde sinyalizasyon olmayacak şekilde tasarlanmıştır. Merplaza ise webster yöntemi uygulanarak çalışmanın yapıldığı koridordaki trafiğe olan etkileri incelenmiştir.



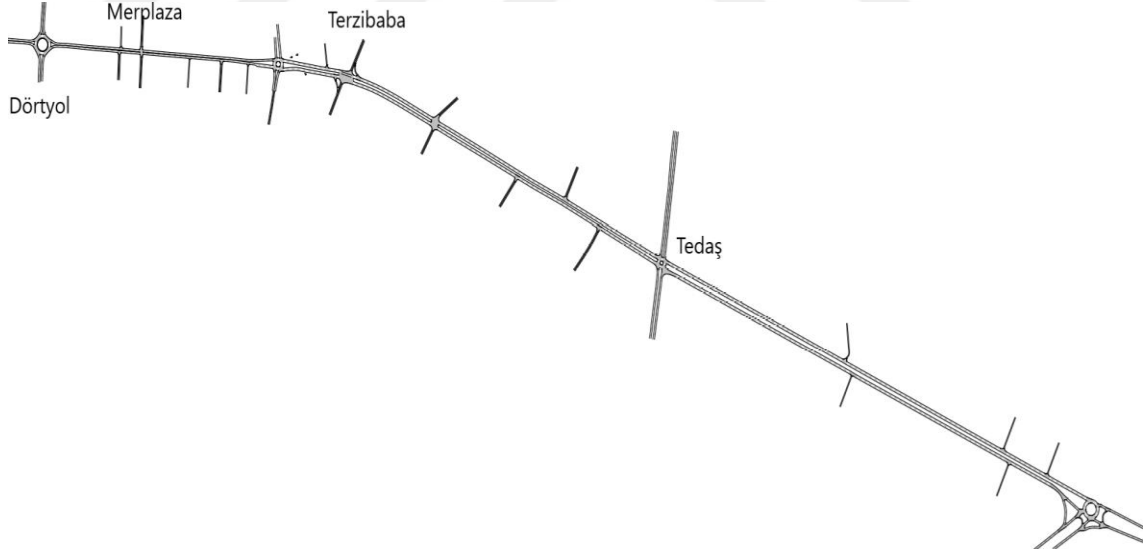
Şekil 4.29. Senaryo 4 ile oluşan yeni koridor

Senaryo 4 için Dört Yol ve Eski Terminal Kavşakları modern dönel kavşak, Eski Polis Okulu sinyalizasyon dönel kavşak, Tedaş Kavşağı ise webster yöntemi uygulanarak çalışmanın yapıldığı koridordaki trafiğe olan etkileri incelenmiştir.



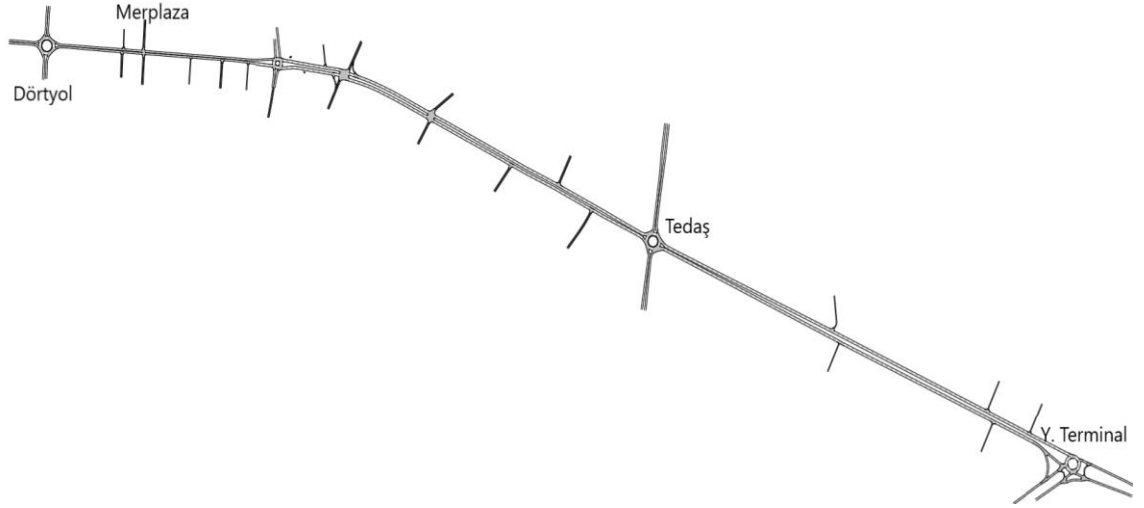
Şekil 4.30. Senaryo 5 ile oluşan yeni koridor

Senaryo 5 ile Dörtyol Kavşağı'ndan Yeni Terminal Kavşağı (Batı-Doğu) yönünde hareket eden araçlar için yeşil dalga uygulaması yapılarak çalışmanın yapıldığı koridordaki trafiğe olan etkileri incelenmiştir.



Şekil 4.31. Senaryo 6 ile oluşan yeni koridor

Senaryo 6 ile Dörtyol modern dönel kavşak ve Terzibaba altgeçit olarak modellenmiştir. Merplaza ve Tedaş Kavşaklarına ise webster yöntemi uygulanarak çalışmanın yapıldığı koridordaki trafiğe olan etkileri incelenmiştir.



Şekil 4.32. Senaryo 7 ile oluşan yeni koridor

Senaryo 7 ile Dört Yol ve Tedaş Kavşakları modern dönel kavşak, Yeni Terminal sinyalizasyon dönel kavşaktır. Yeni Terminal Kavşağı'nda bulunan ada üzerinde sinyalizasyon olmayacak şekilde tasarlanmıştır. Merplaza Kavşağı ise webster yöntemi uygulanarak çalışmanın yapıldığı koridordaki trafiğe olan etkileri incelenmiştir.

4.4. GEH Analizleri

Modelin kalibrasyonu, kesin sonuçlar göstermesi için büyük öneme sahiptir. Bunun için rölatif hata ve GEH gibi bazı yöntemler tercih edilir. Bu sebepten dolayı modelin kalibrasyonunda GEH tercih edilmiştir (Bayata ve Bayrak, 2018).

GEH analizi, gözlenen değerler ve mevcut durumdaki simülasyon değerleri ile yapılır. Kavşakların GEH analizleri Tablo 4.16-4.22 ile verilmiştir.

Tablo 4.16. Dört Yol GEH analizi

DÖRTYOL									
GEH	Batı-Doğu		Doğu-Batı		Kuzey-Güney		Güney-Kuzey		Toplam
	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	
Gözlenen değer	802	75	698	76	613	61	428	54	2807
Simülasyon değeri	779	68	797	88	628	63	424	47	2894
GEH değeri	0,82	0,83	3,63	1,33	0,60	0,25	0,19	0,99	1,63
Kriter <5	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET

Tablo 4.17. Merplaza GEH analizi

MERPLAZA									
GEH	Batı-Doğu		Doğu-Batı		Kuzey-Güney		Güney-Kuzey		Toplam
	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	
Gözlenen değer	854	73	640	74	542	8	498	7	2696
Simülasyon değeri	813	72	714	84	576	8	457	9	2733
GEH değeri	1,42	0,12	2,84	1,13	1,44	0,00	1,88	0,71	0,71
Kriter <5	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET

Tablo 4.18. Eski Terminal GEH analizi

ESKİ TERMİNAL									
GEH	Batı-Doğu		Doğu-Batı		Kuzey-Güney		Güney-Kuzey		Toplam
	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	
Gözlenen değer	517	66	664	78	442	21	236	36	2060
Simülasyon değeri	500	60	764	70	437	32	245	35	2143
GEH değeri	0,75	0,76	3,74	0,93	0,24	2,14	0,58	0,17	1,81
Kriter <5	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET

Tablo 4.19. Terzibaba GEH analizi

TERZİBABA									
GEH	Batı-Doğu		Doğu-Batı		Kuzey-Güney		Güney-Kuzey		Toplam
	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	
Gözlenen değer	578	51	505	58	294	20	75	1	1582
Simülasyon değeri	563	55	540	52	327	12	66	2	1617
GEH değeri	0,63	0,55	1,53	0,81	1,87	2,00	1,07	0,82	0,88
Kriter <5	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET

Tablo 4.20. Eski Polis Okulu GEH analizi

ESKİ POLİS OKULU									
GEH	Batı-Doğu		Doğu-Batı		Kuzey-Güney		Güney-Kuzey		Toplam
	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	
Gözlenen değer	391	36	401	52	188	11	63	7	1149
Simülasyon değeri	445	35	396	52	214	14	79	7	1242
GEH değeri	2,64	0,17	0,25	0,00	1,83	0,85	1,90	0,00	2,69
Kriter <5	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET

Tablo 4.21. Tedaş GEH analizi

TEDAŞ									
GEH	Batı-Doğu		Doğu-Batı		Kuzey-Güney		Güney-Kuzey		Toplam
	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	
Gözlenen değer	612	19	631	18	297	9	376	7	1969
Simülasyon değeri	707	18	595	26	313	4	367	14	2044
GEH değeri	3,70	0,23	1,45	1,71	0,92	1,96	0,47	2,16	1,67
Kriter <5	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET	EVET

Tablo 4.22. Yeni Terminal GEH analizi

YENİ TERMİNAL									
GEH	Batı-Doğu		Doğu-Batı		Kuzey-Güney		Güney-Kuzey		Toplam
	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	otomobil	otobüs	
Gözlenen değer	310	10	407	9	-	-	105	9	851
Simülasyon değeri	383	10	379	11	-	-	66	8	857
GEH değeri	3,92	0,00	1,41	0,63	-	-	4,22	0,34	0,24
Kriter <5	EVET	EVET	EVET	EVET	-	-	EVET	EVET	EVET

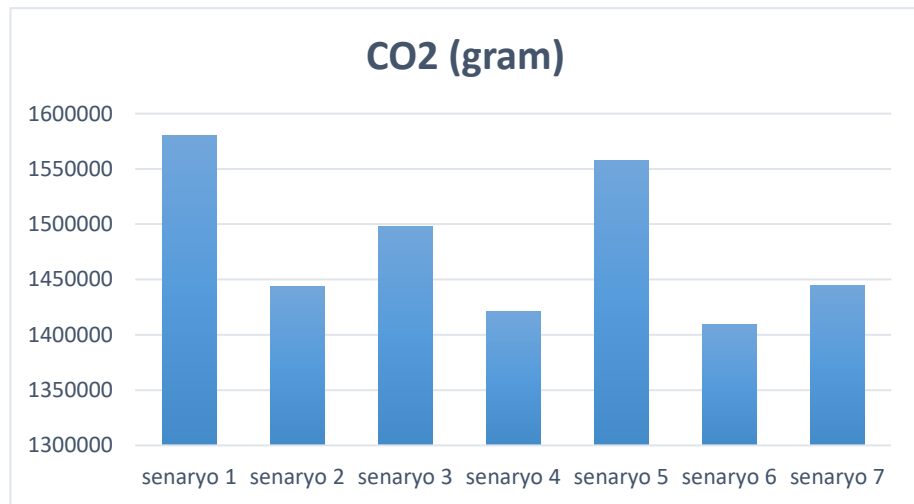
Yapılan GEH analizleri, uygun aralıklarda olduğu belirlenmiştir.

4.5. Simülasyon Sonuçları

AIMSUN simülasyon programı kullanılarak yapılan modellemede hangi sonuçların bulunduğu ve bu sonuçların programda hangi birimler ile verildiği gösterilmiştir.

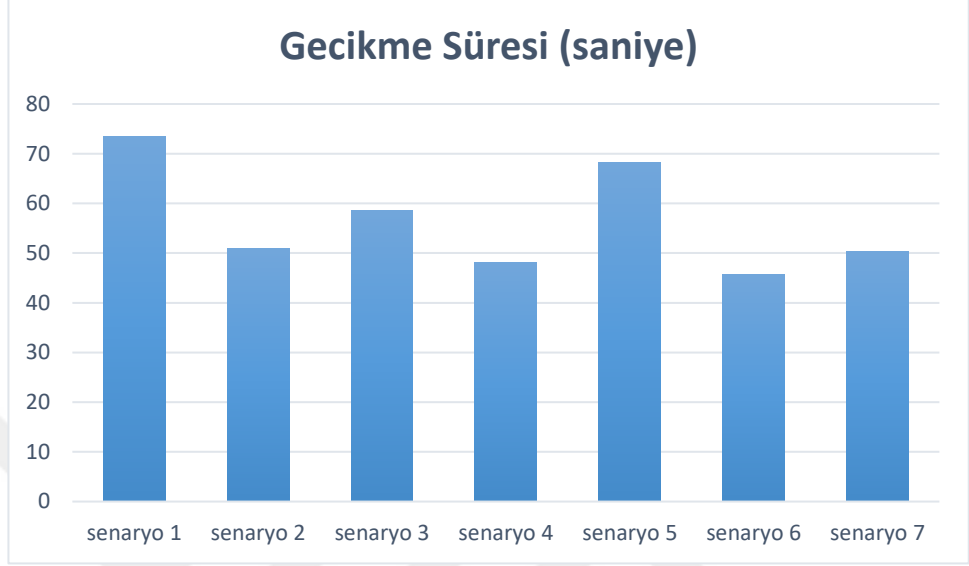
- CO₂ salınımı: CO₂ salınımı taşıtların kilometrede kaç gram karbondioksit salınımı yaptığını gösterir. Birimi g/km olarak verilmiştir.
- Gecikme süresi: Gecikme süresi taşıtların kilometrede kaç saniye geçime yaşadıklarını gösterir. Birimi sn/km olarak verilmiştir.
- VOC salınımı: VOC salınımı taşıtların kaç gram VOC salınımı yaptığını gösterir. Birimi gram olarak verilmiştir.
- Kuyruk uzunluğu: Yapılan modellemedeki oluşan toplam kuyruk uzunluğunun ortalamasını verir. Kuyruk uzunluğu taşıt cinsinden gösterilmiştir.
- NO_x salınımı: NO_x salınımı araçların kilometrede kaç gram NO_x salınımı yaptığını gösterir. Birimi g/km olarak verilmiştir.
- Hız: Her taşıtın saatlik ortalama hızını gösterir. Birimi km/sa olarak verilmiştir.
- Bekleme süresi: Bekleme süresi taşıtların kilometrede kaç saniye bekleme yaptığını gösterir. Birimi sn/km olarak verilmiştir.
- Seyahat süresi: Seyahat süresi taşıtların toplam seyahat süresinin, taşıtların toplam aldığı mesafeye orandır. Birimi sn/km olarak verilmiştir.
- Maliyet: Kavşakların tasarımı kadar maliyet de önemlidir. Bu nedenle oluşturulacak senaryoların yaklaşık maliyetleri de önemlidir.

Yapılan simülasyon modellemesinde CO₂ salınımı, gecikme süresi, VOC salınımı, kuyruk uzunluğu, NO_x salınımı, hız, bekleme süresi ve seyahat süresi olmak üzere sekiz kriter yedi farklı senaryoda incelenmiştir. Elde edile değerler aşağıda verilen grafiklerle gösterilmiştir.



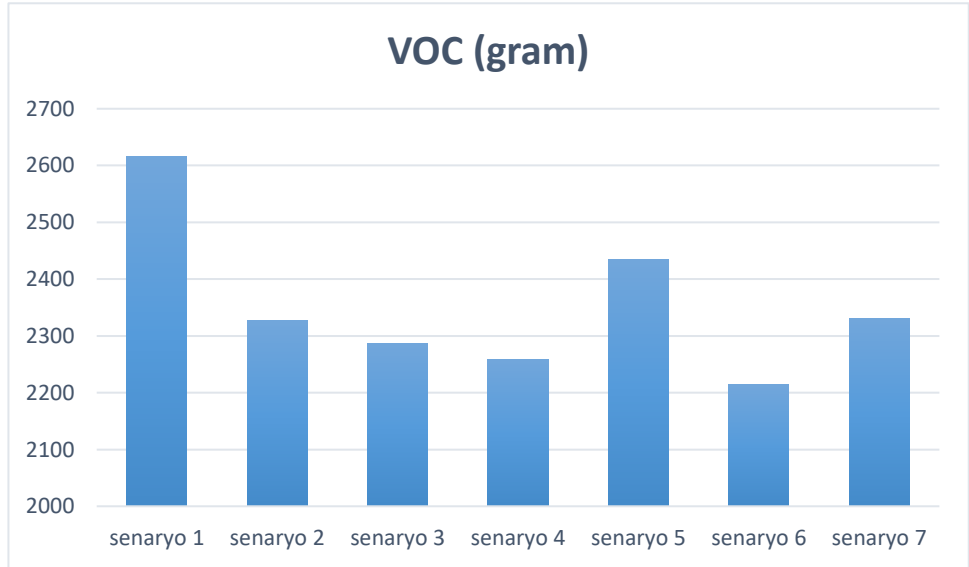
Şekil 4.33. CO₂ salınımı

Şekil 4.33 ile CO₂ salınımı gösterilmiştir. Elde edilen değerlere göre CO₂ salınımı en fazla senaryo 1, en düşük CO₂ salınımı senaryo 6 ile elde edilmiştir. Mevcut duruma göre %11 azalmıştır.



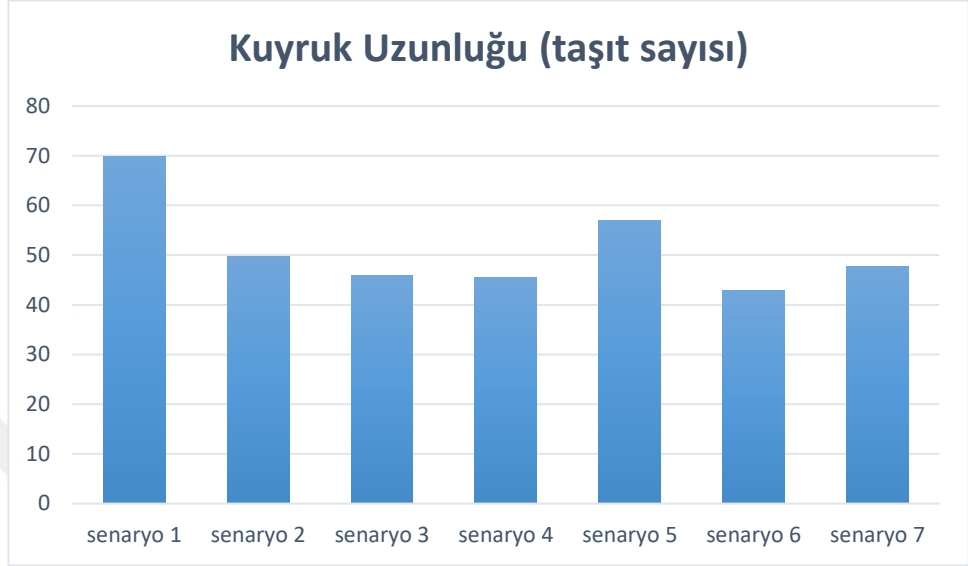
Şekil 4.34. Gecikme süresi

Şekil 4.34 ile gecikme süresi gösterilmiştir. Elde edilen değerlere göre en fazla gecikme senaryo 1, en az gecikme ise senaryo 6 ile elde edilmiştir. Mevcut duruma göre %38 azalmıştır.



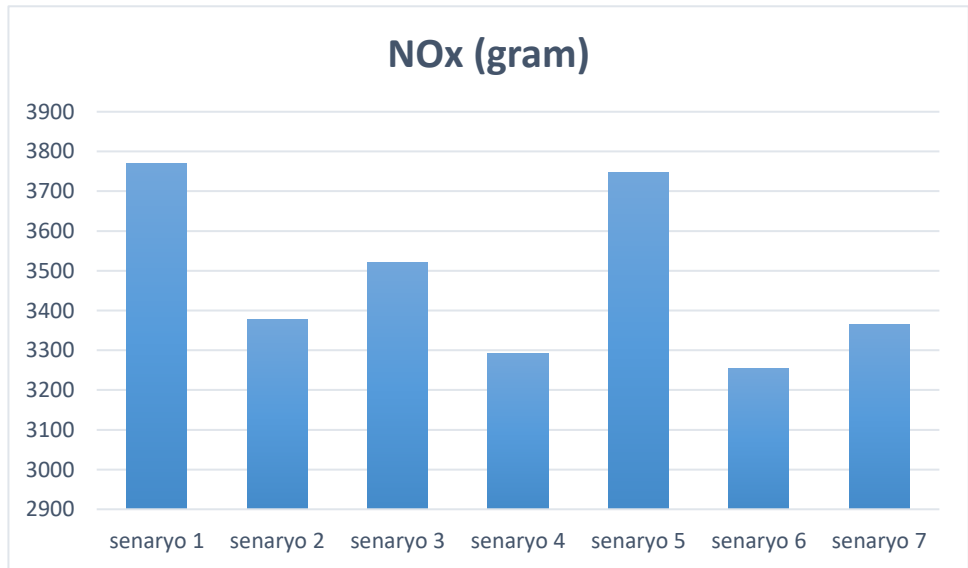
Şekil 4.35. VOC salınımı

Şekil 4.35 ile VOC salınımı ölçülmüştür. Elde edilen değerlere göre en yüksek VOC salınımı senaryo 1, en düşük VOC salınımı ise senaryo 6 ile elde edilmiştir. Mevcut duruma göre %15 azalmıştır.



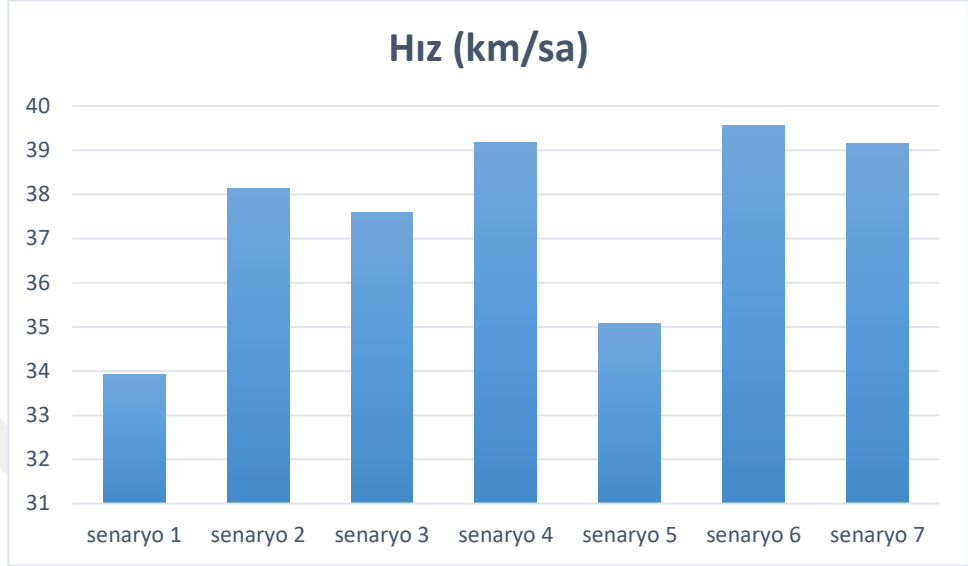
Şekil 4.36. Kuyruk uzunluğu

Şekil 4.36 ile kuyruk uzunluğu verilmiştir. Elde edilen değerlere göre en fazla uzunluk senaryo 1, en az uzunluk ise senaryo 6 ile elde edilmiştir. Mevcut duruma göre %39 azalmıştır.



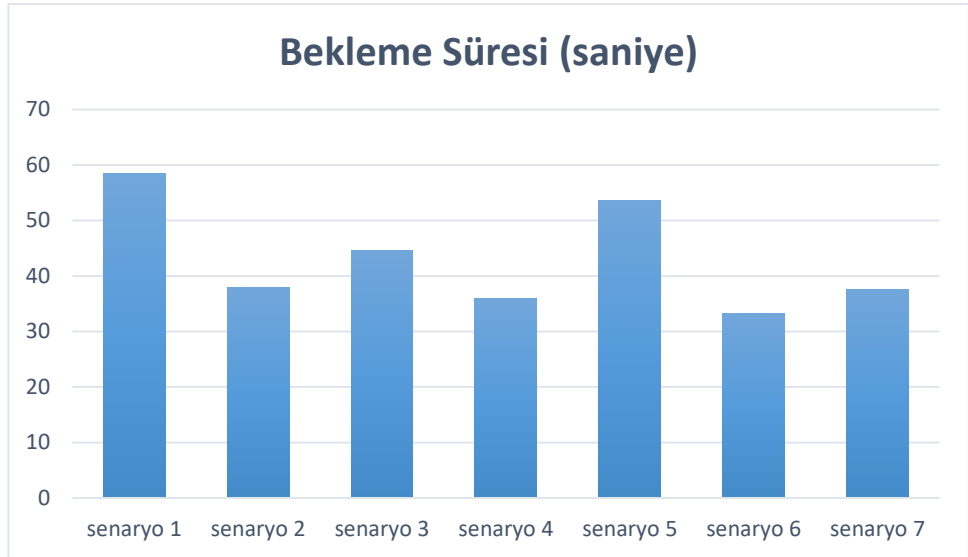
Şekil 4.37. NO_x salınımı

Şekil 4.37 ile NO_x salınımı verilmiştir. Elde edilen verilere göre en yüksek NO_x salınımı senaryo 1, en düşük NO_x salınımı senaryo 6 ile elde edilmiştir. Mevcut duruma göre %14 azalmıştır.



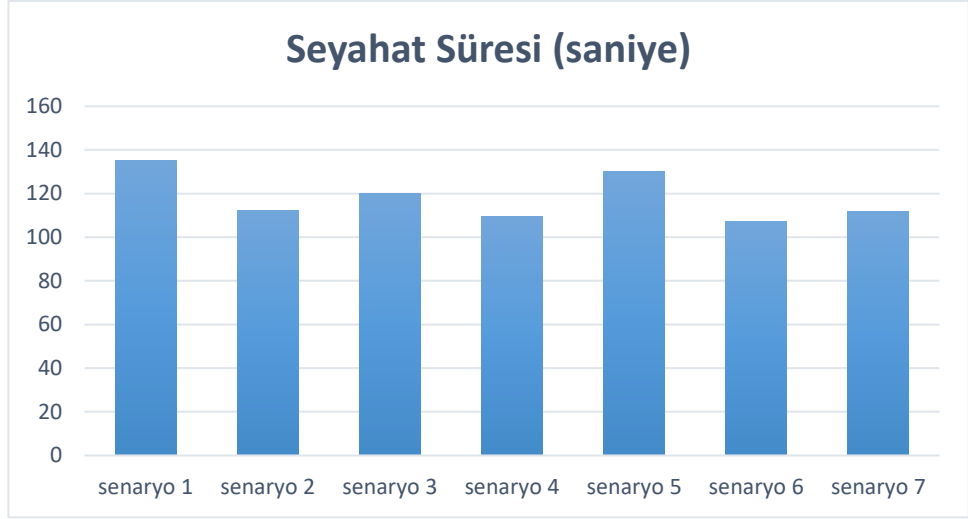
Şekil 4.38. Hız

Şekil 4.38 ile hız verilmiştir. Elde edilen verilere göre en düşük hız senaryo 1, en yüksek hız senaryo 6 ile elde edilmiştir. Mevcut duruma göre %17 artmıştır.



Şekil 4.39. Bekleme süresi

Şekil 4.39 ile bekleme süresi verilmiştir. Elde edilen verilere göre en uzun bekleme senaryo 1, en kısa bekleme süresi senaryo 6 ile elde edilmiştir. Mevcut duruma göre %43 azalmıştır.



Şekil 4.40. Seyahat süresi

Şekil 4.40 ile seyahat süresi verilmiştir. Elde edilen verilere göre en uzun seyahat süresi senaryo 1, en kısa seyahat süresi senaryo 6 ile elde edilmiştir. Mevcut duruma göre %21 azalmıştır.

4.6. TOPSİS Çalışması

Adım 1: Karar matrisi oluşturma

Simülasyon sonucu her senaryo için elde edilen değerler yazılarak karar matrisi oluşturulmuştur. Tablo 4.23 ile oluşturulan karar matrisi verilmiştir.

Tablo 4.23. Karar matrisi

Kriter	CO ₂	Gecikme	VOC	Kuyruk uzunluğu	NO _x	Hız	Bekleme süresi	Seyahat süresi	Maliyet
Senaryo 1	1.580.502	73,49	2615	69,85	3770	34	58,43	135	0
Senaryo 2	1.443.565	50,86	2327	49,68	3376	38	37,89	112	350.000
Senaryo 3	1.497.877	58,48	2287	45,97	3521	38	44,61	120	600.000
Senaryo 4	1.420.664	48,04	2258	45,56	3291	39	36	109	600.000
Senaryo 5	1.557.749	68,27	2434	56,96	3746	35	53,56	129	0
Senaryo 6	1.409.025	45,63	2214	42,84	3254	40	33,28	107	17.000.000
Senaryo 7	1.444.671	50,29	2331	47,72	3364	39	37,48	111	600.000

Adım 2: Standart karar matrisinin oluşturulması

Karar matrisinden faydalanarak standart karar matrisi oluşturulur. Bu adımda karar matrisinin sütunda buluna değerlerin karelerinin toplanıp karekökü alınır ve matrisin sütunlarına bölünür. Tablo 4.24 ile standart karar matrisi verilmiştir.

Tablo 4.24. Standart karar matrisi

Kriter	CO ₂	Gecikme	VOC	Kuyruk uzunluğu	NO _x	Hız	Bekleme süresi	Seyahat süresi	Maliyet
Senaryo 1	0,4034	0,4847	0,419	0,508178	0,4094	0,341	0,502574	0,43177	0
Senaryo 2	0,3685	0,3354	0,373	0,361435	0,3666	0,383	0,325903	0,35831	0,02054
Senaryo 3	0,3824	0,3857	0,366	0,334444	0,3824	0,378	0,383704	0,38378	0,03522
Senaryo 4	0,3626	0,3168	0,362	0,331461	0,3574	0,394	0,309647	0,34931	0,03522
Senaryo 5	0,3976	0,4502	0,390	0,414399	0,4068	0,352	0,460685	0,41491	0
Senaryo 6	0,3597	0,3009	0,355	0,311672	0,3534	0,397	0,286251	0,34177	0,99792
Senaryo 7	0,3688	0,3316	0,374	0,347176	0,3653	0,393	0,32277	0,35623	0,03522

Adım 3: Ağırlıklı standart karar matrisinin oluşturulması

İlk olarak değerlendirme ölçütleri belirlenir. Bu çalışmada maliyet için %15, gecikme için %13, bekleme süresi için %12 diğer kriterler için %10 şeklinde ağırlıklılar seçilmiştir. Ağırlıklar ile standart karar matrisi çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi belirlenir. Tablo 4.25 ile ağırlıklı standart karar matrisi verilmiştir.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinde biri olan TOPSİS yönteminin bu aşaması öznel olduğu için karar vericiler arasında farklılıklar olabilir (Ertikin, 2019).

Tablo 4.25. Ağırlıklı standart karar matrisi

Kriter	CO ₂	Gecikme	VOC	Kuyruk uzunluğu	NO _x	Hız	Bekleme süresi	Seyahat süresi	Maliyet
Senaryo 1	0,0403	0,0630	0,041	0,050817	0,0409	0,034	0,060309	0,04317	0
Senaryo 2	0,0368	0,0436	0,037	0,036143	0,0366	0,038	0,039108	0,03583	0,00308
Senaryo 3	0,0382	0,0501	0,036	0,334444	0,0382	0,037	0,046044	0,03837	0,00528
Senaryo 4	0,0362	0,0411	0,036	0,033146	0,0357	0,039	0,037158	0,03493	0,00528
Senaryo 5	0,0397	0,0585	0,039	0,414399	0,0406	0,035	0,055282	0,04149	0
Senaryo 6	0,0359	0,0391	0,035	0,035534	0,0353	0,039	0,03435	0,03417	0,14968
Senaryo 7	0,0368	0,0431	0,037	0,034701	0,0365	0,039	0,038685	0,3562	0,00528

Adım 4: En iyi ideal ve en kötü ideal çözümlerin oluşturulması

Ağırlıklı standart matrisindeki sütunlardan seçilerek belirlenir. Tablo 4.26 ile ideal çözüm verilmiştir.

Tablo 4.26. İdeal çözüm

Kriter	CO ₂	Gecikme	VOC	Kuyruk uzunluğu	NO _x	Hız	Bekleme süresi	Seyahat süresi	Maliyet
A*	0,0359	0,0391	0,035	0,03116	0,0353	0,0397	0,03435	0,03448	0
A-	0,0403	0,0630	0,041	0,05081	0,0409	0,0341	0,06030	0,04177	0,14968

Adım 5: İdeal ölçütleri belirlenmesi

Tablo 4.27 ile ideal ölçütler verilmiştir.

Tablo 4.27. İdeal ölçütler

İdeal ölçütler	S*	S-
Senaryo 1	0,042842	0,14968
Senaryo 2	0,009358	0,15052
Senaryo 3	0,018105	0,14696
Senaryo 4	0,00674	0,14949
Senaryo 5	0,0324	0,10517
Senaryo 6	0,14968	0,04284
Senaryo 7	0,00912	0,14870

Adım 6: İdeal çözüme yakınlığın belirlenmesi

Tablo 4.28 ile ideal çözüme yakınlık verilmiştir.

Tablo 4.28. İdeal çözüme yakınlık

İdeal çözüme yakınlık	C*
Senaryo 1	0,77748
Senaryo 2	0,941473
Senaryo 3	0,890322
Senaryo 4	0,956862
Senaryo 5	0,822538
Senaryo 6	0,22252
Senaryo 7	0,942184

İdeal çözüme yakınlık TOPSİS yönteminin son adımıdır. İdeal çözüme yakınlık her senaryo için ayrı incelenmiştir.

En ideal senaryo TOPSİS yöntemiyle senaryo 4 olarak tespit edilmiştir. Senaryo 6 ise ideale en uzak senaryo olduğu belirlenmiştir. İdeale en yakın senaryolar sırasıyla senaryo 4, senaryo 7, senaryo 2, senaryo 3, senaryo 5, senaryo1 ve senaryo 6 olarak ortaya çıkmıştır.

5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada Erzincan ilinin merkezi ile doğu girişi arasında bulunan Dört Yol Kavşağı, Merplaza Kavşağı, Eski Terminal Kavşağı, Terzibaba Kavşağı, Eski Polis Okulu Kavşağı, Tedaş Kavşağı ve Yeni Terminal Kavşağı olmak üzere yedi sinyalizasyon kavşağının CO₂ salınımı, gecikme süresi, VOC salınımı, kuyruk uzunluğu, NO_x salınımı, hız, bekleme süresi ve seyahat süresi gibi kriterlerin iyileştirilmesi için tavsiyeler vermek hedeflenmiştir. Bunun için yedi ayrı senaryo uygulanmıştır. Senaryolardan elde edilen veriler TOPSİS yöntemi kullanılarak en iyi alternatif belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar mevcut durum ile kıyaslanması aşağıda verilmiştir.

- Elde edilen simülasyon verilerine göre CO₂ salınımı, senaryo 2 için %9 oranında, senaryo 3 için %5 oranında, senaryo 4 için %10 oranında, senaryo 5 için %1 oranında, senaryo 6 için %11 oranında ve senaryo 7 için %9 oranında CO₂ salınımında azalmalar elde edilmiştir.
- Elde edilen simülasyon verilerine göre gecikme süresi, senaryo 2 için %31 oranında, senaryo 3 için %20 oranında, senaryo 4 için %35 oranında, senaryo 5 için %7 oranında, senaryo 6 için %38 oranında ve senaryo 7 için %32 oranında gecikme süresinde azalmalar elde edilmiştir.
- Elde edilen simülasyon verilerine göre VOC salınımı, senaryo 2 için %11 oranında, senaryo 3 için %13 oranında, senaryo 4 için %14 oranında, senaryo 5 için %7 oranında, senaryo 6 için %15 oranında ve senaryo 7 için %11 oranında VOC salınımında azalmalar elde edilmiştir.
- Elde edilen simülasyon verilerine göre kuyruk uzunluğu, senaryo 2 için %29 oranında, senaryo 3 için %34 oranında, senaryo 4 için %35 oranında, senaryo 5 için %18 oranında, senaryo 6 için %39 oranında ve senaryo 7 için %32 oranında kuyruk uzunluğunda azalmalar elde edilmiştir.
- Elde edilen simülasyon verilerine göre NO_x salınımı, senaryo 2 için %10 oranında, senaryo 3 için %7 oranında, senaryo 4 için %13 oranında, senaryo 5 için %1 oranında, senaryo 6 için %14 oranında ve senaryo 7 için %11 oranında NO_x salınımında azalmalar elde edilmiştir.
- Elde edilen simülasyon verilerine göre hız, senaryo 2 için %12 oranında, senaryo 3 için %11 oranında, senaryo 4 için %15 oranında, senaryo 5 için %3 oranında,

senaryo 6 için %17 oranında ve senaryo 7 için %15 oranında hızda iyileşmeler elde edilmiştir.

- Elde edilen simülasyon verilerine göre bekleme süresi, senaryo 2 için %35 oranında, senaryo 3 için %24 oranında, senaryo 4 için %38 oranında, senaryo 5 için %8 oranında, senaryo 6 için %43 oranında ve senaryo 7 için %36 oranında bekleme süresinde azalmalar elde edilmiştir.
- Elde edilen simülasyon verilerine göre seyahat süresi, senaryo 2 için %17 oranında, senaryo 3 için %11 oranında, senaryo 4 için %19 oranında, senaryo 5 için %4 oranında, senaryo 6 için %21 oranında ve senaryo 7 için %17 oranında seyahat süresinde azalmalar elde edilmiştir.

TOPSİS yöntemine göre Dört Yol Kavşağı ve Eski Terminal Kavşağı modern dönel kavşak, Eski Polis Okulu sinyalizasyon dönel kavşak ve Tedaş webster uygulaması şeklinde modellenmesi, oluşturulan senaryolar arasında en iyi senaryo olduğu görülmüştür. Bu durum ise senaryo 4 olarak ifade edilmiştir.

Ulaşım ağlarında oluşan olumsuzlukları gidermek için kısa ve uzun vadeli önlemler alınabilir. Kısa vadede yaşanan olumsuzlukları gidermek için trafik sorunlarının en fazla olduğu kavşaklarda iyileştirmeler yapılarak kavşağın performansı artırılabilir. Uzun vadede ise toplumun şahsi araçlarının yerine toplu taşımaya yönlendirilerek trafikte yer alan taşıt sayısı azaltarak trafik yükünün hafifletilmesi sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- Akmaz, M. M. (2012) “Konya’nın Önemli Sinyalize Kavşaklarının Bilgisayar Programı ile İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi**, Konya.
- Başkan, Ö. (2004) “İzole Sinyalize Kavşaklardaki Ortalama Taşıt Gecikmelerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi**, Denizli.
- 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.
- Burghout, W., Koutsopoulos, H. N. and Andreasson, I. (2005) “Hybrid Mesoscopic-Microscopic Traffic Simulation”, **Transportation Research Record**, 1934(1), 218-225.
- Camcı, A. A. (2019) “Kavşak Tasarımında Trafik Simülasyon Tekniklerinin kullanımı ve Sakarya İçin Uygulamalar”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi**, Sakarya.
- Ceylan, A. (2018) “Şirketlerin TOPSİS Yöntemiyle Finansal Performans Değerlendirmesi: BİST30 Üzerine Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın Üniversitesi**, İstanbul.
- Çalışkanelli, S. P. ve Tanyel, S. (2017) “Sinyalize Kavşaklarda Doygun Akım Değerlerinin İrdelenmesi”, **Teknik Dergi**, 29(1), 8225-8248.
- Çevik, O. (2001) “Sinyalize kavşak Yaklaşımlarındaki Şerit Seçim Davranışlarının Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi**, İzmir.
- Çilingir, C. (2019) “TOPSİS Yöntemi İlve Finansal Performans Değerlendirmesi ve Hisse Senediyle İlişkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sosyal Bilimler Enstitüsü, Marmara Üniversitesi**, İstanbul.
- Dağüstü, H. Ş. (2010) “Trafik Yönetiminde Kavşak Trafiğinin Kontrolü İçin Bir Sinyal Zamanlama Modeli”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi**, İstanbul.
- Demiriz, A. O. (2019) “Mezokopik Simülasyon ile Koridor Kapasite Analizi Yapılması: Erzincan İli Örneği” Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi**, Erzurum.
- Erda, M. (2018) “Autonomous Vehicles: Evaluation of traffic Management Strategies in The Case of An Incident”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi**, İstanbul.

- Erol, D. (2018) “Kentiçi Işıklı ve Dönel Kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisi: Denizli Örneği”. Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü Pamukkale Üniversitesi**, Denizli.
- Ertikin, K. (2019) “TOPSİS ve PROMETHEE Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Finansal Performansın Karşılaştırılması: BİST İnşaat Sektörü Üzerine Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa Uludağ Üniversitesi**, Bursa.
- Gonca, C. K. ve Gülsün, B. (2019) “Adaptif Trafik Yönetim Sistemleri”, **Ohs Academy**, 2(1), 32-40.
- GoogleEarth. “GoogleEarth”, <https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/>, Son erişim tarihi: 04/08/2020
- Güldamlaşı, G. (2007) “Tek Yön Sistemlerinin Çift Yöne Dönüştürülmesinin Sonuçları ve Performans Analizi Üzerine Araştırma (Balıkesir ve İzmir Örnekleri)”, Yüksek lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi**, Balıkesir.
- Güven, A. C. (2019) “Akıllı Ulaşım Sistemleri Üzerinde Bir Sistematik Literatür Taraması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Başkent Üniversitesi**, Ankara.
- KGM. (2005) Karayolu Tasarım El Kitabı, **Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları**, Ankara, 100-233.
- KGM. “İstatistikler”, <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Istatistikler/DevletveIIYolEnvanteri.aspx>, Son erişim tarihi: 01.01.2020
- Kırımlı, Y. S. (2019) “Eşdüzey Kavşaklarda Kavşaklar Arası Mesafenin Kavşak Performansına Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi**, Trabzon.
- Kopal, B. (2011) “Boğaziçi Köprüsü Üzerinde Trafik Sıkışıklığının Hız Yönetimi Yöntemiyle Azaltılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçeşehir Üniversitesi**, İstanbul.
- Li, D. and Ranjitkar, p. (2015) “A Fuzzy Logic-Based Variable Limit Controller”, **Journal of Advanced Transportation**, 49(8), 913-927.
- Mengi, G. Ş. (2019) “Erzincanpark Alışveriş Merkezinin Trafik Etki Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi**, Erzincan.
- Moridpour, S., Mazloumi, E. and Mesbah, M. (2015) “Impact of Heavy Vehicles on Surrounding Traffic Characteristics”, **Journal of Advanced Transportation**, 49(4), 535-552.

- Murat, Y. Ş. (2001) “Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği ile Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli”, Doktora Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul.
- Mutlu, A. (2019) “Balıkesir Şehir Merkezinde Trafik kaynaklı Hava Kirliliği Seviyelerinin Analizi”, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 21(1), 152-168.
- Ozan, C., Başkan, Ö. ve Mutlu, M. (2020) “Denetimsiz Eşdüzey Kavşakların Performans Analizi: Aydın Örneği”, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 22(2), 637-648.
- Özçetin, K. N. (2019) “Bir Mobilya Firmasında Paketleme Öncesi Üretim Hattının Simülasyon ile Verimliliğinin Artırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi**, Sakarya
- Özden, N. (2019) “Turizm Sektöründe Aile İşletmelerinin Hizmet Kalitesinin Topsis ve AHP Yöntemleri ile Değerlendirilmesi: Beş Yıldızlı Otel İşletmeleri Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, **Sosyal Bilimler Enstitüsü, Akdeniz Üniversitesi**, Antalya.
- Özturan, T. (2006) “Köprü Ücretli Geçiş Gişelerinin Mikrosimülasyon Kullanılarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi**, İstanbul,
- Quiroga, C. A. and Bullock, D. (1999) “Measuring Control Delay at Signalized Intersections”, **Journal of Transportation Engineering**, 125(4), 271-280.
- Savaş, K. (2019) “Kavşaklarda Yaya Simülasyonu ve Kavşak kapasitesine Olan Etkisinin İncelenmesi: Çorlu İlçesi Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Teknik Üniversitesi**, Sakarya.
- Shalanova, N. (2017) “Beylikdüzü-Şirinevler E-5 Karayolu Hizmet Düzeyi”. Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi**, İstanbul.
- Şimşir, F., Özkaynak, E., ve Ekmekçi, D. (2013) “Kavşaklarda Trafik Sinyalizasyon Sistemlerinin Modellemesi ve Benzetimi”, **Akademik Bilişim 2013**, Antalya, 785-789.
- Tanyel, S. ve Yayla, N. (2010) “Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma”, **İMO Teknik Dergi**, 21(1), 4935-4958.
- Tunalıoğlu, N. (2005) “Katlı Kavşakların ve Bağlantı Yollarının Örnek Uygulama Olarak Altunizade Katlı Kavşağı”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi**, İstanbul.
- Tunç, A. (2003) Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları, **Asil Yayın Dağıtım**, Ankara, 790.
- TÜİK. “Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları”, <http://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>, Son erişim tarihi: 04.02.2020

- Uncu, C. (2006) “Boğaziçi Köprüsü Gişe Sahasının AIMSUN Mikrosimülasyon Yazılımı ile Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi**, İstanbul.
- Yayla, N. (2006) Karayolu Mühendisliği, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 211-222.
- Yılmaz, E. (2006) “Karayolu Trafik Simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi**, Trabzon.
- Zorer, A. (2003) “Katılım Kontrolü Simülasyonu: Boğaziçi Köprüsü ve Çevre Yolunda (O-1) Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi**, İstanbul.





Ek-1. Tez esnasındaki akademik çalışmalar

- Baş, F. İ., Çolak, M. A., Demiriz, A. O., Bayata, H. F., Bayrak, O. Ü., Keleş, Ö. F., Mazlum, Y., Gürel, M. O. ve Demircioğlu, M. S. (2020) “Kentiçi Kavşakların Mikrosimülasyon Yöntemiyle Modellenmesi: Erzurum İli Örneği”, ***European Journal of Science and Technology***, 1, 444-451.
- Baş, F. İ., Çolak, M. A., Demiriz, A. O., Bayata, H. F., Bayrak, O. Ü., Keleş, Ö. F., Mazlum, Y., Gürel, M. O. Ve Demircioğlu, M. S. (2020) “Erzurum Gürcükapı Kavşağının Mikrosimülasyon İle Değerlendirilmesi”, ***International Conference On Access To Recent Advances In Engineering And Digitalization***, Kayseri, 110-111.

