

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KENTİÇİ İŞIKLI VE DÖNEL KAVŞAK UYGULAMALARININ  
PERFORMANS KRİTERLERİNE ETKİSİ: DENİZLİ ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DUYGU EROL**

**DENİZLİ, TEMMUZ - 2018**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KENTİÇİ IŞIKLI VE DÖNEL KAVŞAK UYGULAMALARININ  
PERFORMANS KRİTERLERİNE ETKİSİ: DENİZLİ ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DUYGU EROL**

**DENİZLİ, TEMMUZ - 2018**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Duygu EROL tarafından hazırlanan "Kentiçi Işıklı ve Dönel Kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisi: Denizli Örneği" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 16.07.2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Jüri Üyeleri

İmza

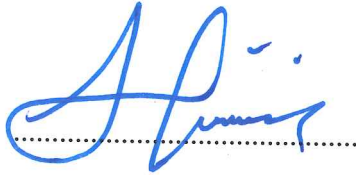
Danışman  
Doç. Dr. Özgür BAŞKAN

Üye  
Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN

Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Cenk OZAN

  
.....  
  
.....  
  
.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
25/07/2018 tarih ve 31/10... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2017FEBE026 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**



**DUYGU EROL**

## ÖZET

### **KENTİÇİ IŞIKLI VE DÖNEL KAVŞAK UYGULAMALARININ PERFORMANS KRİTERLERİNE ETKİSİ: DENİZLİ ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DUYGU EROL**

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ÖZGÜR BAŞKAN)**

**DENİZLİ, TEMMUZ - 2018**

Bu çalışmada kentiçi ulaşım ağlarında sıklıkla kullanılan ışıklı ve modern dönel kavşakların performansları gecikme ve hız parametreleri dikkate alınarak incelenmiştir. İlk olarak mevcut durumda ışıklı kavşak olarak hizmet veren Emniyet Kavşağı'nın Vissim programında benzetimi yapılarak performans parametrelerinin değerleri analiz edilmiştir. Performans iyileştirmesi amacıyla öncelikle kavşağa ait mevcut ışık süreleri TRANSYT-7F programında en iyilenmiş sonrasında ise mevcut faz planı değiştirilerek elde edilen parametre değerleri karşılaştırılmıştır. Sonrasında Emniyet Kavşağı'nın kontrol türü modern dönel kavşak olarak değiştirilerek benzetimi yapılmış ve performans parametre değerleri Vissim programında analiz edilmiştir. İkinci olarak halihazırda modern dönel kavşak olarak hizmet veren Albayrak Kavşağı'nın Vissim benzetim programında analizi aşamasında sürücü davranışlarını temsil eden parametre değerlerinin en uygun değerlerini belirleyebilmek amacıyla iki seviyeli bir çözüm algoritması geliştirilerek kalibrasyon çalışması yapılmıştır. Elde edilen Vissim kullanıcı parametre değerleri kullanılarak Albayrak Kavşağı'nın benzetimi yapılmış ayrıca söz konusu kavşak ışıklı kavşak olarak Vissim programında modellenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen her iki kavşak içinde trafik hacmi, ağır taşıt oranı ve sola dönüş oranı değerlerine bağlı olarak üç farklı senaryo geliştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar modern dönel kavşakların trafik hacminin belli değerlerine kadar gecikme ve hız parametreleri açısından ışıklı kavşaklara oranla performansının daha iyi olduğunu göstermektedir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Dönel Kavşak, Işıklı Kavşak, Kalibrasyon, Vissim

## **ABSTRACT**

### **PERFORMANCE INVESTIGATION OF URBAN SIGNALIZED INTERSECTIONS AND ROUNDABOUTS: THE CASE OF DENİZLİ**

**MSC THESIS  
DUYGU EROL**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
CIVIL ENGINEERING  
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ÖZGÜR BAŞKAN)**

**DENİZLİ, JULY - 2018**

In this study, the performances of signalized intersections and roundabouts, which are often used in urban road networks, were analyzed considering delay and speed parameters. Firstly, four-legged signalized intersection called Emniyet was simulated in Vissim software and performance parameters were analyzed for improve the performance of Emniyet intersection, signal timings including cycle and green splits were optimized in TRANSYT-7F software. Following these improvements, obtained performance parameters were compared. After then, Emniyet intersection was converted to roundabout and modelled in Vissim. Finally, delay and speed values obtained from current states of Emniyet intersection and different improvements were comparatively analyzed. Secondly, Vissim calibration was performed by developing a bilevel solution algorithm in order to find optimal values of user behavior parameters of Albayrak roundabout. Using optimal user behavior parameters, Albayrak roundabout was simulated in Vissim and then it was converted to signalized intersection. Results obtained for two types of Albayrak intersection were compared according to delay and speed parameters. In order to show the effects of traffic related parameters such as traffic volume, heavy vehicle ratio and left-turn ratio, three scenarios were developed for Emniyet and Albayrak intersections and results were compared. Results show that modern roundabouts outperformed signalized intersections with regards to delay and speed parameters until traffic volume reaches to a certain degree.

**KEYWORDS:** Roundabout, Signalized Intersection, Calibration, Vissim

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Problemin Tanımı .....	2
1.2. Amaç .....	3
1.3. Tezin Düzenlenmesi .....	4
1.4. Sonuçlar .....	5
<b>2. KAVŞAK KONTROL TÜRLERİ</b> .....	<b>6</b>
2.1. Işıklı Kavşaklar .....	7
2.2. Modern Dönel Kavşaklar .....	10
2.3. Sonuçlar .....	15
<b>3. KAVŞAK PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ</b> .....	<b>16</b>
3.1. VISSIM Benzetim Programı .....	21
3.2. TRANSYT-7F .....	24
3.3. Sonuçlar .....	27
<b>4. VISSIM BENZETİM PROGRAMI KALİBRASYON ÇALIŞMALARI</b> .....	<b>28</b>
4.1. İki Seviyeli Kalibrasyon Modeli .....	32
4.2. Çalışma Alanı .....	34
4.3. Sonuçlar .....	37
<b>5. IŞIKLI VE MODERN DÖNEL KAVŞAK ANALİZLERİ</b> .....	<b>38</b>
5.1. Emniyet Kavşağı .....	38
5.1.1. Emniyet Kavşağı Performans Analizi .....	42
5.1.2. Süre Optimizasyonu .....	43
5.1.3. Faz Planının Değiştirilmesi .....	44
5.1.4. Emniyet Kavşağının Kontrol Türünün Değiştirilmesi .....	46
5.1.5. Senaryolar .....	48
5.1.5.1. Kavşak Kontrol Türünün Değiştirilmesi Durumundaki Senaryoların Analizi .....	49
5.1.5.2. Işık Sürelerinin İyileştirilmesi Durumundaki Senaryoların Analizi .....	52
5.2. Albayrak Kavşağı .....	56
5.2.1. Albayrak Kavşağı Mevcut Durum Performans Analizi .....	60
5.2.2. Albayrak Kavşak Kontrol Türünün Değiştirilmesi .....	61
5.2.3. Senaryolar .....	63
5.3. Sonuçlar .....	68
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>69</b>
<b>7. KAYNAKLAR</b> .....	<b>71</b>
<b>8. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>77</b>



# ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfa

Şekil 1.1: Trafik hacmine bağlı olarak kavşak türü seçimi .....	2
Şekil 2.1: Kavşak kontrol türleri.....	6
Şekil 2.2: Modern dönel kavşağın temel tasarım elemanları.....	10
Şekil 2.3: Trafik hacimlerine bağlı olarak dönen akım şerit sayısı .....	14
Şekil 3.1: Vissim benzetim programında çakışma alanlarının tanımlanması...	23
Şekil 4.1: İki seviyeli kalibrasyon modeli.....	31
Şekil 4.2: İki seviyeli DG algoritması akış şeması .....	34
Şekil 4.3: Albayrak kavşağı ve kalibrasyon için kullanılan kavşak .....	35
Şekil 4.4: Kalibrasyon Yapılan kavşağın Vıssım görüntüsü .....	36
Şekil 5.1: Emniyet kavşağı .....	39
Şekil 5.2: Emniyet kavşağı yaklaşım kolları .....	39
Şekil 5.3: Emniyet kavşağı yaklaşım kollarına ait zirve saat trafik hacimleri (ta/sa).....	40
Şekil 5.4: Emniyet kavşağı devre diyagramı .....	41
Şekil 5.5: Emniyet kavşağı faz diyagramı .....	41
Şekil 5.6: Emniyet kavşağı (mevcut durum) .....	42
Şekil 5.7: Emniyet kavşağı devre diyagramı .....	44
Şekil 5.8: Emniyet kavşağı faz diyagramı (üç faz).....	45
Şekil 5.9: Emniyet kavşağı devre diyagramı (üç faz).....	45
Şekil 5.10: Emniyet kavşağı (üç faz).....	46
Şekil 5.11: Emniyet kavşağı (modern dönel kavşak) .....	47
Şekil 5.12: Talep artışı ve gecikme ilişkisi (kavşak kontrol türü değişimi -Emniyet kavşağı -senaryo 1) .....	49
Şekil 5.13: Talep artışı ve hız ilişkisi (kavşak kontrol türü değişimi -Emniyet kavşağı-senaryo 1) .....	50
Şekil 5.14: Ağır Taşıt oranı ve gecikme ilişkisi (kavşak kontrol türü değişimi -Emniyet kavşağı-senaryo 2) .....	50
Şekil 5.15: Ağır taşıt oranı ve hız ilişkisi (kavşak kontrol türü değişimi - Emniyet kavşağı-senaryo 2) .....	51
Şekil 5.16: Sola dönüş oranı ve gecikme ilişkisi (kavşak kontrol türü değişimi -Emniyet kavşağı-senaryo 3) .....	52
Şekil 5.17: Sola dönüş oranı ve hız ilişkisi (kavşak kontrol türü değişimi -Emniyet kavşağı-senaryo 3) .....	52
Şekil 5.18: Talep artışı ve gecikme ilişkisi (ışık sürelerinin iyileştirilmesi -Emniyet kavşağı-senaryo 1) .....	53
Şekil 5.19: Talep artışı ve hız ilişkisi (ışık sürelerinin iyileştirilmesi -Emniyet kavşağı-senaryo 1) .....	54
Şekil 5.20: Ağır taşıt oranı ve gecikme ilişkisi (ışık sürelerinin iyileştirilmesi -Emniyet kavşağı-senaryo 2) .....	55
Şekil 5.21: Ağır taşıt oranı ve hız ilişkisi (ışık sürelerinin iyileştirilmesi - Emniyet kavşağı-senaryo 2) .....	55
Şekil 5.22: Sola dönüş oranı ve gecikme ilişkisi (ışık sürelerinin iyileştirilmesi -Emniyet kavşağı-senaryo 3) .....	56
Şekil 5.23: Sola dönüş oranı ve hız ilişkisi (ışık sürelerinin iyileştirilmesi -Emniyet kavşağı-senaryo 3) .....	56

<b>Şekil 5.24:</b> Albayrak kavşağı ve çevresindeki modern dönel kavşaklar .....	57
<b>Şekil 5.25:</b> Albayrak kavşağı mevcut durumu.....	58
<b>Şekil 5.26:</b> Emniyet kavşağı yaklaşım kollarına ait zirve saat trafik hacimleri (ta/sa).....	59
<b>Şekil 5.27:</b> Albayrak kavşağı (mevcut durum).....	60
<b>Şekil 5.28:</b> Albayrak kavşağı faz diyagramı.....	61
<b>Şekil 5.29:</b> Albayrak kavşağı devre diyagramı.....	62
<b>Şekil 5.30:</b> Albayrak kavşağı (ışıklı) .....	62
<b>Şekil 5.31:</b> Talep artışı ve gecikme ilişkisi (Albayrak kavşağı-senaryo 1) .....	64
<b>Şekil 5.32:</b> Talep artışı ve hız ilişkisi (Albayrak kavşağı-senaryo 1).....	64
<b>Şekil 5.33:</b> Ağır taşıt oranı ve gecikme ilişkisi (Albayrak kavşağı-senaryo 2) .....	65
<b>Şekil 5.34:</b> Ağır taşıt oranı ve hız ilişkisi (Albayrak kavşağı-senaryo 2).....	65
<b>Şekil 5.35:</b> Sola dönüş oranı ve gecikme ilişkisi (Albayrak kavşağı-senaryo 3) .....	67
<b>Şekil 5.36:</b> Sola dönüş oranı ve hız ilişkisi (Albayrak kavşağı-senaryo 3) .....	67

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 4.1:</b> Kavşağa ait örnek gecikme f6y6u.....	35
<b>Tablo 4.2:</b> Kavşak trafik hacim değerleri.....	36
<b>Tablo 5.1:</b> Emniyet kavşaağı trafik hacim değerleri .....	40
<b>Tablo 5.2:</b> Emniyet kavşaağı ışık s6releri .....	41
<b>Tablo 5.3:</b> Emniyet kavşaağı analiz sonuçları .....	42
<b>Tablo 5.4:</b> TRANSYT-7F programından elde edilen ışık s6releri (Emniyet kavşaağı) .....	43
<b>Tablo 5.5:</b> Emniyet kavşaağı analiz sonuçları (ışık s6releri en iyilenmiş) .....	44
<b>Tablo 5.6:</b> Emniyet kavşaağı analiz sonuçları karşılaştırılması .....	44
<b>Tablo 5.7:</b> Emniyet kavşaağı faz yeşil s6releri (6ç faz).....	45
<b>Tablo 5.8:</b> Emniyet kavşaağı (s6re optimizasyonu yapılmış) analiz sonuçları..	46
<b>Tablo 5.9:</b> Emniyet kavşaağı analiz sonuçları incelemesi .....	46
<b>Tablo 5.10:</b> Emniyet kavşaağı (modern d6nel kavşak) analiz sonuçları.....	47
<b>Tablo 5.11:</b> Emniyet kavşaağı mevcut durum ve iyileştirme analiz sonuçları ..	48
<b>Tablo 5.12:</b> Albayrak kavşaağı 6rnek sayım f6y6u .....	58
<b>Tablo 5.13:</b> Albayrak kavşaağı trafik hacim değerleri.....	59
<b>Tablo 5.14:</b> Albayrak kavşaağı (mevcut durum) analiz sonuçları .....	60
<b>Tablo 5.15:</b> Albayrak kavşaağı faz yeşil s6releri .....	61
<b>Tablo 5.16:</b> Albayrak kavşaağı (ışıklı) analiz sonuçları .....	62

## ÖNSÖZ

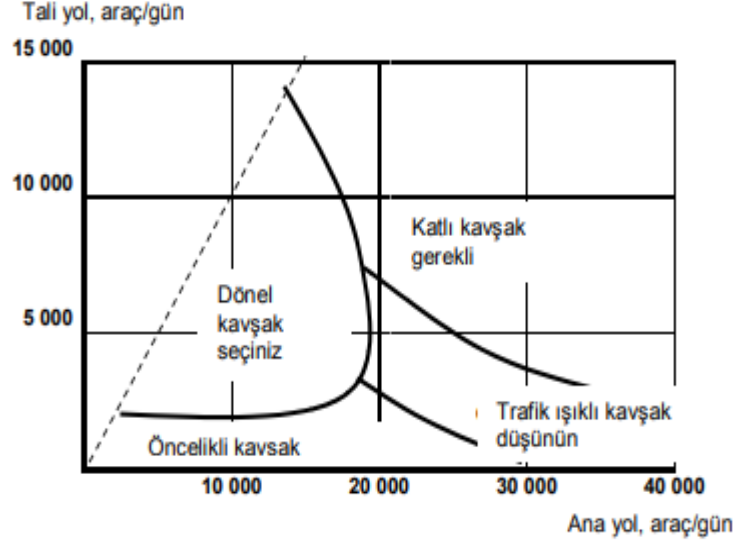
Yüksek lisans eğitimim boyunca daima bana yardımcı olan, her konuda yolumu aydınlatan değerli hocam Doç. Dr. Özgür BAŞKAN'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarım boyunca benden desteklerini esirgemeyen hocalarım Araş. Gör. Ali KALKAN ve Dr. Öğretim Üyesi Engin NACAROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam boyunca Vissim programının akademik versiyonunu kullanma imkanını sağlayan PTV (Planung Transport Verkehr) şirketine ve veri temini aşamasında desteklerini esirgemeyen Denizli Büyükşehir Belediye'si Ulaşım Dairesi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Her koşulda yanımda olan başta annem ve babam olmak üzere kıymetli ailem'e ve sevgili dostlarıma teşekkür ederim.

# 1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca ulaşım her zaman önemli bir noktada bulunmuş ve ülkelerin gelişmişlik düzeyini belirlemede önemli bir rol oynamıştır. Özellikle toplumlar arasında ticaretin geliştirilebilmesi, kültürel etkileşimin sağlanabilmesi açısından ve insanların sürekli olarak yeni yerler keşfetme isteğinden dolayı ulaşım her zaman kilit noktada yer almıştır. Yüzyıllar boyunca teknolojinin ilerlemesi toplumları birbirine yaklaştırmış ve her geçen gün ulaşım talebi günden güne artmıştır. Artan ulaşım talebini karşılayabilmek için ulaşım sektörü baş döndürücü bir hızla ilerlemiştir. Özellikle 20. yüzyılın başından itibaren kullanılmaya başlayan motorlu taşıtlar ve yıllar itibariyle artan kullanım oranları özellikle kentiçi ulaşım ağlarında bir takım sorunları da beraberinde getirmiştir. Bu sorunların başında trafik sıkışıklığı, gecikme, kapasite darboğazları ve trafik kazaları gelmektedir. Bu sorunların tümünün kullanıcılar üzerinde olumsuz etkileri olduğu gibi çevre üzerinde de olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Kentiçi ve kentlerarası seyahatler göz önüne alındığında bu olumsuz sonuçlar en fazla kavşaklarda meydana gelmektedir. Kentiçi ulaşım ağlarında yaşanan gecikmeler ve trafik kazaları incelenecek olursa özellikle gecikmelerin %70'den fazlasının kavşaklardaki zaman kayıplarından ileri geldiği gözlemlerle ortaya konmuştur. Ayrıca kentiçi ulaşım ağlarında trafik kazalarının %40-60'ı kavşaklarda meydana gelmektedir (Yayla 2004).

Kentiçi eşdüzey kavşaklarda yaşanan gecikme ve trafik sıkışıklığı gibi sorunların önüne geçmek için yerel yönetimlerin bu sıkıntıları ortadan kaldıracak gerçekçi çözümler üretmesi gerekmektedir. Bu sorunları ortadan kaldırmak için yerel yönetimlerin öncelikle kavşak sayımlarını ve analizlerini doğru bir şekilde yapmaları gerekmektedir. Sonrasında ise tasarlanan kavşakların sürücüler tarafından kullanılabilir ve araziye uygulanabilir olması açısından gerçekçi olması gerekmektedir. Şekil 1.1'de trafik hacmine bağlı olarak kavşak türü seçimi konusunda tasarımcıların yararlanabileceği bir diyagram verilmiştir (KGM 2000<sup>a</sup>). Bu diyagrama göre en fazla trafik hacmine sahip olan kavşaklarda katlı kavşak uygulaması daha sonra ise ışıklı kavşak tercih edilmeli, trafik hacminin daha az olduğu durumlar için ise dönel kavşak tercih edilmelidir.



Şekil 1.1: Trafik hacmine bağlı olarak kavşak türü seçimi

### 1.1. Problemin Tanımı

Kentiçi ulaşım ağlarında bulunan kavşakların çok büyük bir bölümü eşdüzey kavşak olarak tasarlanmaktadır. Bilindiği gibi eşdüzey kavşaklar kontrollü ve kontrolsüz olarak ikiye ayrılmaktadır. Trafik hacminin düşük olduğu kesişme noktaları kontrolsüz kavşaklar olarak işletilirken, trafik hacminin yüksek olduğu kesimler kontrollü kavşak olarak işletilmektedir. Kontrollü eşdüzey kavşaklar ışıklı ve dönel kavşaklar olarak tasarlanmaktadır.

Kısa vadede kentiçi ulaşımında yaşanan sorunları en aza indirebilmek için kavşaklarda yaşanan taşıt gecikmelerinin azaltılarak kavşak performansının artırılması gerektiği açıktır. Öncelikli olarak kavşakların performansını artırabilmek için kavşak türlerinin özellikleri hakkında detaylı bilgiye sahip olunmalıdır. Bilindiği gibi ışıklı kavşaklar meydana gelebilecek kazaları önlemek ve gecikmeleri azaltmak amacı ile kullanılmakla birlikte gerekli kriterlere uyulmadan işletilen ışıklı bir kavşak hem gecikmelerin hem de trafik kazalarının artmasına yol açabilmektedir. Bu yüzden her eşdüzey kontrollü kavşağı ışıklı olarak düzenlemek beklenen faydaların elde edilmesi anlamında yetersiz kalabilmektedir. Diğer taraftan ışıklı kavşakların ışık sürelerinin en uygun şekilde belirlenmesi ve özellikle uzun vadede değişen talebe bağlı olarak bu sürelerin güncellenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde ışıklı kavşaklar çoğu uygulamada ortalama taşıt gecikmelerini azaltmak yerine artırabilmektedir.

Diğer bir eşdüzey kavşak kontrol türü olan dönel kavşaklar trafik akımının merkezde bulunan bir ada etrafında döndüğü kavşaklar olarak tanımlanmaktadır. Bu tür kavşaklarda geçiş önceliği kavşak içindeki araçlara ait olup yan yoldaki akımlar dönen akım içinde uygun boşluk bulmaları durumunda ana akıma katılabilmektedirler. Dönel kavşakların uygun geometrik tasarımlarının yapılması durumunda taşıtların hızlarının azalmasından dolayı trafik güvenliği artmakta ancak kapasite bir miktar azalabilmektedir. Bu nedenle dönel kavşakların yapımına karar verme aşamasında kavşak kapasitesi ile trafik güvenliği parametreleri birlikte göz önünde tutularak seçim yapılması gerekmektedir (Erol ve Başkan 2017).

Uzun vadede ise kentiçi ulaşım ağlarında yaşanan sorunları en aza indirebilmek için özel otomobil kullanımını en aza indirmek gerekirken kullanıcıları toplu taşıma kullanmaya teşvik edecek toplu taşıma projeleri geliştirilmelidir. Ancak bu çözümün ortaya koyulabilmesi ancak uzun vadede uygulanacak politikalar ve önlemler ile sağlanabilmektedir. Bu nedenle kentiçi ulaşımı iyileştirmek için kısa vadede yapılması gereken çalışmalar oldukça büyük önem kazanmaktadır.

## **1.2. Amaç**

Bu çalışmanın temel amacı kentiçi kavşaklarda meydana gelen gecikmelere bağlı olarak ortaya çıkan olumsuzlukların en aza indirilebilmesi için kavşak performanslarının artırılması ve farklı kontrol türündeki kavşakların uygulanabilirliğinin araştırılmasıdır.

Çalışmada ilk olarak mevcut durumda ışıklı olarak çalışan eşdüzey kavşağın performansını artırmak amacıyla TRANSYT-7F programı kullanılarak süre optimizasyonu yapılmıştır. Sonrasında Vissim benzetim programı kullanılarak kavşak kontrol türünün değiştirilmesi durumunda kavşak performansının değişimi incelenmiştir. İkinci olarak modern dönel kavşak olarak hizmet veren kavşağın Vissim programında benzetiminin yapılabilmesi amacıyla programa ait kullanıcı parametreleri iki seviyeli programlama modeli kullanılarak kalibre edilmiştir. Söz konusu kavşağın modern dönel kavşak yada ışıklı kavşak olarak işletilmesi durumları için performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

Sonuç olarak çalışmada mevcut durumdaki kavşak kontrol türüne bağlı olarak kavşağın performansını değerlendirmek ve kontrol türünün değiştirilmesinin kavşak performansı üzerindeki etkisini analiz etmek amaçlanmıştır. Ayrıca trafik hacmi, ağır taşıt ve sola dönüş oranlarının kademeli olarak artırılması senaryoları altında analizler yapılmış ve söz konusu parametrelerin kavşak performanslarına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

### **1.3. Tezin Düzenlenmesi**

Tezin giriş bölümünde kentiçi kavşak tasarımı tanımlanmış, problem ve çalışmanın amacından bahsedilmiş ayrıca çalışmanın düzenlenme şekli verilmiştir.

Bölüm 2’de kentiçi ulaşım ağlarında sıklıkla kullanılan ışıklı ve dönel kavşak türleri tanıtılmış ve performans kriterleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3’de kavşak performansları değerlendirilmiş ve çalışma kapsamında kullanılan benzetim programlarından bahsedilmiştir.

Bölüm 4’de çalışma kapsamında kullanılan Vissim benzetim programında yapılan kalibrasyon çalışmaları anlatılmıştır.

Bölüm 5’de çalışmada kullanılan kavşaklar tanıtılmıştır. İlk olarak ışıklı kavşak olarak hizmet veren Emniyet kavşağının performansı değerlendirilmiş ve kontrol türünün modern dönel kavşak olarak değiştirilmesi durumunda kavşağın performansı incelenmiştir. İkinci olarak modern dönel kavşak olarak hizmet veren Albayrak kavşağının performans analizi yapılmıştır. Kavşak kontrol türünün ışıklı kavşak olarak değiştirilmesi durumunda kavşağın performansı değerlendirilmiştir. Son olarak farklı parametreler için uygulanan senaryolar altında ışıklı ve modern dönel kavşaklar için performans analizleri yapılmıştır.

Bölüm 6’da ise çalışmanın genel bir değerlendirmesi yapılmış ve yerel yönetimlere öneriler sunulmuştur.



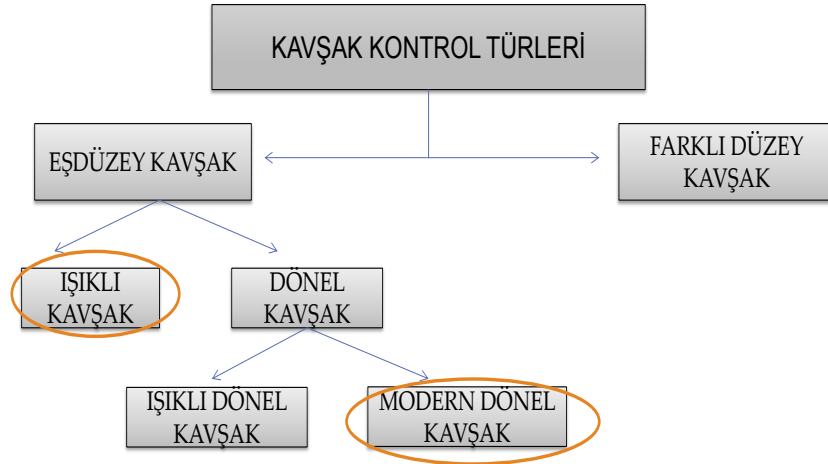
#### **1.4. Sonuçlar**

Çalışmanın bu bölümünde kentiçi ulaşım ağlarında yaşanan trafik sıkışıklığı ve kavşak türleri arasındaki ilişki hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca alışma kapsamında ele alınan problemin tanımı yapılmış ve çalışmanın amacı verilmiştir. Bölüm 2’de ise genel olarak kullanılan kavşak kontrol türleri tanıtılacak olup çalışma kapsamında kullanılacak olan kavşak kontrol türleri ile ilgili detaylı bilgi verilecektir.

## 2. KAVŞAK KONTROL TÜRLERİ

Ulaşım ağlarında iki veya daha fazla yönden gelen akımların kesiştiği alanlar kavşak olarak tanımlanmaktadır. Karayolu ulaşım ağlarında kazaların ve trafik sıkışıklığının en yoğun olduğu bölgeler bilindiği üzere kavşaklardır. Ayrıca kavşaklarda ortalama araç hızları azaldığı için ortalama taşıt gecikmesi, yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak çevreye verilen zarar artmaktadır. Kavşaklarda yaşanan bu zararları en aza indirmek için uygun kavşak kontrol türünün seçilmesi oldukça önem arz etmektedir.

Kavşaklar eşdüzey ve farklı düzey kavşaklar olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Kavşaklar genel olarak trafik hacmi az olan yollarda “hemzemin (eş düzey) kavşaklar”, trafik hacmi fazla olan veya tam erişime kontrollü yollarda ise “farklı düzeyli (seviyeli) kavşaklar” olarak düzenlenmektedirler (Tunç 2003). Kavşak kontrol türlerinden eşdüzey kavşaklar kendi içinde ışıklı ve dönel kavşak olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ayrıca dönel kavşaklarda ışıklı ve modern dönel kavşaklar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Şekil 2.1’de kavşak kontrol türleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Kavşak kontrol türleri

Kavşak tasarımı yapılırken kavşak kontrol türünün seçimi oldukça önemlidir. Ayrıca kavşak kontrol türüne karar vermeden önce trafik ile ilgili birtakım karakteristik özelliklerin bilinmesi doğru tasarımın yapılabilmesi adına oldukça önemlidir. Bu özellikler;

- Kavşağın kentiçi ulaşım ağı içindeki pozisyonu,
- Kavşağa bağlanan kolların trafik hacimleri ve geometrik özellikleri,
- Sürücü ve yaya davranışları,
- Topoğrafik durum ve çevresel koşullar,
- Trafik kompozisyonu,
- Trafiğin zamana bağlı değişimi,
- Kavşak yakınında bulunan talep çekim noktaları,
- Kavşakta daha önce meydana gelmiş kaza sayıları ve şekilleri olarak sıralanabilir.

Belirtilen özelliklerin bilinmesinin yanında kavşak tasarımında karar vericiler diğer bir deyişle tasarımcı tarafından doğru kavşak kontrol türünün seçilmesi noktasında aşağıda belirtilen hususlara da dikkat edilmesi gerekmektedir.

- Kullanıcıların rota seçimine karar verme aşamasında sürücüleri şaşırtacak düzenlemelerden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.
- Kavşakta trafik akımlarının kesişme açıları mümkün olduğunca birbirine dik olmalıdır.
- Alternatif çözümler dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir (Umar ve Yayla 1992).

Kentiçi ulaşım ağlarında kavşak tasarımı yapılırken en sık tercih edilen ve çalışma kapsamında da dikkate alınan kavşak türleri ışıklı ve modern dönel kavşaklar olması açısından Bölüm 2.1 ve 2.2’de ışıklı ve modern dönel kavşak özellikleri verilmiş ve tasarım parametreleri üzerinde durulmuştur.

## **2.1. Işıklı Kavşaklar**

Trafik akımlarının kontrol altına alınması, sürücü ve yayalara sıra ile öncelik hakkı tanınması ve hem sürücü hem de yayalara gerekli uyarıların yapılabilmesi için yatay ve düşey trafik işaretlemeleri ile birlikte kullanılan ve genel olarak elektrik ve çeşitli renkli ışıklar ile çalışan trafik işaretlerine “ışıklı işaret” veya “sinyal” denilmektedir (Kutlu 1993). Bu şekilde yönetilen kavşaklar ise ışıklı kavşak olarak adlandırılmaktadır. Kentiçi ulaşım ağlarında bir kavşağın ışıklı kavşak olarak

yönetilmesinin temel amaçlarından biri kavşakta oluşabilecek gecikmeleri önlemektir. Bu sistemin kurulmasının bir diğer amacı ise her bir kavşak yaklaşım koluna farklı zamanlarda geçiş hakkı vererek kesişmeleri azaltmak ve bu şekilde kaza riskini en aza indirerek güvenli bir geçiş sağlamaktır.

Işıklı kavşaklarda yaklaşım kollarına sıra ile geçiş hakkı vermek suretiyle düzenli bir akım elde edilebildiğinden kapasitenin yanı sıra güvenlikte artmaktadır. Trafik akımında düzenin sağlanmasıyla birlikte karşı karşıya ve yandan çarpma türündeki kazalarda büyük oranda azalma görülmektedir. Bu tür kavşaklarda meydana gelen kazalar genellikle arkadan çarpma şeklinde oluşan kazalar olmaktadır. Bu tür kazalarda da taşıtlar arasındaki hız farkı genellikle az olduğundan oluşan maddi zarar ve ölüm riski düşük olabilmektedir (Yayla 2004; Gedizlioğlu 2002). Kentiçi ulaşım ağlarında bir kavşağın ışıklı kavşak olarak tasarlanabilmesi için farklı yaklaşımlar ve öngörüler literatürde bulunmakla birlikte genel olarak aşağıda belirtilen koşulların oluşması durumunda ışıklı kavşak tasarımı yapılabilmektedir.

- Kentiçi yollarda şerit başına düşen trafik hacminin 750 ta/sa değerinin üzerinde olması,
- Işıklı kavşağın yapımından sonra bir yıl boyunca önlenebilecek trafik kaza sayısının en az 5 olması,
- Zirve saatte 250'den fazla yayanın kavşak kolunu kullanması ve bu yoldan kavşağa gelen taşıt hacminin 600 ta/sa değerinin üzerinde olması gerekmektedir (Varlıorpak 1982).

Ancak yukarıda belirtilen özellikleri taşıyan her ışıklı kavşağın başarılı olarak çalışması mümkün değildir. Bu özelliklerin yanı sıra ışıklı kavşağın performansının yüksek olabilmesi için tasarımda aşağıda belirtilen koşullarında sağlanması gerekmektedir.

- Kavşak yaklaşım kollarına ait trafik hacimlerine ve dönüş oranlarına bağlı olarak uygun faz planları hazırlanmalıdır.
- Devre süresi ve faz yeşil süreleri güncel trafik hacim verilerine bağlı olarak hesaplanmalıdır.

Ayrıca bilindiği gibi kentiçi ulaşım ağlarında trafik hacimleri gün içinde oldukça dinamiktir. Bu nedenle kavşak performanslarının artırılabilmesi için trafik hacim değişimlerine duyarlı bir sistem kurularak devre ve faz yeşil sürelerinin gün içindeki hacim değişimlerine duyarlı bir duruma getirilmesi ilgili kavşağın başarı oranını artıracaktır. Burada belirtilmesi gereken önemli bir nokta uygun faz planını düzenlemek ve gecikmeyi en az yapacak devre süresini uygulamaktır (Gedizlioğlu 2004). Işıklı kavşaklar denetimli çalışan kavşaklardır ve bu denetimi sağlayabilmek için farklı sistemler kullanılmaktadır. Işıklı kavşaklarda kullanılan sinyalizasyon sistemleri izole ve koordine sinyalizasyon sistemleri olarak iki ana gruba ayrılmaktadır.

İzole sinyalizasyon sistemi yöntemi ile çalışan ışıklı kavşaklar kendisinden önce ve sonra gelen kavşaklardan bağımsız olarak çalışmaktadırlar. İzole kavşağa bağlantılı diğer kavşaklardaki trafik hacmi değeri ve trafik sıklığı gibi unsurlar izole kavşak denetim şeklini etkilememektedir. İzole sistemler kendi içinde dört ana başlığa ayrılmıştır. Bu sistemler aşağıda sıralanmıştır:

- Sabit Zamanlı Sinyalizasyon sistemi,
- Trafik Uyarımalı Sinyalizasyon sistemi,
- Yaya Uyarımalı Sinyalizasyon sistemi,
- El ile Kumandalı Sinyalizasyon sistemi.

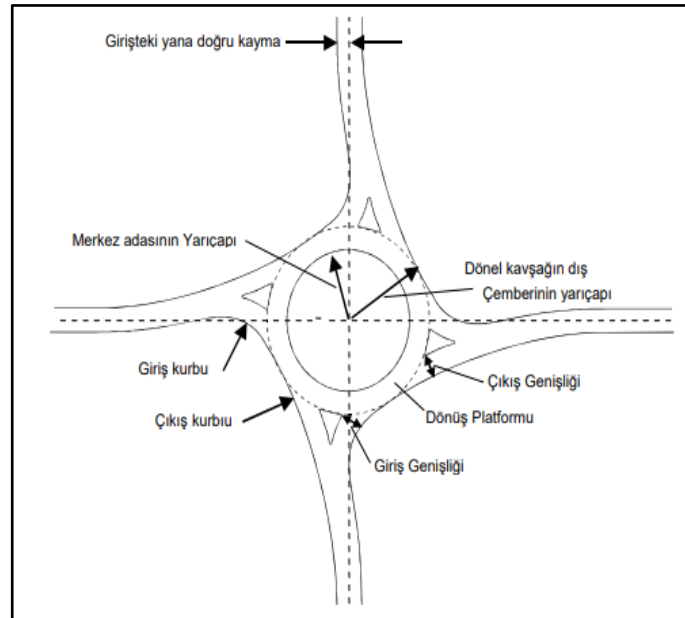
Yukarıda belirtilen sinyalizasyon sistemlerinden en sık kullanılanı sabit zamanlı sinyalizasyon sistemidir. Bu sistem belirlenen devre süresine ve faz planına göre geçiş hakkını yaklaşım kollarına sıra ile veren bir sistemdir. Bu sistemler genellikle gün içinde aynı devre süresi ile çalışmaktadır. Ancak bu sistemin gün içinde değişen trafik hacimlerine bağlı olarak farklı devre süreleri ile çalıştırılması durumunda daha az gecikme değeri elde edileceği açıktır.

Koordine sinyalizasyon sistemi ile çalışan kavşaklar kendinden önce ve sonra gelen kavşaklarla birlikte çalışan kavşaklardır. Koordine sistemler genellikle anayol üzerinde bulunan kavşaklar üzerinde gecikme değerini en aza indirmek için uygulanan bir sistemdir. Ayrıca bu sistem uygulanırken iki kavşak arasında bir dalga hareketi oluşturularak trafiğin kesintiye uğramaması hedeflenmektedir. Ülkemizde

kentiçi ulaşım ağlarında oluşan gecikmelere yerel ve kısa vadede çözüm bulabilmek için koordine sinyalize sistemler de kullanılmaktadır.

## 2.2. Modern Dönel Kavşaklar

Son yıllarda kentiçi ulaşım ağlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanılan eşdüzey kavşak türlerinden olan modern dönel kavşaklar herhangi bir ışıklı sistem olmadan trafik akımının merkezde bulunan bir ada etrafında döndüğü kavşaklar olarak tanımlanmaktadır. Modern dönel kavşaklarda dönüş hareketi trafik sağdan akıyorsa saat yönünün tersine gerçekleşirken, trafiğin soldan akması durumunda trafiğin dönüş yönü saat yönünde meydana gelmektedir. Dönel kavşaklarda sürücüler tarafından geçiş önceliği kurallarının doğru olarak uygulanabilmesi kavşak performansının artırılması açısından oldukça önemlidir. Bu tür kavşaklarda geçiş önceliği kavşak içindeki araçlara ait olup yan yoldaki akımlar dönen akım içinde uygun boşluk bulmaları durumunda ana akıma katılabilmektedirler. Şekil 2.2’de modern dönel kavşaklarda yer alması gereken temel tasarım elamanları verilmiştir (KGM 2000<sup>b</sup>).



Şekil 2.2: Modern dönel kavşağın temel tasarım elemanları

Karayolları Genel Müdürlüğünün belirlediği standartlara göre bir kavşağın modern dönel kavşak olarak tanımlanabilmesi için kavşağın dönüş platformu, giriş

ve çıkış kurbuna sahip olması gerekmektedir. Modern dönel kavşaklar bu özellikleri sayesinde yuvarlak ada kavşaklardan ayrılabilirler.

Dönel kavşakların en önemli özelliği, kavşağa girişte araçların yavaşlamaya ya da durmaya mecbur edilmeleri ve kavşakta dönüş hareketi yapan ana akım içinde buldukları bir aralıkta giriş yapabilmeleridir. Bu özellik kavşak kapasitesinin azalmasına yol açmakla birlikte ortalama taşıt gecikmelerinin azaltılması ve kavşak güvenliğinin artırılması noktasında oldukça faydalı olmaktadır. Kavşak yaklaşım kollarından gelen araçların dönen akıma yol vermesinin sağlanabilmesi için kavşak girişlerinde sürücülerin rahatça görebilecekleri yerlere “yol-ver” işaretlerinin konulması ve kaplama üzerine de bekleme hattını belirten çizgilerin çizilmesi oldukça önem taşımaktadır (Tanyel 2001). Bu noktada kavşak geometrisinin doğru olarak tasarımının yapılması da ayrıca önem kazanmaktadır. Uygun geometride olmayan dönel kavşaklarda yaklaşım kollarından gelen sürücüler kavşak geometrisindeki hatalar yüzünden geçiş hakkının kendilerinde olduğunu düşünebilmekte ve bu durum hem kavşak kapasitesinin azalması hem de trafik güvenliği açısından olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Ülkemizde “dönel kavşaklar” ile “trafik çemberleri” karıştırılan iki kavram olarak karşımızda çıkmaktadır. Bu iki kavramı birbirinden ayırt etmek için aşağıda belirtilen özelliklere dikkat etmek gerekmektedir:

- Dönel kavşaklarda her yaklaşım yolundan kavşağa giren taşıtların kavşak içinde dönüş yapan taşıtlara yol vermesi gerekmektedir. Ancak trafik çemberlerinde bazen giriş yapan taşıtlara öncelik tanınabilmektedir.
- Dönel kavşakta taşıtın dönel kavşağı geçebileceği hız orta adanın konumu ile kontrol edilmektedir. Yuvarlak adada ise ana hareketler için düz bir koridor sağlanarak dönüş platformu içinde daha fazla hız yapılabilmesine olanak sağlanmaktadır.
- Dönel kavşaklarda orta ada üzerinde durmaya ya da park etmeye izin verilmemekte, trafik çemberlerinde ise böyle bir kısıtlama söz konusu olmamaktadır.

- Dönel kavşaklarda orta ada üzerinde yaya hareketine izin verilmez iken trafik çemberleri için böyle bir düzenlemeye ihtiyaç bulunmamaktadır (KGM 2000<sup>b</sup>).

Günümüzde dünyada ve ülkemizde dönel kavşakların sıklıkla kullanılmasının nedenleri aşağıda verilmiştir.

- Dönel kavşaklarda kesişme noktası sayısı ışıklı kavşaklara oranla daha az olmaktadır.
- Dönel kavşaklarda dönen akım ve yaklaşım kollarından kavşağa katılan taşıtların hızları oldukça düşük olduğundan muhtemel kazaların sayısı ve şiddeti oldukça az olmaktadır. Bu nedenle kaza maliyetleri de daha az olmaktadır.
- Ortalama taşıt gecikmeleri ışıklı kavşaklara oranla benzer trafik hacimleri için daha az olabilmektedir.
- Herhangi bir elektronik sistemle yönetilmediği için bakım maliyetleri ışıklı kavşaklara oranla daha düşük olmaktadır.

Ortalama taşıt gecikmelerinin azaltılması yanında dönel kavşakların en önemli özellikleri içinde yer alan kaza sayısının ve şiddetinin daha az olması açısından İsveç'te yapılan bir çalışmada 182 dönel kavşaktan alınan kaza istatistiklerine göre 50 km/sa hız sınırı olan dönel kavşakların farklı seviyeli kavşaklardan bir miktar daha güvenli oldukları belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca kaza sayısı ve şiddetinin dönel kavşaktaki yerel hız limiti, ana yoldaki genel hız limiti ve dönel kavşaktaki şerit sayısına bağlı olarak değişebildiği belirlenmiştir (KGM 2000<sup>b</sup>). Ahn ve diğ. (2009) yapmış oldukları çalışmada dönel kavşakların, sinyalize kavşak ve kontrolsüz kavşaklara göre daha az gecikme değerine ve kuyruk uzunluğuna sahip olduğunu belirlemişlerdir. McKnight ve diğ. (2008) çalışmalarında dönel kavşak uygulaması yapıldıktan sonra sürücülerin yeni kavşak türüne alışma sürecinde zorlandıklarını belirtmişler ve karar vericilerin sürücülerin yaşadığı problemlere çözüm getirmeleri gerektiğini vurgulamışlardır. Dönel kavşak performansının farklı açıdan değerlendirildiği çalışmalardan biri Eshragh ve diğ. (2013) tarafından yapılmıştır. Çalışmada dönel kavşakların genellikle düşük trafik



hacim değerine sahip ulaşım ağlarında uygulandığı belirtilmiş ve bu tür kavşakların tahliye modelleri sırasında göstereceği performans analiz edilmiştir.

Dönel kavşakların yukarıda bahsedilen avantajlarının görülebilmesi ve kavşak performansının artırılabilmesi için aşağıda belirtilen koşullarda uygulanması gerekmektedir.

- Kavşağa dörtten fazla kolun bağlanması durumunda,
- Kazalar açısında “kara nokta” olarak belirlenmiş bölgelerde,
- Günlük trafik hacim değişiminin sık görüldüğü kavşaklarda,
- Sola veya sağa dönüş hacimlerinin yüksek olduğu kavşaklarda,
- Anayol zerindeki trafik hacminin 5000 ta/sa değerini geçtiği kavşaklarda (Oustron ve Bared 1995; Stuwe 1991).

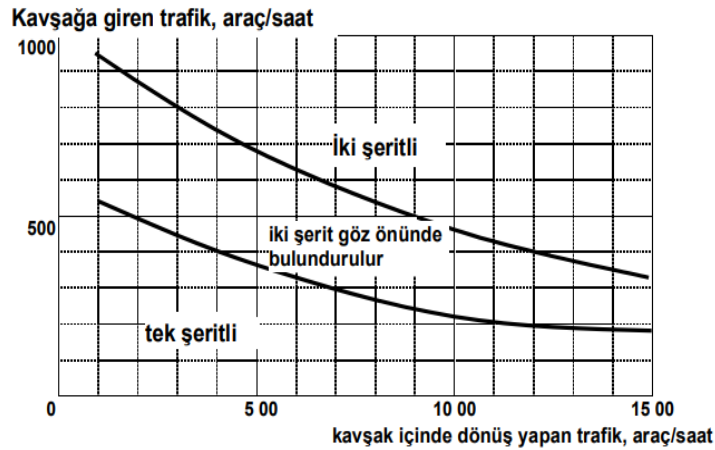
Ayrıca dönel kavşak uygulamalarından beklenen performansın sağlanması için, kavşağın geometrik elemanlarının standartlara uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. rnek olarak kavşak geometrisi sürücülerin kavşağa yavaşça girmelerini ve kavşak içinde düşük hızda seyretmelerini sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. Standartlara uygun olarak yapılan tasarım, kavşak performansını arttırdığı gibi, kavşakta meydana gelebilecek trafik kazası olasılığını da büyük oranda azaltmaktadır. Bu aşamada, dönel kavşakların gerekli yatay ve düşey işaretlemelemlerin uygulanması ile kolayca ayırt edilebilir olması ve sürücülerin kavşak içinde yaya ve bisikletlilerin hareketlerini gözlemleyebilmesi için kavşak giriş noktalarında yeterli görüş uzaklığının sağlanmış olması gerekliliği göz ardı edilmemelidir. Belirtilen sebeplerden dolayı dönel kavşakların projelendirilme aşamaları oldukça önemlidir ve bu aşamada görüş uzunluğu, sapma derecesi, orta ada çapı, dönüş şeridi genişliği, giriş ve çıkış şeritleri, ayırıcı ada, kaplama işaretleri, işaretleme ve aydınlatma, evre düzenlemesi gibi hususlar kesinlikle göz önünde bulundurulmalıdır (Tanyel 2001). Dönel kavşakların geometrik elemanlarına ait özellikler kavşak kapasitesi üzerinde etkin bir rol oynamaktadır. Kavşak kapasitesini etkileyen bazı geometrik özellikler aşağıda verilmiştir (Tanyel 2001).

- Giriş ve çıkış genişliği, uzunlukları ve şerit sayıları,
- Merkez ada çapı ve yaklaşım genişlikleri,
- Dönüş yarıçapı ve dönüş şeridi sayısı,

- Kavşaktaki kesişme açısı,
- Giriş kollarındaki ayırıcı ada genişlikleri,
- Örülme ve dönüş alanının genişlikleri,
- Örülme alanının uzunluğu.

Dönel kavşakların tasarım esasları içinde yer alan en önemli geometrik elemanlar merkez adanın çapı ve dönen akıma ait şerit sayısı olarak ifade edilebilmektedir. Normal bir dönel kavşağa ait merkez adanın yarıçapının genel olarak 10 ile 25 metre arasında olması gerekmekte ancak iki şeritli dönel kavşaklar için yarıçapın en az 15 metre olması gerekmektedir. Kavşak kapasitesi her ne kadar merkez ada yarıçapı ile doğru orantılı olsa da kapasite aynı zamanda, dönüş platformunun genişliği, giriş-çıkış açıları ve genişlikleri gibi diğer tasarım parametrelerine de bağlı olmaktadır. Ancak hem taşıtlar arasındaki zaman cinsinden boşlukların hem de dönen kesimlerin uzunluklarının daha uzun olması nedeniyle, daha büyük merkez adalı dönel kavşaklar daha büyük kapasiteye sahip olabilmektedir (KGM 2000<sup>b</sup>).

Modern dönel kavşaklara ait tasarım esaslarından bir diğer önemli parametre dönen akım şerit sayısıdır. Düşük trafik hacimlerine sahip dönel kavşaklarda güvenlik nedenlerinden dolayı dönüş platformunun sadece tek şeritli olması gerekmektedir. Ancak yüksek trafik hacimlerinde sahip dönel kavşaklarda iki şeritli bir dönüş platformu gerekli olabilmektedir. Bu amaçla kavşağa giren ve kavşak içinde dönüş yapan trafik hacimlerine bağlı olarak kullanılabilir şerit sayılarını gösteren grafik Şekil 2.3’de verilmiştir (KGM 2000<sup>b</sup>).



Şekil 2.3: Trafik hacimlerine bağlı olarak dönen akım şerit sayısı

### **2.3. Sonuçlar**

Çalışmanın bu bölümünde ışıklı kavşaklar hakkında genel bilgiler verilmiş olup, ışıklı kavşak tasarımının hangi durumlarda uygulanabileceğinden, uygulama sırasında dikkat edilmesi gereken hususlardan bahsedilmiştir. Ayrıca ışıklı kavşak uygulamalarında kullanılan izole ve koordine sinyalizasyon sistemlerinden kısaca bahsedilmiştir.

Dönel kavşak tasarım esaslarından bahsedilmiş olup, tasarım ve uygulama sırasında dikkat edilmesi gerekli hususlar detaylı olarak verilmiştir. Çalışmanın nc bölümünde kavşak performanslarının değerlendirilmesi sırasında kullanılan parametreler ve yöntemler verilmiştir.

### 3. KAVŞAK PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ

Günümüzde özellikle kentiçi ulaşımda özel otomobil ulaşım türünün baskın olduğu kentlerde gecikmeler, trafik kazaları ve trafik sıkışıklığı gibi problemlerle sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bu problemlerin büyük bir bölümü kentiçi ulaşım ağlarında özellikle kavşaklarda meydana gelmektedir. Kavşaklarda yaşanan bu problemleri en aza indirmek için kavşak performansını artırmaya yönelik çalışmaların yapılması gerekmektedir. Kavşak performansını artırmak için karar vericilerin sıklıkla başvurduğu yöntemler ışıklı kavşaklar için kavşağın ışık sürelerini en uygun şekilde tasarlamak ya da kavşak kontrol türünü değiştirmektir. Kavşak performansını artırmaya yönelik çalışmalar yapılırken literatürde kabul görmüş benzetim ve sinyal süre optimizasyon programları kullanılmaktadır. Genel olarak benzetim programları makro ölçekte ulaşım ağlarında mikro ölçekte ise tek bir kavşakta yapılacak iyileştirme senaryolarının gerçekte nasıl sonuç vereceğinin tahmin edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu tür programların kullanılmasının birçok avantajı vardır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Karar vericilerin mevcut trafiğin durumunu analiz edebilmesini sağlamak,
- Trafikte yaşanan sorunları en aza indirmek için farklı senaryolar oluşturulmasını sağlamak,
- Senaryoları sahada uygulamadan önce karar vericilere bir değerlendirme fırsatı sunmak,
- En iyi performansı sunan senaryonun seçilmesini sağlamak,
- Zaman tasarrufu sağlamak,
- Kavşak performansını artırmaya yönelik harcamaların en aza indirilmesini sağlamaktır.

Benzetim programları sağladığı avantajların yanı sıra birtakım dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Bilindiği gibi trafik problemlerinin çözümünde sadece matematiksel modeller kullanarak çoğu zaman sonuca gitmek mümkün olamamaktadır. Bunun sebebi trafik ve ulaşım problemlerinin sürücü psikolojisi ve davranışlarıyla yakından ilgili olmasıdır. Örnek olarak bir ülkedeki sürücü davranışlarına uygun olarak geliştirilen bir benzetim programını farklı bir

ülkede aynı sürücü davranışlarını kabul ederek uygulamak yanlış tercihler yapılmasına neden olabilmektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak için, kullanılan benzetim programı mevcut ülke koşullarına ve sürücü davranışlarına uygun hale getirilmeli, karar vericilerin yanlış kararlar almaları önlenmelidir. Bu durumu gerçekleştirebilmek için benzetim programlarında kalibrasyon çalışmaları ve duyarlılık analizleri yapılmalıdır. Ancak bu çalışmaların yapılabilmesi için öncelikle kullanılacak benzetim programlarına ait özelliklere hâkim olmak gerekmektedir. Benzetim programları farklı amaçlara hizmet vermesi bakımından çeşitlilik göstermektedir.

Diğer taraftan kavşak performansını artırmak için doğru parametrelerin dikkate alınması ve uygun yöntemlerle analiz edilmesi gerekmektedir. Bu analizler sırasında birtakım performans parametreleri belirlenmeli ve kavşaklar bu parametrelere göre analiz edilmelidir. Literatürde kavşak performansını analiz etmek için aşağıda sıralanan parametreler sıklıkla kullanılmaktadır.

- Ortalama taşıt gecikmesi,
- Ortalama kuyruk uzunluğu,
- Ortalama hız,
- Emisyon salınımı,
- Yakıt tüketimi.

Yukarıda verilen parametreler incelendiği zaman gecikme, kuyruk uzunluğu ve hız parametrelerinin seyahat süresine doğrudan etkileyen parametreler olduğu görülebilmektedir. Diğer taraftan emisyon salınımı ve yakıt tüketimi ise trafiğin olumsuz çevresel etkilerinin değerlendirilebileceği parametreler olarak öne çıkmaktadır.

Tanyel ve Varlıoprak (1998) yaptıkları çalışmada meydana gelen kazalar ve yapılan kural ihlalleri sonucu kapasitesinde düşüşler görülen ve geometrik yapısı dönel kavşak olmaya elverişli olan iki kavşak belirlemiştir. Belirlenen bu kavşaklar üzerinde modern dönel kavşak ve ışıklı kavşak performansları incelenmiş, Avustralya sinyalizasyon metodu kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Troutbeck (1998) çalışmasında gecikme ve kapasite parametrelerini dikkate alarak dönel kavşak performansının analizini yapmış ve aralık kabulü yaklaşımının gerçeğe

uygun sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Tanyel (2001) trafiğin olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla dünyada yaygın olarak kullanılan dönel kavşakların Türkiye’de uygulanabilirliğini incelemiştir. Çalışmada kavşakların analizini yapabilmek için performans parametresi olarak gecikme ve kapasite parametreleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda dönel kavşakların doğru tasarımının yapılması durumunda ülkemizde de trafik kaynaklı problemlerin azaltılması konusunda oldukça faydalı olacağı sonucuna varılmıştır. Akçelik (2004) yuvarlakada bir kavşağın etkin bir şekilde çalışıp çalışmadığını değerlendirmek için farklı performans kriterlerini göz önünde bulundurmuş ve yuvarlakada kavşağı taşıt gecikmesi, yakıt tüketimi, seyahat süresi, çevresel etkiler vb. parametreleri dikkate alarak incelemiştir. Yin ve Qin (2011) yaptıkları çalışmada dönel kavşakların analizi sırasında mikroskobik yazılım olarak Vissim kullanılırken, makroskobik yazılım olarak Sidra programının kullanıldığını belirtmişlerdir. Çalışmada iki şeritli bir dönel kavşak üzerinde ortalama gecikme parametresine bağlı olarak Sidra ve Vissim programları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kullanılan programların analiz edilen kavşak için benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Takemoto ve diğ. (2012) kış mevsiminde dönel kavşaklardaki sürücü davranışlarını farklı yol durumları ve farklı merkez ada çaplarını dikkate alarak incelenmiştir. Sonuçlar yüzey özelliklerinin seyahat hızını ve hızlanmayı etkilediğini gösterirken, bu parametreler üzerinde merkez ada çapının oldukça küçük bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Gross ve diğ. (2013) ışıklı kavşakların dönel kavşak şeklinde tasarımının yapılması durumunda kavşak güvenliğinde meydana gelecek olan değişiklikler üzerine çalışmışlardır. Çalışma kapsamında, Amerika Birleşik Devletleri’nde dönel kavşağa dönüştürülmüş olan 28 adet ışıklı kavşak tespit edilmiş ve bu kavşaklarda önce-sonra etütleri yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda, ışıklı kavşakları dönel kavşağa çevirmenin kavşak güvenliği açısından olumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çakıcı (2014) kontrollü kavşak türlerinden biri olan ışıklı dönel kavşakların tasarım esasları üzerine çalışmış ve ışıklı dönel kavşakların depolama alanı gereklilikleri ve performansını etkileyen diğer faktörler üzerinde senaryolar altında değerlendirmeler yapmıştır. Benzer şekilde Salamati ve diğ. (2015) yapmış oldukları çalışmada dönel ve ışıklı kavşakların yaratmış olduğu emisyon salınımları açısından karşılaştırma yapmıştır. Sonuçlar düşük talep/kapasite oranlarında dönel kavşakların ışıklı kavşaklara oranla daha az emisyon salınımı gerçekleştirdiklerini göstermiştir. Ancak talep/kapasite oranının artması durumunda ışıklı kavşakların emisyon açısından performansının daha iyi olduğu vurgulanmıştır.

Çalışmalar incelendiğinde kavşağın performansını artırmak için kavşak kontrol türünün değiştirilmesi durumunun farklı çalışmalarda incelendiği görülmektedir. Ancak kavşak kontrol türü değiştirilirken mevcut trafik koşulları sabit tutulmaya çalışılarak analizlerin yapıldığı görülmektedir. Tanyel (2005) çalışmasında İzmir ilinde bulunan dört adet yuvarlak ada kavşak üzerinde, ana akım içinde bulunan ağır araç yüzdesinin yanyol kapasitesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda, ağır araçların kabul aralıkları ile ağır taşıt sürücülerinin verdiği tepkilerin yaklaşık olarak aynı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yuvarlak ada kavşaklar gibi denetimsiz olarak çalışan kavşaklarda, kavşak kapasitesi için ağır taşıtların boyutu ve seyahat sürelerinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Akçelik (2006) yapmış olduğu çalışma kapsamında Avustralya Melbourne’de bir yuvarlakada kavşağı incelemiş ve kavşak analiz programında kavşağı yuvarlak ada kavşak ve kısmi denetimli ışıklı yuvarlak ada kavşak olarak tasarlamıştır. Performans parametresi olarak kavşak işletim maliyeti, yakıt tüketimi ve emisyon salınımı parametrelerini kullanmıştır. Çalışmanın sonucunda kısmi denetimli ışıklı yuvarlak ada kavşağın, yuvarlak ada kavşağa göre dikkate alınan parametrelere göre performansının daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tanyel ve Yayla (2010) İzmir ilinde bulunan dört kavşağa ait verilerden faydalanarak çok şeritli yuvarlak ada kavşak kapasite hesap yöntemleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışma kapsamında kapasite ve performans analizlerinden birisi olan kritik aralık kabulü ve regresyon analizi incelenmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. Alçelik (2010) çalışmasında kentiçi kavşak türünün seçimi, tasarımı, ışıklı ve dönel kavşakların incelenmesi konuları üzerinde çalışmıştır. Ayrıca ışıklı kavşak ve dönel kavşak kapasitelerini karşılaştırmıştır. Çalışma kapsamında İstanbul’un Ümraniye ilçesinde bulunan Tepeüstü Mahallesi ve Yukarı Dudullu Mahallesinde bulunan dönel kavşak ve ışıklı kavşak içeren iki karayolu koridoru incelenmiş ve kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

Kavşak türlerinin performansının karşılaştırıldığı çalışmaların yanında ışıklı kavşaklarda performansı artırmaya yönelik en fazla kullanılan yöntemlerden birisi ışık sürelerinin en uygun değerlerinin bulunmasıdır. Darma ve diğ. (2005) ışıklı bir kavşakta gecikmeyi etkileyen değişkenleri belirlemek amacıyla bir araştırma yapmışlardır. Yapılan çalışmada, Highway Capacity Manual (HCM) yöntemini temel alan ve literatürde yaygın olarak kullanılan SIDRA ve TRANSYT-7F bilgisayar programları kullanılmış ve sola dönüşlerin serbest bırakılması durumunda kavşak

gecikmesinin önemli ölçüde azalacağı gözlemlenmiştir. Eraslan (2008) çalışmasında farklı yöntemlerin karşılaştırılması amacıyla ışıklı kavşaklarda benzetim yapmıştır. Analizi yapılan kavşaklarda gecikme değerlerini en aza indiren yöntemin Avustralya yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır. Dağüstü (2010) yapmış olduğu çalışmada kentiçi trafiğin kontrolünde önemli role sahip olan ışıklı kavşaklar için Webster metodunu kullanarak süre optimizasyon algoritması geliştirmiş ve İstanbul'da bulunan bazı ışıklı kavşakların devre süresini hesaplamıştır. Bu algoritma ile hesaplanan süreler mevcut durumda kullanılan süreler ile Vissim programında analiz edilmiş ve bazı performans kriterlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Akmaz (2012) çalışmasında Konya şehrinde bulunan ve kent trafiğinde önemli yeri olan ışıklı kavşakları incelemiştir. Bu kavşaklarda ortalama taşıt gecikmelerini en küçükleyecek, kapasite ve hizmet düzeylerini artıracak yeni devre sürelerinin önerilmesi hedeflenmiştir. Kavşaklar, "Sidra Intersection" bilgisayar programıyla analiz edilmiştir. Karşılaştırmalar kavşaklardaki mevcut devre sürelerine ve elde edilen optimum devre sürelerine göre yapılmıştır. Sonuç olarak önerilen devre süreleri ile analizi yapılan kavşaklarda gecikmelerin azaldığı ve kapasitelerin arttığı gözlemlenmiştir. Culum (2013) yapmış olduğu çalışmada trafiğin çevre üzerinde oluşturduğu olumsuz etkileri araştırmış ve bu etkileri ortadan kaldırmak için çözüm önerileri sunmayı amaçlamıştır. Bu amaca yönelik olarak ışıklı kavşaklarda sinyal sürelerini en iyilemiş ve trafiğin çevreye verdiği zararı en küçüklemeye çalışmıştır.

Diğer taraftan trafik akımı içindeki ağır taşıt oranı ve sola dönüş oranları kavşak performansını etkileyen önemli faktörler olarak literatürde değerlendirilmektedir. Genellikle bu iki değer artması durumunda kavşak performansı bu durumdan olumsuz etkilenmektedir. Literatür çalışmaları incelendiği zaman dönel ve ışıklı kavşakların kapasite ve performans analizleri açısından farklı yaklaşımlar altında birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda genellikle, ortalama taşıt gecikmesi, ortalama kuyruk uzunluğu, ortalama hız ve kavşak kapasitesi gibi parametreler dikkate alınarak benzetim programları yardımıyla kavşak performanslarının analiz edildiği belirlenmiştir. Literatürde yer alan çalışmaların bir çoğunda kavşak performansını artırmaya yönelik çalışmaların olumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.



Bu tez çalışmasında ışıklı ve dönel kavşak performanslarının değerlendirilmesi ve ilgili analizlerin yapılabilmesi noktasında Vissim (PTV 2016) benzetim programı ve TRANSYT-7F (McTrans 2008) trafik yazılımı kullanılmıştır. Vissim programı çalışmanın temelini oluşturan kavşak performanslarının analiz edilmesi ve oluşturulan senaryoların değerlendirilmesi için kullanılmıştır. TRANSYT-7F programı ile ise kavşakların ışık sürelerinin en iyi değerlerinin hesaplanması aşamasında kullanılmıştır.

### **3.1. VISSIM Benzetim Programı**

Vissim programı genellikle kentiçi ulaşım ağlarındaki trafik ve yaya akışını modellemek için kullanılan zamana bağlı davranışsal bir benzetim programıdır (PTV 2013). Bu yazılım sayesinde senaryolar altında farklı alternatifler değerlendirilebilmekte ve ortalama seyahat süresi, seyahat hızı, gecikme gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak kavşak veya belirli bir ulaşım ağının performans değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Sonuç olarak karar vericilere, trafik mühendislerine ve ulaşım planlamacılarına yapılan iyileştirmelerin sonuçları hakkında değerlendirme yapabilmeye olanağı sağlanabilmektedir. (Chun-ying 2005; Ishaque ve Noland 2007; Noland ve diğ. 2015; Park ve diğ. 2001; Pulugurtha ve Mahanthi 2015).

Vissim programının birçok kullanım alanı bulunmakla birlikte aşağıda belirtilen başlıklarda sıklıkla kullanılmaktadır (PTV 2013).

- Ulaşım ağlarında özel otomobil ve toplu taşıma benzetimi,
- Adaptif sinyal kontrolü, ulaşım ağı güzergâh önerisi ve sistemler arasındaki etkileşimin analizi,
- Yaya benzetimi, toplu taşıma ve özel ulaşım arasındaki etkileşimin benzetimi ve tahliye modelleri,
- Kentsel gelişim planlarının etkisinin analiz edilmesi.

Benzetim programlarında kullanılan taşıt takip modelleri benzetimin gerçeğe yakın olması açısından oldukça önemlidir. Çoğunlukla sabit hıza dayalı ve basit

benzetim programlarının aksine, Vissim programı Widemann tarafından önerilen psiko-fiziksel algı modelini kullanmaktadır (Widemann, 1974). Trafik akımında hızla ilerleyen bir taşıtın sürücüsünün, kendinden daha yavaş giden bir taşıtın hızını fark etmesi neticesinde hızını düşürmeye başlayacağı görüşü bu modelin temel mantığını oluşturmaktadır. Hızlı seyreden sürücü, yavaş seyreden taşıtın hızını tam olarak tespit edemeyeceği için, başka bir algılama eşiğine ulaştıktan sonra hızını tekrardan artırmaya başlayana kadar hızı öteki taşıtın hızının altına düşecektir. Widemann'ın iki farklı türü mevcut olup bunlar Widemann 74 ve Widemann 91 modelleridir. Widemann 74 modeli kentiçi ulaşım ağlarında kullanılırken Widemann 91 ise kentlerarasında kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında kentiçi kavşaklar incelendiği için Widemann 74 modeli kullanılmaktadır.

Widemann 74 taşıt takip modeli, temel olarak bir sürücünün dört farklı seyir durumu olduğu varsayımına dayandırılmıştır.

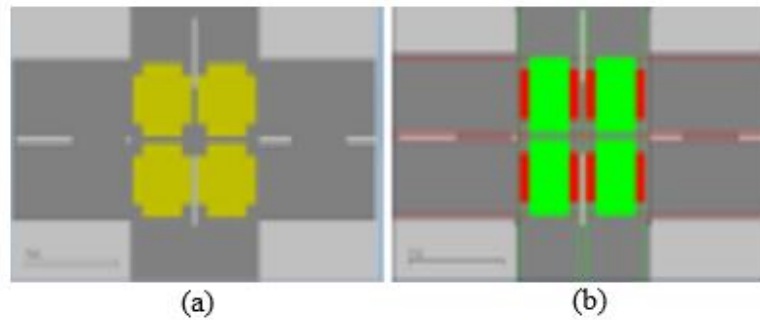
- Serbest sürüş: Öndeki taşıtın hiçbir etkisi dikkate alınmamaktadır. Bu durumda, sürücü belirlenen hıza ulaşmaya ve o hızda devam etmeye çalışmaktadır.
- Yaklaşma: Sürücünün hızını kendinden daha düşük hızla seyreden öndeki taşıtın hızına uyarlaması. Arkadaki sürücü önünde seyreden taşıta yaklaşırken belirlenen güvenlik mesafesine ulaştığı anda yavaşlamaya başlamaktadır.
- Takip: Sürücü öndeki taşıtı bilinçli olarak hızlanmadan yada yavaşlamadan takip etmektedir.
- Frenleme: Sürücü eğer önünde seyreden taşıta belirlenen güvenlik mesafesinden daha fazla yaklaşması durumunda yavaşlamaya başlamaktadır. Bu durum eğer öndeki taşıtın sürücüsü aniden hızını azalttığına ya da üçüncü bir taşıtın sürücüsü iki taşıtın arasına girmek için şerit değiştirdiğinde de meydana gelmektedir.

Bu dört farklı seyir durumunun her biri için sürücüler mesafe ve hız farkına ait bir fonksiyon olarak tanımlanabilecek belirli bir alt sınıra ulaştığı anda bir durumdan diğerine geçiş yapmaktadırlar. Widemann 74 modeli, sürücülerin

algılarındaki fizyolojik kısıtlamaların yanında psikolojik durumları da göz önüne almasından dolayı psiko-fiziksel takip modeli olarak adlandırılmaktadır.

Bilindiği gibi trafik akım karakteristiği ve sürücü davranışları her bölge için farklılık göstermektedir. Bu sebeple benzetim programlarından gerçekçi sonuçlar elde edilebilmesi için analiz yapılırken ilgili parametreler bölge özelliklerine göre kalibre edilmelidir. Diğer taraftan dönel kavşaklar ışıklı kavşaklara oranla trafik akımının yönetiminde sürücü davranışlarının sıklıkla dikkate alınması gereken bir kavşak türüdür. Dönel kavşaklar için kesişme noktalarında geçiş önceliği kavşak içindeki taşıtlara verilmektedir. Ayrıca bu tür kavşaklarda kesişme noktalarında taşıtların kavşağa girmek ya da çıkmak için bekledikleri süreler trafik akım karakteristiği ve sürücü davranışları ile yakından ilgilidir. Örneğin ana akıma katılmak için hızlı reaksiyon gösteren sürücülerin olduğu kavşaklarda elde edilen gecikme ve kuyruklanma gibi parametre değerleri daha geç reaksiyon gösteren sürücülerin bulunduğu bölgelerdeki değerlere oranla daha düşük olacaktır. Bu sebeple yapılan çalışma kapsamında kullanılan Vissim benzetim programında sürücü davranışlarını ve trafik akım karakteristiğini etkilediği düşünülen parametrelerin en uygun değerlerinin belirlenmesi amacıyla kalibrasyon çalışması yapılmıştır.

Vissim benzetim programında çakışma alanları kavşaktaki taşıtların geçiş üstünlüklerini tanımlamak için kullanılmaktadır. Çakışma alanları tanımlanırken programda iki seçenek bulunmaktadır. Bu seçeneklerin Vissim programında elde edilen görüntüleri Şekil 3.1’de verilmiştir.



**Şekil 3.1:** Vissim benzetim programında çakışma alanlarının tanımlanması

Şekil 3.1(a)'da Vissim programında herhangi bir geçiş üstünlüğünün tanımlanmadığı kavşak modeli, Şekil 3.2(b)'de ise ana ve tali yol geçiş

üstünlüklerinin belirtildiği kavşak modeli verilmiştir. Vissim benzetim programında çakışma alanlarındaki geçiş önceliklerinin belirlenmesinin yanında sürücü davranışlarında belirlenmesi gerekmektedir. Örnek olarak tali yoldan kavşak çakışma alanına yaklaşan bir sürücü ana yol akımında yeterli bir boşluk bulması durumunda ana akıma katılmalı, aksi durumda yeterli boşluğu bulana kadar beklemesi gerekmektedir. Sözü geçen sürücü davranışlarını ve akım karakteristiklerini belirten parametreler aşağıda verilmiştir.

- Ön Boşluk,
- Arka Boşluk,
- Güvenlik Mesafesi Katsayısı.

Ayrılma durumunda geçiş hakkına sahip olan taşıt çatışma bölgesinden ayrıldıktan sonra tali yoldan gelen taşıtın bu alana girmek için beklediği süre, katılma durumunda ise geçiş hakkına sahip olan taşıt çatışma alanına girdikten sonra yol veren taşıtın alana girmek için beklediği süre *ön boşluk* olarak tanımlanmaktadır. Arka boşluk parametresi tali yoldan gelen taşıtın çatışma alanından ayrılmasından sonra ana yol akımındaki taşıtın çatışma alanına girmesi için beklemesi gereken minimum süre olarak tanımlanmaktadır. Vissim programında ön ve arka boşluk parametrelerinin varsayılan değerleri 0.5 sn olarak verilmiştir. Sürücü davranışlarının modellenmesinde kullanılan diğer bir parametre olan Güvenlik Mesafesi Katsayısı yan yoldan ana akıma katılacak taşıtlar için bulunması gereken minimum mesafeyi modellemek amacıyla kullanılmaktadır. Programda bu parametrenin varsayılan değeri 1.5 olarak verilmiştir.

### **3.2. TRANSYT-7F**

TRANSYT-7F İngiltere Ulaştırma ve Yol Araştırma laboratuvarı tarafından geliştirilen sinyal süreleri en iyileme programıdır (McTrans 2008). Programın birçok modülü olmasına karşın esas kullanım amacı sinyal süre en iyilemesidir. Bunun dışında devre süresi, faz sırası ve ofset parametrelerini de en iyileyebilmektedir. TRANSYT-7F günümüzde modern optimizasyon yöntemlerini ve benzetim modellerini kullanan oldukça geniş kapsamlı bir program olarak tanımlanmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı TRANSYT-7F programı araştırmacılar, karar vericiler ve

bilim adamları tarafından tercih edilmekte ve izole kavşaklardan büyük bir ulaşım ağına kadar kullanım alanı bulmaktadır (Ergün ve diğ. 2006) . TRANSYT-7F faz bazlı süre en iyileme yazılımı olup trafik akım modeli ve süre en iyilemesi olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. TRANSYT-7F'in içindeki trafik akım modeli deterministik ve zamana bağlı bir model olup ışıklı bir ulaşım ağına girilen süre ve faz planlarına bağlı olarak Performans İndeksi (PI) değerini hesaplamaktadır. PI değeri birim zamandaki duruş sayısı ve gecikmenin ağırlıklandırılmış toplamı olarak ifade edilmektedir. Programın temel amacı, koordine veya izole olarak işletilen ulaşım ağlarında PI değerini en iyileyen sinyal sürelerinin bulunmasıdır (Ozan 2012).

TRANSYT-7F'de benzetim, bağ ve düğüm noktaları ile temsil edilen ağ içindeki trafik akımının gösterilmesi ile yapılmaktadır. Işık kontrollü bir ulaşım ağındaki her bir trafik akımı kendisine ait bağ ve düğüm noktası ile temsil edilmektedir. TRANSYT-7F yazılımı, PI olarak adlandırılan amaç fonksiyonunu seçime bağlı olarak en büyükmekte yada en küçükmektedir. Program içinde birden fazla amaç fonksiyonu bulunmakta ve amaç fonksiyonu kullanıcı tarafından seçilmektedir. Amaç fonksiyonlarından biri standart olarak sunulan TRANSYT-7F yararsızlık indeksi (Disutility Index-DI) değeri olup Denklem (3.1)'de verilmiştir.

$$\min_{\Psi, \mathbf{q}} DI = \sum_{a \in L} \left[ w_a^d \cdot d_a(\psi) + K \cdot w_a^s \cdot S_a(\psi) \right]$$

$$\text{Koşul } \Psi(c, \phi) \in \Omega_0; \begin{cases} c_{\min} \leq c \leq c_{\max} \\ \phi_{\min} \leq \phi \leq c \\ \sum_{i=1}^z (\phi + I)_i = c \end{cases} \quad (3.1)$$

Burada  $d_a$  ulaşım ağındaki  $a$  bağı üzerindeki gecikme değeri,  $w^d$   $a$  bağına ait ağırlıklandırma parametresi,  $K$  duruş ceza faktörü,  $S_a$   $a$  bağı üzerindeki duruş sayısı,  $w^s$   $a$  bağı üzerindeki duruş sayısına ait ağırlıklandırma parametresi,  $\mathbf{q}$  bağ trafik hacimleri,  $\Psi$  ışık süreleri,  $\Omega_0$  ışık sürelerine ait çözüm kümesi,  $c$  devre süresi,  $\phi$  faz yeşil süresi,  $I$  yeşillerarası süre ve  $z$  ışıklı kavşak faz sayısıdır.

DI değeri ağı işletimsel dezavantajının bir ölçütü olup, ağıdaki gecikmelerin ve duruş sayılarının toplamıdır (McTrans 2008). TRANSYT-7F yazılımı ile izole kavşak sinyal sürelerinin (yeşil sürelerin) ve tüm ağ ışık sürelerinin (kavşaklar arasındaki ofsetler dâhil olmak üzere) en iyilemesi yapılabilmektedir. Program

optimizasyon sürecinde Tepe Tırmanma (TT) veya Genetik Algoritma (GA) tekniklerini kullanmaktadır. TRANSYT-7F programı ışık sürelerini en iyileyerek gecikme değerini en küçüklemeyi hedefleyen bir programdır. Bu program gecikme hesabında, Highway Capacity Manual (TRB 2000) gecikme modelini kullanmaktadır. Bu model başlangıç yavaşlama gecikmesini, kuyruk hareket zamanını, durma gecikmesini ve hızlanma gecikmesini içermektedir (Ozan 2012). TRANSYT-7F programı ile izole kavşaklar, koordine kavşaklar ya da tüm ağa ait ışık süreleri analiz edilebilmektedir. Yapılan bu analizler sayesinde kavşakta yaşanan gecikme değerleri, tıkanıklıklar en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Bu sayede yerel yönetimler oluşan trafik sorunlarına kısa vadede çözümler üretebilmektedir. Dell'Orco ve diğ. (2013) süre optimizasyonu problemini kullanıcı davranışlarını dikkate alan trafik atama probleminin çözümü ile birlikte ele almışlardır. Problemin çözümü amacıyla çalışmada iki seviyeli programlama tekniği kullanılmış üst seviyede ışık süreleri Armoni Araştırması Tekniği ile en iyilenirken, alt seviyede trafik atama problemi Rota Akım Tahmin algoritması ile bulunmuştur. Sonuçlar önerilen algoritmanın oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde Haldenbilen ve diğ. (2013) ve Dell'Orco ve diğ. (2014) çalışmalarında Karınca ve Arı Kolonisi optimizasyonu yöntemlerini kullanarak süre optimizasyonu yapmışlardır. Ratrouf ve Reza (2014) yaptıkları çalışmada TRANSYT-7F ve Synchro programlarını kullanarak Tahran'da bulunan farklı kavşakların süre optimizasyonunu yapmışlar ve sonuçların karşılaştırılması amacıyla Paramics programını kullanmışlardır. Sonuçlar kuyruk uzunluğu ve ortalama gecikme parametreleri temel alınarak karşılaştırıldığında TRANSYT-7F programının Synchro programına oranla daha iyi sonuçlar verdiği göstermiştir. Bir diğer çalışmada Ozan ve diğ. (2015) alansal trafik kontrolü amacıyla koordine ışıklı bir ulaşım ağında modifiye edilmiş pekiştirmeli öğrenme yöntemi ile süre optimizasyonu yapmışlardır. Çalışmada koordine ağlarda sıklıkla kullanılan TRANSYT-7F programı kullanılmış ve sonuçlar Genetik Algoritma ve Tepe Tırmanma yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar modifiye edilmiş pekiştirmeli öğrenme yönteminin özellikle yüksek talep durumunda oldukça başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Liao (2017) yakıt tüketimini dikkate alan bir sinyal süre optimizasyon modeli geliştirmiştir. Geliştirilen modelin performansı TRANSYT-7F ve Synchro programları kullanılarak karşılaştırılmıştır. Diğer taraftan Başkan ve Ozan (2017) ulaşım ağlarındaki yedek kapasiteyi en büyükleen ışık sürelerinin belirlenmesi

amacıyla iki seviyeli bir optimizasyon algoritması önermişlerdir. Alt seviyede trafik atama problemi Frank-Wolfe algoritması ile çözülrken üst seviyede yedek kapasitenin en iyilenmesi amacıyla Armoni Araştırması Tekniği kullanılmıştır.

### **3.3. Sonuçlar**

Bu bölümde ilk olarak benzetim programlarının genel özelliklerinden bahsedilmiştir. Ayrıca benzetim programı kullanmanın avantajları ve bu tür programları kullanırken hangi hususlara dikkat edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Çalışma kapsamında analizler için Vissim ve TRANSYT-7F programları kullanıldığından bu programların çalışma prensibi hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca benzetim programlarında kullanılan performans parametrelerinden bahsedilmiş ve ilgili literatür detaylı olarak incelenmiştir. Literatürde performans parametresi olarak kuyruk uzunluğu, ortalama taşıt gecikmesi, ortalama hız, ortalamalama durma gecikmesi değerlerinin kullanıldığı belirlenmiştir. Tez alışması kapsamında ise performans parametresi olarak ortalama taşıt gecikmesi ve ortalama hız değerleri kullanılmıştır. Sonraki bölümde Vissim benzetim programının kalibrasyonu ile ilgili çalışmalar yer alacaktır.

## 4. VISSİM BENZETİM PROGRAMI KALİBRASYON ÇALIŞMALARI

Benzetim programları trafik akışını değerlendirmek ve herhangi bir trafik problemine karşı önerilen çözümlerin ön değerlendirmesini yapabilmek amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Bu programlar sayesinde makro ve mikro ölçekte farklı çözümlere ait senaryolar analiz edilebilmektedir. Bu sayede yerel yönetimler (karar vericiler) trafik problemlerine ilişkin farklı çözüm yollarını uygulama yapılmadan önce karşılaştırılabilir olanağı bulabilmektedirler.

Trafikte karşılaşılan problemlere yönelik çözüm yollarının muhtemel sonuçlarını benzetim programları vasıtasıyla karşılaştırabilmek için tasarımcıların trafik akımının benzetiminin yapılmasında etkili parametreleri gerçeğe en uygun olacak şekilde belirlemesi gerekmektedir. Bu amaçla aşağıda verilen trafik, arazi ve sürücü davranışlarını içeren koşullar ilgili programa gerçeğe en yakın olacak şekilde yansıtılmalıdır.

- Arazi koşulları,
- Sürücü davranışları,
- Trafik karakteristiği,
- Trafik kurallarına uyma oranı.

Benzetim programlarında kullanılan taşıt takip modellerine ait parametre değerlerinin belirli kullanım aralıkları bulunmasına karşın genellikle program yazılımcıları tarafından önerilen değerler programın geliştirildiği ülkeye ait sürücü ve yaya davranışlarını temsil etmektedir. Örnek olarak Vissim benzetim programının herhangi bir ülkede hatta aynı ülkenin farklı bir bölgesinde yazılımcı tarafından önerilen parametre değerleri ile kullanılması gerçekçi sonuçlardan uzaklaşılmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle benzetim programından gerçeğe en yakın sonuçları elde etmek için program kullanılmadan önce arazi şartları, trafik ve sürücü davranışları ilgili parametrelerin bölge özelliklerine bağlı olarak düzeltilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde herhangi bir trafik problemine çözüm olarak önerilen uygulamanın benzetim sonuçları ile gerçek uygulama sonuçları arasında büyük farklar oluşabilmektedir. Bu amaçla benzetim programları bölge bazında trafik ve



sürücü davranışları göz önüne alınarak mutlaka kalibre edilmelidir. Böylece benzetim programında kavşak gerçeğe en uygun şekilde modellenenilmekte ve en doğru sonuçlar elde edilebilmektedir.

Bilindiği gibi trafik akımının davranışı insan psikolojisi ve davranışları ile yakından ilgili olduğundan ülkeden ülkeye hatta bölgeden bölgeye göre kullanıcıların araç takip ve şerit değiştirme eğilimleri farklılıklar içermektedir. Bu farklılıkların benzetim programları kullanılırken ilgili parametrelerdeki değişiklikler ile programa yansıtılması oldukça önemlidir. Bu amaçla benzetim yapılmadan önce kalibrasyon çalışması yada duyarlılık analizi yapılmalıdır. Benzetim programları içinden en yaygın kullanılanlarından birisi Vissim benzetim programıdır. Bu program modelleme, kalibrasyon ve duyarlılık analizi yapmaya oldukça elverişlidir. Bu nedenle literatürdeki çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Jie ve diğ. (2011) çalışmalarında Çin'deki sürücü davranışlarının Avrupa'daki sürücülerden oldukça farklı olduğunu belirtmiş ve gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edebilmek için Vissim programında kalibrasyon yapmışlardır. Kalibrasyon yapmadan önce ilgili kentteki trafik karakteristiklerini incelemişlerdir. Sonrasında seyahat süresi, doymuş akım oranı, hız ve ivmelenme parametrelerine bağlı olarak kalibrasyon yapmışlardır. Asamer ve diğ. (2011) yapmış oldukları çalışmada kötü hava şartları etkisi altındaki trafik benzetimi için Vissim programının kalibre edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bunun sebebi olarak kötü hava şartlarında sürücülerin davranışlarının değiştiğini vurgulayarak, sürücülerin daha yavaş hızlarla seyahat etme eğilimi gösterdiklerini belirtmişlerdir. Kalibrasyon çalışmasında yavaşlama, ivmelenme, hız ve boşluk mesafesi parametreleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda araştırmacılar yavaşlamanın kalibrasyon için geçerli parametre olmadığına karar vermişler ve diğer üç parametrenin kalibrasyonu etkileyen parametreler olduğunu belirtmişlerdir. Siddharth ve Ramadurai (2013) Hindistan'daki kavşak analizleri için Vissim benzetim programına ait sürücü davranış parametrelerinin kalibre edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmada kalibrasyon çalışması için Genetik Algoritma optimizasyon metodu kullanılmıştır. Liu ve diğ. (2014) çalışmalarında benzetim programlarında kullanılan parametrelerin duyarlılık analizlerinin yapılmasının gerekliliğini vurgulamışlardır. Çalışmada

yapılan duyarlılık anazinde kuyruk uzunluğu ve seyahat süresi parametreleri kullanılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında gerçeğe en yakın sonuçları elde edebilmek için Vissim kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla iki seviyeli programlama tekniğinden faydalanılmıştır. İki seviyeli programlama bilindiği gibi iki adet optimizasyon probleminden oluşan programlama tekniği olarak ifade edilmektedir (Başkan 2009). Literatürde birçok alanda kullanılmakla birlikte ulaştırma alanında özellikle ağ tasarımı konusunda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tür programlama tekniğinde üst ve alt seviye optimizasyon problemlerine ait parametreler (karar değişkenleri) her iki seviye için girdi ve çıktı olarak kullanılmaktadır. İki seviyeli programla tekniği literatürde genel olarak Denklem (4.1)-(4.4)'de gösterildiği gibi temsil edilmektedir.

Üst seviye problemi;

$$\min_x F(x,y) \quad (4.1)$$

$$G(x,y) \leq 0 \quad (4.2)$$

Burada  $G(x,y) \leq 0$  ifadesi üst seviye problemine ait kısıt fonksiyonu olup  $y$  alt seviyede verilen optimizasyon probleminin herhangi bir  $x$  için çözümüdür.

Alt seviye problemi;

$$\min_y f(x,y) \quad (4.3)$$

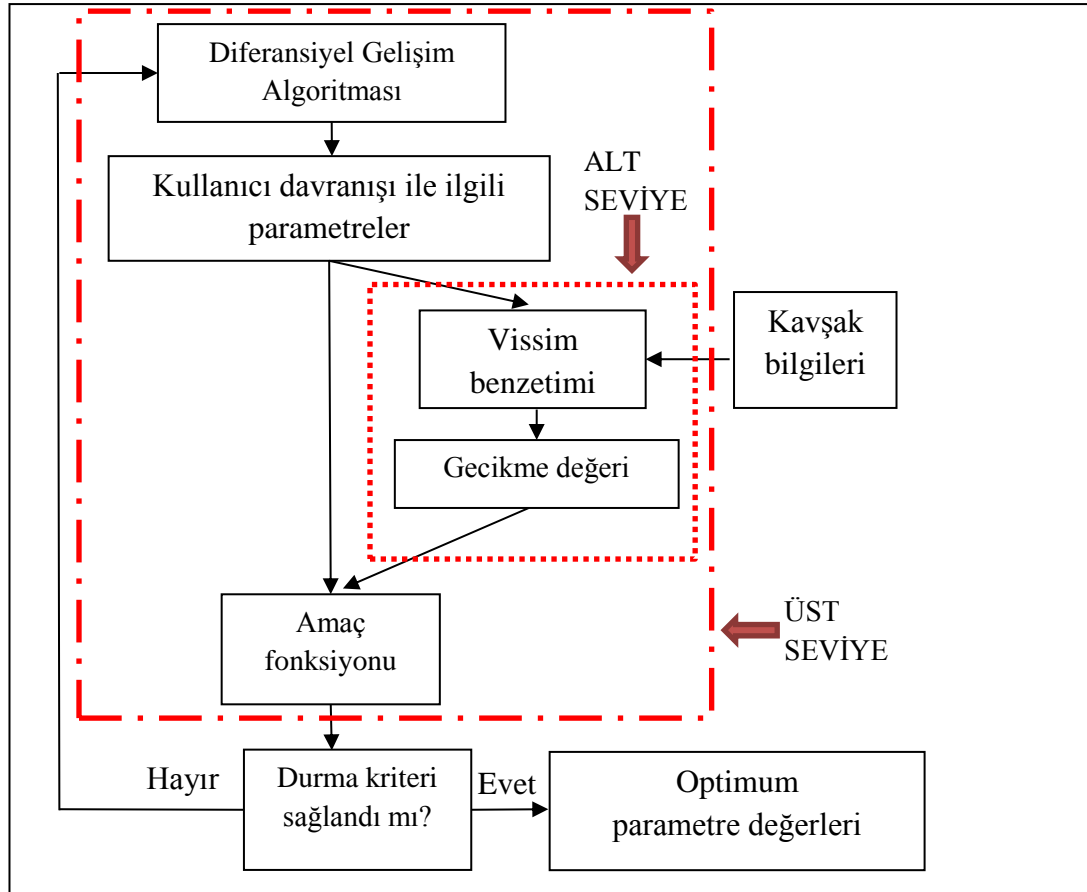
$$g(x,y) \leq 0 \quad (4.4)$$

Burada  $g(x,y) \leq 0$  ifadesi alt seviye problemine ait kısıt fonksiyonu olarak ifade edilmiştir.

Benzetim programlarının kullanıldıkları ülkedeki sürücü ve yaya davranışlarının gerçeğe en yakın olarak modellenebilmesi açısından kalibre edilmesinin gerekliliği açıktır. Bu amaçla çalışmada Vissim benzetim programının kalibrasyonu için iki seviyeli programlama tekniğinden faydalanılmıştır. Alt seviyede

sürücü davranışlarını belirleyen ön ve arka boşluk, güvenlik mesafesi katsayısı parametreleri Vissim programına gönderilerek benzetim yapılmış ve programa ait gecikme değeri ( $g_{model}$ ) belirlenmiştir. Üst seviyede ise kalibrasyon için seçilen kavşaktan gözlem sonucu elde edilen ortalama taşıt gecikmesi ( $g_{gözlem}$ ) ile Vissim programının çıktısı olan gecikme değeri arasındaki farkın karesi amaç fonksiyonu olarak seçilmiş ve Denklem (4.5)'de verilmiştir. İki seviyeli programlama tekniği kullanılarak oluşturulan modelin amaç fonksiyonu Diferansiyel Gelişim (DG) Algoritması kullanılarak en küçüklenmeye çalışılmıştır. Şekil 4.1'de iki seviyeli programlama tekniği kullanılarak oluşturulan kalibrasyon modelinin genel çerçevesi verilmiştir.

$$\min Z = (g_{gözlem} - g_{model})^2 \quad (4.5)$$



Şekil 4.1: İki seviyeli kalibrasyon modeli

#### 4.1. İki Seviyeli Kalibrasyon Modeli

DG algoritması karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümü amacıyla Storn ve Price (1995) tarafından geliştirilen toplum tabanlı sezgisel bir metot olup genel olarak Genetik Algoritma (GA) optimizasyon metodunun çalışma prensibine benzemektedir. DG algoritması GA'larda kullanılan ikili kodlama sisteminin aksine karar değişkenlerinin gerçek değerlerini dikkate alarak optimizasyon sürecini gerçekleştirmektedir. Bu nedenle DG algoritması GA'ya oranla daha basit kodlanabilme özelliğine sahiptir. Bu özelliği dışında DG algoritması GA ve literatürdeki toplum tabanlı diğer sezgisel algoritmalara oranla çok daha basit bir çözüm sürecine sahip olmasına rağmen oldukça kararlı ve güçlü bir sezgisel optimizasyon algoritmasıdır. Bu nedenle çalışma kapsamında önerilen iki seviyeli kalibrasyon modeli DG algoritması kullanılarak çözülmüştür.

DG algoritmasında oluşturulan başlangıç toplumu mutasyon, çaprazlama ve seçim operatörleri kullanılarak en iyi değer elde edilmesi amacıyla iterasyonlar boyunca iyileştirilmektedir (Liu ve diğ. 2010). Optimizasyon sürecini kontrol etmek amacıyla DG algoritmasında üç adet parametre kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi tüm toplum tabanlı sezgisel metotlar da kullanıldığı gibi toplum büyüklüğünü temsil eden  $NP$  parametresidir. Bu parametre verilen bir optimizasyon problemi için dikkate alınan çözüm vektörlerinin sayısını ifade etmektedir. Algoritma içinde kullanılan bir diğer kontrol parametresi ise  $F$  ile temsil edilen mutasyon faktörüdür. Bu parametre toplum içinden rastgele seçilen ve birbirinden farklı 3 adet çözüm vektöründen yeni bir vektör üretilmesi amacıyla kullanılmaktadır.  $F$  parametresi için Storn ve Price (1995) tarafından tavsiye edilen kullanım aralığı  $[0.5-1]$ 'dir. DG algoritmasında kullanılan son kontrol parametresi ise  $CR$  olarak ifade edilen çaprazlama oranıdır. Bu parametre mutasyon sonucu elde edilen vektörü dikkate alma oranı olarak kullanılmaktadır.  $CR$  parametresi için  $[0.8-1]$  kullanım aralığı tavsiye edilmektedir (Başkan 2013). DG algoritmasında başlangıç toplumu oluşturulduktan sonra toplum içindeki tüm çözüm vektörleri sırasıyla, istenilen durdurma kriterleri sağlanıncaya kadar mutasyon, çaprazlama ve seçim işlemlerine tabi tutulmaktadır. Durdurma kriteri olarak maksimum jenerasyon sayısı veya önceden belirlenen bir yakınsama değeri kullanılabilir (Storn 1997).

DG algoritmasında başlangıç aşamasında toplum  $\mathbf{X} = [x_i^j]$  ( $i=1,2,\dots,n$  ve  $j=1,2,\dots,p$ ) matrisi şeklinde rastgele oluşturulmaktadır. Burada  $n$  değeri optimizasyon probleminin çözümü için kullanılacak karar değişkeni sayısını,  $p$  ise toplum büyüklüğünü ifade etmektedir. Çözüm aşamasında ilk olarak başlangıç toplumu içindeki her bir çözüm vektörü için amaç fonksiyonu değerleri hesaplanmaktadır. Sonrasında toplum içinden rastgele seçilen üç adet çözüm vektörü ve mutasyon faktörü ( $F$ ) yardımıyla Denklem (4.6)'da verilen operatör kullanılarak  $\mathbf{m}$  vektörü oluşturulur. Çözümde mutasyon operatöründen sonra elde edilen yeni vektör elemanlarının karar değişkenlerine ait sınırların dışına çıkıp çıkmadığı kontrol edilmelidir. Sınırlar dışına çıkan vektör elemanları karar değişkenine ait alt ve üst sınır şartları dikkate alınarak düzeltilmelidir.

$$m_i^j = x_i^1 + F(x_i^2 - x_i^3) \quad (4.6)$$

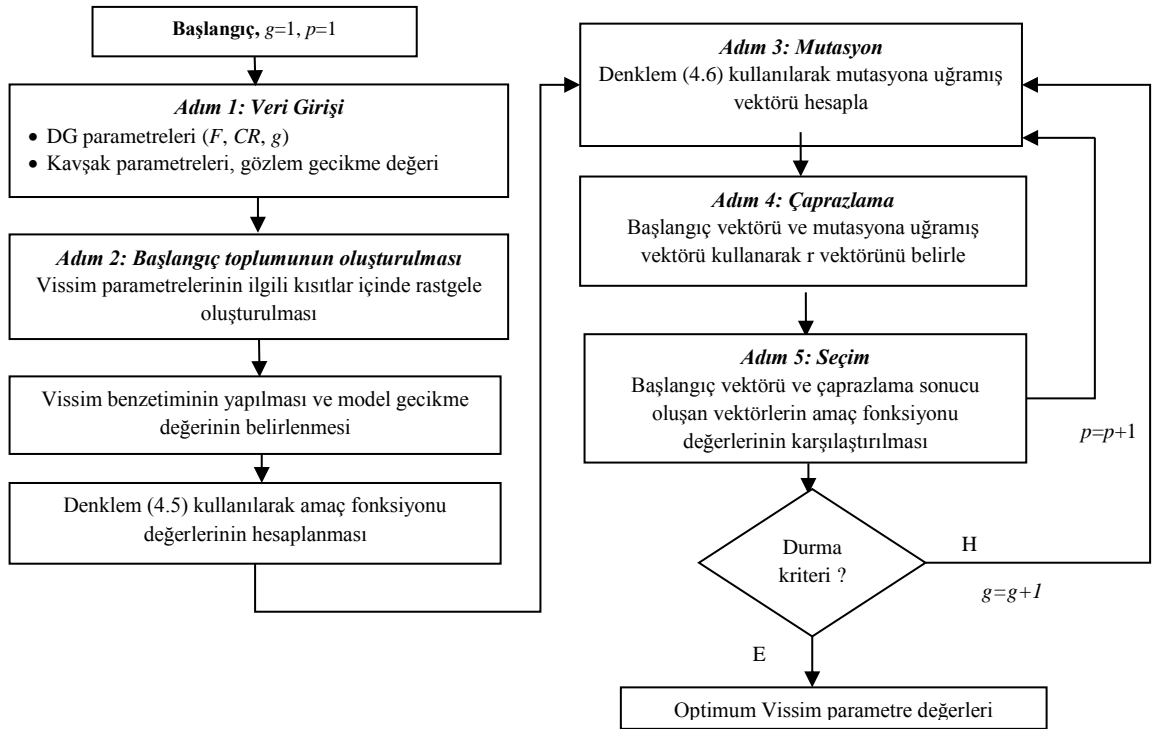
Burada  $j$ . satırdaki  $\mathbf{m}$  vektörünün  $i$ . elemanı oluşturulurken kullanılan  $x_i^1, x_i^2, x_i^3$  birbirinden farklı olarak  $[0, p]$  aralığında rastgele seçilen çözüm vektörlerinin  $i$ . elemanlarını temsil etmektedir. Toplum içindeki her bir çözüm vektörü ile oluşturulan  $\mathbf{m}$  vektörüne çaprazlama operatörü uygulanarak  $\mathbf{r}$  vektörünün  $j$ . satırındaki  $i$ . elemanı Denklem (4.7)'de verildiği gibi oluşturulmaktadır.

$$r_i^j = \begin{cases} m_i^j, & \text{eğer rastgele } (0,1) \leq CR \text{ yada } i = i_{rastgele} \\ x_i^j, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (4.7)$$

Burada  $(0,1)$  arasında rastgele üretilen değer  $CR$  parametresinden küçük ya da eşit ise  $\mathbf{r}$  vektörünün elemanı  $\mathbf{m}$  vektöründen aksi durumda ise  $\mathbf{x}$  vektöründen seçilmektedir.  $i=i_{rastgele}$  koşulu ile  $\mathbf{r}$  vektörünün en az bir elemanının  $\mathbf{m}$  vektöründen seçilmesinin sağlanması amaçlanmıştır. Bu şekilde her bir jenerasyonda  $\mathbf{x}$  vektöründe değişiklik yapılması hedeflenmiştir. Çaprazlama sonucunda elde edilen  $\mathbf{r}$  vektörü ile  $\mathbf{x}$  vektörüne ait amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılmaktadır. Bu aşamadan sonra Denklem (4.8)'de verilen ifade ile en iyi amaç fonksiyonu veren çözüm vektörü ile çözüme devam edilmektedir.

$$\mathbf{y}^{g+1} = \begin{cases} \mathbf{r}^g, & \text{eğer } f(\mathbf{r}^g) \leq f(\mathbf{x}^g) \\ \mathbf{x}^g, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (4.8)$$

DG algoritması tüm popülasyon tabanlı sezgisel algoritmalarda olduğu gibi durma kriterinin sağlanması ya da maksimum jenerasyon sayısına ulaşılması durumunda sonlandırılmaktadır. Burada  $g$  jenerasyon sayısını belirtmektedir. Çalışmada maksimum jenerasyon sayısı 100 olarak alınmıştır. Kalibrasyon çalışmasında ön ve arka boşluk parametrelerinin alt ve üst sınırları 0.5-1.5 sn, güvenlik mesafesi katsayısı için ise 1.5-5 olarak seçilmiştir. DG algoritmasının Vissim kalibrasyonu için kullanılan iki seviyeli programlama modeli ile çalışma prensibini açıklayan akış şeması Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2: İki seviyeli DG algoritması akış şeması

## 4.2. Çalışma Alanı

Vissim benzetim programının kalibrasyon çalışması için Albayrak Kavşağı'nın yaklaşım kolunda bulunan Kaynarca caddesi ile Gümüşler bulvarını birbirine bağlayan dönel kavşak çalışma alanı olarak seçilmiştir. Albayrak kavşağının ve çalışma alanı olarak seçilen kavşağın görüntüsü Şekil 4.3’de verilmiştir. Çalışma kapsamında analizlerin yapıldığı kavşak olan Albayrak kavşağına 90 metre uzaklıkta bulunan bu kavşak kalibrasyon yapılacak kavşak olarak seçilmiştir. Bunun sebebi Albayrak kavşağındaki sürücü davranışlarının kalibrasyon

için seçilen kavşakta gözlemlenmesidir. Kalibrasyon için seçilen kavşakta hafta içi zirve saat trafik hacim değeri ve taşıtların kavşakta uğramış olduğu gecikme değerini belirlemek için iki adet kamera ile 10.08.2018 tarihinde, 7:50- 8:50 saatleri arasında çekim yapılmıştır. Kameralar kavşağı net bir şekilde görebilen noktalara kurulmuştur. Bu çekimler yapıldıktan sonra büro çalışmasına geçilmiştir. Büro çalışmasında öncelikle kavşağın trafik hacim değeri belirlenmiş sonrasında ise kavşağa ait ortalama gecikme değeri belirlenmiştir. Kavşağa ait arazide ölçülen gecikme değerine ait örnek föy Tablo 4.1’de verilmiştir. Ayrıca kavşağa ait trafik hacim değerleri Tablo 4.2’de yer almaktadır.



Şekil 4.3: Albayrak kavşağı ve kalibrasyon için kullanılan kavşak

Tablo 4.1: Kavşağa ait örnek gecikme föyü

1 Numaralı Kol İçin Gecikme Föyü				
Taşıt Türü	Kavşaktan Çıktığı Kol Numarası	Kavşağa Giriş (sn)	Kavşaktan Çıkış (sn)	Gecikme (sn)
Otomobil	2	25	29	4
Minibüs	3	31	36	5
Otomobil	3	34	37	3
Otomobil	3	35	38	3
Otomobil	3	66	70	4
Otomobil	3	70	74	4
Otomobil	3	80	85	5
Otomobil	3	102	105	3
Otomobil	3	119	123	4
Minibüs	3	127	131	4
Otomobil	3	129	132	3
Otomobil	3	139	143	4

**Tablo 4.2:** Kavşak trafik hacim değerleri

Yaklaşım Kolu Numarası	Otomobil (ta/sa)	Otobüs (ta/sa)	Ağır Taşıt (ta/sa)
1	273	3	37
2	313	0	44
3	849	7	83

Yapılan bu çalışmalar sonucunda kavşağa ait trafik hacim değeri 1611 ta/sa olarak belirlenmiştir. Gecikme hesabı yapılırken 1611 taşıtın kavşakta yaşadıkları gecikmelerin ortalaması alınmış ve taşıtların ortalama 8 sn gecikmeye maruz kaldıkları belirlenmiştir.

Kalibrasyon yapılan modern dönel kavşak  $R=16$  metre yarıçaplı olup dönen akım iki şeritli olarak hizmet vermektedir. Kavşakta toplam üç adet yaklaşım kolu bulunmaktadır. Geliştirilen iki seviyeli kalibrasyon modeli çalıştırılmış ve Vissim programının kullanıcı davranışlarını temsil eden ön ve arka boşluk parametreleri için sırasıyla 0.5 ve 1.2 değerleri, güvenlik mesafesi katsayısı için 2.7 değeri optimal değerler olarak bulunmuştur. Şekil 4.4’de kavşağın Vissim programındaki görüntüsü verilmiştir. Belirlenen parametre değerleri çalışmada analizlerin yapılacağı kavşaklarda kullanılmıştır.



**Şekil 4.4:** Kalibrasyon Yapılan kavşağın Vissim görüntüsü



### **4.3. Sonuçlar**

Çalışmanın bu bölümünde ilk olarak benzetim programlarının avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiş ve benzetim programlarından en yüksek performansı elde edebilmek için kalibrasyon yapılmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Sonrasında kalibrasyon için geliştirilen iki seviyeli DG algoritması detaylı olarak açıklanmış ve üzüm adımları verilmiştir.

Son olarak çalışma kapsamında yapılan kalibrasyon için seçilen kavşak tanıtılmıştır. Ayrıca kavşağın analiz sonuçlarına da bu bölümde yer verilmiştir. Sonraki bölümde çalışmada kullanılan ‘‘Albayrak Kavşağı’’ ve ‘‘Emniyet Kavşağı’’ tanıtılacak ve yapılan analizler değerlendirilecektir.

## 5. IŞIKLI VE MODERN DÖNEL KAVŞAK ANALİZLERİ

### 5.1. Emniyet Kavşağı

Denizli ili ülkemizin en önemli sanayi kentlerinden biri olup nüfusu her geçen gün hızla artmaktadır. Yaşanan bu nüfus artışı nedeniyle ulaşım talebinde de benzer şekilde artış görülmektedir. Denizli’de kentiçi ulaşım için genellikle özel otomobil ve toplu taşıma tercih edilmektedir. Kentin ana arterleri üzerinde trafik kompozisyonunu ağırlıklı olarak özel otomobiller, toplu taşıma araçları ve ağır taşıtlar oluşturmaktadır. Ana arterler üzerinde ağır taşıtların trafiğe etkisinin oldukça fazla olduğu gözlemlenmektedir.

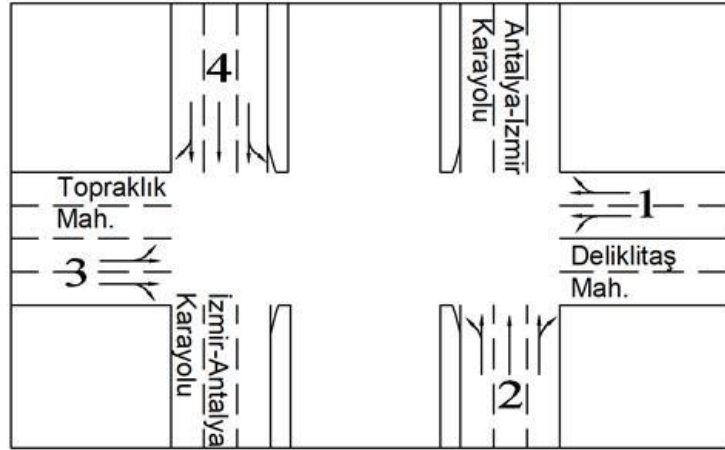
Denizli kentiçi ulaşım ağında çevre yolu üzerinde bulunan İzmir ve Ankara akslarında uygulanan farklı düzey kavşaklar haricinde genellikle eş düzey kavşaklar bulunmaktadır. 2016 yılı verilerine göre Denizli’de 1000 kişi başına otomobil sahipliği oranı 178 olup ülke genelinde yedinci sıradadır (TÜİK 2016). 3 km’nin üzerindeki uzaklıklar için özel otomobil ve toplu taşıma türleri baskın ulaşım modları olarak karşımıza çıkmaktadır. 5-12.5 km arasındaki yolculukların % 67’si toplu taşıma ile yapılmaktadır (UAP 2010). Kentin yeni yerleşim bölgelerinde çoğunlukla modern dönel kavşaklar bulunurken, eski yerleşim bölgelerinde ise ışıklı eşdüzey kavşaklar bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında ele alınan “Emniyet Kavşağı” çevre yolu üzerinde bulunmakta olup, hem kentiçi trafiğe hem de transit trafiğe hizmet vermektedir. Ancak kavşağın analizleri yapılırken kentiçi trafiğe hizmet veren kısmı göz önünde bulundurulmuştur. Kavşağın kentiçi trafiğe hizmet veren kısmı eşdüzey ışıklı kavşak olarak işletilmekte olup Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1: Emniyet kavşağı

Emniyet kavşağı, Antalya-İzmir karayolu ile Deliktaş ve Topraklık mahallelerinin bağlantı noktasında bulunmakta ve mevcut durumda dört kollu ışıklı bir kavşak olarak hizmet vermektedir. Kavşağın detaylı şekli Şekil 5.2’de verilmiştir.



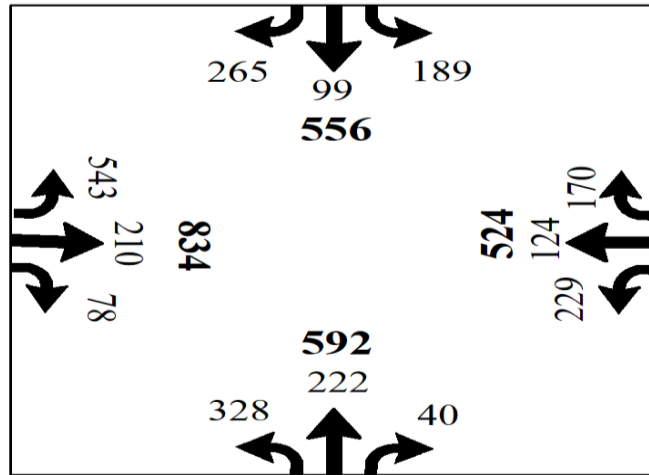
Şekil 5.2: Emniyet kavşağı yaklaşım kolları

Emniyet kavşağının Vissim programında analiz edilebilmesi için kavşağın mevcut durumuna ait zirve saat trafik hacim değeri, faz planı, devre ve ışık süreleri gibi verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu süreçte ilgili veriler Denizli Büyükşehir Belediyesi’nden temin edilmiştir. Emniyet kavşağının hafta içi sabah zirve saat trafik hacim değerleri Tablo 5.1’de yer almaktadır.

**Tablo 5.1:** Emniyet kavşağı trafik hacim değerleri

Yaklaşım Kol Numarası	Otomobil (ta/sa)	Otobüs (ta/sa)	Minibüs (ta/sa)	Kamyonet (ta/sa)	Kamyon (ta/sa)
1	341	18	117	35	12
2	430	18	96	33	13
3	632	16	122	53	8
4	345	33	122	36	16

Kavşağa ait hafta içi sabah zirve saat trafik hacim değeri toplam 2496 ta/sa'dır. Kavşağın hacim değeri taşıt türlerine göre incelenecek olursa, toplam talebin % 70'lik kısmını otomobil oluştururken, % 18'lik kısmını minibüs, % 6'lık kısmını kamyonet ve geri kalan yaklaşık % 6'lık kısmını ise otobüs ve kamyon oluşturmaktadır. Ayrıca kavşağın kol bazlı zirve saat trafik hacim değerleri Şekil 5.3'de verilmiştir.



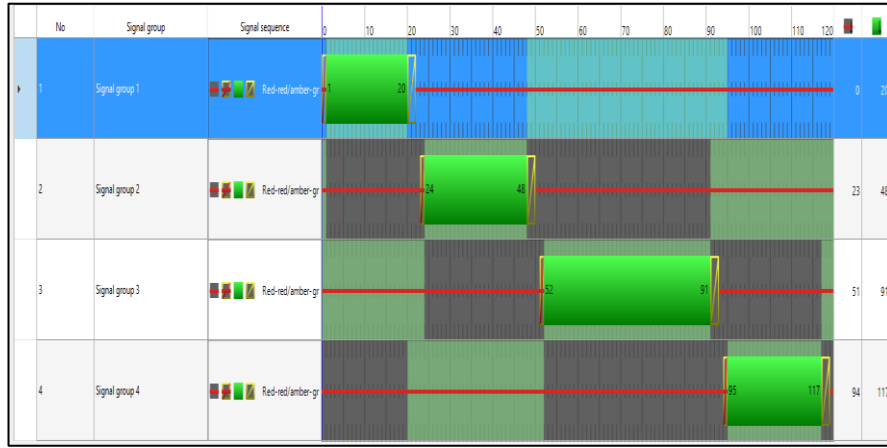
**Şekil 5.3:** Emniyet kavşağı yaklaşım kollarına ait zirve saat trafik hacimleri (ta/sa)

Yaklaşım kollarına ait trafik hacimlerini değerlendirecek olursak en yoğun kol Topraklık mahallesinden gelen 3 numaralı kol olup trafik hacmi 834 ta/sa'dır. Diğer taraftan Antalya-İzmir istikametinde bulunan 2 numaralı kolun trafik hacmi 592 ta/sa, İzmir-Antalya istikametinde bulunan 4 numaralı kolun hacmi 556 ta/sa ve Deliklitaş mahallesinden kavşağa gelen yaklaşım kolunun trafik hacmi 524 ta/sa'dır. Ayrıca 1, 2 ve 3 numaralı kollarda sola dönüş oranlarının yüksek olduğu Şekil 5.3'den anlaşılmaktadır.

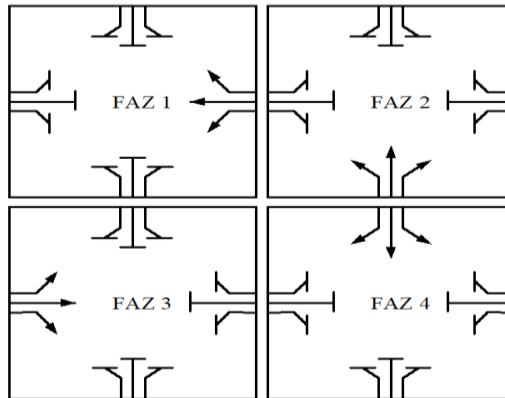
Dört faz olarak çalışan kavşağın devre süresi ise hali hazırda 120 sn olarak işletilmektedir. Işık süreleri Tablo 5.2’de verilmiş olup kavşağın Vissim programında oluşturulan devre diyagramı ise Şekil 5.4’de verilmiştir. Ayrıca kavşağa ait faz diyagramı Şekil 5.5’de verilmiştir.

**Tablo 5.2:** Emniyet kavşağı ışık süreleri

Devre Süresi (sn)	Faz Numarası	Yeşil Süre (sn)	Yeşillerarası süre (sn)
120	1	20	3
	2	25	3
	3	40	3
	4	23	3



**Şekil 5.4:** Emniyet kavşağı devre diyagramı



**Şekil 5.5:** Emniyet kavşağı faz diyagramı

### 5.1.1. Emniyet Kavşağı Performans Analizi

Kavşağa ait verilen özelliklere bağlı olarak kavşağın mevcut durum analizi Vissim benzetim programı aracılığı ile yapılmıştır. Kavşağın Vissim programında modellenmiş görüntüsü Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.6: Emniyet kavşağı (mevcut durum)

Yapılan analizlerde performans kriteri olarak ortalama taşıt gecikmesi ve hız parametreleri kullanılmıştır. Seçilen parametrelere göre kavşağın performans analizleri Tablo 5.3’de yer almaktadır. Tablodan görülebileceği gibi Emniyet Kavşağı mevcut işletim koşulları altında oldukça yüksek bir gecikme değerine sahiptir. Buna paralel olarak ortalama taşıt hızlarında oldukça düşüktür.

Tablo 5.3: Emniyet kavşağı analiz sonuçları

Performans Parametreleri	Sonuç
Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn)	47.60
Ortalama Hız (km/sa)	18.00

Çalışmanın temel amaçlarından biri mevcut durumda ışıklı kavşak olarak hizmet veren Emniyet Kavşağı’na ait performans değerlerini en iyi duruma getirmek olduğundan ilgili kavşağa ait faz diyagramı, kavşak kontrol türü değiştirilmiş ve süre optimizasyonu yapılmıştır.

### 5.1.2. Süre Optimizasyonu

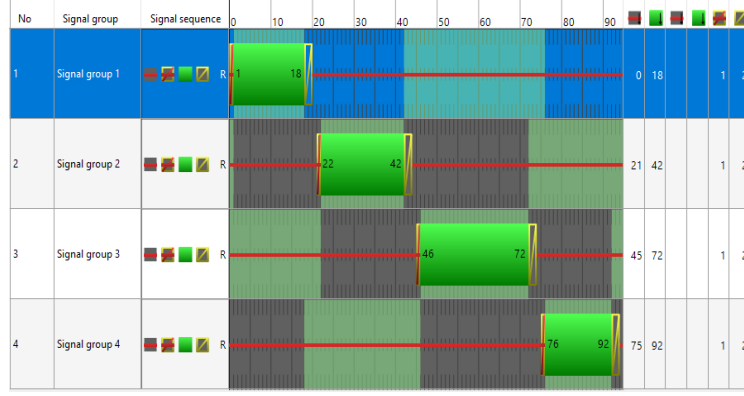
Işıklı eşdüzey kavşakların uygun olmayan ışık süreleri ile işletilmesi taşıtların kavşakta gereğinden fazla beklemesine neden olabilmektedir. Bu durum sonucunda kavşaktaki gecikme değeri artacak, taşıtların ortalama hızı azalacak ve salınan emisyonlar ile çevreye verilen zarar artacaktır. Bilindiği gibi ışıklı kavşaklarda uygulanan sinyalizasyon sistemlerinin kavşak geometrisi ve trafik hacimlerine uygun olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde sinyalizasyon sistemleri sürücülerin kurallara uygun davranmamasına neden olabilmektedir (Wilshire, 1992). Bu durum ise gecikmeyi artıran ve hızı azaltan faktörlerden biri olarak karşımıza çıkabilmektedir. Bu etkileri ortadan kaldırmak için ışık sürelerinin en az gecikme değerini verecek şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Işık sürelerinin en uygun değerlerini bulabilmek için literatürde ve uygulamada TRANSYT-7F ve Sidra gibi programlar sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde TRANSYT-7F programı kullanılarak elde edilen en uygun sinyal süreleri Vissim benzetim programına aktarılarak kavşağın performans analizi yapılmıştır.

Kavşağın mevcut durumdaki devre süresi 120 sn iken Transyt-7F programından alınan en uygun devre süresi 95 sn'dir. Işık sürelerinin en uygun değerlerinin kullanılması durumunda da kavşağın dört faz olarak hizmet vermesi planlanmıştır. TRANSYT-7F programında elde edilen en uygun ışık süreleri Tablo 5.4'de verilmiş olup kavşağın Vissim programında oluşturulan devre diyagramı ise Şekil 5.7'de verilmiştir.

**Tablo 5.4:** TRANSYT-7F programından elde edilen ışık süreleri (Emniyet kavşağı)

Devre Süresi (sn)	Faz Numarası	Yeşil Süre (sn)	Yeşillerarası süre (sn)
95	1	18	3
	2	21	3
	3	27	3
	4	17	3



**Şekil 5.7:** Emniyet kavşağı devre diyagramı

Işık sürelerinin en iyilenmesi yapıldıktan sonra sadece ışık süreleri değiştirilerek (diğer veriler sabit tutularak) analizler tekrarlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmesi ve hız değeri Tablo 5.5’de verilmiştir. Kavşağın mevcut durum analizleri ile ışık sürelerinin en iyilenmiş halinin performans parametreleri açısından karşılaştırılmış hali Tablo 5.6’da yer almaktadır.

**Tablo 5.5:** Emniyet kavşağı analiz sonuçları (ışık süreleri en iyilenmiş)

Performans Parametreleri	Sonuç
Ortalama taşıt gecikmesi (sn)	37.57
Ortalama hız (km/sa)	20.87

**Tablo 5.6:** Emniyet kavşağı analiz sonuçları karşılaştırılması

Performans Parametreleri	Mevcut Durum	En İyilenmiş	İyileşme Oranı (%)
Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn)	47.60	37.57	21.06
Ortalama Hız (km/sa)	18.00	20.87	15.92

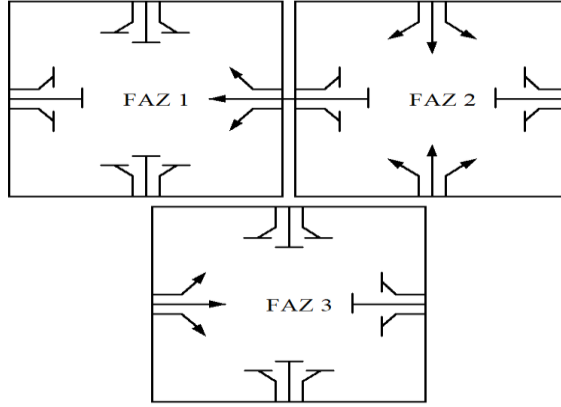
Tablo 5.6’da görüldüğü gibi mevcut durumda yaklaşık olarak 48 sn’lik bir gecikme yaşanırken ışık sürelerinin en iyilenmiş halinde ortalama taşıt gecikmesi değeri yaklaşık 38 sn olarak elde edilmiştir. Diğer taraftan beklenildiği gibi ortalama hız açısından yaklaşık %16’lık bir iyileşme sağlanmıştır.

### 5.1.3. Faz Planının Değiştirilmesi

Işıklı kavşaklarda gecikmeyi azaltmak için yapılacak uygulamalardan bir diğeri ise mevcut faz planını değiştirmektir. Bu çalışma kapsamında mevcut durumda



dört faz olarak çalışan kavşağın faz diyagramı üç faz olarak değiştirilmiştir. Kavşağın üç faz olarak tasarlanmış hali Şekil 5.8’de verilmiştir.

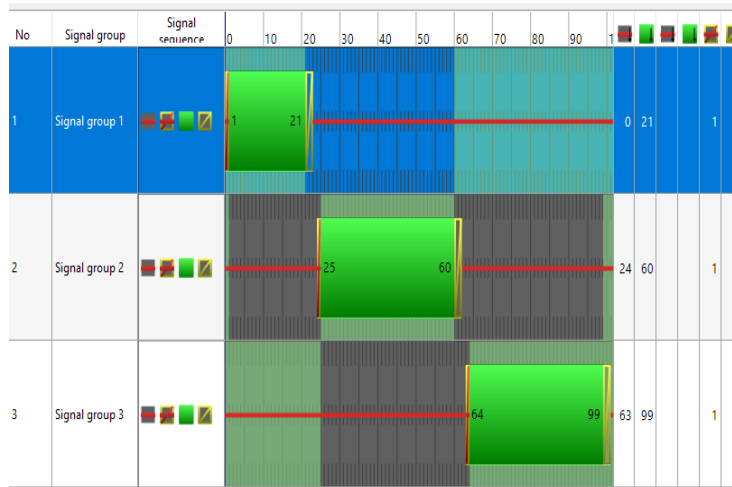


Şekil 5.8: Emniyet kavşağı faz diyagramı (üç faz)

Kavşak üç faz olarak düzenlendikten sonra kavşağın ışık süreleri TRANSYT-7F programı kullanılarak en iyilenmiştir. Üç faz olarak çalışan kavşağın devre süresi 102 sn olup faz yeşil süreleri Tablo 5.7’de verilmiştir. Ayrıca Vissim programında oluşturulan kavşağa ait devre diyagramı Şekil 5.9’da yer almaktadır.

Tablo 5.7: Emniyet kavşağı faz yeşil süreleri (üç faz)

Devre Süresi (sn)	Faz Numarası	Yeşil Süre (sn)	Yeşillerarası süre (sn)
102	1	21	3
	2	36	3
	3	36	3



Şekil 5.9: Emniyet kavşağı devre diyagramı (üç faz)

Yapılan bu düzenlemeye göre Emniyet Kavşağı üç faz çalışacak şekilde Vissim programında modellenmiş ve ekran görüntüsü Şekil 5.10'da verilmiştir. Kavşağın Vissim programı ile benzetimi yapıldığında elde edilen ortalama taşıt gecikmesi ve hız değerleri Tablo 5.8'de yer almakta olup kavşağın mevcut durum ile karşılaştırılması ise Tablo 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.10: Emniyet kavşağı (üç faz)

Tablo 5.8: Emniyet kavşağı (süre optimizasyonu yapılmış) analiz sonuçları

Performans Parametreleri	Sonuç
Ortalama taşıt gecikmesi (sn)	34.35
Ortalama hız (km/sa)	21.69

Tablo 5.9: Emniyet kavşağı analiz sonuçları incelemesi

Performans Parametreleri	Mevcut Durum	En İyilenmiş	İyileşme Oranı (%)
Ortalama taşıt gecikmesi (sn)	47.60	34.35	27.84
Ortalama hız (km/sa)	18.00	21.69	21.69

Analiz sonuçları incelendiğinde ortalama taşıt gecikmesinde ortalama % 28'lik bir iyileşme gözlemlenirken ortalama hız değerinde ise yaklaşık % 22'lik bir iyileşme gözlemlenmektedir.

#### 5.1.4. Emniyet Kavşağının Kontrol Türünün Değiştirilmesi

Çalışmanın temel amaçlarından biri de kavşak kontrol türünün değiştirilmesinin performans parametreleri üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Bu amaçla mevcut durumda ışıklı kavşak olarak hizmet veren kavşağın kontrol türü

modern dönel kavşak olarak değitirilmitir. Modern dönel kavşak olarak tasarımı yapılı olan Emniyet Kavşağı Vissim benzetim programında modellenmiştir. Modern dönel kavşak olarak tasarımı yapılan kavşağın Vissim programına ait görüntüsü ekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11: Emniyet kavşağı (modern dönel kavşak)

Dönel kavşağın tasarımı yapılırken kavşağın yarıçapı  $R=25$  metre ve dönen akım iki Şeritli olarak tasarlanmıştır. Kavşağın dönel kavşak olarak hizmet vermesi durumunda Vissim programından elde edilen performans parametrelerinin değerleri Tablo 5.10’da verilmiştir.

Tablo 5.10: Emniyet kavşağı (modern dönel kavşak) analiz sonuçları

Performans Parametreleri	Sonuç
Ortalama taşıt gecikmesi (sn)	20.00
Ortalama hız (km/sa)	32.40

Kavşak türünün değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, mevcut durumda diğer bir deyişle Emniyet kavağının ışıklı olarak işletilmesi durumunda yaklaşık 48 sn olan ortalama taşıt gecikmesi değeri 20 sn olarak elde edilmiştir ve yaklaşık olarak % 42’lik bir iyileşme elde edilmiştir. Ortalama hız değeri açısından 18 km/sa olan hız değeri ise 32.40 km/sa değerine yükselmiş ve yaklaşık olarak %55’lik bir iyileşme elde edilmiştir.

Kavşağın performansını artırmak için üç farklı iyileştirme yöntemi denenmiş olup bu yöntemlere ait analiz sonuçları ve mevcut durum ile karşılaştırılması Tablo 5.11’de verilmiştir.

**Tablo 5.11:** Emniyet kavşağı mevcut durum ve iyileştirme analiz sonuçları

Performans Parametreleri	Mevcut Durum	Işık Sürelerinin En İyilenmesi (4 faz)	Işık Sürelerinin En İyilenmesi (3 faz)	Kavşak Kontrol Türünün Değiştirilmesi
Ortalama taşıt gecikmesi (sn)	47.60	37.57	34.35	20.00
Ortalama hız (km/sa)	18.00	20.87	21.69	32.40

Yapılan analizler incelendiği zaman ortalama taşıt gecikmesi değerini en düşük veren iyileştirme yöntemi sırasıyla kavşak kontrol türünün değiştirilmesi, kavşağın üç faz olarak işletilmesi ve ışık sürelerinin en iyilenmesi olduğu belirlenmiştir. Ortalama hız değerini en yüksek veren iyileştirme yöntemlerinin sıralaması ise ortalama taşıt gecikmesinde olduğu gibi sırasıyla kavşak kontrol türünün değiştirilmesi, kavşağın üç faz olarak işletilmesi ve ışık sürelerinin en iyilenmesidir. Yapılan analizler sonucunda kavşak performansını en çok artıran iyileştirmenin kavşak kontrol türünün değiştirilmesi olduğu belirlenmiştir.

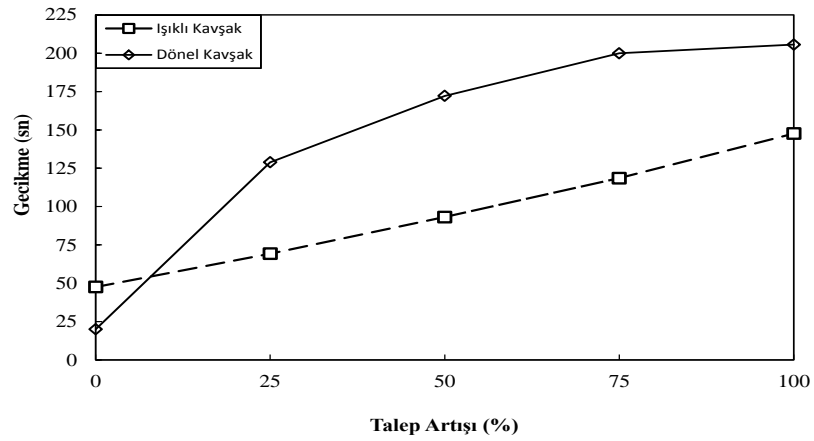
### 5.1.5. Senaryolar

Çalışmada ışıklı kavşak performansının iyileştirilmesi amacıyla yapılan uygulamalarda trafik hacmi, sola dönüş ve ağır taşıt oranları parametreleri dikkate alınarak senaryolar oluşturulmuştur. Senaryo 1’de kısa vadedeki talep artışı dikkate alınarak, kademeli olarak talebin artırılması durumunda ortalama taşıt gecikmesi ve hız performans parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Senaryo 2’de ağır taşıt oranının kademeli olarak artırılması durumunda performans parametrelerindeki değişim incelenmiştir. Son olarak Senaryo 3’de ise her bir yaklaşım kolundaki sola dönüş oranları % 10-40 oranında artırılması durumunda performans parametrelerindeki değişimler analiz edilmiştir.

### 5.1.5.1. Kavşak Kontrol Türünün Değiştirilmesi Durumundaki Senaryoların Analizi

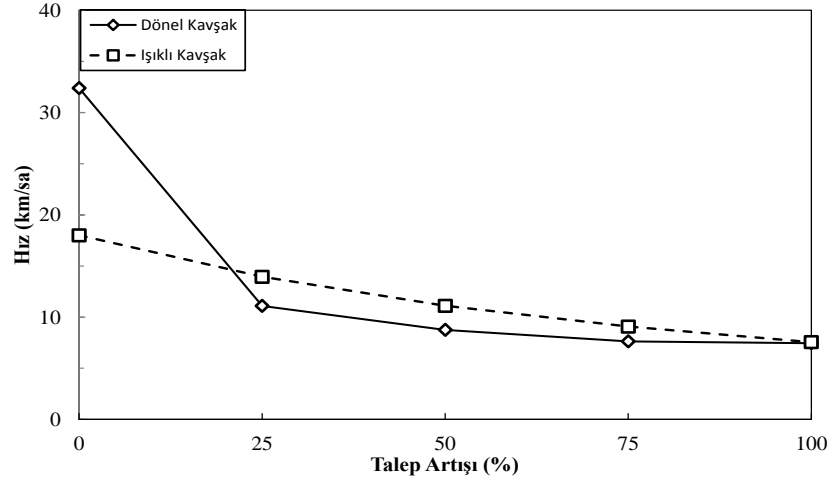
Mevcut durumda ışıklı kavşak olarak hizmet veren Emniyet Kavşağı'nın kontrol türü modern dönel kavşak olarak değiştirilmiş olup üç farklı senaryo altında bu iki kavşak türünün performanslarının nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

Senaryo 1'de % 25-100 oranında talep artırılmış ve iki farklı kavşak türü için performans parametrelerindeki değişim Vissim benzetim programı kullanılarak analiz edilmiştir. Şekil 5.12 ve 5.13'de ortalama taşıt gecikmesi ve hız parametrelerindeki değişimler gösterilmiştir.



Şekil 5.12: Talep artışı ve gecikme ilişkisi (kavşak kontrol türü değişimi -Emniyet kavşağı -senaryo 1)

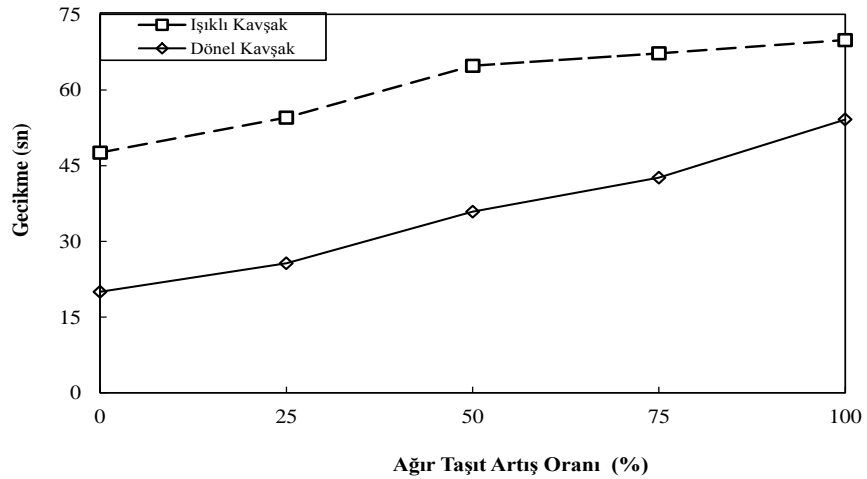
Senaryo 1'de talep artışının farklı kavşak kontrol türleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kademeli olarak talep artırıldıkça iki kavşak türü için ortalama taşıt gecikmesi değerinde artış meydana gelmektedir. Başlangıçta modern dönel kavşağın daha az bir gecikme değerine sahip olduğu ancak talep yaklaşık %10 artırıldıktan sonra ışıklı kavşağın modern dönel kavşağa kıyasla daha az bir gecikme değeri verdiği belirlenmiştir. Ortalama hız parametresi açısından Senaryo 1 incelendiğinde, her iki kavşak türü için de ortalama hız değerinin azaldığı Şekil 5.13'de görülmektedir.



Şekil 5.13: Talep artışı ve hız ilişkisi (kavşak kontrol türü değişimi - Emniyet kavşağı-senaryo 1)

Talebin yaklaşık %20 artırılması durumuna kadar modern dönел kavşaktaki ortalama hız değeri daha yüksek olduğu ancak dönел kavşaktaki talep artışına bağlı hız düşüşünün daha keskin ve belirgin olduğu, ayrıca her iki kavşak kontrol türündeki hız azalmasının % 25 talep artışı noktasından sonra benzer eğilim içinde olduğu Şekil 5.13'den görülebilmektedir.

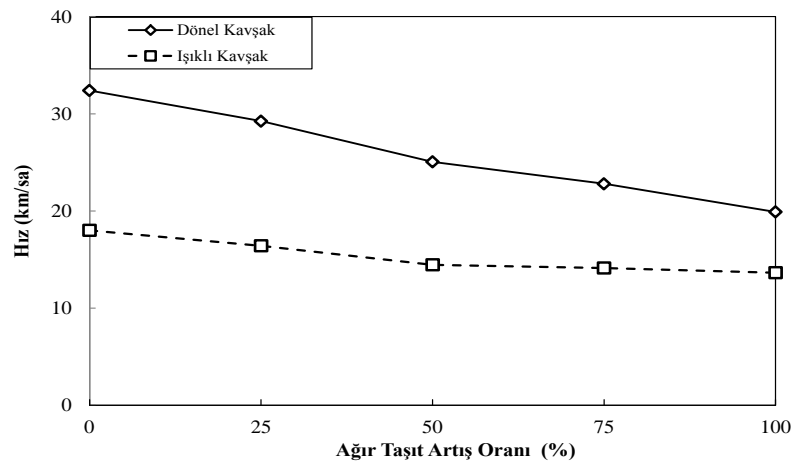
Senaryo 2'de yaklaşım kollarına ait ağır taşıt oranları % 25-100 arasında kademeli olarak artırılarak iki farklı kontrol türü için performans parametrelerindeki değışimler incelenmiştir. Şekil 5.14'de ortalama taşıt gecikmesindeki değışim gösterilmiş olup, Şekil 5.15'de ise ortalama hız değeriindeki değışim analiz edilmiştir.



Şekil 5.14: Ağır Taşıt oranı ve gecikme ilişkisi (kavşak kontrol türü değışimi - Emniyet kavşağı-senaryo 2)

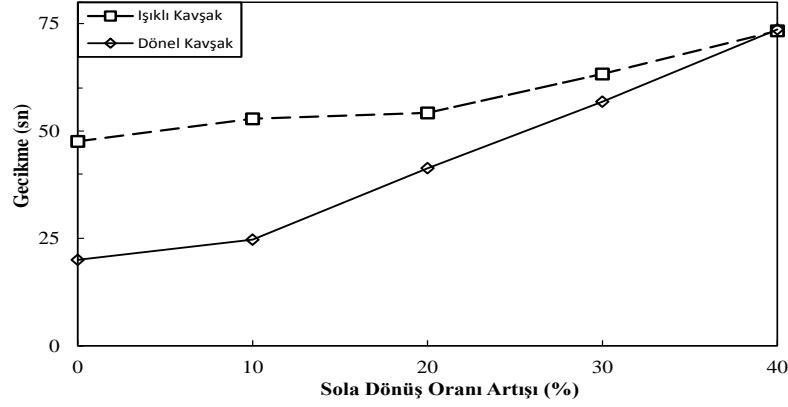
Ağır taşıt oranındaki artış açısından her iki kavşak türünde de ortalama taşıt gecikmelerinin arttığı açıkça görülebilmektedir. Modern dönel kavşakta ağır taşıt oranının % 100 artırılması durumunda ortalama taşıt gecikmesinde yaklaşık üç katlık bir artış gözlemlenmiştir. Işıklı kavşakta ağır taşıt oranının %100 artırılması durumunda ise gecikme değerinde yaklaşık % 45'lik bir artış olduğu belirlenmiştir.

Ortalama hız değerindeki değişim incelendiği takdirde modern dönel kavşakta başlangıçta yaklaşık 32 km/sa olan hız değeri ağır taşıt oranının iki katına çıkarılması durumunda yaklaşık 20 km/sa olarak elde edilmiş olup hız değerinde yaklaşık % 40 azalma olduğu belirlenmiştir. Işıklı kavşaktaki ortalama hız değerinde ise aynı senaryo için yaklaşık % 20 azalma görülmüştür. Bu sonuçlar incelendiğinde ağır taşıt oranı artışının modern dönel kavşaktaki ortalama hız değerini ışıklı kavşağa oranla daha fazla olumsuz etkilediği belirlenmiştir.



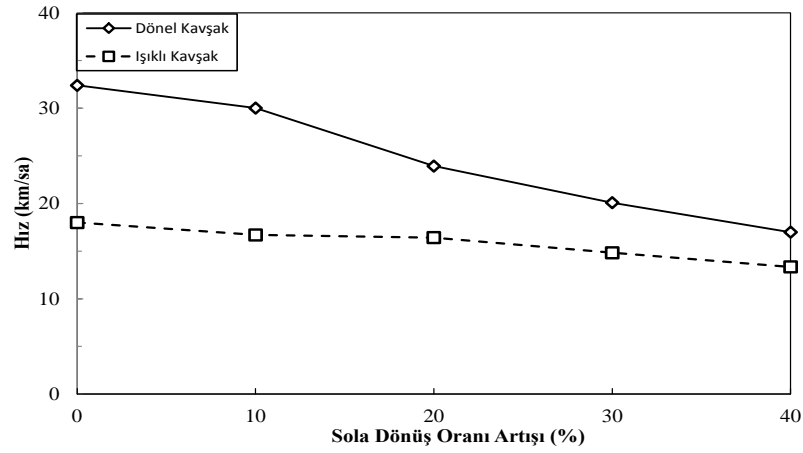
**Şekil 5.15:** Ağır taşıt oranı ve hız ilişkisi (kavşak kontrol türü değişimi - Emniyet kavşağı-senaryo 2)

Son olarak Senaryo 3'de sola dönüş oranlarının %10-40 aralığında kademeli olarak artırılması durumunda ortalama hız ve taşıt gecikmesi değerlerinin değişimi incelenmiştir. Şekil 5.16 ve 5.17'de verilen ortalama taşıt gecikmesi ve hız parametrelerindeki değişimler her iki kavşak kontrol türü açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.



Şekil 5.16: Sola dönüş oranı ve gecikme ilişkisi (kavşak kontrol türü değişimi - Emniyet kavşağı-senaryo 3)

Şekil 5.16 incelendiği takdirde sola dönüş oranlarının kademeli olarak artırılması durumunda dönel kavşakta meydana gelen ortalama taşıt gecikmesi değerinin ışıklı kavşağa oranla kayda değer bir biçimde arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca her iki kavşak kontrol türü için de sola dönüş oranı artırıldığında ortalama hız değerlerinde azalma görülmüştür.



Şekil 5.17: Sola dönüş oranı ve hız ilişkisi (kavşak kontrol türü değişimi -Emniyet kavşağı-senaryo 3)

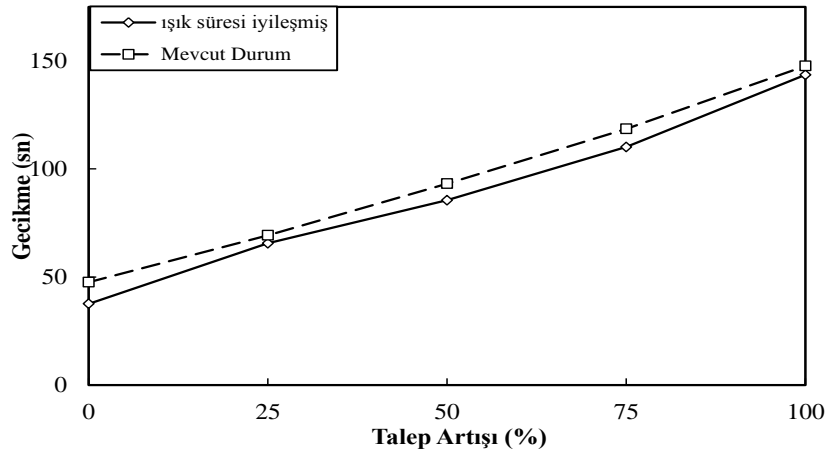
### 5.1.5.2. Işık Sürelerinin İyileştirilmesi Durumundaki Senaryoların Analizi

Mevcut durumda dört faz olarak işletilen ve 120 sn devre süresi ile hizmet veren Emniyet Kavşağı'nın ışık süreleri TRANSYT-7F programı ile iyileştirilmiş ve sonuçlar Bölüm 5.1.2'de verilmiştir. Üç farklı senaryo durumu için ışık süreleri

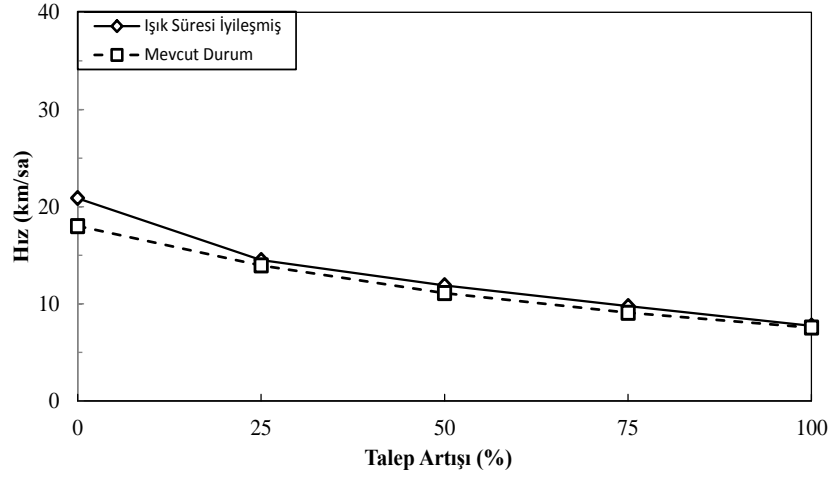


iyileştirilmiş kavşak ile mevcut durumdaki haliyle hizmet veren kavşağın performansları karşılaştırılmıştır.

Senaryo 1’de %25-100 aralığında talep kademeli olarak artırılmış ve ışık süreleri farklı olan kavşaklar için performans parametrelerindeki değişimler incelenmiş Şekil 5.18 ve 5.19’da gösterilmiştir. Işık süresi iyileştirilmiş kavşak ile mevcut kavşak performansları Senaryo 1’e göre incelendiğinde iki kavşak için de ortalama taşıt gecikmesi değerinde artış görülmektedir. Ayrıca bu artış eğilimleri birbirlerine oldukça benzerdir. Ortalama hız değerinin değişimi açısından Senaryo 1 değerlendirildiği zaman talep artışına bağlı olarak hız değerinin beklenildiği gibi gecikme değerine ters olarak her iki kavşak için de düşüş eğiliminde olduğu görülmektedir. Özellikle talebin yaklaşık % 25 artırılması durumuna kadar ışık süresi iyileştirilmiş kavşakta ortalama hız değeri ışıklı kavşağa oranla bir miktar daha hızlı bir şekilde düşmektedir. Ancak bu noktadan sonra iki kavşak içinde hız değerindeki düşüş eğilimi birbirine oldukça yakındır.



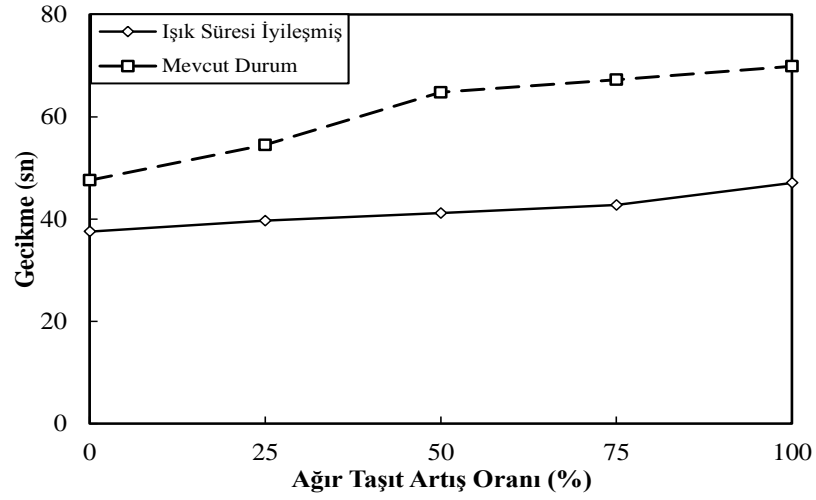
Şekil 5.18: Talep artışı ve gecikme ilişkisi (ışık sürelerinin iyileştirilmesi -Emniyet kavşağı-senaryo 1)



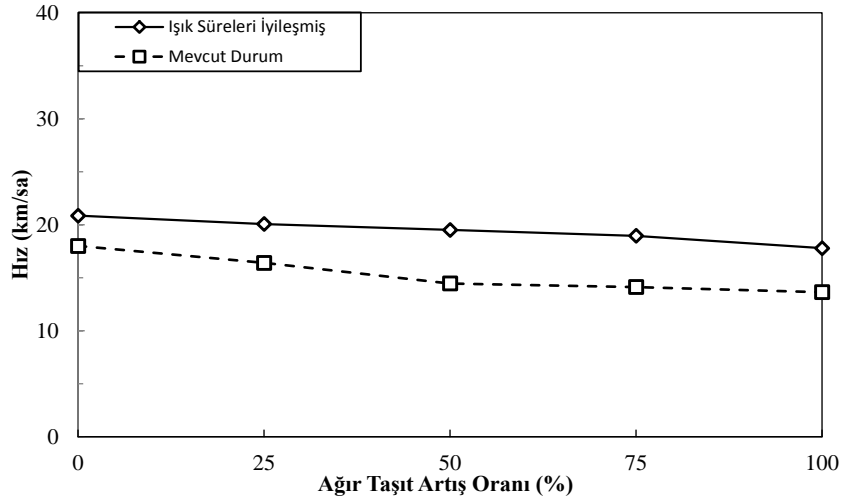
**Şekil 5.19:** Talep artışı ve hız ilişkisi (ışık sürelerinin iyileştirilmesi - Emniyet kavşağı-senaryo 1)

Senaryo 2’de ağır taşıt oranları % 25-100 aralığında kademeli olarak artırılmış ve ışık süreleri iyileştirilmiş kavşak ile mevcut durumdaki kavşağın performans parametrelerindeki değişim incelenmiş Şekil 5.20 ve 5.21’de sonuçlar verilmiştir. Ağır taşıt oranının iki katına çıkarılması durumunda mevcut durumda hizmet veren kavşağın gecikme değeri yaklaşık % 45 oranında artmıştır. Işık süresi iyileştirilmiş kavşak için ise ağır taşıt oranının %100 artırılması durumunda gecikme değerinde yaklaşık % 27’lik bir artış görülmektedir. Bu durum iyileştirilmiş ışık sürelerinin kavşak trafik hacim değişimlerine karşı gecikme değerlerini azaltıcı etkisi olduğunu göstermektedir.

Ortalama hız değerinin incelenmesi durumunda ağır taşıt oranının % 100 artırılması durumunda ışık süresi iyileştirilmiş kavşağın hız değerinde yaklaşık % 10 oranında düşüş görülürken, mevcut durumda hizmet veren kavşağın hız değerinde yaklaşık % 45 oranında bir düşüş görülmektedir. Sonuç olarak ağır taşıt oranının artırılması senaryosunun kavşağın mevcut şekliyle çalışması durumundaki performans parametrelerini daha olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

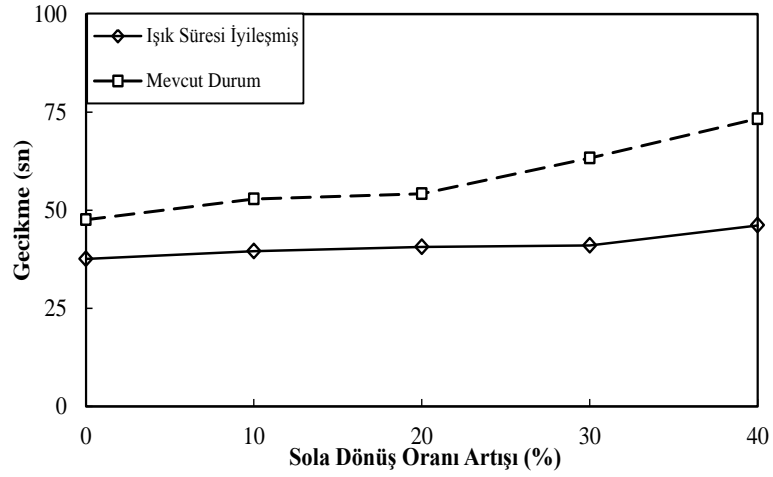


Şekil 5.20: Ağır taşıt oranı ve gecikme ilişkisi (ışık sürelerinin iyileştirilmesi - Emniyet kavşağı-senaryo 2)

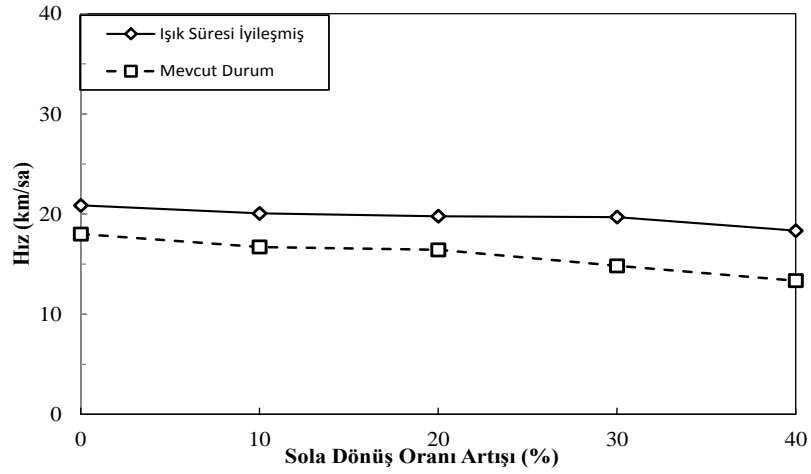


Şekil 5.21: Ağır taşıt oranı ve hız ilişkisi (ışık sürelerinin iyileştirilmesi - Emniyet kavşağı-senaryo 2)

Senaryo 3'de sola dönüş oranlarının %10-40 aralığında kademeli olarak artırılması durumunda performans parametrelerindeki değişim incelenmiş olup, sonuçlar Şekil 5.22 ve 5.23'de gösterilmiştir.



Şekil 5.22: Sola dönüş oranı ve gecikme ilişkisi (ışık sürelerinin iyileştirilmesi - Emniyet kavşağı-senaryo 3)



Şekil 5.23: Sola dönüş oranı ve hız ilişkisi (ışık sürelerinin iyileştirilmesi -Emniyet kavşağı-senaryo3)

Senaryo 3 incelendiğinde sola dönüş oranının artırılmasından her iki performans kriteri açısından da kavşağın mevcut şeklinin daha fazla etkilendiği görülmektedir. Özellikle sola dönüş oranının %20 artırıldığı noktadan sonra kavşağın mevcut durumundaki gecikme ve hız değerlerindeki düşüş daha belirgin olmaktadır.

## 5.2. Albayrak Kavşağı

Çalışma kapsamında ele alınan ikinci kavşak Denizli ilinde bulunan ve modern dönel kavşak olarak hizmet veren Albayrak Kavşağı'dır. Albayrak kavşağı Denizli'nin yeni yerleşim bölgesi olarak görülen Merkezefendi ilçesine bağlı olup Albayrak bulvarı, Şehit Piyade Komando Er Mehmet Avcı caddesi ve Kaynarca

caddelerinin bağlantı noktasında yer almaktadır. Albayrak Kavşağı Denizli Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılan düzenlemeler ile 2015 yılından bu yana modern dönel kavşak olarak hizmet vermektedir. Bu kavşağın bağlantı kolları üzerinde üç adet daha modern dönel kavşak bulunmaktadır. Şekil 5.24’de Albayrak Kavşağı ve bağlantı kollarında bulunan modern dönel kavşaklar yer almaktadır. Ayrıca kavşağın mevcut durumu Şekil 5.25’de verilmiştir.



**Şekil 5.24:** Albayrak kavşağı ve çevresindeki modern dönel kavşaklar

Çalışma kapsamında ele alınan Albayrak kavşağının yarıçapı  $R=50$  metre olup dönen akımı iki şerit olarak hizmet vermektedir. Kavşağın Vissim benzetim programında analizlerinin yapılabilmesi için öncelikle kavşağa ait trafik verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle söz konusu kavşakta 19.12.2016 tarihinde 7:50-8:50 saatleri arası zirve saat trafik sayımları yapılmıştır. Bu amaçla kavşağı net olarak gören iki noktaya video kamera kurulmuş ve 1 saat süreyle çekim yapılmıştır. Tek kamera kullanılarak sayım için uygun açının yakalanamama olasılığından dolayı iki adet kamera kullanılmıştır. Çekimlerden sonra yapılan büro çalışması neticesinde kavşağın zirve saatteki trafik hacim değerleri ve gecikme değerleri elde edilmiştir. Bu ölçüme ait örnek sayım föyü ve gecikme etüdü Tablo 5.12’de yer almaktadır.



Şekil 5.25: Albayrak kavşağı mevcut durumu

Tablo 5.12: Albayrak kavşağı örnek sayım föyü

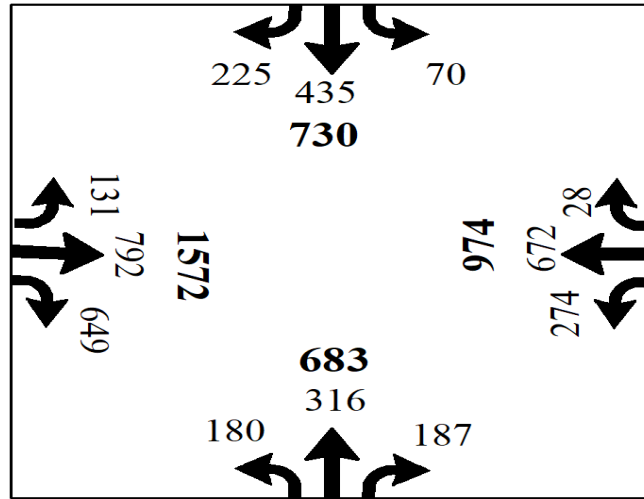
1 Numaralı Kol İçin Gecikme Föyü				
Taşıt Türü	Kavşaktan Çıktığı Kol Numarası	Kavşağa Giriş	Kavşaktan Çıkış	Ölçülen Gecikme (sn)
Otomobil	2	25	29	4
Minibüs	3	31	36	5
Otomobil	3	34	37	3
Otomobil	3	35	38	3
Otomobil	3	66	70	4
Otomobil	3	70	74	4
Otomobil	3	80	85	5
Otomobil	3	102	105	3
Otomobil	3	119	123	4
Minibüs	3	127	131	4
Otomobil	3	129	132	3
Otomobil	3	139	143	4
Otomobil	2	156	159	3
Otomobil	3	163	168	5

Kavşağa ait yapılan bu sayımlar sonucunda hafta içi sabah zirve saat trafik hacim değeri toplam 3927 ta/sa olarak elde edilmiştir. Taşıtlarına bağlı olarak elde edilen trafik hacimleri Tablo 5.13’de yer almaktadır.

**Tablo 5.13:** Albayrak kavşağı trafik hacim değerleri

Yaklaşım Kolu Numarası	Otomobil (ta/sa)	Otobüs (ta/sa)	Minibüs (ta/sa)	Ağır Taşıt (ta/sa)
1	1422	9	101	31
2	542	9	75	48
3	814	17	80	49
4	673	0	30	27

Kavşağın hacim değeri taşıt türlerine göre incelenecek olursa, toplam hacmin yaklaşık % 88'lik kısmını otomobil oluştururken, % 7'lik kısmını minibüs, geri kalan % 5'lik kısmını kamyonet, kamyon ve otobüs oluşturmaktadır. Ayrıca kavşağın yaklaşım kollarına ait zirve saat trafik hacim değerleri Şekil 5.26'da verilmiştir.



**Şekil 5.26:** Emniyet kavşağı yaklaşım kollarına ait zirve saat trafik hacimleri (ta/sa)

Yaklaşım kollarına ait trafik hacimlerini değerlendirecek olursak en yoğun kol 1 numaralı kol olan Adliye Sarayından gelip Albayrak bulvarını takip eden yaklaşım kolu olup trafik hacmi 1563 ta/sa'dır. Diğer taraftan Albayrak bulvarından Adliye Sarayı istikametine giden 3 numaralı kolun trafik hacmi 960 ta/sa, Şehit Piyade Komando Er Mehmet Avcı caddesinden kavşağa gelen kol olan 4 numaralı kolun trafik hacmi 730 ta/sa, Kaynarca caddesinden kavşağa gelen 2 numaralı kolun trafik hacim değeri ise 674 ta/sa'dır. Genel bir değerlendirme yapacak olursak 1 numaralı kol kavşağın en yüksek trafik hacmine sahip kolu olup, kavşağın trafik hacminin yaklaşık % 40'lık kısmını oluşturmaktadır. Ayrıca Albayrak Kavşağı'nın sola ve sağa dönüş oranlarının düşük olduğu Şekil 5.26'dan görülmektedir.

### 5.2.1. Albayrak Kavşağı Mevcut Durum Performans Analizi

Albayrak kavşağına ait zirve saat trafik hacmi elde edildikten sonra kavşağın analizlerini yapmak için ilgili veriler Vissim benzetim programına girilmiştir. Bölüm 4’de verilen kalibrasyon çalışması sonuçları kullanılarak Albayrak kavşağı Vissim benzetim programında modellenmiştir. Kavşağın mevcut durumunun Vissim benzetim programında elde edilen görüntüsü Şekil 5.27’de verilmiştir.



Şekil 5.27: Albayrak kavşağı (mevcut durum)

Yapılan analizlerde performans kriteri olarak ortalama taşıt gecikmesi ve hız parametreleri kullanılmıştır. Seçilen parametrelere göre kavşağın performans analizleri Tablo 5.14’de yer almaktadır.

Tablo 5.14: Albayrak kavşağı (mevcut durum) analiz sonuçları

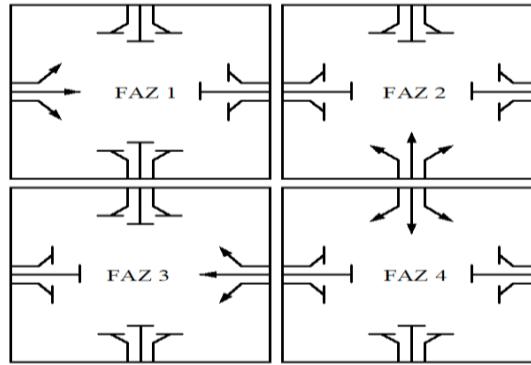
Performans Parametresi	Sonuç
Ortalama taşıt gecikmesi (sn)	44.59
Ortalama hız (km/sa)	19.67

Albayrak kavşağının mevcut durum analizi yapıldığında ortalama gecikme değeri yaklaşık olarak 45 sn olarak elde edilmiş hız değeri ise yaklaşık 20 km/sa olarak bulunmuştur. Çalışmanın ana amaçlarından olan kavşak kontrol türünün değiştirilmesi durumunda performans parametrelerinin değişimini analiz etmek amacıyla sonraki bölümde Albayrak kavşağı ışıklı kavşak olarak Vissim programında modellenmiş ve analizler yapılmıştır.



### 5.2.2. Albayrak Kavşak Kontrol Türünün Değiştirilmesi

Mevcut durumda modern dönele kavşak olarak hizmet veren Albayrak Kavşağı'nın kavşak kontrol türü ışıklı kavşak olarak tasarlanmıştır. Modern dönele kavşak olarak hizmet veren kavşakları ışıklı kavşak olarak tasarlayabilmek için devre süresinin ve faz diyagramının ayarlanabilmesi oldukça önemli ve kritik bir noktadır. Albayrak kavşağı dört faz çalışan bir ışıklı kavşak olarak tasarlanmış ve kavşağına ait faz diyagramı Şekil 5.28'de verilmiştir.

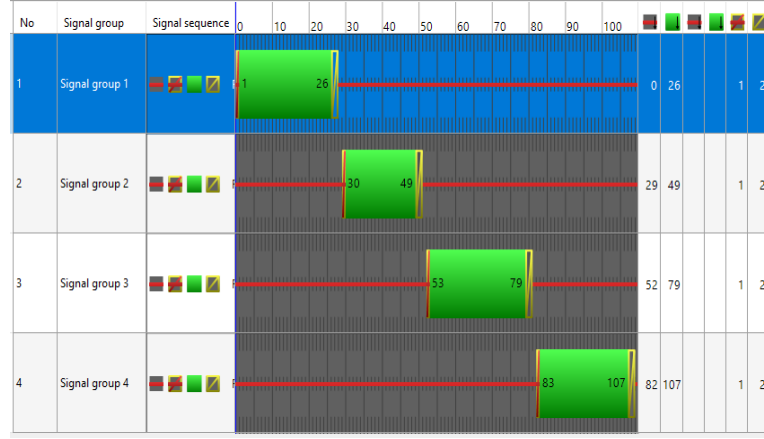


Şekil 5.28: Albayrak kavşağı faz diyagramı

Işıklı kavşak olarak tasarlanan kavşağın faz diyagramı hazırlandıktan sonra TRANSYT-7F programı yardımı ile kavşağın devre süresi ve faz yeşil süreleri hesaplanmıştır. Albayrak kavşağının ışıklı kavşak olarak tasarlanması durumunda optimum devre süresi 110 sn olarak belirlenmiştir. Ayrıca kavşağına ait faz yeşil süreleri Tablo 5.15'de, Vissim programında oluşturulan devre diyagramı ise Şekil 5.29'da verilmiştir.

Tablo 5.15: Albayrak kavşağı faz yeşil süreleri

Devre Süresi (sn)	Faz Numarası	Yeşil Süre(sn)	Yeşillerarası süre(sn)
110	1	26	3
	2	20	3
	3	27	3
	4	25	3



Şekil 5.29: Albayrak kavşağı devre diyagramı

Kavşağın devre ve faz diyagramları tasarlandıktan sonra Albayrak kavşağının Vissim programında ışıklı kavşak olarak benzetimi yapılmıştır. Şekil 5.30'da ışıklı kavşak olarak modellenen kavşağın Vissim programından alınan görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 5.30: Albayrak kavşağı (ışıklı)

Albayrak kavşağı modellendikten sonra performans parametreleri açısından analizler yapılmıştır. Yapılan bu analizler sonucunda kavşağın ortalama taşıt gecikmesi ve hız parametrelerinin değerleri Tablo 5.16'da verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda ortalama taşıt gecikmesi yaklaşık 76 sn hız değeri ise yaklaşık 13 km/sa olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.16: Albayrak kavşağı (ışıklı) analiz sonuçları

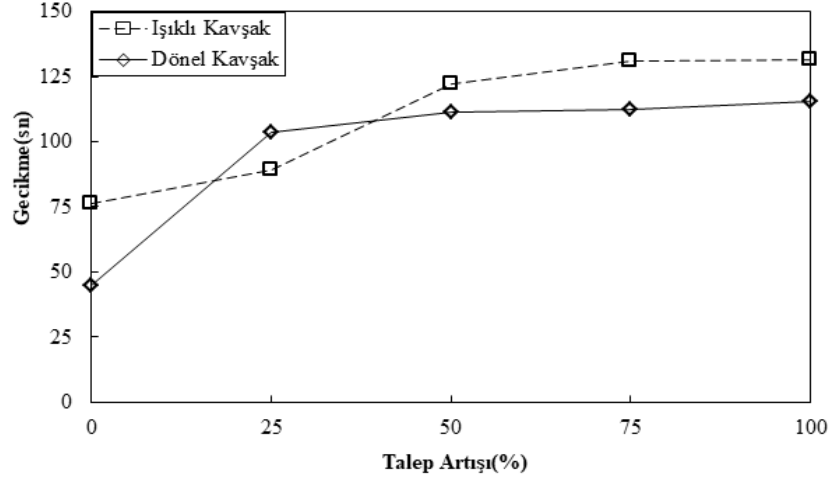
Performans Parametreleri	Sonuç
Ortalama taşıt gecikmesi (sn)	76.19
Ortalama hız (km/sa)	13.08

Kavşak türünün değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, başlangıçta 44.59 sn olan gecikme değeri 76.19 sn değerine yükselmiş ve yaklaşık olarak % 70'lik bir kötüleşme meydana gelmiştir. Ortalama hız değeri açısından mevcut durumda 19.67 km/sa olan hız değeri ise 13.08 km/sa değerine düşmüş ve yaklaşık olarak % 45'lik bir kötüleşme oluşmuştur. Elde edilen sonuçlar Albayrak kavşağı'nın modern dönel kavşak olarak işletilmesi durumunun ışıklı kavşak olması durumuna göre işletme performansını artırdığını göstermektedir. Albayrak kavşağının ışıklı ve üç faz olarak modellenmesi trafik hacim değerlerinin yüksek olmasından dolayı mümkün olamamıştır.

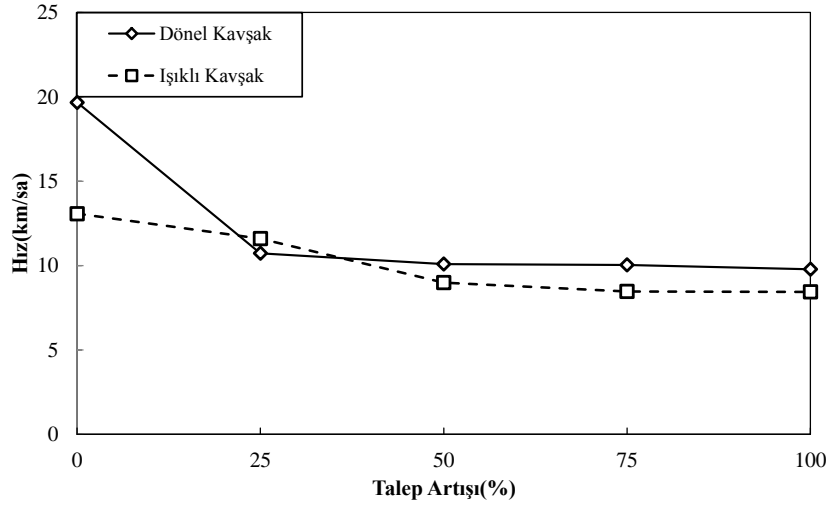
### **5.2.3. Senaryolar**

Çalışma kapsamında Emniyet Kavşağı'nda oluşturulan senaryolara paralel olarak Albayrak kavşağında da üç farklı senaryo oluşturularak kavşak kontrol türünün değiştirilmesi durumunda performans parametrelerinin ne ölçüde etkilendiğinin belirlenmesi amacıyla analizler yapılmıştır. Bu bağlamda modern dönel kavşak türünde hizmet veren Albayrak Kavşağı'nın kontrol türü ışıklı kavşak olarak değiştirilmiştir. Talep, ağır taşıt oranı ve sola dönüş oranı artışı senaryoları oluşturularak bu iki kavşak türünün performans parametrelerinde ki değişimler incelenmiştir. Senaryo 1'de kısa vadedeki talep artışı dikkate alınarak kademeli olarak talebin artırılması, Senaryo 2'de ağır taşıt oranının artırılması ve Senaryo 3'de ise her bir yaklaşım kolundaki sola dönüş oranlarının artırılması durumlarına göre performans parametrelerindeki değişimler incelenmiştir.

Senaryo 1'de %25-100 aralığında trafik hacmi kademeli olarak artırılmış ve iki farklı kavşak türü için performans parametrelerindeki değişim incelenmiştir. Şekil 5.31'de ortalama taşıt gecikmesindeki değişim, Şekil 5.32'de ise ortalama hız parametresinde ki değişim verilmiştir.



Şekil 5.31: Talep artışı ve gecikme ilişkisi (Albayrak kavşağı-senaryo 1)

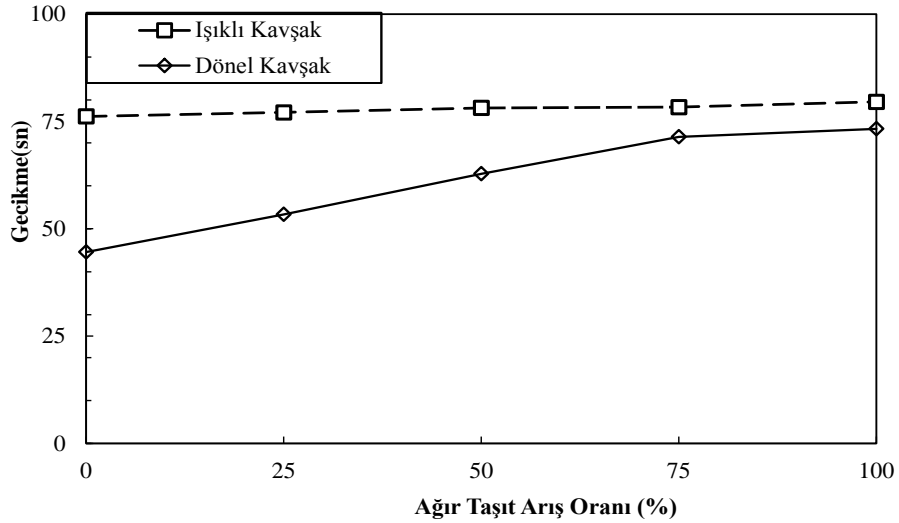


Şekil 5.32: Talep artışı ve hız ilişkisi (Albayrak kavşağı-senaryo 1)

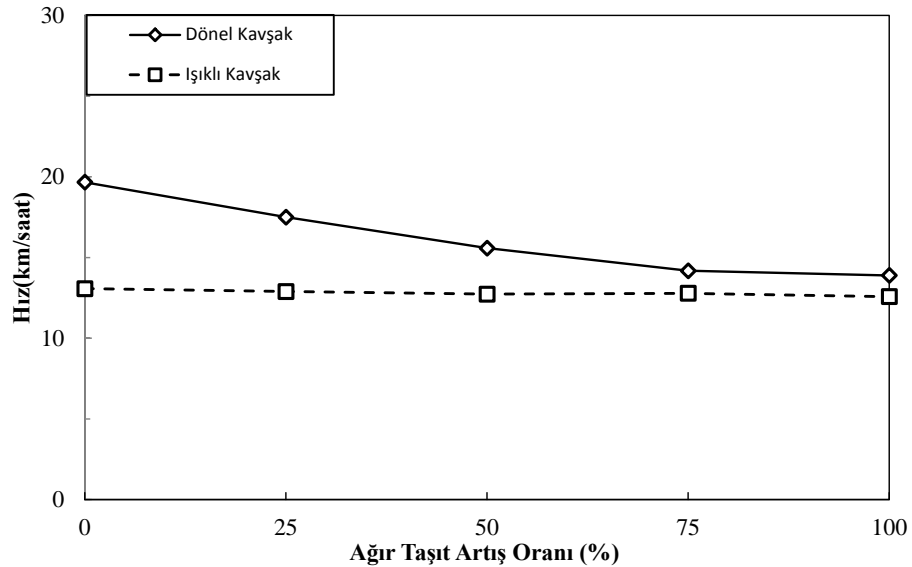
Senaryo 1’de talep artışının farklı kavşak kontrol türleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kademeli olarak talep artırıldıkça iki kavşak türü için ortalama taşıt gecikmesi değerinde beklenildiği gibi bir artış meydana gelmiştir. Başlangıçta mevcut durumda hizmet veren modern dönel kavşağın ışıklı kavşağa kıyasla % 40 oranında daha düşük bir gecikme değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak talebin yaklaşık % 20 artırılması durumunda birinci başabaş noktası oluşmuş ve bu noktadan sonra ışıklı kavşağın modern dönel kavşağa kıyasla daha düşük bir gecikme değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Sonrasında talebin % 40 artırılması durumunda ikinci kez başabaş noktası oluşmuş ve talebin % 100 artırılması durumunda modern dönel kavşağın daha düşük gecikme değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ortalama hız parametresi için Senaryo 1 incelendiğinde, her iki kavşak türü için de ortalama hız değerinin azaldığı belirlenmiştir. Senaryo 1 için ortalama hız parametresinde de

ortalama taşıt gecikmesinde olduğu gibi iki tane başabaş noktası oluşmaktadır. Talebin yaklaşık % 25 artırılması durumuna kadar modern dönel kavşağın daha yüksek hız değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak talep artışının % 25 ile % 35 olduğu aralıkta ışıklı kavşak daha yüksek hız değerine sahip iken geri kalan değerler için modern dönel kavşağın daha yüksek hız değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Albayrak Kavşağı Tablo 5.13'den görülebileceği gibi ağır taşıt oranı oldukça düşük olan bir kavşak olarak hizmet vermektedir. Senaryo 2'de ağır taşıt oranları %25-100 aralığında kademeli olarak artırılarak Albayrak Kavşağı'nın modern dönel kavşak ile ışıklı kavşak olması durumunda kavşağın performans parametrelerindeki değişim incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.33 ve 5.34'de verilmiştir.



Şekil 5.33: Ağır taşıt oranı ve gecikme ilişkisi (Albayrak kavşağı-senaryo 2)

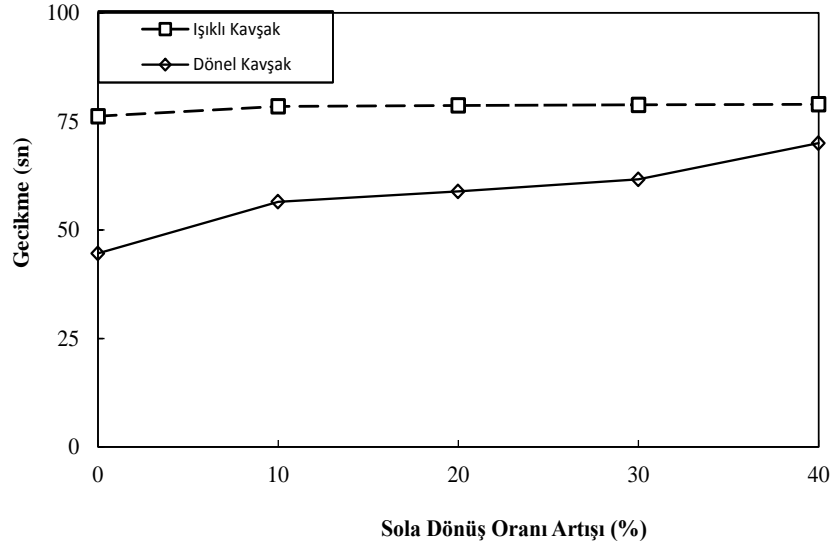


Şekil 5.34: Ağır taşıt oranı ve hız ilişkisi (Albayrak kavşağı-senaryo 2)

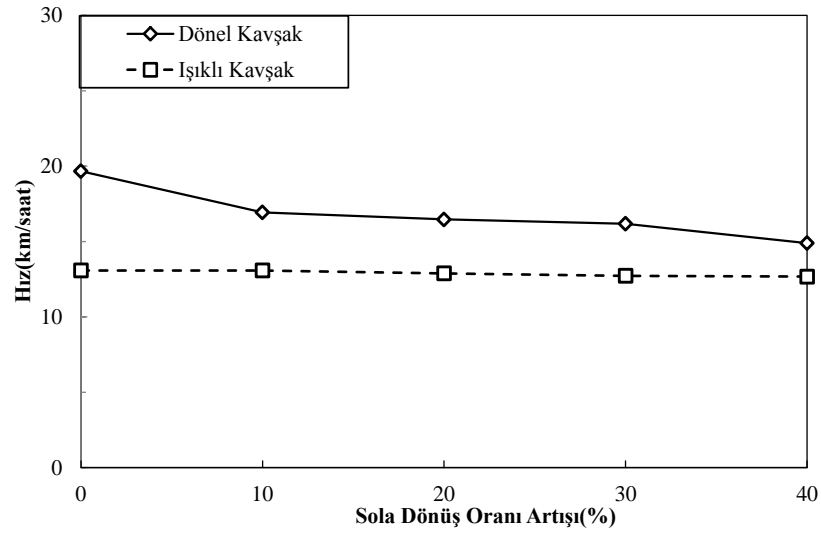
Ağır taşıt oranı dűřűk bir kavşak olan Albayrak Kavşağının ortalama taşıt gecikmesindeki değişim Senaryo 2'ye gűre incelendiğinde, modern dűnel kavşağının başlangıçtaki ortalama taşıt gecikmesi yaklaşık 45 sn iken ağır taşıt oranının iki katına çıkarılması durumunda bu değer yaklaşık 74 sn değerine ulaşmış ve % 64 artış meydana gelmiştir. Aynı senaryo ışıklı kavşak için değerlendirildiğinde, başlangıçta yaklaşık 77 sn olan ortalama taşıt gecikmesi değer i ağır taşıt oranının iki kat artırılması durumunda yaklaşık 80 sn olarak belirlenmiştir. Ayrıca ağır taşıt oranı artış senaryosundan ışıklı kavşak performans parametrelerinin oldukça az etkilenmesinin sebebi Albayrak kavşağının ağır taşıt oranının dűřűk olması olarak açıklanabilir. Sonuçlar ortalama taşıt gecikmesi açısından ağır taşıt oranı artışının dűnel kavşak performansını ışıklı kavşağa oranla çok daha fazla olumsuz etkilediğini gűstermektedir.

Senaryo 2'ye ortalama hız açısından bakılacak olursa modern dűnel kavşak için başlangıçta yaklaşık 20 km/sa olan hız değer i ağır taşıt oranının iki katına çıkarılması durumunda yaklaşık 15 km/sa'e kadar dűřműřtir. Diđer bir deyişle dűnel kavşak için ağır taşıt oranındaki artış kadar ortalama hızda da dűřűř meydana gelmektedir. ışıklı kavşak olması durumunda ise başlangıçta yaklaşık 13 km/sa olan ortalama hız değer i ağır taşıt oranının iki katına çıkarılması durumunda yaklaşık 12 km/sa olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak ortalama hız performans parametresi açısından değerlendirme yapıldığında ağır taşıt oranının artırılması durumunda modern dűnel kavşağın ışıklı kavşağa kıyasla yaklaşık dűrt kat fazla olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir.

Senaryo 3'de sola dűnűř oranlarının kademeli olarak artırılması durumunda performans parametrelerindeki deđiřim incelenmiř ve sonuçlar Őekil 5.35 ve 5.36'de verilmiřtir.



Şekil 5.35: Sola dönüş oranı ve gecikme ilişkisi (Albayrak kavşağı-senaryo 3)



Şekil 5.36: Sola dönüş oranı ve hız ilişkisi (Albayrak kavşağı-senaryo 3)

Senaryo 3'e göre sola dönüş oranının % 40 artırılması durumunda modern dönel kavşak için, ortalama taşıt gecikmesinde yaklaşık % 57'lik bir kötüleşme oluşurken, ortalama hız değerinde ise yaklaşık olarak % 25'lik bir azalma olduğu belirlenmiştir. Aynı koşullar altında ışıklı kavşaktaki değişimleri inceleyecek olursak, ortalama taşıt gecikmesi değerinde yaklaşık olarak % 4'lük bir kötüleşme, ortalama hız değeri için ise yaklaşık olarak %1'lik kötüleşme tespit edilmiştir. Işıklı kavşağa ait performans parametrelerinin bu senaryodan oldukça az etkilenmesinin sebebi Albayrak kavşağının sola dönüş oranının düşük olması ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak modern dönel kavşak türünde sola dönüş oranının artması ışıklı kavşağa oranla kavşak performansını oldukça kötüleştirmektedir.

### 5.3. Sonuçlar

Bu b6l6mde çalışma alanı olarak belirlenen iki farklı kavşak olan Emniyet ve Albayrak kavşakları tanıtılmıştır. Emniyet kavşağı ışıklı kavşak olarak hizmet vermekte iken Albayrak kavşağı modern d6nel kavşak olarak hizmet vermektedir.

İlk olarak Emniyet kavşağının mevcut performansı Vissim programında analiz edilmiştir. Kavşağın performansını artırabilmek adına ışık s6releri iyileştirilmiş ve kavşağın faz planı değiştirilmiştir. Yapılan bu iki iyileştirme sonucunda da kavşağın performansının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca kavşağın kavşak kontrol t6r6 modern d6nel kavşak olarak değiştirilmiş ve Vissim programı ile analizler tekrarlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda kavşak kontrol t6r6n6n değiştirilmesinin kavşağın performansını oldukça arttırdığı tespit edilmiştir. Kavşak performansında etkili parametreler olan trafik hacmi, ağır taşıt ve sola d6n6ř oranlarının artırılması senaryoları altında iki farklı kavşak kontrol t6r6n6n performanslarının değişimi analiz edilmiştir.

Çalışma kapsamında ele alınan bir diğer kavşak olan Albayrak Kavşağı'nın mevcut durum performans analizi yapılmıştır. Daha sonra kavşağın kavşak kontrol t6r6 değiştirilmiş ve ışıklı kavşak olarak performansı değerlendirilmiştir. İki kavşak kontrol t6r6n6n performansı karşılaştırılmış olup karşılaştırma sonucunda modern d6nel kavşağın daha y6ksek performansla hizmet verdiği tespit edilmiştir. Son olarak trafik hacmi, ağır taşıt ve sola d6n6ř oranlarının artırılması senaryoları altında analizler yapılmış ve iki farklı kavşak kontrol t6r6n6n performansları değerlendirilmiştir. Sonraki b6l6mde tez çalışmasının sonuçları verilmiştir.



## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde tez çalışması kapsamında elde edilen temel sonuçlar ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalar verilmiştir. Çalışmanın giriş bölümünde ilk olarak kentiçi ulaşım ağlarında yaşanan trafik problemlerinden bahsedilmiştir. Daha sonra tez çalışmasında ele alınan problemin olumsuz etkilerinin en aza indirilebilmesi için yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir. İkinci bölümde tez çalışmasında kullanılan iki farklı kavşak kontrol türüne ait genel bilgiler verilmiştir. Işıklı ve modern dönel kavşak türlerinin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiş kavşak kontrol türü seçiminde dikkat edilmesi gereken noktalar üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümde ışık sürelerinin iyileştirilmesi için kullanılan TRANSYT-7F ve Vissim programları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde Vissim benzetim programının kalibrasyon çalışmasından bahsedilmiştir. Kalibrasyon çalışmasında kullanılan iki seviyeli algoritmanın çalışma prensibi detaylı olarak açıklanmış ve kalibrasyon çalışmasında kullanılan kavşağa ait veriler ve elde edilen sonuçlar verilmiştir. Sonraki bölümde çalışma kapsamında analizleri yapılan Emniyet ve Albayrak Kavşak'ları hakkında bilgiler verilmiştir.

İlk olarak Emniyet kavşağının mevcut durum performans analizi yapılmıştır. Daha sonra kavşağın performansını artırmaya yönelik yapılan ışık sürelerinin iyileştirilmesi, faz planının değiştirilmesi ve kavşak kontrol türünün değiştirilmesi durumlarının analizleri yapılmıştır. İkinci olarak Albayrak Kavşağının mevcut durum performans analizleri yapılmıştır. Sonrasında kavşak kontrol türünün değiştirilmesi durumunda kavşağın performans analizi yeniden yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca her iki kavşak içinde üç farklı senaryo oluşturulup modern dönel ve ışıklı kavşak türlerinin önerilen senaryolardan nasıl etkilendiğinin belirlenmesi amacıyla analizler yapılmıştır.

Çalışma sonucunda kavşak kontrol türünün değiştirilmesinin performans parametrelerine etkisinin oldukça fazla olduğu belirlenmiştir. Dünyada yaygın olarak kullanılan modern dönel kavşağın ışıklı kavşağa oranla daha az gecikme değeri verdiği görülmüştür. Ayrıca ışık sürelerinin iyileştirilmesi ve faz sürelerinin düzenlenmesinin de kavşak performansını artıran düzenlemeler olduğu

belirlenmiştir. Ancak yapılan düzenlemeler içinde kavşak performansını artıran en etkin düzenlemenin kavşak kontrol türünün doğru seçilmesi olduğu anlaşılmıştır.

Çalışmada ayrıca talebin, ağır taşıt oranının ve sola dönüş oranlarının artırılması durumunda kavşak performanslarının nasıl etkilendiğini araştırmak hedeflenmiştir. Bu hedefe yönelik oluşturulan üç senaryo altında modern dönel kavşak ve ışıklı kavşak performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan bu analizler sonucunda talep artışından her iki kavşak türünün de olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Ancak modern dönel kavşağın performansının talep artışı durumunda ortalama gecikme değeri açısından ışıklı kavşağa göre daha olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca ağır taşıt oranının ve sola dönüş oranının artırılması durumunda her iki kavşak kontrol türünde performanslarının olumsuz yönde etkilendiği görülmüştür.

Gelecekte dönel ve ışıklı kavşakların geometrik özelliklerinin (şerit sayısı, şerit genişliği, sola dönüş cebi uygulaması) performans parametrelerine olan etkisinin incelenmesi ve elde edilecek sonuçların karar vericiler ile paylaşılarak uygulamaya katkı sağlaması hedeflenmektedir. Ayrıca çalışmada önerilen kavşak performansını iyileştirme yöntemlerinde önerilen talebin artırılması senaryosu için trafik hacminin kısa vadede değiştiği varsayılmıştır. Gelecek çalışmalarda bu varsayım yerine uzun vadede trafik hacminde oluşabilecek değişimler dikkate alınarak ışık süreleri en iyilenecek ve ilgili senaryolar analiz edilecektir.

Trafikte yaşanan sorunları azaltmak için kısa ve uzun vadede alınması gereken önlemler vardır. Uzun vadede özel otomobil kullanımını azaltmak ve halkı toplu taşımaya yönlendirmek gibi önlemler alınabilir. Kısa vadede trafikte yaşanan sorunları en aza indirmek için ise trafik sorunlarının en fazla yaşandığı noktalar olan kavşakların performansının artırılması gerekmektedir. Bu bağlamda sürücülerin trafikte yaşadıkları sorunları azaltmak için yerel yönetimlere ve karar vericilere trafik akım özelliklerini ve sürücü davranışlarını doğru analiz ederek bölge özelliklerine uygun kavşak tasarımı yapmaları önerilmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

Ahn, K., Kronprasert, N. and Rakha, H., “Energy and Environmental Assessment of High-Speed Roundabouts”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2123, 54-65, (2009).

Akcelik, R., “Operating Cost, Fuel Consumption and Pollutant Emission Savings at a Roundabout with Metering Signals”, *7th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Istanbul, (2006).

Akcelik, R., “Roundabouts with Unbalanced Flow Patterns”, *Paper presented at the ITE 2004 Annual Meeting*, Florida, (2004).

Akmaz, M.M., “Konya’nın Önemli Sinyalize Kavşaklarının Bilgisayar Programı İle İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, (2012).

Alçelik, N., “Kent İçi Sinyalize ve Dönel Kavşakların Kapasite Açısından Karşılaştırılması Ümraniye İlçesi Örneğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2010).

Asamer, J., Zuylen, J. H. and Heilmann, B., “Calibrating VISSIM To Adverse Weather Conditions”, *2nd International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*, Leuven, (2011).

Baskan, O. and Ozan, C., “Reserve capacity model for optimizing traffic signal timings with an equity constraint”, (ed: H. Yaghoubi), *Highway Engineering*, ISBN: 978-953-51-3670-5, INTECH: (2017).

Başkan, Ö., “Birleştirilmiş Ulaşım Ağ Tasarım Probleminin Diferansiyel Gelişim Algoritması ile Çözümü”, *10. Ulaştırma Kongresi*, İzmir, 301-311, (2013).

Başkan, Ö., “Karınca Kolonisi Optimizasyonu ile Ulaşım Ağ Tasarımı”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2009).

Chen, K. and Yu, L., “Microscopic traffic-emission simulation and case study for evaluation of traffic control strategies”, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 7(1), 93–99, (2007).

Chun-ying, G., “Microscopic Simulation System VISSIM and Its Application To Road and Transportation”, *Highway*,

[http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-GLGL200508028.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-GLGL200508028.htm), (2005).

Culum, C., “Trafik Sinyal Sürelerinin Optimizasyonu ve Çevre Kirliliği Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2013).

Çakıcı, Z., “Sinyalize Dönel (Yuvarlakada) Kavşakların Tasarım Esaslarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2014).

Dağüstü, H.Ş., “Trafik Yönetiminde Kavşak Trafiğinin Kontrolü İçin Bir Sinyal Zamanlama Modeli”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2010).

Darma, Y., Karım M. R., Mohamad, J. and Abdullah, S., “Control Delay Variability At Signalized Intersection Based On HCM Method”, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 945-958, (2005).

Dell'orco, M., Baskan, O. and Marinelli, M., “A Harmony Search algorithm approach for optimizing traffic signal timings”, *Promet Traffic & Transportation*, 25(4), 349-358, (2013).

Dell'Orco M., Baskan O. and Marinelli M., “Artificial Bee Colony-Based Algorithm for Optimising Traffic Signal Timings, Soft Computing in Industrial Applications”, (eds: V. Snášel, P. Krömer, M. Köppen, and G. Schaefer), *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 223, Heidelberg: Springer Berlin, 327-337, (2014).

Eraslan, O., “Işıklı Kavşaklarda Amerikan ve Avustralya Yöntemleri İle Gecikme Analizi ve Örnek Bir Kavşak Çözümü”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2008).

Ergün, G., Avrenli K., Harman M.M. ve Pehlivan E., *Arterlerde Sinyal Koordinasyonu ve Optimizasyonu: Yöntem ve Uygulama El Kitabı*, İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Araştırma Çalışması, (2006).

Erol, D. ve Başkan. Ö., “Şehiriçi Işıklı ve Dönel Kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisinin İncelenmesi”, *12. Ulaştırma Kongresi, Adana*, 25-34, (2017).

Eshragh, S., Faghri, A. and DuRoss, M., “Roundabout Performance Evaluation in a Network Evacuation A Case of Intelligent Decomposed Network Simulations”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2376, 63-70, (2013).

Gedizlioğlu, E., “Kentlerimizde Trafik Yönetimi”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 434, 20–21, (2004).

Gedizlioğlu, E., *Trafik Yönetimi Ders Notları*, İstanbul: (2002).

Gross, F., Lyonb, C., Persaud, B. and Srinivasan, R., “Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts”, *Accident Analysis and Prevention*, 50, 234–241, (2013).

Haldenbilen, S., Baskan, O. and Ozan, C., “An Ant Colony Optimization Algorithm for Area Traffic Control”, *Ant Colony Optimization-Techniques and Applications*, DOI: 10.5772/51695, ISBN:978-953-51-1001-9, INTECH: (2013).

Ishaque, M. M. and Noland, R. B. “Trade-Offs Between Vehicular And Pedestrian Traffic Using Micro-Simulation Methods”, *Transport Policy*, 14(2), 124–138, (2007).

Jie, L., Fangfang, Z., Zuylen, H. and Shoufeng, L., “Calibration Of A Micro Simulation Program For A Chinese City”, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 20, 263–272, (2011).

KGM, “Karayolu Tasarımı Raporu Ek 1: Kavşak Tipi Seçimi İle İlgili Olarak Önerilen Esaslar”, Ankara: (2000<sup>a</sup>).

KGM, “Karayolu Tasarımı Raporu Ek 2: Modern Dönel Kavşaklar için önerilen Tasarım Esasları”, Ankara: (2000<sup>b</sup>).

Kutlu, K., *Trafik Tekniği*, İstanbul: İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, (1993).

Liao, Y. T., “A fuel based signal optimization model”, *Transportation Research Part D*, 23, 1-8, (2013).

Liu, H., Cai, Z. and Wang, Y., “Hybridizing particle swarm optimization with differential evolution for constrained numerical and engineering optimization”, *Applied Soft Computing*, 10(2), 629-640, (2010).

Liu, W., Qin, Y., Dong, H. and Yang, Y., “Driving behavior parameter sensitivity analysis based on VISSIM”, *Applied Mechanics and Materials*, 668-669,1453-1457, (2014).

McKnight, G. A., Khattak, A. J. and Bishu, R., “Driver Characteristics Associated with Knowledge of Correct Roundabout Negotiation”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2078,96-99, (2008).

McTrans, TRANSYT-7F Users Guide, Release 11.3, McTrans Center, University of Florida, Gainesville, Florida, (2008).

Noland, R. B., Gao, D., Gonzales, E. J. and Brown, C., “Costs and benefits of a road diet conversion”, *Case Studies on Transport Policy*, 3(4), 449–458, (2015).

Ouston, L. and Bared, J.G., “Roundabouts”, Public Roads, Mclean: Turner Fairbank Highway Research Center, (1995).

Ozan, C., “İyileştirilmiş Pekiştirmeli Öğrenme Yöntemi ve Dinamik Yükleme ile Kentiçi Ulaşım Ağlarının Tasarımı”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2012).

Ozan, C., Başkan, Ö., Haldenbilen, S. and Ceylan H., “A modified reinforcement learning algorithm for solving coordinated signalized networks”, *Transportation Research Part C*, 54, 40-55, (2015).

Park, J., Noland, R., and Polak, J., “Microscopic Model Of Air Pollutant Concentrations: Comparison Of Simulated Results With Measured And Macroscopic Estimates”, *Transportation Research Record*, doi: <http://dx.doi.org/10.3141/1750-08>, (2001).

PTV VISSIM 6 Users Guide, PTV AG, Karlsruhe, (2013).

Pulugurtha, S. and Mahanthi, S., “Assessing Spatial And Temporal Effects Due To A Crash On A Freeway Through Traffic Simulation”, *Case Studies on Transport Policy*, 4(2), 122–132, (2015).

Ratrouf, T. N. and Reza, I., “Comparison of optimal signal plans by Synchro & TRANSYT-7F using PARAMICS – A case study”, *Procedia Computer Science*, 32, 372 – 379, ( 2014 ) .

Salamati, K., Roupail, N. M., Frey, H. C., Liu, B. and Schroeder, B. J., “Simplified Method for Comparing Emissions in Roundabouts and at Signalized Intersections”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2517, 48 –60, (2015).

Siddharth, S.P.M. and Ramadurai, G., “Calibration of VISSIM for Indian Heterogeneous Traffic Conditions”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*,104, 380-389, (2013).

Storn, R. and Price, K., *Differential Evolution: A Simple And Efficient Adaptive Scheme For Global Optimization Over Continuous Spaces* ,95, USA: ICSI, (1995).

Storn, R., “Differential Evolution-A Simple and Efficient Heuristic Strategy for Global Optimization Over Continuous Spaces,” *Journal of Global Optimization*, 11, 341-359, (1997).

Stuwe, B., “Capacity and safety of roundabouts in Germany” *Intersections Without Traffic Signals II*, Bochum, 1-12, (1991).

Takemoto, A., Munehiro, K., Takahashi, N., Watanabe, M., Murakami, M. and Kawamura, M., “Optimization of Vehicle Travel Position on Roundabouts in Snowy Cold Regions”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2312, 46–55, (2012).

Tanyel, S. ve Varlıoprak, Ç., “Yeni Tip Dönel Kavşak Uygulama Örnekleri”, *4. Ulaştırma Kongresi*, Denizli, (1998).

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

Tanyel, S., “Türkiye’deki Dönel Kavşaklar İçin Kapasite Hesap Yöntemi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2001).

Tanyel, S., “Yuvarlak Ada Kavşaklarda Anaakımdaki Ağır Araç Yüzdesinin Yanyol Kapasitesi Üzerindeki Etkisi”, *Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (1), 19-30, (2005).

TRB, *Highway Capacity Manual*, 3rd Edition, Washington: Transportation Research Board, National Research Council, (2000).

Troutbeck, R., “Background for HCM Section on Analysis of Performance of Roundabouts”, *Transportation Research Record*, 1646,54-62, (1998).

Tunç, A., *Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları*, Ankara: Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., (2003).

TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, Ulaştırma İstatistikleri, [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr), Ankara: (2016).

UAP Denizli Kentiçi ve Yakın Çevre Ulaşım Ana Planı ve Süreç Yönetimi, 1. Aşama Final Raporu, Aralık, Denizli, (2010).

Umar, F. ve Yayla, N., *Yol İnşaatı*, İstanbul: İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, (1992).

Varlıorpak, Ç., *Trafik Ders Notları*, İzmir : Dokuz Eylül Üniversitesi Matbaası, (1982).

Wiedemann, R., *Simulation des Strassenverkehrsflusses*, Karlsruhe, (1974 ).

Wilshire, R.L., *Traffic Enginnering Handbook*, New Jersey: Prentice Hall, 278-309, (1992).

Yayla, N., *Karayolu Mühendisliği*, İstanbul: Birsen Yayınevi, 211-223, (2004).

Yin, D. and Qin, Z.T., “Comparison of Macroscopic and Microscopic Simulation Models in Modern Roundabout Analysis”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2265, 244–252, (2011).



## 8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Duygu EROL

Doğum Yeri ve Tarihi : Dinar/ 08.04.1990

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : eduyguerol@gmail.com

İletişim Adresi :Emniyet Mahallesi, 135.Blk 5. Daire  
Dinar/ Afyonkarahisar

### Yayın Listesi

- Erol, D. ve Başkan. Ö., “Şehiriçi Işıklı ve Dönel Kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisinin İncelenmesi”, 12. Ulaştırma Kongresi, Adana, 25-34, (2017).
- Erol, D. ve Ceylan H., “Toplu Taşımada Minibüsten Otobüse Geçişin Konfor ve Çevre Açısından Değerlendirilmesi”, 11. Ulaştırma Kongresi , İstanbul, 425-436, (2015).