

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

**SİNYALİZE DÖNEL (YUVARLAKADA) KAVŞAKLARIN  
TASARIM ESASLARININ ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ZİYA ÇAKICI**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2014**

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



**SİNYALİZE DÖNEL (YUVARLAKADA) KAVŞAKLARIN  
TASARIM ESASLARININ ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ZİYA ÇAKICI**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2014**

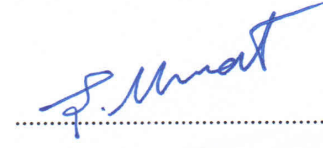
## KABUL VE ONAY SAYFASI

Ziya ÇAKICI tarafından hazırlanan "SİNYALİZE DÖNEL (YUVARLAKADA) KAVŞAKLARIN TASARIM ESASLARININ ARAŞTIRILMASI" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 25.06.2014 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği 3/3 oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

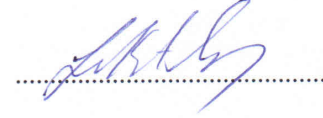
Danışman  
Prof. Dr. Yetiş Şazi MURAT (PAÜ)



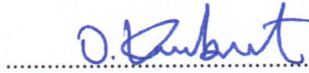
Üye  
Doç. Dr. Serhan TANYEL (DEÜ)



Üye  
Yrd. Doç. Dr. Sabit KUTLUHAN (PAÜ)



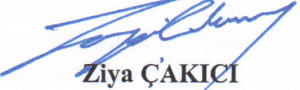
Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
16.07.2014... tarih ve ...39/09... sayılı kararıyla onaylanmıştır..



Prof. Dr. Orhan KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

  
Ziya ÇAKICI

## ÖZET

### SİNYALİZE DÖNEL (YUVARLAKADA) KAVŞAKLARIN TASARIM ESASLARININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZİYA ÇAKICI

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. YETİŞ ŞAZİ MURAT)

DENİZLİ, HAZİRAN - 2014

Dünya nüfusundaki sürekli artışa bağlı olarak, karayollarındaki motorlu ve motorsuz taşıt sayısı günden güne artmakta ve bu durum çeşitli trafik problemlerini de beraberinde getirmektedir. Genel olarak, karayollarının kesişim alanlarını oluşturan kavşaklarda meydana gelen bu problemler, maddi ve manevi kayıplara yol açmakta ve insan hayatını birçok açıdan olumsuz yönde etkilemektedir.

Kavşaklar, karayollarındaki taşıtların birbirleri ile kesişme olasılıklarının en fazla görüldüğü alanlar olduğu için, bu alanlarda söz konusu karmaşıklıkları önlemek amacı ile çeşitli trafik denetimi teknikleri uygulanmaktadır.

Özellikle son yıllarda, ülkemizde ve gelişmekte olan birçok ülkede uygulanan söz konusu trafik denetimi tekniklerinden birisi de sinyalize dönel kavşak uygulamalarıdır. Sinyalize kavşaklar ile dönel kavşakların kombinasyonu sonucu ortaya çıkan sinyalize dönel kavşakların kavşak performans özellikleri ise halen büyük bir merak konusudur.

Bu çalışmada öncelikli olarak, sinyalize dönel kavşakların tasarım prosedürleri ele alınmıştır. Çalışma kapsamınca, sinyalize dönel kavşakların depolama alanı gereklilikleri, sinyal sistemi tasarımları ve diğer faktörler de incelenmiştir.

Analiz çalışmaları dört başlıkta gerçekleştirilmiştir. Birinci kısımda Denizli-Pekdemir Kavşağı'nda hafta içi ve hafta sonu birer gün süre ile sabah, öğle ve akşam pik saatlerde yapılan gecikme gözlemlerinin sonuçları, Vissim simülasyon programı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. İkinci kısımda, on iki farklı trafik senaryosu dikkate alınmış, farklı tip kavşaklar farklı faz planları göz önünde bulundurularak ve gecikme performans kriteri baz alınarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Üçüncü kısımda sinyalize dönel kavşakta, sinyal optimizasyonu üzerine deneysel bir çalışma yapılarak, iki fazlı ve üç fazlı denetim durumları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Analizlerin son kısmında ise, farklı sola dönüş hacimlerinin ve depolama şeridi sayısının kavşak performansına etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Analizler sonucunda elde edilen tüm bulgular, ilgili bölümlerde yorumlanmış ve sonuçlar kısmında özet olarak sunulmuştur.

**ANAHTAR KELİMELER:** Sinyalize dönel kavşak, Gecikme, Sinyalizasyon  
Sidra Intersection, Trafik Yönetimi, Vissim

## **ABSTRACT**

### **THE INVESTIGATION OF DESIGN PRINCIPLES OF SIGNALIZED ROUNDBOUTS**

**MSC THESIS**

**ZIYA ÇAKICI**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
CIVIL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:PROF. DR. YETİS SAZİ MURAT)**

**DENİZLİ, JUNE 2014**

Depending on the incessant growth of the world population, number of motorized and non-motorized vehicles on the roads have been increasing day by day and this situation brings about various traffic problems. These problems which occur at intersections generally, lead to spiritual and material losses and affect the human lives in many ways.

Intersections are the traffic areas that the possibilities of the conflicts of vehicles on the highways are seen most commonly. So, the various traffic management techniques are applied on these areas for preventing confusions.

Especially in recent years, one of these traffic management techniques applied in our country and many developing countries is also signalized roundabout application. Intersection performance properties of signalized roundabouts which occur with resulting from the combination of signalized intersections and roundabouts is still a major topic of interest.

In this study, design principles of signalized roundabouts are discussed primarily. Besides, the storage area requirements and signal system principles of signalized roundabouts and other factors are also investigated.

The analyses made in the study consist of four part. In the first part, the results of Pekdemir Intersection delay observations which were made at three peak periods in two days (in a weekday and weekend) were compared with the results obtained from Vissim traffic simulation program. In the second part, twelve different traffic scenarios were considered and different types of intersections were compared with each other (based on the delay performance criterias) considering different phases plans. An experimental analyses on signal timing optimization at signalized roundabouts were conducted in the third part of the study. Two-phase and three-phase control forms were evaluated separately. In the last part of the analyses, effects on intersection performance of different left-turning traffic volumes and the number of storage lanes were examined in detailed. The results obtained from analyses were interpreted in the relevant sections and were presented briefly in the results section.

**KEYWORDS:** Signalized Roundabout, Delay, Signalization, Sidra Intersection Traffic Management, 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>vii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Genel .....	1
1.2 Amaç .....	3
1.3 Kapsam .....	4
<b>2. KAVŞAKLAR</b> .....	<b>6</b>
2.1 Eşdüzey Kavşaklar .....	7
2.1.1 Denetimli (Sinyalize) Eşdüzey Kavşak Tasarımı .....	8
2.1.2 Dönel Kavşak Tasarımı .....	10
2.1.3 Sinyalize Dönel Kavşak Tasarımı.....	14
2.1.3.1 Kısmi Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklar .....	14
2.1.3.2 Tam Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklar.....	15
<b>3. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>21</b>
<b>4. SİNYALİZE DÖNEL KAVŞAK TASARIM PROSEDÜRLERİ</b> .....	<b>29</b>
4.1 Depolama Alanı Gereklikleri .....	30
4.2 Sinyal Sistemi Tasarımı.....	32
4.3 Diğer Faktörler .....	34
4.3.1 Sürücü Faktörleri .....	35
4.3.2 Kavşak Yaklaşım Kollarındaki Taşıt Kompozisyonları .....	35
4.3.3 Kavşak Yaklaşım Kollarındaki Trafik Hacimleri .....	35
4.3.4 Kavşak Yaklaşım Kollarından Sola Dönüş Hareketi Yapacak Olan Taşıtların Sayısı ve Cinsi .....	36
<b>5. ARAZİ ÇALIŞMALARI VE ANALİZLER</b> .....	<b>37</b>
5.1 Denizli Örnek Kavşak (Pekdemir Kavşağı) Analizi .....	37
5.1.1 Gecikme .....	37
5.1.2 Arazide Gecikme Çalışmaları .....	40
5.1.3 İstatistiksel Testler .....	49
5.1.3.1 İstatistik Testleri Sonuçları .....	50
5.1.4 Arazi Gözlemleri ve VISSIM Simülasyon Programı Sonuçları Karşılaştırması .....	51
5.2 Farklı Trafik Senaryoları için, Farklı Tip Kavşakların Gecikme Performans Kriteri Dikkate Alınarak Karşılaştırılması.....	59
5.2.1 Genel .....	59
5.2.2 Analizler.....	61
5.2.2.1 Dönel Kavşak .....	62
5.2.2.2 Sinyalize Kavşaklar.....	63
5.2.2.3 Sinyalize Dönel Kavşaklar .....	67
5.2.2.4 Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşaklar .....	77
5.2.3 Analizlerin Karşılaştırılması .....	87

5.2.4	Karşılaştırma Sonuçları.....	90
5.3	Sinyalize Dönel Kavşaklarda Sinyal Optimizasyonu.....	92
5.3.1	İki Fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Uygulaması – Sinyal Süresi Optimizasyonu Analizleri ve Sonuçları.....	94
5.3.2	Üç Fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Uygulaması – Sinyal Süresi Optimizasyonu Analizleri ve Sonuçları.....	98
5.4	Sinyalize Dönel Kavşaklarda Farklı Sola Dönüş Hacimlerinin Kavşak Performansına Etkilerinin İncelenmesi .....	106
5.4.1	Depolamanın İki Şeritte Yapılması Durumu.....	107
5.4.1.1	Depolamanın İki Şeritte Yapılması Durumu – 1. Örnek Durum .....	110
5.4.1.1.1	1. Örnek Durum – 1. Aşama.....	111
5.4.1.1.2	1. Örnek Durum – 2. Aşama.....	112
5.4.1.1.3	1. Örnek Durum – 3. Aşama.....	113
5.4.1.1.4	1. Örnek Durum – 4. Aşama.....	116
5.4.1.2	Depolamanın İki Şeritte Yapılması Durumu – 1. Örnek Durum Analiz Sonuçları .....	119
5.4.1.3	Depolamanın İki Şeritte Yapılması Durumu – 2. Örnek Durum .....	120
5.4.1.3.1	2. Örnek Durum – 1. Aşama.....	120
5.4.1.3.2	2. Örnek Durum – 2. Aşama.....	122
5.4.1.3.3	2. Örnek Durum – 3. Aşama.....	123
5.4.1.3.4	2. Örnek Durum – 4. Aşama.....	125
5.4.1.4	Depolamanın İki Şeritte Yapılması Durumu – 2. Örnek Durum Analiz Sonuçları .....	128
5.4.2	Depolamanın Üç Şeritte Yapılması Durumu .....	128
5.4.2.1	Depolamanın Üç Şeritte Yapılması Durumu – 1. Örnek Durum.....	129
5.4.2.1.1	1. Örnek Durum – 1. Aşama.....	129
5.4.2.1.2	1. Örnek Durum – 2. Aşama.....	130
5.4.2.1.3	1. Örnek Durum – 3. Aşama.....	132
5.4.2.1.4	1. Örnek Durum – 4. Aşama.....	134
5.4.2.2	Depolamanın Üç Şeritte Yapılması Durumu – 1. Örnek Durum Analiz Sonuçları .....	136
5.4.2.3	Depolamanın Üç Şeritte Yapılması Durumu – 2. Örnek Durum.....	137
5.4.2.3.1	2. Örnek Durum – 1. Aşama.....	137
5.4.2.3.2	2. Örnek Durum – 2. Aşama.....	139
5.4.2.3.3	2. Örnek Durum – 3. Aşama.....	140
5.4.2.3.4	2. Örnek Durum – 4. Aşama.....	143
5.4.2.4	Depolamanın Üç Şeritte Yapılması Durumu – 3. Örnek Durum Analiz Sonuçları .....	145
5.4.3	Depolama Yapılan Şerit Sayılarının Kavşak Performansına Etkilerinin İncelenmesi .....	146
<b>6.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>149</b>
6.1	Sonuçlar.....	149
6.2	Öneriler.....	156
<b>7.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>158</b>
<b>8.</b>	<b>EKLER.....</b>	<b>163</b>



EK A.1 Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 1. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	163
EK A.2 Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 2. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	164
EK A.3 Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 3. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	165
EK A.4 Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 4. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	166
EK A.5 Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 5. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	167
EK A.6 Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 6. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	168
EK A.7 Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 7. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	169
EK A.8 Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 8. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	170
EK A.9 Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 9. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	171
EK A.10 Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 10. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	172
EK A.11 Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 11. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	173
EK A.12 Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 12. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	174
EK A.13 Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 13. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri.....	175
EK A.14 Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 14. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	176
EK A.15 Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 15. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	177
EK A.16 Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 16. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	178
EK A.17 Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 17. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	179
EK A.18 Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 18. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	180
EK A.19 Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 19. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	181
EK B.1 Dördüncü Kısımdaki Senaryolara Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacmi Örnekleri (1. Örnek Durum – 15. Senaryo).....	182
EK B.2 Dördüncü Kısımdaki Senaryolara Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacmi Örnekleri (1. Örnek Durum – 38. Senaryo).....	183
EK B.3 Dördüncü Kısımdaki Senaryolara Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacmi Örnekleri (1. Örnek Durum – 50. Senaryo).....	184
EK B.4 Dördüncü Kısımdaki Senaryolara Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacmi Örnekleri (2. Örnek Durum – 3. Senaryo).....	185
EK B.5 Dördüncü Kısımdaki Senaryolara Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacmi Örnekleri (2. Örnek Durum – 16. Senaryo).....	186
EK B.6 Dördüncü Kısımdaki Senaryolara Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacmi Örnekleri (2. Örnek Durum – 47. Senaryo).....	187

<b>9. ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>188</b>
-------------------------	------------

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Denetimsiz Eşdüzey Kavşaklarda ve Dönel Kavşaklarda Çakışma Noktaları.....	10
Şekil 2.2: Carmel-Amerika' daki Modern Bir Dönel Kavşak .....	11
Şekil 2.3: Modern Dönel Kavşakların Geometrik Elemanları.....	12
Şekil 2.4: Kısmi Denetimli Sinyalize Dönel Kavşak Planı.....	15
Şekil 2.5: Anadolu Lisesi Kavşağı – Denizli .....	16
Şekil 2.6: Tam Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklarda Uygulanan İki Fazlı Faz Planı.....	17
Şekil 2.7: Tam Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklarda Uygulanan Üç Fazlı Faz Planı.....	18
Şekil 2.8: Tam Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklarda Uygulanan Dört Fazlı Faz Planı.....	19
Şekil 4.1: Depolama Alanı Yetersizliği Görülen Sinyalize Dönel Kavşak.....	31
Şekil 5.1: Sinyalize Kavşak Yaklaşım Kolundaki Bir Taşıtın Yörünge Diyagramı.....	39
Şekil 5.2: Sinyalize Kavşakta Hız – Zaman Arasındaki İlişki.....	39
Şekil 5.3: Muğla Yaklaşım Koluna Ait Referans Noktaları .....	41
Şekil 5.4: Pekdemir Yaklaşım Koluna Ait Referans Noktaları .....	41
Şekil 5.5: HTA Yaklaşım Koluna Ait Referans Noktaları.....	42
Şekil 5.6: Tali Yaklaşım Koluna Ait Referans Noktaları .....	42
Şekil 5.7: Pekdemir Kavşağı – Denizli .....	44
Şekil 5.8: Pekdemir Kavşağı Faz Planı.....	44
Şekil 5.9: Pekdemir Kavşağı Devre Diyagramı .....	45
Şekil 5.10: 0-30 dk. ve 0-60 dk. Arası Ortalama Gecikme Karşılaştırması.....	48
Şekil 5.11: 30-60 dk. ve 0-60 dk. Arası Ortalama Gecikme Karşılaştırması....	48
Şekil 5.12: 0-30 dk. ve 30-60 dk. Arası Ortalama Gecikme Karşılaştırması....	48
Şekil 5.13: Pekdemir Kavşağı – Şerit Planı .....	54
Şekil 5.14: Arazi Gözlemi – Vissim Simülasyon Programı Gecikme Karşılaştırması.....	59
Şekil 5.15: Sinyalize Kavşak Faz Planı – Dört Fazlı Denetim .....	63
Şekil 5.16: Sinyalize Kavşak Devre Diyagramı – Dört Fazlı Denetim.....	64
Şekil 5.17: Sinyalize Kavşak Faz Planı – Dört Fazlı Denetim .....	66
Şekil 5.18: Sinyalize Kavşak Devre Diyagramı – Üç Fazlı Denetim .....	66
Şekil 5.19: Sinyalize Dönel Kavşak Faz Planı – Dört Fazlı Denetim.....	69
Şekil 5.20: Sinyalize Dönel Kavşak Devre Diyagramı – Dört Fazlı Denetim..	69
Şekil 5.21: Sinyalize Dönel Kavşak Faz Planı – Üç Fazlı Denetim .....	72
Şekil 5.22: Sinyalize Dönel Kavşak Devre Diyagramı – Üç Fazlı Denetim ....	72
Şekil 5.23: Üç Fazlı Sinyalize Dönel Kavşak – Ortalama Taşıt Gecikmeleri ..	73
Şekil 5.24: Sinyalize Dönel Kavşak Faz Planı – İki Fazlı Denetim.....	75
Şekil 5.25: Sinyalize Dönel Kavşak Devre Diyagramı – İki Fazlı Denetim.....	76
Şekil 5.26: Sola Dönüş Cepli Kavşakta Kavşak Yaklaşım Kolu Planı.....	78
Şekil 5.27: Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Faz Planı - Dört Fazlı Denetim .....	79
Şekil 5.28: Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Devre Diyagramı – Dört Fazlı Denetim .....	79

Şekil 5.29: Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşakta Farklı Sola Dönüş Oranları İçin Taşıtların Şeritlerdeki Sıralanışları ve Şerit Düzenleri .....	81
Şekil 5.30: Dört Fazlı Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak – Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	83
Şekil 5.31: Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Faz Planı – Üç Fazlı Denetim .....	84
Şekil 5.32: Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Devre Diyagramı – Üç Fazlı Denetim .....	85
Şekil 5.33: Üç Fazlı Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak – Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	87
Şekil 5.34: Farklı Senaryolar İçin, Farklı Örnek Durumlara Ait Analiz Sonuçları Karşılaştırması .....	89
Şekil 5.35: İki fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Optimizasyonu Analizlerinde Uygulanan Faz Planı.....	95
Şekil 5.36: İki fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Optimizasyonu İçin Sinyalizasyon Sistemi Devre Diyagramı.....	95
Şekil 5.37: İki Fazlı Uygulamada (B=10 sn.) Analizler Sonucunda Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri.....	96
Şekil 5.38: İki Fazlı Uygulamada (B=12 sn.) Analizler Sonucunda Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri.....	98
Şekil 5.39: Üç fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Optimizasyonu Analizlerinde Uygulanan Faz Planı.....	99
Şekil 5.40: Üç fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Optimizasyonu İçin Sinyalizasyon Sistemi Devre Diyagramı.....	100
Şekil 5.41: Üç Fazlı Uygulamada (C=10 sn.) Analizler Sonucunda Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri.....	102
Şekil 5.42: Üç Fazlı Uygulamada (C=8 sn.) Analizler Sonucunda Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri.....	103
Şekil 5.43: Üç Fazlı Uygulamada (C=12 sn.) Analizler Sonucunda Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri.....	105
Şekil 5.44: Merlbourne – Avustralya’ dan Seçilen Dönel Kavşak .....	106
Şekil 5.45: 1. Örnek Durum – 1. Aşama Analiz Sonuçları .....	112
Şekil 5.46: 1. Örnek Durum – 3. Aşama Analiz Sonuçları .....	116
Şekil 5.47: 1. Örnek Durum – 4. Aşama Analiz Sonuçları .....	118
Şekil 5.48: 2. Örnek Durum – 1. Aşama Analiz Sonuçları .....	121
Şekil 5.49: 2. Örnek Durum – 3. Aşama Analiz Sonuçları .....	125
Şekil 5.50: 2. Örnek Durum – 4. Aşama Analiz Sonuçları .....	127
Şekil 5.51: 1. Örnek Durum – 1. Aşama Analiz Sonuçları .....	130
Şekil 5.52: 1. Örnek Durum – 3. Aşama Analiz Sonuçları .....	133
Şekil 5.53: 1. Örnek Durum – 4. Aşama Analiz Sonuçları .....	135
Şekil 5.54: 2. Örnek Durum – 1. Aşama Analiz Sonuçları .....	139
Şekil 5.55: 2. Örnek Durum – 3. Aşama Analiz Sonuçları .....	142
Şekil 5.56: 2. Örnek Durum – 4. Aşama Analiz Sonuçları .....	145

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 2.1: Modern Dönel Kavşakların Temel Özellikleri Karşılaştırması .....	14
Tablo 3.1: Modern Dönel Kavşaklar ve Sinyalize Dönel Kavşaklar Arasındaki Farklılıklar .....	28
Tablo 5.1: Gecikme Hesabı için Örnek Durumlar .....	43
Tablo 5.2: Pekdemir Kavşağı - Sinyalizasyon Sistemi Sinyal Süreleri .....	45
Tablo 5.3: Pekdemir Kavşağı Şerit Bazlı Ortalama Taşıtlı Gecikmeleri .....	47
Tablo 5.4: Kolmogorov-Smirnov Dağılım Testi Sonuçları .....	50
Tablo 5.5: Wilcoxon Signed Rank Test Karşılaştırma Sonuçları .....	50
Tablo 5.6: Hafta içi – Sabah Periyodu için Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Saatlik Trafik Hacimleri .....	52
Tablo 5.7: Hafta içi – Öğle Periyodu için Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Saatlik Trafik Hacimleri .....	52
Tablo 5.8: Hafta içi – Akşam Periyodu için Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Saatlik Trafik Hacimleri .....	52
Tablo 5.9: Hafta Sonu – Sabah Periyodu için Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Saatlik Trafik Hacimleri .....	53
Tablo 5.10: Hafta Sonu – Öğle Periyodu için Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Saatlik Trafik Hacimleri .....	53
Tablo 5.11: Hafta Sonu – Akşam Periyodu için Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Saatlik Trafik Hacimleri .....	53
Tablo 5.12: Şerit Bazlı Trafik Hacimleri ve Şerit Bazlı Ortalama Taşıtlı Gecikmeleri .....	55
Tablo 5.13: Pekdemir Kavşağındaki Toplam Trafik Hacimleri ve Kavşaktaki Ortalama Taşıtlı Gecikmeleri .....	57
Tablo 5.14: Vissim Programı ile Elde Edilen Ortalama Taşıtlı Gecikmeleri ve Arazi Gözlemleri ile Elde Edilen Ortalama Taşıtlı Gecikmeleri.....	58
Tablo 5.15: Farklı Trafik Senaryolarına Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Sola Dönüş Oranları .....	61
Tablo 5.16: Farklı Trafik Senaryoları İçin Dönel Kavşak Analizi Sonuçları ...	62
Tablo 5.17: Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıtlı Gecikmesi.....	64
Tablo 5.18: Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıtlı Gecikmesi.....	67
Tablo 5.19: Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıtlı Gecikmesi.....	70
Tablo 5.20: Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıtlı Gecikmesi.....	73
Tablo 5.21: Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıtlı Gecikmesi.....	76
Tablo 5.22: Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıtlı Gecikmesi.....	80
Tablo 5.23: Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıtlı Gecikmesi.....	85
Tablo 5.24: Farklı Senaryolar İçin, Farklı Örnek Durumlara Ait Analiz Sonuçları.....	88
Tablo 5.25: İki Fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Süresi Optimizasyonu Analizlerinde Kullanılan Trafik Hacimleri .....	94
Tablo 5.26: İki Fazlı Uygulamada (B=10 sn.) Fazlara Ait Yeşil Süreler ve Analiz Sonuçları.....	96
Tablo 5.27: İki Fazlı Uygulamada (B=12 sn.) Fazlara Ait Yeşil Süreler ve Analiz Sonuçları.....	97

Tablo 5.28: Üç Fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Süresi Optimizasyonu Analizlerinde Kullanılan Trafik Hacimleri .....	99
Tablo 5.29: Üç Fazlı Uygulamada (C=10 sn.) Fazlara Ait Yeşil Süreler ve Analiz Sonuçları .....	101
Tablo 5.30: Üç Fazlı Uygulamada (C=8 sn.) Fazlara Ait Yeşil Süreler ve Analiz Sonuçları .....	103
Tablo 5.31: Üç Fazlı Uygulamada (C=12 sn.) Fazlara Ait Yeşil Süreler ve Analiz Sonuçları .....	104
Tablo 5.32: Üç Fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Optimizasyonu Uygulaması İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırması .....	105
Tablo 5.33: Merlbourne – Avustralya’ dan Seçilen Dönel Kavşağın Geometrik Özellikleri .....	107
Tablo 5.34: 1. Örnek Duruma Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	107
Tablo 5.35: 2. Örnek Duruma Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri .....	108
Tablo 5.36: Oluşturulan Senaryolar İçin Hacim Değişimi ve Sola Dönüş Oranları .....	109
Tablo 5.37: 1. Örnek Durum – 1. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	111
Tablo 5.38: Depo=2 şerit – 1. Örnek Durum İçin 2. Aşamada Yapılan İyileştirmeler .....	112
Tablo 5.39: 1. Örnek Durum – 2. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	113
Tablo 5.40: Depo=2 Şerit, 1. Örnek Durum – 3. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri .....	114
Tablo 5.41: 1. Örnek Durum – 3. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	115
Tablo 5.42: Depo=2 Şerit, 1. Örnek Durum – 4. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri .....	117
Tablo 5.43: 1. Örnek Durum – 4. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	117
Tablo 5.44: Depo=2 Şerit – 1. Örnek Durum, Ortalama Taşıt Gecikmelerinin 120 sn/ta ‘ ın Altında Elde Edildiği Senaryo Sayıları .....	119
Tablo 5.45: 2. Örnek Durum – 1. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	120
Tablo 5.46: Depo=2 Şerit - 2. Örnek Durum İçin 2. Aşamada Yapılan İyileştirmeler .....	122
Tablo 5.47: 2. Örnek Durum – 2. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	122
Tablo 5.48: Depo=2 Şerit, 2. Örnek Durum – 3. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri .....	123
Tablo 5.49: 2. Örnek Durum – 3. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	124
Tablo 5.50: Depo=2 Şerit, 2. Örnek Durum – 4. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri .....	126
Tablo 5.51: 2. Örnek Durum – 4. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	126

Tablo 5.52: Depo=2 Şerit - 2. Örnek Durum, Ortalama Taşıt Gecikmelerinin 120 sn/ta' ın Altında Elde Edildiği Senaryo Sayıları .....	128
Tablo 5.53: 1. Örnek Durum – 1. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	129
Tablo 5.54: Depo=3 Şerit – 1. Örnek Durum İçin 2. Aşamada Yapılan İyileştirmeler .....	131
Tablo 5.55: 1. Örnek Durum – 2. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	131
Tablo 5.56: Depo=3 Şerit, 1. Örnek Durum – 3. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri.....	132
Tablo 5.57: 1. Örnek Durum – 3. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	133
Tablo 5.58: Depo=3 Şerit, 1. Örnek Durum – 4. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri.....	134
Tablo 5.59: 1. Örnek Durum – 4. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	135
Tablo 5.60: Depo=3 Şerit – 1. Örnek Durum, Ortalama Taşıt Gecikmelerinin 120 sn/ta' ın Altında Elde Edildiği Senaryo Sayıları .....	137
Tablo 5.61: 2. Örnek Durum – 1. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	138
Tablo 5.62: Depo=3 Şerit – 2. Örnek Durum İçin 2. Aşamada Yapılan İyileştirmeler .....	139
Tablo 5.63: 2. Örnek Durum – 2. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	140
Tablo 5.64: Depo=3 Şerit, 2. Örnek Durum – 3. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri.....	141
Tablo 5.65: 2. Örnek Durum – 3. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	141
Tablo 5.66: Depo=3 Şerit, 2. Örnek Durum – 4. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri.....	143
Tablo 5.67: 2. Örnek Durum – 4. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri .....	144
Tablo 5.68: Depo=3 Şerit – 2. Örnek Durum, Ortalama Taşıt Gecikmelerinin 120 sn/ta' ın Altında Elde Edildiği Senaryo Sayıları .....	146
Tablo 5.69: Depolamanın İki Şerit ve Üç Şeritle Sağlanması Durumunda, Ortalama Taşıt Gecikmesi 120 sn/ta' ın Altında Olan Senaryo Sayıları .....	147
Tablo A 1: 1. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5).....	163
Tablo A 2: 2. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30).....	164
Tablo A 3: 3. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %10 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5 ).....	165
Tablo A 4: 4. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %10 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30).....	166
Tablo A 5: 5. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %15 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5).....	167

Tablo A 6: 6. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %15 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30).....	168
Tablo A 7: 7. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %20 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5).....	169
Tablo A 8: 8. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %20 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30).....	170
Tablo A 9: 9. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %25 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5).....	171
Tablo A 10: 10. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %25 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30).....	172
Tablo A 11: 11. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5).....	173
Tablo A 12: 12. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30).....	174
Tablo A 13: 13. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %35 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5).....	175
Tablo A 14: 14. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %35 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30).....	176
Tablo A 15: 15. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %40 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5).....	177
Tablo A 16: 16. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %40 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30).....	178
Tablo A 17: 17. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %45 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5).....	179
Tablo A 18: 18. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %45 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30).....	180
Tablo A 19: 19. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %50 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5).....	181
Tablo B 1: 1. Örnek Durum – 15. Senaryo Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri.....	182
Tablo B 2: 1. Örnek Durum – 38. Senaryo Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri.....	183
Tablo B 3: 1. Örnek Durum – 50. Senaryo Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri.....	184
Tablo B 4: 2. Örnek Durum – 3. Senaryo Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri.....	185
Tablo B 5: 2. Örnek Durum – 16. Senaryo Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri.....	186
Tablo B 6: 2. Örnek Durum – 47. Senaryo Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri.....	187



## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>ta</b>	:	Taşıt
<b>sa</b>	:	Saat
<b>sn</b>	:	Saniye
<b>km</b>	:	Kilometre
<b>m</b>	:	Metre
<b>dk</b>	:	Dakika
<b>min</b>	:	Minimum
<b>maks</b>	:	Maksimum
<b>K. G. M.</b>	:	Karayolları Genel Müdürlüğü
<b>vb</b>	:	Ve benzeri
<b>A. T. S.</b>	:	Ağır Taşıt Sayısı
<b>N. T. S.</b>	:	Normal Taşıt Sayısı

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana her açıdan yardımcı olan, değerli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, tezin tüm aşamalarında manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım, değerli hocam Prof. Dr. Yetiş Şazi MURAT' a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez kapsamında yaptığımız arazi çalışmaları sırasında, arazide yaşadığım sıkıntı ve zorlukların ağır yükünü benimle birlikte paylaşan, yardımlarını hiçbir zaman unutamayacağım, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 2012-2013 eğitim-öğretim dönemi tasarım projesi öğrencilerine şükranlarımı sunuyorum.

Analiz aşamasında kullandığım, Sidra Intersection programının tasarımcısı Dr. Rahmi AKÇELİK' e ve Vissim trafik simülasyon programının tasarımcısı PTV Planung Transport Verkehr AG' ye ve bu programı temin etme aşamasında yardımlarını esirgemeyen İnş. Müh. Adem ASLAN' a da teşekkür ediyorum. Vissim simülasyon programı ile ilgili kendilerinden birçok şey öğrendiğim, İSBAK A.Ş. çalışanlarına da çok şey borçlu olduğumu burada belirtmem gerekir.

Ayrıca, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, yaşadığım en zor ve sıkıntılı anlarda dahi beni bir an olsun yalnız bırakmayan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan annem Vecihe ÇAKICI' ya, babam Rıza ÇAKICI' ya ve ablam Esmâ ÇAY' a sonsuz teşekkür ederim.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Genel

En basit tanımıyla ulaşım; insanların, hayvanların ve eşyaların yararlı olduğu varsayılan belirli bir amaç için bir yerden başka bir yere aktarılmasıdır. Dünya nüfusunun sürekli artış göstermesi ve buna bağlı olarak da tüm dünyada ulaşımı sağlayan motorlu ve motorsuz taşıt sayısındaki artış, insan hayatını önemli ölçüde kolaylaştırmasına rağmen, birçok problemi de beraberinde getirmiştir. Trafik kazalarında meydana gelen manevi ve maddi kayıplar, egzoz emisyonundan dolayı çevreye verilen zararlar, taşıtların sebep olduğu gürültü kirlilikleri vb. durumlar söz konusu problemlerden yalnızca birkaçıdır.

Karayollarında, motorlu taşıt sayısındaki artış ile birlikte görülen en büyük problemlerden birisi de trafik tıkanıklığı (sıkışıklığı) durumudur. Yıllardır, trafikte karşılaşılan problemler dünyanın birçok yerinden, birçok kişide büyük merak uyandırmış ve söz konusu problemlere çözüm sağlamak amacı ile birçok farklı çalışma yapılmıştır. Araştırmacılar, ulaşım ve ulaştırma biliminin genel çerçevesini bir köşeye bırakarak, ulaşım bilimi altında daha spesifik bir alan olan trafik yönetimi üzerine yoğunlaşmışlardır. Özellikle birden fazla karayolunun kesiştiği bölgelerde meydana gelen ve maddi, manevi kayıplara sebep olan trafik kazalarını azaltmak amacı ile karayolu kesişim bölgeleri için çeşitli trafik denetimi yöntemi önermişlerdir. Sinyalize kavşak uygulamaları, dönel kavşak uygulamaları ve sinyalize dönel kavşak uygulamaları önerilen trafik denetimi tekniklerinden bazılarıdır. Belirtilen trafik denetimi teknikleri, taşıtların kavşağı daha kısa sürede ve daha güvenli şekilde terk etmelerine olanak sağlamakta, ayrıca görülebilecek olası trafik tıkanıklığı durumunu da en aza indirgemektedir.

Dönel kavşaklar, kavşaktaki trafiği yönetmek için uygulanan, kavşak ortasında, kavşağı giriş yapan trafiği yönlendiren genellikle daire biçiminde bir adanın bulunduğu eş düzey kavşaklardır. Bu tip kavşaklarda herhangi bir

sinyalizasyon sistemi bulunmadığı için, kavşakta kaybedilen süreler oldukça azdır. Bunun yanı sıra, taşıtların birbirleri ile çakışma olasılığı bulunan yalnızca sekiz adet kesişim noktası mevcuttur. Bu verilere dayanarak, dönel kavşakların hem zamandan tasarruf etmek için, hem de kavşakta meydana gelebilecek olan trafik kazası olasılığını azaltmak için etkin ve tercih edilen bir seçenek olduğu söylenebilmektedir. Özellikle Avrupa ülkeleri başta olmak üzere, Amerika, Avustralya vb. birçok ülkede bu tip kavşaklara rastlamak mümkündür. Fakat unutulmamalıdır ki, dönel kavşakların tüm dünyada kabul görmüş belirli standartlar çerçevesinde tasarlanması gerekmektedir. Standartlara uygun olmayan tasarımlar, trafikte meydana gelen veya meydana gelebilecek olan problemlere çözüm olmak yerine, bu problemlerin çözümsüzlüğünü daha da arttırmaktadır.

Dünyada dönel kavşak uygulamaları farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak uygulamaları ve sinyalize dönel kavşak uygulamaları, dönel kavşaklarda sinyalizasyon sistemlerinin de aktif olarak kullanıldığı iki farklı kontrol yöntemidir.

Daha çok Avustralya' da uygulanan kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak uygulamasının amacı, dönel kavşaktaki ada etrafında sirküle olan akımda boşluklar yaratarak, düzensiz trafik akımlarının sebep olduğu aşırı kuyruklanma ve gecikmeleri önlemektir. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar, genellikle üç yaklaşım koluna sahip dönel kavşaklarda uygulanmaktadır. Bu kontrol yönteminde, saatlik taşıt hacminin en fazla olduğu kol detektörle kontrol edilirken, bu koldaki taşıtların kavşağa girişini engelleyen yaklaşım kolu sinyalizasyon sistemi ile kontrol edilmektedir. Detektör ile kontrol edilen yaklaşım kolundaki akım detektöre ulaştığında, sinyalizasyon sistemi ile kontrol edilen yaklaşım kolundaki sinyalizasyon sistemi bu yaklaşım kolundaki taşıtların kavşağa girişine izin vermemekte ve detektöre kadar uzanan akımın kavşağa girişi sağlanmaktadır. Böylece kavşaktaki olası tıkanmaların önüne geçilmektedir.

Son yıllarda, ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerin çoğunda, dönel kavşaklardaki yaklaşım kollarına ve ortada bulunan ada etrafına sinyalizasyon sistemleri yerleştirilmiş, böylece yeni sayılabilecek bir trafik denetimi yöntemi olan sinyalize dönel kavşak uygulaması ortaya çıkmıştır. Sinyalizasyonlu yapısı, trafik akımlarının geçiş düzeni ve geçiş sırası dikkate alındığında sinyalize kavşakları

andıran sinyalize dönel kavşaklar, genel olarak, sürücülerde trafik kültürünün tam olarak oluşmadığı veya temel trafik eğitiminin yetersiz olduğu ülkelerde karşımıza çıkmaktadır. Dönel kavşağa ilave olarak sinyalizasyon uygulaması yapılmasının öncelikli sebebi, dönel kavşaklarda ada etrafında sirküle olan akım ile yaklaşım kollarındaki akımların birbirleri ile olası çakışmalarını minimum düzeye indirmek ve kaza olasılığını ortadan kaldırmaktır. Yani, sinyalize dönel kavşak uygulaması ile kavşaktaki trafik güvenliğinin tam anlamıyla sağlanması amaçlanmaktadır.

Ülkemizde de sinyalize dönel kavşak sayısı azımsanmayacak düzeydedir. Mevcut dönel kavşakların geometrik standartlara uygun olmaması ve bu tip kavşaklarda meydana gelen kaza sayılarının fazlalığından dolayı mevcut dönel kavşakların birçoğuna sinyalizasyon sistemi yerleştirilmiş, sinyalizasyon sisteminin kaza olasılığını önemli oranda azaltacağı düşünülmüştür. Bununla beraber, geliştirilen sinyalize dönel kavşak sisteminde pek çok tasarım eksiklikleri ve hataları söz konusudur.

## **1.2 Amaç**

Sinyalize dönel kavşaklar ile modern dönel kavşaklar geometrik tasarım uygunluğu haricinde birbirlerinden büyük ölçüde bağımsızdırlar. Bu yüzden sinyalize dönel kavşakların tasarımı ile ilgili dikkat edilmesi gereken birkaç farklı nokta bulunmaktadır. Sinyalize dönel kavşakların taşıt depolama alanının yeterli olup olmaması, bu tip kavşaklarda uygulanan değişik faz planlarının kavşak performansı bakımından uygunluğu, sinyalizasyon sitemlerine ait sinyal sürelerinin kavşak performansı bakımından uygunluğu gibi konular tasarımcının aklına gelebilecek olan en temel sorulardır.

Sinyalize dönel kavşakların geometrik standartlara uygun olmaması, ada etrafında ve yaklaşım kollarında bulunan sinyalizasyon sitemlerinin sürelerine ait atamaların kavşaktaki trafik durumuna uygun olarak yapılmaması, sinyalizasyon sistemi için belirlenen faz planının trafiğin durumuna aykırı olması gibi durumlar bu tip kavşakların performansını önemli düzeyde azaltmaktadır. Bu yüzden, hem geometrik açıdan hem de sinyalizasyon sistemi açısından mantıklı bir tasarım,

kavşak performansının istenilen ve beklenen düzeyde olmasında etkin bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, sinyalize dönel kavşakların performansını etkileyen geometrik parametreleri, kavşaktaki trafik parametrelerini (sola dönüş oranları) ve bu tip kavşaklardaki sinyalizasyon uygulamasına ait kontrol parametrelerini (faz planları, sinyal süreleri vb.) göz önünde bulundurarak, bu parametrelerin kavşak performansını nasıl ve hangi yönde etkilediğini belirlemektir. Çalışma kapsamınca, hem Denizli' deki Pekdemir sinyalize dönel kavşağı incelenmiş, hem de Avustralya Sydney' den alınan geometrik standartlara uygun bir kavşak kullanılarak çeşitli senaryolar analiz edilmiştir. Sonuç olarak, belirtilen farklı parametrelerin sinyalize dönel kavşak performansına olan etkileri tartışılmıştır.

### **1.3 Kapsam**

Bu çalışma 6 bölümden oluşmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, sinyalize kavşak, dönel kavşak ve sinyalize dönel kavşak tasarımına dair esaslara değinilmiştir. Ayrıca Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak uygulamaları ve sinyalize dönel kavşak uygulamaları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Son olarak ise, söz konusu iki farklı tip kavşak uygulamasının farklılıklarından bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, dönel kavşaklar, kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar ve sinyalize dönel kavşaklar üzerine, çeşitli konular göz önünde bulundurularak yapılmış olan önceki çalışmalara yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde sinyalize dönel kavşak tasarım ilkeleri üzerinde durulmuş, sinyalize dönel kavşak uygulaması için alan gereklilikleri ve sinyalizasyon sistemi tasarımı konularına değinilmiştir. Fazlar, süreler, kavşak geometrisi, sürücü faktörleri, trafik hacmi ve sola dönüş oranının kavşak performansına olan etkileri açıklanmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünü Arazi çalışmaları ve analizler oluşturmaktadır. Bu bölümdeki analizlerde, Avustralya kökenli kavşak tasarım programı olan Sidra

Intersection paket programı ve Almanya' da geliştirilen Vissim mikrosimülasyon programı kullanılmıştır. İlk kısımda, Pekdemir kavşağı gecikme gözlemi çalışmaları, Pekdemir kavşağı Vissim modellemesi sonuçları ve bu sonuçlara ait karşılaştırmalar vb. verilirken, ikinci kısımda on iki farklı trafik hacmi senaryosu dikkate alınmış, bu senaryolar farklı tip kavşaklar üzerinde uygulanmıştır. Daha sonra farklı faz planı, sinyal süreleri ve faz sayısı uygulanarak yapılan farklı tip kavşak analizleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Üçüncü kısımda, hem iki fazlı hem de üç fazlı trafik denetim tekniği dikkate alınarak, sinyalize dönel kavşaklar için sinyal süresi optimizasyonu çalışması yapılmıştır. Dördüncü kısımda, farklı trafik hacimleri ve farklı sola dönen trafik hacimleri baz alınarak oluşturulan sinyalize dönel kavşak uygulamalarına ait Vissim simülasyon programı ortalama taşıt gecikmesi sonuçları, hem tablo olarak hem de grafiksel olarak sunulmuştur.

Altıncı bölümde ise, çalışmanın tamamında elde edilen sonuçlar değerlendirilerek özetlenmiş, ileriye yönelik yapılacak olan çalışmalara ilişkin çeşitli öneriler sunulmuştur.

## 2. KAVŞAKLAR

Kavşaklar, iki veya daha fazla yönden gelen trafik akımlarının kesiştiği, ayrıldığı ve birleştiği ortak alanlardır. Karayolunda farklı yönlerde hareket etmek isteyen taşıt trafiği faktörü de dikkate alındığında, bu alanlarda trafik kazası görülme olasılığının yüksek olduğu sonucuna kolayca ulaşılabilmektedir. Bu yüzden, kavşaklarda karşılaşılabilecek maddi ve manevi olumsuzlukları minimum düzeye indirmek için, kavşak planının en doğru şekilde ve standartlara en uygun şekilde yapılması tasarımcı açısından kaçınılmaz hale gelmektedir. Kavşak tasarımı aşamasında, güvenlik, konfor ve kavşak kapasitesi faktörleri kesinlikle göz önünde bulundurulmalıdır. Kısacası kavşaklar, çevre koşullarına en fazla uyumu gösterecek, kaza ihtimali, taşıt gecikmeleri ve tesis-bakım masrafları minimum olacak ve maksimum kapasiteyi sağlayacak şekilde projelendirilmelidir.

Kavşak yaklaşım kollarında herhangi bir engel bulunması veya yaklaşım kollarındaki görüş açısının yetersiz olması, kavşak kapasitesinin ve kavşak güvenliğinin olumsuz yönde etkilendiği durumlara örnek olarak gösterilebilir. Kavşak tasarımında, tasarım ile alakalı olan bu tür olumsuzlukların yaşanmaması için dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Bu hususları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Sürücüyü şaşırtacak karışık düzenlemelere gidilmemelidir.
- Trafik akımlarının kesişme akımları mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır.
- Yaklaşma akımlarında güvenliğe dikkat edilmelidir.
- Kavşaktan geçen ana trafik akımı akım yönünden en az sapan akım olmalıdır.
- Homojen olmayan akımlar ayrılmalıdır.
- Kesişme noktalarında sollama ve geçme hareketlerini olanaksızlaştıracak fiziki çözümler aranmalıdır.
- Kavşaktan geçiş hızları fiziki yapı ile kontrol edilmelidir.
- Her yönden gelen taşıtların durumu incelenmelidir.
- Kazaya sebebiyet vermeyecek şekilde düzenlemeler yapılmalıdır.



- Tüm olarak alternatif çözümler değerlendirilmelidir (Umar ve Yayla 1992).

Kavşakları birçok özellikleri bakımından farklı sınıflara ayırmak mümkündür. Fakat kavşak yaklaşım kollarının kesiştikleri düzlemlerin durumlarına göre iki ana grupta sınıflandırılmaktadırlar:

1. Eşdüzey kavşaklar (Hemzemin kavşaklar)
2. Farklı düzeyli kavşaklar

Farklı düzeyli kavşaklar, trafik hacminin ve trafik tıkanıklığı görülme olasılığının çok fazla olduğu kesişme alanlarında uygulanmaktadırlar. Farklı düzeyli kavşak tasarımı için, genel olarak, geniş bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür kavşakların tasarım maliyetleri oldukça yüksek olmasına rağmen, kavşakta meydana gelebilecek olan trafik tıkanıklığı, taşıt çakışması ve trafik kazası olasılığı oldukça düşüktür. Diamond (elmas tipi) kavşaklar, trompet kavşaklar ve tam yonca kavşaklar farklı düzeyli kavşaklara örnek olarak gösterilebilir.

Eşdüzey kavşaklar ise trafik kazası, trafik tıkanıklığı, aşırı taşıt gecikmeleri gibi problemlerin farklı düzeyli kavşaklara kıyasla daha fazla görüldüğü kavşak tipleridir. Dolayısıyla günümüze kadar eşdüzey kavşaklar ile ilgili pek çok araştırma yapılmıştır ve bu çalışmalar halen devam etmektedir. Bu çalışma da eşdüzey kavşaklar ile alakalı olduğundan dolayı, bu kısımda özellikle eşdüzey kavşaklar daha detaylı olarak ele alınmıştır.

## **2.1 Eşdüzey Kavşaklar**

Trafik akımlarının aynı düzlemde kesiştiği kavşaklar eşdüzey (hemzemin) kavşaklar olarak adlandırılmaktadır. Bu tür kavşaklar daha çok, düşük trafik hacmine sahip kentiçi ve kentdışı yollarda uygulanmaktadır. Eşdüzey kavşakların tasarımında da öncelikli olarak güvenlik, konfor ve kapasite faktörleri ön planda tutulmalıdır. Hemzemin kavşakların tasarımında dikkate alınması gereken diğer hususlar ise şunlardır:

- Ekonomi

- Topografya
- Kavşağa giren/çıkan tüm araçların görünebilmesi
- Estetik ve çevre uyumu
- En az manevra ile kavşağı terk edebilme (Tunç 2003)

Eşdüzey kavşakları kendi içerisinde de şu şekilde sınıflandırmak mümkündür:

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

Denetimsiz eşdüzey kavşak uygulamaları genel olarak, trafik hacimlerinin çok çok az olduğu karayolu kesişme alanlarında uygulanmaktadır. Bu tip kavşaklarda taşıt hareketleri, ya trafik levhaları veya trafik işaretleri ile yönetilmekte, ya da tamamıyla sürücülerin inisiyatifine bırakılmaktadır. Denetimsiz eşdüzey kavşaklarda, özellikle trafik yoğunluğunun arttığı durumlarda, trafik kazası vb. birçok problemle karşılaşmaktadır. Çalışmanın ana konusunu sinyalize dönel kavşaklar oluşturduğu için, çalışma kapsamında denetimsiz eşdüzey kavşak tasarımından ayrıntılı olarak bahsedilmemiş, diğer eşdüzey kavşak türleri detaylı olarak incelenmiştir.

### **2.1.1 Denetimli (Sinyalize) Eşdüzey Kavşak Tasarımı**

Sinyalizasyon sistemleri, kavşaklarda düzenli ve güvenli bir akım sağlamak için kullanılan kontrol gereçleridir. Sinyalizasyon uygulamasının amacı, trafik akımlarının ve yayaların, en güvenli ve optimum kapasite ile kavşağı kullanmalarını sağlamaktır. Bununla birlikte, sinyalizasyon uygulamasının olumsuz tarafları da bulunmaktadır. Bu olumsuzluklardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Sinyalizasyon sistemlerinin yatırım masrafı
- Sinyalizasyon sistemlerinin işletme, bakım ve onarım masrafları
- Özellikle yoğun trafik akımının bulunduğu anayolda seyreden araçların gereksiz yere durdurulup bekletilmeleri sonucu oluşan enerji, zaman ve amortisman kaybı

- Seyahat konforunun azalması
- Çevre kirliliğinin artması (Murat 2007)

Sinyalize kavşak tasarımı ile amaçlanan; kavşaklardaki trafik akımlarının hareketlerini düzenli bir şekilde kontrol etmek, kavşakta meydana gelecek olan kaza sayısını minimum düzeye indirmek, kavşak tıkanıklığı vb. sorunları ortadan kaldırmak ve savunmasız yol kullanıcılarının (yayaların ve bisikletlilerin) seyahatlerine daha güvenli bir şekilde devam etmelerine imkan sağlamaktır. Fakat unutulmamalıdır ki, gelişigüzel ve gerekli kriterlere uyulmadan yapılan tasarımlar, hem kavşakta kaybedilen sürenin hem de olası kaza sayısının artmasına sebep olmaktadır.

Şüphesiz ki, sinyalizasyon uygulaması tüm kavşaklar için uygun bir çözüm değildir. Kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacminin çok az olduğu durumlarda (trafiğin işaretler ve levhalar ile yönetilebileceği durumlarda) bu uygulama, hem ekonomik açıdan hem de çevre açısından zararlı olabilmektedir. Bu yüzden, kavşakta sinyalizasyon uygulanıp uygulanmamasına karar vermek için, öncelikli olarak kavşaktaki saatlik trafik hacminin tespit edilmesi gerekmektedir. Saatlik trafik hacminin yanı sıra, kavşak geometrisi, arazi yapısı, yaya bilgileri, kaza bilgileri gibi faktörler de bu kararı etkileyen önemli unsurlardır.

Sinyalizasyon sistemleri, kontrol ettikleri kavşakların durumuna göre izole ve koordine sistemler olarak ikiye ayrılmaktadırlar. İzole sinyalizasyon sistemleri etrafındaki diğer sinyalize tesisler tarafından etkilenmeyen sinyalizasyon sistemleridir. Koordine sinyalizasyon sistemler ise, birbirine yakın sinyalize kavşakları bulunan bir karayolu ağında, gecikmeleri azaltmak ve sık duruş-kalkışları engellemek amacı ile söz konusu kavşaklardaki sinyalizasyon sistemlerinin birbirleri ile bağlantılı olarak işletildiği sistemlerdir.

Sinyalize kavşaklar için en önemli konulardan birisi de sinyal süresi hesabıdır. Sinyalize kavşakta sinyal süreleri, kavşağın geometrik yapısı, yaklaşım kollarının eğimi, yaklaşım kollarındaki trafik hacmi ve yaklaşım kollarında sağa-sola dönüş hareketi yapan trafik hacimleri ile doğrudan alakalıdır. Bu faktörler dikkate alınmaksızın yapılan sinyal süresi hesapları, kavşak yaklaşım kollarındaki taşıtların daha uzun süre beklemelerine dolayısıyla daha fazla gecikmelerine sebep olmaktadır.

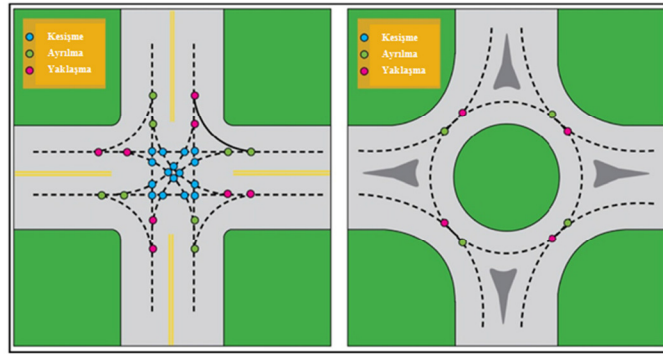
Ayrıca, bu gibi durumlarda kavşakta trafik tıkanması problemi de ortaya çıkmaktadır.

Sinyalize kavşaklarda sinyal süreleri, çeşitli yöntemler ile hesaplanabilmektedir. İngiliz (Webster) yöntemi, Avustralya (Akçelik) yöntemi ve Amerikan (HCM) yöntemi sinyalize kavşaklarda sinyal süresi hesabında kullanılan yöntemlerdir.

### 2.1.2 Dönel Kavşak Tasarımı

Yıllardır, tüm dünyada, trafik mühendisliği problemlerinin çözümü olarak kullanılan öncelikli kontrol sistemlerinden biriside dönel kavşaklardır. Dönel kavşaklar; genellikle dairesel bir ada etrafında, trafiğin saat yönünün tersine (eğer trafik sağdan akıyorsa) veya saat yönünde (eğer trafik soldan akıyorsa) hareket ettiği yönlendirilmiş kavşaklardır (Janssens 1994).

Dönel kavşakların trafik güvenliği ve kapasite bakımından da birçok avantajı bulunmaktadır. Dört yaklaşım koluna sahip (tüm yaklaşım kolları bir giriş, bir çıkış şeridinden oluşan) bir kavşak için, kavşağın denetimsiz olması durumunda çakışma noktası sayısı otuz iki iken, kavşağın dönel kavşak olarak tasarlanması durumunda çakışma noktası sayısı yalnızca sekizdir. Bu durum dönel kavşakların trafik güvenliği açısından oldukça etkin bir kavşak tipi olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Şekil 2.1’ de denetimsiz eşdüzey kavşaklardaki ve dönel kavşaklardaki çakışma noktaları gösterilmektedir (Gross ve diğ. 2013).



**Şekil 2.1:** Denetimsiz Eşdüzey Kavşaklarda ve Dönel Kavşaklarda Çakışma Noktaları

Şekil 2.2' de Carmel-Amerika' daki modern bir dönel kavşak gösterilmektedir (Padgett 2008).



**Şekil 2.2:** Carmel-Amerika' daki Modern Bir Dönel Kavşak

Şekil 2.2' den de görüldüğü üzere, 1 ve 3 numaralı kısımda, taşıtların kavşağa giriş için beklemeleri gereken yerler kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Belirtilen kısımlarda yaklaşım kollarındaki taşıtlar, sirküle olan akımların hareketleri öncelikli olduğu için, bu akımlara öncelik vermek zorundadırlar. Bu yüzden, yaklaşım kollarındaki taşıtlar, herhangi bir trafik güvenliği problemine sebep olmamak adına, yaklaşım kollarında kesikli çizgi ile belirtilen bölgelerde hızlarını düşürmek ve hatta gerekirse durmak zorundadırlar.

Modern dönel kavşakta sirküle olan akımlar aynı yönlü hareket (saat yönünde veya saat yönünün tersinde) ettikleri için, bu tür kavşaklarda yaralanmalı ve ölümlü kazaların en çok görüldüğü kafa kafaya çarpışma türü kazaların görülme olasılığı neredeyse hiç bulunmamaktadır. Bu durum, birçok karayolu kesişme bölgesinde, modern dönel kavşakların tercih edilme sebebidir.

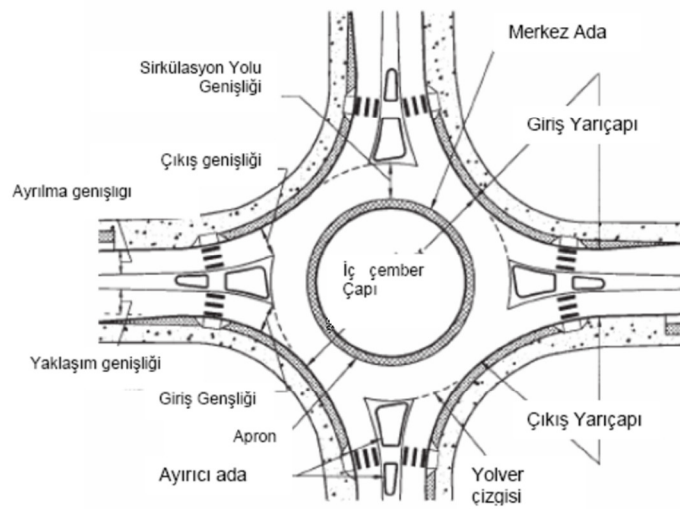
Modern dönel kavşaklarda taşıt trafiğini yönlendirmek için herhangi bir sinyalizasyon sistemi bulunmamaktadır. Bu, dönel kavşaktaki taşıt sürücülerinin, diğer taşıtların hareketlerini ve kavşaktaki yayaların hareketlerini daha dikkatli bir

şekilde analiz edebilmesine yardımcı olmaktadır. Kısacası sürücülerin dikkati, herhangi bir dış unsur (sinyalizasyon sistemi) tarafından engellenmemektedir.

Modern dönel kavşaklar, trafik akımlarını düzenlemelerinin yanı sıra, geometrik olarak doğru bir şekilde tasarlanmaları durumunda, kavşağı kullanan sürücülerin çok iyi görüş açısına sahip olduğu kavşak türleridir. Ayrıca, ortadaki yönlendirici adanın, Şekil 2.2' de de görüldüğü gibi, sürücülerin görüş açısını engellemeyecek şekilde, zengin ve muhteşem bir görünüşe kavuşturulması da mümkündür.

Dönel kavşaktan istenilen ve beklenen performansın sağlanması için, kavşağın geometrik elemanlarının standartlara uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. Standartlara uygun olarak yapılan tasarım, kavşak performansını arttırdığı gibi, kavşakta meydana gelecek trafik kazası olasılığını da büyük oranda azaltmaktadır. Bu yüzden, modern dönel kavşakların projelendirilme aşamaları oldukça önemlidir ve bu aşamada proje tip aracı ve hızı, görüş uzunluğu, sapma derecesi, orta ada çapı, dönüş şeridi genişliği, giriş ve çıkış şeritleri, ayırıcı ada, kaplama işaretleri, işaretleme ve aydınlatma, çevre düzenlemesi gibi hususlar kesinlikle göz önünde bulundurulmalıdır (Tanyel 2001).

Modern dönel kavşakların geometrik elemanları Şekil 2.3' te detaylı olarak gösterilmektedir.



**Şekil 2.3:** Modern Dönel Kavşakların Geometrik Elemanları

Dönel kavşakların geometrik elemanlarına ait özellikler kavşak kapasitesi üzerinde de etkin bir rol oynamaktadır. Kavşak kapasitesini etkileyen bu geometrik özellikler;

- Giriş genişliği
- Giriş şeridi sayısı
- Yaklaşım genişliği
- Giriş uzunluğu
- Girişte genişlemenin keskinlik derecesi
- Dönüş yarıçapı
- Kavşaktaki kesişme açısı
- Giriş kolundaki ayırıcı ada genişliği
- Kavşak çapı
- Örülme alanının genişliği
- Dönüş alanının genişliği
- Dönüş şeridi sayısı
- Çıkış genişliği
- Örülme alanının uzunluğu
- Giriş ve çıkış noktaları arasındaki uzaklık, şeklinde sıralanabilmektedir (Tanyel 2001).

Modern dönel kavşaklar buldukları çevre, şerit sayısı ve boyutlarına göre altı ana grupta incelenmektedir:

1. Mini modern dönel kavşaklar
2. Şehiriçi kompakt modern dönel kavşaklar
3. Şehiriçi tek şeritli modern dönel kavşaklar
4. Şehiriçi çift şeritli modern dönel kavşaklar
5. Kırsal tek şeritli modern dönel kavşaklar
6. Kırsal çift şeritli modern dönel kavşaklar (KGM 2009).

Modern dönel kavşakların temel özelliklerine ait karşılaştırma Tablo 2.1' de verilmektedir.

**Tablo 2.1:** Modern Dönel Kavşakların Temel Özellikleri Karşılaştırması

Tasarım Elemanı	Mini Dönel Kavşak	Şehiriçi Kompak	Şehiriçi Tek Şeritli	Şehiriçi Çift Şeritli	Kırsal Tek Şeritli	Kırsal Çift Şeritli
Tavsiye edilen maksimum tasarım giriş hızı (km/sa)	25	25	35	40	40	50
Yaklaşım başına maksimum giriş şeridi sayısı	1	1	1	2	1	2
Tipik iç çember çapı (m)	13 - 25	25 - 30	30 - 40	45 - 55	35 - 40	55 - 60
4-kollu modern dönel kavşaklardaki günlük hizmet hacimleri (taşıt/gün)	10000	15000	20000	Trafik talebine göre değişir.	20000	Trafik talebine göre değişir.

### 2.1.3 Sinyalize Dönel Kavşak Tasarımı

Sinyalize dönel kavşaklar, sinyalize kavşakların ve dönel kavşakların kombinasyonu ile ortaya çıkmış olan eşdüzey kavşak türlerinden birisidir. Günümüzde sinyalize dönel kavşakların iki farklı uygulaması söz konusudur. Birinci tip uygulama, özellikle Avustralya’ da uygulanan kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak uygulamasıdır. İkinci tip uygulama ise, Türkiye’ de ve gelişmekte olan birçok ülkede sayıları sürekli artış gösteren tam denetimli sinyalize dönel kavşak uygulamasıdır. Çalışma kapsamınca, tam denetimli sinyalize dönel kavşaklar ve bu tür kavşaklara ait tasarım esasları incelendiği için, bu kısımda, kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklardan yüzeysel olarak bahsedilmiş, tam denetimli sinyalize dönel kavşaklar ise ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

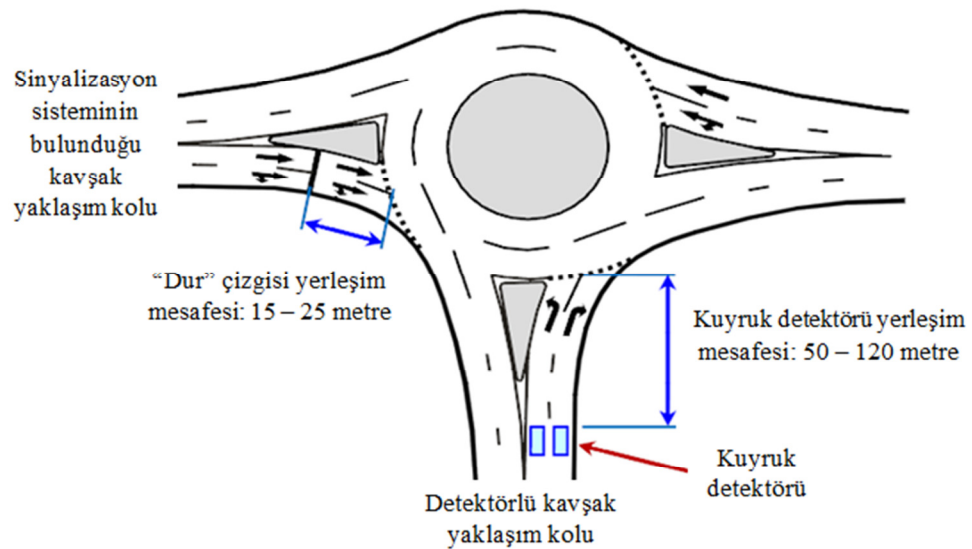
#### 2.1.3.1 Kısmi Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklar

Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak uygulamasının amacı, dönel kavşakta, sirküle olan akımda boşluklar oluşturarak, düzensiz akımların neden olduğu aşırı kuyruklanma ve gecikmeleri önlemektir. Kısmi denetimli sinyalize kavşak yönetimi genellikle, üç veya dört yaklaşım kolundan meydana gelen dönel kavşaklarda uygulanmaktadır. Bu tip uygulamada, ana akımın bulunduğu kavşak yaklaşım kolu detektör ile kontrol edilirken, trafik hacminin ana akıma göre daha az olduğu ve ana akımın kavşağa girişini engelleyen kavşak yaklaşım kolu ise sinyalizasyon sistemi ile kontrol edilmektedir. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklarda, ana akımın



bulunduğu yaklaşım kolunda, detektör kavşağa girişten 50-120 metre önceki noktaya yerleştirilmektedir. Sinyalizasyon sistemi ile kontrol edilen yaklaşım kolunda ise, kavşağa girişten 15-25 metre önceki noktaya “dur” çizgisi yerleştirilmektedir.

Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklarda, ana akımdaki taşıt kuyruklanması detektöre ulaştığı anda, sinyalize olan kavşak yaklaşım kolunda bulunan taşıtlar için kırmızı ışık yanmakta ve bu taşıtların kavşağa girişi engellenmektedir. Böylece detektörlü yaklaşım kolundaki taşıtların dönel kavşağa girişleri sağlanarak, bu yaklaşım kolundaki taşıtların kavşağı daha kısa sürede terk etmelerine ve kavşakta daha az süre kaybetmelerine imkan sağlanmaktadır. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak uygulaması ile detektörle kontrol edilen (ana akımın bulunduğu) kavşak yaklaşım kolundaki ortalama taşıt gecikmeleri önemli oranda azaltılmakta ve bu durum kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin ciddi oranda azalmasını sağlamaktadır. Ortalama taşıt gecikmesinin azalması ile birlikte kavşak performansında da önemli bir artış görülmektedir. Şekil 2.4’ te kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak planı örneği gösterilmektedir (Akçelik 2006).



Şekil 2.4: Kısmi Denetimli Sinyalize Dönel Kavşak Planı

### 2.1.3.2 Tam Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklar

Tam denetimli sinyalize dönel kavşaklar, dönel kavşakta, hem kavşak yaklaşım kollarında hem de merkez ada etrafındaki bazı noktalarda sinyalizasyon

sistemlerinin bulunduğu ve trafik akımlarının kavşaktan geçiş önceliğinin bu sinyalizasyon sistemleri ile belirlendiği eşdüzey kavşaklardır. Sinyalize kavşakların ve dönel kavşakların kombinasyonu sonucu ortaya çıkan tam denetimli sinyalize dönel kavşaklar, genellikle, trafik kültürünün sürücüler üzerinde tam olarak yerleşmediği veya sürücülere yeterince trafik eğitiminin verilmediği ülkelerde karşımıza çıkmaktadırlar.

Ülkemizde de hem şehiriçi hem de şehirlerarası yol ağlarında sayıları günden güne büyük bir hızla artan tam denetimli sinyalize dönel kavşakların tasarımlarının öncelikli amacı, kavşakta sirküle olan trafik akımları ile kavşağa giriş yapacak olan trafik akımlarının kesişmelerini önlemek ve böylece kavşakta meydana gelecek olası kaza riskini minimum düzeye indirmektir. Şekil 2.5’ te tam denetimli sinyalize dönel kavşak uygulamasının Denizli-Türkiye’ deki bir örneği (Anadolu Lisesi kavşağı) görülmektedir.

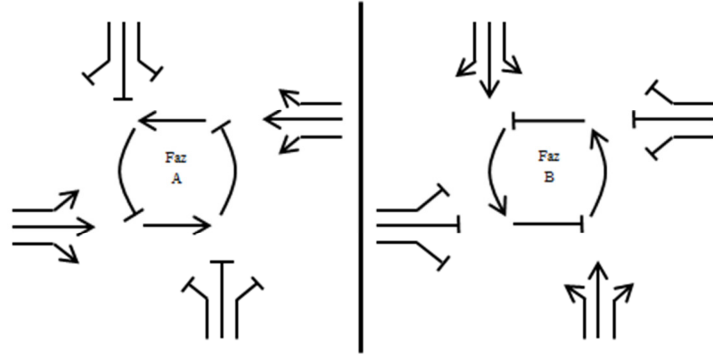


**Şekil 2.5:** Anadolu Lisesi Kavşağı – Denizli

Bugün ülkemizde, her ne kadar sayıları artmış olsa da, birçok trafik mühendisinin ve ulaşım bilimcisinin aklında tam denetimli sinyalize dönel kavşaklar ile alakalı pek çok soru bulunmaktadır. Bu tip kavşakların kavşak kapasitesini,

ortalama taşıt gecikmesini, çevreyi ve kavşak hizmet düzeyini nasıl ve ne derece etkilediği akıllarda kalan sorulardan yalnızca birkaçıdır.

Ülkemizde tam denetimli sinyalize dönel kavşaklardaki trafik yönetimi genellikle, iki, üç ya da dört fazlı olarak gerçekleştirilmektedir. İki fazlı denetimde, kavşağın karşılıklı yaklaşım kollarındaki taşıtlara aynı anda geçiş hakkı tanınmaktadır. Sola dönüş hareketlerinin her iki fazda da engellendiği bu yöntemde, taşıtların birbirleri ile kesişme olasılığı oldukça düşüktür. Sola dönüş hareketlerinin çok fazla olduğu durumlarda ise, dönel kavşaktaki depolama alanı yetersizliğinden dolayı iki fazlı denetim kavşağın yönetimi için uygun bir seçenek olmamaktadır. Böyle durumlarda kavşağın üç veya daha fazla fazlı yönetilmesi uygundur. Şekil 2.6’ da tam denetimli sinyalize dönel kavşaklarda uygulanan iki fazlı faz planı gösterilmektedir.



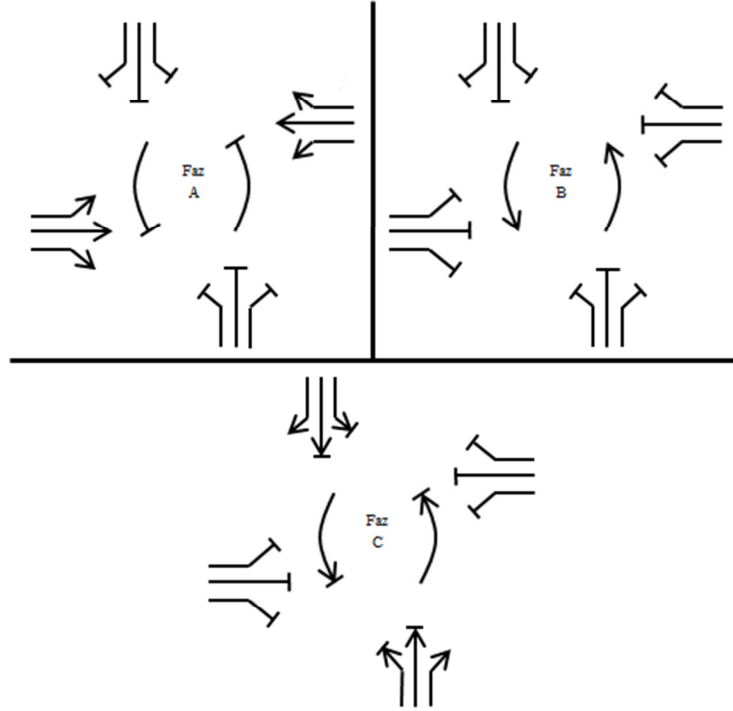
**Şekil 2.6:** Tam Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklarda Uygulanan İki Fazlı Faz Planı

Tam denetimli sinyalize dönel kavşaklarda üç fazlı trafik denetimi, genellikle, kavşak yaklaşım kollarındaki trafiğin dengeli olarak dağılmadığı durumlarda uygulanmaktadır. Üç fazlı denetimde, trafik hacminin yüksek olduğu yaklaşım kollarındaki taşıtlara aynı fazda geçiş hakkı verilmekte ve bu yaklaşım kollarındaki sola dönen taşıtların herhangi bir kazaya sebep olma olasılığını ortadan kaldırmak için, bu fazda sola dönen taşıtlar merkezi ada etrafında depolanmaktadır. Bununla birlikte, trafik hacmi fazla olmayan karşılıklı yaklaşım kollarındaki taşıtlara da aynı fazda geçiş hakkı verilmektedir. Fakat söz konusu yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin fazla olmadığı dikkate alındığında, bu yaklaşım kollarında sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların birbirleri ile kesişme olasılıklarının da oldukça düşük olduğu sonucuna kolayca ulaşılabilmektedir. Bu yüzden bu faz için, sola dönen

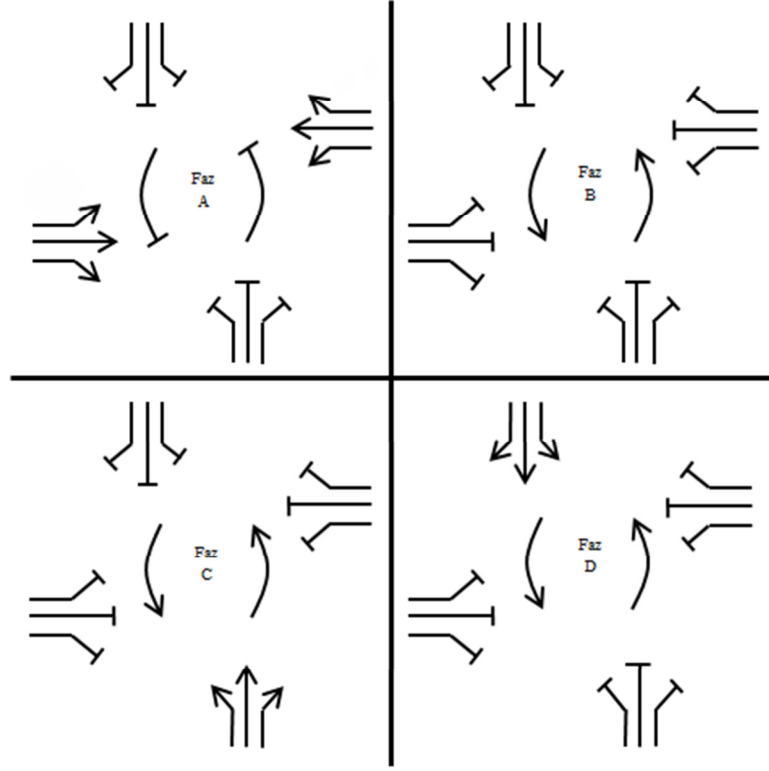
taşıtların depolanması söz konusu değildir. Kısacası sola dönecek olan taşıtların diğer taşıtlar ile çakışmaması sürücünün dikkatine ve trafik bilgisine bağlıdır.

Tüm yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin yüksek olduğu durumlarda veya yaklaşım kollarında sola dönüş hareketi yapacak olan taşıt sayısının fazla olduğu durumlarda ise, tam denetimli sinyalize dönel kavşaklarda, dört fazlı trafik denetimi tekniği uygulanmaktadır. Sola dönüş hareketlerinin, trafik kazası olasılığını arttıran önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. Dört fazlı denetim tekniği ile karşılıklı yaklaşım kollarındaki taşıtların birbirleri ile kesişme olasılığı ortadan kaldırılmakta ve böylece kavşakta meydana gelecek olan trafik kazası olasılığı minimum düzeye düşürülmektedir.

Şekil 2.7’ de tam denetimli sinyalize dönel kavşaklarda uygulanan üç fazlı faz planı, Şekil 2.8’ de ise tam denetimli sinyalize dönel kavşaklarda uygulanan dört fazlı faz planı ayrıntılı olarak gösterilmektedir.



**Şekil 2.7:** Tam Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklarda Uygulanan Üç Fazlı Faz Planı



**Şekil 2.8:** Tam Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklarda Uygulanan Dört Fazlı Faz Planı

Tam denetimli sinyalize dönel kavşakların tasarımı ve işletilmesi aşamasında tasarımcının bazı faktörleri kesinlikle göz önünde bulundurması gerekmektedir. Kavşağın geometrik özellikleri, kavşağın geometrik elemanlarının standartlara uygun olup olmadığı, kavşak yaklaşım kollarındaki saatlik trafik hacimleri, kavşak yaklaşım kollarındaki saatlik sola dönüş hareketi yapan trafik hacimleri, sola dönüşlerde depolama yapılacaksa depolama alanının yeterli olup olmadığı, fazlara ait sinyal sürelerinin yeterli ve etkin olup olmadığı tasarımcı tarafından göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörlerdir.

Tam denetimli sinyalize dönel kavşaklarda, uygulanacak olan faz planı ve fazlara ait sinyal sürelerinin atanması da kavşak performansını etkileyen önemli bir konudur. Tasarımcı bu aşamada, hem kavşaktaki trafik verilerine (yaklaşım kollarındaki saatlik trafik hacmi, yaklaşım kollarındaki saatlik sola dönüş hareketi yapan trafik hacmi vb.), hem de kavşak geometrik özelliklerine (depolama alanının yeterli olup olmadığı vb.) tam anlamıyla hakim olmalıdır. Unutulmamalıdır ki gelişigüzel ve düzensizce yapılan süre atamaları taşıtların kavşakta daha fazla süre kaybetmesine sebep olmakta, bu durum kavşak performansını, kavşaktaki ortalama

taşıt gecikmesi açısından ve kavşak kapasitesi açısından olumsuz yönde etkilemektedir.

Tam denetimli sinyalize dönel kavşakların tasarımı ve işletilmesi aşamasındaki en önemli konulardan birisi de, kavşaktaki sinyalizasyon sistemlerinin sinyal sürelerinin atamasıdır. Bu tür kavşaklar için, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesini minimize edecek şekilde optimum sinyal süresi ataması yapan veya sinyalizasyon sistemi için tanımlanmış devre süresini, kavşak yaklaşım kollarında bulunan sinyalizasyon sistemlerinde ve merkez ada etrafında bulunan sinyalizasyon sistemlerinde trafiğin yoğunluğuna göre dağıtan herhangi bir yazılım (program vb.) bulunmamaktadır. Bu yüzden, tam denetimli sinyalize dönel kavşaklarda, sinyalizasyon sisteminin sinyal süresi atamaları genel olarak, tasarımcının bilgi ve deneyimi çerçevesinde yapılmaktadır. Fakat unutulmamalıdır ki, kavşakta yapılacak olan trafik gözlemleri de (yaklaşım kollarındaki saatlik trafik hacimlerinin belirlenmesi, yaklaşım kollarında sola dönüş hareketi yapacak olan saatlik trafik hacimlerinin belirlenmesi vb.) kavşağın çok daha iyi bir performansla işletilmesini sağlayacak sinyal süresi atamasında, önemli bir yere sahiptir.

### 3. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Dönel kavşak, Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak ve Sinyalize dönel kavşak uygulamaları kavşaktaki trafiği yönetmek için uygulanan etkin trafik yönetimi uygulamalarından bazılarıdır. Yıllardır, Dönel kavşaklar üzerine, çeşitli konularda, birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar ve Sinyalize dönel kavşaklar ile ilgili olan çalışma sayısı oldukça azdır. Bu durumun nedeni, birçok ülkede, dönel kavşak uygulamalarının, kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak ve Sinyalize dönel kavşak uygulamalarına nazaran çok daha fazla tercih edilmesidir.

Fakat özellikle son 20 yıldır, ülkemiz gibi, trafik kültürünün sürücüler üzerinde tam anlamıyla yer edinmediği ülkelerde, kavşakta meydana gelebilecek kaza olasılığını azaltmak için, sinyalize dönel kavşak uygulamaları büyük oranda artış göstermiştir. Bu artışla birlikte, farklı özelliklere sahip sinyalize dönel kavşağın, kavşak performansını ne derece ve hangi yönde etkilediği trafik yönetimi alanında çalışan araştırmacılarda büyük merak uyandırmaktadır.

(Akçelik 2005) ve (Akçelik 2006), yapmış olduğu çalışmalarda, Avustralya Merlbourne' de bulunan Mickleham RD - Broadmeadows RD dönel kavşağını ve Nepean Highway - McDonald St dönel kavşağını, kavşaktaki gerçek trafik hacimlerini ve kavşağın gerçek geometrik özelliklerini kullanarak, dönel kavşak ve kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak olarak analiz etmiştir. Analizler sonucunda, söz konusu kavşağın kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak olarak tasarlanması durumunda kavşak performansının, dönel kavşak olarak yapılan tasarımın kavşak performansına nazaran daha iyi olduğu sonucuna ulaşmıştır. Sonuçlar, her iki kavşakta da, Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak uygulaması ile kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin büyük oranda azaldığını göstermektedir. Aynı şekilde, çalışmalar detaylı olarak incelendiğinde, Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak uygulaması ile CO<sub>2</sub> emisyonu, İşletim maliyeti, Toplam duruş sayısının da önemli oranda azaldığı görülmüştür.

(Natalizio 2005), Kısmi denetimli sinyalizasyon dönel kavşak uygulamalarının gereklilik haline geldiği trafik hacimleri üzerinde çalışmıştır. Yaptığı çalışmada, detektörle kontrol edilen yaklaşım kolundaki saatlik trafik hacimlerini ve detektörle kontrol edilen yaklaşım kolunun önünde sirküle olan saatlik trafik hacimlerini dikkate almıştır. Çalışma sonucunda Kısmi denetimin gerekli olduğu ve olmadığı durumları (trafik hacimlerini) grafiksel olarak göstermiştir.

Dönel kavşakta sirkülasyon şeridi sayısının 2 den fazla olması durumunda taşıtların örülmesi ve kesişmesi büyük trafik güvenliği problemine sebep olmaktadır. (Yang ve diğ. 2004), modern dönel kavşaklar için, dönel kavşakta trafik ve güvenlik problemine sebep olan örülme bölgelerini ve karışıklık noktalarını elimine eden yeni bir sinyal kontrol metodu önermişlerdir. Çalışmada, sirkülasyon şeridindeki kuyruk uzunluğu göz önünde bulundurularak her bir trafik akımı için yeşil süre ve devre süresi hesabı sağlanmıştır. Dönel kavşağın performansını değerlendirmek için, önemli performans parametreleri olan kapasite ve gecikme de formüle edilmiştir. Bu yeni trafik kontrolü, Xiamen-Çin’ de bulunan bir dönel kavşaktaki ciddi trafik tıkanıklığı problemlerini çözmek için kullanılmış ve başarıya ulaşmıştır. Çalışma kapsamında yapılan önce ve sonra analizleri, kavşak işletiminde önemli düzeyde iyileşme olduğunu göstermiştir. Uygulanan yöntem ile her bir taşıtın ortalama gecikmesi yaklaşık 20 sn. azalmış, kapasite ise düz giden akımlar için %118 artarken, sola dönen akımlar için ise % 96 artarak, ortalama %72,1 artış göstermiştir.

Dönel kavşaklar ile ilgili önemli konulardan birisi de kavşak kapasitesi tahminidir. Lineer regresyon, HCM ve Avustralya metoduna dayalı boşluk kabulünden kapasite tahmini arasında birçok farklılık bulunmaktadır. (Akçelik 2003), Amerika’dan tek şeritli bir dönel kavşağı baz alarak söz konusu analitik modeller ile kapasite tahmini yapmıştır. Modeller ile elde edilen çelişkili sonuçlar üzerinde durmuş ve farklılıkların sebeplerini tartışmıştır. Çalışmada, İngiliz Lineer Regresyon Modelinin düşük sirküle olan akımlar için kapasiteyi daha az, yüksek sirküle olan akımlar için ise daha fazla tahmin etmesinin sebepleri açıklanmıştır.

Şüphesiz ki, kontrolsüz dönel kavşaklar ile trafiği yönetmek, yalnızca trafik akımlarının az olduğu durumlarda mümkündür. Dönel kavşaktaki trafik akımlarının artması ile birlikte, trafik tıkanıklıkları ve trafik kazaları gibi birçok problem



oluşmaktadır. Dönel kavşakta, farklı sinyal kontrol yöntemleri altında trafik verimliliği ve uygulanabilirliği arasında farklılıklar bulunmaktadır. Sinyal kontrol düzenlemesi, dönel kavşaktaki gecikme ve güvenliğin iyileştirilmesinde yardımcı unsur olmaktadır. (Bai ve diğ. 2010), nümerik hesaplama ve deneysel trafik mühendisliği metodlarını uygulayarak, merkez adanın yarıçapı ve farklı devre sürelerinin, dönel kavşakta, ortalama taşıt gecikmesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırma, dönel kavşakların tasarımı ve dönel kavşakların sinyal kontrolünün mod seçimi için teknik destek sağlamaktadır.

Bu güne kadar, dönel kavşakların çevreye olan etkileri üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda dönel kavşaklardaki trafiğin sebep olduğu çevre kirliliği ve zehirli gaz emisyonu incelenmiştir. (Coelho ve diğ. 2006), “Taşıt Spesifik Güç” emisyon tahmin yöntemini kullanarak, Lizbon-Portekiz ve Raleigh-Amerika’ da bulunan kavşaklardan elde ettikleri veriler ile, kent içi ağda tek şerit dönel kavşağın trafik ve emisyon etkilerini ölçmüşlerdir.

(Mandavilli ve diğ. 2008), sinyalize kavşakların, belli durumlarda taşın trafiğinin hızını azalttığını hatta bazı durumlarda trafiğin durmasına yol açtığını ve bu durumun taşıt emisyonunda önemli düzeyde artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, Amerika’ daki birkaç modern dönel kavşakta yaptıkları gözlemler sonucunda, dönel kavşakların trafik akımını iyileştirme etkisine sahip olduğunu, bunun yanı sıra kavşaktaki taşıtların boşa harcadığı zamanı azalttığını ve buna bağlı olarak kavşaktaki yakıt tüketimi ve taşıt emisyonunun da azaldığını açıklamışlardır. Çalışma kapsamında, sinyalize kavşağın kaldırılarak yerine modern dönel kavşağın yerleştirildiği altı farklı bölge dikkate alınmış ve bu bölgelerdeki trafik verileri kullanılmıştır. Sinyalize kavşaklar ve modern dönel kavşaklar CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HC emisyon parametreleri dikkate alınarak birbirleri ile istatistiksel olarak karşılaştırılmış, karşılaştırmaların sonucunda modern dönel kavşakların taşıt emisyonunu azaltmak için iyi bir alternatif kavşak olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan çalışma modern dönel kavşakların çevre dostu olduğunu da açıkça ortaya koymuştur.

Bilindiği üzere, dönel kavşaklar için çeşitli kontrol yöntemleri mevcuttur. Dönel kavşakta sinyalizasyon uygulaması, DUR kontrollü dönel kavşak uygulaması ve YOL-VER kontrollü dönel kavşak uygulaması bu kontrol yöntemlerinden

bazılarıdır. (Sisiopiku ve Oh 2001) yapmış oldukları çalışmada, dönel kavşaklarda uygulanan söz konusu kontrol yöntemlerini performans açısından birbirleri ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, yüksek düzeyde düz giden veya sola dönen trafik hacimlerinin mevcut olduğu kavşaklar için, dönel kavşağın en iyi alternatif tasarım olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca sola dönüş oranı fark etmeksizin, aynı trafik durumları için, dönel kavşak kapasitesinin sinyalize kavşak kapasitesinden daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda, dönel kavşakların sinyalize kavşaklara kıyasla daha etkin olduğu durumlar hakkında araştırmacılara öneriler sunmuşlardır.

Modern dönel kavşaklarda, düzensiz trafik akımlarını düzenli hale getirmek ve kapasiteyi arttırmak için uygulanan sinyalizasyonun ekonomik anlamda maliyetli bir çözüm olduğu ortadadır. Ayrıca sinyalize kavşaklar için uygulanan sinyal optimizasyon yöntemleri, ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin işletim karmaşıklığı, özel faz yapısı vb. sebeplerden dolayı dönel kavşaklarda doğrudan uygulanamamaktadır. (Maher 2008), karmaşık kombinasyonel optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilen cross-entropy metodunu kullanarak sinyalize dönel kavşaklarda sinyal süresi optimizasyonu için yeni bir yöntem geliştirmiştir. Bu çalışmada, süre setlerinin performansı bir deterministik makroskopik trafik akım modeli olan, hücre iletim modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmalar sonucunda, cross-entropy metodunun global optimizasyon problemlerini çözmek için yararlı (kullanılabilir) bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

(Ma ve diğ. 2013), sinyalize dönel kavşaklar için süre ve şerit işaretlemelerinin aynı anda belirlenebildiği bütünlük optimizasyon modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Araştırmacılar, dönel kavşak işletimini optimize etmek için, kapasite maksimizasyonunu, devre süresi uzunluğu minimizasyonunu ve gecikme minimizasyonunu formüle etmişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ve hassaslık analizi sonuçları, kapasite optimizasyonu için geliştirilen modelin etkin olduğunu göstermiştir.

Kavşaklar için en önemli hususlardan biriside kavşağın hizmet düzeyidir. Hizmet düzeyi yüksek olan kavşaklarda trafik akımları, hareketlerine daha rahat ve konforlu şekilde devam edebilecek, çok fazla gecikme olmayacağı için seyahat süreleri kısılacaktır. (Johnnie ve diğ. 2012), yaptıkları çalışmada, sinyalize dönel

kavşaklardaki ve dönel kavşaklardaki hizmet düzeyini belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada, kavşak performans parametresi olarak ortalama gecikme kullanılmıştır. Analizler sonucunda, dönel kavşaktaki trafik sinyallerinin kapatıldığı durumda kavşak tıkanması ve çakışmalarda önemli ölçüde azalma olduğu görülmüş, dönel kavşak uygulaması ile hizmet düzeyinin az da olsa arttırılabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma, sinyalize dönel kavşakların kavşak tıkanmasında ve taşıt çakışmasında önemli bir etkiye sahip olduğunu açıkça ortaya koymuştur.

Kavşak performansının ve kavşak hizmet düzeyinin belirlenebilmesi için kullanılan parametrelerin en önemlilerinden birisi de taşıt gecikmesidir. (Otković ve Dadic 2009), Osijek-Hırvatistan’ da bulunan Sinyal kontrollü kavşaktaki taşıt gecikmesini, yine Osijek-Hırvatistan’ da yer alan dönel kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi ile karşılaştırmışlardır. Çalışmalar sonucunda, sinyal kontrollü kavşaktaki seyahat süresinin ve ortalama gecikmelerin, dönel kavşaktaki seyahat süresinden ve ortalama gecikmelerden çok daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Trafik akımının kompozisyonu da, kavşak performansını etkileyen en önemli etkenlerden birisidir. Kavşağı kullanan ağır taşıt sayısı arttıkça, kavşak performansının önemli ölçüde azaldığı bilinmektedir. (Tanyel ve diğ. 2013), İzmir-Türkiye’ de 5 farklı dönel kavşaktaki farklı trafik durumlarını inceleyerek, minibüslerin ve farklı tip otobüslerin (Körüklü, körüksüz) dönel kavşak performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırmalar, daha detaylı bilgi edinmek için, ana yol ve yan yol ayrı ayrı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, ana akımdaki ortalama hızın düşük olması durumunda ağır taşıt etkisinin daha fazla görüldüğü belirtilmiştir.

(Tracz ve Chodur 2012), trafik hacminin yoğun olduğu kent içi arterlerde tasarlanan sinyalize dönel kavşakların faz planı tasarımlarının yanı sıra bu farklı faz planlarının avantajlarını ve dezavantajlarını incelemişlerdir. Bu çalışmada farklı faz planları göz önünde bulundurularak kavşak analizleri yapılmıştır. Ayrıca Karakow-Polonya’ daki bir sinyalize dönel kavşaktan elde edilen kaza istatistikleri de çalışma kapsamında sunulmuş ve sonuçlar tartışılmıştır. Çalışmada, sinyalize dönel kavşak ilk olarak 2 fazlı analiz edilmiş, fakat bu durumda kavşak depolama alanında aşırı yükleme olacağı tespit edilmiştir ve söz konusu problemin yalnızca çok fazlı sinyalizasyon uygulaması ile çözülebileceği belirtilmiştir.

Dönel kavşaklardaki karışıklık noktası sayısı, sinyalize kavşaklara kıyasla oldukça azdır. Bu durumda, dönel kavşaklarda meydana gelebilecek kaza olasılığının sinyalize kavşaklardan daha az olduğu bir gerçektir. Fakat görme engelli insanların yaşayabileceği erişim zorlukları dönel kavşaklarda (herhangi bir kontrol olmadığı için) çok daha fazladır. (Wall ve diğ. 2005), yaptıkları çalışmada, modern dönel kavşaklardaki erişilebilirlik konusunu ve erişim stratejilerini incelemişlerdir.

(Daniels ve Wets 2005), yapmış oldukları çalışmada, dönel kavşaklardaki güvenlik etkilerini incelemiştir. Araştırmacılar, dönel kavşaktaki bisikletliler için güvenlik etkileri üzerinde durmuşlar ve bu etkileri belirtmişlerdir.

Özellikle son yıllarda birçok ülkede, farklı tip kavşaklar dönel kavşağa dönüştürülmektedirler. Bu tasarımın kavşak performansını önemli düzeyde arttırdığı bilinmektedir fakat trafik kazası sayısında ne yönde bir değişiklik olduğu büyük merak konusudur. Bu yüzden bu dönüştürmenin kavşak güvenliğini ne denli etkileyeceği de tahmin edilmelidir. (Gross ve diğ. 2013), sinyalize kavşakların dönel kavşaklara çevrilmesi ile kavşak güvenliğinde meydana gelecek olan değişiklikler üzerinde çalışmışlardır. Çalışma kapsamınca, Amerika' da yakın geçmişte dönel kavşağa çevrilmiş olan 28 adet sinyalize kavşak tespit edilmiş ve bu kavşaklarda önce-sonra çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda, sinyalize kavşakları dönel kavşağa çevirmenin kavşak güvenliği açısından olumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır ve hem yaralanmalı kaza sayısında, hem de toplam kaza sayısında önemli oranda azalma olduğu belirtilmiştir.

(Brabender ve Vereeck 2007), 1994 ve 2000 yılları arasında Flanders-Belçika'da inşa edilen dönel kavşaklardaki güvenlik etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, dönel kavşağın kazaları büyük oranda azalttığını fakat bu durumun ana yoldaki ve diğer yollardaki hız sınırı ile bağlantılı olduğunu ortaya koymuşlardır. Sinyalizasyon uygulaması ile kazaların daha da azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Çalışma sonucunda, trafik güvenliği açısından bakıldığında, en güvenli kavşakların sinyalize dönel kavşaklar olduğu belirtilmiştir. Dönel kavşakların ise sinyal kontrolsüz kavşaklara nazaran daha etkili olduğundan bahsedilmiştir.

(Turner 2011), dönel kavşaklar ile ilgili genel bir çalışma yapmış, dönel kavşakların karakteristiklerini ve özelliklerini incelemiştir. Dönel kavşakların diğer

tür kavşaklara nazaran daha az gecikmelere, daha düşük işletim maliyetine ve daha az zararlı çevresel etkilere sebep olduğunu vurgulamıştır.

Sinyalize dönel kavşak tasarımı oldukça karmaşık bir süreçtir. Sinyalize dönel kavşağın sinyalizasyon sisteminin doğru ve etkin tasarımı tasarımın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Doğru ve etkili sinyalizasyon, kavşak işletimini önemli derecede iyileştirmektedir. Genel olarak, sinyalize dönel kavşak uygulamasında iki dönel kavşak birbirine çoğunlukla benzememektedir. Tasarım aşamasını daha kolay hale getirmek için birçok çalışma yapılmıştır. (Mc Donald 2009), sinyalize dönel kavşaklar üzerine hazırlanmış olduğu rehber notta, her yönüyle muhteşem bir sinyalize dönel kavşak tasarımı için gerekli olan süreci adım adım incelemiş ve tasarım sürecinde dikkate alınması gereken özel durumlardan bahsetmiştir. Yapılan bu çalışmada, dönel kavşağın yönetimi için kontrol yöntemi seçimi, tasarım değerlendirme yöntemleri, tasarım ilkeleri ve bir dönel kavşakta sinyalizasyon sistemi kullanımı için gerekli olan sebepler vb. konular üzerinde durulmuştur. Ayrıca sinyalize dönel kavşağın uygulama alanları da dikkate alınmış, bu tür kavşakların hangi bölgeler için uyumlu olup, hangi bölgeler için uyumlu olmadığı araştırılmıştır.

(Qian ve diğ. 2008), yapmış oldukları çalışmada, Çin’ de çok fazla sayıda bulunan sola dönüşlerde ada etrafında depolamanın yapıldığı Sinyalize dönel kavşaklar ile diğer ülkelerdeki Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakları karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmalar sonucunda, düzenli ve fazla trafik akımının bulunduğu kavşaklarda taşıt kesişmesi ve kavşak tıkanıklığı problemlerini ortadan kaldırmak için sinyalize dönel kavşak uygulamasının etkin bir çözüm olduğunu ortaya koymuşlardır. Trafik akımlarının düzenli ve az olduğu durumlarda modern dönel kavşakların etkin bir çözüm olduğunu, trafik akımlarının dalgalanmalı olduğu durumlarda ise daha az gecikmelerin yaşandığı Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların etkin bir çözüm olduğunu belirtmişlerdir.

(Hallworth 1992), yapmış olduğu çalışmada, belirli parametreleri göz önünde bulundurarak, sinyalize dönel kavşaklar ve modern dönel kavşaklar arasındaki farklılıkları tespit etmiştir. Söz konusu farklılıklar Tablo 3.1’ de detaylı olarak verilmektedir.

**Tablo 3.1:** Modern Dönel Kavşaklar ve Sinyalize Dönel Kavşaklar Arasındaki Farklılıklar

<b>Parametreler</b>	<b>Modern Dönel Kavşaklar</b>	<b>Sinyalize Dönel Kavşaklar</b>
<b>Gecikmeler</b>	Düzensiz trafik akımlarından veya diğer kavşaklar ile etkileşimlerden dolayı bazı yaklaşım kollarındaki gecikmeler aşırı olabilir.	Sinyaller, daha düzenli gecikmeleri sağlamada doğal önceliği değiştirmek için kullanılabilir ve gecikmeler UTC ağındaki genel koordinasyonu sağlayarak ta azaltılabilir.
<b>Kuyruklanmalar</b>	Belirli yaklaşım kollarındaki kuyruklar kritik uzunluğu aşabilmektedir.	Sinyaller kuyruk uzunluklarını gözlemleyebilir ve kritik kuyruklanmayı azaltmak amacı ile yeşil süre kararı verilebilir.
<b>Kapasite</b>	Genel dönel kavşak kapasitesi yetersizlik gösterebilir. ( trafik artışı vb. dolayı)	Sinyaller genel kapasiteyi artırabilir. (fakat bu tamamlayıcı-bütünleyici fiziksel gelişmeler isteyebilir)
<b>Güvenlik/Kontrol</b>	Örülme ve birleşme gereksinimi ve sirkülasyon yolundaki yüksek hızlar, yaklaşım kolu girişinde özellikle zorluk oluşturabilirler.	Sinyaller trafiği çok daha iyi düzenleyebilirler. Hızları ve birleşme ve örülme gereksinimlerini azaltabilirler.
<b>Yaya İmkânları</b>	Kontrol eksikliği yayaların bir koldan diğer kola geçişini zorlaştırabilirler.	Sinyaller yaya geçişlerini daha güvenli ve daha olumlu hale getirebilirler.

## 4. SİNYALİZE DÖNEL KAVŞAK TASARIM PROSEDÜRLERİ

Dönel kavşakların, dönel kavşak tasarım usullerine ve esaslarına uyulmaksızın tasarlandığı ülkelerde, sinyalizasyon sistemleri ile kombine edilmesi sıkça karşılaşılan bir durumdur. Ülkemizde ve gelişmekte olan birçok ülkede, sinyalize dönel kavşak olarak adlandırılan söz konusu trafik denetim tekniğinin uygulandığı kavşak sayısı günden güne artmasına rağmen, bugün hala, bu tür kavşakların tasarımı ve işletilmesi ile alakalı akıllarda birçok soru işareti bulunmaktadır. Sinyalize dönel kavşakların tasarımı aşamasında, tasarımcıların üzerinde büyük bir dikkat ve titizlikle çalışmalarını gerektiren konular temel olarak şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Sinyalize dönel kavşak merkez ada çapının Bölüm 2.1.2' de belirtilen standartlara uygun olarak tasarlanması.
- Sinyalize dönel kavşak geometrisinin (yaklaşım kollarındaki şeritlerin ve ayırıcı adaların, dönüş şeritlerinin, kavşağa giriş ve çıkış genişliklerinin) dönel kavşak standartlarına uygun olması.
- Sinyalize dönel kavşaklarda, merkez ada etrafındaki depolama alanının (sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların depolandığı) boyutlarının ve alan gerekliliklerinin belirlenmesi.
- Kavşağı kullanan taşıtların ve yayaların geçiş sırasının (önceliğinin) belirlendiği faz planının oluşturulması.
- Merkez ada etrafındaki ve kavşak yaklaşım kollarındaki sinyalizasyon sistemlerine ait sinyal sürelerinin atanması.
- Kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin devre süresinin optimum sonuçlar elde edilecek (min. taşıt gecikmesi, min. CO<sub>2</sub> emisyonu, min. taşıt kuyruklanması, min. seyahat süresi vb.) şekilde tespit edilmesi.
- Kavşak yaklaşım kollarındaki saatlik trafik hacimlerinin analiz edilmesi.
- Kavşak yaklaşım kollarındaki taşıt kompozisyonlarının ve söz konusu taşıtların hareket yönlerinin belirlenmesi.

- Sinyalize dönel kavşakların, kavşak performansını önemli ölçüde etkileyen, sola dönüş hareketi yapan taşıtların sayılarının ve cinslerinin (ağır taşıt, normal taşıt) tespit edilmesi.

Modern dönel kavşakların (sinyalize olmayan) tasarımları ve geometrisi ile alakalı konulara Bölüm 2.1.2’ de yer verildiği için, bu bölümde dönel kavşak tasarımı ve geometrisi ile ilgili konulardan bahsedilmemektedir. Bu bölümde, öncelikli olarak, sinyalize dönel kavşaklarda merkez ada etrafındaki taşıt depolama alanının alan gereklilikleri ve gereksinimleri (geometrik olarak) incelenmiş, daha sonra sinyalize dönel kavşaktaki sinyal sistemi tasarımı (fazlar, sinyal süreleri vb.) detaylı olarak ele alınmıştır. Son olarak ise, sinyalize dönel kavşakta, tasarım aşamasında dikkate alınması gereken diğer hususlar üzerinde durulmuştur.

#### **4.1 Depolama Alanı Gereklilikleri**

Sinyalize dönel kavşakların işletilmesi ile ilgili olarak, günlük hayatta en fazla karşılaşılan kavşak yönetim tekniklerinin, iki, üç ve/veya dört fazlı yönetim teknikleri olduğu kolaylıkla söylenebilmektedir. Söz konusu yönetim tekniklerinde, kavşak yaklaşım kollarından sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların hareketleri merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sistemi vasıtası ile kesilmektedir. Böylece herhangi bir kavşak yaklaşım kolunda sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların, söz konusu kavşak yaklaşım kolunun karşısında bulunan yaklaşım kolunda hareketlerine devam eden taşıtlar ile kesişme olasılığı ortadan kaldırılmakta ve kavşakta meydana gelebilecek kaza olasılığı minimum düzeye indirilmektedir. Sonraki aşamada ise, kavşaktaki geçiş sırası (geçiş hakkı), merkez ada etrafındaki depolama alanında bulunan taşıtlara geçmekte, bu taşıtların hareketlerini engelleyen (bu taşıtlar ile kesişen) diğer taşıtların hareketleri sinyalizasyon sistemi ile kesilmektedir. Bu uygulamaların amacı, kavşağı kullanan tüm taşıtların, kavşağı güvenli bir şekilde terk edebilmelerini sağlamaktır.

Trafiğin taşıt depolaması sistemi ile yönetildiği sinyalize dönel kavşaklarda, sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların depolandığı, dönel kavşaktaki sirkülasyon şeritlerini kapsayan depolama alanı belli özelliklere sahip olmalıdır. Bununla birlikte, depolama alanının boyutlarının uygun ve mantıklı bir şekilde belirlenmesi,



kavşaktaki trafiğin düzenli bir şekilde akışını sağlamak için gerekli olan en önemli unsurlardan birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Dönel kavşaklardaki depolama alanının uygun olup olmadığının tespit edilebilmesi için, öncelikli olarak kavşak yaklaşım kollarından sola dönüş hareketi yapacak olan saatlik taşıt hacimlerinin ve bu taşıtların hangi cins ve hangi oranlarda taşıtlardan meydana geldiğinin yaklaşık olarak bilinmesi gerekmektedir. Tasarım aşamasında, ağır taşıtların kapladığı alanının, normal taşıtlara kıyasla çok daha fazla olduğu unutulmamalı ve tasarımlarda sola dönüşlerdeki taşıt kompozisyonları kesinlikle göz önünde bulundurulmalıdır.

Özellikle ülkemizdeki sinyalize dönel kavşaklarda da çok fazla görülen depolama alanının yetersiz olması durumunun temel nedeni, kavşaktaki merkez adaların çaplarının, Bölüm 2.1.2’ de belirtilen dönel kavşakların tasarım esaslarına uygun olmamasıdır. Şekil 4.1’ de kavşaktaki depolama alanının yetersiz olduğu bir örnek kavşak gösterilmektedir.



**Şekil 4.1:** Depolama Alanı Yetersizliği Görülen Sinyalize Dönel Kavşak

Şekil 4.1’ den de görüldüğü üzere, sinyalize dönel kavşaklarda depolama alanının yetersiz olması durumunda sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtlar, aynı yaklaşım kolunda bulunan ve düz gidecek olan taşıtların hareketlerini önemli ölçüde

kısıtlamakta ve bununla birlikte kavşak yaklaşım kolunun en solundaki şeridin kavşaktaki taşıt trafiğine hizmet etmesini engellemektedirler. Bu durum, trafik kazası olasılığını arttırdığı gibi, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin artmasında da büyük bir rol oynamaktadır.

Sinyalize dönel kavşaklarda trafik yönetiminde genellikle taşıt depolaması sistemi ile karşılaşıldığı için, bu tür kavşaklarda depolama alanının, dönel kavşak geometrik standartlarına uygun ve kavşak trafiğini olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde tasarlanması kaçınılmaz hale gelmektedir. Ayrıca, sola dönecek taşıt hacimleri ve kompozisyonları dikkate alınmaksızın bilgisizce ve özensizce yapılan tasarımlar, trafiğinin düzenli akışını bozmasının yanı sıra kavşak performansını da olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden, sinyalize dönel kavşakların tasarımı aşamasında yukarıda belirtilen faktörlerin kesinlikle göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

## **4.2 Sinyal Sistemi Tasarımı**

Sinyalize dönel kavşaklarda trafiğin yönetimi, genel olarak Bölüm 2.1.3.2' de ayrıntılı olarak gösterilen iki, üç ve/veya dört fazlı trafik denetim tekniği ile sağlanmaktadır. Kavşak yaklaşım kollarında sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların, kavşaktaki merkez ada etrafında depolanması sistemine dayanan bu denetim tekniklerinde en önemli konu, depolama alanında bulunan sinyalizasyon sistemine ait sinyal sürelerinin belirlenmesidir. Gelişigüzel ve kavşaktaki mevcut trafik koşulları dikkate alınmaksızın özensizce yapılan süre atamaları, hem kavşak yaklaşım kollarında hem de merkez ada etrafında bulunan taşıtların kavşakta uzun süre beklemelerine (çok fazla zaman kaybetmelerine) sebep olabilmektedir. Bu durum, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesini arttırdığı gibi, kavşak kapasitesinin azalmasına ve bir süre sonra kavşaktaki trafiğin tıkanmasına yol açmaktadır. Bu yüzden hem yaklaşım kollarında hem de kavşaktaki merkez ada etrafında bulunan sinyalizasyon sistemlerinin sinyal sürelerinin doğru ve uygun bir şekilde atanması kavşak performansı açısından oldukça büyük bir önem teşkil etmektedir.

Sidra Intersection, Transyt vb. paket programlar ile sinyalize dönel kavşak performans analizi ve sinyal süreleri tayini yapılamamaktadır. Vissim ve Aimsun

trafik simülasyon programları ile ise sinyalize dönel kavşaklar için performans analizi yapılabilmesine rağmen, sinyalizasyon sisteminin sinyal süresi atamaları ve optimum devre süresinin belirlenebilmesi mümkün değildir.

Mevcut paket programlar ile sinyalize dönel kavşaklarda sinyal süreleri tayini ve sinyal süresi optimizasyonu yapılamadığı için bu bölümde, sinyalize dönel kavşaklarda merkez ada etrafında bulunan sinyalizasyon sisteminin sinyal süresi hesabına değinilecektir. Sinyalize dönel kavşaklar için (taşıt depolama alanının yeterli olduğu) geliştirilen sinyal süresi hesabı aşamaları şu şekilde verilmektedir:

1. Öncelikli olarak sinyalize dönel kavşak, kavşak yaklaşım kollarındaki sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtlar (depolama yapılacak olan taşıtlar) dikkate alınmaksızın, geleneksel yöntemler ile (Webster, Akçelik vb.) sinyalize kavşak gibi analiz edilmektedir.
2. Yapılan analizler sonucunda elde edilen kavşak yaklaşım kollarındaki sinyalizasyon sistemlerinin sinyal süreleri ve kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin devre süresi tespit edilmektedir.
3. Eldeki trafik verileri ışığında (genellikle pik saatteki bir saatlik veriler), bir saatlik süre (3600 sn), kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin devre süresine bölünmektedir. Böylece bir saatte yaklaşık kaç devre olduğu hesaplanmaktadır.
4. Analizlerde ihmal edilen, kavşak yaklaşım kollarında sola dönüş hareketi yapacak olan trafik hacimlerinden büyük olanı seçilmektedir (güvenli tarafta kalınır) ve seçilen taşıt sayısı bir saatteki devre sayısına (üçüncü aşamada elde edilen) bölünmektedir. Bu işlemin sonucunda, bir devrede yaklaşım kolundan sola dönecek olan taşıt sayısı yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir.
5. Bu aşamada öncelikli olarak depolama alanını oluşturan şerit sayısı tespit edilmektedir. Daha sonra, dördüncü aşamada tespit edilen, bir devrede sola dönüş hareketi yapacak olan yaklaşık taşıt sayısı depolama alanını oluşturan şerit sayısına bölünerek, depolama alanındaki taşıt sıra sayısı bulunmaktadır.
6. Altıncı aşamada ise sirkülasyon şeritlerinde depolanan taşıtların kavşağı terk etme süreleri hesaplanmaktadır. Depolama alanındaki sinyalizasyon

sisteminin ön kısmında bulunan taşıtların başlangıç hareket kayıpları 2.5-3.0 sn olarak alınmakta ve depolama alanında birbiri ardına dizilen taşıtların kavşağı terk etme süreleri 2.0-2.5 sn olarak göz önünde bulundurulmaktadır. Bu bilgilerden yola çıkarak, merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresi (sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların kavşağı terketme için gerekli süre) eşitlik 4.1 ile kolayca hesaplanabilmektedir.

$$\phi = \alpha + [(n - 1) \times \lambda] + \varepsilon \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1' de;  $\phi$ , Merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresini –  $\alpha$ , Sinyalizasyon sisteminin ön kısmında bulunan taşıtların başlangıç hareket kayıplarını –  $n$ , Depolama alanındaki taşıt sırası sayısını –  $\lambda$ , Taşıtların kavşağı terk etme süresini belirtmektedir.  $\varepsilon$  ise, 2.0-3.0 sn arasında bir değer alınmalıdır.

Sinyalize dönel kavşakta, merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresinin eşitlik 4.1 ile hesaplanmasının ardından, söz konusu kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin devre süresi de kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Bütün bunlardan anlaşılacağı üzere, sinyalize dönel kavşaklarda, hem yaklaşım kollarındaki hem de ada etrafındaki sinyalizasyon sistemlerinin sinyal süresi ataması kavşak performansını önemli ölçüde etkileyen önemli bir unsurdur. Gelişigüzel ve özensizce yapılan süre atamaları kavşağı her anlamıyla olumsuz yönde etkilemektedir.

### **4.3 Diğer Faktörler**

Sürücü faktörleri, kavşak yaklaşım kollarındaki taşıt kompozisyonları, kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri, yaklaşım kollarından sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların sayısı ve cinsi de sinyalize dönel kavşakların tasarımı aşamasında dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. Bu bölümde, söz konusu faktörler detaylı olarak incelenmiş ve her biri ayrı ayrı açıklanmıştır.

### **4.3.1 Sürücü Faktörleri**

Sürücü karakteristikleri ile alakalı parametreler, trafikte modellenmesi en zor faktörlerin başında gelmektedir. Sürücülerin şerit kullanımı alışkanlıkları, sürücülerin öndeki taşıtı takip mesafelerinin düzenliliği, sürücülerin yaşı, sürücülerin algılama düzeyleri, sürücülerin refleksleri, sürücülerin bulunduğu kent ölçeğine göre davranış şekilleri, sürücülerin eğitim düzeyi, sürücülerin trafik bilgisi ve trafik kültürü düzeyi kavşaktaki trafiğin akışını oldukça etkilemektedir. Bu yüzden kavşak tasarımı öncesinde, trafikteki mevcut durumlarla ilgili (sürücüler bazında) birçok gözlem vb. çalışmalar yapılmalı ve kavşak, söz konusu çalışmalar ışığında tasarlanmalıdır.

### **4.3.2 Kavşak Yaklaşım Kollarındaki Taşıt Kompozisyonları**

Kavşak yaklaşım kollarında bulunan taşıt cinslerinin tespit edilmesi ve bu farklı cins taşıtların, yüzdelerinin veya sayısal değerlerinin belirlenmesi uygun bir tasarım için öncelikli şartlardan birisidir. Şüphesiz ki, sinyalize dönel kavşakta depolama alanının boyutlarından, sinyalizasyon sisteminin sinyal sürelerinin tayinine kadar her şey, yaklaşım kollarındaki taşıtların cinsleri ile doğrudan alakalıdır. Ağır taşıtların seyir hızlarının, normal taşıtların seyir hızlarına kıyasla daha düşük olması kavşaktaki normal taşıtların gecikme süresini arttırdığı gibi, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca yaklaşım kollarında sağa ve/veya sola dönüş hareketi yapacak olan ağır taşıtlar, aynı yaklaşım kolunda bulunan diğer taşıtların hızlarını kesmekte ve hatta bazı durumlarda söz konusu taşıtların hareketlerini tam anlamı ile engellemektedir. Bu durumda da kavşak performansının olumsuz yönde etkilendiği sonucuna ulaşılabilmektedir. Bu yüzden, kavşak tasarımı aşamasında tasarımcının, yaklaşım kollarındaki ağır taşıt miktarlarını kesinlikle göz önünde bulundurması gerekmektedir.

### **4.3.3 Kavşak Yaklaşım Kollarındaki Trafik Hacimleri**

Kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri, sinyalize dönel kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin sinyal sürelerinin atamasında en önemli unsurlardan birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri dikkate

alınmaksızın yapılan sinyal süresi atamaları, taşıtların kavşakta uzun süre beklemelerine sebep olmakta (taşıtların kavşakta çok fazla zaman kaybetmesine sebep olmakta) ve bu durum kavşağın işletim performansını da olumsuz yönde etkilemektedir. Dolayısıyla, sinyalizasyon kavşaklarının tasarımı aşamasında özellikle sinyalizasyon sistemi sinyal süresi atamalarında, yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri kavşağın iyi bir performansla işletilmesi açısından kilit bir rol üstlenmektedir.

#### **4.3.4 Kavşak Yaklaşım Kollarından Sola Dönüş Hareketi Yapacak Olan Taşıtların Sayısı ve Cinsi**

Taşıtların depolama sistemi ile yönetilen sinyalizasyon dönel kavşaklarda, yaklaşım kollarında sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların sayısı ve cinsi kavşaktaki trafik akımını etkileyen önemli bir parametredir. Sola dönecek taşıtların hacminin fazla olması durumunda, hem merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri hem de taşıtların depolama alanının yapıldığı, sirkülasyon şeritlerini kapsayan depolama alanının boyutları kavşak işletim performansında etkin bir rol oynamaktadır. Sola dönecek olan ağır taşıtların sayısının çok fazla olması durumunda da depolama alanı yeterli uzunlukta ve genişlikte tasarlanmalıdır. Aksi halde söz konusu taşıtlar, yaklaşım kollarında hareketlerine düz devam edecek olan taşıtların seyirlerine engel olmakta ve bu durumda kavşaktaki ortalama taşıtların gecikmeleri önemli miktarda artmaktadır. Tasarımcı, uygun bir tasarım için, kavşak yaklaşım kollarındaki hem sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların sayısını hem de bu taşıtların cinsini iyi analiz etmek zorundadır.

## **5. ARAZİ ÇALIŞMALARI VE ANALİZLER**

### **5.1 Denizli Örnek Kavşak (Pekdemir Kavşağı) Analizi**

#### **5.1.1 Gecikme**

Gecikme, kavşağa yaklaşan taşıtların, diğer taşıtlar, kavşağın geometrik özellikleri, trafik işaretleri, sinyalizasyon sistemleri vb. nedenlerden dolayı kavşakta kaybettiği zaman olarak tanımlanmaktadır. Gecikme, sinyalize kavşakların performansının ve hizmet düzeyinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir performans parametresidir.

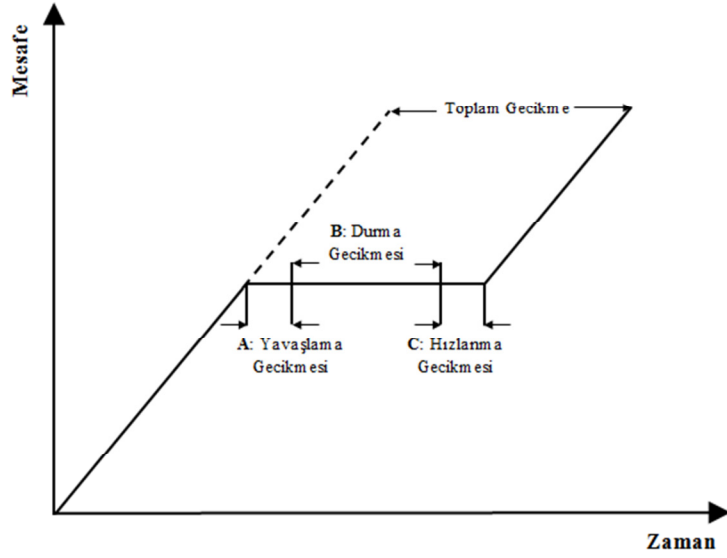
Gecikme önemli bir performans parametresi olduğu için, gecikme ölçümleri arazide oldukça dikkatli ve hassas yapılmalıdır. Bu yüzden ölçümler genellikle fazla zaman almaktadır. Yıllardır, taşıt gecikmesinin tam olarak tahmin edilebilmesi amacı ile çeşitli gecikme hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Webster, Akçelik ve Transportation Research Board (Highway Capacity Manual) yöntemleri gecikme hesabında kullanılan en yaygın yöntemlerdir.

Gecikme gözlemi çalışmaları çok uzun zaman almasının yanı sıra yorucu ve zorlu bir süreçtir. Bu süreçte, kavşağın gecikme açısından tam anlamıyla değerlendirilebilmesi için, mümkün olduğunca gerçeğe (arazideki duruma) yakın değerler elde etmek gerekmektedir. Kavşaktaki gecikme gözlemleri, hem video kamera hem de gözlemciler yardımı ile yapılabilmektedir. Bu çalışma sırasında, genel olarak, kavşağın her bir yaklaşım kolu için en az 1 adet video kameraya veya en az 2 adet gözlemciye gerek duyulmaktadır. Gözlemler genellikle, kavşaktan geçen trafik hacminin çok yüksek olduğu (pik saat) zaman periyodunda yapılmaktadır. Gecikme gözlemi çalışmalarında, kavşağı kullanan her bir taşıt ayrı ayrı gözlemlenmekte ve gözlemlenen taşıtların her biri için gecikme değerleri elde edilmektedir.

Sinyalize bir kavşakta, yanlış veya eksik yapılan gecikme ölçümleri, yaklaşım kollarındaki yeşil sinyal sürelerinin doğru ve etkin bir şekilde atanamamasına neden olduğu gibi, uygun olmayan kavşak tasarımı sorununu da beraberinde getirmektedir. Ölçümlerin hassasiyetle ve dikkatle yapılması, doğru kavşak tasarımının öncelikli şartıdır (Ban ve diğ. 2009). Gecikme ölçümleri video kameralar yardımı ile hassas bir şekilde yapılabilir. Ölçümlerde video kameraların yerine gözlemcilerin kullanıldığı durumlarda, taşıt kayıtları ile ilgili problemlerin görülme olasılığı oldukça yüksektir. Ölçümler hassas olduğu için, böyle durumlarda gözlemler yeniden yapılmalıdır. Bu durum hem daha fazla işgücüne hem de daha fazla zaman kaybına sebep olmaktadır. Bu yüzden, zaman ve işgücü kaybını minimize etmek için gecikme gözlemlerinde video kamera kullanılması önerilmektedir.

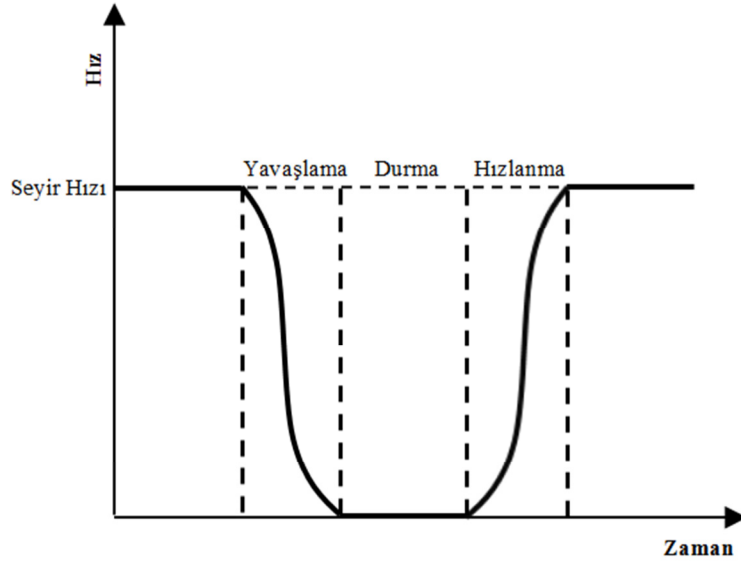
Sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmeleri; yavaşlama, durma ve hızlanma gecikmeleri olmak üzere üç parçadan oluşmaktadır (Dion ve diğ. 2004). Yavaşlama gecikmesi, kavşağa yaklaşan taşıt sürücüsünün yaklaşım kolundaki sinyalizasyon sisteminden dolayı hızını yavaşlatmaya başladığı andan itibaren, sinyalizasyon sistemi nedeniyle (kırmızı ışıktan dolayı) durmaya (beklemeye) başladığı ana kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Durma gecikmesi, taşıtın sinyalize kavşakta kırmızı veya yeşil ışık süresince durmasından dolayı kaybettiği zaman olarak tanımlanırken, hızlanma gecikmesi ise, sinyalizasyon sistemi kırmızıdan yeşile döndükten sonra taşıtın tekrar hızlanması için gerekli süre olarak belirtilmektedir. Şekil 5.1' de sinyalize kavşak yaklaşım kolu yakınındaki bir taşıtın yörünge diyagramı gösterilmektedir. Yavaşlama gecikmesi (A), durma gecikmesi (B) ve hızlanma gecikmesi (C) ve toplam gecikme de Şekil 5.1' de görülebilmektedir.





**Şekil 5.1:** Sinyalize Kavşak Yaklaşım Kolundaki Bir Taşıtın Yörünge Diyagramı

Sinyalize bir kavşakta, hız - zaman arasındaki ilişki ise Şekil 5.2' de gösterildiği gibidir.



**Şekil 5.2:** Sinyalize Kavşakta Hız – Zaman Arasındaki İlişki

Sinyalize kavşaklarda gecikmenin tahmini oldukça zordur. Bu yüzden yıllardır birçok ulaştırma bilimcisi bu konu üzerinde çalışmalar yapmaktadır.

(Akçelik 1988), 1985 HCM Gecikme formülünü incelemiş ve bu formülün kalibrasyonunu yaparak formül üzerinde gelişmeler sağlamıştır. (Akgüngör 2004) yapmış olduğu çalışmada, farklı analiz süresi periyodlarını göz önünde bulundurarak, zamana bağlı yeni bir gecikme hesabı metodu üzerine yoğunlaşmıştır. (Murat 2006),

yapay sinir ağırları ve bulanık mantık optimizasyon tekniğini kullanarak, taşıt gecikmeleri üzerine çalışma yapmış ve bu çalışmanın sonucunda söz konusu teknikler ile elde ettiği gecikmeleri birbirleri ile karşılaştırmıştır. (Su ve diğ. 2009), Çin’deki sinyalizasyon kavşaklarındaki ağır taşıtların oranını ve pozisyonunu göz önünde bulundurarak, bu durumun taşıt gecikmeleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. (Murat ve diğ. 2014), yapmış oldukları çalışma ile, bazı değişkenlere (Kavşağa ortalama giriş süresi, Kırmızı sinyal süresi, Kuyrukta bulunan taşıt sayısı, Kavşak terk etme aralığı ortalaması) bağlı yeni bir gecikme formülü ortaya koymuş, çalışma sonucunda, formül ile elde ettikleri gecikme sonuçlarını arazi gözlemleri ve Akçelik gecikme formülü ile elde edilen gecikmeler ile karşılaştırmışlardır.

### **5.1.2 Arazide Gecikme Çalışmaları**

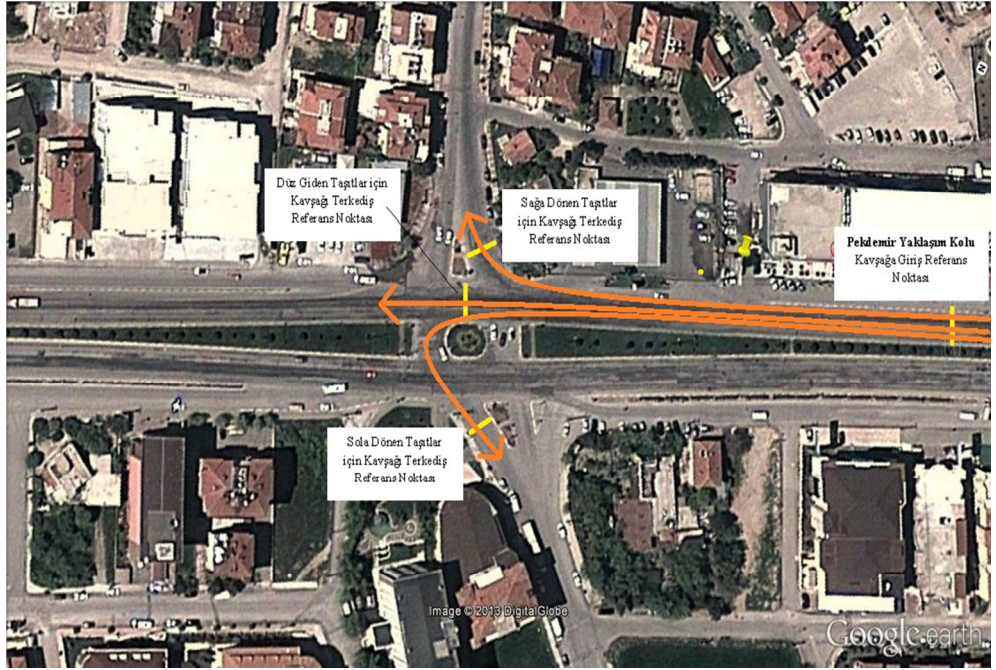
Gecikme çalışmaları arazide şu şekilde yapılmaktadır;

Daha önce de belirtildiği gibi, arazide gecikme gözlemleri yapılırken, kavşaktaki her bir yaklaşım kolu için, en az bir video kamera ya da iki adet gözlemciye ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılacak olan gecikme gözlemlerinde, eğer gözlemciler kullanılacaksa, gözlemciler kavşağa giriş referans noktası ve kavşağı terkediş referans noktaları arasında yerleştirilmelidir. Böylelikle gözlemcilerin eksiksiz ve doğru analiz yapmaları sağlanmış olacaktır. Kayıtlar için video kamera kullanılacak ise video kameranın da, hem kavşağa giriş referans noktasını hem de kavşaktan çıkış referans noktalarını görmesi gerekmektedir. Güvenilir ve doğru bir gecikme analizi ancak belirtilen şartların sağlanması ile gerçekleştirilebilmektedir.

Gecikme analizi çalışmalarında öncelikli olarak, kavşaktaki tüm yaklaşım kolları için referans noktaları belirlenmelidir. Referans noktaları, taşıtların kavşağa yaklaşırken hızlarını azaltmaya başladığı noktalar ve kavşağı terkederken sabit seyir hızına ulaştıkları noktalar seçilmelidir. Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da çalışma kapsamında incelenen Pekdemir Kavşağı’na ait yaklaşım kolları için referans noktaları gösterilmektedir. Yaklaşım kollarındaki kavşağa giriş referans noktaları, yaklaşım kolundaki sinyalizasyon sisteminden yaklaşık 100 metre önceki nokta seçilmiştir.



**Şekil 5.3:** Muğla Yaklaşım Koluna Ait Referans Noktaları



**Şekil 5.4:** Pekdemir Yaklaşım Koluna Ait Referans Noktaları



Şekil 5.5: HTA Yaklaşım Koluna Ait Referans Noktaları



Şekil 5.6: Tali Yaklaşım Koluna Ait Referans Noktaları

Sinyalize bir kavşaktaki taşıt gecikmeleri eşitlik (5.1) yardımıyla hesaplanmaktadır;

$t_{giriş}$ : Taşıtın, kavşağa giriş referans noktasından geçtiği süre (sn.)

$t_{çıkış}$ : Taşıtın, kavşağı terkediş referans noktasından geçtiği süre (sn.)

$$\text{Taşıt Gecikmesi} = t_{çıkış} - t_{giriş} \quad (5.1)$$

Taşıt gecikmesi hesabı için örnek durumlar, Tablo 5.1' de verilmektedir.

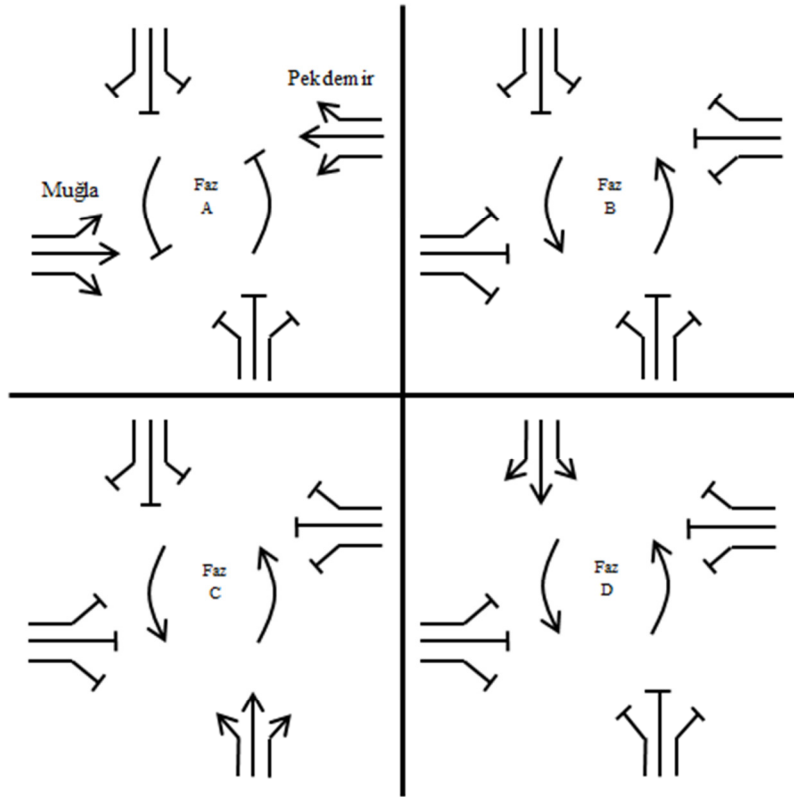
**Tablo 5.1:** Gecikme Hesabı için Örnek Durumlar

$t_{giriş}$ (sn.)	$t_{çıkış}$ (sn.)	Taşıt Gecikmesi (sn.)
2	62	60
21	64	43
27	67	40
28	70	42
32	73	41
40	77	37
46	87	41

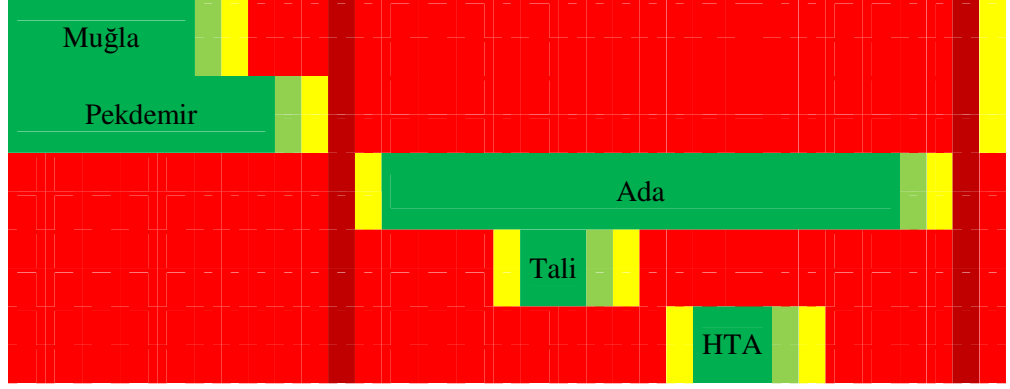
Denizli' de bulunan Pekdemir Kavşağı, şehir içi trafiğin yanı sıra, şehirlerarası trafiğe de hizmet eden, özellikle pik saatlerde kavşağı kullanan taşıt sayısının 4000 ta/sa' i bulduğu, ortasında elips şeklinde yönlendirici ada bulunan ve sinyalizasyon sistemi ile yönetilen kontrollü bir kavşaktır. Doğu ve batı yaklaşım kolları (Ana akımın mevcut olduğu Muğla ve Pekdemir yaklaşım kolları) 3.5' er metre genişliğinde 3 adet kavşağa giriş şeridi, 3 adet te kavşaktan çıkış şeridinden oluşurken, kuzey (HTA) ve güney (Tali) yaklaşım kolları ise aynı şekilde 3.5' er metre genişliğinde 2 adet kavşağa giriş şeridi ve 2 adet te kavşaktan çıkış şeridinden oluşmaktadır. Ayrıca, güney (Tali) yaklaşım kolunda kavşağa girişte, sağa dönüşler için, tek şeritli bir yol bulunmaktadır. Ada etrafındaki taşıt depolamaları, aynı şekilde, yaklaşık 3.5' er metre genişliğindeki 3 şerit ile sağlanmaktadır. Şekil 5.7 de, Pekdemir Kavşağına ait görüntü bulunmaktadır. Kavşağa ait faz planı Şekil 5.8' de, devre diyagramı ise şekil 5.9' da gösterilmektedir.



Şekil 5.7: Pekdemir Kavşağı – Denizli



Şekil 5.8: Pekdemir Kavşağı Faz Planı



**Şekil 5.9:** Pekdemir Kavşağı Devre Diyagramı

Pekdemir kavşağı yaklaşım kollarına ve ada içerisinde bulunan sinyalizasyon sistemlerine ait sinyal süreleri de Tablo 5.2’ de verilmektedir.

**Tablo 5.2:** Pekdemir Kavşağı - Sinyalizasyon Sistemi Sinyal Süreleri

	Yeşil Süre (sn.)	Fasılalı Yeşil Süre (sn.)	Sarı Süre (sn.)	Kırmızı Süre (sn.)	Ortak Kırmızı Süre (4+4) = 8 sn.	Devre Süresi 140 sn.
<b>Muğla</b>	35	5	2+2 = 4	96		
<b>Pekdemir</b>	45	5	2+2 = 4	86		
<b>Ada</b>	69	5	2+2 = 4	62		
<b>Tali</b>	18	5	2+2 = 4	113		
<b>HTA</b>	15	5	2+2 = 4	116		

Bu çalışmanın amacı, Pekdemir kavşağı’nda, farklı pik saatler için, her bir yaklaşım kolundaki düz giden, sağa dönen ve sola dönen saatlik trafik hacimlerini tespit etmenin yanı sıra, farklı durumlar için kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerini elde etmektir. Gecikme gözlemleri hafta içi ve hafta sonu birer gün (toplamda iki gün) süre ile yapılmıştır. Gözlemler, belirtilen günlerde, sabah – öğle – akşam pik saatlerde ve her yaklaşım kolu için, hem yaklaşım kolunu hem de merkez adayı net bir şekilde görebilen bir adet video-kamera ile gerçekleştirilmiştir. Gözlem saatleri hafta içinde 08:00 – 09:00, 12:00 – 13:00, 17:00 – 18:00 olarak belirlenirken, hafta sonunda ise 08:30 – 09:30, 12:30 – 13:30 ve 17:30 – 18:30 olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamınca, belirtilen gün ve saatlerde video-kamera ile kaydedilen gözlemler ofis ortamında incelenerek, tüm taşıtlar ayrı ayrı değerlendirilmiş, kavşak yaklaşım kollarındaki her bir şerit için, ortalama taşıt gecikmeleri hesaplanmıştır.

Gecikme hesabı için ofis çalışmaları öncelikli olarak, Muğla, HTA ve Tali yaklaşım kollarında gerçekleştirilmiştir. Bu üç yaklaşım kolunda (toplam 8 şeritte) yapılan gecikme analizleri sonucunda, pik saatteki saatlik ortalama taşıt

gecikmesinin, yine pik saat içerisindeki ilk yarım saat ve son yarım saatteki ortalama taşıt gecikmeleri ile birbirine benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Muğla, HTA ve Tali yaklaşım kollarına ait saatlik, ilk yarım saatlik ve son yarım saatlik ortalama taşıt gecikmesi sonuçları Tablo 5.3' de verilmektedir.

Öncelikli olarak, ilk otuz dakikalık ve son otuz dakikalık gözlem sonuçları, saatlik gözlem sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5.10 ve Şekil 5.11' de karşılaştırma sonuçları grafiksel olarak gösterilmiştir. İlk otuz dakikalık ve son 30 dakikalık gözlem sonuçlarının birbirleri ile yapılan karşılaştırmaları ise, Şekil 5.12' de grafiksel olarak gösterilmektedir.

Daha sonraki aşamada ise, bu sonuçların rastsal olup olmadığını tespit etmek amacı ile elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri üzerinde çeşitli istatistiksel testler uygulanmıştır. Yapılan istatistiksel analizler, İstatistiksel testler bölümünde detaylı olarak anlatılmaktadır.

Farklı zaman periyodlu, şerit bazlı ortalama taşıt gecikmesi eşitlik (5.2) ve eşitlik (5.3) ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Bir Saatlik Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)} = \frac{\left[ \sum_{n=1}^k (t_{\text{çıkış}} - t_{\text{giriş}})_n \right]}{k} \quad (5.2)$$

$$\text{Otuz Dakikalık Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)} = \frac{\left[ \sum_{n=1}^z (t_{\text{çıkış}} - t_{\text{giriş}})_n \right]}{z} \quad (5.3)$$

Denklem (5.2) ve Denklem (5.3)' te ;

$t_{\text{çıkış}}$ : Taşıtın kavşağı terk ediş süresi (sn.),

$t_{\text{giriş}}$ : Taşıtın kavşağa giriş süresi (sn.),

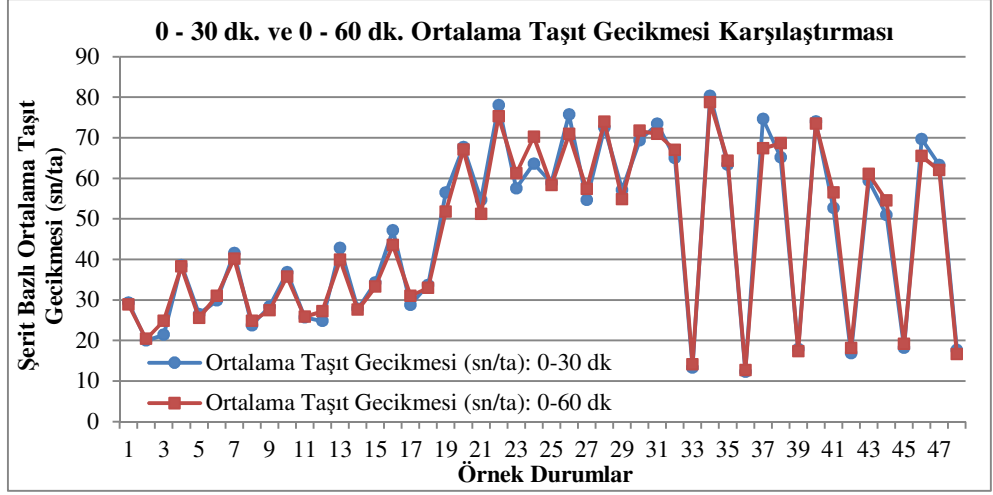
k: Bir şeritteki, saatlik toplam taşıt sayısı (ta.),

z: Bir şeritteki, otuz dakikalık toplam taşıt sayısı (ta.)' nı ifade etmektedir.

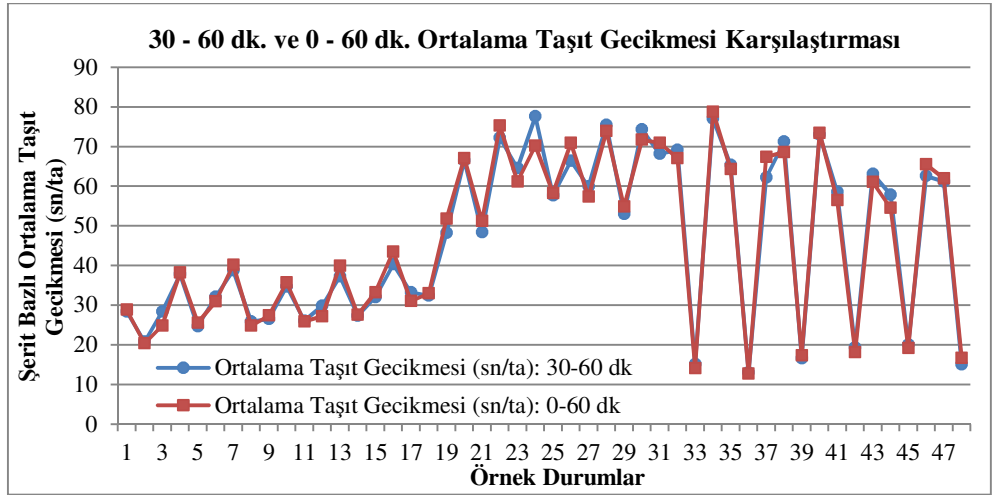


**Tablo 5.3:** Pekdemir Kavşağı Şerit Bazlı Ortalama Taşıt Gecikmeleri

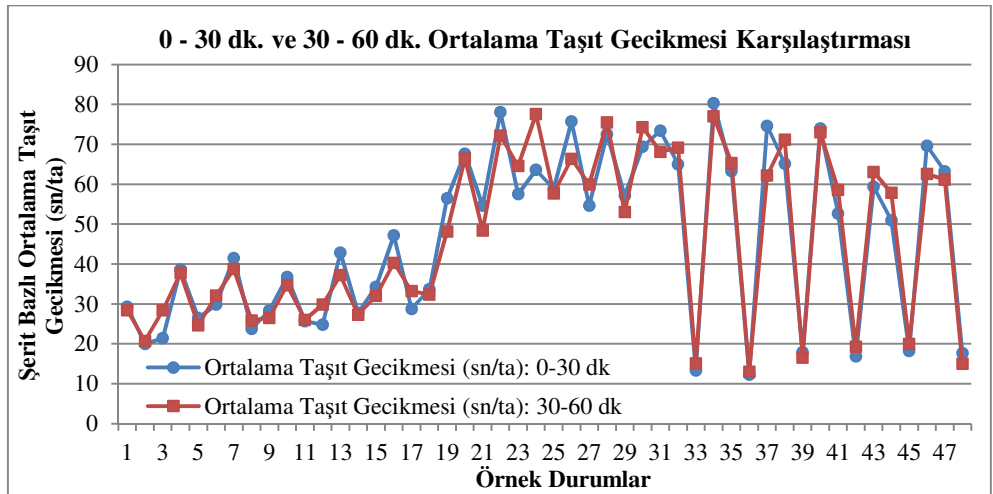
Yaklaşım Kolu	Zaman Periyodu	Şerit	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta) 0 – 60 dk.	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta) 0 – 30 dk.	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta) 30 – 60 dk.
Muğla	Hafta içi 08:00 – 09:00	Sol	28.80	29.30	28.37
		Orta	20.35	19.95	20.74
		Sağ	24.82	21.40	28.38
HTA	Hafta içi 08:00 – 09:00	Sol	51.75	56.45	48.17
		Sağ	67.05	67.66	66.46
Tali	Hafta içi 08:00 – 09:00	Sol	70.91	73.39	68.13
		Sağ-1	66.98	65.00	69.14
		Sağ-2	14.10	13.31	15.08
Muğla	Hafta içi 12:00 – 13:00	Sol	38.19	38.55	37.77
		Orta	25.54	26.47	24.66
		Sağ	30.93	29.81	32.09
HTA	Hafta içi 12:00 – 13:00	Sol	51.16	54.63	48.38
		Sağ	75.21	78.02	72.16
Tali	Hafta içi 12:00 – 13:00	Sol	78.74	80.30	77.00
		Sağ-1	64.30	63.33	65.30
		Sağ-2	12.65	12.27	13.00
Muğla	Hafta içi 17:00 – 18:00	Sol	40.14	41.51	38.73
		Orta	24.79	23.71	25.86
		Sağ	27.37	28.35	26.48
HTA	Hafta içi 17:00 – 18:00	Sol	61.16	57.49	64.55
		Sağ	70.20	63.59	77.55
Tali	Hafta içi 17:00 – 18:00	Sol	67.37	74.61	62.16
		Sağ-1	68.57	65.12	71.18
		Sağ-2	17.26	17.86	16.53
Muğla	Hafta sonu 08:30 – 09:30	Sol	35.70	36.77	34.66
		Orta	25.86	25.70	26.03
		Sağ	27.16	24.76	29.81
HTA	Hafta sonu 08:30 – 09:30	Sol	58.24	58.84	57.68
		Sağ	70.87	75.70	66.36
Tali	Hafta sonu 08:30 – 09:30	Sol	73.42	73.96	72.96
		Sağ-1	56.43	52.65	58.53
		Sağ-2	18.12	16.85	19.27
Muğla	Hafta sonu 12:30 – 13:30	Sol	39.91	42.81	37.22
		Orta	27.54	27.79	27.29
		Sağ	33.23	34.29	32.01
HTA	Hafta sonu 12:30 – 13:30	Sol	57.31	54.60	59.89
		Sağ	73.89	72.49	75.45
Tali	Hafta sonu 12:30 – 13:30	Sol	61.03	59.35	63.07
		Sağ-1	54.47	50.95	57.82
		Sağ-2	19.12	18.20	20.00
Muğla	Hafta sonu 17:30 – 18:30	Sol	43.48	47.15	40.29
		Orta	30.99	28.75	33.20
		Sağ	32.94	33.67	32.35
HTA	Hafta sonu 17:30 – 18:30	Sol	54.81	57.10	53.00
		Sağ	71.66	69.35	74.25
Tali	Hafta sonu 17:30 – 18:30	Sol	65.45	69.65	62.55
		Sağ-1	61.97	63.25	61.14
		Sağ-2	16.61	17.65	15.00



**Şekil 5.10:** 0-30 dk. ve 0-60 dk. Arası Ortalama Gecikme Karşılaştırması



**Şekil 5.11:** 30-60 dk. ve 0-60 dk. Arası Ortalama Gecikme Karşılaştırması



**Şekil 5.12:** 0-30 dk. ve 30-60 dk. Arası Ortalama Gecikme Karşılaştırması

### 5.1.3 İstatistiksel Testler

Gecikme gözlemi ofis çalışmalarında, Pekdemir kavşağındaki Muğla, HTA ve Tali yaklaşım kollarına ait saatlik, ilk yarım saatlik ve son yarım saatlik taşıt gecikmeleri, şerit bazında hesaplanmış ve hesaplanan yarım saatlik gecikme gözlemi sonuçları, bir saatlik gecikme gözlemi sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’ de görüldüğü üzere, farklı zaman periyodlu, yarım saatlik gecikme gözlemi sonuçları ile bir saatlik gecikme gözlemi sonucu birbirlerine oldukça benzer sonuçlar vermiştir. Eğer bu benzerlik istatistiksel olarak anlamlı ise, bir saatlik gecikme gözlemi yerine yarım saatlik gecikme gözlemleri kullanılabilir, buna bağlı olarak, hem arazide hem de ofiste geçirilen zamandan tasarruf edilecek, hem de işgücü tasarrufu sağlanmış olacaktır. Söz konusu benzerliğin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını tespit etmek amacıyla, benzerlikler, SPSS programı vasıtası ile Kolmogorov-Smirnov testi ve Wilcoxon Signed Rank Test testi uygulanarak incelenmiştir. İstatistik biliminde normallik testi için kullanılan Kolmogorov-Smirnov testi, iki örneği karşılaştırmak için kullanılan, genel ve parametrik olmayan testlerden birisidir. Bu testin  $H_0$  ve  $H_a$  hipotezleri şu şekildedir:

- $H_0$ : Veri dağılımı normal dağılıma uygundur.
- $H_a$ : Veri dağılımı normal dağılıma uygun değildir.

Eğer anlamlılık düzeyi 0.05’ ten büyük ise,  $H_0$  hipotezi kabul edilmektedir. Böylece veri setinin normal dağılıma uygun olduğu söylenebilmektedir. Eğer anlamlılık düzeyi 0.05’ ten küçük ise  $H_0$  hipotezi reddedilmektedir (Kalaycı 2006).

Wilcoxon Signed Rank Test ise, birbirleri ile ilişkili iki örneği karşılaştırmak için kullanılan, parametrik olmayan istatistiksel hipotez testidir. Bu test, Paired Student’s t-test’ in alternatifi olarak da kullanılabilir. Fakat Paired Student’s t-test genel olarak, normal dağılıma uygun veriler için kullanılırken, Wilcoxon Signed Rank Test, normal dağılıma uymayan veriler için kullanılmaktadır. Wilcoxon Signed Rank Test’ te veriler çifttir ve aynı popülasyondan gelmektedir. Bu teste göre, anlamlılık düzeyi 0.05’ ten büyük ise, iki veri seti arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı, söz konusu veri setlerinin birbirine benzer olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir (Kalaycı 2006).

### 5.1.3.1 İstatistik Testleri Sonuçları

Çalışmada, farklı zaman periyodlarında, araziden elde edilen gecikme ölçümleri istatistiksel olarak incelenmiştir. Tüm veri setlerine Kolmogorov-Smirnov dağılım testi uygulanmış ve Kolmogorov-Smirnov testi ile gecikme gözlem değerlerinin normal dağılıma uyup uymadığı incelenmiştir. Kolmogorov-Smirnov dağılım testi sonuçları Tablo 5.4' de verilmektedir.

**Tablo 5.4:** Kolmogorov-Smirnov Dağılım Testi Sonuçları

Gecikme Gözlem Periyodu	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistics	df	Sig.
0 – 60 dk.	.129	48	.045
0 – 30 dk.	.136	48	.026
30 – 60 dk.	.153	48	.007

Tablo 5.4' den de görüldüğü üzere, belirtilen 3 farklı veri seti için de anlamlılık düzeyi 0.05' ten düşüktür. Bu verilere dayanarak, veri setlerinin normal dağılıma uygun olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır. Bu yüzden, sonraki aşamada, veri setleri arasında benzerlik bulunup bulunmadığını kontrol etmek amacıyla parametrik olmayan hipotez testlerinden birisi olan Wilcoxon Signed Rank Test kullanılmıştır.

Wilcoxon Signed Rank Test, İlk otuz dakikalık gözlem sonuçları – Saatlik gözlem sonuçları, Son otuz dakikalık gözlem sonuçları – Saatlik gözlem sonuçları ve İlk otuz dakikalık gözlem sonuçları – Son otuz dakikalık gözlem sonuçları' nın birbirleriyle karşılaştırılmaları aşamasında uygulanmıştır. SPSS' de elde edilen karşılaştırma sonuçları Tablo 5.5' de gösterilmektedir.

**Tablo 5.5:** Wilcoxon Signed Rank Test Karşılaştırma Sonuçları

Wilcoxon Signed Rank Test – Test Statistics <sup>a</sup>			
	(0 – 30 dk) -	(30 – 60 dk) -	(0 – 30 dk) -
	(0 – 60 dk)	(0 – 60 dk)	(30 – 60 dk)
<b>Z</b>	-.231 <sup>b</sup>	-.210 <sup>b</sup>	-.200 <sup>b</sup>
<b>Asymp. Sig. (2-tailed)</b>	.817	.833	.841
a. Wilcoxon Signed Ranks Test b. Based on Negative Ranks			

Tablo 5.5' de, Wilcoxon Signed Rank Test uygulanan, farklı zaman periyodu karşılaştırmalarına ait, anlamlılık düzeyleri bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlar

dikkatle incelendiğinde, üç farklı karşılaştırma grubu için de anlamlılık düzeyinin 0.05' ten büyük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara dayanarak, söz konusu veri setleri arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı ve veri setlerinin birbirlerine benzer olduğu sonucuna varılmaktadır. Kısacası, belirtilen zaman periyodları arasında herhangi bir farklılık bulunmamaktadır ve gecikme gözlemi analizinde, ölçüm aşamalarında, bu üç farklı farklı zaman periyodundan istenilen herhangi birisi kullanılması uygundur.

Elde edilen sonuçlardan da anlaşıldığı üzere, gecikme ölçümünde, kavşaktaki trafik hacminin en yüksek olduğu pik saat içerisindeki, ilk yarım saatte ve son yarım saatte yapılan ölçümler, bir saatlik ölçümler ile birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Bu yüzden, yarım saatlik ölçümler, zaman kaybının önlenmesinde ve harcanan işgücü tasarrufunda etkin bir çözüm olarak önerilmektedir.

Ayrıca, yapılan istatistiksel çalışmalar ışığında, Pekdemir kavşağı' nda bulunan Pekdemir yaklaşım koluna ait taşıt gecikmeleri, farklı zaman periyodları için, yarım saatlik zaman dilimi göz önünde bulundurularak ölçülmüştür. Böylece, hem zaman kaybı önlenmiş, hem de işgücü tasarrufu sağlanmıştır.

#### **5.1.4 Arazi Gözlemleri ve VISSIM Simülasyon Programı Sonuçları Karşılaştırması**

Bu çalışmada, hafta içi ve hafta sonu birer gün gecikme gözlemi yapılan Pekdemir kavşağı' ndaki ortalama taşıt gecikmeleri, VISSIM trafik simülasyon programında yapılan analizlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Öncelikli olarak, her bir pik saatteki trafik hacmi video-kameralar yardımı ile tespit edilmiştir. Tablo 5.6' da hafta içi - sabah periyodu için kavşak yaklaşım kolu bazlı saatlik trafik hacimleri, Tablo 5.7' de hafta içi - öğle periyodu için kavşak yaklaşım kolu bazlı saatlik trafik hacimleri, Tablo 5.8' de hafta içi - akşam periyodu için kavşak yaklaşım kolu bazlı saatlik trafik hacimleri, Tablo 5.9' da hafta sonu - sabah periyodu için kavşak yaklaşım kolu bazlı saatlik trafik hacimleri, Tablo 5.10' da hafta sonu - öğle periyodu için kavşak yaklaşım kolu bazlı saatlik trafik hacimleri, Tablo 5.11' de ise hafta sonu - akşam periyodu için kavşak yaklaşım kolu bazlı saatlik trafik hacimleri verilmektedir.

**Tablo 5.6:** Hafta içi – Sabah Periyodu için Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Saatlik Trafik Hacimleri

		Kavşaktan Çıkış							
		H.T.A		Pekdemir		Tali		Muğla	
		A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S
Kavşağa Giriş	Muğla	4	47	90	766	0	8	0	5
	Pekdemir	9	52	2	27	5	50	107	662
	H.T.A	0	0	11	118	3	46	2	24
	Tali	5	58	1	26	0	0	1	16
Ağır Taşıt Sayısı: 240 ta/sa - Normal Taşıt Sayısı: 1905 ta/sa - Toplam Taşıt Sayısı: 2145 ta/sa									

**Tablo 5.7:** Hafta içi – Öğle Periyodu için Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Saatlik Trafik Hacimleri

		Kavşaktan Çıkış							
		H.T.A		Pekdemir		Tali		Muğla	
		A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S
Kavşağa Giriş	Muğla	4	86	90	742	1	19	0	15
	Pekdemir	10	95	2	55	1	63	71	748
	H.T.A	0	0	8	117	2	43	1	40
	Tali	2	55	0	30	0	0	2	27
Ağır Taşıt Sayısı: 194 ta/sa - Normal Taşıt Sayısı: 2135 ta/sa - Toplam Taşıt Sayısı: 2329 ta/sa									

**Tablo 5.8:** Hafta içi – Akşam Periyodu için Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Saatlik Trafik Hacimleri

		Kavşaktan Çıkış							
		H.T.A		Pekdemir		Tali		Muğla	
		A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S
Kavşağa Giriş	Muğla	6	95	100	847	0	16	0	7
	Pekdemir	9	126	2	33	5	91	80	932
	H.T.A	0	0	8	118	10	94	0	49
	Tali	3	80	0	35	0	0	2	19
Ağır Taşıt Sayısı: 225 ta/sa - Normal Taşıt Sayısı: 2542 ta/sa - Toplam Taşıt Sayısı: 2767 ta/sa									

**Tablo 5.9:** Hafta Sonu – Sabah Periyodu için Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Saatlik Trafik Hacimleri

		Kavşaktan Çıkış							
		H.T.A		Pekdemir		Tali		Muğla	
		A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S
Kavşağa Giriş	Muğla	3	86	100	1047	0	20	0	6
	Pekdemir	18	157	2	47	1	62	88	1347
	H.T.A	0	0	14	202	2	52	2	48
	Tali	2	67	1	41	0	0	1	38
Ağır Taşıt Sayısı: 234 ta/sa - Normal Taşıt Sayısı: 3220 ta/sa - Toplam Taşıt Sayısı: 3454 ta/sa									

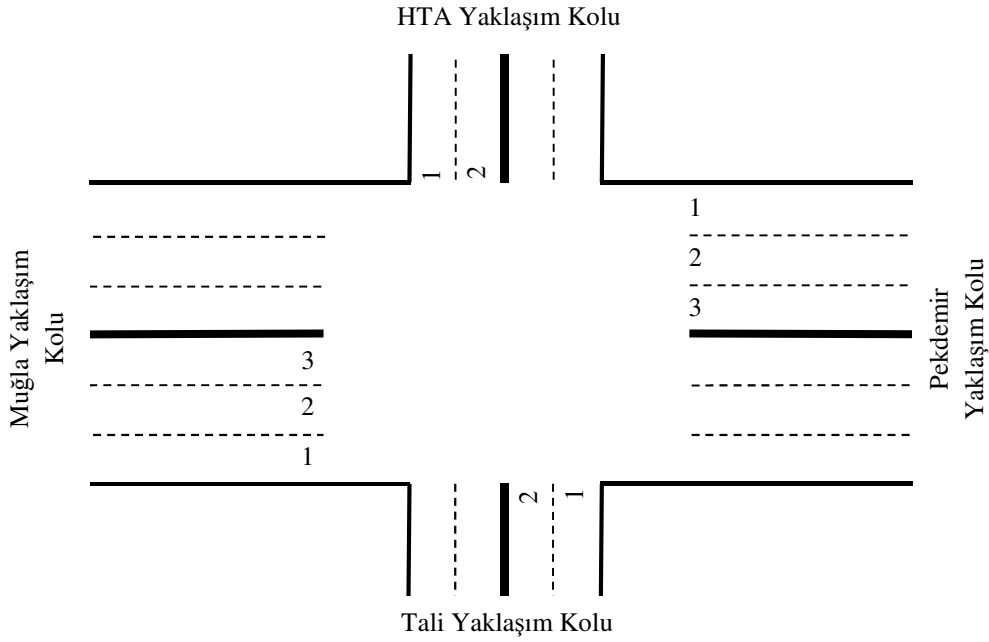
**Tablo 5.10:** Hafta Sonu – Öğle Periyodu için Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Saatlik Trafik Hacimleri

		Kavşaktan Çıkış							
		H.T.A		Pekdemir		Tali		Muğla	
		A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S
Kavşağa Giriş	Muğla	5	100	99	796	0	13	0	11
	Pekdemir	11	146	3	59	3	56	87	937
	H.T.A	0	0	7	120	0	65	0	45
	Tali	3	57	1	40	0	0	1	13
Ağır Taşıt Sayısı: 220 ta/sa - Normal Taşıt Sayısı: 2458 ta/sa - Toplam Taşıt Sayısı: 2678 ta/sa									

**Tablo 5.11:** Hafta Sonu – Akşam Periyodu için Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Saatlik Trafik Hacimleri

		Kavşaktan Çıkış							
		H.T.A		Pekdemir		Tali		Muğla	
		A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S	A.T.S	N.T.S
Kavşağa Giriş	Muğla	5	108	95	933	0	23	0	13
	Pekdemir	9	143	2	53	3	74	61	1085
	H.T.A	0	0	9	133	3	81	4	72
	Tali	1	77	0	28	0	0	1	31
Ağır Taşıt Sayısı: 193 ta/sa - Normal Taşıt Sayısı: 2854 ta/sa - Toplam Taşıt Sayısı: 3047 ta/sa									

Bir sonraki aşamada, her bir kavşak yaklaşım kolu için şerit bazlı gecikme gözlemleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, şerit bazlı trafik hacimleri ve ortalama taşıt gecikmeleri elde edilmiştir. Şekil 5.13, Pekdemir kavşağına ait şerit planını göstermektedir. Şerit bazlı trafik hacimleri ve şerit bazlı ortalama taşıt gecikmeleri de Tablo 5.12’ de verilmektedir.



**Şekil 5.13:** Pekdemir Kavşağı – Şerit Planı

Şekil 5.13’ den görüldüğü üzere Pekdemir kavşağında 4 yaklaşım kolu bulunmakta olup, bu 4 yaklaşım kolundaki toplam şerit sayısı 10’ dur. Tali yaklaşım kolundaki 1 numaralı şeritte sağa dönüş hareketi yapacak olan taşıtların gecikmeleri, düz giden ve sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların gecikmelerinden ayrı analiz edilmiştir. Pekdemir yaklaşım kolunun alt kısmında bulunan yolda sinyalizasyon sistemin bulunmaması, tali yoldan sağa dönecek olan taşıtları, Pekdemir yaklaşım koluna kıyasla daha sakin olan ve söz konusu taşıtların daha az zaman kaybetmesini sağlayan tek şeritli bu yola yönlendirmektedir. Bu yüzden, Tali yaklaşım kolunda, 1 numaralı şeritten sağa dönüş hareketi yapacak olan taşıtların gecikme analizi düz giden ve sola dönen taşıtlar için ayrı, sağa dönecek olan taşıtlar için de ayrı olarak yapılmıştır.



**Tablo 5.12:** Şerit Bazlı Trafik Hacimleri ve Şerit Bazlı Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Zaman Periyodu	Yaklaşım Kolu	Şerit No	Trafik Hacmi (ta/sa)	Ortalama Gecikme (sn/ta)	Zaman Periyodu	Yaklaşım Kolu	Şerit No	Trafik Hacmi (ta/sa)	Ortalama Gecikme (sn/ta)
Hafta İçi Sabah	Muğla	1	235	24.82	Hafta Sonu Sabah	Muğla	1	373	27.16
		2	380	20.35			2	458	25.86
		3	305	28.80			3	431	35.70
	Pekdemir	1	138	37.93		Pekdemir	1	381	47.52
		2	393	20.74			2	669	37.34
		3	383	32.58			3	672	47.32
	H.T.A	1	102	51.75		H.T.A	1	175	58.24
		2	102	67.05			2	145	70.87
	Tali	1	44	66.98		Tali	1	56	56.43
		1-Sağ	29	14.10			1-Sağ	42	18.12
		2	34	70.91			2	52	73.42
	Hafta İçi Öğle	Muğla	1	242		30.93	Hafta Sonu Öğle	Muğla	1
2			357	25.54	2	410			27.54
3			358	38.19	3	391			39.91
Pekdemir		1	208	40.48	Pekdemir	1		259	37.43
		2	432	24.31		2		525	24.99
		3	405	43.25		3		518	38.97
H.T.A		1	117	51.16	H.T.A	1		129	57.31
		2	94	75.21		2		108	73.89
Tali		1	47	64.30	Tali	1		43	54.47
		1-Sağ	31	12.65		1-Sağ		41	19.12
		2	38	78.74		2		31	61.03
Hafta İçi Akşam		Muğla	1	280	27.37	Hafta Sonu Akşam		Muğla	1
	2		404	24.79	2		429		30.99
	3		387	40.14	3		410		43.48
	Pekdemir	1	198	53.12	Pekdemir		1	263	48.25
		2	517	30.63			2	590	30.72
		3	563	40.27			3	577	42.49
	H.T.A	1	148	61.16	H.T.A		1	177	54.81
		2	131	70.20			2	125	71.66
	Tali	1	58	68.57	Tali		1	61	61.97
		1-Sağ	38	17.26			1-Sağ	28	16.61
		2	43	67.37			2	49	65.45

Tablo 5.12 dikkatle incelendiğinde, ana yaklaşım kollarının sol şeritlerdeki ortalama taşıt gecikmesinin diğer şeritlerden daha fazla olduğu görülmektedir. Şüphesiz ki, ana akımda, sola dönüş hareketi yapmak isteyen taşıtların büyük çoğunluğu yaklaşım kolundaki sol şeridi kullanmaktadır. Pekdemir kavşağının faz diyagramı incelendiğinde, ana akımda düz giden ve sağa dönecek taşıtlar hareketlerine devam ederken, sola dönüş yapacak olan taşıtlar için kavşaktaki ada etrafında depolama yapıldığı, böylece taşıtların birbirleriyle çakışma olasılığının ortadan kaldırıldığı kolayca görülebilmektedir. Yani, sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların hareketleri öncelikli olarak yaklaşım kolundaki sinyalizasyon sistemi ile daha sonra da ada etrafındaki sinyalizasyon sistemi ile kesintiye uğramaktadır. Bu

yüzden sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların gecikmesi düz giden ve sağa dönecek olan taşıtlara göre çok daha fazla olmakta ve bu durum, ana akımdaki sola dönüşlerin fazla olduğu en sol şeritteki ortalama taşıt gecikmesinin diğer şeritlerdeki ortalama taşıt gecikmelerinden fazla olmasına sebep olmaktadır. Ana yaklaşım kollarında, orta ve sağ şeritlerde genellikle düz giden ve sağa dönecek olan taşıtlar bulunmaktadır. Söz konusu taşıtların hareketleri yalnızca yaklaşım kolundaki sinyalizasyon sistemi ile kesildiği için, bu şeritlerdeki ortama taşıt gecikmeleri en sol şeride nazaran daha azdır. Pekdemir yaklaşım kolundaki en sağ şeritte ortalama taşıt gecikmelerinin fazla olmasının sebebi ise bu yaklaşım kolunun yakınında yer alan akaryakıt istasyonundan, ana akıma olan katılımıdır. Ana akıma katılacak olan taşıtların, hem akaryakıt istasyonunda geçirdikleri süre hem de ana akıma katılincaya kadar geçirdikleri süre fazla olduğu için Pekdemir yaklaşım kolunun 1 numaralı şeridinde (en sağ şeridinde) ortalama taşıt gecikmeleri fazladır. Tali ve HTA yaklaşım kollarında, 1 numaralı şeritler genel olarak sağa dönen taşıt trafiğine hizmet ederken, bu yaklaşım kollarındaki 2 numaralı şeritler sola dönen taşıt trafiğine hizmet etmektedirler. Bu yaklaşım kollarında, tüm pik saatlerde sola dönen ve düz giden taşıt sayısı sağa dönen taşıt sayısından oldukça fazla olduğu için, 1 numaralı şeritlerdeki ortalama taşıt gecikmeleri genel olarak 2 numaralı şeritlerdeki ortalama taşıt gecikmelerine kıyasla daha azdır.

Şerit bazlı saatlik trafik hacimleri ve şerit bazlı ortalama taşıt gecikmelerinin elde edilmesinin ardından, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi hesaplanmalıdır. Gecikme hesabının ilk aşamasında, pik saat süresince, her bir şeritte meydana gelen ortalama zaman kaybı (gecikme), pik saat boyunca söz konusu şeridi kullanan taşıt sayısı ile çarpılmakta ve söz konusu şeritteki toplam gecikme sn. cinsinden elde edilmektedir. İkinci aşamada ise, bu işlemlerin kavşak yaklaşım kollarındaki her bir şeritte uygulanması ile elde edilen süreler toplanmakta ve elde edilen toplam kayıp süre, pik saatte kavşağı kullanan toplam taşıt sayısına bölünmektedir. Böylece sn/ta cinsinden kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi hesaplanabilmektedir. Tablo 5.13' de hafta içi ve hafta sonu birer gün süre ile analiz edilen Pekdemir kavşağına ait toplam trafik hacimleri ve kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri verilmektedir.

**Tablo 5.13:** Pekdemir Kavşağındaki Toplam Trafik Hacimleri ve Kavşaktaki Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Zaman Periyodu	Kavşaktaki Toplam Trafik Hacmi (ta/sa)	Kavşaktaki Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)
Hafta içi Sabah	2145	30.815
Hafta içi Öğle	2329	37.001
Hafta içi Akşam	2767	39.037
Hafta Sonu Sabah	3454	40.664
Hafta Sonu Öğle	2678	36.482
Hafta içi Akşam	3047	40.597

Tablo 5.13' den görüldüğü üzere, kavşaktaki toplam trafik hacmi arttıkça, ortalama taşıt gecikmesi de trafik hacmine bağlı olarak artmaktadır. Genel olarak, kavşaktaki taşıt hacmi arttıkça, her bir devre için, kavşakta sinyalizasyon sistemi ile hareketi kesilen (hareket etmesi önlenen) taşıt sayısı da artmakta ve bu durum kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin artmasına neden olmaktadır.

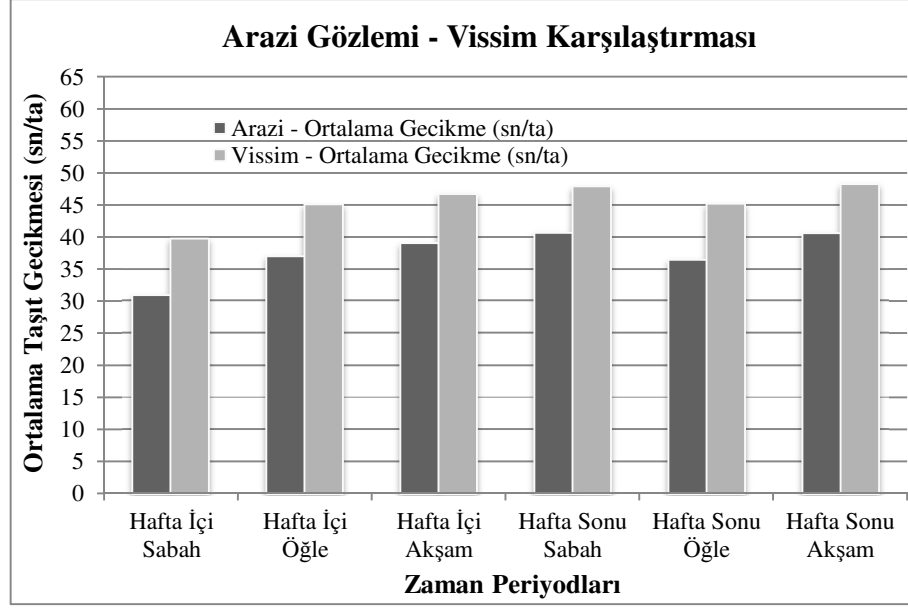
Trafik yönetimi üzerine çalışanların merak ettiği en önemli konulardan birisi de trafik simülasyon programlarının kavşak performansını değerlendirme aşamasında, arazideki gerçek durumu tam anlamıyla yansıtıp yansıtmadığıdır. (Tianzi ve diğ. 2013), yapmış oldukları çalışmada, sinyalizasyon kavşaklardan elde etmiş oldukları ortalama taşıt gecikmesi gözlem sonuçlarını, Vissim trafik simülasyon programı ve Sidra Intersection programını kullanarak elde ettikleri ortalama taşıt gecikmeleri ile karşılaştırmışlardır.

Bu çalışmada, Pekdemir kavşağına ait geometrik veriler, trafik verileri, sinyalizasyon verileri vb. Vissim trafik simülasyon programına aktarılmış, program yardımı ile belirtilen hafta içi ve hafta sonu zaman periyodları için ortalama taşıt gecikmeleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamınca, elde edilen ortalama taşıt gecikmelerinin gerçeği ne kadar yansıtıp yansıtmadığı tartışılmıştır. Vissim programı ile elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri ve Arazi Gözlemleri ile elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri Tablo 5.14' de verilmektedir. Ayrıca, Vissim programı ve Gözlemler ile her bir zaman periyodu için elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri Şekil 5.14' de grafiksel olarak gösterilmektedir.

**Tablo 5.14:** Vissim Programı ile Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri ve Arazi Gözlemleri ile Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Zaman Periyodu	Arazi Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)	Vissim Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)
Hafta içi Sabah	30.815	39.766
Hafta içi Öğle	37.001	45.077
Hafta içi Akşam	39.037	46.704
Hafta Sonu Sabah	40.664	47.874
Hafta Sonu Öğle	36.482	45.176
Hafta içi Akşam	40.597	48.264

Tablo 5.14’ deki sonuçlar dikkatle incelendiğinde, aynı koşullar altında, Vissim programı ile elde edilen ortalama taşıt gecikmelerinin araziye (gerçek duruma) kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni, ülkemizde bulunan birçok dönel kavşak ve sinyalize dönel kavşak geometrisinin tüm dünyada kabul edilmiş dönel kavşak geometrisi standartlarına uygun olmamasıdır. Söz konusu kavşaklar standartlara uygun olmadığı için, simülasyon programında modelleme aşamasında bir çok sıkıntı ile karşılaşılmaktadır. Pekdemir kavşağında da, kavşak geometrisi ve kavşak ortasında bulunan ada çapının standartlara uygun olmaması (yaklaşık 9 metre), Vissim programında yapılan modellemeyi zorlaştırmıştır. Gerçek hayatta Pekdemir kavşağında, ada etrafında iki sıra taşıt depolamasına imkan sağlanmasına rağmen, simülasyon programında ada etrafında yalnızca bir sıra taşıt depolaması sağlanabilmiştir. Depolanan taşıt sıra sayısı ikiye ulaştığında, depolama ana akımın bulunduğu şeritler üzerinde yapılmaktadır. Bu durumda düz giden taşıtların hareketleri engellenmekte (hızları kesilmekte) ve buna bağlı olarak kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinde önemli düzeyde artış görülmektedir.



**Şekil 5.14:** Arazi Gözlemi – Vissim Simülasyon Programı Gecikme Karşılaştırması

## 5.2 Farklı Trafik Senaryoları için, Farklı Tip Kavşakların Gecikme Performans Kriteri Dikkate Alınarak Karşılaştırılması

### 5.2.1 Genel

Bu çalışmada, on iki farklı trafik senaryosu dikkate alınmıştır. Yapılan çalışmada, farklı tip kavşaklar farklı faz planları göz önünde bulundurularak ve gecikme performans kriteri baz alınarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, aynı tip sinyalizasyon kavşakları üzerinde, farklı faz düzenleri uygulanarak faz düzenlerinin ve faz sayılarının ortalama taşıt gecikmesine olan etkisi incelenmiştir.

Çalışma kapsamınca, Dönel kavşak, Sinyalizasyon dönel kavşak (2 faz), Sinyalizasyon dönel kavşak (3 faz), Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak (3 faz), Sinyalizasyon kavşak (3 faz), Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak (4 faz), Sinyalizasyon dönel kavşak (4 faz) ve Sinyalizasyon kavşak (4 faz) ortalama taşıt gecikmesi performans kriteri baz alınarak farklı sola dönüş oranları için, birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Sinyalizasyon olmayan kavşaklarda, taşıt hareketleri sinyalizasyon sistemleri tarafından engellenmediği için, bu tür kavşaklardaki taşıtlar daha az bekleme süresine sahiptirler. Bekleme süresinin az olmasından dolayı, ortalama gecikmeler de

sinyalizasyon sistemi ile yönetilen kavşaklara nazaran çok daha düşüktür. Trafik yönetiminde uygulanan sinyalizasyon sistemlerinin öncelikli amacı, taşıtların kesişmelerini önlemek yani kaza olasılığını minimum düzeye indirmektir. Gecikme performans kriteri baz alınarak incelendiğinde, sinyalizasyon olmayan dönel kavşakların tasarımı, trafiğin yönetimi için oldukça uygundur fakat bu tür kavşaklarda sinyalizasyon sistemi bulunmadığı için (taşıtların hareketlerinin yönetiminde sinyalizasyon sistemi uygulanmadığı için) trafik kazası meydana gelme olasılığı oldukça yüksektir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, sürücülere yeterli düzeyde trafik eğitimi verilemediğinden ve trafik kültürü sürücüler üzerinde tam anlamıyla yerleşmediği için ülkemizde, performans açısından ne kadar iyi olsa da bu tür kavşakların çok fazla bulunmadığı görülmektedir. Sonuç olarak, bu tür kavşaklar, gecikme performans parametresi bakımından oldukça iyi bir performansa sahip olsa da, trafik kazası meydana gelme olasılığı sinyalizasyon kavşaklara nazaran daha fazla olduğu için çok fazla tercih edilmemektedir. Bunun yanısıra, trafik kültürünün gelişmiş olduğu İngiltere, Avustralya ve Amerika gibi ülkelerde dönel kavşaklar çok sık kullanılan bir trafik yönetimi tekniğidir.

Trafikteki en kritik hareketler sola dönüş hareketleridir. Bu kritik dönüş hareketini gerçekleştirmek isteyen taşıtların hızını azaltmakla birlikte, arkasından gelen taşıtların/taşıtların hızını kesmektedir. Sola dönüş hareketleri, hem sola dönüş hareketini gerçekleştiren taşıtların hem de söz konusu taşıtların arkasında bulunan taşıtların kavşağı daha geç sürede terk etmesine sebep olmakta, bu da kavşaktaki ortalama taşıtların gecikmelerinde artışa sebep olmaktadır.

Trafiği yönetmek için kullanılan yöntemlerden birisi de sinyalizasyon sistemleridir. Sinyalizasyon uygulanarak yapılan trafik yönetiminde taşıtların birbirleri ile veya kavşağı kullanan yayalar, bisikletliler vb. ile kesişmeleri azaltılmakta ve hatta çoğu zaman söz konusu olumsuz durumlar ortadan kaldırılmaktadır. Böylece kavşakta meydana gelebilecek olan trafik kazası olasılığı minimum düzeye indirgenmektedir. Sinyalizasyon kavşaklarda trafik akımlarının kavşaktan geçişi belirli bir sıra ve düzene göre gerçekleştiği için taşıtların kavşağı terk etme süreleri, sinyalizasyon olmayan kavşaklara nazaran daha fazladır. Sinyalizasyon kavşakların gecikmeleri fazla olmasına rağmen tercih edilmesinin sebebi, bu tür kavşaklarda meydana gelebilecek trafik kazası olasılığının düşük olmasıdır.

Sinyal fazı, sinyalize bir kavşağın etkin bir şekilde işletilebildiği ve güvenliğinin belirlenebildiği kontrol mekanizmasıdır. Sinyal faz sistemleri, çeşitli taşıt ve yaya akımlarına kavşakta, nasıl ve hangi şekilde geçiş önceliği ve geçiş sırası verileceğini göstermektedir. Sinyalize kavşaklarda sinyal fazı tasarımı oldukça önemlidir. Faz tasarımı yapılırken ana amaç; yaya-taşıt/taşı-taşı karşılaşmalarını azaltarak trafik kazalarını minimize etmek, bunun yanı sıra gecikmeleri, yaklaşım kolundaki kuyruk uzunluklarını ve durma sayılarını da azaltarak kavşağın etkin işletimini de maksimize etmektir.

Sinyalize kavşaklardaki trafiğin iki veya daha fazla faz tasarımı ile yönetilmesi mümkündür. Fakat aynı trafik durumları için faz sayısı arttıkça taşıtların bekleme süreleri de arttığı için, ortalama taşıt gecikmelerinin arttığı sonucuna ulaşılmaktadır.

## 5.2.2 Analizler

Analiz aşamasında on iki farklı trafik senaryosu dikkate alınmıştır. Dikkate alınan bu farklı senaryolara ait yaklaşım kolu bazlı sola dönüş oranları Tablo 5.15’ de gösterilmektedir.

**Tablo 5.15:** Farklı Trafik Senaryolarına Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Sola Dönüş Oranları

Senaryo No	Doğu Yaklaşım Kolu	Batı Yaklaşım Kolu	Kuzey Yaklaşım Kolu	Güney Yaklaşım Kolu
1	%5	%5	%5	%5
2	%5	%5	%30	%30
3	%10	%10	%5	%5
4	%10	%10	%30	%30
5	%15	%15	%5	%5
6	%15	%15	%30	%30
7	%20	%20	%5	%5
8	%20	%20	%30	%30
9	%25	%25	%5	%5
10	%25	%25	%30	%30
11	%30	%30	%5	%5
12	%30	%30	%30	%30

Senaryolara ait kavşak yaklaşım kolu bazlı trafik hacimleri ise, EK A.1 - A.12' de bulunan tablolarda gösterilmektedir.

Çalışma kapsamınca Vissim trafik simülasyon programı kullanılmış ve belirtilen farklı trafik senaryoları ve farklı kavşak tipleri için kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi değerleri elde edilmiştir. Bu bölümde, farklı kavşak tipleri, faz planları vb. için elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri detaylı olarak incelenmektedir.

### 5.2.2.1 Dönel Kavşak

Dönel kavşak analizleri için, ana akımın bulunduğu yaklaşım kolları 3.5' er metre genişliğinde 3+3 şeritten, diğer yaklaşım kolları ise aynı şekilde 3.5' er metre genişliğinde 2+2 şeritten meydana gelen, merkez ada çapı 38 metre olan dönel kavşak seçilmiştir (Merlbourne/Avustralya). Ayrıca, söz konusu dönel kavşakta, merkez ada etrafında depolama yapılan şerit sayısı 2' dir ve bu şeritlerin genişliği 4.0 metredir.

Örnek durumlar için, dönel kavşakta ana akımdaki ve diğer yaklaşım kollarındaki taşıtların sola dönüş oranları arttıkça ortalama taşıt gecikmeleri de artmaktadır. Sola dönüş oranlarının, tüm yaklaşım kolları için %5 olduğu durumda ortalama taşıt gecikmesi 3.304 sn/ta iken, sola dönüş oranının tüm yaklaşım kolları için %30 olduğu durumda ortalama taşıt gecikmesi 7.895 sn/ta elde edilmiştir. Senaryolar için, Vissim programı ile elde edilen ortalama gecikmeleri Tablo 5.16' da verilmektedir.

**Tablo 5.16:** Farklı Trafik Senaryoları İçin Dönel Kavşak Analizi Sonuçları

Senaryo No	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)	Senaryo No	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)
1	3.304	7	5.375
2	3.703	8	5.784
3	4.103	9	6.569
4	4.268	10	6.919
5	4.406	11	7.216
6	4.895	12	7.895

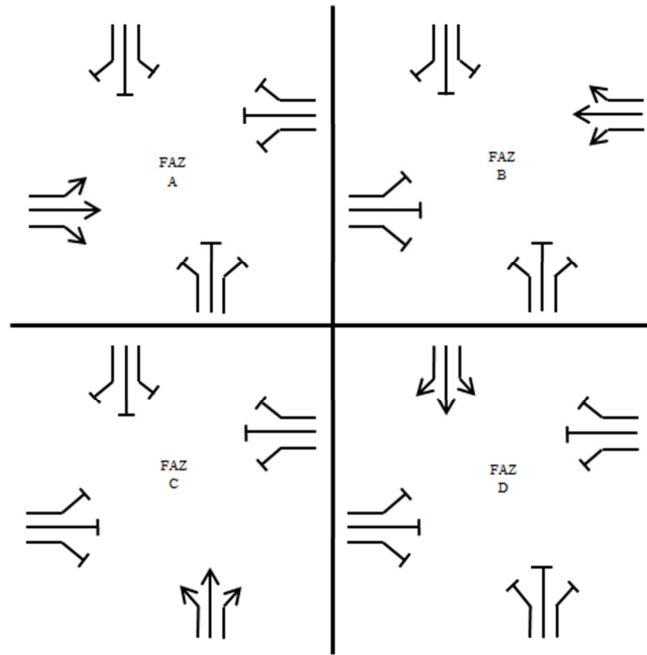


### 5.2.2.2 Sinyalize Kavşaklar

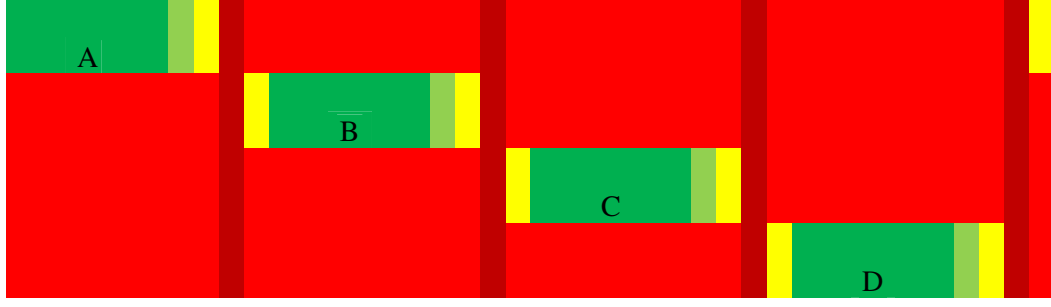
Bu bölümde senaryolar, sinyalize kavşak uygulaması dikkate alınarak analiz edilmiştir. Sinyalize kavşak uygulamasında, faz düzenleri birbirinden farklı üç farklı durum göz önünde bulundurulmuştur. Sinyalize kavşak, üç ve dört fazlı olarak analiz edilmiştir. Üç ve dört fazlı denetimde dikkate alınması gereken unsurlara ait detaylı bilgiler aşağıda verilmektedir.

- **Sinyalize Kavşak - Dört Fazlı Denetim**

Kavşak yaklaşım kolları dikkate alındığında, dönel kavşaklar ile aynı geometrik özelliklere sahip olan sinyalize kavşak uygulaması, öncelikli olarak dört fazlı denetim şekli dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Dört fazlı denetim tekniğiyle, her bir kavşak yaklaşım koluna birbirinden farklı zamanlarda geçiş önceliği (sırası) verilmekte ve böylece kavşakta meydana gelebilecek kaza olasılığının minimum düzeye indirilmesi amaçlanmaktadır. Şekil 5.15’ de sinyalize kavşağın dört fazlı yönetilmesi durumunda uygulanacak olan faz planı, Şekil 5.16’ da ise dört fazlı denetim durumunda, kavşaktaki sinyalizasyon uygulamasına ait devre diyagramı gösterilmektedir.



**Şekil 5.15:** Sinyalize Kavşak Faz Planı – Dört Fazlı Denetim



**Şekil 5.16:** Sinyalize Kavşak Devre Diyagramı – Dört Fazlı Denetim

Vissim trafik simülasyon programı ile sinyal optimizasyonu yapılamadığı için, bu süreçte Sidra Intersection programı kullanılmış, Sidra Intersection programı ile elde edilen süreler Vissim Simülasyon programına aktarılarak, farklı sola dönüş oranlarına sahip senaryolar, ortalama taşıt gecikmesi performans kriteri baz alınarak Vissim Simülasyon programında analiz edilmiştir.

Trafikte sola dönüş hareketleri, hem kritik hem de trafiği yavaşlatıcı hareketler olduğu için sola dönüş oranı arttıkça ortalama taşıt gecikmesinin artması beklenmektedir. Tablo 5.17' de, tüm senaryolar için, fazlara ait yeşil süreler, devre süreleri ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri verilmektedir.

**Tablo 5.17:** Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıt Gecikmesi (Sinyalize Kavşak - Dört Fazlı Denetim)

Senaryo No	Sola Dönüş Oranı (Ana akım - Diğer)	A (sn)	B (sn)	C (sn)	D (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Gecikme (sn/ta)
1	%5 - %5	29	34	8	11	110	38.443
2	%5 - %30	29	34	8	11	110	39.602
3	%10 - %5	29	34	8	11	110	40.311
4	%10 - %30	31	36	8	12	115	41.457
5	%15 - %5	31	36	8	12	115	42.206
6	%15 - %30	31	36	8	12	115	42.840
7	%20 - %5	29	34	8	11	110	45.160
8	%20 - %30	31	36	8	12	115	47.279
9	%25 - %5	27	32	8	10	105	47.322
10	%25 - %30	29	34	8	11	110	49.640
11	%30 - %5	27	32	8	10	105	54.139
12	%30 - %30	29	34	8	11	110	56.401
<b>Sarı Süre: 2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 3 sn</b>							

Tablo 5.17' den görüldüğü üzere, aynı trafik hacmi için (kavşaktaki toplam trafik) sola dönüş oranı arttıkça ortalama taşıt gecikmesi artmıştır. Ortalama taşıt

gecikmesi, sola dönüşün tüm yaklaşım kollarında %5 oranında olduğu durumda 38.443 sn/ta iken, sola dönüş oranının tüm yaklaşım kollarında % 30 olduğu durumda yaklaşık 1.5 kat artarak 56.401 sn/ta elde edilmiştir.

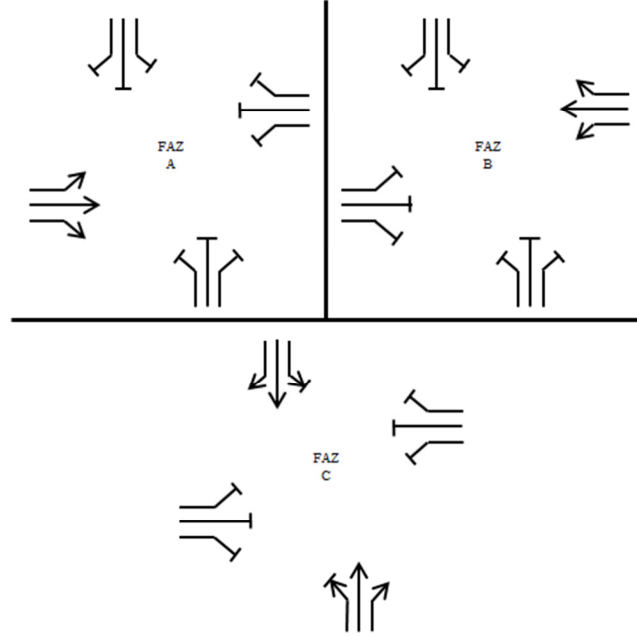
- **Sinyalize Kavşak – Üç Fazlı Denetim**

EK A.1 – A.12’ de bulunan tablolar dikkatle incelendiğinde, trafik hacimleri kuzey yaklaşım kolunda saatlik yaklaşık 280 ta/sa, güney yaklaşım kolunda ise saatlik yaklaşık 140 ta/sa’ dir. Üç fazlı denetimde, ana akımlar trafik hacmi saatlik 1000 ta/sa’ i geçtiği için ayrı birer faz olarak düşünülmüş, trafik hacminin saatlik 300 ta/sa’ i bulmadığı kuzey ve güney yaklaşım kolundaki taşıtların ise aynı fazda kavşağı terk ettiği varsayımı yapılmıştır.

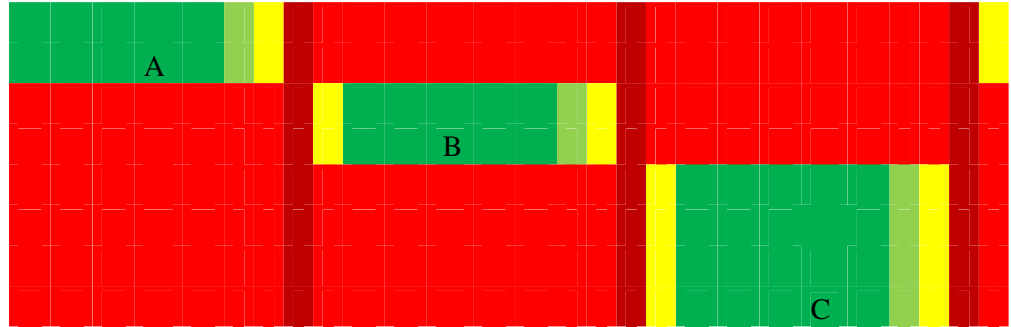
Sola dönüş hacminin, yaklaşım kolundaki trafik hacminin %30’ u olduğu durumlarda kuzey yaklaşım kolundan yaklaşık 85 taşıtın, güney yaklaşım kolundan ise yaklaşık 45 taşıtın sola dönüş hareketi yapmış olduğu kolayca hesaplanabilmektedir. Bu iki yaklaşım kolundaki sola dönüş yapacak olan taşıtlar birbirleri ile kesişmekte ve bu durum trafik kazası olasılığını arttırmaktadır. Fakat kavşaktaki taşıtların bekleme süresini azaltmak için sola dönen taşıt sayısının çok fazla olmadığı kuzey ve güney yaklaşım koluna aynı fazda geçiş hakkı verilmiştir. Sola dönen taşıt sayısı az olduğu için taşıtların birbirleri ile kesişme olasılığı azdır. Bu iki fazın birlikte açılması durumunda trafiğin tam anlamıyla güvenliği, sürücünün dikkatine ve temel trafik kurallarına bırakılmıştır. Sonuç olarak, trafiğin yoğun olmadığı kavşak yaklaşım kollarında, sola dönen trafik hacmi fazla olmadığı için söz konusu trafik hacimlerine de bağlı olarak bu kavşağın üç fazlı işletilebileceği söylenebilmektedir.

Sinyalize kavşaktaki trafiği üç fazlı denetim tekniği ile yönetmenin dezavantajları olduğu gibi, bazı avantajları da bulunmaktadır. Üç fazlı denetimin uygulandığı kavşaklarda, trafik kazası görülme olasılığı dört fazlı denetimin uygulandığı kavşaklara nazaran daha fazla olmasına rağmen, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri dört fazlı denetime nazaran daha azdır. Ana akımın bulunduğu kavşak yaklaşım kollarındaki taşıtların bekleme sürelerinin azalması (bekleme süresi bir faz süresi kadar azalmaktadır) kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin azalmasında önemli bir etkidir.

Şekil 5.17' de sinyalizasyon kavşağının üç fazlı yönetilmesi durumunda uygulanacak olan faz planı, Şekil 5.18' de ise üç fazlı denetim durumunda, kavşaktaki sinyalizasyon uygulamasına ait devre diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 5.17: Sinyalizasyon Kavşak Faz Planı – Dört Fazlı Denetim



Şekil 5.18: Sinyalizasyon Kavşak Devre Diyagramı – Üç Fazlı Denetim

Trafikte sola dönüş hareketleri, hem kritik (dikkat gerektiren) hem de trafiği yavaşlatıcı hareketler olduğu için, sinyalizasyon kavşaklarda üç fazlı denetimde de tıpkı dört fazlı denetimde olduğu gibi ana akımların bulunduğu kavşak yaklaşım kollarında ve diğer yaklaşım kollarında sola dönüş oranı arttıkça ortalama taşıt gecikmesinin artması beklenmektedir. Tablo 5.18' de, tüm senaryolar için, fazlara ait yeşil süreler, devre süreleri ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri verilmektedir.

**Tablo 5.18:** Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıt Gecikmesi  
(Sinyalize Kavşak - Üç Fazlı Denetim)

Senaryo No	Sola Dönüş Oranı (Ana akım - Diğer)	A (sn)	B (sn)	C (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Gecikme (sn/ta)
1	%5 - %5	19	22	8	70	23.361
2	%5 - %30	18	21	10	70	24.515
3	%10 - %5	19	22	8	70	25.679
4	%10 - %30	18	21	10	70	26.186
5	%15 - %5	19	22	8	70	26.855
6	%15 - %30	18	22	9	70	28.471
7	%20 - %5	18	21	10	70	30.073
8	%20 - %30	18	21	10	70	30.278
9	%25 - %5	19	22	8	70	31.458
10	%25 - %30	18	21	10	70	32.843
11	%30 - %5	20	24	10	75	35.401
12	%30 - %30	18	21	10	70	37.385
<b>Sarı Süre: 2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 3 sn</b>						

Tablo 5.18’ de verilen süreler Sidra Intersection programı ile elde edilmiştir. Elde edilen süreler, Vissim Simülasyon programına aktarılmış ve farklı örnek durumların (senaryoların) Vissim’ de analizleri yapılmıştır. Tablo 5.17 ve Tablo 5.18 dikkatle incelendiğinde, üç fazlı denetimin devre sürelerinin dört fazlı denetimin devre sürelerinden daha az olduğu görülmektedir. Bu durum, optimum sinyal süresi ataması yapılan üç fazlı sinyalize bir kavşaktaki bekleme süresinin, dört fazlı sinyalize kavşaktan daha az olduğunun bir göstergesidir. Üç fazlı sinyalize kavşaklarda faz sayısına bağlı olarak devre süresinin de azalması ile birlikte aynı örnek durumlar için ortalama taşıt gecikmeleri de azalmıştır. Ortalama taşıt gecikmesi, sola dönüşlerin kavşak yaklaşım kollarının tümünde %5 olduğu durumda 23.361 sn/ta iken, sola dönüş oranının tüm yaklaşım kollarında %30 olduğu durumda yaklaşık 1.6 kat artarak 37.385 sn/ta elde edilmiştir. Tablo 5.18’ den de görüldüğü üzere, yaklaşım kollarındaki sola dönüş oranı arttıkça ortalama taşıt gecikmesi de artmaktadır.

### 5.2.2.3 Sinyalize Dönel Kavşaklar

Son yıllarda, özellikle ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde uygulanan trafik yönetimi uygulamalarından birisi de sinyalize dönel kavşaklardır. Sinyalize dönel kavşaklar, kavşakta bulunan yönlendirici merkez adanın yanı sıra, kavşak

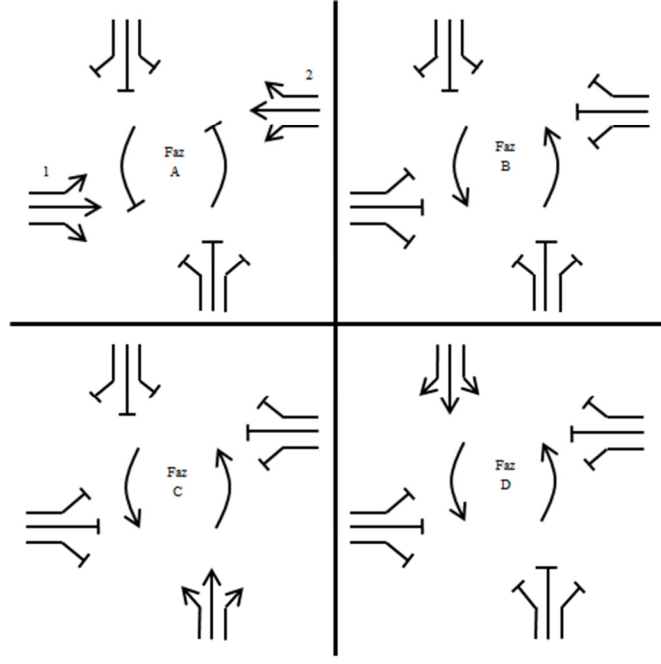
yaklaşım kollarında ve ayırıcı ada etrafında bulunan ve trafik akımlarının geçiş önceliğini ve geçiş düzenini sağlayan sinyalizasyon sistemlerinden oluşmaktadır. Bu tip kavşaklarda genel olarak, sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtlar merkez ada etrafında depolanmaktadır. Diğer bir fazda, sola dönüşün yapılacağı bu depolama alanındaki taşıtlara geçiş hakkı verilmekte böylece sola dönüşler için ayrı bir faz kullanılarak taşıtların birbirleri ile kesişme olasılığı azaltılarak, trafik kazası olasılığı da minimize edilmiş olmaktadır. Çalışma kapsamınca, farklı sola dönüş oranlarına sahip örnek durumlar (senaryolar) için ortalama taşıt gecikmeleri, 38 metre merkez ada çaplı, 4.0 metre genişliğinde 2 adet depolama şeridinde sahip dönel kavşak kullanılarak ve çeşitli faz planları göz önünde bulundurularak incelenmiştir.

Sinyalize dönel kavşak uygulamasında, faz düzenleri birbirinden farklı üç farklı durum göz önünde bulundurulmuştur. Sinyalize dönel kavşak iki, üç ve dört fazlı olarak analiz edilmiştir. Söz konusu farklı faz durumlarına ait detaylı bilgiler aşağıda verilmektedir.

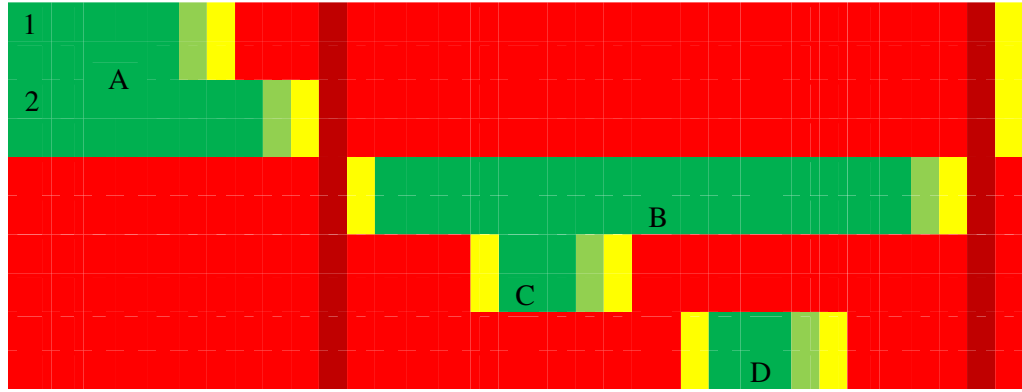
- **Sinyalize Dönel Kavşak – Dört Fazlı Denetim**

Sinyalize dönel kavşak dört fazlı denetim tekniği ile öncelikli olarak ana akımların bulunduğu karşılıklı kavşak yaklaşım kollarına geçiş üstünlüğü (hakkı) verilmektedir. Fakat sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtlar, diğer yaklaşım kolundaki düz giden ve sağa dönen akımlar ile kesişeceği için, sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların hareketi merkez ada etrafında bulunan sinyalizasyon sistemi ile kesilmektedir. Daha sonraki aşamada ise, ada etrafında depolanan taşıtların hareketlerine devam etmelerine izin verilmekte, ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki taşıtların hareketi sinyalizasyon sistemi yardımı ile kesilmekte ve böylece olası taşıt çakışmalarının önüne geçilmektedir. Dört fazlı denetimin üçüncü ve dördüncü aşamasında ise sırasıyla kavşaktaki diğer iki yaklaşım koluna (trafik hacimlerinin çok fazla olmadığı yaklaşım kollarına) geçiş hakkı verilmekte ve böylece kavşaktaki tüm taşıtların kavşağı güvenli bir şekilde terk etmesine imkân sağlanmaktadır.

Şekil 5.19' da sinyalize dönel kavşağın dört fazlı yönetilmesi durumunda uygulanacak olan faz planı, Şekil 5.20' de ise dört fazlı denetim durumunda, kavşaktaki sinyalizasyon uygulamasına ait devre diyagramı gösterilmektedir.



**Şekil 5.19:** Sinyalize Dönel Kavşak Faz Planı – Dört Fazlı Denetim



**Şekil 5.20:** Sinyalize Dönel Kavşak Devre Diyagramı – Dört Fazlı Denetim

Sidra Intersection programı ile Sinyalize dönel kavşak tasarımı ve sinyalize dönel kavşak sinyal optimizasyonu yapılamamaktadır. Bu yüzden, farklı örnek durumlar (senaryolar), sola dönüş hacimleri dikkate alınmayarak, Sidra Intersection programı ile sinyalize kavşak analizine benzer bir şekilde analiz edilmiş ve kavşak yaklaşım kollarındaki optimum yeşil süreler, program yardımı ile elde edilmiştir.

Dönel kavşak sinyal süreleri düzenlemesinde en önemli unsurlardan biriside, sola dönen taşıtların geçiş düzeninin ve önceliğinin belirlendiği, ada etrafındaki sinyalizasyon sistemlerinin yeşil sürelerinin optimizasyonudur. Ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süreleri, sola dönüş yapacak olan taşıt hacmi ile

paralellik göstermelidir. Sola dönüş hareketinin çok çok az sayıda olduğu durumlarda ada etrafındaki sinyalizasyon sistemlerinde, artan yeşil sürenin olmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminde artan yeşil süreler, dönüş hareketi yapmayan taşıtların kavşakta daha fazla beklemelerine ve buna bağlı olarak da kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin gereksiz şekilde artmasına sebep olmaktadır. Sola dönüş hareketinin çok fazla olduğu durumlarda ise sinyal sürelerinin, ada etrafında depolanan taşıtların tamamının kavşağı terk edebilmesi (aynı devrede merkez ada etrafında, kavşağı terk edemeyen taşıtların bulunmaması) için, ada etrafında depolanan taşıt hacmi dikkate alınarak belirlenmesi gerekmektedir.

Mevcut paket programlar ile ada etrafındaki sinyal süreleri optimizasyonu yapılmadığı için, bu sürelerin optimizasyonu sezgisel olarak yapılmıştır. Ada etrafındaki taşıtların, başlangıç hareket kayıpları 3 sn olarak alınmış ve birbiri ardına depolanan taşıtların kavşağı terketme süresi de 2 sn olarak belirlenmiştir. Bu verilere dayanarak, ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin sinyal süresi optimizasyonu yapılmıştır. Tablo 5.19’ da, tüm senaryolar için, fazlara ait yeşil süreler, devre süreleri ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri verilmektedir.

**Tablo 5.19:** Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıt Gecikmesi (Sinyalize Dönel Kavşak - Dört Fazlı Denetim)

Senaryo No	Sola Dönüş Oranı (Ana akım - Diğer)	A [1 - 2] (sn)	B (sn)	C (sn)	D (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Gecikme (sn/ta)
1	%5 - %5	20 – 24	47	8	12	85	37.032
2	%5 - %30	21 – 25	51	10	14	90	37.741
3	%10 - %5	20 – 24	47	8	12	85	37.311
4	%10 - %30	21 – 25	51	10	14	90	39.974
5	%15 - %5	20 – 24	47	8	12	85	40.541
6	%15 - %30	21 – 25	51	10	14	90	42.013
7	%20 - %5	21 – 25	51	8	13	90	45.127
8	%20 - %30	23 – 27	54	10	14	95	49.538
9	%25 - %5	21 – 25	51	8	13	90	50.198
10	%25 - %30	23 – 27	54	10	14	95	65.563
11	%30 - %5	21 – 25	51	8	13	90	79.464
12	%30 - %30	23 – 27	54	10	14	95	98.723
<b>Sarı Süre: 2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 3 sn</b>							

Tablo 5.19’ dan görüldüğü üzere, sola dönüş hareketi yapacak olan taşıt oranı arttıkça, ada etrafındaki sinyalizasyon sistemlerinin de yeşil süreleri artmaktadır.



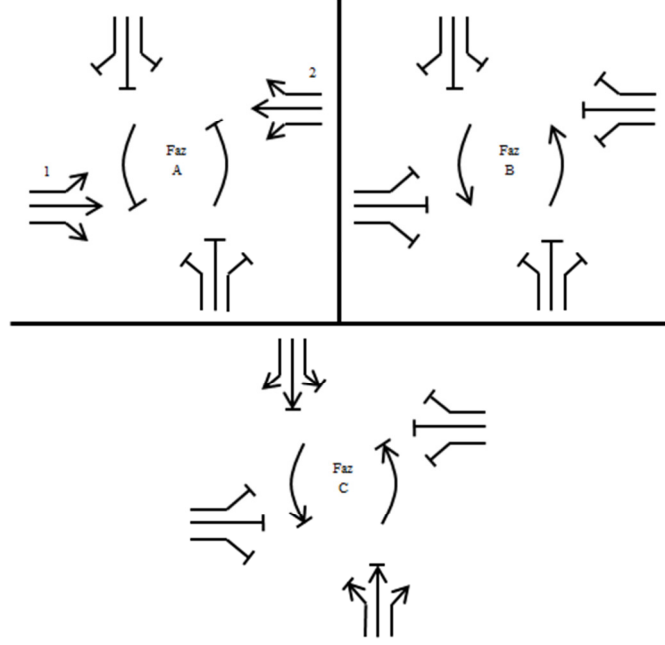
Artan yeşil sürelerle bağlı olarak, devre sürelerinin de artış gösterdiği görülmektedir. Dikkat edilmesi gereken önemli bir diğer husus ise, sola dönüş hareketi yapan taşıt oranının tüm yaklaşım kollarında %30 olduğu durumda kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi büyük oranda artmıştır. Kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin artmasının en büyük sebebi, artan sola dönüş hareketi yapan taşıt hacminden dolayı, merkez ada etrafındaki depolama alanının yetersiz kalması ve buna bağlı olarak özellikle düz giden taşıtların hareketlerinin sola dönüş yapan taşıtlar tarafından engellenmesi ve kesintiye uğratılmasıdır. Ayrıca, Tablo 5.19' da, sola dönüş hareketi yapan taşıt oranı arttıkça, ortalama taşıt gecikmelerinin arttığı görülmektedir. Ortalama taşıt gecikmesi, sola dönüş oranının kavşağın tüm yaklaşım kollarında %5 olduğu durumda 37.032 sn/ta iken, %30 olduğu durumda yaklaşık 3 kat artış göstererek 98.723 sn/ta elde edilmiştir.

- **Sinyalize Dönel Kavşak – Üç Fazlı Denetim**

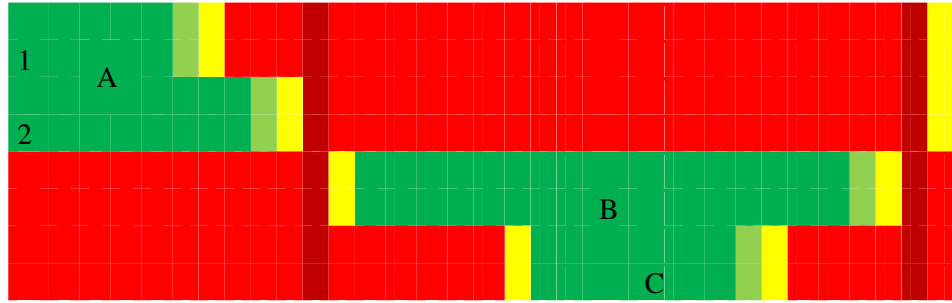
Sinyalize dönel kavşakların üç fazlı denetim tekniği ile yönetilmesi de mümkündür. EK A.1 – A.12 dikkatle incelendiğinde, kuzey ve güney yaklaşım kollarındaki saatlik trafik hacimlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu yüzden, üç fazlı denetimde bu iki yaklaşım koluna aynı anda geçiş hakkı verilmiştir. Ayrıca, kuzey ve güney yaklaşım kollarındaki taşıt sayısına da bağlı olarak, tüm örnek durumlar (senaryolar) için, bu yaklaşım kollarında sola dönecek olan taşıt sayısının da oldukça az olduğu sonucuna kolayca ulaşılmaktadır. Sola dönüş hareketi yapacak olan taşıt sayısı az olduğu için (devrede maksimum 2 taşıt), bu iki yaklaşım kolundaki taşıtların birbirleri ile çakışma olasılığı da oldukça düşüktür. Bu nedenle kaza olasılığı bakımından aşırı bir risk teşkil etmediği için, kuzey ve güney yaklaşım koluna aynı anda geçiş hakkı tanınması uygun görülmektedir.

Sinyalize dönel kavşaktaki trafiği üç fazlı denetim tekniği ile yönetmenin dezavantajları olduğu gibi, bazı avantajları da bulunmaktadır. Üç fazlı denetimin uygulandığı kavşaklarda, trafik kazası görülme olasılığı dört fazlı denetimin uygulandığı kavşaklara nazaran daha fazla olmasına rağmen, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri dört fazlı denetime nazaran daha azdır. Ana akımın bulunduğu kavşak yaklaşım kollarındaki taşıtların bekleme sürelerinin azalması (bekleme süresi bir faz süresi kadar azalmaktadır) kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin azalmasında önemli bir etkidir. Şekil 5.21' de sinyalize dönel kavşağın üç fazlı

yönetilmesi durumunda uygulanacak olan faz planı, Şekil 5.22’ de ise üç fazlı denetim durumunda, kavşaktaki sinyalizasyon uygulamasına ait devre diyagramı gösterilmektedir.



**Şekil 5.21:** Sinyalize Dönel Kavşak Faz Planı – Üç Fazlı Denetim



**Şekil 5.22:** Sinyalize Dönel Kavşak Devre Diyagramı – Üç Fazlı Denetim

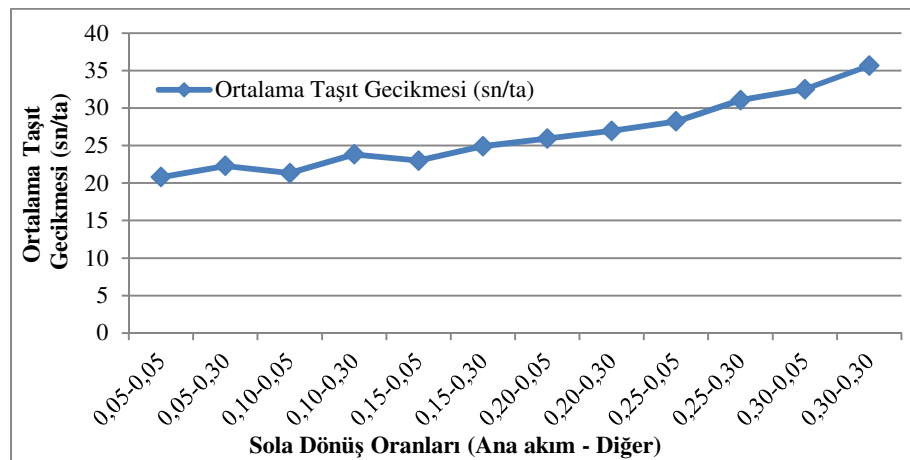
Sidra Intersection programı ile sinyalize dönel kavşak tasarımı ve sinyalize dönel kavşak sinyal optimizasyonu yapılamamaktadır. Bu yüzden, farklı örnek durumlar (senaryolar), sola dönüş hacimleri dikkate alınmayarak, Sidra Intersection programı ile sinyalize kavşak analizine benzer bir şekilde analiz edilmiş ve kavşak yaklaşım kollarındaki optimum yeşil süreler, program yardımı ile elde edilmiştir. Merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sistemine ait yeşil süreler ise, sola dönen trafik hacimleri göz önünde bulundurularak, dört fazlı sinyalize dönel kavşak yönetiminde belirtildiği şekilde elde edilmiştir.

Tablo 5.20' de, tüm senaryolar için, fazlara ait yeşil süreler, devre süreleri ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri verilmektedir.

**Tablo 5.20:** Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıt Gecikmesi (Sinyalize Dönel Kavşak - Üç Fazlı Denetim)

Senaryo No	Sola Dönüş Oranı (Ana akım - Diğer)	A [1 - 2] (sn)	B (sn)	C (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Gecikme (sn/ta)
1	%5 - %5	17 - 21	25	8	60	20.799
2	%5 - %30	18 - 23	28	11	65	22.291
3	%10 - %5	17 - 21	25	8	60	21.318
4	%10 - %30	18 - 23	28	11	65	23.818
5	%15 - %5	17 - 21	25	8	60	22.998
6	%15 - %30	18 - 23	28	11	65	24.913
7	%20 - %5	17 - 21	25	8	60	25.940
8	%20 - %30	18 - 23	28	11	65	26.949
9	%25 - %5	18 - 22	29	10	65	28.217
10	%25 - %30	20 - 24	32	13	70	31.048
11	%30 - %5	21 - 25	31	10	70	32.507
12	%30 - %30	23 - 27	34	13	75	35.642
<b>Sarı Süre: 2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 3 sn</b>						

Tablo 5.20' den, sola dönüş oranının artması ile birlikte ada etrafındaki sinyalizasyon sistemlerinin yeşil sürelerinin de arttığı ve buna bağlı olarak devre sürelerinin de artış gösterdiği sonucuna ulaşılabilmektedir. Ayrıca, ortalama taşıt gecikmesi sonuçları dikkatle incelendiğinde, ilk altı örnek durumda, ortalama taşıt gecikmelerinin sıra ile artıp azaldığı, yedinci örnek durumdan itibaren ise ortalama taşıt gecikmelerinin sürekli olarak artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 5.23' de, örnek durumlara ait ortalama taşıt gecikmelerinin değişimi görülmektedir.



**Şekil 5.23:** Üç Fazlı Sinyalize Dönel Kavşak – Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Şekil 5.23' den görüldüğü üzere, ilk 6 örnek durumda, ana akımdaki sola dönüş oranları aynı olduğunda ve tali yollardaki sola dönüş oranı arttıkça, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi de artmaktadır (2., 4. ve 6. örnek durum). Kuzey ve güney yaklaşım kollarındaki akımlara aynı anda geçiş hakkı verildiğinden ve bu örnek durumlarda, taşıtların birbiri ile kesişme olasılığını artıran sola dönüş hareketleri mevcut olduğu için sürücüler söz konusu örnek durumlarda herhangi bir kazaya sebep olmamak adına daha temkinli, hızlarını yavaşlatmış olarak seyirlerine devam etmek zorundadırlar. Bu durum kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin artmasına sebep olmaktadır. Fakat bu örnek 6 durum için, ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki (doğu ve batı) sola dönüş oranı artırılıp, kuzey ve güney yaklaşım kollarındaki akımların sola dönüş oranları azaltıldığında ortalama taşıt gecikmelerinin kendilerinden önceki örnek durumlara göre azaldığı görülmektedir (3. ve 5. örnek durum). Aynı fazda hareket önceliği verilen kuzey ve güney yaklaşım kollarındaki akımların sola dönüş oranlarının çok az düzeyde (%5) olmasından dolayı sola dönüş yapacak olan taşıtların birbirlerini çok fazla etkilememeleri, 3. ve 5. örnek durumların, 2. ve 4. örnek durumlara göre daha az ortalama taşıt gecikmesine sahip olduklarının göstergesidir. Aynı zamanda, doğu ve batı yaklaşım kollarında sola dönüş oranının artırılıp, kuzey ve güney yaklaşım kollarındaki akımların sola dönüş oranları sabit tutulduğunda, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin arttığı görülmektedir (1., 3. ve 5. örnek durum). Bu durum da, sola dönüş oranının fazla olmasının, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesini artırdığını desteklemektedir. Şekil 5.23' den, ana akımın bulunduğu doğu ve batı yaklaşım kollarındaki sola dönüş oranı belirli bir seviyeye ulaştıktan sonra (örnek durumlar için 0.15), ortalama taşıt gecikmelerinin sürekli artış gösterdiği sonucu çıkarılmaktadır. Ana akımda sola dönüş hareketi yapan taşıtlar, özellikle düz giden taşıtların hızlarını azaltmalarına sebep olmakta ve hatta sola dönüş hareketi oranı arttıkça merkez ada etrafındaki depolama alanı yetersizliği vb. durumlardan dolayı düz giden taşıtların hareketini kısa süreli de olsa engellemektedirler. Bu durum, ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarında belirli bir sola dönüş oranından sonra, sola dönüş oranı arttıkça ortalama taşıt gecikmesinin de sürekli artacağına bir göstergesi olmaktadır.

Aynı örnek durumlar için, genel olarak faz sayısı azaldıkça devre süresi de azalmaktadır.

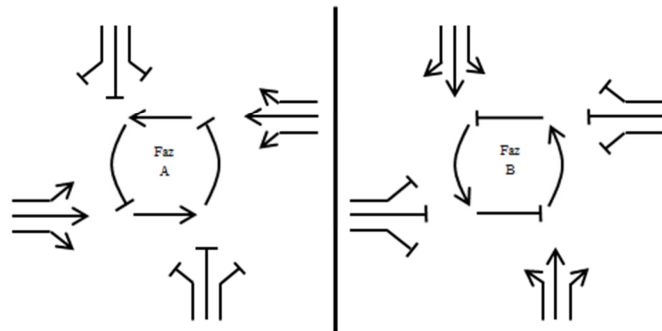
Tablo 5.19 ve Tablo 5.20 dikkatle incelendiğinde, üç fazlı yönetilen sinyalize dönel kavşağın devre sürelerinin, dört fazlı yönetilen sinyalize dönel kavşağa nazaran daha az olduğu görülmektedir. Buradan optimum sinyal süresi ataması yapılan, üç fazlı sinyalize dönel kavşakta kaybedilen sürenin, dört fazlı sinyalize dönel kavşakta kaybedilen süreden daha az olduğu sonucuna varılmaktadır.

Üç fazlı denetim tekniği uygulanan sinyalize dönel kavşaktaki yaklaşım kollarının tümünde, sola dönüş hareketi yapan taşıt oranı %5 iken ortalama taşıt gecikmesi 20.799 sn/ta elde edilmiştir. Oran, tüm yaklaşım kollarında %30' a çıkartıldığında ise ortalama taşıt gecikmesi yaklaşık 1.7 kat artarak 35.642 sn/ta elde edilmiştir.

#### • Sinyalize Dönel Kavşak – 2 Fazlı Denetim

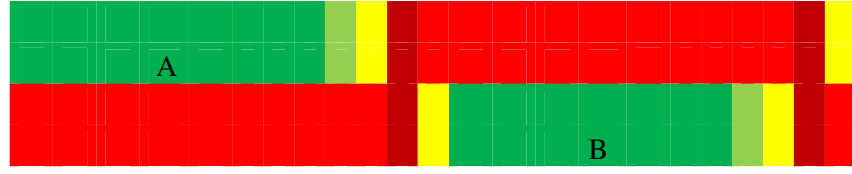
Sinyalize dönel kavşaklarda trafik denetiminin bir yöntemi de iki fazlı çözümlerdir. Bu tür çözümlerde, kavşağın karşılıklı yaklaşım kollarındaki taşıtlara aynı fazda geçiş hakkı verilmektedir. Sola dönüşlerin her iki fazda da engellendiği bu yöntemde, Taşıtların birbirleri ile kesişme olasılığı oldukça düşüktür. Buna bağlı olarak kaza olasılığının da düşük olduğu söylenebilmektedir.

İki fazlı denetim, kavşak yaklaşım kollarındaki sola dönüş oranlarının çok fazla olduğu durumlarda, merkez ada etrafındaki depolama alanının taşıt depolaması için yetersiz kalması halinde uygun bir çözüm olarak görülmemektedir. Bu gibi durumlarda kavşağın üç veya daha fazla fazlı yönetilmesi uygundur. Şekil 5.24' de sinyalize dönel kavşağın iki fazlı yönetilmesi durumunda uygulanacak olan faz planı gösterilmektedir.



Şekil 5.24: Sinyalize Dönel Kavşak Faz Planı – İki Fazlı Denetim

Sinyalize dönel kavşağın iki fazlı yönetilmesi durumunda, kavşaktaki sinyalizasyon sistemine ait devre diyagramı Şekil 5.25’ de gösterilmektedir.



**Şekil 5.25:** Sinyalize Dönel Kavşak Devre Diyagramı – İki Fazlı Denetim

Tablo 5.21’ de ise, tüm senaryolar için, fazlara ait yeşil süreler, devre süreleri ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri verilmektedir.

**Tablo 5.21:** Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıt Gecikmesi (Sinyalize Dönel Kavşak - İki Fazlı Denetim)

Senaryo No	Sola Dönüş Oranı (Ana akım - Diğer)	A (sn)	B (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Gecikme (sn/ta)
1	%5 - %5	31	10	55	12.557
2	%5 - %30	26	10	50	13.406
3	%10 - %5	26	10	50	13.901
4	%10 - %30	21	10	45	14.601
5	%15 - %5	16	10	40	17.694
6	%15 - %30	16	10	40	18.826
7	%20 - %5	17	14	45	21.095
8	%20 - %30	19	12	45	21.191
9	%25 - %5	16	10	40	26.573
10	%25 - %30	17	14	45	29.352
11	%30 - %5	16	10	40	35.088
12	%30 - %30	17	14	45	43.578
<b>Sarı Süre: 2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 3 sn</b>					

Tablo 5.21’ de farklı senaryolar için, ana akımın bulunduğu kavşak yaklaşım kollarına ait faz süreleri (A fazı), diğer yaklaşım kollarına ait faz süreleri (B fazı) ve kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin devre süreleri verilmektedir. Devre süreleri incelendiğinde, faz sayısına da bağlı olarak, sürelerin hem üç fazlı hem de dört fazlı sinyalize dönel kavşakların devre sürelerinden daha az olduğu görülmektedir. Bu durum, ayrıca kavşak yaklaşım kollarında bulunan taşıtların daha az zaman kaybetmesi anlamına da gelmektedir. Tablo 5.21 dikkatle incelendiğinde, sinyalize dönel kavşaklar için, iki fazlı trafik denetimindeki ortalama taşıt gecikmesi sonuçlarının çoğunun (sola dönüş oranlarının fazla olduğu 11. ve 12. durum hariç) hem üç fazlı hem de dört fazlı denetime kıyasla daha az olduğu görülmektedir. Fakat

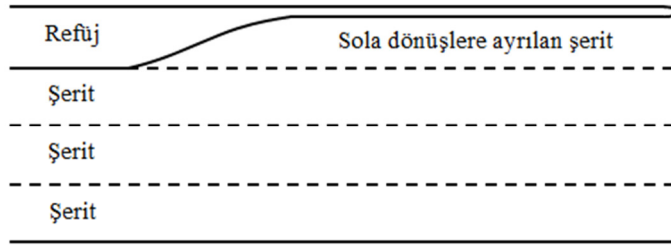
11. ve 12. örnek durumda, üç fazlı denetimde ortalama taşıt gecikmeleri sırası ile 32.507 sn/ta ve 35.642 sn/ta iken, iki fazlı denetimde 35.088 sn/ta ve 43.578 sn/ta elde edilmiştir. Bu durum, sola dönüş oranının fazla olduğu durumlarda sinyalize dönel kavşakların iki fazlı denetiminin etkin bir şekilde yapılamadığının bir göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı şekilde 3 fazlı yönetilen kavşaklarda sola dönüş oranının fazla olduğu durumda da kavşak etkin bir şekilde yönetilemediği için kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi oldukça artmaktadır. Böyle durumlarda, faz sayısını arttırmak, ortalama taşıt gecikmesini önceki duruma göre azaltmak için etkin bir çözüm olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

Ayrıca kavşak yaklaşım kollarındaki sola dönüş oranı arttıkça, tıpkı diğer tür trafik denetimleri gibi (sinyalize dönel kavşak - üç fazlı denetim, sinyalize dönel kavşak - dört fazlı denetim), sinyalize dönel kavşağın iki fazlı yönetilmesi ile de ortalama taşıt gecikmeleri artmıştır. İki fazlı yönetilen sinyalize dönel kavşaktaki yaklaşım kollarının tümünde, sola dönüş hareketi yapan taşıt oranı %5 iken ortalama taşıt gecikmesi 12.557 sn/ta, oran tüm yaklaşım kollarında %30 a çıkartıldığında ise ortalama taşıt gecikmesi yaklaşık 3.5 kat artarak 43.578 sn/ta elde edilmiştir.

#### **5.2.2.4 Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşaklar**

Trafikte, kritik sola dönüş hareketlerinin tehlikeli ve istenmeyen sonuçlar meydana getirmesini önlemek amacı ile uygulanan trafik yönetimi tekniklerinden birisi de sola dönüş cepli kavşak uygulamasıdır. Bu tür kavşaklar sinyalizasyon sistemine gerek duyulmadan tasarlanabildiği gibi, trafiğin yoğun olduğu ve trafik yönetiminin çok zor hale geldiği durumlarda sinyalizasyon sistemi ile birlikte de tasarlanmaktadır.

Sola dönüş cebi, sola dönüşlerin fazla olduğu akımların bulunduğu kavşak yaklaşım kollarında, trafiğin daha düzenli ve kesintisiz hareketine olanak sağlamak amacı ile tasarlanmakta ve yalnızca sola dönen taşıt trafiğine hizmet etmektedir. Ayrıca, cep uzunluğu, araçların güvenli ve konforlu bir şekilde yavaşlamasını sağlayacak şekilde ve sola dönüş hareketi yapacak olan trafik hacmi dikkate alınarak belirlenmelidir (Tunç 2003). Şekil 5.26' da sola dönüş cepli kavşağın, kavşak yaklaşım kolu planı görülmektedir.



**Şekil 5.26:** Sola Dönüş Cepli Kavşakta Kavşak Yaklaşım Kolu Planı

Bu tür kavşaklarda sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtlar, kavşağa belli bir mesafe kala seyirlerine, kendilerine ayrılmış olan şeritte devam ettikleri için düz giden ve sağa dönen taşıtların hızlarını kesmemekte ve bu durum taşıtların gereksiz yere zaman kaybetmesini engellemektedir. Böylece, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin önemli miktarda azaltılmasına da imkân sağlanmaktadır. Sola dönen saatlik trafik hacminin fazla olduğu kavşakların, sola dönüş cepli kavşak ve sola dönüş cepli sinyalize kavşak olarak tasarlanması uygundur. Örnek durumlar (senaryolar) için, kavşaktaki yüksek trafik hacimlerinden dolayı (özellikle ana akımda) yalnızca sola dönüş cepli sinyalize kavşak uygulaması yapılmıştır.

Farklı sola dönüş oranlarına sahip örnek durumlar (senaryolar) için, ana akımın bulunduğu her iki yönde, 75 metre uzunluğunda ve 3.5 metre genişliğinde sola dönüşlere ayrılmış şeride sahip tip kavşak kullanılarak ve çeşitli faz planları göz önünde bulundurularak, ortalama taşıt gecikmeleri tespit edilmiştir.

- **Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak – Dört Fazlı Denetim**

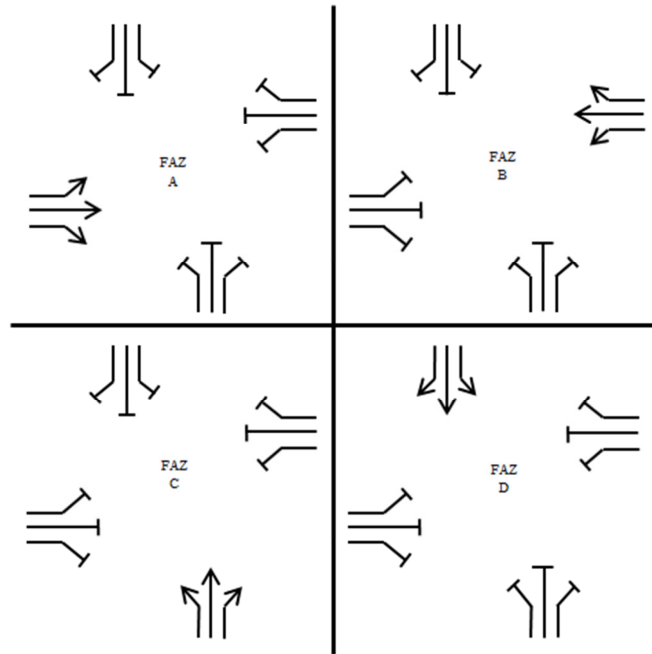
Sola dönüş cepli sinyalize kavşağın dört fazlı yönetilmesi aşamasında, on yedi farklı örnek durum (senaryo) dikkate alınmıştır. Oluşturulan senaryolara ait kavşak yaklaşım kolu bazlı trafik hacimleri EK A.1 – A.17’ de detaylı olarak verilmektedir.

Söz konusu örnek durumlar için sinyal süreleri, Sidra Intersection programı ile elde edilmiş, bu süreler Vissim simülasyon programına aktarılarak, farklı sola dönüş oranlarına sahip örneklerin tümü için simülasyon yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda her bir örnek durum için ortalama taşıt gecikmesi elde edilmiştir.

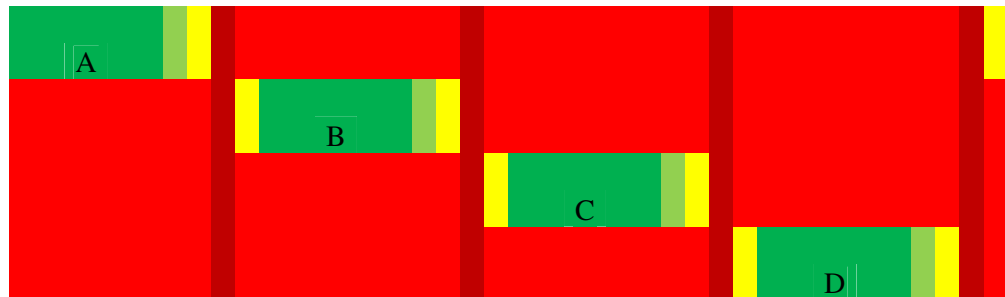


Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşaklarının dört fazlı denetim şekli, sinyalizasyon kavşaklarının dört fazlı denetimi ile oldukça benzerlik göstermektedir. Dört fazlı kavşak denetimi ile kavşaktaki her bir yaklaşım koluna sıra ile geçiş hakkı tanınmakta ve böylece kavşakta meydana gelebilecek olası kaza riski minimum düzeye indirilmektedir.

Şekil 5.27’ de sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşağının dört fazlı yönetilmesi durumunda uygulanacak olan faz planı, Şekil 5.28’ de ise dört fazlı denetim durumunda, kavşaktaki sinyalizasyon uygulamasına ait devre diyagramı gösterilmektedir.



**Şekil 5.27:** Sola Dönüş Cepli Sinyalizasyon Kavşak Faz Planı - Dört Fazlı Denetim



**Şekil 5.28:** Sola Dönüş Cepli Sinyalizasyon Kavşak Devre Diyagramı – Dört Fazlı Denetim

Tablo 5.22’ de ise, tüm senaryolar için, fazlara ait yeşil süreler, devre süreleri ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri verilmektedir.

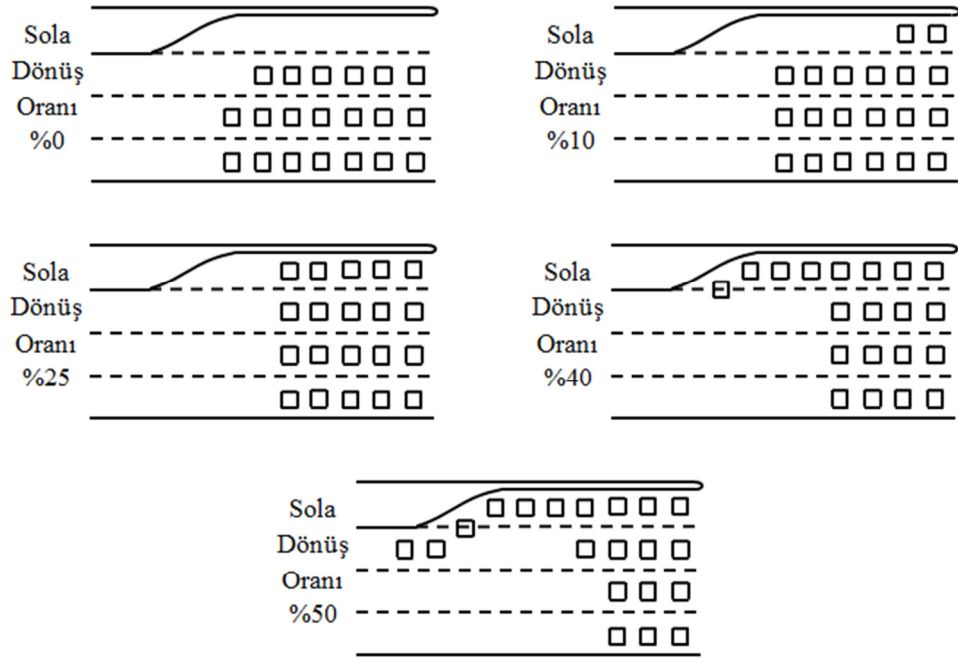
**Tablo 5.22:** Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıt Gecikmesi  
(Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak – 4 Fazlı Denetim)

Senaryo No	Sola Dönüş Oranı (Ana akım - Diğer)	A (sn)	B (sn)	C (sn)	D (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Gecikme (sn/ta)
1	%5 - %5	27	31	8	11	105	35.411
2	%5 - %30	29	33	8	12	110	36.829
3	%10 - %5	24	29	8	11	100	34.075
4	%10 - %30	26	31	8	12	105	36.626
5	%15 - %5	24	29	8	11	100	33.471
6	%15 - %30	22	26	8	11	95	33.297
7	%20 - %5	20	24	8	10	90	31.207
8	%20 - %30	20	24	8	10	90	32.242
9	%25 - %5	16	20	8	8	80	30.29
10	%25 - %30	16	20	8	8	80	31.162
11	%30 - %5	18	23	8	8	85	30.989
12	%30 - %30	16	20	8	8	80	31.948
13	%35 - %5	19	22	8	8	85	32.328
14	%35 - %30	19	22	8	8	85	33.455
15	%40 - %5	19	22	8	8	85	34.511
16	%40 - %30	19	22	8	8	85	35.717
17	%45 - %5	19	22	8	8	85	70.083
<b>Sarı Süre: 2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 3 sn</b>							

Tablo 5.22 dikkatle incelendiğinde, kavşak yaklaşım kollarında sola dönüş oranları arttıkça, devre süresinin azaldığı ve bir müddet sonra devre süresinin sabit bir şekilde devam ettiği görülmektedir. Devre süresinin başlangıçta yüksek olmasının sebebi sola dönen taşıt sayısının çok fazla olmamasıdır. Sola dönüş hareketinin fazla olmadığı durumlarda, sola dönüşler için ayrılmış olan şerit yeterince kullanılmamakta, kavşak yaklaşım kolundaki taşıtlar sinyalize kavşaklardaki durumlara benzer olarak yaklaşım kolundaki diğer şeritleri kullanmaktadır. Fakat sola dönüş oranı arttıkça yaklaşım kolunda sola dönüşler için ayrılmış olan şerit daha fazla kullanılmakta ve kullanılan şerit sayısına bağlı olarak, sinyalizasyon sisteminin optimum devre süresi önemli miktarda azalmaktadır. Optimum devre süresinin azalmasının sebebi, Şekil 5.29’ da detaylı bir şekilde anlatılmaktadır

Şekil 5.29’ da, bir devrede, kavşaktaki herhangi bir yaklaşım kolunda bulunan taşıt sayısının 20 olduğu varsayılmış ve aynı yaklaşım kolunda sola dönüş

oranlarının sırası ile %0, %10, %25, %40 ve %50 olduğu kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak söz konusu kavşak yaklaşım kolundaki taşıtların şeritlerdeki sıralanışları ve şerit düzenleri temsili olarak gösterilmektedir.



**Şekil 5.29:** Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşakta Farklı Sola Dönüş Oranları İçin Taşıtların Şeritlerdeki Sıralanışları ve Şerit Düzenleri

Şekil 5.29' dan görüldüğü üzere, sola dönüş oranının düşük olduğu durumlarda sola dönüş cepli sinyalize kavşağın, aynı faz sayısına sahip sinyalize kavşak ile birbirine çok yakın optimum devre sürelerine sahip olması, yaklaşım kollarında taşıtların kullandığı şerit sayısı aynı olduğu için, oldukça normal bir durumdur. Sola dönüş oranı arttıkça, sola dönüşler için ayrılmış olan şerit daha fazla kullanılmakta ve bu durumda kavşak yaklaşım kolundaki taşıt sıra sayıları azalmaktadır. Şekil 5.29' daki örnek durum için, sola dönen taşıt oranı %0 iken yaklaşım kolunda bulunan taşıtlar 7 sıra halinde dizilmesine rağmen, sola dönen taşıt oranı % 10' a çıkartıldığında taşıt sıra sayısı 6' ya, sola dönen taşıt oranı %25' e çıkartıldığında ise sıra sayısı 5' e düşmüştür. Bir başka dikkat edilmesi gereken nokta ise, sola dönüş oranının daha fazla arttırıldığı durumlarda, sola dönüş cebi uzunluğu yetersiz kalmakta ve taşıt sıra sayısı da artış göstermektedir. Nitekim örnek durum için, sola dönüş oranı %40' a çıkartıldığında taşıt sıra sayısı 8' e, sola dönüş oranı %50' ye çıkartıldığında ise taşıt sıra sayısı 10 a yükselmiştir.

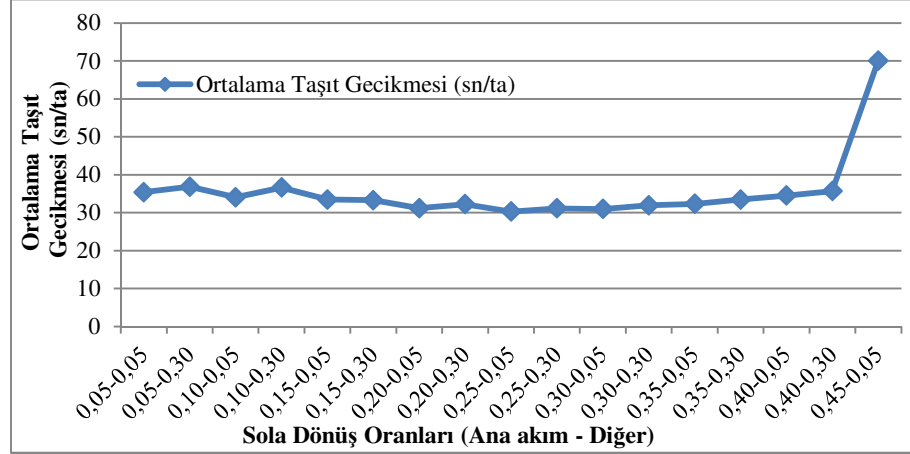
Diğer kavşak türlerinin aksine, sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşaklarda, belirli bir sola dönüş oranına kadar, sola dönüş oranı arttıkça kavşak yaklaşım kolundaki taşıt sıra sayısı azaldığı için, yaklaşım kolundaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süreleri de azalmakta (optimum çözüm için) ve buna bağlı olarak sinyalizasyon sisteminin devre süreleri de önemli miktarda azalmaktadır. Böylece, taşıtlar kavşak yaklaşım kolunda daha az bekleyerek, kavşağı daha kısa sürede terk etmekte ve buna bağlı olarak da kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi azalan bir eğilim göstermektedir. Fakat sola dönüş oranı söz konusu eşik değeri aştığında, sola dönüş cebinde sıralanan taşıt sayısı artmakta ve bu durum yaklaşım kolundaki taşıt sıra sayısının da artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, sola dönüş oranının artması ile birlikte sola dönüşlere ayrılmış olan şeritteki taşıtların sayısı artmakta ve söz konusu taşıtlar için, sola dönüş cebi uzunluğu yetersiz kalmaktadır. Böylece sola dönüş cebi yanındaki şeritte bulunan ve sola dönecek olan taşıtlar, bu şeritte hareketlerine düz devam edecek olan taşıtların hareketini engellemekte ve kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin sürekli artmasına sebep olmaktadır.

Tablo 5.22 'de, 12. örnek duruma (eşik değeri 12. örnek durum) kadar özellikle, ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki yeşil sürelerin ve buna bağlı olarak da devre sürelerinin azaldığı görülmektedir. 12. örnek durumdan itibaren ise devre süresi sabit kalmış, ortalama taşıt gecikmesi artmıştır. Bu durumda ortalama taşıt gecikmesini arttıran en önemli etken, sola dönüş yapacak olan taşıtların kavşakta uzun süre beklemeleridir. Sola dönüş yapan taşıt hacminin fazla olduğu durumlarda, sola dönüşler için ayrı bir faz verilip, sola dönen trafik hacmi de dikkate alınarak faza ait optimum yeşil sürelerin belirlenmesi, ortalama taşıt gecikmesinin azaltılması açısından etkin bir çözüm olarak sunulmaktadır.

Ana akımlardaki sola dönüş oranı %5 iken kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi 35.411 sn/ta elde edilirken, sola dönüş oranı %45'e çıkartıldığında ortalama taşıt gecikmesi yaklaşık 2 kat artarak 70.083 sn/ta elde edilmiştir.

Bu verilere dayanarak, sola dönen taşıt hacminin çok fazla olmadığı durumlarda (eşik değeri aşmadığı durumlarda), dört fazlı sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak uygulamasının, hem ortalama taşıt gecikmelerinin, hem de çoğunlukla sola dönüş hareketlerinden dolayı meydana gelen trafik kazalarının olasılığının azaltılmasında, etkin bir trafik yönetimi tekniği olduğu söylenebilmektedir.

Şekil 5.30' da, dört fazlı sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak uygulaması için, örnek durumlara (senaryolara) ait ortalama taşıt gecikmelerinin değişimi grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.30: Dört Fazlı Sola Dönüş Cepli Sinyalizasyon Kavşak – Ortalama Taşıt Gecikmeleri

- **Sola Dönüş Cepli Sinyalizasyon Kavşak – Üç Fazlı Denetim**

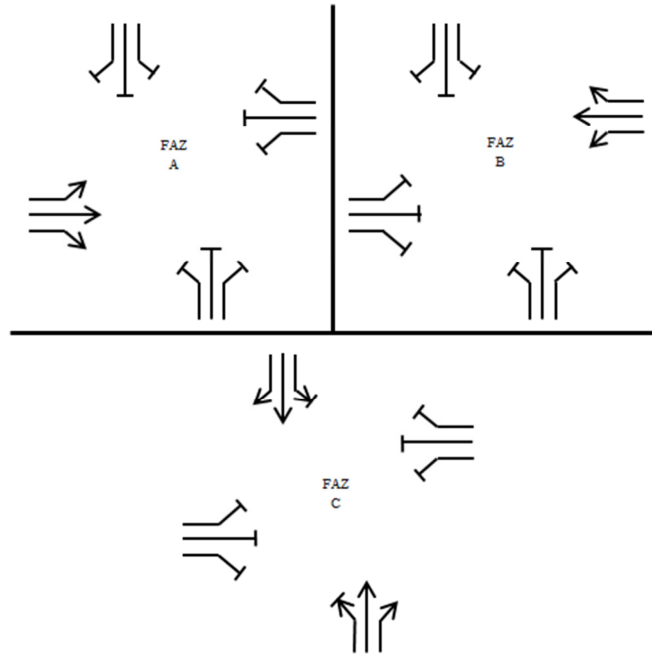
Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşağın üç fazlı yönetilmesi aşamasında, on dokuz farklı örnek durum (senaryo) dikkate alınmıştır. Oluşturulan senaryolara ait kavşak yaklaşım kolu bazlı trafik hacimleri EK A.1 – A.19' da detaylı olarak verilmektedir.

Söz konusu örnek durumlar için sinyal süreleri, Sidra Intersection programı ile elde edilmiş, bu süreler Vissim simülasyon programına aktarılarak, farklı sola dönüş oranlarına sahip örneklerin tümü için simülasyon yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda her bir örnek durum için ortalama taşıt gecikmesi elde edilmiştir.

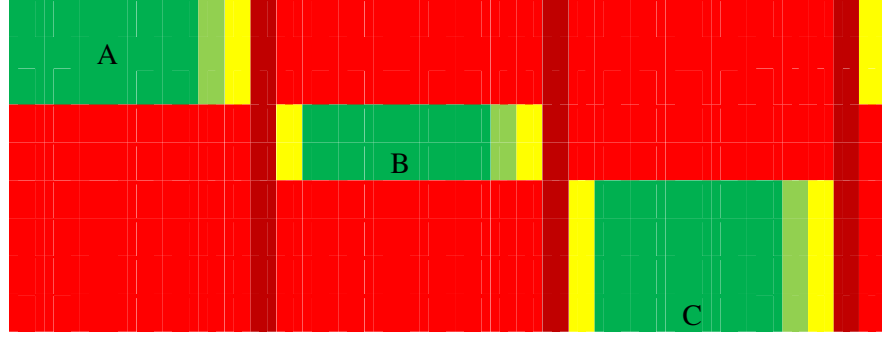
Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşakların üç fazlı denetim şekli, sinyalizasyon kavşakların üç fazlı denetimi ile oldukça benzerlik göstermektedir. Bu denetim tekniğinde de, yaklaşım kollarındaki saatlik trafik hacminin 300 ta/sa bile olmadığı kuzey ve güney yaklaşım kollarındaki taşıtlara aynı anda geçiş hakkı verilmiştir. Söz konusu yaklaşım kollarındaki saatlik taşıt hacimlerine bağlı olarak, sola dönüş

hareketi yapan taşıt hacimleri de fazla olmadığı için, kuzey ve güney yaklaşım kolları girişlerinde “YOL-VER” kontrollü trafik denetimi uygulanmıştır. Bu tür kavşaklarda, kavşakta meydana gelebilecek trafik kazası olasılığı tamamen, sürücülerin sahip olduğu trafik kültürü (trafik eğitimi) ile ve sürücülerin dikkat düzeyi ile ilişkilendirilebilmektedir. Ayrıca üç fazlı sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşaklarda trafik kazası görülme olasılığı dört fazlı sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşaklara nazaran daha fazla olsa da, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi dört fazlı denetime kıyasla daha azdır. Ana akımın bulunduğu kavşak yaklaşım kollarındaki taşıtların bekleme sürelerinin azalması (bekleme süresi bir faz süresi kadar azalmaktadır) kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin azalmasında önemli bir etkidir.

Şekil 5.31’ de sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşağın üç fazlı yönetilmesi durumunda uygulanacak olan faz planı, Şekil 5.32’ de ise üç fazlı denetim durumunda, kavşaktaki sinyalizasyon uygulamasına ait devre diyagramı gösterilmektedir. Tablo 5.23’ de ise, tüm senaryolar için, fazlara ait yeşil süreler, devre süreleri ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri verilmektedir.



**Şekil 5.31:** Sola Dönüş Cepli Sinyalizasyon Kavşak Faz Planı – Üç Fazlı Denetim



**Şekil 5.32:** Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Devre Diyagramı – Üç Fazlı Denetim

**Tablo 5.23:** Faz Süreleri, Devre Süreleri ve Ortalama Taşıt Gecikmesi (Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak – 4 Fazlı Denetim)

Senaryo No	Sola Dönüş Oranı (Ana akım - Diğer)	A (sn)	B (sn)	C (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Gecikme (sn/ta)
1	%5 - %5	19	22	8	70	22.610
2	%5 - %30	20	24	10	75	23.755
3	%10 - %5	17	19	8	65	21.911
4	%10 - %30	18	21	10	70	22.121
5	%15 - %5	17	19	8	65	21.246
6	%15 - %30	16	19	9	65	21.386
7	%20 - %5	16	19	9	65	21.428
8	%20 - %30	16	19	9	65	21.682
9	%25 - %5	16	20	8	65	21.766
10	%25 - %30	16	19	9	65	22.149
11	%30 - %5	16	20	8	65	21.836
12	%30 - %30	16	20	8	65	22.253
13	%35 - %5	16	20	8	65	21.879
14	%35 - %30	16	20	8	65	22.392
15	%40 - %5	19	22	8	70	23.664
16	%40 - %30	16	20	8	65	24.491
17	%45 - %5	19	22	8	70	26.023
18	%45 - %30	19	22	8	70	26.714
19	%50 - %5	19	22	8	70	39.264
<b>Sarı Süre: 2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 3 sn</b>						

Tablo 5.22 ve Tablo 5.23 dikkatle incelendiğinde, aynı örnek durumlar için, üç fazlı yönetilen sola dönüş cepli sinyalize kavşak ile elde edilen ortalama taşıt gecikmelerinin, dört fazlı yönetilen sola dönüş cepli sinyalize kavşak ile elde edilen ortalama taşıt gecikmelerine kıyasla daha az olduğu görülmektedir. Faz sayısındaki azalmaya bağlı olarak, ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki taşıtların bekleme sürelerinin azalması bu durumu desteklemektedir.

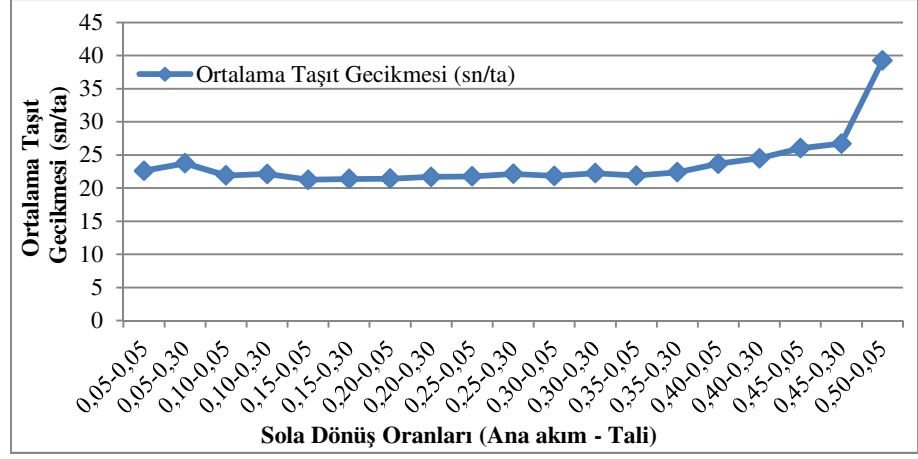
Üç fazlı sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak uygulaması ile elde edilen devre süreleri, dört fazlı sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak uygulaması ile elde edilen devre sürelerinden daha azdır. Bu durumda, faz sayısındaki azalmanın, devre sürelerini de etkilediği açıkça görülmektedir. Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşaklarda, diğer tip (sinyalizasyon kavşak, sinyalizasyon dönel kavşak) kavşakların aksine, sola dönüş oranı arttıkça, sola dönüş cebi (şeridi) kullanımı da arttığı için, devre süreleri azalmakta ve buna bağlı olarak ortalama taşıt gecikmeleri de azalan bir eğilim göstermektedir. Fakat tıpkı dört fazlı sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak uygulamasındaki gibi, üç fazlı sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak uygulamasında da, belirli sola dönen trafik hacmi (eşik değeri) aşıldığında ortalama taşıt gecikmelerinde büyük bir artış yaşanacağı kaçınılmazdır. Tablo 5.23' den görüldüğü üzere, 14. Örnek durum sonrasında hem devre sürelerinde hem de ortalama taşıt gecikmelerinde artış eğilimi görülmeye başlanmıştır. Bu durumda sola dönüşler için ayrı bir faz planlaması yapılması ve bu faz planı için optimum yeşil sürenin belirlenmesi, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerini azaltmak için etkin bir çözüm olarak sunulmaktadır.

Üç fazlı çözümde, ana akımlardaki sola dönüş oranı %5 iken kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi 22.610 sn/ta elde edilirken, sola dönüş oranı %50' ye çıktığında ortalama taşıt gecikmesi yaklaşık 1.7 kat artarak 39.264 sn/ta elde edilmiştir.

Bu verilere dayanarak, ana akımda sola dönecek olan taşıt hacminin eşik değeri aşmadığı durumlarda ve ana akımlar haricindeki kavşak yaklaşım kollarındaki saatlik trafik hacimlerinin çok fazla olmadığı durumlarda, 3 fazlı sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak uygulamasının kavşaktaki trafiği yönetmek için uygun bir çözüm olduğu söylenebilmektedir.

Şekil 5.33' de, üç fazlı sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak uygulaması için, örnek durumlara (senaryolara) ait ortalama taşıt gecikmelerinin değişimi grafiksel olarak gösterilmektedir.





**Şekil 5.33:** Üç Fazlı Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak – Ortalama Taşıt Gecikmeleri

### 5.2.3 Analizlerin Karşılaştırılması

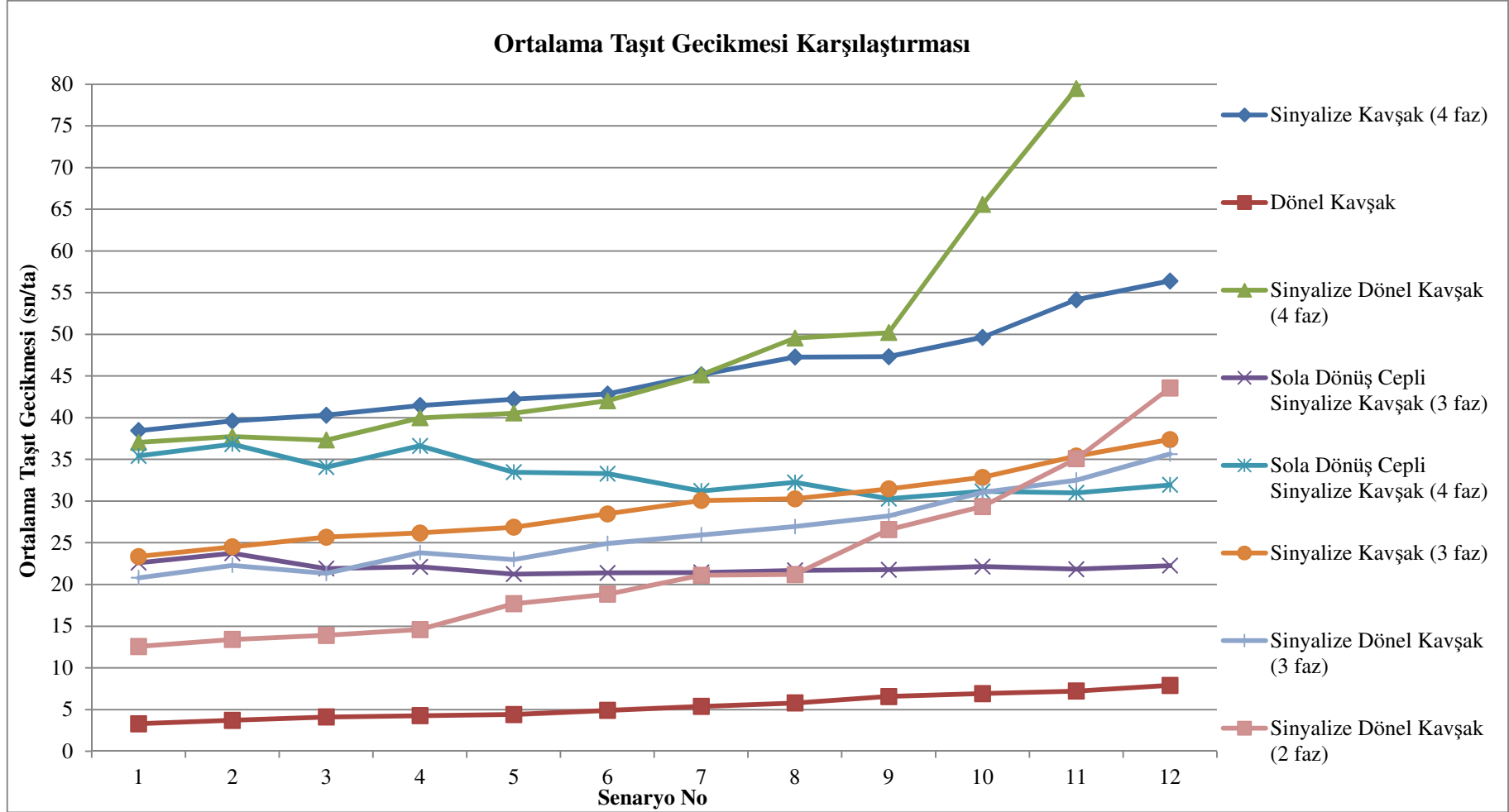
Bu çalışmada, farklı tip ve farklı özelliklere sahip (faz sayısı, faz düzeni, sinyal süreleri) kavşaklar, EK A.1 – A.12’ de kavşak yaklaşım kolu bazlı trafik hacimleri verilen örnek durumlar için, ortalama taşıt gecikmesi performans kriteri dikkate alınarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, belirtilen örnek durumlara ait, kavşak yaklaşım kollarındaki sola dönüş hareketi oranının kavşak performansını hangi yönde ve ne derece etkilediği analiz edilmiştir. Çalışma kapsamınca, 8 farklı durum incelenmiştir. İncelenen örnek durumlar ve özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- Dönel Kavşak
- Sinyalize Kavşak – Dört Fazlı Denetim
- Sinyalize Kavşak – Üç Fazlı Denetim
- Sinyalize Dönel Kavşak – Dört Fazlı Denetim
- Sinyalize Dönel Kavşak – Üç Fazlı Denetim
- Sinyalize Dönel Kavşak – İki Fazlı Denetim
- Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak – Dört Fazlı Denetim
- Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak – Üç Fazlı Denetim

Tablo 5.24’ de, farklı senaryolar için, yukarıda belirtilen 8 farklı örnek duruma ait, analiz sonuçları verilmektedir. Şekil 5.34’ de ise söz konusu analiz sonuçlarının birbirleri ile karşılaştırmaları grafiksel olarak gösterilmektedir.

**Tablo 5.24:** Farklı Senaryolar İçin, Farklı Örnek Durumlara Ait Analiz Sonuçları

Senaryo No	Sola Dönüş Oranı (%) (Ana Akım - Diğer)	Dönel Kavşak (sn/ta)	Sinyalize Dönel Kavşak - 2 faz (sn/ta)	Sinyalize Dönel Kavşak - 3 faz (sn/ta)	Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak - 3 faz (sn/ta)	Sinyalize Kavşak - 3 faz (sn/ta)	Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak - 4 faz (sn/ta)	Sinyalize Dönel Kavşak - 4 faz (sn/ta)	Sinyalize Kavşak - 4 faz (sn/ta)
1	%5 – %5	3.304	12.557	20.799	22.61	23.361	35.411	37.032	38.443
2	%5 – %30	3.703	13.406	22.291	23.755	24.515	36.829	37.741	39.602
3	%10 – %5	4.103	13.901	21.318	21.911	25.679	34.075	37.311	40.311
4	%10 – %30	4.268	14.601	23.818	22.121	26.186	36.626	39.974	41.457
5	%15 – %5	4.406	17.694	22.998	21.246	26.855	33.471	40.541	42.206
6	%15 – %30	4.895	18.826	24.913	21.386	28.471	33.297	42.013	42.84
7	%20 – %5	5.375	21.095	25.940	21.428	30.073	31.207	45.127	45.16
8	%20 – %30	5.784	21.191	26.949	21.682	30.278	32.242	49.538	47.279
9	%25 – %5	6.569	26.573	28.217	21.766	31.458	30.29	50.198	47.322
10	%25 – %30	6.919	29.352	31.048	22.149	32.843	31.162	65.563	49.64
11	%30 – %5	7.216	35.088	32.507	21.836	35.401	30.989	79.464	54.139
12	%30 – %30	7.895	43.578	35.642	22.253	37.385	31.948	98.723	56.401



Şekil 5.34: Farklı Senaryolar İçin, Farklı Örnek Durumlara Ait Analiz Sonuçları Karşılaştırması

#### 5.2.4 Karşılaştırma Sonuçları

Tablo 5.24' den görüldüğü üzere, dönel kavşaklarda, sinyalize kavşaklarda ve sinyalize dönel kavşaklarda, kavşak yaklaşım kollarında sola dönüş hareketi yapan taşıt hacmi arttıkça, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi de artmaktadır. Bu durum yalnızca, sola dönüş cepli sinyalize kavşaklarda farklıdır. Bu tip kavşaklarda, belli bir sola dönüş hareketi yapacak trafik hacmine (eşik değere) kadar sola dönüş oranı arttıkça, optimum devre süresi ve ortalama taşıt gecikmesi azalmaktadır. Sola dönecek olan taşıt hacmi arttıkça, sola dönüş cebi (şeridi) daha fazla kullanılmakta ve yaklaşım kolunda kullanılan şerit sayısı artışından dolayı, ortalama taşıt gecikmesi azalmaktadır. Fakat sola dönüş hareketi yapan taşıt hacminin daha fazla artması (eşik değeri geçmesi) ile ortalama taşıt gecikmeleri de artış göstermektedir.

Şekil 5.34' den de görüldüğü üzere, sinyalizasyon sistemi ile kontrol edilen kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmeleri, sinyal kontrolsüz kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinden daha fazladır. Fakat özellikle ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde, sinyal kontrollü kavşaklarda ortalama taşıt gecikmeleri fazla olmasına rağmen, bu tür kavşaklarda trafik kazası görülme olasılığı sinyal kontrolsüz kavşaklara göre çok daha düşüktür. Trafik güvenliği üst düzeydedir.

Sinyalizasyon sistemi ile kontrol edilen kavşaklarda, faz sayısı arttıkça kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri de artmaktadır. Şekil 5.34' de aynı örnek durumlar için, faz sayısının artması ile birlikte, farklı kavşak tiplerinin tümünde de ortalama taşıt gecikmesinin arttığı açık bir şekilde görülebilmektedir.

Analizlerde kullanılan örnek durumlar için, sola dönen trafik hacminin çok fazla olmadığı durumlarda (eşik değeri aşmadığı durumlarda) sola dönüş cepli sinyalize kavşak uygulamaları, kavşaktaki trafiği yönetmek için uygun bir tercih olmaktadır. Bu uygulama ile kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi minimize edilebilmektedir. Fakat unutulmamalıdır ki, sola dönüş cepli kavşak tasarımı için arazi yapısı, arazi alanı, topoğrafya vb. konular da oldukça önemlidir.

İki fazlı sinyalize dönel kavşak uygulamasında, ana akımların sola dönüş oranının %30 olduğu durumda (11. senaryodan itibaren), kavşaktaki ortalama taşıt

gecikmeleri, üç fazlı kavşak denetimi (üç fazlı sinyalize kavşak uygulaması, üç fazlı sinyalize dönel kavşak uygulaması, üç fazlı sola dönüş cepli sinyalize kavşak uygulaması) uygulanan senaryoların ortalama taşıt gecikmelerinden daha fazla elde edilmiştir. Bu durum, 11. ve 12. örnek durumlar için, iki fazlı trafik denetiminin mümkün olmadığını, kavşaktaki trafiğin doğru ve düzgün bir şekilde yönetilebilmesi için faz sayısının artırılması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Kısacası, söz konusu örnek durumlar için ana akımdaki sola dönüş oranının %30 olduğu durum, iki fazlı sinyalize dönel kavşak uygulaması için bir sınır olarak görülebilir. Fakat bu oran, trafik hacmi ile doğrudan bağlantılıdır ve farklı trafik hacimleri için farklılık göstermektedir.

Üç faz baz alınarak uygulanan trafik denetiminde, farklı örnek durumlar için, sinyalize kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri, sinyalize dönel kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerine her ne kadar benzer olsa da, sinyalize kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin, sinyalize dönel kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerine kıyasla daha fazla olduğu Şekil 5.34' de açıkça görülmektedir. Bu durumda sinyalize dönel kavşağa ait sinyal sürelerinin çok iyi optimize edildiği söylenebilmektedir. Sola dönüş cepli sinyalize kavşakta ise, ortalama taşıt gecikmeleri ilk iki örnek durumda sinyalize kavşaklar ve sinyalize dönel kavşaklar ile benzerlik göstermiştir. Fakat sola dönüş oranı arttıkça sola dönüş cebi (şeridi) kullanımı arttığı için optimum devre süreleri azalmış ve buna bağlı olarak diğer tip kavşaklarla kıyaslandığında ortalama taşıt gecikmeleri de azalmıştır. Dolayısıyla sola dönüş cepli sinyalize kavşak uygulamasının özellikle sola dönüş oranının arttığı fakat eşik değeri aşmadığı durumlarda avantajlı bir trafik yönetim tekniği olduğu kolaylıkla anlaşılmaktadır.

Şekil 5.34' den de görüldüğü gibi, farklı örnek durumlar için, 4 faz baz alınarak yapılan trafik denetiminde de ana akımların sola dönüş oranının %25 olduğu duruma kadar (9. örnek durum), sinyalize kavşak ve sinyalize dönel kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri birbirlerine oldukça benzemektedir. Fakat ana akımda sola dönüş hareketi yapan taşıt hacmi arttıkça, sinyalize dönel kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri de fazla miktarda artmaktadır. Bu durumun nedeni olarak, merkez ada etrafındaki taşıt depolama alanı yetersizliği ve sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların, hareketine düz devam edecek olan taşıtların hareketlerini kısıtlaması ve bunun sürücülere yansıyan psikolojik etkisi gösterilebilir. Belirtilen durumlardan da

anlaşılabileceği gibi, kavşak yaklaşım kollarında sola dönen trafik hacminin çok fazla olduğu durumlarda sinyalize dönel kavşak uygulaması trafiği yönetmek için uygun bir çözüm değildir. Ayrıca Şekil 5.34 dikkatle incelendiğinde, ilk 7 örnek durum için, sinyalize dönel kavşağın sinyal sürelerinin, sinyalize kavşağın sinyal sürelerine göre daha iyi optimize edildiği (ortalama taşıt gecikmeleri daha az olduğu için) söylenebilir. Sola dönüş cepli sinyalize kavşağın dört fazlı yönetilmesi durumunda ise, tıpkı üç fazlı denetimde olduğu gibi, ana akımdaki sola dönüş oranı arttıkça, sola dönüş şeridi kullanımını da arttırdığı için, optimum devre süreleri azalmış, buna bağlı olarak diğer tip kavşaklar ile kıyaslandığında ortalama taşıt gecikmelerinde de azalma görülmüştür. Fakat sola dönüş cepli sinyalize kavşaklar için de, ana akımdaki sola dönüş hareketi yapan trafik hacmi belli bir değeri aştığında, ortalama taşıt gecikmesinin de artış göstereceği unutulmamalıdır. Böyle durumlarda sola dönüşler için ayrı bir faz planlaması, kavşaktaki taşıt gecikmelerini azaltmak için mantıklı bir çözüm olarak sunulmaktadır.

### **5.3 Sinyalize Dönel Kavşaklarda Sinyal Optimizasyonu**

Sinyalize kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerini minimize etmek için yapılması gereken önemli uygulamalardan birisi de kavşakta bulunan sinyalizasyon sistemlerinin sinyal sürelerinin uygun biçimde düzenlenmesidir. Sinyal süresi atamasında, kavşağın geometrik yapısı ve konumunun yanı sıra, yaklaşım kollarındaki saatlik trafik hacimleri, sağa ve sola dönüş hareketi yapacak olan saatlik trafik hacimleri, yaklaşım kollarındaki ağır taşıt oranı, yaklaşım kollarının boyuna eğimleri vb. hususlar göz önünde bulundurulmalıdır. Saatlik trafik hacminin çok fazla olmadığı kavşak yaklaşım koluna gereğinden fazla yeşil süre atanması, kavşağın diğer yaklaşım kollarında bulunan taşıtların uzun süre beklemesine sebep olmakta, buna bağlı olarak da kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi önemli düzeyde artmaktadır. Bu yüzden sinyal süresi ataması yapılırken, yaklaşım kollarındaki saatlik trafik hacimlerinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

Sinyal süresi optimizasyonu başlı başına bir çalışma konusu ve uzmanlık alanıdır. Uzun yıllardır, bu konu üzerine birçok çalışmalar yapılmış, geliştirilen farklı algoritma ve yöntemler ile sinyal süreleri düzenlemesi yoluna gidilmiştir.

Sidra Intersection; sinyalize kavşaklar, sola dönüş cepli sinyalize kavşaklar, yol-ver kontrollü kavşaklar, sola dönüş cepli kavşaklar, dur kontrollü kavşaklar, dönel kavşaklar ve kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların performans analizi için birçok ulaştırma bilimcisi tarafından tercih edilen yazılımlardan birisidir. Program, sinyalizasyon sisteminin bulunduğu kavşaklarda ortalama taşıt gecikmesi minimum olacak şekilde sinyal süresi optimizasyonu da yapabilmektedir. Sidra, farklı tür kavşakların analizlerine imkan sağlamasına rağmen, program ile sinyalize dönel kavşak analizi yapılamamaktadır.

Vissim ise trafik simülasyon programı olduğu için, yalnızca programa daha önceden tanımlanmış verileri (sinyalizasyon sis. özellikleri, trafik hacimleri, kavşak geometrik özellikleri vb.) baz alarak çalışmakta ve kavşağa ait performans analizinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Vissimde sinyal süreleri, faz planı, sinyalizasyon sisteminin devre planı kullanıcı tarafından programa tanımlanmaktadır ve analizler tanımlanmış olan bu veriler baz alınarak yapılmaktadır. Kısacası Vissimde , her türlü sinyalize kavşak performans analizi yapılmasına rağmen, sinyalizasyon sisteminin sinyal süresi optimizasyonunun yapılması söz konusu değildir.

Sidra Intersection ve Vissim programları ile sinyalize dönel kavşak sinyal optimizasyonu yapılamadığı için, bu çalışmada, sinyalize dönel kavşak sinyal optimizasyonları sezgisel olarak ve deneme - yanılma yöntemleriyle yapılmıştır. Sinyalize dönel kavşak sinyal optimizasyonu için en önemli konulardan biriside, merkez ada etrafında bulunan sinyalizasyon sisteminin sinyal sürelerinin iyi tayin edilmesidir. Merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sistemine gereğinden fazla yeşil süre atanması, yaklaşım kollarındaki taşıtların bekleme sürelerinin artmasına, gereğinden daha az yeşil süre atanması ise ada etrafında depolanan taşıtların kavşağı aynı devrede terk edememesine (süre yetersizliğinden dolayı) neden olmaktadır. Belirtilen her iki durumda da kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin artacağı düşünüldüğünde, ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süre tayininin kavşak performansı açısından oldukça önemli bir durum olduğu görülmektedir.

Bu bölümde, sinyalize dönel kavşaklarda yapılan süre optimizasyonun, iki farklı örneği üzerinde durulmaktadır. İlk durumda iki fazlı sinyalize dönel kavşak uygulaması için, ikinci durumda ise üç fazlı sinyalize dönel kavşak uygulaması için, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerini minimize edecek şekilde, yaklaşım kolları ve

ada etrafındaki sinyalizasyon sistemlerinin yeşil süre tayini aşamaları gösterilmektedir.

Belirtilen iki farklı örnek durum analizleri için, 38 metre çaplı merkez adaya ve 3.5 metre genişliğinde 2 depolama şeridinde sahip tip dönel kavşak kullanılmıştır. Dönel kavşağın doğu ve batı yaklaşım kolları 3.5' er metre genişliğinde 3 giriş, 3 de çıkış şeridinden oluşurken, kuzey ve güney yaklaşım kolları ise aynı genişlikte 2 giriş, 2 de çıkış şeridinden oluşmaktadır.

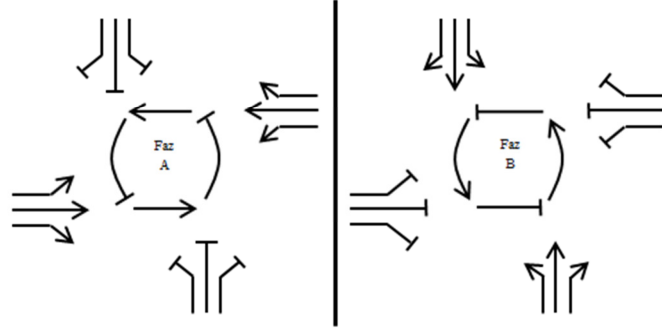
### 5.3.1 İki Fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Uygulaması – Sinyal Süresi Optimizasyonu Analizleri ve Sonuçları

İlk örnek durumda, İki fazlı yönetilen sinyalize dönel kavşağın sinyal süresi optimizasyonu üzerinde çalışılmıştır. Analiz aşamasında kullanılan trafik hacimleri Tablo 5.25' de verilmektedir. Şekil 5.35' de analizlerde uygulanan faz planı gösterilmektedir.

**Tablo 5.25:** İki Fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Süresi Optimizasyonu Analizlerinde Kullanılan Trafik Hacimleri

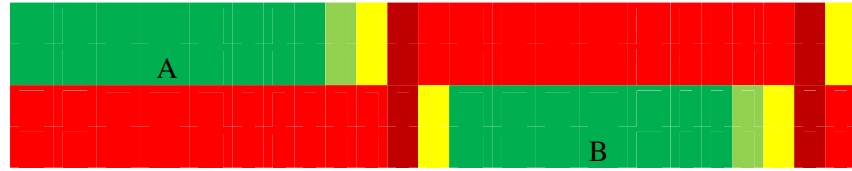
Hareket Yönü	Başlangıç - Varış	Otomobil (ta/sa)	Ağır Taşıt (ta/sa)	Toplam Taşıt (ta/sa)
Düz Giden	Batı - Doğu	895	111	1006
	Doğu - Batı	1052	92	1144
	Kuzey - Güney	132	14	146
	Güney - Kuzey	60	2	62
Sağa Dönen	Batı - Güney	11	0	11
	Doğu - Kuzey	66	4	70
	Kuzey - Batı	49	0	49
	Güney - Doğu	35	0	35
Sola Dönen	Batı - Kuzey	43	11	54
	Doğu - Güney	51	13	64
	Kuzey - Doğu	67	17	84
	Güney - Batı	33	9	42
<b>Toplam</b>		<b>2495</b>	<b>272</b>	<b>2767</b>





**Şekil 5.35:** İki fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Optimizasyonu Analizlerinde Uygulanan Faz Planı

Sinyalize dönel kavşağın iki fazlı yönetilmesi durumunda, kavşaktaki sinyalizasyon sistemine ait devre diyagramı Şekil 5.36’ da gösterilmektedir.



**Şekil 5.36:** İki fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Optimizasyonu İçin Sinyalizasyon Sistemi Devre Diyagramı

Sidra Intersection programı ile sinyalize dönel kavşak analizi ve dolayısıyla süre optimizasyonu yapılamadığı için, kavşak analizi, öncelikli olarak, iki fazlı sinyalize kavşak olarak yapılmıştır. Böylece, kavşaktaki sinyalizasyon sistemlerinin optimum yeşil süreleri hakkında ön bilgi elde edilmiştir. Program, Tablo 5.25’ de verilen trafik hacimleri için, A fazına ait optimum yeşil süreyi 36 sn, B fazına ait optimum yeşil süreyi ise 10 sn olarak belirlemiştir.

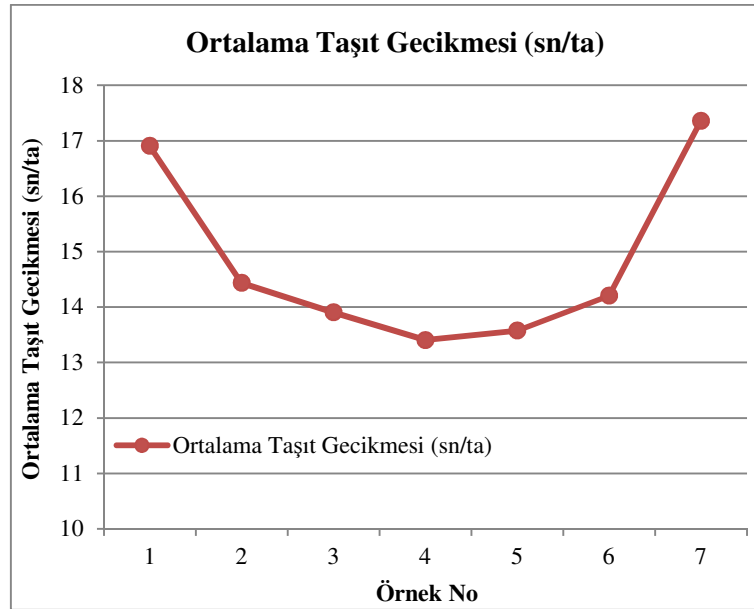
Sinyalize dönel kavşak analizlerinde Vissim programı kullanıldığı için, Sidra Intersection programı ile elde edilen süreler, Vissim programına aktarılmış ve sinyalize dönel kavşak analizi yapılmıştır. Belirtilen örnek durum için, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi 14.435 sn/ta elde edilmiştir. Bu çalışmada, Sidra Intersection programı ile elde edilen optimum sürelerin, Vissim trafik simülasyon programı için de optimum süreler olup olmadığı incelenmiştir. Yapılan sinyal optimizasyonu çalışmasında, deneme-yanılma yöntemi kullanılmış ve optimum süreler sezgisel olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamınca, her bir fazın minimum yeşil süresi 10 sn. olarak belirlenmiştir. İlk aşamada, B fazına ait yeşil süre

10 sn. olduğu için (minimum yeşil süre) yalnızca A fazının yeşil süresi artırılıp azaltılarak analizler yapılmış ve kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri elde edilmiştir. Tüm örnek durumlar için, her bir fazda uygulanan yeşil süreler ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri Tablo 5.26' da verilmektedir.

**Tablo 5.26:** İki Fazlı Uygulamada (B=10 sn.) Fazlara Ait Yeşil Süreler ve Analiz Sonuçları

Örnek No	A (sn)	B (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)
1	41	10	65	16.907
2	36	10	60	14.435
3	31	10	55	13.806
4	26	10	50	<b>13.406</b>
5	21	10	45	13.576
6	16	10	40	14.205
7	11	10	35	17.360
<b>Sarı Süre: 2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 3 sn</b>				

Şekil 5.36' da ise, analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



**Şekil 5.37:** İki Fazlı Uygulamada (B=10 sn.) Analizler Sonucunda Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Tablo 5.26' dan da görüldüğü üzere, Sidra Intersection programı ile elde edilen optimum süreler 36 sn. ve 10 sn., iken, fazların yeşil sürelerini artırıp azaltarak

yapılan deneysel çalışmada minimum gecikmeyi veren faz süreleri, 26 sn. ve 10 sn. olarak tespit edilmiştir. Sidra Intersection programı ile elde edilen süreler baz alınarak yapılan Vissim analizinde ortalama taşıt gecikmesi 14.435 sn/ta, deneysel olarak optimize edilen süreler baz alınarak yapılan Vissim analizinde ise ortalama taşıt gecikmesi 13.406 sn/ta elde edilmiştir. Bu durumdan da anlaşılacağı üzere, sinyalizasyon kavşakta optimum sürelerin tayini oldukça hassas çalışılması gereken, zor bir konudur.

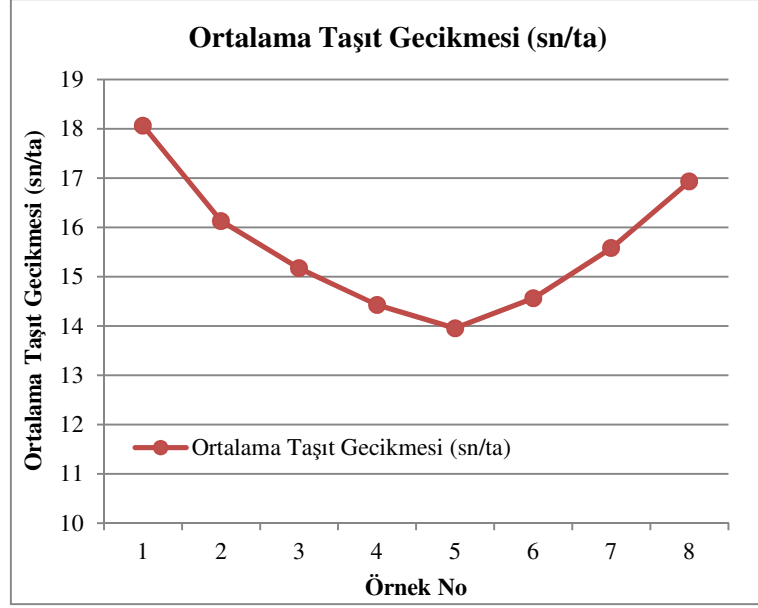
I. örnek durumda ilk aşamada, yeşil süre, trafik hacminin çok fazla olmadığı kuzey ve güney yaklaşım kolları için (B fazı için) 10 sn. olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, deneysel sinyal optimizasyonu çalışmaları, B fazının yeşil süresinin 12 sn. olduğu varsayılarak tekrarlanmıştır. Yapılan bu çalışma ile her iki durumda elde edilen kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi sonuçları kıyaslanmıştır.

Tablo 5.27’ de, B fazının yeşil süresinin 12 sn. olması durumunda, A fazına ait yeşil süreler, devre süreleri ve kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri verilmektedir.

**Tablo 5.27:** İki Fazlı Uygulamada (B=12 sn.) Fazlara Ait Yeşil Süreler ve Analiz Sonuçları

Örnek No	A (sn)	B (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)
1	49	12	75	18.066
2	44	12	70	16.130
3	39	12	65	15.174
4	34	12	60	14.428
5	29	12	55	<b>13.955</b>
6	24	12	50	14.561
7	19	12	45	15.583
8	14	12	40	16.931
<b>Sarı Süre: 2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 3 sn</b>				

Şekil 5.38’ de ise, B fazının yeşil süresinin 12 sn. olması durumunda, yapılan sekiz farklı analiz sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



**Şekil 5.38:** İki Fazlı Uygulamada (B=12 sn.) Analizler Sonucunda Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Tablo 5.27’ den görüldüğü üzere, B fazının yeşil süresinin 12 sn. olması durumunda, A fazının optimum yeşil süresi 29 sn. olarak bulunmuş, ortalama taşıt gecikmesi ise 13.955 sn/ta elde edilmiştir. Tablo 5.26 ve Tablo 5.27 dikkatle incelendiğinde, B fazının yeşil süresinin artması durumunda, A fazının da yeşil süresinin arttığı, bunun yanı sıra, devre süresi ve ortalama taşıt gecikmesinde de az da olsa bir miktar artış olduğu görülmektedir.

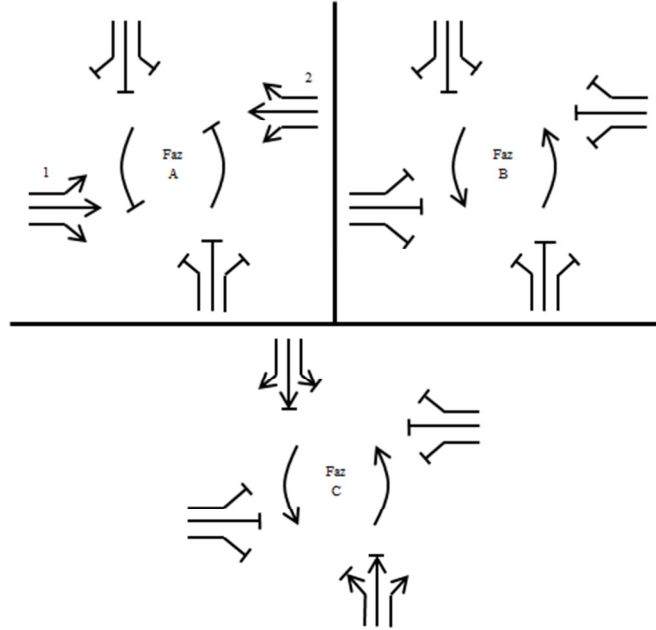
Bu verilere dayanarak, söz konusu örnek durumda, trafik hacminin çok fazla olmadığı kuzey ve güney yaklaşım kolları için 10 sn. yeşil sürenin yeterli ve ideal olduğu söylenebilmektedir.

### 5.3.2 Üç Fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Uygulaması – Sinyal Süresi Optimizasyonu Analizleri ve Sonuçları

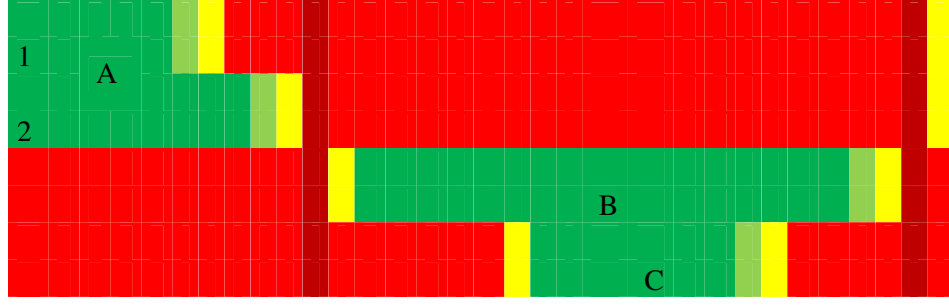
İkinci örnek durumda, üç fazlı yönetilen sinyalize dönel kavşağın sinyal süresi optimizasyonu üzerinde çalışılmıştır. Analiz aşamasında kullanılan trafik hacimleri Tablo 5.28’ de verilmektedir. Şekil 5.39’ da analizlerde uygulanan faz planı, Şekil 5.40’ da ise sinyalize dönel kavşağın üç fazlı yönetilmesi durumunda, kavşaktaki sinyalizasyon sistemine ait devre diyagramı gösterilmektedir.

**Tablo 5.28:** Üç Fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Süresi Optimizasyonu Analizlerinde Kullanılan Trafik Hacimleri

Hareket Yönü	Başlangıç - Varış	Otomobil (ta/sa)	Ağır Taşıt (ta/sa)	Toplam Taşıt (ta/sa)
Düz Giden	Batı - Doğu	705	87	792
	Doğu - Batı	817	72	889
	Kuzey - Güney	194	22	216
	Güney - Kuzey	93	4	97
Sağa Dönen	Batı - Güney	11	0	11
	Doğu - Kuzey	66	4	70
	Kuzey - Batı	49	0	49
	Güney - Doğu	35	0	35
Sola Dönen	Batı - Kuzey	214	54	268
	Doğu - Güney	256	64	320
	Kuzey - Doğu	11	3	14
	Güney - Batı	6	1	7
<b>Toplam</b>		<b>2458</b>	<b>309</b>	<b>2767</b>



**Şekil 5.39:** Üç fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Optimizasyonu Analizlerinde Uygulanan Faz Planı



**Şekil 5.40:** Üç fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Optimizasyonu İçin Sinyalizasyon Sistemi Devre Diyagramı

Şekil 5.39' dan görüldüğü üzere, öncelikli olarak, ana akımın bulunduğu 1 ve 2 numaralı kavşak yaklaşım koluna geçiş önceliği tanınmıştır. Fakat 1 ve 2 numaralı yaklaşım kollarında sola dönüş hareketi yapan taşıtların, ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki düz giden ve sağa dönen taşıtlar ile çakışmalarını önlemek amacı ile, sola dönüş hareketi yapan taşıtlar ada etrafında depolanmış ve bu taşıtların bir sonraki fazda kavşağı daha güvenli şekilde terk etmelerine imkan sağlanmıştır. C fazında ise, trafik hacminin çok fazla olmadığı kuzey ve güney yaklaşım kollarına aynı anda geçiş hakkı verilmiştir. Şekil 5.39' dan da görüldüğü üzere, kuzey ve güney yaklaşım kollarındaki sola dönüş hareketleri taşıtların birbirleri ile kesişme olasılığını arttırmaktadır. Kuzey ve güney yaklaşım kolunda sola dönen trafik hacmi çok fazla olmadığı için, sola dönecek olan taşıtların hareketini sinyalizasyon ile engellemek gereksizdir. Bu yüzden, C fazında sola dönüş hareketleri için filtreleme yöntemi uygulanmış, taşıtların birbirleri ile kesişme olasılığı sürücülerin inisiyatifine, trafik bilgisine ve dikkatine bırakılmıştır.

Sidra Intersection programı ile sinyalize dönel kavşak analizi ve dolayısıyla sinyalize dönel kavşak süre optimizasyonu yapılamadığı için, kavşak analizi öncelikli olarak, 3 fazlı sinyalize kavşak olarak yapılmıştır. Analiz sonucunda, batı yaklaşım koluna ait yeşil süre 18 sn., doğu yaklaşım koluna ait yeşil süre 22 sn., kuzey-güney yaklaşım kollarına ait yeşil süre ise 10 sn. elde edilmiştir. 3 fazlı sinyalize dönel kavşak uygulaması için, optimum süre tayininde, elde edilen bu süreler kullanılmıştır. Şüphesiz ki, bu aşamada önemli olan bir diğer husus ise merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin optimum yeşil süresinin belirlenmesidir. Belirtilen örnek durum için bu süre (A – C fazı arasındaki yeşil süre) 10 sn. olarak öngörülmüştür. Ana akımda sola dönen taşıt hacminin (sola dönen maksimum taşıt hacmi) 320 ta/sa olduğu ve sinyalize dönel kavşağın devre süresinin

de 60-70 sn arasında değiştiği varsayıldığında, ana akımda her bir devrede, ortalama 5-7 taşıtın sola dđnüş hareketi yaptığı sonucuna ulaşılabilmektedir. Merkez ada etrafındaki iki depolama şerisinde sıralanan bu taşıtlar için, en öndeki taşıtın başlangıç hareket kaybının 2.5-3 sn., taşıtların birbiri ardına kavşağı terk etme sürelerinin de 2-2.5 sn. alınması durumunda, belirtilen örnek durum için ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresinin 10 sn. alınması mantıklıdır ve belirlenen süre ile kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi minimize edilebilmektedir.

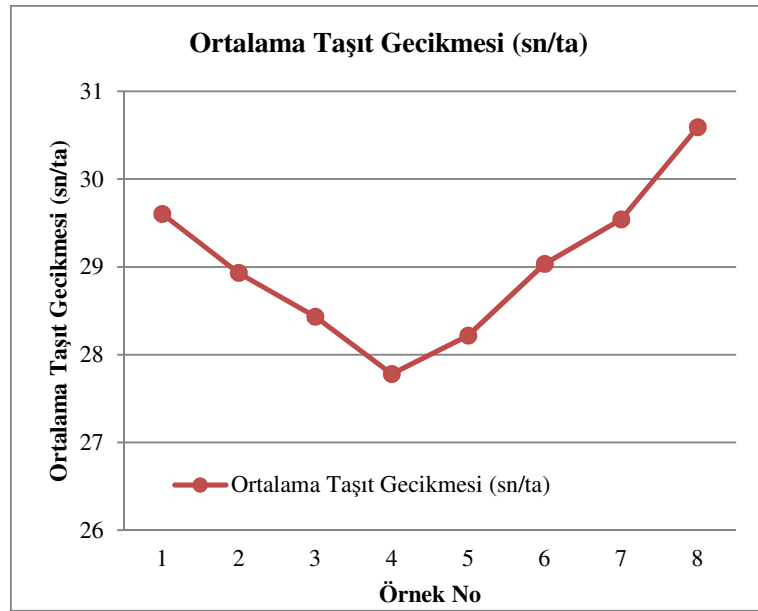
Analiz aşamasında, Sidra Intersection programı ile elde edilen süreler ve merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sistemi için belirlenmiş olan süre, şekil 5.39 ve şekil 5.40' da belirtilen faz ve devre diyagramları göz önünde bulundurularak Vissim programına aktarılmıştır. Analiz sonucunda, örnek durum için kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi 28.217 sn/ta elde edilmiştir.

II. Örnek durumda, üç fazlı sinyalize dđnel kavşak uygulamasındaki optimum sinyal sürelerinin tespiti için, 3 farklı durum değerlendirilmiştir. C fazına ait yeşil süre 10 sn., 8 sn ve 12 sn. alınarak, farklı sinyal süreleri için kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri elde edilmiştir. Bu aşamada, ortalama taşıt gecikmeleri dikkate alınarak, Sidra Intersection programı ile elde edilen optimum yeşil sürelerin, belirtilen örnek durum için, kavşaktaki minimum gecikmeyi sağlayan süreler olup olmadığı detaylı olarak incelenmiştir. Kuzey-güney yaklaşım koluna (C fazına) ait yeşil sürenin 10 sn. olması durumunda, batı ve doğu yaklaşım kollarına ait farklı yeşil süreler ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri Tablo 5.29' da gösterilmektedir.

**Tablo 5.29:** Üç Fazlı Uygulamada (C=10 sn.) Fazlara Ait Yeşil Süreler ve Analiz Sonuçları

Örnek No	A [1 - 2] (sn)	B (sn)	C (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)
1	22 - 26	29	10	69	29.603
2	21 - 25	29	10	68	28.931
3	20 - 24	29	10	67	28.532
4	19 - 23	29	10	66	<b>27.780</b>
5	18 - 22	29	10	65	28.217
6	17 - 21	29	10	64	29.134
7	16 - 20	29	10	63	29.541
8	15 - 19	29	10	62	30.591
<b>Sarı Süre: 2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 3 sn</b>					

Tablo 5.29' dan görüldüğü üzere, aynı örnek durum için, batı ve doğu yaklaşım kollarına ait yeşil süreler artırılıp azaltılarak, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi değerleri elde edilmiştir. Kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi, Sidra Intersection programı ile elde edilen yeşil süreler kullanıldığında 28.217 sn/ta, ana yaklaşım kollarının yeşil süreleri 1' er saniye arttırıldığında ise 27.780 sn/ta' tır. Bu durum, farklı süre atamaları ile kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin daha da azaltılabileceğini kanıtlamaktadır. Fakat söz konusu farklı durumlar için ortalama taşıt gecikmelerinin, birbirlerinden çok farklı olmadığı, aralarında çok az fark olduğu da dikkat edilmesi gereken hususlardan birisidir. Şekil 5.41' de, Tablo 5.29' da belirtilen örnek durumlara ait ortalama taşıt gecikmeleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



**Şekil 5.41:** Üç Fazlı Uygulamada (C=10 sn.) Analizler Sonucunda Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

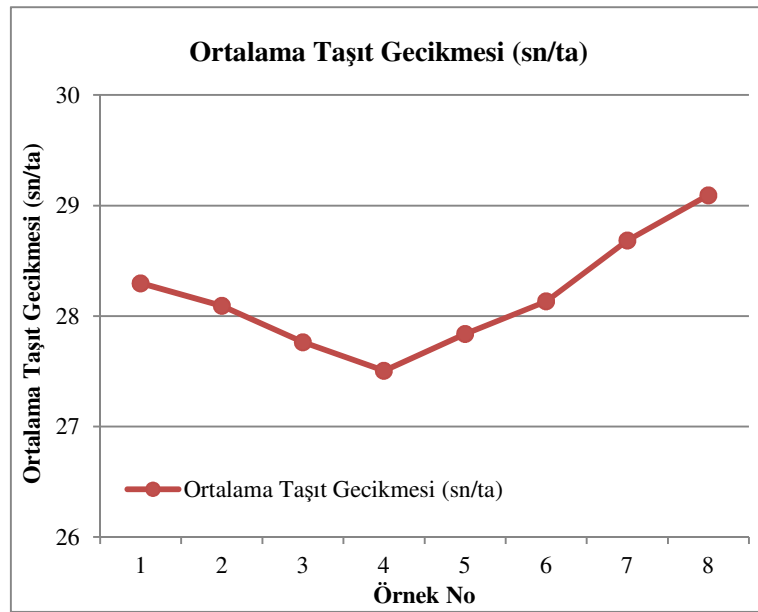
Üç fazlı sinyalizasyon dönel kavşak sinyal optimizasyonu uygulaması için dikkate alınan ikinci durum, kuzey-güney yaklaşım kollarına ait yeşil sürenin (C fazına ait yeşil sürenin) 8 sn. olması durumudur. Kuzey-güney yaklaşım kollarına ait yeşil sürenin 8 sn. olması durumunda, batı ve doğu yaklaşım kollarına ait farklı yeşil süreler ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri Tablo 5.30' da ayrıntılı bir şekilde verilmektedir. Ayrıca, yapılan analizler sonucunda elde edilen kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri de Şekil 5.42' de grafiksel olarak gösterilmektedir.



**Tablo 5.30:** Üç Fazlı Uygulamada (C=8 sn.) Fazlara Ait Yeşil Süreler ve Analiz Sonuçları

Örnek No	A [1 - 2] (sn)	B (sn)	C (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)
1	23 - 27	27	8	68	28.297
2	22 - 26	27	8	67	28.092
3	21 - 25	27	8	66	27.763
4	20 - 24	27	8	65	<b>27.504</b>
5	19 - 23	27	8	64	27.838
6	18 - 22	27	8	63	28.133
7	17 - 21	27	8	62	28.684
8	16 - 20	27	8	61	29.094
<b>Sarı Süre: 2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 3 sn</b>					

Tablo 5.30' dan görüldüğü üzere, batı yaklaşım koluna ait yeşil sürenin 20 sn., doğu yaklaşım koluna ait yeşil sürenin 24 sn., merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresinin 27 sn. ve kuzey-güney yaklaşım koluna ait yeşil sürenin 8 sn. olması durumunda ortalama taşıt gecikmesi 27.504 sn/ta elde edilmiştir. Batı ve doğu yaklaşım kollarına ait yeşil süreler arttırıldığında ve azaltıldığında ise ortalama taşıt gecikmesinin arttığı görülmektedir. Bu çalışma ile C fazına ait yeşil sürenin 8 sn. olması durumu için, optimum devre süresi tespit edilmiş ve bu sayede minimum ortalama taşıt gecikmesi elde edilmiştir.



**Şekil 5.42:** Üç Fazlı Uygulamada (C=8 sn.) Analizler Sonucunda Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Üç fazlı sinyalizasyon dönel kavşak sinyal süresi optimizasyonu uygulamasında, C fazına ait yeşil sürenin 10 sn. olması durumunda minimum ortalama taşıt gecikmesi 27.780 sn/ta, 8 sn. olması durumunda ise minimum ortalama taşıt gecikmesi 27.504 sn/ta elde edilmiştir. Bu verilere dayanarak, C fazına ait yeşil sürenin 8 sn. olması durumunda, ortalama taşıt gecikmesinin az da olsa bir miktar azaldığı fakat bu azalmanın (yaklaşık 0.2 sn/ta) dikkate değer düzeyde bir azalma olmadığı sonucuna ulaşılabilmektedir.

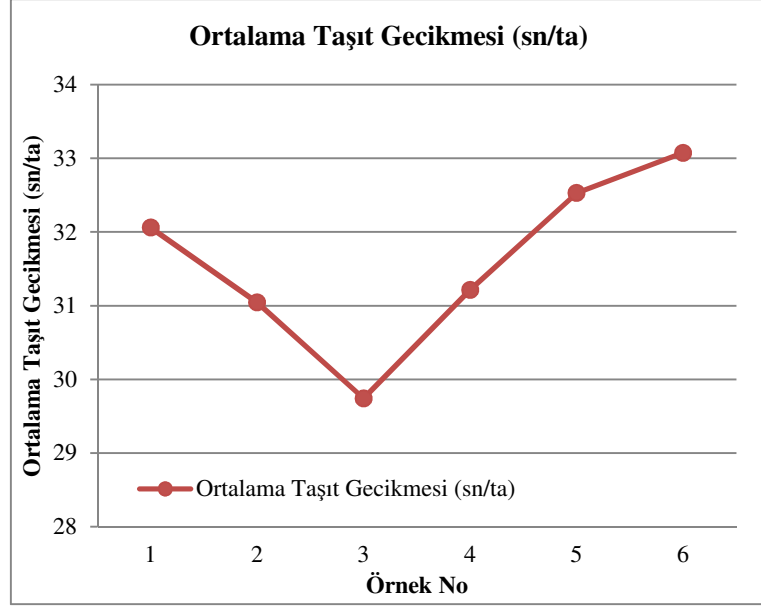
Kuzey-güney yaklaşım kollarına ait yeşil sürenin 12 sn. olması durumunda, batı ve doğu yaklaşım kollarına ait farklı yeşil süreler ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri de Tablo 5.31’ de verilmektedir. Analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri Şekil 5.43’ de detaylı olarak gösterilmektedir.

**Tablo 5.31:** Üç Fazlı Uygulamada (C=12 sn.) Fazlara Ait Yeşil Süreler ve Analiz Sonuçları

Örnek No	A [1 - 2] (sn)	B (sn)	C (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)
1	19 - 23	31	12	68	32.060
2	18 - 22	31	12	67	31.043
3	17 - 21	31	12	66	<b>29.742</b>
4	16 - 20	31	12	65	31.215
5	15 - 19	31	12	64	32.528
6	14 - 18	31	12	63	33.073
<b>Sarı Süre: 2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 3 sn</b>					

Tablo 5.31’ den görüldüğü üzere, kuzey-güney yaklaşım koluna ait yeşil sürenin 12 sn. olması durumunda, minimum gecikmenin elde edildiği örnek durum, 3 numaralı örnek durumdur.

3. örnek durumda, Batı yaklaşım koluna ait yeşil süre 17 sn., Doğu yaklaşım koluna ait yeşil süre 21 sn., Ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresi 31 sn. ve devre süresi 66 sn.’ dir. Belirtilen durumda, ortalama taşıt gecikmesi 29.742 sn/ta elde edilmiştir. Tablo 5.31 dikkatle incelendiğinde, batı ve doğu yaklaşım kollarına ait yeşil süreler artırılıp azaltıldığında, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinde artış olduğu açıkça görülmektedir.



**Şekil 5.43:** Üç Fazlı Uygulamada (C=12 sn.) Analizler Sonucunda Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Üç fazlı sinyalize dönel kavşak sinyal süresi optimizasyonu uygulaması kapsamınca incelenen, üç farklı durum (C=10 sn., C=8 sn., C=12 sn.) için kavşaktaki minimum ortalama taşıt gecikmesini veren sinyal süreleri ve devre süreleri Tablo 5.32’ de detaylı olarak verilmektedir.

**Tablo 5.32:** Üç Fazlı Sinyalize Dönel Kavşak Sinyal Optimizasyonu Uygulaması İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırması

Örnek No	A [1 - 2] (sn)	B (sn)	C (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)
1	20 - 24	27	8	65	27.504
2	19 - 23	29	10	66	27.780
3	17 - 21	31	12	66	29.742
<b>Sarı Süre: 2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 3 sn</b>					

Tablo 5.32’ den görüldüğü üzere, üç fazlı uygulama için, kuzey-güney yaklaşım kollarına ait yeşil süre 8 sn. iken minimum taşıt gecikmesi 27.504 sn/ta, 10 sn. iken minimum taşıt gecikmesi 27.780 sn/ta, 12 sn. iken minimum taşıt gecikmesi 29.742 sn/ta elde edilmiştir. Söz konusu verilere dayanarak, kuzey-güney yaklaşım kollarına ait yeşil sürenin 8 sn. ve 10 sn. olması durumunda minimum ortalama taşıt gecikmesinin birbirine benzer sonuçlar verdiği, kuzey-güney yaklaşım kollarına ait yeşil sürenin 12 sn. olması durumunda ise ortalama gecikmenin yaklaşık %10

oranında arttığı söylenebilmektedir. Kısacası, trafik hacminin çok fazla olmadığı kuzey-güney yaklaşım kolu için 8 sn. ila 10 sn. yeşil süre yeterli olmaktadır. Yeşil süre 12 sn.’ ye çıkartıldığında, ana yaklaşım kollarında bulunan taşıtların bekleme süresi artmakta ve bu durum kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinde artışa neden olmaktadır.

#### 5.4 Sinyalize Dönel Kavşaklarda Farklı Sola Dönüş Hacimlerinin Kavşak Performansına Etkilerinin İncelenmesi

Bu bölümde, farklı trafik hacimleri ve farklı sola dönen trafik hacimleri baz alınarak oluşturulan sinyalize dönel kavşak uygulamalarına (senaryolarına) ait Vissim simülasyon programı ortalama taşıt gecikmesi sonuçları, hem tablo olarak hem de grafiksel olarak sunulmaktadır. Ayrıca, analizler aşamasında kullanılan faz planlarına, devre diyagramlarına, sinyalizasyon sisteminin sinyal sürelerine ve devre sürelerine de bu kısımda geniş bir şekilde yer verilmektedir.

Çalışmada, Merlbourne – Avustralya’ da bulunan 38 metre çapında, dönel kavşak geometrik standartlarına uygun bir dönel kavşak kullanılmıştır. Seçilen dönel kavşağın kuşbakışı görüntüsü Şekil 5.44’ de gösterilmektedir. Dönel kavşağın geometrik yapısı ile ilgili bilgiler ise Tablo 5.33’ de detaylı olarak verilmektedir.



Şekil 5.44: Merlbourne – Avustralya’ dan Seçilen Dönel Kavşak

**Tablo 5.33:** Merlbourne – Avustralya’ dan Seçilen Dönel Kavşağın Geometrik Özellikleri

Yaklaşım Kolu	Giriş Şerit Sayısı	Çıkış Şerit Sayısı	Yaklaşım Kollarındaki Şerit Genişliği (m.)	Sirkülasyon Şerit Sayısı	Sirkülasyon Şerit Genişliği (m.)
Batı	3	3	3.5	3	4.0
Kuzey	2	2	3.5	2	4.0
Doğu	3	3	3.5	3	4.0
Güney	2	2	3.5	2	4.0

Farklı senaryolar, öncelikli olarak Tablo 5.33’ de belirtilen gerçek durumlar (depolamanın yapıldığı şerit sayısı = 2) dikkate alınarak analiz edilmiştir. Daha sonra ise kavşaktaki tüm yaklaşım kollarında, merkez ada etrafındaki sirkülasyon şeritleri sayısının üç olduğu durum (depolamanın yapıldığı şerit sayısı = 3) göz önünde bulundurulmuştur ve aynı trafik senaryoları için analizler tekrarlanmıştır. Bu bölümde söz konusu iki farklı durum, ayrı ayrı incelenmiş ve analizler sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

#### 5.4.1 Depolamanın İki Şeritte Yapılması Durumu

Analizler, kavşaktaki toplam trafik hacimlerinin, birbirlerinden farklı olduğu iki farklı örnek durum baz alınarak yapılmıştır. Böylece kavşaktaki toplam trafik hacminin, kavşağın performansını hangi yönde ve ne derece etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır. 1. ve 2. örnek durumlara ait kavşak yaklaşım kolu bazlı trafik hacimleri Tablo 5.34 ve Tablo 5.35’ de detaylı olarak verilmektedir.

**Tablo 5.34:** 1. Örnek Duruma Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

Hareket Yönü	Başlangıç - Varış	Otomobil (ta/sa)	Ağır Taşıt (ta/sa)	Toplam Taşıt (ta/sa)
Düz Giden	Batı - Doğu	848	105	953
	Doğu - Batı	994	86	1080
	Kuzey - Güney	182	20	202
	Güney - Kuzey	86	4	90
Sağa Dönen	Batı - Güney	11	0	11
	Doğu - Kuzey	66	4	70
	Kuzey - Batı	49	0	49
	Güney - Doğu	35	0	35
Sola Dönen	Batı - Kuzey	86	21	107
	Doğu - Güney	102	26	128
	Kuzey - Doğu	22	6	28
	Güney - Batı	11	3	14
<b>Toplam</b>		<b>2493</b>	<b>274</b>	<b>2767</b>

**Tablo 5.35:** 2. Örnek Duruma Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

Hareket Yönü	Başlangıç - Varış	Otomobil (ta/sa)	Ağır Taşıt (ta/sa)	Toplam Taşıt (ta/sa)
Düz Giden	Batı - Doğu	1015	101	1116
	Doğu - Batı	1293	82	1375
	Kuzey - Güney	231	10	241
	Güney - Kuzey	90	3	93
Sağa Dönen	Batı - Güney	20	0	20
	Doğu - Kuzey	157	18	175
	Kuzey - Batı	45	2	47
	Güney - Doğu	41	1	42
Sola Dönen	Batı - Kuzey	101	25	126
	Doğu - Güney	138	34	172
	Kuzey - Doğu	26	6	32
	Güney - Batı	12	3	15
<b>Toplam</b>		<b>3169</b>	<b>285</b>	<b>3454</b>

Tablo 5.34 ve Tablo 5.35' den görüldüğü üzere, 1. örnek durumda kavşaktaki toplam trafik hacmi, 2. örnek durumdaki toplam trafik hacminden daha azdır. Bu yüzden aynı koşullar altında, 2. örnek durumdaki kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin, 1. örnek duruma nazaran daha fazla olması beklenmektedir. Ayrıca tablolar dikkatle incelendiğinde, kavşaktaki ana akımın, doğu ve batı yaklaşım kollarındaki akımlar olduğu kolayca söylenebilmektedir. 1. ve 2. örnek durumda, tüm yaklaşım kolları için sola dönen taşıt sayısı, yaklaşım kollarındaki taşıtların sayısının %10' u kadardır.

Bu çalışmada, 1. ve 2. örnek durumlarda verilen kavşak yaklaşım kolu bazlı trafik hacimlerinden yola çıkılarak, her bir durum için 50 farklı farklı trafik senaryosu, farklı koşullar altında (sinyal süresi farklılıkları, faz düzeni farklılıkları vb.) analiz edilmiş ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmesi sonuçları karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Öncelikli olarak, Tablo 5.34 ve Tablo 5.35' de gösterilen temel durumlar baz alınarak, ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki toplam taşıt sayıları %50 ve %25 oranında azaltılmış (diğer yaklaşım kollarındaki akımlarda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır), daha sonra ise ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki toplam taşıt sayıları %25 ve % 50 oranında arttırılmıştır ve böylece toplam trafik hacimleri bazında beş farklı durum ortaya çıkmıştır. Sonraki aşamada, söz konusu beş farklı trafik durumu için, ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki sola dönüş oranları, %10 artış oranı ile ana akımdaki sola dönüş hareketi yapacak olan taşıt oranının %50 olduğu duruma kadar arttırılmıştır. Çalışmalar sırasında, diğer yaklaşım kollarındaki

(ana akımın mevcut olmadığı yaklaşım kollarındaki) sola dönüş oranları ise yaklaşık kollarındaki trafik hacimlerinin sırası ile %10' u ve %60' ı olarak alınmıştır. Oluşturulan senaryolara ait detaylar Tablo 5.36' da verilmektedir.

**Tablo 5.36: Oluşturulan Senaryolar İçin Hacim Değişimi ve Sola Dönüş Oranları**

Senaryo No	Kavşak Yaklaşım Kolu	Hacimdeki Oransal Değişimi (%)	Sola Dönüş Oranı (%)	Senaryo No	Kavşak Yaklaşım Kolu	Hacimdeki Oransal Değişimi (%)	Sola Dönüş Oranı (%)
1	Batı - Doğu	%50 azaltılmış	%10	26	Batı - Doğu	Değişme yok	%30
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%10		Kuzey - Güney	Değişme yok	%60
2	Batı - Doğu	%50 azaltılmış	%10	27	Batı - Doğu	Değişme yok	%40
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%60		Kuzey - Güney	Değişme yok	%10
3	Batı - Doğu	%50 azaltılmış	%20	28	Batı - Doğu	Değişme yok	%40
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%10		Kuzey - Güney	Değişme yok	%60
4	Batı - Doğu	%50 azaltılmış	%20	29	Batı - Doğu	Değişme yok	%50
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%60		Kuzey - Güney	Değişme yok	%10
5	Batı - Doğu	%50 azaltılmış	%30	30	Batı - Doğu	Değişme yok	%50
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%10		Kuzey - Güney	Değişme yok	%60
6	Batı - Doğu	%50 azaltılmış	%30	31	Batı - Doğu	%25 arttırılmış	%10
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%60		Kuzey - Güney	Değişme yok	%10
7	Batı - Doğu	%50 azaltılmış	%40	32	Batı - Doğu	%25 arttırılmış	%10
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%10		Kuzey - Güney	Değişme yok	%60
8	Batı - Doğu	%50 azaltılmış	%40	33	Batı - Doğu	%25 arttırılmış	%20
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%60		Kuzey - Güney	Değişme yok	%10
9	Batı - Doğu	%50 azaltılmış	%50	34	Batı - Doğu	%25 arttırılmış	%20
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%10		Kuzey - Güney	Değişme yok	%60
10	Batı - Doğu	%50 azaltılmış	%50	35	Batı - Doğu	%25 arttırılmış	%30
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%60		Kuzey - Güney	Değişme yok	%10
11	Batı - Doğu	%25 azaltılmış	%10	36	Batı - Doğu	%25 arttırılmış	%30
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%10		Kuzey - Güney	Değişme yok	%60
12	Batı - Doğu	%25 azaltılmış	%10	37	Batı - Doğu	%25 arttırılmış	%40
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%60		Kuzey - Güney	Değişme yok	%10
13	Batı - Doğu	%25 azaltılmış	%20	38	Batı - Doğu	%25 arttırılmış	%40
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%10		Kuzey - Güney	Değişme yok	%60
14	Batı - Doğu	%25 azaltılmış	%20	39	Batı - Doğu	%25 arttırılmış	%50
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%60		Kuzey - Güney	Değişme yok	%10
15	Batı - Doğu	%25 azaltılmış	%30	40	Batı - Doğu	%25 arttırılmış	%50
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%10		Kuzey - Güney	Değişme yok	%60
16	Batı - Doğu	%25 azaltılmış	%30	41	Batı - Doğu	%50 arttırılmış	%10
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%60		Kuzey - Güney	Değişme yok	%10
17	Batı - Doğu	%25 azaltılmış	%40	42	Batı - Doğu	%50 arttırılmış	%10
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%10		Kuzey - Güney	Değişme yok	%60
18	Batı - Doğu	%25 azaltılmış	%40	43	Batı - Doğu	%50 arttırılmış	%20
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%60		Kuzey - Güney	Değişme yok	%10
19	Batı - Doğu	%25 azaltılmış	%50	44	Batı - Doğu	%50 arttırılmış	%20
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%10		Kuzey - Güney	Değişme yok	%60
20	Batı - Doğu	%25 azaltılmış	%50	45	Batı - Doğu	%50 arttırılmış	%30
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%60		Kuzey - Güney	Değişme yok	%10
21	Batı - Doğu	Değişme yok	%10	46	Batı - Doğu	%50 arttırılmış	%30
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%10		Kuzey - Güney	Değişme yok	%60
22	Batı - Doğu	Değişme yok	%10	47	Batı - Doğu	%50 arttırılmış	%40
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%60		Kuzey - Güney	Değişme yok	%10
23	Batı - Doğu	Değişme yok	%20	48	Batı - Doğu	%50 arttırılmış	%40
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%10		Kuzey - Güney	Değişme yok	%60
24	Batı - Doğu	Değişme yok	%20	49	Batı - Doğu	%50 arttırılmış	%50
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%60		Kuzey - Güney	Değişme yok	%10
25	Batı - Doğu	Değişme yok	%30	50	Batı - Doğu	%50 arttırılmış	%50
	Kuzey - Güney	Değişme yok	%10		Kuzey - Güney	Değişme yok	%60

Tablo 5.36' dan görüldüğü üzere, örnek durumlarda, hacim ve sola dönüş oranlarında yapılan değişiklikler sonucunda elli farklı senaryo oluşturulmuştur. Söz konusu senaryolar için, kavşak yaklaşım kolu bazlı örnek trafik hacimleri Ek B.1 – Ek B.6' da verilmektedir.

Bu bölümde, elli farklı senaryo dikkate alınarak, 1. ve 2. örnek durumlar için yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmektedir.

#### **5.4.1.1 Depolamanın İki Şeritte Yapılması Durumu – 1. Örnek Durum**

1. Örnek durum için analiz çalışmaları, dört farklı durum göz önünde bulundurularak yapılmıştır. İlk aşamada, elli farklı senaryo için Bölüm 5.1.2' de verilen faz planı ve devre süreleri kullanılmış ve her bir senaryoya ait kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi sonuçları elde edilmiştir. İkinci aşamada, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' ın üzerinde olduğu senaryolar, aynı faz planı ve Bölüm 4.2' de belirtilen dönel kavşaklar için oluşturulan sinyal sistemi tasarımı prosedürü uygulanarak, tekrar analiz edilmiştir. Üçüncü aşamada, sinyalize dönel kavşakta depolama durumunun kavşak performansına etkisinin incelenmesi amacı ile kavşak üç fazlı (trafik hacimlerinin yoğun olduğu yaklaşım kolları ayrı birer faz, diğer yaklaşım kolları ise aynı faz) sinyalize kavşak olarak analiz edilmiştir. Bu aşamadaki analizlerde, sinyalize kavşağın devre süresi birinci aşamadaki gibi 140 sn olarak alınmış ve Sidra Intersection programı kullanılarak elde edilen süreler Vissim programına aktarılarak söz konusu senaryolar için ortalama taşıt gecikmesi sonuçları elde edilmiştir. Son aşamada ise senaryolar için analizler, üçüncü durumdaki gibi, üç fazlı denetim tekniği kullanılarak ve merkez ada etrafında depolamanın yapılmadığı varsayılarak yapılmıştır. Fakat bu aşamada, kavşakta bulunan sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri, Sidra Intersection programı vasıtası ile elde edilen optimum süreler (ortalama taşıt gecikmesini minimize edecek şekilde atanan sinyal süreleri) olarak belirlenmiştir. Daha sonra, Sidra Intersection programından elde edilen süreler Vissim Simülasyon programına tanımlanmış ve farklı senaryolar için Vissim simülasyon programı ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu bölümde, söz konusu farklı dört durum için, çalışma kapsamında incelenen tüm senaryolara ait, sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri ve analizler



sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmesi sonuçları hem tablo hem de grafiksel olarak detaylı bir şekilde verilmektedir.

#### 5.4.1.1.1 1. Örnek Durum – 1. Aşama

Bu aşamada, elli farklı senaryo üzerinde, Bölüm 5.1.2’ de verilen faz planı ve sinyal süreleri kullanıldığı için, bu bölümde faz planı ve sinyal süreleri yeniden gösterilmeyecektir. Fakat bu bölümde, Bölüm 5.1.2’ de belirtilen yaklaşım kollarına karşılık gelen yaklaşım kollarının; Muğla = Batı, Pekdemir = Doğu, HTA = Kuzey, Tali = Güney şeklinde olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Söz konusu faz, devre planı ve sinyal sürelerinin uygulandığı senaryolara ait analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmesi sonuçları Tablo 5.37’ de verilmektedir. Şekil 5.45’ de ise sonuçlar grafiksel olarak gösterilmektedir.

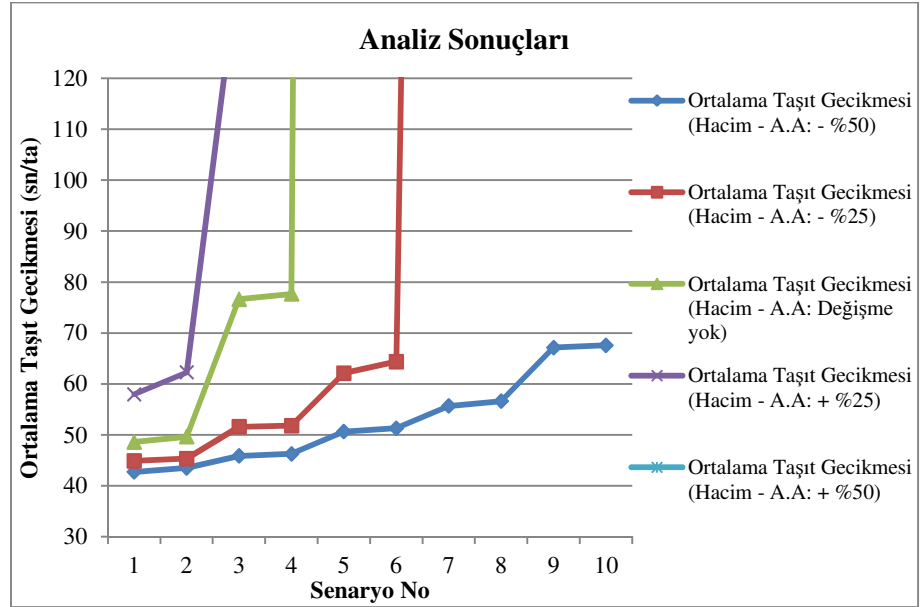
**Tablo 5.37:** 1. Örnek Durum – 1. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Senaryo No	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)
	A. A: -%50	A. A: -%25	A. A: %0	A. A: +%25	A. A: +%50
1	42.745	44.915	48.602	57.975	<b>133.356</b>
2	43.506	45.35	49.642	62.258	*
3	45.887	51.588	76.622	<b>143.025</b>	*
4	46.268	51.825	77.668	*	*
5	50.637	62.114	<b>1476.237</b>	*	*
6	51.319	64.379	*	*	*
7	55.664	<b>672.851</b>	*	*	*
8	56.626	*	*	*	*
9	67.137	*	*	*	*
10	67.573	*	*	*	*

A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri  
\* : Kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ tan fazla olduğu durumlar

Tablo 5.37’ den de görüldüğü üzere, kavşaktaki toplam trafik hacmi arttıkça, ortalama taşıt gecikmeleri de artmaktadır. Bunun yanı sıra, kavşaktaki toplam trafik hacminin aynı olduğu durumlarda, hem ana akımdaki hem de diğer akımlardaki sola dönüş oranı arttıkça, kavşaktaki ortalama gecikmeler artmaktadır. Ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ ın üzerinde olduğu durumların nedeni olarak, kavşak yaklaşım kollarındaki sinyalizasyon sistemlerinin sinyal sürelerinin dengesiz dağılımı ve merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresinin, merkez ada etrafında depolanan taşıtların kavşağı terk edebilmesi için yeterli olmadığı gösterilebilmektedir. Böyle durumlarda, merkez ada etrafındaki tüm taşıtlar kavşağı

terk edemediği için, merkez ada etrafındaki taşıt sayısı sürekli artmakta (ada etrafında taşıtlar birikmekte) ve bu durum bir süre sonra kavşağın tıkanmasına sebep olmaktadır.



Şekil 5.45: 1. Örnek Durum – 1. Aşama Analiz Sonuçları

#### 5.4.1.1.2 1. Örnek Durum – 2. Aşama

İkinci aşamada, ortalama taşıt gecikmesi 120 sn/ta'ın üzerinde olan senaryolar, birinci aşamadaki aynı faz ve devre planı kullanılarak fakat farklı sinyal süreleri ataması yapılarak yeniden analiz edilmiştir. Bölüm 4.2' de belirtilen sinyalizasyon dönel kavşak sinyal sistemi tasarımı esaslarına uygun bir şekilde yapılan analizler sonucunda, bazı senaryoların ortalama taşıt gecikmeleri 120 sn/ta'ın altına düşürülmüştür. Tablo 5.38' de, 1. Örnek durum için yapılan kavşak performansını iyileştirme çalışmalarında ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta 'ın altına düşürülebildiği senaryolar verilmektedir.

Tablo 5.38: Depo=2 şerit – 1. Örnek Durum İçin 2. Aşamada Yapılan İyileştirmeler

	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50
Senaryo No	İyileştirme yapılmasına gerek yoktur.	7	5	3	1
		8	6	4	2
		9	-	-	-
		10	-	-	-

Tablo 5.39’ da ise, sinyalizasyon sisteminin sinyal sürelerinin yeniden düzenlenmesi ile birlikte performansı artırılan senaryolara ait yeni sinyal süreleri ve bu süreler baz alınarak Vissim simülasyon programında yapılan analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri verilmektedir.

**Tablo 5.39:** 1. Örnek Durum – 2. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Kavşaktaki Hacimsel Değişimler	Senaryo No	Batı Y. K. Yeşil Süre (sn)	Doğu Y. K. Yeşil Süre (sn)	Kuzey Y. K. Yeşil Süre (sn)	Güney Y. K. Yeşil Süre (sn)	Merkez Ada Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> A. A: -%25	7	17	21	12	8	53	90	<b>51.540</b>
	8	18	22	15	9	57	95	<b>55.481</b>
	9	18	22	12	8	57	95	<b>84.684</b>
	10	18	23	15	9	61	100	<b>118.168</b>
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> A. A: %0	5	26	30	13	8	54	100	<b>101.642</b>
	6	29	33	14	9	56	105	<b>107.910</b>
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> A. A: +%25	3	43	52	15	9	57	125	<b>111.437</b>
	4	43	52	18	11	62	130	<b>116.658</b>
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> A. A: +%50	1	48	56	12	8	48	120	<b>47.123</b>
	2	46	54	16	11	55	125	<b>55.963</b>
Sarı Süre: 2 sn. / Ortak Kırmızı Süre: 4 sn. Faslılı yeşil süreler yukarıda belirtilen sürelerle dahildir.								

Tablo 5.39’ dan da görüldüğü üzere, 1. Örnek durum için, birinci aşamada ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ tan daha fazla elde edildiği on farklı senaryonun ortalama taşıt gecikmesi, ikinci aşamada 120 sn/ta’ ın altına düşürülebilmıştır. Bu durum, kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin sinyal sürelerinin yeniden düzenlenmesi ile sağlanabilmiştir.

#### 5.4.1.1.3 1. Örnek Durum – 3. Aşama

Üçüncü aşamada, oluşturulan senaryoların ortalama taşıt gecikmelerini düşürmek için kavşakta değişik faz ve devre planı uygulanmıştır. Bu aşamada, birinci ve ikinci aşamada ana akımlardaki sola dönüş hareketlerinin depolanmasının kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesini önemli oranda arttırdığı tespit edilmiş ve bu yüzden kavşakta depolama yapılmaması durumu değerlendirilmiştir. Ana akımların bulunmadığı diğer yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri saatlik 350 ta/sa’ in altında

olduğu için (bu durum taşıtların kesişme olasılığını azaltmaktadır) bu yaklaşım kollarına aynı anda geçiş hakkı verilmiştir. Her iki yaklaşım kolunda da sola dönüş hareketlerinde tehlike yaratabilecek durumlar, sürücünün sahip olduğu trafik kültürüne ve almış olduğu trafik eğitimine bırakılmıştır.

Analiz çalışmalarında, Bölüm 5.2.2.2’ de belirtilen sinyalizasyon kavşaklarının üç fazlı denetiminde uygulanan faz planı ve devre diyagramı kullanılmıştır. Ayrıca, her bir senaryo için devre süresi 140 sn. alınarak, yaklaşım kollarına ait sinyal süreleri Sidra Intersection programı ile belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen süreler Vissim simülasyon programına tanımlanarak, oluşturulan senaryoların her biri ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Tablo 5.40’ da, bazı örnek senaryolar için Sidra Intersection programı ile elde edilen sinyal süreleri gösterilmektedir. Oluşturulan elli farklı senaryonun analiz edilmesi sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri ise Tablo 5.41’ de verilmektedir.

**Tablo 5.40:** Depo=2 Şerit, 1. Örnek Durum – 3. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri

Kavşaktaki Hacimsel Değişimler	Örnek Senaryo No	Batı Y. K. Yeşil Süre (sn)	Doğu Y. K. Yeşil Süre (sn)	Kuzey Y. K. - Güney Y. K. Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	3	42	45	32	140
	6	33	39	47	140
	8	36	43	40	140
	10	39	46	34	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	1	43	51	25	140
	4	38	44	37	140
	7	45	53	21	140
	9	47	55	17	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	2	41	53	30	140
	5	45	54	20	140
	7	47	55	17	140
	8	43	51	25	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	1	47	55	17	140
	4	43	50	26	140
	6	43	51	25	140
	8	45	53	21	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50	1	48	56	15	140
	2	44	52	23	140
	3	48	56	15	140
	4	44	52	23	140
Sarı Süre: 2 sn. Ortak Kırmızı Süre: 3 sn. (Her faz geçişinde) Fasılalı yeşil süreler yukarıda belirtilen yeşil sürelerle dahildir.					

**Tablo 5.41:** 1. Örnek Durum – 3. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

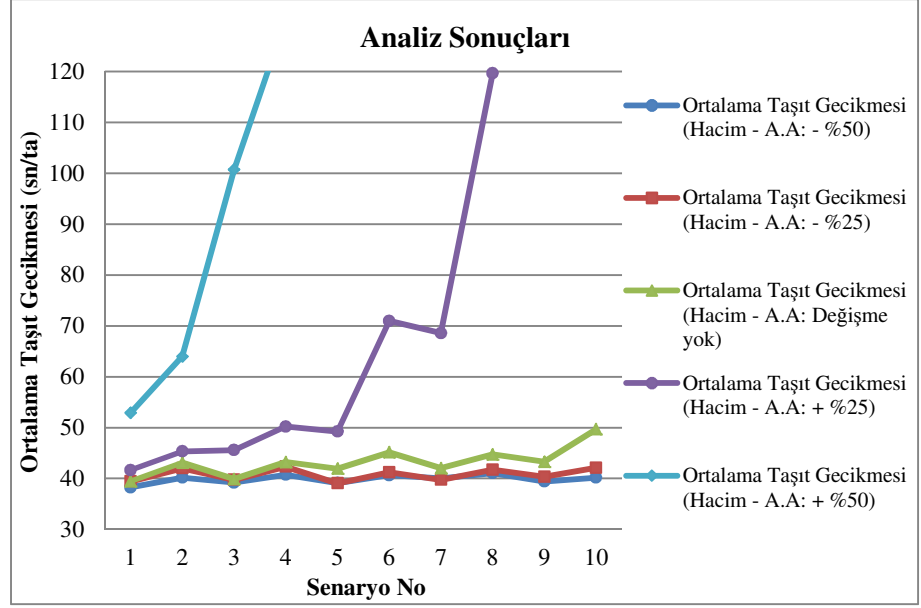
Senaryo No	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)
	A. A: -%50	A. A: -%25	A. A: %0	A. A: +%25	A. A: +%50
1	38.238	39.416	39.428	41.660	52.915
2	40.173	42.006	43.095	45.322	64.002
3	39.202	39.721	39.885	45.573	100.706
4	40.743	42.31	43.218	50.201	<b>130.191</b>
5	39.089	39.044	41.929	49.235	*
6	40.651	41.212	45.127	70.994	*
7	40.015	39.722	42.023	68.592	*
8	41.053	41.705	44.721	119.688	*
9	39.397	40.337	43.280	<b>142.760</b>	*
10	40.166	42.087	49.674	*	*

A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri  
\* : Kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' tan fazla olduğu durumlar

Kavşaktaki toplam trafik hacmi arttıkça, ortalama taşıt gecikmesinin de arttığı Tablo 5.41' de açıkça görülmektedir. Ayrıca aynı toplam hacimli senaryolar için, kavşak yaklaşım kollarında sola dönüş hareketi yapacak olan taşıt sayısı arttıkça ortalama taşıt gecikmesinin de arttığı sonucuna varılabilmektedir. Ana akımların bulunduğu yaklaşım kollarındaki taşıt hacimlerinin baz durumla aynı olduğu, %25 ve %50 oranında azaltıldığı durumlarda, oluşturulan senaryolar için, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin artıp azalan şekilde değiştiği gözlemlenmektedir. Bu durumun nedeni, ana akımın bulunmadığı yaklaşım kollarındaki (kuzey ve güney yaklaşım kollarındaki) sola dönüş hareketi yapacak olan taşıt sayısının artmasıdır (her iki yaklaşım kolu için de sola dönüş oranı %10' dan, %60' a çıkarılmaktadır.).

Kuzey ve güney yaklaşım kollarında sola dönüş hareketi yapacak olan taşıt sayısı arttıkça, bu yaklaşım kollarındaki taşıtlara aynı fazda geçiş hakkı verildiğinden, söz konusu karşılıklı yaklaşım kollarındaki taşıtların birbirleri ile kesişme olasılığı da artmaktadır. Yapılan analizlerde kavşaktaki trafik güvenliği üst düzeyde tutulmuştur. Karşılıklı akımların birbirleri ile kesişmelerini önlemek amacı ile kavşakta “DUR” ve “YOL-VER” kontrol tekniği uygulanmıştır. Ortalama taşıt gecikmelerinin artmasının en önemli sebebi, kuzey ve güney yaklaşım kollarındaki taşıt hareketlerinin, belirtilen kontrol teknikleri ile kesintiye uğratılması ve hatta bazı durumlarda kısa süreli de olsa tamamen durdurulmasıdır.

Şekil 5.46' da, oluşturulan elli farklı senaryo için, 1. Örnek durum – 3. Aşamada elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



**Şekil 5.46:** 1. Örnek Durum – 3. Aşama Analiz Sonuçları

#### 5.4.1.1.4 1. Örnek Durum – 4. Aşama

Dördüncü aşamada, oluşturulan elli farklı senaryo için, ortalama taşıt gecikmelerinin daha da azaltılması amaçlanmıştır. Analiz çalışmalarında, üçüncü aşamadaki gibi, Bölüm 5.2.2.2’ de belirtilen, sinyalizasyon kavşaklarının üç fazlı denetiminde uygulanan faz planı ve devre diyagramı kullanılmıştır. Sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri, Sidra Intersection programının optimum devre süresi seçeneği ile belirlenmiştir. Bu seçenek ile her bir fazın yeşil süresi, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin minimum olacağı şekilde tespit edilmiş ve sonuç olarak sinyalizasyon sistemleri için en uygun sinyal sürelerinin ataması yapılmıştır. Sonraki aşamada, her bir farklı senaryo için, Sidra Intersection programı ile elde edilen süreler, Vissim simülasyon programına tanımlanmış ve oluşturulan elli farklı senaryonun ayrı ayrı analizleri yapılmıştır.

Tablo 5.42’ de, bazı senaryolar için, Sidra Intersection programı ile elde edilen optimum devre süreleri ve her bir faza ait yeşil süreler verilmektedir. Oluşturulan elli farklı senaryonun, optimum devre süreleri baz alınarak analiz edilmesi sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri ise Tablo 5.43’ de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

**Tablo 5.42:** Depo=2 Şerit, 1. Örnek Durum – 4. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri

Kavşaktaki Hacimsel Değişimler	Örnek Senaryo No	Batı Y. K. Yeşil Süre (sn)	Doğu Y. K. Yeşil Süre (sn)	Kuzey Y. K. - Güney Y. K. Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	3	9	10	10	50
	6	9	10	10	50
	8	9	10	10	50
	10	13	16	10	60
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	1	13	16	10	60
	4	13	15	11	60
	7	18	21	10	70
	10	27	32	15	95
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	2	21	24	14	80
	5	22	27	10	80
	7	29	35	10	95
	8	32	39	18	110
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	1	29	35	10	95
	4	36	42	21	120
	6	39	47	23	130
	8	48	58	23	150
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50	1	44	52	13	130
	2	48	56	25	150
	3	50	59	15	145
	4	43	50	21	135
Sarı Süre: 2 sn. Ortak Kırmızı Süre: 3 sn. (Her faz geçişinde) Faslah yeşil süreler yukarıda belirtilen yeşil sürelerle dahildir.					

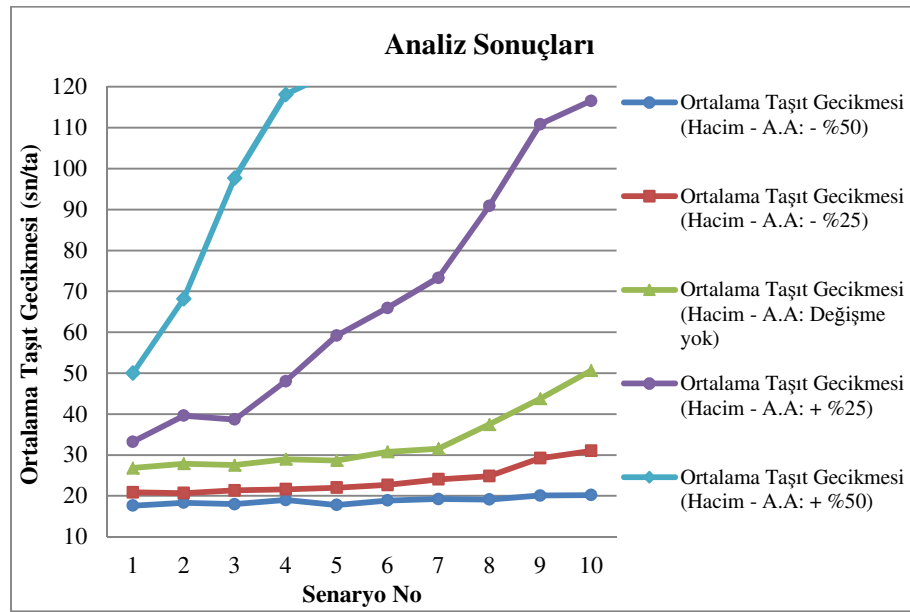
Tablo 5.42’ den görüldüğü üzere, kavşaktaki toplam trafik hacmi arttıkça, optimum devre süresi de artmaktadır. Ayrıca kavşaktaki toplam trafik hacminin aynı olduğu durumlar için, genel olarak, kavşak yaklaşım kollarındaki sola dönüş oranı artışlarının optimum devre süresini arttırdığı da söylenebilmektedir.

**Tablo 5.43:** 1. Örnek Durum – 4. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıtlı Gecikmeleri

Senaryo No	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50
1	17.637	20.866	26.815	33.233	50.033
2	18.338	20.674	27.896	39.618	68.221
3	17.979	21.356	27.510	38.668	97.734
4	19.015	21.611	28.983	48.046	118.127
5	17.800	22.006	28.673	59.165	<b>124.029</b>
6	18.899	22.696	30.782	65.946	*
7	19.233	24.051	31.554	73.321	*
8	19.111	24.836	37.447	90.873	*
9	20.078	29.228	43.751	110.856	*
10	20.215	31.010	50.656	116.588	*
A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri *: Kavşaktaki ortalama taşıtlı gecikmesinin 120 sn/ta’ tan fazla olduğu durumlar					

Tablo 5.43 dikkatle incelendiğinde, dördüncü aşamada da diğer aşamalardakilere benzer şekilde, kavşaktaki toplam trafik hacminin artması ile birlikte ortalama taşıt gecikmelerinin de arttığı görülmektedir. Aynı toplam trafik hacmine sahip senaryolar için, özellikle ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki sola dönüş oranları arttıkça ortalama gecikmelerin arttığı sonucuna da kolayca ulaşılabilmektedir. Ayrıca, ana akımların bulunduğu yaklaşım kollarındaki taşıt hacimlerinin baz durumla aynı olduğu, %25 ve %50 oranında azaltıldığı durumlarda, oluşturulan senaryolar için, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin genel olarak artıp azalan şekilde değiştiği gözlemlenmektedir. Bu durumun nedeni, Bölüm 5.4.1.1.3’ de detaylı olarak anlatılmıştır.

Şekil 5.47’ de, oluşturulan elli farklı senaryo için, 1. Örnek durum – 4. Aşamada elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.47: 1. Örnek Durum – 4. Aşama Analiz Sonuçları

Tablo 5.43 ve Şekil 5.47’ den görüldüğü üzere, oluşturulan elli farklı senaryo için, en düşük ortalama taşıt gecikmelerinin sağlandığı aşama, üç fazlı (sola dönüşler için depolama yapılmayan) denetim tekniği uygulanan ve Sidra Intersection programı ile elde edilen optimum devre sürelerinin kullanıldığı dördüncü aşamadır. Bu aşamada, yalnızca ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin %50 oranında arttırıldığı durumdaki altı senaryoda (5-6-7-8-9 ve 10. senaryo) ortalama taşıt gecikmeleri 120 sn/ta’ ın altında elde edilememiştir.



### 5.4.1.2 Depolamanın İki Şeritte Yapılması Durumu – 1. Örnek Durum Analiz Sonuçları

Birinci örnek durum için öncelikli olarak, kavşak yaklaşım kollarındaki sola dönüş oranlarının birbirinden farklı olduğu elli farklı senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolar, farklı faz-devre planı ve sinyalizasyon işletimi işlemleri (sinyal süresi farklılıkları vb.) uygulanarak analiz edilmiştir. İlk aşamada, oluşturulan senaryolar üzerinde, Bölüm 5.1.2’ de belirtilen Pekdemir kavşağına ait faz-devre planı ve sinyal süreleri uygulanmış ve söz konusu veriler ışığında senaryoların performans analizleri yapılmıştır. İkinci aşamada, ortalama gecikmenin 120 sn/ta’ ın üzerinde olduğu senaryolar, Bölüm 4.2’ de anlatılan sinyalizasyon dönel kavşaklarda sinyal sistemi tasarımı esasları dikkate alınarak (sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri yeniden düzenlenerek) yeniden analiz edilmiştir. Üçüncü aşamada ise, senaryolar üzerinde, sinyalizasyon kavşaklarda uygulanan (sola dönüşlerde depolamanın yapılmadığı) 3 fazlı denetim tekniği uygulanmıştır. Analizlerde, sinyalizasyon sisteminin devre süresi 140 sn. alınarak her bir faza ait yeşil süre Sidra Intersection programı ile elde edilmiştir. Elde edilen süreler Vissim simülasyon programına aktarılarak, oluşturulan senaryolar için ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Son aşamada ise, üçüncü aşamada kullanılan faz-devre planları kullanılmış fakat sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri Sidra Intersection programının optimum devre süresi seçeneği ile elde edilmiştir. Bu aşamada da, elde edilen süreler Vissim simülasyon programına aktarılmış ve her bir senaryo için ayrı ayrı analiz yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, ortalama taşıt gecikmelerinin 120 sn/ta’ ın altında elde edildiği senaryo sayıları, Tablo 5.44’ de detaylı olarak verilmektedir.

**Tablo 5.44:** Depo=2 Şerit – 1. Örnek Durum, Ortalama Taşıt Gecikmelerinin 120 sn/ta ‘ ın Altında Elde Edildiği Senaryo Sayıları

Aşama	Senaryo Sayısı (A. A: -%50)	Senaryo Sayısı (A. A: -%25)	Senaryo Sayısı (A. A: %0)	Senaryo Sayısı (A. A: +%25)	Senaryo Sayısı (A. A: +%50)
1	10	6	4	2	0
2	10	10	6	4	2
3	10	10	10	8	3
4	10	10	10	10	4

A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri

Tablo 5.44’ den görüldüğü üzere, 1. Aşamada ortalama gecikmenin 120 sn/ta ‘ ın altında olduğu senaryo sayısı 22 iken, bu sayı 2. Aşamada 32’ ye, 3. Aşamada 41’ e ve 4. Aşamada ise başlangıç durumuna göre iki kat artarak 44’ e yükselmiştir.

### 5.4.1.3 Depolamanın İki Şeritte Yapılması Durumu – 2. Örnek Durum

2. Örnek durum analiz çalışmalarında da, Bölüm 5.4.1.1’ de detaylı olarak anlatılan dört farklı analiz aşaması göz önünde bulundurulmuş ve analizler bu aşamalar dikkate alınarak yapılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacmi artışının (1. Örnek duruma göre) ve dolayısıyla kavşaktaki toplam trafik miktarı artışının, kavşak performansına olan etkisi incelenmiştir.

Bu bölümde, söz konusu farklı dört aşama için, çalışma kapsamınca incelenen tüm senaryolara (elli farklı senaryo) ait, sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmesi sonuçları hem tablo hem de grafiksel olarak detaylı bir şekilde verilmektedir.

#### 5.4.1.3.1 2. Örnek Durum – 1. Aşama

İkinci örnek durum için de, ilk aşamada, elli farklı senaryo üzerinde, Bölüm 5.1.2’ de verilen faz planı ve sinyal süreleri kullanıldığı için, bu bölümde faz planı ve sinyal süreleri yeniden gösterilmemektedir. Bu bölümde, Bölüm 5.1.2’ de belirtilen yaklaşım kollarına karşılık gelen yaklaşım kollarının; Muğla = Batı, Pekdemir = Doğu, HTA = Kuzey, Tali = Güney şeklinde olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Söz konusu faz, devre planı ve sinyal sürelerinin uygulandığı senaryolara ait analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmesi sonuçları Tablo 5.45’ de verilmektedir. Şekil 5.48’ de ise sonuçlar grafiksel olarak gösterilmektedir.

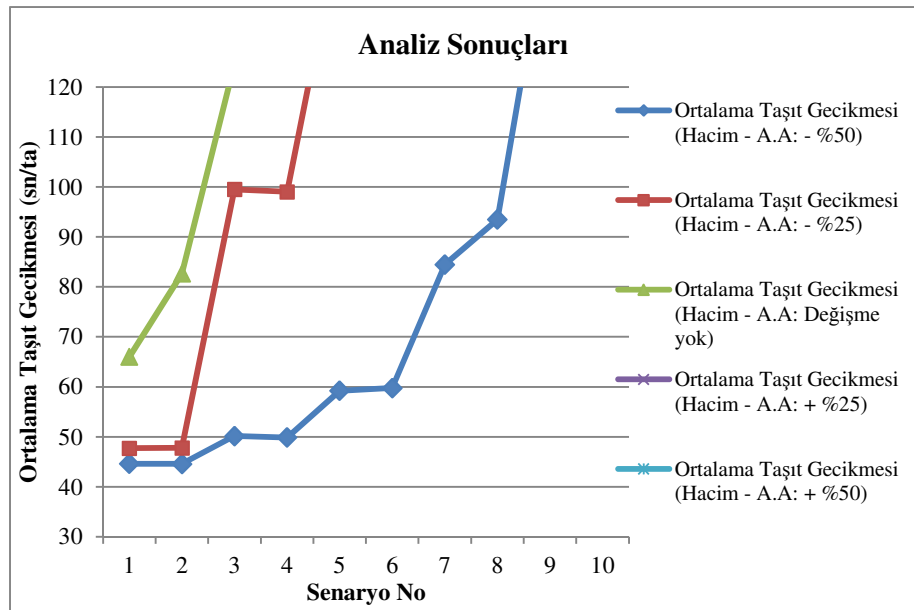
**Tablo 5.45:** 2. Örnek Durum – 1. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Senaryo No	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)
	A. A: -%50	A. A: -%25	A. A: %0	A. A: +%25	A. A: +%50
1	44.622	47.71	65.997	<b>129.813</b>	<b>146.065</b>
2	44.592	47.793	82.675	*	*
3	50.145	99.496	<b>124.567</b>	*	*
4	49.878	99.022	*	*	*
5	59.207	<b>151.574</b>	*	*	*
6	59.775	*	*	*	*
7	84.484	*	*	*	*
8	93.500	*	*	*	*
9	<b>154.483</b>	*	*	*	*
10	*	*	*	*	*

A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri  
\* : Kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ tan fazla olduğu durumlar

Tablo 5.45' den görüldüğü üzere, kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin ve dolayısıyla kavşaktaki toplam trafik hacminin artış gösterdiği ikinci örnek durumda, ortalama taşıt gecikmelerinin oluşturulan tüm senaryolar için, birinci örnek duruma kıyasla artmış olduğu görülmektedir. Bu durumun temel nedeni, ikinci örnek durumda yaklaşım kollarında artan taşıt sayısına bağlı olarak, sola dönüş oranlarının da artmasıdır. Birinci aşamada, kavşak trafiği depolama sistemi ile yönetildiği için, merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresi sola dönüş yapacak olan taşıtlar için yetersiz kalmakta, bu durum ortalama taşıt gecikmelerinde büyük oranda artışa sebep olmaktadır. Hatta birçok senaryoda, kavşakta trafiğin tıkanması durumu söz konusudur.

Birinci ve ikinci örnek durumların ilk aşamaları birbirleri ile kıyaslandığında, birinci örnek durumda, ana akımdaki trafik hacminin %50 azaltılması ile oluşturulan 10 farklı senaryonun ortalama taşıt gecikmesi 120 sn/ta' nın altında iken, ikinci örnek durumda bu sayının 8' e düştüğü açıkça görülmektedir. Aynı şekilde ana akımdaki trafik hacminin %25 azaltıldığı durumda ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' nın altında olduğu senaryo sayısı 6' dan 4' e, trafik hacminin değişmediği durumda 4' den 2' ye, trafik hacminin %25 arttırıldığı durumda 2' den 0' a düşmüştür. Trafik hacminin %50 arttırıldığı durumda ise herhangi bir değişiklik olmamış ve tüm senaryolar için ortalama taşıt gecikmeleri 120 sn/ta' nın üzerinde elde edilmiştir.



**Şekil 5.48:** 2. Örnek Durum – 1. Aşama Analiz Sonuçları

### 5.4.1.3.2 2. Örnek Durum – 2. Aşama

İkinci aşamada, ortalama taşıt gecikmesi 120 sn/ta' ın üzerinde olan senaryolar, birinci aşamada dikkate alınan aynı faz-devre planı uygulanarak ve sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri düzenlenerek yeniden analiz edilmiştir. Bölüm 4.2' de belirtilen sinyalizasyon dönel kavşak sinyal sistemi tasarımı esaslarına uygun bir şekilde yapılan analizler sonucunda, bazı senaryoların ortalama taşıt gecikmeleri 120 sn/ta' ın altına düşürülmüştür. Tablo 5.46' da, 2. Örnek durum için yapılan kavşak performansını iyileştirme çalışmalarında ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' ın altına düşürülebildiği senaryolar verilmektedir.

**Tablo 5.46:** Depo=2 Şerit - 2. Örnek Durum İçin 2. Aşamada Yapılan İyileştirmeler

S. N.	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)
	A. A: -%50	A. A: -%25	A. A: %0	A. A: +%25	A. A: +%50
S. N.	9	5	3	1	1
	10	6	4	2	-

S. N: Senaryo No

Tablo 5.47' de ise, sinyalizasyon sisteminin sinyal sürelerinin yeniden düzenlenmesi ile birlikte performansı artırılan senaryolara ait yeni sinyal süreleri ve bu süreler baz alınarak Vissim simülasyon programında yapılan analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri verilmektedir.

**Tablo 5.47:** 2. Örnek Durum – 2. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Kavşaktaki Hacimsel Değişimler	Senaryo No	Batı Y. K. Yeşil Süre (sn)	Doğu Y. K. Yeşil Süre (sn)	Kuzey Y. K. Yeşil Süre (sn)	Güney Y. K. Yeşil Süre (sn)	Merkez Ada Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	9	14	19	12	9	50	85	47.720
	10	14	19	14	10	55	90	51.416
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	5	25	32	12	8	52	100	72.269
	6	23	30	16	11	59	105	116.909
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	3	40	50	15	9	59	125	110.644
	4	41	51	17	11	63	130	117.009
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	1	42	57	13	8	52	125	77.071
	2	41	55	17	11	59	130	101.222
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50	1	43	58	11	8	51	125	112.922

Sarı Süre: 2 sn. / Ortak Kırmızı Süre: 4 sn. - Fasilalı yeşil süreler yukarıda belirtilen yeşil sürelerle dahildir.

Tablo 5.47’ den de görüldüğü üzere, 2. Örnek durum için, birinci aşamada ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ dan daha fazla elde edildiği dokuz farklı senaryonun ortalama taşıt gecikmesi, ikinci aşamada 120 sn/ta’ ın altına düşürülebilmektedir. Bu durum, kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin sinyal sürelerinin yeniden düzenlenmesi ile sağlanabilmektedir.

### 5.4.1.3.3 2. Örnek Durum – 3. Aşama

İkinci örnek durum üçüncü aşamada, Bölüm 5.4.1.1.3’ de yer alan ve birinci örnek durum üçüncü aşamada kullanılan trafik denetim tekniği uygulanmıştır. Her bir senaryo için devre süresi 140 sn. alınarak, yaklaşım kollarına ait sinyal süreleri Sidra Intersection programı ile belirlenmiştir. Elde edilen süreler Vissim simülasyon programına tanımlanarak, senaryolar ayrı ayrı analiz edilmiştir. Tablo 5.48’ de, bazı örnek senaryolar için Sidra Intersection programı ile elde edilen sinyal süreleri gösterilmektedir.

**Tablo 5.48:** Depo=2 Şerit, 2. Örnek Durum – 3. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri

Kavşaktaki Hacimsel Değişimler	Örnek Senaryo No	Batı Y. K. Yeşil Süre (sn)	Doğu Y. K. Yeşil Süre (sn)	Kuzey Y. K. - Güney Y. K. Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	3	37	51	31	140
	6	31	43	45	140
	8	34	47	38	140
	10	37	50	32	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	1	40	55	24	140
	4	36	48	35	140
	7	42	58	19	140
	9	44	59	16	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	2	38	52	29	140
	5	42	58	19	140
	7	44	60	15	140
	8	41	55	23	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	1	44	59	16	140
	2	40	54	25	140
	3	44	59	16	140
	4	40	55	24	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50	1	45	61	13	140
	1. Senaryo haricindeki senaryolara ait ortalama gecikmeler 120 sn/ta ‘ ın üzerinde olduğu için yalnızca 1. senaryonun sinyal süreleri bulunmaktadır.				
Sarı Süre: 2 sn. Ortak Kırmızı Süre: 3 sn. (Her faz geçişinde) Fasılal yeşil süreler yukarıda belirtilen yeşil sürelerle dahildir.					

Oluşturulan elli farklı senaryonun analiz edilmesi sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri Tablo 5.49’ da verilmektedir.

**Tablo 5.49:** 2. Örnek Durum – 3. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

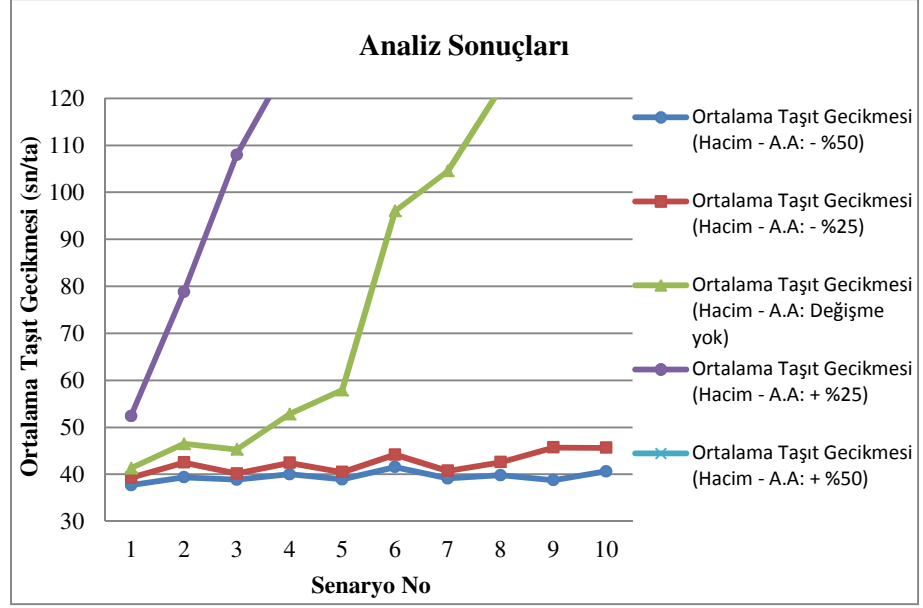
Senaryo No	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: - %50	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: - %25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50
1	37.683	39.268	41.316	52.396	<b>122.111</b>
2	39.371	42.493	46.467	78.803	*
3	38.840	40.143	45.306	107.936	*
4	39.997	42.439	52.816	<b>127.974</b>	*
5	38.908	40.453	57.915	*	*
6	41.539	44.176	96.015	*	*
7	39.130	40.733	104.541	*	*
8	39.806	42.554	<b>122.137</b>	*	*
9	38.761	45.686	*	*	*
10	40.624	45.625	*	*	*

A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri  
\* : Kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ tan fazla olduğu durumlar

Tablo 5.49’ dan görüldüğü üzere, ikinci örnek durum üçüncü aşamada ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ dan daha az olduğu senaryo sayısı 30’ dur. Tablo 5.41 dikkatle incelendiğinde, birinci örnek durum üçüncü aşama için ise bu sayının 41 olduğu kolayca görülebilmektedir. İkinci durumda bu sayının düşüş göstermesinin en önemli nedeni, kavşaktaki toplam trafik hacminin ve buna bağlı olarak yaklaşım kollarındaki sola dönüş hacminin artmasıdır. Ayrıca, elde edilen sonuçlardan, ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ ta’ dan fazla olduğu senaryolar için 140 sn. devre süresinin yetersiz olduğu sonucuna da ulaşılabilmektedir.

İkinci örnek durumda da, ana akımların bulunduğu yaklaşım kollarındaki taşıt hacimlerinin %25 ve %50 oranında azaltıldığı durumlarda, oluşturulan senaryolar için, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin artıp azalan şekilde değiştiği gözlemlenmektedir. Bu durumun temel nedeni, ana akımın bulunmadığı yaklaşım kollarındaki (kuzey ve güney yaklaşım kollarındaki) sola dönüş hareketi yapacak olan taşıt sayısındaki artıştır (her iki yaklaşım kolu için de sola dönüş oranı %10’ dan %60’ a çıkarılmaktadır). Ortalama taşıt gecikmelerinin artıp azalmasının nedenleri Bölüm 5.4.1.1.3’ de detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Bu yüzden bu bölümde detaylara yer verilmemektedir.

Şekil 5.49’ da, oluşturulan elli farklı senaryo için, 2. Örnek durum – 3. Aşamada elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.49: 2. Örnek Durum – 3. Aşama Analiz Sonuçları

#### 5.4.1.3.4 2. Örnek Durum – 4. Aşama

İkinci örnek durum için de, dördüncü aşamada, oluşturulan elli farklı senaryonun ortalama taşıt gecikmelerinin daha da azaltılması amaçlanmıştır. Analiz çalışmalarında, üçüncü aşamadaki gibi, Bölüm 5.2.2.2’ de belirtilen, sinyalizasyon kavşaklarının üç fazlı denetiminde uygulanan faz planı ve devre diyagramı kullanılmıştır. Sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri, Sidra Intersection programının optimum devre süresi seçeneği ile belirlenmiştir. Bu seçenek ile her bir fazın yeşil süresi, ortalama taşıt gecikmesinin minimum olacağı şekilde tespit edilmiş ve sonuç olarak sinyalizasyon sistemleri için en uygun sinyal sürelerinin ataması yapılmıştır. Sonraki aşamada, her bir farklı senaryo için, Sidra Intersection programı ile elde edilen süreler, Vissim simülasyon programına tanımlanmış ve oluşturulan elli farklı senaryonun ayrı ayrı analizleri yapılmıştır.

Tablo 5.50’ de, bazı senaryolar için, Sidra Intersection programı ile elde edilen optimum devre süreleri ve her bir faza ait yeşil süreler verilmektedir. Oluşturulan elli farklı senaryonun, optimum devre süreleri baz alınarak analiz edilmesi sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri ise Tablo 5.51’ de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

**Tablo 5.50:** Depo=2 Şerit, 2. Örnek Durum – 4. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri

Kavşaktaki Hacimsel Değişimler	Örnek Senaryo No	Batı Y. K. Yeşil Süre (sn)	Doğu Y. K. Yeşil Süre (sn)	Kuzey Y. K. - Güney Y. K. Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> <b>A. A: -%50</b>	3	10	14	10	55
	6	10	13	11	55
	8	12	16	11	60
	10	19	25	15	80
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> <b>A. A: -%25</b>	1	19	25	10	75
	4	15	21	13	70
	7	25	34	10	90
	10	42	57	25	145
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> <b>A. A: %0</b>	2	35	48	26	130
	5	34	46	14	115
	7	42	58	14	135
	8	44	60	25	150
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> <b>A. A: +%25</b>	1	47	64	18	150
	2	43	59	27	150
	3	47	64	18	150
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> <b>A. A: +%50</b>	1	49	65	15	150
	1. Senaryo haricindeki senaryolara ait ortalama gecikmeler 120 sn/ta ' n üzerinde olduğu için yalnızca 1. senaryonun sinyal süreleri bulunmaktadır.				
Sarı Süre: 2 sn. Ortak Kırmızı Süre: 3 sn. (Her faz geçişinde) Faslıl yeşil süreler yukarıda belirtilen yeşil sürelerle dahildir.					

Tablo 5.50' den görüldüğü üzere, kavşaktaki toplam trafik hacmi arttıkça, optimum devre süresi de artmaktadır. Ayrıca kavşaktaki toplam trafik hacminin aynı olduğu durumlar için, genel olarak, kavşak yaklaşım kollarındaki sola dönüş oranı artışlarının optimum devre süresini arttırdığı da söylenebilmektedir.

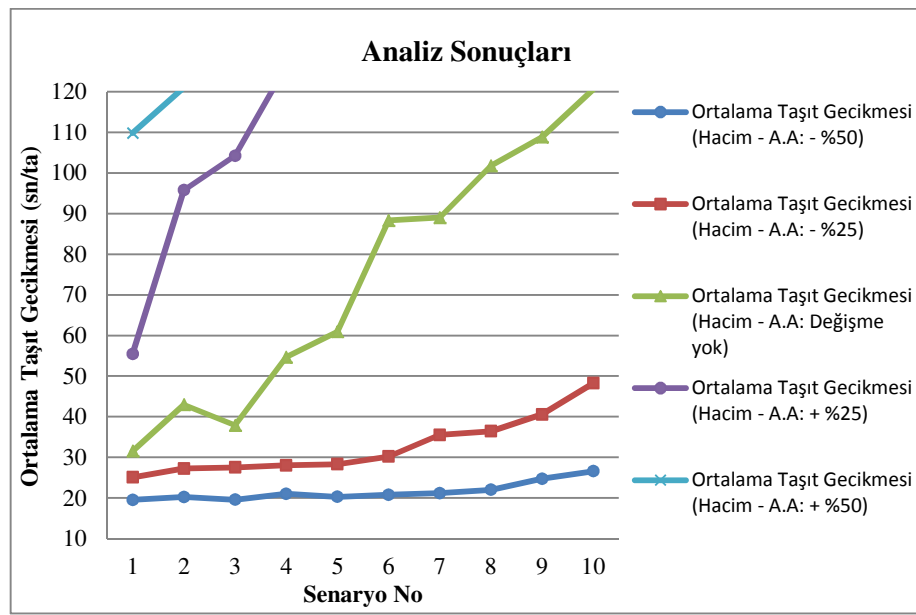
**Tablo 5.51:** 2. Örnek Durum – 4. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıtlı Gecikmeleri

Senaryo No	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50
1	19.535	25.100	31.538	55.448	109.799
2	20.248	27.272	42.981	95.758	<b>120.969</b>
3	19.558	27.542	37.870	104.215	*
4	21.018	28.027	54.665	<b>126.245</b>	*
5	20.296	28.325	60.942	*	*
6	20.777	30.203	88.281	*	*
7	21.185	35.526	89.025	*	*
8	22.015	36.433	101.781	*	*
9	24.749	40.555	108.817	*	*
10	26.601	48.242	<b>120.518</b>	*	*
A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri *: Kavşaktaki ortalama taşıtlı gecikmesinin 120 sn/ta' tan fazla olduğu durumlar					



Tablo 5.51’ dikkatle incelendiğinde, her bir senaryonun optimum devre süresi kullanılarak analiz edildiği ikinci örnek durumda, ortalama gecikmesi 120 sn/ta’ ın altında olan senaryo sayısı 33’ dür. Birinci örnek durumda ise bu sayının 44 olduğu Tablo 5.44’ den açıkça görülebilmektedir. Bu durum, kavşak yaklaşım kollarındaki ve dolayısı ile kavşaktaki toplam trafik hacmi artışının kavşaktaki gecikmeleri önemli oranda arttırdığını çok net bir şekilde göstermektedir.

Şekil 5.50’ de, oluşturulan elli farklı senaryo için, 2. Örnek durum – 4. Aşamada elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.50: 2. Örnek Durum – 4. Aşama Analiz Sonuçları

Tablo 5.51 ve Şekil 5.50’ den görüldüğü üzere, ikinci örnek durum için de en düşük ortalama taşıt gecikmelerinin sağlandığı aşama, dördüncü aşamadır. Bu aşamada ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki taşıt hacimlerinin değiştirilmediği (baz durum) durumda 1, ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin %25 arttırıldığı durumda 7 ve ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin %50 arttırıldığı durumda ise 9 senaryonun ortalama gecikmesi 120 sn/ta’ ın üzerinde elde edilmiştir.

#### 5.4.1.4 Depolamanın İki Şeritte Yapılması Durumu – 2. Örnek Durum Analiz Sonuçları

İkinci örnek duruma ait senaryolar üzerinde de, birinci örnek durumdaki senaryolar üzerinde uygulanan, Bölüm 5.4.1.2’ deki analiz aşamaları uygulanmıştır.

Yapılan analizler sonucunda, ortalama taşıt gecikmelerinin 120 sn/ta’ ın altında elde edildiği senaryo sayıları, Tablo 5.52’ de verilmektedir.

**Tablo 5.52:** Depo=2 Şerit - 2. Örnek Durum, Ortalama Taşıt Gecikmelerinin 120 sn/ta’ ın Altında Elde Edildiği Senaryo Sayıları

Aşama	Senaryo Sayısı (A. A: -%50)	Senaryo Sayısı (A. A: -%25)	Senaryo Sayısı (A. A: %0)	Senaryo Sayısı (A. A: +%25)	Senaryo Sayısı (A. A: +%50)
1	8	4	2	0	0
2	10	6	4	2	1
3	10	10	7	3	1
4	10	10	9	3	1

A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri

Tablo 5.52’ den görüldüğü üzere, 1. Aşamada ortalama gecikmenin 120 sn/ta’ ın altında olduğu senaryo sayısı 14 iken, bu sayı 2. Aşamada 23’ e, 3. Aşamada 31’ e, ve 4. Aşamada ise başlangıç durumuna göre yaklaşık 2.5 kat artarak 33’ e yükselmiştir. Dikkat edilmesi gereken bir başka husus ise, 1. ve 2. Örnek durumlar için bu sayıların farklılığıdır. 1. Örnek durumun son aşamasında ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ ın altında olduğu senaryo sayısı 44 iken, 2. Örnek durumda bu sayının 33’ e düşmesinin en temel sebebi, 2. Örnek durumda ana akımların bulunduğu kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin önemli oranda artmasıdır. Ana akımların bulunduğu kavşak yaklaşım kollarındaki sola dönüş hareketi yapacak olan trafik hacimleri yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri ile doğrudan bağlantılı olduğu için, sola dönen taşıt sayısındaki artış da göz önünde bulundurulduğunda, ortalama taşıt gecikmelerinin 1. Örnek durumda 2. Örnek duruma nazaran daha az elde edilmesi normal bir sonuçtur.

#### 5.4.2 Depolamanın Üç Şeritte Yapılması Durumu

Ana akımda sola dönüş hareketlerindeki taşıt depolamalarının merkez ada etrafındaki üç şerit ile sağlandığı durum için de analizler, Bölüm 5.4.1’ de Tablo 5.34

ve Tablo 5.35’ de verilen 2 farklı örnek durum dikkate alınarak yapılmıştır. Bu bölümdeki analizlerde de, depolamanın iki şeritte yapıldığı durumlarda kavşak performansını belirlemek için oluşturulan elli farklı senaryo kullanılmıştır.

Çalışma kapsamınca, taşıt depolamasının merkez ada etrafındaki üç şerit ile sağlandığı durumlarda, oluşturulan elli farklı senaryo dikkate alınarak, 1. ve 2. Örnek durumlar için yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmektedir.

#### 5.4.2.1 Depolamanın Üç Şeritte Yapılması Durumu – 1. Örnek Durum

1. Örnek durum için analiz çalışmaları, dört farklı durum göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Söz konusu farklı durumlara ait bilgiler Bölüm 5.4.1.1’ de detaylı olarak anlatıldığı için bu bölümde bu bilgilere yeniden yer verilmemektedir. Fakat çalışma kapsamınca incelenen tüm senaryolara ait, sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmesi sonuçları detaylı bir şekilde verilmektedir.

##### 5.4.2.1.1 1. Örnek Durum – 1. Aşama

Ana akımda sola dönecek olan taşıtların merkez ada etrafındaki üç şeritte depolanması durumunda, oluşturulan senaryolara ait ortalama taşıt gecikmesi sonuçları Tablo 5.53’ de verilmektedir.

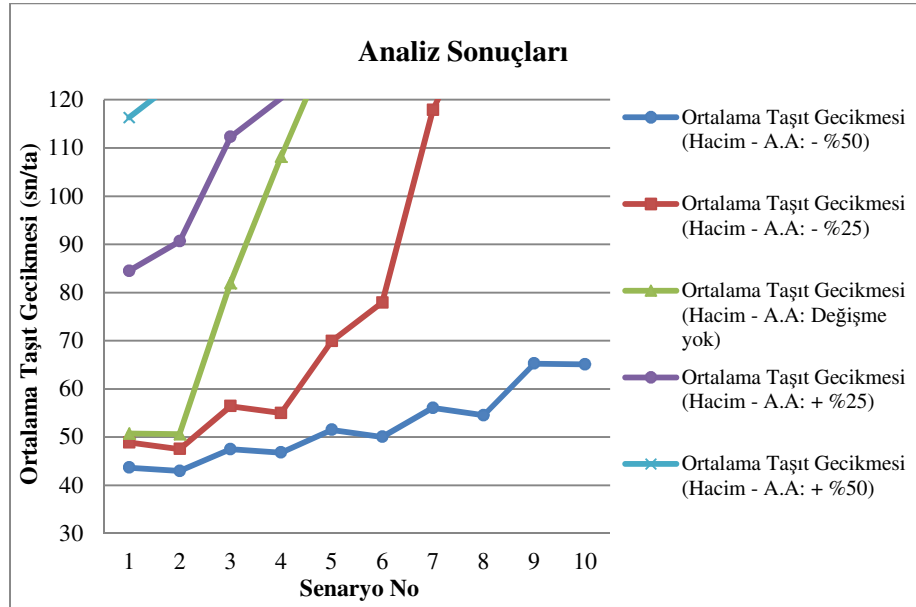
**Tablo 5.53:** 1. Örnek Durum – 1. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Senaryo No	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50
1	43.638	48.871	50.736	84.464	116.297
2	42.971	47.492	50.604	90.605	<b>124.381</b>
3	47.489	56.422	81.952	112.271	*
4	46.771	54.967	108.179	<b>120.305</b>	*
5	51.493	69.878	<b>132.513</b>	*	*
6	50.021	77.894	*	*	*
7	56.044	117.844	*	*	*
8	54.505	<b>140.377</b>	*	*	*
9	65.244	*	*	*	*
10	65.092	*	*	*	*

A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri  
\* : Kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ tan fazla olduğu durumlar

Tablo 5.53' den de görüldüğü üzere, kavşaktaki toplam trafik hacmi arttıkça, ortalama taşıt gecikmeleri de artmaktadır. Ayrıca, kavşaktaki toplam trafik hacminin aynı olduğu durumlarda, hem ana akımdaki hem de diğer akımlardaki sola dönüş oranı arttıkça, kavşaktaki ortalama gecikmelerin arttığı görülmektedir. Ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' ın üzerinde olduğu durumların nedeni olarak, kavşak yaklaşım kollarındaki sinyalizasyon sistemlerinin sinyal sürelerinin dengesiz dağılımı ve merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresinin, merkez ada etrafında depolanan taşıtların kavşağı terk edebilmesi için yeterli olmadığı gösterilebilmektedir.

1. Örnek durum – 1. Aşama analizleri sonucunda elde edilen senaryo bazlı ortalama taşıt gecikmeleri Şekil 5.51' de grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.51: 1. Örnek Durum – 1. Aşama Analiz Sonuçları

#### 5.4.2.1.2 1. Örnek Durum – 2. Aşama

İkinci aşamada, ortalama taşıt gecikmesi 120 sn/ta' ın üzerinde olan senaryolar, birinci aşamadaki aynı faz ve devre planı kullanılarak fakat farklı sinyal süresi ataması yapılarak yeniden analiz edilmiştir. Analizler, Bölüm 4.2' de detaylı olarak anlatılan dönel kavşak sinyal sistemi tasarımı esaslarına uygun bir şekilde yapılmıştır. Bu aşamada, merkez ada etrafındaki depolama alanının üç şeritten

oluştugu ve sinyal süresi hesaplarının bu faktör göz önünde bulundurularak yapılması, tasarımcı tarafından kesinlikle dikkat edilmesi gereken bir konudur. Unutulmamalıdır ki merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sistemine doğru ve yeterli sürenin atanması, kavşak performansını olumlu yönde etkilemekte ve seyahat kalitesini arttırmaktadır.

Tablo 5.54’ de, 1. Örnek durum için yapılan performans iyileştirme çalışmalarında ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ ın altına düşürülebildiği senaryolar verilmektedir.

**Tablo 5.54:** Depo=3 Şerit – 1. Örnek Durum İçin 2. Aşamada Yapılan İyileştirmeler

	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50
S. N.	İyileştirme yapılmasına gerek yoktur.	8	5	4	2
		9	6	-	-
S. N: Senaryo No					

Sinyalizasyon sisteminin sinyal sürelerinin yeniden düzenlenmesi ile birlikte performansı artırılan senaryolara ait yeni sinyal süreleri ve bu süreler baz alınarak Vissim simülasyon programında yapılan analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri Tablo 5.55’ de verilmektedir.

**Tablo 5.55:** 1. Örnek Durum – 2. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Kavşaktaki Hacimsel Değişimler	Senaryo No	Batı Y. K. Yeşil Süre (sn)	Doğu Y. K. Yeşil Süre (sn)	Kuzey Y. K. Yeşil Süre (sn)	Güney Y. K. Yeşil Süre (sn)	Merkez Ada Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	8	18	22	13	9	52	90	71.403
	9	21	25	10	8	49	90	119.702
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	5	33	37	12	9	52	105	98.556
	6	33	37	15	11	57	110	114.406
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	4	47	55	16	11	59	130	102.352
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50	2	45	54	16	11	55	125	81.728
Sarı Süre: 2 sn. / Ortak Kırmızı Süre: 4 sn. - Fasilah yeşil süreler yukarıda belirtilen yeşil süreler dahildir.								

Tablo 5.55’ den de görüldüğü üzere, birinci örnek durum için, birinci aşamada ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ dan daha fazla elde edildiği altı farklı

senaryonun ortalama taşıt gecikmesi, ikinci aşamada 120 sn/ta' ın altına düşürülebilmektedir. Bu durum, kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin sinyal sürelerinin yeniden düzenlenmesi ile sağlanabilmektedir.

#### 5.4.2.1.3 1. Örnek Durum – 3. Aşama

Depolanın üç şeritle sağlandığı durumda da, üçüncü aşama analizleri depolamanın iki şeritle sağlandığı durumdakine benzer şekilde yapılmıştır. Üçüncü aşama ile ilgili genel bilgilere ve detaylara Bölüm 5.4.1.1.3' de yeterince yer verildiği için, bu bölümde söz konusu detaylardan yeniden bahsedilmemektedir.

Tablo 5.56' da, üçüncü aşamada bazı örnek senaryolar için Sidra Intersection programı ile elde edilen sinyal süreleri gösterilmektedir. Oluşturulan elli farklı senaryonun analiz edilmesi sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri ise Tablo 5.57' de verilmektedir.

**Tablo 5.56:** Depo=3 Şerit, 1. Örnek Durum – 3. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri

Kavşaktaki Hacimsel Değişimler	Örnek Senaryo No	Batı Y. K. Yeşil Süre (sn)	Doğu Y. K. Yeşil Süre (sn)	Kuzey Y. K. - Güney Y. K. Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	3	42	45	32	140
	6	33	39	47	140
	8	36	43	40	140
	10	39	46	34	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	1	43	51	25	140
	4	38	44	37	140
	7	45	53	21	140
	9	47	55	17	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	2	41	48	30	140
	5	45	54	20	140
	7	47	55	17	140
	8	43	51	25	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	1	47	55	17	140
	2	43	50	26	140
	4	43	50	26	140
	6	43	51	25	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50	1	48	56	15	140
	2	44	52	23	140
	3	48	56	15	140
	4	Ortalama Gecikme 120 sn/ta' dan fazla			
Sarı Süre: 2 sn. Ortak Kırmızı Süre: 3 sn. (Her faz geçişinde) Fasılalı yeşil süreler yukarıda belirtilen yeşil sürelerle dahildir.					

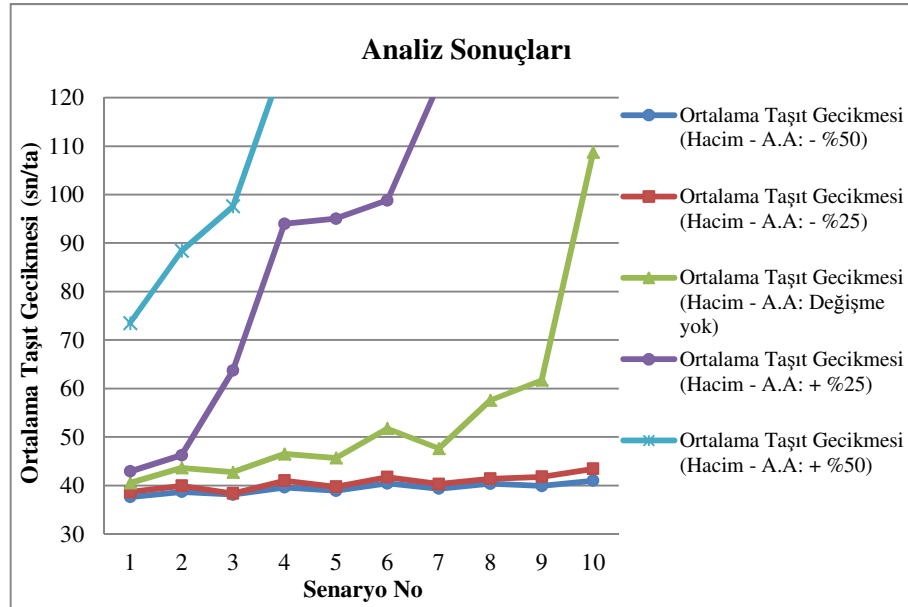
**Tablo 5.57:** 1. Örnek Durum – 3. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Senaryo No	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)
	A. A: -%50	A. A: -%25	A. A: %0	A. A: +%25	A. A: +%50
1	37.614	38.649	40.547	42.909	73.502
2	38.689	39.922	43.634	46.228	88.386
3	38.109	38.365	42.731	63.752	97.579
4	39.623	40.999	46.513	93.962	<b>127.633</b>
5	38.924	39.741	45.667	95.024	*
6	40.427	41.713	51.758	98.787	*
7	39.352	40.305	47.631	<b>122.909</b>	*
8	40.372	41.405	57.575	*	*
9	39.894	41.780	61.715	*	*
10	40.985	43.424	108.723	*	*

A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri  
\* : Kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' tan fazla olduğu durumlar

Tablo 5.57' den kavşaktaki trafik hacmi arttıkça, ortalama taşıt gecikmesinin de arttığı görülmektedir. Kavşaktaki trafik hacminin aynı olduğu durumlarda ise sola dönüş hareketlerindeki artışın kavşaktaki gecikmeleri arttırdığı söylenebilmektedir. Ana akımların bulunduğu yaklaşım kollarındaki taşıt hacimlerinin baz durumla aynı olduğu, %25 ve %50 oranında azaltıldığı durumlarda, senaryolar için, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin artıp azalan şekilde değiştiği gözlemlenmektedir. Bu durumun nedeni Bölüm 5.4.1.1.3' de detaylı olarak verilmektedir.

Şekil 5.52' de, oluşturulan elli farklı senaryo için, 1. Örnek durum – 3. Aşamada elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



**Şekil 5.52:** 1. Örnek Durum – 3. Aşama Analiz Sonuçları

#### 5.4.2.1.4 1. Örnek Durum – 4. Aşama

Depolanın üç şeritle sağlandığı durumda da, dördüncü aşama analizleri, depolamanın iki şeritle sağlandığı durumda yapılan analizlere benzer şekilde yapılmıştır. Dördüncü aşama ile ilgili genel bilgilere ve detaylara Bölüm 5.4.1.1.4’ de yeterince yer verildiği için, bu bölümde söz konusu detaylardan yeniden bahsedilmemektedir.

Tablo 5.58’ de, bazı senaryolar için, Sidra Intersection programı ile elde edilen optimum devre süreleri ve her bir faza ait yeşil süreler verilmektedir. Oluşturulan elli farklı senaryonun, optimum devre süreleri baz alınarak analiz edilmesi sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri ise Tablo 5.59’ da ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Şekil 5.53’ de ise, oluşturulan elli farklı senaryo için, 1. Örnek durum – 4. Aşamada elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri grafiksel olarak verilmektedir.

**Tablo 5.58:** Depo=3 Şerit, 1. Örnek Durum – 4. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri

Kavşaktaki Hacimsel Değişimler	Örnek Senaryo No	Batı Y. K. Yeşil Süre (sn)	Doğu Y. K. Yeşil Süre (sn)	Kuzey Y. K. - Güney Y. K. Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	3	9	10	10	50
	6	9	10	10	50
	8	9	10	10	50
	10	13	16	10	60
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	1	13	16	10	60
	4	13	15	11	60
	7	18	21	10	70
	10	27	32	15	95
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	2	21	24	14	80
	5	22	27	10	80
	7	29	35	10	95
	8	32	39	18	110
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	1	29	35	10	95
	2	36	42	21	120
	4	36	42	21	120
	6	39	47	23	130
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50	1	44	52	13	130
	2	48	56	25	150
	3	50	59	15	145
	4	43	50	21	135
Sarı Süre: 2 sn. Ortak Kırmızı Süre: 3 sn. (Her faz geçişinde) Fasillalı yeşil süreler yukarıda belirtilen yeşil sürelerle dahildir.					



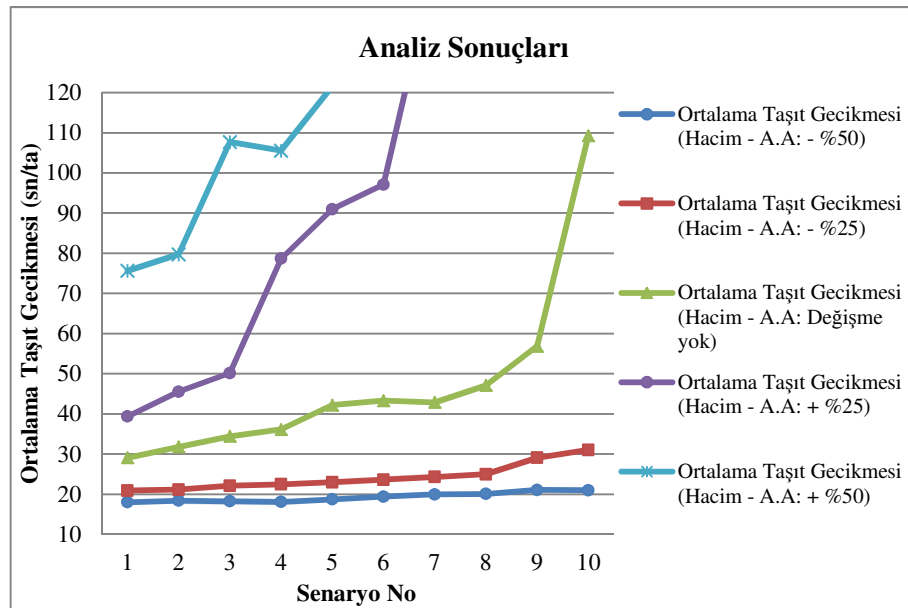
Tablo 5.58' den görüldüğü üzere genel olarak kavşaktaki toplam trafik hacmi arttıkça optimum devre süresi de artmaktadır. Toplam trafik hacminin aynı olduğu durumlar için de, sola dönüşlerdeki artış optimum devre süresini arttırmaktadır.

**Tablo 5.59:** 1. Örnek Durum – 4. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Senaryo No	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50
1	17.987	20.887	29.086	39.338	75.628
2	18.399	21.153	31.765	45.512	79.719
3	18.209	22.080	34.393	50.145	107.700
4	18.076	22.448	36.128	78.651	105.578
5	18.706	22.988	42.189	90.967	<b>121.589</b>
6	19.363	23.624	43.316	97.102	*
7	19.926	24.272	42.846	<b>151.886</b>	*
8	20.072	24.978	47.096	*	*
9	21.052	29.087	56.846	*	*
10	20.958	31.003	109.308	*	*

A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri  
\* : Kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' tan fazla olduğu durumlar

Tablo 5.59 dikkatle incelendiğinde, dördüncü aşamada da diğer aşamadakilere benzer şekilde, kavşaktaki toplam trafik hacminin artması ile birlikte ortalama taşıt gecikmelerinin de arttığı görülmektedir. Ayrıca, aynı trafik hacmine sahip senaryolar için, özellikle ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki sola dönüş oranları arttıkça ortalama gecikmelerin arttığı sonucuna da kolayca ulaşılabilmektedir.



**Şekil 5.53:** 1. Örnek Durum – 4. Aşama Analiz Sonuçları

Tablo 5.59 ve Şekil 5.53' den görüldüğü üzere, oluşturulan elli farklı senaryo için, en düşük ortalama taşıt gecikmelerinin sağlandığı aşama, üç fazlı (sola dönüşler için depolama yapılmayan) denetim tekniği uygulanan ve Sidra Intersection programı ile elde edilen optimum devre sürelerinin kullanıldığı dördüncü aşamadır. Bu aşamada, ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin %25 oranında arttırıldığı durumdaki dört senaryoda (7-8-9 ve 10. senaryo) ve ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin %50 oranında arttırıldığı durumdaki altı senaryoda (5-6-7-8-9 ve 10. senaryo) ortalama taşıt gecikmeleri 120 sn/ta' ın altında elde edilmiştir.

#### **5.4.2.2 Depolamanın Üç Şeritte Yapılması Durumu – 1. Örnek Durum Analiz Sonuçları**

Birinci örnek durum için oluşturulan elli farklı senaryo, merkez ada etrafında üç şeridin bulunması durumu için de, farklı faz-devre planı ve sinyalizasyon işletimi işlemleri (sinyal süresi farklılıkları vb.) uygulanarak analiz edilmiştir. İlk aşamada, oluşturulan senaryolar üzerinde, Bölüm 5.1.2' de belirtilen Pekdemir kavşağına ait faz-devre planı ve sinyal süreleri uygulanmış ve söz konusu veriler ışığında oluşturulan senaryoların performans analizleri yapılmıştır. İkinci aşamada, ortalama gecikmenin 120 sn/ta' ın üzerinde olduğu senaryolar, Bölüm 4.2' de detaylı olarak anlatılan sinyalizasyon dönel kavşaklarda sinyal sistemi tasarımı esasları dikkate alınarak yeniden analiz edilmiştir. Üçüncü aşamada ise, senaryolar üzerinde, sinyalizasyon kavşaklarda uygulanan (sola dönüşlerde depolamanın yapılmadığı) 3 fazlı denetim tekniği uygulanmıştır. Analizlerde, sinyalizasyon sisteminin devre süresi 140 sn. alınarak her bir faza ait yeşil süre Sidra Intersection programı ile elde edilmiştir. Elde edilen süreler Vissim simülasyon programına aktarılarak, oluşturulan senaryolar için ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Son aşamada ise, üçüncü aşamada kullanılan faz-devre planları kullanılmış fakat sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri Sidra Intersection programının optimum devre süresi seçeneği ile elde edilmiştir. Bu aşamada da, elde edilen süreler Vissim simülasyon programına aktarılmış ve her bir senaryo için ayrı ayrı analiz yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, ortalama taşıt gecikmelerinin 120 sn/ta' ın altında elde edildiği senaryo sayıları, Tablo 5.60' da detaylı olarak verilmektedir.

**Tablo 5.60:** Depo=3 Şerit – 1. Örnek Durum, Ortalama Taşıt Gecikmelerinin 120 sn/ta' ın Altında Elde Edildiği Senaryo Sayıları

Aşama	Senaryo Sayısı (A. A: -%50)	Senaryo Sayısı (A. A: -%25)	Senaryo Sayısı (A. A: %0)	Senaryo Sayısı (A. A: +%25)	Senaryo Sayısı (A. A: +%50)
1	10	7	4	3	1
2	10	9	6	4	2
3	10	10	10	6	3
4	10	10	10	6	4

A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri

Tablo 5.60' dan görüldüğü üzere, 1. Aşamada ortalama gecikmenin 120 sn/ta' ın altında olduğu senaryo sayısı 25 iken, bu sayı 2. Aşamada 31' e, 3. Aşamada 39' a ve 4. Aşamada ise başlangıç durumuna göre 1.6 kat artarak 40' a yükselmiştir.

### 5.4.2.3 Depolamanın Üç Şeritte Yapılması Durumu – 2. Örnek Durum

2. Örnek durum analiz çalışmalarında da, Bölüm 5.4.1.1' de detaylı olarak anlatılan dört farklı analiz aşaması göz önünde bulundurulmuş ve analizler bu aşamalar dikkate alınarak yapılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacmi artışının (1. Örnek duruma göre) ve dolayısıyla kavşaktaki toplam trafik miktarı artışının, kavşak performansına olan etkisi incelenmiştir.

Bu bölümde, söz konusu farklı dört aşama için, çalışma kapsamınca incelenen tüm senaryolara (elli farklı senaryo) ait, sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmesi sonuçları hem tablo hem de grafiksel olarak detaylı bir şekilde verilmektedir.

#### 5.4.2.3.1 2. Örnek Durum – 1. Aşama

İkinci örnek durum için de, ilk aşamada, elli farklı senaryo üzerinde, Bölüm 5.1.2' de verilen faz planı ve sinyal süreleri kullanıldığı için, bu bölümde faz planı ve sinyal süreleri yeniden gösterilmemektedir. Bu bölümde, Bölüm 5.1.2' de belirtilen yaklaşım kollarına karşılık gelen yaklaşım kollarının; Muğla = Batı, Pekdemir = Doğu, HTA = Kuzey, Tali = Güney şeklinde olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Söz konusu faz, devre planı ve sinyal sürelerinin uygulandığı senaryolara ait analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmesi sonuçları Tablo 5.61' de

detaylı olarak verilmektedir. Sonuçlar, Şekil 5.54’ de ise grafiksel olarak gösterilmektedir.

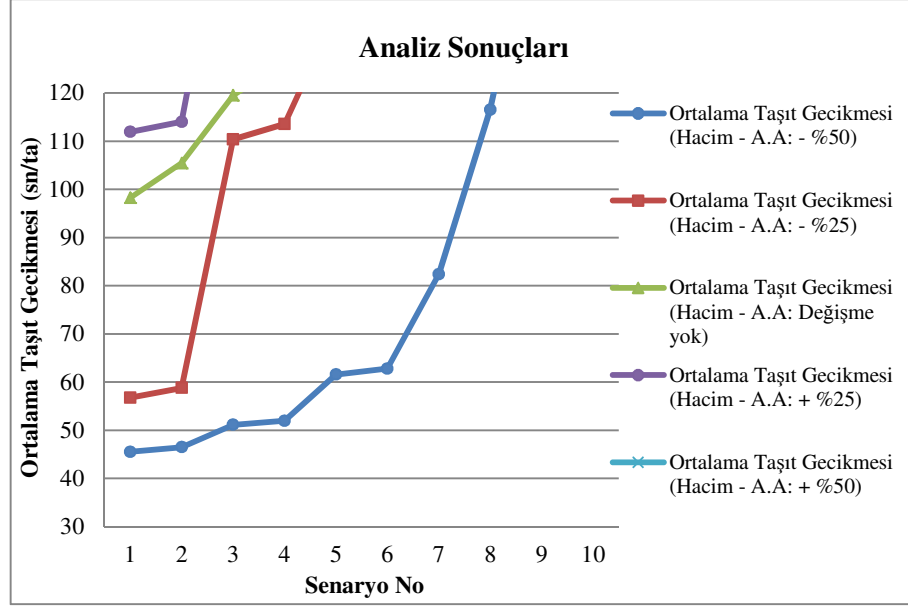
**Tablo 5.61:** 2. Örnek Durum – 1. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Senaryo No	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50
1	45.513	56.745	98.24	111.914	<b>145.881</b>
2	46.483	58.776	105.44	114.012	*
3	51.135	110.369	119.479	<b>169.973</b>	*
4	51.953	113.557	<b>126.512</b>	*	*
5	61.568	<b>136.593</b>	*	*	*
6	62.783	*	*	*	*
7	82.402	*	*	*	*
8	116.544	*	*	*	*
9	<b>165.513</b>	*	*	*	*
10	*	*	*	*	*

A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri  
\* : Kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ tan fazla olduğu durumlar

Tablo 5.61’ den görüldüğü üzere, kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin ve dolayısıyla kavşaktaki toplam trafik hacminin artış gösterdiği ikinci örnek durumda, ortalama taşıt gecikmelerinin oluşturulan tüm senaryolar için, birinci örnek duruma kıyasla artmış olduğu görülmektedir. Bu durumun temel nedeni, ikinci örnek durumda yaklaşım kollarında artan taşıt sayısına bağlı olarak, sola dönüş oranlarının da artmasıdır. Birinci aşamada, kavşak trafiği depolama sistemi ile yönetildiği için, merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresi sola dönüş yapacak olan taşıtlar için yetersiz kalmakta, bu durum ortalama taşıt gecikmelerinde büyük oranda artışa sebep olmaktadır. Hatta birçok senaryoda, kavşakta trafiğin tıkanması durumu söz konusudur.

Birinci ve İkinci örnek durumların ilk aşamaları birbirleri ile kıyaslandığında, birinci örnek durumda, ana akımdaki trafik hacminin %50 azaltılması ile oluşturulan 10 farklı senaryonun ortalama taşıt gecikmesi 120 sn/ta’ ın altında iken, ikinci örnek durumda bu sayının 8’ e düştüğü açıkça görülmektedir. Aynı şekilde ana akımdaki trafik hacminin %25 azaltıldığı durumda ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ ın altında olduğu senaryo sayısı 7’ den 4’ e, trafik hacminin değişmediği durumda 4’ den 3’ e, trafik hacminin %25 arttırıldığı durumda 3’ den 2’ ye düşmüştür. Trafik hacminin %50 arttırıldığı durumda ise bu sayı 1’ den 0’ a düşmüş, tüm senaryolar için ortalama taşıt gecikmeleri 120 sn/ta’ ın üzerinde elde edilmiştir.



Şekil 5.54: 2. Örnek Durum – 1. Aşama Analiz Sonuçları

#### 5.4.2.3.2 2. Örnek Durum – 2. Aşama

İkinci aşamada, ortalama taşıt gecikmesi 120 sn/ta' ın üzerinde olan senaryolar, birinci aşamada dikkate alınan aynı faz-devre planı uygulanarak ve sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri düzenlenerek yeniden analiz edilmiştir. Bölüm 4.2' de belirtilen sinyalizasyon dönel kavşak sinyal sistemi tasarımı esaslarına uygun bir şekilde yapılan analizler sonucunda, bazı senaryoların ortalama taşıt gecikmeleri 120 sn/ta' ın altına düşürülmüştür. Tablo 5.62' de, 2. Örnek durum için yapılan kavşak performansını iyileştirme çalışmalarında ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' ın altına düşürüldüğü senaryolar verilmektedir.

Tablo 5.62: Depo=3 Şerit – 2. Örnek Durum İçin 2. Aşamada Yapılan İyileştirmeler

	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50
S. N:	9	5	4	-	1
	-	6	-	-	2
S. N: Senaryo No					

Tablo 5.63' de ise, sinyal sürelerinin yeniden düzenlenmesi ile birlikte performansı artırılan senaryolara ait yeni sinyal süreleri ve bu süreler baz alınarak yapılan analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri verilmektedir.

**Tablo 5.63:** 2. Örnek Durum – 2. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Kavşaktaki Hacimsel Değişimler	Senaryo No	Batı Y. K. Yeşil Süre (sn)	Doğu Y. K. Yeşil Süre (sn)	Kuzey Y. K. Yeşil Süre (sn)	Güney Y. K. Yeşil Süre (sn)	Merkez Ada Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Taşıt Gecikmesi (sn/ta)
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	9	16	20	10	8	49	85	76.487
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	5	25	33	12	8	51	100	110.545
	6	25	32	15	11	57	105	114.780
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	4	39	47	15	11	57	120	102.955
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50	1	45	60	14	9	54	130	88.873
	2	46	61	16	11	58	135	109.451
Sarı Süre: 2 sn. / Ortak Kırmızı Süre: 4 sn. - Fasilah yeşil süreler yukarıda belirtilen yeşil süreler dahilidir.								

Tablo 5.63’ den de görüldüğü üzere, 2. Örnek durum için, birinci aşamada ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta’ dan daha fazla elde edildiği altı farklı senaryonun ortalama taşıt gecikmesi, ikinci aşamada 120 sn/ta’ ın altına düşürülebilmektedir. Bu durum, kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin sinyal sürelerinin yeniden düzenlenmesi ile sağlanabilmektedir.

#### 5.4.2.3.3 2. Örnek Durum – 3. Aşama

İkinci örnek durum üçüncü aşamada, Bölüm 5.4.1.1.3’ de yer alan ve birinci örnek durum üçüncü aşamada kullanılan trafik denetim tekniği uygulanmıştır. Her bir senaryo için devre süresi 140 sn. alınarak, yaklaşım kollarına ait sinyal süreleri Sidra Intersection programı ile belirlenmiştir. Sidra Intersection programı vasıtası ile elde edilen süreler Vissim trafik simülasyon programına tanımlanarak, oluşturulan senaryolar ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Tablo 5.64’ de, bazı örnek senaryolar için Sidra Intersection programı ile elde edilen sinyal süreleri gösterilmektedir.

**Tablo 5.64:** Depo=3 Şerit, 2. Örnek Durum – 3. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri

Kavşaktaki Hacimsel Değişimler	Örnek Senaryo No	Batı Y. K. Yeşil Süre (sn)	Doğu Y. K. Yeşil Süre (sn)	Kuzey Y. K. - Güney Y. K. Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	3	37	51	31	140
	6	31	43	45	140
	8	34	47	38	140
	10	37	50	32	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	1	40	55	24	140
	4	36	48	35	140
	7	42	58	19	140
	9	44	59	16	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	2	38	52	29	140
	4	38	52	29	140
	5	42	58	19	140
	6	39	52	28	140
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	1	44	59	16	140
	2	40	54	25	140
1. ve 2. Senaryo haricindeki senaryolara ait ortalama gecikmeler 120 sn/ta 'ın üzerinde olduğu için yalnızca 1. ve 2. senaryonun sinyal süreleri bulunmaktadır.					
Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50	1	45	61	13	140
	1. Senaryo haricindeki senaryolara ait ortalama gecikmeler 120 sn/ta 'ın üzerinde olduğu için yalnızca 1. senaryonun sinyal süreleri bulunmaktadır.				
Sarı Süre: 2 sn. Ortak Kırmızı Süre: 3 sn. (Her faz geçişinde) Fasılal yeşil süreler yukarıda belirtilen yeşil süreler dahildir.					

Oluşturulan elli farklı senaryonun analiz edilmesi sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri ise Tablo 5.65' de detaylı olarak verilmektedir.

**Tablo 5.65:** 2. Örnek Durum – 3. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

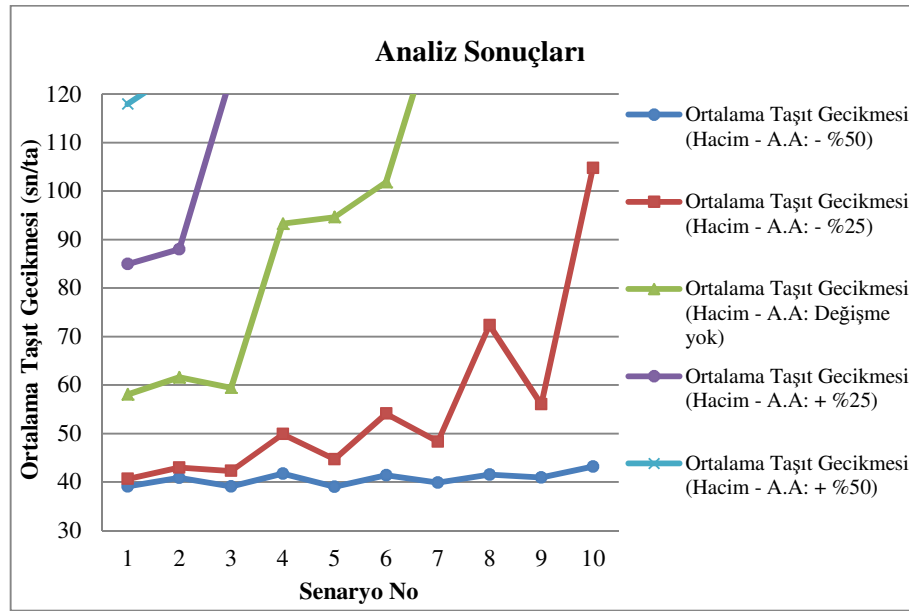
Senaryo No	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%50	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: -%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: %0	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%25	Ort. Gecikme (sn/ta) A. A: +%50
1	39.066	40.633	58.041	84.933	117.945
2	40.867	42.957	61.597	87.976	<b>125.022</b>
3	39.071	42.264	59.423	<b>123.714</b>	*
4	41.722	49.868	93.284	*	*
5	39.019	44.689	94.621	*	*
6	41.364	54.082	101.864	*	*
7	39.864	48.307	<b>136.422</b>	*	*
8	41.496	72.328	*	*	*
9	40.915	55.996	*	*	*
10	43.177	104.714	*	*	*
A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri * : Kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' tan fazla olduğu durumlar					

Tablo 5.65' den görüldüğü üzere, ikinci örnek durum üçüncü aşamada ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' dan daha az olduğu senaryo sayısı 29' dur.

Tablo 5.57 dikkatle incelendiğinde, birinci örnek durum üçüncü aşama için ise bu sayının 39 olduğu kolayca görülebilmektedir. İkinci örnek durumda bu sayının düşüş göstermesinin en önemli nedeni, kavşaktaki toplam trafik hacminin ve buna bağlı olarak yaklaşım kollarındaki sola dönüş hacminin artmasıdır. Ayrıca, elde edilen sonuçlardan, ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' dan fazla olduğu senaryolar için 140 sn. devre süresinin yetersiz olduğu sonucuna da ulaşılabilmektedir.

İkinci örnek durumda da, ana akımların bulunduğu yaklaşım kollarındaki taşıt hacimlerinin %25 ve %50 azaltıldığı durumlarda, oluşturulan senaryolar için, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin artıp azalan şekilde değiştiği gözlemlenmektedir. Bu durumun temel nedeni, ana akımın bulunmadığı yaklaşım kollarındaki sola dönüş hareketi yapacak olan taşıt sayısındaki artıştır. Ortalama taşıt gecikmesinin artıp azalan şekilde gözlemlenmesinin sebepleri Bölüm 5.4.1.1.3' de detaylı bir şekilde anlatıldığı için, bu bölümde bu konuya yeniden yer verilmemektedir.

Şekil 5.55' de, oluşturulan elli farklı senaryo için, 2. Örnek durum – 3. Aşamada elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.55: 2. Örnek Durum – 3. Aşama Analiz Sonuçları



#### 5.4.2.3.4 2. Örnek Durum – 4. Aşama

İkinci örnek durum için dördüncü aşamada, oluşturulan elli farklı senaryonun ortalama taşıt gecikmelerinin daha da azaltılması amaçlanmıştır. Analiz çalışmalarında, üçüncü aşamadaki gibi, Bölüm 5.2.2.2’ de belirtilen, sinyalizasyon kavşakların üç fazlı denetiminde uygulanan faz planı ve devre diyagramı kullanılmıştır. Sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri Sidra Intersection programının optimum devre süresi seçeneği ile belirlenmiştir. Bu seçenek ile her bir fazın yeşil süresi, ortalama taşıt gecikmesinin minimum olacağı şekilde tespit edilmiş ve sinyalizasyon sistemleri için en uygun sinyal sürelerinin ataması yapılmıştır. Sonraki aşamada, Sidra Intersection programı ile elde edilen süreler, Vissim programına tanımlanmış ve elli farklı senaryonun ayrı ayrı analizleri yapılmıştır.

Tablo 5.66’ da, bazı senaryolar için, Sidra Intersection programı ile elde edilen optimum devre süreleri ve her bir faza ait yeşil süreler verilmektedir. Analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri ise Tablo 5.67’ de gösterilmektedir.

**Tablo 5.66:** Depo=3 Şerit, 2. Örnek Durum – 4. Aşama İçin Bazı Örnek Senaryolara Ait Sinyal Süreleri

Kavşaktaki Hacimsel Değişimler	Örnek Senaryo No	Batı Y. K. Yeşil Süre (sn)	Doğu Y. K. Yeşil Süre (sn)	Kuzey Y. K. - Güney Y. K. Yeşil Süre (sn)	Devre Süresi (sn)
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> <b>A. A: -%50</b>	3	10	14	10	55
	6	10	13	11	55
	8	12	16	11	60
	10	19	25	15	80
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> <b>A. A: -%25</b>	1	19	25	10	75
	4	15	21	13	70
	7	25	34	10	90
	9	40	55	14	130
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> <b>A. A: %0</b>	2	35	48	26	130
	4	37	50	27	135
	5	34	46	14	115
	7	42	58	14	135
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> <b>A. A: +%25</b>	1	47	64	18	150
	2	43	59	27	150
	3	47	64	18	150
	4	44	59	26	150
<b>Ort. Gecikme (sn/ta)</b> <b>A. A: +%50</b>	1	49	65	15	150
	2	45	61	23	150
	1. ve 2. senaryo haricindeki senaryolara ait ortalama gecikmeler 120 sn/ta 'ın üzerinde olduğu için yalnızca 1. ve 2. senaryonun sinyal süreleri bulunmaktadır.				
<b>Sarı Süre: 2 sn.</b>					
<b>Ortak Kırmızı Süre: 3 sn. (Her faz geçişinde)</b>					
<b>Fasillalı yeşil süreler yukarıda belirtilen yeşil sürelerle dahildir.</b>					

Tablo 5.66' dan görüldüğü üzere, kavşaktaki toplam trafik hacmi arttıkça, optimum devre süresi de artmaktadır. Ayrıca kavşaktaki toplam trafik hacminin aynı olduğu durumlar için, genel olarak, kavşak yaklaşım kollarındaki sola dönüş oranı artışlarının optimum devre süresini arttırdığı da söylenebilmektedir.

**Tablo 5.67:** 2. Örnek Durum – 4. Aşamada Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

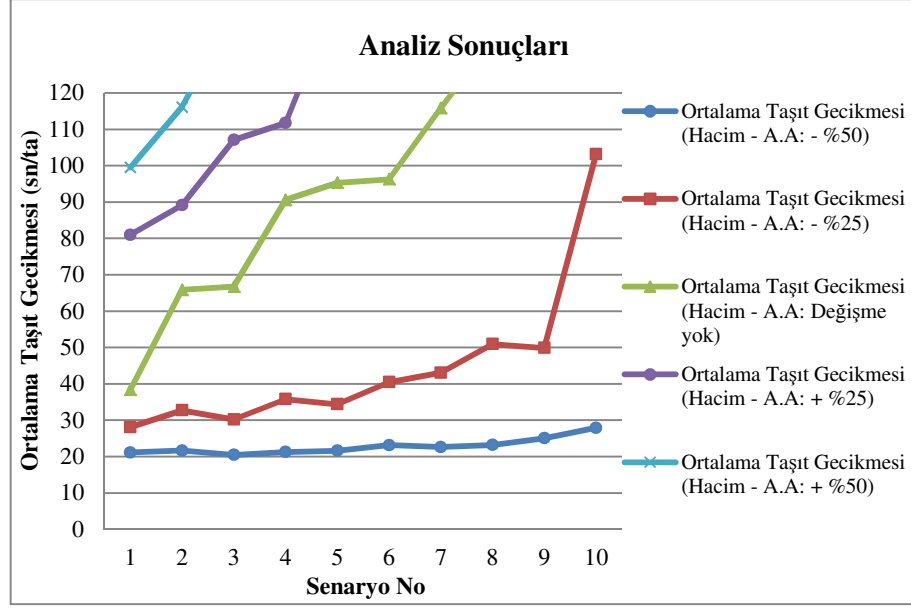
Senaryo No	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Gecikme (sn/ta)
	A. A: -%50	A. A: -%25	A. A: %0	A. A: +%25	A. A: +%50
1	21.126	28.072	38.389	80.978	99.503
2	21.642	32.705	65.858	89.154	116.097
3	20.470	30.205	66.708	107.072	<b>142.251</b>
4	21.272	35.770	90.607	111.763	*
5	21.601	34.376	95.315	<b>146.978</b>	*
6	23.167	40.454	96.272	*	*
7	22.624	43.033	115.864	*	*
8	23.204	50.929	<b>134.318</b>	*	*
9	25.027	49.875	*	*	*
10	27.902	103.14	*	*	*

A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri  
 \* : Kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' tan fazla olduğu durumlar

Tablo 5.67 dikkatle incelendiğinde, her bir senaryonun optimum devre süresi kullanılarak analiz edildiği ikinci örnek durumda, ortalama gecikmesi 120 sn/ta' ın altında olan senaryo sayısı 33' dür. Birinci örnek durumda ise bu sayının 40 olduğu Tablo 5.60' dan açıkça görülebilmektedir. Bu durum, kavşak yaklaşım kollarındaki ve dolayısı ile kavşaktaki toplam trafik hacmi artışının kavşaktaki gecikmeleri önemli oranda arttırdığını çok net bir şekilde göstermektedir.

Tablo 5.67' den, ikinci örnek durumun dördüncü aşamasında da (üç fazlı denetim – optimum sinyal süresi), ana akımların bulunduğu yaklaşım kollarındaki taşıt hacimlerinin %25 ve %50 azaltıldığı durumlarda, oluşturulan senaryolar için, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin artıp azalan şekilde değiştiği gözlemlenmektedir. Bu durumun temel nedeni, ana akımın bulunmadığı yaklaşım kollarındaki sola dönüş hareketi yapacak olan taşıt sayısındaki artıştır. Ortalama taşıt gecikmesinin artıp azalan şekilde gözlemlenmesinin sebepleri Bölüm 5.4.1.1.3' de detaylı bir şekilde anlatıldığı için, bu bölümde bu konuya yeniden yer verilmemektedir.

Şekil 5.56' da, oluşturulan elli farklı senaryo için, 2. Örnek durum – 4. Aşamada elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



**Şekil 5.56:** 2. Örnek Durum – 4. Aşama Analiz Sonuçları

Tablo 5.67 ve Şekil 5.56’ dan görüldüğü üzere, ikinci örnek durum için de en düşük ortalama taşıt gecikmelerinin sağlandığı aşama, dördüncü aşamadır. Bu aşamada ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki taşıt hacimlerinin değiştirilmediği (baz durum) durumda 3, ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin %25 arttırıldığı durumda 6 ve ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin %50 arttırıldığı durumda ise 8 senaryonun ortalama gecikmesi 120 sn/ta’ ın üzerinde elde edilmiştir.

#### 5.4.2.4 Depolamanın Üç Şeritte Yapılması Durumu – 3. Örnek Durum Analiz Sonuçları

Merkez ada etrafındaki depolamanın üç şerit ile sağlandığı durumda, ikinci örnek duruma ait senaryolar üzerinde de, birinci örnek durumdaki senaryolar üzerinde uygulanan ve Bölüm 5.4.1.2’ de detaylı olarak anlatılan analiz aşamaları uygulanmıştır. Bu yüzden, bu bölümde, söz konusu analiz aşamaları ile ilgili genel bilgiler ve detaylar verilmemektedir.

Yapılan analizler sonucunda, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin 120 sn/ta’ ın altında elde edildiği senaryo sayıları Tablo 5.68’ de detaylı olarak verilmektedir.

**Tablo 5.68:** Depo=3 Şerit – 2. Örnek Durum, Ortalama Taşıt Gecikmelerinin 120 sn/ta' ın Altında Elde Edildiği Senaryo Sayıları

Aşama	Senaryo Sayısı (A. A: -%50)	Senaryo Sayısı (A. A: -%25)	Senaryo Sayısı (A. A: %0)	Senaryo Sayısı (A. A: +%25)	Senaryo Sayısı (A. A: +%50)
1	8	4	3	2	0
2	9	6	4	2	2
3	10	10	6	2	2
4	10	10	7	4	2

A.A: Kavşaktaki ana akımdaki trafik hacmi değişimleri

Tablo 5.68' den görüldüğü üzere, 1. Aşamada ortalama gecikmenin 120 sn/ta' ın altında olduğu senaryo sayısı 17 iken, bu sayı 2. Aşamada 23' e, 3. Aşamada 30' a, ve 4. Aşamada ise başlangıç durumuna göre yaklaşık 2 kat artarak 33' e yükselmiştir. Dikkat edilmesi gereken bir başka husus ise, 1. ve 2. Örnek durumlar için bu sayıların farklılığıdır. Depolamanın üç şerit ile sağlandığı durumlar için, 1. Örnek durumun son aşamasında ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' ın altında olduğu senaryo sayısı 40 iken, 2. Örnek durumda bu sayının 33' e düşmesinin en temel sebebi, 2. Örnek durumda ana akımların bulunduğu kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin önemli oranda artmasıdır. Ana akımların bulunduğu kavşak yaklaşım kollarındaki sola dönüş hareketi yapacak olan trafik hacimleri yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri ile doğrudan bağlantılı olduğu için, sola dönen taşıt sayısındaki artış da göz önünde bulundurulduğunda, ortalama taşıt gecikmelerinin 1. Örnek durumda 2. Örnek duruma nazaran daha az elde edilmesi normal bir sonuçtur.

### 5.4.3 Depolama Yapılan Şerit Sayılarının Kavşak Performansına Etkilerinin İncelenmesi

Bu çalışmada, sinyalize dönel kavşaklarda depolama yapılan şerit sayılarının kavşak performansına etkilerinin belirlenmesi amacı ile birbirinden farklı trafik hacimlerine sahip elli farklı senaryo, Bölüm 5.4.1.1' de ayrıntılı olarak anlatılan dört farklı durum göz önünde bulundurularak, depolamanın iki şerit ve üç şerit ile sağlandığı durumlar için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Yapılan analizlerin her bir aşamasında, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' ın altında olduğu senaryolar tespit edilmiş ve uygulanan farklı denetim tekniklerinin kavşak performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Depolamanın iki şerit ve üç şeritle sağlanması durumunda, oluşturulan elli farklı senaryodan ortalama taşıt gecikmesi

120 sn/ta' ın altında olan senaryoların sayısı Tablo 5.69' da detaylı olarak verilmektedir.

**Tablo 5.69:** Depolamanın İki Şerit ve Üç Şeritle Sağlanması Durumunda, Ortalama Taşıt Gecikmesi 120 sn/ta' ın Altında Olan Senaryo Sayıları

Aşama	Depolama Şerit Sayısı = 2 Şerit		Depolama Şerit Sayısı = 3 Şerit	
	1. Örnek Durum	2. Örnek Durum	1. Örnek Durum	2. Örnek Durum
1	22	14	25	17
2	32	23	31	23
3	41	31	39	29
4	44	33	40	33

Tablo 5.69' dan, 1. Aşamada, hem 1. hem de 2. Örnek durum için, ortalama taşıt gecikmesi 120 sn/ta' ın altında olan senaryo sayısının, depo şerit sayısının üç olduğu durumda daha fazla olduğu görülmektedir. Fakat bu durum, sinyalize dönel kavşak uygulamalarında depolamanın üç şerit ile sağlanması durumunda kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin, depolamanın iki şerit ile sağlandığı durumlara kıyasla daha düşük olduğu anlamına gelmemektedir. Bölüm 5.4.1 ve Bölüm 5.4.2' de verilen gecikme analizi sonuçları tabloları dikkatle incelendiğinde depolamanın iki şerit ile sağlanması durumunda oluşturulan tüm senaryolar için elde edilen ortalama taşıt gecikmelerinin daha düşük olduğu açıkça görülmektedir.

Depolamanın iki şerit ile sağlandığı durumlarda, ana akımlardaki sola dönüş oranı arttıkça sola dönüş hareketi yapan taşıtların depolandığı alan (depolama alanı) yetersiz kalmakta, bu durum bir süre sonra ortalama gecikmelerin aşırı derecede artmasına ve hatta kavşağın tıkanmasına sebep olmaktadır. Depolamanın üç şeritle sağlandığı durumlarda ise, depolama alanına yeni bir şerit eklendiğinden dolayı, depolama alanı arttığı için ortalama gecikmelerde ani bir artış görülmemekte, gecikmeler kademeli bir şekilde artış göstermektedir.

Depolamanın üç şerit ile sağlandığı durumlarda, oluşturulan senaryolara ait ortalama gecikmelerin, depolamanın iki şerit ile sağlandığı durumlardaki ortalama gecikmelere kıyasla daha fazla elde edilmesinin sebebi ise, ana akımın bulunduğu kavşak yaklaşım kollarındaki taşıtların hareketleridir. Depolamanın üç şerit olduğu durumda, kavşaktaki ana yaklaşım kollarında en sağ şeritte bulunan taşıtlar da sola dönüş hareketi yapmakta (bu durum Türkiye' de çok fazla görülmektedir), ve bu taşıtlar aynı yaklaşım kolunda, orta şeritte ve en sol şeritte hareketlerine devam eden

taşıtların hareketlerini kısıtlamaktadır. Hatta bazı durumlarda en sağ şeritten sola dönüş hareketi yapan taşıtlar, orta şeritteki ve en sol şeritteki taşıtların kısa süreli de olsa durmasına sebep olmaktadır. Böylece oluşturulan senaryolar için, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinde artış görülmektedir.

Çalışmanın üçüncü ve dördüncü aşamalarında ise, ana akımda sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtlar için depolama yapılmamış, kavşak trafiğinin yönetiminde, genellikle sinyalize kavşaklarda uygulanan üç fazlı trafik denetimi tekniği uygulanmıştır. Tablo 5.69' dan da görüldüğü üzere, sirkülasyon şeritlerinin iki ve üç şeritten meydana geldiği (depolamanın iki ve üç şerit ile sağlandığı) durumlar için, ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' ın altında elde edildiği senaryo sayıları birbirlerine oldukça benzerdir. Bununla birlikte, ortalama gecikmesi 120 sn/ta' ın altında elde edilen senaryo sayılarındaki farklılığın (az da olsa) nedeni olarak, sirkülasyon şeritlerinin üç şeritten meydana geldiği durumlarda, yaklaşım kollarının en sağ şeridinden sola dönüş hareketlerinin yapılması ve bunun kavşaktaki gecikmeleri arttırması gösterilebilmektedir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 6.1 Sonuçlar

Bu çalışmanın analizler bölümü dört kısımdan oluştuğu için bu bölümde her bir kısım ayrı ayrı ele alınmış ve yorumlanmıştır.

Çalışmanın birinci kısmında, Pekdemir Kavşağında hafta içi ve hafta sonu birer gün süre ile sabah – öğle ve akşam pik saatlerde yapılan, yaklaşım kolu ve şerit bazlı gecikme analizleri bulunmaktadır. Bu kısımda, gecikme gözlemi ofis çalışmalarında, Pekdemir kavşağındaki Muğla, HTA ve Tali yaklaşım kollarına ait saatlik, ilk yarım saatlik ve son yarım saatlik taşıt gecikmeleri, şerit bazında hesaplanmış ve hesaplanan yarım saatlik gecikme gözlemi sonuçları, bir saatlik gecikme gözlemi sonuçları ile kıyaslanmıştır. Çalışmalar sonucunda, yarım saatlik (0 – 30 dk., 30 – 60 dk.) gecikme gözlemi sonuçları ile bir saatlik (0 – 60 dk.) gecikme gözlemi sonuçlarının birbirlerine oldukça benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu benzerliğin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını kontrol etmek amacı ile veri setleri üzerinde Kolmogorov – Smirnov dağılım testi ve Wilcoxon Signed Rank Test uygulanmıştır. Veri setlerine öncelikli olarak Kolmogorov – Smirnov dağılım testi uygulanmış ve yapılan analizler sonucunda söz konusu veri setlerinin normal dağılıma uygun olmadığı belirlenmiştir. İkinci aşamada, veri setlerinin birbirleri ile benzerliklerinin rastsal olup olmadığını tespit etmek amacı ile veri setlerine, parametrik olmayan istatistiksel hipotez testi, Wilcoxon Signed Rank Test uygulanmıştır. Wilcoxon Signed Rank Test sonuçlarına göre, veri setleri arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı, veri setlerinin birbirlerine benzer olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yani belirtilen zaman periyodları arasında herhangi bir farklılık bulunmadığı ve gecikme gözlemi analizinde bu üç farklı zaman periyodundan istenilen herhangi birisinin kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında, yarım saatlik ölçümlerin, hem zaman kaybının önlenmesinde hem de harcanan işgücü tasarrufunda etkin bir çözüm olduğu açıkça görülmüştür.

Birinci kısım çalışmalarında son olarak, hafta içi ve hafta sonu birer gün gecikme gözlemi yapılan Pekdemir kavşağındaki ortalama taşıt gecikmeleri, Vissim trafik simülasyon programında yapılan analizlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Analizlerin sonucunda Vissim programı ile elde edilen ortalama taşıt gecikmelerinin araziye (gerçek duruma) kıyasla daha fazla olduğu (yaklaşık %20 civarında) görülmüştür. Bu durumun nedeni, Pekdemir kavşağının geometrik yapısının tüm dünyada kabul gören dönel kavşak geometrik standartlarına uygun olmamasıdır. Pekdemir kavşağının kavşak geometrisi ve kavşak ortasında bulunan ada çapının standartlara uygun olmaması (yaklaşık 9 metre), Vissim programında yapılan modellemeyi zorlaştırmıştır. Gerçek hayatta kavşaktaki ada etrafında iki sıra taşıt depolamasına imkan sağlanmasına rağmen, simülasyon programında ada etrafında yalnızca bir sıra taşıt depolaması sağlanabilmiştir. Depolanan taşıt sıra sayısı ikiye ulaştığında, depolama ana akımın bulunduğu şeritler üzerinde yapıldığı için, bu durumda düz giden taşıtların hareketleri engellenmiş (hızları kesilmiş) ve buna bağlı olarak kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinde artış görülmüştür.

İkinci kısımda, Ek A.1 – Ek A.12’ de detaylı olarak verilen on iki farklı trafik senaryosu dikkate alınmış, farklı tip kavşaklar farklı faz planları göz önünde bulundurularak ve gecikme performans kriteri baz alınarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, aynı tip sinyalizasyon kavşakları üzerinde, farklı faz düzenleri uygulanarak faz düzenlerinin ve faz sayılarının ortalama taşıt gecikmesine olan etkisi incelenmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Sinyalizasyon sistemi ile kontrol edilen kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinin sinyal kontrolsüz kavşaklardaki ortalama taşıt gecikmelerinden daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Yapılan analizler ile dönel kavşaklarda, sinyalizasyon kavşaklarda ve sinyalizasyon dönel kavşaklarda, kavşak yaklaşım kollarında sola dönüş hareketi yapan taşıt hacmi arttıkça, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin de arttığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşaklarda, diğer kavşak türlerinin aksine, belli bir sola dönüş hareketi yapacak trafik hacmine (eşik değere) kadar sola dönüş oranı arttıkça, sinyalizasyon sisteminin optimum devre



süresinin ve kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin azaldığı görülmüştür. Sola dönecek olan taşıt hacmi arttıkça, sola dönüş cebinin (şeridinin) kullanımını artmış ve yaklaşım kollarında kullanılan şerit sayısı artışından dolayı ortalama taşıt gecikmesi azalmıştır.

- Sola dönüş cepli sinyalize kavşaklarda, sola dönüş hareketi yapan taşıt hacminin daha fazla artması (eşik değeri geçmesi) ile ortalama taşıt gecikmeleri artış göstermektedir. Sola dönüşlere ayrı bir faz uygulaması, bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak ve/veya azaltmak için etkin bir çözüm olarak önerilmiştir.
- Sinyalizasyon sistemi ile kontrol edilen kavşaklarda, faz sayısı arttıkça kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri de artmıştır.
- Analizlerde kullanılan örnek durumlar için, sola dönen trafik hacminin çok fazla olmadığı durumlarda (eşik değeri aşmadığı durumlarda) sola dönüş cepli sinyalize kavşak uygulamaları, kavşaktaki trafiği yönetmek için uygun bir tercihtir. Bu uygulama ile kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi minimize edilebilmektedir.
- İki fazlı sinyalize dönel kavşak uygulamasında, ana akımların sola dönüş oranının %30 olduğu durumda kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri, üç fazlı kavşak denetimi (üç fazlı sinyalize kavşak uygulaması, üç fazlı sinyalize dönel kavşak uygulaması, üç fazlı sola dönüş cepli sinyalize kavşak uygulaması) uygulanan senaryoların ortalama taşıt gecikmelerinden daha fazla elde edilmiştir. Bu durum, 11. ve 12. Örnek durumlar için, iki fazlı denetimin mümkün olmadığını, kavşaktaki trafiğin doğru ve düzgün bir şekilde yönetilebilmesi için, faz sayısının artırılması gerektiğini açıkça ortaya koymuştur. Söz konusu örnek durumlar için ana akımdaki sola dönüş oranının %30 olduğu durum, iki fazlı sinyalize dönel kavşak uygulaması için bir sınır olarak görülebilir. Fakat bu oranının, kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri ile doğrudan bağlantılı olduğu ve farklı trafik hacimleri için farklılık göstereceği kesinlikle unutulmamalıdır.
- Üç faz baz alınarak uygulanan trafik denetiminde, farklı örnek durumlar için, sinyalize kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri, sinyalize dönel kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerine her ne kadar benzer olsa da,

sinyalize kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin, sinyalize dönel kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerine kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durumda, sinyalize dönel kavşağa ait sinyal sürelerinin çok iyi optimize edildiği söylenebilmektedir.

- Sola dönüş cepli sinyalize kavşakta, ortalama taşıt gecikmeleri ilk iki örnek durumda sinyalize kavşaklar ve sinyalize dönel kavşaklar ile benzerlik göstermiş fakat sola dönüş oranı arttıkça sola dönüş cebi (şeridi) kullanımı arttığı için sinyalizasyon sisteminin optimum devre süreleri azalmış ve buna bağlı olarak diğer tip kavşaklar ile kıyaslandığında ortalama taşıt gecikmeleri de azalmıştır. Dolayısıyla sola dönüş cepli kavşak uygulamasının, özellikle sola dönüş oranının arttığı fakat eşik değeri aşmadığı durumlarda avantajlı bir trafik denetim tekniği olduğu görülmüştür.
- Dört faz baz alınarak yapılan trafik denetiminde de ana akımların sola dönüş oranının %25 olduğu duruma kadar, sinyalize kavşak ve sinyalize dönel kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri birbirlerine oldukça benzemektedir. Fakat ana akımda sola dönüş hareketi yapan taşıt hacmi arttıkça, sinyalize dönel kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri de fazla miktarda artmaktadır. Bu durumun nedeni olarak, merkez ada etrafındaki taşıt depolama alanı yetersizliği ve sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların, hareketine düz devam edecek olan taşıtların hareketlerini kısıtlaması ve bunun sürücülere yansıyan psikolojik etkisi gösterilebilir. Belirtilen durumlardan da anlaşılabilceği üzere, kavşak yaklaşım kollarında sola dönen trafik hacminin çok fazla olduğu durumlarda sinyalize dönel kavşak uygulamasının trafiği yönetmek için uygun bir çözüm olmadığı gayet açıktır.

Üçüncü kısımda, sinyalize dönel kavşaklardaki taşıt gecikmelerini minimize etmek için yapılması gereken en önemli uygulamalardan birisi olan kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin sinyal sürelerinin optimizasyonu üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Mevcut paket programlar (TRANSYT, Sidra Intersection, Vissim, Synchro, Aimsun vb.) ile sinyalize dönel kavşak sinyal süresi optimizasyonu yapılamadığı için, sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri Bölüm 4.2' de detaylı bir şekilde anlatılan Sinyal Sistemi Tasarımı aşamaları dikkate alınarak yapılmıştır.

Bu kısımda sinyalize dönel kavşaklarda yapılan süre optimizasyonunun iki farklı örneği üzerinde durulmuştur. İlk durumda iki fazlı sinyalize dönel kavşak uygulaması, ikinci durumda ise üç fazlı sinyalize dönel kavşak uygulaması incelenmiştir.

Sidra Intersection programı ile sinyalize dönel kavşak analizi ve dolayısıyla süre optimizasyonu yapılamadığı için, iki fazlı sinyalize dönel kavşak öncelikli olarak normal sinyalize kavşak gibi analiz edilmiş ve analizler sonucunda, sinyal süreleri ile ilgili ön bilgi edinilmiştir. Sonraki aşamada ise elde edilen süreler artırıp azaltılarak, sinyal sürelerinin kavşaktaki ortalama gecikmeleri nasıl – ne derece etkilediği ve hangi sinyal sürelerinin kavşaktaki ortalama gecikmeyi minimum yaptığı Vissim programı vasıtası ile tespit edilmiştir.

Üç fazlı sinyalize dönel kavşak uygulamasında da kavşak, öncelikli olarak normal sinyalize kavşak gibi analiz edilmiş ve sinyal süreleri hakkında ön bilgi elde edilmiştir. Fakat üç fazlı uygulamada en önemli konulardan birisi de merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin optimum yeşil sürelerinin belirlenmesi olduğu için, bu aşamada ana akımın bulunduğu yaklaşım kollarından sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların sayısı tespit edilmiş ve merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri bu sayılar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Sonraki aşamada ise iki fazlı uygulamaya benzer şekilde, yaklaşım kollarındaki sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri artırıp azaltılarak, sinyal sürelerinin kavşaktaki ortalama gecikmeleri nasıl – ne derece etkilediği ve hangi sinyal sürelerinin kavşaktaki ortalama gecikmeyi minimum yaptığı Vissim programı vasıtası ile tespit edilmiştir.

Yapılan analizler ile, sinyalize dönel kavşaklarda optimum sinyal sürelerinin, kavşak yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri ve kavşak yaklaşım kollarından sola dönüş hareketi yapacak olan trafik hacimleri göz önünde bulundurularak belirlenmesi durumunda, kavşaktaki ortalama gecikmelerin oldukça azaltılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmanın son kısmında (dördüncü kısımda), farklı trafik hacimleri ve farklı sola dönen trafik hacimleri baz alınarak oluşturulan elli farklı senaryo, sola dönüşlerde depolamanın iki ve üç şerit ile sağlanması durumu için ayrı ayrı analiz

edilmiştir. Analizler kavşaktaki toplam trafik hacimlerinin birbirlerinden farklı olduğu iki farklı örnek durum baz alınarak yapılmıştır. Böylece kavşaktaki toplam trafik hacminin, kavşağın performansını hangi yönde ve ne derecede etkilediği belirlenmiştir.

Bu kısımda, kavşaktaki toplam trafik hacimlerinin birbirinden farklı olduğu iki örnek durum için, elli farklı trafik senaryosu, farklı koşullar altında (sinyal süresi farklılıkları, faz düzeni farklılıkları vb.) analiz edilmiş ve analizler sonucunda elde edilen ortalama taşıt gecikmesi sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çalışma kapsamınca analizler dört aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, elli farklı senaryo için Bölüm 5.1.2' de verilen faz planı ve devre süreleri kullanılmış ve her bir senaryoya ait kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesi sonuçları elde edilmiştir. İkinci aşamada, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' ın üzerinde olduğu senaryolar, aynı faz planı ve Bölüm 4.2' de belirtilen dönel kavşaklar için oluşturulan sinyal sistemi tasarımı prosedürü uygulanarak, tekrar analiz edilmiştir. Üçüncü aşamada, sinyalize dönel kavşakta depolama durumunun kavşak performansına etkisinin incelenmesi amacı ile kavşak üç fazlı (trafik hacimlerinin yoğun olduğu yaklaşım kolları ayrı birer faz, diğer yaklaşım kolları ise aynı faz) sinyalize kavşak olarak analiz edilmiştir. Bu aşamadaki analizlerde, sinyalize kavşağın devre süresi birinci aşamadaki gibi 140 sn olarak alınmış ve Sidra Intersection programı kullanılarak elde edilen süreler Vissim programına aktarılarak, söz konusu senaryolar için ortalama taşıt gecikmesi sonuçları elde edilmiştir. Son aşamada ise senaryolar için analizler, üçüncü durumdaki gibi, üç fazlı denetim tekniği kullanılarak ve merkez ada etrafında depolamanın yapılmadığı varsayılarak yapılmıştır. Fakat bu aşamada, kavşakta bulunan sinyalizasyon sisteminin sinyal süreleri, Sidra Intersection programı vasıtası ile elde edilen optimum süreler (ortalama taşıt gecikmesini minimize edecek şekilde atanan sinyal süreleri) olarak belirlenmiştir. Daha sonra, Sidra Intersection programından elde edilen süreler Vissim Simülasyon programına tanımlanmış ve farklı senaryolar için Vissim simülasyon programı ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Analizler sonucunda hem birinci örnek durum hem de ikinci örnek durum için elde edilen genel sonuçlar (bu sonuçlar depolamanın hem iki hem de üç şeritle sağlandığı durumlar için de aynıdır) şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Kavşaktaki toplam trafik hacmi arttıkça, ortalama taşıt gecikmeleri de artış göstermiştir.
- Kavşaktaki toplam trafik hacminin aynı olduğu durumlarda, hem ana akımdaki hem de diğer akımlardaki sola dönüş oranı arttıkça, kavşaktaki ortalama gecikmeler artmıştır.
- Her iki örnek durum için de, analizlerin birinci aşamasında, ortalama taşıt gecikmesinin 120 sn/ta' ın üzerinde olduğu durumların nedeni olarak, kavşak yaklaşım kollarındaki sinyalizasyon sistemlerinin sinyal sürelerinin dengesiz dağılımı ve merkez ada etrafındaki sinyalizasyon sisteminin yeşil süresinin, merkez ada etrafında depolanan taşıtların kavşağı terk edebilmesi için yeterli olmaması gösterilmiştir.
- Kavşaktaki sinyalizasyon sisteminin sinyal sürelerinin yeniden düzenlenmesi ile (ikinci aşama) bazı senaryolara ait ortalama taşıt gecikmelerinin azaltılabildiği mümkün hale gelmiştir.
- Sola dönüş hareketlerinde depolamanın yapılmadığı durumlarda (üçüncü ve dördüncü aşama), ortalama gecikmesi 120 sn/ta' ın altında olan senaryo sayısı artmıştır.
- Dördüncü aşamada optimum devre süreleri kullanıldığı için bu aşamada senaryolara ait ortalama gecikmeler oldukça düşüktür. Dördüncü aşama, ortalama gecikmesi 120 sn/ta' ın altında olan senaryo sayısının en fazla olduğu aşamadır.
- Dördüncü aşamada, kavşaktaki toplam trafik hacmi arttıkça optimum devre süreleri de artmıştır. Ayrıca, toplam trafik hacimlerinin aynı olduğu durumlarda sola dönüş hareketi yapacak olan taşıt sayısındaki artış ile birlikte de optimum devre süreleri artış göstermiştir.

Depolamanın yapıldığı şerit sayılarının kavşağın performansına etkileri ise şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Depolamanın iki şerit ile sağlandığı durumlarda, ana akımlardaki sola dönüş oranı arttıkça sola dönüş hareketi yapan taşıtların depolandığı alan (depolama alanı) yetersiz kalmış, bu durum bir süre sonra ortalama gecikmelerin aşırı derecede artmasına ve hatta kavşağın tıkanmasına sebep olmuştur.

- Depolamanın üç şeritle sağlandığı durumlarda, depolama alanına yeni bir şerit eklendiğinden dolayı, depolama alanı arttığı için ortalama gecikmelerde ani bir artış görülmemiş, gecikmeler kademeli bir şekilde artış göstermiştir.
- Depolamanın üç şerit ile sağlandığı durumlarda, oluşturulan senaryolara ait ortalama gecikmeler, depolamanın iki şerit ile sağlandığı durumlardaki ortalama gecikmelere kıyasla daha fazla elde edilmiştir. Bu durumun sebebi, ana akımın bulunduğu kavşak yaklaşım kollarındaki taşıtların hareketleridir. Depolamanın üç şerit olduğu durumda, kavşaktaki ana yaklaşım kollarında en sağ şeritte bulunan taşıtlar da sola dönüş hareketi yapmakta (bu durum Türkiye’ de çok fazla görülmektedir), ve bu taşıtlar aynı yaklaşım kolunda, orta şeritte ve en sol şeritte hareketlerine devam eden taşıtların hareketlerini kısıtlamaktadır. Hatta bazı durumlarda en sağ şeritten sola dönüş hareketi yapan taşıtlar, orta şeritteki ve en sol şeritteki taşıtların kısa süreli de olsa durmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden oluşturulan senaryolar için, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinde artış görülmüştür.

## 6.2 Öneriler

- Birinci kısımda yapılan analizler sonucunda, arazideki yarım saatlik ortalama taşıt gecikmelerinin (0 – 30 dk., 30 – 60 dk.) bir saatlik ortalama taşıt gecikmeleri (0 – 60 dk.) ile benzer olduğu tespit edilmiş ve bu durum istatistiksel olarak kanıtlanmıştır. Bu bağlamda, tasarımcının analiz aşamasında, arazide ve ofis çalışmalarında harcanan zamandan ve işgücünden tasarruf etmesi için gecikme analizlerini pik saat içerisindeki yarım saatlik periyotlarda yapmasında herhangi bir sakınca bulunmamaktadır. Bu yüzden gecikme analizlerinde, zaman ve işgücü kaybını önlemek için, analizlerin yarım saatlik periyotda yapılması önerilmektedir.
- Mevcut paket programlar (Sidra Intersection, TRANSYT, Vissim, Aimsun, Synchro) ile sinyalize dönel kavşaklarda sinyal süresi optimizasyonu yapılamamaktadır. İlerleyen zamanlarda, sinyalize dönel

kavşaklarda sinyal süresi optimizasyonu yapılabilen bir yazılımın geliştirilmesi tasarımcının işini kolaylaştıracaktır.

- Çalışmanın dördüncü kısmındaki senaryolarda sola dönüş hareketi yapan ağır taşıt miktarları, toplam sola dönüş hareketi yapan taşıt miktarlarının %20' si olarak alınmıştır. Ağır taşıtların kavşaktaki gecikmelerin artışında etkili bir faktör olduğu düşünüldüğünde, sonraki çalışmalarda, bu oranın farklılıklarının kavşak performansı üzerindeki etkileri incelenebilir.

## 7. KAYNAKLAR

Akcelik, R., "The Highway Capacity Manual Delay Formula for Signalized Intersections", *Institute of Transportation Engineers*, 58 (3), 23-27, (1988).

Akcelik, R., "A Roundabout Case Study Comparing Capacity Estimates from Alternative Analytical Models", *2<sup>nd</sup> Urban Street Symposium*, Anaheim-California, (2003).

Akcelik, R., "Capacity and Performance Analysis of Roundabout Metering Signals", *TRB National Roundabout Conference*, Vail-Colorado, (2005).

Akcelik, R., "Operating Cost, Fuel Consumption and Pollutant Emission Savings at a Roundabout with Metering Signals", *7<sup>th</sup> International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE 2006)*, Istanbul-Turkey, (2006).

Akgüngör, A. P., "Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Tahmininin Matematiksel Modellenmesi I: Farklı Çözümleme Süreleri için Zamana Bağlı Yeni Bir Gecikme Modeli", *Teknoloji*, 7 (3), 369-379, (2004).

Bai, Y., Chen W., Xue K., "Association of Signal-Controlled Method at Roundabout and Delay" *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 1, Changsha, IEEE, 816-820, (2010).

Ban, X., Herring, R., Hao, P., Bayen A. M., "Delay Pattern Estimation for Signalized Intersections Using Sampled Travel Times", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2130 (14), 109-119, (2009).

Brabender, B. D., Vereeck L., "Safety Effects of Roundabouts in Flanders: Signal Type, Speed Limits and Vulnerable Road Users", *Accident Analysis & Prevention*, 39 (3), 591-599, (2007).

Coelho, M. C., Farias, T. L., Roupail, N. M., "Effect of Roundabout Operations on Pollutant Emissions", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 11 (5), 333-343, (2006).

Daniels, S., Wets, G., "Traffic Safety Effects of Roundabouts: A Review with Emphasis on Bicyclist's Safety", *18<sup>th</sup> ICTCT-workshop*, Helsinki-Finland, 11-22, (2005).



Dion, F., Rakha, H., Kang, Y. S., “Comparison of Delay Estimates at Under-Saturated and Over-Saturated Pre-Timed Signalized Intersections”, *Transportation Research Part B: Methodological*, 38 (2), 99-122, (2004).

Gross, F., Lyon, C., Persaud, B., Srinivasan, R., “Safety Effectiveness of Converting Signalized Intersections to Roundabouts”, *Accident Analysis & Prevention*, 50, 234-241, (2013).

Hallworth, M. S., “Signalling Roundabouts.1. Circular Arguments”, *Traffic Engineering & Control*, 33 (6), 354-363, (1992).

Janssens, R., “Evaluating the Performance of a Roundabout”, *CEEC's Training Seminar on Road Development and Safety for Managerial Staff from Central and Eastern European Countries*, Brussels-Belgium, (1994).

Johnnie, B.E., Ahmed, A., Iman, A., “Extent of Delay and Level of Service at Signalized Roundabout”, *International Journal of Engineering & Technology*, 2 (3), 419-424, (2012)

Kalaycı, Ş., *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri*, Ankara-Türkiye: Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., (2006).

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) – Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, *Modern Dönel Kavşaklar*, Ankara-Türkiye, (2009).

Ma, W., Liu, Y., Head, L., Yang, X., “Integrated Optimization of Lane Markings and Timings for Signalized Roundabouts”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 36, 307-323, (2013).

Maher, M., “The Optimization of Signal Settings on a Signalized Roundabout Using the Cross-Entropy Method”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 23 (2), 76-85, (2008).

Mandavilli, S., Rys, M. J., Russell, E. R., “Environmental Impact of Modern Roundabouts”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38 (2), 135-142, (2008).

Murat, Y. S., “Comparison of Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks Approaches in Vehicle Delay Modeling”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14 (5), 316-334, (2006).

Murat, Y. S., *Trafik Mühendisliği Ders Notları*, Denizli-Türkiye, (2007)

Murat, Y. S., Kutluhan, S., Cakici, Z., “Investigation of Cyclic Vehicle Queue and Delay Relationship for Isolated Signalized Intersection”, *16<sup>th</sup> Meeting of the Euro Working Group on Transportation (Procedia-Social and Behavioral Sciences)*, 111 (5), Porto-Portugal, 252-261, (2014).

Macdonald, M., *Signal Controlled Roundabouts: Local Transport Note 1/09*, Norwich, (2009).

Natalizio, E., “Roundabouts with Metering Signals”, *Institute of Transportation Engineers 2005 Annual Meeting*, Melbourne-Australia, (2006).

Otković, I. I., Dadic, I., “Comparison of Delays at Signal-Controlled Intersection and Roundabout”, *Promet - Traffic & Transportation*, 21 (3), 157-165, (2009).

Padgett, T., You Want a Revolution, (3 April 2013), <http://content.time.com/time/magazine/article/0,9171,1838753,00.html>, (2008).

Qian, H., Li, K., Sun, J., “The Development and Enlightenment of Signalized Roundabout”, *2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 2, Hunan, IEEE, 538-542, (2008).

Sisiopiku, V., Oh, H., “Evaluation of Roundabout Performance Using Sidra”, *Journal of Transportation Engineering*, 127 (2), 143-150, (2001).

Su, Y., Wei, Z., Cheng, S., Yao, D., Zhang, Y., Li, L., “Delay Estimates of Mixed Traffic Flow at Signalized Intersections in China”, *Tsinghua Science & Technology*, 14 (2), 157-160, (2009).

Tanyel, S., “Türkiye’deki Dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi”, *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı*, İstanbul, (2001).

Tanyel, S., Çalışkanelli, S. P., Aydın, M. M., Utku, S. B., “Yuvarlakada Kavşaklardaki Ağır Araç Etkisinin İncelenmesi”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası (İMO) Teknik Dergi*, 24 (4), 6479-6504, (2013).

Tianzi, C., Shaochen, J., Hongxu, Y., “Comparative Study of VISSIM and SIDRA on Signalized Intersection”, *13<sup>th</sup> COTA International Conference of Transportation Professionals – CICTP 2013 (Procedia-Social and Behavioral Sciences)*, 96, 2004-2010, (2013).

Tracz, M., Chodur, J., “Performance and Safety of Roundabouts with Traffic Signals ”, *SIIV-5<sup>th</sup> International Congress – Sustainability of Road Infrastructures 2012 (Procedia-Social and Behavioral Sciences)*, 53, 788-799, (2012).

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

Turner, D., Roundabouts: A Literature Review, (7 April 2013), <http://issuu.com/danielturner86/docs/roundabouts>, (2011).

Yang, X., Li, X., Xue, K., “A New Traffic-Signal Control for Modern Roundabouts: Method and Application”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 5 (4), 282-287, (2004).

Wall, R., Long, R., Guth, D., Ashmead, D., Ponchillia, P., “Roundabouts: Problems of and Strategies for Access”, *Proceedings International Congress Series*, 1282, London-UK, 1085-1088, (2005).

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

# **EKLER**

## 8. EKLER

**EK A.1** Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 1. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 1:** 1. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5)

<b>Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5</b> <b>Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5</b>	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		896			Batı		111			Batı		1006		
	Doğu	1053				Doğu	92				Doğu	1144			
	Kuzey				194	Kuzey				22	Kuzey				216
	Güney			93		Güney			4		Güney			97	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			43		Batı			11		Batı			<b>54</b>	
	Doğu				51	Doğu				13	Doğu				<b>64</b>
	Kuzey		11			Kuzey		3			Kuzey		<b>14</b>		
	Güney	6				Güney	1				Güney	<b>7</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2508</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 259</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>						

**EK A.2** Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 2. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 2:** 2. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30)

Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		896			Batı		111			Batı		1006		
	Doğu	1053				Doğu	92				Doğu	1144			
	Kuzey				132	Kuzey				15	Kuzey				146
	Güney			60		Güney			2		Güney			62	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			43		Batı			11		Batı			<b>54</b>	
	Doğu				51	Doğu				13	Doğu				<b>64</b>
	Kuzey		67			Kuzey		17			Kuzey		<b>84</b>		
	Güney	33				Güney	8				Güney	<b>42</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2495</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 272</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>						

**EK A.3** Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 3. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 3:** 3. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %10 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5 )

<b>Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %10</b> <b>Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5</b>	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		848			Batı		105			Batı		953		
	Doğu	994				Doğu	86				Doğu	1080			
	Kuzey				194	Kuzey				22	Kuzey				216
	Güney			93		Güney			4		Güney			97	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			86		Batı			21		Batı			<b>107</b>	
	Doğu				102	Doğu				26	Doğu				<b>128</b>
	Kuzey		11			Kuzey		3			Kuzey		<b>14</b>		
	Güney	6				Güney	1				Güney	<b>7</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2495</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 272</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>						

**EK A.4** Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 4. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 4:** 4. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %10 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %10 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		848			Batı		105			Batı		953		
	Doğu	994				Doğu	86				Doğu	1080			
	Kuzey				132	Kuzey				15	Kuzey				146
	Güney			60		Güney			2		Güney			62	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			86		Batı			21		Batı			<b>107</b>	
	Doğu				102	Doğu				26	Doğu				<b>128</b>
	Kuzey		67			Kuzey		17			Kuzey		<b>84</b>		
	Güney	33				Güney	8				Güney	<b>42</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2483</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 284</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>						



**EK A.5** Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 5. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 5:** 5. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %15 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %15 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>									<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		800			Batı		99			Batı		899			Batı		1016		
	Doğu	935				Doğu	81				Doğu	1016				Doğu	1016			
	Kuzey				194	Kuzey				22	Kuzey				216	Kuzey				216
	Güney			93		Güney			4		Güney			97		Güney			97	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>									<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>									<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			129		Batı			32		Batı			161		Batı			161	
	Doğu				153	Doğu				38	Doğu				192	Doğu			192	
	Kuzey		11			Kuzey		3			Kuzey		14			Kuzey		14		
	Güney	6				Güney	1				Güney	7				Güney	7			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2483</b>									<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 284</b>					<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>					

**EK A.6** Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 6. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 6:** 6. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %15 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %15 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		800			Batı		99			Batı		899		
	Doğu	935				Doğu	81				Doğu	1016			
	Kuzey				132	Kuzey				15	Kuzey				146
	Güney			60		Güney			2		Güney			62	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			129		Batı			32		Batı			<b>161</b>	
	Doğu				153	Doğu				38	Doğu				<b>192</b>
	Kuzey		67			Kuzey		17			Kuzey		<b>84</b>		
	Güney	33				Güney	8				Güney	<b>42</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2470</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 297</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>						

**EK A.7** Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 7. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 7:** 7. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %20 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %20 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>									<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		753			Batı		93			Batı		846			Batı				
	Doğu	876				Doğu	76				Doğu	952				Doğu	952			
	Kuzey				194	Kuzey				22	Kuzey				216	Kuzey				216
	Güney			93		Güney			4		Güney			97		Güney			97	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>									<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>									<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			171		Batı			43		Batı			214		Batı			214	
	Doğu				204	Doğu				51	Doğu				256	Doğu				256
	Kuzey		11			Kuzey		3			Kuzey		14			Kuzey		14		
	Güney	6				Güney	1				Güney	7				Güney	7			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2470</b>									<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 297</b>					<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>					

**EK A.8** Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 8. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 8:** 8. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %20 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %20 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		753			Batı		93			Batı		846		
	Doğu	876				Doğu	76				Doğu	952			
	Kuzey				132	Kuzey				15	Kuzey				146
	Güney			60		Güney			2		Güney			62	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			171		Batı			43		Batı			<b>214</b>	
	Doğu				204	Doğu				51	Doğu				<b>256</b>
	Kuzey		67			Kuzey		17			Kuzey		<b>84</b>		
	Güney	33				Güney	8				Güney	<b>42</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2458</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 309</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>						

**EK A.9** Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 9. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 9:** 9. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %25 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %25 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		705			Batı		87			Batı		792		
	Doğu	817				Doğu	71				Doğu	889			
	Kuzey				194	Kuzey				22	Kuzey				216
	Güney			93		Güney			4		Güney			97	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			214		Batı			54		Batı			<b>268</b>	
	Doğu				256	Doğu				64	Doğu				<b>320</b>
	Kuzey		11			Kuzey		3			Kuzey		<b>14</b>		
	Güney	6				Güney	1				Güney	<b>7</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2458</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 309</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>						

**EK A.10** Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 10. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 10:** 10. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %25 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %25 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		705			Batı		87			Batı		792		
	Doğu	817				Doğu	71				Doğu	889			
	Kuzey				132	Kuzey				15	Kuzey				146
	Güney			60		Güney			2		Güney			62	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			214		Batı			54		Batı			<b>268</b>	
	Doğu				256	Doğu				64	Doğu				<b>320</b>
	Kuzey		67			Kuzey		17			Kuzey		<b>84</b>		
	Güney	33				Güney	8				Güney	<b>42</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2445</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 322</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>						

**EK A.11** Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 11. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 11:** 11. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5)

<b>Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %30</b> <b>Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5</b>	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		657			Batı		81			Batı		739		
	Doğu	759				Doğu	66				Doğu	825			
	Kuzey				194	Kuzey				22	Kuzey				216
	Güney			93		Güney			4		Güney			97	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			257		Batı			64		Batı			321	
	Doğu				307	Doğu				77	Doğu				383
	Kuzey		11			Kuzey		3			Kuzey		14		
	Güney	6				Güney	1				Güney	7			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2445</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 322</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>						

**EK A.12** Oluşturulan On iki Farklı Senaryo İçin 12. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 12:** 12. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %30 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		657			Batı		81			Batı		739		
	Doğu	759				Doğu	66				Doğu	825			
	Kuzey				132	Kuzey				15	Kuzey				146
	Güney			60		Güney			2		Güney			62	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			257		Batı			64		Batı			321	
	Doğu				307	Doğu				77	Doğu				383
	Kuzey		67			Kuzey		17			Kuzey		84		
	Güney	33				Güney	8				Güney	42			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2433</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 334</b>					<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>					



**EK A.13** Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 13. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 13:** 13. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %35 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %35 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		610			Batı		75			Batı		685		
	Doğu	700				Doğu	61				Doğu	761			
	Kuzey				194	Kuzey				22	Kuzey				216
	Güney			93		Güney			4		Güney			97	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			300		Batı			75		Batı			375	
	Doğu				358	Doğu				89	Doğu				447
	Kuzey		11			Kuzey		3			Kuzey		14		
	Güney	6				Güney	1				Güney	7			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2433</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 334</b>					<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>					

**EK A.14** Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 14. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 14:** 14. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %35 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %35 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		610			Batı		75			Batı		685		
	Doğu	700				Doğu	61				Doğu	761			
	Kuzey				132	Kuzey				15	Kuzey				146
	Güney			60		Güney			2		Güney			62	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			300		Batı			75		Batı			375	
	Doğu				358	Doğu				89	Doğu				447
	Kuzey		67			Kuzey		17			Kuzey		84		
	Güney	33				Güney	8				Güney	42			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2420</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 347</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>						

**EK A.15** Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 15. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 15:** 15. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %40 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %40 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		562			Batı		69			Batı		632		
	Doğu	641				Doğu	56				Doğu	697			
	Kuzey				194	Kuzey				22	Kuzey				216
	Güney			93		Güney			4		Güney			97	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			343		Batı			86		Batı			<b>428</b>	
	Doğu				409	Doğu				102	Doğu				<b>511</b>
	Kuzey		11			Kuzey		3			Kuzey		<b>14</b>		
	Güney	6				Güney	1				Güney	<b>7</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2420</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 347</b>					<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>					

**EK A.16** Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 16. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 16:** 16. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %40 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %40 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		562			Batı		69			Batı		632		
	Doğu	641				Doğu	56				Doğu	697			
	Kuzey				132	Kuzey				15	Kuzey				146
	Güney			60		Güney			2		Güney			62	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			343		Batı			86		Batı			<b>428</b>	
	Doğu				409	Doğu				102	Doğu				<b>511</b>
	Kuzey		67			Kuzey		17			Kuzey		<b>84</b>		
	Güney	33				Güney	8				Güney	<b>42</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2408</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 359</b>					<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>					

**EK A.17** Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 17. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 17:** 17. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %45 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5)

<b>Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %45</b> <b>Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5</b>	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		514			Batı		64			Batı		578		
	Doğu	582				Doğu	51				Doğu	633			
	Kuzey				194	Kuzey				22	Kuzey				216
	Güney			93		Güney			4		Güney			97	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			386		Batı			96		Batı			<b>482</b>	
	Doğu				460	Doğu				115	Doğu				<b>575</b>
	Kuzey		11			Kuzey		3			Kuzey		<b>14</b>		
	Güney	6				Güney	1				Güney	<b>7</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2408</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 359</b>					<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>					

**EK A.18** Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 18. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 18:** 18. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %45 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %45 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %30	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>					<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		514			Batı		64			Batı		578		
	Doğu	582				Doğu	51			Doğu	633				
	Kuzey				132	Kuzey				15	Kuzey				146
	Güney			60		Güney			2		Güney			62	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			386		Batı			96		Batı			<b>482</b>	
	Doğu				460	Doğu				115	Doğu				<b>575</b>
	Kuzey		67			Kuzey		17			Kuzey		<b>84</b>		
	Güney	33				Güney	8				Güney	<b>42</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2395</b>					<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 372</b>					<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>				

**EK A.19** Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Analizinde Kullanılan, 19. Örnek Durum Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

**Tablo A 19:** 19. Örnek Durum (Ana Akımlar Sola Dönüş Oranı: %50 – Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5)

Ana Akım Sola Dönüş Oranı: %50 Diğer Akımlar Sola Dönüş Oranı: %5	Otomobil - Düz Giden (ta/sa)				Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)				Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		467			Batı		58			Batı		525		
	Doğu	523				Doğu	46			Doğu	569				
	Kuzey				194	Kuzey				22	Kuzey				216
	Güney			93		Güney			4		Güney			97	
	Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)				Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)				Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49				
Güney		35			Güney		0			Güney		35			
Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)				Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)				Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)							
	Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney	
Batı			428		Batı			107		Batı			<b>536</b>		
Doğu				511	Doğu				128	Doğu				<b>639</b>	
Kuzey		11			Kuzey		3			Kuzey		<b>14</b>			
Güney	6				Güney	1				Güney	<b>7</b>				
<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2395</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 372</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2767</b>							

**EK B.1** Dördüncü Kısımındaki Senaryolara Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacmi Örnekleri (1. Örnek Durum – 15. Senaryo)

**Tablo B 1:** 1. Örnek Durum – 15. Senaryo Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

<b>I. Örnek Durum – 15. Senaryo</b>	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		491			Batı		60			Batı		551		
	Doğu	553				Doğu	48				Doğu	601			
	Kuzey				182	Kuzey				20	Kuzey				202
	Güney			86		Güney			4		Güney			90	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			193		Batı			48		Batı			241	
	Doğu				230	Doğu				58	Doğu				288
	Kuzey		22			Kuzey		6			Kuzey		28		
	Güney	11				Güney	3				Güney	14			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 1929</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 251</b>					<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2180</b>					



**EK B.2** Dördüncü Kısımındaki Senaryolara Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacmi Örnekleri (1. Örnek Durum – 38. Senaryo)

**Tablo B 2:** 1. Örnek Durum – 38. Senaryo Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

<b>I. Örnek Durum – 38. Senaryo</b>	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>					<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey		Güney		Batı	Doğu		Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		705				Batı		87				Batı		792		
	Doğu	817					Doğu	72				Doğu	889				
	Kuzey					56	Kuzey					7	Kuzey				63
	Güney			20			Güney				1		Güney			21	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey		Güney		Batı	Doğu		Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı					11	Batı					0	Batı				11
	Doğu			66			Doğu				4		Doğu			70	
	Kuzey	49					Kuzey	0					Kuzey	49			
	Güney		35				Güney		0				Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey		Güney		Batı	Doğu		Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			428			Batı				108		Batı			<b>536</b>	
	Doğu					511	Doğu					128	Doğu				<b>639</b>
	Kuzey		134				Kuzey		33				Kuzey		<b>167</b>		
	Güney	66					Güney	17					Güney	<b>83</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2900</b>					<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 454</b>					<b>Toplam Taşıt Sayısı: 3354</b>						

**EK B.3** Dördüncü Kısımındaki Senaryolara Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacmi Örnekleri (1. Örnek Durum – 50. Senaryo)

**Tablo B 3:** 1. Örnek Durum – 50. Senaryo Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

<b>I. Örnek Durum – 50. Senaryo</b>	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		705			Batı		87			Batı		792		
	Doğu	818				Doğu	71				Doğu	889			
	Kuzey				56	Kuzey				7	Kuzey				63
	Güney			20		Güney			1		Güney			21	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				11	Batı				0	Batı				11
	Doğu			66		Doğu			4		Doğu			70	
	Kuzey	49				Kuzey	0				Kuzey	49			
	Güney		35			Güney		0			Güney		35		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			642		Batı			161		Batı			<b>803</b>	
	Doğu				767	Doğu				192	Doğu				<b>959</b>
	Kuzey		134			Kuzey		33			Kuzey		<b>167</b>		
	Güney	66				Güney	17				Güney	<b>83</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 3370</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 572</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 3942</b>						

**EK B.4** Dördüncü Kısımındaki Senaryolara Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacmi Örnekleri (2. Örnek Durum – 3. Senaryo)

**Tablo B 4:** 2. Örnek Durum – 3. Senaryo Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

<b>II. Örnek Durum – 3. Senaryo</b>	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		441			Batı		44			Batı		485		
	Doğu	483				Doğu	31			Doğu	514				
	Kuzey				231	Kuzey				10	Kuzey				241
	Güney			90		Güney			3		Güney			93	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				20	Batı				0	Batı				20
	Doğu			157		Doğu			18		Doğu			175	
	Kuzey	45				Kuzey	2				Kuzey	47			
	Güney		41			Güney		1			Güney		2		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			101		Batı			25		Batı			126	
	Doğu				138	Doğu				34	Doğu				172
	Kuzey		26			Kuzey		6			Kuzey		32		
	Güney	12				Güney	3				Güney	15			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 1785</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 177</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 1962</b>						

**EK B.5** Dördüncü Kısımındaki Senaryolara Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacmi Örnekleri (2. Örnek Durum – 16. Senaryo)

**Tablo B 5:** 2. Örnek Durum – 16. Senaryo Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

<b>II. Örnek Durum – 16. Senaryo</b>	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>II. Örnek Durum – 16. Senaryo</b>	<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>II. Örnek Durum – 16. Senaryo</b>	<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey		Güney		Batı	Doğu		Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		585				Batı		58				Batı		643		
	Doğu	685					Doğu	44					Doğu	729			
	Kuzey					78	Kuzey					3	Kuzey				81
	Güney			17			Güney				1		Güney			18	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey		Güney		Batı	Doğu		Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı					20	Batı					0	Batı				20
	Doğu			157			Doğu				18		Doğu			175	
	Kuzey	45					Kuzey	2					Kuzey	47			
	Güney		41				Güney		1				Güney		42		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>					<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey		Güney		Batı	Doğu		Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			227			Batı				57		Batı			<b>284</b>	
	Doğu					310	Doğu					77	Doğu				<b>387</b>
	Kuzey		154				Kuzey		38				Kuzey		<b>192</b>		
	Güney	72					Güney	18					Güney	<b>90</b>			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 2391</b>					<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 317</b>					<b>Toplam Taşıt Sayısı: 2708</b>						

**EK B.6** Dördüncü Kısımındaki Senaryolara Ait Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacmi Örnekleri (2. Örnek Durum – 47. Senaryo)

**Tablo B 6:** 2. Örnek Durum – 47. Senaryo Kavşak Yaklaşım Kolu Bazlı Trafik Hacimleri

<b>II. Örnek Durum – 47. Senaryo</b>	<b>Otomobil - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Düz Giden (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı		1015			Batı		101			Batı		1116		
	Doğu	1292				Doğu	83				Doğu	1375			
	Kuzey				231	Kuzey				10	Kuzey				241
	Güney			90		Güney			3		Güney			93	
	<b>Otomobil - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sağa Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı				20	Batı				0	Batı				20
	Doğu			157		Doğu			18		Doğu			175	
	Kuzey	45				Kuzey	2				Kuzey	47			
	Güney		41			Güney		1			Güney		42		
	<b>Otomobil - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Ağır Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>				<b>Toplam Taşıt - Sola Dönen (ta/sa)</b>						
		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney		Batı	Doğu	Kuzey	Güney
	Batı			606		Batı			151		Batı			757	
	Doğu				827	Doğu				206	Doğu				1033
	Kuzey		26			Kuzey		6			Kuzey		32		
	Güney	12				Güney	3				Güney	15			
	<b>Toplam Otomobil Sayısı: 4362</b>				<b>Toplam Ağır Taşıt Sayısı: 584</b>				<b>Toplam Taşıt Sayısı: 4946</b>						

## 9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ziya ÇAKICI

Doğum Yeri ve Tarihi : Demirci / MANİSA – 01.10.1988

Lisans Üniversite : Celal Bayar Üniversitesi - MANİSA

Elektronik Posta : zcakici@pau.edu.tr

Tel : 0 (258) 296 34 66

İletişim Adresi : Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

### Yayın Listesi :

#### **Uluslararası Yabancı Dilde Yayınlanmış Kitap Bölümü : (1)**

- Murat, Y. S., **Cakici, Z.**, Yaslan, G., “Use of Fuzzy Logic Traffic Signal Control Approach as Dual Lane Ramp Metering Model for Freeways”, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 223, 339-349, ISBN: 978-3-319-00929-2, (2014).

#### **SCI ve SCI-E Kapsamı Dışındaki İndekslere Giren Uluslararası Dergilerde Yayınlanan Makaleler : (1)**

- Murat, Y. S., Kutluhan, S., **Cakici, Z.**, “Investigation of Cyclic Vehicle Queue and Delay Relationship for Isolated Signalized Intersection”, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 111 (5), Porto-Portugal, 252-261, (2014).

## Uluslararası Bildiriler : (6)

- Murat, Y. S., **Cakici, Z.**, “Statistical Analysis of Vehicle Delay Measurements Considering Different Time Durations”, *International Civil Engineering & Architecture Symposium for Academicians (ICESA-2014)*, 17-20 May, Side-Antalya, (2014).
- Murat, Y. S., Kutluhan, S., **Cakici, Z.**, “Investigation of Cyclic Vehicle Queue and Delay Relationship for Isolated Signalized Intersection”, *16<sup>th</sup> Euro Working Group on Transportation*, 4-6 September, Porto-Portugal, (2013).
- Murat, Y. S., Kutluhan, S., **Cakici, Z.**, “Comparison of Fuzzy C-Means and K-Means Clustering Approaches in Spatial Analysis of Traffic Accidents”, *4<sup>th</sup> International Conference on Mathematical and Computational Applications*, 11-13 June, Manisa, (2013).
- Murat, Y. S., Kutluhan, S., **Cakici, Z.**, “Re-arrangement of Traffic Signal Timings by Cyclic Vehicle Queue Profile”, *2<sup>nd</sup> International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering (BCCCE)*, 23-25 May, Tirana-Albania, (2013).
- Murat, Y. S., **Cakici, Z.**, Yaslan, G., “Use of Fuzzy Logic Traffic Signal Control Approach as Dual Lane Ramp Metering Model for Freeways”, *Special Session on Emerging Theories and Applications in Transportation Science in 17<sup>th</sup> Online Conference on Soft Computing in Industrial Applications*, 10-21 December, (2012).
- Murat, Y.S., Demir, M. B., **Cakici, Z.** “Fuzzy Control Approach for Roundabout Metering Signals”, *15<sup>th</sup> Euro Working Group on Transportation*, 10-13 September, Paris-France, (2012).

## Ulusal Bildiriler : (1)

- Murat, Y. S., **Çakıcı, Z.**, Demir, M. B., “Bulanık Mantık ile Yuvarlakada Kavşakların Kısmi Denetimi”, *İnşaat Mühendisliğinde 100. Yıl Teknik Kongresi – Yıldız Teknik Üniversitesi*, 22-24 Kasım, İstanbul, (2012).