



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**BİRBİRİNE YAKIN KAVŞAKLAR ARASINDAKİ TRAFİK
KOORDİNASYONUNUN DEĞERLENDİRMESİ: SAMSUN
ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

Hakan ORDU

Danışman
Doç. Dr. Ufuk KIRBAŞ

SAMSUN
2022

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**BİRBİRİNE YAKIN KAVŞAKLAR ARASINDAKİ TRAFİK
KOORDİNASYONUNUN DEĞERLENDİRMESİ: SAMSUN ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

Hakan ORDU

Danışman

Doç. Dr. Ufuk KIRBAŞ

SAMSUN
2022

ÖZET

BİRBİRİNE YAKIN KAVŞAKLAR ARASINDAKİ TRAFİK KOORDİNASYONUNUN DEĞERLENDİRMESİ: SAMSUN ÖRNEĞİ

Hakan ORDU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Temmuz/2022

Danışman: Doç. Dr. Ufuk KIRBAŞ

Kara yolu ağlarında çok önemli bir konuma sahip olan kavşaklar; güvenlik, konfor ve kapasite gibi faktörler sebebiyle kendi içinde sınıflara ayrılmaktadır. Eş düzey kavşak çeşitlerinden biri olan dönel kavşaklar ise yirminci yüzyıldan bu yana dünyada kabul görmüştür. Modern dönel kavşaklar, ada etrafında sirküle olan taşıta yol ver kuralı ve güvenliği artıran geometrisi ile kavşak kollarından dönel kavşağa dahil olacak taşıtların düşük ve sabit hızlı hareketini sağlamaktadır. Bu nedenle özellikle tek şerit katımlı modern dönel kavşaklar son yıllarda kavşak bölgelerinde tercih edilen bir çözüm alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat bu kavşak çeşidi, kavşak kollarında oluşan dengesiz akımlara karşı hassas olması sebebiyle, dengesiz akım koşulları altında kavşağa dahil olacak taşıtlar arasında ihtiyaç duyulan boşluğu sağlayamamaktadır. Kavşakta oluşan dengesiz akımlar ile kavşak kollarında gecikme süreleri artmakta ve uzun kuyruklar meydana gelmektedir. Uzun gecikme süreleri ve kuyruk mesafeleri gibi sorunların en aza indirilmesi adına kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar, çözüm alternatifi olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların kavşak performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, Samsun ilindeki iki ardışık “DUR” ve “YOL VER” kontrollü hemzemin kavşak konu edilmiştir. Önce, PTV VISSIM simülasyonu ortamında kavşakların mevcut halleri modellenmiştir. Modelin çalıştırılmasında uygun trafik parametreleri seçilerek model gerçeği yansıtır şekilde kalibre edilmiştir. Ardından kalibre modelde yol geometrileri değiştirilerek her iki kavşak yerine önce modern dönel kavşak yerleştirilmiş, daha sonra da bu kavşaklar, literatürdeki bilgiler ışığında sinyal süreleri ve kuyruk detektörü mesafeleri seçilerek kısmi denetimli sinyalize edilmiştir. Sinyal süreleri ve kuyruk detektörü mesafeleri değiştirilerek alternatif senaryolar oluşturulmuş ve optimum kısmi denetimli dönel kavşak senaryosu tespit edilmiştir. Sonrasında mevcut durum, modern dönel kavşak senaryosu ve optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryoları gecikme, ortalama kuyruk uzunluğu, yakıt tüketimi ve emisyon parametreleri göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar hem mevcut durum senaryosundan hem de modern dönel kavşak senaryosundan daha başarılı sonuçlar vermiştir. Mevcut durumla kıyaslandığında kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar kavşağın ortalama gecikmesinde %69,37, ortalama kuyruk uzunluğunda %83,20, yakıt tüketimi ve emisyonda ise %77,90'a varan iyileşme sağlamıştır. Bu sonuçlar ışığında kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların bir çözüm olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Hemzemin kavşaklar, Sinyalizasyon, Dönel kavşak, Trafik simülasyonu

ABSTRACT

EVALUATION OF TRAFFIC COORDINATION BETWEEN ADJACENT INTERSECTIONS: THE CASE OF SAMSUN

Hakan ORDU
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering
M.Sc., July/2022
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ufuk KIRBAŞ

Intersections, which have a notable position on road networks; divided into classes within themselves due to factors such as safety, comfort, and capacity. Roundabouts, one of the types of at-grade intersections, have been accepted in the world since the twentieth century. Modern roundabouts provide low and constant speed movement of vehicles that will be joined to the roundabout from the approaches, with the give way to the vehicle circulating around the island rule and the geometry that increases safety. Therefore, especially single-lane modern roundabouts have emerged as a preferred solution alternative in intersection areas in recent years. However, this type of intersection cannot provide the required gap between the vehicles that will be joined to the intersection under unbalanced flow conditions, since it is sensitive to unbalanced flows on the approaches. As a result of unbalanced flows at the intersection, delays increase and long queues occur on the approaches at the intersection. Roundabout metering is preferred as a solution option to minimize the problems such as long delays and queueing.

In this study, the effect of roundabout metering on intersection performance was investigated. In this context, two adjacent “STOP” and “GIVE WAY” controlled at-grade intersections in Samsun are the subject. Using the PTV VISSIM simulation software, the current situation was modeled. The model has been calibrated by selecting the appropriate traffic parameters in the PTV VISSIM. Thereafter, by changing the road geometries in the calibrated model, first modern roundabouts were placed at both intersections, and then these modern roundabouts were metered by selecting signal durations and tail detector distances in the light of the information available in the existing literature. Alternative scenarios were created by changing the signal times and queue detector distances, and the optimum roundabout metering scenario was determined. Thereafter, current situation, roundabout scenario, and roundabout metering scenarios are compared considering the parameters such as delay, average queue length, fuel consumption, and emissions. According to the results of the study, metered roundabouts provide more successful results than both the current situation scenario and the modern roundabout scenario. Compared to the current situation, roundabout metering have improved the average delay of the intersection by 69.37%, the average queue length by 83.20%, and fuel consumption and emissions by up to 77.90%. Considering these results, it has been determined that roundabout metering can be used as an alternative solution.

Keywords: at-grade intersections, signalization, roundabout, traffic simulation

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarımın saha ayağında bana büyük yardımı dokunan sevgili dostlarım Furkan BİRİNCİ ve Arda DEMİRKİR'a, çalışmalarım süresince iş yükümü hafifleten çalışma arkadaşlarım Nurullah EVCİMEN ve Orçun ÇELİK'e, hiçbir sorumu yanıtı bırakmayan ISSD Bilişim Elektronik A.Ş'den Şule YILDIZ, Alper KOÇ ve arkalarındaki ekibe, tezimin düzenlenmesinde yardımcı olan müdür yardımcımız Emrah EREN'e, bu süreçte yanımda olan değerli dostum Gürkan KIR'a sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimine beraber başladığım ve beraber bitirdiğim, bu sürecin tamamında yanımda olan, çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen çok değerli arkadaşım Elif Esra BAŞTAN'a ayrıca teşekkür ederim.

Kendisine ayrı bir paragrafın yetmeyeceği hem lisans eğitimi hem yüksek lisans eğitimi boyunca her konuda destek olan, beni her zaman daha iyiye iten, içimdeki potansiyeli ortaya çıkarmama yardımcı olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ufuk KIRBAŞ'a en içten şükranlarımı sunarım. Bana duyduğunuz sonsuz güven için teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme de çok teşekkür ederim.

Hakan ORDU

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. TEORİK ESASLAR	13
3.1. Kavşaklara Giriş.....	13
3.1.1. Kavşakların Tasarımını Etkileyen Faktörler	13
3.2. Farklı Seviyeli Kavşaklar.....	15
3.3 Hemzemin (Eş düzey) Kavşaklar.....	17
3.4. Kol Sayısına Göre Hemzemin Kavşaklar	20
3.4.1. Üç Kollu Hemzemin Kavşaklar	20
3.4.2.Dört Kollu Hemzemin Kavşaklar	21
3.4.3.Çok Kollu Hemzemin Kavşaklar	23
3.5. Denetim Tipine Göre Hemzemin Kavşaklar.....	23
3.5.1.Sinyalize Olmayan (Denetimsiz) Hemzemin Kavşaklar.....	23
3.5.2.Sinyalize (Denetimli) Hemzemin Kavşaklar	24
3.5.2.1. İzole Sinyalizasyon Sistemleri	24
3.5.2.2. Koordine Sinyalizasyon Sistemleri	30
3.6. Dönel Kavşaklar.....	33
3.6.1. Modern Dönel Kavşakların Tasarım Esasları	36
3.6.2. Modern Dönel Kavşakların Sınıflandırılması	42
3.6.2.1. Mini Dönel Kavşaklar	43
3.6.2.2. Kentsel Kompakt Dönel Kavşaklar	44
3.6.2.3. Kentsel Tek Şeritli Dönel Kavşaklar.....	45
3.6.2.4. Kentsel Çift Şeritli Dönel Kavşaklar.....	45
3.6.2.5. Kırsal Tek Şeritli Dönel Kavşaklar	46
3.6.2.6. Kırsal Çift Şeritli Dönel Kavşaklar	47
3.7. Dönel Kavşaklarda Dengesiz Akım Sorunu	47
3.8. Dönel Kavşaklarda Sinyalizasyon	50
3.9. Kısmi Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklar	52
3.9.1. Kısmi Denetimli Sinyalize Dönel Kavşak Elemanları.....	53
4. SİMÜLASYON YÖNTEMİ.....	57
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	58
5.1. 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı.....	59
5.1.1. 19 Mayıs Bulvarı kavşağı mevcut durum hakkında bilgiler	59
5.2. Barış Bulvarı Kavşağı	61
5.2.1. Barış Bulvarı kavşağı mevcut durum hakkında bilgiler.....	61
5.3. Kavşaklara Ait Trafik Sayımları	63
5.4. Kavşakların Mevcut Durum Analizi	64
5.4.1. Mevcut durumun Vissim simülasyon programı ile analizinin yapılması.....	65
5.5. Önerilen Senaryo 1: Modern Dönel Kavşak	70
5.6. Önerilen Senaryo 2: Kısmi Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklar	75
6. SONUÇLAR.....	84
KAYNAKÇA.....	87

KISALTMALAR

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
FHWA	: Federal Highway Administration
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
TRB	: Transportation Research Board

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Trafik hacmine bağlı olarak kavşak türü seçimi (KGM, 2021b)	2
Şekil 3.1. Farklı seviyeli kavşak çeşitleri (Tunç, 2003)	16
Şekil 3.2. Hemzemin kavşaklarda görülen trafik hareketleri (KGM, 2016)	18
Şekil 3.3. Hemzemin kavşaklarda görülen çakışmalar (KGM, 2016)	19
Şekil 3.4. Üç kollu hemzemin kavşak çeşitleri (Tunç, 2003)	20
Şekil 3.5. Dört kollu hemzemin kavşaklar (Tunç, 2003)	21
Şekil 3.6. Düşük standartlı dört kollu hemzemin kavşaklar	22
Şekil 3.7. Yüksek standartlı dört kollu hemzemin kavşaklar	22
Şekil 3.8. Yüksek standartlı dört kollu hemzemin kavşaklar	22
Şekil 3.9. Çok kollu hemzemin kavşaklar	23
Şekil 3.10. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemlerinin genel yapısı (KGM, 2019)	26
Şekil 3.11. Yarı Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi (KGM, 2019)	27
Şekil 3.12. Trafik Uyarmalı (Süre Uzatmalı) Sistem (KGM, 2019)	28
Şekil 3.13. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi Uygulaması ve Butonu	29
Şekil 3.14. Sinyalizasyon Sistemlerinin Trafik Talebine Bağlı Olarak Kıyaslanması (KGM,2019)	30
Şekil 3.15. Senkronize Sistem (KGM, 2019)	31
Şekil 3.16. Alternatif Sistem (KGM, 2019)	32
Şekil 3.17. Progresif Sistem (KGM, 2019)	32
Şekil 3.18. Trafik çemberi (KGM, t.y.)	34
Şekil 3.19. Modern Dönel Kavşak (KGM, t.y.)	34
Şekil 3.20. Dört kollu kavşaklarda çakışma noktaları (KGM, 2016)	36
Şekil 3.21. Üç kollu kavşaklarda çakışma noktaları (Bared vd., 1997)	36
Şekil 3.22. Dönel kavşak geometrik elemanları (Özinal ve Uz, 2021)	37
Şekil 3.23. Dönel kavşak geometrik elemanları (Özinal ve Uz, 2021)	37
Şekil 3.24. Kavşak görüş mesafesi (Robinson vd., 2000)	39
Şekil 3.25. Dönel kavşakta sapma (Sweroad, 2001)	39
Şekil 3.26. Dönel kavşak yaklaşım kollu tasarımı (Taekratok, 1998)	40
Şekil 3.27. Minimum ayırıcı ada boyutları (Robinson vd., 2000)	41
Şekil 3.28. Modern dönel kavşak düşey işaretlemeleri (KGM, 2018)	42
Şekil 3.29. Modern dönel kavşak çeşitleri (Robinson vd., 2000)	42
Şekil 3.30. Mini dönel kavşak (Robinson vd., 2000)	44
Şekil 3.31. Kentsel kompakt dönel kavşak (Robinson vd., 2000)	45
Şekil 3.32. Kentse tek şeritli dönel kavşak (Robinson vd., 2000)	45
Şekil 3.33. Kentsel çift şeritli dönel kavşak (Robinson vd., 2000)	46
Şekil 3.34. Kırsal tek şeritli dönel kavşak (Robinson vd., 2000)	47

Şekil 3.35. Kırsal çift şeritli dönel kavşak (FHWA, 2000).....	47
Şekil 3.36. Dengesiz akımların tanımı (Krogscheepers ve Roebuck, 2000).....	49
Şekil 3.37. Dengesiz akım kombinasyonları (Akçelik, 2004)	50
Şekil 3.38. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak (VicRoads, 2015).....	53
Şekil 5.1. Bölgenin havadan görünümü, kavşak noktaları ve çevredeki bazı önemli yerler..	59
Şekil 5.2. 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı	60
Şekil 5.3. 19 Mayıs Bulvarı'ndan kavşağın görünümü.....	60
Şekil 5.4. Atakum yönünden kavşağın görünümü	61
Şekil 5.5. Barış Bulvarı Kavşağı.....	62
Şekil 5.6. Canik kolundan kavşağın görünümü	62
Şekil 5.7. Barış Bulvarı'ndan kavşağın görünümü	63
Şekil 5.8. Kavşakların şerit genişliklerini ve akım kollarını gösteren kroki	63
Şekil 5.9. Mevcut durumun Vissim modeli	66
Şekil 5.10. Vissim Modelinde Mevcut Durumdaki Yoğunluk	70
Şekil 5.11. Vissim Üzerinde Modern Dönel Kavşak Senaryosuna Ait Model	70
Şekil 5.12. Modern Dönel Kavşak Senaryosunu Gösteren Basit Kroki.....	71
Şekil 5.13. Modern Dönel Kavşak Senaryosunda Oluşan Yoğunluk	75
Şekil 5.14. Ortalama Kuyruk Uzunlukları	78
Şekil 5.15. Ortalama Kuyruk Uzunluklarının Yüzdesele Değişimi.....	78
Şekil 5.16. Taşıt Seyahat Süreleri	79
Şekil 5.17. Ortalama Gecikme Süreleri	80
Şekil 5.18. Ortalama Gecikme Sürelerindeki Yüzdesele Değişim	80
Şekil 5.19. Barış Bulvarı için Yakıt Tüketimi ve Emisyon Verileri	81
Şekil 5.20. Barış Bulvarı Kavşağı Emisyon Değerleri ve Yakıt Tüketimindeki Yüzdesele Değişim	81
Şekil 5.21. 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı için Yakıt Tüketimi ve Emisyon Verileri.....	82
Şekil 5.22. 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı Emisyon Değerleri ve Yakıt Tüketimindeki Yüzdesele Değişim.....	82
Şekil 5.23. Kavşak Genelinde Ortalama Gecikme.....	83
Şekil 5.24. Kavşak Genelinde Ortalama Gecikmenin Yüzdesele Değişimi	83

TABLolar DİZİNİ

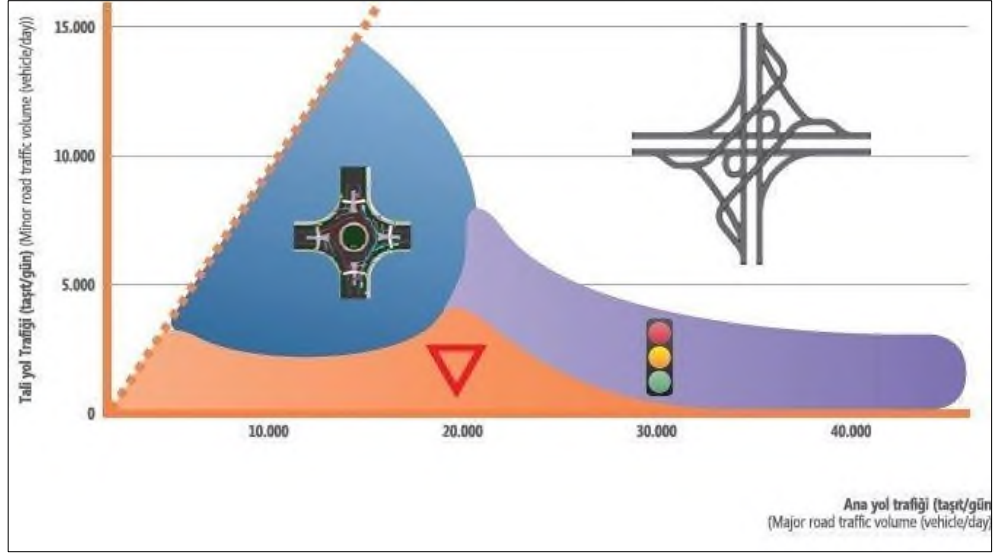
Tablo 3.1. Dönel kavşak çeşitlerine göre tavsiye edilen maksimum giriş hızları (Robinson vd., 2000).....	38
Tablo 3.2. Modern dönel kavşakların temel özelliklerinin karşılaştırılması (Robinson vd., 2000).....	43
Tablo 3.3. Sinyalize Dönel Kavşakların Kontrol Yöntemleri (Hallworth, 1992).....	51
Tablo 3.4. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar için önerilen parametreler.....	56
Tablo 5.1. Mevcut duruma ait 1 saatlik trafik sayımı.....	64
Tablo 5.2. Taşıt kompozisyonlarına ait hız parametreleri.....	66
Tablo 5.3. Çalışmaya Ait GEH Değerleri.....	67
Tablo 5.4. Mevcut Duruma Ait Kuyruk Uzunluğu Verileri.....	67
Tablo 5.5. Mevcut Duruma Ait Ortalama Hız Verileri.....	68
Tablo 5.6. Mevcut Duruma Ait Seyahat Süreleri.....	68
Tablo 5.7. Mevcut Duruma Ait Gecikme Verileri.....	69
Tablo 5.8. Kavşakların Hizmet Seviyesi.....	69
Tablo 5.9. Akaryakıt Tüketimi ve Emisyon Verileri.....	69
Tablo 5.10. Sınırlandırılmış Hız Değerleri.....	72
Tablo 5.11. Modern Dönel Kavşak Senaryosuna Ait Kuyruk Uzunluğu Verileri.....	72
Tablo 5.12. Modern Dönel Kavşak Senaryosuna Ait Ortalama Hız Verileri.....	73
Tablo 5.13. Modern Dönel Kavşak Senaryosuna Ait Taşıt Seyahat Süreleri.....	73
Tablo 5.14. Modern Dönel Kavşak Senaryosuna Ait Gecikme Süreleri.....	74
Tablo 5.15. Kavşakların Hizmet Seviyesi.....	74
Tablo 5.16. Modern Dönel Kavşak Senaryosuna Ait Akaryakıt Tüketimi ve Emisyon Değerleri.....	74
Tablo 5.17. Kullanılan Parametreler ve Değerleri.....	76
Tablo 5.18. Optimum Senaryoya Ait Kuyruk Uzunluğu Verileri.....	76
Tablo 5.19. Optimum Senaryoya Ait Gecikme Verileri.....	77
Tablo 5.20. Kavşakların Hizmet Seviyeleri.....	77
Tablo 5.21. Optimum Senaryoya Ait Taşıt Seyahat Süresi Verileri.....	77
Tablo 5.22. Optimum Senaryoya Ait Akaryakıt Tüketimi ve Emisyon Değerleri.....	77

1.GİRİŞ

Ulaşım kısaca canlı veya cansız varlıkların buldukları konumdan başka bir konuma taşınması olarak tanımlanmaktadır. Dünyada toplumlar arası sürekli artma eğilimi gösteren sosyal, kültürel ve ekonomik etkileşimlerin doğal bir sonucu olarak ulaşım talebi giderek artmış ve ulaşım hayatımız için kritik öneme sahip bir konuma gelmiştir. Hızlı bir şekilde artan teknolojik gelişmelerle beraber ulaşım konusunda da gelişmeler yaşanmıştır. Bu gelişmelerden ulaşım türlerinden olan kara yolu da etkilenmiştir. Çok hızlı bir artış gösteren hususi araç sahipliği ve ileri kara yolu ağları günümüzde özellikle kent içi trafiğin en çok problem meydana gelen noktalarından birini oluşturmuştur: Kavşaklar. Kavşaklar iki ya da daha çok kara yolunun birleştiği, kesiştiği ya da ayrıldığı bölgeler olarak tanımlanmakla birlikte bu yollar arasındaki dönüş hareketlerini de içeren noktalardır. Bu şekilde daha düşük kara yolu bağlantısıyla çok fazla erişim sağlanmaktadır. Kavşak noktaları, sayılan trafik hareketleri sebebiyle yolların kapasitesi, hizmet seviyesi gibi parametreleri etkilemekle birlikte trafik kazaları, hava ve çevre kirliliği gibi durumların da sıklıkla gözlendiği yerlerdir. Bu nedenle kavşaklar kara yolu ağlarında önemli bir yere sahiptir. KGM tarafından yayımlanan Trafik Kazaları Özeti raporunda 2020 senesinde 150.275 ölümlü ya da yaralanmalı kazanın 56.294 adedi kavşak noktalarında gerçekleştiği belirtilmiştir (KGM, 2021a). Başka bir deyişle Karayolları Genel Müdürlüğü yol ağında yaşanan ölümlü ya da yaralanmalı kazaların %37'si kavşaklarda meydana gelmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'ne bakıldığında ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarının yarısından daha fazlasının kavşak noktalarında veya kavşağa yakın noktalarda meydana geldiği görülmektedir (FHWA, 2021). Tüm bunların yanı sıra kentsel ağlarda gözlenen gecikmelerin %70'ten daha fazlası kavşak noktalarında oluşan süre kayıplarından dolayı meydana gelmektedir (Erol, 2018). Sayısal veriler de göz önünde bulundurulduğunda kavşak noktalarının gerek karayollarını kullanan sürücü ve yayalar, gerek mühendisler gerekse de karayolları ağından sorumlu idareler için çok büyük bir önem arz ettiği ortadadır.

Kavşakların tasarımındaki hatalar, teknik standartların uygulanmaması, yapılan ön etütlerin yetersiz olması gibi sebepler kavşakları önemli kaza noktaları haline getirmektedir. Sayılan bu sebepler göz önünde bulundurulduğunda halihazırdaki durumun karayollarından sorumlu idareler tarafından doğru şekilde analiz edilmesi, emniyet, ekonomi ve kapasite gibi kavşak tasarım kriterlerine uygun

özüm alternatiflerinin ortaya konması gerekmektedir. Şekil 1.1’de kavşak noktalarında bulunan ana yol ve tali yolların trafik hacimlerine göre referans alınabilecek bir kavşak tasarım diyagramı verilmiştir.



Şekil 1.1. Trafik hacmine bağlı olarak kavşak türü seçimi (KGM, 2021b)

Bu diyagram incelendiğinde düşük trafik hacmine veya tali yolun çok düşük trafik hacmine sahip olduğu kavşaklar için öncelik kontrollü kavşaklar önerilirken trafik hacminin orta düzeyde olduğu ve trafiğin yaklaşım kollarına dengeli dağıldığı durumlarda dönele kavşaklar önerilmiştir. Trafik hacminin daha yüksek olduğu durumlarda ise önce ışıklı kavşaklar sonrasında ise farklı seviyeli kavşaklar tavsiye edilmiştir.

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sides (2000), birçok kavşağın yerine kurulan ve altı yaklaşım kolundan meydana gelen Florida eyaletindeki Clearwater Beach dönel kavşağında kısmi denetimli sinyalizasyonun kullanıldığını ifade etmiş ve sayısal sonuçların pek yer almadığı çalışmasında kısmi denetimli sinyalizasyonun muntazam bir başarı ile çalıştığından belirtmiştir. Bu çalışmaya göre yaya ve bisiklet dostu bir çevre yaratılmış, yayalar ve motorlu taşıtlar için iyi düzeyde bir hizmet seviyesi sağlanmış, ciddi yaya ve motorlu taşıt kazalarında azalma gözlemlenmiştir. Bu sonuçların yanı sıra hava kalitesinde iyileşme bekleneceğinden de bahsedilmiş, yapılan SIDRA modeline göre ilk yirmi yıllık periyotta atmosfere salınan kirletici gazların 493.456 kg azalacağı bildirilmiştir.

Natalizio (2005), dönel kavşaklarda sinyalizasyon uygulamasının zirve saatlerde oluşan dengesiz akımları ile ilgili sorunları aşmak adına kullanılabileceğini belirtmiş ve Akçelik vd. tarafından geliştirilen analiz modelini test etmek adına bir çalışma yapmıştır. Bu model, bir dizi veri seti ile test edilmiş, modelden elde edilen sonuçlar ile dönel kavşaklarda kısmi denetimli sinyalizasyonun uygun kullanımı için bir takım yol gösterici ilke geliştirilmiştir. Natalizio, tek şeritli dönel kavşaklarda kısmi denetimli sinyalizasyonun, sinyalizasyon yaklaşım kolunun doygunluk derecesi 0,6'dan düşük olduğu takdirde iyi, 0,7'den düşük olduğu takdirde tolere edilebilecek sonuçlar sunduğundan bahsetmiştir. Bunun yanı sıra, tek şeritli dönel kavşaklarda kısmi denetimli sinyalizasyon ihtiyacı, gecikmenin yaşandığı yaklaşım kolundaki akım ve bu yaklaşım kolunun önünde sirküle olan akımın toplam 1300-1400 taşıt/saat olduğu durumlarda meydana gelmekte ve bu toplam akım değeri 1550-1650 taşıt/saat değerini aştığında kısmi denetimli sinyalizasyonun etkisi azalmaya başlamaktadır. Natalizio, kısmi denetimli sinyalizasyonun tek şeritli dönel kavşaklarda uygulanması halinde en iyi kapasite ve performans sonuçlarını sunan parametreleri belirtmiş, aynı zamanda bu çalışmada şu sonuçlar da yer almıştır:

- Daha uzun minimum boş ve kırmızı süreleri, daha kısa kuyruk detektörü mesafesine kıyasla kontrol yaklaşım kolunun kapasitesi ve performansı üzerinde daha olumlu bir etkiye sahiptir.

•Daha kısa bir kuyruk detektörü mesafesi, sinyalizasyon yaklaşım kolunun kapasitesi ve performansı üzerinde, daha uzun minimum boş ve kırmızı sürelerle kıyasla daha az etkiye sahiptir.

Akçelik (2005), zirve saatlerde kısmi denetimli sinyalizasyonun tam denetimli sinyalizasyon yerine daha uygun maliyetli bir çözüm olduğunu, kısmi denetimli sinyalizasyon dönel kavşakların ağır akım talepleri olduğu dönemlerde seçili dönel kavşak yaklaşım kollarına yarı zamanlı olarak sıklıkla kurulduklarını belirtmiş ve bu yöntemin Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri ve Birleşik Krallık'ta aşırı gecikme ve kuyruklanma sorunlarını sirküle akımda boşluklar oluşturarak hafifletmek adına kullanıldığını bildirmiştir. Ayrıca Akçelik bu çalışmada kısmi denetimli olarak sinyalizasyon edilmiş bir dönel kavşak hakkındaki vaka çalışmasına yer vermiştir. Bu çalışmada Avustralya'da bulunan Mickleham Yolu ile Broadmeadows Yolu kavşağında bulunan dönel kavşak incelenmiş ve bu dönel kavşağın kısmi denetimli sinyalizasyon durumu ile kısmi denetimli sinyalizasyonun olmadığı durum aaSIDRA yazılımı yardımıyla kıyaslanmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre kavşakta kısmi denetimli sinyalizasyonun kullanıldığı durumda ortalama gecikmede %16,9, en zayıf performans gösteren yaklaşım kolundaki gecikme %36,7, toplam durma %20,9, CO₂ salınımı %4,9 ve işletme giderleri %7,5 azalmıştır.

Akçelik (2006), çalışmasında kısmi denetimli sinyalizasyon dönel kavşaklar için kullanılan tipik tasarım ve kontrol parametrelerinden bahsetmiş ve bunların yanı sıra kısmi denetimli sinyalizasyon dönel kavşakların performansının değerlendirilmesi adına bir vaka çalışmasına yer vermiştir. Bu vaka çalışmasında Avustralya'nın Melbourne kentinde yer alan Nepean kara yolu ile McDonalds Sokağı kavşağında bulunan üç kollu dönel kavşağın kısmi denetimli sinyalizasyon durumu ile kısmi denetimli sinyalizasyonun olmadığı durumlar Sidra Intersection kullanılarak incelenmiştir. Bu vaka çalışmasının sonuçları incelendiğinde kavşakta kısmi denetimli sinyalizasyonun kullanıldığı senaryoda yıllık düzeyde ortalama gecikme %65,7, en zayıf performans gösteren yaklaşım kolundaki gecikme %36, toplam durma sayısı %55,7, akaryakıt tüketimi ve CO₂ salınımı %22 ve işletme giderleri %36,3 azalma göstermiştir.

Mosslemi (2008), yaptığı çalışmada zaman zaman dönel kavşaklarda sadece geçiş hakkı düzenlemelerine güvenmenin yaklaşım kolları boyunca uzun kuyruklar oluşmasına neden olabileceğini, bu durumun genellikle bir dönel kavşakta meydana gelen dengesiz akımlardan muzdarip olduğunda meydana geleceğini ve dönel

kavşakların sinyalizasyonunun özellikle yoğun saatlerde böyle bir soruna karşı önlem olarak yararlı olabileceğinden bahsetmiş ancak dönel kavşakların sinyalizasyonunun verimli bir şekilde kullanmak adına bir kılavuzdan yoksun olduğunu belirtmiştir. Mosslemi bu çalışmasında Norveç'in Stavanger kentinde yer alan Kannik bölgesinde geleneksel olarak işletilen bir dönel kavşak üzerinde AIMSUN programını kullanarak mevcut durumu, sabit süreli ve trafik uyarmalı sinyalizasyon durumu içeren senaryolar ile kısmi denetimli sinyalizasyon dönel kavşak ve geleneksel dönel kavşağın performansını karşılaştırmıştır. Mevcut yolun geometrisinde değişiklik de içeren çalışmanın sonuçlarına göre trafik uyarmalı şekilde düzenlenen kısmi denetimli sinyalizasyon dönel kavşak senaryosu tüm ağda ortalama hız, yoğunluk, durma sayısı, ortalama gecikme süresi ve seyahat süresi parametrelerinin tamamında iyileşme sağlamıştır.

Geers vd. (2009), çalışmada dönel kavşakların özellikle trafik hacminin yaklaşım kollarına dengeli dağıldığı, hafif-orta yoğunluğa sahip yaklaşım kollarında iyi işlev gören ve yaygın olarak kullanılan trafik kontrol önlemlerinden biri olduğunu ancak orta düzeyde meydana gelen dengesiz trafik akımlarının uzun gecikmelere neden olabileceğinden bahsetmiş ve bu soruna çözüm alternatifi olarak hem dönel kavşağın giriş kapasitesini artırmak hem de gecikmeyi azaltmak için bir veya daha fazla yaklaşım kolunda sinyalizasyon kullanmak olduğunu belirtmiştir. Ayrıca bu çalışmada, Avustralya'nın Sydney şehrinde, Princes Yolu ile Illawarra Yolu kavşağında yer alan Yallah dönel kavşağının performansı değerlendirilmiştir. Geers vd., dönel kavşağın performansını değerlendirmek adına PARAMICS adlı programdan yararlanmış ve üç alternatif senaryo kullanmıştır. Senaryoların sonuçlarına göre tek şeritli dönel kavşakta pik saatte meydana gelen gecikme süresinde %85'e varan düşüş gözlemlenmiştir.

Akçelik (2011), bu çalışmada kısmi denetimli sinyalizasyon olarak kontrol edilen dönel kavşakların kontrolünün kısa bir özetini vermiş ve dönel kavşakların kısmi denetimli sinyalizasyonunun analitik modelini açıklamıştır. Bu model, kısmi denetimli sinyalizasyon dönel kavşakların sinyalizasyon yaklaşım kolu ve kontrol yaklaşım kolunun yanı sıra dönel kavşağın geleneksel olarak çalışan diğer yaklaşım kollarının kapasiteleri ve gecikme, kuyruk uzunluğu gibi parametrelerini de tahmin etmektedir. Ayrıca aynı çalışmada, kısmi denetimli sinyalizasyon dönel kavşakların sinyal süreleri tartışılmış ve modelin Avustralya'nın Melbourne kentinde bulunan bir dönel kavşağa

alternatif sinyalizasyon senaryolarıyla birlikte Sidra Intersection programı kullanılarak uygulandığı bir vaka çalışmasına yer verilmiştir. Vaka çalışmasında, biri dönel kavşağın geleneksel olarak kontrol edildiği durum da dahil olmak üzere farklı sinyal süreleri içeren toplam dokuz senaryo kullanılmıştır. Bu çalışmada Akçelik, kısa devre sürelerinin uzun devre sürelerine kıyasla kavşak performansı üzerinde daha iyi sonuçlar sunduğunu ifade etmiştir.

Fortuijn (2014), çalışmasında temel olarak dönel kavşakların sinyalizasyonundan ve dönel kavşakların kapasitesinden bahsetmiş, kısmi denetimli sinyalizasyonla dönel kavşaklarda kullanılabilecek kırmızı sinyal süreleri ve detektör mesafelerine yer vermiştir. Ayrıca Fortuijn, teorik olarak dönel kavşakta kısmi denetimli sinyalizasyon sisteminin tek şeritli bir dönel kavşağın kapasitesini artırmasının beklenmediğini, ancak iki şeritli dönel kavşaklarda kısmi denetimli sinyalizasyonun meydana gelen gecikmenin daha dengeli dağıtılmasıyla birlikte kapasiteyi de artırabileceğinin beklenebileceğini belirtmiştir. Ek olarak Fortuijn bu çalışmada Hollanda'da bulunan bir dönel kavşağı ele almış, Vissim yazılımını kullanarak kısmi denetimli sinyalizasyonla dönel kavşakların performansını araştırmıştır. Çalışma sonuçlarına göre tek şeritli dönel kavşağın kapasitesinin kısmi denetimli sinyalizasyon ile artmayacağına dair göstergeler bulunsa da iki şeritli dönel kavşaklara uygulandığında, kısmi denetimli sinyalizasyonun düşük trafik hacmine sahip yaklaşım kolunun kapasitesini %15 ve %45 arasında artırdığını ve ağır trafik yükü altında tüm dönel kavşaktaki gecikme süresinin %20 ve %50 arasında azalacağını bildirmiştir.

Hummer vd. (2014), dönel kavşakların kullanımının genellikle güvenlik avantajı sağladığını, bununla birlikte yoğun saatlerde yaklaşım kollarında oluşan orta düzeyde talepler bile uzun gecikmelere neden olabileceğini ve bir dönel kavşaktaki tüm taleplerin yeterince karşılanmasını sağlamanın bir yolunun kısmi denetimli sinyalizasyon olduğunu belirtmiş olup kısmi denetimli sinyalizasyonun tek bir yaklaşımdan adaya olan akımı düzenlediğini ve böylece kavşağa dahil olan akımlar için ada içinde daha büyük boşluklar oluşturduğundan bahsetmiştir. Ayrıca kısmi denetimli sinyalizasyonun dünya çapında başarıyla kullanılmış olsa da ABD'li tasarımcılar için çok az rehberin bulunduğunu ifade etmiş ve ABD'li tasarımcılara kısmi denetimli sinyalizasyonun kullanımı konusunda rehberlik sağlamak amacıyla bir çalışma yapmıştır. Araştırmacılar, Karayolu Kapasite El Kitabına dayalı basit bir

makroskobik model geliştirmiş, Vissim programı ile simülasyon yapılmış, kısmi denetimli sinyalizasyonun hangi talepler altında yardımcı olabileceğini görmek adına çeşitli talep kombinasyonları ile çalışmalar yapmış ve kısmi denetimli sinyalizasyon dönел kavşakların etkili olabileceği akım talepleri araştırılmıştır. Aynı zamanda çalışmada, geleneksel sinyalizasyon kavşakları, dönел kavşakları ve kısmi denetimli sinyalizasyon dönел kavşaklarının da performansları kıyaslanmıştır. Araştırmacılar, Synchro'yu ise geleneksel sinyalizasyon kavşaklarının gecikmelerini hesaplamak ve bu gecikme sonuçlarını makroskobik modelin yardımıyla elde edilen kısmi denetimli sinyalizasyon kavşakları ve geleneksel dönел kavşaklarının gecikme sonuçlarıyla karşılaştırmak için kullanmışlardır. Çalışmaya göre, bazı talep kombinasyonlarına sahip dönел kavşaklara kısmi denetimli sinyalizasyon kurulmasının, geleneksel bir dönел kavşağına kıyasla gecikmeyi azaltma potansiyeline sahip olduğuna dair kanıt sağlamaktadır. Bunların yanında rastgele bir devre süresi ve yeşil sürelerin belirlenmesi için basit bir yöntemle bile kısmi denetimli sinyalizasyon dönел kavşaklarının tüm sürücüler için ortalama gecikmeyi azaltabileceği bir talep kombinasyonu aralığının var olduğundan bahsedilmiştir.

Mahmood (2016), dönел kavşaklardan, oluşan dengesiz akım sorunundan ve kısmi denetimli sinyalizasyon dönел kavşaklarından kısaca bahsetmiş ve ABD'nin Akron metropolünde bulunan, biri tek şeritli sekiz kollu olan Tallmadge dönел kavşağı ve tek şeritli dört kollu olan Goodyear dönел kavşağını kullanarak bir vaka çalışması yapmış ve kısmi denetimli sinyalizasyon dönел kavşaklarının performansını araştırmıştır. Bu çalışmada tüm kollarda oluşan kuyrukların denetleneceği ve gerçek zamanlı verilere uygun sinyal süreleri uygulanacağı alternatif iki adaptif yöntem C++ kullanılarak geliştirilmiş ve Vissim programına aktarılmıştır. Mevcut durum simülasyonu sonuçlarına göre Tallmadge dönел kavşağında ortalama gecikmede %28,2, toplam gecikmede %27,46, ortalama kuyruk uzunluğunda %36,46, maksimum kuyruk uzunluğunda %38,12'ye varan iyileşmeler gözlemlenmiştir. Goodyear dönел kavşağında ise ortalama gecikmede %10,6, toplam gecikmede %10,8, ortalama kuyruk uzunluğunda %26,08, maksimum kuyruk uzunluğunda %40,7 düşüş gözlemlenmiştir.

Martin-Gasulla vd. (2016a), yaptıkları çalışmada bazı dönел kavşakların, yüksek bir talep olmaksızın maksimum kapasiteye ulaştığından bahsetmiş, dönел kavşaklarda meydana gelen dengesiz akımların, kavşağın genel talep seviyesi düşük

olduğunda sorun olmayabileceğini ancak sirküle olan sürücülerin hareketi yoğunsa, tek bir yaklaşım uzun kuyruklara neden olabileceğini çünkü sürücülerin sonraki yaklaşım kolundan dönel kavşağa dahil olamayabileceklerini belirtmiştir. Ayrıca bu çalışmada kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların uygulanması adına yeterince rehber olmaması sebebiyle Vissim programından faydalanarak kısmi denetimli sinyalizasyonun İspanya'daki dönel kavşaklar üzerindeki kapasite ve işletme performansları analiz edilmiştir. Bu kapsamda araştırmacılar çalışmalarında üç kollu bir dönel kavşak ile birlikte yerel bir tali yola bağlanmış ve çok düşük trafik hacmi olan beş kollu iki adet tek şeritli dönel kavşağı kullanmıştır. Bu çalışmada, İspanya'daki dönel kavşaklarda boşluk kabulü süreci araştırılmış, Vissim yardımıyla bir model oluşturulmuş ve gözlenen durum ile kalibre edilmiştir. Daha sonra Vissim programı içinde yer alan VisVAP modülü kullanılarak kısmi denetimli sinyalizasyon için bir mantık oluşturulmuş, birçok senaryo çalışılarak optimal tasarım belirlenmiş ve son olarak yapılan çalışma daha önce yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada şu sonuçlara varılmıştır:

- Gözlem yapılan kavşaklarda kısmi denetimli sinyalizasyon uygulandığında kapasite %25 artmış ve hizmet seviyesi E'den C'ye yükselmiştir.
- Kuyruk detektöründen yol ver çizgisine olan mesafe kıaldıkça (50 m), kontrol yaklaşım kolu daha çok fayda görmektedir.
- Daha kısa minimum sarı veya boş süreler (40 s), kontrol yaklaşım kolunda oluşan kuyruklanmayı boşaltma konusunda daha etkilidir.
- Kuyruklanmayı boşaltmak için minimum kırmızı süre (15 s) gerekmektedir ve kontrol yaklaşım kolunda oluşan talebe bağlı olarak kırmızı süre, kuyruklanma ortadan kalkana veya maksimum kırmızı süreye ulaşılanaya kadar (35 s) uzatılabilir.
- Kontrol yaklaşım kolundaki talebe ve sirküle olan trafiğe bağlı olarak kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların faydası ortalama gecikme cinsinden %60'a kadar çıkabilir.
- Kontrol yaklaşım kolundaki talebin 800 taşıt/saat'i aştığı ve kontrol kolu ve sirküle olan trafik hacminin 1750 taşıt/saat'i geçtiği durumlarda kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların faydaları ortadan kalkmaktadır.

Martin-Gasulla vd. (2016b), yaptıkları benzer bir diğer çalışmada kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar için kullanılacak optimum parametrelere yer

vermiştir. Ayrıca, kısmi denetimli sinyalizasyonun dönel kavşaklarda kapasiteyi artırdığını, kapasite artışının 500 taşıt/saat'i aşan çakışan akımlar için önemli olduğunu belirtmiş ve çakışan akımların 1200 taşıt/saat civarında olduğunda kapasitenin iki katına çıktığından bahsetmiştir. Yapılan çalışmadaki koşullar için (800 taşıt/saat'e eşit çakışan akım) gecikmedeki azalma, her giriş akımı için önemlidir ve gecikmenin 50 saniyeye eşit olduğu kapasite kriterlerine yakın giriş akımlarında artmaktadır. Araştırmacılar son olarak kapasite iyileştirmelerine oluşan uzun boşlukların oranının artması ve takip aralığının azalmasına bağlı olarak oluşan boşluklarda daha çok taşıt grubunun dönel kavşağa girmesinin etkili olduğunu bildirmiştir.

Buasali (2017), Amerika Birleşik Devletleri'nde son zamanlarda kavşak kontrolü adına dönel kavşakların geleneksel sinyalize kavşaklara alternatif olarak etkili ve verimli bir çözüm olarak ortaya çıktığını belirtmiş olup çalışmada dönel kavşakların işletimi ile ilgili araştırma yapmıştır. Bu araştırma tek şeritli bir dönel kavşakta kısmi denetimli sinyalizasyonun potansiyelini üzerine odaklanmıştır. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşağın başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlayacak trafik hacim koşulları ve sinyal süreleri iki senaryo ile incelenmiştir. İlk senaryoda, kısmi denetimli sinyalizasyon ile yapay boşluklar oluşturma konsepti üzerine planlanmış olup trafikler simülasyon modelinde sadece dönel kavşağın iki yaklaşım koluna yüklenmiştir. İkinci senaryoda ise kısmi denetimli sinyalizasyonun daha gerçekçi bir şekilde test edilmesi için trafik hacimleri dört yaklaşım kolunun tümüne yüklenmiştir. Çalışmada Vissim programından yararlanılmış olup Karayolu Kapasite El Kitabı ile uyumlu gecikme sonuçları elde etmek için boşluk kabulü ve takip aralığı parametreleri kalibre edilmiştir. İlk senaryoda kırmızı süreyi devre başına beş ve on saniyede tutan çeşitli devre süreleri kullanılmıştır. İkinci senaryo ise yapay boşluk oluşturma konseptini daha fazla test etmek için tüm yaklaşım kollarında trafiğin bulunduğu ve zirve saat akımını temsil eden yüksek trafik hacmine sahip bir yaklaşım kolunu bulduran senaryoları içermektedir. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde ilk senaryoda yapay olarak oluşturulan saat başına boşluk sayısı arttıkça, kontrol yaklaşım kolunun gecikmesi azalırken, sinyalize yaklaşım kolunun gecikmesi daha yavaş artmakta ve bu durum kavşakta oluşan araç başına ortalama gecikmeye olumlu bir etki sağlamaktadır. Ancak ikinci senaryoda birinci senaryoda bulunan sonuçlar ile çelişen çıktılar elde edilmiştir. Analiz, kısmi denetimli

sinyalizasyon kullanıldığında baskın trafik akımına sahip yaklaşım kolunda gecikmenin kararsız hale geldiğini ve bazı durumlarda da arttığını göstermiştir. Bu sonuç kısmi denetimli sinyalizasyon dönel kavşakların teorik faydalarını desteklemiyor olsa da yazar bu durumun modelleme sorunlarından kaynaklanabileceğini belirtmiştir.

An vd. (2017a), çalışmada kavşakları değerlendirmek adına kullanılan analitik ve mikroskobik modellerden kısaca bahsetmiş ve Avustralya'nın Adelaide şehrinde yer alan ve kısmi denetimli sinyalizasyon ile işletilen Old Belair Yolu dönel kavşağının iki yaklaşımı üzerindeki sinyalizasyon operasyonlarını araştırmıştır. Ayrıca, SIDRA Intersection programında dört kollu bir dönel kavşağı temsil eden yeni bir yöntem önerilmiş, bu yöntemin modellenmesi ve kalibrasyonuna yer verilmiştir. Geliştirilen modeli doğrulamak için SIDRA Intersection programından elde edilen sonuçlar AIMSUN programından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Analizden elde edilen sonuçlar, her yaklaşım kolundaki maksimum kuyruk uzunluğunun %95'e kadar eşleştiğini, buna karşın SIDRA Intersection'daki gecikme sürelerinin ve hizmet seviyesinin AIMSUN programından elde edilen sonuçlardan biraz daha yüksek olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, geliştirilen modelin kalibrasyonu ile tatmin edici sonuçlar vermesi sebebiyle çalışmalarda kullanılabileceği belirtilmektedir.

An vd. (2017b), bu çalışmada sinyalizasyon dönel kavşakların, özellikle baskın bir akımın bulunduğu yaklaşım kolunda, dengesiz trafik akım koşulları oluştuğunda taşıt kuyruk uzunluklarını azaltabilecek gelişmiş detektörleri ve trafik sinyalleri ile donatıldığını belirtmiş, sinyalizasyon bir dönel kavşakta değişkenlik gösteren kuyruk uzunlukları ve detektörlerin konumunun, sinyal faz sürelerini belirlediğinden bahsetmiştir. An vd. ayrıca, çoğu çalışmanın geleneksel ve kısmi denetimli sinyalizasyon dönel kavşaklar arasındaki performans karşılaştırmalarına odaklandığını ancak detektör konumlarının kuyruk oluşumları üzerindeki etkisini değerlendirmede başarısız olduğunu da bildirmiştir. Ek olarak, uygulayıcıların optimum dönel kavşak performansı sağlayacak uygun detektör konumunu seçmelerini sağlamak için hiçbir kılavuz geliştirilmemiş olması sebebiyle bu çalışmada bir dönel kavşakta kuyruk uzunluğunun tahmini için sayısal bir model formüle edilmiştir. Bu model, iki yaklaşım kolunda bulunan detektörlerden ve bir sinyalizasyon sisteminden oluşmaktadır. Modeli kalibre etmek ve doğrulamak için Avustralya'nın, Adelaide

şehrinde yer alan Old Belair Yolu kavşağındaki kısmi denetimli sinyalize dönel kavşağı kullanılmış ve iki drone kullanılarak arazide meydana gelen kuyruk uzunlukları kaydedilmiştir. Modelin uygunluğunu değerlendirmek için bir R^2 testi yapılmış olup sonuçlar, sayısal modelin kontrol ve sinyalize yaklaşım kollarında kuyruk uzunluklarını R^2 değerinin %83'üne kadar tahmin edebileceğini göstermiştir. Ayrıca tahmin edilen kuyruk uzunlukları, aynı konum ve aynı koşullar altında AIMSUN programı tarafından elde edilen çıktılar ile de karşılaştırılmıştır.

Fernandes vd. (2018), yaptıkları çalışmada kısmi denetimli sinyalizasyonun bir koridorda trafikle ilintili maliyetler üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu kapsamda koridor operasyonlarında şerit bazlı seyahat süresi, yakıt tüketimi, karbondioksit ve nitrojen oksit emisyonları ve gürültü maliyetleri araştırılmış, bu çıktıları en aza indirecek optimizasyon modeli önerilmiş ve farklı trafik talebi ve yönsel dağılım kombinasyonları altında modelin uygulanabilirliğini göstermek hedeflenmiştir. Çalışmada trafik, gürültü ve araç dinamiği verileri Portekiz'in Guimaraes şehrinde yer alan ve bir adet tek şeritli, üç adet iki şeritli dönel kavşak ve bir adet sinyalize kavşaktan toplanmış, Vissim programı kullanılarak koridor modellenmiştir. Çalışmada kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların maliyetler cinsinden faydası, gözlemlenen trafik hacimleri altında %13'e kadar çıktığı ve sinyalize yaklaşım kolundan trafiğe dahil olan taşıt sayısı arttıkça önerilen sistemin verimliliği arttığı sonuçlarına varılmıştır.

Duan vd. (2018), yaptıkları çalışmada dönel kavşakların avantajlarından ve dönel kavşaklarda oluşan dengesiz akım sorunundan bahsetmiş ve bu soruna çözüm olarak kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların kullanılabileceğini belirtmiştir. Bu kapsamda toplam giriş gecikmesini azaltmak adına bir matematiksel optimizasyon modeli formüle edilmiştir. Daha sonra Vissim simülasyonuna dayalı bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Son olarak, önerilen modelin fizibilitesini ve uygulanabilirliğini kanıtlamak için bir vaka çalışması yapılmıştır. Vaka çalışması için Avustralya'nın Queensland şehrinde bulunan tek şeritli ve dört kollu bir dönel kavşak seçilmiş yaklaşım kolundaki farklı trafik hacmi seviyeleri, farklı talep kombinasyonları ve farklı oranlarda dönüş talepleri altında senaryo analizleri de yapılmıştır. Sonuçlar, metodolojinin işletme performansını etkili bir şekilde iyileştirebileceğini kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar kullanılarak gecikmede %25,7'ye varan bir azalmanın beklenebileceğini göstermektedir.

Abdelfatah ve Alozn (2019), yaptıkları çalışmada hemzemin kavşaklarda en yüksek verimliliği elde etmek ve kara yolu ağı kullanıcıları için trafik gecikmesini azaltmak adına trafik kontrolüne ihtiyacın olduğunu belirtmiş ve çalışmada geleneksel dönel kavşaklar ile kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların performansları kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama adına SIDRA Intersection programı kullanılarak dört kollu bir dönel kavşak oluşturulmuş, çeşitli trafik hacimleri ve sola dönüş yüzdeleri ile geleneksel dönel kavşakların ve kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların performanslarını kıyaslamışlardır. Çalışma sonuçları, kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların yüksek trafik hacimlerinde gecikmeyi artırdığını ve dönel kavşakların işleyişini iyileştirmediğini göstermektedir. Ek olarak, kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar, trafik akımları yaklaşım kollarına dengeli şekilde dağıldığında veya önemli ölçüde yüksek bir sola dönüş yüzdeli baskın akıma sahip bir yaklaşım kolu mevcudiyetinde bir kavşaktaki gecikmeyi artırabilir. Sonuç olarak, diğer yaklaşım kollarının nispeten düşük trafik hacmine sahip olduğu ve tek bir yaklaşım kolunda baskın akımın olduğu durumlarda kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar tavsiye edilmektedir. Dört yaklaşım kolunda trafik hacminin dengeli dağıldığı durumlarda geleneksel dönel kavşaklar, kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklardan daha iyi performans ortaya koymaktadır.

3. TEORİK ESASLAR

3.1. Kavşaklara Giriş

Birçok trafik akımının ve yaya trafiğinin kesiştiği noktalar olan kavşaklar gerek kentsel gerek de kırsal kara yollarında trafik akımlarının devamlılığının sağlanması, güvenlik seviyesinin artırılması, hızların kontrol altında tutulması, gecikmelerin mümkün olduğunca azaltılması ve buna paralel olarak yeterli hizmet seviyesinin sunulması, taşıt işletme maliyetlerinin azaltılması amaçlarıyla sıklıkla kullanılan mühendislik yapısıdır (KGM, 2016). Kavşakların karayollarında sıklıkla kullanılması ve kara yolunda birçok parametreyi etkileyerek karayolları ağında önemli bir yer tutması, kavşakların tasarımının da kritik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Meydana getirdiği problemler sebebiyle trafik mühendisliğinde üzerinde sıklıkla çalışılan bir konu olan kavşaklar düzenlenirken aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

- Güvenlik: Güvenlik faktörü, farklı yönlerden gelen taşıtların veya yayaların çakışma noktası olan kavşaklarda kazaların önüne geçilmeye çalışılmasıdır.

- Konfor: Konfor faktörü, kavşağı kullanacak farklı trafik akımlarının birbirini engellemelerini minimum seviyeye düşürmek, hızlanma ve yavaşlamadan dolayı oluşacak harcanan yakıt ve yaşanan gecikme miktarını en aza indirmektir. Ayrıca sayılan sebeplerin meydana gelmesinden dolayı sürücülerde oluşabilecek psikolojik etkileri azaltmak da konfor faktörü içinde yer almaktadır.

- Kapasite: Kapasite faktörü; hâkim yol, kontrol ve trafik şartları altında belirli bir zaman dilimi içerisinde belirli bir yol kesimi ya da bir noktadan geçebilecek taşıt, insan veya diğer yol kullanıcılarının maksimum sayısını ifade etmektedir. (Murat, 2012; TRB, 2010).

3.1.1. Kavşakların Tasarımını Etkileyen Faktörler

Kavşaklar tasarlanırken birçok faktör göz önünde bulundurulmaktadır. Bu faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- İnsan faktörü: Kavşaklar tasarlanırken ilgili yolu kullanan sürücü ve yayaların alışkanlıklarının dikkate alınması gerekir. Beşerî faktörler bölgesel olarak

değişkenlik gösterebilmesi sebebiyle yolda bulunan tabelalara uyum, karar ve reaksiyon süreleri de bölgesel olarak farklı olabilmektedir.

- Trafik faktörü: Kavşakları tasarlama aşamasında trafik faktörleri olarak kavşağın kapasitesi, tüm yönlerdeki hareketleri içeren ve taşıtların sınıflarına göre ayrılmış trafik hacim verileri, zirve saatteki trafik verileri, taşıtların ölçüleri ve nitelikleri, taşıtların hareketlerinin dağılımı, taşıt hızları, meydana gelen trafik kazaları ve bu kazaların oluşum şekilleri sayılabilir.

- Fiziksel faktörler: Kavşaklar tasarlanırken bulunduğu konumun durumundan ve bu konumun çevresinden de etkilenir. Kavşağın bulunduğu bölgenin geometrik özellikleri, bölgedeki yerleşim alanları ve imar durumu, çevresel faktörler, güvenlik kriterleri, uyarı tabelaları ve aydınlatma teçhizatları kavşakların tasarımında önem arz eden fiziksel faktörlerdendir.

- Ekonomik faktörler: Kavşağın bulunduğu yerin kamulaştırma maliyetleri, kavşağın imalat, bakım ve işletme maliyetleri de kavşak tasarımlarını önemli ölçüde etkileyen faktörlerdir.

- Sosyal faktörler: Kavşağın bulunduğu bölgedeki demografik yapı ve kamuoyu, kavşak tasarımını etkileyen sosyal faktörlerdir.

- Fonksiyonel kavşak alanı: Kavşakların tasarımını etkileyen bir diğer husus ise fiziksel ve fonksiyonel kavşak alanlarıdır. Fiziksel alan yolların kesişim alanını, fonksiyonel alan ise algılama-reaksiyon mesafesi, manevra mesafesi ve depolama mesafesini kapsayan daha geniş bölgedir (KGM, 2016).

Kavşakların imalatından önce karar verme aşamasında güvenlik, konfor ve kapasitenin yanı sıra tasarımını etkileyen diğer faktörler sebebiyle ortaya çeşitli kavşak türleri çıkmıştır. Kavşakları temel bir biçimde hemzemin (eş düzey) kavşaklar ve farklı seviyeli kavşaklar olarak iki kategoriye ayırmak mümkündür. Kavşaklar, kapasitesine göre şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Farklı seviyeli kavşaklar
- Hemzemin (eş düzey) kavşaklar
 - Sinyalize olan hemzemin kavşaklar
 - Sinyalize olmayan hemzemin kavşaklar
 - Kontrolsüz hemzemin kavşaklar
 - Kontrollü hemzemin kavşaklar

- İki yönlü dur kontrollü hemzemin kavşaklar
- Tüm yönler dur kontrollü hemzemin kavşaklar
- Dönel kavşaklar (KGM, 2016)

3.2. Farklı Seviyeli Kavşaklar

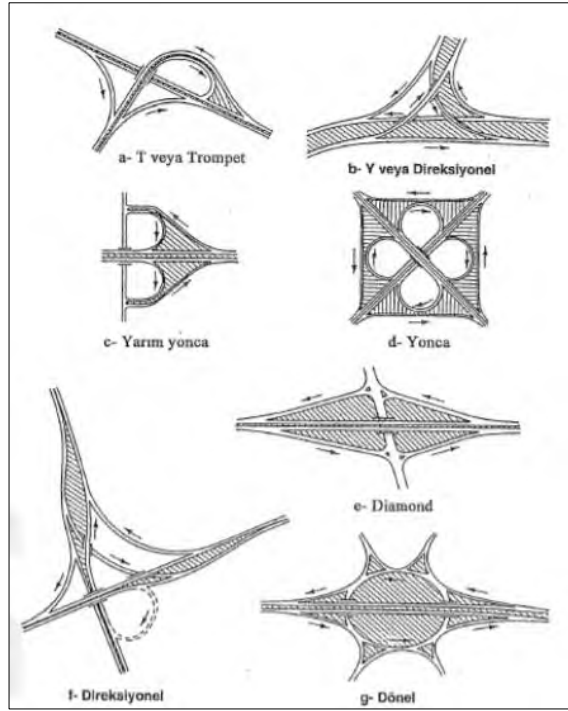
Farklı seviyeli kavşaklar; karayolların aynı düzlem üzerinde çakışmadığı, bir veya daha fazla farklı seviyede kesiştiği ve birleştiği kavşaklardır. Karayollarının farklı kotlardan geçmesiyle emniyet, kapasite ve konfor artırılmaya çalışılırken aynı zamanda yolun sürekliliği de sağlanır.

Otoyollar gibi erişme kontrollü hız yollarında, trafik kazalarının azaltılmasında sorun yaşandığı ve trafik sıkışıklığının giderek arttığı eş düzey kavşaklarda, topografik sorunlar nedeniyle eş düzey kavşak planlamasının zor ve maliyetli olacağı yerlerde farklı seviyeli kavşaklar değerlendirilmelidir (Yayla, 2014).

Farklı seviyeli kavşakların çeşitleri şu şekildedir:

- Yonca yaprağı (tam ya da yarım) kavşak
- Rotari (dönel) kavşak
- Trompet kavşak,
- Diamond (baklava tipi) kavşak
- Yönsel ve tek nokta şehir içi kavşak (Tunç, 2003).

Şekil 3.1’de farklı seviyeli kavşak çeşitlerinin görseline yer verilmiştir.



Şekil 3.1. Farklı seviyeli kavşak çeşitleri (Tunç, 2003)

Uygun tipte farklı seviyeli kavşak seçiminde birçok parametre etkilidir. Kavşak tipinin seçimi öncesinde şu hususlara dikkat edilmelidir:

- Kesişen yolların önemi ve fonksiyonu
- Trafiğin hacmi, kompozisyonu ve karakteri
- Tasarım hızı, kapasite ve hizmet düzeyi, erişme kontrol derecesi
- Topografya ve zemin koşulları, arazi kullanımı ve nüfus yoğunluğu
- Kamulaştırma, yapım maliyeti ve bütçe
- Kesişen kollar üzerindeki veya planlanan kavşak tipleri ile uyum
- Kamu beklentileri veya belli grupların baskıları
- Aciliyet, kademeli inşaat, çevre uyumu, estetik vb. zorunluluklar
- Fayda/maliyet, geri kazanım süresi, iç karlılık oranı vb. göstergeler
- Konfor, zaman kazancı, kazaların azalması, vb. girdiler (Tunç, 2003).

Kavşak noktalarında motorlu taşıtlar, yayalar veya bisikletler arasındaki çakışmaları azaltmak için hareketlerini ayırmak gerekmektedir. Yayaların ve bisiklet hareketlerinin motorlu taşıt trafiğinden ayrılması pratik olmadığında, her bir kavşak arazisi incelenmeli ve kavşak alanı boyunca bisiklet ve yaya hareketlerini kolaylaştırmak için yapıların, rampaların ve trafik kontrol seçeneklerinin en uygun şekilde düzenlenebilmesi için alternatif tasarımlar düşünülmelidir (AASHTO, 2018).

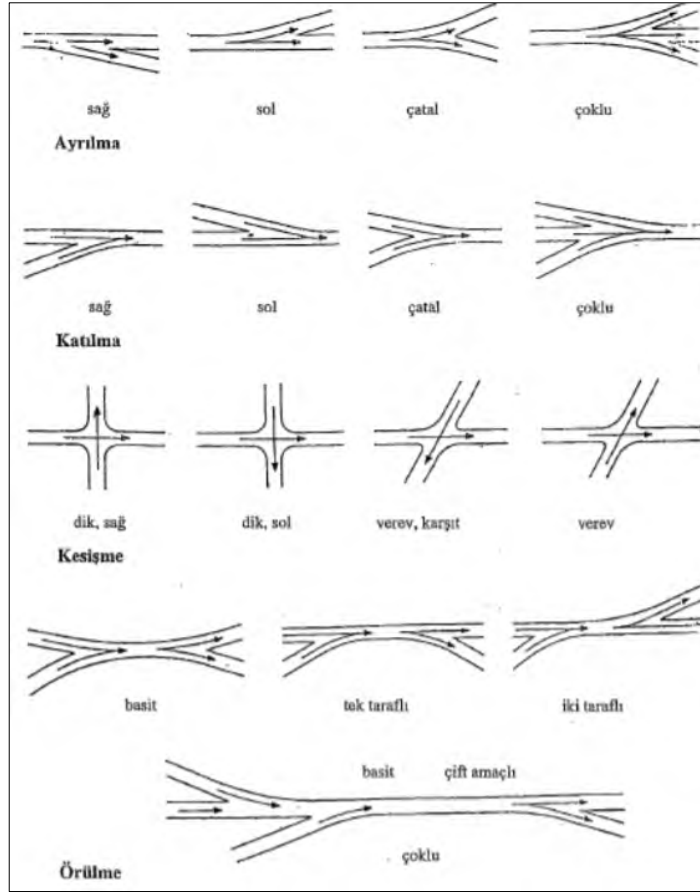
3.3 Hemzemin (Eş düzey) Kavşaklar

Hemzemin (eş düzey) kavşaklar, karayollarında minimum iki ya da daha çok koldan gelen trafik akımlarının aynı düzlem üzerinde çakıştığı noktalarlardır. Bu tip kavşaklar, karayollarının en karmaşık unsurları arasında yer almaktadır. Hemzemin kavşaklar, kara yolunu kullanan sürücülerin ya da yayaların aynı seyahat alanını paylaştığı yerler olması sebebiyle yolu kullananların bir kısmının ya da tamamının yavaşlamasını veya durmasını gerektiren trafik kontrolleri kullanılmaktadır. Hemzemin kavşakların kapasitesi genellikle kara yolunun diğer kısımlarından daha düşüktür ve birçok çakışmanın da meydana geldiği yerdir. Anılan sebepler göz önünde bulundurulduğunda hemzemin kavşakların tasarımında; verimli bir işletme performansı sunması, yaşanan kazaların en aza indirgenmesi ve tüm kullanıcı gruplarının ihtiyaçlarını göz önünde bulunduracak dengeli ve uygun maliyetli çözümler seçilmelidir (AASHTO, 2018).

Özellikle kentiçi trafiğinde, gecikmelerin %70'ten fazlasının hemzemin kavşaklarda yaşanan duraklamalardan ileri geldiği gözlemlerle ortaya çıkmıştır (Namlı, 2015). Ayrıca, KGM'nin yayımladığı Trafik Kazaları Özeti Raporu'nda, 2020 yılında kavşak noktalarında yaşanan 56.294 ölümlü ya da yaralanmalı kazanın 55.765'i hemzemin tipindeki kavşaklarda meydana gelmiştir. (KGM, 2021a). Bu rapora göre kavşaklarda yaşanan kazaların büyük bir çoğunluğunun hemzemin kavşaklarda meydana geldiği görülmekte olup hemzemin kavşakların trafik güvenliği açısından kara yolu ağlarında çok önemli bir rol oynadığını da ortaya koymaktadır.

Hemzemin kavşaklar, farklı yönlerden gelen taşıtların karşılaştıkları noktalar olduklarından çeşitli trafik hareketleri gözlemlenmektedir. Bu çeşit kavşaklarda dört tip trafik hareketi bulunabilir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

1. Ayrılma
2. Katılma
3. Kesişme
4. Örülme (KGM, 2007). Bu hareketlere Şekil 3.2'de yer verilmiştir.

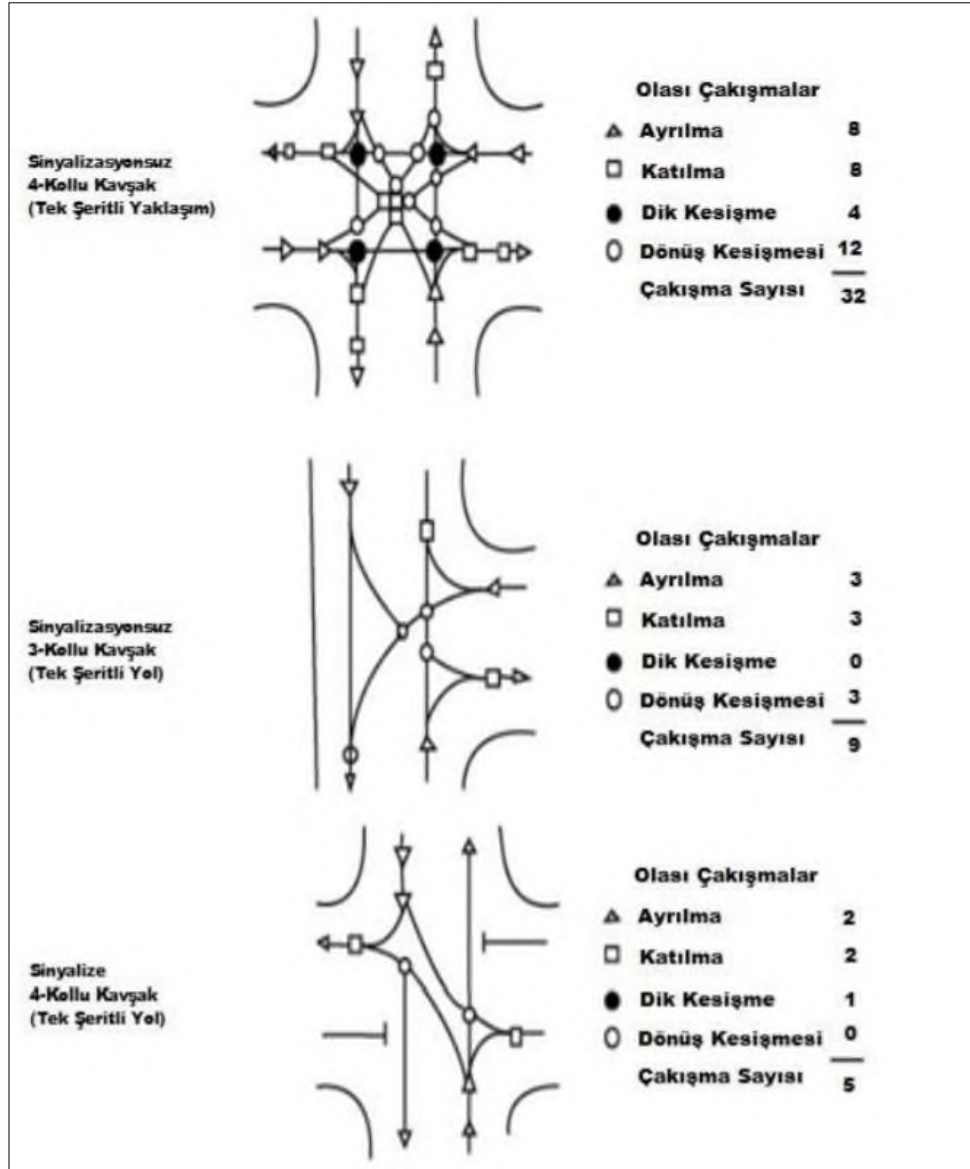


Şekil 3.2. Hemzemin kavşaklarda görülen trafik hareketleri (KGM, 2016)

Hemzemin kavşaklarda çakışma noktaları; ayrılma, katılma ve kesen trafiğin karşılaştığı noktalardır. Hemzemin kavşaklarda dört çeşit çakışma noktası bulunmaktadır.

- Ayrılma
- Katılma
- Doğrusal geçişler
- Dönüşler

Hemzemin kavşaklarda yer alan bu çakışma türlerinin sayısı; kavşağa bağlanan tek ya da iki yönlü yolların sayısına, yaklaşım kollarındaki trafik hacmine, kavşakta sinyalizasyon bulunup bulunmamasına, taşıtların sağa ve sola dönüş yüzdelerine göre değişiklik gösterebilmektedir. (KGM, 2016). Hemzemin kavşaklarda karşılaşılan çakışma türlerine Şekil 3.3'te yer verilmiştir.



Şekil 3.3. Hemzemin kavşaklarda görülen çakışmalar (KGM, 2016)

Hemzemin kavşaklar, kendi içinde faaliyet alanı, şekil ve kanalize olma durumuna göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflar şu şekildedir.

A. Kol sayısına (geometrik durumlarına) göre:

- 1) Üç kollu eş düzey kavşaklar (T veya Y kavşaklar)
- 2) Dört kollu eş düzey kavşaklar
- 3) Çok kollu eş düzey kavşaklar

B. Trafik kontrol sistemine (denetim tarzına, işletme özelliğine) göre:

- 1) Sinyalize (denetimli) kavşaklar

2) Sinyalize olmayan (denetimsiz) kavşaklar

3) Yuvarlak ada (dönel) kavşaklar

C. Kapasiteyi artırmak maksadıyla, çeşitli trafik işaretlemeleri veya adalar ile yapılan yönlendirmeye (kanalize durumuna) göre:

1) Kanalize edilmiş kavşaklar

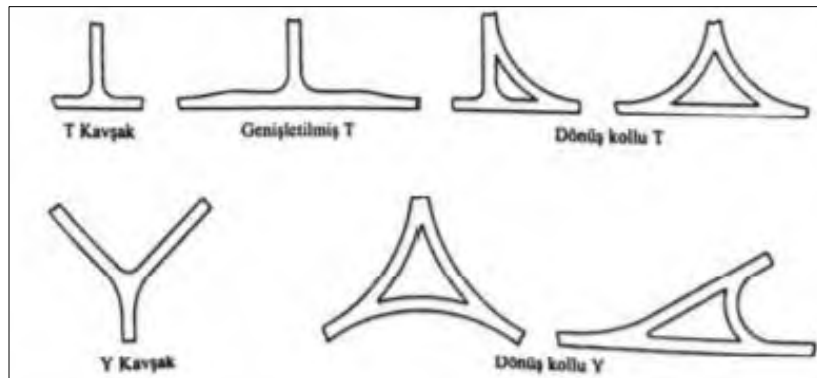
2) Kanalize edilmemiş kavşaklar

3.4. Kol Sayısına Göre Hemzemin Kavşaklar

3.4.1. Üç Kollu Hemzemin Kavşaklar

Üç kollu hemzemin kavşaklar şayet T tipinde ise ana yol ile tali yolun kesişme açısı 60 derece ile 120 derece arasında olması gerekmektedir. Bu tip kavşaklar kanalize edilmeden, trafik hacmi düşük olan 2x1 şeritli kent dışı kara yollarda kullanılabilirdiği gibi, kent içli kara yollarında 2x2 şeritli yollarda da uygulanabilmektedir. Trafik hacmi nispeten daha yüksek olan ana yol tali yol kesişimlerinde ise dönüş yapan trafiği kontrol etmek ve uygun dönüş yarı çapı sağlayabilmek amacıyla kanalize edilerek kullanılmaktadır (KGM, 2016).

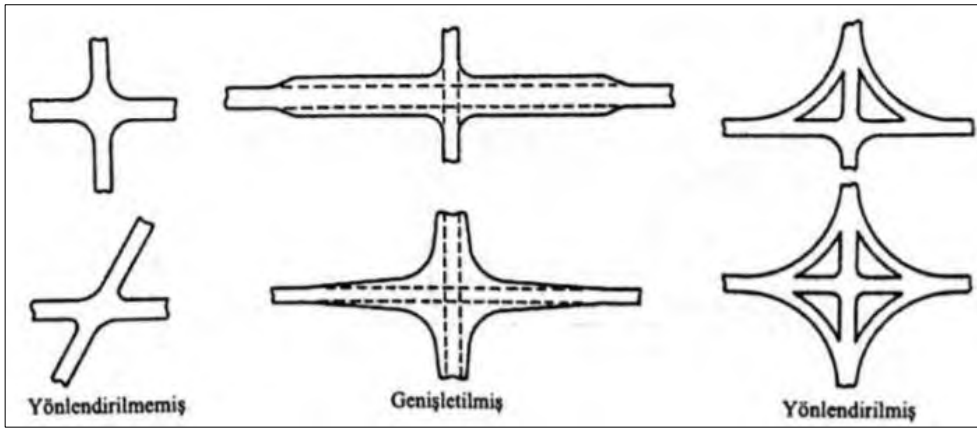
Y tipi kavşaklar, ana yol-tali yol kesişmelerinde açılarının dar olduğu, tali yolda 90 derece veya 90 dereceye yakın eksen düzenlemesinin imar, kamulaştırma gibi sebeplerden dolayı yapılamadığı durumlarda tasarlanmaktadır. Ana yoldan sola doğru dönüş yapacak taşıtlar ile karşı yönden direkt gelen taşıtların çakışma noktasında (trafik hacminin arttığı durumlarda) sinyalize uyarı sistemlerinin uygulanması gerekmektedir (KGM, 2016). Şekil 3.4'te çeşitli üç kollu hemzemin kavşaklara yer verilmiştir.



Şekil 3.4. Üç kollu hemzemin kavşak çeşitleri (Tunç, 2003)

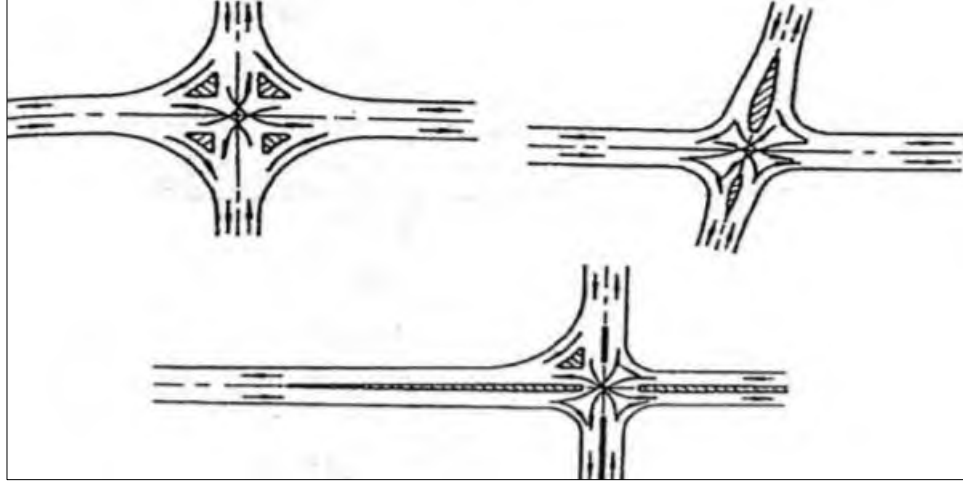
3.4.2.Dört Kollu Hemzemin Kavşaklar

Dört kollu hemzemin kavşaklar, üç kollu hemzemin kavşaklara benzer biçimde ana yol- tali yol kesişimindeki açı 60 derece ile 120 derece arasında olmalıdır. Bu tip hemzemin kavşaklarda anayolda trafik akımlarının kesilmesini engelleyip sürekliliği sağlamak amacıyla hız değiştirme şeritleri tasarlanmaktadır. Bu şeritlerin paralel bölümleri anayoldan ayrılmalarda minimum 45 m, anayola katılmalarda ise minimum 60 m uygulanmalıdır. Anayola katılımlarda hızlanma şeritleri uygun mesafede (minimum 50 m olacak şekilde) kama olarak tasarlanabilmektedir (KGM, 2016). Şekil 3.5'te çeşitli dört kollu hemzemin kavşaklar gösterilmektedir.

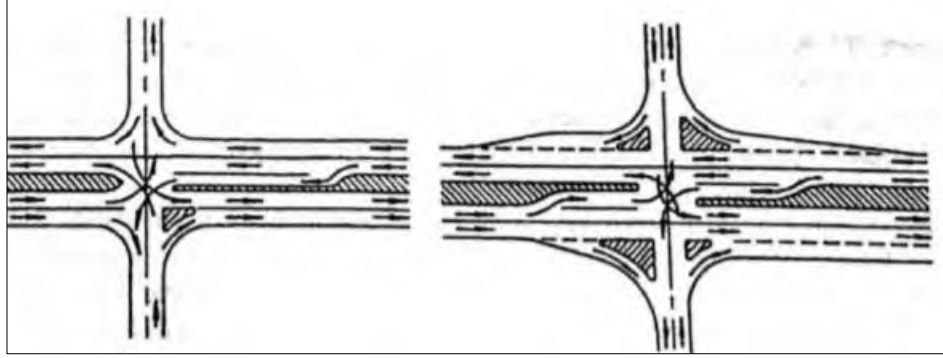


Şekil 3.5. Dört kollu hemzemin kavşaklar (Tunç, 2003)

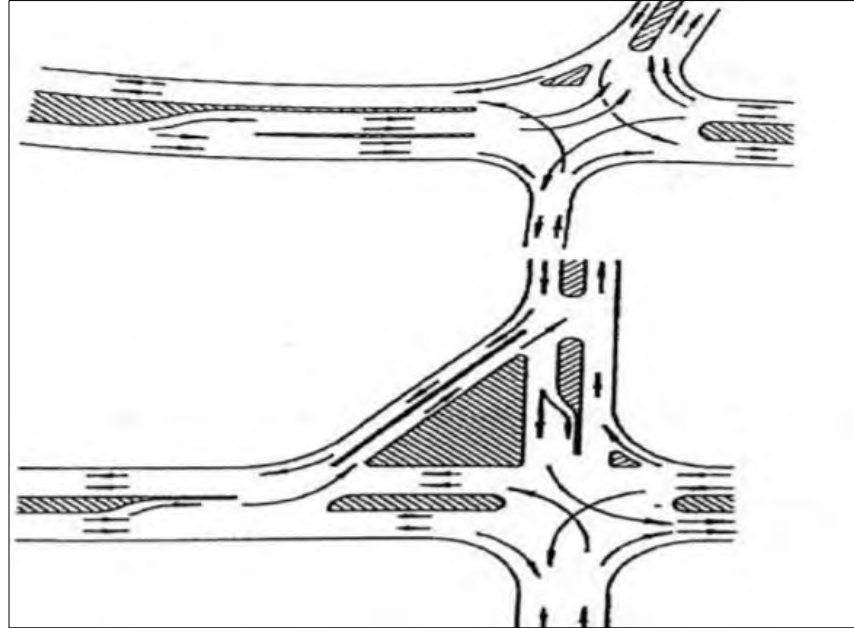
Trafik hacmi fazla olan ya da sağa veya sola dönüş trafiği yüksek olan dört kollu hemzemin kavşaklarda farklı tiplerde adalar yapılarak yönlendirilmiş kavşaklar düzenlenmelidir. Yönlendirilmiş dört kollu hemzemin kavşaklar Şekil 3.6'da yer verildiği gibi düşük standartlı olabilmektedir. Ayrıca, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de yer verildiği üzere yüksek standartlı olarak da düzenlenebilmektedir.



Şekil 3.6. Düşük standartlı dört kollu hemzemin kavşaklar



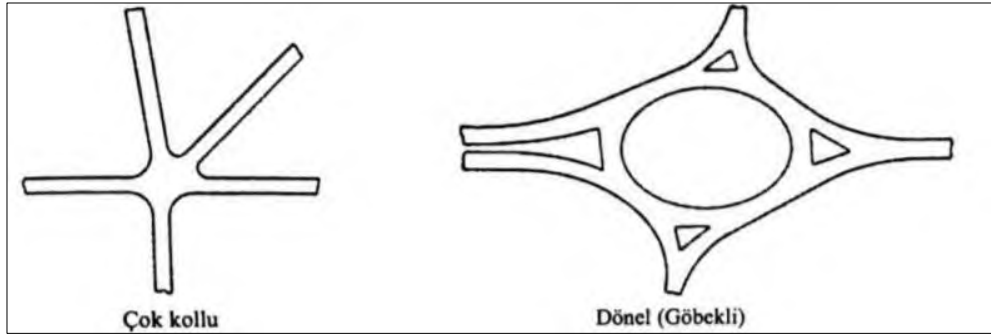
Şekil 3.7. Yüksek standartlı dört kollu hemzemin kavşaklar



Şekil 3.8. Yüksek standartlı dört kollu hemzemin kavşaklar

3.4.3.Çok Kollu Hemzemin Kavşaklar

Hemzemin kavşaklarda genellikle dört koldan fazla yaklaşım kolu olmasından kaçınılması tavsiye edilmektedir. Ancak bu durumun aksine bir kavşağın tasarlanması gerektiği durumlarda, trafiğin az olduğu ve DUR kontrolünün uygulanabileceği yerlerin olması tercih edilmelidir. Beş veya daha fazla yaklaşım kolu bulunan kavşakların, bir veya daha fazla kol eksenlerinin tekrar düzenlenerek oluşturulacak ikinci bir kavşakla kesişim noktaları azaltılabilir. Bazı durumlarda ise bir ya da daha fazla yaklaşım kolunu sadece tek yönde çalıştırmak bir çözüm alternatifi olarak uygulanabilir. Şekil 3.9’da çok kollu hemzemin kavşak örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Çok kollu hemzemin kavşaklar

3.5. Denetim Tipine Göre Hemzemin Kavşaklar

Hemzemin Kavşaklar, trafik kontrol sistemine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflar denetimsiz, denetimli ve dönel kavşaklar olmak üzere üç tanedir.

3.5.1.Sinyalize Olmayan (Denetimsiz) Hemzemin Kavşaklar

Sinyalize olmayan hemzemin kavşaklar, taşıt hareketlerinin sürekliliğini sağlamak adına sinyalizasyon sistemleri kurulmadan işletilen, ışısız trafik işaretleriyle denetimin sağlandığı kavşaklardır. Trafik hacmi ve geometrik standartları yüksek olan yol anayol olarak çalışır. Bu yol üzerinde bulunan taşıtlar diğer yollarda hareket eden taşıtlara göre kavşak noktasında ilk geçiş hakkına sahiptir. Denetimsiz kavşaklar, trafik işaret levhalarının bulunması veya bulunmaması ve bu kontrollerin durumuna bağlı olarak değişik şekillerde çalışır. (Beşiroğlu, 2016). Sinyalize olmayan hemzemin kavşaklarda tali yol konumunda bulunan yol ya da yollara “DUR” veya “YOL VER” gibi trafik işaretlemeleri yapılarak trafik güvenliği sağlanmaya çalışılmaktadır (Yayla, 2014).

3.5.2.Sinyalize (Denetimli) Hemzemin Kavşaklar

Sinyalize hemzemin kavşaklar, taşıt hareketlerinin sinyalizasyon sistemi ya da polis yardımı ile kontrol edildiği kavşak türüdür. Bu tip kavşaklar, sinyalize olmayan kavşaklara göre daha emniyetli olmasına rağmen trafik hacminin az olduğu yerlerde kullandığı durumlarda taşıtların devamlı dur-kalk yapmalarından dolayı konforun düşmesi, trafikte meydana gelen gecikmelerin ve çevre kirliliğinin artması gibi olumsuzluklara da neden olabilmektedir (Yayla, 2014). Sinyalize kavşakları temel olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Bunlar

- İzole Sinyalizasyon Sistemleri
- Koordine Sinyalizasyon Sistemleri

3.5.2.1. İzole Sinyalizasyon Sistemleri

İzole sinyalizasyon sistemleri, bir kavşağın yakınında bulunan diğer kavşaklarla hiçbir şekilde ilişkisinin olmadığı, kavşağın tek başına kontrol edildiği sistemlerdir. Bu tip sistemlerde devre uzunluklarının mümkün olduğunca kısa tutulması önerilmektedir. Ancak yüksek trafik hacimlerinin gözlendiği kavşak bölgelerinde devre süreleri uzayabilmektedir. İzole sinyalizasyon sistemleri, daha önce yapılan saha çalışmalarına dayanan sabit süreler veya belli bir zaman diliminde değişkenlik gösteren trafik hacimlerine göre atanmış olan farklı sinyalizasyon planları içerebilir (KGM, 2019).

İzole sinyalizasyon sistemleri beş farklı şekilde kontrol edilebilir.

1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Kontrol Sistemi
2. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Kontrol Sistemi
3. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Kontrol Sistemi
4. El ile Kumandalı Sinyalizasyon Kontrol Sistemi
5. Adaptif Sinyalizasyon Kontrol Sistemi (Ayfer, 1977; KGM, 2019).

Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Kontrol Sistemi: Sabit zamanlı sinyalizasyon kontrol sistemlerinde, devre ve faz süreleri, faz sayıları ve değişim aralıkları önceden tespit edilmektedir. Bu tip sistemlerde, kavşağı kullanacak taşıtlara ve varsa yayalara daha önceden ayarlanmış zaman programlarına uygun biçimde sırasıyla geçiş hakkı tanınmaktadır. Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinde, gün boyu tek bir program ya da gün içinde önceden atanmış çeşitli programlar uygulanabilmektedir. Bu sistemde, yaklaşım kollarından kavşağa katılacak trafik akımlarına tanınacak süreler,

yaklaşım kollarının trafik yüküne bağlı olarak dağıtılmaktadır. Bu sebeple, sistemin verimli bir şekilde çalışabilmesi adına mümkün olduğunca fazla sayıda ve dikkatli trafik sayımlarının yapılması gerekmektedir (KGM, 2019).

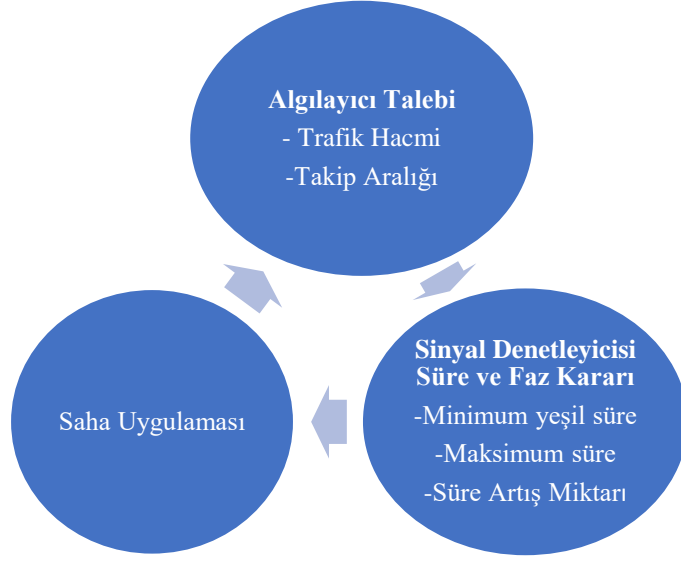
Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Kontrol Sistemi: Trafik uyarmalı sinyalizasyon kontrol sistemi, değişkenlik gösteren trafik talebine reaksiyon gösterebilmek adına kullanılan sistemlerdir. Bu tip kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulmasının sebepleri aşağıda sıralanmıştır:

- Trafik akımlarının değişkenlik göstermesi
- Program sayısının yetersiz olması
- Tali yollarda bulunan taşıtların çok fazla gecikmeye uğraması
- Yayaaların çok fazla gecikmeye uğraması (KGM, 2019).

Trafik akımlarının sıklıkla değişkenlik gösterdiği durumlarda sabit süreli sinyalizasyon sistemleriyle bu talebe cevap verebilmek zordur. Bu sistemde taşıtların geçiş hakları ve süreleri yerleştirilen algılayıcılar ile saptanan trafik taleplerine göre düzenlenmektedir. Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemleri genellikle iki şekilde uygulanmaktadır:

- Yarı trafik uyarmalı sistem
- Tam trafik uyarmalı sistem (KGM, 2019).

Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemlerinin genel yapısı Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemlerinin genel yapısı (KGM, 2019)

Yarı Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi: Bu sistemde temel amaç genellikle ana yol trafiğinin sürekliliğini sağlamak ve gereksiz gecikmelere uğramasından kaçınmaktır. Bu sebeple kavşak yaklaşım kollarından tali yol niteliğinde olan kol ya da kollara trafik taleplerini denetleyecek algılayıcılar yerleştirilir. Ana yol niteliğine sahip olan yolun üzerindeki yönler sürekli olarak yeşil sinyal verilir ve tali yol ya da yollarda bulunan algılayıcılar vasıtasıyla talep alınmadığı sürece yeşil ışık yanmaya devam eder. Tali yollardan talep geldiği takdirde ana yolda bulunan akımlara kırmızı sinyal verilerek tali yoldaki akımların geçişi sağlanır. Geçiş hakkı verilen akımlara, talep gelmeye devam ettiği takdirde verilen yeşil süre uzatılabilir (KGM, 2019).

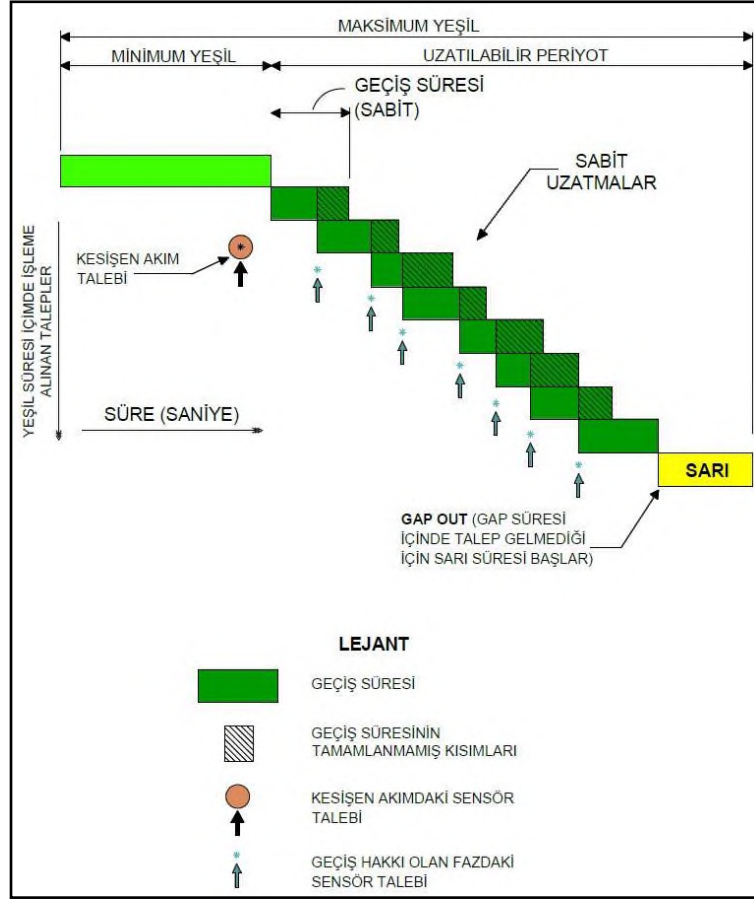


Şekil 3.11. Yarı Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi (KGM, 2019)

Tam Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi: Tam trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemlerinde kavşakta yer alan tüm yaklaşım kollarında algılayıcılar yer almaktadır. Taşıtlara sağlanacak olan geçiş hakkı ve sinyal süreleri, talebin alındığı yaklaşım kolundaki trafik hacmine göre otomatik şekilde ayarlanmaktadır. Bu tip sistemler, trafik yoğunluklarına dinamik şekilde cevap verebildiklerinden, yaşanan gecikmeleri en aza indirir (KGM, 2019).

Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemleri arasında yaygın olarak süre uzatmalı sistemler tercih edilmektedir. Bu sistemlerde, kavşakta bulunan faz planına göre her yaklaşım kolu için minimum yeşil süre hesaplanmakta sonrasında ise mevcut faz planına göre yaklaşım kollarında yer alan algılayıcılardan alınan taleplere göre yeşil süre uzatılmaktadır. Önceden belirlenmiş olan maksimum yeşil süreye erişildiğinde ya da yaklaşım kollarındaki trafik akımlarının geliş aralıklarında artış gözlemlendiğinde faz sona ermekte ve algılayıcılardan gelen taleplere bağlı olarak bir sonraki faza geçilmektedir (Murat, 2001).

Şekil 3.12’de süre uzatmalı sistemlerin çalışma düzenine yer verilmiştir.



Şekil 3.12. Trafik Uyarımlı (Süre Uzatmalı) Sistem (KGM, 2019)

Yaya Uyarımlı Sinyalizasyon Sistemi: Bu tip sinyalizasyon sistemleri genelde kavşaklarda, bağlantı yollarının giriş ve çıkış noktalarında ve kavşak olmayan yaya geçitlerinde kurulmaktadır. Kavşaklara uzak olan yaya geçitlerinde, sürekli olarak ya da günün belirli saatlerinde, yayalara emniyetli geçiş hakkı tanımak üzere sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi uygulanabilmektedir. Yaya akımının düşük olduğu yer ve saatlerde ise taşıtlara verilen sürekli geçiş hakkı yayaların butonlara basmaları ile kesilir (Ayfer, 1977).

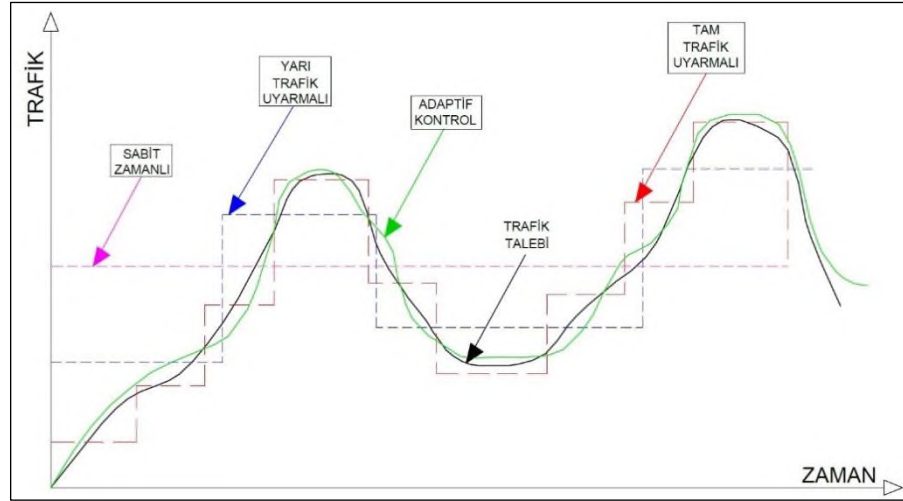


Şekil 3.13. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi Uygulaması ve Butonu

El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi: Herhangi bir kavşakta yer alan tüm sinyalizasyon grupları bir kumanda tablosuna bağlanarak sinyalizasyonun dışarıdan yönetilmesi sağlanabilmektedir. Bu tip sistemler özellikle sabit zamanlı olarak tesis edilmiş olan fakat bazı zamanlardaki trafik akımlarının ortalama değerinden büyük sapmalar ve sık sık dalgalanma gösteren kavşaklarda kullanılmaktadır. Bu sistem, trafik ve yaya uyarmalı sistemlere benzemektedir ancak talepler dışarıdan gözlemler ile değerlendirilmektedir (Ayfer, 1977).

Adaptif Sinyalizasyon Sistemi: Adaptif sistemler gerçek zamanlı verileri algılayıcılardan alarak, geçerli trafik koşullarını mevcut sinyal zaman planları ile eşleştirmek yerine, anlık olarak en iyi sinyal zaman planını dinamik olarak oluşturur. Bu durumda sinyal planları için kütüphaneye ihtiyaç duyulmamaktadır. Sistem, talebin yüksek olduğu ve zaman planlarının sıklıkla değiştirilmesi gerektiği durumlarda tercih edilmektedir (KGM, 2019).

Şekil 3.14'te sinyalizasyon sistemleri trafik taleplerine bağlı olarak kıyaslanmıştır.

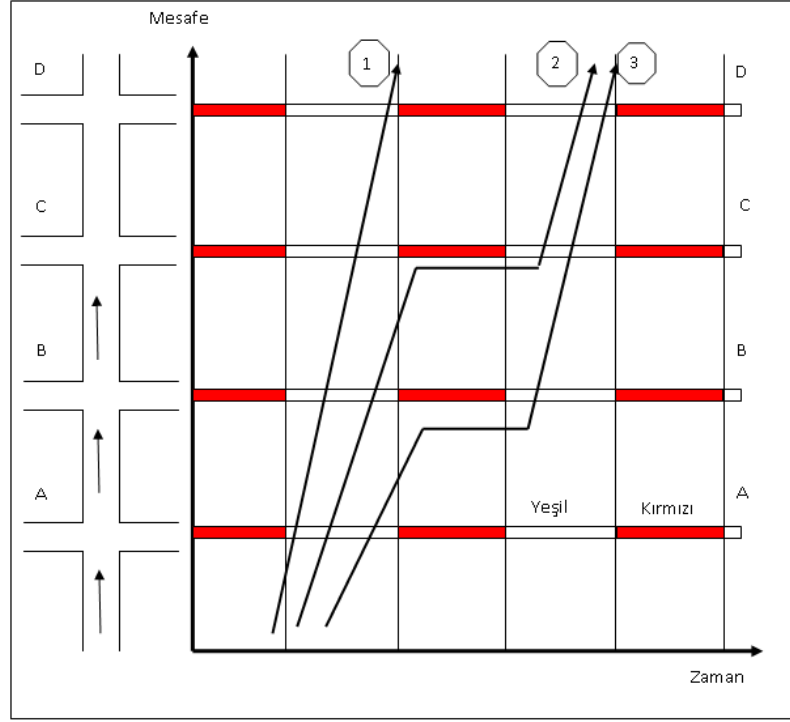


Şekil 3.14. Sinyalizasyon Sistemlerinin Trafik Talebine Bağlı Olarak Kıyaslanması (KGM,2019)

3.5.2.2. Koordine Sinyalizasyon Sistemleri

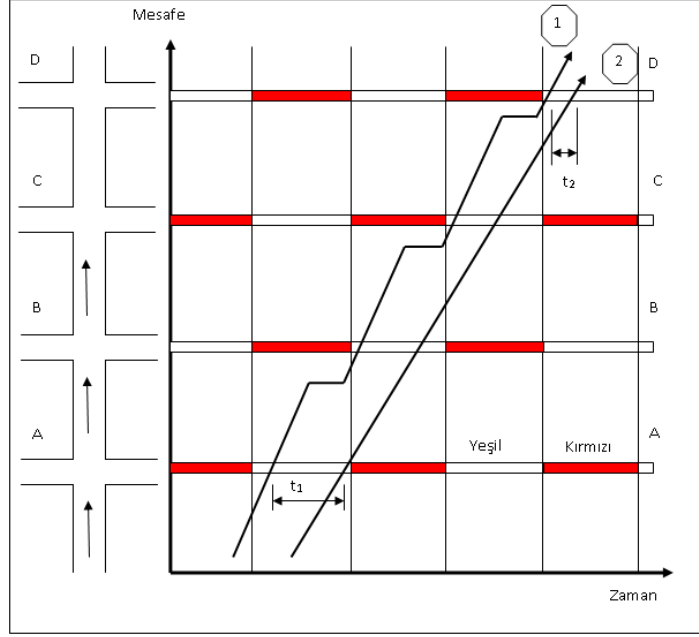
Ana yollarda yer alan birbirine çok yakın iki veya daha fazla sayıdaki kavşaklarda sinyalizasyon sistemlerinin koordine edilmesi öngörülmektedir. Koordine sistemler genelde ana yol üzerindeki kavşaklardan tali yol trafiğine de yeterli geçiş hakkı tanıyarak birim zamanda mümkün olduğunca maksimum sayıda taşıtı durdurmadan geçirilmesi adına düzenlenir. Ayrıca birbirine çok yakın şekilde konumlanmış sinyalizasyon kavşaklarında biriken taşıt kuyruklarının kavşak alanlarına taşmaması için de koordinasyon sistemi kurulabilir. Koordine sistemler öncelikle ana yol trafiği için uygulansa da bazı durumlarda tüm yönlerdeki toplam gecikmenin en aza indirme olanakları da araştırılmaktadır. Koordine sistemler, birbirine yakın sinyalizasyon kavşakları bulunan bir yol şebekesinin tüm akımları için de düzenlenebilmektedir (Ayfer, 1977).

Senkronize Sistem: Senkronize sistemlerde birbirine bağlanan tüm kavşaklarda arter üzerinde bulunan taşıtlara aynı zamanda aynı sinyaller verilmektedir. Bu tip sistemlerde ana yolda bulunan trafik hacmi yüksekse tali yollara geçiş hakkı verilirken her kavşakta birikecek ana trafik hacminin hemen hemen aynı tutmak adına senkronize sistem yararlı olmaktadır (Ayfer, 1977). Senkronize sistem, özellikle arter yönetiminde trafiğin daha dengeli biçimde arter boyunca kavşaklara dağıtılabilmesi amacıyla kullanılabilir. Sürücüleri hızlanmaya yöneltmesi nedeniyle trafik güvenliği açısından dikkat edilmelidir (KGM, 2019). Şekil 3.15'te senkronize sistem örneğine yer verilmiştir.



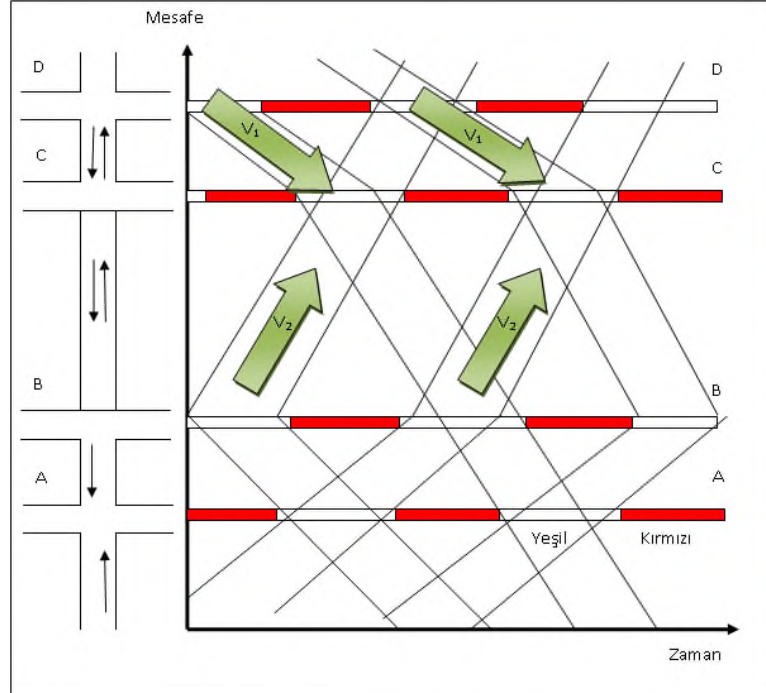
Şekil 3.15. Senkronize Sistem (KGM, 2019)

Alternatif Sistem: Bu sistemde bir arter boyunca birbirini izleyen kavşaklarda arka arkaya zıt ışıklı sinyalizasyon kullanılmaktadır. Alternatif sistemin kullanım amacı, taşıtların iki kavşak arasındaki uzaklığı ışıklı sinyallerin bir devresinin yarısı kadar zamanda almalarını sağlayarak taşıtların ana yol boyunca belli bir hızda seyretmelerini gerçekleştirmektir. Dolayısıyla alternatif sistem, hızlı giden akımları beklemeye zorladığından taşıt hızlarında düşüş gözlemlenmektedir. Şekil 3.16'da alternatif sistem örneği yer almaktadır.



Şekil 3.16. Alternatif Sistem (KGM, 2019)

Progresif Sistem: Progresif sistemde arter üzerindeki tüm kavşaklarda sinyalizasyon sistemlerinin devre süreleri aynı olmakla birlikte gerekli yeşil süreler proje hızına uygun olarak seyreden bir taşıtın tüm kavşaklardan takılmadan geçebileceği biçimde ayarlanmaktadır. Şekil 3.17’de örnek bir progresif sistem görülmektedir.



Şekil 3.17. Progresif Sistem (KGM, 2019)

Progresif sistemler, önceden belirlenen bir hızda beraberce hareket eden taşıtların arter üzerindeki tüm kavşaklardan beklemeden veya en az gecikme ile geçebilmesine imkan tanımayı hedefleyen sistemlerdir (Ayfer, 1977). Bu sistemin yaygın olarak yeşil dalga sistemi olarak da bilinmektedir. Bu sistemlerde kavşaklar arasındaki koordinasyonu sağlamak adına kurulum yapılmadan önce seyahat süreleri ve hızlar ölçülmektedir. Daha sonra taşıtların hızlarına göre, trafiğin hareket yönü için, bir önceki kavşağa göre bir sonraki kavşakta yeşil sinyalin başlangıç süresi (ofset) belirlenmektedir. Kavşaklarda önceden yapılan ölçümlere göre trafik hacmi açısından en fazla yoğunluğa sahip olan kavşaklar tespit edilmekte ve sistem bu kritik kavşak dikkate alınarak tasarlanmaktadır. Progresif sistemleri tek yönlü olarak etkin biçimde tasarlamak, çift yönlü tasarıma göre daha kolay olmaktadır. Progresif sistemi verimli olarak işletebilmek için taşıtların grup (küme) biçiminde hareket edebilmesi ve grup hızının arter boyunca korunması önem arz etmektedir. (KGM, 2019).

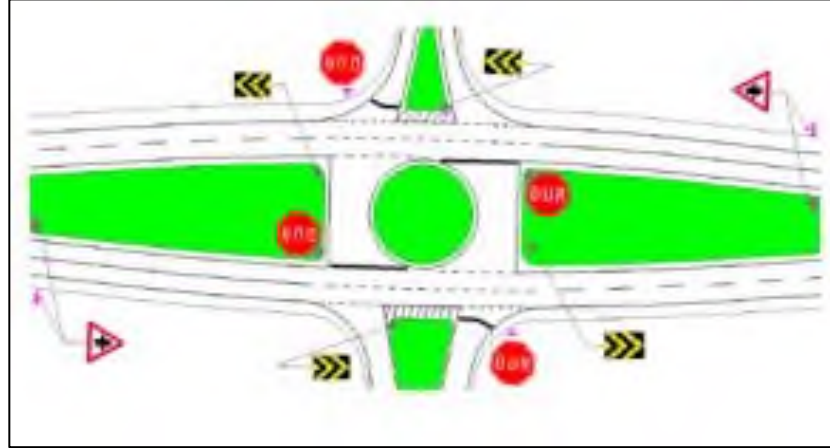
3.6. Dönel Kavşaklar

Dönel kavşaklar; genellikle dairesel bir ada etrafında, trafiğin sağdan aktığı yerlerde trafiğin saat yönünün tersine şayet trafik soldan akıyorsa saat yönünde hareket etmelerini sağlayan yönlendirilmiş hemzemin kavşak tipidir (Janssens, 1994). Bu tip kavşaklar, trafik çemberleri olarak ilk defa 1905 senesinde New York’ şehrinde kurulmuş ve ülke geneline yayılmıştır. Ancak trafik çemberlerinin yüksek hızlı katılıma ve örülmeye izin vermesi, çok sayıda kazanın meydana gelmesi ve tıkanıklık gibi problemler sebebiyle 1950’li yılların ortalarından sonra gözden düşmüştür. Fakat 1960’lı yıllar ile Birleşik Krallık’ta ada etrafında dönen araca yol ver kuralı sayesinde modern dönel kavşaklar ortaya çıkmış, çok sayıda ülkede yaygın olarak tercih edilmiştir (Robinson et al., 2000). Modern dönel kavşakların trafik çemberlerinden temel farkları şöyledir:

- Yol Ver: Yol ver kuralı, ada etrafında sirküle olan taşıtların geçiş hakkına sahip olmasını ve yaklaşım kolundan katılacak tüm taşıtların sirküle olan akımda bir boşluk bulana kadar beklemesini gerektirmektedir. Serbest akım ve yüksek kapasitenin sağlanması adına yol ver tabelası kullanılmaktadır.

- Giriş Sapması: Modern dönel kavşaklarda trafik akımlarının dönel kavşak boyunca düz bir yol izlemesine izin verilmemektedir. Bu sebeple kavşağa dahil olacak trafik akımı, merkez ada yardımıyla uygun bir kavisle sağa saptırılır.

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün ana yol tali yol kavşağı olarak adlandırdığı trafik çemberlerinde ise modern dönel kavşaklardan farklı olarak tali yoldan gelen araçlar durmak ve ana yoldan gelen araçlara yol vermek zorundadır (KGM, t.y.). Ayrıca, bazı trafik çemberlerinde merkez ada etrafında parklanmaya müsaade edilebilirken modern dönel kavşaklarda parklanmaya izin verilmemektedir. Şekil 3.18'de trafik çemberine ve Şekil 3.19'da da modern dönel kavşağa yer verilmiştir.



Şekil 3.18. Trafik çemberi (KGM, t.y.)



Şekil 3.19. Modern Dönel Kavşak (KGM, t.y.)

Dönel kavşakların tercih edilme sebeplerine aşağıda yer verilmiştir:

- Dönel kavşaklarda çakışma noktası sayısı geleneksel kavşaklara kıyasla daha azdır.

- Dönel kavşaklarda dönen akım ve yaklaşım kollarından kavşağa katılan taşıtların hızları oldukça düşük olması sebebiyle yaşanabilecek kazaların adedi ve şiddeti oldukça daha düşük olmaktadır. Bu sebeple kazalardan dolayı oluşacak maliyetler de daha az olmaktadır.

- Ortalama taşıt gecikmeleri geleneksel kavşaklar ile oranlandığında benzer trafik hacimleri için daha az olabilmektedir.

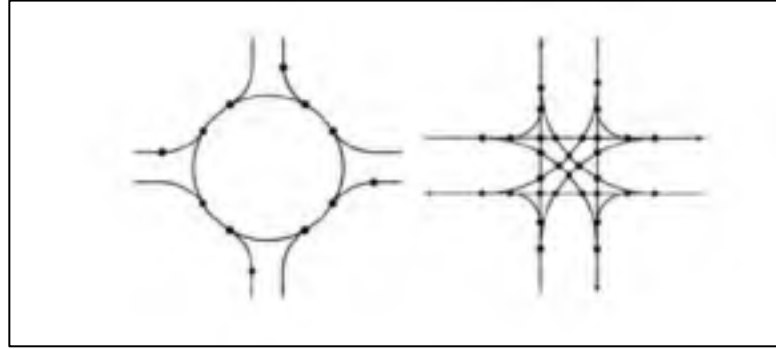
- Herhangi bir elektronik sistem barındırmaması sebebiyle bakım maliyetleri sinyalize kavşaklar ile kıyaslandığında daha düşük olmaktadır (Erol, 2018).

Modern dönel kavşaklar, diğer hemzemin kavşak tasarımları ile kıyaslandıklarında daha düşük sayıda çakışma noktasına sahiptir. Bu sebeple trafik güvenliği üzerinde olumlu etki göstermekte ve bu sayede kaza sayısını önemli seviyede düşürmektedir. Flannery ve Datta'nın (1996) ABD'deki modern dönel kavşakların trafik kazalarına olan etkisini araştırdığı çalışmada dur kontrollü veya sinyalize kavşaklardan dönel kavşaklara çevrilen alanlardaki kazalarda azalma yüzde 60 ile 70 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Özellikle tek şeritli modern dönel kavşakların trafik güvenliği üzerindeki etkisi hususunda yapılan araştırmalara göre Hollanda'da öncelikli kavşakların olduğu noktalar modern dönel kavşaklara dönüştürüldüğünde toplam kaza sayılarının yaklaşık %50 düzeyinde azaldığı görülmüştür. Kırsal yollarda ise %80'e varan yaralanmalı kaza sayısında azalma gözlenmiştir. (KGM, 2018). Ayrıca İsveç'te yapılan çalışmada, 50 km/sa hız sınırı olan dönel kavşakların farklı seviyeli kavşaklara nispeten daha güvenli oldukları tespit edilmiştir. Hem kaza hem yaralanma oranının hem de kaza başına düşen yaralı sayısının aşağıdaki parametrelerden etkilendiği bulunmuştur:

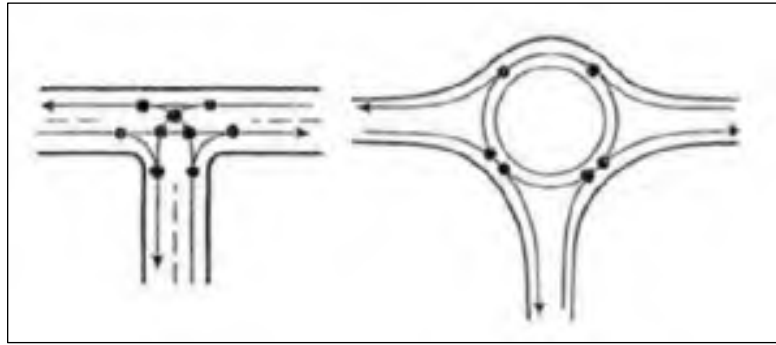
- Dönel kavşaktaki yerel hız limiti
- Dönel kavşaktaki yerel hız limitine kıyasla yoldaki genel hız sınırı
- Yaklaşım kolu sayısı
- Dönel kavşaktaki şeritlerin sayısı (Sweroad, 2001).

Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'de, üç ve dört kollu modern dönel kavşaklar ile geleneksel kavşakların çakışma noktalarına yer verilmiştir. Şekil 3.20'de görüldüğü gibi dört kollu modern dönel kavşaklarda 8 çakışma noktası bulunurken geleneksel dört kollu kavşaklarda 32 çakışma noktası mevcuttur. Şekil 3.21'de ise üç kollu

modern dönel kavşaklarda 6 çakışma noktası görülürken, geleneksel üç kollu kavşaklarda bu sayı 9'dur.



Şekil 3.20. Dört kollü kavşaklarda çakışma noktaları (KGM, 2016)



Şekil 3.21. Üç kollü kavşaklarda çakışma noktaları (Bared vd., 1997)

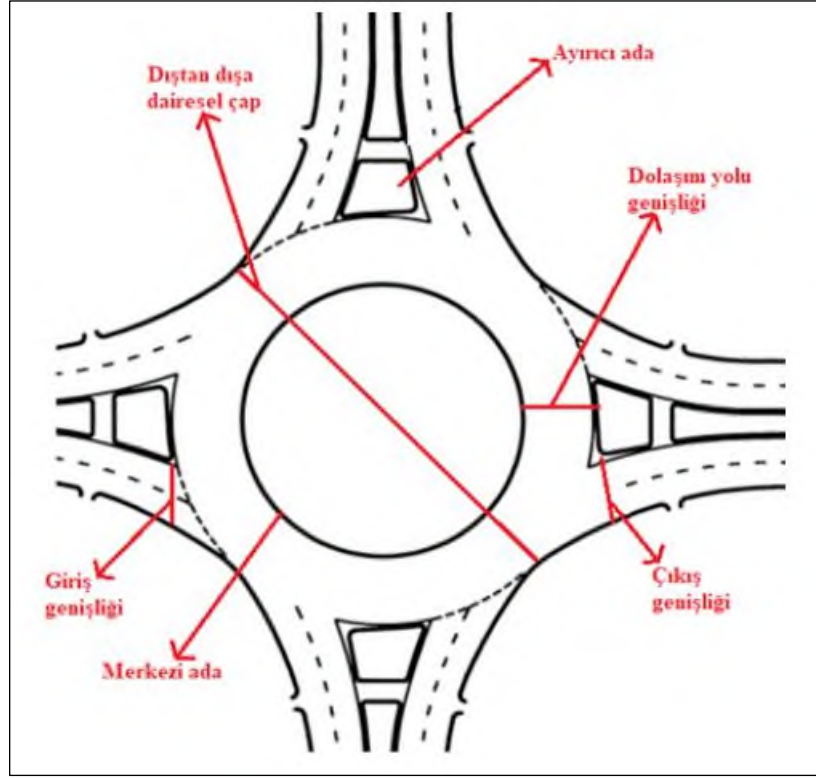
3.6.1. Modern Dönel Kavşakların Tasarım Esasları

Dönel kavşakların bahsedilen faydalarını pratikte görebilmek için dönel kavşak elemanlarının standartlara uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir. Dönel kavşağın standartlara uygun şekilde tasarlanması, kavşak performansı üzerinde olumlu etki sağlayacağı gibi potansiyel trafik kazalarının sıklığını ve şiddetini de azaltarak trafik güvenliğinin sağlanmasına katkıda bulunacaktır. Modern dönel kavşakların projelendirilmesinde dikkate alınacak ana elemanlar şu şekilde sıralanabilir:

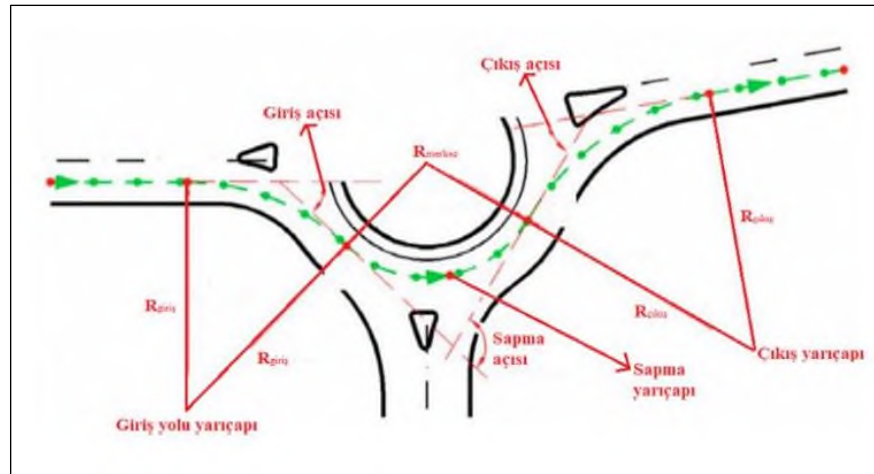
- Tasarım aracı ve hızı
- Görüş mesafesi
- Sapma derecesi
- Merkez ada çapı
- Dönüş şeridi genişliği
- Giriş ve çıkış şeritleri sayısı

- Ayırıcı ada
- Yatay, düşey işaretlemeler ve aydınlatma (Tanyel, 2001).

Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'te dönel kavşakların geometrik elemanları gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Dönel kavşak geometrik elemanları (Özinal ve Uz, 2021)



Şekil 3.23. Dönel kavşak geometrik elemanları (Özinal ve Uz, 2021)

Tasarım Aracı ve Hızı: Dönel kavşaklar, bu kavşağı kullanacak olan taşıtların rahatlıkla manevra yapmalarını sağlayabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Uygun bir dönel kavşak tasarımı, kavşağa giriş hızlarını 50 km/sa ile sınırlandırmalıdır. Daha yüksek kavşağa giriş hızlarına paralel olarak yüksek şiddette kaza yaşanma ihtimali de artmaktadır. Dönel kavşak çeşitlerine göre tavsiye edilen maksimum kavşağa giriş hızlarına Tablo 3.1’de yer verilmiştir.

Tablo 3.1. Dönel kavşak çeşitlerine göre tavsiye edilen maksimum giriş hızları (Robinson vd., 2000).

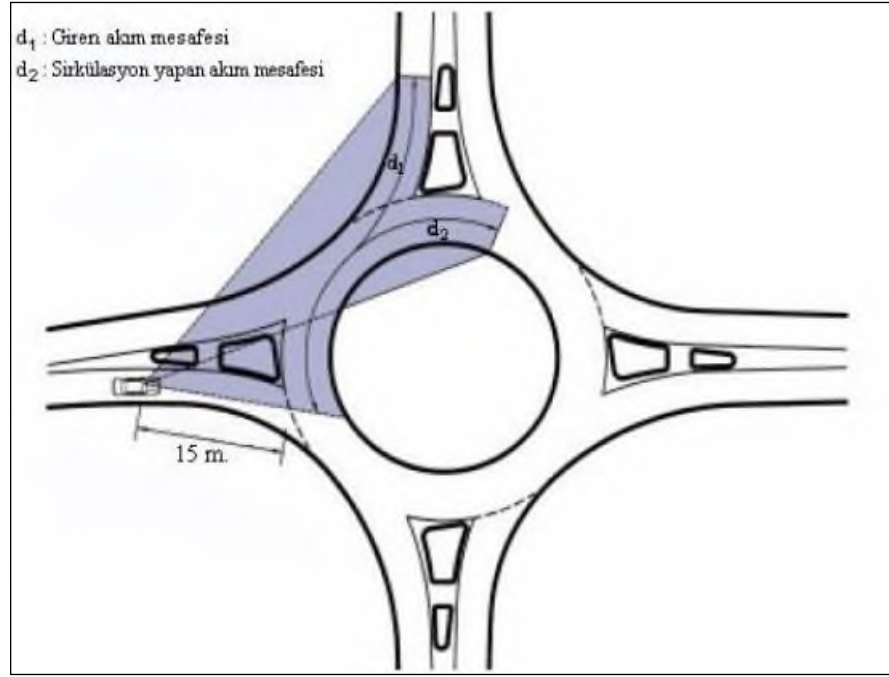
Dönel Kavşak Çeşidi	Tavsiye Edilen Maksimum Hız (km/s)
Mini dönel kavşak	25
Şehir içi kompakt	25
Şehir içi tek şeritli	35
Şehir içi çift şeritli	40
Kırsal tek şeritli	40
Kırsal çift şeritli	50

Görüş Mesafesi: Dönel kavşakta görüş mesafesi, yol hakkı kendisinde olmayan bir sürücünün çakışan trafik akımlarının varlığını algılayıp tepki vermesi için gerekli olan mesafedir.

Yeterli görüş mesafesinin sağlanabilmesi için, aşağıdaki durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir:

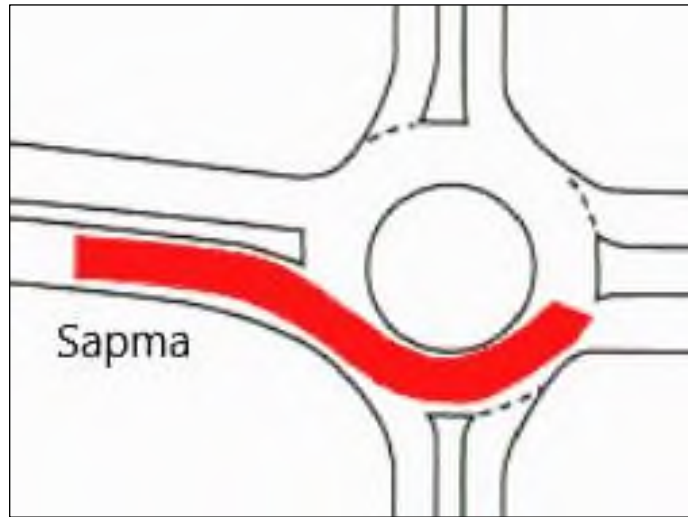
1) Kavşakta bulunan yaklaşım kollarının, kavşağa gelen sürücülerin ayırıcı ada, orta ada ve dönüş şeritlerinin rahatça görebilmelerini sağlayacak şekilde projelendirilmesi gerekmektedir.

2) Dur çizgisinde bekleyen bir sürücü, kendinden bir önceki yaklaşım kolundan giriş yapan taşıtların girişlerini, en azından kritik aralık değeri kadar bir seyir süresi uzaklıktan rahatça görebilmelidir. 50 km/sa seyir hızı ve 70 m uzaklık, düşük dönüş akımına sahip kavşaklar için yeterli olmaktadır (Taekratok, 1998). Yoğunluğu daha yüksek kavşaklarda 4 saniyelik kritik aralık kabulüne göre yapılan projelendirmeler, yeterli olmaktadır.



Şekil 3.24. Kavşak görüş mesafesi (Robinson vd., 2000)

Sapma Derecesi: Dönel kavşakların kullanılmasının temel sebeplerinden biri de taşıtların güzergahlarından belli bir açı ile saptırılarak kavşak giriş, çıkış ve doğru geçişlerinde hızlarının düşürülmesidir. Uygun seviyede yaptırılan saptırmalar taşıtların hızlarını düşürerek kaza yaşanma oranını azaltacak ve kavşaktaki trafik güvenliği üzerinde olumlu etkide bulunacaktır.



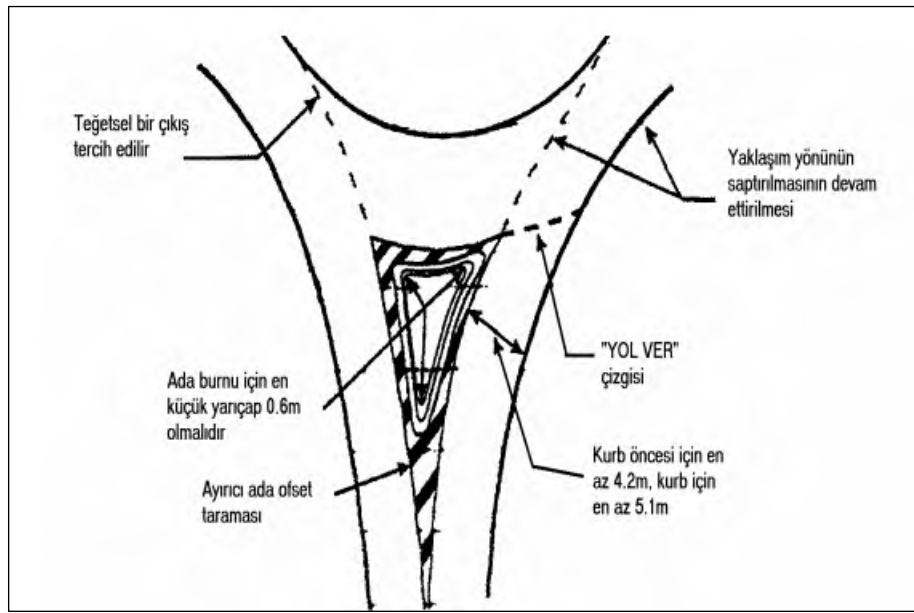
Şekil 3.25. Dönel kavşakta sapma (Sweroad, 2001)

Merkez Ada Çapı: Merkez ada, trafik akımlarının çevresinde sirküle olduğu, dönel kavşağın ortasında yer alan yükseltilmiş alandır (Robinson et al.,2000). Merkez adanın çapı, kavşağın kurulduğu alan ve kavşağı kullanacak taşıtların dönüş

hareketleri ve direkt hareket edecek taşıtları yeterince saptırması gerekliliği de göz önünde bulunarak seçilmelidir. Küçük dönel kavşakların tercih edildiği bölgelerde, ağır taşıtların hareketlerini kolaylaştırmak adına orta ada etrafında apron adı verilen, üzeri pürüzlü bir kısım uygulanabilir.

Dönüş Şeridi Genişliği: Dönüş şeridi, taşıtların merkez ada etrafında saat yönünün tersine hareket etmek üzerine kavisli yoldur. Dönüş şeridi genişliği, düzgün bir hareket sağlanabilmesi için giriş ve çıkış şeritlerinin genişliği ve sayısı ile kavşağın genel durumu ile bağlantılı olarak değişir (Taekratok, 1998). Dönüş şeridi genişliği genellikle, maksimum giriş genişliğinin 1 ya da 1,2 katı olarak seçilmektedir.

Giriş ve Çıkış Şeritleri: Giriş ve çıkış şeritlerinin dönel kavşakların kapasitesi üzerindeki etkileri önem arz etmektedir. Giriş şeritleri, araçların yan yoldan kavşağa girerken yavaşlamalarını sağlamalı, çıkış şeritleri taşıtların mümkün olan en kısa sürede kavşağı terk etmelerini sağlamalıdır.

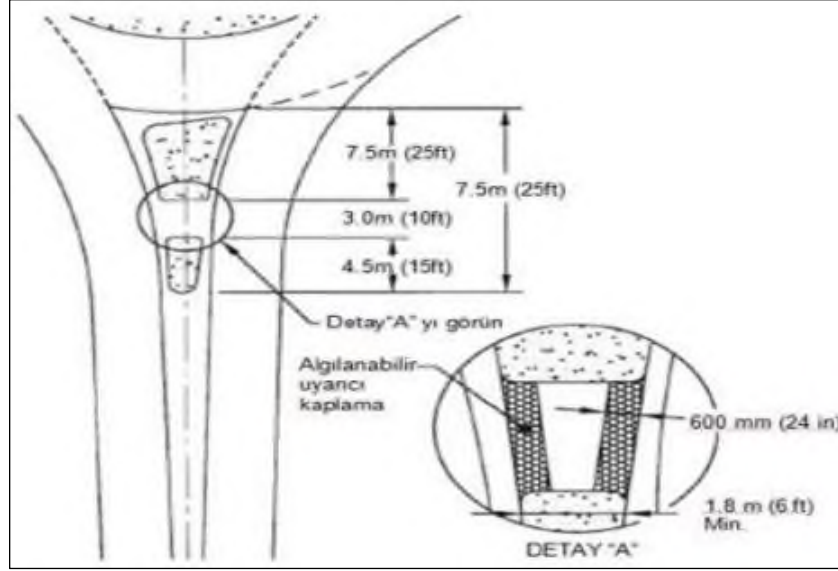


Şekil 3.26. Dönel kavşak yaklaşım kollu tasarımı (Taekratok, 1998)

Ayrırcı Ada: Ayrırcı adaların iyi bir kavşak görüşü, girişte hızı azaltıcı ve azalan ivme için güvenli bir alan sağlaması gerekir. (Taekratok, 1998). Ayrırcı adaların işlevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

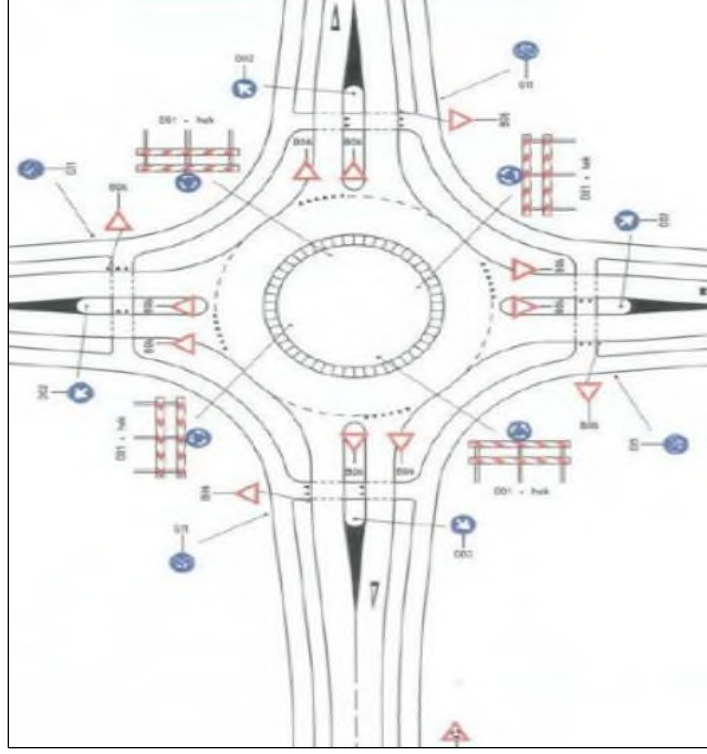
- Kavşağa girecek trafik akımını fiziksel olarak ayırmak ve taşıtların yanlış yöne hareket etmelerini engellemek

- Kavşak giriş ve çıkışlarında yapılan sapmaları kontrol altına almak
- Yaya için sığınma alanı ve trafik işaretlerinin yerleştirileceği alan oluşturmak.



Şekil 3.27. Minimum ayırıcı ada boyutları (Robinson vd., 2000)

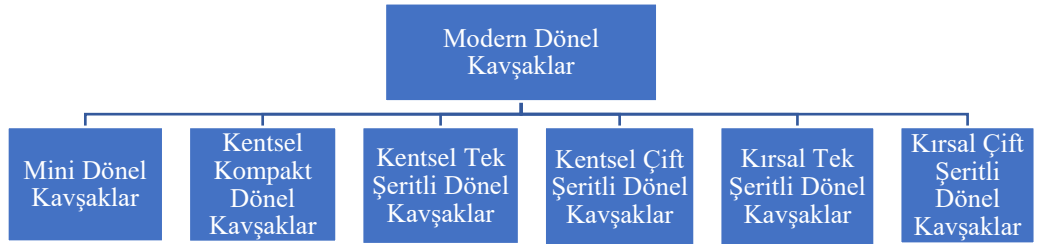
Yatay Düşey İşaretlemeler ve Aydınlatma: Dönel kavşakları diğer kavşak tiplerinden ayıran ve çalışma en önemli çalışma prensibi, yaklaşım kollarından kavşağa dahil olan taşıtların merkez ada etrafında dönüş yapan taşıtlara yol vermesidir. Bu nedenle kavşak girişlerinde “DUR” veya “YOL VER” işaretlerinin yerleştirilmesi gerekmektedir. Kavşaklarda yapılan aydınlatmaların sürücüler tarafından kolay anlaşılır ve gündüz saatlerindeki görüş mesafeleri gece saatlerinde de bu aydınlatmalar ile sağlanmalıdır.



Şekil 3.28. Modern dönel kavşak düşey işaretlemeleri (KGM, 2018)

3.6.2. Modern Dönel Kavşakların Sınıflandırılması

Modern dönel kavşaklar kendi içinde altı gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar şöyle sıralanabilir:



Şekil 3.29. Modern dönel kavşak çeşitleri (Robinson vd., 2000)

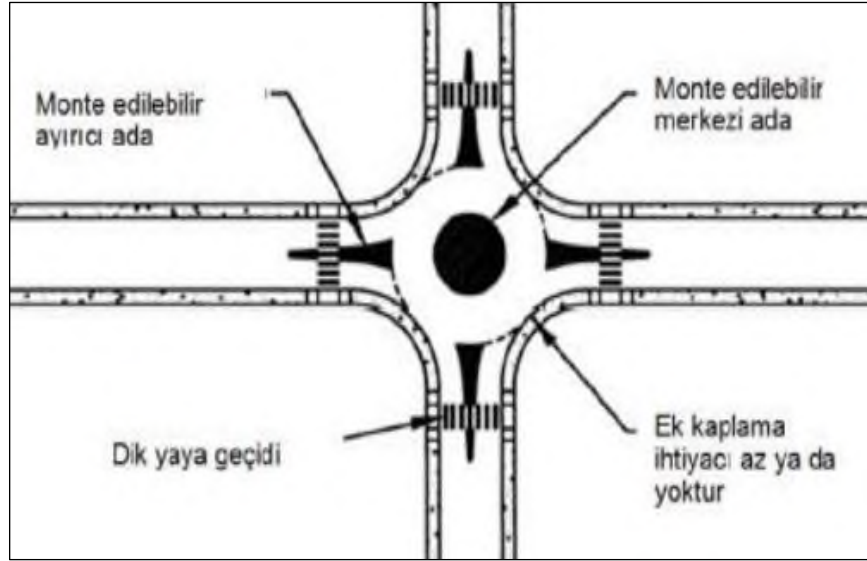
Bu modern kavşak çeşitlerinin çeşitli özelliklerine göre kıyaslamasına Tablo 3.2'de yer verilmiştir.

Tablo 3.2. Modern dönel kavşakların temel özelliklerinin karşılaştırılması (Robinson vd., 2000)

Tasarım Elemanı	Mini Dönel Kavşaklar	Kentsel Kompakt	Kentsel Tek Şeritli	Kentsel Çift Şeritli	Kırsal Tek Şeritli	Kırsal Çift Şeritli
Tavsiye edilen maksimum tasarım giriş hızı (km/s)	25	25	35	40	40	50
Yaklaşım başına maksimum giriş şeridi sayısı	1	1	1	2	1	2
Tipik dıştan dışa dairesel çap (m)	13-25	25-30	30-40	45-55	35-40	55-60
4 kollu MDK'larda günlük hizmet hacmi (tş/gün)	10.000	15.000	20.000	Trafik talebine göre değişir	20.000	Trafik talebine göre değişir

3.6.2.1. Mini Dönel Kavşaklar

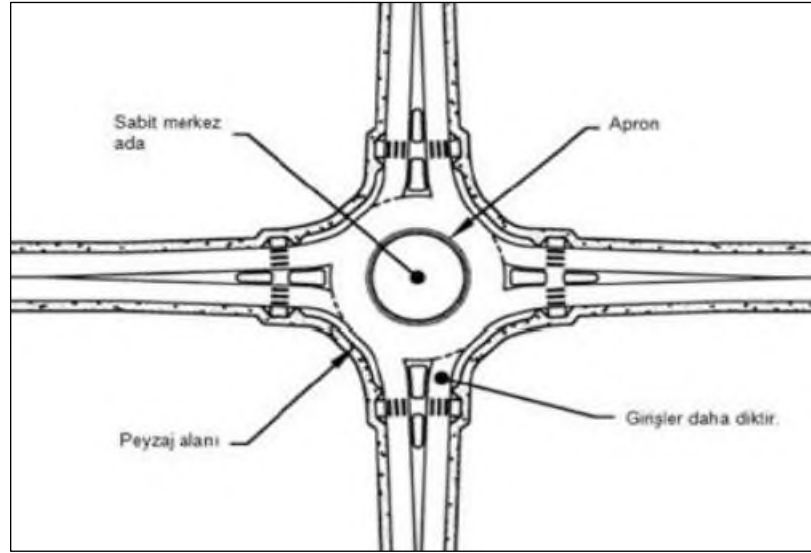
Mini dönel kavşaklar, genellikle düşük hızlı şehir içi bölgelerde kullanılan ve ortalama işletme hızları 60km/sa veya daha düşük olan küçük dönel kavşaklardır. Bu tip kavşaklar, kamulaştırma problemlerinin yaşandığı, sıkışık alanların ve düşük hızların görüldüğü kentsel yerlerde uygulanır. Kentsel kompakt dönel kavşakların uygulanamadığı noktalarda tercih edilebilir. Sahip olduğu ufak boyutları sebebiyle de binek taşıtların, yayaların ve bisikletlilerin etkin ve güvenli kullanımına uygun bir kavşak modelidir (Robinson et al., 2000). Şekil 3.30'da bir mini dönel kavşak tasarımına yer verilmiştir.



Şekil 3.30. Mini dönel kavşak (Robinson vd., 2000)

3.6.2.2. Kentsel Kompakt Dönel Kavşaklar

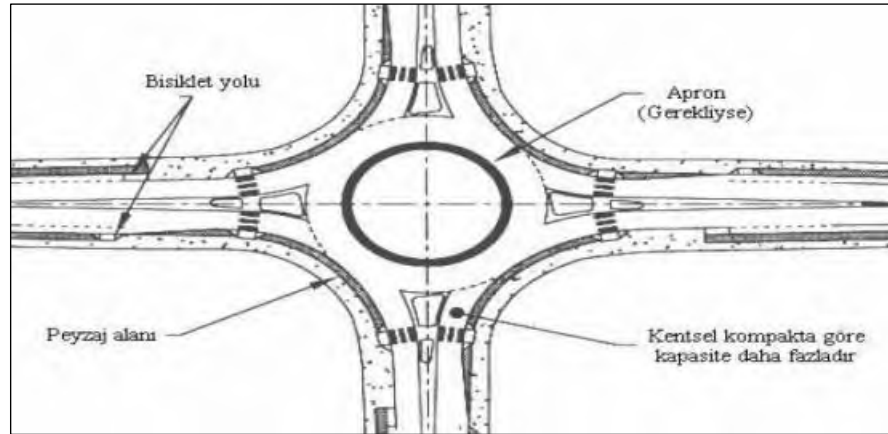
Bu tip kavşaklar mini modern dönel kavşaklara benzer şekilde bisiklet ve yayalar için güvenli kavşaklardır. Ayrıca dönel kavşaklardaki bütün gereksinimleri de karşılar. Kompakt dönel kavşaklarda temel amaç, yayaların kavşağı güvenli ve etkin bir şekilde kullanmalarını sağlamaktır. Güvenlik temel gerekçe olduğu için bu kavşaklarda kapasite kritik konumda değildir. Merkez ada sabittir ve hemzemin yaya geçitleri adalar arasına konumlandırılmıştır. Sirkülasyon yolu üzerinde büyük araçların manevralarına olanak veren, orta ada etrafında oluşturulmuş apron bulunur (Robinson et al., 2000). Şekil 3.31’de bir kentsel kompakt dönel kavşak tasarımına yer verilmiştir.



Şekil 3.31. Kentsel kompakt dönel kavşak (Robinson vd., 2000)

3.6.2.3. Kentsel Tek Şeritli Dönel Kavşaklar

Kentsel tek şeritli dönel kavşaklarda yaklaşım kolları ve sirkülasyon yolu tek şeritlidir. Şekil 3.32’de de görüldüğü üzere dıştan dışa çember çapı daha büyük, kavşağa giriş ve çıkışlar daha yumuşak olduğundan kapasiteleri daha yüksektir. Giriş, sirkülasyon yolu ve çıkış tasarımları daha yüksek hızlara müsaade etmektedir (Robinson et al., 2000).

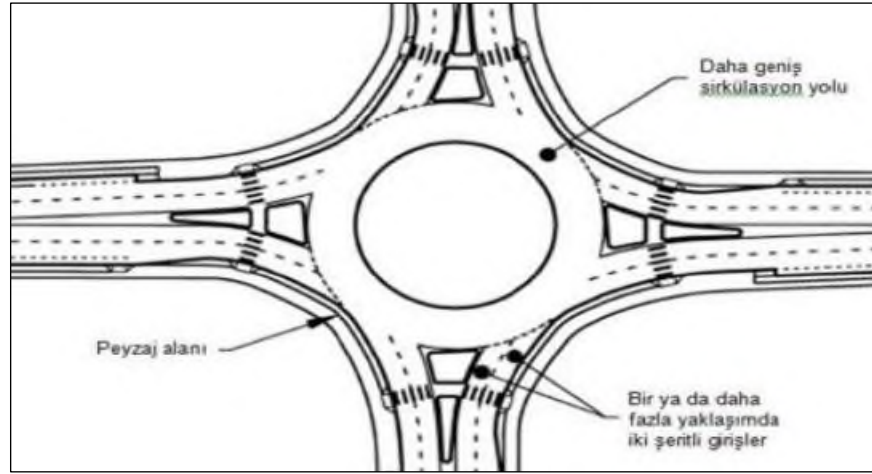


Şekil 3.32. Kentse tek şeritli dönel kavşak (Robinson vd., 2000)

3.6.2.4. Kentsel Çift Şeritli Dönel Kavşaklar

Kentsel çift şeritli dönel kavşaklar, şehir içinde bulunan ve en az bir yaklaşım kolunun iki şeritli olduğu tüm dönel kavşakları içermektedir. Yaklaşım kollarının giriş ağızları bir şeritten iki şeride genişleyen kavşaklar da bu sınıfta yer almaktadır. Sirkülasyon yolu en az iki aracın geçişine uygun olup, işletme hızları tek şeritli dönel

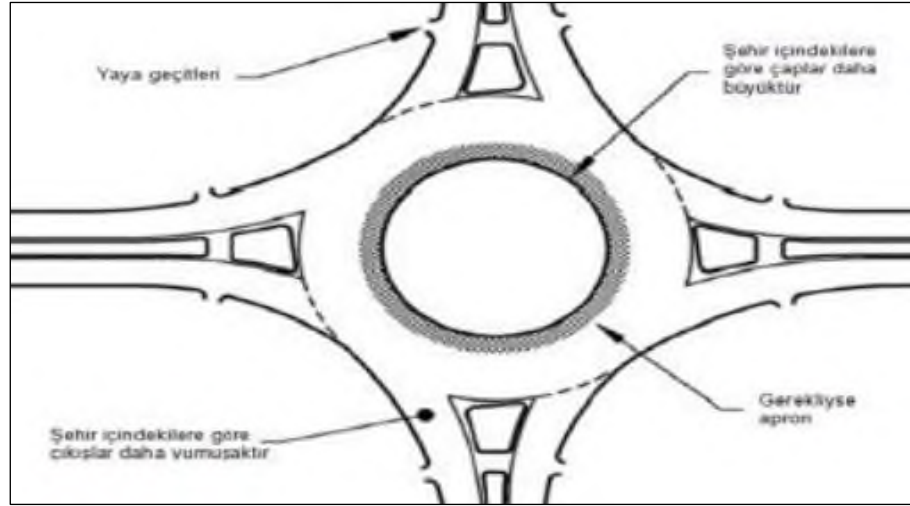
kavşaklar ile benzerlik göstermektedir. Yayalar ve bisikletliler için yollar belirli şekilde düzenlenmelidir (Robinson et al.,2000). Şekil 3.33’te kentsel çift şeritli dönel kavşak tasarımına yer verilmiştir.



Şekil 3.33. Kentsel çift şeritli dönel kavşak (Robinson vd., 2000)

3.6.2.5. Kırsal Tek Şeritli Dönel Kavşaklar

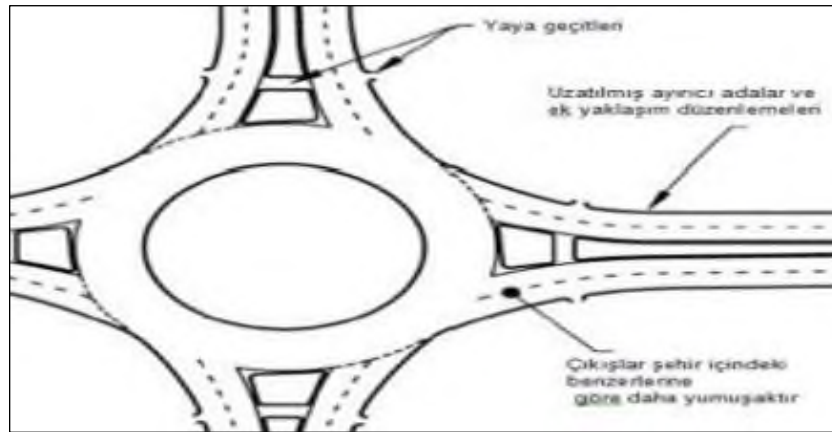
Kırsal tek şeritli dönel kavşakların yaklaşımlarında genellikle 80 ile 100 km/sa aralığında yüksek bir ortalama hız olması sebebiyle sürücülerin dönel kavşağa girmeden önce taşıtlarını uygun bir hıza düşürmeleri gerekmektedir. Bu sebeple taşıtların hızlarını düşürmesi amacıyla geometrik elemanları bulunmaktadır. Büyük çaplara sahip olduklarından için ağır ve uzun taşıtların dönüş yapmasına yardımcı olmak adına aprona ihtiyaç duyulmayabilir. (Robinson et al., 2000). Şekil 3.34’te kırsal tek şeritli dönel kavşağa yer verilmiştir.



Şekil 3.34. Kırsal tek şeritli dönel kavşak (Robinson vd., 2000)

3.6.2.6. Kırsal Çift Şeritli Dönel Kavşaklar

Kırsal çift şeritli dönel kavşaklar, kırsal tek şeritli dönel kavşaklara benzer şekilde yaklaşımlarında 80 ile 100 km/sa aralığında ortalama hızlara sahiptir. Yaklaşım kollarının en az birinde giriş iki şeritli veya bir şeritten iki şeride genişlemektedir. Sonuç olarak, kırsal çift şeritli dönel kavşakların birçok karakteristik ve tasarım özelliği, kentsel muadillerinin özelliklerini taşımaktadır (Robinson et al., 2000). Şekil 3.35'te kırsal çift şeritli dönel kavşağa yer verilmiştir.



Şekil 3.35. Kırsal çift şeritli dönel kavşak (FHWA, 2000)

3.7. Dönel Kavşaklarda Dengesiz Akım Sorunu

Modern dönel kavşaklar, sinyalizasyon kavşakları ile kıyaslandıklarında taşıtlara daha düşük sayıda dur-kalk ve daha kısa kuyruk mesafeleri sağlayarak kavşağın verimliliği, trafik güvenliği ve çevre üzerindeki faydalar konusunda olumlu etkiler sunar. Bu sayede işletim ve bakım maliyetlerini azaltarak kavşak operasyonlarını

iyileştirmektedir (Valdez, 2010). Fakat dönel kavşakların yaklaşım kollarındaki trafik akımları dengesiz şekilde kollara dağıldığında dönel kavşaklarda kapasite sorunu ortaya çıkabilir ve kapasiteyle birlikte diğer performans parametreleri de bu durumdan etkilenebilir. Bu şartlarda modern dönel kavşakların teorik faydaları kaybolacaktır. Bu durum, çeşitli çalışmalara konu olmuş, araştırmacılar dönel kavşaklarda oluşan dengesiz akım sorununa çalışmalarında yer vermiştir.

Huddart (1983), dönel kavşakların düzgün çalışması için dönel kavşağın yaklaşım kollarında bulunan giriş akımları arasında ölçülü bir denge olmasının gerekliliğinden bahsetmiş, yaklaşım kollarındaki trafik akımları arasında bu dengenin olmadığı durumların dönel kavşağın kapasitesinin sınırlandıracağını ve bu durumun özellikle bir yaklaşım kolundan gelen yoğun ve kesintisiz bir trafik akımına bu yaklaşım kolunun bir öncesinde bulunan yaklaşım kolundaki düşük bir trafik akımı eşlik ediyorsa geçerli olduğunu belirtmiştir. Bu durumun yanı sıra kesintisiz ancak fazla yoğunluğa sahip olmayan bir sirkülasyon trafiğinin, belli bir kavşak kolundaki akımın kavşağa katılmasını ciddi biçimde engelleyecek bir başka durum olduğunu da ifade etmiştir.

Krogscheepers ve Roebuck (2000), dönel kavşakta oluşan dengesiz akımların tipik bir uygunsuz durum olduğunu belirtmiş, dengesiz akımı şu şekilde açıklamıştır: “Bir kavşağın yaklaşım kolundaki trafik hacminin, taşıtların başka bir yaklaşım kolundan kavşağa girmesini etkin biçimde engelleyecek kadar fazla olduğu durumdur. Bu şartlarda, dönel kavşağı kullanmaya çalışan toplam trafik hacmi çok fazla olmasa dahi yaklaşım kollarında mevcut olan hacimlerde bu büyük dengesizlik sebebiyle bazı yaklaşım kollarında uzun gecikme süreleri meydana gelebilir. Bu çalışmada dengesiz akımları tanımlayacak bir formül geliştirilmiştir. Bu formüle göre dengesizlik rasyosu (ρ_i) kuzey yaklaşım kolu için (ρ_n) aşağıda yer alan Denklem 3.1’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\rho_n = \frac{Q_{wn}}{Q_{wn}+Q_{sn}+Q_{en}} = \frac{Q_{wn}}{Q_{nc}} \quad (3.1)$$

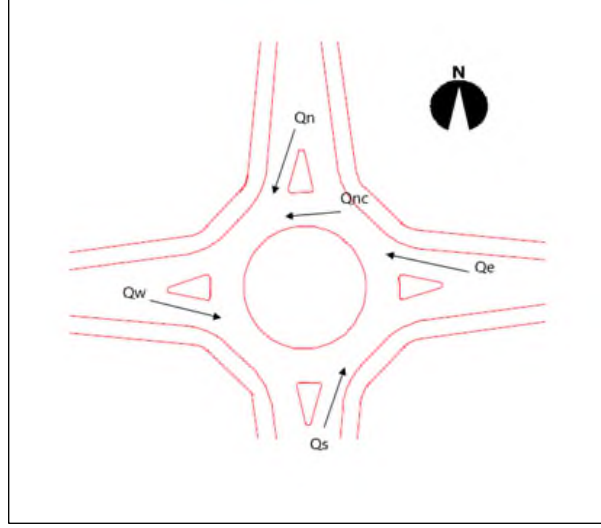
$$Q_{nc} = Q_{wn} + Q_{sn} + Q_{en}$$

$$Q_{wn} = \text{batıdan kuzeye giden trafik}$$

$$Q_{sn} = \text{güneyden kuzeye giden trafik}$$

$$Q_{en} = \text{doğudan kuzeye giden trafik}$$

Dengeli bir yaklaşım kolunda ρ_i değeri 0,5' e eşit olmaktadır. Dengesiz akıma sahip yaklaşım kolunda ise bu değer 0 veya 1' dir. Bu akımlar Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



Şekil 3.36. Dengesiz akımların tanımı (Krogscheepers ve Roebuck, 2000)

Tunç (2003) bu konu hakkında “Ana yolun trafik hacmiyle tali yolun trafik hacmi arasında çok fazla fark varsa, tali yoldan kavşağa dahil olan taşıtlar örülme için ihtiyaç duyulan aralığı bulamayacak ya da örülme trafiğinin artmasıyla ana yol trafiğindeki gecikme süreleri artış gösterecektir” demiştir.

Aydemir ve Tanyel (2005), çalışmalarında dengesiz akımı “Yaklaşım kollarının birinden gelen akım talebinin diğer yaklaşım kollarına göre fazla olması halinde bu durumun kavşak kapasitesi üzerinde önemli etkisi vardır” şeklinde ifade etmiştir.

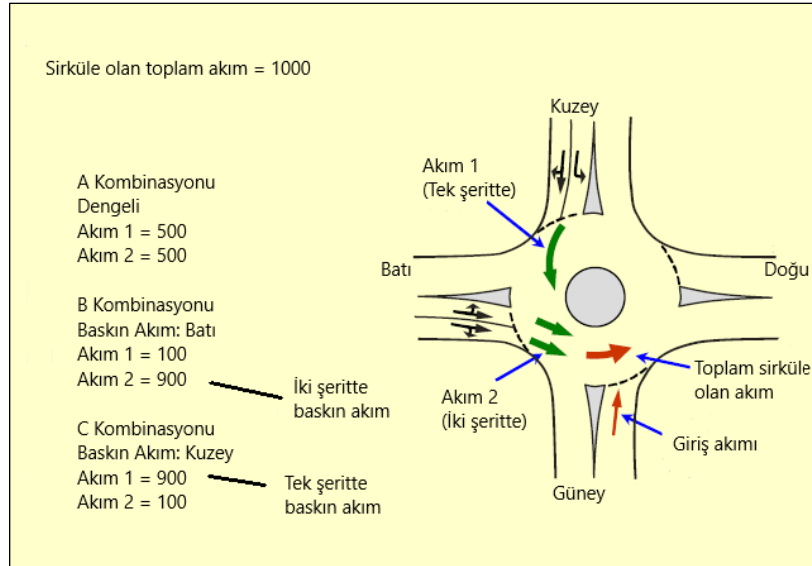
Batı Avustralya Karayolları İdaresi (MainRoads) (2015), Kavşak Kontrolü Seçimi Rehberi'nde “Dönel kavşakların performansı dengesiz akımlara karşı hassastır”, “Dengesiz akım, baskın bir yaklaşım kolundan giren trafiğin, başka bir yaklaşım kolundan gelen trafiğin dönel kavşağa girmesini engellediği durumlarda meydana gelebilir. Bu durum, etkilenen yaklaşımda aşırı kuyruklara ve gecikmelere neden olur” demiştir.

Batı Avustralya Karayolları İdaresi'ne (2015) göre, dönel kavşakta dengesiz akım problemini meydana getiren baskın trafik akımı şunlar olabilir:

- Kesintisiz, yoğun bir trafik akımı

•Tali yaklaşım kolundan gelip geçiş hakkını edinmiş olan, düşük ancak sürekli bir akım.

Şekil 3.37’de dönel kavşaklarda görülen çeşitli dengesiz akımlara yer verilmiştir.



Şekil 3.37. Dengesiz akım kombinasyonları (Akçelik, 2004)

3.8. Dönel Kavşaklarda Sinyalizasyon

Dönel kavşakta meydana gelen dengesiz akımlar sonucu gelişen kapasite sorunları ya da oluşan trafik güvenliği problemlerini çözmek için dönel kavşaklarda sinyalizasyon kullanılmaya başlanmıştır. Sinyalizasyon, dönel kavşakların doğal üyesi olmamasına rağmen dengesiz akım ve yüksek sirkülasyon hızı gibi sorunlara çözüm olabilir. Stevens (2005), yaptığı çalışmada dönel kavşaklarda sinyalizasyon kullanmanın faydalarını şöyle özetlemiştir:

•Daha kısa gecikmeler: Sinyalize olmayan dönel kavşaklardaki gecikme süreleri, dengesiz akım ya da diğer kavşaklarla etkileşimler sebebiyle artış gösterir. Sinyalizasyon, gecikmeyi dengelemek adına kullanılabilir.

•Daha kısa kuyruklar: Dengesiz akım sebebiyle kuyruk mesafeleri zaman zaman diğer kavşaklara ya da yollara kadar uzayabilir. Sinyalizasyon sistemi, bu kollara geçiş hakkını vererek kuyruk mesafelerini kısaltabilir.

•Kapasitede artış: Yüksek hacimli trafik dönel kavşağa dahil oluyorsa, taşıtlar serbestçe dolaşamayabilir hatta trafik kilitlenebilir. Trafiğin çok yüksek olduğu durumlarda, sinyalizasyon bu duruma olumlu etki yapabilir.

•Güvenlik: Dönel kavşaktaki sirkülasyon hızı yüksekse diğer yaklaşım kollarındaki taşıtlar kavşağa dahil olacak boşluğu bulamazlar. Sinyalizasyon, dönel kavşak girişini zaman zaman da çıkışını daha iyi düzenler, örülme ve katılım hızını düşürür, sürücülerin reaksiyon göstermesi için daha fazla zaman sağlar ve dönel kavşakta güvenliği yükseltir.

Sinyalizasyon kullanılan dönel kavşaklar ilk defa 1959 yılında İngiltere’de uygulanmış fakat kullanımı İngiltere’de özellikle 1990’dan sonra artmıştır. Ayrıca dönel kavşakların sinyalizasyonu çeşitli şekillerde Almanya, Hollanda, İsveç, İrlanda, Türkiye, Danimarka, Belçika, Fransa, Polonya, Slovenya gibi Avrupa ülkelerinde, Avustralya’da ve Amerika Birleşik Devletleri’nde de kullanılmaktadır (Department for Transport, 2009; Tollazzi 2015). Modern dönel kavşakların sinyalize olarak tasarlanması tavsiye edilmemekle birlikte beklenmedik akım taleplerine karşı sinyalizasyon uygulanabilir (Robinson et al., 2000).

Hallworth’un (1992), sinyalize dönel kavşaklarda kullanılan sinyalizasyon metotlarını özetlediği sınıflandırmaya Tablo 3.3’te yer verilmiştir.

Tablo 3.3. Sinyalize Dönel Kavşakların Kontrol Yöntemleri (Hallworth, 1992)

Tasarım Parametresi	Seçenek	Açıklama
1.Kontrol Çeşidi	Doğrudan	Tüm iç ve dış yaklaşımların sinyalizasyonu (Tüm çatışma noktaları kontrol edilir)
	Dolaylı	Dış trafik yalnızca giriş noktasından belli bir mesafedeki sinyallerle kontrol edilir; sirküle olan trafik kontrol edilmediğinden öncelik sahibidir.
2.Tam Zamanlı/Kısmi Zamanlı	Tam	Sinyalizasyon sürekli çalışır
	Kısmi	Kısmi zamanlıdır, zamanlayıcı veya kuyruk detektörü vasıtasıyla açılır.
3.Tam Kontrol/Kısmi Kontrol	Tam	Tüm kollar sinyal kontrollüdür.
	Kısmi	Bir ya da daha fazla kol öncelik kontrollüdür.

Yaklaşım kollarının tümünü sinyalize etmek yerine özellikle trafik talebinin fazla olduğu bir kola sinyalizasyon sistemi kurmak çoğunlukla çözüm olabilir (Stevens, 2005). Bu şartlarda kullanılacak kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklarla (roundabout metering) tüm yaklaşım kollarının sinyalize edildiği kavşaklara alternatif sunulmaktadır. Böylece gereksiz gecikmeleri azaltmak ve daha ekonomik bir çözüm kullanarak var olan sorunların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar daha çok Avustralya’da

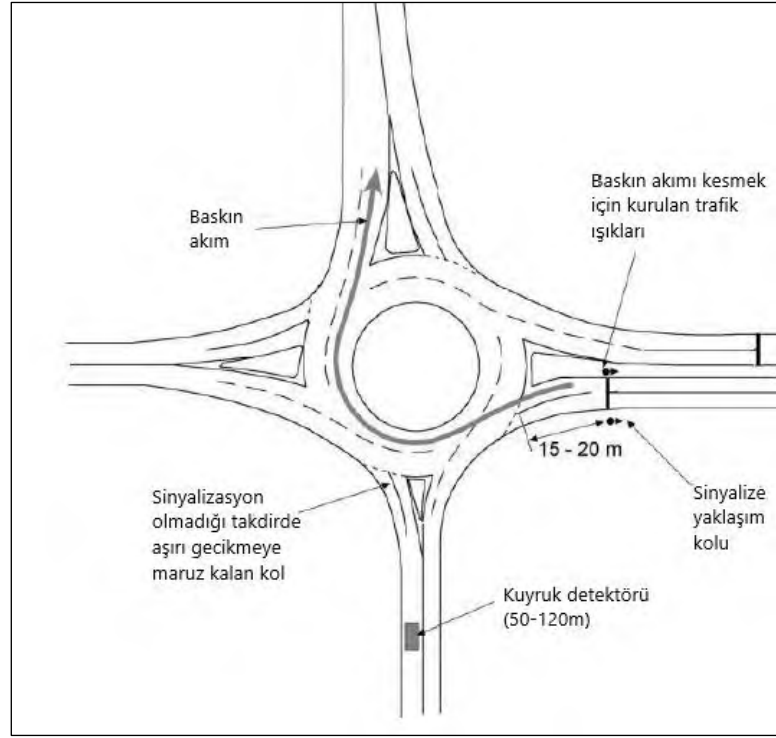
tercih edilmesinin yanı sıra Amerika Birleşik Devletleri ve Yeni Zelanda gibi ülkelerde de örnekleri bulunmaktadır (Sides 2000; Akçelik 2008; NZTA, 2019).

3.9. Kısmi Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklar

Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar, dengesiz akımın sebebiyle oluşan uzun kuyruk mesafelerini ve aşırı gecikme sürelerini sirküle olan akımda boşluklar oluşturarak engeller. Böylece gecikmeye maruz kalan yaklaşım kolu dönel kavşağa katılabilir (Çakıcı, 2014). Özellikle sinyalizasyona kısa süreli ihtiyaç duyulduğunda geometrik iyileştirmelere kıyasla daha ekonomik bir çözüm olabilir (Rodegerdts, 2010). Bu nedenle, kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar daha çok yönel akımların arttığı pik saatlerde kullanılmaktadır. VicRoads'a (2015) göre kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar şu faydaları sağlamaktadır:

- 1-) Makul öncelik paylaşımı adına zirve akımların düzenlenmesi.
- 2-) Yaklaşım kolları arasında daha iyi kuyruk ve gecikme dengesi sağlamak.
- 3-) Bir dönel kavşağın değiştirilmesi yerine ömrünü uzatmak.

Ayrıca VicRoads (2015), kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar için “Zamanla değişim gösteren trafik akımları sebebiyle problemler meydana geldiğinde kısa vadeli bir düzeltme aşaması olarak kabul edilir ve bu nedenle belli noktalarda trafiği proaktif olarak yönetmek adına yeni bir dönel kavşak kontrolünün parçası olabilir” demiştir. Şekil 3.38’de kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak örneğine yer verilmiştir.



Şekil 3.38. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak (VicRoads, 2015)

3.9.1. Kısmi Denetimli Sinyalize Dönel Kavşak Elemanları

Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar, temelde iki elemandan oluşmaktadır. Bunlar sinyalizasyon sistemi ve kuyruk detektörüdür. Kuyruk detektörü, uzun gecikme süreleri ve kuyruk mesafelerinden etkilenmiş olan kavşak koluna kurulur ve bu kavşak koluna kontrol kolu ismi verilir. Bu detektör, tıkanıklık sebebi ile meydana gelen uzun kuyrukların oluşumunun tespiti adına kavşak girişinden belirli bir mesafe önceye yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu mesafe arazi koşullarına göre değişebilecek olsa da genelde 50 ile 120 metre arasındadır. Kritik kuyruk uzunluğu tespit edildiğinde kuyruk detektörü aracılığı ile sinyalizasyon etkinleştirilir. Sinyalizasyon, genelde yoğun trafik akımının katılımını engelleyen yaklaşım koluna yerleştirilir ve bu kola da sinyalize kol adı verilir. Detektörle etkinleştirilen sinyalizasyon aracılığıyla bu baskın akımın bulunduğu yaklaşım koluna kırmızı ışık yanar ve akımın kavşağa dahil olması engellenir. Böylece sirküle olan akımda boşluk oluşturulur ve gecikme yaşayan kolun kavşağa katılması sağlanır. Bu sayede dönel kavşakta oluşan ortalama gecikmede düşüş gözlenir. Kırmızı ışık söndüğünde dönel kavşak konvansiyonel olarak yönetilmektedir. Dönel kavşağın girişinde yer alan yol ver tabelaları ile trafik sinyalleri arasında yeterli boşluk sağlamak için sinyalizasyon, dönel kavşak dur çizgisinden 15 ile 20 metre

öncesine yerleştirilerek sürücülerde oluşabilecek kafa karışıklığının önüne geçilmeye çalışılır (Akçelik 2005; Rodegerts 2010).

Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların sinyalizasyon sistemlerinde genelde iki sarı ve kırmızı olmak üzere iki renkli sinyal kullanılmaktadır. Sinyalizasyon detektör tarafından etkinleştirdiği takdirde önce sarı ışık sonrasında kırmızı ışık yanmaktadır. Sinyalizasyon ihtiyacı duyulmadığı vakitlerde herhangi bir sinyal yanmamaktadır (boş süre). Kimi arazi çalışmalarında kırmızı ışığın yanında yeşil ışık tercih edilmektedir. Yeni Zelanda Ulaştırma Ajansı kısmi denetimli sinyalizasyonda yeşil ışığa yer vermiştir (NZTA, 2011). Ancak yeşil ışık geleneksel sinyal sistemlerinde geçiş hakkı anlamı taşıdığından kullanıcılarda kafa karışıklığına sebebiyet verebilir. Çünkü bu sistemde hiçbir yaklaşım koluna geçiş hakkı verilmez. Taşıtlar kavşağa yaklaştıklarında modern dönel kavşak kurallarına uymak ile yükümlüdür. Bu nedenle yeşil sinyal kullanımına dikkat etmek gerekmektedir. Ayrıca yine kafa karışıklığının önüne geçmek için sinyalizasyonun kurulduğu bölgeye kırmızı sinyalde dur tabelaları konulmaktadır (Main Roads Western Australia, 2015).

Boş sinyal süresi minimum boş sinyal ihtiyacına göre belirlenmekte ya da sinyalize kolda detektör kullanılmış ise sinyalize koldaki trafik aracılığı ile uzatılmaktadır. Kırmızı ışığın başlangıcı ile süresine kontrol yaklaşım kolundaki trafik belirler. Akçelik (2011) ve Fortuijn (2014) yaptıkları çalışmalarda kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların sinyalizasyonunun detaylarına yönelik yaklaşımlarını açıklamıştır. Akçelik (2011), kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların süre analizinin SIDRA'da kullanılan genel devre süresi yöntemlerinin basit bir uygulaması olduğunu belirtmiştir. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklarda devre süresi Denklem 3.2'deki gibi hesaplanır:

$$c_m = F_R + F_B = T_R + I_R + T_B + I_B = R_M + G_M + t_{yB} \quad (3.2)$$

T_R = Denetleyici Kırmızı Süresi

T_B = Denetleyici Boş Süresi

$F_R = T_R + I_R$ = Kırmızı Faz Süresi

$F_B = T_B + I_B$ = Boş Faz Süresi

R_M = Gösterilen Kırmızı Süre (sürücüler tarafından görünen)

$G_M = T_B$ = Gösterilen Boş Süre (sürücüler tarafından görünen)

t_{yB} = Boş Faz için Sarı Süre

I_R = Kırmızı Faz için Yeşiller arası Süre

I_B = Boş Faz için Yeşiller arası Süre.

Fortuijn (2014) sabit süreli kırmızı sinyal süresi için aşağıdaki formülü önermiştir:

$$RT_{sabit} = \left(\frac{L_{AD}}{L_V}\right) \times t_F + t_C - v_r/a_0 \quad (3.3)$$

L_{AD} = Talep detektöründen dönel kavşağa olan mesafe (m)

L_V = Kuyruktaki araçlar arasındaki ortalama mesafe (tampondan tampona) (m)

t_F = Takip aralığı (s)

t_C = Kritik boşluk (s)

v_r = Dönel kavşaktaki hız (m/s)

a_0 = Hızlanma ivmesi. (m/s²)

Önerilen bu formüller haricinde sinyal süreleri için araziden elde edilen gerçek zamanlı verileri kullanarak dinamik çözümler sağlayan ve sabit bir devre süresi içermeyen adaptif (uyarlamalı) sinyalizasyon sistemleri kullanmanın yanı sıra referans değerler göz önünde bulundurularak en iyi sonucu veren değerler de seçilebilir.

Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların temel amacı kavşakta meydana gelen ortalama gecikmeyi azaltmaktır. Fakat kırmızı ışık kullanımı nedeni ile sinyalize edilen yaklaşım kolunda meydana gelen gecikme süresinin artacağı ortadadır. Bu sebeple, sinyal sürelerinin ve detektörün yerleştirileceği konum büyük önem arz etmektedir. Akçelik ve Natalizio tarafından önerilen kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak parametreleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar için önerilen parametreler

Çalışma	Parametre	Önerilen Değer
Natalizio (2005)	Kuyruk detektörü mesafesi	60 m
	Minimum boş süre	20 s
	Minimum kırmızı süre	20 s
	<i>Sinyalize kol</i>	
	Sinyalizasyonun dur çizgisine olan uzaklığı	14-24 m
	Minimum boş sinyal süresi	20-50 s
	Minimum kırmızı sinyal süresi	10-20 s
	Maksimum kırmızı sinyal uzatma süresi	20-60 s
Akçelik (2005)	<i>Kontrol Kolu</i>	
	Detektörün dur çizgisine olan uzaklığı	50-120 m
	Kuyruk detektörü boşluk süresi	3,0-3,5 s
Martin-Gasulla et.al (2016)	Kuyruk detektörü işgaliye süresi	4,0-5,0 s
	<i>Sinyalize kol</i>	
	Sinyalizasyonun dur çizgisine olan uzaklığı	20 m
	Minimum boş sinyal süresi	40 s
	Minimum kırmızı sinyal süresi	15 s
	Maksimum kırmızı süresi	35 s
	<i>Kontrol Kolu</i>	
Detektörün dur çizgisine olan uzaklığı	50 m	
Kuyruk detektörü boşluk süresi	3,5 s	
Kuyruk detektörü işgaliye süresi	4 s	

4. SİMÜLASYON YÖNTEMİ

Simülasyon; fiziksel veya teorik bir sisteme ait mevcut durumun bir bilgisayar modeline yansıtılarak hem mevcut durumu saha haricinde gözlemleyebilen hem de değişik senaryolar altında sistemin nasıl davrandığını görmeyi sağlayan bir modelleme tekniğidir. Temel olarak bir sistemin bilgisayar ortamında taklit edebilecek bir yapay sistem meydana getirme işlemidir. Yapay sistem üzerinde değişik durumların karşılaştırılması yapılarak sistem üzerindeki etkileri tahmin edilebilmektedir. Bu şekilde karşılaşılabilecek çeşitli durumlar tespit edilebilir ve bu durumlara karşı önlem alınabilir.

Trafikte simülasyonun en önemli amacı taşıtların trafik akımı içinde hareket ve davranışlarını inceleyerek bunları görsel olarak simüle etmektir. Şehirlerimizin birçoğunda nüfus yoğunluğu giderek artmaktadır. Buna paralel olarak trafik kazaları, trafik sıkışıklıkları gibi birçok sorun ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlara çözüm olabilmesi amacıyla simülasyon programları kullanılmaktadır. Bu programlarda çeşitli modellemeler yapılarak sonuçlar kıyaslanır ve trafik sorunlarına çözüm önerileri getirilebilir. VISSIM, MITRAM, TRANSIMS, SYNCHRO, SIDRA, AIMSUN gibi programlar simülasyon programlarına örnek olarak sayılabilir.

4.1 Vissim Simülasyon Programı

Vissim, şehir içi ulaşım sistemlerinde hususi taşıtların, toplu taşıma ve transit ulaşım sistemlerinin modellenmesi ve değerlendirilmesi için geliştirilmiş olan mikroskobik bir simülasyon programıdır. PTV GmbH tarafından geliştirilmiş olan bu simülasyon programının kalibrasyonu Karlsruhe Teknik Üniversitesi tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu program ile kent içi kara yolu trafiği ve transit ulaşım sistemleri çeşitli yol ve taşıt konfigürasyonları, trafik ışıkları ve transit durakları gibi parametrelere bağlı olarak analiz edilebilmektedir. Simülasyon sonuçları, trafik kompozisyonu, sinyalizasyon, yol ve kavşak geometrisi, trafik hacmi gibi görüntülerin bilgisayar ortamında canlandırılması; gerçek zamanlı olmadan da ulaşım süresi ya da gecikmeler gibi bir takım analiz verilerinin veri dosyalarına aktarılması suretiyle elde edilmektedir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında, kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların ülkemizde kullanılabilirliği adına Samsun ili İlkadım ilçesi sınırları içerisinde, 100. Yıl Bulvarı üzerinde yer alan ve yerel halk arasında Kilise Kavşağı olarak bilinen bölgedeki iki adet üç kollu hemzemin kavşak incelenmiştir. Sahada elde edilen veriler, kavşakların geometrik özellikleri gibi bilgiler Vissim simülasyon yazılımına girilerek öncelikle mevcut durum analiz edilmiş daha sonra da mevcut durumda yaşanan gecikme ve kuyruk uzunluğu gibi problemleri azaltmak adına modern dönel kavşak ve kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar önerilmiş olup bu kavşaklar kıyaslanmış ve kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların ülkemizdeki kent içi bölgelerde kullanılabilirliği Samsun şehrinde yer alan iki kavşak değerlendirilerek araştırılmıştır.

100. Yıl Bulvarı, doğu-batı aksı üzerinde yer almakta olup Samsun şehrinin Atatürk Bulvarı'ndan sonra en önemli arteri konumundadır. Bu bulvar, Samsun şehrinin merkez ilçeleri olan İlkadım, Atakum ve Canik ilçeleri arasında bağlantı sağlamaktadır. Merkezi konumu itibarıyla birçok konut ve iş yeri 100. Yıl Bulvarı üzerinde ya da çevresinde yer almakta ve şehrin kuzeyi ile güneyinin bağlantısı noktasında önemli bir görev üstlenmektedir.

Bu araştırmaya konu olan Barış Bulvarı Kavşağı ve 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı art arda konumlanmış olduklarından dolayı direkt olarak etkileşim içindedir. İki kavşağın arası yaklaşık olarak 100 metredir. Kavşakların öncesinde ve sonrasında çeşitli noktalarda yaya geçitleri de bulunmaktadır. Her iki kavşakta da özellikle zirve saatlerde uzun kuyruklanma ve gecikmeler görülmekle birlikte zaman zaman trafik kazaları da meydana gelmektedir. Bu durum zaman zaman yerel medyaya da yansımıştır (Bir gün değil her gün aynı rezalet, 2017; Samsun'da trafik kazaları kamerada, 2019). Şekil 5.1'de bölgenin genel bir görünüşüne yer verilmiştir.



Şekil 5.1. Bölgenin havadan görünümü, kavşak noktaları ve çevredeki bazı önemli yerler

5.1. 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı

5.1.1. 19 Mayıs Bulvarı kavşağı mevcut durum hakkında bilgiler

19 Mayıs Bulvarı Kavşağı, 100. Yıl Bulvarı üzerinde yer alan “YOL VER” ve “DUR” kontrollü hemzemin bir kavşaktır. Bu hemzemin kavşağın altında, 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı ve Barış Bulvarı Kavşağı’nı transit geçerek doğu-batı (Canik-Atakum) yönünde kesintisiz bağlantıyı sağlamak amacıyla bir adet alt geçit bulunmaktadır. 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı; 19 Mayıs Bulvarı yönü (kuzey yönü) 2x3 standardında olup her iki kolda sağ şeritler tamamen parka ayrılmıştır. 100. Yıl Bulvarı üzerinde kalan kollardan Canik kolu bir gidiş ve bir geliş şeridine, Atakum kolu 2 gidiş 2 geliş şeridine sahiptir ancak Atakum yönünde yer alan sağ şeritler tamamen parka ayrılmıştır. Bu şeritlerin parka ayrılmasına rağmen zaman zaman kısa süreli ikinci sıra parklar da görülmektedir.

Bu kavşak; 100. Yıl Bulvarı boyunca doğu-batı (Canik-Atakum) ve tersi yönde (Atakum-Canik) hareket eden trafik akımlar, Canik yönünden gelen trafiğin U dönüşü yaparak aynı yöne dönmesi sonucunda oluşan akım ile 19 Mayıs Bulvarı’ndan 100. Yıl Bulvarı’na (Kuzey-Doğu, Kuzey-Batı) ve tersi yönde hareket eden trafik akımlarından oluşmaktadır. Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4’te kavşağa ait görsellere yer verilmiştir.



Şekil 5.2. 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı



Şekil 5.3. 19 Mayıs Bulvarı'ndan kavşağın görünümü



Şekil 5.4. Atakum yönünden kavşağın görünümü

5.2. Barış Bulvarı Kavşağı

5.2.1. Barış Bulvarı kavşağı mevcut durum hakkında bilgiler

Barış Bulvarı Kavşağı, 100. Yıl Bulvarı üzerinde yer alan “YOL VER” ve “DUR” kontrollü hemzemin bir kavşaktır. Bu hemzemin kavşağın altında, 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı ve Barış Bulvarı Kavşağı’nı transit geçerek doğu-batı (Canik-Atakum) yönünde kesintisiz bağlantıyı sağlamak amacıyla bir adet alt geçit bulunmaktadır. Barış Bulvarı Kavşağı; Barış Bulvarı yönü (güney yönü) 2x2 standardında olup her iki kolda sağ şeritler tamamen parka ayrılmıştır. 100. Yıl Bulvarı üzerinde kalan kollardan Atakum kolu bir gidiş ve bir geliş şeridine, Canik kolu 2 gidiş 2 geliş şeridine sahiptir ancak Canik kolunda yer alan sağ şeritler tamamen parka ayrılmıştır. Bu şeritlerin parka ayrılmasının yanı sıra zaman zaman kısa süreli ikinci sıra parklar da görülmektedir.

Bu kavşak; 100. Yıl Bulvarı boyunca doğu-batı (Canik-Atakum) ve tersi yönde (Atakum-Canik) hareket eden trafik akımlar, Atakum yönünden gelen trafiğin U dönüşü yaparak aynı yöne dönmesi sonucunda oluşan akım ile Barış Bulvarı’ndan 100. Yıl Bulvarı’na (Güney-Doğu, Güney-Batı) ve tersi yönde hareket eden trafik akımlarından oluşmaktadır.



Şekil 5.5. Barış Bulvarı Kavşağı



Şekil 5.6. Canik kolundan kavşağın görünümü

Manuel sayımlar sonucu elde edilen trafik hacimleri taşıt kompozisyonuna ve güzergahlarına göre dağıtılmış olup araç/saat cinsinden Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Mevcut duruma ait 1 saatlik trafik sayımı

Akım Yönü	Otomobil	Hafif Ticari Taşıt	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	TOPLAM
1-2 Yönü	303	110	41	7	15	476
1-4 Yönü	396	177	28	6	11	618
3-2 Yönü	129	20	22	4	16	191
3-4 Yönü	46	14	10	0	3	73
3-6 Yönü	220	118	12	2	3	355
5-4 Yönü	83	29	45	3	20	180
5-6 Yönü	338	95	22	6	10	471
2-7 Yönü	146	30	22	1	7	206
2-9 Yönü	286	100	41	10	24	461
8-5 Yönü	228	52	23	4	12	319
8-7 Yönü	49	21	5	0	5	80
8-9 Yönü	61	18	10	4	8	101
10-5Yönü	232	82	46	5	18	383
10-7 Yönü	129	81	0	16	6	232
5-11 Yönü	39	10	2	0	0	51

5.4. Kavşakların Mevcut Durum Analizi

Kavşak kolları Şekil 5.8’de gösterildiği üzere numaralandırılmış olup her koldan trafiğe katılan akımlar şu şekilde ele alınmıştır.

- **1-2 Yönü:** 19 Mayıs Bulvarı’ndan Atakum istikametinde 100. Yıl Bulvarı’na doğru sağa dönen taşıtlar

- **1-4 Yönü:** 19 Mayıs Bulvarı’ndan Canik istikametinde 100. Yıl Bulvarı’na doğru sola dönen taşıtlar

- **3-2 Yönü:** 100. Yıl Bulvarı üzerinde Canik istikametinden Atakum istikametine doğru direkt hareket eden taşıtlar

- **3-4 Yönü:** 100. Yıl Bulvarı üzerinde Canik istikametinden gelip U dönüşü yaparak tekrar Canik istikametine hareket eden taşıtlar

- **3-6 Yönü:** Canik istikametinden gelip 100. Yıl Bulvarı’ndan 19 Mayıs Bulvarı’na doğru sağa dönen taşıtlar

- **5-4 Yönü:** 100. Yıl Bulvarı üzerinde Barış Bulvarı Kavşağı istikametinden Canik istikametine doğru direkt hareket eden taşıtlar

• 5-6 Yönü: Atakum istikametinden gelip 100. Yıl Bulvarı'ndan 19 Mayıs Bulvarı'na doğru sola dönen taşıtlar

• 2-7 Yönü: 100. Yıl Bulvarı üzerinde 19 Mayıs Bulvarı istikametinden Atakum istikametine doğru direkt hareket eden taşıtlar

• 2-9 Yönü: Canik istikametinden gelip 100. Yıl Bulvarı'ndan Barış Bulvarı'na doğru sola dönen taşıtlar

• 8-5 Yönü: 100. Yıl Bulvarı üzerinde Atakum istikametinden Canik istikametine doğru direkt hareket eden taşıtlar

• 8-7 Yönü: 100. Yıl Bulvarı üzerinde Atakum istikametinden gelip U dönüşü yaparak tekrar Atakum istikametine hareket eden taşıtlar

• 8-9 Yönü: Atakum istikametinden gelip 100. Yıl Bulvarı'ndan Barış Bulvarı'na doğru sağa dönen taşıtlar

• 10-5 Yönü: Barış Bulvarı'ndan Canik istikametinde 100. Yıl Bulvarı'na doğru sağa dönen taşıtlar

• 10-7 Yönü: Barış Bulvarı'ndan Atakum istikametinde 100. Yıl Bulvarı'na doğru sola dönen taşıtlar

• 5-11 Yönü: 100. Yıl Bulvarı'ndan Kadı Caddesi'ne doğru sağa dönen taşıtlar

Manuel sayımlar sonucu elde edilen yaklaşım kollarına ait trafik hacimleri incelendiğinde en yoğun yaklaşım kolunun 1 numaralı kol olan 19 Mayıs Bulvarı kolu olduğu gözlenmekte olup bu yaklaşım koluna ait trafik hacmi 1094 taşıt/saat'tir. Bunun yanı sıra 3 numaralı yaklaşım kolu olan Canik kolu ve 10 numaralı yaklaşım kolu olan Barış Bulvarı kolundan yakın sayıda taşıt kavşaklara katılmakta olup bu yaklaşım kollarına ait trafik hacimleri sırasıyla 619 taşıt/saat ve 615 taşıt/saat'tir. En düşük trafik hacmi ise 8 numaralı yaklaşım kolu olan Atakum koluna ait olup bu yaklaşım koluna ait trafik hacmi 508 taşıt/saat'tir.

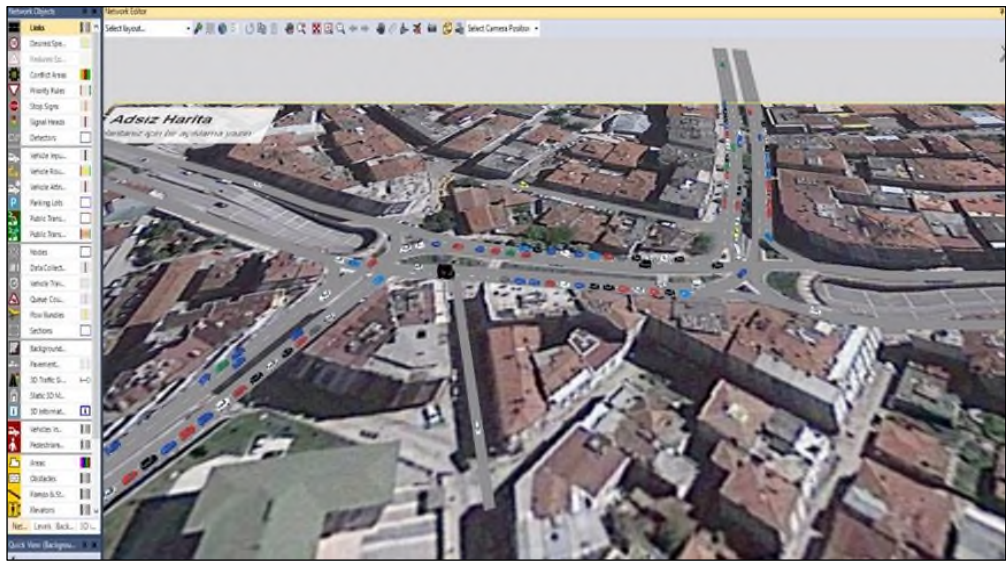
5.4.1. Mevcut durumun Vissim simülasyon programı ile analizinin yapılması

Kavşaklarda yapılan trafik sayım sonuçlarından elde edilen taşıt sayısı ile taşıtların hızları, çakışma noktaları, düşük hız bölgeleri, taşıt kompozisyonları, taşıt güzergahları ve parklanmalar da programa girilerek sahada gözlenen mevcut durum simüle edilmiştir. Vissim programında kavşakların analizi için kullanılan taşıt kompozisyonlarına ait kabul edilen hız parametreleri aşağıda yer alan Tablo 5.2'de

yer verilmiştir. Şekil 5.9’da ise mevcut durumun Vissim programı üzerinde gösterimi olan model yer almaktadır.

Tablo 5.2. Taşıt kompozisyonlarına ait hız parametreleri

Taşıt Kompozisyonu	İstenilen Hız (km/sa)
Otomobil	60 km/sa
Otobüs	50 km/sa
Hafif Yüklü Ticari Taşıt	60 km/sa
Minibüs	60 km/sa
Kamyonet	50 km/sa



Şekil 5.9. Mevcut durumun Vissim modeli

Mikrosimülasyon programlarında oluşturulan modellerin kalibre edilmesi, sahada gözlenen sonuçların modele aktarıldığını görmek ve modelin doğruluğunu test etmek açısından gereklidir. Modelin kalibrasyonu, sahada yapılan trafik sayımlarının modelde kavşağa katılan trafik hacmiyle kıyaslanmasıyla yapılmıştır. Bu kalibrasyon için GEH istatistiği kullanılmıştır. GEH istatistiği trafik mühendisliği alanında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. GEH istatistiği formülüne aşağıda yer verilmiştir.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (5.1)$$

Denklem 5.1’de yer alan M değeri modelden elde edilen trafik hacmini, C değeri ise sahada gözlenen gerçek trafik hacmini ifade etmektedir. Bu istatistiğe göre hesaplanan GEH değerinin 5’ten küçük olması beklenir. Bu değer 5’ten küçük ise

sahada gözlenen trafik hacmi ile modelden elde edilen trafik hacimleri uyumlu olduğu ve simülasyon verilerinin analiz çalışmalarında kullanılabileceği anlamına gelmektedir. GEH değeri 5 ile 10 arasında çıkarsa veri setinin tekrar gözden geçirilmesi gerekir. Eğer bu değer 10'dan büyük ise kullanılması tavsiye edilmez. Tablo 5.3'te mevcut duruma ait GEH sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 5.3. Çalışmaya Ait GEH Değerleri

Kavşak Kolu	Sahada Gözlenen Trafik	Simülasyon Sonuçları	GEH Değeri	Kriter (GEH < 5)
1 Nolu Kol	1094	1034	1,84	Evet
3 Nolu Kol	619	551	2,81	Evet
8 Nolu Kol	508	550	1,83	Evet
10 Nolu Kol	615	614	0,04	Evet

Kavşak kolları daha önce Şekil 5.8'de yer aldığı üzere numaralandırılmıştır. GEH değerini bulmak için gerekli olan ve modelden elde edilen trafik hacmi Vissim programında yer alan veri toplama noktalarından alınmıştır. GEH istatistiğine göre hesaplanan tüm değerler beşten küçük çıkmıştır. Bu sonuca göre simülasyondan elde edilen veri seti gerekli olan kriteri sağlamıştır. Böylece sonuçların gerçekte gözlenen durum ile uyumlu olduğu ve yapılacak analizlerde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Yapılan simülasyon sonucu Vissim programında bulunan veri toplama noktaları ve kuyruk sonuçları sekmelerinden elde edilmiş mevcut duruma ait ortalama kuyruk uzunluğu ve ortalama hız verileri aşağıda yer alan Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.4. Mevcut Duruma Ait Kuyruk Uzunluğu Verileri

Kuyruk Detektörü	Ortalama Kuyruk Uzunluğu (m)	Maksimum Kuyruk Uzunluğu (m)
1 Nolu Kol	86,72	165,66
2 Nolu Kol	28,74	104,73
3 Nolu Kol	27,20	215,40
5 Nolu Kol	15,27	110,36
8 Nolu Kol	6,54	88,73
10 Nolu Kol	47,08	203,18

Tablo 5.5. Mevcut Duruma Ait Ortalama Hız Verileri

Veri Toplama Noktası	Geçen Taşıt Sayısı (t/s)	Ortalama Hız (km/s)
1 Nolu Kol	1034	19,95
2 Nolu Kol	681	21,75
3 Nolu Kol	551	22,86
5 Nolu Kol	678	19,72
8 Nolu Kol	550	19,13
10 Nolu Kol	614	14,11

Tablo 5.6’da ise tüm güzergahlara ait taşıt seyahat süresi verilerine yer verilmiştir. Bu verilerin elde edilmesi için kavşakların giriş noktalarından 100 metre öncesine ve çıkış noktalarından 100 metre sonrasına detektörler yerleştirilmiştir. Tablo 5.7’de yine taşıt seyahat süresi ölçümü ile elde edilen gecikme verileri yer almaktadır. Tablo 5.8’de düğüm noktalarından elde edilmiş kavşaklara ait hizmet seviyeleri, Tablo 5.9’da ise kavşaklarda tüketilen akaryakıt miktarı ve emisyon değerlerine yer verilmiştir. Gecikme verileri, ana katılım kolları olan 19 Mayıs Bulvarı yaklaşım kolu (1 numaralı kol), Canik yaklaşım kolu (3 numaralı kol), Atakum yaklaşım kolu (8 numaralı kol) ve Barış Bulvarı yaklaşım kolundan (10 numaralı kol) trafiğe katılan taşıtları içeren detektörlerden toplanmıştır.

Tablo 5.6. Mevcut Duruma Ait Seyahat Süreleri

Güzergah	Seyahat Süresi (sn)	Seyahat Edilen Mesafe (m)
1-4 Güzergahı	122,45	214,72
1-7 Güzergahı	139,27	294,57
1-9 Güzergahı	164,39	310,09
3-4 Güzergahı	40,13	212,38
3-6 Güzergahı	84,73	215,90
3-7 Güzergahı	85,35	306,31
3-9 Güzergahı	192,79	321,83
8-4 Güzergahı	155,13	313,54
8-6 Güzergahı	135,85	325,48
8-7 Güzergahı	33,54	219,86
8-9 Güzergahı	68,25	209,52
10-4 Güzergahı	144,69	308,75
10-6 Güzergahı	196,60	320,68
10-7 Güzergahı	89,87	220,07

Tablo 5.7. Mevcut Duruma Ait Gecikme Verileri

Kavşak Kolu	Gecikme (sn)
1 Nolu Kol	77,14
3 Nolu Kol	34,79
8 Nolu Kol	22,00
10 Nolu Kol	55,27

Tablo 5.8. Kavşakların Hizmet Seviyesi

Kavşak	Gecikme (sn)	Hizmet Seviyesi
19 Mayıs Bulvarı	47,40	E
Barış Bulvarı	28,68	D

Tablo 5.9. Akaryakıt Tüketimi ve Emisyon Verileri

Kavşak	CO Emisyonu (g)	NO Emisyonu (g)	Yakıt Tüketimi (litre)
Barış Bulvarı	3590,17	698,52	194,40
19 Mayıs Bulvarı	10451,93	2033,57	565,96

Yukarıda paylaşılan veriler ve saha gözlemleri ışığında en uzun ortalama kuyruk ve en fazla gecikme 1 numaralı yaklaşım kolu olan 19 Mayıs Bulvarı kolunda gözlemlenmiştir. Ayrıca 19 Mayıs Bulvarı'ndan sağa dönen taşıtlar, 3 numaralı kol olan Canik yönünden gelen taşıtları da etkilemiş, bu sebeple Canik yaklaşım kolundan kavşağa katılan taşıtlar da hem bu yaklaşım kolu üzerinde hem de 2 numaralı kol üzerinde oluşan kuyruklara maruz kalmış ve bu yöndeki seyahat süreleri de uzamıştır. Bu durumun yanı sıra 10 numaralı kol olan Barış Bulvarı Kavşağı kolundan kavşağa katılan taşıtların da uzun kuyruklara ve gecikme sürelerine maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Bu sorunların çözümü adına bu iki kavşağın yerine modern dönel kavşak önerilmiştir. Modern dönel kavşak önerisiyle taşıtların kavşaklara dahil olması için gerekli boşlukların sağlanarak mevcut durumun iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Şekil 5.10'da Vissim modelinden elde edilmiş ve kavşaklardaki yoğunluğu gösteren bir görsele yer verilmiştir.



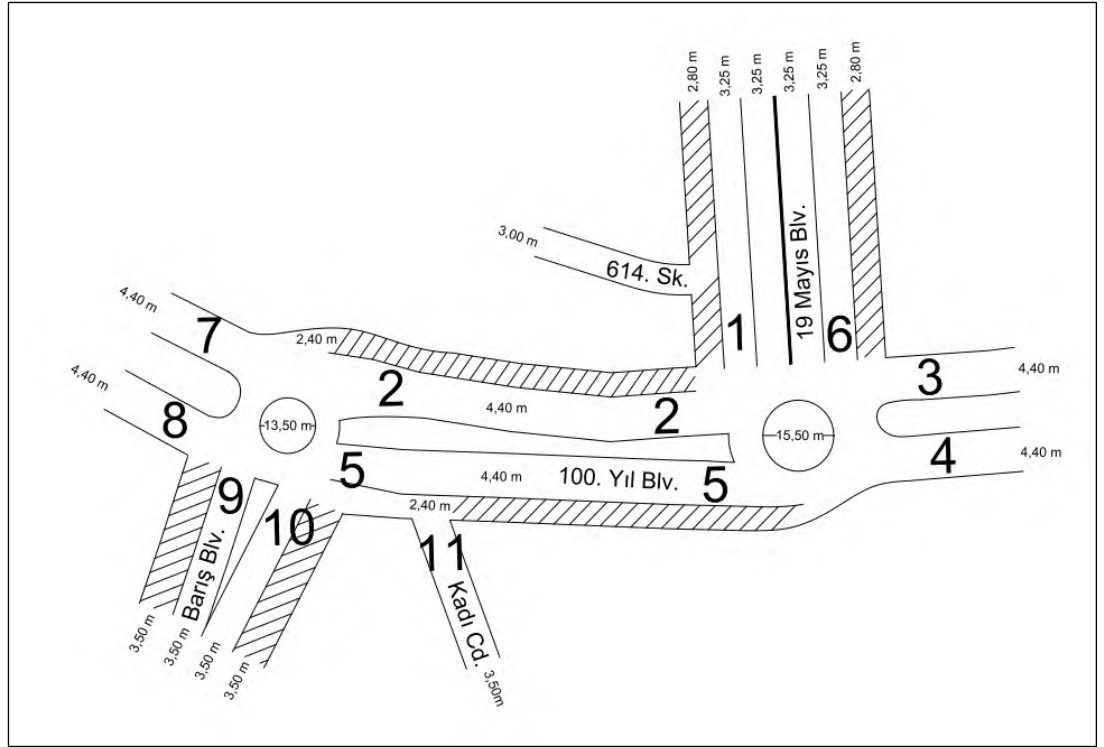
Şekil 5.10. Vissim Modelinde Mevcut Durumdaki Yoğunluk

5.5. Önerilen Senaryo 1: Modern Dönel Kavşak

Daha önce de bahsedildiği üzere uzun kuyruk mesafelerini ve gecikme sürelerini düşürmek adına mevcut kavşaklar yerine kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklardan önce geçiş durumunu görmek, kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar ve mevcut durum ile karşılaştırmak adına öncelikle modern dönel kavşaklar önerilmiştir. Bu öneri doğrultusunda Vissim programında bölgeye iki adet modern dönel kavşak yerleştirilmiş ve yeniden modelleme yapılmıştır. Bu çerçevede hazırlanan yeni model ışığında simülasyon tekrarlanmıştır. Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de önerilen durumun Vissim programında modellenmiş haline ve basit bir krokisine yer verilmektedir.



Şekil 5.11. Vissim Üzerinde Modern Dönel Kavşak Senaryosuna Ait Model



Şekil 5.12. Modern Dönel Kavşak Senaryosunu Gösteren Basit Kroki

Önerilen senaryoda, bölgedeki yapılaşmanın çok yoğun olması sebebiyle küçük ada çapına sahip bir modern dönel kavşak kullanılmıştır. Şekil 5.11’de yer verildiği gibi model üzerinde 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı için 15,50 m ada çapına sahip bir modern dönel kavşak yerleştirilirken Barış Bulvarı Kavşağı için 13,50 m ada çapına sahip bir modern dönel kavşak yerleştirilmiştir. Ayrıca sağa dönecek taşıtların modern dönel kavşağa dahil olmadan dönüşlerini tamamlaması için kullanılan ve mevcut durumda 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı’nda bulunan ve Canik yaklaşım kolundan (3 numaralı kol) 19 Mayıs Bulvarı koluna (6 numaralı kol) hareketi sağlayan sağa dönüş bypass şeridi uygulaması önerilen senaryoda korunmuş olup Barış Bulvarı Kavşağı’nda geometrik yetersizlikler sebebiyle bypass şeridi uygulaması korunamamıştır. Bu sebeple Barış Bulvarı Kavşağı yaklaşım kolundan (10 numaralı kol) trafiğe katılıp 100. Yıl Bulvarı’na doğru (5 numaralı kol) sağa dönecek taşıtlar modern dönel kavşağı kullanmak zorundadır.

Önerilen modern dönel kavşak senaryosunda, ada etrafındaki sirkülasyon şeridi bölgenin geometrik şartlarının sınırlı olması sebebiyle her iki kavşak için de 3,5 metre seçilmiştir.

Modern dönel kavşak senaryosuna ait Vissim modelinde, mevcut durum simülasyonunda da olduğu gibi sayımlardan elde edilen mevcut trafik hacmi ile

taşıtların hızları, çakışma noktaları, düşük hız bölgeleri, taşıt kompozisyonları, taşıt güzergahları ve parklanmalar da Vissim programında önerilen senaryo modeline girilerek önerilen bu yeni senaryo simüle edilmiştir. Modern dönel kavşaklarda bulunan çakışma noktaları, modern dönel kavşakların kullanımında bir kural olan ada etrafında dönen araçlara yol ver kuralı uygulanacak şekilde düzenlenmiştir.

Modern dönel kavşakların geometrisi, sürücülerin kavşak girişlerinde hızlarını azaltması mantığı göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Bu çerçevede analizler yapılırken kavşak girişlerinde ve merkez ada etrafında sirküle olan taşıtların hız değerleri sınırlandırılmıştır. Vissim programında oluşturulan modelde, modern dönel kavşakların merkezi adalarına düşük hız bölgeleri atanmış olup bu bölgelere ait sınırlandırılmış hız değerleri Tablo 5.10'da gösterilmiştir.

Tablo 5.10. Sınırlandırılmış Hız Değerleri

Taşıt Cinsi	Sınırlandırılmış Hız Değeri (km/s)
Otomobil	25 km/s
Otobüs	15 km/s
Hafif Yüklü Ticari Taşıt	25 km/s
Minibüs	20 km/s
Kamyonet	15 km/s

Modern dönel kavşak senaryosundaki kavşak kolları daha önce Şekil 5.8'de de gösterildiği gibi numaralandırılmıştır. Kavşak kollarında bir değişiklik olmaması sebebiyle kol numaralarında herhangi bir değişikliğe gidilmemiştir. Numaralandırılmış kavşak kolları Şekil 5.12'deki basit krokide gösterilmiştir.

Yapılan simülasyon sonucu Vissim programında bulunan veri toplama noktaları ve kuyruk sonuçları sekmelerinden elde edilmiş önerilen senaryoya ait ortalama kuyruk uzunluğu ve ortalama hız verileri aşağıda yer alan Tablo 5.11 ve Tablo 5.12'de verilmiştir.

Tablo 5.11. Modern Dönel Kavşak Senaryosuna Ait Kuyruk Uzunluğu Verileri

Kuyruk Detektörü	Ortalama Kuyruk Uzunluğu (m)	Maksimum Kuyruk Uzunluğu (m)
1 Nolu Kol	4,93	44,02
2 Nolu Kol	15,41	132,53
3 Nolu Kol	6,94	120,04
5 Nolu Kol	48,27	175,06
8 Nolu Kol	21,99	123,39
10 Nolu Kol	100,05	213,26

Tablo 5.12. Modern Dönel Kavşak Senaryosuna Ait Ortalama Hız Verileri

Veri Toplama Noktası	Geçen Taşıt Sayısı (tş/sa)	Ortalama Hız (km/sa)
1 Nolu Kol	1150	21,35
2 Nolu Kol	725	15,70
3 Nolu Kol	622	25,51
5 Nolu Kol	636	13,22
8 Nolu Kol	540	15,39
10 Nolu Kol	555	11,15

Tablo 5.13'te ise tüm güzergahlara ait taşıt seyahat süresi verilerine yer verilmiştir. Bu verilerin elde edilmesi için mevcut durum modelinde de yapıldığı gibi modern dönel kavşakların giriş noktalarından 100 metre öncesine ve çıkış noktalarından 100 metre sonrasında detektörler yerleştirilmiştir. Tablo 5.14'te taşıt seyahat süresi ölçümü ile elde edilen gecikme verileri yer almaktadır. Gecikme verileri, ana katılım kolları olan 19 Mayıs Bulvarı yaklaşım kolu (1 numaralı kol), Canik yaklaşım kolu (3 numaralı kol), Atakum yaklaşım kolu (8 numaralı kol) ve Barış Bulvarı yaklaşım kolundan (10 numaralı kol) trafiğe katılan taşıtları içeren detektörlerden toplanmıştır. Tablo 5.15'te kavşakların hizmet seviyesine, Tablo 5.16'da ise akaryakıt tüketimleri ve emisyon değerlerine yer verilmiştir.

Tablo 5.13. Modern Dönel Kavşak Senaryosuna Ait Taşıt Seyahat Süreleri

Güzerghah	Seyahat Süresi (sn)	Seyahat Edilen Mesafe (m)
1-4 Güzerghahı	38,96	234,36
1-7 Güzerghahı	168,76	291,56
1-9 Güzerghahı	138,60	313,56
3-4 Güzerghahı	35,59	251,94
3-6 Güzerghahı	27,46	219,10
3-7 Güzerghahı	74,53	328,60
3-9 Güzerghahı	105,99	350,59
8-4 Güzerghahı	83,69	320,21
8-6 Güzerghahı	188,07	346,14
8-7 Güzerghahı	52,34	246,10
8-9 Güzerghahı	136,35	208,25
10-4 Güzerghahı	174,35	314,04
10-6 Güzerghahı	290,72	339,97
10-7 Güzerghahı	107,93	239,93

Tablo 5.14. Modern Dönel Kavşak Senaryosuna Ait Gecikme Süreleri

Kavşak Kolu	Gecikme (sn)
1 Nolu Kol	13,42
3 Nolu Kol	16,59
8 Nolu Kol	47,32
10 Nolu Kol	78,32

Tablo 5.15. Kavşakların Hizmet Seviyesi

Kavşak	Gecikme (sn)	Hizmet Seviyesi
19 Mayıs Bulvarı	14,84	B
Bariş Bulvarı	35,71	D

Tablo 5.16. Modern Dönel Kavşak Senaryosuna Ait Akaryakıt Tüketimi ve Emisyon Değerleri

Kavşak	CO Emisyonu (g)	NO Emisyonu (g)	Yakıt Tüketimi (litre)
Bariş Bulvarı	4183,84	814,02	226,55
19 Mayıs Bulvarı	2366,67	460,47	128,15

Modern dönel kavşak senaryosuna ait sonuçları içeren çizelgeler incelendiğinde mevcut durumda en yoğun yaklaşım kolu olduğu tespit edilen 1 numaralı kolun gecikme ve kuyruk mesafelerinde (19 Mayıs Bulvarı Kolu) modern dönel kavşak uygulamasından sonra dramatik düşüşler gözlenmiş ancak 8 numaralı yaklaşım kolu (Atakum kolu) ve 10 numaralı yaklaşım kolunda (Bariş Bulvarı Kolu) bu parametrelerde başarı sağlanamamıştır. Aşağıda yer alan Şekil 5.14'te modern dönel kavşak Senaryosuna ait Vissim modelinde yoğunluğu gösteren bir görsele yer verilmiştir.



Şekil 5.13. Modern Dönel Kavşak Senaryosunda Oluşan Yoğunluk

5.6. Önerilen Senaryo 2: Kısmi Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklar

Mevcut durumda yaşanan uzun kuyruk mesafelerini ve gecikme sürelerini düşürmek adına modern dönel kavşak senaryosuna, tüm yaklaşım kollarında başarı sağlayamamıştır. Bu sebeple bütün ağıdaki performans parametrelerini iyileştirmek adına kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar önerilmiştir. Bu öneri doğrultusunda öncelikle modern dönel kavşak senaryosunda en uzun kuyrukların oluştuğu yaklaşım kolları tespit edilmiştir. Bu yaklaşım kollarına üzerinde bekleyen taşıtları tespit edebilmesi adına birer taşıt detektörü yerleştirilmiştir. Daha sonra en uzun kuyrukların oluştuğu yaklaşım kollarının modern dönel kavşağa girişini engelleyen akımlar da tespit edilmiş olup bu akımların kavşağa dahil olduğu yaklaşım kollarına da sinyal başlıkları yerleştirilmiştir. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşağın çalışması adına Vissim programının içinde yer alan VisVap modülü ile basit bir sinyal kontrol mantığı oluşturulmuştur. Bu mantıkta, temel yarı trafik uyarmalı sinyalizasyon konsepti göz önünde bulundurulmuş ve detektör üzerinde bekleyen taşıt tespit edildikten sonra sinyalizasyon sisteminin tetiklenmesi ve devreye girmesi hedeflenmiştir. Detektörün tetiklenmesi için ise bir detektör işgaliye süresi belirlenmiştir. Detektörün tetiklenmediği sürelerde devamlı yeşil ışık yanacaktır. Ancak bu yeşil ışık yarı trafik uyarmalı sinyalizasyonun aksine yandığı yaklaşım koluna geçiş hakkı tanımamaktadır. Bu sinyalizasyon sadece yaklaşım kollarındaki akımları düzenleyerek modern dönel kavşağa katılım için gerekli olan boşlukları sağlamak için kullanılmaktadır. Taşıtlar, kavşak girişinde modern dönel kavşak kurallarına uymak zorundadır. Anılan sebepler dolayısıyla çakışma noktaları yine modern dönel kavşak kuralları gözetilerek düzenlenmiştir.

Kısmi denetimli sinyalizasyon dönel kavşakların uygulaması için gerekli olan minimum kırmızı ve yeşil süreler, detektör uzunluğu, detektörün kavşağın girişine olan mesafesi, sinyalizasyonun kavşağın girişine olan mesafesi gibi parametreler literatürde yer alan bilgiler göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Optimum senaryoyu bulabilmek adına çeşitli detektör mesafeleri ve minimum kırmızı ve yeşil süreler ile alt senaryolar oluşturulmuş ve simülasyon çalıştırılmıştır. Mevcut literatür de dikkate alınarak seçilen ve çalışmada kullanılan parametrelerin değerlerine Tablo 5.17’de yer verilmiştir.

Tablo 5.17. Kullanılan Parametreler ve Değerleri

Parametre	Kullanılan Değer
Sinyalizasyon Koldaki Trafik Lambası	
Dur çizgisine olan mesafe (m)	15
Minimum yeşil süre (sn)	15; 20; 25; 30; 35; 40
Minimum kırmızı süre (sn)	15; 20; 25; 30; 35; 40
Kontrol Kolundaki Taşıt Detektörü	
Dur çizgisine olan mesafe (m)	20; 30; 40
Detektör uzunluğu (m)	4,5
Detektör işgal süresi (sn)	4

Önerilen senaryo 1’deki modern dönel kavşak modeli Tablo 5.17’te yer alan parametreler ile yenilenmiş ve simülasyon her alt senaryo için tekrarlanmıştır. Yapılan simülasyonlarda optimum sonuçları veren sinyal süreleri ve detektör mesafeleri aranmıştır. Bu kapsamda optimum sonuçlar, detektörün dur çizgisine mesafesinin 40 m olduğu ve sinyal sürelerinin minimum 30 saniye yeşil ve 30 saniye kırmızı olduğu senaryoda elde edilmiş olup bu senaryoya ait sonuçlar Tablo 5.18, 5.19, 5.18 ve 5.20 ve 5.21 ve 5.22’de yer almaktadır.

Tablo 5.18. Optimum Senaryoya Ait Kuyruk Uzunluğu Verileri

Kuyruk Detektörü	Ortalama Kuyruk Uzunluğu (m)	Maksimum Kuyruk Uzunluğu (m)
1 Nolu Kol	14,67	80,64
2 Nolu Kol	12,32	73,63
3 Nolu Kol	4,57	62,42
5 Nolu Kol	22,91	107,37
8 Nolu Kol	13,25	108,87
10 Nolu Kol	15,15	114,19

Tablo 5.19. Optimum Senaryoya Ait Gecikme Verileri

Kavşak Kolu	Gecikme (sn)
1 Nolu Kol	20,03
3 Nolu Kol	13,96
8 Nolu Kol	29,61
10 Nolu Kol	33,31

Tablo 5.20. Kavşakların Hizmet Seviyeleri

Kavşak	Gecikme (sn)	Hizmet Seviyesi
19 Mayıs Bulvarı	14,52	B
Barış Bulvarı	16,38	B

Tablo 5.21. Optimum Senaryoya Ait Taşıt Seyahat Süresi Verileri

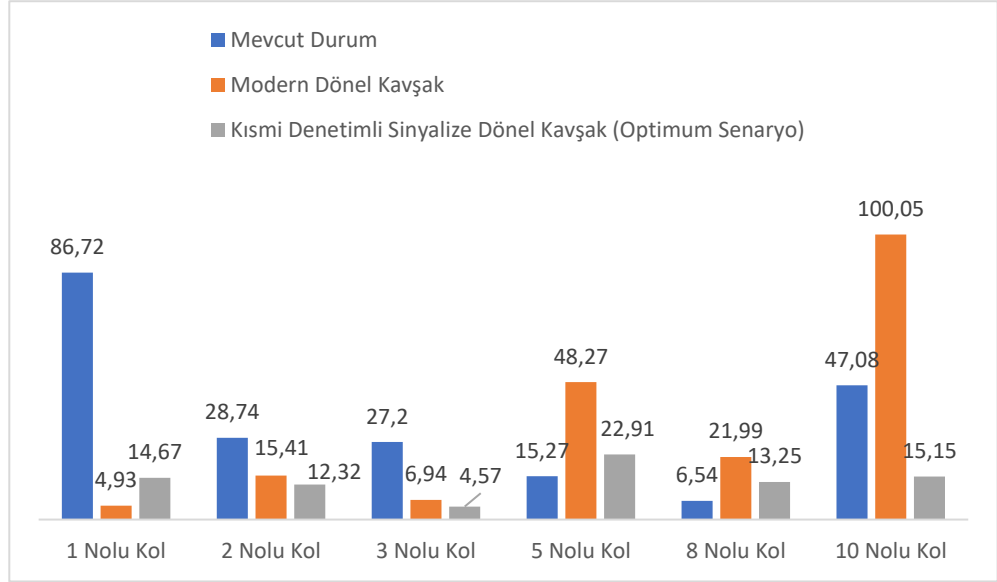
Güzergah	Seyahat Süresi (sn)	Seyahat Edilen Mesafe (m)
1-4 Güzergahı	52,11	234,36
1-7 Güzergahı	147,96	291,56
1-9 Güzergahı	147,75	313,56
3-4 Güzergahı	35,73	251,94
3-6 Güzergahı	24,85	219,10
3-7 Güzergahı	61,51	328,60
3-9 Güzergahı	117,92	350,59
8-4 Güzergahı	69,27	320,21
8-6 Güzergahı	189,15	346,14
8-7 Güzergahı	45,35	246,10
8-9 Güzergahı	87,03	208,25
10-4 Güzergahı	124,27	314,04
10-6 Güzergahı	218,95	339,97
10-7 Güzergahı	74,17	239,93

Tablo 5.22. Optimum Senaryoya Ait Akaryakıt Tüketimi ve Emisyon Değerleri

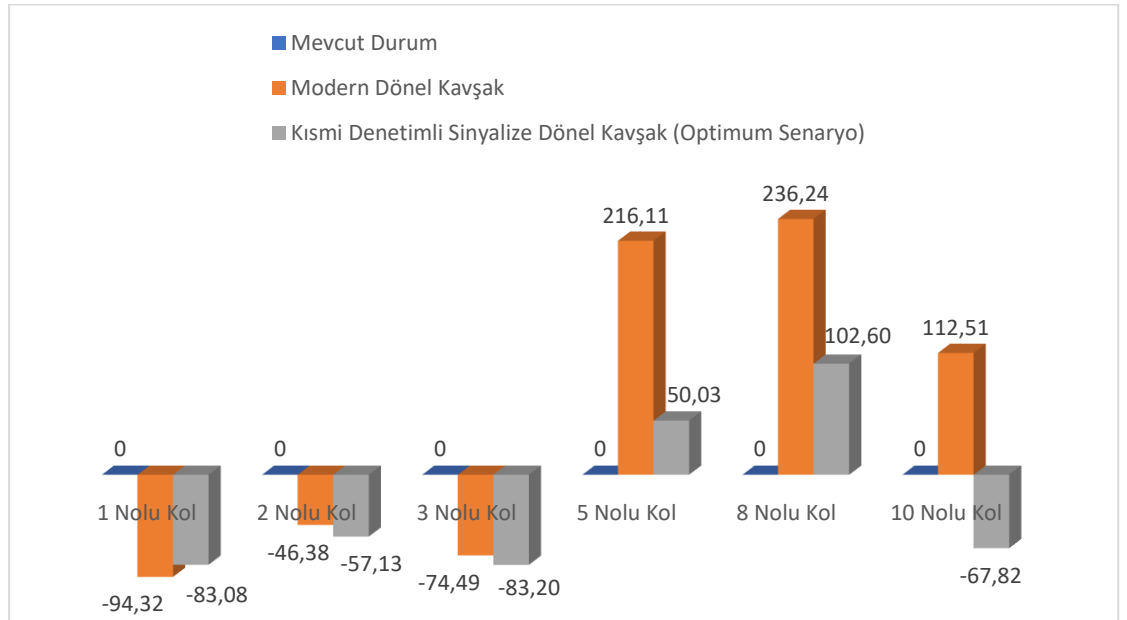
Kavşak	CO Emisyonu (g)	NO Emisyonu (g)	Yakıt Tüketimi (litre)
Barış Bulvarı	2142,51	416,85	116,01
19 Mayıs Bulvarı	2310,17	449,47	125,09

Vissim simülasyon programından elde edilen sonuçlara göre mevcut durum, modern dönel kavşak senaryosu ile kısmi denetimli sinyalizasyon dönel kavşak senaryoları durumun daha iyi anlaşılması ve değerlendirilmesi adına karşılaştırılmış olup grafikler ile gösterilmiştir.

Şekil 5.15'te ortalama kuyruk uzunlukları yer alırken Şekil 5.17'de taşıt seyahat sürelerine yer verilmiş, Şekil 5.18'de ana kollara ait ortalama gecikme süreleri, Şekil 5.20 ve 5.22'de ise akaryakıt tüketimi ve emisyon değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.16, 5.19, 5.21 ve 5.23'te ise bu verilere ait yüzdesel değişim grafiklerine yer verilmiştir.



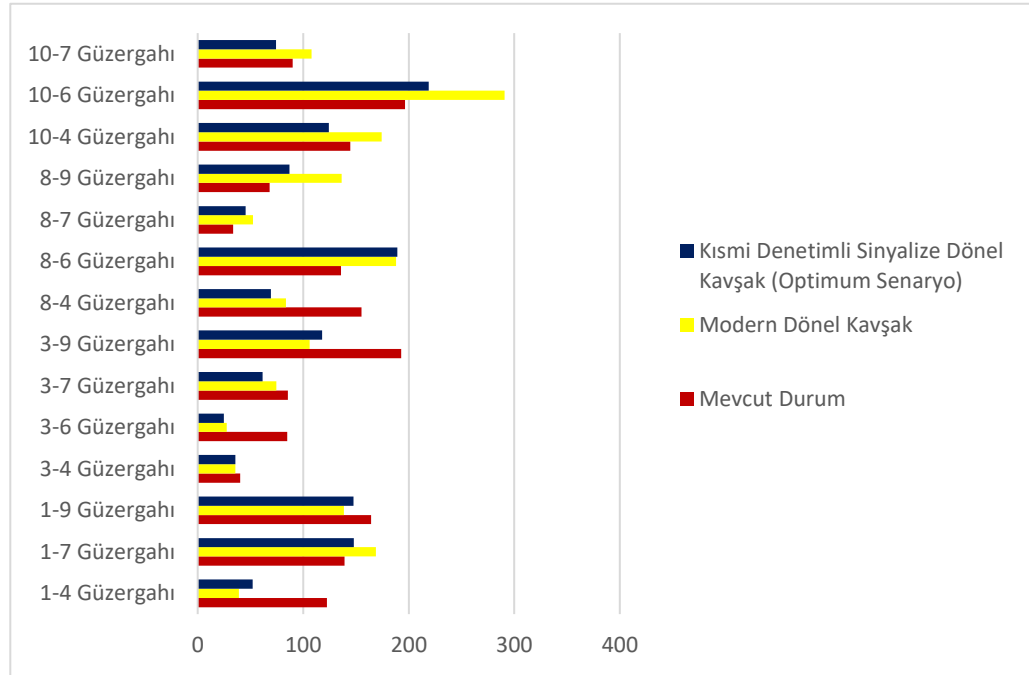
Şekil 5.14. Ortalama Kuyruk Uzunlukları



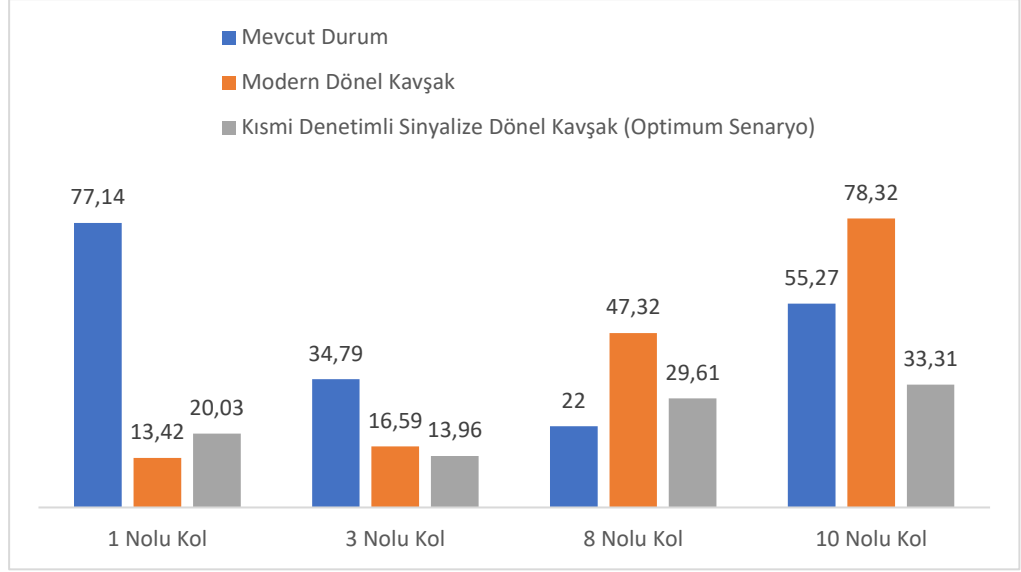
Şekil 5.15. Ortalama Kuyruk Uzunluklarının Yüzdesel Değişimi

Şekil 5.15 ve 5.16 incelendiğinde ortalama kuyruk uzunluklarında en başarılı senaryo optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosu olmuştur. Mevcut durumun yerine önerilen ilk senaryo olan modern dönel kavşak

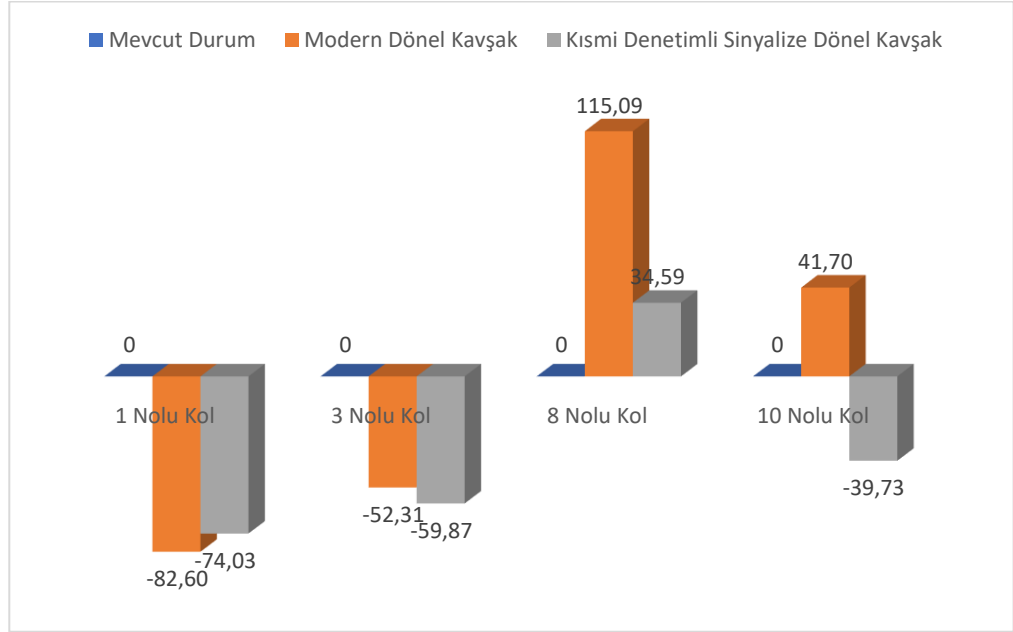
senaryosunun ortalama kuyruk uzunluğu bazında 1, 2 ve 3 nolu kollarda sırasıyla %94,32, %46,38 ve %74,49 iyileşme sağladığı ancak 5, 8 ve 10 numaralı kollarda ise %216,11, %236,24, %112,51 artışa sebep olduğu gözlemlenmektedir. Ancak önerilen ikinci senaryo olan optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosu ile mevcut durum kıyaslandığında 5 ve 8 numaralı kollar hariç tüm kollarda ortalama kuyruk uzunluklarında iyileşme gözlemlenmiş olup bu iyileşmeler sırasıyla %83,08, %57,13, %83,20 ve %67,82 olarak hesaplanmıştır. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosunda 1 ve 8 numaralı kollar sinyalize olmasına rağmen 1 numaralı kolda mevcut duruma kıyasla ciddi bir başarı elde edilmiş, modern dönel kavşak senaryosuna yakın bir ortalama kuyruk uzunluğu elde edilmiştir. 8 numaralı kolda ise ortalama kuyruk uzunluğu mevcut duruma kıyasla bekleneceği üzere artmış ancak makul bir değerde kalmıştır.



Şekil 5.16. Taşıt Seyahat Süreleri



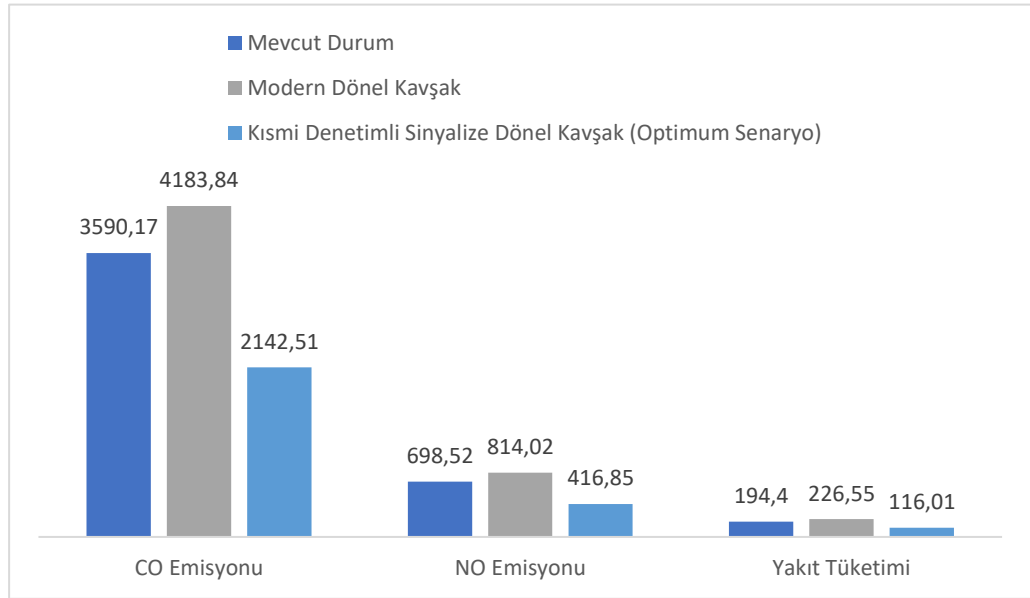
Şekil 5.17. Ortalama Gecikme Süreleri



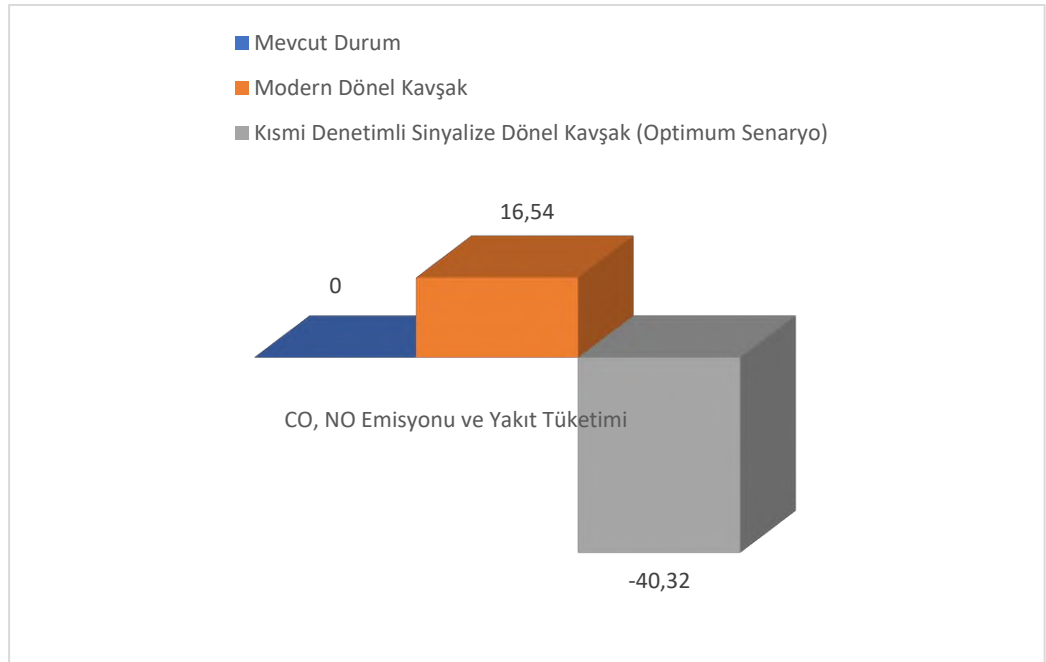
Şekil 5.18. Ortalama Gecikme Sürelerindeki Yüzdesele Değişim

Şekil 5.18 ve Şekil 5.19 incelendiğinde modern dönel kavşak senaryosu mevcut duruma kıyasla ortalama gecikme parametresinde 1 ve 3 numaralı kollarda sırasıyla %82,60 ve %52,31 iyileşme sağlamış olsa da 8 ve 10 numaralı kollarda ortalama gecikme sırasıyla %115,09 ve %41,70 artmıştır. Optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosu ise mevcut duruma kıyasla 8 numaralı kol hariç diğer tüm kollarda iyileşme sağlamış olup bu değerler sırasıyla %74,03, %59,87 ve %39,73 olarak hesaplanmıştır. 8 numaralı kolda ise ortalama gecikmede %34,59 artış gözlemlenmiştir. Ayrıca optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosu

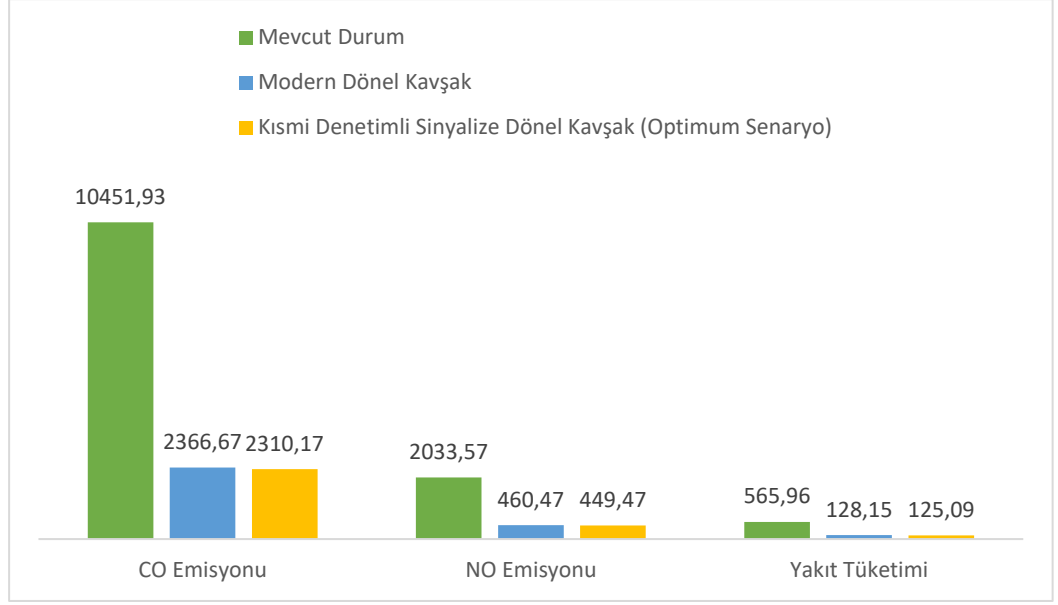
1 numaralı kol haricinde modern dönel kavşak senaryosuna göre daha iyi sonuçlar sunmuştur.



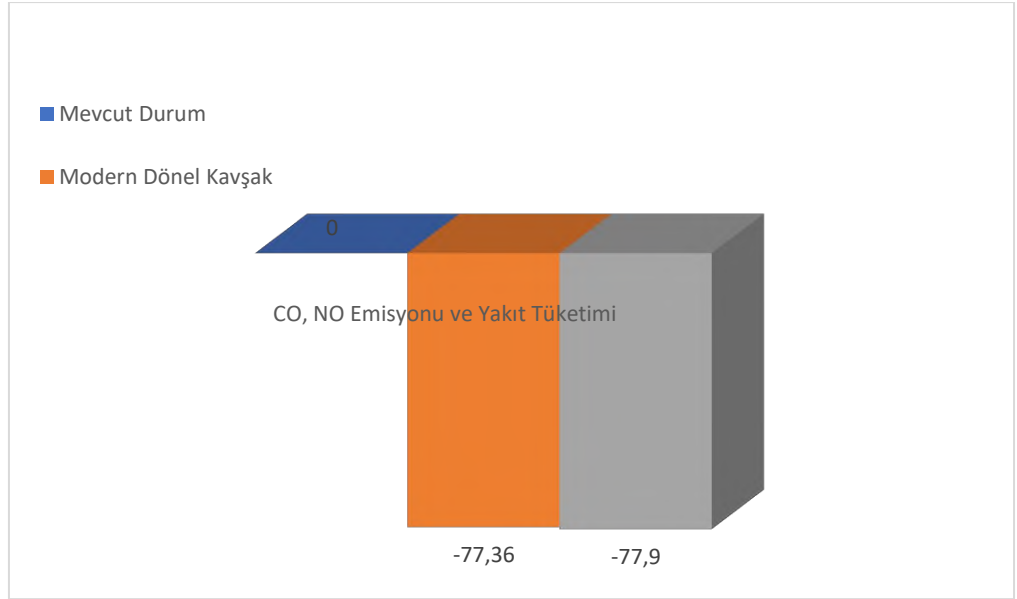
Şekil 5.19. Barış Bulvarı için Yakıt Tüketimi ve Emisyon Verileri



Şekil 5.20. Barış Bulvarı Kavşağı Emisyon Değerleri ve Yakıt Tüketimindeki Yüzselsel Değişim



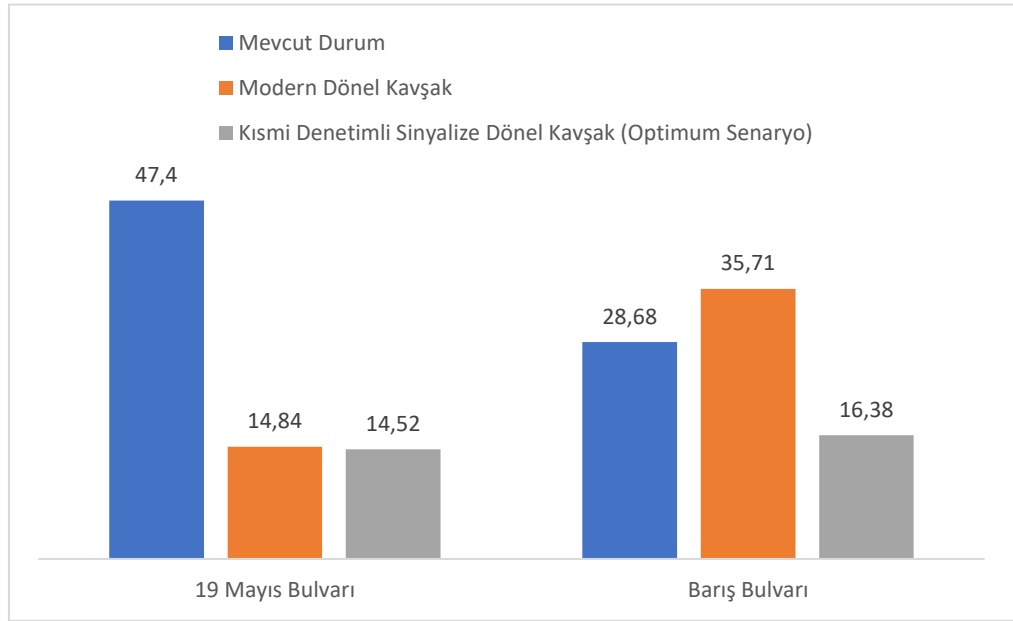
Şekil 5.21. 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı için Yakıt Tüketimi ve Emisyon Verileri



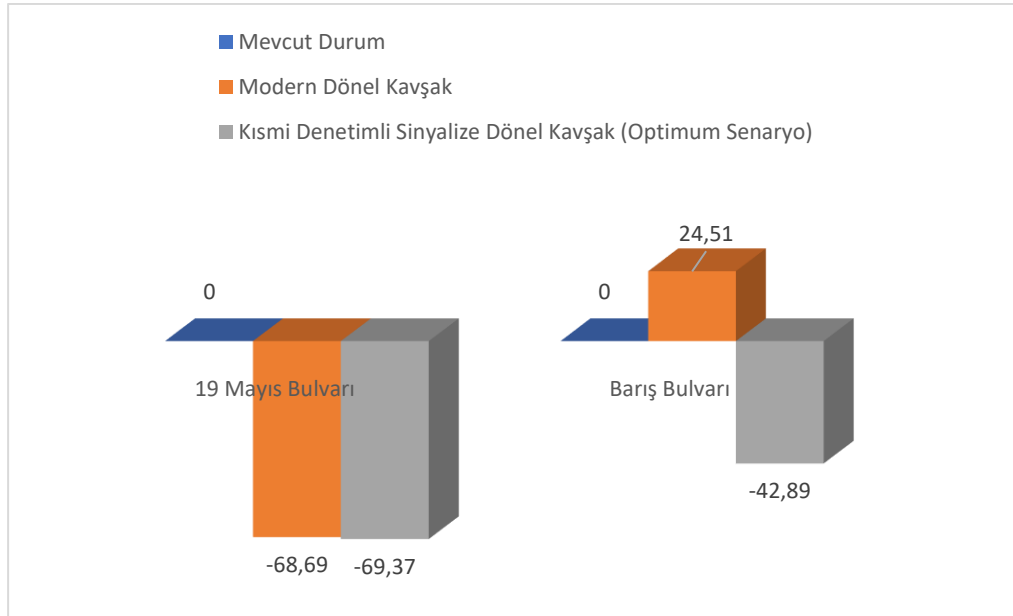
Şekil 5.22. 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı Emisyon Değerleri ve Yakıt Tüketimindeki Yüzdese Değişim

Şekil 5.20 ve Şekil 5.21 incelendiğinde Barış Bulvarı Kavşağı'nda modern dönel kavşak senaryosu mevcut duruma kıyasla emisyon ve yakıt tüketimi parametrelerinde iyileşme sağlayamamıştır. Bu parametrelerde modern dönel kavşak senaryosu altında %16,54 düzeyinde artış meydana gelmiştir. Şekil 5.22 ve 5.23'te görüldüğü üzere 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı'nda %77,36 düzeyinde iyileşme gözlemlenmiştir. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosu ise hem Barış Bulvarı Kavşağı hem 19 Mayıs Bulvarı kavşağında her iki senaryodan daha başarılı

sonuçlar vermiş, mevcut durum ile kıyaslandığında Barış Bulvarı Kavşağı'ndaki iyileşme %40,32, 19 Mayıs Bulvarı'nda ise %77,90 seviyesinde gözlemlenmiştir.



şekil 5.23. Kavşak Genelinde Ortalama Gecikme



şekil 5.24. Kavşak Genelinde Ortalama Gecikmenin Yüzdesel Değişimi

şekil 5.24 ve 5.25'te görüldüğü üzere modern dönel kavşak senaryosu 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı'nda mevcut duruma göre başarı sağlamış ancak Barış Bulvarı Kavşağı'nda başarı gösterememiştir. İki senaryo kıyaslandığında 19 Mayıs Bulvarı'nda kavşak genelindeki ortalama gecikme %68,69 seviyesinde bir düşüş göstermiş ancak Barış Bulvarı'nda %24,51 düzeyinde bir artış gözlemlenmiştir.

Optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosu ise her iki kavşakta da başarı sağlamış olup bu başarı 19 Mayıs Bulvarı Kavşağı'nda %69,37, Barış Bulvarı Kavşağı'nda %42,89 düzeyinde gözlemlenmiştir.

6. SONUÇLAR

Bu yüksek lisans çalışmasında Samsun ili 100. Yıl Bulvarı üzerinde yer alan “DUR” ve “YOL VER” kontrollü 19 Mayıs Bulvarı ve Barış Bulvarı hemzemin kavşakları incelenmiştir. Çalışma kapsamında kavşakların bulunduğu bölgede trafik sayımları yapılmış ve bu trafikler yönlerine ve taşıt sınıflarına göre dağıtılarak kavşakların trafik hacimleri elde edilmiştir. Daha sonra şerit genişlikleri, taşıtların hızları, taşıt kompozisyonları, taşıt güzergahları, parklanmalar gibi saha verileri Vissim simülasyon yazılımına girilerek öncelikle mevcut durum modellenmiş, bu model sahadan elde edilen trafik hacimleri yardımı ile kalibre edilmiştir. Kalibre edilen modelden trafik ağındaki taşıtların ortalama kuyruk uzunlukları, taşıtların gecikmeleri, kavşakların hizmet seviyeleri, taşıtların ortalama seyahat süreleri, emisyon ve yakıt tüketimi verileri elde edilmiştir. Sonrasında kalibre edilen modelde geometrik değişiklikler yapılarak hemzemin kavşaklar yerine modern dönel kavşaklar yerleştirilmiş ve simülasyon yenilenmiştir. Ardından bu modern dönel kavşaklarda en uzun kuyrukların meydana geldiği kavşak kollarına kuyruk detektörü, bu kavşak kolunun dönel kavşağa girişini engelleyen kola ise sinyalizasyon yerleştirilmiştir. Çeşitli sinyal süreleri ve kuyruk detektörü mesafesiyle alternatif kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryoları oluşturulmuş ve bu alternatif senaryolardan optimum sonucu veren senaryo araştırılmıştır. Simülasyon verilerine göre optimum sonuçları sunan senaryo detektörün dur çizgisine mesafesinin 40 m olduğu ve sinyal sürelerinin minimum 30 saniye yeşil ve 30 saniye kırmızı olduğu senaryo olarak tespit edilmiştir. Elde edilen optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosunun kavşak performansına etkisini araştırmak amacıyla mevcut durum senaryosu sonuçları ve modern dönel kavşak senaryosu sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Ortalama kuyruk uzunluğu sonuçları incelendiğinde modern dönel kavşak senaryosu 1, 2 ve 3 nolu kollarda sırasıyla %94,32, %46,38 ve %74,49 iyileşme sağlamasına rağmen 5, 8 ve 10 numaralı kollarda %216,11, %236,24, %112,51 artışa neden olmuştur. Optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosu ise

mevcut duruma göre 1, 2, 3 ve 10 nolu kollarda %83,08, %57,13, %83,20 ve %67,82 iyileşme sağlamış, sadece 5 ve 8 nolu kollarda %50,03 ve %102,60'lık artış meydana gelmiştir. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosu sadece 1 nolu kolda modern dönel kavşak senaryosunun gerisinde kalmış, modern dönel kavşak senaryosu 1 nolu kolda mevcut duruma göre %94,32 iyileşme sağlarken kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar %83,08 iyileşme sağlamıştır. 1 nolu koldaki bu sonucun, kolda bulunan sinyalizasyon sebebiyle ortaya çıktığı ortadadır.

Ortalama gecikme sonuçları incelendiğinde, modern dönel kavşak senaryosu mevcut durum ile kıyaslandığında 1 ve 3 numaralı kollarda sırasıyla %82,60 ve %52,31 iyileşme sağlamış olsa da 8 ve 10 numaralı kollarda ortalama gecikmede sırasıyla %115,09 ve %41,70 artış gözlemlenmiştir. Optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosu ise mevcut duruma kıyasla sadece 8 numaralı kolda mevcut durumdan daha düşük performans göstermiş, gecikme değeri %34,59 artmıştır. Diğer tüm kollarda iyileşme sağlamış olup bu değerler sırasıyla %74,03, %59,87 ve %39,73 olarak hesaplanmıştır. 8 numaralı kolda ise ortalama gecikmede %34,59 artış gözlemlenmiştir. Optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosu modern dönel kavşak senaryosuna kıyasla ortalama kuyruk uzunluğu sonuçlarına benzer şekilde sadece 1 nolu kolun sinyalizasyonundan dolayı gerisinde kalmış olsa da başarılı sonuçlar ortaya koymuştur.

Yakıt tüketimi ve emisyon değerleri her iki kavşak için ayrı değerlendirilmiş, modern dönel kavşaklar Barış Bulvarı Kavşağı'nda mevcut durumdan daha kötü değerler sunmuştur. Mevcut durum ile kıyaslandığında yakıt tüketimi ve emisyon değerleri bu kavşak için %16,54 artmıştır. Optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosu ise mevcut duruma göre %40,32 iyileşme sağlamıştır.

19 Mayıs Bulvarı Kavşağı'nda yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinde modern dönel kavşak senaryosu ve optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosunda yakın sonuçlar elde edilmiş olup mevcut duruma kıyasla sırasıyla %77,36 ve %77,9 seviyesinde iyileşme gözlemlenmiştir.

Kavşak genelindeki ortalama gecikme sonuçları her iki kavşak için ayrı değerlendirilmiştir. Bu parametrenin sonuçlarına bakıldığında Barış Bulvarı Kavşağı'nda modern dönel kavşak senaryosu, mevcut durumdan geride kalmış olup

ortalama gecikme %24,51 düzeyinde artmıştır. Optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosu ise mevcut duruma göre %42,89 seviyesinde iyileşme sağlamıştır.

19 Mayıs Bulvarı Kavşağı'nda kavşak genelindeki ortalama gecikme için hem modern dönel kavşak senaryosu hem de optimum kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak senaryosunda yakın sonuçlar elde edilmiş olup mevcut duruma göre sırasıyla %68,69 ve %69,37 düzeyinde iyileşme gözlemlenmiştir.

Optimum kısmi denetimli sinyalizasyon senaryosu, bu çalışma çerçevesinde kuyruk detektörünün dur çizgisine mesafesinin 40 metre, sinyal sürelerinin 30 saniye kırmızı ve 30 saniye yeşil olduğu senaryoda elde edilmiştir. Kuyruk detektörünün dur çizgisine uzaklığının Natalizio'nun (2005) çalışmasında önerdiği 60 metre, Akçelik (2005) ve Martin-Gasulla et. al (2016)'nın çalışmalarında önerdiği 50 metre optimum referans değerlerinden farklılık göstermektedir. Bu çalışmada izole kavşak yerine art arda konumlanmış, birbiriyle etkileşim içinde olan iki kavşağın kullanılmasından ileri geldiği düşünülmektedir. 30'ar saniyelik sinyal süreleri ise aynı çalışmalarda önerilen minimum ve maksimum değerlerin içinde kaldığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların kentsel alanlarda modern dönel kavşakların yetersiz kaldığı durumlarda dahi başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Böylece, kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların kentsel alanlarda yeni bir çözüm olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir. Ülkemizde kullanılan trafik adalarının tüm yaklaşım kollarının sinyalize edilerek kullanılması da göz önünde bulundurulduğunda gerek kurulum aşamasında gerek işletme sürecinde kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar daha ekonomik bir alternatif olarak tercih edilebilir.

Bu çalışmada yol ağındaki yaya trafiği simülasyona dahil edilmemiştir. Çalışmaya yaya trafiği de dahil edilerek çalışma daha ileri bir seviyeye taşınabilir. Ayrıca adaptif bir sinyalizasyon mantığı ile kavşak kollarındaki sinyal sürelerinin optimizasyonu iyileştirilebilir.

KAYNAKÇA

- AASHTO (2018). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 7th Edition*. The American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Green Book, Washington DC.
- Abdelfatah A. and Alozn M. (2019). "Comparing Roundabout and Metered Roundabout Performance under Different Traffic Conditions". *International Journal of Stuctural and Civil Engineering Research*. 178-182.
- Akçelik R. (2004). "Roundabouts with Unbalanced Flow Patterns". *ITE Annual Meeting and Exhibit*, Lake Buena Vista, Florida.
- Akçelik R. (2005). "Capacity and Performance Analysis of Roundabout Metering Signals". *TRB National Roundabout Conference*, Vail, Colorado.
- Akçelik R. (2006). "Operating Cost, Fuel Consumption and Pollutant Emission Savings at a Roundabout with Metering Signals". *ARRB 22nd Conference*, Canberra, Australia.
- Akçelik R. (2008). "An Investigation of the Performance of Roundabouts with Metering Signals". *TRB National Roundabout Conference*, Kansas City, Missouri, USA.
- Akçelik R. (2011). "Roundabout Metering Signals: Capacity, Performance, and Timing". *6th International Symposium on Highway Capacity*, TRB, Stockholm, Sweden.
- An H.K., Yue W.L., and Stazic B. (2017a). "Dual Signal Roundabout Evaluation in Adelaide Using SIDRA and AIMSUN". *Road & Transport Research: A Journal of Australian and New Zealand Research and Practice*, 26(2).
- An H.K., Yue W.L., and Stazic B. (2017b). "Estimation of Vehicle Queuing Lengths at Metering Roundabouts". *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 4, 545-554.
- Aydemir T. ve Tanyel S. (2005). "Çok Şeritli Dönel Kavşaklar Üzerinde OD Matrisinin Etkisi". *6. Ulaştırma Kongresi*, 23-25 Mayıs, İstanbul.
- Ayfer M.Ö. (1977). *Trafik Sinyalizasyonu*. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası Yayın No: 226, Ankara.
- Bared J., Prosser W. and Esse C. (1997). "State-of-the-Art Design of Roundabouts". *Journal of the Transportation Research Board*, 1579, 1-10.
- Beşiroğlu F.I. (2017). *Samsun İli Hafif Raylı Sistem Hemzemin Geçitlerinde Mikrosimülasyon Modelleme Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, İstanbul.
- Buasali A. (2017). *Broadening Understanding of Roundabout Operation Analysis: Planning-Level Tools and Signal Application*. Civil Engineering Theses, Dissertations, and Student Research. 113. University of Nebraska - Lincoln, USA.
- Çakıcı Z. (2014). *Sinyalize Dönel (Yuvarlakada) Kavşakların Tasarım Esaslarının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- Department for Transport. (2009). *Local Transport Note 1/09, Signal Controlled Roundabouts*.
- Duan Y., Qu X., Easa S. and Yan Y. (2018). "Optimizing Total Entry Delay at Roundabouts with Unbalanced Flow: A Dynamic Strategy or Smart Metering". *IET Intelligent Transport Systems*. 13. 485-494. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5180>

- Erol D. (2018). *Kentiçi ışıklı ve dönel kavşak uygulamalarının performans kriterlerine etkisi: Denizli örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Fernandes P., Teixeira J., Guarnaccia C., Bandeira J.M., E. Macedo E. and M.C. Coelho M.C. (2018). “The Potential of Metering Roundabouts: Influence in Transportation Externalities”. *Transportation Research Record*, 2672(25), 21–34.
- Federal Highway Administration. (2021). Intersection Safety. <https://highways.dot.gov/research/research-programs/safety/intersection-safety>. (Erişim tarihi: 20.04.2022).
- Flannery A., Datta T.K. (1996). “Modern Roundabouts and Traffic Crash Experience in United States”. *Transportation Research Record*, 1553(1), 103–1091.
- Fortuijn L. G. H. (2014). “Robustness of Roundabout Metering Systems (RMS)”. *Transportation Research Board 4th International Roundabout Conference*, Seattle, USA.
- Geers D. G., Tyler P., Hengst B., Huang E. and Quail D. (2009). “Enhanced Roundabout Metering”. *16th ITS World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems*, Stockholm, Sweden.
- Hallworth M. S. (1992). “Signalling Roundabouts”. *Traffic Engineering and Control*, 33.6, 354–363.
- Hummer J. E., Milazzo II J. S., Schroeder B., and Salamadi K. (2014). “Potential for Metering to Help Roundabouts Manage Peak Period Demands in The United States”. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2402, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., USA, 56–66.
- Janssens, R. (1994). “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, October 3-14.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2007). *Karayolu Trafik Güvenliği El Kitabı*. Trafik Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2016). *Karayolları Tasarım El Kitabı*. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2018). *Modern Dönel Kavşaklar Planlama, Tasarım ve Uygulama Rehberi*. Stratejik Planlama Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2019). *Karayolu Sinyalizasyon Sistemleri*. Akıllı Ulaşım Sistemleri Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2021a). *Trafik Kazaları Özeti*. Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı, Ankara. (Erişim Tarihi: 1 Mart 2022). <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/TrafikKazalariOzeti2020.pdf>
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (2021b). *Karayolu Planlama Bilgileri El Kitabı*. Stratejik Planlama Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. (t.y.). *Modern Dönel Kavşak Kullanımı*. (Erişim Tarihi: 10 Mart 2022). <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/moderndonelkavsak.pdf>
- Krogscheepers J., Roebuck C. (2000). “Unbalanced Traffic Volumes at Roundabouts”. *Fourth International Symposium on Highway Capacity*, Hawaii, USA.

- Mahmood K. (2016). *Improving Roundabout Performance Using Roundabout Metering Technique*. Electronic Thesis or Dissertation. University of Akron.
- Main Roads Western Australia. (2015). *Guidelines for the Selection of Intersection Control*.
- Martin-Gasulla M., Garcia A., Moreno A.T. (2016a). "Benefits of Metering Signals at Roundabouts with Unbalanced Flow: Patterns in Spain". *Transportation Research Record*, 2585, 20-28.
- Martin-Gasulla M., Garcia A., Moreno A.T. and Llorca C. (2016b). Capacity and Operational Improvements of Metering Roundabouts in Spain. *Transportation Research Procedia*, 15, 295-307.
- Meydan net, Samsun'daki Trafik Kazaları Kamerada. (28 Eylül 2019). (Erişim tarihi: 4 Nisan 2022). <http://meydannet.com/haber/samsundaki-trafik-kazalari-kamerada-83539.html>
- Murat Y.Ş. (2001). *Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği ile Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, Türkiye.
- Murat Y.Ş. (2012). *Trafik Mühendisliği Ders Notları*. Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
- Mosslemi M. (2008). *Using Metering Signals at Roundabouts with Unbalanced Flows to Improve the Traffic Condition: The Case Study of Kannik Area in Stavanger*. Dissertation. Retrieved from <http://liu.diva-ortal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A139594&dswid=5231>
- Namlı R. (2015). "Köprülü Kavşaklar ve Trafik Güvenliği". *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 31 (2), 129-134.
- Natalizio E. (2005). "Roundabouts with Metering Signals". *ITE Annual Meeting*, Melbourne, Victoria, Australia.
- New Zealand Transport Agency. (2011). *Traffic Note 60*. (Erişim Tarihi: 5 Nisan 2022). <https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/trafficnotes/docs/traffic-note-60.pdf>
- New Zealand Transport Agency. (2019). *SH2 Elizabeth Street roundabout metering*. (Erişim tarihi: 28 Şubat 2022). <https://www.nzta.govt.nz/projects/sh2-elizabeth-street-roundabout-metering>
- Rodegerdts L., Bansen J., Tiesler C., Knudsen J., Myers E., Johnson M., Moule M., Persaud B., Lyon C., Hallmark S., Isebrands H., Crown R., Guichet B. and O'Brien A. (2010): *NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide, 2nd ed*. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., USA.
- Özinal Y. ve Uz V. (2021). "Dönel Kavşak Geometrik Elemanlarının Kavşak Güvenliği Üzerine Etkisinin Literatür Işığında Değerlendirilmesi". *Politeknik Dergisi*, 24 (1), 283-297. DOI: 10.2339/politeknik.630947
- Robinson B.W., Rodegerdts L., Scarborough W., and Kittelson W. (2000). *Roundabouts: An Informational Guide*. Federal Highway Administration, Virginia, USA.
- Samsun haber, Bir gün değil her gün aynı rezalet. (12 Mayıs 2017). Erişim tarihi: 4 Nisan 2022. <https://www.samsunhaber.com/ozel-haber/bir-gun-degil-her-gun-ayni-rezalet-h18432.html>
- Sides K. (2000). "Assessing the Clearwater Beach Entryway Roundabout". *Institute of Transportation Engineers 2000 Annual Meeting and Exhibit*, Tennessee, USA.
- Stevens C. R. (2005). "Signals and Meters at Roundabouts". *The 2005 Mid-continent Transportation Research Symposium*, Ames, Iowa, USA.

- Sweroad. (2001). *Karayolu İyileştirme ve Trafik Güvenliği Projesi, Ulusal Trafik Güvenliği Programı Ana Rapor*. Ankara.
- Taekratok T. (1998). *Modern Roundabouts for Oregon*. Oregon Department of Transportation Research Unit. Rapor No: OR-RD-98-17.
- Tanyel S. (2001). *Türkiye'deki Dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tollazzi T. (2015). *Alternative Types of Roundabouts at Development Phases*. Alternative Types of Roundabouts. Springer Tracts on Transportation and Traffic, 6. Springer, Cham, Switzerland.
- Transportation Research Board. (2010). *HCM 2010: Highway Capacity Manual*. Washington DC.
- Tunç A. (2003). *Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları*. Asil Yayın Dağıtım Ltd.Şti., 655-764, Türkiye.
- VicRoads. (2015). *Supplement to Austroads Guide to Traffic Management Part 6: Intersections, Interchanges and Crossings (2013)*.
- Yayla N. (2014). *Karayolu Mühendisliği*. Birsen Yayınevi, 211-223, Türkiye.

ÖZ GEÇMİŞ

Hakan ORDU, Samsun Anadolu Lisesi’ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi’nden 2017 yılında mezun oldu. 2019 yılında OMÜ İnşaat Mühendisliği yüksek lisans programına girdi. 2018-2020 yılları arasında İlyapı Yapı Denetim’de kontrol mühendisi olarak çalıştı. 2020 yılında Karayolları Genel Müdürlüğüne Stratejik Araştırmalar Mühendisi olarak atanmış olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0003-0304-3623

Yayınlar:

1. Ordu H. ve Kırbaş U. (2021). “Dönel kavşaklarda meydana gelen dengesiz akımlara bir çözüm önerisi olarak kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar: Bir literatür araştırması”. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 10 (2) , 674-683. DOI: 10.28948/ngumuh.872504
2. Ordu H. ve Kırbaş U. (2022). “Birbirine yakın kavşaklarda kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların uygulanabilirliğinin ön değerlendirmesi”. *Tashkent 1st-International Congress on Modern Sciences, 1488-1496.*