



**SİNYALİZE KAVŞAKLARIN MODERN DÖNEL KAVŞAKLARA
ÇEVİRİLEREK PERFORMANS ANALİZLERİNİN YAPILMASI:
BALIKESİR AKÇAY VE ZEYTİNLİ KAVŞAĞI ÖRNEĞİ**

Ezgi KADIOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ezgi KADIOĞLU

09/09/2024

SİNYALİZE KAVŞAKLARIN MODERN DÖNEL KAVŞAKLARA ÇEVİRİLEREK
PERFORMANS ANALİZLERİNİN YAPILMASI: BALIKESİR AKÇAY VE ZEYTİNLİ
KAVŞAĞI ÖRNEĞİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Ezgi KADIOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2024

ÖZET

Kapasite, hizmet düzeyi ve güvenlik açısından şehir içi karayolu sisteminin en kritik noktalarından biri kavşaklardır. Kavşaklar, iki veya daha fazla karayolunun kesişmesi, birleşmesi ve ayrılması ile oluşan ortak alanlardır. Kavşak tasarımı yapılırken ilk olarak kavşak türünün belirlenmesi gerekmektedir. Uygun kavşak türünün seçilebilmesi için, hangi tasarımın hizmet seviyesini ve trafik kapasitesini arttıracak sorusunun yanıtlanması gerekmektedir. Bu çalışmada mevcut sinyalize kavşakların modern dönel kavşak olarak tasarlanmasının hizmet seviyesi, ortalama gecikmeler, ortalama hız gibi performans parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında Balıkesir ili sınırlarında seçilen Akçay ve Zeytinli Kavşakları'nın hali hazır alımları yapılarak, alımlar üzerinden yeni bir modern dönel kavşak (MDK) tasarımı Microstation programı ile hazırlanmıştır. Performans analizlerinin yapılabilmesi için iki kavşak için de gerekli trafik sayımları yapılarak trafik etki analizi raporu hazırlanmıştır. PTV Vissim benzetim programı kullanılarak mevcut sinyalize kavşak durumu ve tasarımı yapılan modern dönel kavşak durumu hizmet seviyeleri bakımından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın sonunda elde edilen analizler, sonuçlar bölümünde değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu : 91124
Anahtar Kelimeler : Sinyalize kavşak, modern dönel kavşak, PTV Vissim, Microstation
Sayfa Adedi : 91
Danışman : Doç. Dr. Mustafa Kürşat ÇUBUK

PERFORMANCE ANALYSIS OF CONVERTING SIGNALIZED INTERSECTIONS
TO MODERN ROUNDABOUTS: A CASE STUDY OF BALIKESIR AKCAY AND

ZEYTINLI

(M. Sc. Thesis)

Ezgi KADIOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2024

ABSTRACT

Intersections are one of the most critical points of the urban highway system in terms of capacity, service level and safety. Intersections are common areas formed by the intersection, merger and separation of two or more highways. When designing an intersection, the intersection type must first be determined. In order to choose the appropriate intersection type, the question of which design will increase the service level and traffic capacity must be answered. In this study, the effect of designing existing signalized intersections as modern roundabouts on the performance parameters such as service level, average delay, average speed was examined. Within the scope of the study, up-to-date mapping of Akçay and Zeytinli Intersections selected within the borders of Balıkesir province were made. A modern roundabout design was prepared with the Microstation program. In order to perform performance analysis, the necessary traffic counts were made at two intersections and a traffic impact analysis report was prepared. Using the PTV Vissim simulation program, the existing signalized intersection situation and the designed modern roundabout situation were compared in terms of service levels. The analysis obtained at the end of this comparison were evaluated in the results section.

Science Code : 91124

Key Words : Signalized intersection, modern roundabouts, PTV Vissim, Microstation

Page Number : 91

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mustafa Kürşat ÇUBUK

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması kapsamında yapmış olduğum çalışmaların planlamasında ve yürütülmesinde, görüş, tavsiye ve desteklerini esirgemeyen, tecrübesini, bilgi ve birikimlerini fedakarca sunan ve bu çalışmada en az benim kadar emeği bulunan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa Kürşat ÇUBUK'a, bu günlere gelmeme vesile olan annem Güleser TUNÇ ve babam Fahreddin TUNÇ'a, mühendislik alanında beraber çalıştığım meslektaşlarım Beste ÖZYURT ve Gülay ÇALIŞKAN'a, benden desteğini hiç esirgemeyen sevgili eşim Samet KADIOĞLU ve annesinin tez yazmasına fırsat tanıyan canım kızım Alin Ada KADIOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	11
3. KAVŞAKLAR.....	17
3.1. Kavşak Tipleri.....	17
3.1.1. Hemzemin kavşaklar	17
3.1.2. Modern dönel kavşaklar	24
3.2. Sinyalize ve Modern Dönel Kavşakların Karşılaştırılması	38
4. UYGULAMA ve YÖNTEM	41
3.1. Modellenen Kavşaklar Hakkında Bilgi	41
3.1.1. Microstation programında kavşakların modellenmesi	44
3.1.2. Trafik verilerinin toplanması.....	50
3.1.3. PTV Vissim ile simülasyon.....	55
5. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	73
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	85

Sayfa

KAYNAKLAR	87
EKLER.....	89
EK-1. Akçay ve Zeytinli Kavşaklarının google earth üzerinde gösterimi	90
ÖZGEÇMİŞ	91



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. İki yönlü yollarda hizmet seviyesi özellikleri.....	7
Çizelge 3.1. Modern dönel kavşaklar için tavsiye edilen maksimum giriş tasarım hızları.....	28
Çizelge 3.2. Hızlara göre yanal sürtünme faktörü tablosu.....	31
Çizelge 3.3. Yaklaşık R_4 değerleri ve bunlara karşılık gelen R_1 değerleri.....	33
Çizelge 3.4. Yaklaşık R_4 değerleri ve bunlara karşılık gelen R_1 değerleri.....	40
Çizelge 4.1. Zeytinli kavşağı sabah elde edilen araç trafik sayımları.....	51
Çizelge 4.2. Zeytinli kavşağı akşam elde edilen araç trafik sayımları.....	52
Çizelge 4.3. Akçay kavşağı sabah elde edilen araç trafik sayımları.....	53
Çizelge 4.4. Akçay kavşağı akşam elde edilen araç trafik sayımları.....	53
Çizelge 4.5. Zeytinli kavşağı sinyal grupları.....	62
Çizelge 4.6. Akçay kavşağı sinyal grupları.....	62
Çizelge 5.1. Zeytinli kavşağı ortalama gecikme süreleri.....	73
Çizelge 5.2. Akçay kavşağı ortalama gecikme süreleri.....	74
Çizelge 5.3. Zeytinli kavşağı ortalama hız.....	75
Çizelge 5.4. Akçay kavşağı ortalama hız.....	76
Çizelge 5.5. Zeytinli kavşağı ortalama durma sayıları.....	77
Çizelge 5.6. Akçay kavşağı ortalama durma sayıları.....	78
Çizelge 5.7. Zeytinli kavşağı toplam seyahat süreleri.....	79
Çizelge 5.8. Akçay kavşağı toplam seyahat süreleri.....	80
Çizelge 5.9. Zeytinli kavşağı hizmet seviyesi.....	81
Çizelge 5.10. Akçay kavşağı hizmet seviyesi.....	81
Çizelge 5.11. Zeytinli kavşağı ortalama kuyruk uzunluğu.....	82
Çizelge 5.12. Akçay kavşağı ortalama kuyruk uzunluğu.....	82

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. A ve B noktaları örnek gösterim.....	4
Şekil 3.1. Dört kollu dönel bir kavşak için maksimum günlük servis hacimleri	26
Şekil 4.1. Zeytinli kavşağı zirve saatlerde 15 dk'lık akım grafiğı	54
Şekil 4.2. Akçay kavşağı zirve saatlerde 15 dk'lık akım grafiğı	54
Şekil 4.3. Zeytinli kavşağı sabah ve akşam faz diyagramları	60
Şekil 4.4. Akçay kavşağı sabah ve akşam faz diyagramları	61
Şekil 4.5. Zeytinli kavşağı faz planları	62
Şekil 4.6. Akçay kavşağı faz planları.....	62
Şekil 5.1. Zeytinli kavşağı ortalama gecikmeler.....	73
Şekil 5.2. Akçay kavşağı ortalama gecikmeler.....	74
Şekil 5.3. Zeytinli kavşağı ortalama hızlar	75
Şekil 5.4. Akçay kavşağı ortalama hızlar.....	76
Şekil 5.5. Zeytinli kavşağı ortalama durma sayıları	77
Şekil 5.6. Akçay kavşağı ortalama durma sayıları.....	78
Şekil 5.7. Zeytinli kavşağı toplam seyahat süreleri	79
Şekil 5.8. Akçay kavşağı toplam Seyahat süreleri	80
Şekil 5.9. Zeytinli kavşağı ortalama kuyruk uzunluğu	82
Şekil 5.10. Akçay kavşağı ortalama kuyruk uzunluğu	83

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. 3 kollu kanalize T kavşak.....	19
Resim 3.2. 3 kollu kanalize Y kavşak	19
Resim 3.3. Dört kollu kanalize kavşaklar	20
Resim 3.4. Çok kollu kavşak kollarının yeniden düzenlenmesi	20
Resim 3.5. Sinyalize kavşak örneği İzmir Manas Bulvarı-Haydar Aliyev Caddesi kesişi.....	22
Resim 3.6. Mini dönel kavşak.....	23
Resim 3.7. Tek şeritli dönel kavşak	23
Resim 3.8. Çok şeritli dönel kavşak.....	24
Resim 3.9. Çok şeritli modern dönel kavşak örneği: Kocasinan/Kayseri.....	25
Resim 3.10. Bir dönel kavşaktaki temel geometrik elemanlar	27
Resim 3.11. Şehir içi kompakt tasarım için örnek teorik hız profili	28
Resim 3.12. Tek şeritli modern dönel kavşaktaki en hızlı taşıt güzergahı.....	30
Resim 3.13. Çift şeritli modern dönel kavşaktaki en hızlı taşıt güzergâhı.....	30
Resim 3.14. Taşıt güzergah yarıçapları.....	32
Resim 3.15. Çift şeritli MDK’larda giriş tasarımında şerit ihlallerini önleme metotlarından biri.....	34
Resim 3.16. Çift şeritli MDK’larda giriş tasarımında şerit ihlallerini önlemek için alternatif metot	35
Resim 3.17. Yüksek hızlı kavşak yaklaşımlarında ardışık kurpların kullanımı.....	36
Resim 3.18. Zeytinli kavşağı ada etrafında dönene yol ver uyarı levhaları	37
Resim 3.19. Tek şerit yaklaşımlı kavşaklar için taşıt çakışma noktalarının karşılaştırılması	39
Resim 4.1. Zeytinli kavşağı oluşan araç kuyruğu	42
Resim 4.2. Akçay kavşağı mevcut hemzemin görüntüsü	43

Resim	Sayfa
Resim 4.3. Zeytinli kavşağı ilk hali uydu görüntüsü	43
Resim 4.4. Akçay kavşağı İlk hali uydu görüntüsü	44
Resim 4.5. Zeytinli kavşağı hali hazır alımları	45
Resim 4.6. Akçay kavşağı hali hazır alımları	45
Resim 4.7. Microstation arayüzü	46
Resim 4.8. Zeytinli kavşağı modern dönel ada plan detayı	47
Resim 4.9. Zeytinli kavşağı yaklaşımında ardışık ters eğrilerin uygulanması.....	48
Resim 4.10. Zeytinli ve Akçay kavşakları apron detaylı modern dönel kavşak tip enkesiti	48
Resim 4.11. Akçay kavşağı modern dönel ada plan detayı	49
Resim 4.12. Akçay kavşağı yaklaşımında ardışık ters eğrilerin uygulanması.....	49
Resim 4.13. Zeytinli kavşağı yön numaralandırılma	51
Resim 4.14. Zeytinli kavşağı sayım noktası hemzemin görünümü	51
Resim 4.15. Akçay kavşağı yön numaralandırılma	52
Resim 4.16. Akçay kavşağı sayım noktası hemzemin görünümü.....	53
Resim 4.17. Akçay kavşağı sinyalizasyon dönel kavşak simülasyon çizimi	55
Resim 4.18. PTV Vissim programında şerit genişliklerinin girilmesi.....	56
Resim 4.19. Akçay kavşağı taşıt hacimlerinin PTV Vissim programına girilmesi	57
Resim 4.20. Zeytinli kavşağı sinyalizasyon sığınmalı kavşak simülasyon çizimi	57
Resim 4.21. Zeytinli kavşağı taşıt hacimlerinin PTV Vissim programına girilmesi	58
Resim 4.22. PTV Vissim çakışma kontrolü	58
Resim 4.23. Çakışmalarda öncelik düzenlemesi.....	59
Resim 4.24. PTV Vissim’de sinyal gruplarının oluşturulması	63
Resim 4.25. Akçay kavşağı sinyalizasyon süreleri ve devre diyagramı	64
Resim 4.26. Akçay kavşağı sabah ana devre sinyal süreleri.....	65

Resim	Sayfa
Resim 4.27. Akçay kavşağı akşam ana devre sinyal süreleri.....	66
Resim 4.28. Zeytinli kavşağı sabah ana devre sinyal süreleri	67
Resim 4.29. Zeytinli kavşağı akşam ana devre sinyal süreleri	68
Resim 4.30. Performans analizinin yapılacağı alan seçimi.....	69
Resim 4.31. Kuyruklanma uzunluklarının alınacağı noktaların belirlenmesi.....	69
Resim 4.32. Zeytinli kavşağı PTV Vissim modern dönel kavşak çizimi	70
Resim 4.33. Akçay kavşağı PTV Vissim modern dönel kavşak çizimi.....	70
Resim 4.34. PTV Vissim performans analiz sonuçlarının alınması	71

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 4.1. Akçay ve Zeytinli kavşağı bölge haritası	41
Harita 4.2. Devlet yolları yıllık ortalama günlük trafik haritası (YOGT).....	50



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

Km

Kilometre

m

Metre

m²

Metrekare

sa

Saat

q

Akım

v

Hız

Kısaltmalar

Açıklamalar

HCM

Highway capacity manual

KGM

Karayolları Genel Müdürlüğü

LOS

Level of service / Hizmet düzeyi

MDK

Modern dönel kavşak

PHF

Peak hour faktor / Zirve saat faktörü

PTV

Passenger transport vehicle

YOGT

Yıllık ortalama günlük trafik

1. GİRİŞ

Ulaştırma, toplumların gelişiminde her zaman önemli bir rol oynamıştır. İnsanların ve mallarının güvenli, verimli ve rahat hareketini sağlayacak şekilde hava, su, demiryolu ve karayolu gibi ulaşım sistemlerini planlamak, tasarlamak, inşa etmek, işletmek ve sürdürmek için ulaştırma mühendisleri sürekli çalışmalar yapmaktadır.

Günümüzde hareketlilik ve kolay erişilebilir ulaşım araçlarına olan talep giderek artmaktadır. Herkes güvenli, erişilebilir, hızlı ve konforlu ulaşım beklemektedir. Ulaşım planlamasında, seyahat davranışını ve seyahat talebini tahmin etmek oldukça önemlidir. Gelecek yıllarda insanların nasıl ve nereye seyahat edeceğini tahmin edebilirsek gelecekteki mobilite sistemi için doğru kararları vermemiz mümkün olacaktır. Ulaşım modelleri, ulaşım ve trafik planlamasının temelini oluşturmaktadır. Trafik modelleme ve simülasyon, planlamacıların ulaşım sistemlerindeki güncel sorunları anlamalarını, fırsatları belirlemelerini ve kalkınma planlamasının etkilerini tahmin etmelerini ve ölçmelerini sağlamaktadır.

Özellikle kent içi ulaşım ağında artan trafikle birlikte ihtiyaç duyulan kavşak sayısı hızla artmakta ve kavşaklardaki trafik yoğunluğunun da artış göstermesi başlı başına çözülmesi gereken bir trafik sorunu haline gelmektedir. Trafik sıkışıklığı, gecikmelerin artması, trafik kazalarından meydana gelen maddi ve manevi kayıplar, motorlu taşıtlardan çevreye yayılan egzoz gazları ve taşıtların neden oldukları gürültü kirliliği bu problemlerin başında gelmektedir. Özellikle kavşaklarda meydana gelen maddi ve manevi zararlara yol açan kazaları azaltabilmek için karayolu kesişim noktalarında trafik denetimi yöntemi önerilmektedir. Sinyalize kavşak, modern dönel kavşaklar ve sinyalize dönel kavşak uygulamaları bunlara örnek gösterilebilir. Bu trafik denetleme tekniklerinin amacı taşıtların kavşağı daha kısa sürede ve daha güvenli şekilde terk etmelerini sağlamak ve trafik tıkanıklığını azaltmaktır [1]. Sübjektif deneyime göre, modern dönel kavşaklar geleneksel sinyalize kavşaklardan daha verimlidir, çünkü araçlar trafik sinyallerini beklemez, bu da sinyalize kavşaklarda zaman kaybının ana nedeni olmaktadır. Bu çalışma, performans açısından sinyalize kavşaklar ve modern dönel kavşaklar arasındaki farkları daha fazla araştırmayı amaçlamaktadır.

Problem durumu / Konunun tanımı

Balıkesir ili sınırlarında bulunan Zeytinli Kavşağı, Çanakkale – Balıkesir Devlet Yolu’nun Ayvacık – Edremit (KK: 550-06) aralığında Km: 65+883.00’ de bulunmaktadır. Sığınma cepli hemzemin Zeytinli Kavşağı, sinyalize olarak işletilmektedir. Bölgenin turistik kimliği nedeni ile yaz aylarında belirgin bir trafik artışı gözlenmektedir. Ayrıca bölge karşılıklı olarak iki sanayi sitesini anayola bağlayan düğüm noktası konumundadır. Gerek araç yoğunluğu gerek ağır taşıt trafiğinin çoğunluğu sebebiyle mevcut kavşak geometrik olarak talebi karşılamakta zorlanmaktadır. Bu da bölgede trafiğe sebep olmakta ve bölge halkını olumsuz etkilemektedir. Bunun yanında uzun bekleme süreleri, sürücüler kural dışı dönüşler yapmaya ve sinyalizasyonu delmeye itmekte ve bu sebeple kaza olma olasılığını arttırmaktadır. Tüm bu sebepler nedeni ile trafiği düzenlemek ve akışı hızlandırmak adına bölgede çok şeritli bir modern dönel kavşak tasarımı yapılması ihtiyacı doğmuştur.

Balıkesir ili sınırlarında bulunan Akçay Kavşağı olarak isimlendirilen kavşak ise, 550-06 Kontrol Kesim Numaralı Ayvacık-Edremit-Havran Devlet Yolu üzerinde bulunmaktadır. Çanakkale-Balıkesir Yolu’nun 61+722.677 kilometresinde bulunan mevcut hemzemin kavşağa geri dönüş eklenmesi ve mevcut kavşağın iyileştirilmesi gerekli görülmüştür. Edremit-Havran Devlet Yolu’na bağlanan hemzemin kavşağın yenilenmesi amacıyla mevcutta hemzemin sinyalize olarak işletilen kavşağın modern dönel kavşağa dönüştürülmesi ihtiyacı doğmuştur.

Araştırmanın amacı

Gecikmeler, her türlü kavşağın değerlendirilmesinde kullanılan standart parametrelerden olup, kavşağın hizmet düzeyinin değerlendirilmesinde dikkate alınır. Daha kısa gecikmeli kavşaklar hem kullanıcılar hem de toplum açısından ekonomik faydalar sağlamakta ve trafiğin daha verimli kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Artan motorizasyonla birlikte önemli bir kriter haline gelen trafik sisteminin daha verimli çalışmasına olanak sağlamaktadır. Avrupa’da ve dünya çapında gerçekleştirilen örnek olay çalışmaları, dönel kavşakların, aynı operasyonel seviyedeki ve neredeyse aynı trafik hacmine sahip diğer kavşaklarla karşılaştırıldığında gecikme tasarrufu sağladığını ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada ise, Balıkesir ili sınırlarında seçilen ardışık iki sinyalize kavşak olan Zeytinli ve Akçay Kavşakları, microstation programı kullanılarak modern dönel kavşak olarak

yeniden tasarlandı. Kavşaklara ait bazı trafik verileri Balıkesir Büyükşehir Belediyesinden alınarak, PTV Vissim benzetim programına bu değerler işlendi. Elde edilen veriler ışığında, hizmet seviyesi, seyahat süresi, gecikmeler ve hız parametreleri açısından kavşakların sinyalize ve modern dönel kavşak hallerinin karşılaştırılması yapılarak, hangi tasarımın daha fazla fayda sağlayacağına karar verilecektir.

Tanımlar

Bu bölümde tez kapsamında kullandığımız başlıca terimlerin tanımlamaları verilmektedir.

Akım: Akım; belirli bir süre içerisinde belirlenen bir yol kesiminden veya noktasından geçen toplam araç sayısı olarak tanımlanır. Sayılan araç sayısı n ve bir şeritte belli bir noktadan geçiş periyodu t ile sembolize edilir. Akım, Eş. 1.1 ile verilen formülle ifade edilmektedir.

$$q = n/t \quad (1.1)$$

Trafik hacminde önemli farklılıklar olduğu için, farklı hacim ölçüm tiplerinin ortalaması, genel olarak tek bir birim sayısı kabul edilir ve birçok tasarımda kullanılır. Bu ölçüm tiplerinden biri de yıllık ortalama günlük trafiktir.

Yıllık ortalama günlük trafik (YOGT): Belli bir karayolu kesimi üzerinde yılın bütün günleri ve 24 saatlik trafik ölçümleri toplamının gün sayısına oranı veya günlük ortalamasıdır.

Zirve saat faktörü (Peak hour factor)(PHF): Trafik hacmi bir yol kesiminin bir şeridinden bir saat içinde geçen araç sayısını ifade etmektedir. Bu bir saat içinde akım düzenli değildir. Genellikle bu bir saat içinde daha küçük zaman dilimlerinde dalgalanmalar görülmektedir. Akım oranı terimi bu dalgalanmaları göstermek için kullanılmaktadır. Zirve saat faktörü (Peak Hour Factor, PHF) 5 veya 15 dakikalık olarak hesaplanmakta ve PHF05 ve PHF15 olarak gösterilmektedir. Zirve saat faktörü, en yüksek saatlik trafik hacminin, aynı saat içerisindeki maksimum 5 veya 15 dakikalık trafik değerinin 1 saat boyunca gerçekleşmesi durumunda oluşacak trafiğe oranlanmasıyla elde edilmektedir. Aşağıda sırasıyla PHF05 ve PHF15 değerlerinin nasıl hesaplandığı eşitlikler yardımıyla verilmektedir.

$$PHF_{05} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{12 \times V_{maks}} \quad (1.2)$$

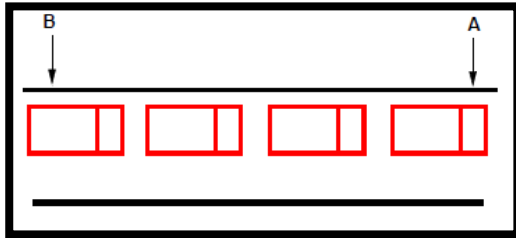
Eş. 1.2’de 1 saat boyunca peş peşe 12 adet beş dakikalık zaman dilimlerindeki hacimlerin toplanıp bu hacimlerden maksimum olanın 12 katına bölünmesiyle beş dakikalık zirve saat faktörü değeri (PHF05) hesaplanmaktadır. Trafik akımının en düzenli dağılım gösterdiği durumda PHF05 değeri 1, en düzensiz dağılım gösterdiği durumda ise 1/12 değerini almaktadır.

$$PHF_{15} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{4 \times V_{maks}} \quad (1.3)$$

Aynı şekilde Eş. 1.3’te de görüleceği üzere PHF15, 1 saat içindeki 4 adet peş peşe 15 er dakikalık zaman dilimlerindeki hacimlerin toplanarak bu hacimlerden maksimum olanın 4 katına bölünmesiyle 15 dakikalık zirve saat faktörü değeri (PHF15) hesaplanmaktadır. Trafik akımının en düzenli dağılım gösterdiği durumda PHF15 değeri 1, en düzensiz dağılım gösterdiği durumda ise 1/4 değerini almaktadır. Burada da görüldüğü üzere en düzensiz trafik akım davranışında PHF05 ve PHF15 değerleri birbirinden farklıyken, en düzenli olduğunda iki değer de 1’e yaklaşmaktadır. PHF değeri 1’e yaklaştıkça düzenli bir trafik olduğu, 1 değerinden uzaklaştıkça düzensizleştiği, trafikte dalgalanmaların olduğunu anlayabiliriz.

Yoğunluk: Yoğunluk yol veya şeritte belirli bir uzunluğu işgal eden araç sayısı olarak tanımlanmaktadır. Genellikle kilometre başına düşen araç olarak ifade edilir. Belirli uzunluktaki bir yol fotoğraflanarak araç sayısı bulunabilir. Yol uzunluğu (x) ve bu yoldaki araç sayısı (n) ile bir şeritteki yoğunluk (k) türetilmektedir. (Eş.1.4)

$$k = n/x \quad (1.4)$$



Şekil 1.1. A ve B noktaları örnek gösterim

Şekil 1.1.'de gösterilen, yoğunluk, A ve B noktaları arasındaki araç sayısının A ve B arasındaki mesafeye bölünmesiyle elde edilir.

Hız:

Trafik hacimleri, kapasite değerlerini ölçmek için bir yöntem sağlasa da hız (veya seyahat süresinin tersi), sürücüye sağlanan trafik hizmetinin kalitesinin önemli bir ölçüsüdür. Kırsal iki şeritli otoyollar, kentsel caddeler, otoyol ve diğerleri gibi birçok tesis türü için hizmet seviyelerini tanımlayan önemli bir etkililik ölçüsüdür.

Hız, birim zaman başına mesafe olarak ifade edilen, genellikle saatte kilometre (km/saat) olarak ifade edilen hareket hızı olarak tanımlanır. Bir trafik akışının hızının karakterize edilmesinde temsili bir değerin kullanılması gerekir çünkü trafik akışında bireysel hızların geniş bir dağılımı gözlemlenebilir. Bu kılavuzda, hız ölçüsü olarak ortalama seyahat hızı kullanılmıştır çünkü trafik akışı içindeki bireysel araçların gözlemlenmesiyle kolayca hesaplanır ve diğer değişkenlerle ilişkilerde istatistiksel açıdan en uygun ölçüdür. Ortalama seyahat hızı, söz konusu otoyolun, cadde bölümünün veya bölümün uzunluğunun, onu geçen araçların ortalama seyahat süresine bölünmesiyle hesaplanır. (Eş.1.5)

Hız V ile gösterilir,

$$V = d/t \quad (1.5)$$

burada V, metre bölü saniye cinsinden aracın hızı, d metre cinsinden mesafe, t saniye cinsinden zamanı ifade etmektedir.

Ortalama seyahat hızı: Güzergah uzunluğunun, tüm durma gecikme süreleri de dahil olmak üzere, bu bölümden geçen tüm araçların ortalama seyahat süresine bölünmesiyle elde edilen değerdir.

Gecikme: Bir sürücünün, yolcunun veya yayanın olması gerekenden fazla yaşadığı ek seyahat süresidir. Gecikme, bir kavşağın performansını ölçen ve tüm seyahat modlarına uygulanabilen standart bir parametredir. Uygulamada çeşitli gecikme önlemleri kullanılmaktadır.

- Toplam gecikme,
- Kontrol gecikmesi,
- Durma gecikmesi ve
- Geometrik gecikme.

Kontrol gecikmesi ve durma gecikmesi birbiriyle ilişkilidir ve kontrol gecikmesi “Highway Capacity Manuel (HCM)” kitabında kullanılan daha kapsamlı bir terimdir. Kontrol gecikmesi, sürücünün sıraya girerken yavaşlamak, sıraya girmek, kuyruğun önündeyken dolaşım akışında kabul edilebilir bir boşluk beklemek ve kuyruktan çıkmak için hızlanmak için harcadığı zamana eşit olan gecikme kısmıdır.

Durma gecikmesi, sürücünün kuyrukta durdurulduğu veya kavşağa girmeyi bekleyen ilk pozisyonda kontrol gecikmesinin bir kısmıdır. Bu nedenle, kontrol gecikmesi ve durma gecikmesi doğrudan kavşaktaki trafik koşullarına bağlıdır ve koşullar değiştikçe değişiklik gösterebilir.

Toplam gecikme ise bir şerit grubu için kontrol gecikmesi, trafik gecikmesi, geometrik gecikme ve olay gecikmesi dahil tüm gecikme bileşenlerinin toplamıdır.

Seyahat süresi: Seyahat süresi, her bir kavşaktaki toplam gecikmeyi (kontrol gecikmesi ve geometrik gecikme) ve kavşaklar arasındaki seyahat süresini içerir. Seyahat süresi başka bir ifade ile araç başına saniye veya araç başına dakika cinsinden, kontrol gecikmesi de dahil olmak üzere bir otoyol segmentini geçen araçların harcadığı ortalama süredir. Seyahat süresi bir dizi dönel kavşağın bir dizi diğer kavşak türüyle karşılaştırılması için yararlı olabilir [2].

Kapasite:

Araç kapasitesi, bir karayolu ağında, trafik ve kontrol koşulları altında belirli bir süre boyunca belirli bir noktadan geçebilecek maksimum araç sayısıdır. Kapasite analizi, bir tesisin bölümlerini veya noktalarını (sinyalize kavşaklar gibi) tekdüze trafik, karayolu ve kontrol koşulları altında inceler. Belirli bir tesis için belirtilen kapasite, yeterli talebin yoğun olduğu dönemlerde tekrar tekrar elde edilebilecek bir akış hızıdır. Belirtilen kapasite değerlerine Kuzey Amerika'daki benzer özelliklere sahip tesislerde ulaşılabilir. Kapasite böyle bir tesiste gözlemlenen mutlak maksimum akış hızı değildir. Sürücü özellikleri bölgeden bölgeye değişir ve mutlak maksimum akış hızı günden güne ve konumdan konuma değişebilir [3].

Hizmet seviyesi:

Bir trafik akışının koşullarını belirtmek ve hizmet kalitesini belirlemek için niceliksel ölçümler gerekmektedir. Hizmet düzeyi (LOS), genellikle hız ve seyahat süresi, manevra özgürlüğü, trafik kesintileri ve konfor ve rahatlık gibi hizmet ölçütleri açısından bir trafik

akışı içindeki operasyonel koşulları tanımlayan bir kalite ölçüsüdür. Bu kalite ölçüsünü belirtmek için A'dan F'ye kadar olmak üzere altı seviye belirlenmiştir. LOS A en iyi çalışma koşullarını, LOS F ise en kötü çalışma koşullarını temsil eder.

Her hizmet seviyesi, çeşitli çalışma koşullarını ve sürücünün bu koşullara ilişkin algısını temsil eder. Güvenlik, hizmet seviyelerini belirleyen önlemlere dahil değildir [3]. Hizmet kalitesi kavramı, tasarım seçimlerinin her bir seyahat modunu (yürüme, bisiklete binme, araba sürme ve toplu taşıma hizmetini kullanma) nasıl etkilediğini değerlendirme fırsatı sağlar. HCM, hizmet kalitesini, bir ulaşım tesisinin veya hizmetinin gezginin bakış açısından ne kadar iyi çalıştığı olarak tanımlar.

Spesifik olarak, trafik sinyallerine yönelik LOS kriterleri, tipik olarak 15 dakikalık bir analiz süresi için, araç başına ortalama kontrol gecikmesi cinsinden ifade edilir. Gecikme karmaşık bir ölçümdür ve ilerlemenin kalitesi, döngü uzunluğu, yeşil oranı gibi bir dizi değişkene bağlıdır.

Çizelge 1.1. İki yönlü yollarda hizmet seviyesi özellikleri

Hizmet Seviyesi	Ortalama Hız (km/sa)
A	≥ 90
B	80-90
C	70-80
D	60-70
E	≤ 60
F	Yolun kapasitesi dolmuştur.

LOS A, ilerleme son derece uygun olduğunda ve birçok araç hiç durmadığında meydana gelir.

LOS B, genellikle iyi ilerleme, kısa döngü uzunlukları veya her ikisiyle birlikte ortaya çıkar. LOS A'ya göre daha fazla araç durur ve bu da daha yüksek düzeyde gecikmeye neden olur.

LOS C seviyesinde duran araç sayısı oldukça fazla, ancak birçoğu hala kavşaktan durmadan geçmektedir.

LOS D'de tıkanıklığın etkisi daha belirgin hale gelir. Daha uzun gecikmeler, olumsuz ilerleme, uzun döngü uzunlukları ve yüksek v/c oranlarının bir kombinasyonundan kaynaklanabilir. Pek çok araç duruyor ve durmayan araçların oranı düşüyor.

LOS E, bu yüksek gecikme değerleri genellikle zayıf ilerlemeyi, uzun döngü uzunluklarını ve yüksek hacim/kapasite oranlarını gösterir.

LOS F Çoğu sürücü için kabul edilemez olarak değerlendirilen bu seviye genellikle aşırı doymunlukla, yani varış akış hızlarının şerit gruplarının kapasitesini aşmasıyla ortaya çıkar. Ayrıca birçok bireysel çevrim arızasıyla birlikte yüksek v/c oranlarında da meydana gelebilir. Zayıf ilerleme ve uzun döngü uzunlukları da yüksek gecikme seviyelerine önemli ölçüde katkıda bulunabilir.

Kuyruk boyu:

Ortalama kuyruk boyu, bir yaklaşımdaki taşıt-saat cinsinden gecikme değerine eşittir. Bu değer, kavşak tiplerinin karşılaştırılmasında ve kavşaktaki gecikmelerin planlama yöntemlerinde kıyaslama amacıyla kullanılmasında faydalıdır.

Geometrik bir tasarımın yeterliliği değerlendirilirken kuyruk uzunluğunun dikkate alınması gerekir. Bir kuyruğun tahmini uzunluğu, diğer kavşak türleriyle karşılaştırıldığında dönel kavşağın operasyonel performansına ilişkin ek bilgiler de sağlayabilir. Dönel kavşaklardaki kuyruklar, sinyalize kavşaklardan farklı olarak sürekli hareket etme eğilimindedir ve dur kontrollü hareketlerden daha kısa olma eğilimindedir [2].

Sinyal kontrol:

Trafik akışlarının hareket zamanının kontrolü kapasite, hizmet akış hızları ve hizmet düzeyi açısından kritik öneme sahiptir. En kritik kontrol türü trafik sinyalıdır. Kullanımdaki kontrolün türü, sinyal aşamaları, yeşil zamanın tahsisi, döngü uzunluğu ve bitişik kontrol tedbirleriyle olan ilişki operasyonları etkiler. Dur işaretleri ve yol ver işaretleri de kapasiteyi etkiler, ancak daha az belirleyicidir. Bir trafik sinyali, her harekete izin verilen zamanları belirler; ancak, iki yönlü dur kontrollü bir kavşaktaki bir dur işareti yalnızca ana caddeye giden geçiş hakkını belirtir. Ana caddede seyahat eden sürücülerin durmaları ve manevra yapmak için ana trafik akışındaki boşlukları bulmaları gerekiyor. Bu nedenle tali yaklaşımların kapasitesi ana caddedeki trafik koşullarına bağlıdır. Her yöne durma kontrolü, sürücülerini durup dönüşümlü olarak kavşağa girmeye zorlar. Kapasite ve operasyonel özellikler, çeşitli yaklaşımlardaki trafik taleplerine bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik gösterebilir [3].

Trafik sinyalleri her harekette veya hareket dizisinde akışı periyodik olarak durdurur. Sinyal bazı dönemlerde hareketi yasakladığından, belirli bir şerit kümesinde hareket etmek toplam sürenin yalnızca bir kısmı için mümkündür. Yalnızca sinyalin etkin bir şekilde yeşil olduğu süre hareket için kullanılabilir. Örneğin, sinyalize bir kavşaktaki bir şerit grubu, 90 saniyelik

toplam döngünün 30 saniyelik etkin yeşil süresini alırsa, söz konusu şeritlerde hareket için toplam sürenin yalnızca 30/90'ı veya 1/3'ü kullanılabilir. Böylece her saatin sadece 20 dakikası şeritlerde akışa ayrılır. Şeritler tam bir saat boyunca yeşil sinyalle maksimum 1.500 araç/saat akış hızına uyum sağlayabiliyorsa, her saatin yalnızca üçte biri yeşil olarak mevcut olduğundan, toplam yalnızca 500 araç/saatlik akış hızına uyum sağlayabilirler.

Sinyal zamanlamaları değişebileceğinden, sinyalizasyon kavşakları için kapasiteleri ve hizmet akış hızlarını saat başına araç (araç/saat) cinsinden ifade etmek uygundur. Kesintili akış koşulları için, operasyonların birincil ölçüsü hızdan ziyade gecikmedir. Ancak kesintisiz akışa benzer hız ölçümleri, kavşaktan geçen araçların yavaşlaması, kuyruklarda hareket etmesi ve hızlanması nedeniyle ilave seyahat süresinin belirlenmesinde yardımcı olur.

Trafik sinyal kontrolü, kentsel trafik yönetimi için yaygın olarak kullanılan bir kontrol tesisidir. Kavşaktaki en az bir yaklaşıma giriş hakkının verildiği toplam süreye faz denilmektedir. Sinyal fazlaması, bir sinyal kontrol sistemi tasarlamada temel unsurlarından biridir. Aşamalandırma teknikleri genellikle grup bazlı aşamalandırma ve aşama bazlı aşamalandırma olmak üzere iki türe ayrılır. Grup bazlı kontrol, bir grup uyumlu hareket yerine her bir trafik hareketine bir yeşil süre ayarı atar, böylece faz planları gerçek zamanlı trafik modelleri dikkate alınarak oluşturulur [4].

Sinyal grubu ve faz, grup bazlı fazlama tekniklerinin iki temel bileşenidir. Bir sinyal grubu, her zaman aynı trafik ışığı göstergeleri tarafından kontrol edilen bir grup trafik hareketi olarak tanımlanır. Faz, sinyal gruplarının birleşimidir. Grup bazlı sinyal kontrol sisteminde zamanlamalar doğrudan sinyal gruplarına atanır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Hemzemin kavşaklar herhangi bir karayolu ağının hayati unsurlarından biridir. Hemzemin kavşaklara yönelik trafik kontrolü, karayolu ağındaki araçların yaşadığı gecikme düzeyinde önemli bir rol oynamaktadır. Trafik sinyalleri ve dönel kavşak kontrolü, hemzemin kavşak kontrolünün en yaygın türleridir. Dünya çapında pek çok ulaşım planlayıcısı, yeni bir hemzemin kavşak için bu iki kontrol türü arasındaki seçimi tartışmaktadır [5].

Hallworth (1992) yapmış olduğu çalışmada, sinyalizasyon dönel kavşaklar ve modern dönel kavşakları karşılaştırdığında, modern dönel kavşakların düzensiz trafik akımlarından veya diğer kavşaklar ile etkileşimlerden dolayı bazı yaklaşım kollarındaki gecikmelerin fazla olduğunu, sinyalizasyon kavşaklarda ise sinyal süreleri ile gecikmelerin azaltılabileceğini tespit etmiştir. Ayrıca trafik hacminin fazla olduğu kesişim noktalarında modern dönel kavşak uygulamasının kapasite yetersizliğine neden olabileceğini belirtmiştir [6].

Tan (2001) yapmış olduğu çalışmada, dönel kavşak tasarımı ve sinyalizasyon kavşak tasarımı arasındaki kapasitenin karşılaştırılması amacıyla tam kapasite kavramı ortaya atılmış ve tam kapasitenin hesaplanmasına yönelik bir formül geliştirilmiştir. Tan (2001), bu çalışma neticesinde belirli bir geometrik tasarıma için dönel kavşakların tam kapasitesinin, büyük ölçüde başlangıç – son matrisine bağlı olduğu ve ne kadar çok araç sola dönerse, dönel kavşaklarının kapasitesinin o kadar düşük olduğu bulunmuştur. Mini kavşakta dönel kavşak tasarımının tam kapasitesinin her zaman sinyalizasyon kavşak tasarımından daha büyük olduğu, kavşak ortasında, sola dönme ve ileri gitme oranı nispeten düşük olduğunda dönel kavşağın tam kapasitesinin sinyalli kavşaktan daha büyük olduğu, aksi takdirde sinyalizasyon kavşak tasarımının tam kapasitesi dönel kavşaktan daha büyük olacağını belirtmiştir [7].

Johnson ve Hange (2003) çalışmaları kapsamında Amerika’da farklı noktalardaki mevcutta sinyalizasyon olarak çalışan 5 adet kavşakta modern dönel kavşak olarak işletilmesinin getireceği faydaları incelemiştir. Bu beş vaka çalışmasında, dönel kavşakların sinyal alternatifine göre farklı faydalar sağladığı örnekleri sunmuşlardır. Dönel kavşakların, iş erişimi, konut etkileri ve karayolu maliyeti üzerinde daha olumlu etkiler sağladığını tespit etmişlerdir. Johnson ve Hange çalışmalarında kapsamlı trafik mühendisliği ilkelerinin ve sağlam tasarım tekniklerinin uygulanmasının dönel kavşakların daha iyi performans sağlaması için önemli olduğunu vurgulamışlardır. Sinyalizasyon kavşakların ve dönel kavşakların birbirini

dışlamadığını, aslında uyumlu olduklarını ve optimum operasyonları gerçekleştirmek için bir sistem yaklaşımı içinde kullanılmaları gerektiği sonucuna varmışlardır [8].

Ayrıca Natalizio (2005), trafik işaretiyle kontrol edilen geleneksel bir dönel kavşak ile trafik sinyalleri tarafından kontrol edilen sinyalize bir dönel kavşak arasında bir karşılaştırma yapmıştır. Her seçimin verimliliğini ölçmek ve trafik sinyallerini kuyruklarda, gecikmelerde, güvenlikte, kapasitede ve yaya hacimlerinde kullanmanın faydalarını açıklamak için birden fazla kriter kullanmıştır. Çalışma, her bir yaklaşım için trafik yoğunluğu koşullarına dayalı olarak hangi yaklaşımın trafik sinyali tarafından kontrol edilmesi gerektiğine karar vermek için kullanılabilir bazı sonuçları yararlı rakamlarla özetlemiştir. Rakamlar aynı zamanda trafik sinyallerinin ve uyarı işaretlerinin dönel kavşağı kontrol edemediği trafik hacmini de tanımlamaktadır [9].

Wall, Long, Guth, Ashmead ve Ponchillia (2005) dönel kavşaklardaki erişim sorunları ve stratejileri üzerine yaptıkları incelemede, dönel kavşaklardaki çakışma sayılarının sinyalize kavşaklara göre daha az olması nedeniyle, bu kavşak türünde kaza olasılığının daha düşük olacağını, ancak yaya hareketleri göz önüne alındığında, herhangi bir kontrol mekanizması olmaması sebebiyle (sinyalizasyon) özellikle görme engelli bireylerin dönel kavşaklarda erişim zorluğu yaşayabileceğinden bahsetmiştir [10].

Dryland ve Chong (2007), Yeni Zelanda'daki yüksek trafik hacimli ve dönel kavşak boyunca eşit olmayan trafik akışı dağılımına sahip bir dönel kavşak hakkında bir çalışma yürütmüştür. Mevcut durumdaki dönel kavşakta, belirli noktalara sinyal verilmesi, duraklamaları en aza indirerek sürücü ve yaya güvenliğini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Çok kısa bir döngü uzunluğu (1 dakikadan az) kullanılarak dahili kuyruk uzunluğu en aza indirildiği tespit edilmiştir [11].

Hırvatistan'ın Osijek kentindeki sinyalize ve dönel kavşakların gecikme analizlerini yapan Otkavić ve Dadić (2009), analizleri yapılan kavşaklara 15 dakika boyunca kayıt yapan videolar yerleştirerek araç sayımları yapmışlardır. Araştırmacılar, sinyalize ve dönel kavşak için trafik hacimlerini elde ederek ölçülen seyahat süresini ve toplam veri girdilerini kullanarak ortalama seyahat sürelerini hesaplamışlardır. Araştırmanın sonucunda sinyal kontrollü kavşağa kıyasla dönel kavşakta gecikme tasarrufunun dikkate değer olduğunu ve seyahat sürelerinin dönel kavşakta daha kısa olduğunu gözlemlemişlerdir [12].

Mensah ve Eshragh (2010) tarafından her yön için dur kontrollü olan kavşaklara alternatif olarak dönel kavşakların kullanımı üzerine yazılan raporda, bazı kontrollü kavşaklarına yerine dönel kavşakların tasarlanması talebi üzerine, beş adet dönel kavşağı incelediler. İncelemeleri neticesinde dönel kavşakların, güvenliği artırdığı ve yüksek trafik hacimleri için, her yol dur kontrollü kavşaklardan veya trafik sinyallerinden daha iyi trafik performansı sağladığını saptamışlardır [13].

Gross, Lyonb, Persaud ve Srinivasan (2012) sinyalize dönel kavşakların dönel kavşaklara dönüştürülmesinin güvenliğe etkisi üzerine yapmış oldukları çalışmalarında, Amerika Birleşik Devletleri'nde toplamda 28 dönüşüm noktası seçilmiştir. Gross ve diğerleri (2012) seçilen eyaletlerden elde ettikleri verileri, ampirik Bayes yöntemi kullanılarak kesitsel bir analizde kullanılmışlardır. Yapılan bu çalışma sonucunda sinyalize kavşakların dönel kavşaklara dönüştürülmesinde güvenlik avantajı olduğu gösterilmiştir. Ayrıca çalışma hem toplam hem de yaralanmalı kazalarda azalma olduğu ancak trafik hacmi arttıkça toplam kazalar açısından dönel kavşakların güvenlik açısından sağladığı faydanın azaldığını göstermiştir [14].

Ben-Edigbe, Johnnie, Abdelgalil, Ahmed, Abbaszadehfallah ve Iman (2012) yaptıkları çalışmalarında sinyalize kavşaklarda karayolu hizmet kalitesinin belirlenebilmesi amacıyla, kompozit trafik kontrol mekanizmalı sinyalize kavşakta gecikme çalışmaları yaptılar. Kompozit trafik kontrol mekanizmalarının iki veya daha fazla trafik kontrol cihazı olduğu dikkate alınarak, tek ve kompozit sinyalize kavşaklara ait veriler analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, dönel kavşaklarda biraz daha iyi bir hizmet seviyesi olduğunu, daha da önemlisi, trafik sinyalleri kapatıldığında çelişkili hareketlerde ve tıkanıklıklarda önemli bir azalma elde edildiğini göstermektedir. Çalışma, sinyalize dönel kavşakların araç çakışması üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve kırmızı ışıktaki geçmeyi azaltabilecek tıkanıklık olduğu sonucuna varmıştır [15].

Puana, Norb ve Sien (2015), Mevcut gecikme modellerinin gecikmeleri tahmin etmek için uygulanabilirliğini değerlendirdiği çalışmasında, sürücülerin dönel kavşaktaki gecikmelerini konu almıştır. Puana ve diğerleri (2015) yaptıkları gözlemlerde dönel kavşaktaki toplam gecikmenin, dolaşımdaki akış arttığında arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, ana yoldan gelen yoğun trafik talebi nedeniyle tali yoldaki dönel kavşağa girişteki gecikme ana yola göre daha yüksek olmuştur. Gecikme tahminleri için üç teorik gecikme modeli kullanılmıştır. Bu modellerden sadece bir tanesi gözlemlenen gecikme ile uyumlu olmuştur. Dolayısıyla bu

durum, dönel kavşak performansının değerlendirilmesinde her teorik gecikme modelinin uygulanamayacağını göstermektedir. Gözlemlenen gecikmenin ve teorik gecikmeler Hizmet Seviyesi (LOS) parametresi ile değerlendirildi. Dönel kavşakta alınan hizmet düzeyi LOS A'dır ve bu kabul edilebilirdir çünkü dönel kavşakta sürücüler trafik sinyallerinin değişmesini beklemeden ilerleyebilirler [16].

Gawali, Naxine ve Kapgate (2019), video grafik ölçme yöntemini kullanarak, beş kesişimli bir kavşakta günün yoğun saatlerindeki trafik verilerini topladıkları ve araçları sayarak farklı sınıflara ayırdıkları çalışmalarında, PTV Vissim programında sinyalize ve dönel kavşak tasarlamışlardır. Aynı trafik verileri sinyalize ve dönel kavşağa girildiğinde modern dönel kavşağın yolculuk süresi, kat edilen mesafenin azalması, gecikme süresi gibi çeşitli parametreler açısından daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir [17].

Longfei, Lin ve Chun (2021) çoklu model simülasyonu yoluyla dönel kavşaklar ve sinyalize kavşakları karşılaştırdıkları çalışmalarında, büyük trafik hacmine ve küçük trafik hacmine sahip iki senaryo üzerinde durmuşlardır. Longfei ve diğerleri (2021), farklı trafik ışığı süresine sahip dört kavşak modeli ve farklı sayıda şeride sahip iki dönel kavşak modeli oluşturarak zaman içinde geçen araç sayısı, araç başına ortalama durma sayısı, araç başına ortalama zaman kaybı, geçen araçların ortalama hızı ve tüm araçların alanı geçmesi için geçen süre gibi farklı değerlendirme ölçütlerini karşılaştırmışlardır. Simülasyon sonuçlarında, özellikle yoğun trafikte birim zamanda geçen araç sayısı, ortalama araç hızı ve ortalama araç zaman kaybı açısından dönel kavşakların sinyalize kavşaklara göre daha verimli olduğunu, ancak daha fazla ortalama araç durmasına neden olabileceğini saptamışlardır [18].

Bir karayolu ağı üzerinde bir noktadan diğerine seyahat ederken, bir karayolu sınıfından diğerine geçiş yaparken, verimli hemzemin ve farklı seviyeli kavşaklar, bir ağın kalitesini yolcuların bakış açısıyla değerlendiren sürekliliği sağlar. Sinyalize dönel kavşaklar giderek daha popüler bir kavşak kontrolü biçimidir. Mevcut dönel kavşakların seçilmiş kollarına (yalnızca yoğun saatlerde) sinyal eklenmesine ilişkin ilk deneyler 1950'lerin sonlarında gerçekleştirilmiştir ancak dönel kavşaklarda sinyallerin kullanımının gerçekten artmaya başlaması 1990'ların başlarına kadar gerçekleşmemiştir. O tarihten bu yana, yayaların ve bisikletlilerin dikkate alınmasına yönelik gereksinimlerin artmasıyla birlikte analiz ve kontrol teknikleri hızla gelişmiştir. Sonuç olarak, sinyalize dönel kavşakların tasarımı oldukça karmaşık hale gelmiş ve artık başlı başına bir uzmanlık alanı haline gelmiştir. Hem

dönel kavşakların hem de karmaşık trafik sinyalli kavşakların tasarımındaki deneyim, sinyalizasyon bir dönel kavşak için optimum tasarımı garanti etmek için yeterli değildir [19].



3. KAVŞAKLAR

Kavşaklar, iki veya daha fazla karayolunun kesiştiği, araçların, yayaların ve bisikletlilerin etkileşim halinde iken akışın güvenli bir şekilde yönetilmesi için trafik sinyalleri, işaretler veya diğer trafik kontrol önlemlerinin alınmasını gerektiren kritik noktalardır.

Güzergahlar üzerinde sürücü hızlarının kontrol altına alınması, sürekliliğinin sağlanması, trafik güvenliğinin artırılması ve yeterli hizmet seviyesinin sağlanması amacıyla kavşak düzenlemelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Seyahat sırasında yavaşlama ve durmalar gecikmelere neden olmaktadır. Bu gecikmelerin azaltılması amacıyla da kavşak tasarımları önem kazanmaktadır.

Kavşak tasarımları yapılırken kavşak bölgesinin halihazır alımlarının yapılması, çevresel faktörlerin dikkate alınması, kamulaştırma sınırı ve imar koridoru verilerine uyulması, tesis ve kurumların konumlarının düzenlenmesi ve yerel yönetim ve idarenin talepleri doğrultusuna hareket edilmesi gerekmektedir.

Kavşak tipine karar verirken, öncelikle anayol ve tali yolların bütün yönlerdeki trafik sayımlarının yapılması ve zirve saat değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Mevcut kavşakların kapasite analizleri ve planlanan kavşakların kapasite analizleri yapılarak karşılaştırılması doğru kavşak tipinin belirlenmesinde etkili olmaktadır.

3.1. Kavşak Tipleri

Kesişen trafik akımlarının kontrolünü sağlayacak, süreklilik arz edecek, güvenli ve yeterli hizmet seviyesine sahip olacak ve optimum çözümü sunacak en iyi kavşak tipine karar vermek oldukça önemlidir. Hemzemin ve farklı seviyeli olmak üzere iki kavşak tipi vardır. Bu çalışma kapsamında hemzemin kavşaklar önem arz etmektedir.

3.1.1. Hemzemin kavşaklar

Hemzemin kavşaklar kol sayısına göre üç ana tipte gruplandırılmaktadır:

- Üç kollu hemzemin kavşaklar (T veya Y kavşaklar)
- Dört kollu kavşaklar
- Çok kollu kavşaklar

Trafik kontrol sistemine göre ise iki tipte gruplandırılmaktadır:

- Sinyalize kavşaklar
- Sinyalize olmayan kavşaklar

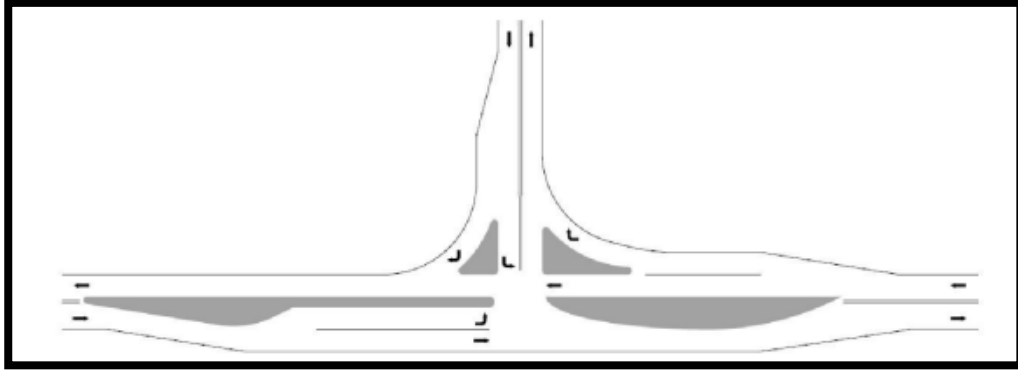
Sinyalize olmayan kavşaklar

Sürücüler ve yayalar için geçiş hakkının bir trafik sinyali tarafından kontrol edilmediği iki veya daha fazla yolun herhangi bir seviyede kesiştiği kavşak türüdür. Sinyalize olmayan kavşaklar kontrollü ve kontrolsüz olarak ikiye ayrılmaktadır. Kontrolsüz kavşaklar, yaklaşım kollarından girişte herhangi bir düzenleyici işaret veya trafik sinyalinin bulunmadığı kavşaklardır. Geçiş üstünlüğü kuralına göre, kontrolsüz kavşakta karşılaşılması halinde dönüş yapacak araçların düz gidecek araçlara yol vermesi gerekir. Kontrollü kavşaklarda bir veya daha fazla yaklaşımdan giriş, bir dur işaretiyle kontrol edilmektedir. Sinyalizasyonsuz kavşaklarla ilgili olarak, geleneksel olmayan tasarımlardan biri modern dönel kavşaklardır. Bu tasarımda dönel ada içerisindeki taşıta yol ver kuralı uygulanmaktadır. Herhangi bir sinyalizasyon sistemi bulunmamaktadır.

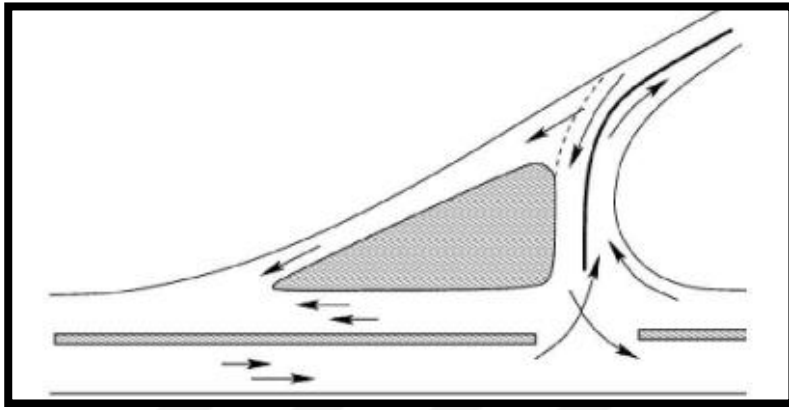
Üç kollu hemzemin kavşak

Üç kollu hemzemin kavşaklar grubunda yer alan T kavşaklar, düşük hacimli 2x1 şeritli kırsal yollarda ve şehir geçişlerinde yer alan bölünmüş yollarda uygulanabilmektedir. Kavşak bölgesinin yüksek trafik hacmine sahip olduğu durumlarda, kesişim noktalarında dönen trafiği kontrol altına almak ve sürücülerin dönüşlerini rahat gerçekleştirebilmelerini sağlamak amacıyla kavşak kolları kanalize edilerek uygulanır. Ayırıcı adaların alanlarının en az 5 m² olarak tasarlanması gerekmektedir [20].

Üç kollu hemzemin kavşaklar grubunda yer alan Y tipi kavşakların ise, imar durumu ve kamulaştırma sınırı kısıtlamaları nedeniyle, tali yolun anayola bağlantısının dik veya dike yakın eksen ile sağlanamadığı durumlarda, kesişme açısı ve arasında olması durumunda uygulanması gerekmektedir.



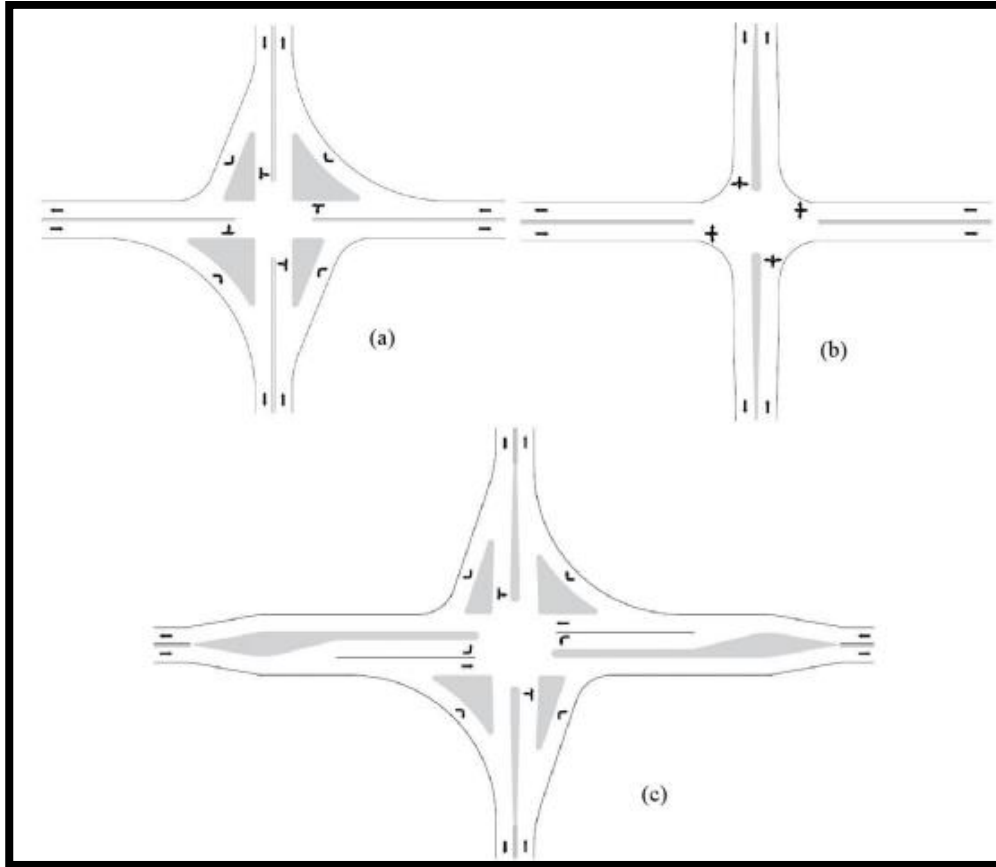
Resim 3.1. 3 Kollu kanalize T kavşak [20]



Resim 3.2. 3 Kollu kanalize Y kavşak [20]

Dört kollu kavşaklar

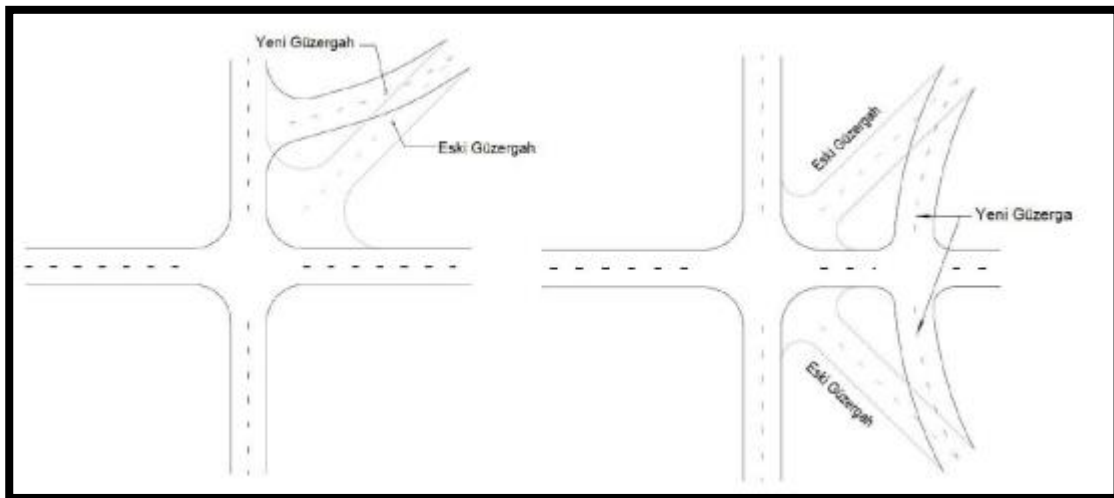
Dört kollü kavşaklarda, anayolda trafiğin kesintisiz akışını sağlamak amacıyla hız değıştirme şeritleri eklenir. Bu şeritlerin paralel kısımlarının minimum 45 m olması önerilmektedir. Anayola katılımlarda hızlanma şeritleri min. 50m olması koşuluyla kama şeklinde tasarlanabilir. Kavşak kollarının dönüş yarıçaplarının büyük taşıt cinslerine göre tasarlanmalıdır [20].



Resim 3.3. Dört kollu kanalizasyon kavşakları [20]

Çok kollu kavşaklar

Hemzemin kavşaklarda, dörtten fazla kol tasarlanmasından kaçınılmalıdır. Zorunlu durumlarda bir veya daha fazla kolu tek yönlü işletmek ve kavşak kollarının eksenlerinin düzenlenmesiyle uygun çözüm bulunabilir.



Resim 3.4. Çok kollu kavşak kollarının yeniden düzenlenmesi

Bu tip kavşaklar kapasite analizi sonuçlarına göre şehir geçişlerinde sinyalize edilebilir [3].

Sinyalize kavşaklar

Sinyalize kavşaklar, trafik akışının trafik ışıkları olarak da bilinen trafik sinyalleriyle kontrol edildiği kavşaklardır. Sinyalize kavşaklar trafik yönetimi için önemli bir araçtır; trafik akışının kontrol edilmesine, belirli hareketlere (sola dönüşler veya yaya geçitleri gibi) öncelik verilmesine ve yol ağlarının verimliliğinin optimize edilmesine olanak tanır. Sinyalize kavşaklar, araçların ve yayaların varlığını tespit etmek ve sinyal zamanlamasını buna göre ayarlamak için sensörler, zamanlayıcılar ve bazen kameralar kullanan gelişmiş trafik sinyal kontrolörleri tarafından kontrol edilir. Sinyal aşamalarının zamanlaması, trafik akışını optimize edecek ve tüm kullanıcılar için gecikmeleri en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır.

Sinyalize bir kavşağın geometrik tasarımı, güzergah şeritlerinin, kaldırım rampalarının, yaya geçitlerinin, bisiklet şeritlerinin ve toplu taşıma duraklarının hem yatay hem de dikey boyutlarda işlevsel yerleşimini içerir. Geometrik tasarımın karayolu güvenliği üzerinde çok önemli bir etkisi vardır; yol kullanıcılarının beklentilerini şekillendirir ve birçok kesişimin mevcut olduğu bir kavşakta nasıl ilerleneceğini belirler [21].



Resim 3.5. Sinyalize kavşak örneği İzmir Manas Bulvarı-Haydar Aliyev Caddesi kesişimi

Sinyalize kavşaklarda, kavşağa yaklaşımda herhangi bir kavşak kolunda durdurulan ilk araç, diğer kavşak kollarında durdurulan ilk aracın sürücüsü tarafından görülebilmelidir. Sola dönen araçlar karşıdan gelen trafikteki boşlukları seçebilmek ve sola dönüşleri tamamlayabilmek için yeterli görüş mesafesine sahip olmalıdır. Sinyalize kavşaklarda, bu görüş koşulları dışında başka yaklaşma veya uzaklaşma görüş üçgenlerine ihtiyaç duyulmaz. Sinyalizasyon, görüş mesafesiyle ilgili çarpışmaların yaşandığı, kısıtlı görüş mesafesine sahip, yüksek hacimli kavşaklar için uygun bir çarpışma önlemi olabilir [22].

Dönel kavşaklar

Anayoldaki trafik akımının, dönüş trafik akımına göre daha az olduğu ve yaya hareketleri ile ağır taşıt oranının fazla olduğu kesişim noktalarında, kavşak bölgesindeki işletme hızını düşürerek trafik güvenliğini arttırmak amacıyla dönel kavşakların tasarlanması uygun olacaktır. Dönel kavşakları mini dönel, tek şeritli dönel kavşak ve çok şerit dönel kavşak olarak sınıflandırabiliriz [20].



Resim 3.6. Mini dönel kavşak

Mini dönel kavşaklar, düşük hızlı kentsel ortamlarda kullanılan, ortalama çalışma hızı 60 km/saat (35mph) veya daha az olan küçük dönel kavşaklardır [20].



Resim 3.7. Tek şeritli dönel kavşak



Resim 3.8. Çok şeritli dönel kavşak

Çok şeritli dönel kavşaklar, dolaşım yolunun en az iki dolaşım şeridi içerdiği dönel kavşaklardır. Dönel kavşak boyunca dolaşan bir ila iki veya daha fazla şeritten genişleyen bir veya daha fazla yaklaşıma girişleri olan dönel kavşakları içermektedir. Bazı durumlarda, dönel kavşağa bağlanan tali yollar girişler tek şerit, ana caddeye girişler iki şeritli olacak şekilde farklı sayıda şeritleri olabilmektedir.

Çok şeritli dönel kavşakların tek şeritli kavşaklardan bazı önemli farklılıkları vardır. Tipik olarak tek şeritli kavşaklardan daha yüksek dolaşım ve çıkış hızlarına sahiptirler. Dolaşım yolu genişlikleri de şerit sayısına ve tasarımdaki araç dönüş gereksinimlerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Tüm dolaşım yolu boyunca sabit bir genişliğe gerek yoktur ve dönel kavşağın belirli bir bölümünde gerekli şerit konfigürasyonlarına hizmet etmek için gerekli minimum genişliğin sağlanması arzu edilmektedir [2].

3.1.2. Modern dönel kavşaklar

Modern dönel kavşak, trafiği güvenli ve verimli bir şekilde hareket ettiren dairesel konfigürasyona sahip bir kavşaktır. Modern dönel kavşaklar, araç hızını azaltan kanalize, kavisli yaklaşımlara, dolaşımdaki trafiğe geçiş hakkı veren giriş verimi kontrolüne ve çakışma noktalarını en aza indiren merkezi bir ada etrafında saat yönünün tersine akışa sahip bir kavşak türüdür. Modern dönel kavşaklarda daha düşük hızların ve daha az çakışmanın sonucu olarak, yaralanma veya ölüme neden olan çarpışmaların önemli ölçüde azaldığı görülmektedir.

Modern dönel kavşaklar hem kentsel hem de kırsal alanlarda çok çeşitli trafik koşulları altında uygulanabilmektedir. Diğer kavşak türleri ile karşılaştırıldığında gecikmeyi ve

kuyruk oluşumunu azaltabilmektedir. Modern dönel kavşaklar, geometrileri trafiği yavaş hızlarda girmeye ve dolaşıma zorlandığında en güvenli şekilde çalışmaktadır. Giriş ve dolaşım yollarının genişlikleri azaldıkça, dönel kavşağın kapasitesi azalmaktadır [23].

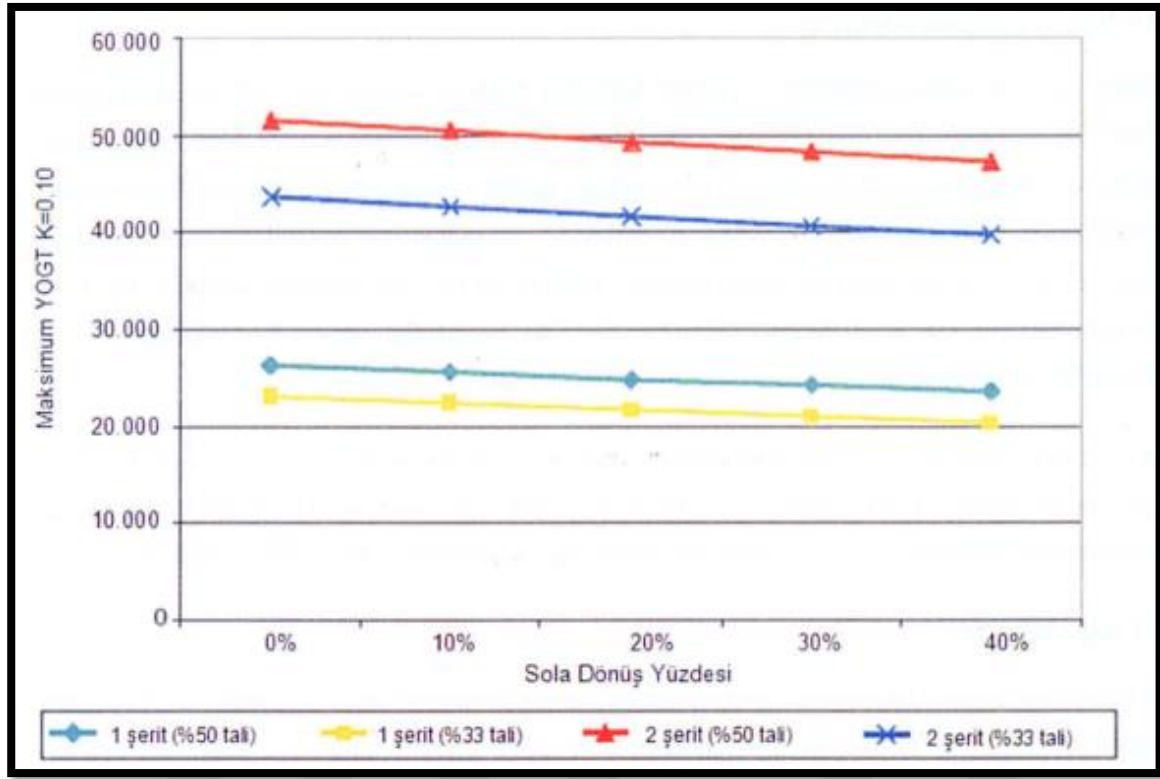


Resim 3.9. Çok şeritli modern dönel kavşak örneği: Kocasinan/Kayseri

Modern dönel kavşaklarda geometrik tasarım

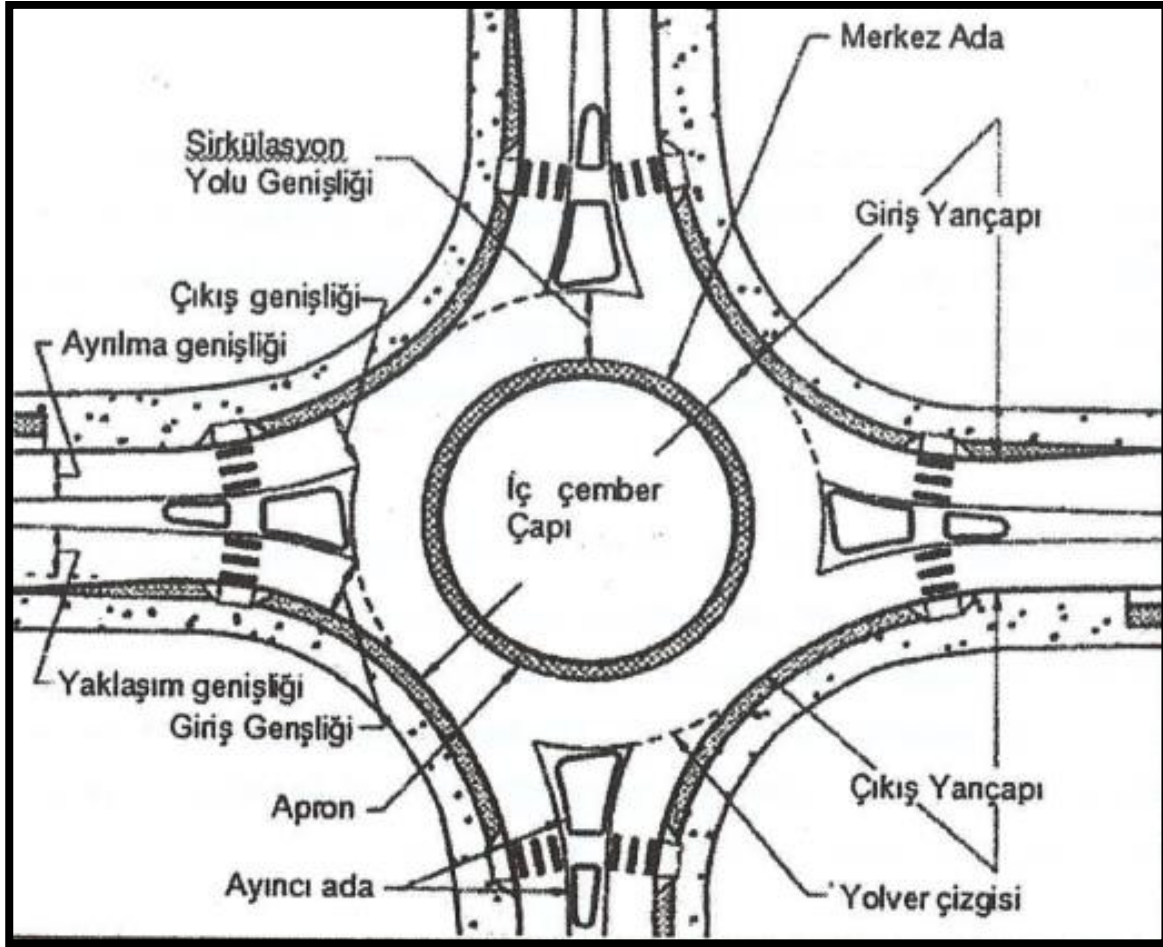
Uygulama alanı yeterli ise, MDK uygulamaları yüksek trafik hacimlerine hizmet verebilmektedir. MDK planlaması yapılırken ilk olarak, hizmet vermek için gerekli olan dönel kavşak giriş şerit sayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) bazında trafik hacimleri belirlenerek trafik işletme analizleri proje saatlik hacmi düzeyinde yapılmalıdır. Analizlerde YOGT'nin proje saatlik hacmine çevrilmiş K faktörü 0,1, zirve yönüne atanan iki yönlü trafiğin oranı D faktörü 0,58 alınmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Federal Karayolu idaresinin dönel kavşaklar için hazırlamış olduğu klavuzda yapılan analizlerdeki tüm hesaplamalarda dikkate alınması gereken iki sahaya özgü parametre olduğu belirtilmiştir. Bunlardan birincisi ana caddedeki trafik oranıdır. Dönel kavşak planlama amacıyla bu değer 0,5 ile 0,67 arasında olduğu varsayılmıştır. Tüm analizlerde dört ayaklı bir kesişim varsayılmıştır. Sola dönüşlerin oranı da dikkate alınmıştır, çünkü sola dönüşler tüm trafik kontrol modlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Sağa dönüşlerin tüm durumlarda yüzde 10 olduğu varsayılmıştır. Kabul edilebilir dönel kavşak

işletimi için birçok kaynak, dönel kavşağın herhangi bir ayağındaki hacim/kapasite oranının 0,85'i aşmamasını tavsiye etmektedir [23].



şekil 3.1. Dört kollu dönel bir kavşak için maksimum günlük servis hacimleri

Modern dönel kavşakları tasarlariken ilk denemede en uygun geometrik tasarımı elde etmek zor olacaktır. Tasarım yapılırken, geometrideki ufak değişikliklerin güvenlik açısından ciddi değişikliklere yol açabileceği düşünülerek yerleşim planlarının ayrıntılı olarak hazırlanması gerekmektedir.

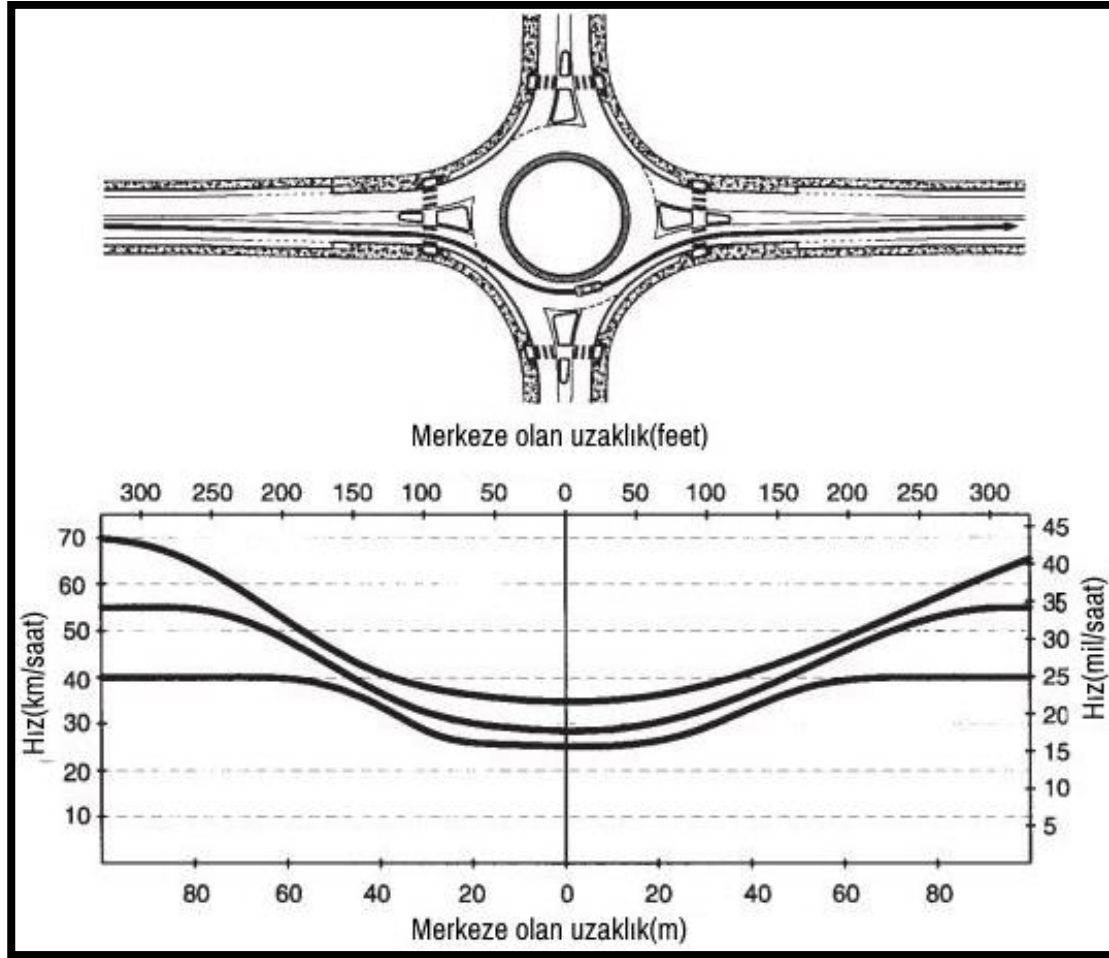


Resim 3.10. Bir dönel kavşaktaki temel geometrik elemanlar [23]

Kavşak tasarım hızı

İyi bir dönel kavşak tasarımı, hızın azaltılmasına ve hız tutarlılığına yüksek öncelik verir. Bu tür tasarımlar, araçların genellikle 30 km/sa'den daha düşük hızlarda, bir dizi dönüş manevrası yoluyla dönel kavşaktan geçmesini gerektirir. Hız tutarlılığı, sürücülerin beklentileriyle tutarlı olacak şekilde araçları kademeli olarak istenen hıza kadar yavaşlatma tasarım hedefini ifade eder. Hız kontrolü, yalnızca trafik kontrol cihazları ve işaretleri ile değil, geometrik özelliklerle de sağlanmaktadır. Bu nedenle günün her saatinde hız azaltımı sağlanabilir [23].

MDK'larda, güvenlik üzerindeki etkilerinden dolayı uygun taşıt hızlarını elde etmek en önemli tasarım hedefi olmalıdır. Dönel kavşak merkezinin yaklaşık 100 m. gerisi ve ilerisinde 40,55 ve 70 km/saatlik yaklaşım hızları yer almaktadır. Yavaşlama bu zamandan önce başlamakta, sirkülasyon yapan sürücüler ise dönel kavşakta neredeyse aynı hızlarda gitmektedir. Bu durum, sürücülerin daha güvenli ve etkin biçimde istedikleri güzergahı kullanmalarına olanak sağlamaktadır [24].



Resim 3.11. Şehir içi kompakt tasarım için örnek teorik hız profili [23]

Çizelge 3.1. Modern dönel kavşaklar için tavsiye edilen maksimum giriş tasarım hızları

Arazi Kategorisi	Tavsiye edilen maksimum tasarım giriş hızı(km/saat)
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

Yapılan uluslararası çalışmalar, kavşak yaklaşımlarında kullanılan kurpların arttırılmasının, kavşağa giren ve sirkülasyonda olan araçlar arasındaki göreceli hızı azalttığını dolayısıyla çarpışma oranlarında azalmaya yol açtığını göstermektedir.

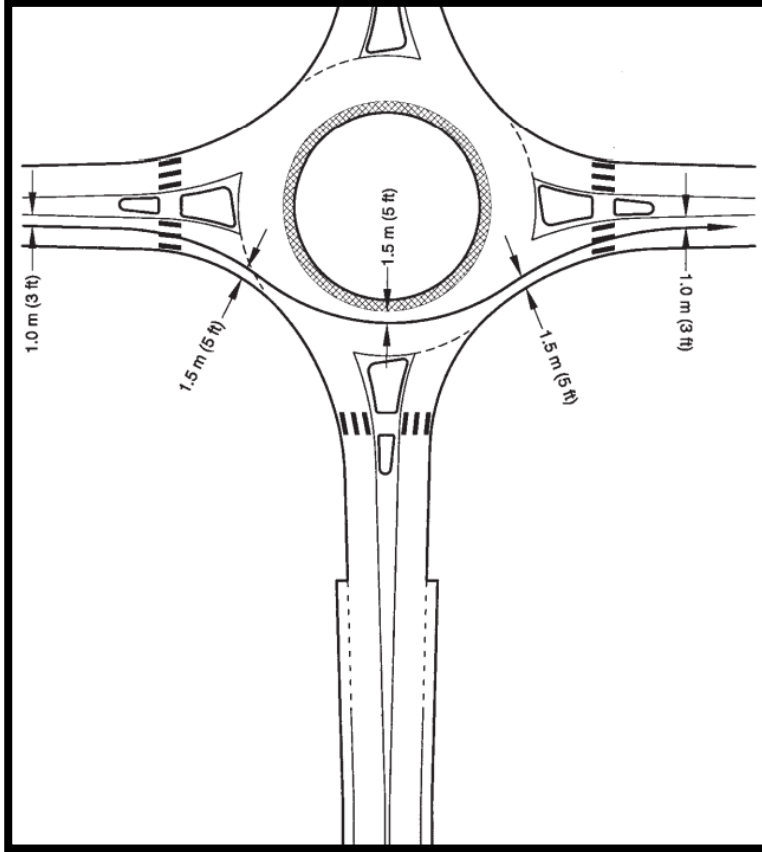
İyi bir tasarımla elde edilirse, prensip olarak daha düşük araç hızları aşağıdaki güvenlik faydalarını sağlamaktadır;

- Özellikle yaşlı, çocuk ve engelli kişiler olmak üzere tüm yayalar ve bisikletliler için çarpışma şiddetinin azaltmaktadır,
- Sürücülerin kavşağa yaklaşırken karar vermesi, hızı ayarlaması ve dönel adadaki trafikte bir boşluğa girmesi için giren sürücülere daha fazla zaman sağlamaktadır,
- Sürücülerin kendi hatalarını veya başkalarının hatalarını tespit etmeleri ve düzeltmeleri için daha fazla zaman sağlamaktadır,
- Çarpışmalar daha az sıklıkta ve daha az şiddetli olacak hale getirilmektedir,
- Acemi kullanıcılar için kavşağı daha güvenli hale getirmektedir.

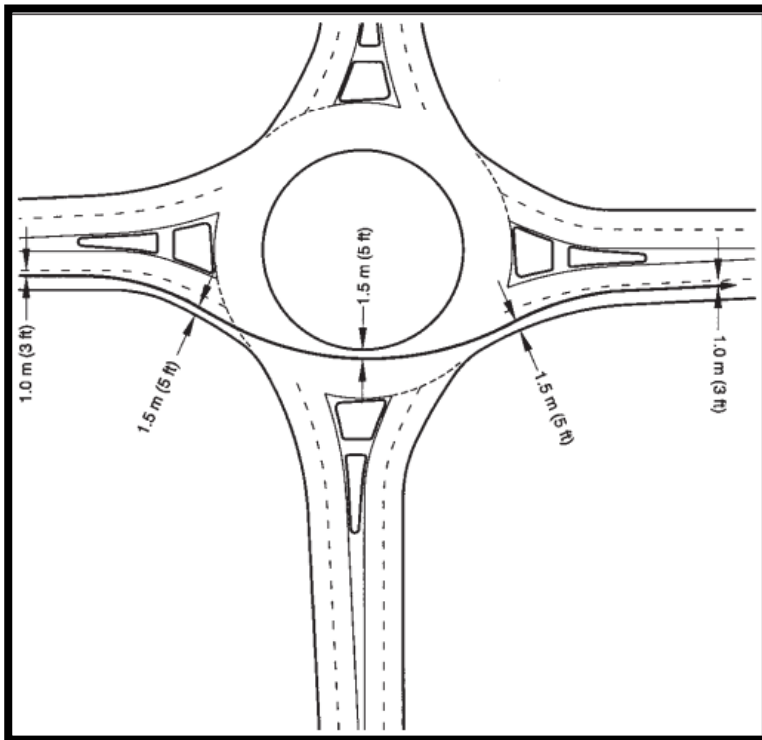
Modern dönel kavşak içinde taşıt güzergahları

Modern dönel kavşaklarda işletme hızı belirlenirken, kavşak geometrisinin izin verdiği en hızlı güzergah seçilir. Seçilen hat, tek bir taşıtın hiçbir trafik ve işaretleme olmadığı kabulü yapılarak, girdiği merkez adanın etrafındaki sirkülasyonu tamamladığı ve kavşaktan çıktığı en düz ve yumuşak geometriyi sağlanacak güzergahtır.

Bir taşıtın genişliğinin 2 m olduğu ve yol orta çizgisi ya da yol kenarı arasında 0,50 m mesafe bulunduğu kabul edilmiştir. Bu yüzden taşıt güzergahının orta çizgisi kurptan 1,5 m uzaklıkta, yol orta çizgisinden 1,5 m uzaklıkta, banket kenar çizgisinden 1,0 m uzaklıkta konumlandırılabilir.



Resim 3.12. Tek şeritli modern dönel kavşaktaki en hızlı taşıt güzergahı [23]



Resim 3.13. Çift şeritli modern dönel kavşaktaki en hızlı taşıt güzergahı [23]

Resim 3.12.'de gösterildiği gibi, geçiş hareketi için en hızlı yol ardışık ters yönlü kurplardan oluşmaktadır. Yolu çizerken, sürücünün direksiyonu çevirmesi için gereken süreyi hesaba katmak amacıyla ardışık virajlar arasında kısa bir teğet uzunluğu çizilmelidir. Tasarımcı, en hızlı yolu çizdikten sonra, uygun yarıçapları belirlemek için kullanarak minimum yarıçapı ölçebilir.

Dönel kavşağın tasarım hızı, izin verilen en hızlı yol boyunca en küçük yarıçaptan belirlenir. En küçük yarıçap genellikle araç sirkülasyon yolunda iken orta adanın etrafında sola doğru kıvrılırken meydana gelir. Dönel kavşak tasarlanırken giriş kurbunun yarıçapının sirkülasyon yolunun yarıçapından çok büyük olmamasına dikkat edilmelidir [23].

Yatay kurplar ve tasarım hızı arasındaki ilişki

Tasarım hızı ve yatay kurplar arasındaki ilişki Eş.3.1. ile hesaplanmaktadır [22].

Yarıçapı verilen bir güzergah için tasarım hızı bulunabilir.

$$V_t = \sqrt{127R(e + f)} \quad (3.1)$$

V_t : Tasarım hızı (km/sa)

R : Yarıçap (m)

e : Dever (m/m)

f : Yanal sürtünme faktörü

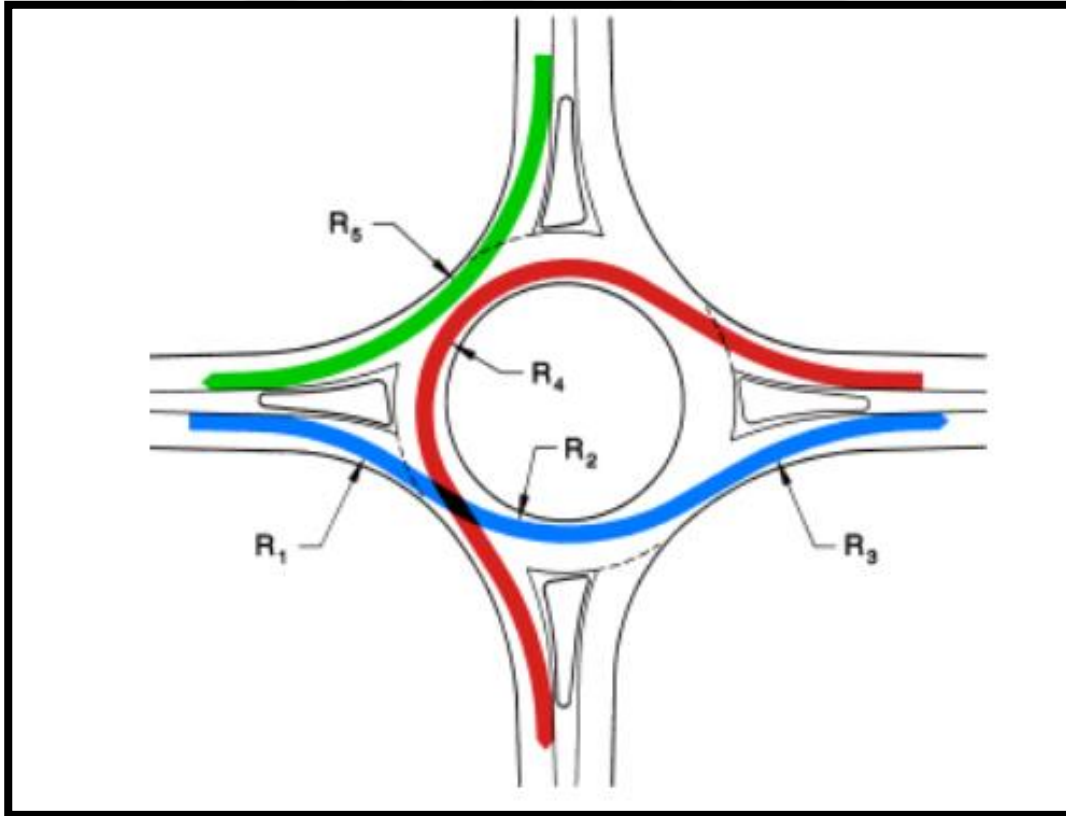
Çizelge 3.2. Hızlara göre yanal sürtünme faktörü tablosu

$V_t(\text{km/saat})$	f
10	0.50
20	0.36
30	0.28
35	0.25
40	0.22
45	0.21
50	0.19
60	0.18

Hız tutarlılığı

Hızdaki genel azalmaların yanı sıra hız tutarlılığı, çakışan araç akışları arasındaki çarpışma oranının ve ciddiyetinin en aza indirilmesini sağlamamaktadır. Ayrıca, kritik boşlukları en aza indirerek giriş kapasitesini optimize etmektedir. Hız tutarlılığının sağlanması için ardışık geometrik elemanlar arasındaki bağıl hızların ve çakışan trafik akışları arasındaki göreceli hızların en aza indirilmesi gerekmektedir.

Resim 3.14'te gösterilen kritik güzergah yarıçaplarından R_1 , yol-ver çizgisinin önünde yer alan en hızlı geçiş yolundaki minimum giriş yolu yarıçapıdır. R_2 , merkezi ada etrafındaki en hızlı geçiş yolu üzerindeki minimum dairesel yol yarıçapıdır. R_3 , çıkışa giden en hızlı yol üzerindeki minimum çıkış yolu yarıçapıdır. R_4 , çakışan sola dönüş hareketinin yolu üzerindeki minimum sola dönüş yolu yarıçapıdır. R_5 , sağa dönen bir aracın en hızlı yolundaki minimum yarıçapıdır.



Resim 3.14. Taşıt güzergah yarıçapları [24]

En hızlı güzergahta $R_1 < R_2 < R_3$ olması önerilmektedir. R_1 'in R_2 'den küçük olması sağlanamazsa hızlar arasındaki göreceli farkın 20 km/saat'ten az olması sağlanmalıdır [24].

Çizelge 3.3. Yaklaşık R_4 değerleri ve bunlara karşılık gelen R_1 değerleri [24]

Merkez Çember Çapı (m)	Yaklaşık R_4 değeri		Maksimum R_1 değeri	
	Yarıçap(m)	Hız(km/sa)	Yarıçap(m)	Hız(km/sa)
Tek Şeritli MDK'lar				
30	11	21	54	41
35	13	23	61	43
40	16	25	69	45
45	19	26	73	46
Çift şeritli MDK'lar				
45	15	24	65	44
50	17	25	69	45
55	20	27	78	47
60	23	28	83	48
65	25	29	88	49
70	28	30	93	50

Geometrik elemanlar

Ada çapları:

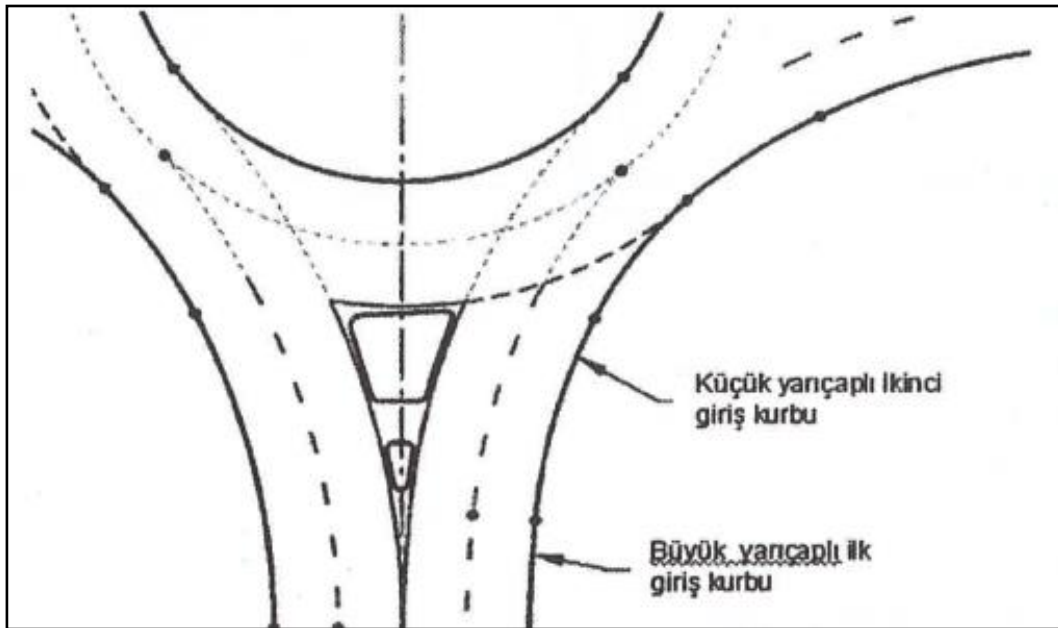
İç daire çapı, dolaşım yolunun dış bordürünün (veya kenarının) çizdiği daire boyunca olan mesafedir. Resim 3.10.'da gösterildiği gibi, iç çember çapı merkezi ada çapının (varsa apron dahil) ve dolaşım yolunun iki katının toplamıdır. İç daire çapı belirlenirken, tasarımcının belirli bir konumdaki en uygun boyutu seçmek için sıklıkla değişen çaplarla deneme yapması gerekir. Çok şeritli MDK'larda iç çember çapı minimum 45 m. olmalıdır. İç daire çapının küçük seçilmesi genel güvenlik açısından daha iyidir, çünkü daha düşük hızların korunmasına yardımcı olmaktadır. Ancak yüksek hızlı güzergahlarda yaklaşma geometrisinin tasarımı düşük hızlı ortamlara göre daha kritiktir. Daha büyük iç daire çapları genellikle daha iyi yaklaşma geometrisinin sağlanmasına izin verir, bu da araç yaklaşma hızlarında bir azalmaya yol açmaktadır. Daha büyük iç daire çapları aynı zamanda giren ve dönen araç yolları arasında oluşan açığı da azaltarak, bu araçlar arasındaki göreceli hızı azaltmakta ve giriş-dönüş çarpışma oranlarının azalmasına yol açmaktadır. Bu nedenle düşük hızlı güzergahlar için önerilenlerden biraz daha büyük çaplar gerektirebilmektedir. Bununla birlikte, 60 m'den büyük iç çap genellikle önerilmemektedir, çünkü bunlar yüksek dolaşım hızlarına ve daha fazla ve daha şiddetli çarpışmalara neden olacaktır [23].

Merkez ada:

Modern dönel kavşağın merkezi adası, sirkülasyon yolu tarafından çevrelenen yükseltilmiş, geçilemeyen alandır; bu alan aynı zamanda geçilebilir bir apron da içerebilmektedir. Ada tipik olarak estetik nedenlerden dolayı ve sürücünün kavşağa yaklaşırken daha iyi tanınmasını sağlamak için çevre düzenlemesi yapılmaktadır. Yaklaşan sürücülerin alçak adaları farketmesi zor olduğundan, orta adalar her zaman yükseltilmeli, alçaltılmamalıdır [23].

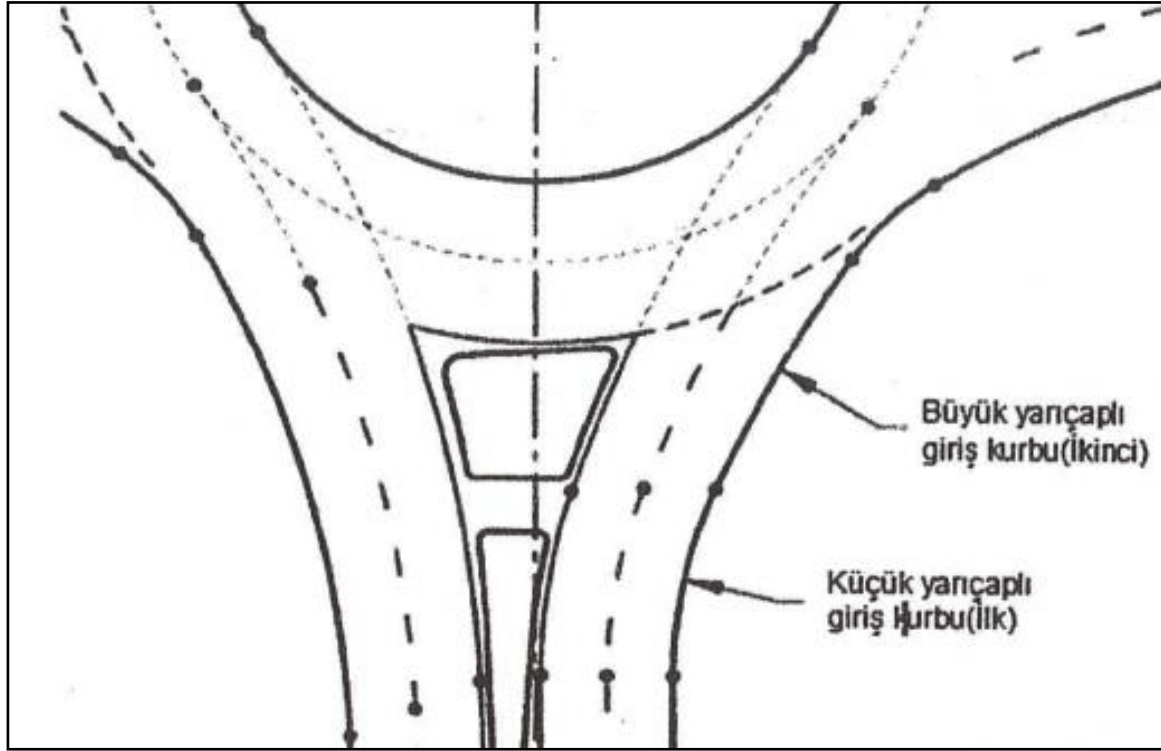
Giriş kurpları:

Çok şeritli MDK girişlerinde giriş hızlarının kontrolünün sağlanması ve şerit ihlallerinin azaltılması gerekmektedir. Girişte yol çakışmasını önlemenin bir yöntemi, merkezi adaya eğrisel olarak teğet olan bir iç giriş eğrisiyle başlamak ve ardından her giriş şeridinin dış kenarının konumunu belirlemek için paralel aliymenlar çizmektir. Bu eğriler kentsel ortamlarda 30 ila 60 m ve kırsal ortamlarda 40 ila 80 m arasında değişebilmektedir. Bu eğriler, sürücüye eğriliğin net bir şekilde gösterilmesini sağlamak için yaklaşık 30 m (100 ft) kadar uzanmalıdır. Tasarımcı, hızların yeterince düşük ve araç akışları arasında tutarlı olduğundan emin olmak için kritik araç yollarını kontrol etmelidir. Ayrıca ayırıcı adanın yaya geçidinin önündeki kısmının minimum boyutu AASHTO önerilerine uygun olacak şekilde sağlamalıdır.



Resim 3.15. Çift şeritli MDK’larda giriş tasarımında şerit ihlallerini önleme metotlarından biri

Giriş hızlarını azaltmanın ve yol çakışmasını önlemenin başka bir yöntemi, yol ver çizgisinin yaklaşık 10 ila 15 m yukarısında, genellikle 15 ila 30 m'lik küçük yarıçaplı kurplar kullanmaktır. Daha sonra, birinci kurp ile sirkülasyon yolunun kenarı arasına ikinci ve daha büyük yarıçaplı bir kurp yerleştirilir. Bu şekilde araçlar yine de küçük yarıçaplı yaklaşma kurbu tarafından yavaşlatılacak ve yol ver çizgisine ulaştıklarında merkez adaya teğet olan bir hat boyunca yönlendirileceklerdir.



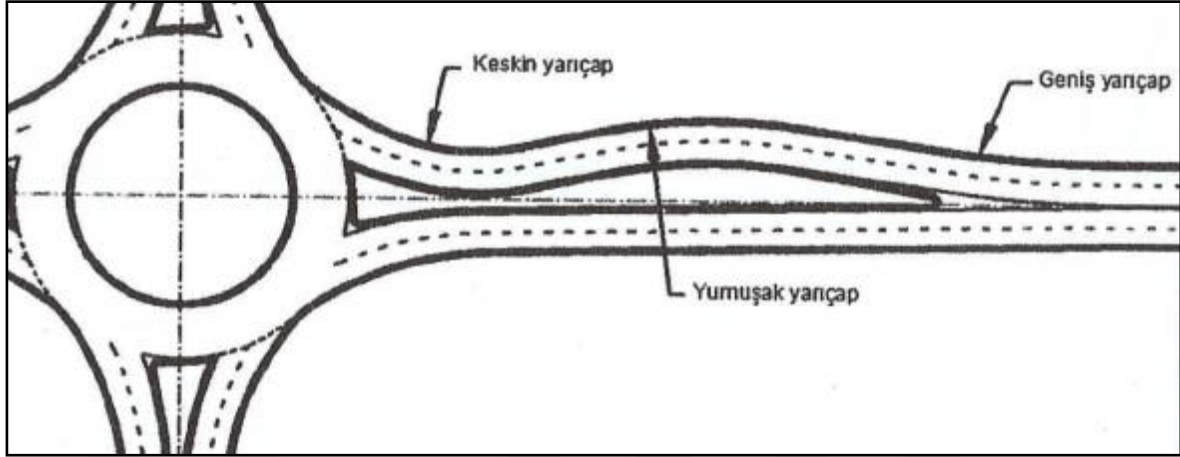
Resim 3.16. Çift şeritli MDK’larda giriş tasarımında şerit ihlallerini önlemek için alternatif metot

Yaklaşım kurpları:

Trafik işaretlemelerine rağmen, 80 km/saat veya daha yüksek hızlı yollarda, sürücüler hızla kavşağa yaklaşırken beklemedikleri anda dönel kavşaklara girebilir ve bu da düzensiz davranışlara neden olarak kazalarda artışa sebep olabilmektedir. Bu nedenle, sürücüleri kavşağa gelmeden önce yavaşlamaya zorlayacak bir geometrik tasarım yapılmalıdır. Kavşak yaklaşımlarında ardışık virajların kullanılması, hem dönel kavşaktaki çarpışmaları hem de hızı azaltmaktadır [23].

Resim 3.17’de yol ver çizgisinin öncesinde ardışık üç kurp çizilen bir dönel kavşak tasarımını göstermektedir. Kurp yarıçaplarının kavşağa yaklaştıkça küçülerek keskinleştiği

görülmektedir. Yapılan çalışmalarda yaklaşım platformunun 7m. deplase edilmesinin kurp uzunluklarını minimumda tutarken yeterli kavisin elde edilmesini sağladığı tespit edilmiştir.

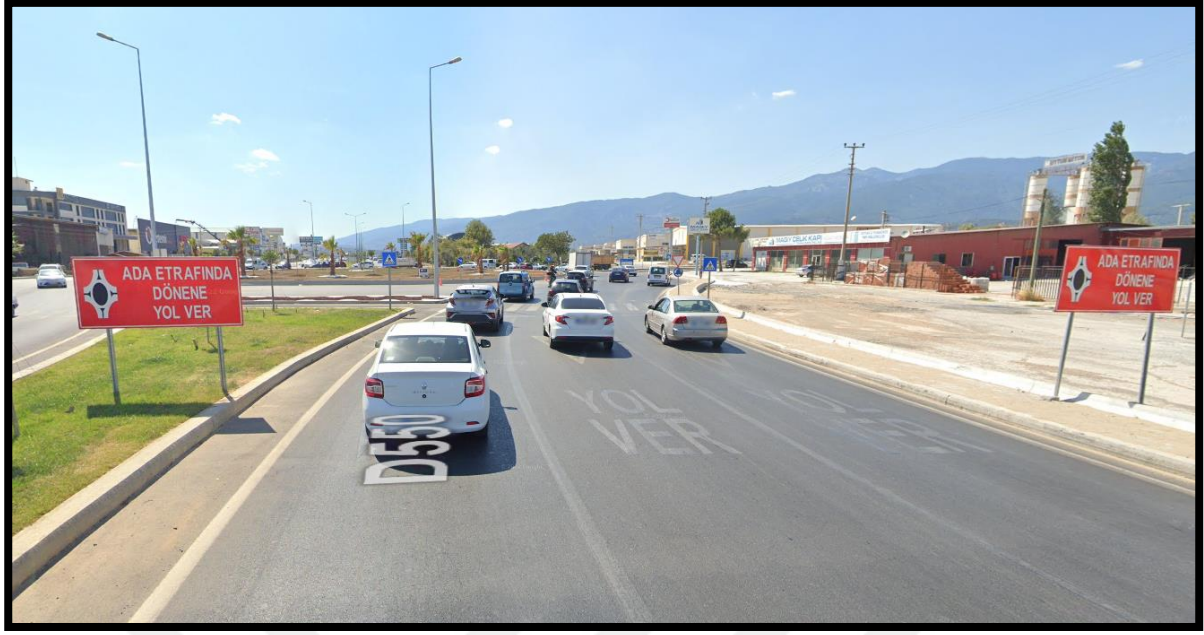


Resim 3.17. Yüksek hızlı kavşak yaklaşımlarında ardışık kurpların kullanımı

Modern dönel kavşaklarda sürücü eğitimi

Dönel kavşakların uygulanmasını düşünen bir devletin karşılaştığı önemli sorunlardan biri, yeterli sürücü, bisikletçi ve yaya eğitimi sağlama ihtiyacıdır. Sürücü eğitimine, onları bir modern dönel kavşağın temel fiziksel özelliklerine alıştırmak amacıyla basit gösterimler kullanılarak başlamalıdır. Kullanıcıların, birbirlerinin beklentilerini anlayabilmeleri için diğer tüm modlara ilişkin talimatlara da aşina olmaları gerekir.

Sürücüler bir dönel kavşağa yaklaştığında, hangi çıkıştan girmesi gerektiğine mümkün olduğunca erken karar vermeli ve doğru şeride girmelidir. Hızını azaltmalıdır. Ülkemizdeki kanunlara göre yayalar önceliklidir. Karşıya geçmek için bekleyen ya da yaklaşırken karşıdan karşıya geçen yayalara yol verilmelidir. Engelli insanlara, çocuklara ve yaşlı yayalara karşı dikkatli olunmalı ve özellikle düşünceli olunmalıdır. Dönel kavşağa yaklaşırken daima ayırıcı adanın (boyalı veya yükseltilmiş) sağından ilerlenmelidir.



Resim 3.18. Zeytinli kavşağı ada etrafında dönene yol ver uyarı levhaları

Dönel kavşak yol çizgisine ulaştığınızda, tabelalar veya kaldırım işaretleri aksini belirtmedikçe soldan gelen trafiğe yol verilmelidir. Dönel kavşakta halihazırda dolaşan bir aracın yanında dönel kavşağa girilmemeli, çünkü orta adaya yakın bir araç bir sonraki çıkıştan çıkıyor olabilmektedir. Dönel kavşakta halihazırda bulunan trafiğe, özellikle de bisiklet ve motosiklet sürücülerine dikkat edilmelidir. Bir acil durum aracı başka bir kesişimden yaklaşırken dönel kavşağa girilmemeli; acil durum aracının önündeki araç trafiğinin boşaltılmasına imkan verilmelidir.

Dönel kavşak içinde iken, çarpışmayı önlemek dışında durulmamalıdır; trafiğe girerken dönel ada içindeki araçlar geçiş hakkına sahiptir. Sürücüler daima merkez adanın sağından ve saat yönünün tersine ilerlemelilerdir. Dolaşım yolunun iki veya daha fazla aracın yan yana seyahat etmesine izin verecek kadar geniş olduğu durumlarda, sürücüler kendinden biraz önde olan bitişik araçları geçmemeliler, çünkü onlar daha sonra çıkmak isteyebilmektedirler. Dönel kavşakta çıkış dışında şerit değiştirmemelidir.

Sürücüler dönel kavşaktan çıkarken yavaş hızlarını korumalıdır. Çok şeritli dönel kavşaklarda, çıkarken yolunuza çıkabilecek bisikletler de dahil olmak üzere sağınızdaki araçları izlemeli ve çıkmanız için yol vermeye niyetli olup olmadıklarını öğrenmelidir. Çıkıştaki yaya geçiş noktasını geçinceye kadar hızlanılmamalıdır [23].

Modern dönel kavşaklarda performans analizi

Bir projenin etkililiğinin nasıl ölçüleceği katalizörüne bağlıdır. Uygulayıcıların, projeye özgü performans önlemlerini belirlemek için, hedef kullanıcıları da dahil olmak üzere her bir kavşak için özel olarak amaçlanan operasyonel, güvenlik ve geometrik performans bağlamını anlamaları gerekmektedir.

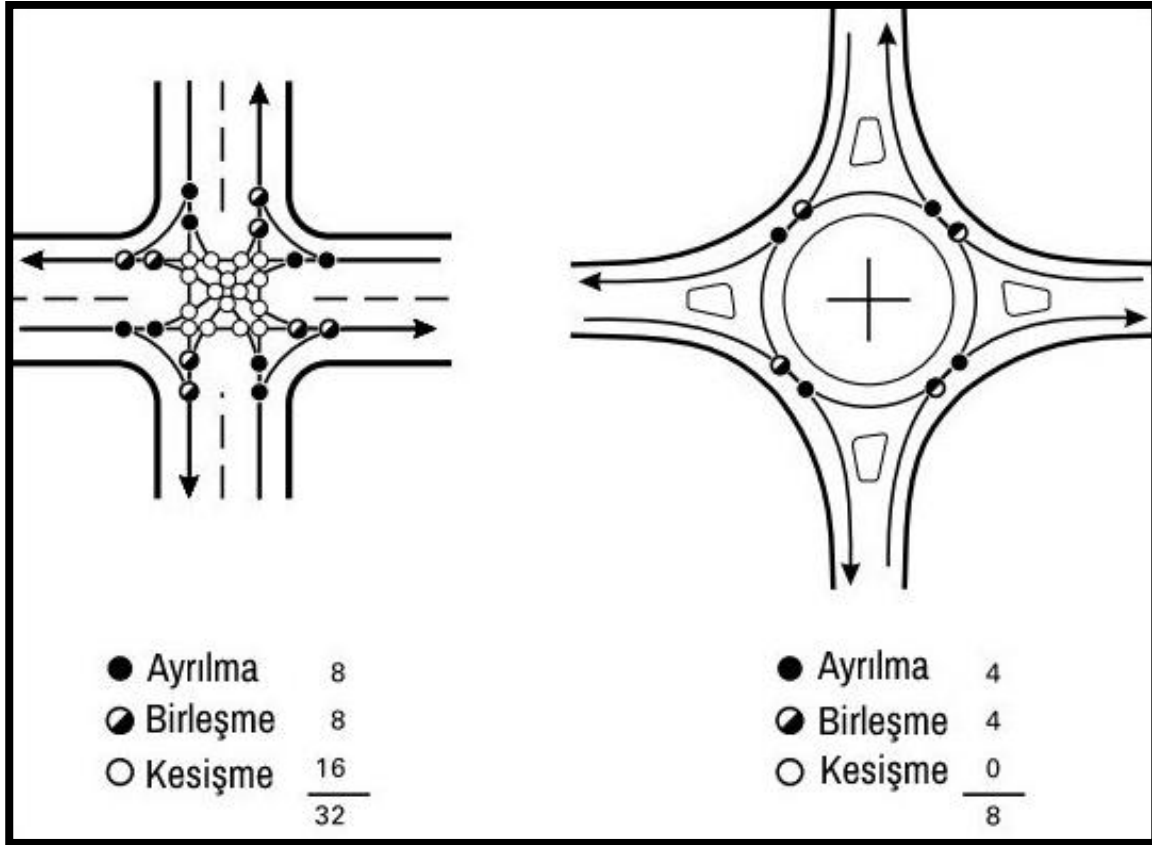
Performans analizi, alternatifleri boyutlandırmak ve performanslarını karşılaştırmak için kullanılan, proje geliştirmenin temel bir parçasıdır. Dönel kavşak performansını analiz etmek için her biri proje geliştirme sürecinin çeşitli aşamalarına yönelik uygulamalar içeren çeşitli metodolojiler mevcuttur. Tüm operasyonel analiz yöntemleri yaklaşık değerlerdir ve analizi yürütmek için uygun aracı kullanmak uygulayıcının sorumluluğundadır.

Kullanılacak operasyonel analiz yönteminin türüne ilişkin kararlar çeşitli faktörlere dayanmaktadır:

- Bu operasyonel analiz proje geliştirme sürecinin hangi aşamasını destekliyor?
- Hangi veriler mevcut?
- Yöntem, hacim/kapasite oranları veya animasyon gibi arzu edilen çıktıları üretebiliyor mu?
- Mevcut veya öngörülen koşulların analizi mi yapılıyor? Öngörülen koşullar varsa, öngörülen koşullar hangi düzeyde hassasiyeti destekliyor?
- Analiz yalnızca yoğun saatlere mi yönelik yoksa diğer saatlere de yönelik mi?

3.2. Sinyalize ve Modern Dönel Kavşakların Karşılaştırılması

- Güvenlik açısından, modern dönel kavşaklardaki çakışma noktalarının sayısının az olması, sinyalize kavşaklara göre bir avantajdır.
- Modern dönel kavşaklarda girişte kavşak içindeki araca yol verme kuralı nedeniyle, sinyalize kavşaklardaki kırmızı ve sarı ışıktaki yaşanan zaman kaybının önüne geçilmektedir. Bu da gecikmelerin sinyalize kavşaklara göre modern dönel kavşaklarda daha az olmasına olanak sağlamaktadır.



Resim 3.19. Tek şerit yaklaşımlı kavşaklar için taşıt çakışma noktalarının karşılaştırılması

- Modern dönel kavşakların tasarımında kullanılan ardışık kurplar ile ve büyük yarıçaplı dönel ada ile araç hızlarının düşürülmesi, kazalarının sayısını ve şiddetini azaltmakta ve bu durum kaza maliyetlerini düşürmektedir.
- Birbiri ile koordineli çalışan sinyalize kavşaklar, ağın genel kapasitesini arttıracaktır. Kavşak kesişim noktalarındaki bağlantı yollarının birbirinden çok farklı trafik hacimlerine sahip olduğu durumlarda, sinyalize kavşaklardaki trafik ışıkları büyük fayda sağlayarak, daha kısa süreli gecikmeler verebilmektedir.
- Çalışmamızda yaya trafiği göz önünde bulundurulmamasına rağmen, modern dönel kavşaklarda hem yayalar hem de bisikletliler için uygun geçiş zamanını beklemek gecikmelerini arttırmaktadır.

Çizelge 3.4. Sinyalize ve modern dönel kavşakların karşılaştırılması

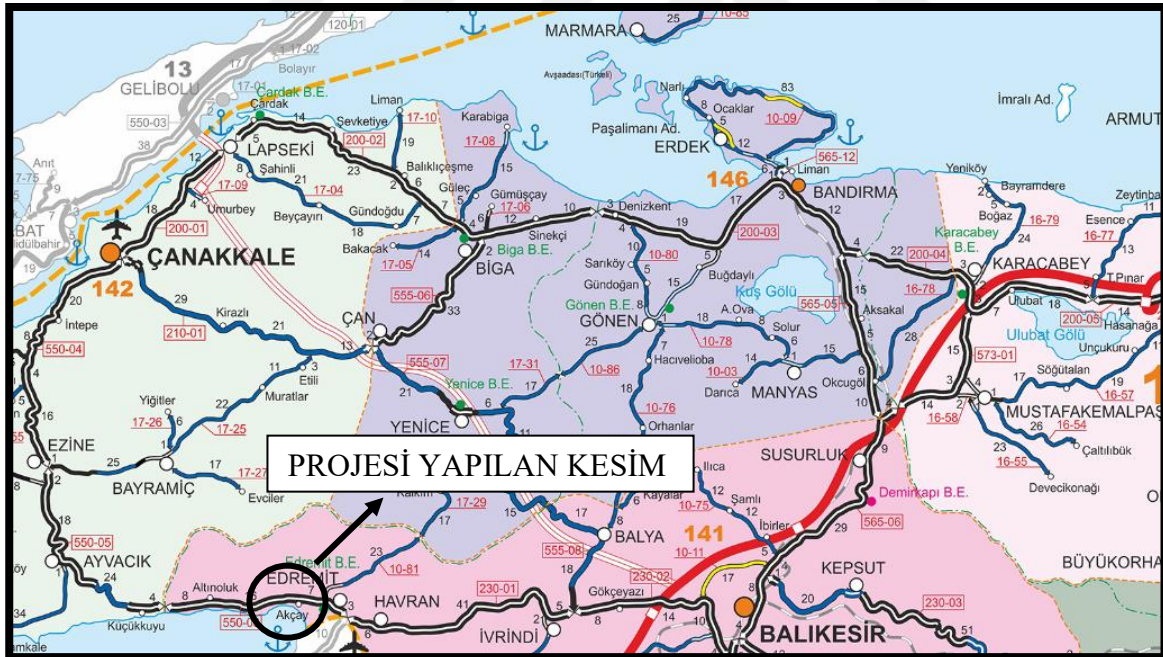
Parametreler	Sinyalize Kavşaklar	Modern Dönel Kavşaklar
Gecikmeler	Trafik sinyalleri nedeni ile yaşanan zaman kaybı daha fazladır.	Taşıtlar sinyalize kavşaklardaki gibi tamamen durup beklemedikleri için gecikmeler azalır.
Kazalar	Çakışma sayılarının daha fazla olması nedeni ile kaza olma olasılığı daha yüksektir.	Trafik hacmi arttıkça, herhangi bir kontrol mekanizması olmaması nedeni ile sürücülerin kafa karışıklığının artması kaza olma olasılığını arttırmaktadır. Ancak şiddetli kaza oranı düşüktür.
Yaya İmkanları	Sinyalizasyon yaya hareketini kolaylaştırır.	Kontrol mekanizması eksikliği nedeni ile yaya gecikmeleri artarak özellikle görme engelli bireyler için erişim sorununa neden olabilmektedir.
Hizmet Düzeyi	Gereksiz beklemeler nedeni ile trafik hacminin az olduğu kesişim noktalarında hizmet düzeyi düşmektedir.	Taşıt hacmi arttıkça hizmet düzeyinde sağlanan faydalar azalmaktadır.
Bakım Onarım	Bakım onarım ve işletim maliyetleri daha yüksektir.	Bakım onarım ve işletim maliyetleri düşüktür.
Emisyon	Dur-kalk nedeni ile araç emisyon fazladır.	Araçlar yavaşlayarak kavşağa yaklaştıklarından araç emisyonu azalmaktadır.

4. UYGULAMA ve YÖNTEM

Tezin bu bölümünde çalışma konusu kavşaklar hakkında bilgilendirme, sinyalizasyon kavşakların, modern dönel kavşak olarak tasarlanması ve PTV Vissim'e verilerin işleme süreci ilgili bilgiler ve görseller sunulacaktır.

4.1. Modellenen Kavşaklar Hakkında Bilgi

2020 yılında Balıkesir Büyükşehir Belediyesi tarafından il sınırları içerisinde belediye kaynakları ile yapımı üstlenilecek, Karayolları 14.bölge Müdürlüğü altında bulunan, Çanakkale - İzmir yolu üzerinde 3 km arayla arka arkaya yer alan, Edremit ilçesi sınırları içerisinde trafik yoğunluğunun en yüksek olduğu Zeytinli ve Akçay kavşaklarının kapasite arttırımı amacıyla, 2015 yılı itibari ile halen aktif deneyimli proje mühendisliğini yapmış olduğum firmamızdan farklı kavşak tasarımı alternatifleri talep edilmiştir.



Harita 4.1. Akçay ve Zeytinli kavşağı bölge haritası

Zeytinli Kavşağı, Ayvacık – Edremit arasında 550-06 kesim numaralı devlet yolu üzerinde olup mevcutta 2x3 şerit olarak işlemektedir. Sinyalizasyon sığınma cepli hemzemin bir kavşak olup, Kuzeyde Zeytinli Mahallesi ve Oto Sanatkarları Küçük Sanayi Sitesi'ne giriş vermektedir. Güneyde ise Akçay Mahallesi'ne (3091. Sokak üzerinden) tali yol bağlantısı mevcuttur. Akçay, bölgenin turizm açısından önemli merkezlerinden biridir. Bölgenin

turistik kimliğinden ötürü yaz aylarında belirgin bir trafik artışı gözlenmektedir. Ayrıca bölge karşılıklı olarak iki sanayi sitesini anayola bağlayan düğüm noktası konumundadır.

Gerek araç yoğunluğu gerek ağır taşıt trafiğinin çoğunluğu sebebiyle mevcut kavşak geometrik olarak talebi karşılamakta zorlanmaktadır. Bu da bölgede trafiğe sebep olmakta ve bölge halkını olumsuz etkilemektedir. Bunun yanında uzun bekleme süreleri, sürücüleri kural dışı dönüşler yapmaya ve sinyalizasyonu delmeye itmekte bu sebeple kaza olma olasılığını arttırmaktadır.



Resim 4.1. Zeytinli kavşağı oluşan araç kuyruğu

Akçay Kavşağı, 550-06 Kontrol Kesim Numaralı Ayvacık-Edremit-Havran Devlet Yolu üzerinde, Çanakkale-Balıkesir Yolu'nun 61+722.677 kilometresinde bulunmaktadır. Altınoluk ilçesinden Edremit istikametine giden Çanakkale-Balıkesir yolunun 61+722.677 kilometresinde bulunan Akçay Kavşağı kuzeyde Kızılköçü köyüne giden ve güneyde Akçay mahallesine giden bağlantı yollarının bağlantısını sağlamaktadır. Akçay Kavşağı, mevcutta 3x3 şerit olarak işleyen hemzemin bir kavşaktır. Akçay hemzemin kavşağın, mevcut sanat yapısının boyutlarının yeterli olmaması ve tali yolların anayola bağlantısında katılma – ayrılma şeritlerinin yetersiz kalması sebebi ile beklenen talebi karşılaması mümkün görünmemektedir.



Resim 4.2. Akçay kavşağı mevcut hemzemin görüntüsü

Zeytinli ve Akçay kavşakları bağlanan yollar açısından benzer özellikler taşımaktadır. D550 devlet yolu iki kavşaktan da doğu-batı istikametinde geçmektedir. D550 ana arter niteliğinde bir yoldur ve ana akımlar üzerinde yer almaktadır. Her iki kavşağın kuzey-güney aksında görece zayıf toplayıcı yol sınıfından bağlantılar bulunmaktadır.



Resim 4.3. Zeytinli kavşağı ilk hali uydu görüntüsü

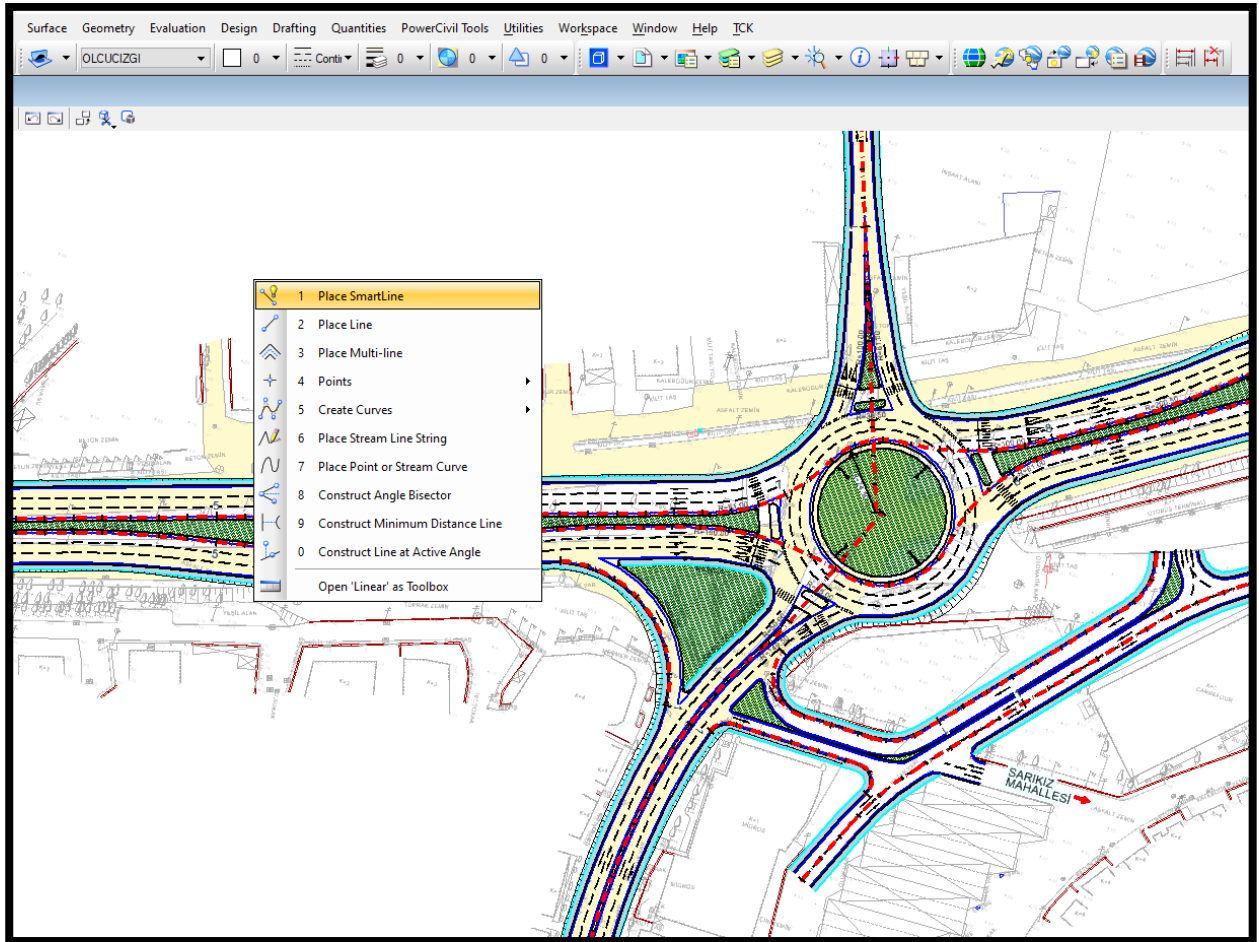
Zeytinli kavşağı hemzemin sinyalize bir dört yol kavşağıdır. 4 fazlı sinyalizasyon ile süresel kullanımda verimsiz bir kavşaktır. Kapasitesi düşüktür. Akçay kavşağı dönel sinyalize hemzemin bir kavşaktır. Faz diyagramında sorunlar tespit edilse de Zeytinli kavşağına göre kapasitesi daha yüksektir.



Resim 4.4. Akçay kavşağı ilk hali uydu görüntüsü

4.1.1. Microstation programında kavşakların modellenmesi

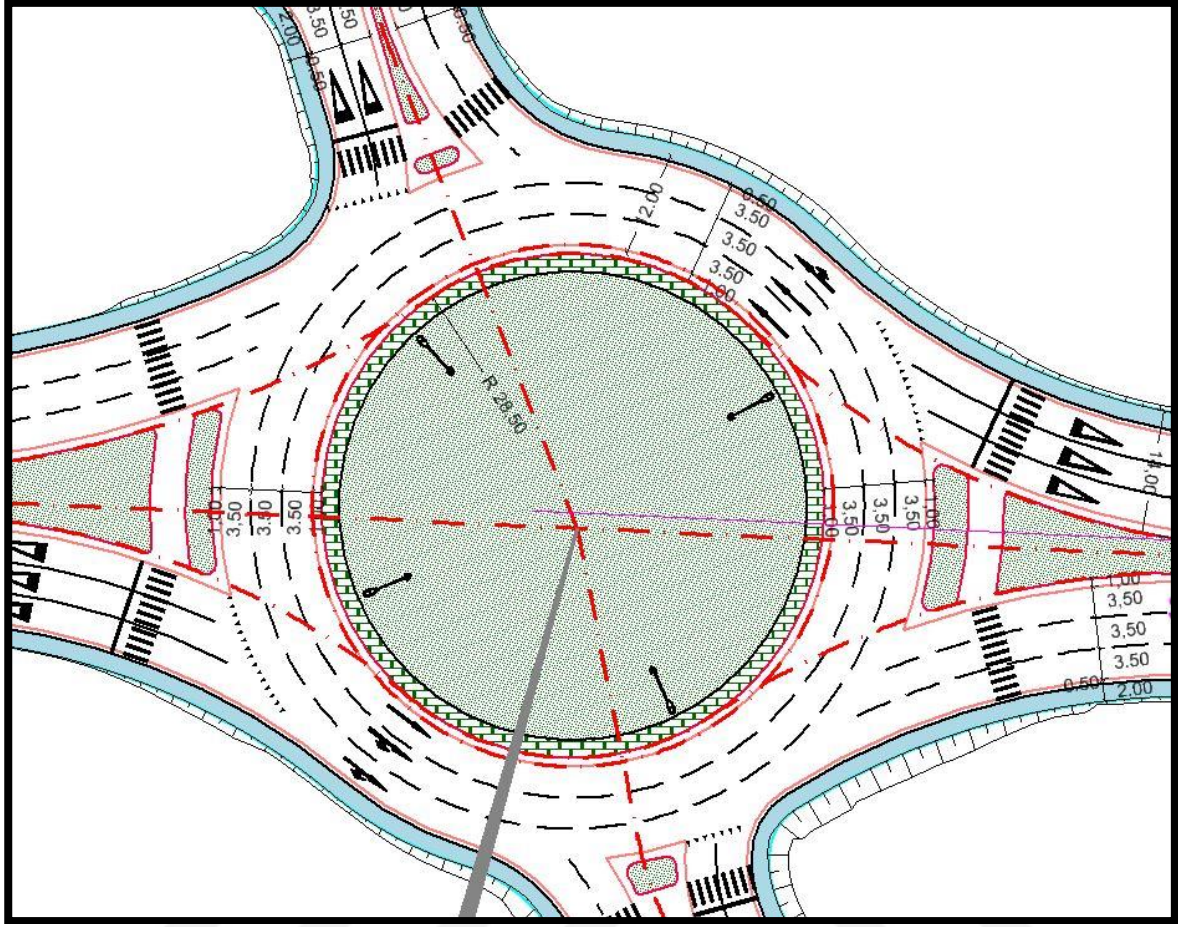
Balıkesir Büyükşehir Belediyesi'ne iki alternatif olarak hazırlanan Zeytinli Kavşak projesi karayollarının onayına sunulmuştur. Karayolları Genel Müdürlüğü ve firmamızın 2 şerit olan alternatif önerisi yerine, Karayolları 14. Bölge Müdürlüğü, Karayolları Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı ve Etüt, Proje ve Çevre Dairesi Başkanlığı'nın değerlendirmesi sonucu ve Balıkesir Büyükşehir Belediyesinin talebi üzerine kavşak sirkülasyon şeritleri ile giriş şeritleri 3 şerit olan alternatif tercih edilmiştir. Bu doğrultuda proje mükellefi olarak, öncelikle kavşakların hali hazır alımları bir harita firmasına yaptırılmıştır.



Resim 4.7. Microstation arayüzü

Balıkesir istikametinden gelirken Zeytinli Kavşağı, kuzey yönünde Zeytinli bölgesi ve Oto Sanatkârları Küçük Sanayi Sitesi'ne erişimi, güney yönünde ise Akçay bölgesi ve Organize Küçük Sanayi Sitesi'ne erişimi sağlamaktadır. Zeytinli Kavşağı 28,5 metre yarıçapına sahip 3 şeritli Modern Dönel Kavşak olarak tasarlanmıştır.

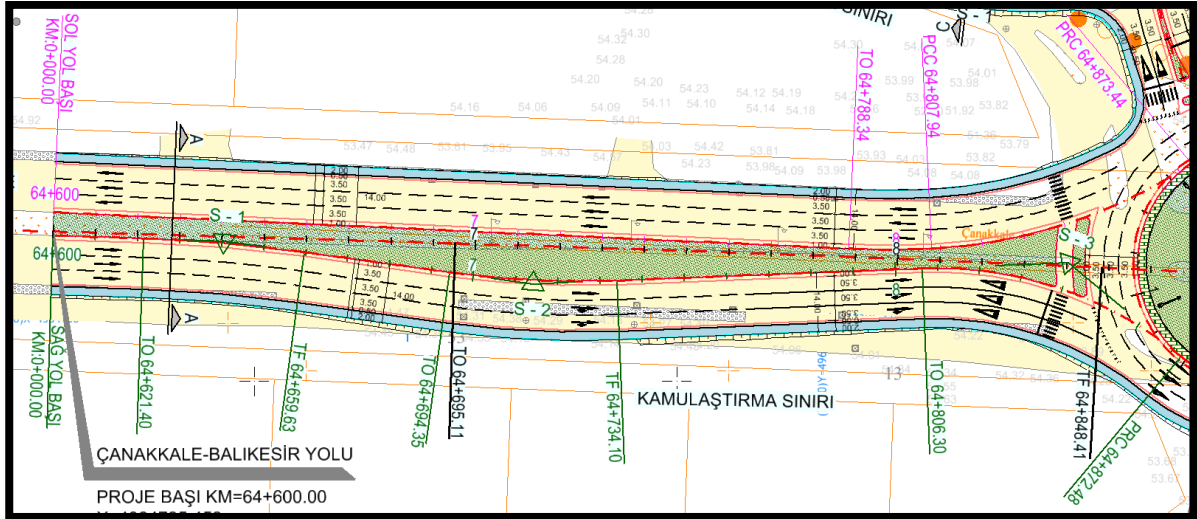
Modern Dönel Kavşakların çalışma prensipleri göz önünde tutularak kavşak sirkülasyon şeritleri ile giriş şeritleri 3 şerit olarak değerlendirilmiştir. Kavşak bölgesinde herhangi bir mülkiyet durumunu etkilemeden imar ve kamulaştırma genişliklerine uyulmuştur.



Resim 4.8. Zeytinli kavşağı modern dönel ada plan detayı

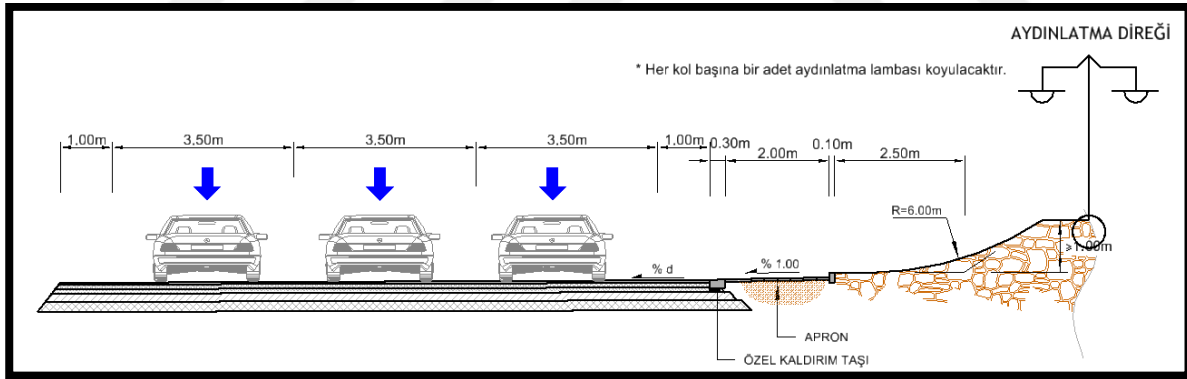
Bölüm 3’te modern dönel kavşak tasarımına ilişkin verilen bilgilerde de değinildiği üzere trafik işaretleri olmasına rağmen, yüksek hızlı yollarda (80 km/saat veya daha yüksek hızlar) dönel kavşaklar, yaklaşan sürücüler tarafından beklenmeyebilir, bu da düzensiz davranışlara ve tek araçlı kazalarda artışa neden olur. İyi tasarım, sürücülerini kavşağa ulaşmadan önce yavaşlamaya teşvik eder ve bu, en etkili şekilde geometrik tasarım ve diğer tasarım uygulamalarının birleşimi yoluyla başarılabilmektedir.

Yüksek hızlı dönel kavşak yaklaşımında giderek keskinleşen bir dizi viraj, trafiğin uygun bir giriş hızına kadar yavaşlatılmasına yardımcı olmaktadır. Bu amaçla Zeytinli Kavşağında da geometrik tasarım yapılırken, kavşak yaklaşımındaki refüjler ardışık kurplar eklenerek tasarlandı ve böylece hızlar 50 km/sa ‘den kavşak içinde 20 km/sa hıza kadar düşürülmüştür.



Resim 4.9. Zeytinli kavşağı yaklaşımında ardışık ters eğrilerin uygulanması

Özellikle turistik bir merkez olan Akçay bölgesi trafiğinin Balıkesir yönünden ulaşımı için mevcut durumda dönüş imkânı yoktu. Kavşağın modern dönel kavşak olarak tasarımından sonra bu dönüş (3091. Sokak vasıtasıyla) verilerek ve Akçay girişinde bulunan kavşağın trafik yükü önemli ölçüde azalacaktır.



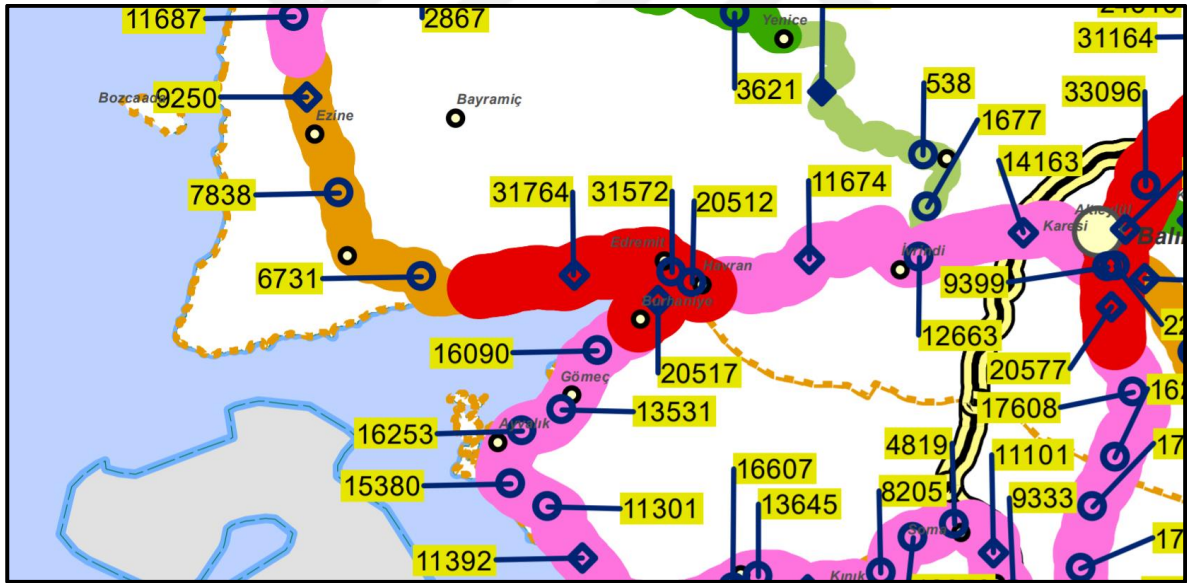
Resim 4.10. Zeytinli ve Akçay kavşakları apron detaylı modern dönel kavşak tip enkesiti

Akçay Kavşağı Modern Dönel adanın yarıçapı $R=24,5$ olarak tasarlanmıştır. Şerit genişlikleri 3,5m ve 3 şerit olacak şekilde projelendirilmiştir.

4.1.2. Trafik verilerinin toplanması

Mevcut bir dönel kavşağın operasyonel performansının saha ölçümü, uygulayıcıların mevcut durum analizinden elde edilen tahminleri doğrulamasına yardımcı olabilir. Bu saha ölçümleri genellikle yoğun dönemlerde toplanır ancak tüm gün performansını yakalamak için yoğun olmayan dönemleri de kapsayacak şekilde genişletilebilir.

Karayolları 2019 YOGT verilerine göre, Zeytinli ve Akçay kav akları arka arkaya kavşaklar olduğundan trafik değerleri birbirine yakındır. YOGT değerleri aşağıdaki karayolları haritasından 31572-31764 araç /gün mertebesinde olduğu okunabilmektedir. Zirve saatte bu değerin yaklaşık %10'u yani 3160 araç/saat gibi olacağı varsayılabılır. Fakat burada varsaymaya gerek kalmaması açısından bu kavşaklarda sayım çalışması yapıldı ve zirve saat trafikleri  l  mlendi.



Harita 4.2. Devlet yolları yıllık ortalama günlük trafik haritası (YOGT)

Balıkesir Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılan trafik sayımları bilgilerini her kavşak için inceledik. Resim 4.13'de yönleri verilen Zeytinli Kavşağı 2020 yılı trafik sayımlarında;

- 1 No'lu y n Akçay bölgesi trafik akımını
- 2 No'lu y n Balıkesir yönü trafik akımını
- 3 No'lu y n organize sanayi bölgesi ve Zeytinli yönü trafik akımını
- 4 No'lu y n ise Çanakale yönü trafik akımını belirtmektedir.



Resim 4.13. Zeytinli kavşağı yön numaralandırılma



Resim 4.14 Zeytinli kavşağı sayım noktası hemzemin görünümü

Zeytinli kavşağında sabah ve akşam yapılan trafik sayıları tüm yönler Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Zeytinli kavşağı sabah elde edilen araç trafik sayımları

	Sabah					Toplam
	Yönler	1	2	3	4	
	1	1	0	49	69	119
	2	0	2	397	845	1244
	3	113	385	0	2	500
	4	0	1027	63	0	1090
Toplam		114	1414	509	916	2953

Zeytinli kavşağı sabah yapılan trafik hacmi ölçümlerinde toplam 2953 araç sayılırken, akşam saatlerinde 3014 araç sayılmıştır. Sabah ve akşam trafik hacimleri arasında çok büyük farklar gözlenmemiştir.

Çizelge 4.2. Zeytinli kavşağı akşam elde edilen araç trafik sayımları

	Akşam					Toplam
	Yönler	1	2	3	4	
	1	0	4	57	79	140
	2	3	8	4	1317	1332
	3	156	305	0	31	492
	4	5	994	37	14	1050
Toplam		164	1311	98	1441	3014

Resim 4.15’de verilen, Akçay kavşağı 2020 yılı trafik sayımlarında;

- 1 No’lu yön Akçay bölgesi trafik akımını
- 2 No’lu yön Balıkesir yönü trafik akımını
- 3 No’lu yön Kızılköprü yönü trafik akımını
- 4 No’lu yön ise Çanakkale yönü trafik akımını belirtmektedir.



Resim 4.15. Akçay kavşağı yön numaralandırılma

Kavşak bölgesi gelişmekte olan bir bölgedir. Ayrıca sanayi ve turistik olarak önemli bir noktada bulunmaktadır. Bu sebeple yılın belirli zamanlarında trafik artışı gözlenmektedir ve ilerleyen yıllarda trafik artışı olacağı düşünülmektedir.



Resim 4.16. Akçay kavşağı sayım noktası hemzemin görünümü

Akçay Kavşağında sabah, öğlen ve akşam yapılan trafik sayıları tüm yönler için aşağıdaki Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Akçay Kavşağı sabah elde edilen araç trafik sayımları

	Sabah					Toplam
	Yönler	1	2	3	4	
	1	1	72	64	130	267
	2	220	1	4	592	817
	3	165	0	0	6	171
	4	3	594	11	0	608
Toplam		389	667	79	728	1863

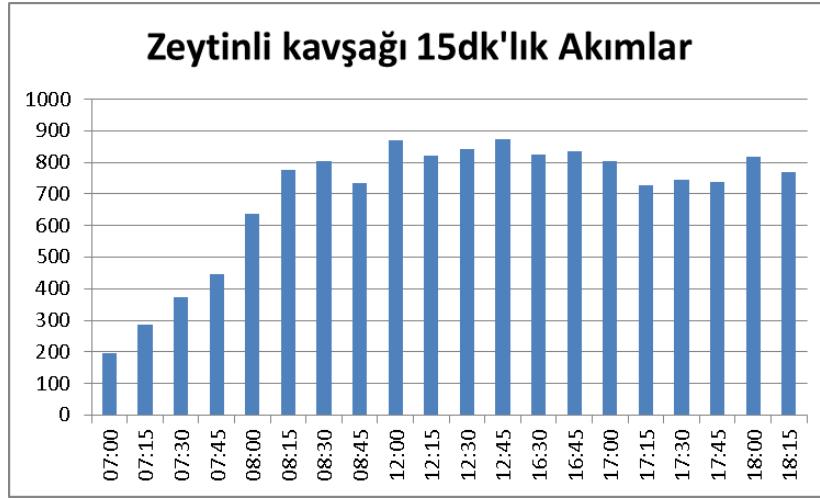
Akçay kavşağı sabah yapılan trafik hacmi ölçümlerinde toplam 1863 araç sayılırken, akşam saatlerinde 3074 araç sayılmıştır. Sabah ve akşam trafik hacimleri arasında 1211 araç fark vardır. Bu nedenle akşam saatlerinde Akçay kavşağında daha yoğun bir trafik olduğunu söylemek mümkündür.

Çizelge 4.4. Akçay Kavşağı akşam elde edilen araç trafik sayımları

	Akşam					Toplam
	Yönler	1	2	3	4	
	1	1	108	87	214	410
	2	490	1	10	1117	1618
	3	214	0	0	37	251
	4	4	718	62	11	795
Toplam		709	827	159	1379	3074

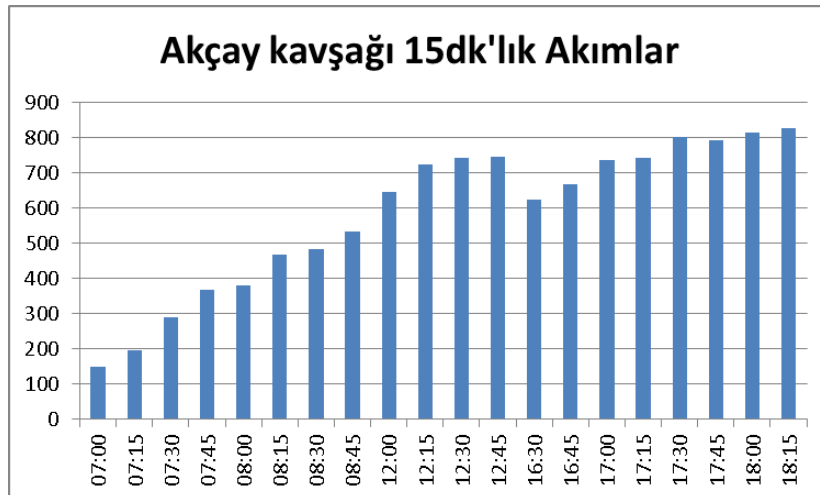
Bir dönel kavşağın en iyi operasyonel özellikleri %85'e varan doyma derecesinde elde edilir. Dönel kavşağın trafik hacminin tam kapasitesine yaklaştığı yoğun dönemlerde, gecikmeler daha belirgin olmakta, sinyal kontrollü kavşaktaki gecikmelere yetişmektedir ve belirli koşullar altında gecikmeler daha da uzun olabilmektedir. Gelecekteki koşulların analizi için en yoğun 15 dakikalık zaman dilimleri kullanılabilmektedir.

Zeytinli ve Akçay kavşakları için en yoğun saatlerde 15 dakikalık akım değerleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Zeytinli kavşağı zirve saatlerde 15 dk'lık akım grafiği

Zeytinli kavşağında gün içi zirve saatlerde 15 dakikalık dilimler içerisinde en yüksek akımın 872 araç/15dk olduğu görülmektedir. Akçay kavşağında en yüksek trafik 825 araç/15dk olarak akşam saatlerinde gözlemlenmiştir. Bu kavşakta özellikle akşam trafiği baskısının daha yoğun olduğu gözlemlenmektedir.



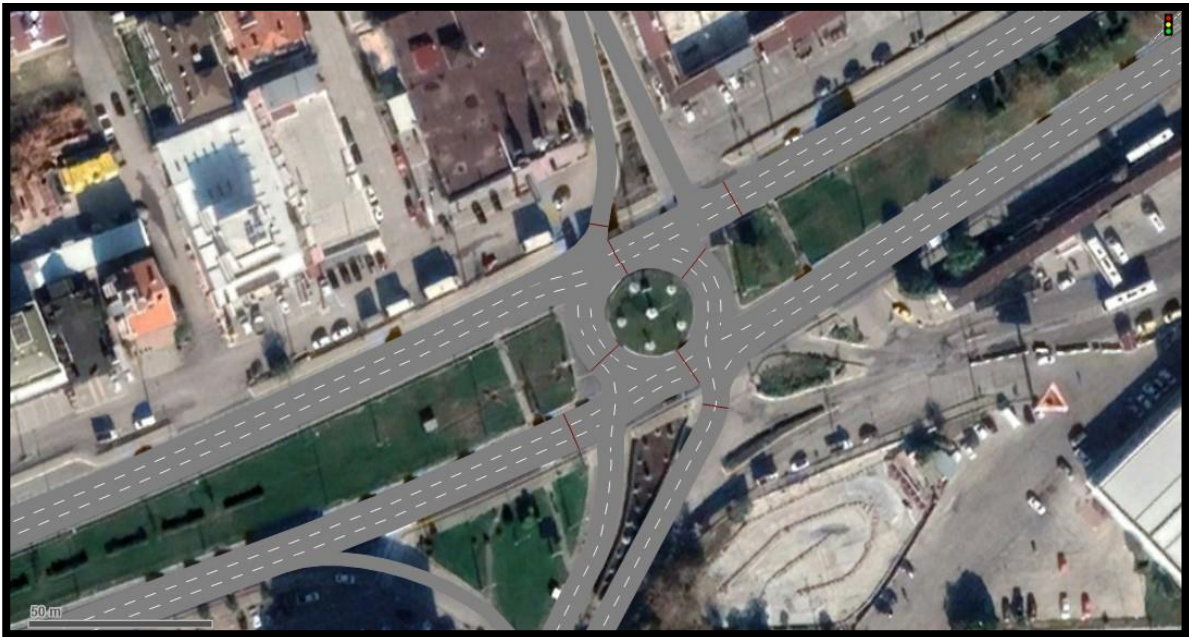
Şekil 4.2. Akçay Kavşağı zirve saatlerde 15 dk'lık akım grafiği

4.1.3. PTV Vissim ile simülasyon

Ulaşım ağlarını modellemek için çeşitli simülasyon yazılım paketleri mevcuttur. Birçoğu dönel kavşakları modelleme yeteneğine sahiptir ve özellikleri sık sık değişmektedir. Bu modeller bireysel araçları gösterir ve araba takip davranışı, şerit değiştirme davranışı ve kavşaklarda karar verme (örneğin boşluk kabulü) gibi faktörlere duyarlıdır. Ancak bu tür bir titizlik, modelleme operasyonları için mikroskobik düzeyde ayrıntıyla sonuçlanır; bu da yazılımın, planlama düzeyi veya karayolu kapasite analiz araçlarından önemli ölçüde daha fazla girdi ve kalibrasyona ihtiyaç duymaktadır.

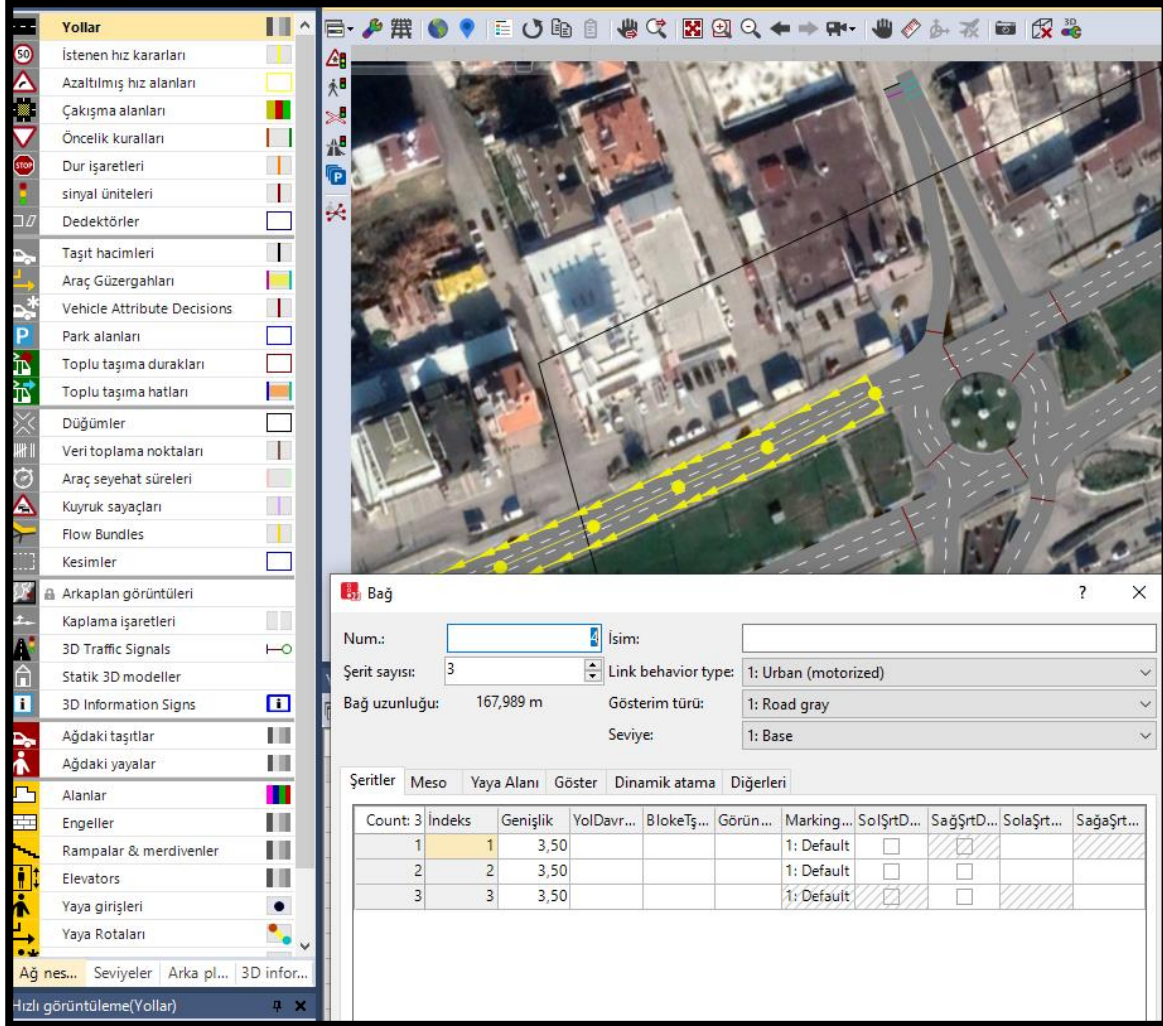
PTV Vissim, yol kullanıcılarının hızlanma, yavaşlama ve kavşak boyunca hassas hareketleri gibi trafik düzenlerini mikroskobik ölçekte modelleyen bir simülasyon yazılımıdır. Mikroskobik modeller bireysel araçların ayrıntılı yörüngeleridir. Bilimsel temelli simülasyonlar ve senaryo yönetiminin yardımıyla ulaşım altyapısının performansını değerlendirip optimize edebilmekte, veriye dayalı planlama kararları alabilmekte ve trafik sıkışıklığı, emisyonlar ve yol alanının farklı modları hakkında bilgi edinilebilmektedir [25].

PTV Vissim programında ilk olarak kavşakların mevcut durumlarının halihazır alımlar üzerinden çizimleri yapılarak güzergah planı oluşturulmuştur. Güncel Google earth görüntülerinin bulunması halinde, bu görüntüleri arkaplan olarak kullanarak çizimler yapılabilmektedir. (Bkz. Resim 4.17)



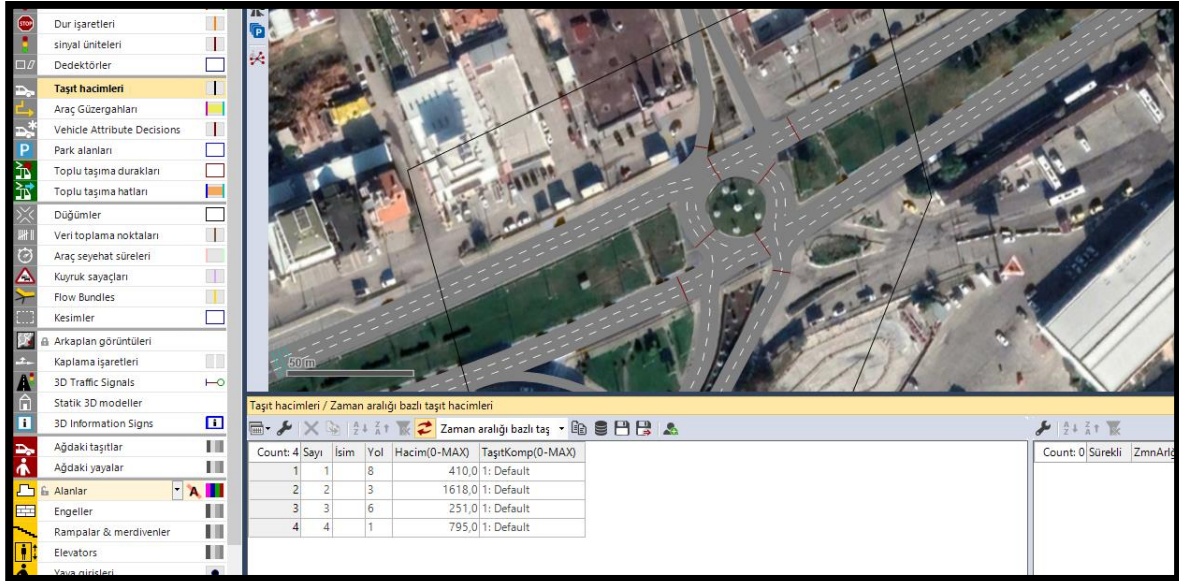
Resim 4.17. Akçay kavşağı sinyalizasyon dönel kavşak simülasyon çizimi

Çalışmamızda PTV Vissim programı kullanılarak, Akçay kavşağı için sinyalizasyon kavşak durumdaki tüm şeritler Resim 4.18’de gösterildiği gibi “yollar (Links)” sekmesinden şerit genişlikleri girilerek çizilmiştir. Şerit genişlikleri 3,50 m olarak mevcut duruma uygun şekilde programa tanıtılmıştır.



Resim 4.18. PTV Vissim programında şerit genişliklerinin girilmesi

Analizlerin yapılacağı Akçay kavşağının plan görünümü oluşturulduktan sonra sahadan toplanan trafik verilerini uygun yönlere tanıtmaya aşamasına geçilmiştir. Akçay kavşağı mevcut durum için sabah ve akşam saatlerindeki trafik sayımları tüm yönler için “taşıt hacimleri (vehicle inputs)” sekmesinden tanımlanmıştır. (Bkz. Resim 4.19)



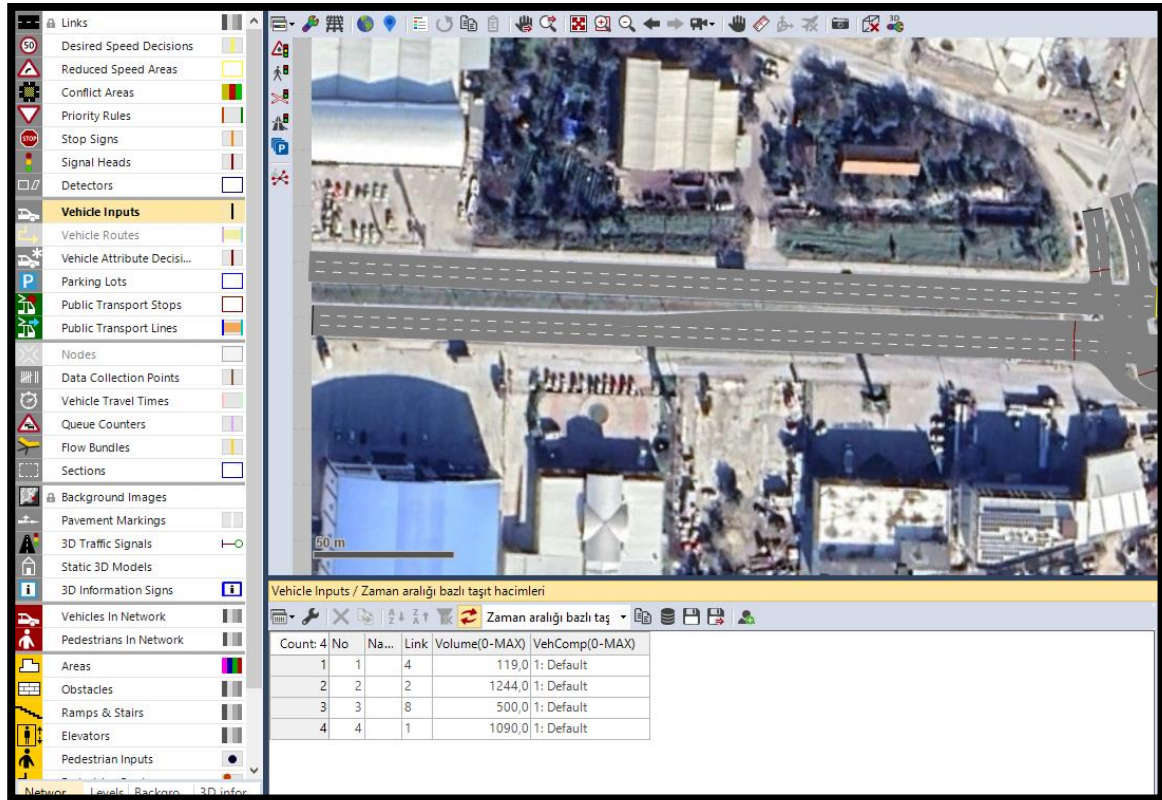
Resim 4.19. Akçay kavşağı taşıt hacimlerinin PTV Vissim programına girilmesi

Zeytinli Kavşağı için mevcut durumdaki tüm şeritler “Links” sekmesinden şerit genişliği Resim 4.20’de gösterildiği şekilde çizilmiştir.



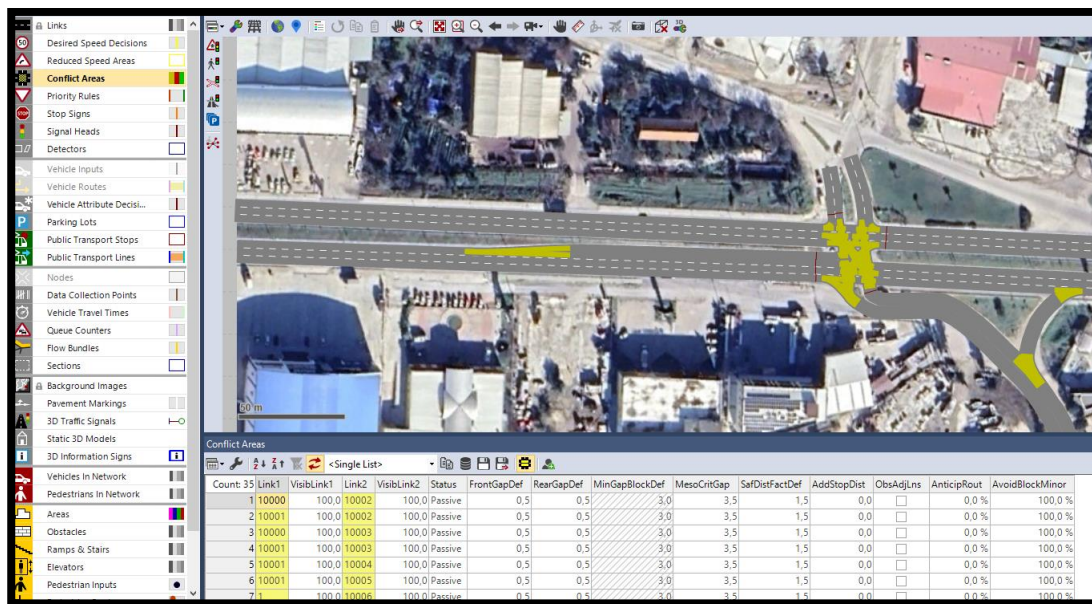
Resim 4.20. Zeytinli kavşağı sinyalizasyonlu kavşak simülasyon çizimi

Zeytinli kavşağının plan görünümü için de altlık olarak güncel Google earth görüntüsü kullanılmıştır. Zeytinli kavşağı mevcut durum için sabah ve akşam saatlerindeki trafik hacimleri sahadan toplanan verilere göre Resim 4.21’de gösterildiği gibi “vehicle inputs” sekmesinden tanımlanmıştır.



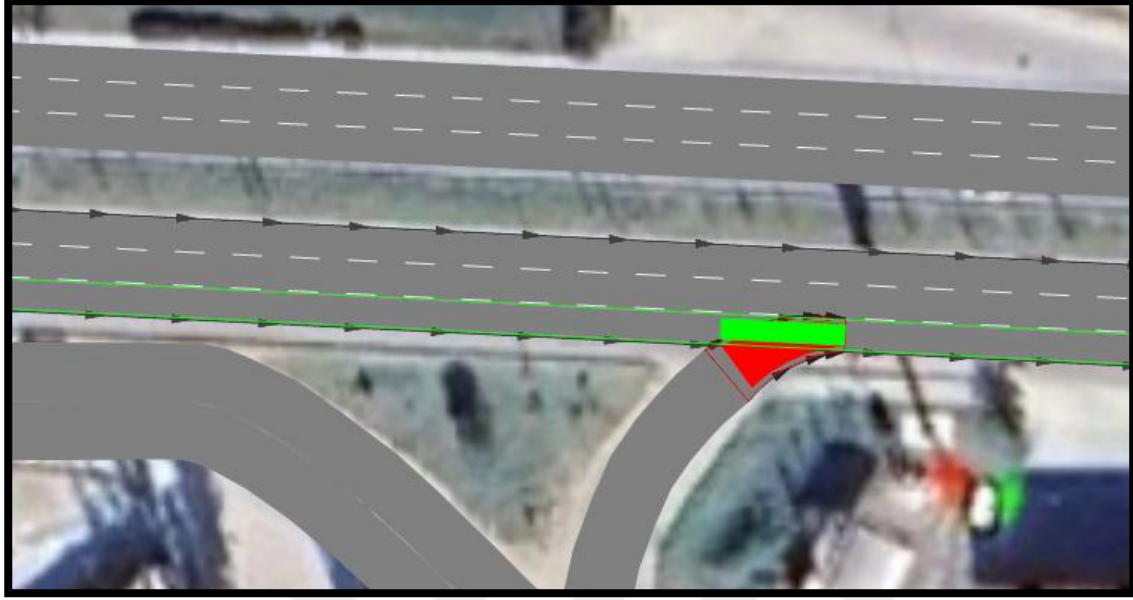
Resim 4.21. Zeytinli kavşağı taşıt hacimlerinin PTV Vissim programına girilmesi

Zeytinli ve Akçay kavşaklarının planları ve trafik hacimleri programa tanıtıldıktan sonra simülasyonun düzgün çalışabilmesi amacıyla “Conflict Areas” sekmesinden kavşak kollarından kavşak adasına giriş yapacak araçların çakışmaları Resim 4.22’de gösterildiği gibi düzenlenmiştir.



Resim 4.22. PTV Vissim çakışma kontrolü

Resim 4.23’de gösterilen yeşil renk ana akımda iken öncelik ana akımda olmakta, her ikisi de kırmızı renk olduğunda ikisi de kararsız olmaktadır. Ayrıca ayrılma ve katımlarda da bu çakışmaların düzenlenmesi gerekmektedir.

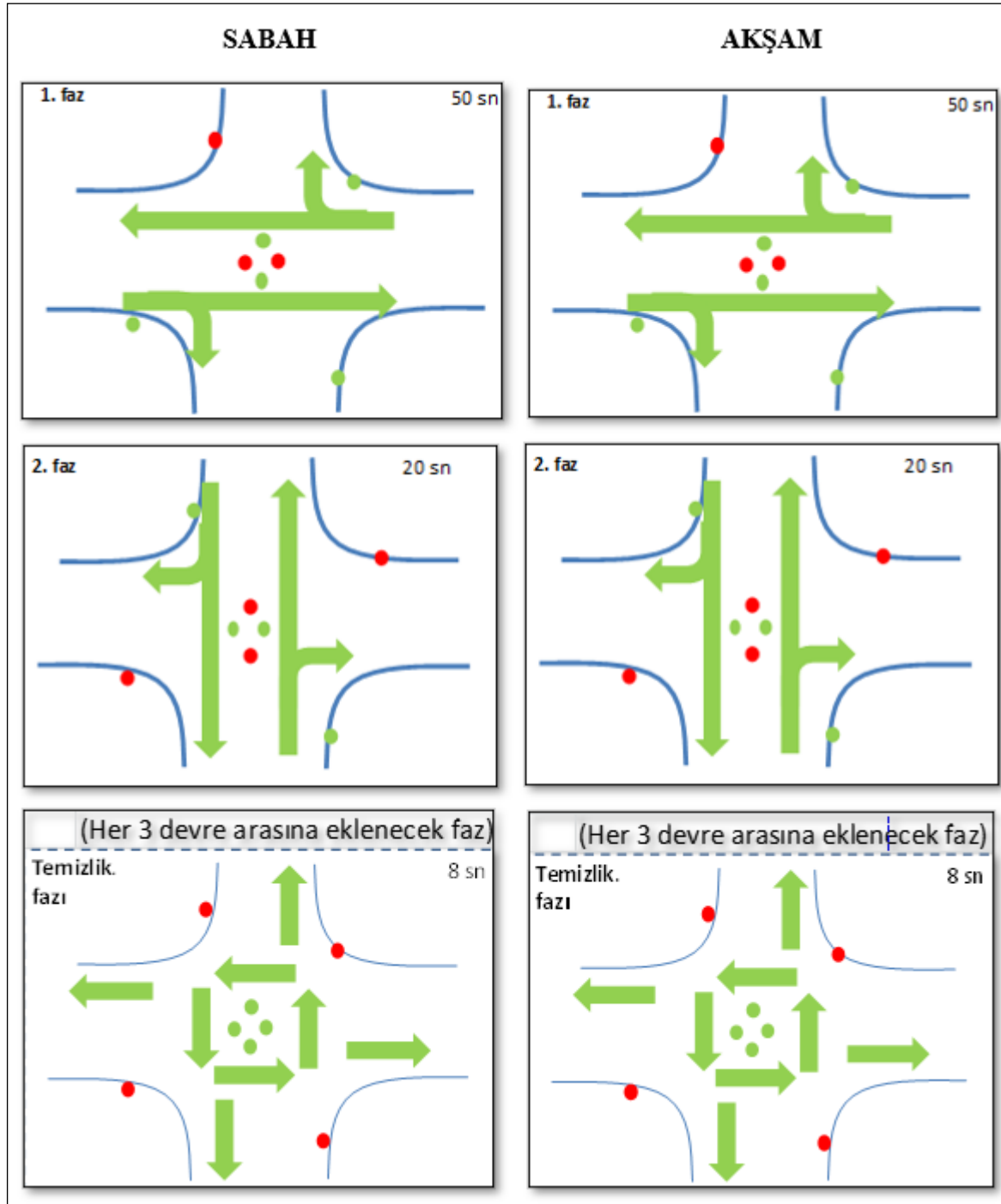


Resim 4.23. Çakışmalarda öncelik düzenlemesi

Sinyalize kavşakların planlarının PTV Vissim programının işlenmesinin ve tüm kontrollerin sağlanmasının ardından sinyal gruplarının oluşturulması ve sinyal sürelerinin simülasyonda kullanılmak üzere programa tanıtılması işlemine geçilmiştir.

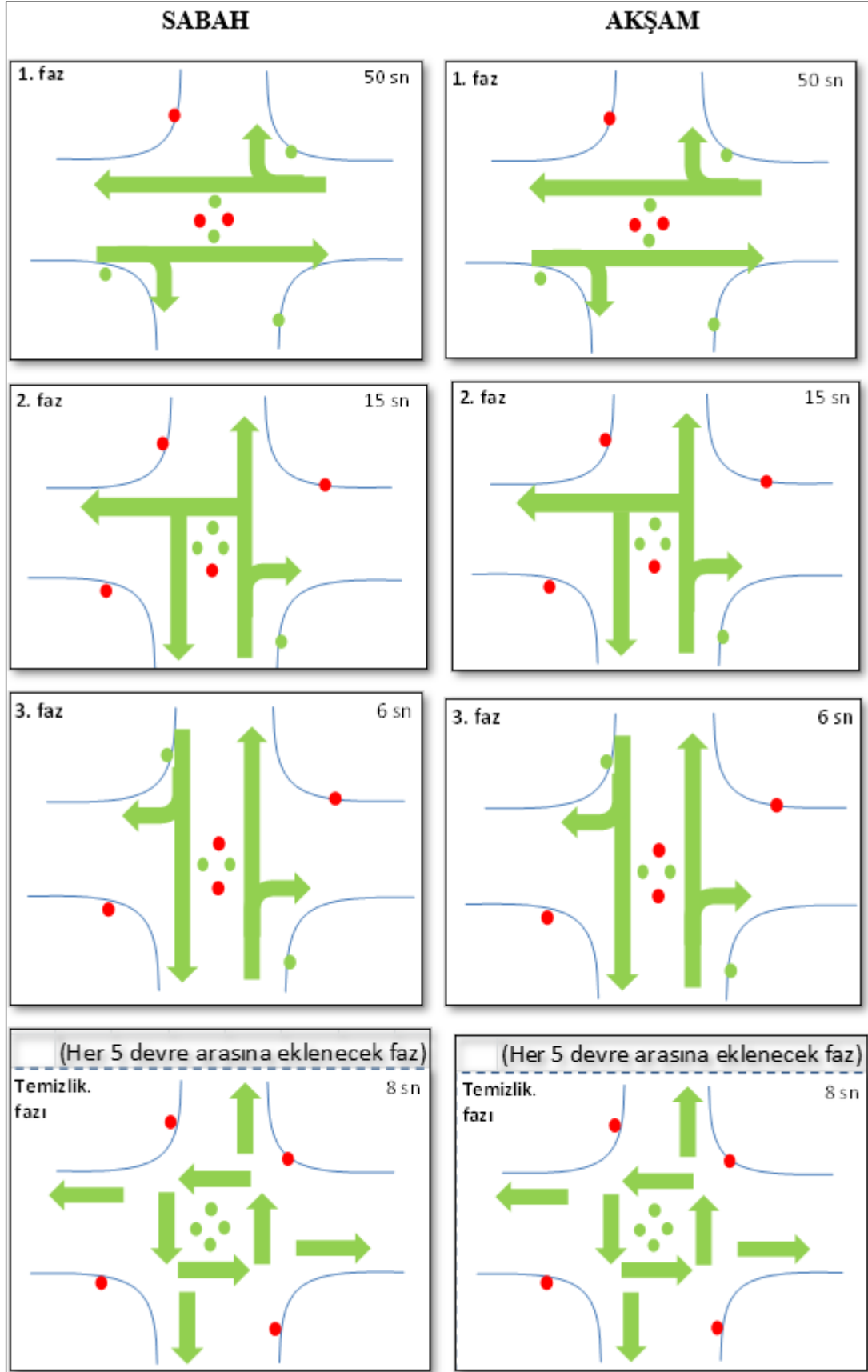
Akçay ve Zeytinli Kavşakları sabah ve akşam vakti için sahadan toplanan veri ve gözlemlere dayanarak faz planları ve sinyal grupları oluşturulmuştur.

Zeytinli Kavşağı 2 normal faz ve her 3 devre arasında 8 saniye ek faz olan bir sinyalizasyonla çalışmaktadır.



Şekil 4.3. Zeytinli kavşağı sabah ve akşam faz diyagramları

Akçay Kavşağı 3 normal faza ek olarak her 5 devre arasında 8 saniyelik ek temizlik fazı olan bir sinyalizasyonla işlemektedir.

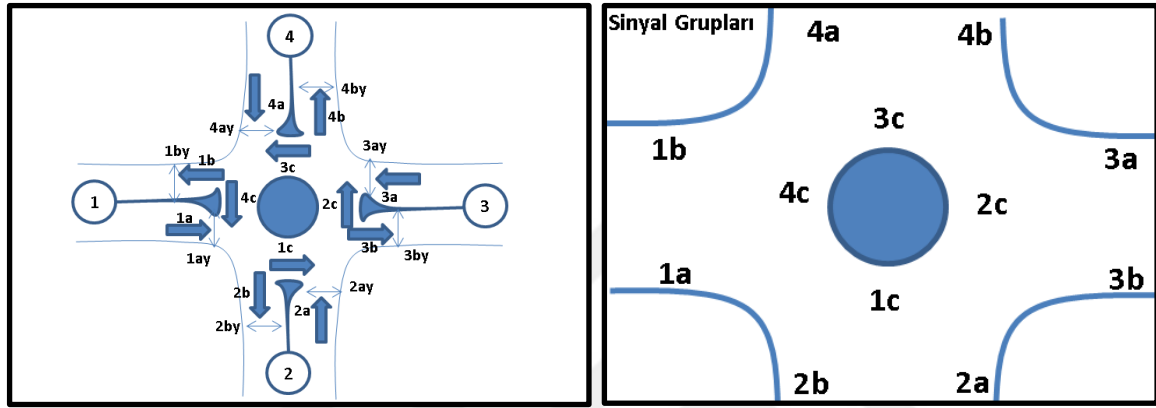


Şekil 4.4. Akçay kavşağı sabah ve akşam faz diyagramları

Şekil 4.5’de verilen faz planlarında verilen yön numaraları Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Zeytinli kavşağı sinyal grupları

NO	Cadde/Sokak
1	D550 Çanakkale İzmir Yolu (Akçay Yönü)
2	3091. Sokak
3	D550 Çanakkale İzmir Yolu (Edremit Yönü)
4	Arapöldü Küme Evler

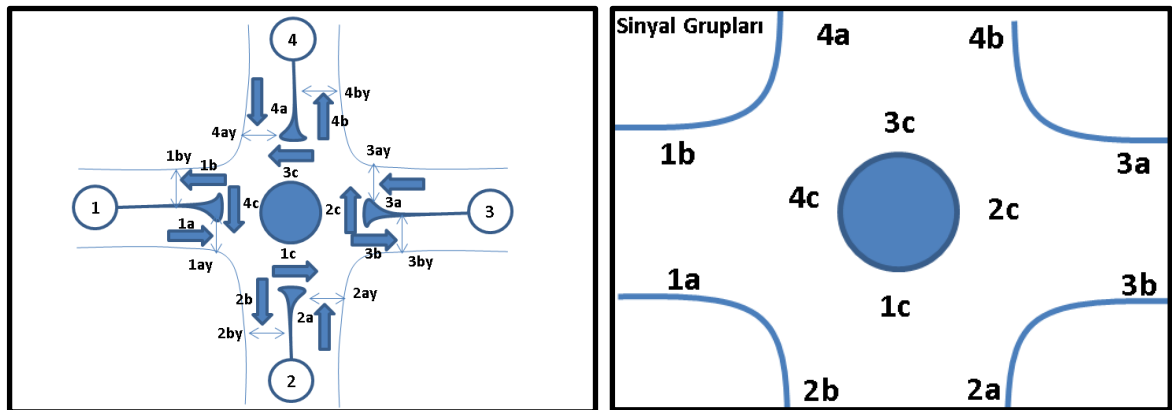


Şekil 4.5. Zeytinli kavşağı faz planları

Şekil 4.6’da verilen faz planlarında verilen yön numaraları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

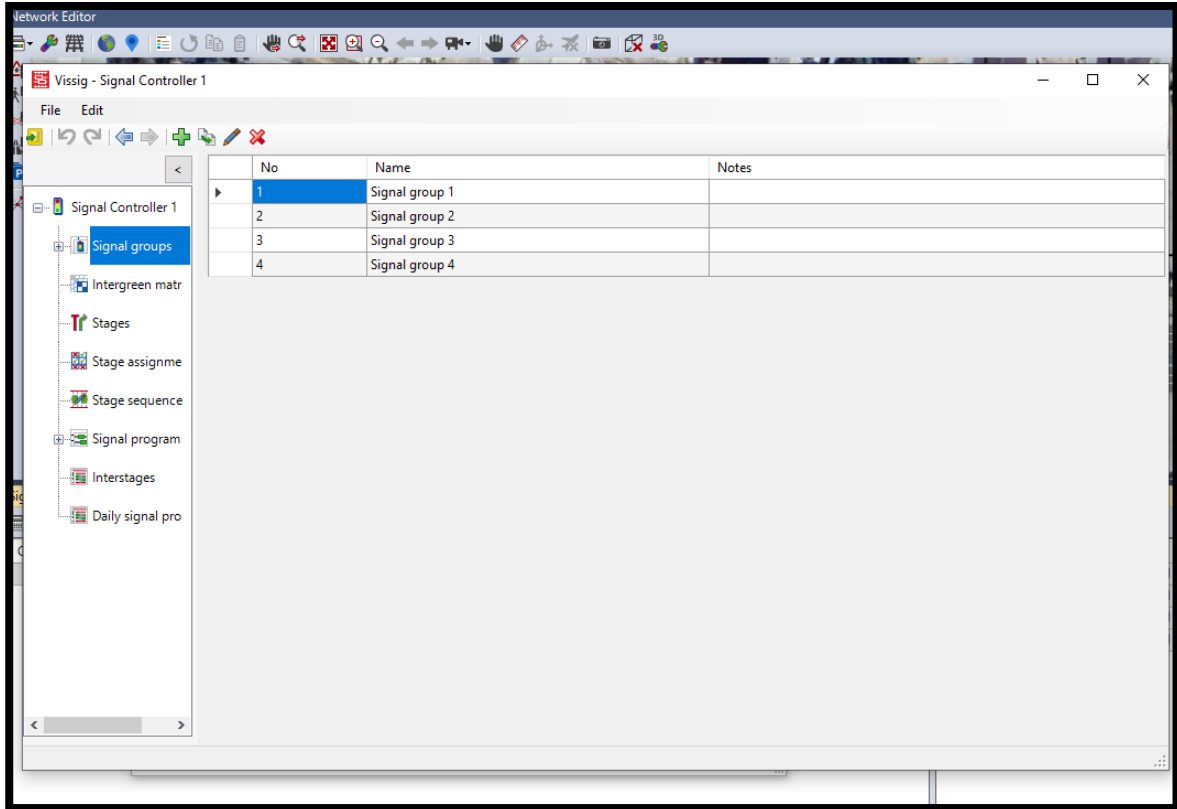
Çizelge 4.6. Akçay kavşağı sinyal grupları

NO	Cadde/Sokak
1	D550 Çanakkale İzmir Yolu (Altınoluk Yönü)
2	Cumhuriyet Bulvarı
3	D550 Çanakkale İzmir Yolu (Edremit Yönü)
4	443. sokak



Şekil 4.6. Akçay kavşağı faz planları

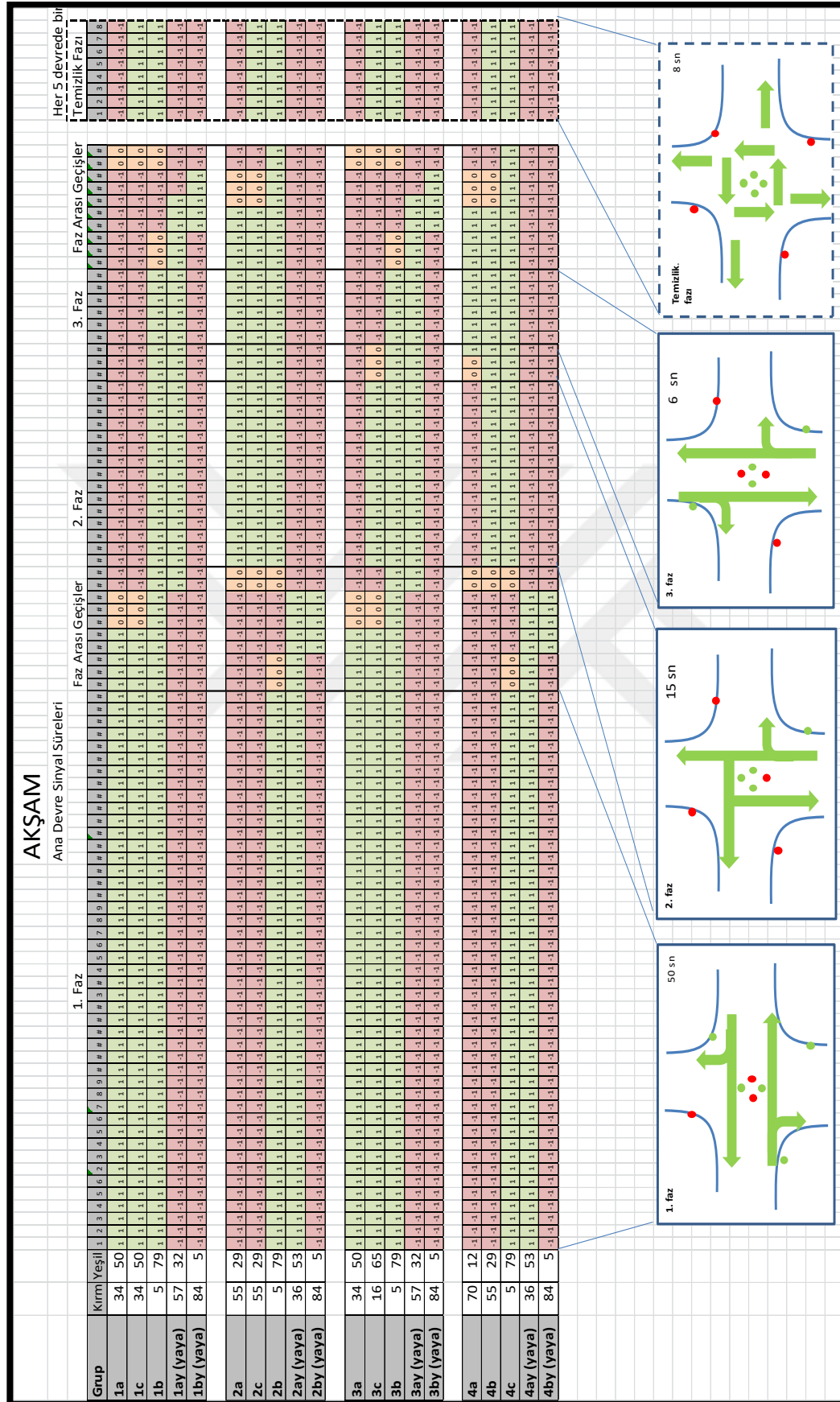
Resim 4.24’de gösterildiği gibi saha gözlemleri baz alınarak şematik olarak hazırlanan sinyal grupları PTV Vissim programında “Signal Controller” sekmesinden oluşturuldu.



Resim 4.24. PTV Vissim’de sinyal gruplarının oluşturulması

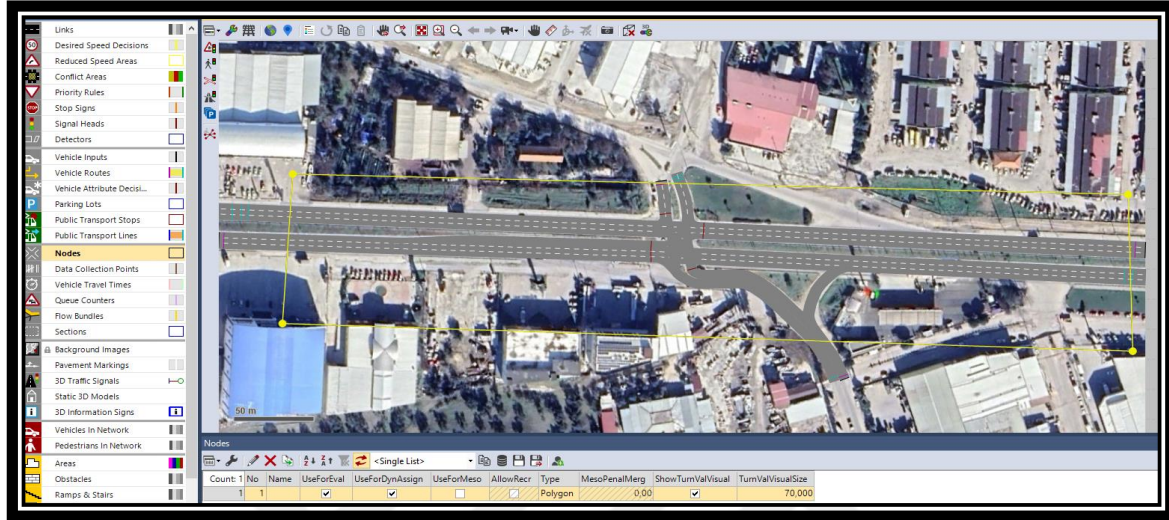
Faz diyagramları dikkate alınarak, yeşil, kırmızı ve faz arası geçiş sinyal süreleri sinyal gruplarına tanımlandı. (Bkz. Resim 4.25) Sinyalizasyon devre süresi Zeytinli Kavşağı’nda 102 saniye, Akçay Kavşağı’nda ise 77 saniyedir. Yaya hareketleri dikkate alınmamıştır.

Resim 4.26 ve Resim 4.27’de Akçay kavşağı sabah ve akşam saatlerinde sahada ölçülen ana devre sinyal süreleri verilmiştir. Resim 4.28 ve Resim 4.29’da Zeytinli kavşağı sabah ve akşam ana devre sinyal süreleri verilmiştir.



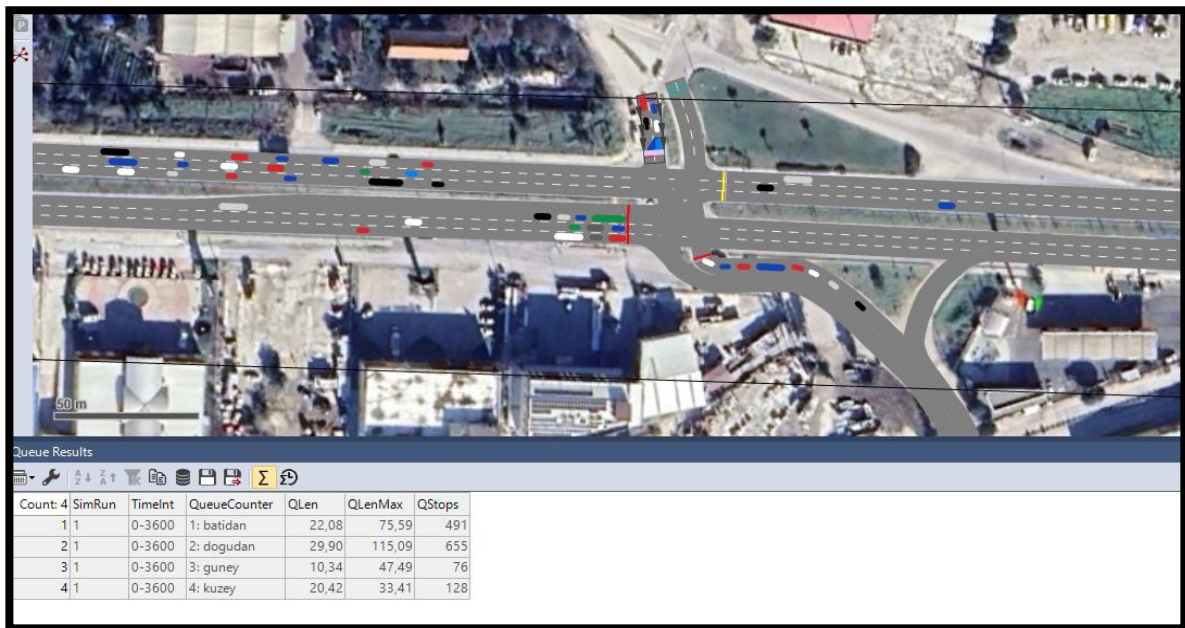
Resim 4.27. Akçay kavşağı akşam ana devre sinyal süreleri

Performans sonuçları alınmadan önce analizin yapılacağı alanın sınırlarını belirlemek gerekmektedir. Resim 4.30’da gösterilen sarı çizgi ile “Nodes” sekmesinden performans analizinin yapılacağı alanın sınırları belirlenmiştir. Sonuçlar belirlediğimiz alan için program tarafından verilecektir.



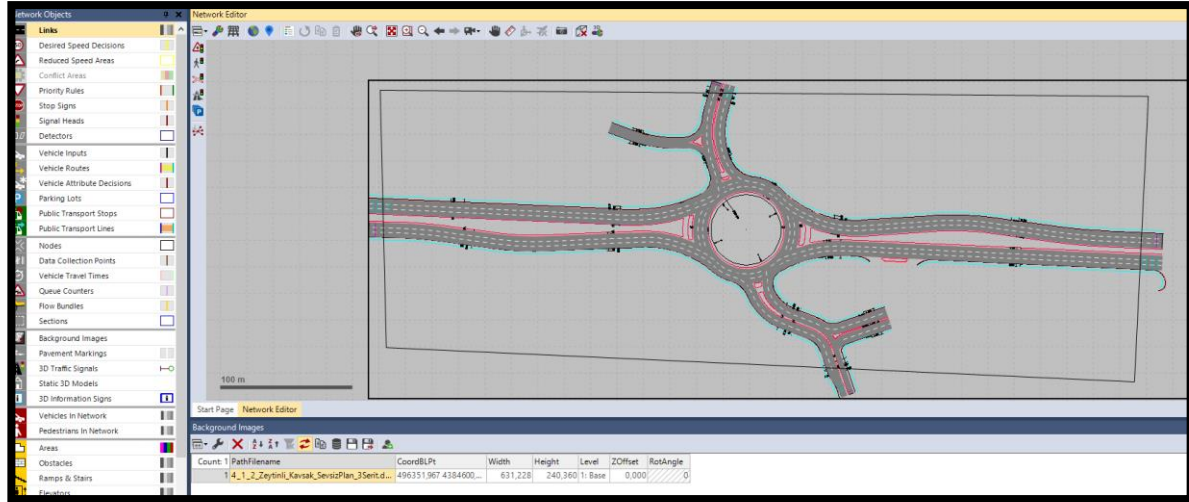
Resim 4.30. Performans analizinin yapılacağı alan seçimi

Simülasyonda “Queue Counters” üzerinden belirlenen doğu, batı, güney ve kuzeyde sinyal noktalarının öncesi belirlenen alandaki kuyruk uzunlukları hesaplatılmıştır. Zeytinli Kavşağı’nda sinyalize durumda akşam saatlerinde en uzun kuyruklanmanın 115,09 m ile Balıkesir’den Çanakkale’ye gidiş yönü olan 2 nolu yönde olduğu görülmüştür.

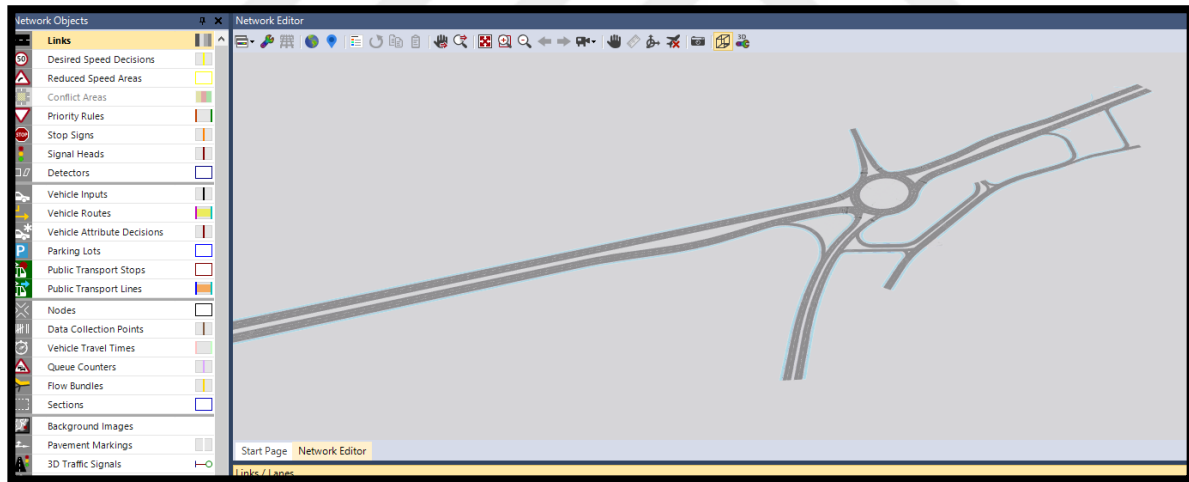


Resim 4.31. Kuyruklanma uzunluklarının alınacağı noktaların belirlenmesi

Kavşakların sinyalize durumdaki ilk hallerinin simülasyonları hazırlandıktan sonra, Zeytinli ve Akçay Kavşakları'nın microstationda hazırlanan modern dönel kavşak çizimleri PTV VISSIM programı içine alınmıştır ve şeritler çizim üzerinden "Links" sekmesinden oluşturulmuştur. (Bkz. Resim 4.32 ve Resim 4.33)

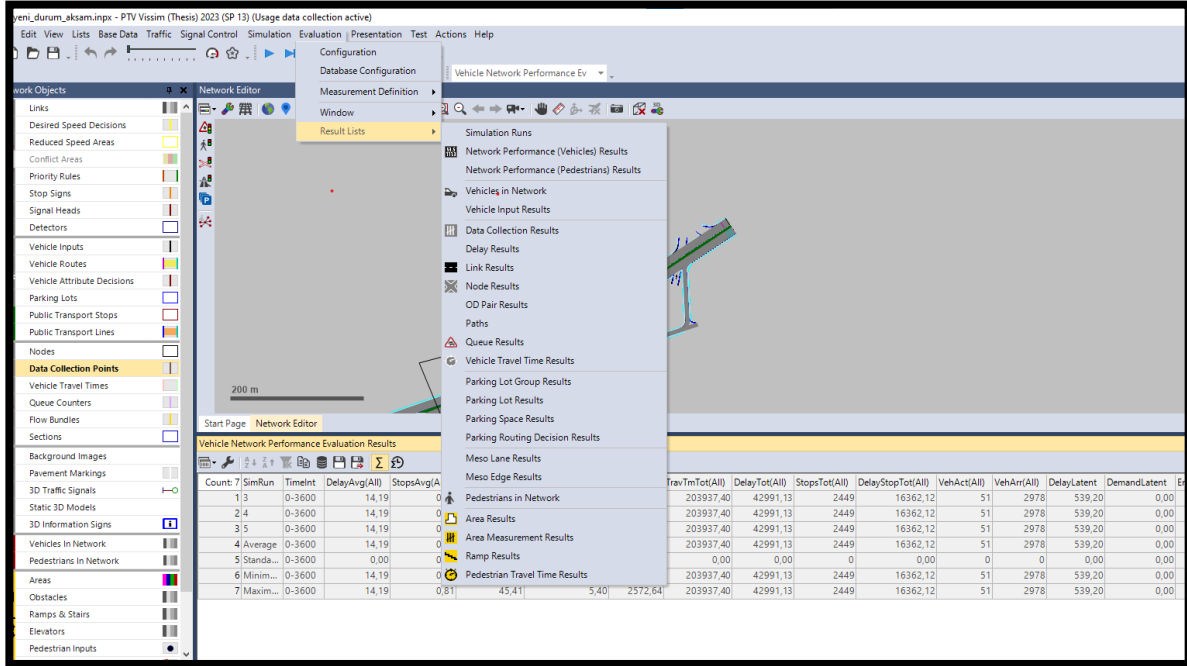


Resim 4.32. Zeytinli kavşağı PTV VISSIM modern dönel kavşak çizimi



Resim 4.33. Akçay kavşağı PTV Vissim modern dönel kavşak çizimi

Çizimler tamamlandıktan sonra aynı trafik hacimleri şartlarında modern dönel kavşaktaki ve sinyalize kavşaklardaki performans analiz sonuçları Resim 4.34'de gösterildiği gibi "Evaluation- Result List" sekmesinden alınmıştır. Simülasyon 3600 saniye boyunca çalıştırılmıştır.



Resim 4.34. PTV Vissim performans analiz sonuçlarının alınması

Programdan alınan sonuçlar tablo haline getirilmiştir.



5. BULGULAR ve TARTIŞMA

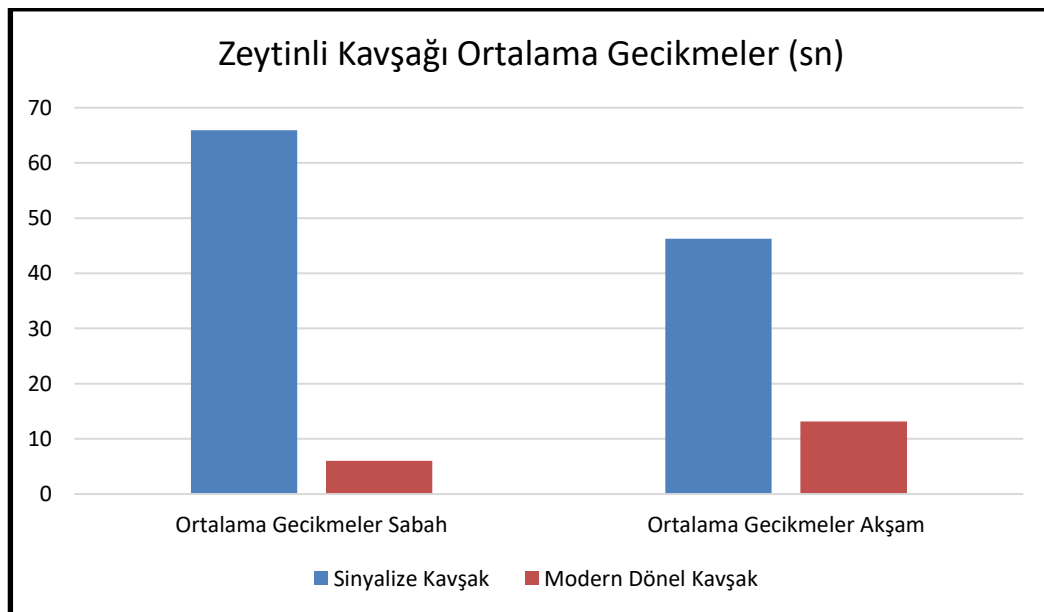
Bu bölümde yapılan uygulamanın sonucunda elde edilen sinyalize ve modern dönel kavşaklara ait bulgular paylaşılacak ve bu bulgular karşılaştırmalı olarak tartışılacaktır.

Programda veriler kavşağa gelen ve kavşaktan çıkan her kol için ayrı ayrı toplanmıştır. Fakat çalışmamız kapsamında kavşak kollarının değil, kavşağın performansını inceleyeceğimiz için değerlerin ortalamaları alınarak çizelgelerle sunulmuştur. Hazırlanan alternatif senaryoların simülasyon verilerine göre, Zeytinli kavşağı ortalama gecikme değerleri Çizelge 5.1’de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Zeytinli kavşağı ortalama gecikme süreleri

Zaman	Zeytinli Kavşağı Ortalama Gecikme(saniye)			
	Sinyalize Kavşak		Modern Dönel Kavşak	
	Sabah	Akşam	Sabah	Akşam
0-3600	65,95598	46,264401	6,010301	13,143998

Zeytinli Kavşağı’nın ortalama gecikme süreleri sonuçları incelendiğinde, sabah zirve saatlerinde, modern dönel kavşak modelinde, sinyalize kavşak modeline göre %90,89 oranında iyileşme olurken, akşam zirve saatlerinde %71,59 oranında iyileşme sağlanmıştır.



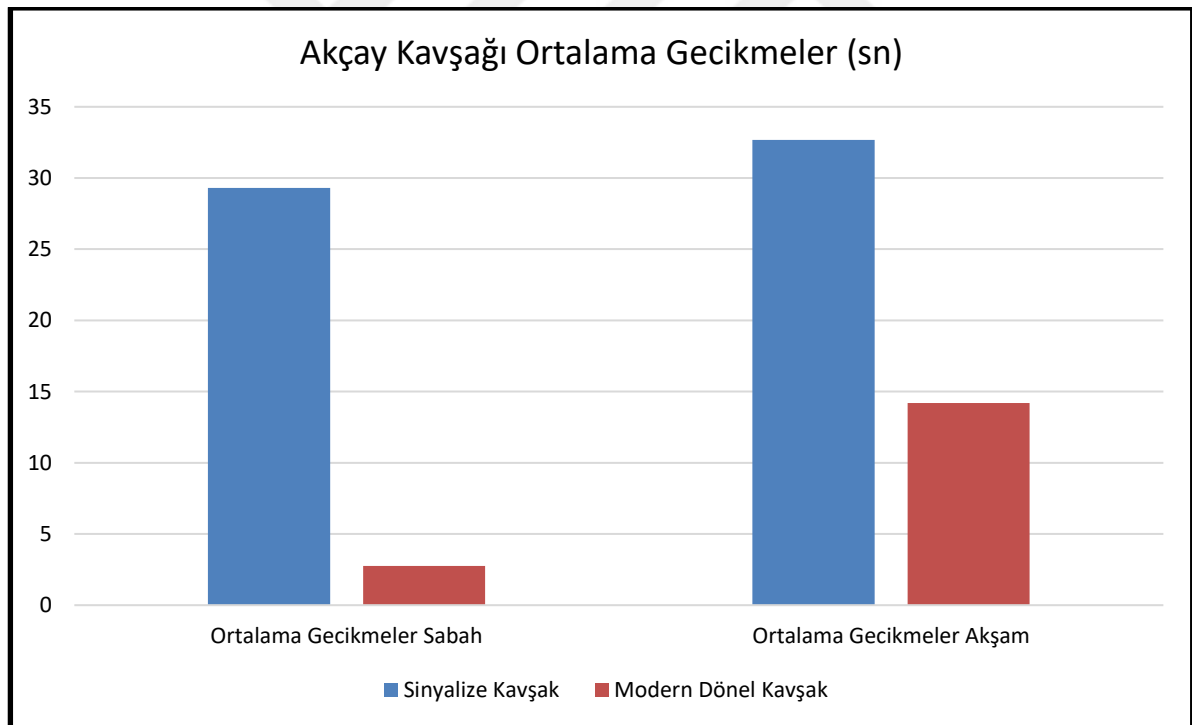
Şekil 5.1. Zeytinli kavşağı ortalama gecikmeler

Akçay kavşağı simülasyon verilerine göre, sinyalizasyon ve modern dönel kavşak durumu için ortalama gecikme değerleri Çizelge 5.2’de sunulmuştur.

Çizelge 5.2. Akçay kavşağı ortalama gecikme süreleri

Zaman	Akçay Kavşağı Ortalama Gecikme(saniye)			
	Sinyalize Kavşak		Modern Dönel Kavşak	
	Sabah	Akşam	Sabah	Akşam
0-3600	29,305789	32,680059	2,750274	14,193175

Akçay Kavşağı ortalama gecikme süreleri değerlerine göre ise, sabah zirve saatlerinde, modern dönel kavşak modelinde, sinyalize kavşak modeline göre %90,62 oranında iyileşme olurken, akşam zirve saatlerinde %56,57 oranında iyileşme sağlanmıştır.



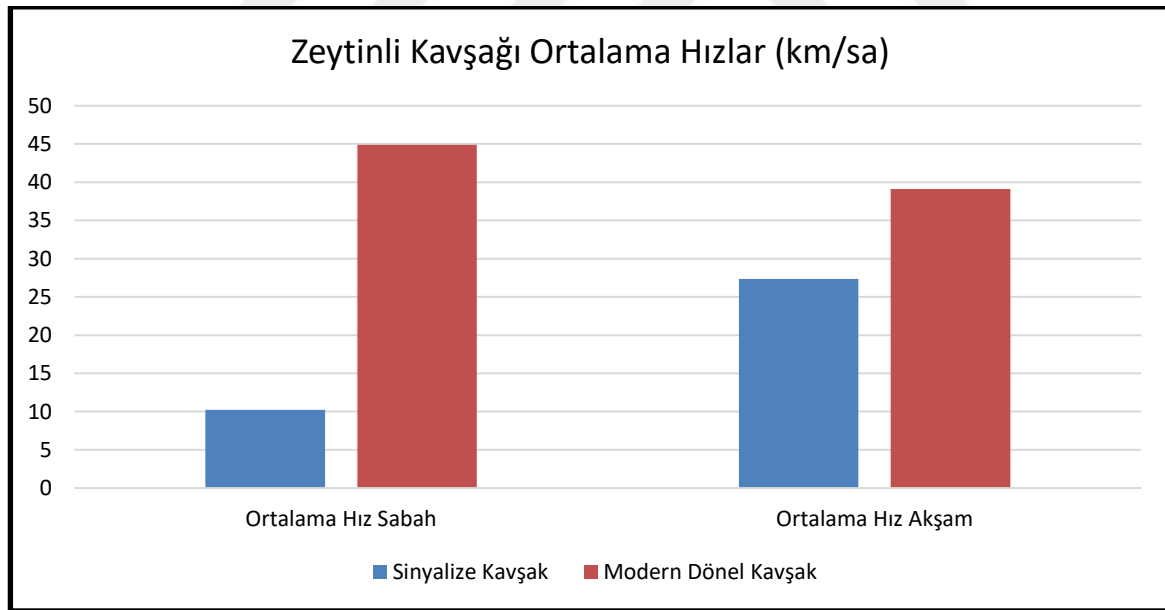
Şekil 5.2. Akçay kavşağı ortalama gecikmeler

Zeytinli kavşağı simülasyon verilerine göre, sinyalizasyon ve modern dönel kavşak durumu için ortalama hız değerleri Çizelge 5.3’de sunulmuştur.

Çizelge 5.3. Zeytinli kavşağı ortalama hız

Zaman	Zeytinli Kavşağı Ortalama Hız (km/sa)			
	Sinyalize Kavşak		Modern Dönel Kavşak	
	Sabah	Akşam	Sabah	Akşam
0-3600	10,233255	27,338106	44,885443	39,127864

Ortalama hız sonuçları incelendiğinde, Zeytinli Kavşağında sabah zirve saatlerinde, modern dönel kavşak modelinde ortalama hız 44,89 km/sa ölçülürken, sinyalize kavşak modelinde 10,23 km/sa ölçülmüştür. Sabah zirve saatte bu kavşakta taşıt hızlarında modern dönel kavşakta, sinyalize kavşak modeline göre %77,20 iyileşme sağlanırken, akşam saatlerinde bu oranın %30,13 ile daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum akşam saatlerinde Zeytinli Kavşağı'nın yoğun bir trafik hacmine sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yüksek trafik hacimlerinde modern dönel kavşaklardan istenildiği kadar iyi verim alınamadığını göstermektedir.



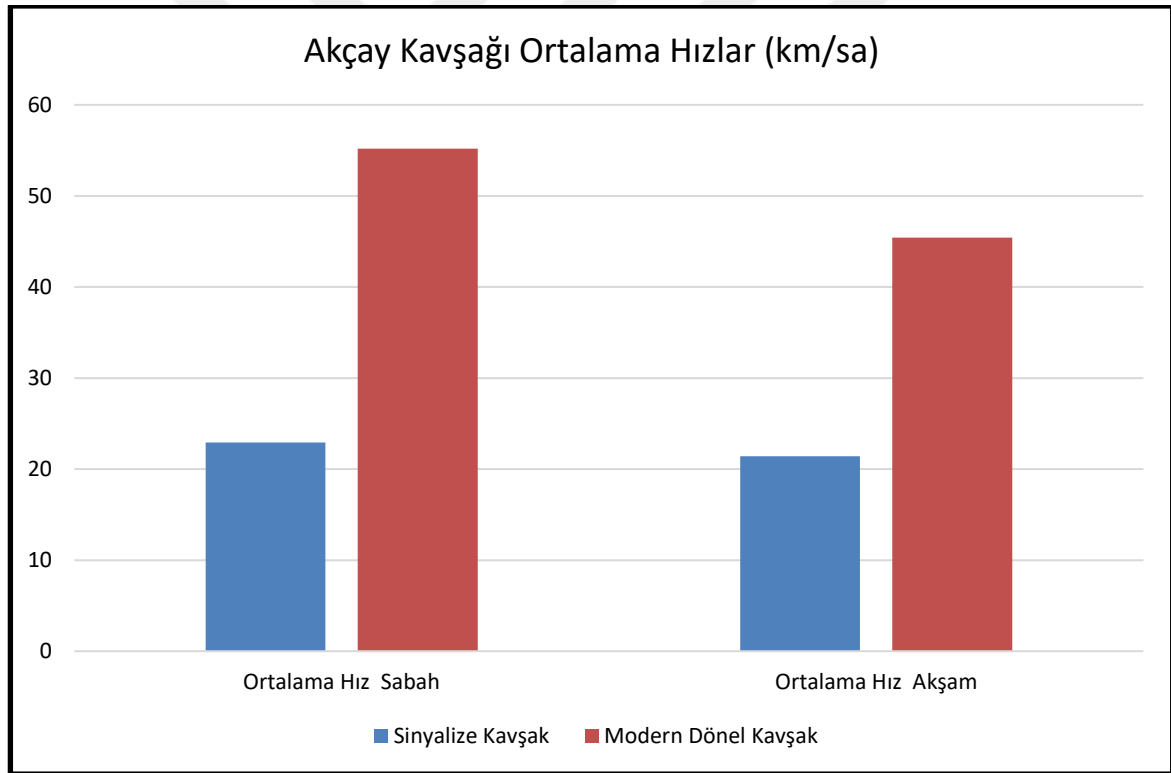
Şekil 5.3. Zeytinli kavşağı ortalama hızlar

Akçay kavşağı simülasyon verilerine göre, sinyalizasyon ve modern dönel kavşak durumu için ortalama hız değerleri Çizelge 5.4'de sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Akçay kavşağı ortalama hız

Zaman	Akçay Kavşağı Ortalama Hız (km/sa)			
	Sinyalize Kavşak		Modern Dönel Kavşak	
	Sabah	Akşam	Sabah	Akşam
0-3600	22,917602	21,424623	55,203513	45,413446

Akçay kavşağında ise, sabah zirve saatte, modern dönel kavşak modelinde ortalama hız 55,20 km/sa ölçülürken, sinyalize kavşak modelinde 22,91 km/sa ölçülmüştür. Sabah zirve saatte bu kavşakta taşıt hızlarında modern dönel kavşakta, sinyalize kavşak modeline göre %58,5 iyileşme sağlanırken, akşam saatlerinde bu oranın %52,82 olduğu görülmüştür.



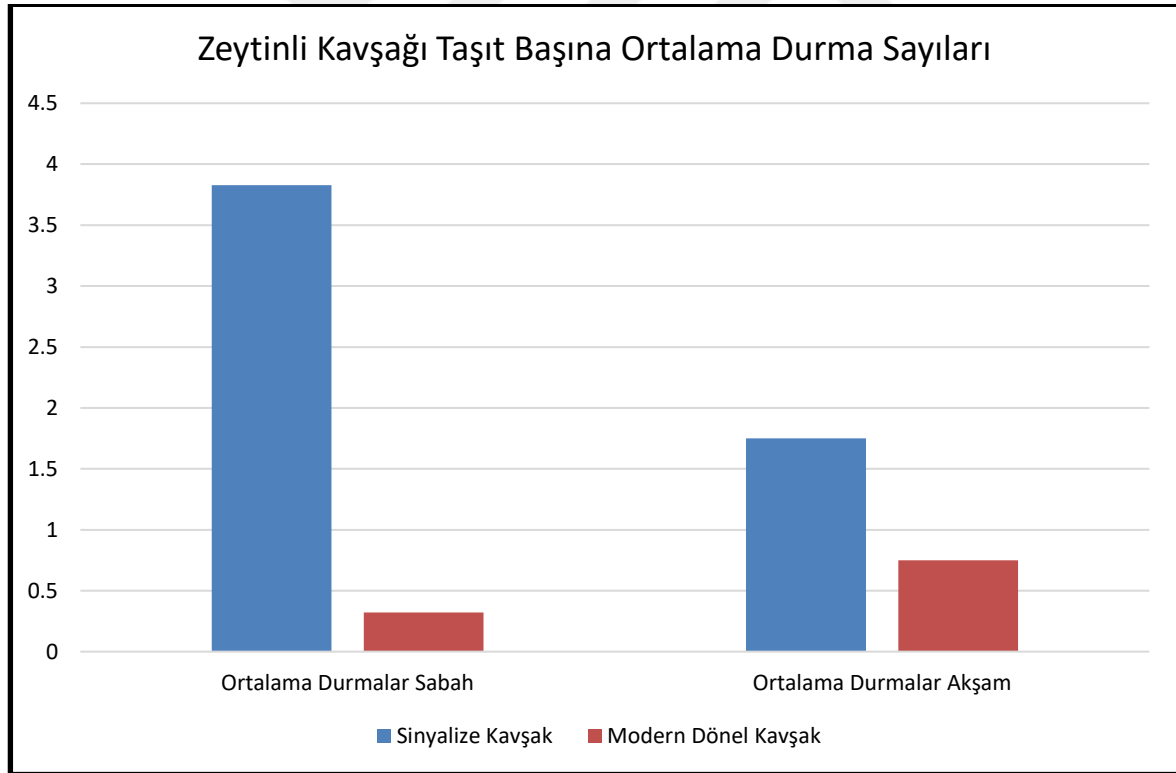
Şekil 5.4. Akçay kavşağı ortalama hızlar

Zeytinli kavşağı simülasyon verilerine göre, sinyalizasyon ve modern dönel kavşak durumu için taşıt başına ortalama durma sayıları Çizelge 5.5’de sunulmuştur.

Çizelge 5.5. Zeytinli kavşağı taşıt başına ortalama durma sayıları

Zaman	Zeytinli Kavşağı Taşıt Başına Ortalama Durma Sayıları			
	Sinyalize Kavşak		Modern Dönel Kavşak	
	Sabah	Akşam	Sabah	Akşam
0-3600	3,827195	1,751342	0,322207	0,750755

Zeytinli kavşağında taşıt başına ortalama durma sayısı sinyalize kavşakta sabah saatlerinde 3,83 iken modern dönel kavşak tasarımında bu sayının 0,32'ye düştüğü görülmektedir. Ayrıca akşam saatlerinde sinyalize kavşak tasarımında taşıt başına ortalama durma sayısı 1,75 iken modern dönel kavşaklarda bu sayı 0,75'e düşmüştür. Genel olarak Zeytinli kavşağında modern dönel kavşak tasarımında taşıt başına ortalama durma sayılarının sinyalize kavşağa göre daha az olduğu gözlemlenmektedir.



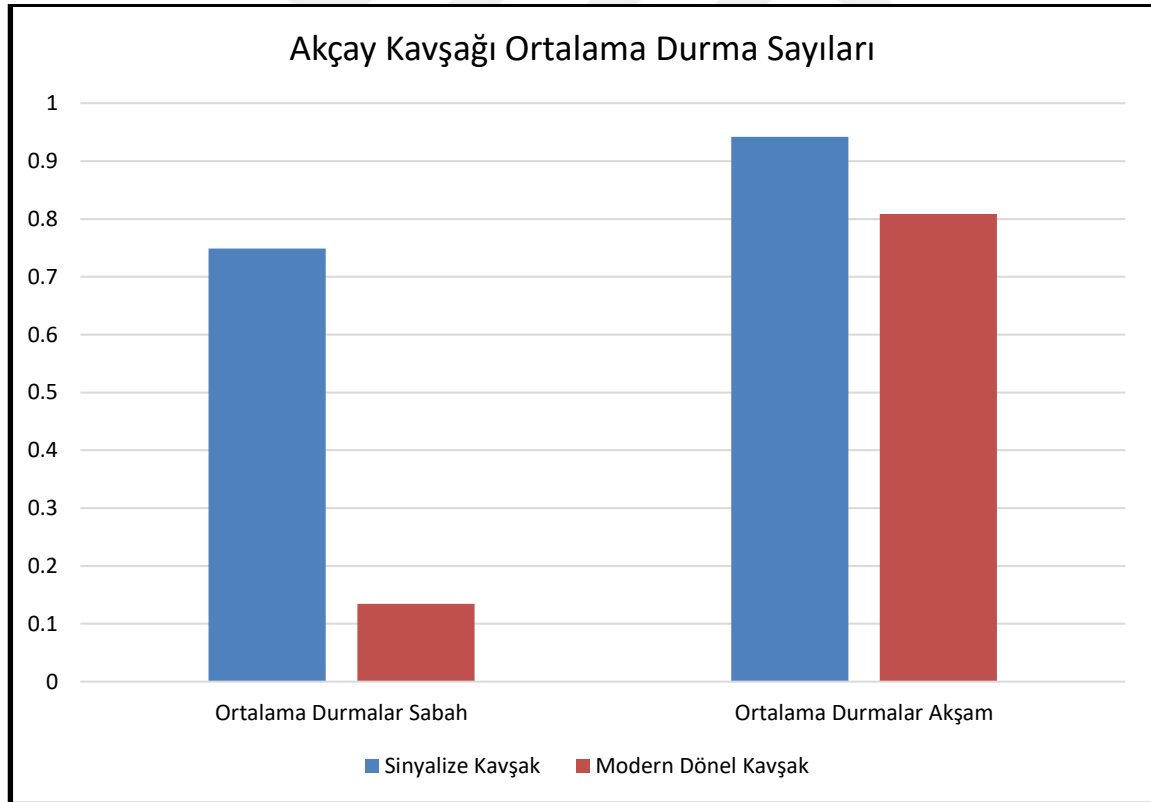
Şekil 5.5. Zeytinli kavşağı taşıt başına ortalama durma sayıları

Akçay kavşağı simülasyon verilerine göre, sinyalizasyon ve modern dönel kavşak durumu için taşıt başına ortalama durma sayıları Çizelge 5.6'da sunulmuştur.

Çizelge 5.6. Akçay kavşağı taşıt başına ortalama durma sayıları

Zaman	Akçay Kavşağı Ortalama Durma Sayıları			
	Sinyalize Kavşak		Modern Dönel Kavşak	
	Sabah	Akşam	Sabah	Akşam
0-3600	0,748628	0,94192	0,134709	0,808518

Akçay kavşağında taşıt başına ortalama durma sayısı sinyalize kavşakta sabah saatlerinde 0,74 iken modern dönel kavşak tasarımında bu sayının 0,13'e düştüğü görülmektedir. Ayrıca akşam saatlerinde sinyalize kavşak tasarımında taşıt başına ortalama durma sayısı 0,94 iken modern dönel kavşaklarda bu sayı 0,81'e düşmüştür. Akçay kavşağında modern dönel kavşak tasarımı ve sinyalize kavşak tasarımı arasında taşıt başına ortalama durma sayılarının açısından özellikle akşam yoğun trafikte çok fazla fark olmadığı gözlemlenmektedir.



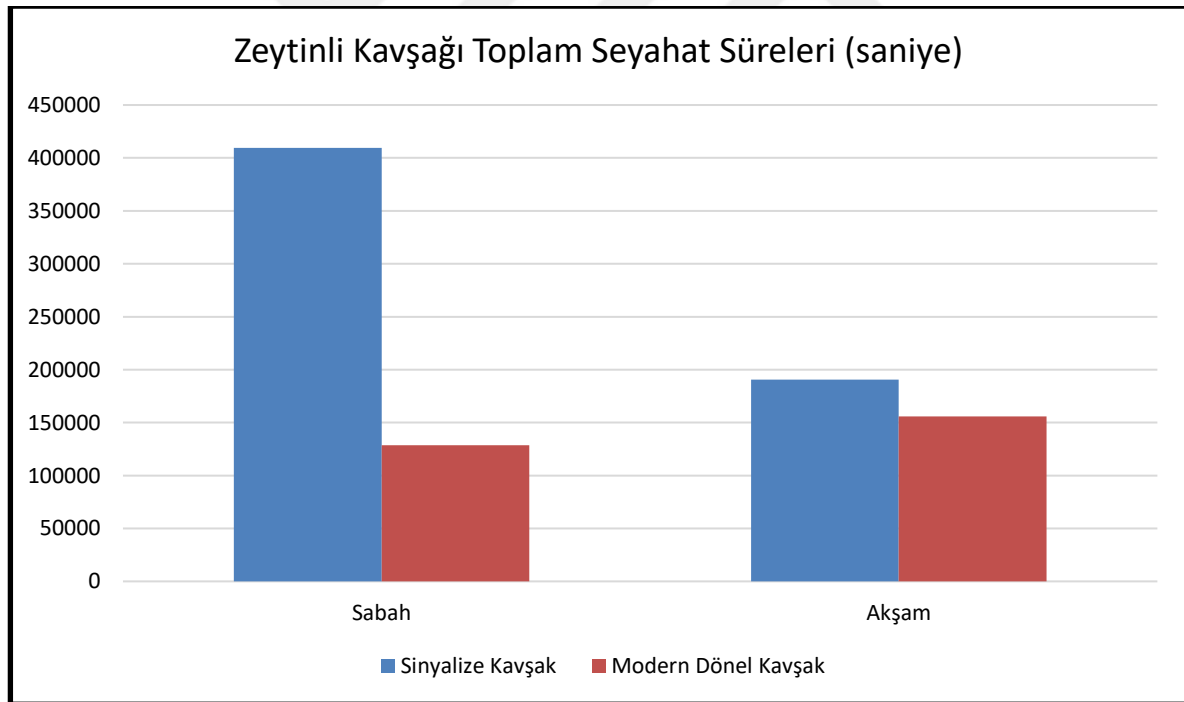
Şekil 5.6. Akçay kavşağı ortalama durma sayıları

Zeytinli kavşağı simülasyon verilerine göre, sinyalizasyon ve modern dönel kavşak durumu için toplam seyahat süreleri Çizelge 5.7'de sunulmuştur.

Çizelge 5.7. Zeytinli kavşağı toplam seyahat süreleri

Zaman	Zeytinli Kavşağı Toplam Seyahat Süreleri (saniye)			
	Sinyalize Kavşak		Modern Dönel Kavşak	
	Sabah	Akşam	Sabah	Akşam
0-3600	409452,1	190671,2	128592,4	155920,3

Toplam seyahat süreleri sonuçları incelendiğinde, Zeytinli Kavşağı'nın sinyalize durumdan modern dönel kavşağa dönüştürülmesinin neticesinde, sabah zirve saatlerde taşıtların toplam seyahat sürelerinin %68,59 oranında, akşam zirve saatlerde ise %18,23 oranında azaldığı gözlemlenmektedir. Akşam saatlerinde yoğun trafik akımında modern dönel kavşak performansının, trafik akımının az olduğu gündüz saatlerine göre daha az iyileşme sağladığı görülmektedir.



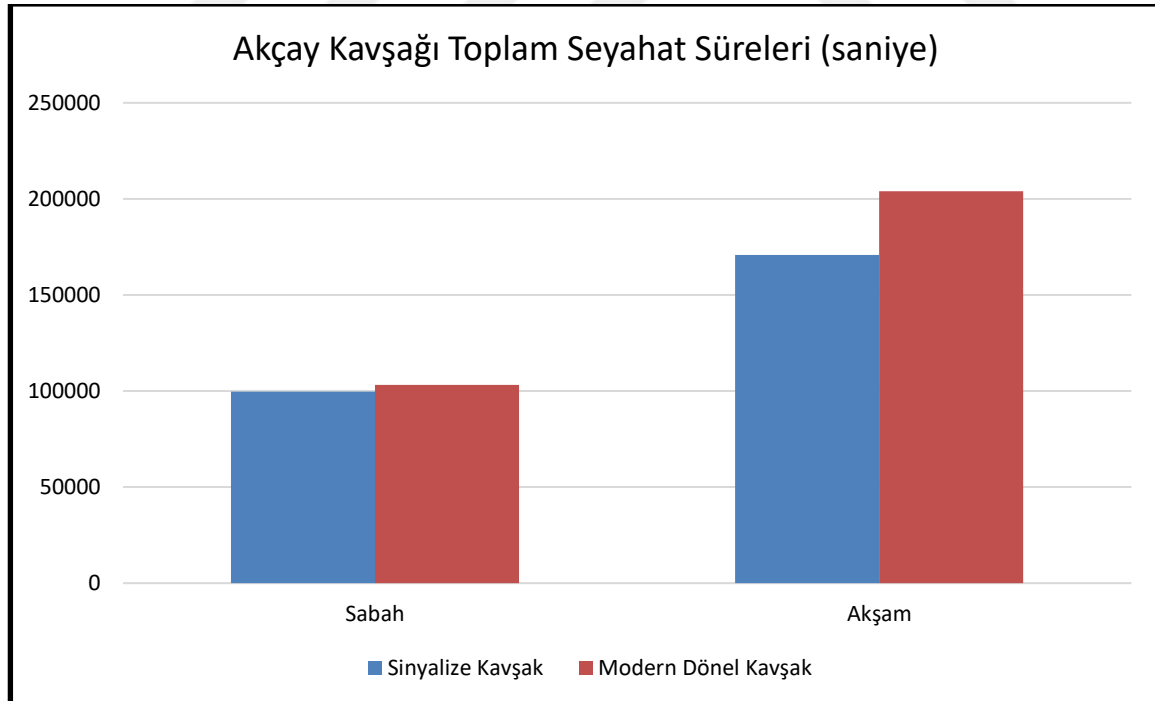
Şekil 5.7. Zeytinli kavşağı toplam seyahat süreleri

Akçay kavşağı simülasyon verilerine göre, sinyalizasyon ve modern dönel kavşak durumu için toplam seyahat süreleri Çizelge 5.8'de sunulmuştur.

Çizelge 5.8. Akçay kavşağı toplam seyahat süreleri

Zaman	Akçay Kavşağı Toplam Seyahat Süreleri (saniye)			
	Sinyalize Kavşak		Modern Dönel Kavşak	
	Sabah	Akşam	Sabah	Akşam
0-3600	99706,9	170863,9	103168,1	203937,4

PTV Vissim üzerinden elde edilen Akçay Kavşağı toplam seyahat süresi verileri değerlendirildiğinde, sabah zirve saatlerde sinyalize kavşak durumunda seyahat sürelerinin modern dönel kavşak durumuna göre daha az olduğu ve modern dönel kavşağa dönüştürüldükten sonra toplam seyahat süresinin %3,35 oranında artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Akşam zirve saatlerde ise, toplam seyahat süresinin modern dönel kavşakta %16,22 arttığı görülmektedir. Akçay Kavşağı'nda modern dönel kavşak uygulaması değerlendirilen diğer parametrelerde fayda sağlarken, toplam seyahat sürelerini olumsuz etkilemiştir.



Şekil 5.8. Akçay kavşağı toplam seyahat süreleri

Zeytinli kavşağı simülasyon verilerine göre, sinyalizasyon ve modern dönel kavşak durumu için hizmet seviyeleri harflendirmeleri Çizelge 5.9'da sunulmuştur.

Çizelge 5.9. Zeytinli kavşağı hizmet seviyesi

Zaman	Zeytinli Kavşağı Hizmet Seviyesi			
	Sinyalize Kavşak		Modern Dönel Kavşak	
	Sabah	Akşam	Sabah	Akşam
0-3600	E	E	A	B

Elde edilen simülasyon verilerinde, kavşakların hizmet seviyelerinde büyük farklar olduğu gözlemlenmiştir. Zeytinli Kavşağının sabah zirve saatteki hizmet seviyesi modern dönel kavşak modelinde A seviyesinde iken, sinyalize kavşak durumunda bu seviyenin E olduğu görülmektedir. Bu kavşakta akşam zirve saatlerinde hizmet seviyesi sinyalize kavşak modelinde E iken, modern dönel kavşak modelinde B seviyesine yükseldiği görülmektedir.

Akçay kavşağı simülasyon verilerine göre, sinyalizasyon ve modern dönel kavşak durumu için hizmet seviyeleri harflendirmeleri Çizelge 5.10’da sunulmuştur.

Çizelge 5.10. Akçay kavşağı hizmet seviyesi

Zaman	Akçay Kavşağı Hizmet Seviyesi			
	Sinyalize Kavşak		Modern Dönel Kavşak	
	Sabah	Akşam	Sabah	Akşam
0-3600	D	E	A	C

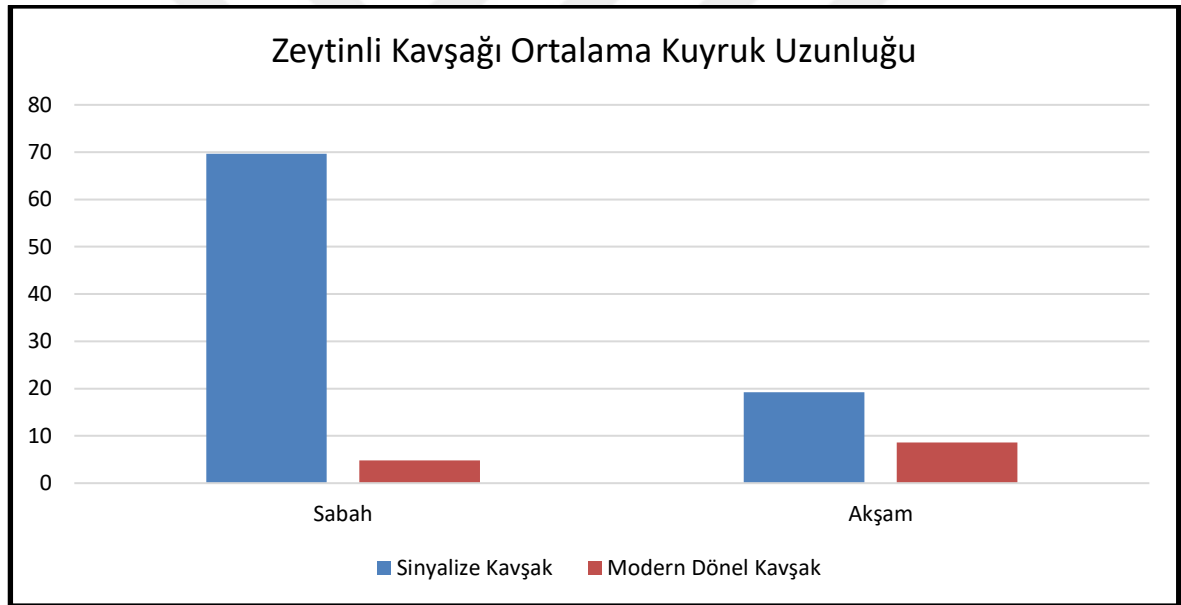
Akçay Kavşağının sabah zirve saatteki hizmet seviyesi modern dönel kavşak modelin A seviyesinde iken, sinyalize kavşak durumunda bu seviyenin D olduğu görülmektedir. Bu kavşakta akşam zirve saatlerinde hizmet seviyesi sinyalize kavşak modelinde E iken, modern dönel kavşak modelinde C seviyesine yükseldiği görülmektedir.

Zeytinli kavşağı simülasyon verilerine göre, sinyalizasyon ve modern dönel kavşak durumu için ortalama kuyruk uzunlukları Çizelge 5.11’de sunulmuştur.

Çizelge 5.11. Zeytinli kavşağı ortalama kuyruk uzunluğu

Zaman	Zeytinli Kavşağı Ortalama Kuyruk Uzunluğu(m)			
	Sinyalize Kavşak		Modern Dönel Kavşak	
	Sabah	Akşam	Sabah	Akşam
0-3600	69,63	19,20	4,8	8,58

Zeytinli kavşağında sabah saatlerinde mevcut durumda kuyruk uzunluğu 69,63 m iken modern dönel kavşak tasarımında bu değerin 4,78 m'ye düştüğü görülmektedir. Akşam saatlerinde ise ortalama kuyruk uzunluğu sinyalize kavşakta 19,20 m iken modern dönel kavşak tasarımında 8,58 m'ye düşmüştür.



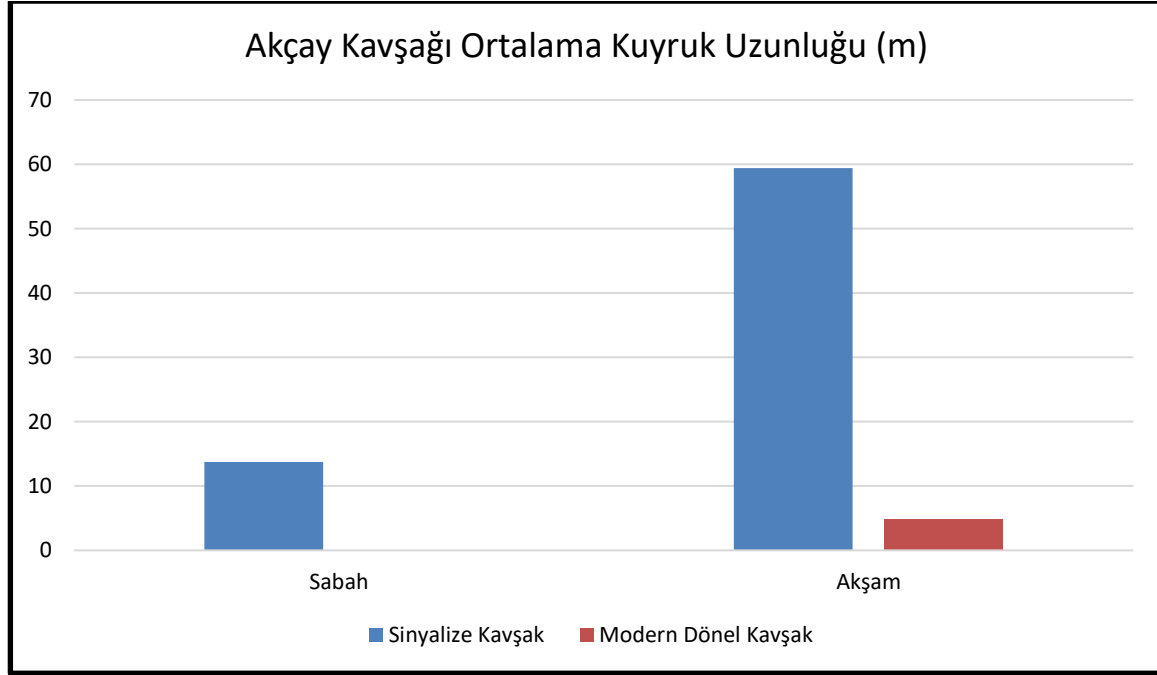
Şekil 5.9. Zeytinli kavşağı ortalama kuyruk uzunluğu

Akçay kavşağı simülasyon verilerine göre, sinyalizasyon ve modern dönel kavşak durumu için ortalama kuyruk uzunlukları Çizelge 5.12'de sunulmuştur.

Çizelge 5.12. Akçay kavşağı ortalama kuyruk uzunluğu

Zaman	Akçay Kavşağı Ortalama Kuyruk Uzunluğu(m)			
	Sinyalize Kavşak		Modern Dönel Kavşak	
	Sabah	Akşam	Sabah	Akşam
0-3600	13,73	59,40	0,00	4,80

Akçay kavşağında sabah saatlerinde mevcut durumda kuyruk uzunluğu 13,73 m iken modern dönel kavşak tasarımında genel olarak kuyruklanma olmadığı görülmektedir. Akşam saatlerinde ise ortalama kuyruk uzunluğu sinyalize kavşakta 59,40 m iken modern dönel kavşak tasarımında 4,80 m'ye düşmüştür.



Şekil 5.10. Akçay kavşağı ortalama kuyruk uzunluğu



6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu yüksek lisans çalışmasında Balıkesir, Edremit ilçesi sınırları içinde kalan, Çanakkale - İzmir yolu üzerinde 3 km arayla arka arkaya yer alan, sinyalize olarak işletilen Zeytinli ve Akçay hemzemin kavşakları incelenmiştir. Çalışma kapsamında kavşakların bulunduğu bölgede trafik sayımları yapılmış ve sinyal süreleri gruplandırılmıştır. Ayrıca kavşakların halihazır alımları yapılarak, tasarım sürecinde modellenerek altlık olarak kullanılmıştır. Microstation programı kullanılarak Zeytinli ve Akçay kavşakları için halihazır alımları üzerinden modern dönel kavşak tasarımı yapılmıştır. PTV Vissim simülasyon yazılımına bu kavşakların sinyalize durumdaki hallerinin şerit genişlikleri, taşıt sayıları ve sinyalizasyon bilgileri girilerek modellenmiştir. Kalibre edilen modelden simülasyon sürecinde taşıtların zirve saatlerdeki ortalama hızları, ortalama kuyruk uzunlukları, taşıtların ortalama gecikmeleri, kavşakların hizmet seveleri, taşıtların toplam gecikmeleri, ortalama durma sayıları, toplam durma sayıları ve taşıtların toplam seyahat süreleri verileri elde edilmiştir. Ardından modern dönel olarak tasarlanan kavşakların microstation çizimleri PTV Vissim programına aktararak, aynı taşıt hacimleri ile tekrar simüle edilmiştir.

Simülasyondan elde edilen sonuçlara göre, modern dönel kavşakların kentsel alanlarda sinyalize kavşaklara göre hizmet seviyesi ve performans açısından daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca taşıt hacimlerinin yükselmesinin modern dönel kavşak performansının üzerinde olumsuz etkileri olduğu tespit edilmiştir. Literatürde trafik yönetimini kontrolsüz dönel kavşaklar ile yapmanın, trafik akımlarının az olduğu durumlarda daha etkili olduğu düşünülmektedir. Bai, Chen ve Xue (2010) dönel kavşaklarda merkez adanın yarıçapının ve farklı sinyalizasyon senaryolarının ortalama taşıt gecikmeleri üzerine etkilerini araştırmak amacı ile çeşitli sayısal hesaplamalar ve trafik mühendisliğinin deneysel metodlarını kullandıkları çalışmaları, dönel kavşakların kontrolsüz veya sinyal kontrollü seçiminin yapılmasında mühendislere fayda sağlamaktadır [26].

Sinyalsiz kavşaklara yönelik tüm metodolojiler, kontrol gecikmesini tahmin etmek için benzer bir denklem kullanır, dolayısıyla benzer hacim/kapasite oranları benzer kontrol gecikmeleri üretir. Buna ek olarak, dönel kavşaklardaki sürücülerin, iki yönlü, durma kontrollü kavşaklarda yaptıklarına benzer şekilde boşluklara girme konusunda karar vermeleri gerekir; bu kararlar, daha yüksek hacim-kapasite oranlarında daha zorlu hale gelmektedir.

Sonuç olarak, sürücüler dönel kavşaklarda sinyalizasyon kavşaklarda olduğu gibi aynı miktarda kontrol gecikmesi algılayamayabilirler. Bazı uygulayıcılar dönel kavşaklar için sinyalizasyon kavşak LOS eşik değerlerini veya sinyalizasyon ve sinyalizasyon olmayan kavşaklar arasında bir ara LOS eşik seti kullanmayı tercih eder [2]. LOS tanımlarını HCM'de önerilenlerden keyfi olarak değiştirmek yerine, kavşak türleri arasında doğrudan karşılaştırma yapmak için temel performans ölçüsünü (kontrol gecikmesi) kullanmasını önermektedir. Performans ölçümlerinin kendisi (kontrol gecikmesi, hacim-kapasite oranları, kuyruk uzunluğu ve diğer ölçümler) karşılaştırmalar için daha uygundur. Değerlendirmede kullanıcının hizmet kalitesi algısı önemliyse LOS, HCM'de önerildiği şekilde kullanılabilir.

Araçların modern dönel kavşaklara yaklaşırken hızlarını düşürdükleri, ancak sinyalizasyon kavşaklardaki gibi durmadıkları göz önünde bulundurulduğunda, araçların kavşakta harcadığı süreyi azaltılabileceğini söylemek mümkündür.

Sinyalli bir kavşağın sinyal zamanlama tasarımı, trafik hacminin farklı koşulları için programlanabilir. Modern dönel kavşaklara trafik hacminin yoğunlaştığı zamanlar için trafik sinyali ile sürücülerini yönlendirmek, kafa karışıklığını ortadan kaldırabilir ve çakışmaları en aza indirebilir.

Ek olarak Zeytinli kavşağında yakın zamanda bir kaza meydana gelmiştir. Çanakkale istikametine seyir halinde olan bir otobüs Zeytinli Sanayi Dönel Kavşağı'na hızlı girdiği için virajı alamayarak dönel adaya çarpmıştır [27]. Maalesef yaralanmalı ve ölümlü sonuçlanan bu kazada sürücünün trafik levhalarını dikkate almamasının etkisi büyüktür. Modern dönel kavşaklarda sürücü eğitimi bölümünde aktarıldığı gibi, ülkemizde modern dönel kavşakların doğru uygulanabilmesi için öncelikle sürücü, bisikletli ve yaya eğitimleri verilmelidir. Sürücülerini bir modern dönel kavşağın temel fiziksel özelliklerine alıştırmak amacıyla çalışmalar yapılmalıdır. Aksi takdirde sinyalizasyon kavşaklardan modern dönel kavşaklara geçiş yapmanın hiçbir anlamı kalmayacaktır ve her daim uygulamada sıkıntılarla karşılaşılacaktır.

Zeytinli Kavşağı sanayi alanı ile çevrili olduğundan yük trafiğinin odaklandığı bir kavşaktır. Kavşak alanında mevcutta bir yaya trafiği baskısı yoktur. Akçay Kavşağı şehir yaya trafik alanı içerisinde yer almaktadır. Otogar ve market zincirlerinin toplandığı bir alanda yer alması bunda etkilidir. Mevcutta pek olmasa da gelecekte bölgede bisiklet ulaşımı yoğunlaşabilir. Bu çalışmada yol ağındaki yaya trafiği simülasyona dahil edilmemiştir. Çalışmaya yaya trafiği de dahil edilerek çalışma genişletilebilir.

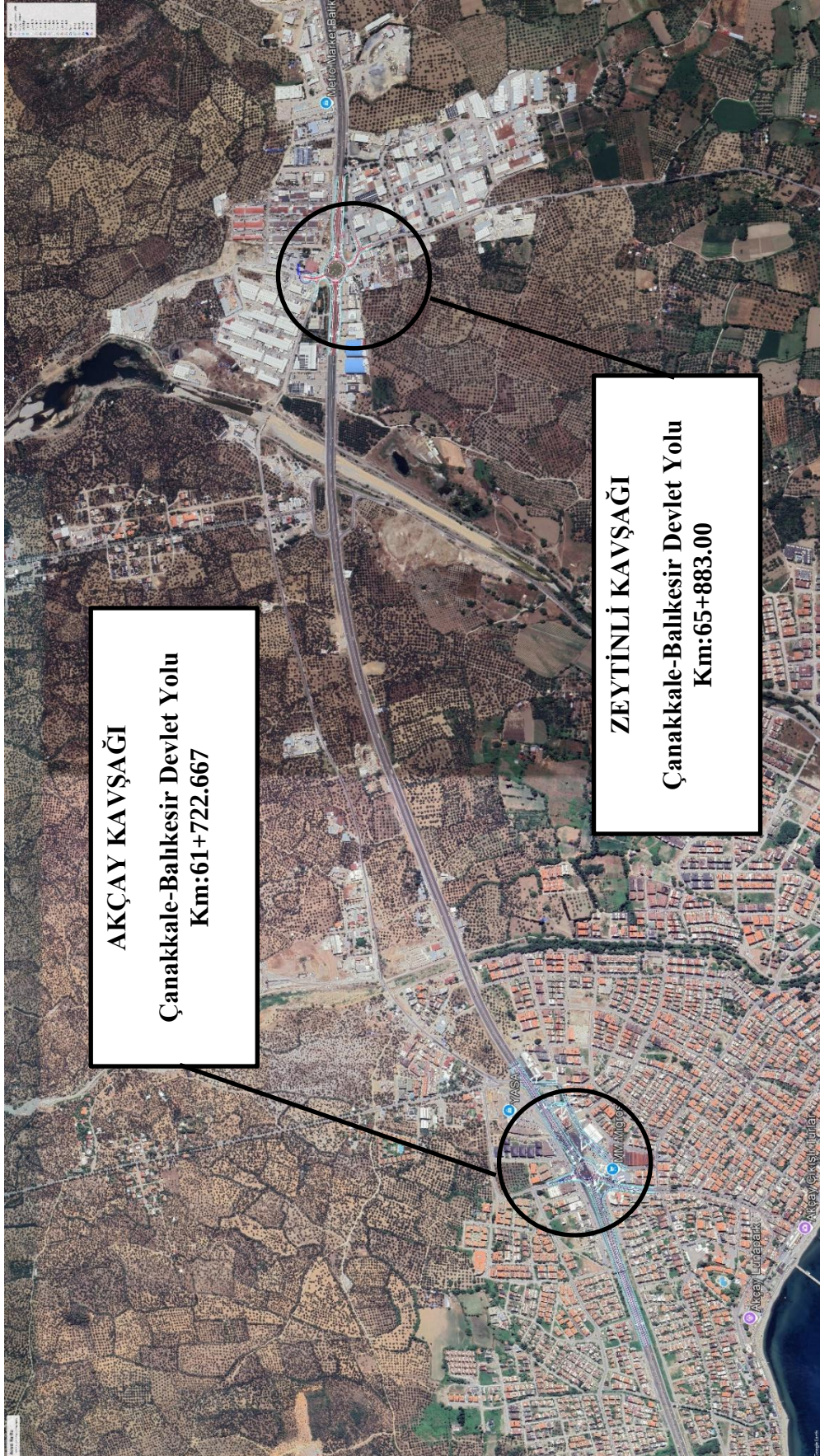
KAYNAKLAR

1. Çakıcı, Z. (2014). *Sinyalize dönel (yuvarlakada) kavşakların tasarım esaslarının araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
2. National Cooperative Highway Research Program Research Report 1043 (2023). *Guide for Roundabouts*, 22.
3. Transportation Research Board (2000). *Highway Capacity Manual*, United State of Amerika.
4. Jin, J. and Ma, X. (2015). *Adaptive Group-based Signal Control by Reinforcement Learning*. *Transportation Research Procedia*, 10, 207–216.
5. A.Abdelfatah and A.Minhans (2014). Roundabout or Traffic Signal: A Selection Dilemma. *Journal of Transport System Engineering*, 1, (12), 67-73.
6. Hallworth, M. S. (1992). Signalling Roundabouts.1. Circular Arguments, *Traffic Engineering & Control*, 33, (6), 354-363.
7. Tan, J. (2001). *Comparison of capacity between roundabout desing and signalised junction design*, 1. Swiss Transport Research Conference, Ascona.
8. Mark T. Johnson P.E., Wisconsin DOT; William A. Hange, P.E. (2003). *Modern roundabout intersections: when to use them? A comparison with signalized intersections*, Institute of Transportation Engineers (ITE) 2003 Technical Conference and Exhibit, Florida.
9. Natalizio, E. (2005). *Roundabouts with metering signals*, Institue of Transportation Engineers Annual meeting, Melbourne, Australia.
10. Wall, R., Long, R., Guth, D., Ashmead, D., & Ponchillia, P. (2005). Roundabouts: Problems of and strategies for access. *International Congress Series*, 1282, 1085–1088.
11. D. R. Dryland, E.L. Chong (2008). *Design and implementation of a signalised roundabout: SH20 Hillsborough Ring Road*, *Road and Transport Research*, 17(2), 60-71.
12. Ištoka Otković, I., & Dadić, I. (2012). *Comparison of Delays at Signal-controlled Intersection and Roundabout*. *PROMET - Traffic&Transportation*, 21(3), 157–165.
13. Mensah, S. ve Eshragh, S. (2010). *Use of Roundabouts as Alternatives to All-Way Stop Controls*. A report for Delaware Center for Transportation and University of Delaware, Newark, Delaware.
14. Gross, F., Lyon, C., Persaud, B., and Srinivasan, R. (2013). Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 234–241.

15. Ben-Edigbe, J., Abdelgalil, A., Abbaszadehfallah, I. (2012). Extent of Delay and Level of Service at Signalised Roundabout, *International Journal of Engineering and Technology* (2), 3.
16. Puan, O.C., Nor, N.S.M. and Sien, T.P. (2015). *Assessment of Delays at Roundabout*, Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) 76, 14, 67–76.
17. Gawali, C.N., Naxine, D.R. and Kapgate, S.S. (2019). Comparative Study of Signalized Intersection and Rotary for Effective Traffic Management, *International Journal of Management, Technology And Engineering*.
18. Zhou, L., Zhang, L. and Liu, C. S. (2021). *Comparing Roundabouts and Signalized Intersections Through Multiple-Model Simulation*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 1–10.
19. C. Ridding, S. Phull (2009). *Signal Controlled Roundabouts*, A New Guidance Paper. In European Transport Conference.
20. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü (2022). *Karayolu Tasarım El Kitabı*, Ankara.
21. Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation Vincent D. Reynolds, MBA, PE (2020). *Signalized Intersections Part-1 Fundamentals*.
22. American Association of State Highway and Transportation Officials (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (6th Edition)*, Washington.
23. Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation Publication No. FHWA-RD-00-067 (2000), *Roundabouts: An Informational Guide*.
24. Karayolları Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı (2018). *Modern Dönel Kavşaklar Planlama, Tasarım ve Uygulama Rehberi*.
25. PTV, A. (2018). *PTV VISSIM 10 user manual*. Germany: Karlsruhe.
26. Bai, Y. Chen W., Xue K. (2010). *Association of Signal-Controlled Method at Roundabout and Delay*, International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, Changsha, IEEE, 816-820.
27. İnternet URL: <https://www.cumhuriyet.com.tr/turkiye/balikesirde-feci-kaza-yolcu-otobusu-devrildi-1-olu-cok-sayida-2174340>



EK-1. Akçay ve Zeytinli Kavşaklarının google earth üzerinde gösterimi





Gazili olmak ayrıcalıktır