

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :
ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

Trabzon İli Terminal Kavşağının Trafik Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi başlıklı bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca ilgi ve desteğini esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Şeref ORUÇ' a emekleri için teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

İkinci danışmanım olarak atandığı andan itibaren, kısa zaman içerisinde büyük emek göstererek; bilgisi, yönlendirmesi, desteği ve çalışma azmiyle bana rol model olan kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali SİLGU' ya sonsuz teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Analiz aşamasında kullandığım VISSIM benzetim yazılımının tasarımcısı PTV Planung Transport Verkehr AG' ye ve yazılımı temin etme sürecindeki yardımlarından dolayı ISSD Bilişim Elektronik A.Ş. çalışanlarına teşekkürlerimi sunuyorum.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli aileme ve hayattaki en büyük varlığım, yaşadığım her zorlukta benimle aynı yolda yürüyen, bana güç veren, canım annem Işinsu TAŞDEMİR' e teşekkür ederim.

Aleyna Begüm TAŞDEMİR
Trabzon, 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Trabzon İli Terminal Kavşağının Trafik Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışman hocam Prof. Dr. Şeref ORUÇ’ un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri/deneyleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
10/07/2023

Aleyna Begüm TAŞDEMİR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER	14
1.1. Giriş	14
1.2. Literatür Çalışması.....	2
1.3. Kavşaklar	12
1.3.1. Kavşakların Sınıflandırılması	15
1.4. Dönel Kavşakların Tasarım Esasları	18
1.4.1. Dönel Kavşakların Geometrik Yapısı	20
1.4.1.1. Geometrik Elemanlar.....	23
1.4.2. Dönel Kavşakların Sınıflandırılması	30
1.4.2.1. Mini Dönel Kavşaklar	30
1.4.2.2. Kentsel Kompakt Dönel Kavşaklar	31
1.4.2.3. Kentsel Tek Şeritli Dönel Kavşaklar	32
1.4.2.4. Kentsel Çift Şeritli Dönel Kavşaklar	32
1.4.2.5. Kırsal Tek Şeritli Dönel Kavşaklar.....	33

1.4.2.6.	Kırsal Çift Şeritli Dönel Kavşaklar	34
1.5.	Denetimli Dönel Kavşaklar	35
1.6.	Performans Ölçütleri.....	40
1.6.1.	Gecikme.....	40
1.6.2.	Hizmet Düzeyi.....	42
1.6.3.	Emisyon Salımı	42
2.	İRDELEME VE BULGULAR.....	43
2.1.	Mevcut Durum Analizi	43
2.1.1.	Kavşak Geometrik Özellikleri.....	43
2.1.2.	Trafik ve Sinyalizasyon Bilgileri.....	43
2.1.3.	Kavşaktaki Mevcut Problemler	47
2.1.4.	Kullanılan Benzetim Yazılımı ve Kalibrasyon	52
2.1.5.	Performans Sonuçları	54
2.2.	Farklı Kavşak Tiplerinin İncelenmesi	56
2.2.1.	Sinyalize Dönel Kavşak Tasarımı.....	57
2.2.2.	Sinyalize Kavşak Tasarımı	65
2.2.3.	Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Tasarımı	68
2.2.4.	Taşıt Alt Geçidi Tasarımı	71
2.3.	Karşılaştırma.....	74
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	77
4.	KAYNAKLAR	79
5.	EKLER	84
	ÖZGEÇMİŞ.....	88

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TRABZON İLİ TERMİNAL KAVŞAĞININ TRAFİK YÖNETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Aleyna Begüm TAŞDEMİR

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şeref ORUÇ

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali SİLGU

2023, 86 sayfa

Bu tez kapsamında, dönel kavşak tasarım esasları ele alınmış ve sinyalizasyon dönel kavşak olarak işletilmekte olan Trabzon Terminal Kavşağı trafik yönetimi açısından analiz edilmiştir. Çalışmanın ilk kısmında 12 saatlik trafik verisi toplanmıştır. Analizler, zirve saate ait veriler kullanılarak yapılmıştır. Mevcut durum PTV VISSIM benzetim yazılımında modellenmiştir. Kavşağa ait trafik verileri ve sinyalizasyon bilgileri yazılıma girildikten sonra, Wiedemann 74 araç takip modeline ait sürücü davranış parametreleri değiştirilerek araç takip modelinin kalibrasyonu yapılmıştır. PTV VISSIM kullanılarak; sinyalizasyon kavşak, sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak ve taşıt altgeçitli kavşak tasarımları yapılmış ve her bir kavşak tipi 75, 90, 105 ve 120 sn devre süreleriyle analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, sinyalizasyon dönel kavşak tasarımının; ortalama taşıt gecikmeleri, ortalama kuyruk uzunluğu ve emisyon parametreleri açısından yeterli performansı sağlayamadığı gözlenmiştir. Parklanma, durak yerleri ve güney yaklaşım kolunun kavşak üzerinde önemli ölçüde etkisi olduğu görülmüştür. Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak tasarımına ait performans ölçütlerinin daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sinyalizasyon Dönel Kavşak, Trafik Yönetimi, Tıkanıklık

Master Thesis

SUMMARY

EVALUATION OF TRABZON PROVINCIAL TERMINAL INTERSECTION IN TERMS OF TRAFFIC MANAGEMENT

Aleyna Begüm TAŞDEMİR

Karadeniz Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Şeref ORUÇ
Co-advisor: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali SİLĞU
2023, 86 Pages

In this thesis, the design principles of roundabouts are discussed and the Terminal junction in Trabzon, which is operated as a signalized roundabout, is analyzed in terms of traffic management. In the first part of the study, 12-hour traffic data were obtained. Analyses were made with the data of the time period with the highest traffic volume. The current situation is modeled in PTV VISSIM simulation software. After entering the traffic data and signaling information of the intersection into the software, the driver behavior parameters of the Wiedemann 74 car following model were changed and the car following model was calibrated. Using PTV VISSIM; signalized intersection, signalized intersection with left turn pocket and intersection with underpass designs were made and each intersection type was analyzed with 75, 90, 105 and 120 sec cycle times. As a result of the study, it was observed that the signalized roundabout design could not provide adequate performance in terms of average vehicle delays, average queue length and emission parameters. Parking, stops and the South approach have a significant impact on the intersection. It has been stated that the performance criteria of the left turn pocketed signalized intersection design are better.

Keywords: Signalized Roundabout, Traffic Management, Congestion

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Kesişme çatışması (NCHRP, 1985).....	14
Şekil 1.2. Kesişme çatışması (NCHRP, 1985).....	14
Şekil 1.3. Katılma çatışması (NCHRP, 1985).....	14
Şekil 1.4. Ayrılma çatışması (NCHRP, 1985).....	14
Şekil 1.5. Kavşak çeşitleri (KGM, 2005)	16
Şekil 1.6. Günlük taşıt sayısına göre kavşak tipi seçimi (Sweroad, 2000).....	17
Şekil 1.7. Taşıt güzergahlarındaki sapma hareketi (Sweroad, 2000).....	19
Şekil 1.8. Eşdüzey denetimsiz kavşaklarda ve dönel kavşaklarda çatışma noktaları (FHWA, 2000).....	19
Şekil 1.9. Dönel kavşakların temel elemanları (FHWA, 2000).	21
Şekil 1.10. Yaklaşım kollarının hizalanması (Çelikoğlu, 2023).....	22
Şekil 1.11. Dönel kavşak geometrik elemanları (Çelikoğlu, 2023).....	23
Şekil 1.12. Şerit eklenmesi (Çelikoğlu, 2023).....	25
Şekil 1.13. Giriş katılımının genişletilmesi (Çelikoğlu, 2023).....	25
Şekil 1.14. Tek şeritli dönel kavşakta giriş tasarımı (Çelikoğlu, 2023).....	26
Şekil 1.15. Tek şeritli dönel kavşak çıkış tasarımı (Çelikoğlu, 2023).	27
Şekil 1.16. En küçük ayırıcı ada boyutları (FHWA, 2000).....	28
Şekil 1.17. Yaklaşım kollarındaki görüş mesafesi (FHWA, 2000).....	29
Şekil 1.18. Sirkülasyon alanındaki görüş mesafesi (FHWA, 2000).	29
Şekil 1.19. Çıkışlardaki Yaya Geçitlerini Görüş Mesafesi	30
Şekil 1.20. Mini dönel kavşak tasarımı (Çelikoğlu, 2023).....	31
Şekil 1.21. Kentsel kompakt dönel kavşak tasarımı (Çelikoğlu, 2023).	31
Şekil 1.22. Kentsel tek şeritli dönel kavşak tasarımı (Çelikoğlu, 2023).	32
Şekil 1.23. Kentsel çift şeritli dönel kavşak tasarımı (Çelikoğlu, 2023).	33
Şekil 1.24. Kırsal tek şeritli dönel kavşak tasarımı (Çelikoğlu, 2023).....	33
Şekil 1.25. Kırsal çift şeritli dönel kavşak tasarımı (Çelikoğlu, 2023).	34
Şekil 1.26 . İki sirkülasyon şeridi olan dönel kavşaklar için çatışma noktaları (Yang ve diğ. 2004).	36
Şekil 1.27. Çok şeritli dönel kavşakta uygun şeridin kullanılamaması (FHWA, 2010).	36

Şekil 1.28. Çok şeritli dönel kavşakta uygun çıkışın yapılmaması (FHWA, 2010).	37
Şekil 1.29. Çok şeritli dönel kavşakta uygun olmayan dönüş hareketleri (FHWA, 2010)..	37
Şekil 1.30. Kısmi denetimli sinyalizе dönel kavşak yapısı	38
Şekil 1.31. Kararsız akımların gösterimi (Akçelik, 2004).....	39
Şekil 1.32. Gecikme bileşenleri (Quiroga ve Bullock, 1999).....	41
Şekil 1.33. Genelleştirilmiş devre süresi ve gecikme ilişkisi	41
Şekil 2.1. Terminal Kavşağı, Trabzon (Google Earth, 40°59'51.7"N39°45'07.8"E)	43
Şekil 2.2. Kavşaktaki otobüs duraklarının konumları	43
Şekil 2.3. Kollardaki trafik hacmi ve yönlerе göre dağılımı	44
Şekil 2.4. Trafik akımlarının isimlendirilmesi.....	45
Şekil 2.5. Faz planı	46
Şekil 2.6. Mevcut duruma ait devre diyagramı (VISSIM,2023)	46
Şekil 2.7. Yaklaşım kollarındaki aşırı kuyruklanmalar.....	47
Şekil 2.8. Taşıt kompozisyonundaki düzensizlikler	48
Şekil 2.9. Şeritlerin düzensiz kullanılması durumu	48
Şekil 2.10. Durakta bekleyen otobüsten kaynaklanan kuyruklanma.....	49
Şekil 2.11. Şeritlerin etkin kullanılmaması.....	49
Şekil 2.12. Şeritlerin düzensiz kullanılması	50
Şekil 2.13. Sinyalizasyondan kaynaklı aşırı kuyruklanma	50
Şekil 2.14. Ada etrafında taşıtların beklemesi için bırakılan alanın	51
Şekil 2.15. Sürücü davranış parametrelerine ait VISSIM görüntüsü	53
Şekil 2.16. Mevcut duruma ait benzetim yazılımı görüntüsü.....	54
Şekil 2.17. Yaklaşım kollarındaki ortalama kuyruk uzunluğu grafiğı	55
Şekil 2.18. Sinyalizе dönel kavşağı aıt faz planı	58
Şekil 2.19. Senaryo 1'e aıt benzeyim yazılımı görüntüsü	61
Şekil 2.20. Kaldırılan otobüs duraklarının gösterimi	62
Şekil 2.21. Senaryo 3'e aıt benzetim yazılımı görüntüsü	64
Şekil 2.22. Sinyalizе kavşak tasarımına aıt benzetim yazılımı görüntüsü	65
Şekil 2.23. Sinyalizе kavşak tasarımına aıt faz planı	66
Şekil 2.24. Sola dönüş cepli sinyalizе kavşağı aıt benzetim yazılımı görüntüsü.....	69
Şekil 2.25. Sola dönüş cepli sinyalizе kavşağı aıt faz planı.....	69
Şekil 2.26. Taşıt altgeçidi tasarımına aıt benzetim yazılımı görüntüsü	71

Şekil 2.27. Taşıt altgeçitli duruma ait faz planı	72
Şekil 2.28. Ortalama taşıt gecikmeleri karşılaştırması	74
Şekil 2.29. Ortalama kuyruk uzunluğu karşılaştırması	75
Şekil 2.30. Yakıt tüketimi karşılaştırması.....	75



TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Farklı tip dönel kavşaklar için tavsiye edilen tasarım giriş hızları (FHWA, 2000).	23
Tablo 1.2. İki şeritli dönel kavşaklar için sirkülasyon şeridi genişliği (FHWA, 2000).	26
Tablo 1.3. Dönel kavşakların tasarım elemanlarına göre karşılaştırılması (FHWA, 2000).	35
Tablo 1.4. Hizmet düzeyleri (HCM, 2010).....	42
Tablo 2.1. Birim otomobil katsayıları (TS6407, 2013)	44
Tablo 2.2. Trafik sayım sonuçları	45
Tablo 2.3. Mevcut duruma ait performans sonuçları.....	54
Tablo 2.4. Yaklaşım kollarının 50 m gerisine ait performans sonuçları	56
Tablo 2.5. Farklı devre sürelerine ait faz süreleri	58
Tablo 2.6. Sinyalize dönel kavşağa ait performans sonuçları.....	60
Tablo 2.7: Mevcut durum ve Senaryo 1' e ait sonuçların karşılaştırılması	61
Tablo 2.8. Mevcut durum ve Senaryo 2' ye ait sonuçların karşılaştırılması.....	63
Tablo 2.9. Mevcut durum ve Senaryo 3' e ait sonuçlar	64
Tablo 2.10. Sinyalize kavşak tasarımına ait faz süreleri.....	66
Tablo 2.11. Sinyalize kavşak performans sonuçları	67
Tablo 2.12. Mevcut durum ve sinyalize kavşak performans sonuçlarının karşılaştırılması	67
Tablo 2.13. Sola dönüş cepli sinyalize kavşağa ait sinyal süreleri	69
Tablo 2.14. Sola dönüş cepli sinyalize kavşağa ait performans sonuçları.....	70
Tablo 2.15. Mevcut durum ve sola dönüş cepli sinyalize kavşak performans sonuçlarının karşılaştırılması.....	70
Tablo 2.16. Taşıt altgeçitli duruma ait faz süreleri	72
Tablo 2.17. Taşıt altgeçidi tasarımına ait performans sonuçları	73
Tablo 2.18. Mevcut durum ve taşıt altgeçitli kavşak performans sonuçlarının karşılaştırılması.....	73
Ek Tablo 1: 26.09.2022 tarihine ait trafik sayımları.....	84
Ek Tablo 2: 28.09.2022 tarihine ait trafik sayımları	85
Ek Tablo 3: 30.09.2022 tarihine ait trafik sayımları	86
Ek Tablo 4: GEH istatistiği sonuçları	87

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CO ₂	: Karbondioksit
CO	: Karbonmonoksit
HC	: Hidrokarbon
HCM	: Highway Capacity Manual
NO _x	: Nitröz oksit
PM	: Partikül madde
VOC	: Uçucu organik bileşen
bo	: Birim otomobil
ta	: Taşıt
sa	: Saat
sn	: Saniye
km	: Kilometre
m	: Metre

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ulaşım, bir nesnenin ya da bir kişinin belli bir fayda doğrultusunda bir yerden başka bir yere gitmesi olayıdır. Bu olayın gerçekleştirilmesi sırasında yol ağı kullanıcılarının ağ üzerinde yaptıkları hareketlerin tümü trafiği oluşturmaktadır. Hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olan ulaşım, artan araç sahipliği ve nüfusla birlikte zaman içerisinde oldukça karmaşık bir hale gelmiştir. Teknolojinin ve farklı ulaşım modlarının gelişmesiyle birlikte ulaşım kolaylaşmış ancak bununla birlikte talep artışı da devam etmiştir. Artan ulaşım talebiyle birlikte karayollarının bazı kesimlerinde trafik sıkışıklıkları, kuyruklanmalar, aşırı gecikmeler oluşmakta ve açığa çıkan emisyon salımları, çevre üzerinde olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır. Bu durum sürücüler üzerinde de olumsuz etkiler göstermektedir. Kurallara uymak konusunda oldukça yetersiz olan sürücüler, yolda kaybettikleri zamanın ve bekleme sürelerinin artmasıyla birlikte, agresiflik ve acelecilik psikolojisiyle ani hareketler yapmakta ve kuralları daha da fazla ihmal ederek trafik kazalarına sebep olmaktadır.

Farklı doğrultulardan gelip farklı doğrultulara gitmek isteyen sürücülerin karşılaştığı alanlar olan kavşaklarda bahsi geçen olumsuz durumlar daha sık görülmektedir. Uygun olmayan kavşak tasarımlarının yapılması, kavşağı kullanan yol kullanıcılarına ait verilerin yeteri kadar detaylandırılmaması, kavşağın bulunduğu konumun talep üzerindeki etkisinin göz ardı edilmesi gibi tasarımcı hatalarından kaynaklanan ve bilinçsizce yapılan kavşaklar hem iyi bir performans gösterememekte hem de trafik güvenliği konusunda yetersiz kalmaktadır. Özellikle kent içi ulaşım ağında meydana gelen kazaların %40-60'ı kavşaklarda meydana gelmektedir (Yayla, 2011).

Kent içi ve kent dışı yollarda meydana gelen olumsuz durumlara çözüm sunabilmek için ortaya çıkan trafik yönetimi alanı; farklı yönetim şekillerinin geliştirilmesi, en uygun sinyal sürelerinin irdelenmesi, trafik sıkışıklıklarının ve gecikmelerin azaltılması, kavşak kapasitesinin etkin şekilde kullanılabilmesi gibi konuları incelemekte ve günden güne büyümektedir.

Dönel kavşaklar, uygun bir şekilde tasarlandıkları takdirde geometrilerinin sunduğu avantajla birlikte trafiğin oldukça güvenli bir şekilde yönlendirildiği kavşaklardır. Dönel kavşaklarda hareket, yaklaşım kollarındaki taşıtların merkez ada etrafındaki taşıtlara yol vermesi prensibine dayalıdır. Bu kavşaklarda sinyalizasyon sistemleri olmadığı için sürücüler sinyalizasyondan kaynaklı vakit kaybı yaşamamaktadır.

Dönel kavşaklarda, merkezi ada etrafında dönüş hareketi yapan taşıtlar ile yaklaşım kollarındaki taşıtların çatışma olasılıklarını ortadan kaldırabilmek için merkezi ada etrafına ve yaklaşım kollarına sinyalizasyon sistemleri dahil edilerek sinyalize dönel kavşak uygulaması ortaya çıkmıştır. Ülkemizde de sıkça rastladığımız sinyalize dönel kavşaklara ihtiyaç duyulmasının diğer bir sebebi ise dönel kavşakların standartlara uygun olmayan şekilde tasarlanıp uygulanması ve bu kavşaklardaki trafik güvenliğinin sinyalizasyon sistemleriyle giderilebileceğinin düşünülmesidir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde dönel kavşakların tasarımı detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

1.2. Literatür Çalışması

Kavşak performansını arttırabilmek için kavşağın geometrik özelliklerinin değiştirilmesinin yanı sıra sinyalizasyon sistemlerinin de en uygun şekilde kullanılabilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda hem konunun arka planının ortaya konulması hem de daha iyi takip edilebilmesi açısından dönel kavşakların; kapasiteleri, sinyalizasyon sistemlerinin geliştirilmesi, geometrik özelliklerinin değiştirilmesi, güvenlik ve çevre üzerine olan etkilerinin değerlendirmesine kadar yapılan çalışmaların belli bir kısmı kronolojik olarak aşağıda verilmiştir.

Al-Masaeid ve Faddah (1997), Ürdün'de farklı şehirlerdeki 10 adet dönel kavşaktan toplanan veri ile regresyon analizi yaparak, dönel kavşağın geometrik özelliklerine ve ada etrafında sirküle olan trafiğe bağlı olarak kapasite tahmin modeli geliştirmişlerdir. Model; giriş genişliği, sirkülasyon şeridi genişliği, merkezi adanın çapı ve sirküle olan akım değişkenlerine bağlı olarak geliştirilmiştir. Ayrıca giriş kolu ve kendinden sonraki çıkış kolu arasındaki mesafenin kapasite üzerindeki etkisine de vurgu yapılmış, bu mesafenin artmasıyla örölme bölgelerindeki karmaşıklığın azalacağı ve giriş kapasitesinin artacağı belirtilmiştir. Sirkülasyon şeridi genişliğinin arttırılmasıyla giriş kapasitesinin %6 ila %10

oranında, merkez ada çapının 20 m arttırılmasıyla yaklaşık %30 oranında arttığı sonucuna varmışlardır. Giriş şeridi genişliği ve merkez ada çapının, sirkülasyon şeridi genişliğine göre kapasite üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır.

Benzer şekilde Polus ve Shmueli (1997), merkez ada dış çapının 15 m'den 60 m'ye kadar değiştiği altı farklı dönel kavşağı incelemişlerdir. Sirküle olan akım hacmine bağlı olarak her bir dönel kavşak için giriş kapasitesi tahmin modeli geliştirmişlerdir. Sonuç olarak yalnızca ada dış çapına ve sirküle olan akım hacmine bağlı olan bir giriş kapasitesi tahmin modeli geliştirmişlerdir. Sirküle olan taşıt hacminin artmasıyla birlikte kapasite etkin kullanımının azaldığını, ada çapının 30 metreden 60 metreye çıkarılmasıyla kapasite etkin kullanımının yaklaşık %21 arttığını gözlemlemişlerdir.

Troutbeck ve Kako (1999), dönel kavşaklarda ana akım için sınırlı önceliğe dayanan yeni bir boşluk kabul modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Modelin iki giriş şeridi ve iki sirkülasyon şeridi olan dönel kavşaklar üzerindeki etkisi incelenmiş ve dönel kavşakların giriş kapasiteleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Wong ve diğ. (2003), izole kavşaklarda taşıt ve yaya hareketlerini dikkate alarak, yatay işaretlemeleri ve sinyal sürelerini entegre eden şerit bazlı optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Modele ait sinyal sürelerinin düzenlenmesinde, kapasitenin etkin kullanımının arttırılması ve devre süresinin azaltılması hedeflenmiş ve modelin doğruluğunu kanıtlamışlardır.

Yang ve diğ. (2004), çok şeritli dönel kavşaklarda güvenlik problemine sebep olabilecek örölme bölgelerini ve çatışma noktalarını ortadan kaldıran yeni bir sinyal denetim yöntemi önermişlerdir. Çalışmada yeşil süreler ve devre süresi, sirkülasyon şeridindeki kuyruk uzunluklarına göre hesaplanmıştır. Analizler sonucunda, önerilen yaklaşım ile kavşak kapasitesinin etkin kullanımının ortalama %72,1 artırılabileceğini ve ortalama taşıt gecikmelerinde 20 sn azalma olabileceğini ifade etmişlerdir. Sola dönüş yapan trafik akımı için kapasite %96 oranında artarken, düz devam eden trafik akımı için %118 oranında arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Al-Omari ve diğ. (2004), 14 farklı dönel kavşak kollarındaki; trafik hacmi, sirküle olan trafik hacmi, merkezi ada çapı, sirkülasyon şeridi genişliği ve giriş şeridi genişliği verileri elde edilerek trafik hacmine ve kavşak geometrik özelliklerine bağlı olan ortalama durma gecikmesi tahmin modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Durma gecikmesi

tahmininde, giriş şeridi genişliğinin etkisinin en fazla, sirkülasyon şeridi genişliğinin ise en az olduğunu belirtmişlerdir.

Akçelik (2005), dönel kavşaklarda meydana gelen kararsız akımlara çözüm olarak kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakları önermiştir. Kuyruk uzunluğunun belli bir noktaya gelmesiyle birlikte yaklaşım kollarındaki geçiş önceliğinin değiştirilmesi prensibine dayanan bu denetim sistemiyle özellikle zirve saatlerde ortalama taşıt gecikmelerinde büyük oranda azalma sağlandığı bulunmuştur.

Akçelik (2006), yaptığı çalışmada kısmi denetimli dönel kavşakları ve dönel kavşakları karşılaştırmıştır. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak uygulaması ile CO₂ emisyonu, işletim maliyeti, toplam duruş sayısının da önemli oranda azaldığı sonucuna varmıştır.

Brabander ve Vereeck (2007), dönel kavşakların yayalar, bisikletliler ve motosikletliler üzerindeki etkisini değerlendirmiş ve sinyalize kavşakların savunmasız yol kullanıcıları için dönel kavşaklardan daha güvenli olduğunu belirtmişlerdir.

Saccomanno ve diğ. (2008), kavşak geometrisi ve trafik hacmini değiştirerek 12 farklı senaryo oluşturmuş ve dönel kavşaklar ile sinyalize kavşakları güvenlik açısından karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, dönel kavşakların sinyalize kavşaklara göre daha güvenli olduğunu bulmuşlardır.

Schroeder ve diğ. (2008), tek şeritli ve iki şeritli dönel kavşaklarda görme engeli olan yayaların güvenliğini sağlayabilmek amacıyla yaya sinyalizasyonu seçeneklerini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, bir dönel kavşağın en yoğun olan yaklaşım koluna yerleştirilen yaya sinyalinin sebep olduğu gecikmeler ve kuyruk uzunlukları ölçülmüştür. Sonuç olarak, dönel kavşaklarda yaya sinyalizasyonu kullanımının, kuyruğun sirkülasyon şeridine kadar uzayabilme olasılığını arttırdığı ve taşıt gecikmelerine sebep olduğu için tartışmaya açık bir konu olduğunu belirtmişlerdir.

Mandavilli ve diğ. (2008), sinyalize kavşakların bazı durumlarda taşıtların hızını azalttığını bazı durumlarda ise trafiğin durmasına yol açtığından dolayı emisyon artışına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, sinyalize kavşak yerine dönel kavşağın yerleştirildiği altı bölge dikkate alınmış ve bu bölgelerdeki trafik verileri kullanılmıştır. Sinyalize kavşaklar ve dönel kavşaklar CO₂, NO_x, CO, HC emisyon

parametrelerini dikkate alarak karşılaştırmışlar, dönel kavşakların emisyonu azaltmak için en iyi seçenek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Qian ve diğ. (2008), kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar ile sinyalize dönel kavşakları karşılaştırmışlardır. Trafik hacminin fazla ve kararlı olduğu durumlarda sinyalize dönel kavşakların, trafik hacminin az ve kararsız olduğu durumlarda dönel kavşakların, akımın kararsız olduğu durumlarda ise kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların trafik problemlerini gidermek için daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Otković ve Dadić (2009), Hırvatistan'ın Osijek şehrindeki bir dönel kavşak ile sinyalize kavşağı gecikmeleri bakımından karşılaştırmışlardır. Aynı trafik hacminin olduğu koşullarda, dönel kavşaklardaki gecikmelerin ve seyahat sürelerinin sinyalize kavşaklara göre daha az olduğunu ve sola dönüş oranının gecikmeler üzerinde büyük etkisi olduğunu vurgulamışlardır.

Fortuijn (2009), iki veya daha fazla şeritli dönel kavşaklarda, şerit değiştirme sayısı artışı ve yüksek hız probleminin karşılaşılan temel problemlerden olduğunu belirtmiştir. Turbo dönel kavşak tasarımının bu problemleri bertaraf edebileceğini ve yaklaşık olarak tek şeritli dönel kavşağın sağlamış olduğu güvenliği sağlayabileceğini belirtmiştir.

Bai ve diğ. (2010), farklı merkezi ada çapı ve devre sürelerinin, sinyalize dönel kavşağın performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Devre süresi ve ortalama taşıt gecikmeleri arasında pozitif korelasyon olduğunu ve merkez ada çapının 30 metreden fazla olduğu durumlarda ortalama gecikmenin artacağını belirtmişlerdir.

Lu ve diğ. (2010), yapay zekâ tabanlı dönel kavşak yönetim sistemi geliştirmişlerdir. Sistem, yayalar ve taşıtlar arasındaki geçiş hakkını değiştirmek için en uygun zamana karar verebilme mekanizması üzerine geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, farklı koşullar ve geometrik özellikler altında mevcut sinyal sistemiyle karşılaştırılmıştır. Trafik talebi kapasiteye yaklaştıkça, yaya kaynaklı gecikmelerin arttığını, önerilen sistemle taşıt gecikmelerinin ve kuyruk uzunluklarının azaltılabileceğini bulmuşlardır.

Edigbe ve diğ. (2012), trafik talebinin yüksek olduğu saatlerde sinyalize kavşaklar yerine sinyalize dönel kavşakların tercih edilmesinin hizmet düzeyini iyileştirebileceği, dönel kavşakların ise yetersiz kalabileceği sonucuna varmışlardır. İşlevsel bir

sinyalizasyonun uygulanması durumunda sinyalize dönel kavşakların iyi bir performans gösterebileceğine dikkat çekmişlerdir.

Tracza ve Chodura (2012), Polonya'nın Krakow şehrindeki bir sinyalize dönel kavşağı, farklı faz planlarını göz önünde bulundurarak değerlendirmişlerdir. Öncelikle 2 fazlı denetim sistemini analiz etmişler, sola dönen taşıtların beklemesi için gerekli olan alanın yetersiz kaldığı sonucuna varmışlardır. Bu problemin çok fazlı denetim sistemi ile çözülebileceğini belirterek 3 fazlı ve 6 fazlı denetim sistemlerini irdelemişlerdir. 3 fazlı denetimde, kavşak kapasitesinin etkin kullanımının yaklaşık %33 düştüğü ve ortalama gecikmelerin yaklaşık iki katına çıktığını bulmuşlardır. 6 fazlı denetim uygulanması halinde ise kavşak içerisindeki kuyruklanmalar azalırken gecikmelerin arttığını gözlemlemişlerdir.

Gross ve diğ. (2013), Amerika'da bulunan, sinyalize kavşaktan dönel kavşağa çevrilmiş olan 28 adet kavşak belirleyerek kavşak güvenliği açısından öncesi-sonrası çalışmaları yapmışlardır. Çalışma sonucunda, sinyalize kavşakların dönel kavşaklara dönüştürülmesiyle toplam kaza sayısı ve yaralanmalı kaza sayısında azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Al-Madani (2013), Bahreyn'de 13 farklı dönel kavşağa ait şerit sayısı, şerit genişlikleri ve taşıt sayısı verilerini toplamıştır. Kavşak giriş kolundaki akım ile sirküle olan akım arasında regresyon analizi yaparak çok şeritli dönel kavşaklar için kapasite tahmin modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Geliştirilen model diğer kapasite hesap yöntemleriyle karşılaştırmış ve gerçek veriyle olan uygunluğunu belirtmiştir.

Ma ve diğ. (2013), sinyalize dönel kavşaklardaki yatay işaretlemeleri dikkate alarak yeni bir sinyal süre optimizasyonu modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışma kapsamında, kavşak kapasitesinin en etkin şekilde kullanımı, gecikme ve devre süresinin ise en aza indirilmesini hedeflemişlerdir. Mevcut bir dönel kavşağın, çalışma kapsamında geliştirilen optimizasyon modeline göre işletilmesiyle ortalama taşıt gecikmelerinin azaldığı ve kavşak kapasitesinin daha etkin kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca sola dönüş oranının 0,5'ten küçük olması durumunda, sinyalize dönel kavşakların sola dönen trafik hacminden etkilenmediğini, sola dönüş oranının 0.9'un üzerine çıkması durumunda ise sinyalize kavşakların sinyalize dönel kavşaklardan daha iyi bir performans sergileyebileceğini belirtilmiştir.

Güler ve Menendez (2014), sinyalizasyon kavşaklarında trafik ışıklarına ek olarak, taşıtların kavşağa gelmeden önce karşılaşacağı bir ön sinyalin bulunduğu durumu değerlendirmişlerdir. Ön sinyale kadar otobüsler için özel bir şerit tayin edilmiş, ön sinyalden sonra otobüs ve diğer taşıtların kullanabileceği karma şerit kullanım düzenine geçilmiştir. Sonuç olarak, bir şeridin yalnızca otobüs kullanımı için tahsis edilmesi yerine ana sinyallerden önce bir ön sinyal yerleştirilerek sistem genelindeki gecikmelerin azaltılabileceğini bulmuşlardır.

Fortuijn (2014), kısmi denetimli sinyalizasyonun, tek şeritli dönel kavşaklarda kapasite kullanımını arttırmadığı, iki şeritli dönel kavşaklarda ise tali yol niteliğindeki kollarında %15-45 oranında arttırdığı, kavşaktaki toplam bekleme süresinin %20-50 oranında azaldığı sonucuna varmıştır. Ayrıca kısmi denetimli dönel kavşakların uygulanması durumunda, iyi tasarlanmış bir dedektör sisteminin gerekliliğine dikkat çekmiştir.

Çakıcı ve Murat (2015), sinyalizasyon dönel kavşaklar için farklı trafik hacimleri ve sola dönüş oranlarına göre 50 farklı senaryo oluşturmuşlardır. Yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin ve sola dönüş hacimlerinin artmasıyla ortalama taşıt gecikmelerinin arttığını, farklı faz planları ve sinyal sürelerinin uygulanması ile ortalama taşıt gecikmelerinin azaltılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca sirkülasyon şeridi sayısının ikiden üçe çıkarılması durumunda, örölme bölgelerinden kaynaklanan ortalama taşıt gecikmelerinin arttığını tespit etmişlerdir.

Salamati ve diğ. (2015), dönel kavşakları ve ışıklı kavşakları emisyon salımlarına göre karşılaştırmışlardır. Talep/kapasite oranının 0.7'den küçük olduğu durumlarda, dönel kavşakların sinyalizasyon kavşaklara göre daha az emisyon salımına sebep olduğunu bulmuşlardır. Talep kapasiteye yaklaştıkça, dönel kavşaklardaki emisyon salımının sinyalizasyon kavşaklara göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Talebin kapasiteyi aştığı durumlarda ise dönel kavşaklarda emisyon miktarının sürekli arttığı, ışıklı kavşaklarda ise keskin bir şekilde arttığı sonucuna varmışlardır.

Gökçe ve diğ. (2015), sinyalizasyon dönel kavşakların sinyal sürelerini optimize etmek için 28 adet kavşaktan elde edilen verilerle parçacık sürü optimizasyonu algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelle gecikme sürelerinde yaklaşık %56 oranında azalma elde edildiğini ve gecikme süresindeki bu azalmanın yakıt tüketimi ve emisyon miktarında

azalmaya sebep olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca HCM metodunun sinyalize dönel kavşaklardaki sinyal sürelerinin belirlenmesinde uygun olmadığına değinmişlerdir.

Xu ve diğ. (2016), dört kollu geniş dönel kavşaklarda geçiş hakkı atamasının değiştirilebilir olduğu ve sinyal sürelerinin trafiğe bağlı olarak dinamik bir şekilde değiştirildiği trafik kontrol algoritması önermişlerdir. Ancak trafik algılama sistemlerine büyük yatırımlar yapılması gerektiği için bu kontrol sisteminin maliyetli olacağını ifade etmişlerdir.

Sun ve diğ. (2016), sinyalize dönel kavşak, sinyalize kavşak ve dönel kavşakları belli durumlar altında karşılaştırmışlardır. Dönel kavşaklardaki sinyalizasyonun sola dönen taşıtlarda sebep olduğu kuyruklanmaya bağlı olarak, sinyal süresi hesabı ve kapasite modeli geliştirmişlerdir. Trafik talebinin yüksek olduğu durumlarda sinyalize dönel kavşakların dönel kavşaklara göre daha iyi performans gösterdiği, devre süresinin 60-190 sn arasında olması durumunda sinyalize dönel kavşakların, sinyalize kavşaklardan daha iyi performans gösterdiğini fakat devre süresinin 65 sn den daha kısa olduğu durumlarda sinyalize kavşakların, sinyalize dönel kavşaklara göre daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca sinyalize dönel kavşakların kapasitesinin sinyal parametrelerine karşı çok hassas olduğunu vurgulamışlardır.

Bie ve diğ. (2016), sinyalize dönel kavşaklarda kapasitenin etkin kullanımını arttırmak için trafik sinyallerinin kavşağa gelmeden belli bir mesafe öncesine yerleştirildiği ve sinyallerden sonra yol ver çizgisinin olduğu bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yönteme göre, yaklaşım kolundaki taşıtlar kavşak girişindeki yol ver çizgisine gelmeden önce trafik sinyalleriyle durdurulur ve yeşil ışık yandığında hareket ederek yol ver çizgisine ulaşırlar. Bu noktadan sonra, sürücüler herhangi bir sinyalizasyona gerek duymadan kendileri için güvenli olduğunu öngördükleri boşluğu yakalayarak kavşağa girerler. Yapılan çalışmada, önerilen yöntem için yeni bir adaptif kontrol algoritması da önerilmiştir. Yöntem farklı trafik koşulları altında sınanmış ve uygulanabilirliği sonucuna varmışlardır.

Bie ve diğ. (2016), yaptıkları çalışmada farklı faz planlarının sinyalize dönel kavşakların performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesini azaltmak için farklı trafik hacimleri ve sola dönüş oranları göz önünde bulundurarak iki faz planı önermişlerdir. Önerilen faz planlarına göre ortalama taşıt

gecikmesi ve kuyruk uzunluğu modeli geliştirmişlerdir. Oluşturulan model, gerçek bir sinyalizasyon dönel kavşaktan alınan verilerle doğrulanmış ve faz planının kavşak performansı üzerindeki etkisi vurgulanmıştır.

Çakıcı ve Murat (2016), farklı tip kavşakları göz önünde bulundurarak, birbirinden farklı trafik hacimleri için karşılaştırmalı kavşak performans analizleri yapmışlardır. Sola dönüş oranının %30 ve üzerine çıktığı durumlarda merkezi ada etrafındaki bekleme alanının yetersiz kaldığını ve gecikmelerin arttığını belirtmişlerdir. Trafik hacminin yaklaşık %40-45'i kadar sola dönüş hareketinin olduğu durumlar için sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşakları önermişlerdir.

Fernandes ve diğ. (2017), yaptıkları çalışmada; dönel kavşak, sinyalizasyon kavşak ve dur kontrollü kavşağın bulunduğu bir koridoru incelemişlerdir. Koridor  zerindeki sinyalizasyon kavşağı, tek şeritli dönel kavşak olarak tasarlamış ve farklı trafik talepleri altında mevcut durum ile karşılaştırma yapmışlardır. Sonuç olarak, emisyon oranında %16-27, ortalama taşıt gecikmelerinde %24, kuyruk uzunluklarında %57 oranında azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Patnaik ve diğ. (2017); giriş yarıçapı, merkezi ada çapı, giriş genişliği,  r lme bölgesi genişliği ve uzunluğunun kapasite üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Giriş eğrisi yarıçapının 10 m arttırılmasıyla kapasite etkin kullanımının %48-50 civarında düştüğünü, merkez ada çapının 5 m arttırılmasıyla %17-25 civarında arttığını, giriş genişliğinin 5 m arttırılmasıyla %25 arttığını,  r lme bölgesi genişliğinin 5 m arttırılmasıyla %25 azaldığını bulmuşlardır.  r lme bölgesi uzunluğunun kapasite üzerinde daha az etkili olduğu ve 10 m artmasıyla kapasite kullanımının %10 azaldığını belirtmişlerdir.

Khwais ve Haddad (2017), basitleştirilmiş bir sinyalizasyon kavşağın yaklaşım kolunda, biri otobüsler için diğeri otomobiller için yerleştirilmiş olan iki ayrı  n sinyalin olduğu durumu incelemişlerdir. Toplam kişi gecikmesini en aza indirebilmek amacıyla  n sinyalden sonra kullanılan karma şeritlerdeki kuyruk uzunluklarına ve  n sinyalden önceki otobüs ve diğer taşıtların kuyruk uzunluklarına göre en uygun sinyal süresini veren  n sinyal kontrol modeli geliştirmişlerdir.

Aakre ve diğ. (2017), otobüslere orta şeritten transit geçiş hakkının verildiği küçük ve orta büyüklükteki dönel kavşakları incelemiştir. Yapılan çalışmada, dönel kavşak içerisindeki araçlar ile kavşağa transit geçiş istikametinden gelen otobüslerin kesiştiği çatışma noktaları ‘Yol ver’ levhası ile kontrol edilmektedir. ‘Yol ver’ levhasının kullanıldığı durum ile dönel kavşak yaklaşım kollarında ve merkezi ada etrafında trafik ışıklarının olduğu durum kıyaslanmıştır. ‘Yol ver’ levhasıyla kontrol edilen durumun, emisyon salımında ve gecikme sürelerinde azalmaya katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir.

Qadri ve Gökçe (2019), İzmir’de sinyalize dönel kavşak olarak çalışmakta olan kavşağı, 4 kollu sinyalize kavşak olarak tasarlamış ve değerlendirmişlerdir. 3 farklı trafik hacmi ve 3 farklı devre süresiyle oluşturulan 9 senaryo; ortalama taşıt gecikmesi, ortalama kuyruk uzunluğu ve en büyük kuyruk uzunluğu parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarında, önerilen 4 kollu sinyalize kavşak tasarımının mevcut duruma göre gecikme ve kuyruk uzunluğu açısından daha iyi bir performans gösterdiğini bulmuşlardır.

Murat ve diğ. (2019), yaklaşım kollarındaki trafik hacmini, sola dönüş oranlarını ve sirkülasyon şeritlerinin sayısını değiştirerek 200 farklı durumu incelemiştir. Sola dönüş hareketi yapacak olan taşıtların beklediği alanın yeterli büyüklükte olması gerektiğine dikkat çekerek, sinyal süresi formülü geliştirmişlerdir. Oluşturulan senaryoların değerlendirilmesi için VISSIM benzetim yazılımı kullanılmıştır. Sinyal süresinin belirlenmesinde, sirkülasyon şeridi sayısına ve sola dönüş oranına dikkat edilmesi gerektiği önerilmiş, ağır taşıt oranının artmasının gecikmelerde ve trafik sıkışıklıklarında büyük etkisi olduğunu ve önerilen formül ile ortalama gecikmelerde yaklaşık %36 azalma olabileceğini belirtmişlerdir.

Rashed ve Imam (2020), sinyalize dönel kavşaklar ile dönel kavşakları gecikme, en büyük kuyruk uzunluğu ve hizmet düzeyi performans ölçütlerine göre kıyaslamışlardır. Dönel kavşaklara sinyal sistemlerinin dâhil edilmesiyle ortalama taşıt gecikmelerinde %9-35 civarında azalma olduğunu ve farklı sinyalizasyon seçeneklerinin uygulanmasıyla kavşak performansının artırılabilirliğini belirtmişlerdir.

Ghanim ve diğ. (2020), sinyal sürelerinin ve faz planı düzeninin, trafik akımları arasındaki çatışmaları azaltıp artırarak sinyalize dönel kavşaklardaki güvenliğini etkileyebildiğini belirtmişlerdir. Sinyalize dönel kavşaklardaki yüksek trafik talebinin,

trafik çatışmalarındaki artışla veya çatışma şiddetindeki artışla ilişkili olmadığını ifade etmişlerdir.

Osei ve diğ. (2021), yaptıkları çalışmada düz giden taşıtların ada içerisinde yönlendirildiği bir dönel kavşak geometrisine, sinyalizasyon sistemlerini dahil ederek kapasite etkin kullanımının %50 arttığını, gecikme ve kuyruk uzunlukların azaldığını belirtmişlerdir.

Zhou ve diğ. (2021), çalışmalarında tek şeritli ve iki şeritli dönel kavşak ile farklı devre sürelerine sahip dört adet sinyalizasyon kavşağı karşılaştırmışlardır. Yüksek trafik hacminin olduğu durumlarda dönel kavşakların sinyalizasyon kavşaklara göre daha iyi performans gösterdiğini fakat ortalama durma sayısında artış olduğunu, iki şeritli dönel kavşakların ise tek şeritli dönel kavşaklara göre ortalama durma sayısının daha az olduğu sonucuna varmışlardır.

Zakeri ve Choupani (2021), yaptıkları çalışmada karşılıklı yaklaşım kollarındaki belli şeritlerin doğrudan merkez adanın ortasından geçerek birbirlerine bağlanmasıyla oluşturulmuş olan tasarımda, ada içerisinde geçen şeritler otobüslerin kullanımına tahsis edilmiştir. Bu tasarım, dönel kavşak ve sinyalizasyon kavşaklarla 6 farklı trafik senaryosu altında karşılaştırılmıştır. 5 yıllık kaza verileri incelendiğinde, geliştirilen modelin yaralanmalı kaza sayısını dönel kavşaklara göre yarıya indirdiğini ve kavşak performansını arttırdığını ifade etmişlerdir.

Jalil ve diğ. (2022), çalışmalarında iki durma çizgisine sahip olan üç kollu sinyalizasyon dönel kavşak modelini değerlendirmişler. İlk dur çizgisini yaklaşım kollarına, ikinci dur çizgisini sola dönüş yapacak olan taşıt hareketini kontrol edebilmek için sirkülasyon şeridine yerleştirmişlerdir. Önerilen modelin değerlendirilmesi için kapasite ve sinyal süreleri arasında ilişki kurmuşlardır. Devre süresinin 100-160 sn ve merkezi ada çapının 30-60 m olduğu koşullar altında önerilen modelin daha iyi performans gösterdiğini ve sola dönen taşıtlar için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Shawky ve diğ. (2023), çalışmalarında kavşaktaki taşıt yörüngelerini ve çatışma noktalarını inceleyen bir video işleme tekniği kullanmışlar ve mevcut trafiğin güvenlik durumunu değerlendirmişlerdir. Kavşak geometrisi, sürücü davranışı ve yol güvenliği arasındaki etkileşiminin önemini vurgulamışlardır.

Bu tez çalışmasında; lokal olarak önemli sıkışıklık, kuyruklanma ve zaman kaybına yol açan Trabzon Terminal Kavşağı'nda trafik analizi yapılmıştır. Buradan kazanılan deneyimle birlikte, VISSIM benzetim yazılımı kullanılarak farklı kavşak tipleri ve farklı devre süreleri ile alternatif çözümler üretilmiştir. Parklanma, otobüs durakları ve güney yaklaşım kolunun kavşak üzerindeki etkileri de araştırılarak ele alınan kavşak için en uygun tasarım önerilmiştir.

1.3. Kavşaklar

Kavşaklar, karayolu ulaşım ağında farklı yaklaşım kollarından gelip farklı doğrultulara ilerlemek isteyen yol kullanıcılarının karşılaştığı alanlardır. Tasarımları ve işletilmeleri bakımından özel dikkat gerektiren karayolu elemanlarıdır. Kavşaklar birçok yol kullanıcılarına hizmet etmektedir. Bu yönüyle kazaların meydana gelme olasılığının yüksek olduğu yerler olarak belirtilebilirler. Aynı zamanda trafik sıkışıklıklarının en fazla görüldüğü alanlardır. Tasarım yapılırken güvenlik her zaman ilk şart olmalıdır.

Kavşaklar kent içinde, kent içindeki yerleşim bölgelerinde ve kırsal bölgelerde bulunma durumlarına göre farklı tasarım önceliklerine sahip olabilirler.

Kavşak tasarlanırken dikkat edilmesi gereken hususlar;

- Kavşağın konumu ve çevresel koşullar,
- Sürücü ve yaya davranışları,
- Trafik hacmi ve taşıt kompozisyonu,
- Varsa yakınındaki diğer kavşaklara ait trafik bilgileri,
- Mevcut denetim yöntemleri olarak sıralanabilir.

Kavşak tasarımında önemli olan diğer bir unsur ise taşıt, yaya ve bisikletliler gibi yol kullanıcılarının net bir şekilde yönlendirilmesi ve görüş alanlarının açık olmasıdır. Bu nedenle kavşak içerisinde ya da yaklaşım kollarında görüşü kısıtlayan fiziki engeller bulundurulmamalıdır. Kavşakların daha güvenli ve etkin kullanılabilmesi için aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir;

- Sürücülerin dikkatini dağıtan düzenlemeler yapılmamalıdır.

- Kavşak giriş çıkışlarındaki ve kavşak içerisindeki dönüş açılarına dikkat edilmelidir.

- Kavşağı kullanan en büyük taşıtların hareketleri göz önünde bulundurulmalıdır.

- Çatışan akımların kesişme açıları küçük tutulmalıdır.

- Çatışma noktalarına dikkat edilmeli, çatışma noktası sayısı ve çatışma şiddeti azaltılmaya çalışılmalıdır.

- Gerekli yatay ve düşey işaretlemeler yapılmalı, sürücü en doğru şekilde yönlendirilmelidir.

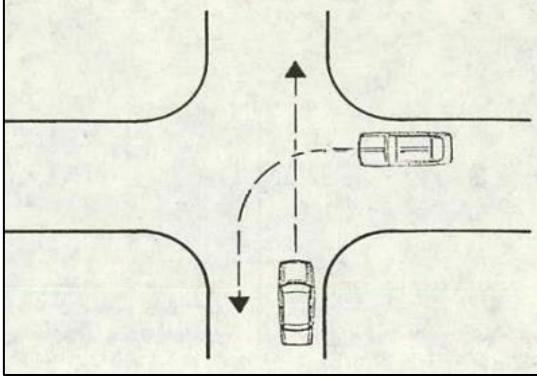
- Gerekli aydınlatma sağlanmalıdır.

Çatışma noktaları, aynı karayolu parçasının aynı anda yoldaki iki ya da daha fazla yol kullanıcısı tarafından kullanılma talebi sonucu oluşur. Üç çeşit çatışma türü vardır. Bunlar;

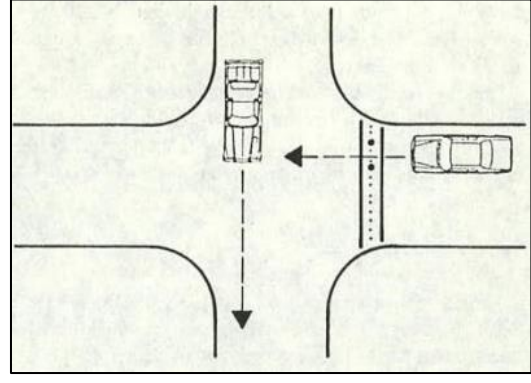
- Kesişme çatışması,
- Katılma çatışması,
- Ayrılma çatışması

olarak sıralanabilir.

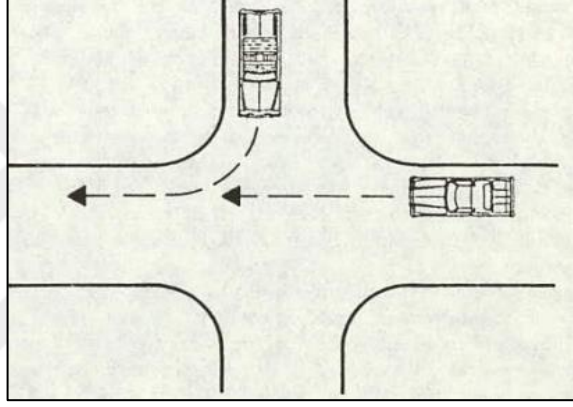
Kesişme çatışmaları, farklı yönlerden gelen taşıtların bir noktada kesişmesinden kaynaklanır. Katılma çatışmaları, farklı doğrultulardan gelip aynı yönde ilerlemek isteyen taşıtların dönüş hareketlerinin tamamlanması esnasında oluşur. Ayrılma çatışmaları ise aynı yönde arka arkaya ilerleyen taşıtların dönüş hareketi yapmasıyla meydana gelmektedir. Şekil 1.1, Şekil 1.2, Şekil 1.3 ve Şekil 1.4 ile çatışma noktalarının meydana gelme şekli gösterilmiştir.



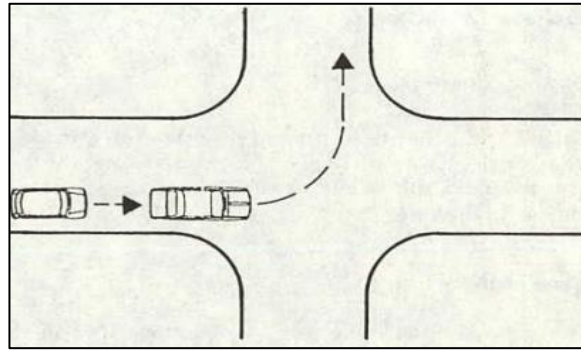
Şekil 1.1. Kesişme çatışması
(NCHRP, 1985).



Şekil 1.2. Kesişme çatışması
(NCHRP, 1985).



Şekil 1.3. Katılma çatışması (NCHRP, 1985).



Şekil 1.4. Ayrılma çatışması (NCHRP, 1985).

Çatışma noktalarının neden ve hangi sıklıkla meydana geldiğini detaylandırmak iyi bir kavşak tasarımı için kritik noktadır. Çatışma durumlarının çözümsüz bırakılması; ani

frenleme ve ani şerit değiştirme hareketlerine, uzun süreli gecikmelere ve trafik kazalarının gerçekleşmesine yol açar.

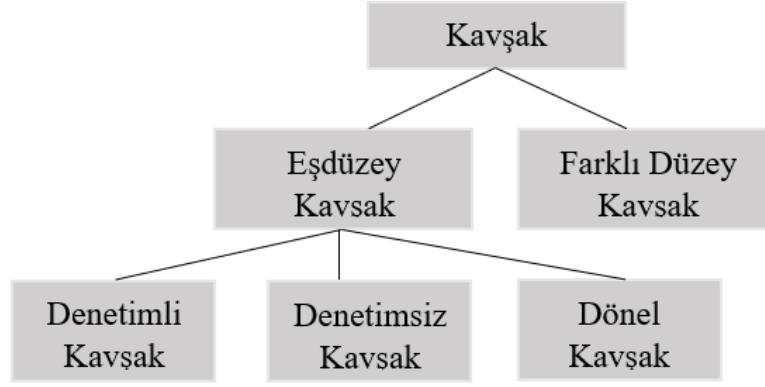
Kavşaklarda trafiği daha iyi yönlendirmek ve işlevselliği arttırmak için kanallama tercih edilebilir. Kanallama; çatışma noktalarının sayısını azaltmak, dönüş yapacak taşıtların hareketini kolaylaştırmak ve yaya güvenliğini arttırabilmek için oldukça iyi bir seçenektir. Kanallama yapılırken; çatışma noktalarının sayısı, yolu kullanan taşıtların özellikleri, yol geometrik özellikleri, sürücü davranışı, trafik hacmi ve taşıt kompozisyonu gibi faktörler tasarım esnasında göz önünde bulundurulmalıdır. Fazlasıyla kanallama yapılmış tasarımlardan ziyade daha basit ve anlaşılabilir tasarımlar oldukça önemlidir. Basit tasarım; inşası daha kolay, trafikteki değişikliklere daha uyumlu ve sürücüler tarafından daha anlaşılabilir tasarımlardır.

İyi bir tasarım, sürücüye ani durumlarda karar verebilmesi için ihtiyaç duyduğu zamanı ve hızını değiştirebileceği mesafeyi sağlamalıdır. Kavşaklarda ‘Dur’ veya ‘Yol Ver’ levhaları ve trafik ışıkları gibi trafik kontrol elemanları, çatışan akımları birbirinden ayırdığı için çatışmaların çözümlenebilmesi bakımından oldukça önemlidir. Ancak bu levhaların uygun yerlerde kullanılmaması, taşıtları ani hız değişikliğine ve frenlemeye mecbur bırakabilir. Bu nedenle çatışmaların azaltılabilmesi için trafik kontrol elemanları, kavşak geometrisi ve kanallamanın uyumlu olması gerekmektedir.

1.3.1. Kavşakların Sınıflandırılması

Kavşaklar, yaklaşım kollarının kesiştikleri düzlemin durumuna göre Şekil 1.5’te gösterildiği üzere iki ana gruba ayrılmaktadır:

- 1) Eşdüzey (Hemzemin) kavşaklar
- 2) Farklı düzey (Katlı, köprülü) kavşaklar



Şekil 1.5. Kavşak çeşitleri

Farklı düzey kavşaklar, trafik sıkışıklığının fazla olduğu alanlarda uygulanır. Bu kavşakların yapım maliyeti yüksek, alan gereksinimleri fazladır. Buna karşın farklı düzey kavşaklarda kaza olasılığı ve ortalama taşıt gecikmeleri oldukça düşüktür.

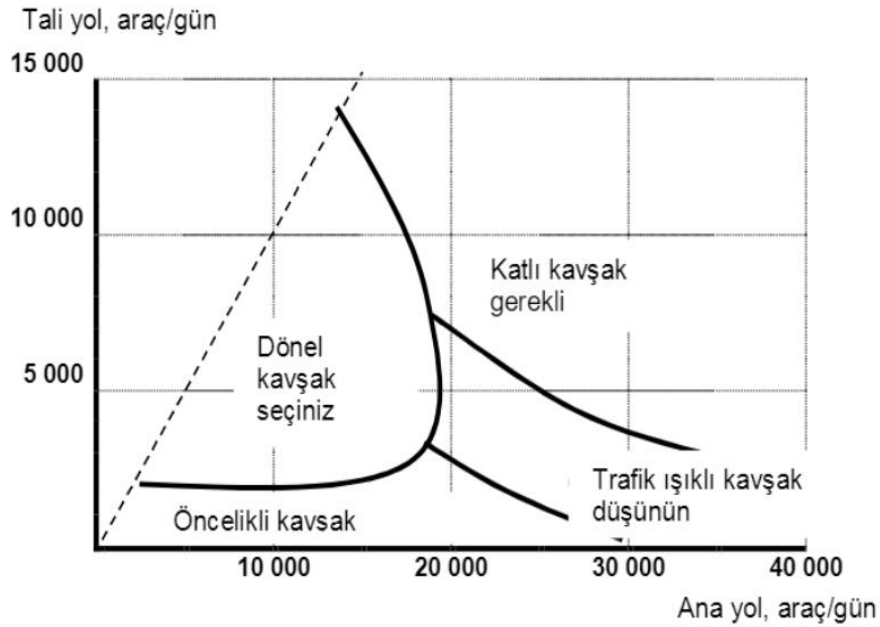
Eşdüzey kavşaklar ise trafik akımlarının aynı düzlemde kesiştiği ve trafik hacminin farklı düzey kavşaklara göre daha düşük olduğu alanlarda uygulanmaktadır. Bu tip kavşaklarda taşıt gecikmeleri ve kuyruklanmalar daha fazladır. Ancak yapım maliyeti daha düşük olduğu için özellikle şehir içi yol ağlarında daha sık tercih edilmektedir. Eşdüzey kavşaklarda artan trafiğin etkisiyle kaza riski de artmaktadır. Bu noktada kapasite ve güvenlik açısından en etkin kullanılabilecek kavşak tipinin belirlenmesi önemlidir. Eşdüzey kavşaklar denetim şekillerine göre denetimli ve denetimsiz olarak ikiye ayrılır.

Eşdüzey denetimsiz kavşaklar, trafik hacminin oldukça az olduğu alanlarda uygulanmaktadır. Bu kavşaklarda taşıt hareketleri yatay ve düşey işaretlemeler ile yönlendirilmekte, trafik ışıkları bulunmamaktadır. Kavşağa bağlanan yol geometrisi ve kollaraki akım büyüklüklerine göre anayollar, yan yollar belirlenmektedir. Yan yola ‘Dur’ veya ‘Yol Ver’ levhaları yerleştirilir. Anayolun geçiş önceliği vardır. Trafik hacminin artmasıyla birlikte kavşak daha karmaşık bir hal alıp güvenlik açısından yetersiz kalabilmektedir. Bu durumda kavşak, dönel kavşak ve denetimli kavşak olarak yeniden düzenlenebilir.

Eşdüzey denetimli kavşaklar, taşıt hareketlerinin trafik ışıkları ile yönlendirildiği kavşaklardır. Trafik ışıkları kavşaktaki taşıt ve yaya hareketlerini düzenler, meydana gelebilecek kaza olasılığını azaltır. Bu nedenle yol kullanıcılarının kavşağı en güvenli ve en etkin şekilde kullanabilmeleri için uygulanır. Buna karşın trafik ışıklarının bulunması

gecikme sürelerinde artışa sebep olup trafik sıkışıklığına yol açabilir. Denetimli kavşaklarda devre süresi ve faz planının en uygun şekilde belirlenmesi gerekir. Sinyal süreleri; trafik hacmi, taşıt kompozisyonu, sola dönüş oranı ve kavşak geometrik yapısı göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. Aksi halde yaklaşım kollarında aşırı gecikmeler ve kuyruk uzunlukları oluşmakta kavşak performansı düşmektedir.

Kavşak tasarımında en önemli adımlardan bir diğeri ise kavşak tipinin seçimidir. Şekil 1.6 ile ana yol ve tali yoldaki günlük araç sayısına bağlı olarak tercih edilmesi gereken kavşak tipleri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, kavşak yapılması planlanan bir alanda tasarım önceliğimiz eşdüzey denetimsiz kavşaklardan yana olmalıdır. Trafik hacminin daha fazla olduğu ve uygulanması için gerekli koşulların sağlandığı durumda tasarlamayı düşündüğümüz ikinci kavşak tipi dönel kavşaklar olmalıdır. Yaklaşım kollarındaki akım büyüklüklerinin birbirinden oldukça farklı olduğu ve trafik hacminin arttığı durumlarda dönel kavşak tasarımı da göz ardı edilerek sinyalize kavşak tasarımı düşünülmelidir. Sinyalize kavşakların da yeterli olmadığı ve trafik problemlerini gideremediği durumlarda farklı düzey kavşak tasarımı düşünülebilir.



Şekil 1.6. Günlük taşıt sayısına göre kavşak tipi seçimi (Sweroad, 2000).

Her kavşak tipinin kendine özgü kullanım amacı vardır. Dönel kavşaklar güvenlik açısından oldukça iyi sonuçlar verirken trafik hacminin artması ve kollardaki akım

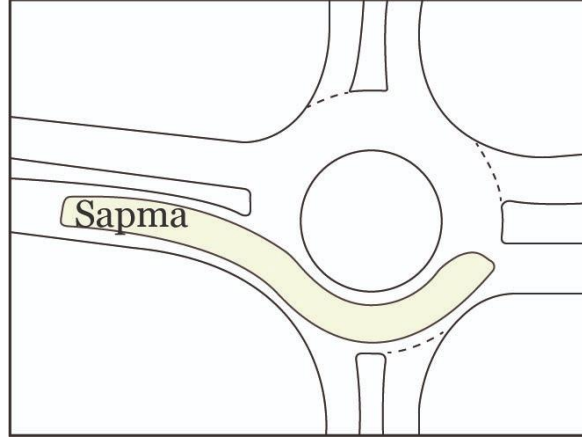
büyükliklerinin farklılaşmasıyla birlikte yetersiz kalabilmektedir. Farklı düzey kavşaklar, performans açısından iyi olmasına rağmen ilk yatırım maliyetinin yüksek ve alan gereksinimlerinin fazla olması sebebiyle uygun olmayabilir. Bu noktada önemli olan, kavşağı kullanacak olan yol kullanıcılarına ait verilerin iyi analiz edildikten sonra kavşak tipine karar verilmesidir. Önceliğin her daim güvenlik olması şartıyla kavşak kapasitenin ve performansının en iyi durumda olması istenir.

1.4. Dönel Kavşakların Tasarım Esasları

Dönel kavşaklar, taşıtların merkezi bir ada etrafında yönlendirildiği ve yaklaşım kollarındaki taşıtların ada etrafındaki taşıtlara öncelik vermesi prensibine göre işleyen, herhangi bir sinyalizasyon sisteminin kullanılmadığı kavşaklardır. Dönel kavşaklar 1960’larda İngiltere’de geliştirilmiştir (FHWA, 2000). Bu kavşakların işletme ve tasarımı iki temel prensibe dayanır;

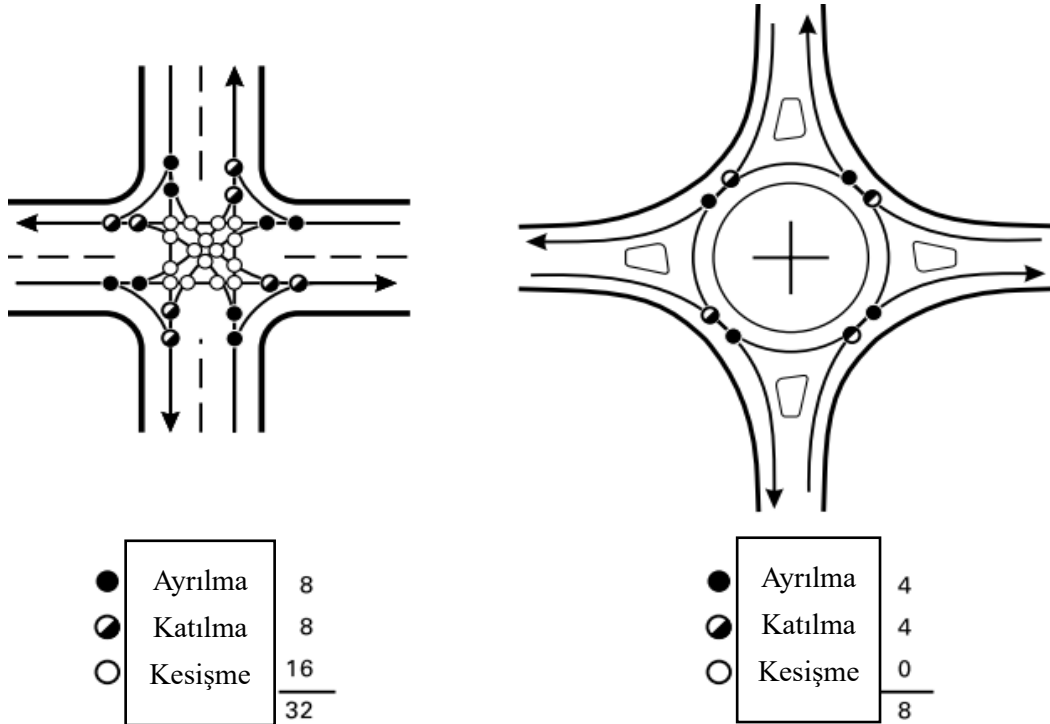
- Yaklaşım kollarındaki tüm taşıtlar merkezi ada etrafındaki taşıtlara yol vermelidir.
- Hareketine düz devam etmek isteyen taşıtların kavşağı doğrusal bir hat ile geçmesine izin verilmemelidir. Merkezi adanın geometrik avantajı kullanılarak uygun dairesel yörüngeler oluşturulmalı ve taşıtlar, hızlarını düşürmeye mecbur bırakılmalıdır.

Dönel kavşaklarda taşıtların, Şekil 1.7’de gösterilen sapma hareketi ile, kavşak giriş çıkışlarında ve ada içerisinde daha düşük hızlarla hareket etmeleri sağlanarak güvenlik önemli ölçüde arttırılmaktadır. Dönel kavşaklara giriş çıkışlarda ve kavşak içerisinde, taşıtlara durma veya park yasaklarının uygulanması da güvenliği arttıran diğer bir husustur.



Şekil 1.7. Taşıt güzergahlarındaki sapma hareketi (Sweroad, 2000).

Dönel kavşakları güvenlik açısından öne çıkaran en önemli özelliklerinden bir diğeri de çatışma noktaları sayısının daha az olmasıdır. Şekil 1.8’de, giriş ve çıkışında tek şerit bulunan dört kollu eşdüzey denetimsiz bir kavşak ile tek şeritli dönel kavşakta meydana gelen çatışma noktaları gösterilmiştir. Eşdüzey denetimsiz kavşakta 8’i ayrılma, 8’i katılma ve 16’sı kesişme olmak üzere toplam 32 çatışma noktası bulunmaktadır. Dönel kavşaklarda 4’ü ayrılma ve 4’ü katılma olmak üzere toplam 8 çatışma noktası bulunmaktadır.



Şekil 1.8. Eşdüzey denetimsiz kavşaklarda ve dönel kavşaklarda çatışma noktaları (FHWA, 2000).

Dönel kavşaklarda yaklaşım kollarındaki taşıtlar kavşak içerisinde dönüş yapan diğer taşıtlara yol vermek zorundadır. Sağa dönecek olan taşıtlar kavşağa sağ şeritten yaklaşmalı, kavşak içerisinde sağda kalıp kavşağı sağdan terk etmelidir. Düz gidecek olan taşıtlar kavşağa sağ şeritten yaklaşmalı, kavşak içerisinde hareketine bu şeritte devam etmelidir. Sola dönecek olan taşıtlar ise kavşağa sol şeritten yaklaşmalı, sola dönüş sinyali vermeli ve çıkış yapacağı koldan bir önceki kolu geçince sağa dönüş sinyalini verip kavşaktan çıkmalıdır (Sweroad, 2000).

Dönel kavşaklarda dikkat edilmesi gereken diğer özellikler şu şekildedir:

- Sirkülasyon alanı içerisinde durmaya ya da park etmeye izin verilmez.
- Merkezi ada üzerinde yaya hareketlerine izin verilmez.
- Ayırıcı adalar kullanılarak trafik yönlendirilir.

Dönel kavşakların diğer kavşaklara göre tercih edilmesinin sebepleri;

- Çatışma noktaları sayısının az olması,
- Kavşağın geometrik yapısı ile taşıt hızları azaltılarak taşıt-taşı ve yaya-taşı arasında gerçekleşen kaza sayısının ve şiddetinin daha az olması,
- Trafik ışıkları kullanılmadığından sürücülerin kendileri için güvenli olduğunu düşündüğü zaman aralığında kavşağa girip hareketine devam etmesi, kırmızı ve sarı ışıktan kaynaklanan zaman kaybının yaşanmaması,
- Dur kalk sayısının azalması ve buna bağlı olarak emisyon salımının azalması,
- Yapım, bakım ve işletim masraflarının az olması olarak gösterilebilir.

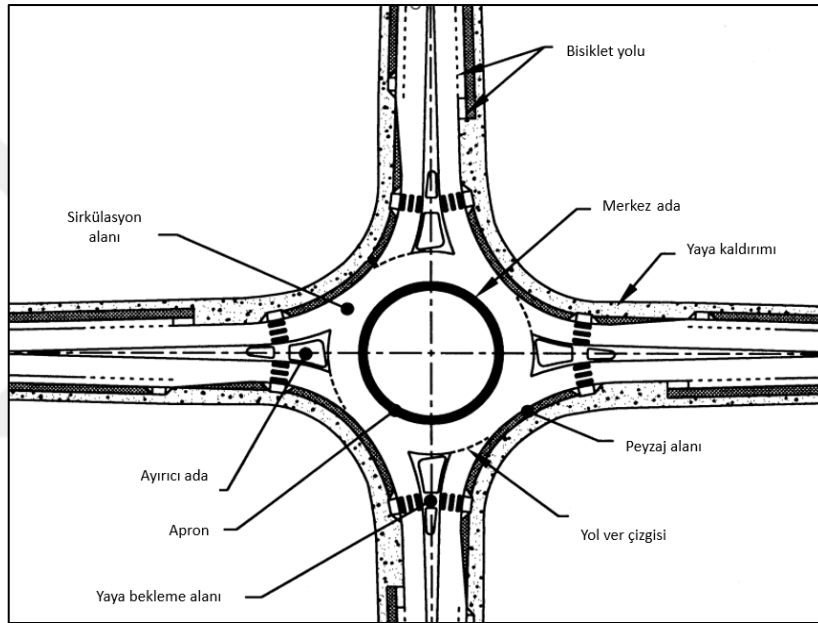
1.4.1. Dönel Kavşakların Geometrik Yapısı

Dönel kavşaklar, sürücülerin ada içerisindeki sürücülerle ya da adaya girecek olan diğer sürücülerle yaklaşık aynı hızda hareket etmelerini sağlayacak bir geometri sunar. Bu kavşakların tasarımında güvenlik, işletim performansı ve kavşağı kullanan en büyük taşıta hizmet edebilme gibi hususlar göz önünde bulundurulmalıdır. Dönel kavşakların iyi tasarlanması hem kavşak performansını hem de kavşak güvenliğini önemli ölçüde artırmaktadır.

Dönel kavşaklar geometrik olarak detaylandırılmadan önce belirlenmesi gereken 3 önemli husus söz konusudur (Çelikoğlu, 2023).

- 1) Uygun ada büyüklüğü
- 2) Uygun konum
- 3) Yaklaşım kollarının uygun düzenlenmesi

Yukarıda belirtilen hususlar tespit edildikten sonra geometrik elemanlar detaylı bir şekilde tasarlanmalıdır. Dönel kavşağa ait temel elemanlar Şekil 1.9 ile verilmiştir.

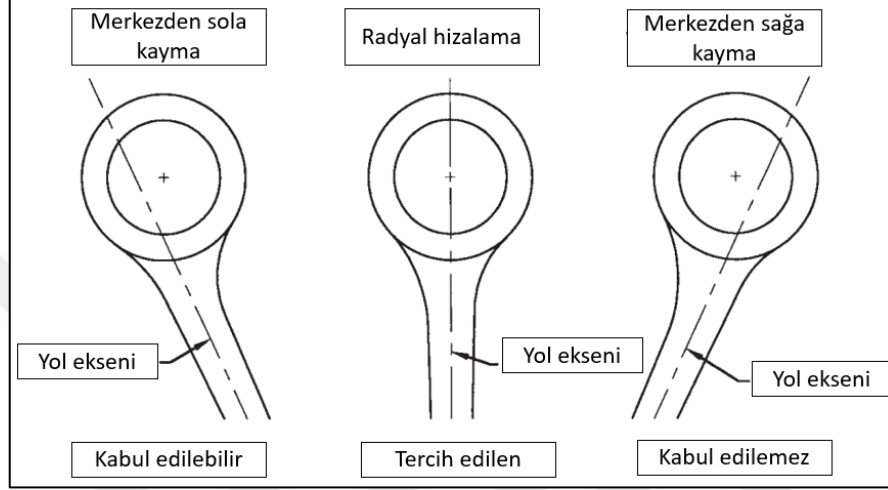


Şekil 1.9. Dönel kavşakların temel elemanları (Çelikoğlu, 2023; FHWA, 2000).

Dönel kavşakların en büyük avantajı, geometrik yapıları itibarıyla taşıtların doğrusal ya da doğrusala yakın bir hat ile geçiş yapmalarını engelleyerek hızlarını azaltmaya zorlanmasıdır. Bu noktada orta ada merkezinin ve yaklaşım kollarına ait yol eksen uzantılarının birbirlerine göre konumları oldukça önemlidir.

Şekil 1.10 ile verilen görselde, yol eksen uzantılarının ve orta ada merkezinin birbirlerine göre 3 farklı durumu gösterilmektedir. Ortadaki görselde, yol eksen uzantısı ve orta ada merkezinin kesiştiği tasarım verilmiştir. Bu tasarım, yaklaşım kolundan adaya girecek olan taşıtın en uygun sapma hareketi yapmasını sağladığı için tercih edilen tasarım olarak nitelendirilmiştir. Soldaki görselde, yol eksen uzantısının orta adanın merkezinden

sola kaydığı tasarım gösterilmiştir. Bu tasarım, sapma hareketi için gerekli olan güzergâhı sağlayabildiğinden kabul edilebilir olarak nitelendirilmiştir. Yol eksenini uzantısının orta ada merkezinden sağa kaydığı tasarım sağdaki görselde verilmiştir. Bu tasarımda taşıtlar, yörüngelerinde neredeyse hiçbir değişiklik yapmadan ve istenilen hız tutarlılığını sağlayamadan kavşağı kullanacakları için kabul edilmeyen tasarım olarak nitelendirilir.



Şekil 1.10. Yaklaşım kollarının hizalanması (Çelikoğlu, 2023).

Bir dönel kavşağın konumlandırılmasında dikkat edilmesi gereken önemli faktörlerden diğeri ise kavşağı kullanacak olan en büyük taşıtın belirlenmesidir. Kavşak tasarımının en büyük boyutlu taşıtın dönüş güzergahına göre yapılması gerekmektedir. Büyük boyutlu taşıtların dönüşünü kolaylaştırmak için merkezi ada etrafında apron kullanılabilir.

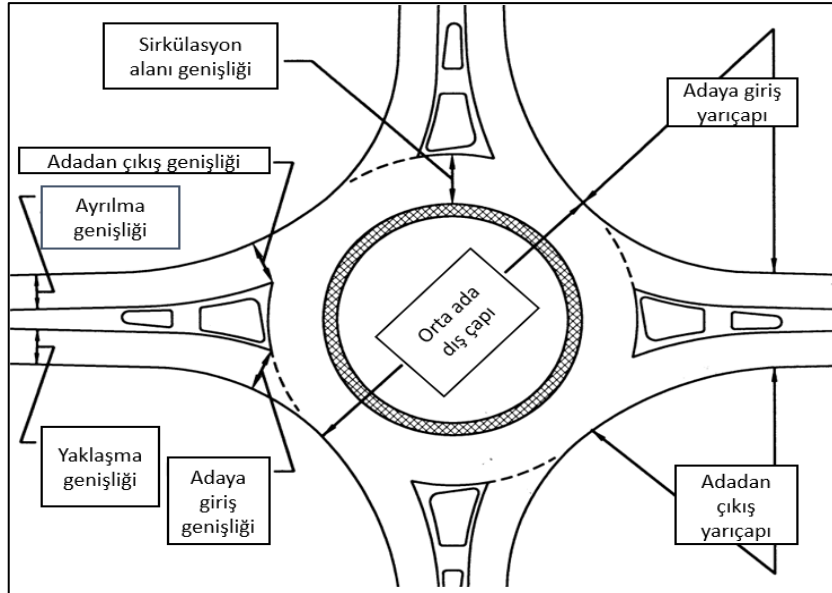
Dönel kavşaklarda taşıtlar arasındaki göreceli hız düşürülmeli ve yol kullanıcıları için en güvenli olan tasarım hızının belirlenmesi gerekmektedir. Farklı kategorilerdeki dönel kavşaklar için tavsiye edilen maksimum giriş hızları Tablo 1.1 ile verilmiştir.

Tablo 1.1. Farklı tip dönel kavşaklar için tavsiye edilen tasarım giriş hızları (FHWA, 2000).

Dönel Kavşak Tipi	Tavsiye edilen maksimum tasarım giriş hızı (km/sa)
Mini Dönel Kavşak	25
Kentsel Kompakt	25
Kentsel Tek Şeritli	35
Kentsel Çift Şeritli	40
Kırsal Tek Şeritli	40
Kırsal Çift Şeritli	50

1.4.1.1. Geometrik Elemanlar

Dönel kavşak tasarımında beklenen güvenlik ve kapasitenin elde edilebilmesi için geometrik elemanlarının büyük bir titizlikle tasarlanması gerekmektedir. İyi tasarlanmış bir dönel kavşakta, en uygun dönüş eğrileri oluşturulmalı ve sürücüler iyi bir şekilde yönlendirilmelidir. Şekil 1.11 ile dönel kavşakların tasarımında dikkat edilmesi gereken geometrik elemanlar verilmiştir.



Şekil 1.11. Dönel kavşak geometrik elemanları (Çelikoğlu, 2023; FHWA, 2000).

Orta Ada Dış Çapı

Orta ada, dönel kavşağın merkezinde yer alan ve kavşak içerisindeki taşıt hızlarının sabit kalmasını sağlayan kısımdır. Taşıtlara uygun sapma hareketinin yaptırılması ve hızlarının düşürülmesi için orta ada boyutları oldukça önemlidir. Orta ada dış çapı, sirkülasyon alanı genişliğinin iki katı ile merkezi ada çapının toplamına eşittir. Çap seçilirken tasarım aracının dönüş hareketleri göz önünde bulundurulmalı ve gerekli dönüş eğrisi sağlanmalıdır. Orta ada dış çapı ve sirkülasyon yolu genişlikleri hesaplandıktan sonra yerleşim planındaki en hızlı taşıt güzergahı çizilmeli, merkezi adanın yeterli büyüklükte olup olmadığı kontrol edilmelidir. En hızlı güzergaha ait taşıt hızının tasarım hızını aştığı durumda orta ada dış çapı arttırılabilir (FHWA, 2000).

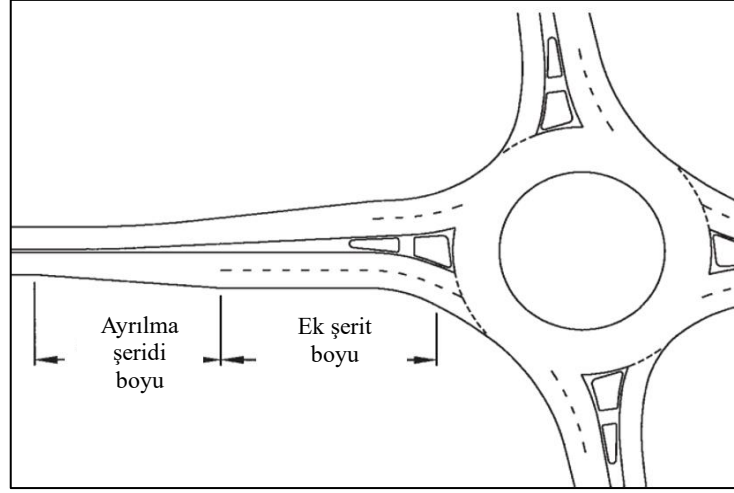
Giriş Genişliği

Yaklaşım kolundaki şerit sayısı ve bu şeritlerin toplam genişliği dönel kavşakların kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tasarım aracının büyüklüğüne göre giriş genişlikleri daha büyük tasarlanabilir. Giriş genişliklerinin büyük tasarlanması, giriş kapasitesini arttırırken güvenliği olumsuz etkilemektedir. Giriş genişliği ve sirkülasyon alanı genişliğinin büyük olması kaza olasılığını arttırır. Dolayısıyla kapasite ve güvenlik durumları birlikte dikkate alınarak en uygun giriş genişliği belirlenmelidir.

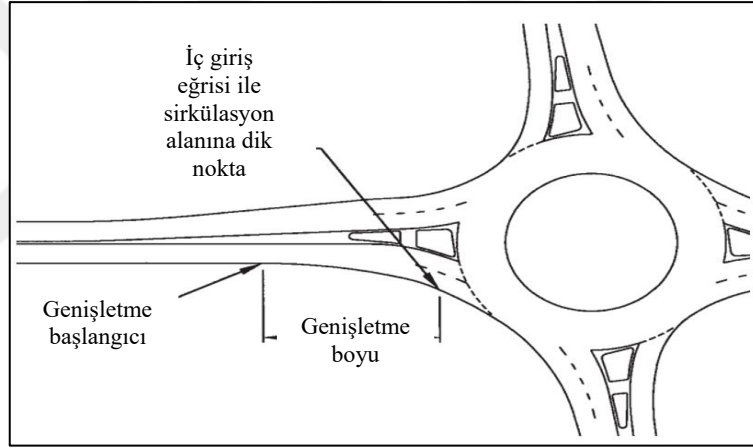
Dönel kavşaklarda hem kapasiteyi hem de güvenliği arttırmak için giriş genişlikleri azaltılıp genişletme boyları uzatılmalıdır. Genişletme boyları genellikle şehir içinde en az 25 m, kırsal kesimlerde en az 40 m olmalıdır (FHWA, 2000).

Dönel kavşaklarda kapasiteyi arttırmak için (Çelikoğlu, 2023);

- Girişe ek bir şerit eklenebilir (Şekil 1.12).
- Girişteki katılım genişliği arttırılabilir (Şekil 1.13).



Şekil 1.12. Şerit eklenmesi (Çelikoğlu, 2023; FHWA, 2000).



Şekil 1.13. Giriş katılımının genişletilmesi (Çelikoğlu, 2023; FHWA, 2000).

Sirkülasyon Şeridi Genişliği

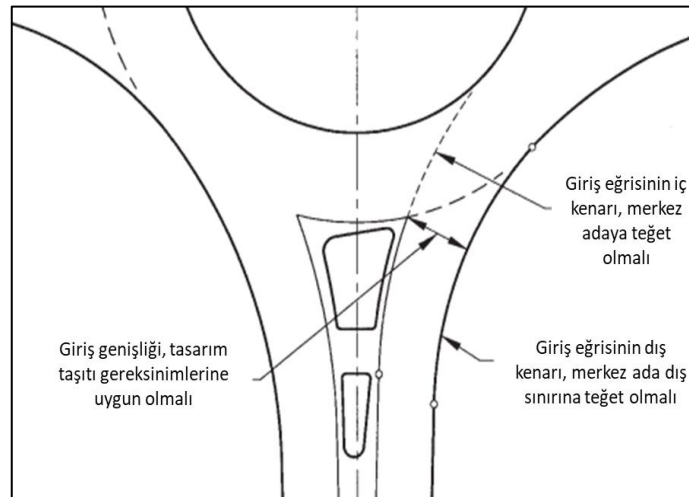
Sirkülasyon şeridi genişliği, giriş genişliğine ve tasarım aracının dönüş hareketine bağlıdır. En küçük sirkülasyon şeridi genişliği, en büyük giriş genişliği kadar olmalıdır. Ayrıca en büyük giriş genişliğinin %120'sine kadar çıkarılabilir. Sirkülasyon şeridi genişliği merkezi ada etrafında sabit kalmalıdır (FHWA, 2000). Tablo 1.2 ile iki şeritli dönel kavşaklar için önerilen sirkülasyon şeridi genişlikleri verilmiştir.

Tablo 1.2. İki şeritli dönel kavşaklar için sirkülasyon şeridi genişliği (FHWA, 2000).

Orta ada dış çapı (m)	Minimum sirkülasyon şeridi genişliği (m)	Merkez ada çapı (m)
45	9.8	25.4
50	9.3	31.4
55	9.1	36.8
60	9.1	41.8
65	8.7	47.6
70	8.7	52.6

Giriş Eğrileri

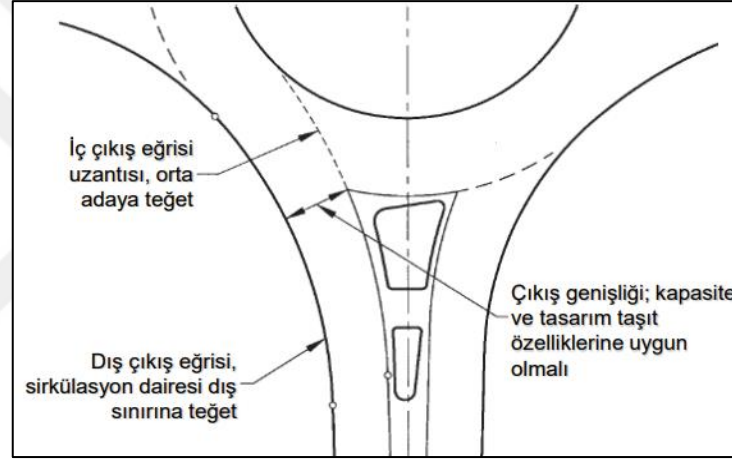
Giriş eğrisi yarıçapı, kapasite ve güvenlik açısından etkili olup dönel kavşak performansını etkileyen unsurlardandır. Giriş eğrisi yarıçaplarının büyük tasarlanması, yüksek giriş hızlarına ve kaza artışına sebep olmaktadır. Giriş eğrisi için bir yarıçap belirlerken en önemli kriter, hız tutarlılığını yakalamaktır. Giriş yarıçapı öncelikle, en hızlı taşıt güzergahına uygun bir tasarım hızı sağlamalı, akabinde giriş yörüngesi yarıçapının dönüş yörüngesi yarıçapından küçük ya da eşit olmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır (FHWA, 2000). Giriş eğrisinin iç kenarı merkezi adaya, dış kenarı ise sirkülasyon şeridinin dış kenarına teğet olmalıdır. Şekil 1.14 ile tek şeritli dönel kavşağa ait giriş geometrisi gösterilmektedir.



Şekil 1.14. Tek şeritli dönel kavşakta giriş tasarımı (Çelikoğlu, 2023; FHWA, 2000).

Çıkış Eğrileri

Kavşak çıkışlarındaki trafik sıkışıklığını önlemek için çıkış eğrisi yarıçapı giriş eğrisi yarıçapından büyük olmalıdır. Çıkış eğrisi yarıçapı, taşıtların çıkış geometrisini kolayca algılayıp herhangi bir kazaya sebep olmamaları için çıkış yörüngesi yarıçapının dönüş yörüngesi yarıçapından küçük olmamasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Aynı zamanda kavşak çıkışlarında bulunan yaya geçitleri için tehlike oluşturmaması bakımından fazla büyük tasarlanmamalıdır (FHWA, 2000). Çıkış eğrisinin dış kenarı sirkülasyon yolu dış kenarına, çıkış eğrisinin iç kenarı ise merkezi adaya teğet olmalıdır. Şekil 1.15 ile tek şeritli bir dönel kavşağa ait çıkış geometrisi gösterilmektedir.



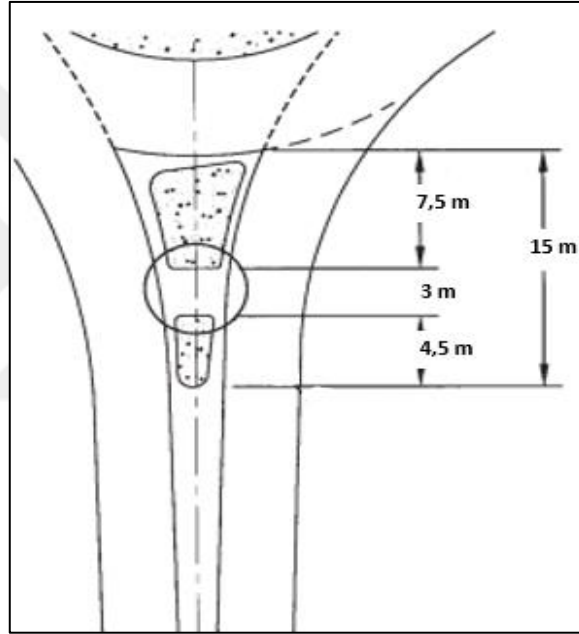
Şekil 1.15. Tek şeritli dönel kavşak çıkış tasarımı (Çelikoğlu, 2023; FHWA, 2000).

Yaya Geçitleri

Yaya geçitleri, yayaların güvenliği ve kavşak performansı göz önüne alınarak tasarlanmalıdır. Yaya geçitlerinin boyu olabildiğince kısa tutulmalı ve yol ver çizgisine çok uzak ya da çok yakın olmamalıdır. Yaya geçitleri, ayırıcı adayı kesmeli ve yaya bekleme alanları ayırıcı ada içerisinde bulunmalıdır. Özellikle kavşak çıkışlarında bulunan yaya geçitlerinin kavşak performansı üzerinde etkisi fazladır. Çıkışlardaki yaya geçitlerinin, sirkülasyon şeridi dış sınırına en az bir taşıt uzunluğu mesafede olması istenir (FHWA, 2000).

Ayırıcı Adalar

Ayırıcı adalar; yayalar, bisikletliler, tekerlekli sandalye kullanan yol kullanıcıları için ulaşım kolaylığı ve güvenliği sağlamakla birlikte kavşağa giren ve kavşaktan çıkan trafiği fiziksel olarak birbirinden ayırmaktadır. Böylece taşıtlar, belirli doğrultulara yönlendirilerek kaza riski azaltılır. Ayırıcı adaların daha geniş yapılması, kavşağa giren ve kavşaktan çıkan taşıtların daha iyi yönlendirilmesini sağlar. Ayırıcı ada uzunluğu en az 15.0 metre olmalıdır (KGM, 2005). Şekil 1.16’da tek şeritli dönel kavşağa ait ayırıcı ada tasarımı için en küçük boyutlar gösterilmiştir.



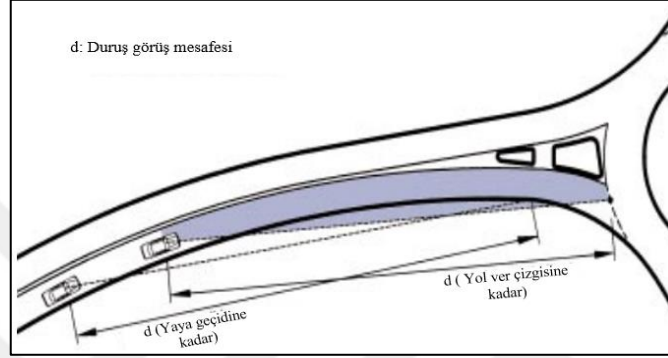
Şekil 1.16. En küçük ayırıcı ada boyutları (FHWA, 2000)

Görüş Uzunlukları

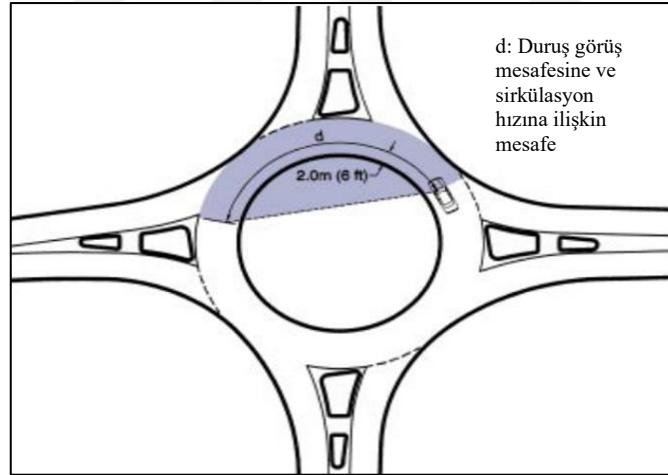
Duruş görüş uzunluğu, sürücünün herhangi bir nesneyi ya da kişiyi algılayıp reaksiyon gösterebilmesi ve nesneye yaklaşmadan önce frenleyip tamamen durabileceği mesafeyi sunan görüş mesafesidir. Duruş görüş mesafesi, kavşak içerisindeki her noktada, girişlerde ve çıkışlarda sağlanmalıdır. Kavşağa giren taşıtın, kendinden önceki yaklaşım kolunda bulunan taşıtları ve sirkülasyon alanı içerisindeki taşıtları görmesi sağlanmalıdır.

Dönel kavşaklarda en az aşağıdaki üç görüş mesafesi dikkate alınmalıdır (FHWA, 2000):

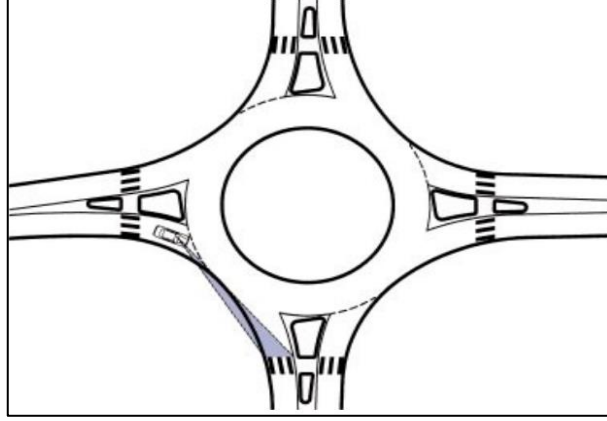
- Yaklaşım kollarındaki görüş mesafesi (Şekil 1.17)
- Sirkülasyon alanındaki görüş mesafesi (Şekil 1.18)
- Çıkışlardaki yaya geçitlerine olan görüş mesafesi (Şekil 1.19)



Şekil 1.17. Yaklaşım kollarındaki görüş mesafesi (FHWA, 2000).



Şekil 1.18. Sirkülasyon alanındaki görüş mesafesi (FHWA, 2000).



Şekil 1.19. Çıkışlardaki Yaya Geçitlerini Görüş Mesafesi (FHWA, 2000).

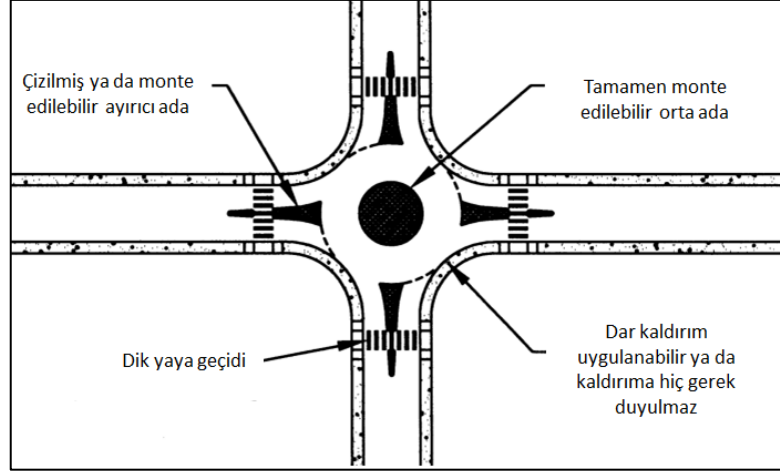
1.4.2. Dönel Kavşakların Sınıflandırılması

Dönel kavşaklar çevresel koşullara, kullanım amacına ve büyüklüklerine göre;

- Mini dönel kavşaklar,
- Kentsel kompakt dönel kavşaklar,
- Kentsel tek şeritli dönel kavşaklar,
- Kentsel çift şeritli dönel kavşaklar,
- Kırsal tek şeritli dönel kavşaklar,
- Kırsal çift şeritli dönel kavşaklar olarak sınıflandırılmaktadır.

1.4.2.1. Mini Dönel Kavşaklar

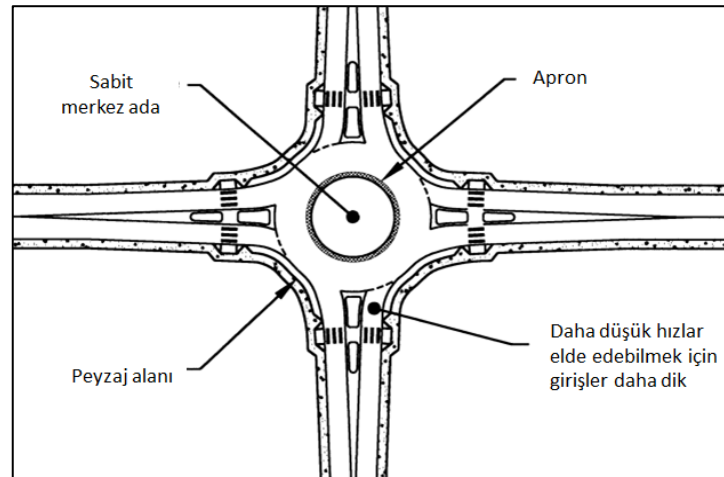
Mini dönel kavşaklar, ortalama işletim hızının 60 km/sa veya daha az olduğu küçük dönel kavşaklardır. Şekil 1.20’de tipik bir mini dönel kavşak tasarımı verilmektedir. Bu kavşaklar, düşük hızların gözlendiği şehir içi bölgelerde uygulanmaktadır. Yüksek maliyetli değildir. Yaya geçidi uzunluklarının kısa olması ve giriş çıkışlarda taşıtların çok düşük hızlarla hareket etmesi sebebiyle yaya güvenliği bakımından oldukça güvenilirdir. Kentsel kompakt dönel kavşakların uygulanamadıkları yerlerde kullanılır (FHWA, 2000).



Şekil 1.20. Mini dönel kavşak tasarımı (Çelikoğlu, 2023; FHWA, 2000).

1.4.2.2. Kentsel Kompakt Dönel Kavşaklar

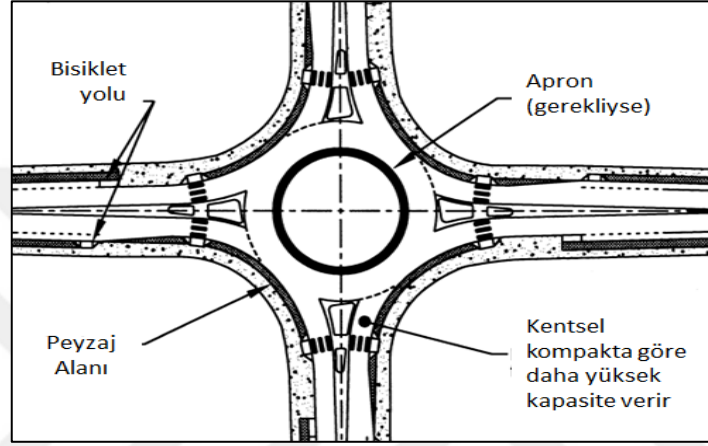
Bu kavşakların temel amacı, yayaların kavşağı daha güvenli kullanabilmelerini sağlamaktır. Şekil 1.21’de görüldüğü üzere, kavşak giriş ve çıkışları daha dik olduğu için taşıt hızları daha düşüktür. Dolayısıyla yayalar ve bisikletliler için daha güvenlidir. Merkezi ada sabittir. Ayırıcı adalar içerisinde hemzemin yaya geçitleri olmalıdır. Büyük taşıtların dönüşünü kolaylaştırmak için apron kullanılır. Kentsel kompakt dönel kavşaklarda tüm kollardaki girişler tek şerittir (FHWA, 2000).



Şekil 1.21. Kentsel kompakt dönel kavşak tasarımı (Çelikoğlu, 2023; FHWA, 2000).

1.4.2.3. Kentsel Tek Şeritli Dönel Kavşaklar

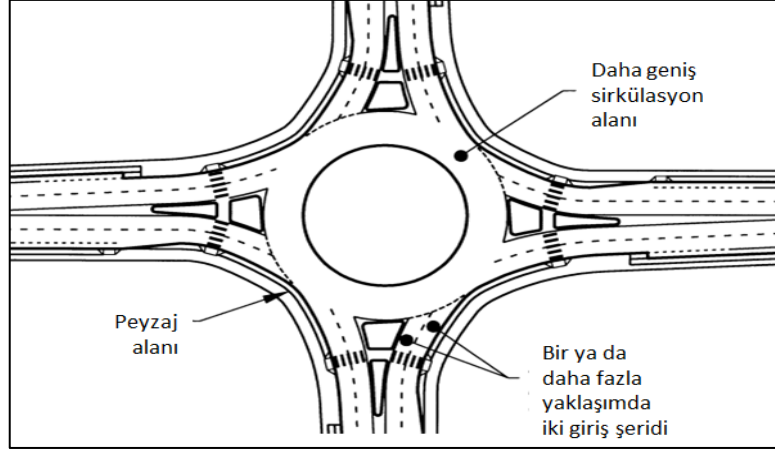
Bu tip dönel kavşaklarda tek giriş şeridi ve tek sirkülasyon şeridi bulunur. Şekil 1.22’de görüldüğü üzere, ada dış sınır çapı daha büyük ve giriş çıkışlar daha yumuşak olduğu için kapasiteleri kompakt dönel kavşaklara göre daha yüksektir. Giriş, çıkış ve dönüşlerde daha yüksek hızlara olanak sağlar (FHWA, 2000).



Şekil 1.22. Kentsel tek şeritli dönel kavşak tasarımı (Çelikoğlu, 2023; FHWA, 2000).

1.4.2.4. Kentsel Çift Şeritli Dönel Kavşaklar

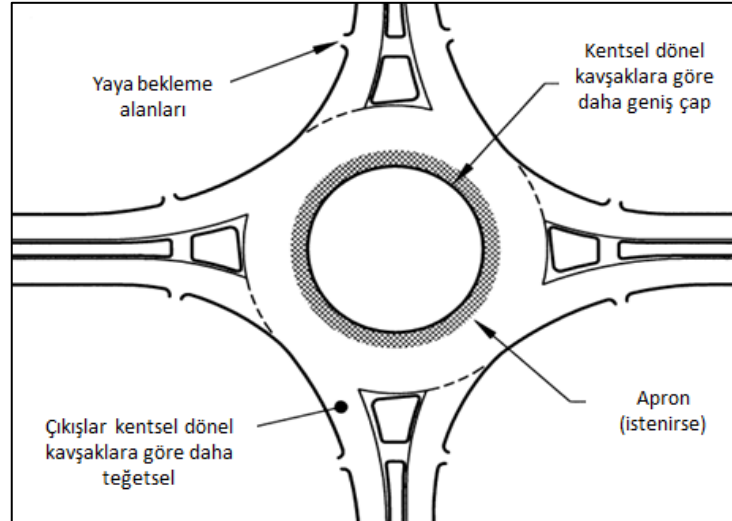
Kentsel çift şeritli dönel kavşaklar, kent içinde yer alan ve en az bir yaklaşım kolundaki girişinde iki şeridi bulunan kavşaklardır. Girişlerinde bir şeritten iki şeride genişleyen yaklaşıma sahip olan kavşaklar da kentsel çift şeritli dönel kavşak olarak nitelendirilmektedir. Sirkülasyon alanı, yan yana iki taşıtın geçebileceği genişlikte olmalıdır. Ayrıca giriş, çıkış ve sirkülasyon alanındaki hızlar benzer olmalı ve hız tutarlılığı kavşak boyunca sağlanmalıdır. Merkezi ada sabittir ve kavşak kollarında yükseltilmiş ayırıcı adalar bulunur. Şekil 1.23 ile kentsel çift şeritli dönel kavşak tasarımı verilmektedir (FHWA, 2000).



Şekil 1.23. Kentsel çift şeritli dönel kavşak tasarımı (Çelikoğlu, 2023; FHWA, 2000).

1.4.2.5. Kırsal Tek Şeritli Dönel Kavşaklar

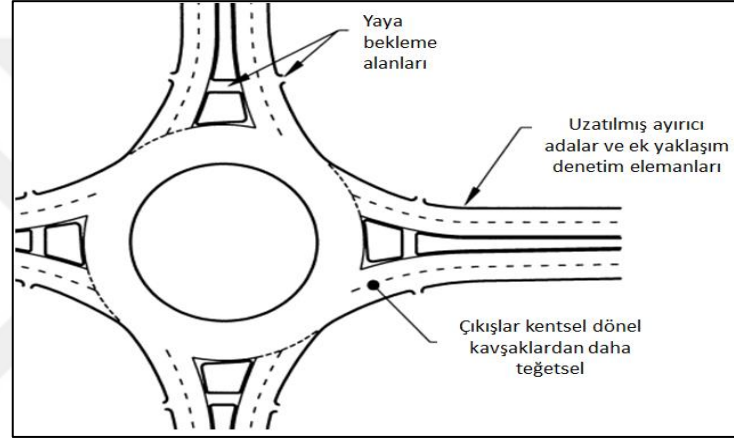
Kırsal tek şeritli dönel kavşaklarda yaklaşım hızı 80-100 km/saat aralığındadır. Kırsal dönel kavşaklar, yüksek hızlı taşıtlara hizmet ettikleri için kentsel dönel kavşaklara göre daha geniş ada çapına sahiptirler. Ada çapı, büyük taşıtların hareketi için yeterli büyüklükte olduğundan apron kullanımına gerek yoktur. Şekil 1.24'te tek şeritli kırsal dönel kavşak tasarımı verilmektedir (FHWA, 2000).



Şekil 1.24. Kırsal tek şeritli dönel kavşak tasarımı (Çelikoğlu, 2023; FHWA, 2000).

1.4.2.6. Kırsal Çift Şeritli Dönel Kavşaklar

Kırsal çift şeritli dönel kavşaklarda yaklaşım hızları, kırsal tek şeritli dönel kavşaklarda olduğu gibi 80-100 km/saat arasındadır. Şekil 1.25 ile görüldüğü üzere, en az bir yaklaşım girişinin ya iki şeritli olması ya da bir şeritten iki şeride genişletilmiş olması gerekmektedir. Yapısı itibariyle kentsel çift şeritli dönel kavşaklara benzemektedir. Giriş hızları yüksek ve ada çapları daha geniştir. Yaklaşım kollarındaki hızların düşürülmesi için özel olarak düzenlenmelidir (FHWA, 2000).



Şekil 1.25. Kırsal çift şeritli dönel kavşak tasarımı (Çelikoğlu, 2023; FHWA, 2000).

Farklı tip dönel kavşakların tasarım elemanlarına ait özellikler Tablo 1.3. ile verilmiştir.

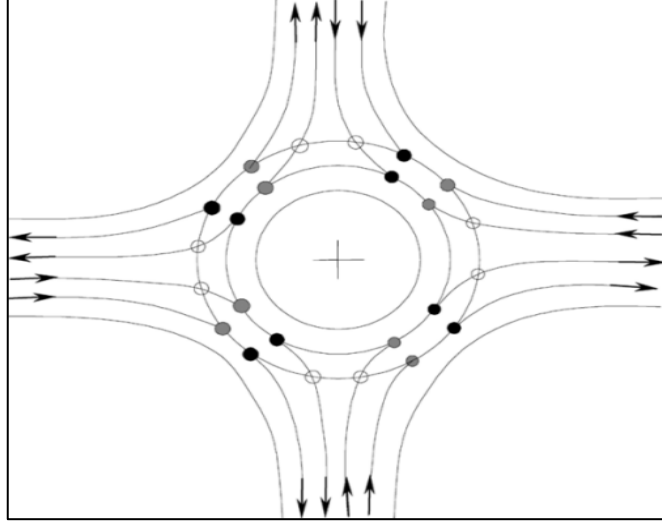
Tablo 1.3. Dönel kavşakların tasarım elemanlarına göre karşılaştırılması (FHWA, 2000).

Tasarım Elemanı	Mini Dönel Kavşak	Kentsel Kompakt Dönel Kavşak	Kentsel Tek Şeritli Dönel Kavşak	Kentsel Çift Şeritli Dönel Kavşak	Kırsal Tek Şeritli Dönel Kavşak	Kırsal Çift Şeritli Dönel Kavşak
Tavsiye edilen en büyük giriş hızı	25 km/saat	25 km/saat	35 km/saat	40 km/saat	40 km/saat	50 km/saat
Yaklaşım başına en büyük giriş şeridi sayısı	1	1	1	2	1	2
Ada dış sınır çapı*	13-25 m	25-30 m	30-40 m	45-55 m	35-40 m	55-60 m
Ayrılcı ada	Mümkünse yükseltilmiş ve yaya geçişi için alanı olan	Yükseltilmiş ve yaya geçişi için alanı olan	Yükseltilmiş iş ve yaya geçişi için alanı olan	Yükseltilmiş ve yaya geçişi için alanı olan	Yükseltilmiş ve uzatılmış, yaya geçişi için alanı olan	Yükseltilmiş ve uzatılmış, yaya geçişi için alanı olan
4 kollu dönel kavşak için günlük hizmet hacmi (taşıt/gün)	10000	15000	20000	İncele Trafik talebine göre değişir	20000	İncele Trafik talebine göre değişir

*: Girişlerin 90 derece açıyla ve en fazla 4 kol olması varsayımıyla

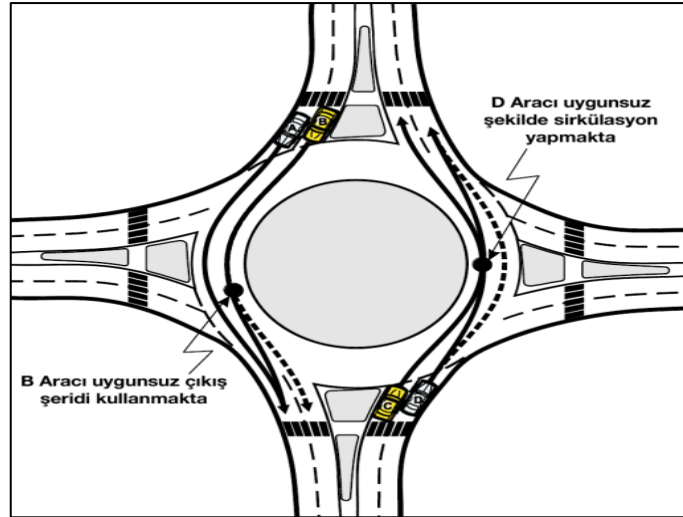
1.5. Denetimli Dönel Kavşaklar

Trafik hacminin artmasıyla birlikte dönel kavşak yaklaşım kollarındaki taşıtlar geçiş önceliği kuralına uymamakta ve kavşağa giriş için güvenli olan mesafeyi beklemeden kavşağa girmektedir. Artan trafik talebini karşılamak amacıyla kavşak kapasitesini arttırmak için sirkülasyon şeridi sayısı artırılabilir. Ancak sirkülasyon şeridi sayısının iki ve ikiden fazla olması durumunda Şekil 1.26’da görülebileceği gibi çatışma noktaları sayısı artmakta ve şerit değişikliği hareketlerinden dolayı örülme bölgeleri oluşmaktadır.

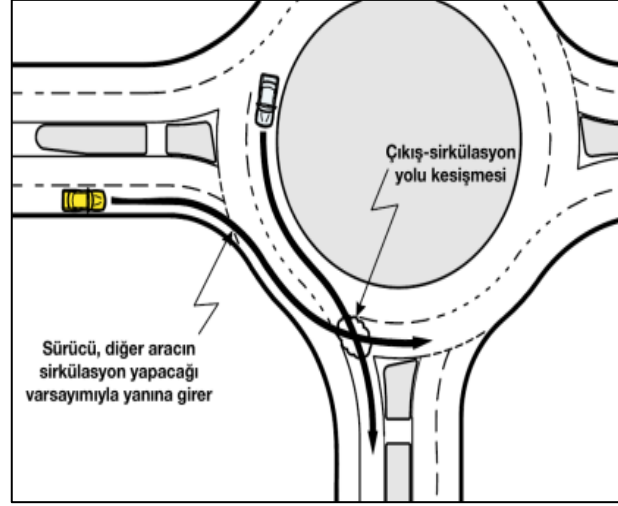


Şekil 1.26 . İki sirkülasyon şeridi olan dönel kavşaklar için çatışma noktaları (Yang ve diğ. 2004).

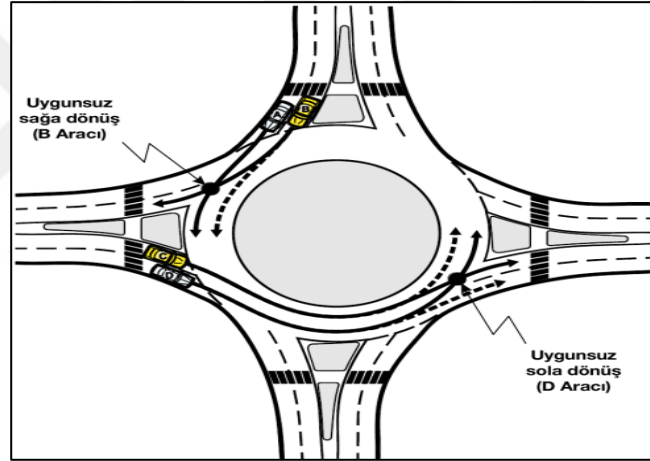
Çok şeritli dönel kavşaklarda; giriş, çıkış ve sirkülasyon şeridi sayısının fazla olması sebebiyle sürücüler kendileri için uygun olan şeridi kullanmakta güçlük çekmektedir. Bu durumda sürücü davranışından kaynaklanan Şekil 1.27, Şekil 1.28 ve Şekil 1.29 ile gösterilen birtakım problemler ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1.27. Çok şeritli dönel kavşakta uygun şeridin kullanılamaması (FHWA, 2010).



Şekil 1.28. Çok şeritli dönel kavşakta uygun çıkışın yapılmaması (FHWA, 2010).

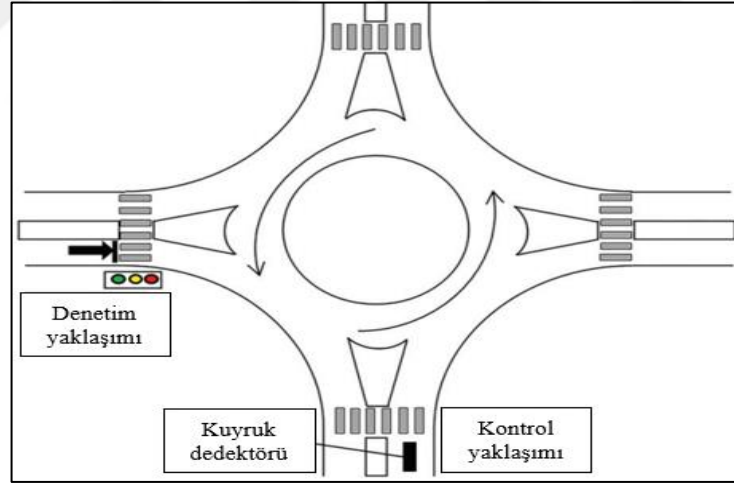


Şekil 1.29. Çok şeritli dönel kavşakta uygun olmayan dönüş hareketleri (FHWA, 2010).

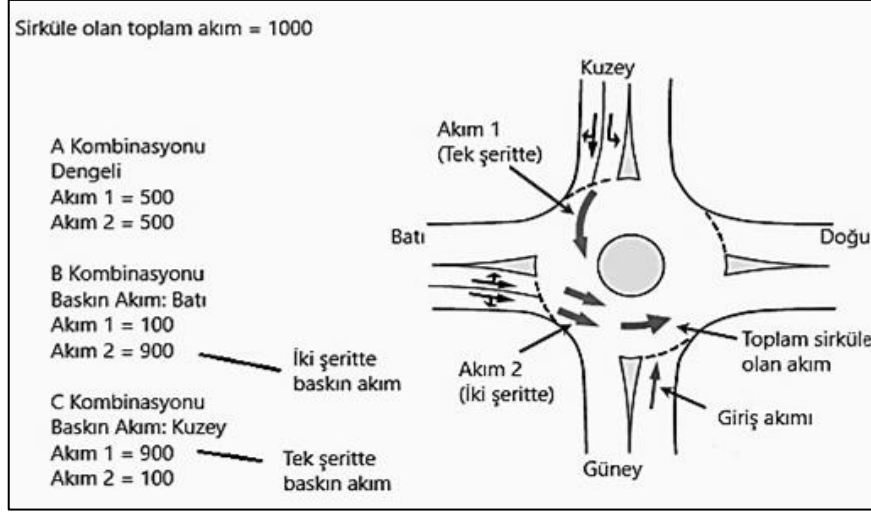
Yukarıdaki problemlere çözüm olarak, dönel kavşakların yaklaşım kollarına ya da hem yaklaşım kollarına hem de merkezi ada etrafına trafik ışıkları dâhil edilerek sinyalizasyon dönel kavşak tasarımı ortaya çıkmıştır. Sinyalizasyon dönel kavşak fikri ilk olarak Millard (1971) tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonra Bapat (1974), İngiltere’de bulunan Robin Hood dönel kavşağında trafik sinyallerini uygulamıştır (Qian ve diğ. 2008).

Sinyalizasyon dönel kavşaklar, trafik akımlarının sinyal sistemleriyle belli bir düzene göre yönlendirilmesi ve dönel kavşak geometrisinin sağladığı avantajla birlikte oldukça güvenli olan eşdüzey kavşak çeşitlerinden biridir. Fakat sinyalizasyonun dâhil edilmesiyle

bekleme sürelerinde artış meydana gelmektedir. Bununla birlikte emisyon salımları ve yakıt tüketimi de artmaktadır. Kavşağın tam denetimli sinyalize dönel kavşak olarak yönetilmesinin sebep olduğu aşırı gecikmeler ve kuyruk uzunluklarına karşın kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar önerilmiştir. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar, yaklaşım kollarında kararsız akımların meydana geldiği ve yüksek trafik hacminin olduğu durumlarda, belli bir zaman aralığında kullanılmaktadır. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklarda, ardışık kollardan birine kuyruk dedektörü diğerine ise trafik ışıkları yerleştirilir. Trafik ışıklarının yerleştirildiği kol denetlenen yaklaşım, kuyruk dedektörünün yerleştirildiği kol ise kontrol yaklaşımı olarak adlandırılır. Kontrol yaklaşımındaki kuyruk uzunluğunun dedektöre kadar uzaması durumunda denetlenen kolda kırmızı ışık yanar ve kontrol edilen koldaki akım dönel kavşağa girer. Trafik ışıklarının bulunduğu kolda kırmızı ışık sonlanınca kavşak normal yönetim şekline geri döner (Akçelik, 2006). Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak yapısı Şekil 1.30 ile verilmiştir. Akçelik (2004) tarafından modellenen kararsız akımlar Şekil 1.31 ile gösterilmektedir.



Şekil 1.30. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak yapısı (Murat ve Guo, 2021).



Şekil 1.31. Kararsız akımların gösterimi (Akçelik, 2004).

Ülkemizde de sıklıkla uygulanan sinyalizasyon dönel kavşakların amacı, merkezi ada etrafında dönüş hareketi yapan taşıtlar ile kavşağa giriş yapacak olan taşıtların kesişmelerini önlemektir. Sinyalizasyon dönel kavşakların faz sayıları, faz süreleri ve faz planları kavşak performansını etkileyen unsurlardandır. Sinyalizasyon sistemlerine ait faz süreleri ve faz planları uygulanmadan önce; trafik hacmi ve sola dönüş oranları, taşıt kompozisyonu, dönen taşıtlar için ayrılan bekleme alanlarının yeterliliği, kavşağın bulunduğu konum ve yakınındaki diğer kavşakların yönetim şekline dikkat edilmesi gerekmektedir.

Sinyalizasyon dönel kavşaklarda sinyal sürelerinin en uygun şekilde ayarlanması kavşak performansını büyük ölçüde iyileştirirken, trafik bilgileri iyi analiz edilmeden uygulanan sinyalizasyon kavşak performansını daha da kötü bir noktaya getirmektedir. Sola dönüş hacminin fazla olmadığı durumlarda, ada içerisinde sola dönecek olan taşıtlar için verilen yeşil sürenin fazla olması halinde kollardaki gecikmeler artmaktadır. Taşıtlara bekleme alanını boşaltmaları için az süre verilmesi durumunda ise ada etrafındaki kuyruk uzunluğu artarak ana yoldaki akımın hareketini aksatmaktadır. Merkezi ada etrafındaki bekleme alanlarının yeterli büyüklükte olmaması ve uygun olmayan sinyal sürelerinin kullanılması, kavşak içerisindeki kuyruklanmalara sebep olmakla birlikte ana yolda düz giden taşıtların hareketini de kısıtlamaktadır. Bu nedenle hem taşıt gecikmeleri hem de kaza riski artmaktadır. Sonuç olarak kavşak tasarımı yapılmadan önce detaylı bir çalışma yapmak gerekmektedir.

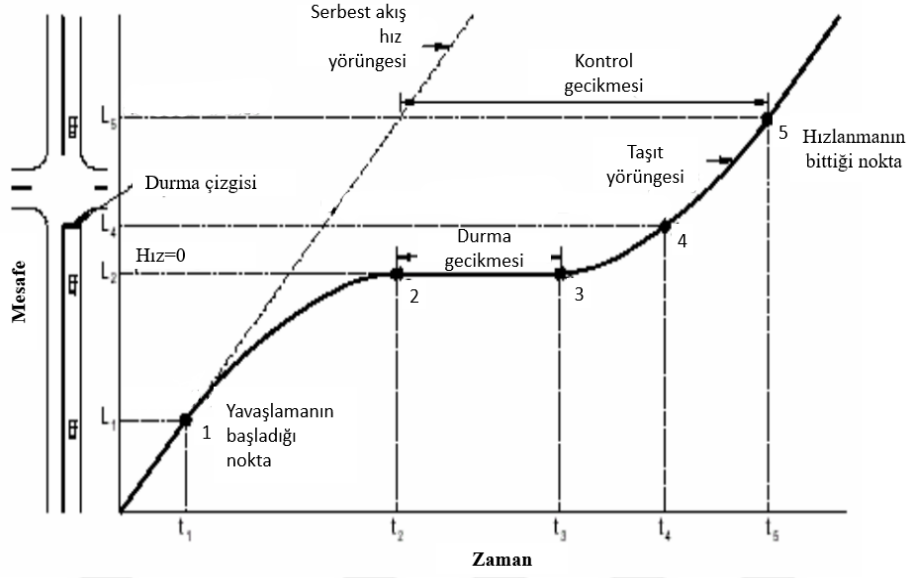
1.6. Performans Ölçütleri

Bu bölümde, analizlerde performans ölçütü olarak kullanılan gecikme, hizmet düzeyi ve emisyon salımı parametrelerinden bahsedilmiştir.

1.6.1. Gecikme

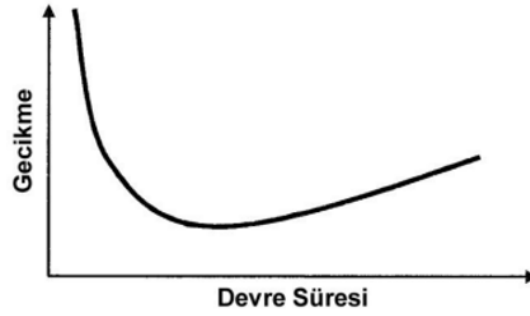
Gecikme, taşıtların ideal koşullar altında seyir hızlarıyla seyahat ederken geçirdikleri süre ile mevcut koşullar altında geçirilen süre arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır (HCM, 2010). Hizmet düzeyinin belirlenmesi ve kavşak performansının değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir parametredir.

Kontrol gecikmesi, trafik kontrol cihazları sebebiyle oluşan gecikmedir. HCM yöntemine göre hizmet düzeyinin belirlenmesinde kullanılır. Kontrol gecikmesi, taşıtların yaklaşım kollarında yavaşlamaya başladığı zamanı, kırmızı ışıktaki durduğu zamanı ve yeşil ışık yandığında hızlanıp seyir hızına geldiği ana kadar geçen zamanı kapsamaktadır. Yavaşlama gecikmesi, kavşağa yaklaşmakta olan taşıt sürücüsünün hızını azaltmaya başladığı andan itibaren trafik ışıkları nedeni ile durduğu ana kadar geçen zaman aralığı olarak tanımlanmaktadır. Durma gecikmesi, sürücünün kırmızı ışık boyunca hareketsiz kaldığı zaman aralığı, hızlanma gecikmesi ise trafik ışığının kırmızıdan yeşile döndükten sonra sürücünün seyir hızına ulaşabilmesi için gereken zaman aralığı olarak tanımlanmaktadır. Sinyalize kavşak yaklaşım kolunda bulunan bir taşıta ait yörünge diyagramı ve gecikme bileşenleri Şekil 1.32’de gösterilmektedir.



Şekil 1.32. Gecikme bileşenleri (Quiroga ve Bullock, 1999).

Gecikme, devre süresi ve birçok değişken tarafından etkilenen bir parametredir. Her kavşak için en düşük ortalama gecikmeyi veren bir devre süresi bulunur. Şekil 1.33'te devre süresi ve gecikme arasında genelleştirilmiş ilişki gösterilmektedir.



Şekil 1.33. Genelleştirilmiş devre süresi ve gecikme ilişkisi (HCM, 2010).

1.6.2. Hizmet Düzeyi

Yol ağındaki trafik koşullarının değerlendirilmesinde kullanılan bir kavramdır. A'dan F'ye kadar sıralanan hizmet düzeylerinde, A hizmet düzeyi kavşak için en iyi performansı temsil ederken F hizmet düzeyi en kötü durumu temsil etmektedir. Kontrol gecikmesine bağlı olarak HCM (2010) tarafından önerilen hizmet düzeyleri Tablo 1.4 ile gösterilmiştir.

Tablo 1.4. Hizmet düzeyleri (HCM, 2010)

Kontrol Gecikmesi (sa/taşıt)	Hizmet Düzeyi	
	Doygunluk Derecesi<1	Doygunluk Derecesi>1
0-10	A	F
>10-15	B	F
>15-25	C	F
>25-35	D	F
>35-50	E	F
>50	F	F

1.6.3. Emisyon Salımı

Emisyon, taşıtlardaki yakıtın yanmasıyla; buharlaşma, ayrışma ve benzeri şekillerle oluşan kimyasallar olarak tanımlanmaktadır. Hava kirliliğinin oluşmasının en büyük sebebi motorlu taşıtlardır. Taşıt emisyonları; karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂), nitroz oksit (NO_x), partikül madde (PM), hidrokarbon (HC) ve uçucu organik bileşenler (VOC) olmak üzere, uzun vadede hava kalitesi üzerinde büyük etkiye sahip olan çeşitli kirleticileri içermektedir. Kavşaklarda, özellikle dur-kalk sayısının artmasıyla birlikte emisyon salımı artmaktadır.

2. İRDELEME VE BULGULAR

Çalışma kapsamında, şehir içi ulaşım ağı üzerinde bulunan ve sinyalize dönel kavşak olarak yönetilmekte olan Terminal Kavşağı; sinyalize kavşak, sola dönüş cepli sinyalize kavşak, taşıt altgeçitli kavşak olarak tasarlanmış ve farklı devre süreleri altında analiz edilmiştir. Ayrıca otobüs duraklarının, parklanmanın ve şehirler arası terminalin mevcut durum üzerindeki etkilerini görebilmek için parklanma, duraklar ve güney yaklaşım kolunun kaldırıldığı durumlar; ortalama taşıt gecikmesi, ortalama kuyruk uzunluğu, ortalama hız, emisyon salımı ve yakıt tüketimi performans ölçütlerine göre değerlendirilmiştir.

2.1. Mevcut Durum Analizi

2.1.1. Kavşak Geometrik Özellikleri

Terminal Kavşağı, hem şehir içi hem de şehirler arası bir yol ağı üzerinde bulunması sebebiyle taşıt kompozisyonu değişken ve ağır taşıt oranı oldukça fazla olan bir sinyalize dönel kavşaktır. Kuzeyinde organize sanayi bölgesi, güneyinde şehirler arası terminal bulunmaktadır. Doğu ve batı yaklaşım kollarından Karadeniz sahil yoluna ve şehir merkezine bağlanmaktadır. Şekil 2.1’de Terminal kavşağına ait görüntü verilmektedir.



Şekil 2.1. Terminal Kavşağı, Trabzon (Google Earth, 40°59'51.7"N39°45'07.8"E)

Kavşağın doğu-batı doğrultusundaki kolları anayol niteliğindedir. Doğu ve batı yaklaşım kollarında 3.50 metre genişliğinde üç şerit, kuzey ve güney yaklaşım kollarında 3.50 metre genişliğinde iki şerit bulunmaktadır. Merkezi ada etrafında her biri 4.00 metre genişliğinde üç şerit bulunmaktadır. Merkezi ada çapı 20.00 metredir. Kavşağın doğu yaklaşım kolunun en sağ şeridinde parklanma mevcuttur. Doğu ve batı yaklaşım kollarında otobüs durakları bulunmaktadır. Şekil 2.2’de durak yerleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Kavşaktaki otobüs duraklarının konumları

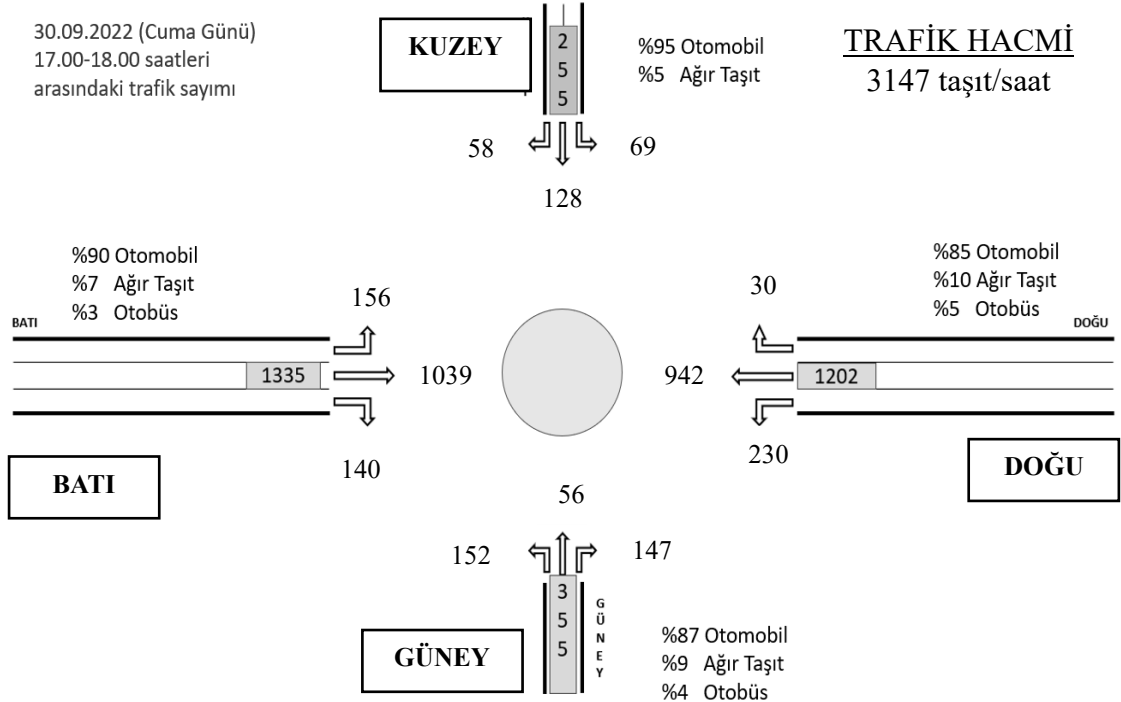
2.1.2. Trafik ve Sinyalizasyon Bilgileri

Kavşakta, 26.09.2022 (Pazartesi), 28.09.2022 (Çarşamba) ve 30.09.2022 (Cuma) günleri, sabah 07:30-09:30 ve akşam 16:00-18:00 saatleri arasında olmak üzere 12 saatlik trafik sayımı yapılmıştır. Yapılan trafik sayımları; otomobil, minibüs, kamyonet, kamyon, tır ve otobüs olarak farklı taşıt tiplerine göre ayrılarak 15 dakikalık zaman dilimleri halinde Ek Tablo 1, Ek Tablo 2 ve Ek Tablo 3 ile verilmiştir. Elde edilen taşıt sayıları Tablo 2.1’de verilen birim otomobil katsayıları kullanılarak birim otomobil eş değerlerine dönüştürülmüştür. Zirve saate ait trafik hacmini bulabilmek için birim otomobil eş değerlerine dönüştürülmüş olan 15 dakikalık sayımlar, dördü gruplar halinde ardışık olarak toplanmış ve en yüksek trafik hacim değerini veren zaman aralığı belirlenmiştir. Trafik hacminin en fazla olduğu gün ve zaman aralığı Cuma 17:00-18:00 olarak belirlenmiş ve analizler bu zaman aralığındaki trafik hacmine göre yapılmıştır.

Tablo 2.1. Birim otomobil katsayıları (TS6407, 2013)

Araç Cinsi	Birim otomobil eş değeri
Özel otomobil, taksi, sepetli motosiklet, üç tekerlekli motosiklet (triportör), yüksüz 1500 kg'a kadar olan pikap	1,00
Minibüs, dolmuş, taksi	1,27
Yüksüz 1500 kg'dan ağır ticari kamyon, at arabası	1,75
Kent içi ve dışı yolcu otobüsü (körüklü dahil), servis otobüsü, trolleybüs, tramvay	2,25
Motosiklet, mopet	0,33
Bisiklet	0,20

Zirve saate ait trafik hacmi Tablo 2.2 ile gösterilmektedir. Trafik hacminin yönlere göre dağılımı Şekil 2.3 ile verilmektedir.



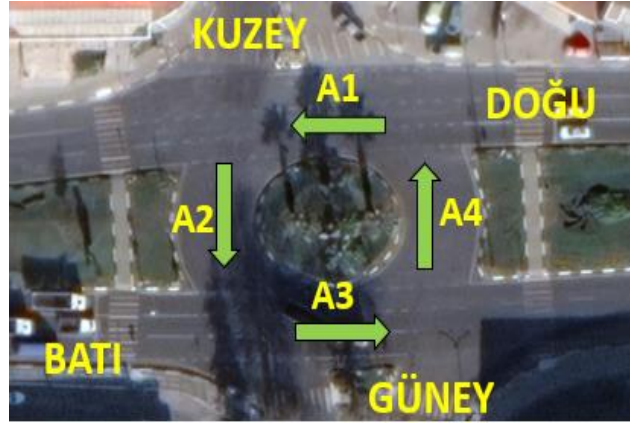
Şekil 2.3. Kollardaki trafik hacmi ve yönlere göre dağılımı

Tablo 2.2. Trafik hacmi sonuçları

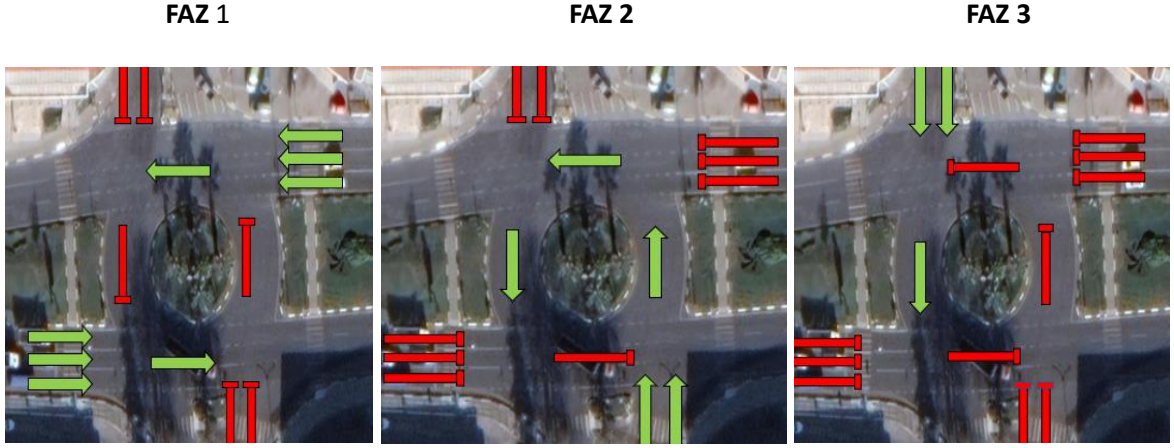
Zaman Aralığı	Otomobil			Minibüs			Kamyonet		
	Sağ	Düz	Sol	Sağ	Düz	Sol	Sağ	Düz	Sol
17:00-17:15	78	394	125	9	76	10	12	14	13
17:15-17:30	65	402	99	11	83	12	4	18	8
17:30-17:45	87	393	144	9	83	12	5	24	8
17:45-18:00	70	409	124	9	66	8	8	21	10
TOPLAM	300	1598	492	38	308	42	29	77	39
Zaman Aralığı	Kamyon			Tır			Otobüs		
	Sağ	Düz	Sol	Sağ	Düz	Sol	Sağ	Düz	Sol
17:00-17:15	1	7	0	0	7	2	3	11	6
17:15-17:30	0	15	0	0	16	2	2	31	5
17:30-17:45	1	17	0	0	12	0	0	18	9
17:45-18:00	0	6	1	0	16	2	1	26	7
TOPLAM	2	45	1	0	51	6	6	86	27

Sinyal Bilgileri

Terminal Kavşağı sabit zamanlı sinyalizasyon ile yönetilmekte ve devre süresi 90 saniye olan 3 fazlı denetim uygulanmaktadır. Yaklaşım kolları ve merkezi ada etrafındaki akımların isimlendirilmesi Şekil 2.4, faz planı ise Şekil 2.5 ile verilmiştir.

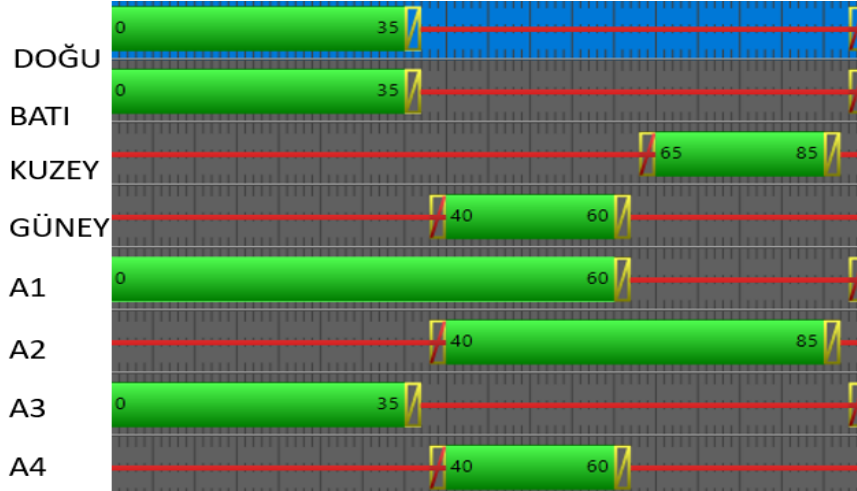


Şekil 2.4. Trafik akımlarının isimlendirilmesi



Şekil 2.5. Faz planı

Doğu-batı yaklaşım kollarındaki akımların ve A1, A3 akımlarının geçiş hakkı aldığı 1.faz 35 saniye sürmektedir. Güney yaklaşım kolu ile A1, A2 ve A4 akımlarının geçiş hakkı aldığı 2. faz ise 20 saniye sürmektedir. Kuzey yaklaşım kolu ile A2 akımının geçiş hakkı aldığı 3.faz 20 saniye sürmektedir. Tüm akımlara aynı anda verilen ortak kırmızı ışık süresi 1 sn, kırmızı-sarı ışık süresi 2 sn ve sarı ışık süresi 2 sn'dir. Mevcut duruma ait devre diyagramı Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Mevcut duruma ait devre diyagramı (VISSIM, 2023).

2.1.3. Kavşaktaki Mevcut Problemler

Terminal Kavşağı, sanayi bölgesinin merkezinde ve şehirler arası otobüs terminalinin girişinde bulunması sebebiyle taşıt kompozisyonu oldukça değişken, ağır taşıt oranı fazla olan bir kavşaktır. Aynı zamanda lojistik için kullanılan bir yol ağı üzerinde bulunmaktadır. Ağır taşıt oranının fazla olması hem diğer taşıtların hızlarını azaltarak gecikmeler de artışa sebep olmakta hem de sola dönüş hareketi yapacak taşıtların bekleme alanını kısıtlamaktadır.

Kavşak kollarındaki parklanmalar ve taşıt kompozisyonundaki değişkenlik, özellikle doğu yaklaşım kolunda ciddi kuyruklanmalara sebep olmaktadır. Bununla birlikte ele alınan kavşaktan bir önceki ve bir sonraki kavşakların performansını da etkilemektedir. Şekil 2.7 ve Şekil 2.8 ile kavşaktaki kuyruk uzunlukları ve taşıt kompozisyonundaki düzensizlikler gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Yaklaşım kollarındaki aşırı kuyruklanmalar

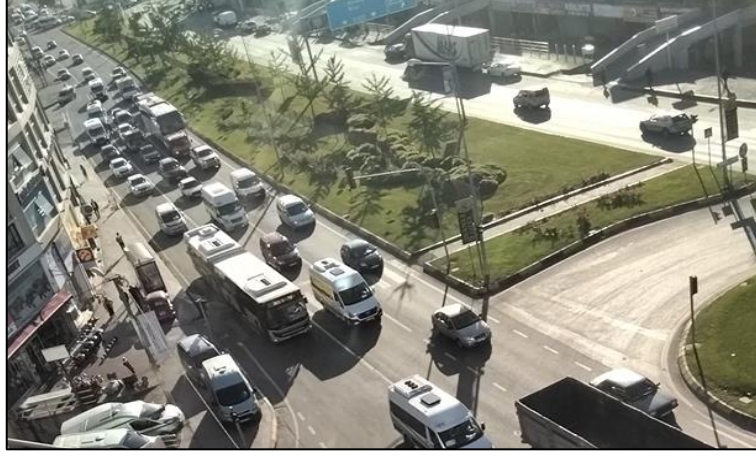


Şekil 2.8. Taşıt kompozisyonundaki düzensizlikler

Yaklaşım kollarındaki durakları kullanan otobüsler, kavşak girişinde yolcu indirip bindirdikleri için diğer taşıtların daha fazla zaman kaybı yaşamasına, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmelerinin artmasına sebep olmaktadır. Şekil 2.9 ve Şekil 2.10 ile kavşak yakınındaki duraklardan kaynaklanan problemler gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Şeritlerin düzensiz kullanılması durumu



Şekil 2.10. Durakta bekleyen otobüsten kaynaklanan kuyruklanma

Kavşak performansında geometrik özelliklerin yanı sıra sürücü davranışlarının da etkisi büyüktür. Sola dönecek olan taşıtların kavşağa yaklaşırken en sağ şeridi kullanması ve kavşak içerisinde ani şerit değişiklikleri yapması, diğer taşıtlarla çarpışma olasılığını arttırmaktadır. Şeritlerin etkin kullanılmaması ve üç şeritli bir yolu dört şeritli gibi kullanmaya çalışan sürücü davranışları da kavşak güvenliğini azaltan diğer bir problemdir. Şekil 2.11 ve Şekil 2.12 ile bahsi geçen problemlere ait görseller verilmiştir.



Şekil 2.11. Şeritlerin etkin kullanılmaması



Şekil 2.12. Şeritlerin düzensiz kullanılması

Sinyalizasyon sistemleri kavşak performansını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Sinyal sürelerinin tayininde sola dönüş oranlarının göz önünde bulundurulması büyük önem taşımaktadır. Şekil 2.13 ile verilen görselde, kuzey-güney yaklaşım kollarında ve ada etrafında herhangi bir taşıt olmamasına rağmen kuyruk uzunluğu oldukça fazla olan doğu-batı yaklaşım kollarındaki taşıtların kırmızı ışıktaki bekletildiği görülmektedir.



Şekil 2.13. Sinyalizasyondan kaynaklı aşırı kuyruklanma

Kavşağın geometrik özelliklerinden kaynaklanan problemlerden bir diğeri ise sola dönen taşıtların bekledikleri alanın yetersiz boyutta olmasıdır. Şekil 2.14'te görüldüğü üzere, bekleme alanının yetersiz büyüklükte olması durumunda, ada etrafında oluşan kuyruklanma ana yoldaki taşıtların hareketini engellemektedir. Bu durum düz giden taşıtların gecikmelerinde artışa sebep olmaktadır. Bekleme alanları, ağır taşıt hareketleri de göz önüne alınarak yeterli uzunlukta ve genişlikte yapılmalıdır. Geometrik değişikliğin yapılamayacağı durumda ise sola dönüş oranları iyi analiz edilmeli, bu alanlarda kuyruk oluşmadan yeşil ışık verilmeli, uygun faz planı ve faz süreleri kullanılmalıdır.



Şekil 2.14. Ada etrafında taşıtların beklemesi için bırakılan alanın yetersizliği

2.1.4. Kullanılan Benzetim Yazılımı ve Kalibrasyon

Benzetim yazılımları, gerçek bir sistemin bilgisayar ortamında modellendikten sonra sistem davranışını anlayabilmek ve farklı senaryoları değerlendirebilmek için kullanılmaktadır. Çalışma alanında yapılan gözlemler ve trafik sayımları ile PTV VISSIM benzetim yazılımı kullanılarak modelleme yapılmıştır.

PTV VISSIM kent içi ulaşım ağındaki araç trafiği, toplu taşıma ve yayalar gibi tüm yol kullanıcılarını ve bu kullanıcılar arasındaki etkileşimi modellemek için kullanılan bir benzetim yazılımıdır. PTV VISSIM; trafik planlamasına, alternatif yol güzergâhlarının oluşturulmasına ve farklı ulaşım modlarının entegre edilmesine imkân sunar. VISSIM, Rainer Wiedemann (1974) tarafından geliştirilen psiko-fiziksel sürücü davranış modelini kullanmaktadır. Model, sürücülerin fizyolojik kısıtlamalarının yanı sıra psikolojik durumlarını da göz önüne aldığı için psiko-fiziksel takip modeli olarak tanımlanmaktadır.

Benzetim yazılımlarında oluşturulan modelin, gerçeğe yakın bir durumu yansıtır yansıtmadığından emin olabilmek için model kalibrasyonu yapılmalıdır. Kavşağa ait faz planı, şerit sayıları, şerit genişlikleri ve trafik hacimleri yazılıma tanımlandıktan sonra sürücü davranış parametreleri değiştirilerek oluşturulan model kalibre edilmiştir. PTV VISSIM simülasyon yazılımında, şehir içi yollarda kullanılan Wiedemann 74 sürücü davranış modeline ait olan; ortalama durma mesafesi, güvenlik mesafesinin ek kısmı ve güvenlik mesafesinin çarpımsal kısmı olmak üzere üç parametre bulunmaktadır. Yazılımda bu parametreler için varsayılan olarak sırasıyla 2,00; 2,00 ve 3,00 değerleri kullanılmaktadır. Şekil 2.15’de gösterildiği üzere bu değerler 1,50; 1,25 ve 2,00 değerleri ile değiştirilerek araç takip modelinin kalibrasyonu tamamlanmıştır.

Şekil 2.15. Sürücü davranış parametrelerine ait VISSIM görüntüsü

Kalibrasyon, her bir devre süresinde kavşaktan çıkan taşıt sayılarına göre yapılmıştır. Gözlemlerle elde edilen gerçek değerler ve analiz sonucunda elde edilen değerler Ek Tablo 4 ile verilmiştir. Modelin kalibrasyon sonucunu test etmek için Geoffrey E. Harvers (1970) tarafından bulunan GEH istatistiği kullanılmıştır. GEH istatistiği, üretilen bir modelin verdiği değerler ile gözlemlenen değerler arasında bir kıyaslama yaparak modelin uygunluğunu test etmek için kullanılmaktadır. GEH istatistiğinde “Benzetim” ve “Gerçek” olmak üzere iki adet değişken vardır. GEH istatistiği denklemi aşağıda verilmiştir:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(G - B)^2}{G + B}} \quad (1)$$

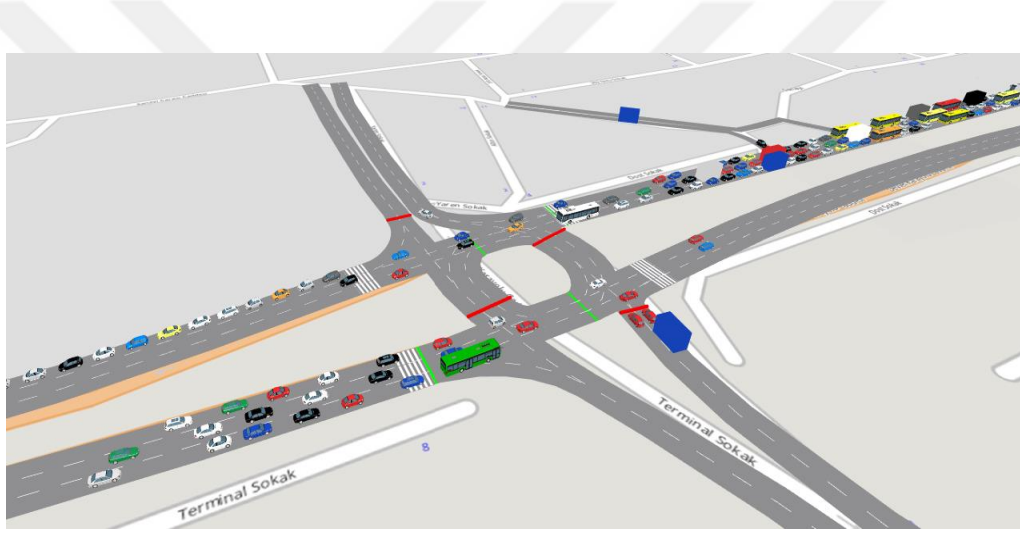
G= Gerçek Değer

B=Benzetim

GEH istatistiğine göre, veri sayısının en az %85’inin GEH değeri 5’ten küçük olmalıdır (Friedrich ve diğ., 2019).

2.1.5. Performans Sonuçları

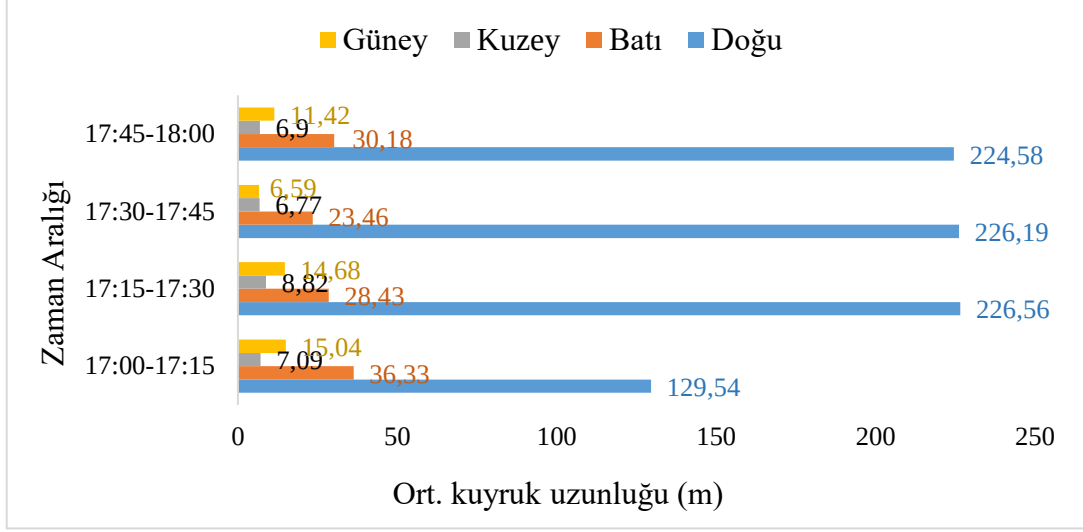
Mevcut durumda, sinyalizе dñnel kavşak olarak 90 sn devre süresiyle işletilmekte olan kavşağa ait benzetim yazılımı görüntüsü Şekil 2.16 ile verilmiştir. Oluşturulan modelin kalibrasyonu tamamlandıktan sonra analiz kısmına geçilmiştir. Analizler zirve saatteki trafik hacmine göre yapılmıştır. Zirve saat öncesinde kavşakta meydana gelmiş olan kuyruklanmanın modele daha iyi yansıtılabilmesi için simülasyonun başında 15 dakikalık ısınma periyodu oluşturulmuş ve 75 dakikalık analiz yapılmıştır. 15 dakikalık ısınma periyodu sonuçlarda değerlendirilmemiştir. Mevcut duruma ait performans sonuçları Tablo 2.3, ortalama kuyruk uzunlukları Şekil 2.17 ile verilmiştir.



Şekil 2.16. Mevcut duruma ait benzetim yazılımı görüntüsü

Tablo 2.3. Mevcut duruma ait performans sonuçları

Devre Süresi (sn)	90
Ort. Kuyruk Uzunluğu (m)	63,57
Hizmet Düzeyi	F
Ort. Taşıt Gecikmesi(sn)	85,98
Durma Gecikmesi (sn)	57,60
CO Emisyonu (gram)	9747,48
NO _x Emisyonu (gram)	1896,50
VOC Emisyonu (gram)	2259,07
Yakıt Tüketimi (lt)	527,87
Ort. Hız (km/sa)	12,68



Şekil 2.17. Yaklaşım kollarındaki ortalama kuyruk uzunluğu grafiği

Mevcut durumda, kavşak F hizmet düzeyinde çalışmaktadır. Kavşaktaki ortalama hız düşük ve yakıt tüketimi oldukça fazladır. Doğu yaklaşım kolunda meydana gelen kuyruk uzunluğunun, yaklaşık 270 m geride bulunan kavşağa kadar devam ettiği görülmektedir. Tablo 2.4 ile kavşak kollarının 50 m uzunluktaki kısmına ait yoğunluk, hız ve hacim değerleri 15 dakikalık zaman aralıklarıyla gösterilmiştir. Kavşak yaklaşım kolları incelendiğinde, doğu yaklaşım kolundaki kuyruk uzunluklarının batıya göre yaklaşık 7 kat daha fazla olduğu ve bu koldaki trafik yoğunluğunun oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu duruma sebep olarak, doğu yaklaşım kolunun giriş kısmında otobüs durağının bulunması ve koldan çıktıktan sonra kullanılan sağ şeridin parklanma ve dolmuşların bekleme alanı olarak kullanılması gösterilebilir. Yaklaşım kollarındaki ortalama hızlar incelendiğinde, doğu yaklaşım kolundaki trafiğin neredeyse durma noktasına geldiği sonucuna ulaşılabilmektedir. Batı yaklaşım kolundaki trafik hacmi daha fazla olmasına rağmen doğu yaklaşım kolunda meydana gelen yoğunluk daha fazla ve ortalama hız daha düşüktür. Bu durumun sebebi ise doğu yaklaşım kolunu kullanan ağır taşıt oranının fazla olması ve taşıt kompozisyonunun oldukça farklı olmasıdır. Aynı zamanda doğu yaklaşım kolunda yaklaşık %19, batı yaklaşım kolunda ise yaklaşık %12 sola dönüş oranının olması da kavşak performansını azaltan diğer bir husustur.

Mevcut duruma ait performans sonuçları incelendiğinde, kavşağın sinyalizasyon dönemi kavşak olarak 90 sn devre süresi ile yönetilmesinin yeterli performansı gösteremediği görülmektedir. Mevcut durum analiz sonuçlarına göre; kavşak tipinin uygun olmadığı, uygun sinyal sürelerinin ve faz planlarının kullanılmadığı ya da kavşak girişlerinde bulunan otobüs durakları ve parklanma gibi etkenlerden dolayı trafik talebinin karşılanamadığı, bu sebeple kavşakta bazı düzenlemelerin yapılması gerektiği söylenebilmektedir.

Tablo 2.4. Yaklaşım kollarının 50 m gerisine ait performans sonuçları

Yaklaşım Kolu	Zaman Aralığı	Yoğunluk (ta/km)	Hız (km/sa)	Hacim (ta/sa)
Doğu	17:00-17:15	311,01	3,41	1060,11
	17:15-17:30	363,94	3,06	1112,25
	17:30-17:45	354,56	3,54	1254,18
	17:45-18:00	360,89	3,26	1177,96
Batı	17:00-17:15	24,20	51,59	1248,44
	17:15-17:30	24,81	51,65	1281,43
	17:30-17:45	26,43	51,78	1368,65
	17:45-18:00	24,17	51,03	1233,54
Kuzey	17:00-17:15	6,67	38,38	256,00
	17:15-17:30	7,75	38,21	296,00
	17:30-17:45	7,50	36,28	272,03
	17:45-18:00	6,71	38,94	261,24
Güney	17:00-17:15	7,73	43,35	334,93
	17:15-17:30	7,90	43,29	342,22
	17:30-17:45	7,34	44,97	330,23
	17:45-18:00	8,06	41,82	337,21

2.2. Farklı Kavşak Tiplerinin İncelenmesi

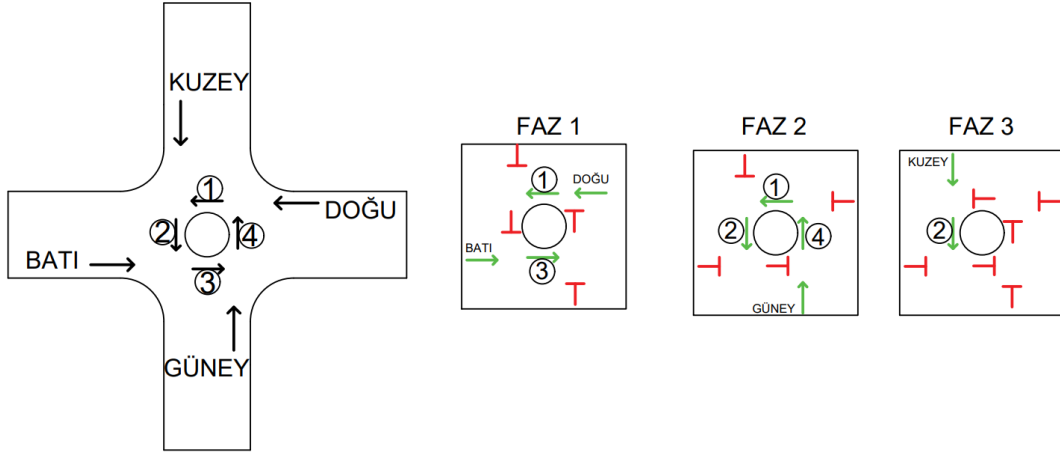
Kavşak tipi seçimi ve tasarımı; güvenliğin artırılması, taşıtların seyahat sürelerinin ve çatışma noktaları sayısının azaltılması, emisyon salımının azaltılması gibi faktörlerden dolayı oldukça önemlidir. Kavşaklarda kapasitenin etkin kullanımını arttırmak için devre sürelerinin en iyilenmesi veya faz planlarının değiştirilmesi gibi sinyalizasyon iyileştirilmesi yoluna gidilebilir. Hem güvenliği arttırmak hem de yol kullanıcılarının daha iyi yönlendirildikleri bir geometri sunabilmek için ayırıcı adalar ile kanallama tercih edilebilir. Kavşak yaklaşım kollarındaki şerit sayıları ve şerit genişlikleri gibi geometrik özelliklerin değiştirilmesi veya farklı bir kavşak tipi seçimi de trafik problemlerini giderebilmektedir.

Denetimsiz kavşaklarda taşıtlar, kırmızı ya da sarı ışığa maruz kalmadan sürüşlerini devam ettirebilecekleri için bu kavşaklarda gecikme süreleri daha azdır. Gecikme performans ölçütüne göre karşılaştırıldıklarında, denetimsiz kavşakların denetimli kavşaklara göre üstün olduğu söylenebilmektedir. Fakat denetimin olmadığı kavşaklarda kaza olasılığı daha yüksektir. Bu sebeple sinyalizasyon sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sinyalize kavşaklarda; taşıt-taşıt, taşıt-yaya gibi farklı yol kullanıcıları arasındaki çatışmalar engellenerek kaza olasılığı en aza indirilmektedir. Ancak bu kavşaklarda her akım belli bir düzene göre hareket ettiği için kavşakta hiçbir taşıt bulunmaması durumunda dahi sürücüler yeşil ışığı beklemek zorunda kalırlar. Bu durum gecikmelerde artışa sebep olmaktadır. Sinyalize kavşaklar bu yönüyle istenmeyen bir yönetim biçimi olsa da güvenlik bakımından tercih edilmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde, sinyalize dönel kavşak tasarımı farklı devre süreleri ile analiz edilerek tekrar ele alınmıştır. Bununla birlikte; parklanmanın kaldırıldığı, otobüs duraklarının kaldırıldığı ve şehirler arası terminalin taşınma durumu göz önüne alınarak güney yaklaşım kolunun kaldırıldığı durum modellenmiş ve değerlendirilmiştir. Farklı kavşak tipleri tasarlanarak devre sürelerinin değiştirildiği durum irdelenmiş, devre sürelerinin arttırılması ya da azaltılmasının kavşak performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2.2.1. Sinyalize Dönel Kavşak Tasarımı

İlk aşamada farklı devre sürelerinin uygulandığı durumlar analiz edilmiştir. Daha sonraki aşamada ise parklanma, kavşak girişinde bulunan duraklar ve güney yaklaşım kolunun kavşak üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Uygulanan faz planı Şekil 2.18, faz süreleri ise Tablo 2.5 ile verilmiştir.



Şekil 2.18. Sinyalize dönel kavşağa ait faz planı

Tablo 2.5. Farklı devre sürelerine ait faz süreleri

Devre Süresi (sn)	Faz Numarası	Yeşil Süre (sn)	Sarı Süre (sn)	Sarı + Kırmızı süre (sn)	Ortak kırmızı (sn)
75	1	30	2	2	1
	2	15	2	2	1
	3	15	2	2	1
90	1	35	2	2	1
	2	20	2	2	1
	3	20	2	2	1
105	1	40	2	2	1
	2	25	2	2	1
	3	25	2	2	1
120	1	45	2	2	1
	2	30	2	2	1
	3	30	2	2	1

Çalışma kapsamında en uygun devre süresinin belirlenmesi için “İngiliz Yöntemi” olarak da bilinen “Webster Yöntemi” kullanılmıştır. Webster yöntemi, sinyal sürelerinin hesaplanmasında ve gecikme tahmininde kullanılan bir yöntemdir. Kavşaktaki toplam gecikme süresinin en küçük olabilmesi için Webster (1958) tarafından en uygun devre süresi formülü geliştirilmiştir.

$$C = \frac{1.5L+5}{1-Y} \quad (2)$$

C: En uygun devre süresi (sn)

L: Toplam kayıp süresi (sn)

Y: Doygunluk dereceleri toplamı

Webster yöntemine göre, fazlara ait yeşil sürelerin belirlenebilmesi için (Çelikoğlu, 2023);

- Yaklaşım kollarındaki şerit sayıları ve akım büyüklükleri belirlenir.
- Aynı anda hareket edebilecek akımlar ve dönüş hareketleri göz önünde bulundurularak olası faz düzenleri belirlenir.
- Fazlardaki her bir şerit grubu için doymun akım oranları belirlenir. (S)
- Her bir şerit grubu için doymunluk derecesi belirlenir. $y=q/S$
- Oluşturulan faz düzenine göre, her faz için en büyük doymunluk derecesine sahip olan akım, kritik (belirleyici) akım olarak isimlendirilir. Kritik akım, ilgili faza ne kadar süre verilmesi gerektiğini belirlemektedir.
- Kritik akımların doymunluk dereceleri toplanır. $Y=\sum y$
- Devre sayısı ve koruma süreleri çarpılarak toplam kayıp süre bulunur. $L=n$. (Sarı süre+ ortak kırmızı süre)
- $C=(1,5.L+5)/(1-Y)$ formülü kullanılarak en uygun devre süresi hesaplanır.
- En uygun devre süresinden toplam kayıp süre çıkarılarak toplam yeşil süre elde edilir. $G=C-L$
- Fazlara ait yeşil süreyi bulabilmek için; her bir fazdaki kritik akımın doymunluk derecesi, toplam doymunluk derecesine bölünür ve toplam yeşil süreyle çarpılır. $g=G. (y/\sum Y)$

S: Doygun akım oranı (bo/sa)

q: Trafik hacmi (bo/sa)

y: Doygunluk derecesi

n: Devre sayısı

G: Toplam yeşil süre (sn)

Webster yöntemine göre en uygun devre süresi 73 sn olarak hesaplanmıştır. Mevcut durumda 90 sn devre süresi ile çalışmakta olan kavşak; 75 sn, 105 sn ve 120 sn devre süreleriyle analiz edilmiş ve sonuçlar Tablo 2.6 ile verilmiştir.

Tablo 2.6. Sinyalize dönel kavşağa ait performans sonuçları

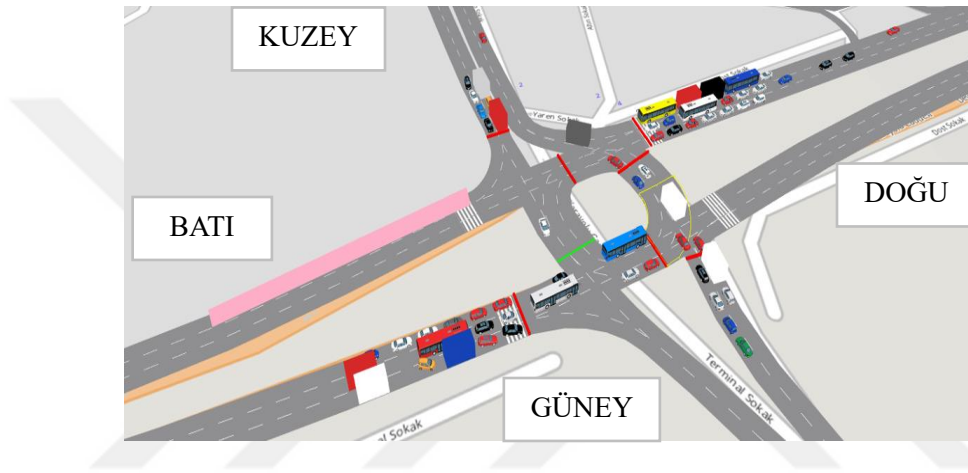
Devre Süresi (sn)	75	90	105	120
Ort. Kuyruk Uzunluğu(m)	39,40	63,57	66,81	73,58
Hizmet Düzeyi	E	F	F	F
Ort. Taşıt Gecikmesi(sn)	66,57	85,98	91,91	111,83
Durma Gecikmesi (sn)	42,38	57,60	63,86	80,65
CO Emisyonu (gram)	8540,97	9747,48	9507,21	10716,11
NO _x Emisyonu (gram)	1661,76	1896,50	1849,76	2084,97
VOC Emisyonu (gram)	1979,45	2259,07	2203,39	2483,56
Yakıt Tüketimi (lt)	461,50	527,87	513,90	579,30
Ort. Hız (km/s)	15,70	12,68	11,73	10,69

Performans sonuçları incelendiğinde, devre süresinin arttırılmasıyla ortalama taşıt gecikmelerinin ve kuyruk uzunluklarının arttığı görülmektedir. Devre süresi 75 sn'den 90 sn'ye çıkarıldığında ortalama taşıt gecikmesi yaklaşık 20 sn artmakta ve hizmet düzeyi E'den F'ye düşmektedir. Ortalama hızların azalmasıyla birlikte yakıt tüketiminde ve emisyon salımlarında artış görülmektedir. Kavşağın sinyalize dönel kavşak olarak yönetilmesi durumunda, analizlerde kullanılan diğer devre sürelerine göre, performansının en iyi olduğu devre süresi 75 sn olarak bulunmuştur. Ancak bu durumda dahi hizmet düzeyi en fazla E seviyesine yükselebilmektedir. Kavşak performansında beklenen iyileşme sağlanamadığı için; parklanma, duraklar ve güney yaklaşım kollarının kaldırıldığı senaryolar irdelenmiştir.

Senaryo 1: Parklanmanın kaldırıldığı durum

Terminal Kavşağında doğudan batıya gidiş yönünde ciddi bir parklanma problemi görülmektedir. Özellikle doğu yaklaşım kolunun en sağ şeridi parklanma için kullanılmakta ve 3 şeritli görünen yolda aktif olarak 2 şerit kullanılmaktadır. Doğru yönünden batı yönüne gidecek olan taşıtlar, kavşak çıkışının sağ şeridinde dolmuşların

bekleme alanıyla, devamında ise parklanma durumuyla karşı karşıya kalmaktadır. Bu durumda kavşak kapasitesi tam olarak kullanılamamaktadır. Parklanmanın kavşak üzerindeki etkisini görebilmek için mevcut durumda park yeri olarak kullanılan şeritlerden parklanma kaldırılmış ve hareket halindeki taşıtların bu şeritleri kullandığı varsayımı yapılmıştır. Şekil 2.19’da pembeye boyanmış alan ile parklanmanın kaldırıldığı kısım gösterilmektedir. Mevcut durum ve senaryo 1’e ait sonuçların karşılaştırılması Tablo 2.7 ile verilmiştir.



Şekil 2.19. Senaryo 1’e ait benzeyim yazılımı görüntüsü

Tablo 2.7: Mevcut durum ve Senaryo 1’e ait sonuçların karşılaştırılması

DS: Devre Süresi	Ort. Taşıt gecikmesi (sn)	Ort. Kuyruk uzunluğu (m)	Hizmet Düzeyi	Ort. Hız (km/sa)	Yakıt Tüketimi (lt)
Mevcut Durum (DS:90 sn)	85,98	63,57	F	12,68	527,87
Senaryo 1 (DS:75 sn)	69,24	33,81	E	19,63	491,50
Senaryo 1 (DS:90 sn)	105,35	55,21	F	13,85	640,40
Senaryo 1 (DS:105 sn)	124,72	69,71	F	11,27	697,60
Senaryo 1 (DS:120 sn)	167,13	84,11	F	9,47	834,70

Mevcut durumda F hizmet düzeyinde olan kavşak, parklanmanın kaldırıldığı ve devre süresinin 75 sn olduğu durumda E hizmet düzeyine çıkmıştır. Devre süresinin artırılmasıyla birlikte ortalama taşıt gecikmeleri ve kuyruk uzunlukları artmıştır. Parklanmanın kaldırıldığı ve devre süresinin 90 sn olduğu durum ile mevcut durum kıyaslandığında; ortalama hızın arttığı, ortalama kuyruk uzunluklarının azaldığı görülmektedir. Bu duruma karşın park alanlarının taşıtlar tarafından kullanılmasıyla birlikte kavşağa giren ve çıkan taşıt sayısının artmasıyla, ortalama taşıt gecikmeleri ve yakıt tüketiminin arttığı görülmektedir. Senaryo 1'e ek olarak parklanma ve durak yerlerinin birlikte kaldırılması durumunda kavşak performansının ne kadar iyileşebileceğini görebilmek için senaryo 2 oluşturulmuştur.

Senaryo 2: Parklanma ve durakların kaldırıldığı durum

Kavşak girişlerinde durakların bulunması, otobüslerin yolcu indirip bindirme esnasında diğer taşıtları bekleterek yaklaşım kollarındaki trafiğin aksamasına neden olmaktadır. Bu sebeple kavşak girişlerinde durakların bulunması istenmemektedir. Durakların kavşak performansı üzerindeki etkilerini görebilmek için kavşak girişinde bulunan iki durağın kaldırıldığı durum analiz edilmiştir. Şekil 2.20'de yeşil dairelerle gösterilen duraklar, kavşak girişine çok yakın olmaları sebebiyle kaldırılan durakları, kırmızı dairelerle gösterilen duraklar ise hali hazırda mevcut olan durakları belirtmektedir. Mevcut durum ve senaryo 2'ye ait sonuçların karşılaştırılması Tablo 2.8 ile verilmiştir.



Şekil 2.20. Kaldırılan otobüs duraklarının gösterimi

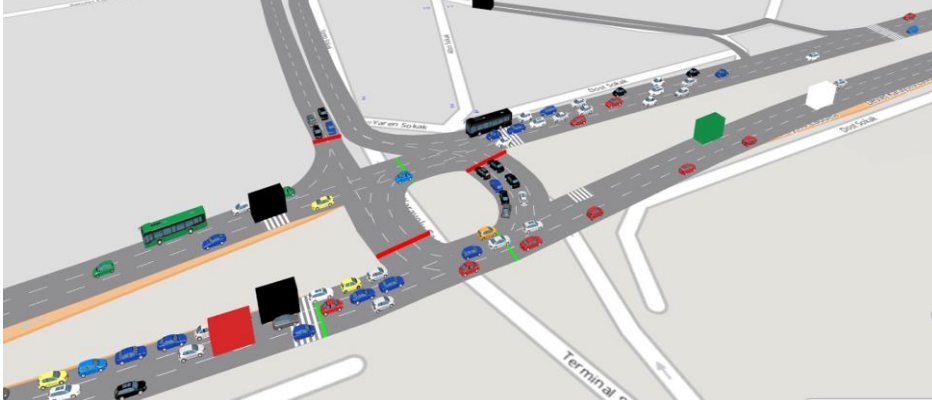
Tablo 2.8. Mevcut durum ve Senaryo 2' ye ait sonuçların karşılaştırılması

DS: Devre Süresi	Ort. Taşıt gecikmesi (sn)	Ort. Kuyruk uzunluğu (m)	Hizmet Düzeyi	Ort. Hız (km/sa)	Yakıt Tüketimi (lt)
Mevcut Durum (DS:90 sn)	85,98	63,57	F	12,68	527,87
Senaryo 2 (DS:75 sn)	49,79	24,88	D	23,35	376,20
Senaryo 2 (DS:90 sn)	97,29	64,18	F	13,58	595,10
Senaryo 2 (DS:105 sn)	122,19	66,61	F	11,65	672,30
Senaryo 2 (DS:120 sn)	143,37	75,85	F	10,39	744,90

Parklanma ve durakların birlikte kaldırıldığı, devre süresinin 75 sn olduğu durumda hizmet düzeyi D olarak bulunmuştur. Mevcut duruma göre ortalama taşıt gecikmesi yaklaşık %42 azalmış ve ortalama hız 2 katına çıkmıştır. Fakat devre süresinin artmasıyla birlikte F hizmet düzeyine inilmiş, gecikmeler ve ortalama kuyruk uzunlukları artmıştır.

Senaryo 3: Parklanma, otobüs durakları ve güney yaklaşım kolunun kaldırıldığı durum

Kavşağa güney yaklaşım kolundan bağlanan Terminal'e ait trafiğin, kavşak üzerindeki etkisi incelenmiştir. Trabzon Terminali'nin taşınması ile birlikte güney kolundaki trafik hacminin oldukça azalacağı varsayılarak bu yaklaşım kolunun tamamen kaldırıldığı durum analiz edilmiştir. Parklanma, otobüs durakları ve güney yaklaşım kolunun kaldırıldığı duruma ait benzetim yazılımı görüntüsü Şekil 2.21 ile verilmiştir. Mevcut durum ve senaryo 3'e ait sonuçların karşılaştırılması Tablo 2.9 ile verilmiştir.



Şekil 2.21. Senaryo 3'e ait benzetim yazılımı görüntüsü

Tablo 2.9. Mevcut durum ve senaryo 3'e ait sonuçlar

DS: Devre Süresi	Ort. Taşıt gecikmesi (sn)	Ort. Kuyruk uzunluğu (m)	Hizmet Düzeyi	Ort. Hız (km/sa)	Yakıt Tüketimi (lt)
Mevcut Durum (DS:90 sn)	85,98	63,57	F	12,68	527,87
Senaryo 3 (DS:75 sn)	26,15	10,86	C	32,48	179,80
Senaryo 3 (DS:90 sn)	32,83	13,73	C	29,70	198,50
Senaryo 3 (DS:105 sn)	39,57	16,57	D	27,46	216,40
Senaryo 3 (DS:120 sn)	51,08	21,47	D	24,48	259,00

Mevcut durumda ortalama taşıt gecikmeleri 85,98 sn iken, aynı devre süresinde parklanma, otobüs durakları ve güney yaklaşım kolunun kaldırıldığı durumda 32,83 sn değerine inmiş ve hizmet düzeyi F'den C'ye yükselmiştir. Devre sürelerinin kavşak performansı üzerindeki etkileri incelendiğinde, genel olarak devre süresi artışıyla beraber kuyruk uzunluklarının, ortalama taşıt gecikmelerinin arttığı ve ortalama hızların düştüğü görülmektedir. Devre süresinin artmasıyla birlikte akımlara verilen yeşil ışık süresi artırılırken diğer kollardaki taşıtların bekleme süresi uzamaktadır. Bu durum kavşaktaki ortalama gecikmeleri arttırarak hizmet düzeyini düşürmektedir.

Çalışmanın sonraki bölümlerinde Terminal Kavşağı;

- Dört Kollu Sinyalize Kavşak
- Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak
- Taşıt Alt Geçitli Kavşak

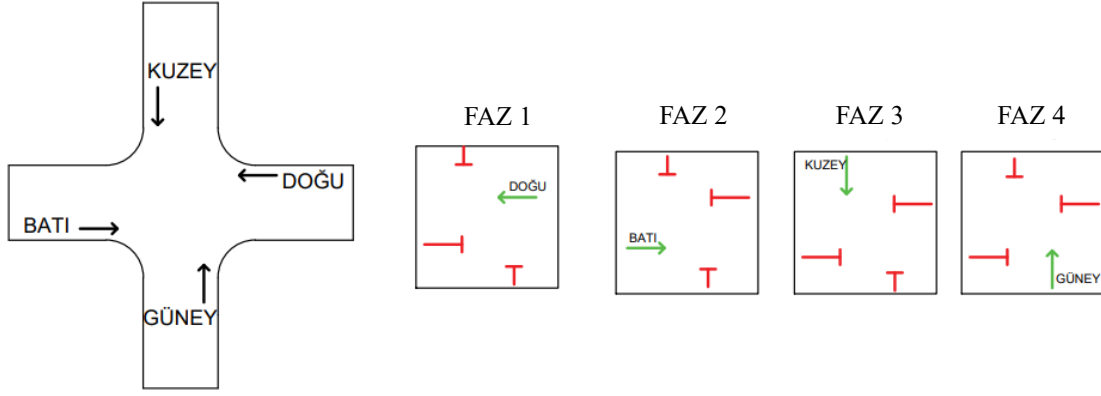
olarak tasarlanmış ve farklı devre süreleri ile analiz edilmiştir.

2.2.2. Sinyalize Kavşak Tasarımı

Doğu ve batı yaklaşım kolları 3.50 metre genişliğinde üç şeritli, kuzey ve güney yaklaşım kolları 3.50 metre genişliğinde iki şeritli olarak tasarlanmıştır. Şekil 2.22 ile sinyalize kavşak tasarımına ait benzetim yazılımı görüntüsü verilmiştir. Kavşak tasarlandıktan sonra 75 sn, 90 sn, 105 sn ve 120 sn devre süreleriyle analiz edilmiştir. Tüm devre sürelerinde Şekil 2.23 ile verilen faz planı uygulanmıştır.



Şekil 2.22. Sinyalize kavşak tasarımına ait benzetim yazılımı görüntüsü



Şekil 2.23. Sinyalize kavşak tasarımına ait faz planı

İlk fazda doğu, ikinci fazda batı, üçüncü fazda kuzey ve dördüncü fazda güney kollarına geçiş hakkı verilmiştir. Tüm devre sürelerinde sarı ışık süresi 2 sn, kırmızı-sarı ışık süresi 2 sn ve tüm kollara aynı anda verilen kırmızı süre 1 saniyedir. Sinyalize kavşak tasarımına ait faz süreleri Tablo 2.10 ile verilmiştir. Kavşağa ait performans sonuçları Tablo 2.11 ile verilmiştir.

Tablo 2.10. Sinyalize kavşak tasarımına ait faz süreleri

Devre Süresi (sn)	Faz Numarası	Yeşil Süre (sn)	Sarı Süre (sn)	Sarı + Kırmızı Süre (sn)	Ortak Kırmızı (sn)
75	1	15	2	2	1
	2	15	2	2	1
	3	12	2	2	1
	4	13	2	2	1
90	1	20	2	2	1
	2	20	2	2	1
	3	15	2	2	1
	4	15	2	2	1
105	1	25	2	2	1
	2	25	2	2	1
	3	17	2	2	1
	4	18	2	2	1
120	1	30	2	2	1
	2	30	2	2	1
	3	20	2	2	1
	4	20	2	2	1

Tablo 2.11. Sinyalize kavşak performans sonuçları

Devre Süresi (sn)	75	90	105	120
Ort. Kuyruk Uzunluğu	162,70	164,59	149,34	100,04
Hizmet Düzeyi	F	F	F	F
Ort. Taşıt Gecikmesi(sn)	131,32	115,25	116,20	111,79
Durma Gecikmesi (sn)	103,30	91,48	93,73	91,18
CO Emisyonu (gram)	11958,28	10980,49	10926,69	11312,04
NOx Emisyonu (gram)	2326,65	2136,40	2125,94	2200,91
VOC Emisyonu (gram)	2771,45	2544,84	2532,37	2621,67
Yakıt Tüketimi (lt)	646,60	593,70	590,70	611,60
Ort. Hız (km/s)	6,56	8,19	8,43	9,70

Tablo 2.12. Mevcut durum ve sinyalize kavşak performans sonuçlarının karşılaştırılması

Devre süresi: 90 sn	Ort. Taşıt gecikmesi (sn)	Ort. Kuyruk uzunluğu (m)	Hizmet Düzeyi	Ort. Hız (km/sa)	Yakıt Tüketimi (lt)
Mevcut Durum	85,98	63,57	F	12,68	527,87
Sinyalize Kavşak	115,25	164,59	F	8,19	593,70
Değişim (%)	+34,00	+158,91		-35,41	+12,65

Sinyalize kavşak tasarımına ait sonuçlar incelendiğinde, devre süresinin artmasıyla birlikte ortalama taşıt gecikmeleri, ortalama kuyruk uzunlukları ve yakıt tüketiminde azalma görülmektedir. Fakat tüm devre sürelerinde hizmet düzeyi F bulunmuştur. 90 sn devre süresiyle işletilmesi halinde mevcut duruma kıyasla; ortalama taşıt gecikmeleri yaklaşık %34, ortalama kuyruk uzunluğu ise yaklaşık %159 oranında artmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan kavşağın, sinyalize kavşak olarak tasarlanması durumunda iyi bir performans gösteremeyeceği sonucuna varılmıştır.

2.2.3. Sola Dönüş Cepli Sinyalize Kavşak Tasarımı

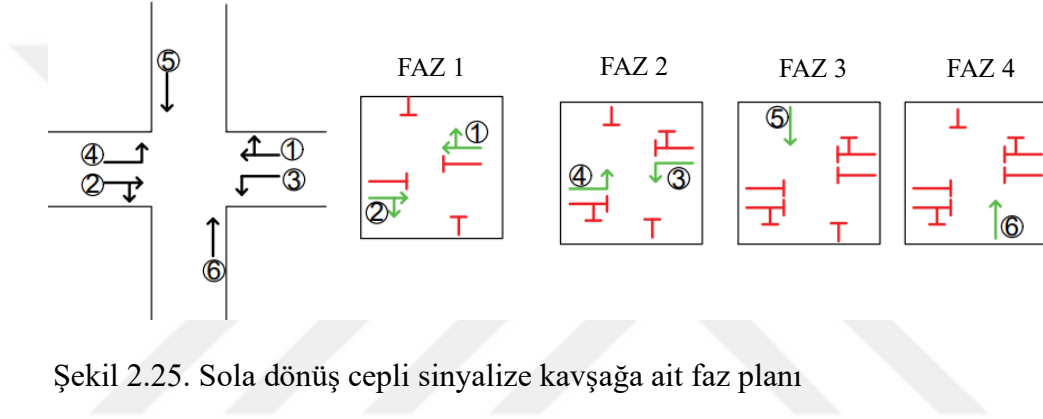
Sola dönüş cepli sinyalize kavşak tasarımında, doğu ve batı yaklaşım kollarına 3,50 m genişliğinde üç şerit ile 3,50 m genişliğinde bir sola dönüş şeridi yerleştirilmiştir. Kuzey ve güney yaklaşım kollarında 3,50 m genişlikte iki şerit bulunmaktadır.

Sola dönüş cebi, sola dönüş oranının fazla olduğu yaklaşım kollarında uygulanır ve sadece sola dönecek olan taşıtlar tarafından kullanılmaktadır. HCM yöntemine göre, sola dönen trafik hacminin en az 100 ta/sa olması durumunda tek şeritli sola dönüş şeridi, en az 300 ta/sa olması durumunda çift şeritli sola dönüş şeridi kullanılmalıdır.

Terminal Kavşağı'nın doğu yaklaşım kolunda yaklaşık %19, batı yaklaşım kolunda ise yaklaşık %12 oranında sola dönüş hareketi yapılmaktadır. Kollarda sola dönen taşıtlar için özel bir şeridin olmaması, aynı yaklaşım kolunda hareketine düz devam edecek olan taşıtların hareketini engellemekte ve gecikmelerde artışa sebep olmaktadır. Dolayısıyla kavşaktan belirli bir mesafe öncesinde gerekli yatay işaretlemeler uygulanarak taşıtlar kendi şeritlerine yönlendirilmelidir. Sola dönüş şeridinin yetersiz uzunlukta olması halinde sola dönecek olan taşıtların oluşturduğu kuyruk zamanla artacak ve yanındaki şeritten başlayarak diğer şeritlerdeki trafik akımını bozacaktır. Ayrıca sola dönüşler için ayrılan şeritlerin fiziki bir engelle ayrılmadığı durumlarda, sola dönmek isteyen ancak sola dönüş şeridine girmeyen taşıtlar, sola dönüş için yeşil ışığın yanmasıyla birlikte dönüş hareketi yapmaya çalışmakta ve diğer taşıtlarla kafa kafaya ya da yandan çarpışmaya sebep olmaktadır. Bu problemin önüne geçebilmek için Şekil 2.24 ile gösterildiği üzere, sola dönüş cebi diğer şeritlerden tamamen ayrılmıştır. Ana yollarda karşılıklı sola dönecek olan taşıtlar, aynı fazda geçiş hakkı almalarına rağmen hareketlerinin kesişmeyeceği şekilde tasarlanmıştır. Şekil 2.25 ile sola dönüş cepli sinyalize kavşak tasarımı için oluşturulan faz planı gösterilmektedir. Fazlara ait süreler Tablo 2.13 verilmektedir.



Şekil 2.24. Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşağına ait benzetim yazılımı görüntüsü



Şekil 2.25. Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşağına ait faz planı

Tablo 2.13. Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak tasarımına ait sinyal süreleri

Devre Süresi (sn)	Faz Numarası	Yeşil Süre (sn)	Sarı Süre (sn)	Sarı + Kırmızı Süre (sn)	Hep Kırmızı (sn)
75	1	25	2	2	1
	2	15	2	2	1
	3	7	2	2	1
	4	8	2	2	1
90	1	30	2	2	1
	2	20	2	2	1
	3	10	2	2	1
	4	10	2	2	1
105	1	35	2	2	1
	2	25	2	2	1
	3	12	2	2	1
	4	13	2	2	1
120	1	40	2	2	1
	2	30	2	2	1
	3	15	2	2	1
	4	15	2	2	1

Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşağına ait performans sonuçları Tablo 2.14 ile gösterilmiştir. Mevcut durum ve sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak performans sonuçlarının karşılaştırıldığı durum Tablo 2.15 ile verilmiştir.

Tablo 2.14. Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşağına ait performans sonuçları

Devre Süresi (sn)	75	90	105	120
Ort. kuyruk uzunluğu(m)	20,27	18,26	18,64	19,42
Hizmet düzeyi	D	D	D	D
Ort. taşıt gecikmesi (sn)	36,06	39,58	40,41	42,37
Durma gecikmesi (sn)	26,92	30,45	31,64	33,84
CO emisyonu (gram)	6128,69	6404,97	6089,90	6276,21
NO _x emisyonu (gram)	1192,42	1246,17	1184,87	1221,12
VOC emisyonu (gram)	1420,38	1484,41	1411,39	1454,57
Yakıt tüketimi (lt)	330,90	345,90	328,80	338,90
Ort. hız (km/s)	19,88	20,89	20,55	19,93

Tablo 2.15. Mevcut durum ve sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak performans sonuçlarının karşılaştırılması

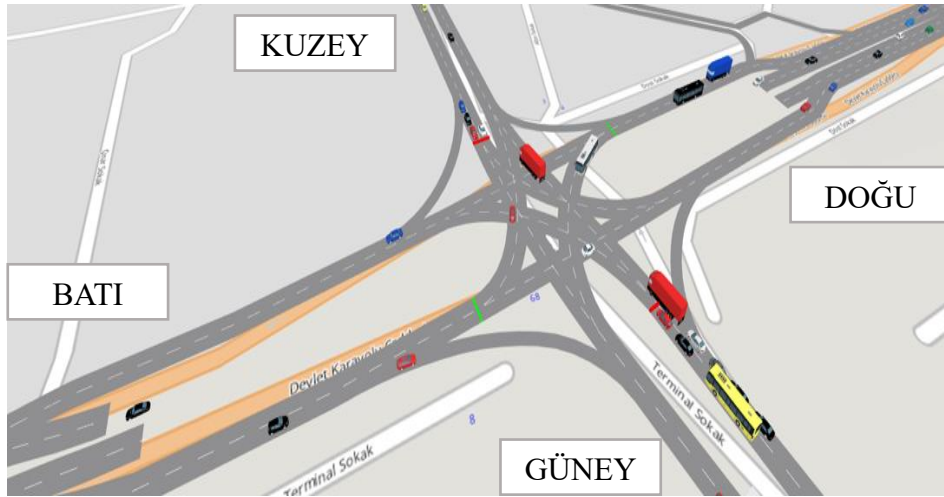
Devre süresi: 90 sn	Ort. Taşıt gecikmesi (sn)	Ort. Kuyruk uzunluğu (m)	Hizmet Düzeyi	Ort. Hız (km/sa)	Yakıt Tüketimi (lt)
Mevcut durum	85,98	63,57	F	12,68	527,87
Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak	39,58	18,26	D	20,89	345,90
Değişim (%)	-53,96	-71,27		+64,74	-34,36

Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak tasarımında, devre süresinin artmasıyla birlikte ortalama taşıt gecikmelerinde az da olsa artış görülmektedir. Tüm devre sürelerinde hizmet düzeyi D'dir. Mevcut durumla karşılaştırıldığında hizmet düzeyinin F'den D'ye yükseldiği ve ortalama taşıt gecikmelerinin yaklaşık %54 oranında azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Büyük ölçüde iyileşme görülen diğer parametre ise ortalama kuyruk uzunluğudur. Mevcut

durumda 63,57 m olan kuyruk uzunluğu, sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak tasarımında yaklaşık %71 oranında azalmıştır. Sola dönüş cepli sinyalizasyon kavşak tasarımının, sinyalizasyon kavşak ve sinyalizasyon dönel kavşak tasarımından daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.

2.2.4. Taşıt Alt Geçidi Tasarımı

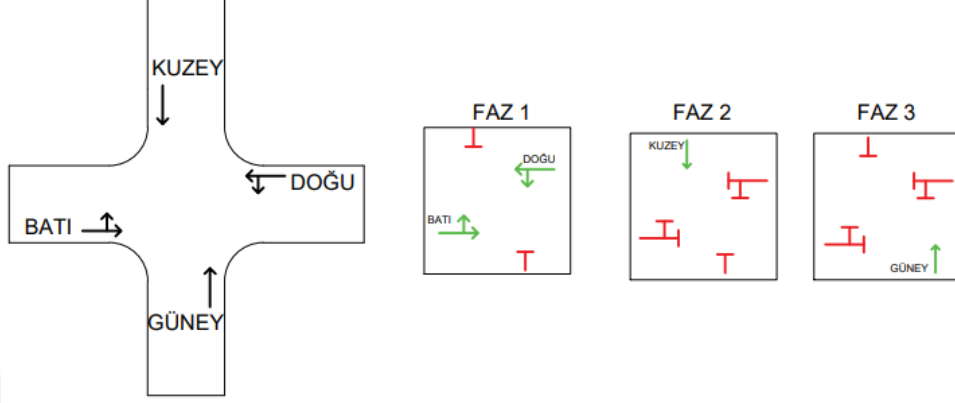
Taşıt altgeçidi tasarımı, trafik sıkışıklığının çok fazla olduğu ve hemzemin kavşakların yetersiz kaldığı durumlarda yapılmaktadır. Taşıt altgeçidi olarak tasarlanan modelde, doğu ve batı yaklaşım kollarında 3.00 metre genişliğinde dört şerit bulunmaktadır. Dört şeritten ikisi, altgeçide bağlanmakta ve sadece düz giden taşıtlar tarafından kullanılmaktadır. Diğer iki şerit ise kavşağa bağlanmakta ve sağa-sola dönen taşıtlar ile düz giden taşıtlar tarafından kullanılmaktadır. Kuzey ve güney yaklaşım kollarında 3.00 metre genişliğinde iki şerit bulunmaktadır. Tüm yaklaşım kollarında sağa dönüşler ayırıcı ada ile ayrılmıştır. Taşıt altgeçidine ait benzetim yazılımı görüntüsü Şekil 2.26 ile verilmiştir.



Şekil 2.26. Taşıt altgeçidi tasarımına ait benzetim yazılımı görüntüsü

Analizlerde, doğu ve batı yaklaşım kollarında düz gitmek isteyen taşıtların %80'inin altgeçidi kullanacağı, %20 sinin ise kavşağı kullanacağı varsayımı yapılmıştır. Şekil 2.27 ile verilen faz planında görülebileceği üzere, 1. fazda doğu ve batı yaklaşım kollarında düz giden ve sola dönen taşıtlara geçiş hakkı verilmiştir. 2. fazda kuzey yaklaşım koluna, 3.

fazda ise güney yaklaşım koluna geçiş hakkı verilmiştir. Tablo 2.16 ile devre süreleri ve fazlara ait yeşil süreler gösterilmektedir.



Şekil 2.27. Taşıt altgeçitli duruma ait faz planı

Tablo 2.16. Taşıt altgeçitli duruma ait faz süreleri

Devre Süresi (sn)	Faz Numarası	Yeşil Süre (sn)	Sarı Süre (sn)	Sarı + Kırmızı Süre (sn)	Hep kırmızı
75	1	30	2	2	1
	2	15	2	2	1
	3	15	2	2	1
90	1	35	2	2	1
	2	20	2	2	1
	3	20	2	2	1
105	1	40	2	2	1
	2	25	2	2	1
	3	25	2	2	1
120	1	45	2	2	1
	2	30	2	2	1
	3	30	2	2	1

Taşıt altgeçidi tasarımına ait performans sonuçları Tablo 2.17 ile gösterilmektedir. Mevcut durum ve taşıt altgeçitli kavşak performans sonuçlarının karşılaştırıldığı durum Tablo 2.18 ile verilmiştir.

Tablo 2.17. Taşıt altgeçidi tasarımına ait performans sonuçları

Devre Süresi (sn)	75	90	105	120
Ort. Kuyruk Uzunluğu(m)	2,86	3,87	4,80	5,93
Hizmet Düzeyi	A	B	B	B
Ort. Taşıt Gecikmesi (sn)	9,52	12,25	15,90	19,31
Durma Gecikmesi (sn)	5,63	7,99	10,99	13,73
CO Emisyonu (gram)	3645,48	4027,33	4903,33	5475,14
NOx Emisyonu (gram)	709,28	783,57	954,01	1065,26
VOC Emisyonu (gram)	844,88	933,37	1136,39	1268,92
Yakıt Tüketimi (lt)	196,40	217,10	264,60	295,50
Ort. Hız (km/s)	39,85	37,49	34,90	32,64

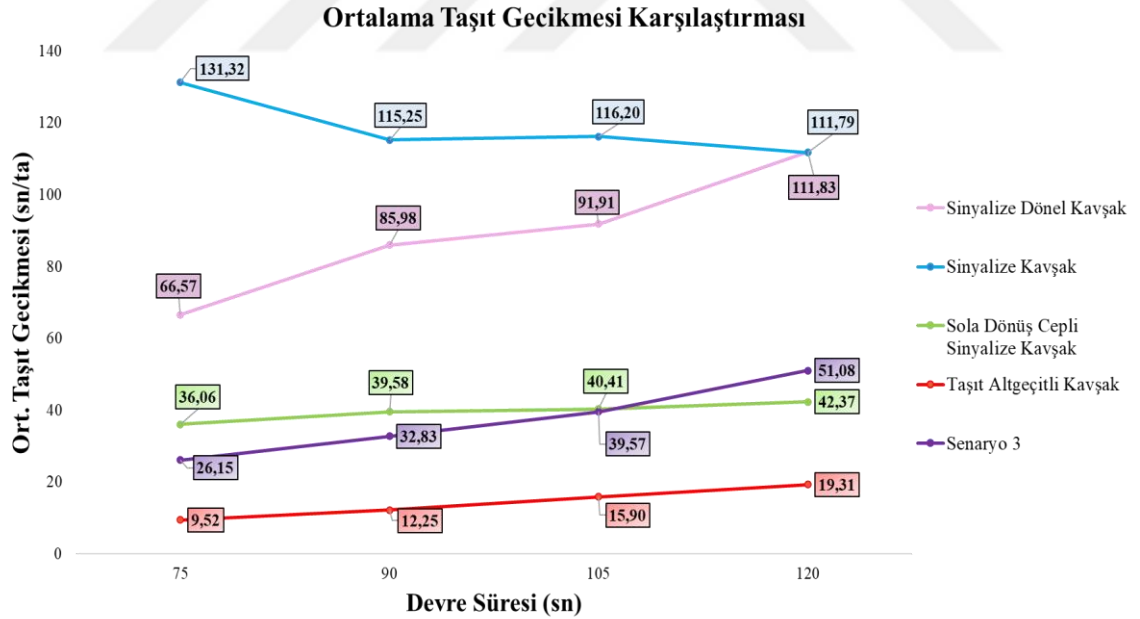
Tablo 2.18. Mevcut durum ve taşıt altgeçitli kavşak performans sonuçlarının karşılaştırılması

Devre süresi: 90 sn	Ort. Taşıt gecikmesi (sn)	Ort. Kuyruk uzunluğu (m)	Hizmet Düzeyi	Ort. Hız (km/sa)	Yakıt Tüketimi (lt)
Mevcut durum	85,98	63,57	F	12,68	527,87
Taşıt altgeçitli kavşak	12,25	3,87	B	37,49	217,10
Değişim (%)	-85,75	-93,90		+195,00	-58,80

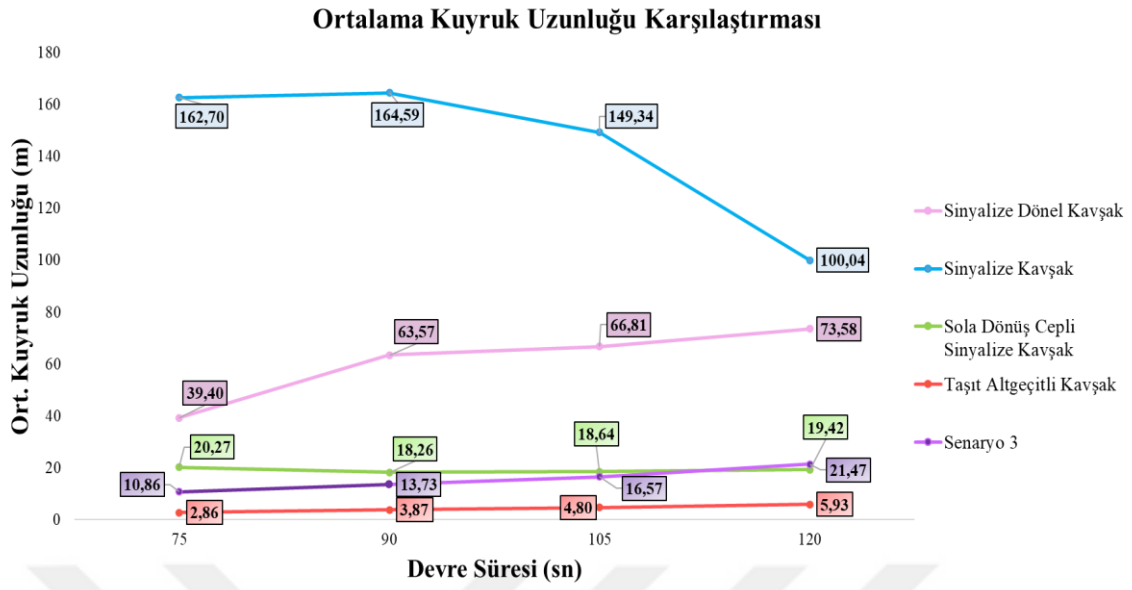
Kavşağın taşıt altgeçitli olarak tasarlanması diğer kavşak tiplerine göre oldukça iyi bir performans göstermektedir. Devre süresinin artmasıyla birlikte ortalama taşıt gecikmeleri, ortalama kuyruk uzunlukları artmaktadır. Bu durumun sebebi, devre süresindeki artışla birlikte yeşil sürelerin de artmasının yanı sıra, aynı faz da yer almayıp, hareket etmek için bir sonraki fazı bekleyen taşıtların bekleme süresinin de artmasıdır. Taşıt altgeçitli durum analizinde, düz giden taşıtların %80'inin altgeçidi kullanacağı kabulü yapıldığı için kırmızı ve sarı sürelerden etkilenen taşıt sayısı oldukça düşüktür. Sonuç olarak, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmeleri diğer kavşak tiplerine göre daha azdır. Ancak kavşağın altgeçitli olarak tasarlanması kavşak performansı açısından her ne kadar iyi sonuç verse de maliyeti yüksek bir tasarımdır.

Taşıt altgeçidi maliyetinin hesabında, Trabzon ilinde yapılan ve Kamu İhale Kurumu arşivinde 2018/644560 sayılı ihaleye ilişkin bilgiler kullanılmış, ihale bedelinin günümüze uyarlanmasında “20.12.2018 Günü saat 15:30’ da Belirlenen Gösterge Niteliğindeki Merkez Bankası Kurları” ile belirlenen 1 Amerikan Doları (USD)” nın “20.12.2022 Günü saat 15:30’ da Belirlenen Gösterge Niteliğindeki Merkez Bankası Kurları” ile belirlenen 1 Amerikan Doları (USD)”na oranı esas alınmıştır. Buna göre, yaklaşık 250 m uzunluktaki taşıt altgeçidi tasarım maliyeti yaklaşık olarak 390.000.000 Türk Lirası olarak bulunmuştur. Taşıt altgeçitli tasarımın performans ölçütlerinde büyük iyileşme görülmüştür. Ancak bu tasarımın alan gereksinimleri fazla ve ilk yatırım maliyetinin oldukça pahalı olması sebebiyle bir önceki ve bir sonraki kavşakların da analizlere dahil edilerek oluşturulacak koridorun performans iyileşmesine göre önerilebileceği sonucuna varılmıştır.

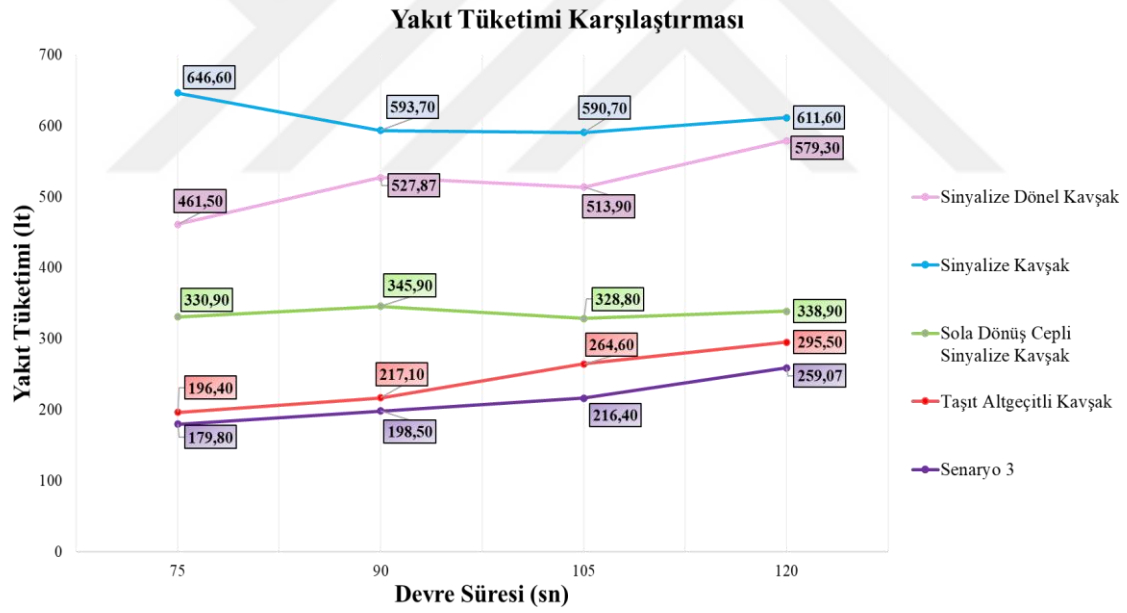
2.3. Karşılaştırma



Şekil 2.28. Ortalama taşıt gecikmeleri karşılaştırması



Şekil 2.29. Ortalama kuyruk uzunluğu karşılaştırması



Şekil 2.30. Yakıt tüketimi karşılaştırması

Tüm kavşak tiplerine ait performans sonuçları incelendiğinde, sinyalize kavşak tasarımının diğer kavşak tiplerine kıyasla ortalama taşıt gecikmeleri, ortalama kuyruk uzunlukları ve yakıt tüketimi parametreleri için en kötü performansı gösterdiği sonucuna varılmıştır. Devre sürelerinin farklı kavşak tipleri üzerindeki etkileri incelendiğinde, Şekil 2.28 ve Şekil 2.29’da görülebileceği üzere, sinyalize kavşak tasarımında devre süresinin arttırılmasıyla birlikte ortalama taşıt gecikmeleri ve ortalama kuyruk uzunlukları azalmaktayken diğer kavşak tiplerinde arttığı görülmektedir.

Performans ölçütlerinin en iyi olduğu durum, taşıt altgeçitli tasarımda ve mevcut durumdan parklanma, durak yerleri, güney yaklaşım kolunun kaldırıldığı durumu belirten Senaryo 3’te elde edilmiştir. Sola dönüş cepli sinyalize kavşak ve taşıt altgeçitli kavşak tasarımı, diğer tasarımlara kıyasla devre sürelerindeki değişiklikten daha az etkilenmektedir. Şekil 2.30’da görülebileceği üzere aynı devre süresinde işletilirken en fazla yakıt tüketimine sebep olan tasarım sinyalize kavşak tasarımıdır. Devre süresinin arttırılmasıyla taşıt altgeçitli kavşaklarda yakıt tüketimi sürekli artmaktayken diğer kavşak tiplerinde farklı devre sürelerine göre azalıp artmaktadır.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sinyalize dönel kavşak olarak yönetilmekte olan Terminal Kavşağı; sola dönüş cepli sinyalize kavşak, taşıt altgeçitli kavşak ve sinyalize kavşak olarak tasarlanmıştır. Her bir tasarım; 75 sn, 90 sn, 105 sn ve 120 sn devre süreleriyle analiz edilmiştir. Bununla birlikte parklanma, otobüs durakları ve kavşağı şehirler arası terminale bağlayan güney yaklaşım kolunun kavşak üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Mevcut durumda sinyalize dönel kavşak olarak işletilmekte olan Terminal kavşağı yeterli performansı gösterememektedir. Sinyalize dönel kavşak tasarımı, ele alınan kavşak için uygun değildir.
- Kavşak girişinde bulunan durakların, parklanmanın ve özellikle Güney yaklaşım kolundaki trafiğin kavşak performansı üzerindeki etkisi oldukça büyüktür.
- Sinyalize kavşak tasarımı, taşıt gecikmelerinde ve kuyruk uzunluklarında yüksek değerlere sahip olduğu için önerilmemektedir. Bu tasarımda tüm devre süreleri için hizmet düzeyi F’de kalmıştır.
- Sola dönüş cepli sinyalize kavşak tasarımında ortalama taşıt gecikmelerinde yaklaşık %54 oranında, ortalama kuyruk uzunluklarında ise yaklaşık %71 oranında azalma görülmüştür. Mevcut durumda F olan hizmet düzeyi D’ye yükselmiştir.
- Yapılacak 250 m uzunluğundaki altgeçitli uygulamanın maliyeti 390.000.000 TL olarak hesaplanmış olup bu tasarımın şu an itibarıyla pahalı olması sebebiyle kendinden önceki ve sonraki kavşaklarla birlikte performans analizinin yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Taşıt altgeçit tasarımı, trafik açısından en uygun tasarım olarak karşımıza çıkmıştır. Şehirlerarası Terminal’in taşınacağı gerçeğinden hareketle, bir müddet mevcut önerilerden biri olan sola dönüş cepli sinyalize kavşak tasarımı dikkate alınarak uygulama yapılabileceği önerilebilir.

Çalışma kapsamında ele alınan kavşağın performansını arttırmak için;

- Çalışma alanı daha fazla genişletilebilir. Karadeniz Sahil Yolu kesimi eklenip katılım/ayrılma denetimi; bununla birlikte, çalışılan kavşağa yaklaşım kolları/kavşakları da eklenerek uyarlamalı trafik denetim çözümleri irdelenebilir.
- Emisyon tabanlı sinyalizasyon çözümü yapılarak çalışma alanındaki taşıt kaynaklı hava kirliliği azaltılabilir. Buna ek olarak; çalışma alanı genişletilip “Düşük Emisyon Zonu” kavramı, kavşağa yaklaşım kollarını da hesaba katarak, Trabzon şehri için uygulanabilir.
- Trabzon Limanı, Rize ve Artvin Limanlarının lojistik üs olduğu kabulü ile yola çıkılarak, bahsi geçen limanlara –özellikle Trabzon Limanı- yaklaşım kollarındaki trafik koridorları sinyalizasyon açısından irdelenebilir.
- Uyarlamalı, geri beslemeli, model öngörülü denetim yaklaşımları geliştirilerek çalışma alanındaki kavşak sinyalizasyonuna bütünleştirilebilir.
- Kırmızı ışık alan akımlar, kavşakta herhangi bir taşıt bulunmaması durumunda dahi bekletilmektedir. Bu noktada adaptif trafik kontrol sistemleri kullanılabilir ya da günün farklı saatlerinde farklı sinyal süreleri ve faz planları uygulanabilir.
- Otobüs hatları için özel bir şerit tahsis edilebilir.

4. KAYNAKLAR

- Aakre, E. ve Aakre, A., 2017. Simulating Transit Priority: Continuous Median Lane Roundabouts, Procedia Computer Science, 109, 849-854.
- Akçelik, R., 2004. Roundabouts with Unbalanced Flow Patterns, in ITE Annual Meeting, 41.
- Akçelik, R., 2005. Capacity of Performance Analysis of Roundabout Metering Signals, in TRB National Roundabout Conference, Vail, Colorado, 1-19.
- Akçelik, R., 2006. Operating Cost, Fuel Consumption and Pollutant Emission Savings at a Roundabout with Metering Signals, in Research into Practice: 22nd ARRB Conference ARRB.
- Al-Masaeid, H. R. ve Faddah, M. Z., 1997. Capacity of Roundabouts in Jordan, Transportation Research Record, 1572, 1, 76-85.
- Al-Madani, H. M. N., 2013. Capacity of Large Dual and Triple-Lanes Roundabouts During Heavy Demand Conditions, Arabian Journal for Science and Engineering, 38, 491-505.
- Al-Omari, B. H., Al-Masaeid, H. R. ve Al-Shawabkah, Y. S., 2004. Development of a Delay Model for Roundabouts in Jordan, Journal of Transportation Engineering, 130, 1, 76-82.
- Bai, Y., Chen , W. ve Xue, K., 2010. Association of Signal-Controlled Method at Roundabout and Delay, International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, IEEE, 1, 816-820.
- Bapat, P., 1974. Signals on Roundabouts—A Case Study of Robin Hood Roundabout, Highway Engineer, 21, 6, 23.
- Bie, Y., Cheng, S., Easa, S. M. ve Qu, X., 2016. Stop-Line Setback at a Signalized Roundabout: A Novel Concept for Traffic, Journal of Transportation Engineering, 142,3.
- Bie, Y., Mao, C., & Yang, M., 2016. Development of Vehicle Delay and Queue Length Models for Adaptive Traffic Control at Signalized Roundabout, Procedia Engineering, 137, 141-150.
- De Brabander, B. ve Vereeck, L., 2007. Safety Effects of Roundabouts in Flanders: Signal Type, Speed Limits and Vulnerable Road Users, Accident Analysis & Prevention, 39,3,591-59.

- Çakıcı, Z. ve Murat, Y. Ş., 2015. Sinyalize Dönel Kavşakların Performanslarının Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi, 11. Ulaştırma Kongresi. İstanbul, 105, 116.
- Çakıcı, Z., & Murat, Y. Ş., 2016. Sinyalize Dönel Kavşaklar için Hesap Yöntemi Önerisi ve Performans Analizi, Teknik Dergi, 27, 4, 7569-7592.
- Çelikoğlu, H. B., 2023. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Programı, ULS520, Trafik Yönetimi Ders Notları.
- Ben-Edigbe, J., Abdelgalil, A. ve Abbaszadehfallah, I., 2012. Extent of Delay and Level of Service at Signalised Roundabout. International Journal of Engineering and Technology, 2, 3, 419-424.
- Fernandes, P., Coelho, M. C. ve Rouphail, N. M., 2017. Assessing the impact of closely-spaced intersections on traffic operations and pollutant emissions on a corridor level, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 54, 304-320.
- FHWA., 2000. Roundabouts: An Informational Guide, FHWA-RD-00-067, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Virginia.
- FHWA., 2010. Roundabouts: An Informational Guide Second Edition, ISBN 978-0-309-15511-3, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Fortuijn, L. G. H., 2014. Robustness of Roundabout Metering Systems (RMS), in Proceedings of the TRB 2014 4th International Roundabout Conference, 16-18 Nisan, USA.
- Fortuijn, L. G., 2009. Turbo Roundabouts: Design Principles and Safety Performance, Transportation Research Record, 2096, 1, 16-24.
- Friedrich, M., Pestel, E., Schiller, C. ve Simon, R., 2019. Scalable GEH: A Quality Measure for Comparing Observed and Modeled Single Values in a Travel Demand Model Validation, Transportation Research Record, 2673, 4, 722-732.
- Ghanim, M., Kharbeche, M., Hannun, J., Hannun, J. ve Shamiyeh, K., 2020. Safety and Operational Performance of Signalized Roundabouts: A Case study in Doha, Procedia Computer Science, 170, 427-433.
- Gökçe, M. A., Öner, E. ve Işık, G., 2015. Traffic Signal Optimization with Particle Swarm Optimization for Signalized Roundabouts, Simulation, 91, 5, 456-466.
- Gross, F., Lyon, C., Persaud, B. ve Srinivasan, R., 2013. Safety Effectiveness of Converting Signalized Intersections to Roundabouts, Accident Analysis & Prevention, 50, 234-241.
- Guler, S. I. ve Menendez, M., 2014. Evaluation of Presignals at Oversaturated Signalized Intersections, Transportation Research Record, 2418, 1, 11-19.

- HCM., 2010. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- Jalil , K., Xia, Y., Zahid , M. N. ve Kamal , M., 2022. Two Stop-Line Method for Modern T-Shape Roundabout: Evaluation of Capacity and Optimal Signal Cycle, Journal of Advanced Transportation, 1-14
- KGM., 2005. Karayolu Tasarım El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Khwaiss, M. ve Haddad, J., 2017. Optimal Pre-signal Control for Buses and Cars at Isolated Signalized Intersections, IFAC-PapersOnLine, 50,1, 9706-9711.
- Lu, G., Guan, F. ve Noyce, D. A., 2010. Multimodal Accessibility of Modern Roundabouts: Intelligent Management System versus Common Signalization Scheme, Transportation Research Record, 2183, 1, 103-119.
- Ma , W., Liu , Y., Head, L. ve Yan, X., 2013. Integrated Optimization of Lane Markings and Timings for Signalized Roundabouts, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 36, 307-323.
- Mandavilli, S., Rys, M. J. ve Russell, E. R., 2008. Environmental Impact of Modern Roundabouts, International Journal of Industrial Ergonomics, 38, 2, 135-142.
- Millard, R. S., 1971. Roundabouts and Signals. Traffic Engineering & Control.
- Murat, Y. Ş., Çakıcı, Z. ve Tian, Z., 2019. A Signal Timing Assignment Proposal for Urban Multi Lane Signalised Roundabouts, Grağevinar, 71, 2, 113-124.
- Murat, Y. Ş. ve Guo, R. J., 2021. Signalized Roundabouts, In International Encyclopedia of Transportation, 227-237.
- NCHRP., 1985. National Cooperative Highway Research Program Report 279: Intersection Channelization Design Guide, TRB, National Research Council, Washington, D.C.
- Osei, K. K., Adams, C. A., Ackaah, W. ve Oliver-Commey, Y., 2021. Signalization Options to Improve Capacity and Delay at Roundabouts Through Microsimulation Approach: A Case Study on Arterial Roadways in Ghana. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 8, 1, 70-82.
- Otković, I. ve Dadić, I., 2009. Comparison of Delays at Signal-controlled Intersection and Roundabout, Promet-Traffic and Transportation, 21, 3, 157-165.
- Patnaik, A. K., Rao, S., Krishna, Y. ve Bhuyan, P. K., 2017. Empirical Capacity Model for Roundabouts Under Heterogeneous Traffic Flow Conditions, Transportation Letters, 9, 3, 152-165.
- Polus, A. ve Shmueli, S., 1997. Analysis and Evaluation of the Capacity of Roundabouts, Transportation Research Record, 1572, 1, 99-104.

- Qadri, S. S. S. M., Gökçe, M. A., Öner, E. ve Gökçe, E. G., 2019. Analysis of Various Scenarios to Mitigate Congestion at a Signalized Roundabout Using Microsimulation, In 2019 innovations in intelligent systems and applications conference (ASYU), IEEE,1-6.
- Qian, H. B., Li, K. P. ve Sun, J., 2008. The Development and Enlightenment of Signalized Roundabout, International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA),IEEE, 538-542.
- Quiroga, C. A. ve Bullock, D., 1999. Measuring Control Delay at signalized intersections, Journal of Transportation Engineering, 125, 4, 271-280.
- Rashed, O. ve Imam, R., 2020. A Functional and Operational Comparison Between Signalized and Unsignalized Roundabouts, International Journal of Engineering Research and Technology, 13, 6, 1448-1454.
- Saccomanno, F. F., Cunto, F., Guido , G. ve Vitale, A., 2008. Comparing Safety at Signalized Intersections and Roundabouts Using Simulated Rear-end Conflicts, Transportation Research Record, 2078, 1, 90-95.
- Salamati, K., Roupail, N. M., Frey, H. C., Liu, B. ve Schroeder, B. J., 2015. Simplified Method for Comparing Emissions in Roundabouts and at Signalized Intersections, Transportation Research Record, 2517, 1, 48-60.
- Schroeder, B. J., Roupail, N. M. ve Hughes, R. G., 2008. Toward Roundabout Accessibility—Exploring the Operational Impact of Pedestrian Signalization Options at Modern Roundabouts, Journal of Transportation Engineering, 134, 6, 262-271.
- Shawky , M., Alsobky, A., Al Sobky , A. ve Hassan, A., 2023. Traffic Safety Assessment for Roundabout Intersections Using Drone Photography and Conflict Technique, Ain Shams Engineering Journal, 14, 6, 102115.
- Sun, X., Ma , W. ve Huang, W., 2016. Comparative Study on the Capacity of a Signalised Roundabout, IET Intelligent Transport Systems, 10, 3, 175-185.
- Sweroad, 2000. Ek-1 Kavşak Tipi Seçimi ile ilgili Olarak Önerilen Esaslar, Karayolu Tasarımı Raporu, Ankara.
- Tracza, M. ve Chodura, J., 2012. Performance and Safety of Roundabouts with Traffic Signals, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 53, 788-799.
- Troutbeck, R. J. ve Kako, S., 1999. Limited Priority Merge at Unsignalized Intersections, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 33,3-4, 291-304.
- T.S.E, 2013. Kentsel Alanlarda Otomobil Eşdeğerliği, TS6407, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- VISSIM, 2023. PTV GROUP, Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe, German.

- Webster, F. V., 1958. Traffic Signal Settings, Road Research Technical Paper, 39
- Wong, C. K. ve Wong, S. C., 2003. Lane-based Optimization of Signal Timings for Isolated Junctions, Transportation Research Part B: Methodological, 37, 1, 63-84.
- Xu, H., Zhang , K. ve Zhang, D., 2016. Multi-Level Traffic Control at Large Four-Leg Roundabouts, Journal of Advanced Transportation, 50, 6, 988-1007.
- Yang , X., Li, X. ve Xue, K., 2004. A New Traffic-Signal Control for Modern Roundabouts: Method and Application, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 5, 4, 282-287.
- Yayla, N., 2011. Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi
- Zakeri, S. ve Choupani, A., 2021. Operational Evaluation of a Throughabout to Give Priority to Public Transport at Standard Roundabouts, Journal of Advanced Transportation, 2021, 1-13.
- Zhou, L., Zhang , L. ve Liu, C. S., 2021. Comparing Roundabouts and Signalized Intersections Through Multiple Model Simulation, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23, 7, 7931-7940.

5. EKLER

Ek Tablo 1: 26.09.2022 tarihine ait trafik sayımları

Taşıt Tipi	OTOMOBİL			MİNİBÜS			KAMYONET			KAMYON			TIR			OTOBÜS			TOPLAM
Zaman Aralığı	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	
07:30-07:45	69	324	86	13	132	12	3	26	3	0	14	0	2	5	0	2	25	1	717
07:45-08:00	65	452	102	5	110	8	9	24	10	2	12	2	1	8	1	3	26	1	841
08:00-08:15	84	430	99	1	113	9	8	23	10	0	3	0	2	9	2	5	24	3	825
08:15-08:30	56	405	97	4	95	9	9	31	9	1	15	4	0	11	3	4	20	2	775
08:30-08:45	63	423	123	6	99	10	12	23	9	3	24	3	1	7	3	6	19	7	841
08:45-09:00	93	388	134	9	95	9	11	29	9	2	22	6	0	13	1	5	16	3	845
09:00-09:15	78	406	117	5	79	14	6	34	17	0	21	5	1	6	1	11	18	4	823
09:15-09:30	91	297	117	11	90	15	7	33	17	0	23	0	1	10	2	9	15	1	739
TOPLAM	599	3125	875	54	813	86	65	223	84	8	134	20	8	69	13	45	163	22	6406
16:00-16:15	87	376	128	6	75	8	9	21	15	2	22	1	2	11	5	3	14	7	792
16:15-16:30	88	371	114	3	77	12	6	27	13	0	14	3	3	9	1	1	12	5	759
16:30-16:45	90	436	118	10	67	12	8	27	9	2	3	1	2	7	1	4	12	10	819
16:45-17:00	92	383	128	8	74	17	10	23	7	1	10	1	2	8	0	2	17	5	788
17:00-17:15	103	395	108	12	69	12	10	21	8	0	13	0	0	7	1	3	19	5	786
17:15-17:30	66	419	107	8	77	12	5	20	14	0	6	0	0	4	0	4	23	4	769
17:30-17:45	76	406	110	13	66	12	7	27	10	1	5	1	0	9	1	0	24	8	776
17:45-18:00	69	401	123	8	73	13	3	27	8	0	5	0	1	10	2	0	26	3	772
TOPLAM	671	3187	936	68	578	98	58	193	84	6	78	7	10	65	11	17	147	47	6261

Ek Tablo 2: 28.09.2022 tarihine ait trafik sayımları

Taşıt Tipi	OTOMOBİL			MİNİBÜS			KAMYONET			KAMYON			TIR			OTOBÜS			TOPLAM
Zaman Aralığı	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	
07:30-07:45	44	315	79	4	135	11	4	28	6	0	12	1	1	7	2	5	35	3	692
07:45-08:00	67	406	107	3	116	6	5	25	5	1	13	0	1	6	1	6	22	0	790
08:00-08:15	65	392	119	7	116	9	2	28	5	0	12	1	3	7	3	10	24	3	806
08:15-08:30	78	435	114	6	110	11	12	26	18	1	12	1	3	11	2	2	24	3	869
08:30-08:45	82	387	126	9	100	11	12	28	15	0	16	3	3	8	1	2	21	3	827
08:45-09:00	79	402	105	6	102	16	8	34	9	0	12	1	3	15	4	7	18	4	825
09:00-09:15	67	391	118	8	88	8	8	32	8	1	9	0	2	15	1	8	17	10	791
09:15-09:30	61	362	93	7	88	14	5	36	14	1	10	1	0	13	0	6	18	4	733
TOPLAM	543	3090	861	50	855	86	56	237	80	4	96	8	16	82	14	46	179	30	6333
16:00-16:15	78	345	114	14	90	8	4	14	4	1	14	0	3	12	1	3	17	4	726
16:15-16:30	70	405	94	7	78	13	11	20	5	2	22	0	0	6	0	1	16	6	756
16:30-16:45	82	392	113	8	66	17	5	22	13	2	5	0	0	9	2	1	11	7	755
16:45-17:00	58	428	106	5	70	7	8	22	7	0	13	0	1	8	2	2	21	4	762
17:00-17:15	68	423	113	8	84	10	7	25	3	2	8	0	1	4	4	4	23	3	790
17:15-17:30	56	399	119	4	90	9	7	21	5	0	8	1	2	9	1	2	22	4	759
17:30-17:45	72	424	97	10	71	3	2	23	12	0	6	0	0	3	2	1	27	9	762
17:45-18:00	72	397	126	6	81	7	5	26	6	1	4	0	1	7	1	2	21	5	768
TOPLAM	556	3213	882	62	630	74	49	173	55	8	80	1	8	58	13	16	158	42	6078

Ek Tablo 3: 30.09.2022 tarihine ait trafik sayımları

Taşıt Tipi	OTOMOBİL			MİNİBÜS			KAMYONET			KAMYON			TIR			OTOBÜS			TOPLAM
Zaman Aralığı	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	SAĞ	DÜZ	SOL	
07:30-07:45	49	325	77	6	126	15	0	17	5	4	2	1	1	6	1	7	31	4	677
07:45-08:00	68	415	99	10	112	7	10	20	11	2	6	0	0	13	3	2	31	0	809
08:00-08:15	75	453	93	6	107	12	7	32	9	1	2	0	1	13	0	7	22	3	843
08:15-08:30	81	395	106	6	101	8	14	24	13	0	3	3	1	18	5	4	21	4	807
08:30-08:45	64	346	105	5	99	7	4	27	13	2	10	0	0	21	1	3	18	3	728
08:45-09:00	67	344	114	6	86	18	10	31	13	1	6	1	0	16	0	2	17	6	738
09:00-09:15	63	387	116	7	79	15	7	31	14	0	12	5	3	12	2	13	18	5	789
09:15-09:30	62	376	115	7	98	16	3	31	11	0	7	0	0	19	1	6	16	2	770
TOPLAM	529	3041	825	53	808	98	55	213	89	10	48	10	6	118	13	44	174	27	6161
16:00-16:15	77	363	125	10	70	14	9	11	8	0	7	0	2	20	1	2	19	10	748
16:15-16:30	86	368	115	13	90	15	7	30	4	0	11	4	2	8	3	1	17	5	779
16:30-16:45	73	400	117	12	63	9	7	27	9	1	4	2	3	1	1	3	6	9	747
16:45-17:00	74	416	133	10	55	14	7	7	7	1	4	0	1	6	2	1	17	4	759
17:00-17:15	78	394	125	9	76	10	12	14	13	1	7	0	0	7	2	3	11	6	768
17:15-17:30	65	402	99	11	83	12	4	18	8	0	15	0	0	16	2	2	31	5	773
17:30-17:45	87	393	144	9	83	12	5	24	8	1	17	0	0	12	0	0	18	9	822
17:45-18:00	70	409	124	9	66	8	8	21	10	0	6	1	0	16	2	1	26	7	784
TOPLAM	610	3145	982	83	586	94	59	152	67	4	71	7	8	86	13	13	145	55	6180

Ek Tablo 4: GEH istatistiği sonuçları

Devre Sayısı	DOĞU ÇIKIŞ			BATI ÇIKIŞ			KUZEY ÇIKIŞ			GÜNEY ÇIKIŞ		
	BENZETİM	GERÇEK	GEH	BENZETİM	GERÇEK	GEH	BENZETİM	GERÇEK	GEH	BENZETİM	GERÇEK	GEH
1	35	31	0,70	17	30	2,68	4	4	0,00	8	9	0,34
2	42	18	4,38	26	27	0,19	7	9	0,71	13	12	0,28
3	25	28	0,58	21	20	0,22	7	6	0,39	13	17	1,03
4	29	26	0,57	22	34	2,27	7	7	0,00	14	10	1,15
5	15	38	4,47	25	19	1,28	7	4	1,28	11	16	1,36
6	31	28	0,55	25	26	0,20	7	8	0,37	16	14	0,52
7	34	38	0,67	38	31	1,19	4	5	0,47	9	11	0,63
8	24	32	1,51	30	30	0,00	6	3	1,41	7	6	0,39
9	32	38	1,01	24	27	0,59	7	4	1,28	8	15	2,06
10	32	35	0,52	26	32	1,11	8	6	0,76	12	14	0,55
11	28	41	2,21	38	29	1,55	12	4	2,83	8	12	1,26
12	32	30	0,36	18	28	2,09	6	8	0,76	14	13	0,27
13	29	34	0,89	25	29	0,77	8	2	2,68	16	9	1,98
14	36	36	0,00	34	30	0,71	9	4	1,96	13	6	2,27
15	46	33	2,07	22	36	2,60	10	6	1,41	4	7	1,28
16	38	28	1,74	21	30	1,78	7	4	1,28	19	15	0,97
17	35	27	1,44	13	26	2,94	6	6	0,00	18	12	1,55
18	24	27	0,59	33	25	1,49	9	7	0,71	4	13	3,09
19	37	32	0,85	30	30	0,00	5	10	1,83	16	12	1,07
20	31	31	0,00	28	24	0,78	12	7	1,62	11	10	0,31
21	40	38	0,32	31	26	0,94	8	4	1,63	12	17	1,31
22	27	26	0,19	34	32	0,35	13	8	1,54	8	17	2,55
23	32	28	0,73	42	28	2,37	3	6	1,41	11	13	0,58
24	30	33	0,53	24	29	0,97	9	14	1,47	16	18	0,49
25	22	25	0,62	38	33	0,84	12	8	1,26	11	13	0,58
26	32	29	0,54	16	31	3,09	6	4	0,89	13	15	0,53
27	32	32	0,00	29	31	0,37	12	7	1,62	12	13	0,28
28	30	34	0,71	25	31	1,13	9	7	0,71	8	13	1,54
29	31	36	0,86	22	25	0,62	5	6	0,43	13	12	0,28
30	35	39	0,66	29	23	1,18	12	6	2,00	13	12	0,28
31	36	34	0,34	29	29	0,00	9	7	0,71	9	16	1,98
32	30	31	0,18	26	34	1,46	6	2	2,00	17	16	0,25
33	20	37	3,18	24	25	0,20	5	7	0,82	9	8	0,34
34	33	30	0,53	34	33	0,17	2	3	0,63	15	12	0,82
35	28	29	0,19	30	23	1,36	9	7	0,71	11	10	0,31
36	22	23	0,21	19	36	3,24	5	7	0,82	8	13	1,54
37	27	28	0,19	27	25	0,39	8	8	0,00	8	10	0,67
38	35	30	0,88	32	20	2,35	7	5	0,82	12	16	1,07
39	32	29	0,54	30	37	1,21	5	5	0,00	9	13	1,21
40	25	33	1,49	29	28	0,19	11	7	1,33	17	8	2,55

ÖZGEÇMİŞ

Aleyna Begüm TAŞDEMİR, lise öğrenimini Ali Fuat Kadirbeyoğlu Anadolu Lisesinde tamamladı. 2016-2020 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü' nü bitirdi. Aynı yıl içerisinde Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2021 yılında, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı'na araştırma görevlisi olarak atandı. Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.