

**MODERN DÖNEL KAVŞAKLARIN
KAPASİTE VE TRAFİK GÜVENLİĞİ
YÖNÜNDEN İNCELENMESİ**

Efkan YÜKSEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2007

ANKARA

Efkan YÜKSEL tarafından hazırlanan MODERN DÖNEL KAVŞAKLARIN KAPASİTE VE TRAFİK GÜVENLİĞİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Nihat EROĞLU

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Nail ÜNSAL

Üye : Öğr. Gör. Dr. Nihat EROĞLU (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Süleyman PAMPAL

Üye : Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kürşat ÇUBUK

Tarih : 17 / 01 / 2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Efkan YÜKSEL

**MODERN DÖNEL KAVŞAKLARIN KAPASİTE VE TRAFİK
GÜVENLİĞİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ**
(Yüksek Lisans Tezi)

Efkan YÜKSEL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2007

ÖZET

Ülkemiz yolcu ve yük taşımacılığında karayolunun yoğun olarak kullanıldığı ve karayolu ulaşımının büyük önem taşıdığı bir ülkedir. Bunun sonucu olarak da yoğun trafik kazalarının yaşandığı bir ülkedir. Ülkemizdeki trafik kazaları üzerinde yapılan istatistiksel çalışmalar şehir içindeki ölümlü ve yaralanmalı kazaların % 47'sinin ve şehir dışındaki ölümlü ve yaralanmalı kazaların ise % 37'sinin kavşaklarda meydana geldiğini göstermektedir. Avrupa ülkelerinde ise ortalama olarak karayolları üzerinde meydana gelen trafik kazalarının %27'si, toplam ölümlü kazaların ise %10'u kavşaklarda meydana gelmektedir [1,2].

Türkiye'de de tasarım ve düzenlemesi hatalı, belli standardı olmayan ve sürücülerin algılamasını güçleştiren kavşakların, karayolları üzerinde önemli kaza noktaları olduğu bilinmektedir.

Bu iki noktadan hareket ederek, yol ve kavşak kullanıcılarının temel beklenti ve ihtiyaçlarının öncelikle ortaya konulması, kapasite ve güvenlik parametrelerinin dengelenmesi, buna uygun karayolu ve özellikle kavşak altyapısının oluşturulması, hem rasyonel hem de güvenlik ilkelerini yerine getiren teknik bir yaklaşım biçimidir.

Modern dönel kavşaklar kendilerine özgü yapıları nedeniyle güvenliğini artırmaktadırlar. İyi tasarlanmış bir modern dönel kavşak yüksek hızları önlemekte, çatışma sayılarının sayısını azaltmakta, hız farkları ve hız değişikliklerini azaltarak kazalardaki yönsel ve kütleli etkileri en aza indirmektedir. Geleneksel dur kontrollü ve sinyalizeli kavşaklarda dik açı ile kavşağı giriş, sola dönüş ve kafa kafaya çarpışma tipleri yaygın olan çarpışma tipleridir. Bu tip çarpışma tiplerinde direkt olarak ve yüksek hızla kavşağı girildiğı için çarpışma şiddeti yüksek olmaktadır. Modern dönel kavşaklarda bu tip ciddi çarpışma tipleri tüm araçlar aynı yönde seyahat ettiğı için büyük oranda elimine edilmektedir. Sinyalizeli ve kontrolsüz kavşakların modern dönel kavşaklara dönüştürülmesi ile kavşaklara giriş hızı düşürülmekte; sürücülerin hız yapması ve kırmızı ışıktaki ani duruşları engellenmekte olduğu için muhtemel çarpışmaların şiddeti azaltılmaktadır.

Bu tez çalışması genel olarak modern dönel kavşakların kapasite ve güvenlik parametrelerini esas alan karar verme sürecini değerlendirmektedir.

Bilim Kodu : 911.1.134
Anahtar Kelimeler : Modern Dönel Kavşaklar
Sayfa Adedi : 154
Tez Yöneticisi : Dr. Nihat EROĞLU

**THE INVESTIGATION OF ROUNDABOUTS
IN TERMS OF CAPACITY AND TRAFFIC SAFETY**

(M.Sc. Thesis)

Efkan YÜKSEL

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2007

ABSTRACT

In our country, passenger and freight transportation have been realized by road transportation heavily. As a natural result of unbalanced transportation and heavy traffic burden of road infrastructure, traffic accidents frequently occurred on road. According to the conclusions of statistical studies, % 47 of injury and fatality accidents on urban roads and %37 of rural roads happened at intersections. In European country % 27 of road accidents and % 10 of total fatal traffic accidents occur at the intersections [1,2].

Improperly designed intersections and intersections which are not regulated to function safely without specific standards constitute the black spots in Turkey.

From these two points it can be inferred that first of all, the definition of basic needs and demands of highway and intersection users, the balancing of capacity and safety parameters, the formation of highway and intersection infrastructure suitable for this balance are the reasonable technical approaches to traffic safety.

Several features of roundabouts promote safety. A good designed roundabouts prevents high driving speeds, reduced the number of conflicts and decreases

speed differences and variations in effect caused by mass and direction. At traditional intersections with stop signs or traffic signals, some of the most common types of crashes are right-angle, left-turn, and head-on . These types of collisions can be severe because vehicles may be traveling through the intersection at high speeds. With roundabouts, these types of potentially serious crashes essentially are eliminated because vehicles travel in the same direction. Installing roundabouts in place of traffic signals and non control intersections can also reduce the likelihood of rear-end crashes and their severity by removing the incentive for drivers to speed up as they approach green lights and by reducing abrupt stops at red lights.

This thesis study examines decision making process in designing and maintenance of roundabouts the traffic and safety parameters of these structures.

Science Code : 911.1.134

Key Words : Modern Roundabouts

Page Number: 154

Adviser : Dr. Nihat EROĞLU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Dr. Nihat EROĞLU'na yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Yrd. Doç. Dr. Kürşat ÇUBUK'a ve yapmış oldukları yardımlarıyla beni yalnız bırakmayan başta Sn. Kenan KAYACI olmak üzere Sn. Orhan YÜCE , Sn. Nefise GÜL, Sn. Münevver ERTEKİN , Sn. A. Serhat KALAYCI, ve Karayolları Genel Müdürlüğü'nde görevli tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. MODERN DÖNEL KAVŞAKLARIN TANIMI VE GEOMETRİK ELEMANLAR.....	2
2.1. Modern Dönel Kavşakların Genel Tanımı.....	2
2.2. Karakteristikleri	3
2.3. İşleyiş	3
2.3.1. Sağa dönüş	3
2.3.2. Düz-ileri.....	4
2.3.3. Sola dönüş ve U - dönüşü	5
2.4. Modern Dönel Kavşakların Geometrik Yapısı.....	5
2.5. Anahtar Boyutlar.....	6
2.6. Modern Dönel Kavşak Tipleri.....	7
2.6.1. Mini dönel kavşaklar.....	8
2.6.2. Kentsel kompakt dönel kavşaklar.....	9
2.6.3. Kentsel tek şeritli dönel kavşaklar.....	10

Sayfa

2.6.4. Kentsel çift şeritli dönel kavşaklar.....	11
2.6.5. Kırsal tek şeritli dönel kavşaklar.....	12
2.6.6. Kırsal çift şeritli dönel kavşaklar.....	13
2.7 Dönel Kavşak Tiplerinin Karşılaştırılması.....	14
3. İŞLETME VE KAPASİTE	15
3.1. Dönel Kavşaklardaki Trafik Operasyonları.....	16
3.1.1. Sürücü davranışı ve geometrik elemanlar.....	16
3.1.2. Dönel kavşak kapasite kavramı.....	17
3.2. Veri Gereksinimleri.....	18
3.3. Kapasite.....	20
3.3.1. İngiliz yöntemiyle kapasite hesabı.....	21
3.3.2. İsviçre yöntemiyle kapasite hesabı	35
3.4. Modern dönel ve sinyalize kavşakların kapasite yönünden karşılaştırılması	37
3.4.1. Modern dönel kavşakların kapasitesi.....	38
3.4.2. Sinyalize kavşakların kapasitesi.....	41
3.4.3. Kapasitelerin karşılaştırılması	42
3.4.4. Değerlendirmeler.....	51
4. GÜVENLİK.....	53
4.1. Giriş.....	53
4.2. Çatışmalar	56
4.2.1. Taşıt çatışmaları	57

	Sayfa
4.2.2. Yaya çatışmaları	62
4.2.3. Bisiklet çatışmaları.....	65
4.3. Kaza istatistikleri	66
4.3.1. Modern dönel kavşakların önceki ve sonraki durumlarının karşılaştırılması	67
4.3.2. Kaza tipleri	72
4.3.3. Yayalar	75
4.4. Görme engelli yayalar için kavşak kullanımı	77
4.5. Bisikletler	78
5. KAZA TAHMİN MODELLERİ	82
6. GEOMETRİK TASARIM	88
6.1. Geometrik Elemanlar.....	88
6.2. Genel Tasarım Prensipleri.....	88
6.2.1. Dönel kavşak içindeki hızlar.....	90
6.2.2. Tasarım aracı.....	100
6.2.3. Motorize olmayan tasarım kullanıcıları	101
6.2.4. Yaklaşım ve giriş alıymanı.....	102
6.3. Geometrik Elemanlar.....	103
6.3.1. İç çember çapı.....	103
6.3.2. Giriş genişliği.....	104
6.3.3. Sirkülasyon yolu genişliği	106
6.3.4. Merkez ada	108
6.3.5. Giriş kurpları.....	109
6.3.6. Çıkış kurpları.....	111

	Sayfa
6.3.7. Yaya geçitleri.....	113
6.3.8. Ayırıcı adalar.....	114
6.3.9. Duruş - görüş mesafesi.....	116
6.3.10. Kavşak görüş mesafesi.....	118
6.3.11. Düşey güzergah tasarımı	121
6.3.12. Bisiklet yolları.....	122
6.3.13. Kaldırımlar	124
6.3.14. Park yerleri ve otobüs durakları.....	124
6.3.15. Sağa dönüş bypass şeritleri.....	124
6.4. İki Şeritli Dönel Kavşaklar.....	127
6.4.1. Doğal taşıt yolu.....	128
6.4.2. Şerit ihlali.....	129
6.4.3. Şerit ihlalini önleyici tasarım metodu.....	130
6.5. Kırsal Dönel Kavşaklar.....	133
6.5.1. Görünürlük.....	133
6.5.2. Kenar taşları.....	133
6.5.3. Ayırıcı adalar.....	134
6.5.4. Yaklaşım kurpları.....	135
6.6. Mini Dönel Kavşaklar.....	136
7. MODERN DÖNEL KAVŞAKLARIN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI	138
7.1. Avantajları.....	138
7.2. Dezavantajları.....	139

Sayfa

8. TÜRKİYEDE MODERN DÖNEL KAVŞAK UYGULAMALARI	140
8.1. Karakoçan ve Başpınar Kavşakları	140
8.2. Avrupa Birliği Projesi Kapsamında 2007 Yılında İyileştirilmesi Düşünülen Kaza Kara Noktaları ve Kaza Potansiyeli Yüksek yerler.....	146
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	150
KAYNAKLAR.....	152
ÖZGEÇMİŞ.....	154

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Modern dönel kavşakların temel tasarım elemanlarının karşılaştırılması.....	15
Çizelge 3.1. Binek taşıt eşdeğerleri	18
Çizelge 3.2. Kısa şeritler için kapasite faktörleri.....	27
Çizelge 3.3. Modern dönel kavşaklarda servis seviyesi.....	35
Çizelge 4.1. ABD’de modern dönel kavşak haline getirilen 33 kavşaktaki ortalama kaza azalmaları.....	67
Çizelge 4.2. Fransa’da 83 kavşakta yapılan kaza istatistikleri.....	68
Çizelge 4.3. Kaza sıklığı ve dış çember çapı arasındaki ilişki.....	68
Çizelge 4.4. Avustralya’da 230 kavşakta yapılan kaza istatistikleri.....	69
Çizelge 4.5. Değişik ülkelerdeki ortalama kaza azalmaları.....	70
Çizelge 4.6. Dönel kavşaklar daki başlıca kaza çeşitlerinin yüzdeleri.....	71
Çizelge 4.7. Modern dönel kavşaklarda kaza tiplerinin karşılaştırılması.....	73
Çizelge 4.8. İngiltere’de dönel kavşaklarda ve sinyalize kavşaklarda yayalar için kaza yüzdeleri.....	76
Çizelge 4.9. Hollanda’da 181 dönel kavşakta çeşitli ulaşım tiplerine göre kaza sayısındaki yüzdelik azalma.....	77
Çizelge 4.10.Dönel kavşaklarda ve sinyalize kavşaklarda motorsiklet ve bisiklet sürücüleri için kaza yüzdeleri	79
Çizelge 4.11.Fransa’da sinyalize ve dönel kavşaklardaki kazaların karşılaştırılması.....	80
Çizelge 6.1. Tavsiye edilen maksimum giriş tasarım hızları.....	92
Çizelge 6.2. Çeşitli hızlarda yanal sürtünme faktörleri.....	96
Çizelge 6.3. Yaklaşık R_4 değerleri ve bunlara karşılık gelen R_1 değerleri.....	99

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.4. Tasarım araçlarının sirkülasyon yolunda ihtiyaç duydukları genişlik	101
Çizelge 6.5. Motorize olmayan tasarım kullanıcıları için çeşitli boyutlar.....	102
Çizelge 6.6. İki şeritli dönel kavşaklar için min. sirkülasyon yolu genişlikleri	108
Çizelge 6.7. Duruş-görüş mesafesi için tasarım değerleri.....	116
Çizelge 6.8. Kavşak görüş üçgeni için zıt kol uzunlukları.....	120
Çizelge 8.1. Karakoçan kavşağı kaza istatistikleri.....	143
Çizelge 8.2. Başpınar kavşağı kaza istatistikleri.....	144
Çizelge 8.3. AB Projesi kapsamında 2007 yılında iyileştirilmesi düşünülen kaza kara noktaları ve kaza potansiyeli yüksek yerler.....	147

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Trafiğin doğrultusunda sapma sağlanması	3
Şekil 2.2. Modern dönel kavşaklarda sağa dönüş.....	4
Şekil 2.3. Modern dönel kavşaklarda düz-ileri hareketler.....	4
Şekil 2.4. Modern dönel kavşaklarda sola dönüş ve U- dönüşü.....	5
Şekil 2.5. Temel modern dönel kavşak elemanları	5
Şekil 2.6. Modern dönel kavşakların geometrik elemanları.....	7
Şekil 2.7. Mini dönel kavşak.....	9
Şekil 2.8. Kentsel kompakt dönel kavşak.....	10
Şekil 2.9. Kentsel tek şeritli dönel kavşak.....	11
Şekil 2.10. Kentsel çift şeritli dönel kavşak.....	12
Şekil 2.11. Kırsal tek şeritli dönel kavşak.....	13
Şekil 2.12. Kırsal çift şeritli dönel kavşak.....	14
Şekil 3.1. Dönel kavşaktaki trafik akımları	19
Şekil 3.2. Geometrik tasarım elemanları.....	23
Şekil 3.3. Efektif genişleme uzunluğu	23
Şekil 3.4. Giriş açısı	24
Şekil 3.5. Tek şeritli bir dönel kavşaktaki yaklaşım kapasitesi	25
Şekil 3.6. İki şeritli bir dönel kavşakta yaklaşım kapasitesi	26
Şekil 3.7. Girişte kısa şerit.....	27
Şekil 3.8. Tek ve iki şeritli dönel kavşak kapasitelerinin karşılaştırılması.....	28
Şekil 3.9. Yayaların öncelikli olduğu kabulüne dayanan tek şeritli dönel kavşaklar için kapasite azaltım faktörü, M	29

Şekil	Sayfa
Şekil 3.10. Yayaların öncelikli olduğu kabulüne dayanan iki şeritli dönel kavşaklar için kapasite azaltım faktörü, M.....	29
Şekil 3.11. Kapasite ve giriş akımına göre kontrol gecikmesi.....	31
Şekil 3.12.Yüzde 95’lik kuyruk boyu tahmini	34
Şekil 3.13. Kapasite faktörleri	36
Şekil 3.14. α ve L_{ba} arasındaki ilişki	37
Şekil 3.14. Dönel kavşaktaki trafik akımları	39
Şekil 3.15. Mini dönel ve sinyalize kavşakların tasarımı	43
Şekil 3.16. Mini sinyalize kavşaklar için faz tasarımı.....	44
Şekil 3.17. Küçük dönel ve sinyalize kavşakların tasarımı	45
Şekil 3.18. Küçük sinyalize kavşaklar için faz tasarımları.....	45
Şekil 3.18. Küçük dönel ve sinyalize kavşağın kapasite yönünden karşılaştırılması.....	46
Şekil 3.19. Orta büyüklükteki dönel ve sinyalize kavşakların tasarımı	47
Şekil 3.20. Orta büyüklükteki sinyalize kavşaklar için faz tasarımları.....	47
Şekil 3.21. Orta büyüklükteki dönel ve sinyalize kavşağın kapasite yönünden karşılaştırılması.....	48
Şekil 3.22. Büyük dönel ve sinyalize kavşakların tasarımı.....	49
Şekil 3.23. Büyük sinyalize kavşaklar için faz tasarımları.....	49
Şekil 3.24. Büyük dönel ve sinyalize kavşağın kapasite yönünden karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.1. Çarpışma hızı ile ölüm riski arasındaki ilişki	54
Şekil 4.2. Tek şeritli yaklaşıma sahip “T” kavşaklar için taşıt çatışma noktaları.....	58
Şekil 4.3.Tek şerit yaklaşımlı kavşaklar için taşıt çatışma noktalarının karşılaştırılması.....	58

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. İki şeritli dönel kavşakta yanlış çıkış şeritini kullanan “B” aracı ile “D” aracının yanlış seyretmesinden kaynaklanan çatışmalar.....	61
Şekil 4.5. İki şeritli dönel kavşaklarda yanlış dönüşten kaynaklanan çatışmalar.....	62
Şekil 4.6. Sinyalize kavşaklarda taşıt-yaya, taşıt- taşıt çatışmaları.....	63
Şekil 4.7. Tek şeritli dönel kavşaklarda taşıt- yaya çatışmaları.....	64
Şekil 4.8. Geleneksel kavşaklarda bisikletle ilgili çatışmalar (iki sola dönüş seçeneği de gösterilmektedir).....	65
Şekil 4.9. Dönel kavşaklarda bisiklet çatışmaları (iki sola dönüş seçeneği de gösterilmektedir.).....	66
Şekil 4.10. Modern dönel kavşaklarda kaza tiplerinin şekli.....	74
Şekil 6.1. Bir dönel kavşaktaki temel geometrik elemanlar.....	89
Şekil 6.2. Kentsel kompakt tasarım için örnek teorik hız profili.....	91
Şekil 6.3. Tek şeritli dönel kavşaktaki en hızlı taşıt güzergahı.....	93
Şekil 6.4. İki şeritli dönel kavşaktaki en hızlı güzergah.....	94
Şekil 6.5. Kritik sağa dönüş hareketi örneği.....	94
Şekil 6.6. Hız-yarıçap ilişkisi.....	96
Şekil 6.7. Taşıt güzergah yarıçapları.....	98
Şekil 6.8. Sağa ve sola dönen bir treylerin (WB-50) süpürdüğü yol	100
Şekil 6.9. Giriş alıynmanları	103
Şekil 6.10. Şerit eklenmesi.....	105
Şekil 6.11. Giriş genişlemesi.....	106
Şekil 6.12. Tek şeritli dönel kavşakta giriş tasarımı.....	110
Şekil 6.13. Tek şeritli dönel kavşak çıkış tasarımı.....	112
Şekil 6.14. Minimum ayırıcı ada boyutları.....	114

Şekil	Sayfa
Şekil 6.15. Örnek ayırıcı ada tasarımı.....	115
Şekil 6.16. Yaklaşım görüş mesafesi.....	117
Şekil 6.17. Sirkülasyon yolundaki görüş mesafesi.....	117
Şekil 6.18. Çıkıştaki yaya geçidine olan mesafe.....	118
Şekil 6.19. Kavşak görüş mesafesi.....	119
Şekil 6.20. Kamyon apronlu tipik kesit.....	122
Şekil 6.21. Yaya yolunun bisikletlilerle ortak kullanımı.....	123
Şekil 6.22. Kaldırım düzenlemesi.....	124
Şekil 6.23. Hızlanma şeridi ile sağlanmış, sağa dönüş bypass şeridi.....	126
Şekil 6.24. Yolver kontrollü sağa dönüş bypass şeridi.....	127
Şekil 6.25. İki şeritli dönel kavşakta çizilmiş doğal yol.....	129
Şekil 6.26. İkişeritli dönel kavşakta şerit ihlali.....	129
Şekil 6.27. İki şeritli dönel kavşaklarda giriş tasarımıyla şerit ihlallerini önleme yöntemlerinden biri.....	131
Şekil 6.28. İki şeritli dönel kavşaklarda giriş tasarımıyla şerit ihlallerini önlemek için diğer metot.....	131
Şekil 6.29. Ayırıcı ada düzenlemesi.....	134
Şekil 6.30. Yüksek hızlı kavşak yaklaşımlarında ardışık eğrilerin kullanımı.....	136
Şekil 6.31. Mini dönel kavşak örneği.....	137
Şekil 8.1. Karakoçan kavşağının önceki hali.....	140
Şekil 8.2. Karakoçan kavşağının modern dönel kavşak olarak yeni tasarımı.....	140
Şekil 8.3. Başpınar kavşağının önceki hali.....	142
Şekil 8.4. Başpınar kavşağının modern dönel kavşak olarak yeni tasarımı.....	142

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Apronlu modern dönel kavşak.....	109
Resim 6.2. Sağa dönüş bypass şeridi uygulaması.....	125
Resim 8.2. Karakoçan kavşağının modern dönel kavşak olarak inşa edilmiş hali...	141
Resim 8.1. Başpınar kavşağının modern dönel kavşak olarak inşa edilmiş hali.....	142

1. GİRİŞ

Dönel kavşaklar dairesel kavşaklar olmasına rağmen tüm dairesel kavşaklar dönel kavşak olarak adlandırılmaz. Dönel kavşaklar, özel tasarım ve trafik kontrol özelliklerine sahiptirler.

Trafik çemberlerinde kavşağa girişler dur yada sinyal kontrolleri ile yapılmakta veya giriş yapan araçlara öncelik vermek suretiyle yapılmaktadır. Yine trafik çemberlerinde ana hareketler için düz bir koridor sağlanması nedeniyle dönüş platformu içinde de yüksek hız yapılması için imkan sağlanmaktadır. Trafik çemberleri ile karşılaştırıldıklarında genelde modern dönel kavşakların en önemli özelliği kavşağa giren araçların kavşak içindeki araçlara yol vermesi ve kavşağa yaklaşım ve girişte trafik akımının doğrultusunda sapma sağlanarak giriş ve sirkülasyon hızlarının kontrol altına alınabilmesidir.

Genel olarak ülkemizde kullanılmakta olan trafik çemberleri ve kesintili dönel kavşaklardan ayırt edebilmek için bu tez çalışmasındaki tasarım esaslarına uygun olarak tasarlanan dönel kavşaklar için modern dönel kavşak tanımı yapılmaktadır.

Tasarım esaslarının Türkiye şartlarına uygun hale getirilerek Türkiye'de de uygulanmaya başlanması ve bu konuda kapsamlı standartlar hazırlanması uzun bir süreç gerektirse de Modern dönel kavşaklar artık ülkemizde de bir kavşak alternatifi olarak tartışılır hale gelmiştir.

Bu tez çalışması ile Modern Dönel Kavşakların genel hatlarıyla geometrileri, çalışma prensipleri, tasarım esasları, kapasite ve güvenlik performanslarının tanımlanması amaçlanmaktadır.

2. MODERN DÖNEL KAVŞAKLARIN TANIMI VE GEOMETRİK ELEMANLAR

2.1.Modern Dönel Kavşakların Genel Tanımı

Modern dönel kavşaklar trafiğin merkezi bir ada etrafında ve yalnızca saat yönünün tersi yönünde hareket ettiği yönlendirilmiş kavşaklar olup; kavşak yaklaşımına giren bütün taşıtların dönel ada çevresinde seyreden taşıtlara yol vermesi prensibine göre çalışan bir kavşak tipidir.

Modern dönel kavşaklarda Şekil 2.5'te de görüleceği gibi, taşıtların kavşağa giriş-çıkışında ve kavşak içinde hızlar önemli ölçüde azaltılabildiğinden ve kesişmeler kaldırılabilindiğinden dolayı trafik güvenliği önemli ölçüde artmaktadır.

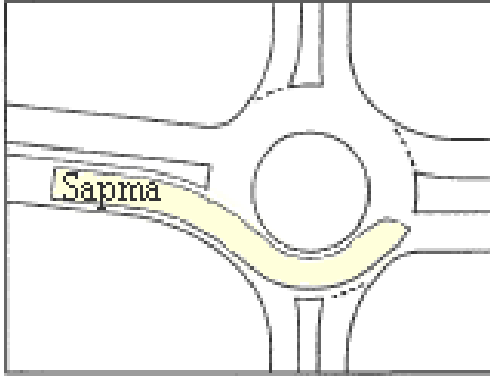
Kavşağa giriş-çıkış çapı ve dönüş uzunluklarının azalması, taşıt işletme hızının düşmesi, kavşak içindeki taşıtların durma ve park etmesinin kısıtlanması ve yaya hareketlerinin kontrollü hale getirilmesi güvenliği artırmaktadır.

Bu kavşakların işletme ve tasarımı iki temel prensibe dayanır;

- Kavşak yaklaşımına giren bütün taşıtların dönel ada çevresinde seyreden taşıtlara yol vermesi prensibi vardır. Bu uygulamada, serbest trafik akımını sağlamak ve trafik kapasitesini artırmak için girişte “Yol ver” işareti kullanılır. Bu tip kavşakların tasarımında, örülme hareketleri tasarım veya kapasite kriteri olarak dikkate alınmaz.
- Transit trafiğin kavşak bölgesini doğrusal veya buna yakın bir hat ile geçmesine izin verilmeyip, girişteki yönlendirme adaları ve merkezi dönel ada vasıtasıyla uygun dairesel yörüngeler ile trafiğin sağa saptırılması prensibi uygulanır.

2.2. Karakteristikleri

Diğer dönel kavşaklarla (trafik çemberleri) ile karşılaştırıldıklarında genelde modern dönel kavşakların en önemli özelliği girişte yol verme ve Şekil 2.1’de gösterildiği gibi trafik akışında sapma olmasıdır.



Şekil 2.1. Trafiğin doğrultusunda sapma sağlanması [3]

Modern dönel kavşaklar da her yaklaşım kolundan kavşağa giren araçların kavşak içinde dönüş yapan araçlara yol vermesi gerekir ayrıca aracın dönel kavşağı geçebileceği hız sağ giriş kurbunun güzergahına göre merkez adanın konumu ile kontrol edilir.

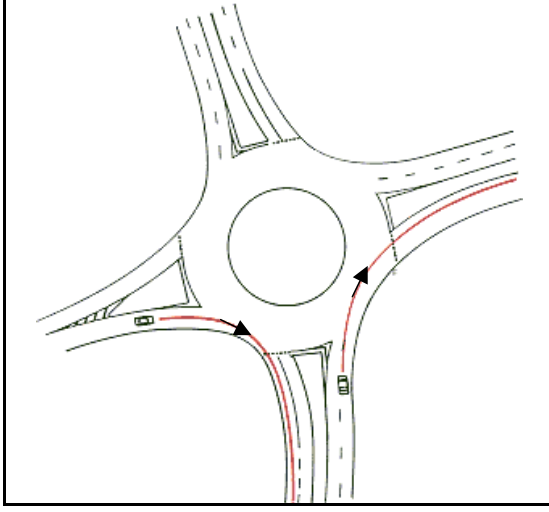
Diğer bazı önemli özellikleri şu şekildedir;

- Dönüş platformu üzerinde durmaya ya da park etmeye izin verilmez,
- Merkez ada üzerinde yaya hareketlerine izin verilmez,
- Trafik adalarına gerek vardır.

2.3. İşleyiş

2.3.1. Sağa dönüş

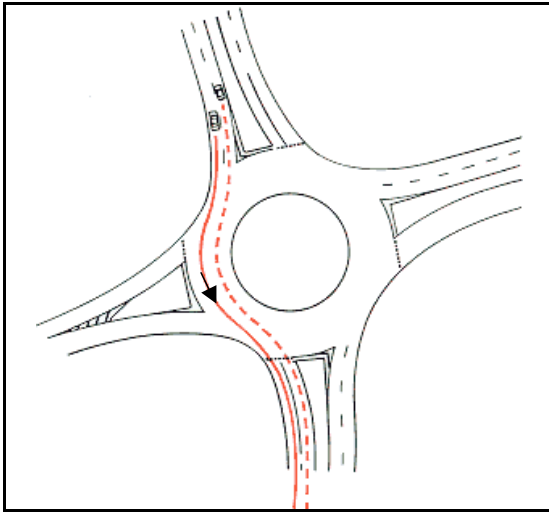
Kavşağa sağdan yaklaşılır, kavşak içinde sağda kalınır ve kavşak sağdan terkedilir. Kavşağa yaklaşırken ve kavşak içinde sağ sinyal yakılmalıdır [3].



Şekil 2.2. Modern dönel kavşaklarda sağa dönüş [3]

2.3.2. Düz-ileri

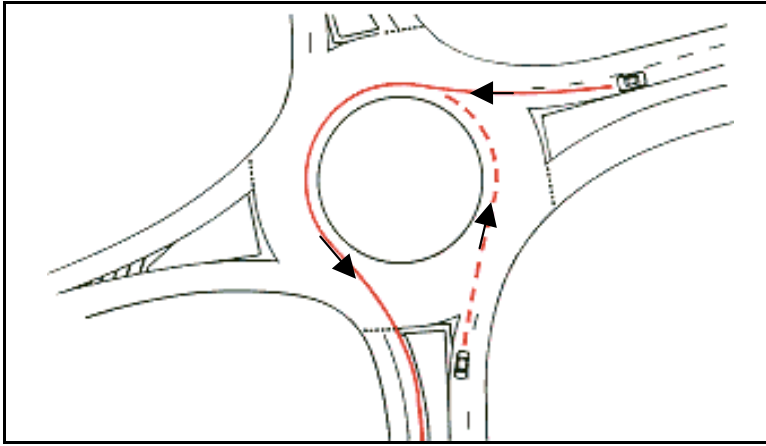
Kavşağa sağ şeritten yaklaşılr ve kavşak içindeyken bu şeritte kalılır .Trafik yoğunluğu veya yoldaki bir engel sebebiyle sağ şerit tıklandığı takdirde, kavşağa sol şeritten yaklaşılr ve kavşak içinde sol şeritte kalılır. Her iki durumda da, istediğiniz çıkıştan öncekini gecince sağa dönüş sinyali yakılır. Dönel kavşağa yaklaşırken sinyal yakılmasına gerek yoktur [3].



Şekil 2.3. Modern dönel kavşaklarda düz-ileri hareketler [3]

2.3.3. Sola dönüş ve U - dönüşü

Dönel kavşağa girmeden önce sola dönüş sinyali yakılarak sol şeritten kavşağa yaklaşılır ve sinyal vermeye devam edilir, yönelmek istenilen çıkıştan öncekini geçince sağa dönüş sinyali yakılarak kavşaktan çıkılır, eğer U dönüşü yapılmak istenirse yine sol şeritte kalmaya devam edilir ve düz ileri giden araçlar gibi sağa sinyal verilerek kavşak terkedilir [3].

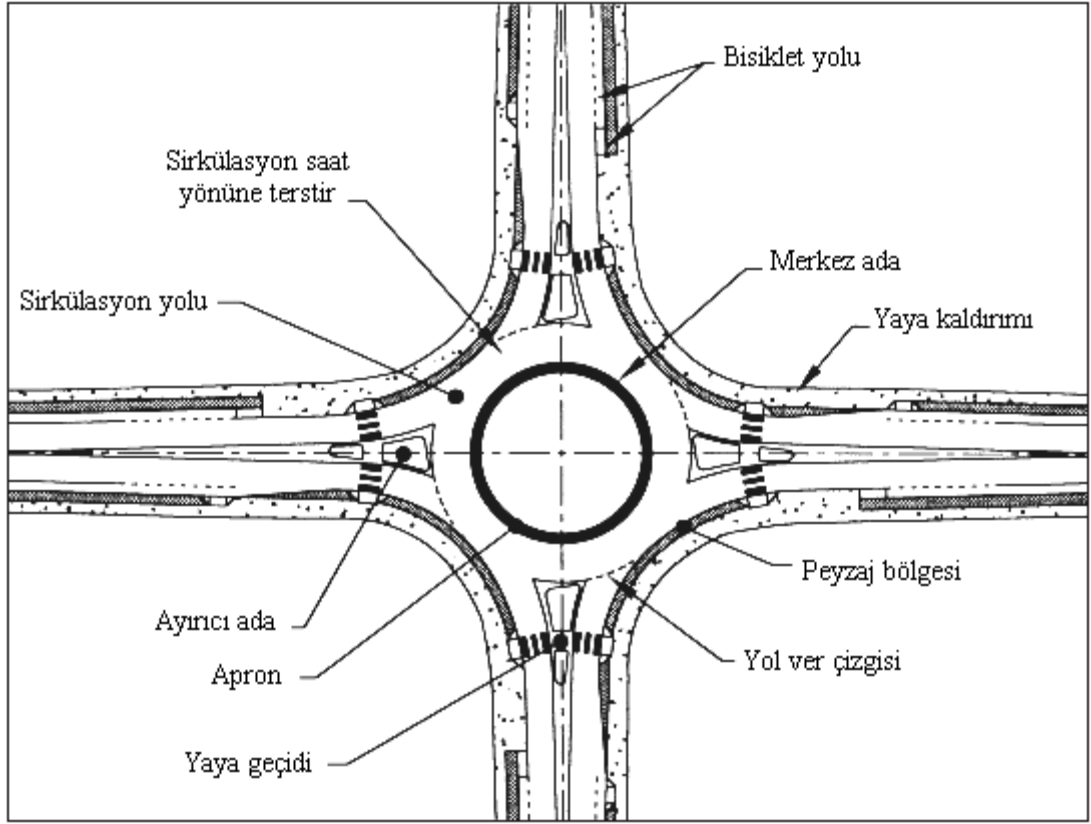


Şekil 2.4. Modern dönel kavşaklarda sola dönüş ve U- dönüşü [3]

2.4. Modern Dönel Kavşakların Geometrik Yapısı

Dönel kavşaklar, özel tasarım ve trafik kontrol özelliklerine sahiptirler. Bu özellikler; giren trafiğin dur kontrollü, yaklaşımların kanalize ve sirkülasyon yapılan yoldaki hızın 50 km/saat'ten düşük olmasıdır [4].

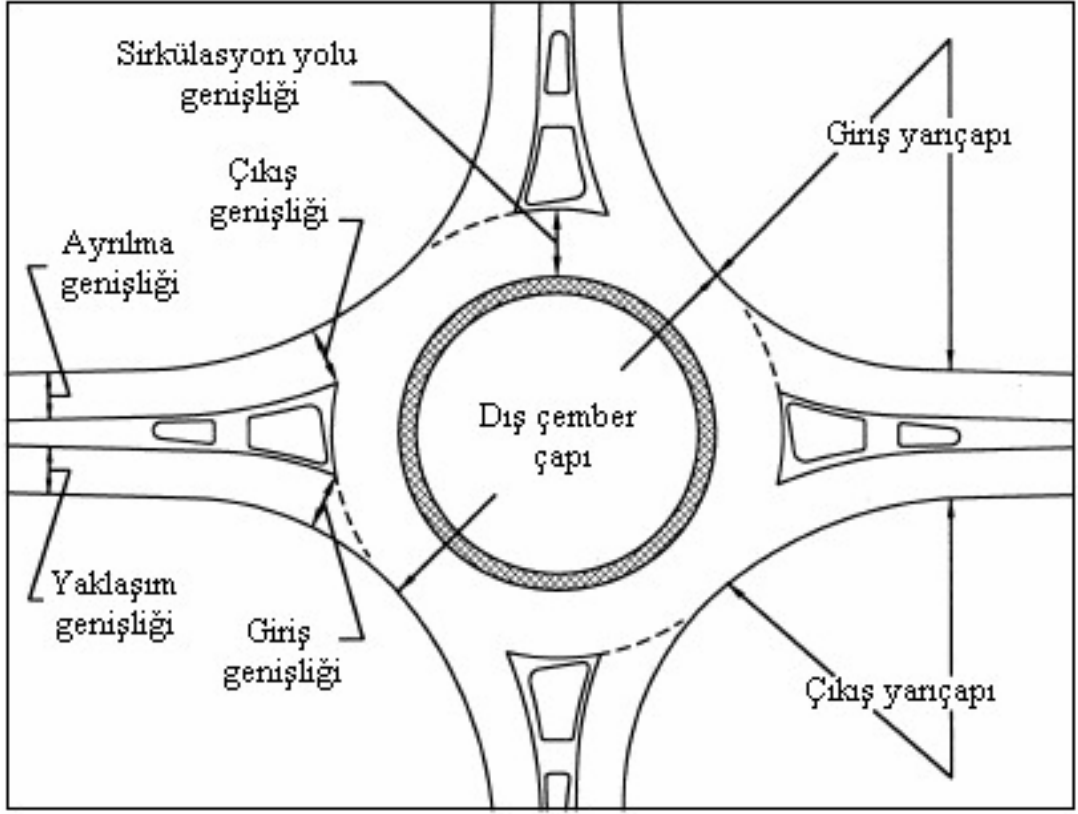
Şekil 2.5'te temel modern dönel kavşak elemanları ve bazı açıklamalar verilmektedir.



Şekil 2.5. Temel modern dönel kavşak elemanları [4]

2.5. Anahtar Boyutlar

İşletme analizi ve tasarım için, birkaç anahtar boyutun tanımlanması gereklidir. Şekil 2.6’da bu boyutlar gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Modern dönel kavşakların geometrik elemanları [4]

2.6. Modern Dönel Kavşak Tipleri

Modern dönel kavşaklar bulundukları yer, şerit sayısı ve boyutlarına göre altıya ayrılmaktadır [4];

- 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.

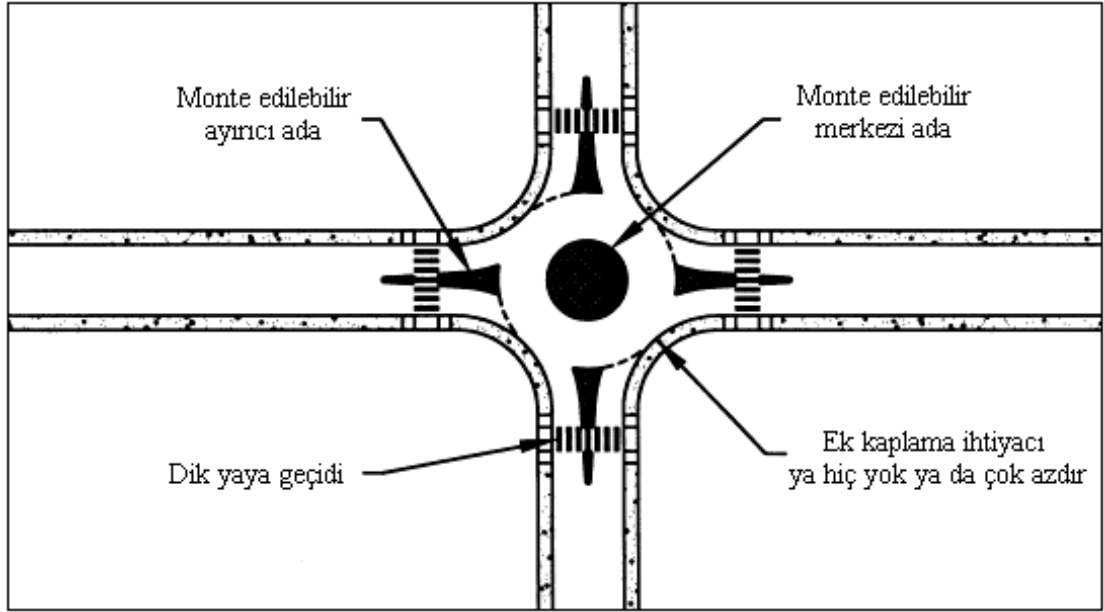
İkiden fazla yaklaşım şeridi olan dönel kavşaklar mevcut olsa da kullanımlarının sınırlı olmaları nedeniyle bu tez çalışmasında değinilmemektedir. Fakat açıklanan tasarım prensiplerinin büyük bir çoğunluğu bu kavşaklar için de geçerlidir.

Yarı şehirleşmiş bölgelerdeki modern dönel kavşaklar da şehir içi kavşaklar gibi tasarlanmalı ancak, kırsal bölgelerdeki dönel kavşakların yaklaşımlarındaki yüksek hızlara karşı alınması gereken tedbirleri de içermelidir.

Ayırıcı ada yapıldığında hemzemin bir yaya geçidi de inşa edilmelidir. Ayrıca körler ve engelliler için kolaylaştırıcı önlemler ve yaya rampaları vs sağlanması trafik güvenliği açısından uygun tedbirlerdir.

2.6.1. Mini dönel kavşaklar

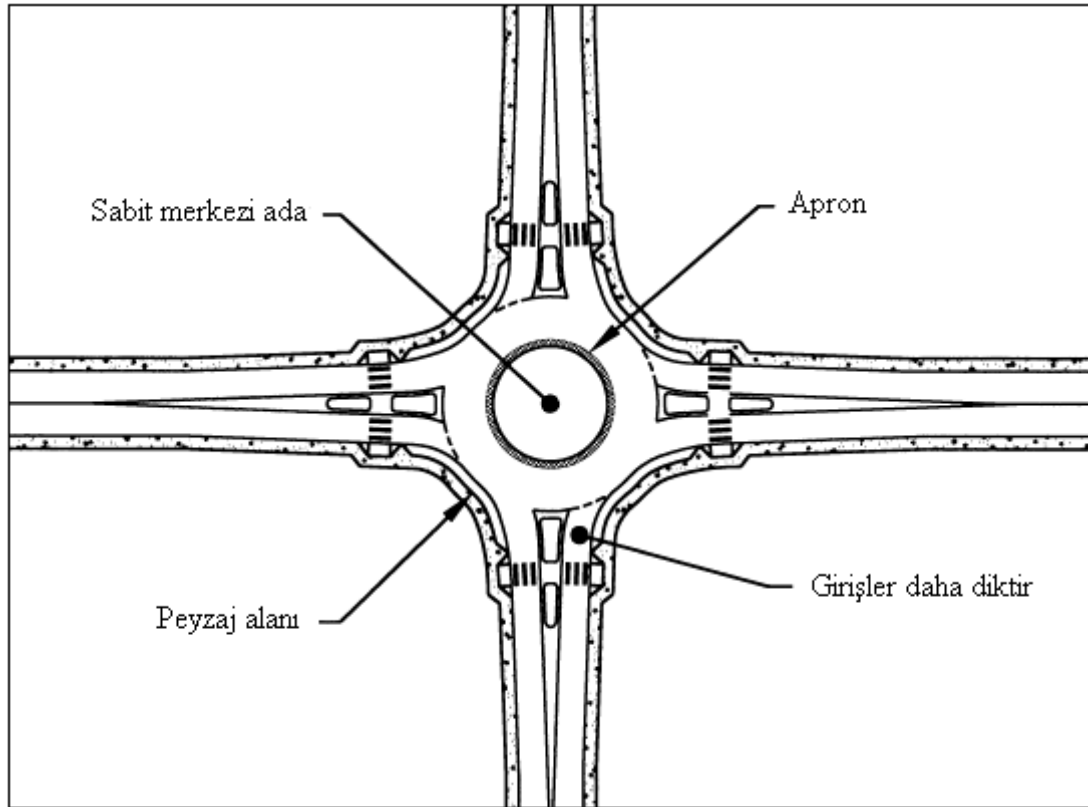
Mini dönel kavşaklar düşük hızlı şehir alanlarında görülen, ortalama işletim hızının 60 km/saat olduğu küçük dönel kavşaklardır. Şekil 2.7’de tipik bir mini dönel kavşak görülmektedir. Bu kavşaklar kamulaştırmanın güç olduğu ve düşük hızların gözlendiği şehir içi kesimlerde uygulanmaktadır. Yüksek maliyetli olmadıkları için dönüştürme işlemleri için uygundurlar. Kentsel kompakt dönel kavşağın uygulanmadığı yerler için uygundurlar. Ayrıca küçük olduklarından dolayı hem yayalar hem de binek taşıtların kullanımı için uygundurlar [4].



Şekil 2.7. Mini dönel kavşa [4]

2.6.2. Kentsel kompakt dönel kavşaklar

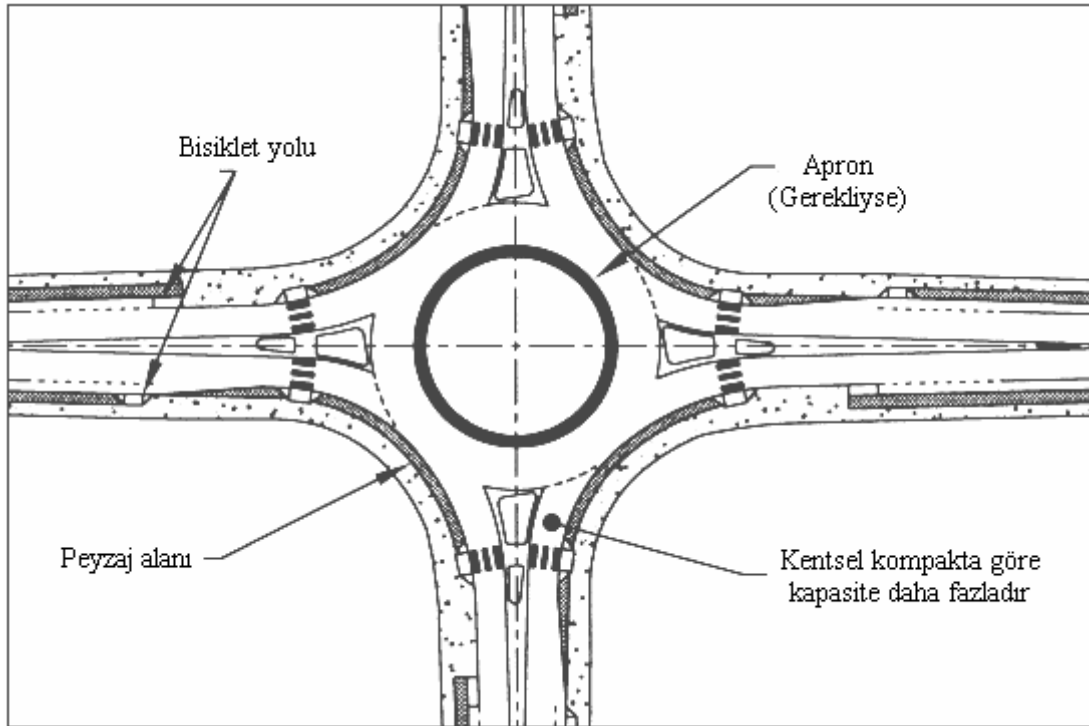
Mini dönel kavşaklar gibi yaya ve bisikletli dostudurlar, ancak dönel kavşaklardaki tüm tasarım gereksinimlerini de sağlarlar. Temel amaç yayaların kavşağı güvenli olarak kullanmalarını sağlamaktır. Bu tip bir dönel kavşak için kapasite kritik bir konumda olmamalıdır. Merkez ada sabit ve ayırıcı adalar arasında hemzemin yaya geçitleri olmalıdır. Sirkülasyon yolu üzerinde rahat manevra yapamayan büyük taşıtlara hizmet verebilmek için orta adanın etrafında bir apron vardır [4].



Şekil 2.8. Kentsel kompakt dönel kavşak [4]

2.6.3. Kentsel tek şeritli dönel kavşaklar

Bu tip dönel kavşaklarda her bir kol ve sirkülasyon yolu tek şeritlidir. Şekil 2.9’da görüleceği gibi, dış çember çapı daha büyük, girişler ve çıkışlar daha yumuşak olduğundan kapasiteleri daha yüksektir. Giriş, sirkülasyon yolu ve çıkış tasarımları daha yüksek hızlara imkan tanımaktadır [4].

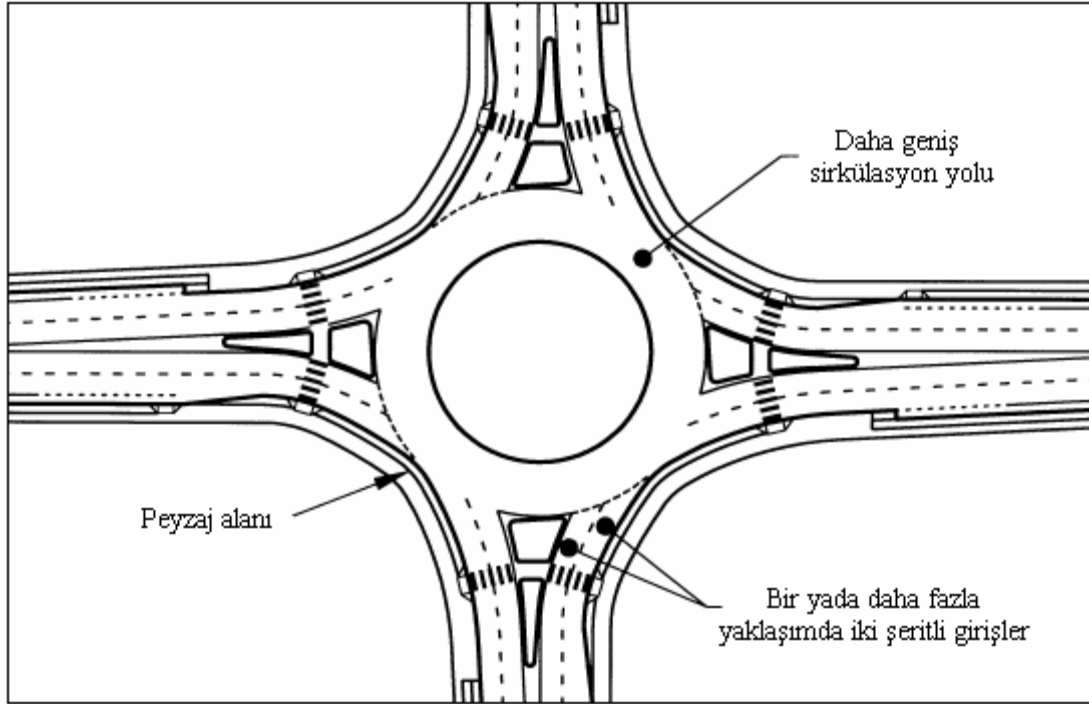


Şekil 2.9. Kentsel tek şeritli dönel kavşak [4]

2.6.4. Kentsel çift şeritli dönel kavşaklar

Kentsel çift şeritli dönel kavşaklar kent içinde yer alan ve en az bir yaklaşımındaki girişi iki şeritli olan dönel kavşakları kapsamaktadır. Giriş ağzları bir şeritten iki şeride genişleyen yaklaşımlara sahip kavşaklar da bu sınıfa dahil edilmektedir. Bu tip kavşaklarda sirkülasyon yolu en az iki aracın geçişine uygun genişlikte olup; hızlar şehir içi tek şeritli dönel kavşaklarla benzerdir [4].

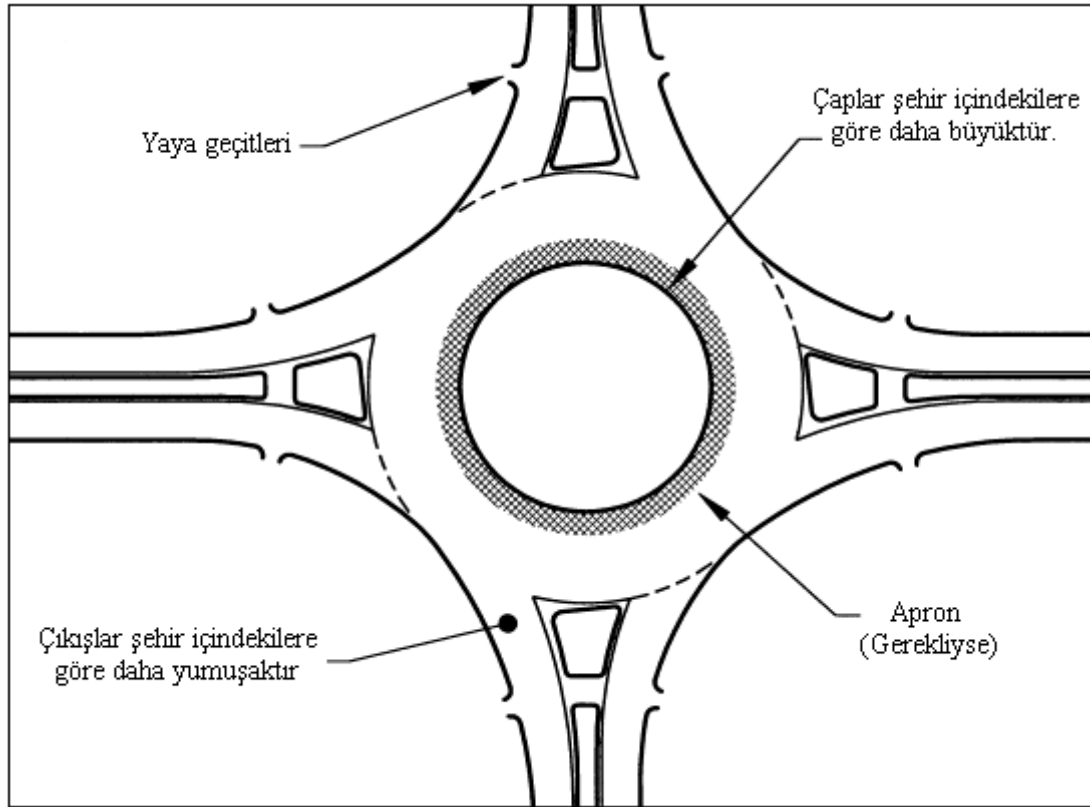
Bu tip kavşaklarda kavşağa girmeden geçmek isteyen bisikletliler için alternatif güzergahlar sağlanabilir. Ancak bisiklet ve yaya yolları belirgin şekilde düzenlenmelidir [4].



Şekil 2.10. Kentsel çift şeritli dönel kavşak [4]

2.6.5. Kırsal tek şeritli dönel kavşaklar

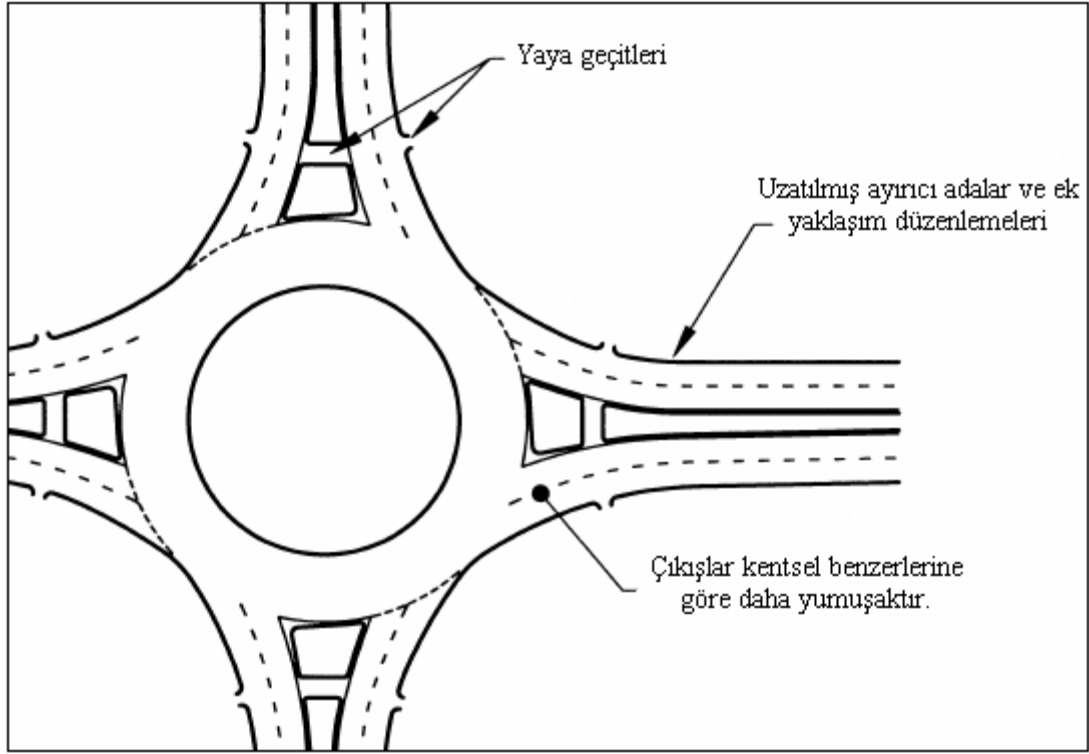
Tek şeritli kırsal dönel kavşaklardaki yaklaşım hızları 80 – 100 km/saat aralığında olduğu için sürücülerin kavşağa girmeden önce yavaşlaması için hızlarını azaltıcı geometrik elemanları vardır. Daha yüksek hızlara hizmet verebilmek için kırsal dönel kavşakların çapları şehir içi dönel kavşaklara göre daha büyüktür. Bu da ancak kavşağı kullanan yaya sayısı az olduğunda mümkündür. Çaplar büyük taşıtlara hizmet verebilecek derecede büyük olduğu için aprona gerek yoktur. Uzatılmış ve yükseltilmiş ayırıcı ada, sabit bir merkez ada ve uygun yatay deplasman diğerlerinden farklı geometrik özellikleridir [4].



Şekil 2.11. Kırsal tek şeritli dönel kavşak [4]

2.6.6. Kırsal çift şeritli dönel kavşaklar

Yaklaşım hızları 80 – 100 km/saat arasındadır. En az bir yaklaşımda giriş iki şeritlidir ya da bir şeritten iki şeride genişlemektedir. Kentsel çift şeritli kavşaklarla benzerdir. Giriş hızları fazla, çaplar büyük ve yaklaşımlar özel olarak düzenlenmiştir [4].



Şekil 2.12. Kırsal çift şeritli dönel kavşak [4]

2.7 Dönel Kavşak Tiplerinin Karşılaştırılması

Çizelge 2.1’de altı modern dönel kavşak tipinin temel tasarım özelliklerinin karşılaştırılması yapılmaktadır.

Çizelge 2.1. Çizelge 2.1. Modern dönel kavşakların temel tasarım elemanlarının karşılaştırılması [5]

Proje elemanı	Mini	Kentsel kompakt	Kentsel tek şeritli	Kentsel çift şeritli	Kırsal tek şeritli	Kırsal çift şeritli
Şerit sayısı	1	1	1	2	1	2
Maksimum ⁽¹⁾ günlük trafik	12,000	15,000	20,000	40,000	20,000	40,000
Ayrıncı ada işlemi	Mümkünse boyanmış ve yükseletilmiş	Yükseletilmiş	Yükseletilmiş	Yükseletilmiş	Yükseletilmiş, genişletilmiş	Yükseletilmiş, genişletilmiş
Maks. tasarım taşıtı	SU (tek parça kamyon)	SU/BUS (tek parça kamyon/otobüs)	WB-50 (yarı treyler kamyon, toplam dingil açıklığı 15,24 m.)	WB-50 (yarı treyler kamyon, toplam dingil açıklığı 15,24 m.)	WB-67 (yarı treyler kamyon, toplam dingil açıklığı 20,45 m.)	WB-67 (yarı treyler kamyon, toplam dingil açıklığı 20,45 m.)
Uygun daire çapı (m)	13,70-24,40	24,40-30,50	30,50-39,70	45,80-54,90	35,05-39,70	54,90-61,00
Sirkülasyon yolu için proje hızı (km/saat)	25-30	25-30	30-40	35-45	35-45	40-50
Sirkülasyon yolu genişliği (m)	4,30-5,80	4,30-5,80	4,30-5,80	8,90-9,75	4,30-5,80	8,90-9,75
Maks. proje giriş hızı (km/saat)	25	25	35	40	40	50
Giriş yarıçapı (m)	7,65-13,70	7,65 ⁽¹⁾ -30,50	10,70-30,50	30,50-61,00	12,20-36,60	39,60-79,25
Giriş şerit genişliği (m)	4,30-4,90	4,30-4,90	4,30-4,90	7,65-8,55	4,30-4,90	7,65-8,55

(1) 4 kollu bir dönel kavşakta tali yoldaki trafik hacminin %33 olduğu kabul edilmiştir. Tüm yönlardaki trafik hacimleni eşit olursa değerler 1,2 ile çarpılmalıdır. Eğer kavşak 3 kollu ise trafik hacim değerleri 0,9 ile çarpılmalıdır.

3. İŞLETME VE KAPASİTE

Bu bölümde kullanım karakteristikleri ve geometrik tasarım elamanları belirlenmiş dönel kavşağın işletme performansının değerlendirilmesi irdelenecektir. İşletim analizi iki tip tahmin verir [4]:

1. Kavşağın kapasitesi; yani kavşağın çeşitli akımları taşıyabilme gücü,
2. Performans seviyesi; genellikle gecikme ve kuyruk oluşumu gibi bir veya birkaç etkinlik ölçütü ile gösterilir.

Kapasite hakim yol, trafik veya kontrol koşulları altında, verilen bir süre zarfında, bir noktadan veya düzgün bir yol kesiminden geçmesi beklenen insan ya da taşıt cinsinden maksimum saatlik miktar olarak tanımlamaktadır. Hizmet seviyesi ise trafik akımı içinde sürücülerin ya da yolcuların bizzat algıladığı işletim koşullarıdır. Kavşaklarda hizmet seviyesini tanımlayan en önemli etkinlik ölçütü kontrol gecikmesidir. Kavşaklarda kontrol gecikmesine ek olarak, kavşağın geometrik özelliklerinden kaynaklanan gecikmeler de vardır [4].

İşletim analizi mevcut bir dönel kavşağın belli bir yıldaki performansını ölçerken, gelecekteki yeni tasarımların değerlendirilmesinde de kullanılabilir [4].

3.1. Dönel Kavşaklardaki Trafik Operasyonları

3.1.1. Sürücü davranışı ve geometrik elemanlar

Dönel kavşağa yaklaşan sürücüler, kavşağı kullanan diğer taşıtlarla güvenli bir şekilde etkileşime girmek için yavaşlamalıdır. Yaklaşım yolunun genişliği, yolun kavisi ve yaklaşımdaki mevcut trafik hacmi büyüklüğü bu hıza etki eder. Sürücüler kavşak sınırına ulaştıklarında kavşakta halihazırda sirkülasyonda olan taşıtları kontrol etmeli ve buna göre sirkülasyon akımına dahil olmalıdır. Yaklaşım yolunun ve kavşak girişinin genişliklerini taşıtların kavşağa giriş hızlarını belirler. İç çemberin boyutları taşıt güzergahının yarıçapını etkileyerek sürücülerin dönel kavşak

içindeki seyahat hızlarını belirler. Sirkülasyon yolunun genişliği bir dönel kavşakta yan yana yer alabilecek olan taşıt sayısını belirler [4].

İngiliz, Fransız ve Alman analitik yöntemleri kapasiteyi trafik karakteristiklerine ve dönel kavşak geometrisine dayandıran ampirik ilişkilere dayanmaktadır. İngiliz yöntemine göre geometrik parametrelerdeki küçük değişiklikler, kapasitede önemli değişikliklere sebep olmaktadır [4].

Örneğin, bazı yaklaşımların ağız genişletilmişse ya da yaklaşımlarda ek kısa şeritler varsa kapasite önemli ölçüde artmaktadır [4].

İngiliz analiz yönteminde iç çember çapı, giriş genişliği, yaklaşım yolu yarı genişliği, giriş yarıçapı ve genişleme ağızının keskinliği kullanılarak dönel kavşağın performansı değerlendirilir. Büyük keskinlik değerleri girişteki kısa sert genişlemelere karşılık gelirken, küçük keskinlik değerleri uzun, yumuşak genişlemeleri ifade etmektedir [4] .

İngiliz araştırmacıların yaptığı çalışmalara göre yaklaşım yarı genişliği, giriş genişliği, ortalama etkili genişleme ağız uzunluğu ve giriş açısı kapasite üzerinde çok önemli etkilere sahiptir. Giriş yarıçapı 20 m veya daha fazla ise kapasite üzerindeki etkisi sınırlıdır. Dik girişlerin kullanımı ve küçük giriş yarıçapları kapasiteyi azaltmaktadır. İngiliz modelinde geometrik elemanların kullanılması tasarımcılara işletim ve güvenlik etkilerini tasarım elemanları etkisinde irdeleme imkanı sunmaktadır [4] .

3.1.2. Modern dönel kavşaklarda kapasite kavramı

Bir modern dönel kavşağa giren kollardan her birinin kapasitesi, hakim trafik ve yol koşulları altında, belirli bir zaman aralığında, bu yaklaşımdan kavşağa girecek maksimum taşıt sayısıdır. İşletme analizinde, kavşak giriş kollarından her biri için, bir dizi 15'er dakikalık trafik akımları ve geometrik koşullar göz önünde bulundurulmalıdır [4].

Bir çok değişken olduğu için dönel kavşağın bütünü için kapasite hesaplanamaz. Burada açıklanacak olan dönel kavşak girişı kapasitesi sinyalize ve sinyalize olmayan kavşak kapasitesine benzer şekilde verilmektedir. Her durumda, yaklaşımların her biri için kapasite, diğer yaklaşımlardaki trafikle etkileşimi ve kavşak geometrisi kullanılarak hesaplanmaktadır [4].

Düzgün olarak tasarlanmış bir dönel kavşak için, kavşağa giriş çizgisi kapasite analizi için uygun bir nokta olarak seçilebilir. Yaklaşım kapasitesi giriş çizgisinde sağlanan kapasitedir. Bu değer giriş genişliği ve birkaç geometrik özellik ile belirlenir. Çok şeritli dönel kavşaklarda her bir şeridin kullanımını dengelemek gerekir, aksi durumda bazı şeritler kapasitenin üzerinde yüklenirken bazıları atıl durumda kalabilir. Kötü tasarlanmış kavşak çıkışları sürücü davranışlarını etkileyerek, karşı şeritte, şerit dengesizliği ve sıkışıklık oluşturabilir [4].

3.2. Veri Gereksinimleri

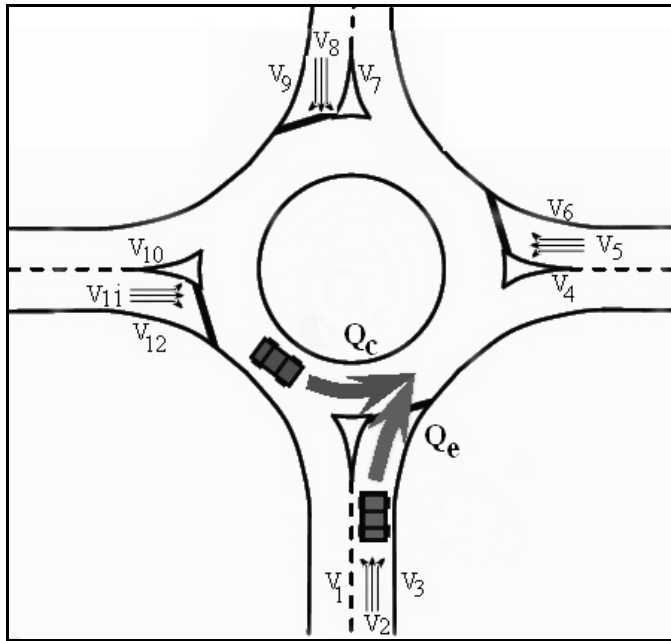
İşletme analizinde için her yönsel hareket için trafik hacimleri ve akım oranları kullanılmaktadır. Hacimler genellikle 15 dakikalık analiz periyodu için saatlik binek taşıt cinsinden verilmektedir. Diğer taşıt tiplerini otomobil eşdeğerine çevirmek için Çizelge 3.1. de verilen değişim faktörleri uygulanmaktadır [4].

Çizelge 3.1. Binek taşıt eşdeğerleri [4]

Taşıt tipi	Otomobil eşdeğeri
Otomobil	1,0
Tek kasalı kamyon ya da otobüs	1,5
Treylerli kamyon	2,0
Bisiklet ya da motorsiklet	0,5

Şehir içi bir dönel kavşakta trafik hacim verisi her yönsel hareket için en azından sabah ve akşam pik periyotlar için toplanmalıdır. Değişik hareketler ve buna bağlı olarak yaklaşım ve sirkülasyon hacimleri değişik zamanlarda pik değerlere ulaşabilir

Kavşak kapasite analizinde önemli olan dönüş hareketi akımları değil, giriş akımı ve sirkülasyon yapan akımlardır. Giriş akımı, bir yaklaşımdaki düz gidiş, sola dönüş ve sağa dönüş akımlarının toplamıdır. Sirkülasyon yapan akım ise akımbaşı komşu ayırıcı ada önünden geçen değişik hareketlerdeki taşıtların toplamıdır. Mevcut dönel kavşaklarda bu akımlar arazide kolayca ölçülebilir. Sağa dönüşler yaklaşım hacimlerine dahildir ve kapasite gerektirir ancak, akımsonu sirkülasyon yapan hacimlere dahil edilmez çünkü bir sonraki girişten evvel kavşaktan çıkarlar [4].



Şekil 3.1. Dönel kavşaktaki trafik akımları [6]

Planlama aşamasında olan 4-kollu dönel kavşaklar için, öncelikle giriş ve sirkülasyon akımları kullanılır. Örnek olarak güney yaklaşımındaki 1,2 ve 3 giriş akımları ile kesişen trafik akımı kavşağın bu kısmını kullanan 11, 10 ve 7 akımlarıdır. Bu kısımdaki giriş akımı (V_e) ve sirkülasyon akımı (V_c) şu şekilde hesaplanır [4];

$$V_e = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_c = V_{11} + V_{10} + V_7$$

Bu yöntem 3 kollu ve 4 ten fazla kolu olan dönel kavşaklar için de kullanılabilir. Dönel kavşaklar sıklıkla U dönüşleri için kullanılmaktadır. Eğer U dönüşleri varsa bu trafik akımlarının da sirkülasyon yapan akıma ilave edilmesi gerekir. Örneğimizdeki sirkülasyon akımı için bu değerler doğu,batı ve güney yönlerinden gelerek dönel kavşakta U dönüşü yapan trafik akımlarını ifade etmektedir.

Bu yöntem matematiksel olarak doğru olsa da, verilerdeki hatalara ve tutarsızlıklara karşı hassastır. Zira tüm sayımlar aynı saatte yapılmalı ve en azından giren ve çıkan hacimlerin eşit olup olmadığı tespit edilmelidir.

3.3. Kapasite

Dönel kavşak girişlerinde servis edilebilecek maksimum akım hızı giriş hacmi ile karşılaşan sirkülasyon hacmine ve dönel kavşak geometrisine bağlıdır [4].

Sirkülasyon yapan akım düşükse, girişteki sürücüler önemli bir gecikme olmaksızın kavşağa girebilirler. Sirkülasyon yapan akımdaki daha büyük boşluklar giriş yapacak sürücüler için daha elverişli bir ortam oluşturur ve birden fazla taşıt aynı anda sirkülasyona dahil olabilir. Sirkülasyon yapan akım arttıkça, sirkülasyon yapan akım içindeki boşluklar azalır ve bu boşluklara dahil olacak taşıt sayısı da azalır. Belirli bir kolun kapasitesi hesaplanırken, eğer, sirkülasyon yapılacak yolun kapasitesi talepten düşükse kullanılacak gerçek sirkülasyon akımı talep akımlarından düşük olabilir [4].

Dönel kavşağın geometrik özellikleri de, giriş akımı hızını etkiler. Bu özelliklerden en önemlisi giriş ve kavşak şerit genişlikleri ve sayılarıdır. Giriş şeridi sayısı iki katına çıkarıldığında giriş akım hızı da neredeyse iki katına çıkmaktadır. Genişleme ağzı uzunluğu da kapasiteyi önemli ölçüde etkilerken, iç çember çapının ve giriş açısının kapasite üzerindeki etkileri yok denecek kadar azdır [4].

Diğer sinyalizasyon olmayan kavşak tiplerinde olduğu gibi bir yaklaşımdaki trafik akımları kapasitenin yaklaşık olarak %85'ine çıktığında gecikmeler ve kuyruk uzunlukları ortalama değerlerinden fazlaca sapmaktadır. Bu sebepten dolayı dönel

kavşakların fiziki kapasitelerinin en fazla %85’inde çalıştırılmaları önerilmektedir [4].

Kapasite hesabı yapılırken temel olarak iki farklı yaklaşım söz konusudur. Bunlardan birincisi İngilterede geliştirilen ancak Amerikada ve benzer şekliyle Almanya ve Avustralya gibi ülkelerde kullanılan yaklaşım olup; giriş akımı hesaplanırken yalnızca sirkülasyon akımının etkisi göz önüne alınır, diğer bir yaklaşım ise İsviçre ve benzer şekliyle Fransa ve bazı Avrupa ülkelerinde kullanılan yöntem olup; giriş akımının bir önceki çıkıştan ayrılan akım ve sirkülasyon yolundaki akımın her ikisinden de etkilendiği kabulüne dayanmaktadır. Bu tez çalışmasında yaygın olarak kullanılan bu iki yönteme ait kapasite hesapları verilecektir.

3.3.1. İngiliz yöntemiyle kapasite hesabı

Tek şeritli dönel kavşak kapasitesi

Tek şeritli dönel kavşaklar esas olarak kentsel kompakt ve kentsel tek şerit olmak üzere iki kategoride ele alınabilir [7].

Kentsel kompakt dönel kavşakların kapasitesi

Bu tip kavşaklarda kavşağa giriş ve sirkülasyon yolu üzerindeki hareketler düşük hızlarda gerçekleşmektedir. Sirkülasyon yolu çapı 25-30 m. arasında değişmekte olup; tüm yaklaşım şeritleri ve sirkülasyon yolu tek şeritlidir [7].

Giriş ve sirkülasyon yolu tek şerit olan kentsel kompakt kavşaklar için aşağıdaki kapasite eşitliği kullanılmaktadır [7].

$$Q_e = 1218 - 0.74Q_c \quad (3.1)$$

Q_e = Giriş kapasitesi (v/h)

Q_c = Sirkülasyon akımı (v/h)

Kentsel tek şeritli dönel kavşakların kapasitesi

Kentsel tek şeritli dönel kavşaklar da kentsel kompakt dönel kavşaklar gibi giriş ve sirkülasyon yolunun tek şeritli olduğu kavşaklardır. Ancak; sirkülasyon yolu çapı 25-30 m. ve giriş-çıkışlar daha yumuşak olduğu için trafik hareketleri daha rahat yapılabilmekte, hızlarda da bir miktar artış olmakta; bu nedenle de kapasiteleri daha yüksek olmaktadır [7].

Kentsel tek şeritli dönel kavşakların kapasitesi İngiliz araştırmacı Kimber tarafından geliştirilen ve giriş yapan ve sirkülasyon yapan akımları esas almakla birlikte kavşağın geometrik özelliklerin de kapasiteye olan etkilerinin göz önünde bulundurulduğu eşitliklerle hesaplanabilmektedir [7].

$$Q_e = k(F - f_c Q_c), \quad f_c Q_c \leq F \quad (3.2)$$

$$= 0, \quad f_c Q_c > F$$

$$k = 1 - 0,00347(\phi - 30) - 0,978\left(\frac{1}{r} - 0,05\right)$$

$$F = 303x_2$$

$$f_c = 0.210t_D(1 + 0,2x_2)$$

$$t_D = 1 + \frac{0,5}{1 + \exp\left(\frac{D - 60}{10}\right)}$$

$$x_2 = v + \frac{e - v}{1 + 2S}$$

$$S = \frac{1,6(e - v)}{l'}$$

Burada;

Q_e = giriş kapasitesi, v/h

Q_c = sirkülasyon akımı, v/h

e = giriş genişliği, m

v = yaklaşımın genişliğinin yarısı, m

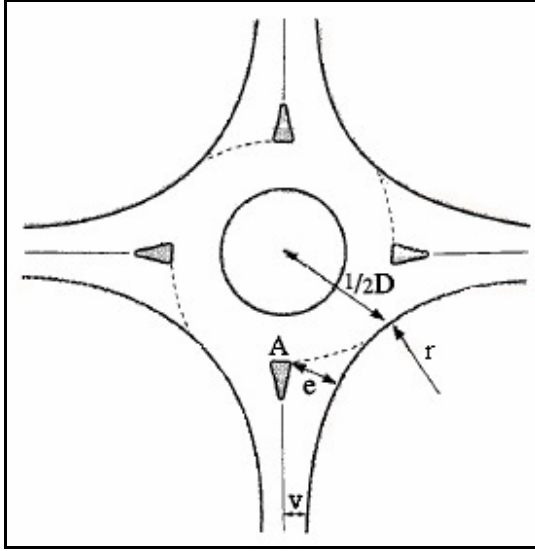
r = giriş yarıçapı, m

D = dış çember çapı, m

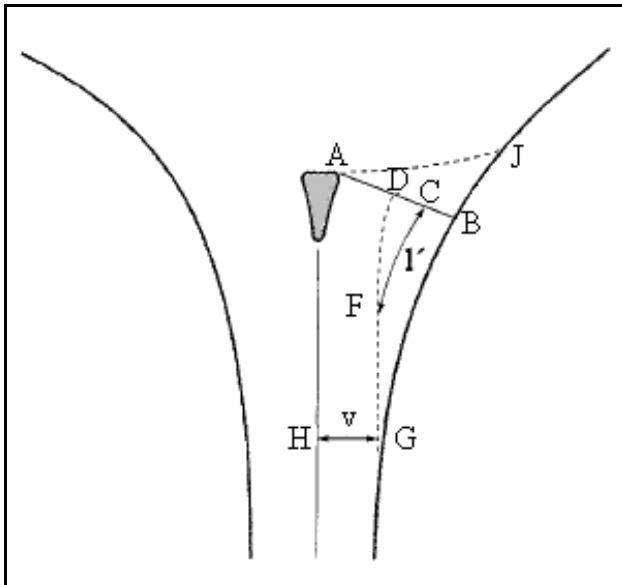
l' = efektif genişleme uzunluğu, m

S = genişleme keskinliği, m/m

$\emptyset$ = giriş açısı, derece

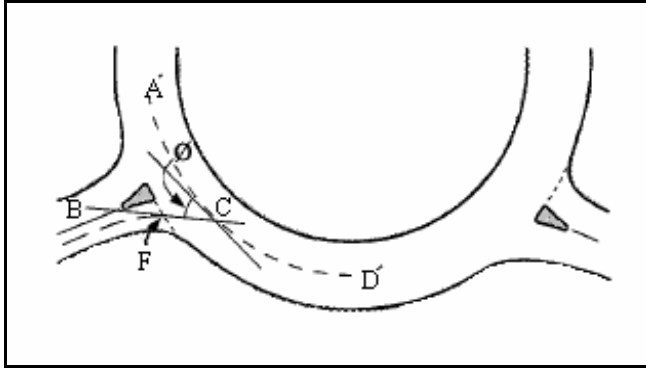


Şekil 3.2. Geometrik tasarım elemanları [8]



Şekil 3.3. Efektif genişleme uzunluğu [8]

Burada AB uzunluğu giriş genişliği olan e 'ye eşit olup; $AD=v$, $BD=e-v$ ve $BC=(e-v)/2$ değerindedir. Efektif genişleme uzunluğu CF ise giriş kurbu r 'ye paralel ve $(e-v)/2$ uzaklıktaki daire parçasının uzunluğudur.



Şekil 3.4. Giriş açısı [8]

Kapasite hesabını basitleştirmek amacıyla yukarıdaki geometrik parametreler için $D=40$ m, $r=20$ m, $\emptyset = 30^\circ$, $v=4$ m, $e=4$ m, ve $l'=40$ m kullanılabilir. Burada $e=v$ seçilmesi durumunda $S=0$ ve $x_2=v$ olmaktadır, ayrıca $r=20$ m. ve $\emptyset = 30^\circ$ olması durumunda da $k=1$ olmaktadır. Bu değerlerin Kimber eşitliklerinde yerine konması durumunda kapasite aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanmaktadır [7];

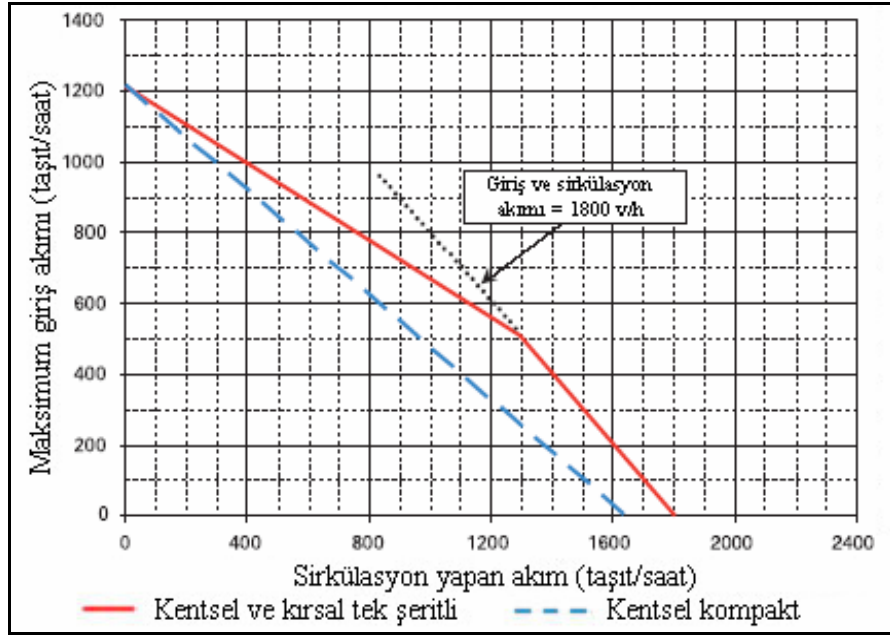
$$Q_e = 1212 - 0,5447Q_c$$

Tek şeritli dönel bir kavşakta sirkülasyon yolu için maksimum trafik akımının 1800 v/h olduğu düşünülecek olursa; giriş kapasitesi için sonuç olarak aşağıdaki eşitlik yazılabilir [7];

$$Q_e = \min \left[\begin{array}{l} 1212 - 0,5447Q_c \\ 1800 - Q_c \end{array} \right] \quad (3.3)$$

Her durumda, kesişme noktasında giriş akımının 1800 taşıt/saat'i geçmemesi gerekir. Bu değer aşılması durumunda iki şeritli giriş gerekli olabilir [7].

Aşağıdaki şekilde kentsel kompakt ve kentsel/kırsal tek şerit tasarımları için beklenen kapasiteler verilmektedir. Grafik maksimum giriş akımının dönel kavşaktaki sirkülasyon yapan akıma göre değişimini vermektedir. Grafik iç çember çapı 25 m. ile 40 m. arasında olan tek şeritli dönel kavşakları içindir [4].



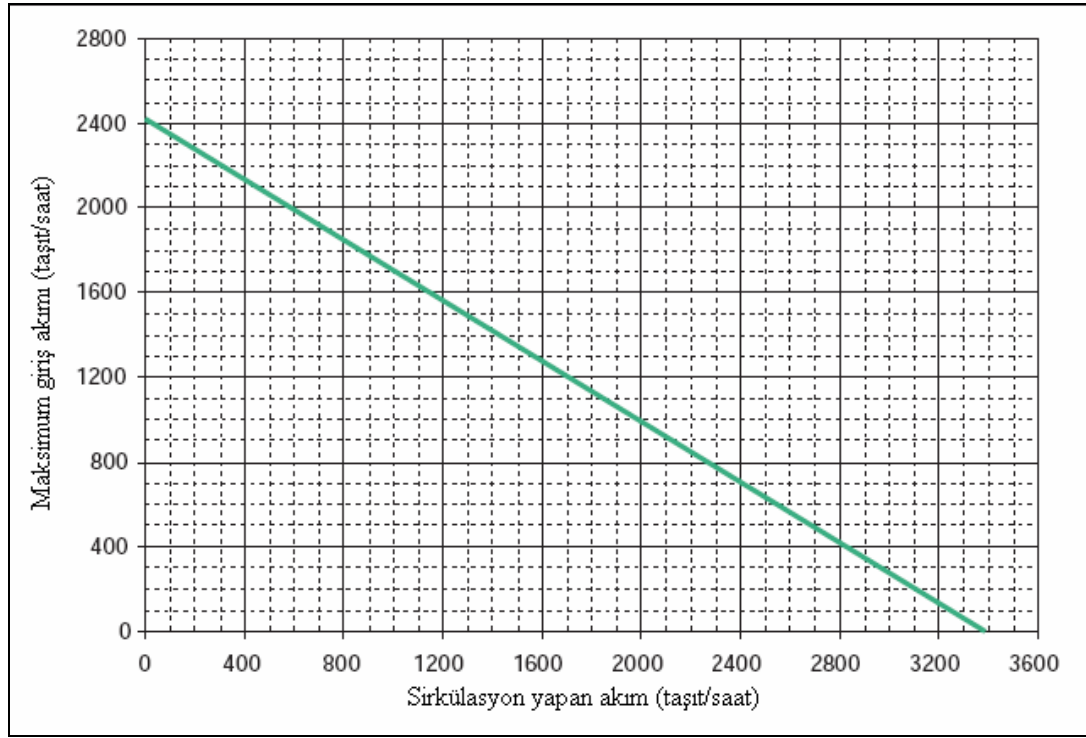
Şekil 3.5. Tek şeritli bir dönel kavşaktaki yaklaşım kapasitesi [4]

İki şeritli dönel kavşak kapasitesi

Bu tip kavşaklar en az bir yaklaşımının iki şeritli ve sirkülasyon yolunun iki şeritli olduğu kavşaklardır. Sirkülasyon yolu dış çember çapları 45-60 m. arasında değişmektedir. İç çember çapı büyüdükçe kapasitede belirli bir miktar artış gözlenebilir. Kimber eşitliklerinde $D=55$ m, $r=20$ m, $\theta = 30^\circ$, $v=8$ m, $e=8$ m, ve $l'=40$ m kullanılarak kapasite hesabı basitleştirilerek kullanılabilir. Buna göre iki şerit girişi bulunan bir dönel kavşağın kapasitesi aşağıdaki eşitlikle hesaplanır [7];

$$Q_e = 2424 - 0,7159Q_c \quad (3.4)$$

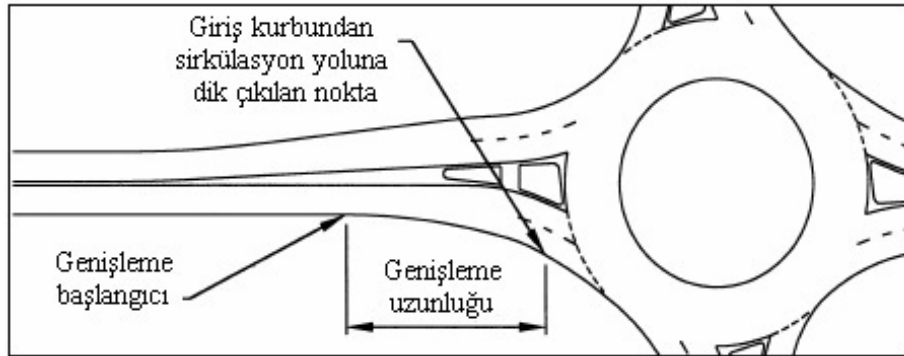
Şekil 3.6 kentsel/kırsal dönel kavşaklar için, tasarım şablonlarına dayalı iki şeritli bir dönel kavşaktaki beklenen kapasiteyi göstermektedir, 45-60 m. dış çember çapları için kullanılabilir [4].



Şekil 3.6.İki şeritli bir dönel kavşakta yaklaşım kapasitesi [4]

Kısa şeritlerin kapasite üzerindeki etkisi

Yaklaşım ağızları genişletilerek, kavşak girişlerine kısa şeritler eklenip giriş şeridi sayısı artırılarak kavşak performansı artırılabilir. Eğer ek kısa şerit kullanılıyorsa, sirkülasyon yapan yol genişliğinin de buna göre genişletildiği kabul edilmektedir. Girişin kapasitesi tüm giriş şeritlerinin etkin olarak kullanıldığı kabulüne dayanmaktadır [4].



Şekil 3.7. Girişte kısa şerit [4]

Kısa şeritlerin kapasite üzerine etkisi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır [4];

$$q_{\max} = \frac{q_{\max 2}}{n+1\sqrt{2}} \quad (3.5)$$

Burada $q_{\max}$ kısa şeritler eklenmiş tek şerit girişin maksimum kapasitesini, $q_{\max 2}$ iki şeritli dönel kavşağın maksimum kapasitesini, n ise tek şerit girişin yanına ilave edilen kısa şerit sayısını göstermektedir. Çizelge 3.2 de verilen faktörlerle Şekil 3.6 daki iki şeritli kavşaklar için verilen kapasiteler ile çarpılarak kısa şerit ilavelerinin kapasiteye etkileri hesaplanabilir [4].

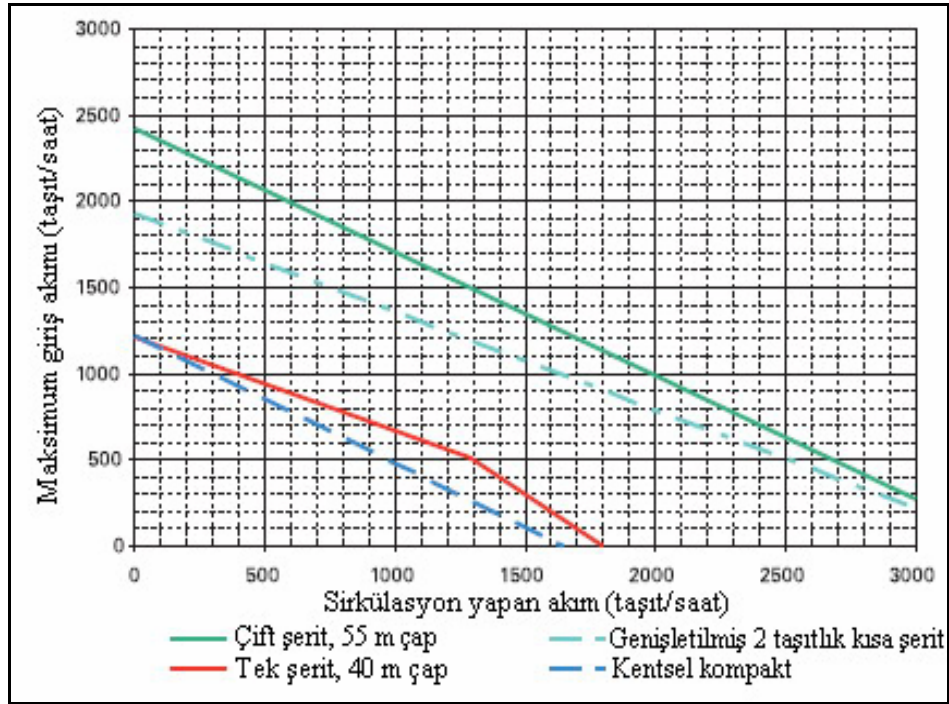
Çizelge 3.2. Kısa şeritler için kapasite faktörleri [4]

Kısa şeritteki taşıt boşluğu sayısı	Faktör (iki şerit yaklaşım kapasitesine uygulanır)
0(*)	0,500
1	0,707
2	0,794
4	0,871
6	0,906
8	0,926
10	0,939

(*) İki şerit dönel kavşağa tek şeritle girildiğinde uygulanır.

Tek şerit ve iki şerit dönel kavşakların karşılaştırılması

Aşağıdaki şekilde tek şeritli ve iki şeritli dönel kavşakların beklenen kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

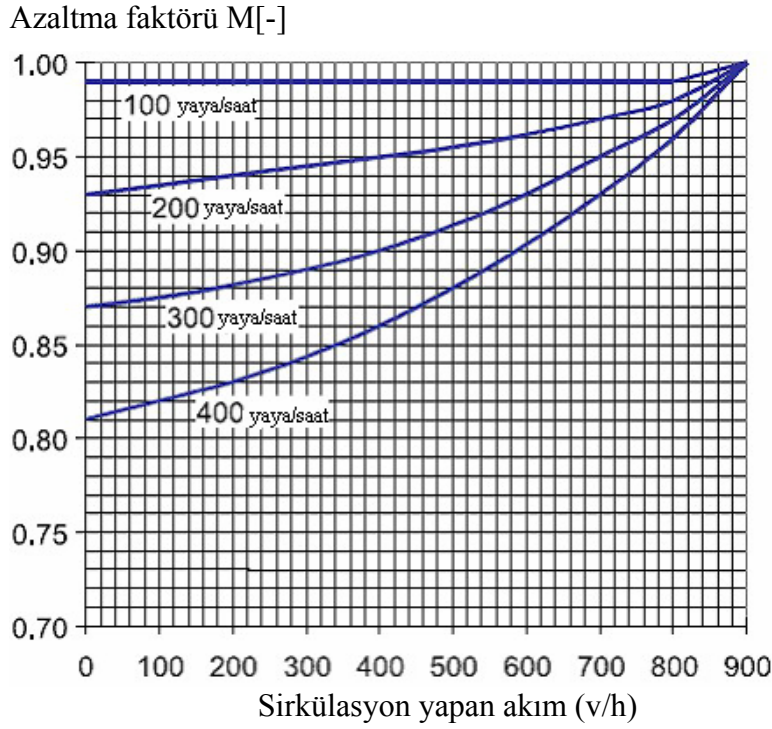


Şekil 3.8. Tek ve iki şeritli dönel kavşak kapasitelerinin karşılaştırılması [4]

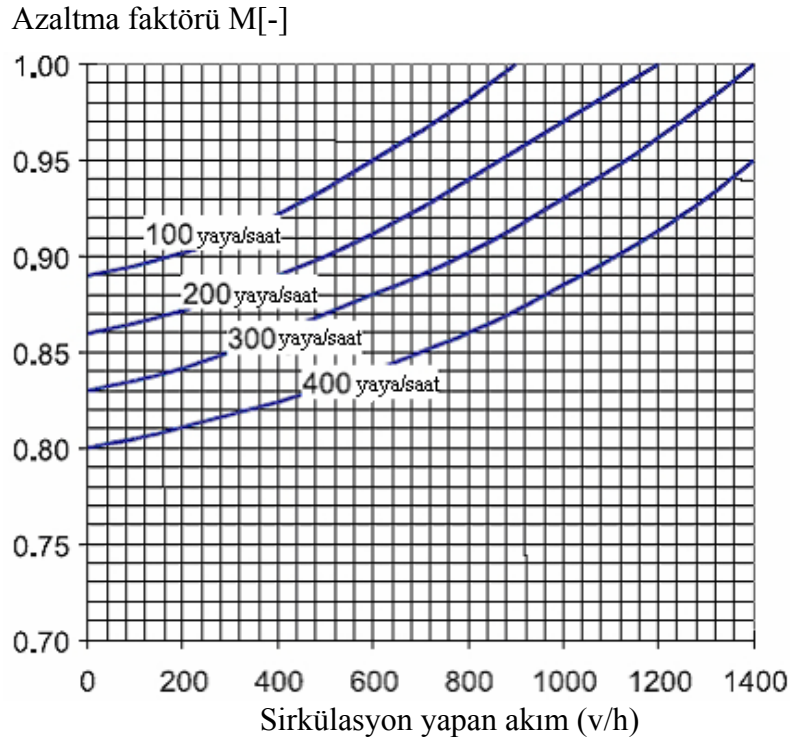
Kısa şeritlerin kapasite üzerine etkisinde de değinildiği gibi iki şeritli kavşağa tek şeritle girildiği takdirde giriş kapasitesi iki giriş şeridi için hesaplanan kapasitenin yarısı alınmalıdır.

Yayaların giriş kapasitesi üzerindeki etkileri

Yayaların kavşakta geçiş önceliği varsa, aşağıdaki düzeltme faktörleri kullanılarak yayaların kapasite üzerindeki azaltma etkisi hesaba katılmış olur [4].



Şekil 3.9. Yayaların öncelikli olduğu kabulüne dayanan tek şeritli dönel kavşaklar için kapasite azaltım faktörü, M [4]



Şekil 3.10. Yayaların öncelikli olduğu kabulüne dayanan iki şeritli dönel kavşak için kapasite azaltım faktörü, M [4]

Çıkış kapasitesi

İyi işletme koşulları altında bile, tek bir şeritle 1400 taşıt/saat'ten fazla çıkış akımı elde etmek güçtür. Normal şehir koşullarında, çıkış şeridi kapasitesi 1200 ile 1300 taşıt/saat arasındadır. Bu yüzden 1200 taşıt/saat'i aşan çıkış akımları iki şerit çıkışı gerektirebilir [4].

Performans Analizi

Bir dönel kavşak analizinde kullanılan üç performans ölçütü vardır. Bunlar; doyunluk derecesi, gecikme ve kuyruk uzunluğudur [4].

Doygunluk derecesi

Doygunluk derecesi dönel kavşak girişindeki talebin kapasiteye oranıdır. Verilen bir tasarımın yeterli olup olmadığı hakkında fikir verir. Doygunluk derecesinin en fazla 0.85 olması durumunda işletim tatmin edici olur. Bu değerlerin üstündeki doyunluk derecelerinde dönel kavşak işleyişinde bozulmalar gözlenir [4].

Gecikme

Gecikme bir kavşağın performansının belirlenmesinde kullanılan standart bir parametredir. Kontrol gecikmesi bir sürücünün kuyrukta ve sirkülasyon yapan akımda müsait bir boşluk bulmak için beklediği zamandır. Servis seviyeleri de hesaplanan gecikmelere göre tanımlanmaktadır. Gecikme aşağıda verilen Eş. 3.6 ile hesaplanmaktadır [4].

$$d = \frac{3600}{C_{m,x}} + 900T * \left[\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}} \right) \left(\frac{V_x}{C_{m,x}} \right)}{450T}} \right] \quad (3.6)$$

Eşitlikte;

d : ortalama kontrol gecikmesi, sn/taşıt;

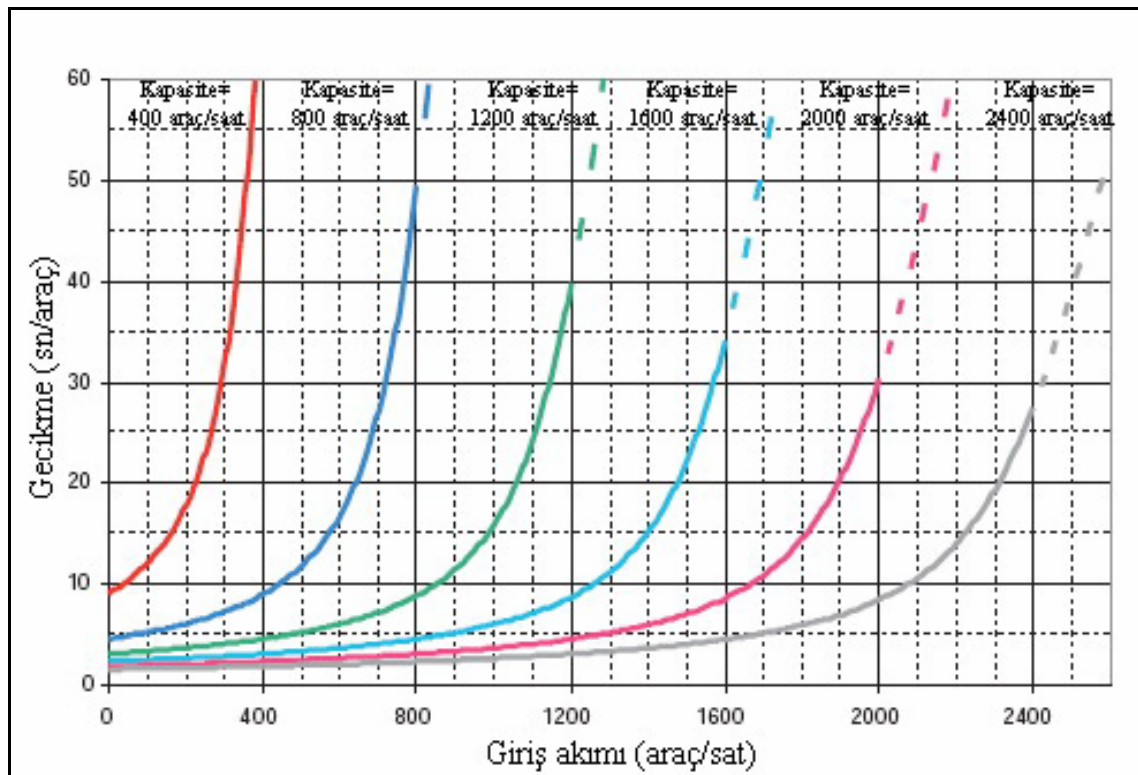
V_x : x hareketi için giriş akımı, taşıt/saat,

$c_{m,x}$: x hareketi için kapasite, taşıt/saat ve

T : analiz zaman periyodu, saat (15 dakikalık periyot için $T=0,25$)

olarak tanımlanmaktadır.

Şekil 3.11' de bir girişteki kontrol gecikmesinin giriş kapasitesi ve sirkülasyon yapan akımla nasıl değiştiği gösterilmektedir. Her eğri hacim/kapasite oranının 1,0 olduğu noktada son bulmakta ve bu noktadan sonra kesik çizgi ile gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Kapasite ve giriş akımına göre kontrol gecikmesi [4]

Hacimler kapasiteye yaklaştıkça, kontrol gecikmesi üstel fonksiyon olarak artmakta, hacimdeki küçük değişiklikler çok büyük gecikmelere sebep olmaktadır. Kapasiteye yakın ya da kapasitenin üzerinde çalışan dönel kavşaklarda artık kuyruklar gözlemlenebilir. Gecikme hesaplarında artık kuyruk etkisini kullanmak çok zordur [4].

Hedeflenen doygunluk derecelerinin 0,85'ten düşük olduğu çoğu kavşak uygulamasında bu bölümdeki yöntemler güvenli bir şekilde kullanılabilir fakat kapasiteye yakın ya da üzerindeki koşulların daha gerçekçi modellenmesi için yazılımlar kullanılmalıdır [4].

Geometrik gecikme, karşıt akım olmadığı durumlarda, tek bir aracın kavşağa gireceği için yavaşlaması, kavşakta ilerlemesi ve sonra tekrar normal hızına ulaşmak için ivmelenmesi süresince geçen zamandır. Geometrik gecikme ulaşım ağı planlamasında ya da alternatif kavşak tipleri arasında seçim yaparken önemlidir. Geometrik gecikme sinyalize ya da dur kontrollü kavşaklardaki düz giriş hareketleri için ihmal edilebilir olsa da dönel kavşaklarda önem kazanmaktadır [4].

Kuyruk boyu

Kuyruk boyu dönel kavşak yaklaşımlarının geometrik tasarımlarının yeterliliğinin değerlendirilmesinde önemlidir [4].

Ortalama kuyruk boyu (L) Little kuralı kullanılarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$L = v \cdot d / 3600 \text{ (araç)}$$

Eşitlikte;

v = giriş akımı, taşıt/saat

d = ortalama gecikme, sn/taşıt

olarak tanımlanmaktadır.

Ortalama kuyruk boyu bir yaklaşımdaki taşıt-saat cinsinden gecikme değerine eşittir. Diğer kavşak tipleriyle karşılaştırma yapmak için veya kavşak gecikmesinin girdi olarak kullanıldığı planlama çalışmaları için kullanılabilir [4].

Tasarımda kullanılmak üzere, bir yaklaşımın yüzde 95'lik kuyruk uzunluğunun doygunluk derecesi ile değişimi Şekil 3.12' de görülmektedir. Grafiğin x-ekseni doygunluk derecesini göstermektedir. T ve giriş kapasitesinin çarpımı için ayrı

eğriler verilmektedir. T süresi boyunca yüzde 95’lik kuyruk uzunluğunu belirlemek için, grafiğe hesaplanmış doygunluk derecesiyle girilir. Hesaplanan eğriye ulaşana kadar dik olarak çıkılır. Daha sonra sola doğru gidilerek yüzde 95’lik kuyruk uzunluğu belirlenir. Buna ek olarak Eş. 3.7’ de kullanılabilir [4].

$$Q_{95} = 900T \left[\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(1 - \frac{V_x}{C_{m,x}}\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}}\right)\left(\frac{V_x}{C_{m,x}}\right)}{150T}} \right] \left(\frac{C_{m,x}}{3600}\right) \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

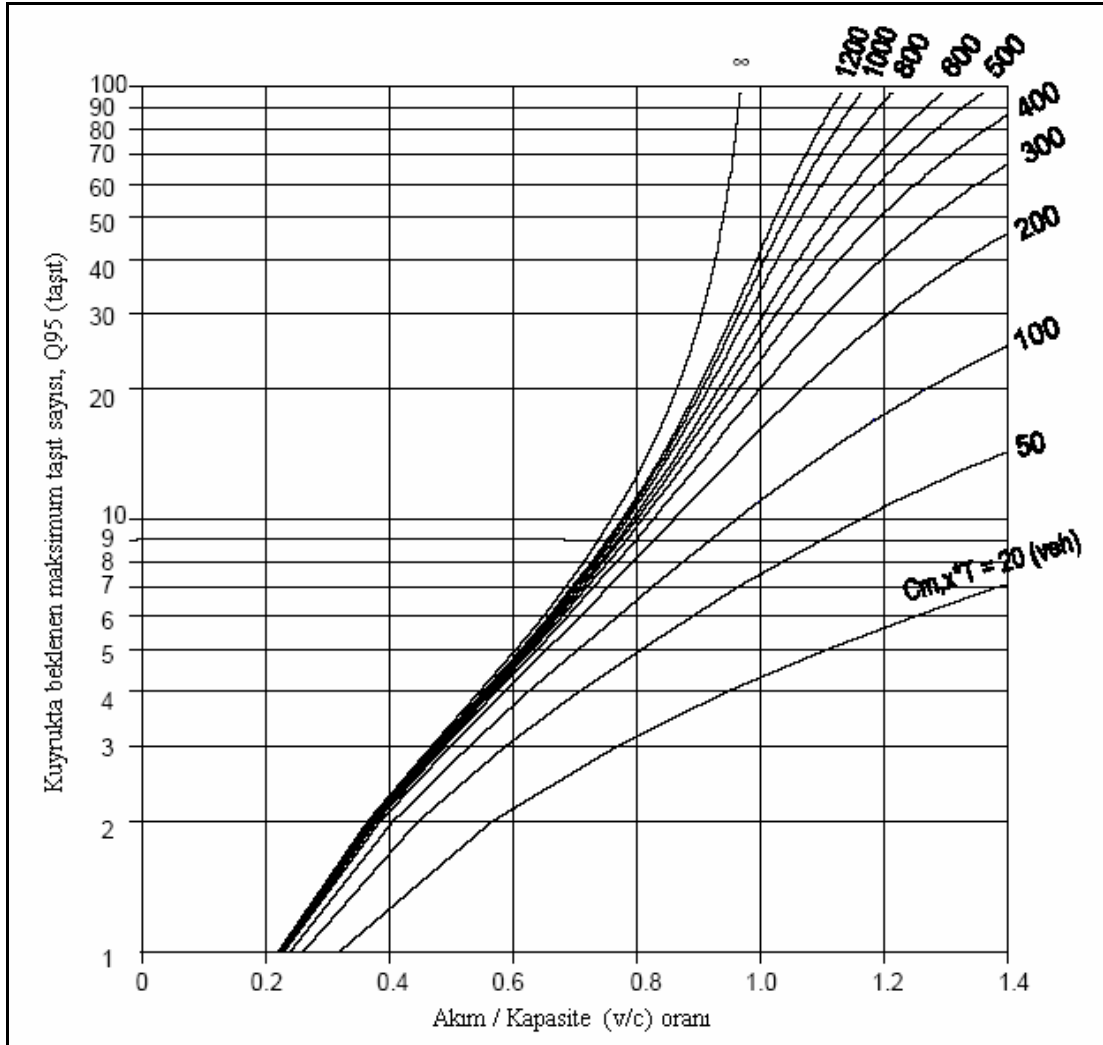
Q_{95} : yüzde 95’lik kuyruk uzunluğu

V_x : x hareketi için akım hızı, taşıt/saat

$C_{m,x}$: x hareketi için kapasite, taşıt/saat, ve

T : analiz zaman periyodu, saat (T=15 dakika için 0,25 alınır)

olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.12. Yüzde 95'lik kuyruk boyu tahmini [4]

Servis seviyesi

Modern dönel kavşaklardaki servis seviyesi her bir şerit için hesaplanan veya ölçülen ortalama kontrol gecikmeleri ile tanımlanır. Servis seviyesi bir kavşağın bütünü için değil her bir şerit için ayrı ayrı tanımlanır. Servis seviyesi tanımları Çizelge 3.3' de verilmektedir [6].

Çizelge 3.3. Modern dönel kavşaklarda servis seviyesi [6]

Servis seviyesi	Ortalama kontrol gecikmesi (sn/araç)
A	>0-10
B	>10-20
C	>20-30
D	>30-40
E	>40-50
F	>50

3.3.2. İsviçre yöntemiyle kapasite hesabı

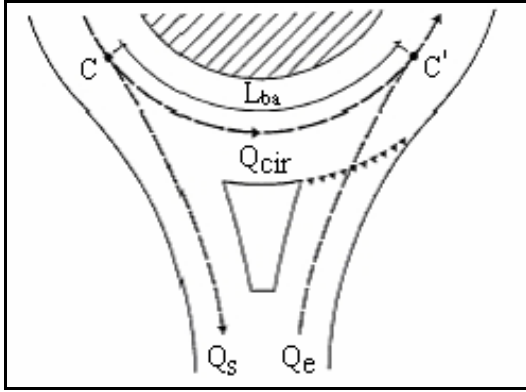
Dönel kavşakların geliştirildiğinde başlangıçta giriş yapan ve sirkülasyon yapan araçların örülmesini esas alan kapasite benimsenmişken sonraki yıllarda bu görüş bazı araştırmacılarca terk edilerek giriş kapasitesini esas alan düşünce benimsenmiştir. Giriş kapasitesi (Q_e) kavşağın herhangi bir kolundan sirkülasyon alanına giren maksimum akım olarak tanımlanmakta ve kapasitesi çatışan akıma (Q_g) bağlı olmaktadır [9].

$$Q_e = F - Q_g * f$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada F ve f katsayıları ifade etmektedir.

TRL gibi bazı İngiliz tasarım rehberlerinde $Q_g = Q_{cir}$ kabul edilmesine karşın İsviçre ve Fransız tasarım rehberlerinde ;

$$Q_g = \beta * Q_{cir} + \alpha * Q_s \text{ olarak hesaplanmaktadır.}$$



Şekil 3.13. Kapasite faktörleri [9]

Burada Q_{cir} girişi geçen akımı, Q_s girişten önceki koldan kavşağı terk eden akımı, α önceki koldan çıkış yapan araçların giriş yapan araçları engellemesini yansıtan bir parametre olup; girişteki kesişme noktası ile önceki koldan çıkış noktası arasındaki mesafeye (L_{ba}) bağlı bir değerdir. β ise sirkülasyon yolundaki şerit sayısını hesaba katan bir parametredir. İsviçre tasarım rehberine göre bir dönel kavşağın tam kapasitesi $F=1500$ ve $f=8/9$ alınarak aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir [9].

$$Q_e = \kappa[1500 - (8/9)*Q_g] \quad (3.8)$$

Burada $Q_g = \beta * Q_{cir} + \alpha * Q_s$, α Şekil 3.14. deki grafikten alınan ve L_{ba} ya bağlı bir değer (L_{ba} çıkışta ayrılma noktası ile girişteki birleşme noktası arasındaki mesafedir),

κ ve β ise aşağıdaki tanımlamalara göre belirlenmiş katsayılardır.

Giriş 1 şeritliyse : $\kappa=1,0$

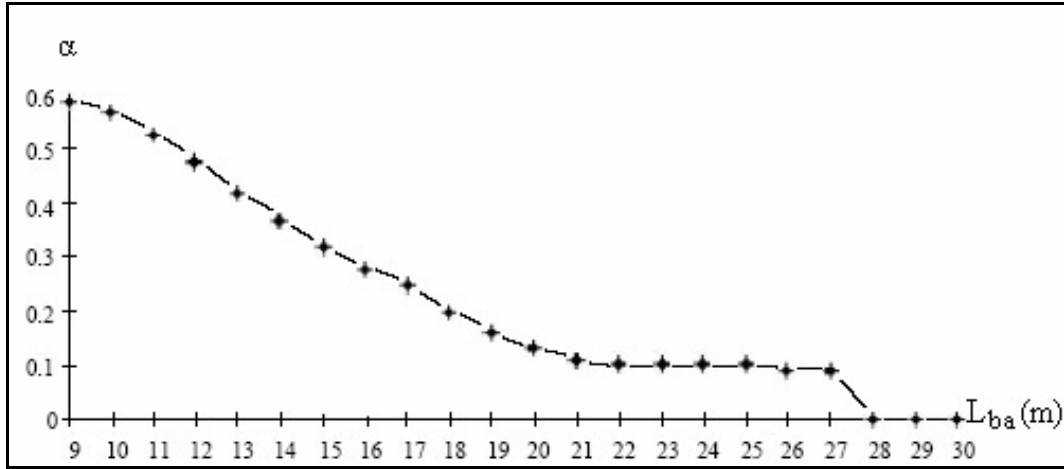
Giriş 2 şeritliyse : $\kappa=1,4-1,6$

Giriş 3 şeritliyse : $\kappa=2,0$

Sirkülasyon yolu 1 şeritliyse $\beta= 0,9-1,0$

Sirkülasyon yolu 2 şeritliyse $\beta= 0,6-0,8$

Sirkülasyon yolu 3 şeritliyse $\beta= 0,5-0,6$



Şekil 3.14. α ve L_{ba} arasındaki ilişki [9]

3.4. Modern Dönel ve Sinyalize Kavşakların Kapasite Yönünden Karşılaştırılması

Bilindiği üzere kavşaklar farklı yönlerden gelen trafik akımlarının ortak kullandıkları alanlardır. Trafik kazalarının ana kaynağı ise bu trafik akımları arasında oluşan çatışmalardır. Trafik kazalarını önlemek için bu akımlar arasındaki çatışmaların önlenmesi gerekmektedir. Modern dönel kavşaklarda çatışmaların önlenmesi bir merkezi ada ve giriş yapan araçların bu merkezi ada etrafında dönüş yapan araçlara yol vermesi ile sağlanmakta, sinyalize kavşaklarda ise süreleri belirlenmiş trafik lambalarıyla sağlanmaktadır [9].

Kavşak tasarımı yapılırken kavşak tipinin belirlenmesinde güvenlikten sonra en önemli etkenlerden biri de kavşağın kapasitesi olmaktadır [9].

Dönel kavşak ve sinyalize kavşakların işleyişleri farklı olduğu için kapasite hesapları da farklı kavramlar göz önünde bulundurularak hesaplanmaktadır. Bu nedenle direkt olarak karşılaştırma yapılamaz ancak detaylı geometrik dizayn ve sinyalizasyon süreleri dikkate alınmadan temel esaslar dikkate alınarak bir karşılaştırma yapılacaktır [9].

Modern dönel kavşak ve sinyalize kavşakların kapasite yönünden karşılaştırılması için belirlenen geometrik tasarımlar kullanılarak tam kapasitelerin karşılaştırılması

yapılacaktır. Modern dönel kavşakların kapasitesi kavşağa giren araçların yönlere göre dağılımına bağlı olmakta ve sola dönüş yapan araçlar kapasiteyi azaltmaktadır. Kapasite hesapları her iki kavşağın da dört kollu olduğu ve kolların merkeze göre simetrik tasarlandığı kabulüyle ve İsviçre yöntemine göre yapılacaktır [9].

Genellikle dönel kavşakların analiz ve değerlendirmelerinde giriş kapasitesi kullanılmaktadır. Dönel kavşak ve sinyalize kavşakların kapasitelerini karşılaştırmak için tam kapasitelerinin kullanılması gerekmektedir. Dönel kavşağın tam kapasitesi (Q_{fer}) kavşağın tüm girişlerindeki toplam trafik hareketlerinin tamamen doymuş şartlardaki maksimum akımlarını taşıyabilecek akım hacmi olarak tanımlanır. Aşağıda bir dönel kavşağın tam kapasitesinin elde edilmesine ait eşitliğin elde edilmesine çalışılacaktır [9].

3.4.1. Modern dönel kavşakların kapasitesi

Şekil 3.14’de görüldüğü gibi tüm girişlerin tam kapasitelerine ulaştığı ve tüm girişlerdeki trafik hareketlerinin yönlere göre dağılımlarının aynı oranlarda olduğu kabul edilmektedir. Burada [9];

Q_{ir} : i girişinde sağa dönen araç hacmini (otomobil/saat),

Q_{ih} : i girişinde doğru giden araç hacmini (v/h),

Q_{il} : i girişinde sola dönen araç hacmini (v/h),

Q_r : dönel kavşakta sağa dönen toplam araç hacmini (v/h),

Q_h : dönel kavşakta doğru giden toplam araç hacmini (v/h),

Q_L : dönel kavşakta sola dönen toplam araç hacmini (v/h),

R_r : sağa dönüş oranını,

R_h : doğru gidiş oranını,

R_L : sola dönüş oranını,

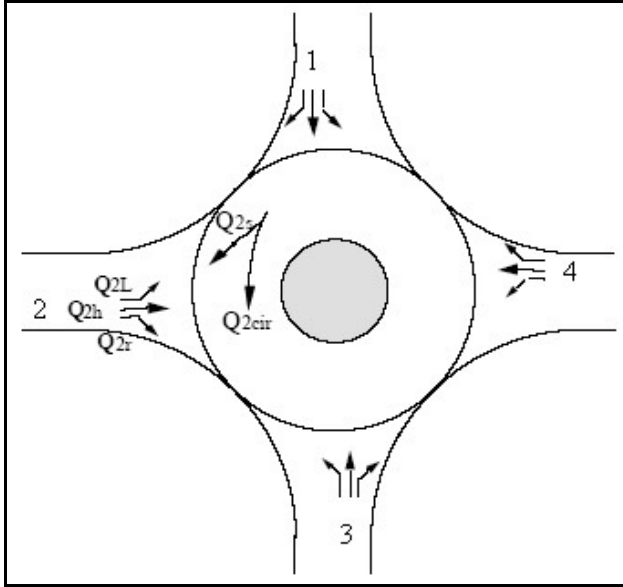
Q_{ie} : i girişindeki akım (giriş kapasitesi, v/h),

Q_{ig} : i girişindeki çatışan akım (v/h),

Q_{icir} : i girişindeki sirkülasyon akımı (v/h),

Q_{is} : i girişinden önceki çıkıştan kavşağı terk eden akımı (v/h) göstermektedir.

Dönel kavşakların simetrik yapıda olmalarından dolayı tüm girişlerde giriş kapasiteleri ve κ , β , α parametreleri için aynı değerleri kullanabiliriz.



Şekil 3.14. Dönel kavşaktaki trafik akımları [9]

$$Q_{ie}/\kappa + Q_{ig} * f = F$$

$$Q_{ig} = \beta * Q_{icir} + \alpha * Q_{is}$$

Eşitlikte 1, 2, 3, 4 girişleri için Q_{cir} ve Q_{is} değerleri yerine konulacak olursa;

$$Q_{1e}/\kappa + [\beta * (Q_{3L} + Q_{4h} + Q_{4L}) + \alpha * (Q_{4r} + Q_{3h} + Q_{2L})] * f = F$$

$$Q_{2e}/\kappa + [\beta * (Q_{4L} + Q_{1h} + Q_{1L}) + \alpha * (Q_{1r} + Q_{4h} + Q_{3L})] * f = F$$

$$Q_{3e}/\kappa + [\beta * (Q_{1L} + Q_{2h} + Q_{2L}) + \alpha * (Q_{2r} + Q_{1h} + Q_{4L})] * f = F$$

$$Q_{4e}/\kappa + [\beta * (Q_{2L} + Q_{3h} + Q_{3L}) + \alpha * (Q_{3r} + Q_{2h} + Q_{1L})] * f = F \quad \text{elde edilir.}$$

$$Q_{fcr} = Q_{1e} + Q_{2e} + Q_{3e} + Q_{4e}$$

$$Q_L = Q_{1L} + Q_{2L} + Q_{3L} + Q_{4L}$$

$$Q_r = Q_{1r} + Q_{2r} + Q_{3r} + Q_{4r}$$

$$Q_h = Q_{1h} + Q_{2h} + Q_{3h} + Q_{4h}$$

$$Q_{fcr}/\kappa + [\beta \cdot (Q_L + Q_h + Q_r) + \alpha \cdot (Q_r + Q_h + Q_L)] \cdot f = 4F$$

$$Q_L = R_L \cdot Q_{fcr}$$

$$Q_h = R_h \cdot Q_{fcr}$$

$$Q_r = R_r \cdot Q_{fcr}$$

$$R_r + R_h + R_L = 1$$

$$Q_{fcr}/\kappa + Q_{fcr} \cdot [\beta \cdot (R_L + R_h + R_r) + \alpha \cdot (R_r + R_h + R_L)] \cdot f = 4F \quad \text{veya}$$

$$Q_{fcr} \cdot \{ 1/\kappa + [\beta \cdot (R_h + 2R_L) + \alpha] \cdot f \} = 4F \quad \text{elde edilir.}$$

Sonuç olarak tam kapasite [9];

$$Q_{fcr} = 4F / \{ 1/\kappa + [\beta \cdot (R_h + 2R_L) + \alpha] \cdot f \} \quad (3.9)$$

olarak elde edilir. Bu eşitlikten de açıkça görüleceği üzere dönel kavşakların tam kapasitesi yalnızca κ , β , α parametrelerine bağlı kalmamakta; dönel kavşaktaki trafik akımlarının yönler göre dağılımlarına da bağlı olmaktadır. Ayrıca yüksek oranda sola dönüşler tam kapasiteyi azaltmakta, sola dönen bir taşıt doğru giden iki taşıta eşdeğer olmaktadır. Sola dönüş oranları ulaşım ağı planlaması ile azaltılabildiği takdirde kavşak kapasitesi artırılabilir ancak trafik şartlarının kesinleşmesi ve değiştirilememesi durumunda ise kapasiteyi artırabilmenin tek yolu geometrik tasarımda değişiklik yapmaktır. Böylelikle α , β , κ değerleri de değişecektir [9].

Dört kollu dönel kavşakların tam kapasitesi için hesaplanan eşitlik, benzer şekilde üç kollu kavşaklar için de aşağıdaki şekilde kullanılabilir [9].

$$Q_{fcr} = 3F / \{ 1/\kappa + [\beta * R_L + \alpha] * f \} \quad (3.10)$$

3.4.2. Sinyalize kavşakların kapasitesi

Sinyalize kavşaklardaki kapasite hesabı, belirlenen sinyalizasyon süreleri içerisinde tüm şeritlerdeki trafik hareketlerinin düzenlendiği ve çatışmaların giderildiği kabulüyle yapılacaktır. Her hangi bir i şeridindeki doymuş akım S_i (v/h) ve efektif yeşil süre G_i (sn) ve bir döngü süresi C_L (sn) ise i şeridinin saatlik kapasitesi [9];

$$C_i = S_i * G_i / C_L = S_i * G_{ri}$$

olarak belirlenir. Burada $G_{ri} = G_i / C_L$ bir döngü süresi içerisindeki efektif yeşil süre oranı olarak tanımlanır. Bir sinyalize kavşağın kapasitesi (Q_{fcs}) mevcut trafik, yol ve sinyalizasyon süresi şartları altında kavşaktan geçen maksimum trafik akımı (v/h) olarak tanımlanır. Sinyalize bir kavşağın kapasitesi dönel bir kavşağın kapasite hesabında kullanılan düşünceye benzer şekilde tanımlanacak olursa; tam kapasite [9];

$$Q_{fcs} = \sum S_i * G_{ri} \quad (3.11)$$

olmaktadır. Bu eşitlikten de görüleceği üzere ; sinyalize bir kavşağın kapasitesi G_{ri} ve giriş şeridi sayısına bağlı olarak artmaktadır. G_{ri} değeri döngü süresi ve faz sayısına bağlı olarak değişmektedir. Birden fazla faz olması durumunda kapasite [9];

$$Q_{fcs} = \sum \sum S_{ki} * G_{rki}$$

olmaktadır. Burada S_{ki} i şeridindeki doymuş akımı, G_{rki} ise k fazındaki efektif yeşil süre oranını göstermektedir.

Her bir şerit için tüm fazlardaki efektif yeşil sürelerin (G_{rk}) eşit olduğu kabul edilirse;

$$Q_{fcs} = \sum [G_{rk} \sum S_{ki}]$$

olmaktadır. S_{ki} 'nin 1600-1800 arasında bir değer olması nedeniyle eşitliği basitleştirmek için tüm şeritlerdeki doygunluk akımının (S_{ki}) aynı olduğu (S) kabul edilirse;

$$Q_{fcs} = S \sum G_{rk} * N_{LK} \quad (3.12)$$

Burada N_{LK} k fazında yeşil yanan şerit sayısını göstermektedir. Eğer her fazda N_{LK} aynı ise eşitlikte N_{LK} yerine n konularak eşitlik basitleştirilebilir ve ;

$$Q_{fcs} = S * n * \sum G_{rk} \quad (3.13)$$

olarak yazılabilir. Burada $\sum G_{rk}$ bir döngü süresi içerisindeki efektif yeşil süreyi göstermekte ve değeri faz sayısı ve döngü süresine bağlı olarak 0,7-0,9 arasında değişmektedir [9].

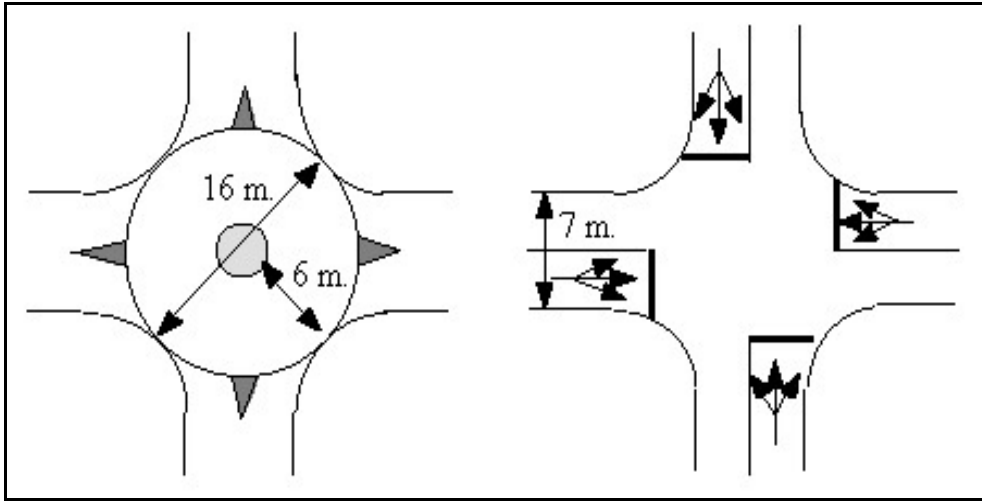
3.4.3. Kapasitelerin karşılaştırılması

Dönel kavşak ve sinyalize kavşakların tam kapasiteleri aynı şartlar altında karşılaştırılmalıdır. Bu nedenle yaklaşık olarak aynı büyüklük ve trafik hareketleri altında karşılaştırma yapılmalıdır [9].

Burada mini, küçük, orta ve büyük olmak üzere dört tip kavşağın kapasite yönünden karşılaştırmaları yapılacaktır [9].

Mini kavşaklar

Mini dönel kavşaklar genellikle her bir kolunda birer şerit bulunan kavşaklardır. Mini dönel ve mini sinyalize kavşağın geometrik tasarımlarının Şekil 3.15. deki gibi olduğunu kabul edelim [9].



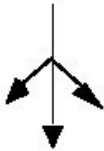
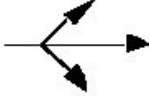
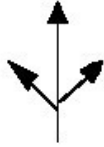
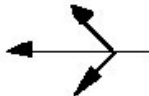
Şekil 3.15. Mini dönel ve sinyalize kavşakların tasarımı [9]

Dönel kavşak tasarımı için $F=1500$, $f=8/9$ ve $\kappa=1$, $\beta=1$, $\alpha=0,59$ ($L_{ba}=9$ m.) alınırsa R_h ve R_L nin farklı değerlerine bağlı olarak Eş.3.9'a göre dönel kavşak kapasitesi [9];

$$Q_{fer} = 6000 / \{1 + [(R_h + 2R_L) + 0.59] * (8/9)\} \text{ olmaktadır.}$$

Sinyalize kavşağın tam kapasitesi hesaplanacak olursa ; Şekil 3.15'te de görüldüğü gibi kavşakta 4 giriş şeridi bulunmakta ve çatışmaları gidermek üzere en az 4 faz gerekmekte, her fazda yalnızca bir şeride yeşil yanmaktadır. $S=1800$, $\sum G_{ri} = 0,78$ kabul edilirse Eş. 3.13'a göre [9];

$$Q_{fcs} = S * n * \sum G_{ri} = 1800 * 1 * 0.78 = 1404 \text{ olmaktadır.}$$

Faz no			
1	2	3	4
			

Şekil 3.16. Mini sinyalizasyon kavşakları için faz tasarımı [9]

Modern dönel kavşak ve sinyalizasyon kavşağının kapasiteleri karşılaştırılacak olursa [9];

$Q_{fcr} > Q_{fcs}$ olduğunu kabul edelim

$$6000 / \{1 + [R_h + 2R_L + 0.59] * (8/9)\} > 1404$$

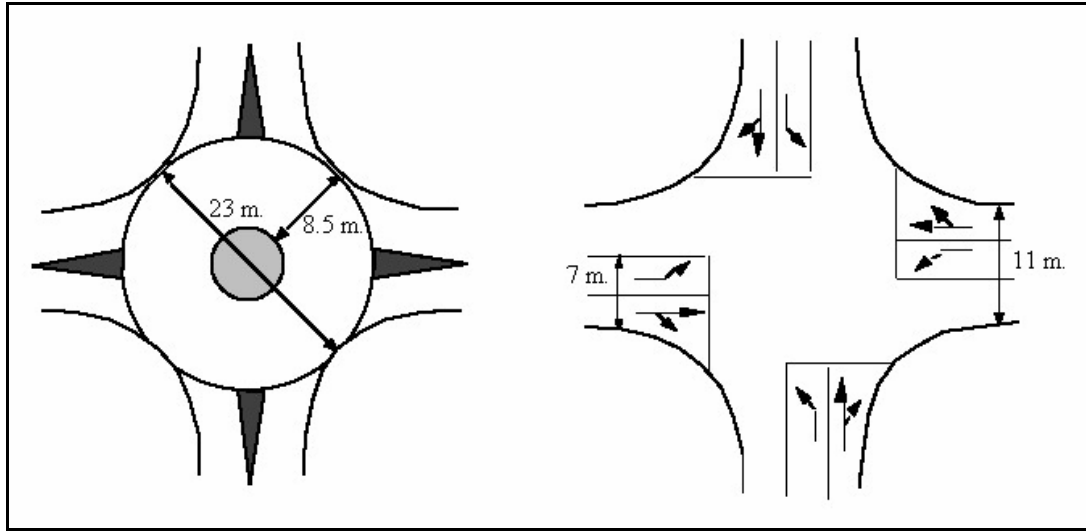
$$R_h + 2R_L < 3,12 \text{ elde edilmektedir}$$

Bu eşitliğin çözümünden yalnızca bu şartlar altında dönel kavşak kapasitesinin sinyalizasyon kavşak kapasitesinden büyük olacağı sonucu elde edilmektedir.

$R_r + R_h + R_L = 1$ ve $R_L < 1$ olduğu için bu eşitlik bütün şartlarda geçerli olmaktadır. Sonuç olarak mini kavşaklar için geçerli olmak üzere dönel kavşak kapasitesi her durumda sinyalizasyon kavşak kapasitesinden büyük olmaktadır [9].

Küçük kavşaklar

Bu tip kavşaklarda genellikle tüm yaklaşımlarda 2 şerit bulunmaktadır. Küçük dönel ve sinyalizasyon kavşağının geometrik tasarımlarının Şekil 3.17'deki gibi olduğunu kabul edelim.



Şekil 3.17. Küçük dönel ve sinyalizasyon kavşaklarının tasarımı [9]

Faz no Alternatif	1	2	3	4
A				
B				

Şekil 3.18. Küçük sinyalizasyon kavşakları için faz tasarımları [9]

Dönel kavşak tasarımı için $F=1500$, $f=8/9$ ve $\kappa=1$, $\beta=0,9$, $\alpha=0,32$ ($L_{ba}=15$ m.) alınırsa R_h ve R_L nin farklı değerlerine bağlı olarak kapasite hesaplanacak olursa;

$$Q_{fcr} = 6000 / \{1 + [0.9 * (R_h + 2R_L) + 0.32] * (8/9)\} \text{ olmaktadır.}$$

Sinyalizasyon kavşağın tam kapasitesi hesaplanacak olursa ; Şekil 3.17’de de görüldüğü gibi kavşakta 8 giriş şeridi bulunmakta ve tüm trafik hareketlerini düzenlemek ve çatışmaları gidermek için en az 4 faz gerekmektedir. Şekil 3.18’de de görüleceği üzere iki tip faz tasarımı yapılmakta ve her fazda iki şeride yeşil ışık yanmaktadır.

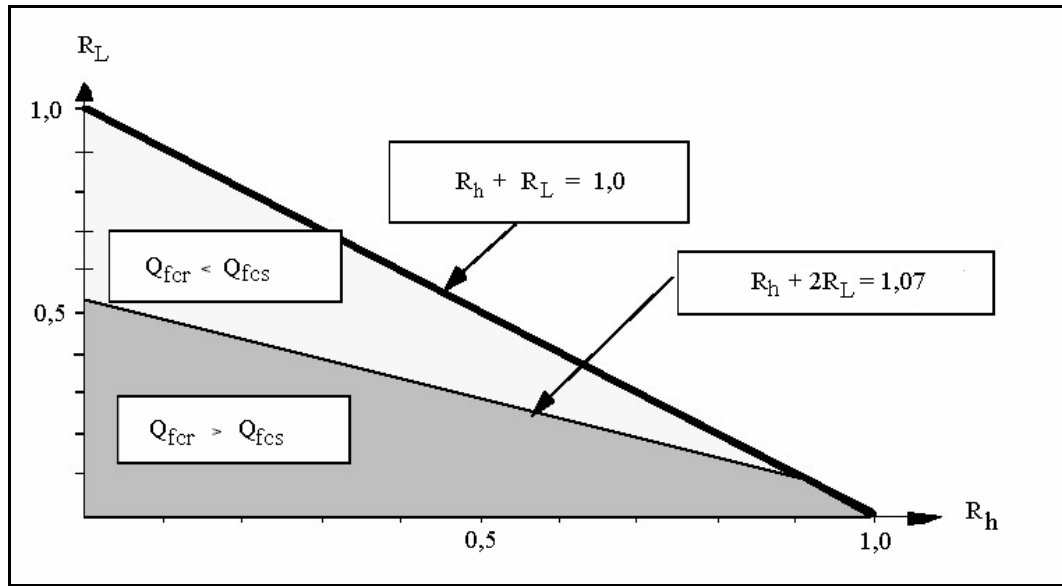
$S=1800$, $\sum G_{ri} = 0,78$ kabul edilirse 3.13. deki eşitliğe göre ;

$$Q_{fcs} = S * n * \sum G_{ri} = 1800 * 2 * 0.85 = 2808 \text{ olmaktadır.}$$

$Q_{fer} > Q_{fcs}$ olduğunu kabul edelim;

$$6000 / \{1 + [0.9(R_h + 2R_L) + 0.32] * (8/9)\} > 2808$$

$R_h + 2R_L < 1.07$ elde edilmektedir [9].

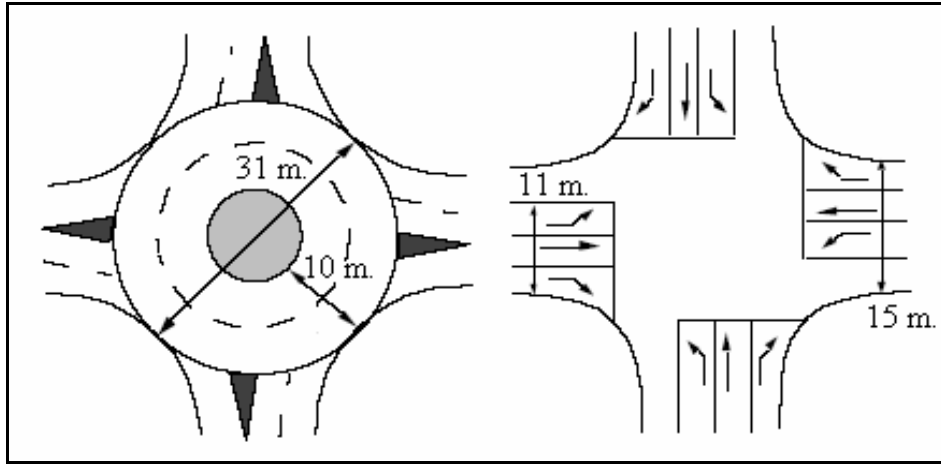


Şekil 3.18. Küçük dönel ve sinyalize kavşak kapasitelerinin karşılaştırılması [9]

Şekil 3.18. ile bu koşullar altındaki kapasite karşılaştırmaları gösterilmektedir. Bu grafikten görüleceği üzere aşırı sola dönüşler gibi olağan dışı bir durum oluşmadığı takdirde dönel kavşak kapasitesi sinyalize kavşak kapasitesinden büyük olmaktadır [9].

Orta büyüklükteki kavşaklar

Bu tip sinyalize kavşaklarda sıklıkla her bir yaklaşımda 3 şerit bulunmaktadır. Şekil 3.19'da bu tip kavşaklar için varsayılan geometrik tasarımlar görülmektedir.



Şekil 3.19. Orta büyüklükteki dönel ve sinyalize kavşakların tasarımı [9]

Faz no Alternatif	1	2	3	4
A				
B				

Şekil 3.20. Orta büyüklükteki sinyalize kavşaklar için faz tasarımları [9]

Dönel kavşak tasarımı için $F=1500$, $f=8/9$ ve $\kappa=1,4$, $\beta=0,7$, $\alpha=0,16$ ($L_{ba}=19$ m.) alınırsa R_h ve R_L nin farklı değerlerine bağlı olarak kapasite hesaplanacak olursa;

$$Q_{fer} = 4F / \{ 1/\kappa + [\beta*(R_h + 2R_L) + \alpha] * f \}$$

$$= 6000 / \{ 1/1.4 + [0.7*(R_h + 2R_L) + 0.16] * (8/9) \}$$

olmaktadır. Sinyalize kavşağın tam kapasitesini karşılayacak olursak; Şekil 3.19’da da görüldüğü gibi kavşakta 12 giriş şeridi bulunmakta ve tüm trafik hareketlerini düzenlemek ve çatışmaları gidermek için en az 4 faz gerekmektedir. Şekil 3.20’de de

görüleceği üzere 2 tip faz tasarımı yapılmakta ve her fazda 4 şeride yeşil ışık yanmaktadır.

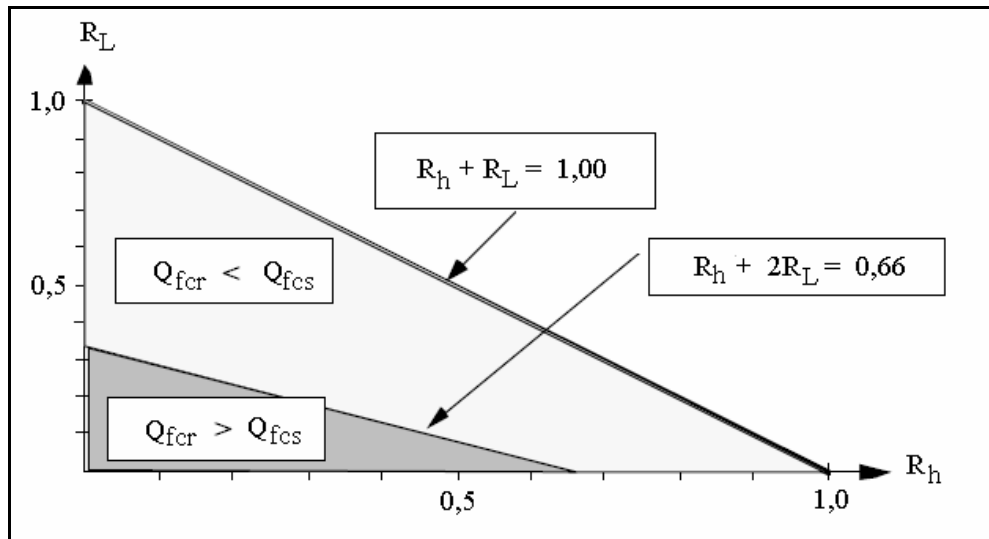
$S=1800$, $\sum G_{ri} = 0,78$ kabul edilirse Eş.3.13 göre;

$$Q_{fcs} = S * n * \sum G_{ri} = 1800 * 4 * 0.78 = 5616 \text{ olmaktadır.}$$

$Q_{fcr} > Q_{fcs}$ olduğunu kabul edelim;

$$6000 / \{1/1.4 + [0.7 * (R_h + 2R_L) + 0.16] * (8/9)\} > 5616$$

$R_h + 2R_L < 0.66$ elde edilmektedir [9].

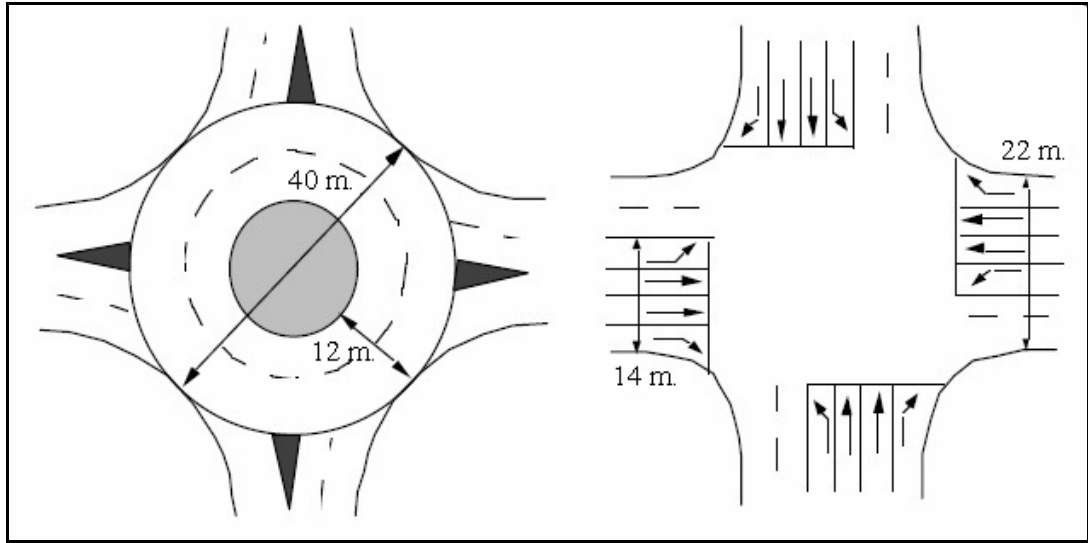


Şekil 3.21. Orta büyüklükteki dönel ve sinyalize kavşağın kapasite yönünden karşılaştırılması [9]

Şekil 3.21'de bu şartlar altındaki kapasite karşılaştırmaları görülmektedir. Bu grafikten de görüleceği üzere sola dönüşlerin fazla olması durumunda sinyalize kavşak kapasitesi dönel kavşak kapasitesinden fazla olmaktadır [9].

Büyük kavşaklar

Bu tip sinyalize kavşaklarda sıklıkla her bir yaklaşımda 4 şerit bulunmaktadır. Şekil 3.22’de bu tip kavşaklar için varsayılan geometrik tasarımlar görülmektedir. Her iki kavşak dizaynı için de yaklaşık olarak eşit alanlar kullanılmaktadır [9].



Şekil 3.22. Büyük dönel ve sinyalize kavşakların tasarımı [9]

Faz no Alternatif	1	2	3	4
A				
B				

Şekil 3.23. Büyük sinyalize kavşaklar için faz tasarımları [9]

Dönel kavşak tasarımı için $F=1500$, $f=8/9$ ve $\kappa=1,6$, $\beta=0,6$, $\alpha=0,10$ ($L_{ba}=23$ m.) alınırsa R_h ve R_L nin farklı değerlerine bağlı olarak kapasite hesaplanacak olursa;

$$Q_{fcr} = 4F / \{ 1/\kappa + [\beta*(R_h + 2R_L) + \alpha] * f \}$$

$$= 6000 / \{ 1/1.6 + [0.6*(R_h + 2R_L) + 0.10] * (8/9) \}$$
 elde edilmektedir.

Sinyalize kavşağın tam kapasitesini karşılaştıracak olursak; Şekil 3.22’de de görüldüğü gibi kavşakta 16 giriş şeridi bulunmakta ve tüm trafik hareketlerini düzenlemek ve çatışmaları gidermek için en az 4 faz gerekmektedir. Şekil 3.23’de de görüleceği üzere 2 tip faz tasarımı yapılmakta ve kapasiteler bu fazlara göre hesaplanmaktadır.

A tasarımı:

1. ve 3. fazlarda 6’şar şeride, 2.ve 4. fazlarda 4’er şeride yeşil ışık yanmaktadır.

$S=1800$, $G_{ri} = 0,195$ kabul edilirse

$$Q_{fcs} = S \sum G_{rk} * N_{Lk} = 1800 * 0.195 * (6 + 4 + 6 + 4) = 7020 \text{ elde edilmektedir.}$$

B tasarımı:

Her fazda 5’er şeride yeşil ışık yanmaktadır.

$S=1800$, $\sum G_{ri} = 0,78$ kabul edilirse Eş.3.13’e göre ;

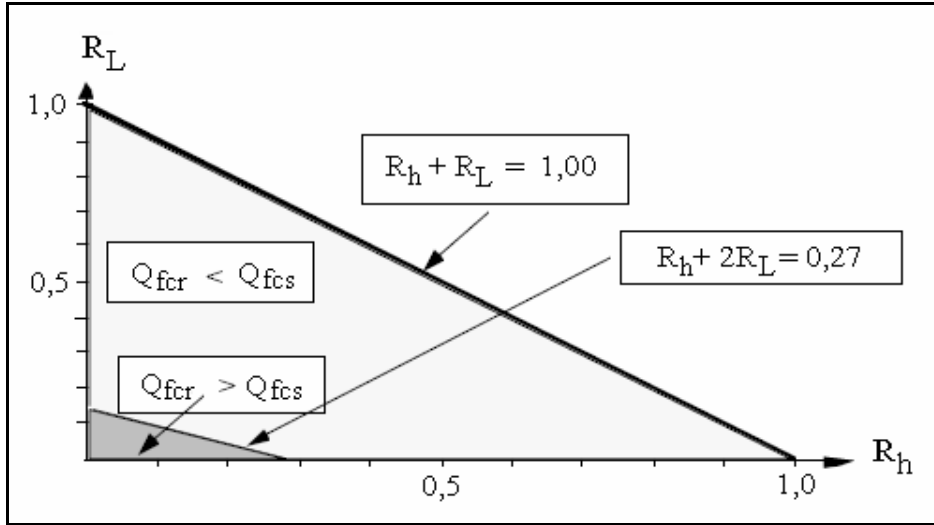
$$Q_{fcs} = S * n * \sum G_{ri} = 1800 * 5 * 0.78 = 7020 \text{ elde edilmektedir.}$$

Büyük kavşaklar için dönel ve sinyalize kavşakları karşılaştıracak olursak;

$Q_{fcr} > Q_{fcs}$ kabul edelim,

$$6000 / \{ 1/1.6 + [0.6*(R_h + 2R_L) + 0.10] * (8/9) \} > 7020$$

$R_h + 2R_L < 0.27$ elde edilmektedir [9].



Şekil 3.24. Büyük dönel ve sinyalize kavşak kapasitelerinin karşılaştırılması [9]

Bu koşullar altında Şekil 3.24’den de görüleceği üzere, çoğu durumda dönel kavşak kapasitesi sinyalize kavşak kapasitesinden az olmaktadır [9].

3.4.4. Değerlendirmeler

Her iki kavşak tipinin de kapasitelerinin hesaplanması için formüller üretilmektedir [9].

Geometrik tasarımı belirlenmiş bir dönel kavşağın kapasitesi kavşak içerisindeki trafik akımlarının yönler göre dağılımına bağlı olmakta ve sola dönüşler kavşak kapasitesini azaltmaktadır [9].

4 farklı büyüklükteki kavşak tipi için kapasiteler karşılaştırıldığında; mini kavşaklar için dönel kavşak kapasitesi her durumda sinyalize kavşak kapasitesinden büyük olmakta; küçük kavşaklar için çoğu durumda dönel kavşak kapasitesi sinyalize kavşak kapasitesinden büyük olmakta; orta büyüklükteki kavşaklar için sola dönüş ve doğru giden trafik akımlarının nispeten düşük olduğu durumlarda dönel kavşak kapasitesi, diğer durumlarda ise sinyalize kavşak kapasitesi daha büyük olmakta; büyük kavşaklar için ise pek çok durumda sinyalize kavşak kapasitesi dönel kavşak kapasitesinden büyük olmaktadır [9].

Aynı sonuçların üç kollu kavşaklar için de geçerli olduğu gösterilebilir. Bu çalışmada yaya ve bisikletliler hesaba dahil edilmemiştir. Dönel kavşak kapasiteleri giriş ve sirkülasyon yolundaki şerit sayılarına göre tespit edildiğinden; giriş ve sirkülasyon yolunun çok şeritli olması durumları ayrıca incelenmelidir [9].

4. GÜVENLİK

Modern dönel kavşaklarda güvenlik; çeşitli çatışma tiplerini yok ederek yada değiştirerek, kavşaktaki hız farklarını azaltarak ve sürücülerin kavşağa doğru ilerlerken veya kavşaktan geçerlerken hızlarını azaltmalarını sağlayarak artırılabilir[4].

Kaza bilgileri ile kavşak geometrisi ile ilgili değişkenlerin kazalarla ilişkilerini kavramak kavşak tasarımında sürücülerin, yayaların ve bisiklet sürücülerinin güvenliğini artırmada yardımcı olacaktır[4].

4.1. Giriş

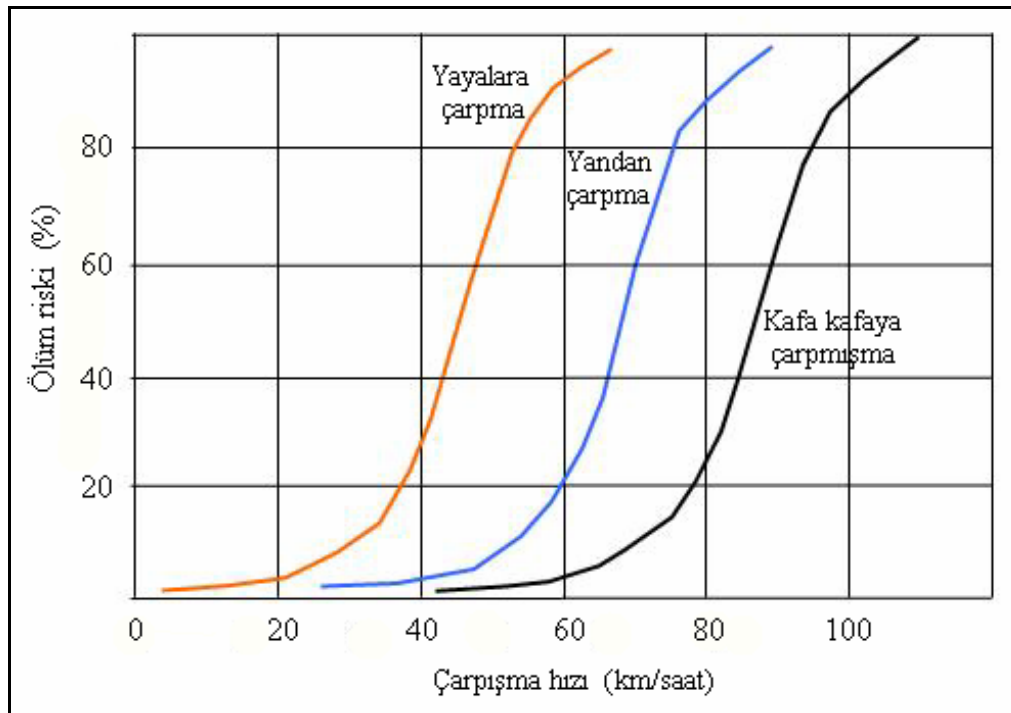
Pek çok çalışma dönel kavşak yapımının faydalarından birinin güvenlik performansında iyileşme olduğunu göstermiştir. ABD’de, Avrupa ve Avustralya’da gerçekleştirilen çeşitli araştırmalarla güvenlik yönünden dönel kavşakların diğer kavşak tiplerinden çok daha işlevsel olduğu anlaşılmıştır. Özellikle ABD’de tek şeritli dönel kavşakların iki yönlü dur kontrollü kavşaklardan daha güvenli olduğu tespit edilmiştir. Dönel kavşaklarda kaza sıklığı daima daha düşük olmamakla beraber, genellikle yaralanma oranlarında azalma olduğu görülmüştür. Küçük ve orta kapasiteli dönel kavşaklarda güvenlik geniş ve çok şeritli kavşaklara göre daha iyidir. Toplam kaza sıklığı azalırken, kaza sayılarında en çok düşüş motorlu taşıtlarda gerçekleşmiş, yayalar için kazalarda azalma nispeten daha az gerçekleşmiştir. Dönel kavşaklarda güvenlik düzeyinin artmasına yol açan unsurlar şunlardır [4];

- Dönel kavşaklar normal tipteki kavşaklara göre daha az çatışma noktasına sahiptir,
- Kavşağa dik açı ile giriş ve sola dönüş hareketleri engellendiği için kafa kafaya çarpışma gibi tehlikeli çatışma durumları dönel kavşak kullanımı sayesinde önlenmektedir. Tek şeritle yaklaşılan dönel kavşaklarda daha az çatışma ihtimali

olmasından ve yaya geçiş mesafelerinin daha kısa olmasından dolayı bu kavşaklar çok şeritli yaklaşıma sahip dönel kavşaklardan daha fazla güvenlidirler,

- Modern dönel kavşaklardaki düşük hızlar sürücülere potansiyel çatışmalara tepki vermeleri için daha fazla zaman tanır, bu da dönel kavşakların güvenlik performansının artmasını sağlar,
- Çoğu sürücü dönel kavşak boyunca aynı hızda seyahat ettikleri için veya birbirlerine göre düşük hız farklarıyla seyahat ettikleri için kaza şiddeti azalmaktadır,
- Sinyalize olmayan kavşaklarla karşılaştırıldığında, yayalar dönel kavşakları boydan boya geçerken bir yaklaşım üzerinde sadece trafiğin bir yönünü kontrol ederek geçiş yapmaya ihtiyaç duyarlar. Dönel kavşağa giren ve dönel kavşaktan çıkan sürücülerin hızları iyi bir tasarımla azaltılarak olası kazaların şiddeti azaltılmaktadır.

Şekil 4.1. de çarpışma hızı ile ölüm riski arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Çarpışma hızı ile ölüm riski arasındaki ilişki [10]

Şekil 4.1'deki çarpışma hızı ile ölüm riski arasındaki ilişki incelendiğinde; ölüm riskinin % 10'a kadar olduğu bölümde riskin nispeten yavaş ve daha sonra hızla arttığı görülmektedir. Buradan hareketle, ölüm riskinin % 10 'dan fazla olduğu hızlardaki çarpışmaları önleyecek şekilde tasarlanmış bir karayolu trafik sistemi, güvenliği istenen seviyelerde sağlayabilecektir. O halde [10];

- Yaya - araç çarpışmasında 30 km/saat,
- Taşıt - taşıt ya da taşıt - cisim şeklindeki yandan çarpışmalarda 50 km/saat,
- Taşıt - taşıt ya da taşıt - cisim şeklindeki kafa kafaya çarpışmalarda 70 km/saat,

değerindeki hızlar kapasite-güvenlik dengelemesinde referans hız değerleri olarak kullanılabilir. Bu verilerden, bazı temel planlama ve tasarım kuralları elde edilebilir. Bu kurallar kısaca şunlardır;

- Yayalar motorlu taşıt trafiğinden ayrılmalıdır.
- Yaya-bisiklet sürücüleri ile motorlu taşıtlar arasındaki çatışma noktalarında hız tercihen 30 km/saat veya daha düşük olmalıdır.
- Kavşaklar, özellikle yandan çarpma şeklindeki kazalar için, çarpışma hızını azaltacak şekilde tasarlanmalı ve tercihen hızlar 50 km/saat veya daha düşük alınmalıdır.
- Kafa kafaya çarpışma ve sert cisimlere çarpma riski mümkün olduğunca azaltılmalıdır.

Diğer taraftan kavşaklara yaklaşım hızları ile kavşak içindeki taşıtların sirkülasyon hızlarının azaltılmasına yönelik tedbirler trafik güvenliği açısından yeterli değildir aynı zamanda çatışma risklerini ve kazaların olumsuz sonuçlarını azaltacak önlemlerin de alınması gereklidir [10].

Güvenliğin artırılması amacıyla yukarıdaki kurallara uygun bir kavşak tasarımı veya mevcut bir kavşağın iyileştirmesi yapılırken dönel kavşakların geçmişte kaydedilmiş performans değerlendirmeleri ile değil aynı zamanda güvenliği etkilediği saptanmış bütün tasarım kavramları kullanılarak iyileştirme yapılmalıdır. Dönel kavşakta

güvenliği en iyi şekilde sağlamak ve dönel kavşağın en iyi şekilde kullanılması için dikkat edilmesi gereken diğer noktalar şunlardır [4];

- Herhangi bir geometrik özelliği iyileştirerek potansiyel çatışma sayısını azaltmak birden fazla aracın kaza oranını ve şiddetini azaltır,
- Çatışma noktasında taşıtların arasındaki bağıl hız farklarının azaltılması birden fazla aracın karıştığı kaza oranını ve şiddetini azaltacaktır. Taşıtlar arasındaki bu bağıl hızı azaltmak için her iki aracın mutlak hızları yada taşıt güzergahları arasındaki açı azaltılmalıdır. Her gün aynı yolda gidip gelen bir bisikletin hızı 20 ile 25 km/saat arasında değişmektedir, motorlu taşıtların hızlarını da yakın değerlerle sınırlandıran projeler bağıl hızları azaltır ve güvenliğini artırır. Düşük mutlak hızlar ise yaya güvenliğini sağlanmasında rol oynar.
- Birbiri ardına gelen yatay kurplar nedeniyle hızdaki büyük değişimleri sınırlandırmak tek taşıtın neden olduğu kaza oranını ve şiddetini azaltacaktır.

4.2. Çatışmalar

Çatışma noktaları; bir aracın doğrultusunun başka bir taşıt, yaya yada bisikletin kullandığı yolu kesmesi, bu kısımla birleşmesi, bu kısımdan ayrılması yada bu kısmın arkasında kuyruk oluşturmamasından meydana gelir [4].

Bir kavşaktaki kaza sıklığı kavşaktaki her bir çatışma noktasında kesişen trafik akımının büyüklüğünün yanı sıra çatışma noktası sayısı ile de ilgilidir. Bir çatışma noktası iki motorlu taşıtın, bir taşıt ve bisikletin yada yayaların yolda beraber kullandıkları kısımlarda ayrılma , birleşme , birbirini kesme ve kuyruk oluşumu gibi hareketlerin olduğu kavşak noktalarından biridir [4].

Diğer yol kullanıcıları ile çatışmalara ek olarak, bir dönel kavşağın orta adası da düşük trafik yoğunluğunun olduğu sürelerde meydana gelen tek taşıtlı kazaların nedeni olabilir [4].

Aşağıdaki bölümlerde taşıtlar, bisikletler ve yayalar arasındaki çeşitli çatışma durumları anlatılmaktadır. Hem izin verilen çatışmalar hem de trafik kontrol cihazları aracılığı ile yasaklanan çatışmalar (yayaların geçiş önceliği olması halinde) anlatılmaktadır. Trafik kontrol cihazları bu çatışmaları önemli ölçüde azaltsa da, ciddi kazalar bu tür ihlallerden dolayı gerçekleşmektedir [4].

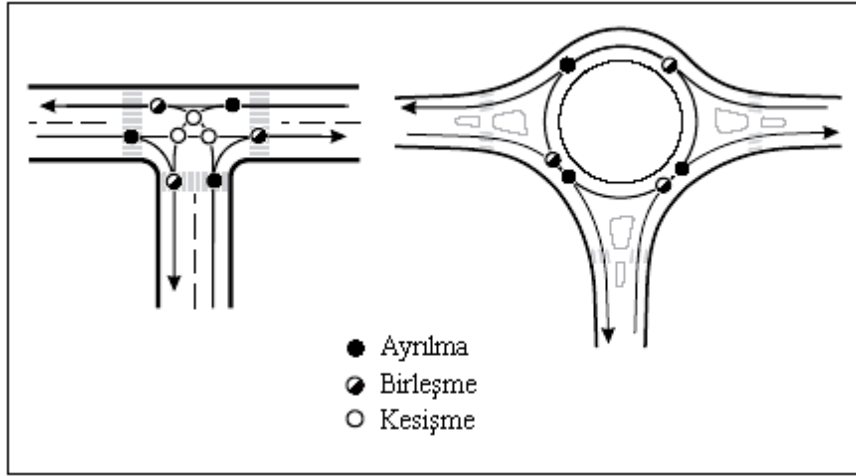
Kaza analizlerinde olduğu gibi çatışma analizlerinde çatışma noktasının sayısı yanında ; çatışma noktasının yeri, çatışma noktasında kesişen akımların hacmi ve kategorisi, kesişen akımların birbirlerine göre bağıl hızları ve açıları ile kesişen akımdaki bir elemanın bir kazadan kurtulabilme yeteneğine göre taşıdığı risk durumu da incelenmelidir [4].

4.2.1. Taşıt çatışmaları

Tek şeritli dönel kavşaklar

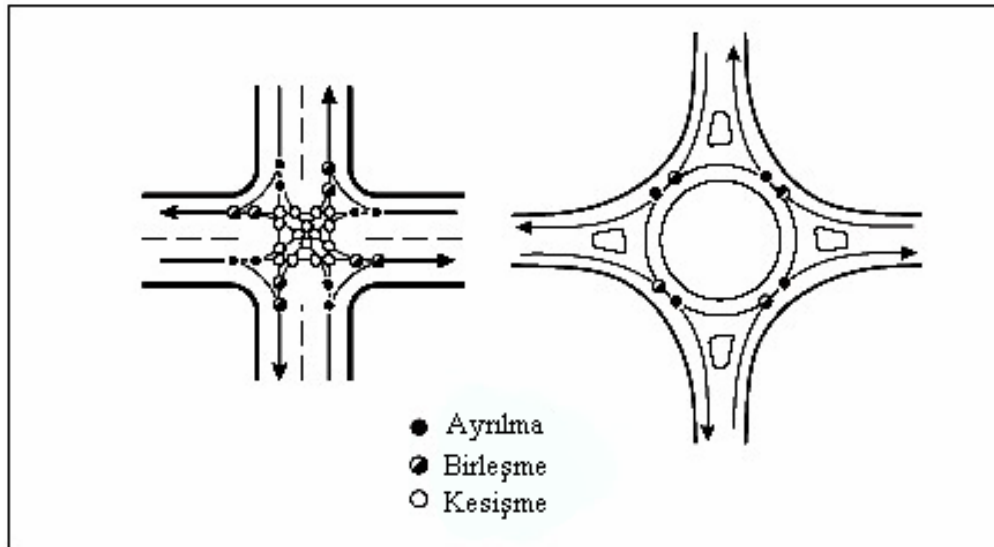
Modern dönel kavşaklar ile üç veya daha fazla ayağa sahip karmaşık olmayan bir yapı kazanırlar [4].

Şekil 4.2’de geleneksel bir üç kollu kavşak bir başka deyişle “T” kavşak ve bir üç kollu modern dönel kavşak için taşıt-taşıta çatışma noktaları gösterilmektedir. Şekilde gösterildiği gibi dönel kavşaklar için taşıt-taşıta çatışma noktalarının sayısı üçlü kavşaklarda dokuzdan altıya düşmektedir. Şekillerde ayrı sol yada sağa dönüş şeritleri kullanılarak veya dur işareti yada trafik işaret levhaları gibi trafik kontrol cihazları kullanılarak çatışmaları önleme ve sayılarını azaltma durumları gösterilmemiştir [4].



Şekil 4.2. Tek şeritli yaklaşıma sahip “T” kavşaklar için taşıt çatışma noktaları[4]

Şekil 4.3’ de aynı tip bir diyagramla geleneksel dört ayaklı bir kavşak ve dört ayaklı bir dönel kavşak gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi dönel kavşaklar için taşıt-taşıta çatışma noktaları dört ayaklı kavşaklarda 32’den 8’e düşmektedir [4].



Şekil 4.3. Tek şerit yaklaşımlı kavşaklar için taşıt çatışma noktalarının karşılaştırılması [4]

Çatışmalar aşağıda açıklanacağı üzere şiddet dereceleri değişen üç temel kategoriye ayrılabilirler [4];

- Taşıt kuyruğu çatışmaları: Bu çatışmalara bir yaklaşım üzerindeki taşıt kuyruğunda sıralanan taşıtlar sebep olur. Bu tür çatışmalar kuyrukta düz giden yada kavşağa girmek veya sola dönmek için uygun boşluk bekleyen taşıtların kuyruk haline geldiği yerde oluşur. Kazalar aracın en fazla korunan ön ve arka kısmında olduğu için ve taşıtlar arasındaki nisbi hız farkı diğer çatışmalardaki nisbi hız farkından daha az olduğu için bu tür çatışmalar diğerlerine göre kaza şiddeti en az olan çatışmalardır.
- Birleşme ve ayrılma çatışmaları: Bu çatışmalara birleşen yada ayrılan iki trafik akımı sebep olur. Birleşme çatışmalarından doğan en yaygın kaza tipi yandan ve arkadan çarpışmalardır. Birleşme çatışmalarında tipik olarak aracın ön ve arkasından daha az korunmuş olan yan tarafa çarpılma ihtimali yüksek olduğundan dolayı bu çatışmalar ayrılma çatışmalarından daha ciddi olabilirler.
- Kesen çatışmalar: Bu çatışmalar iki trafik akımının birbirini kesmesinden oluşur. Bunlar bütün çatışmaların en ciddi olanıdır ve diğer çatışmalara göre yaralanma ve ölüme yol açma ihtimali daha yüksektir. Tipik kaza şekilleri dik açılı çarpışmalar ve kafa- kafaya çarpışmalardır.

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 bir dönel kavşağın bütün hareketleri sağa dönüş çevirdiğini böylelikle üç ve dört ayaklı kavşaklarda taşıtların sebep olduğu çatışmaları azalttığını göstermektedir. Yine tekrar belirtmeliyiz ki, ayrı dönüş şeritleri ve trafik kontrolü (dur işaretleri yada sinyalizasyon) geleneksel bir kavşakta çatışmaları birbirinden ayırarak çoğunlukla çatışmaların sayısını azaltmakta ancak tamamen yok edememektedir. Ancak sinyalizasyon kavşaklardaki en ciddi kazalar çatışmaları sinyalizasyonla ayıran trafik kontrol cihazına (kırmızı ışıktaki geçişte dik açılı çarpışma, taşıt-yaya çarpışmaları vb.) uyulmadığı zaman gerçekleşmektedir. Bu yüzden tek şeritli dönel kavşakların çatışmaları ve hızı fiziksel ve geometrik

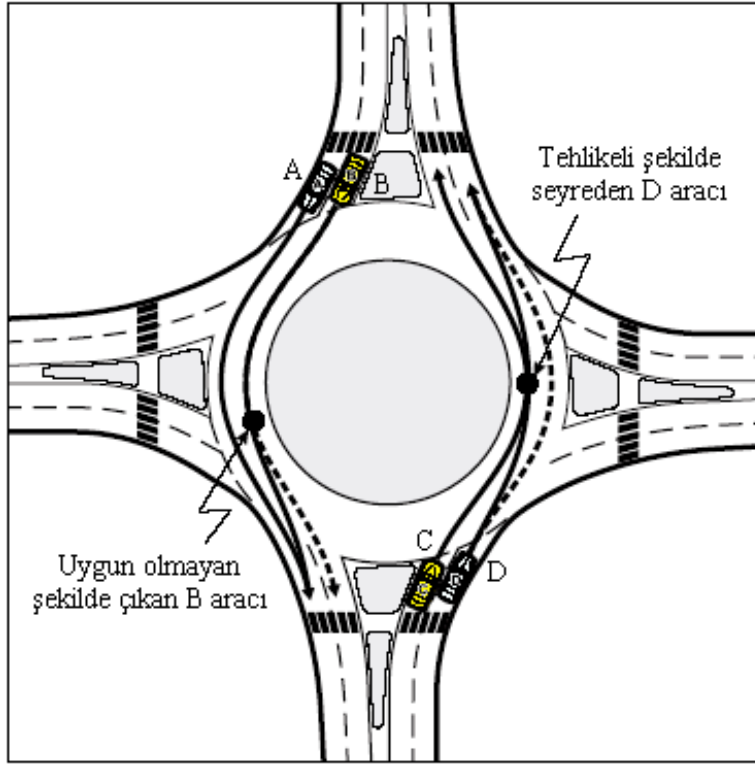
özelliklerle azaltma kapasitesinin sürücünün trafik kontrol cihazlarına güvenmesinden daha etkili olduğu görülmektedir [4].

İki şeritli dönel kavşaklar

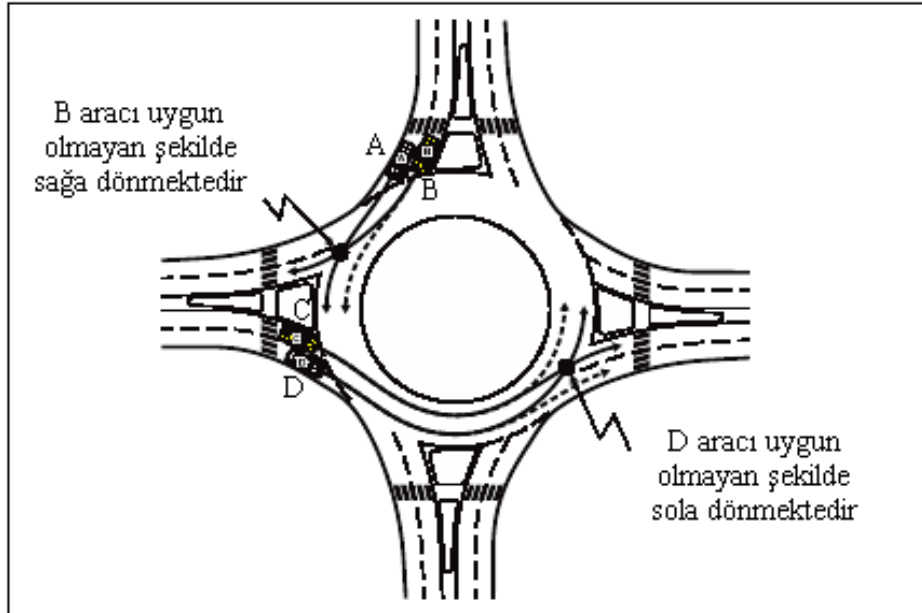
Genelde iki şeritli dönel kavşaklar da daha basit yapılı tek şeritli dönel kavşaklar gibi güvenlikle ilgili benzer performans özelliklerine sahiptirler. Bununla birlikte ek giriş şeritlerinin varlığı, sirkülasyon ve çıkış için daha geniş yolların bulunması ihtiyacından dolayı iki şeritli dönel kavşaklarda tek şeritli dönel kavşaklarda olmayan ek çatışmalar meydana gelmektedir. Bu durum kapasiteyle ilgili sorun yaşanmadığı sürece; giriş, sirkülasyon ve çıkış şeritlerinin sayısının ihtiyaç duyulan en az sayıda olmasını zorunlu kılmaktadır. Örneğin İngilterede yapılan bir dönel kavşak kaza modeline göre günlük ortalama 10 000 trafiğin giriş yaptığı bir dönel kavşakta giriş genişliğini bir şeritten iki şerite çıkarmak yaralanma ile sonuçlanacak kazaları %25 oranında artırmaktadır [4].

Hem diğer kavşaklarda hem de dönel kavşaklarda taşıt ve yaya çatışma noktalarının sayısı bu kavşaklarda ek yaklaşım şeritleri olduğu zaman önemli oranda artmaktadır. Belirli bir yol için çatışmalar grafiksel olarak belirlenirse ve bu grafiksel bilgiler ile proje geometrik unsurları daha güvenli bir şekilde tespit edilebilir [4].

Tek şeritli dönel kavşaklarda oluşmayan ancak çok şeritli dönel kavşaklarda görülen bazı çatışma tipleri sürücülerin yanlış şeriti kullanmalarından yada yanlış dönüş yapmalarından kaynaklanmaktadır. Bu çatışma tipleri Şekil 4.4'de ve Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Bu çatışma tipleri diğer kavşak tiplerinde görülse de, ağırlıklı olarak dönel kavşak kullanımını bilmeyen sürücüler bu tür çatışmaların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Şekil 4.5'de görülen çatışmalar özellikle, taşıtların dönel kavşak boyunca yan yana hareket etmelerini sağlayan düzgün bir tasarım geometrisinin hazırlanmamasından kaynaklanır [4].



Şekil 4.4. İki şeritli dönel kavşakta yanlış çıkış şeritini kullanan “B” aracı ile “D” aracının yanlış seyretmesinden kaynaklanan çatışmalar [4]



Şekil 4.5. İki şeritli dönel kavşaklarda yanlış dönüşten kaynaklanan çatışmalar [4].

Burada ‘‘B’’ aracı sağa yanlış dönüş yapmakta, ‘‘D’’ aracı sola yanlış dönmektedir. Tek şeritli dönel kavşaklarda olduğu gibi iki şeritli dönel kavşaklarda da taşıtların sebep olduğu çok ciddi sonuçlara yol açan çatışmalar yok edilmekte, bunun yerine ciddi olmayan birleşme çatışmaları doğmaktadır. Çok şeritli dönel kavşaklara has ek çatışmalar tipik olarak daha az şiddetli ve genellikle düşük hızda yandan kazalara yol açan çatışmalardır. Bu yüzden çok şeritli dönel kavşaklardaki çatışma sayısı tek şeritli kavşaklara göre artsa da çatışmaların doğuracağı sonuçların ciddiyeti genellikle alternatif kavşak kontrolünden daha az olmaktadır [4].

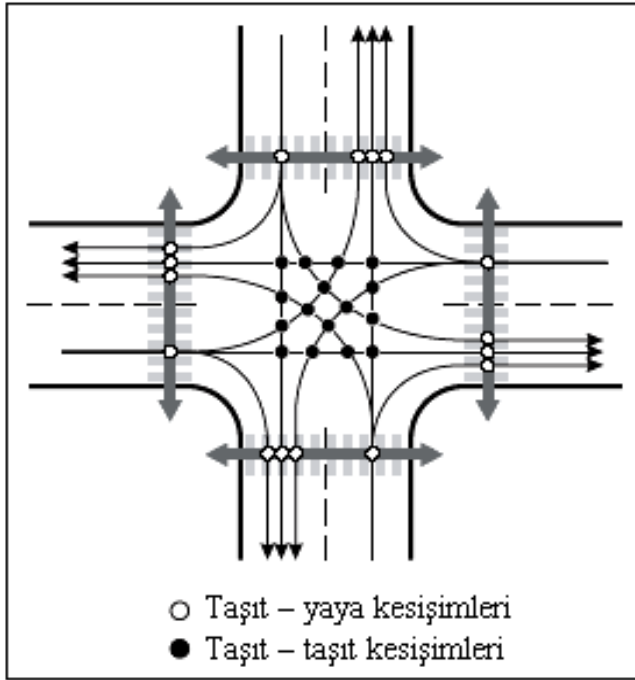
4.2.2. Yaya  atışmaları

Taşıt-yaya çatışmalar her kavşakta, hatta çok az yaya trafiğine sahip kavşaklarda bile görülebilir. Aşağıda sinyalize kavşaklar ve dönel kavşaklardaki yaya çatışmaları açıklanmaktadır [4].

Sinyalize kavşaklar belirgin bir zamanda kurallara uygun olan birkaç hareket olanağı tanıyan sinyal sistemi sayesinde yaya-taşıt çatışmalarının meydana gelme olasılığının azalmasını sağlar. şekil 4.6’da sinyalize bir kavşakta bir yaklaşım alanı içerisindeki tipik taşıt-yaya çatışmaları özetlenmektedir. şekil 4.6’da da g r ld ğu gibi, tipik bir sinyalize kavşakta geçen bir yaya her biri farklı yönden gelen taşıt kaynaklı dört potansiyel çatışma ile karşılaşır [4];

- Kırmızıda geçiş (yüksek hızda ve izin verilmeyen geçişler)
- Yeşilde sağa dönüşler (izin verilen dönüşler)
- Yeşilde sola dönüşler
- Kırmızıda sağa dönüşler (izin verilen dönüşler)

Kavşağı kullanan değişik grupların varlığını ölçen değişkenler yönünden, izin verilen çatışmalara, izin verilmeyen hareketlerden daha çok ağırlık verilmelidir. Ancak kazanın şiddeti açısından izin verilmeyen hareketler daha fazla önem arz eder. Dört şeritten yaklaşılan bir kavşakta 16 yaya-taşıt  atışması oluşur [4].

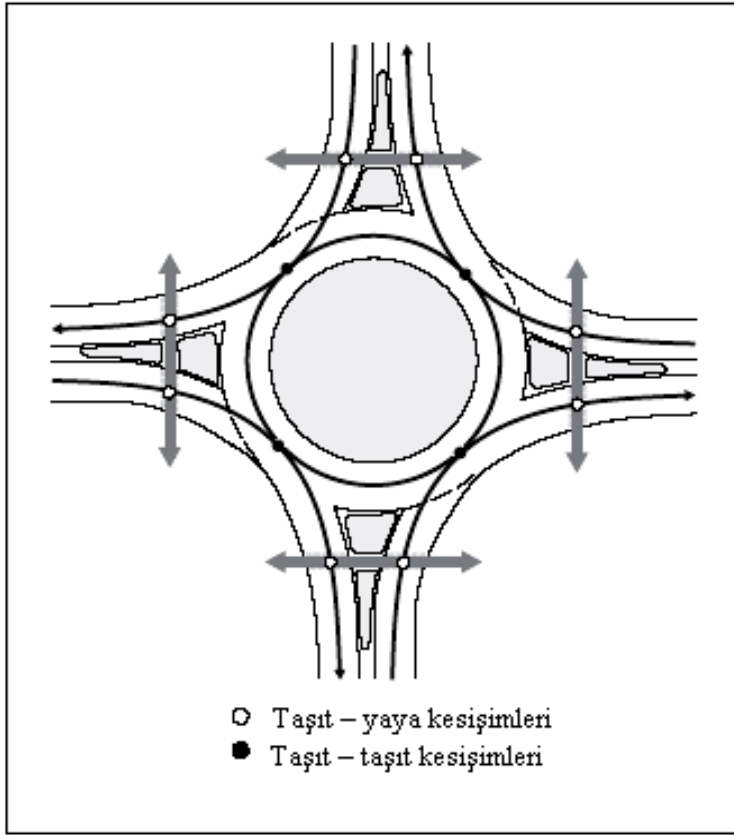


Şekil 4.6. Sinyalize kavşaklarda taşıt-yaya, taşıt- taşıt çatışmaları [4]

Diğer taraftan Şekil 4.7’de görüldüğü gibi yayalar dönel kavşaklarda her bir yaklaşım üzerinde iki yerde çatışan taşıt hareketi ile karşılaşır [4];

- Giriş yapan taşıtlarla çatışmalar,
- Çıkış yapan taşıtlarla çatışmalar.

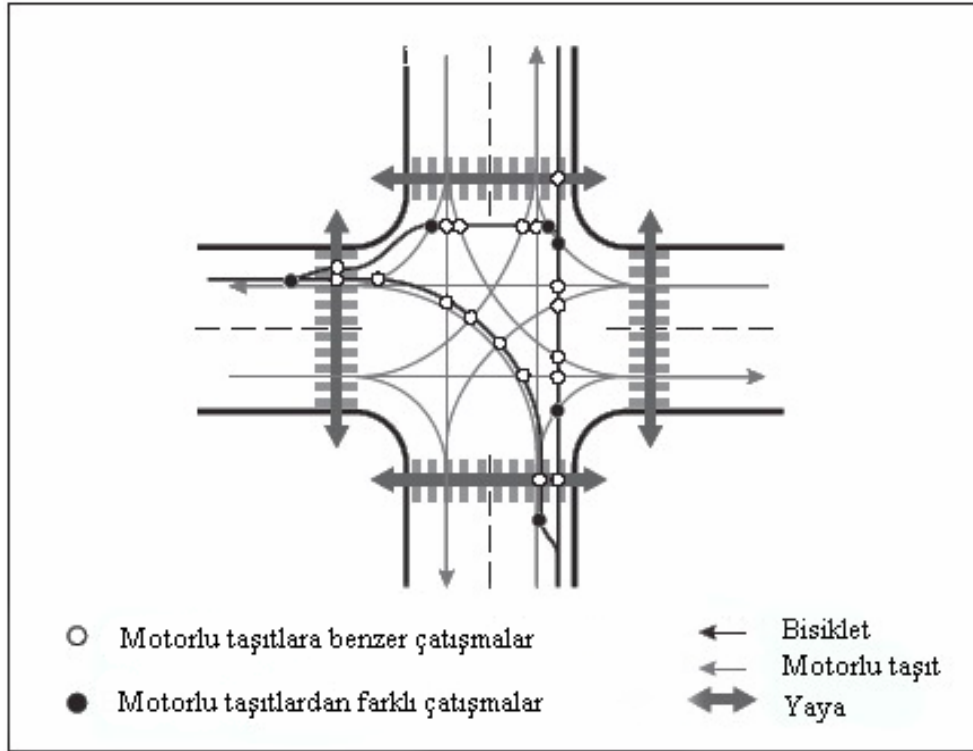
Birden fazla yaklaşım şeritine sahip geleneksel ve dönel kavşaklarda bir yayanın geçmesi gereken her bir ek şeritte ek bir çatışma noktası oluşur.



Şekil 4.7. Tek şeritli dönel kavşaklarda taşıt- yaya çatışmaları [4]

4.2.3. Bisiklet çatışmaları

Bisikletlerde de motorlu taşıtlarda olduğu gibi hem dönel kavşaklarda hem de sinyalizasyon kavşaklarda aynı çatışmalar görülür. Bununla birlikte bisiklet sürücüleri tipik olarak içinde yolun sağ tarafını kullandıkları için güzergahlarında motorlu taşıtlarla kesişmeler olmakta, bu yüzden ek çatışmalarla karşılaşmaktadırlar. Geleneksel dört ayaklı kavşakların her bir yaklaşım bölgesinde Şekil 4.8’ de bisiklet sürücülerinin kavşağı motorlu taşıtlar gibi veya yayalar gibi kullanarak sola dönüşleri durumunda bisiklet sürücülerine özel çatışmalar gösterilmektedir [4].

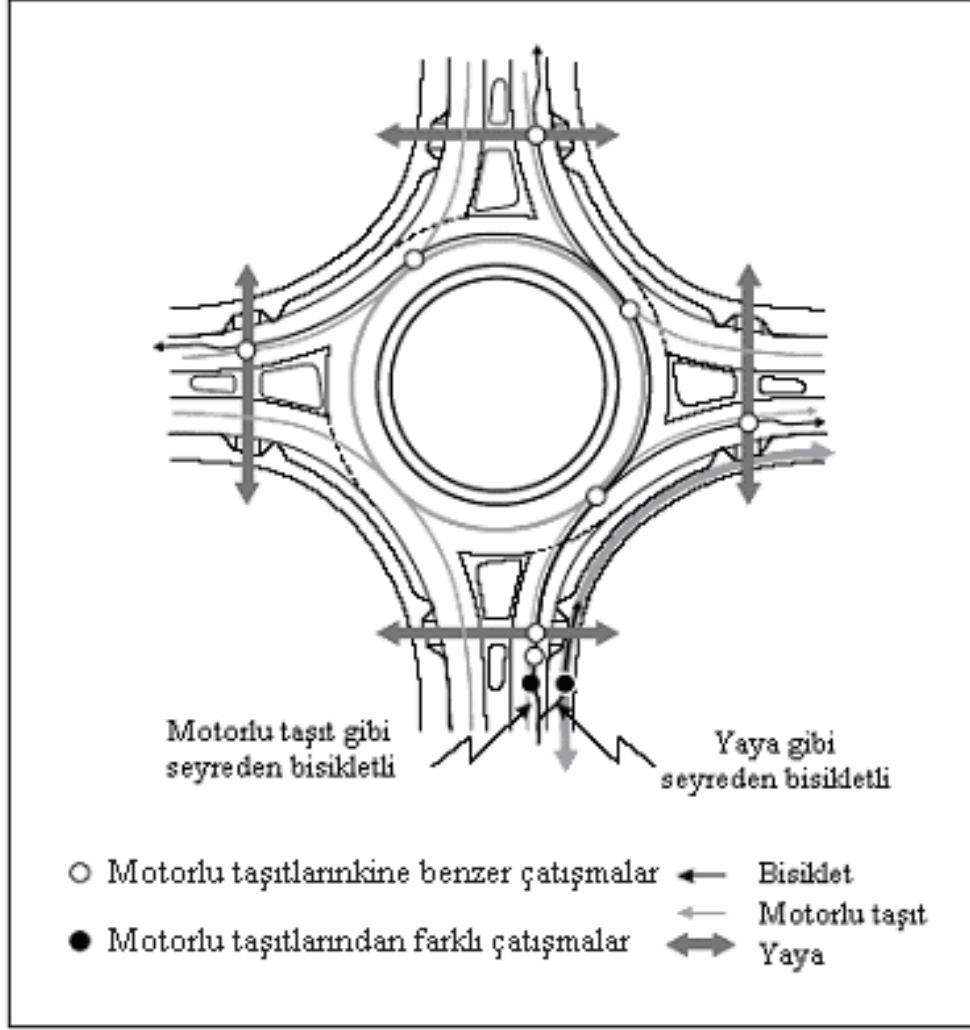


Şekil 4.8. Geleneksel kavşaklarda bisikletle ilgili çatışmalar (iki sola dönüş seçeneği de gösterilmektedir) [4]

Dönel kavşaklarda bisiklet sürücülerine bir taşıt yada yaya gibi seyahat edebilme kolaylığı sağlanabilir. Sonuç olarak Şekil 4.9’da görüldüğü üzere bisiklet sürücülerinin karşılaştığı çatışmalar bisiklet sürücülerinin dönel kavşağı nasıl kullandıklarına bağlıdır. Tek şeritli bir dönel kavşakta bir taşıt giderken bisikletin trafik akımıyla birleştiği yerde ek bir çatışma oluşur, bundan sonraki gelişme motorlu taşıtlarda olduğu gibidir. Bisiklet sürücüsü iki şeritli ve daha büyük dönel kavşaklarda bisiklet kullanılmasına uygun yerde, sirkülasyon yapılan yolun dış kısmında seyretmeye devam ederken çıkış yapan taşıtlarla potansiyel olarak çakışabilir. Bisiklet sürücülerinin fark edilebilirliği araçlardan daha az olduğu için zor görülebilirler ve bu yüzden iki şeritli dönel kavşaklarda birleşme ve çıkış çatışmalarına daha çok maruz kalabilirler [4].

Bisiklet sürücüsü bir yaya gibi hareket ederken, yaya kaldırımına geçtiği yerde, dönel kavşağın çevresinde bir yaya gibi dolaştığı noktada ek bir çatışma ile karşılaşır. Ortak kullanılan bisiklet yaya yollarında yada yaya kaldırımlarında eğer bisiklet sürücüsü

bisikletini sürmeye devam ederse, bisiklet ve yaya hareketlerinin birbiri ile çatıştığı yerde ek bir bisiklet - yaya çatışması oluşur [4].



Şekil 4.9. Dönel kavşaklarda bisiklet çatışmaları (iki sola dönüş seçeneği de gösterilmektedir.) [4]

4.3. Kaza istatistikleri

Bu kısımda çeşitli ülkelerde dönel kavşakların güvenlikle ilgili performansları özetlenmekte, çeşitli ülkelerdeki kaza tipleri , yaya ve bisikletli kaza istatistikleri detayları ile sunulmaktadır.

4.3.1. Modern dönel kavşakların önceki ve sonraki durumlarının karşılaştırılması

Çizelge 4.1 ABD’de dönel kavşaklı hale getirilmiş 33 kavşaktaki yapılan araştırma sonuçlarını göstermektedir. Çizelge 4.1’den de görüldüğü gibi bir dönel kavşağın inşasından sonra kavşakta hem kazalarda hem yaralanmalı kazalarda önemli bir azalma görülmüştür. Veri örneğinin ölçüsünün küçük olmasından dolayı, istatistiksel olarak önemli olan tek sonuç küçük veya büyük olsun tüm dönel kavşaklarda yaralanmaya yol açan kazalarda azalma görülmüştür.

Çizelge 4.1. ABD’de modern dönel kavşak haline getirilen 33 kavşaktaki ortalama kaza azalmaları [11]

Modern dönel kavşak tipi	Dönel kavşağa dönüştürülmeden önceki kavşak tipi	Kavşak sayısı	Tüm kazalardaki azalma (%)	Yaralanmalı kazalardaki azalma (%)
Kentsel tek şeritli	Dur kontrollü	12	69	80
Kırsal tek şeritli	Dur kontrollü	9	65	68
Kentsel iki şeritli	Dur kontrollü	7	8	73
Kentsel iki şeritli	Sinyalize	5	37	75
Toplam		33	47	72

Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3 Fransa’da modern dönel kavşak haline dönüştürülmüş 83 kavşakta yapılan, Çizelge 4.4’de ise Avustralya’da modern dönel kavşak haline dönüştürülmüş 230 kavşakta yapılan araştırma sonuçları görülmektedir.

Çizelge 4.2. Fransa’da 83 kavşakta yapılan kaza istatistikleri [8]

Kaza tipi	Modern dönel kavşaktan önce	Modern dönel kavşaktan sonra	Kazalardaki değişim (%)
Yaralanmalı kaza sayısı/yıl/kavşak	1,42	0,31	-78
Ölüm/yıl/kavşak	0,16	0,02	-88
Yaralanma/yıl/kavşak	2,78	0,49	-82

Çizelge 4.3. Kaza sıklığı ve dış çember çapı arasındaki ilişki [8]

Dış çember çapı (m)	Kavşak sayısı	Yıllık kaza sayısı / kavşak
<30	13	0,69
30-50	11	1,54
50-70	26	1,58
70-90	16	1,81
>90	8	3,80
Oval	9	4,40

Çizelge 4.4. Avustralya’da 230 kavşakta yapılan kaza istatistikleri [8]

Kaza tipi	Modern dönel kavşaktan önce	Modern dönel kavşaktan sonra	Kazalardaki değişim (%)
Toplamkaza/ kavşak/yıl	3,910	2,289	-41
Ölümlü kazalar /kavşak/yıl	0,024	0,009	-63
Yaralanmalı kazalar /kavşak/yıl	1,045	0,571	-45
Yalnızca maddi hasarlı kazalar /kavşak/yıl	2,841	1,709	-40

Fransa, Avustralya ve İngiltere’deki bir dönel kavşak başına düşen yaralanma ile sonuçlanan yıllık kaza sıklıkları sırası ile 0,31, 0,57 ve 3,31 olarak rapor edilmiştir. İngiltere’de çok şeritli ve yüksek trafik hacmine sahip çok sayıda dönel kavşak bulunduğu için kaza sıklığı daha yüksek olmaktadır. Yaralanma ile sonuçlanan kazaların sıklık düzeyleri yüksek olan ABD’de dönel kavşağa dönüştürülen kavşaklarda bu tip kazaların oranları oldukça düşüktür. Maryland ve Florida’da sekiz tek şeritli dönel kavşağın incelendiği bir çalışmada bir milyon giriş yapan taşıt için yaralanmalı kaza oranı 0,08 olarak bulunmuştur. Fransa’ da bir milyon giriş yapan taşıt için bu oran 0,045, İngiltere’de 0,275’dir. ABD’ de bir dönel kavşağın inşası ile bütün kazalarda yaklaşık %47 ve yaralanmalı kazalarda ise yak. %72 oranında bir azalma görülmüştür. Çizelge 4.5. de örneklemenin daha da genişletildiği uluslar arası değerlerle uyumludur.

Çizelge 4.5. Değişik ülkelerdeki ortalama kaza azalmaları [4,11]

Kaza ve yaralanmalardaki ortalama azalmalar		
Ülke	Bütün kazalar	Yaralanmalı kazalar
Avustralya	%40- %63	%45- %63
Fransa		%78
Almanya	%36	
Hollanda	%47	
İngiltere		%25- %39
ABD	%47	%72

Bu çalışmalar yaralanmalı kazaların sadece maddi hasarla sonuçlanan kazalardan daha çabuk azaltıldığını göstermektedir. Dönel kavşakların geometrileri gereği ve yerleştirme konumları neticesinde çok ciddi sonuçlara yol açan sola dönüş, kafa kafaya veya dik açılı çarpışmaların giderildiği de bilinmelidir. Ayrıca bu çalışmalar; kırsal bölgelerdeki kazalarda gerçekleşen azalmanın, kentsel bölgelerdeki azalmalardan daha yüksek olduğunu da göstermektedir [4].

İncelenen pek çok yerin sahip olduğu geometrinin iyi bir dönel kavşak tasarımına koşulsuz olarak uymayabileceğini de göz önünde bulundurulmalıdır. Tutarlı hızların elde edildiği tasarım prensipleri güvenlik performansının daha iyi hale gelmesini sağlayabilir. Ayrıca kazalarda azalmaların sağlandığı kavşaklar yerine daha problemli kavşakların seçilmesi halinde sonuçların daha farklı olacağı utulmamalıdır. Bu nedenle kazalarla ilgili araştırma sonuçları kıyaslanırken kesinlikle genel bir kıyaslama olamayacağı gözardı edilmemelidir [4].

Modern dönel kavşaklardaki kazaların şiddeti kavşağın geometrik yapısı ve işleyişi gereği geleneksel kavşaklarda olan kazalardan daha az şiddetlidir. Dönel kavşaklarda kayıt edilen çoğu kaza sürücülerin girişte birbirlerine yol vermemelerinden kaynaklanır ve bu kazalara giriş-sirkülasyon kazaları denir. Buna

ek olarak pek çok incelemede arkadan çarpmalar ve tek taşıtlı kazalar kayıt edilmiştir. Çizelge 4.6 farklı ülkelerde rapor edilen üç ana tip kaza yüzdesini göstermektedir.

Çizelge 4.6. Dönel kavşaklar daki başlıca kaza çeşitlerinin yüzdeleri [4]

Ülke	Kaza tanımı	Dönel kavşak tipi	Kaza tipleri		
			Giriş – sirkülasyan kazaları	Arkadan çarpma	Tek taşıt kazaları
Avustralya	Tüm kazalar	Tek ve çok şeritli	51%	22%	18%
Fransa	Yaralanmalı kazalar	Tek ve çok şeritli	37%	13%	28%
Almanya	Tüm kazalar	Tek şeritli	30%	28%	17%
İsviçre	Tüm kazalar	Tek ve çok Şeritli	46%	13%	35%
İngiltere	Yaralanmalı kazalar	Tek ve çok Şeritli	%20-%71	%7-%25	%8-%30

Yüksek hızları tercih eden çoğu sürücü modern dönel kavşaklara karşı çıkabilmektedir. Ancak kavşak yapıldıktan sonra güvenlikle ilgili olarak elde edilen faydaları neticesinde bir çok sürücünün görüşlerinde değişiklikler olduğu görülmüştür. Amerikanın Kansas, Maryland ve Nevada eyaletlerinde yapılan modern dönel kavşaklardan sonra sürücüler üzerinde yapılan araştırma sonuçlarına göre modern dönel kavşak inşa edilmeden önce bu tip kavşakların inşa edilmesini tercih edenlerin oranı % 31, şiddetle karşı çıkanların oranı % 41 iken; modern dönel kavşakların inşasından sonra tercih edenlerin oranı % 63, şiddetle karşı çıkanların oranı % 15 olarak değişmiştir [12].

4.3.2. Kaza tipleri

Fransa, Avustralya ve İngiltere'deki uygulamalara göre projelendirilmiş dönel kavşaklar için istatistikler kaza istatistikleri mevcut olup; kaza tip ve yerlerinin

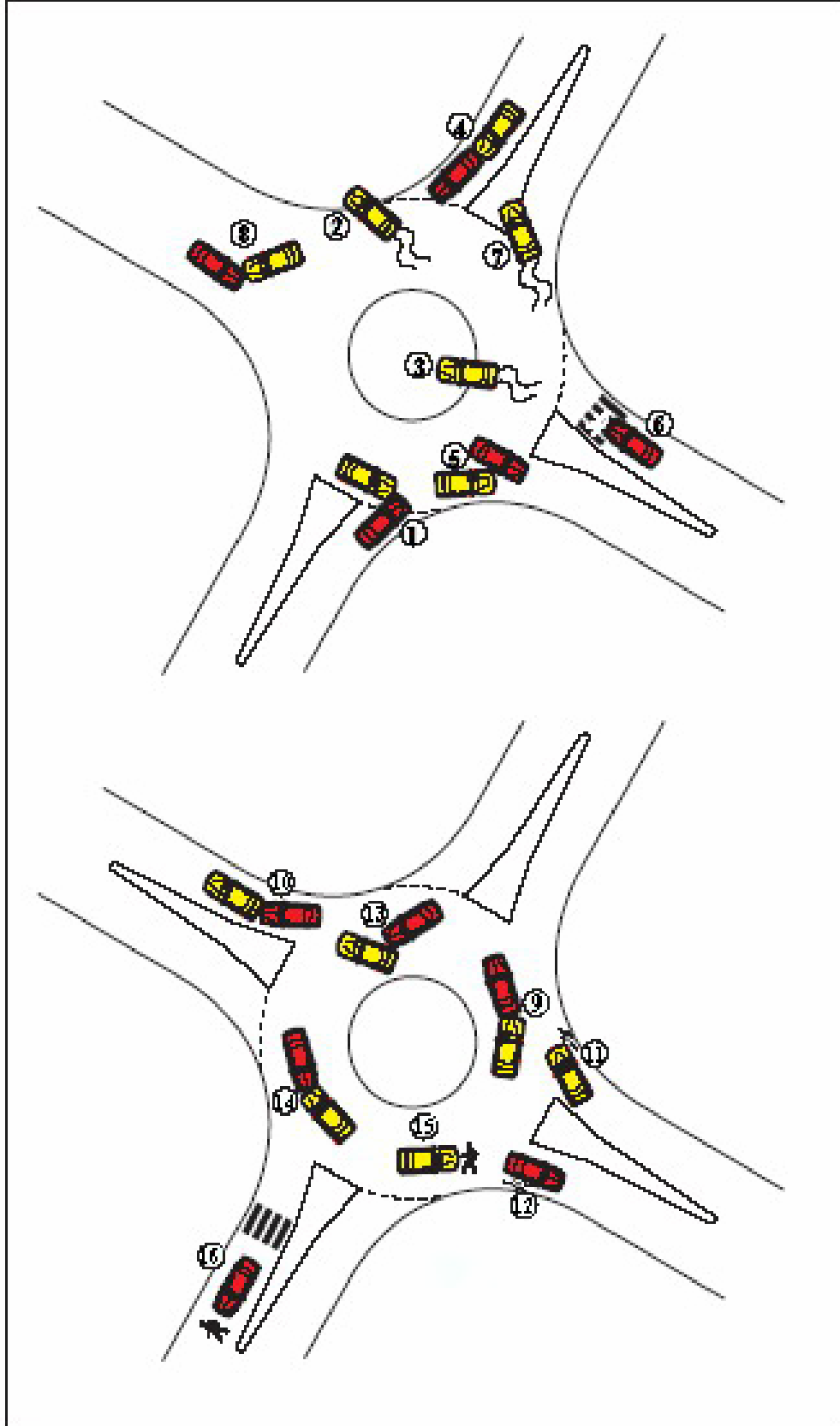
detaylarının incelenmesi tasarımcılar için oldukça faydalı olabilir. Sonuçların tasarım standartları , kayıt sıklıkları ve rapor etme süreçleri farklı olan bu ülkelerde ile ilgili olduğuna dikkat edilmelidir.

Çizelge 4.7’de farklı ülkelerdeki kaza tiplerinin yüzdesel dağılımları gösterilmektedir. Kaza tiplerini ifade eden numaralar Fransa’da kayıt edilen kazalara ait olup; Şekil 4.10’daki kazaların şekli gösterilmektedir. Fransa ile ilgili bu bilgilerde 1984-1988 yılları arasında 179 şehir ve banliyo kavşağında gerçekleşen 202 yaralanmalı kaza için elde edilen çatışma tipleri bulunmaktadır. Karşılaştırma yapmak amacıyla Avustralya ve İngiltere’ de elde edilen bilgiler aynı sınıflandırma sistemine tabi tutulmuştur [4].

Çizelge 4.7’deki sonuçlar incelendiğinde tasarımcıların yol ekseni ve sabit objeler hakkında kararlar alırken bu çatışma tiplerini değerlendirebilmesi ve dönel kavşaklardaki trafik karmaşasının analizini yapabilmesi gerektiği görölmektedir. Yine sonuçlar incelendiğinde sürücü davranışındaki ve proje özelliklerindeki farklılıklardan dolayı kaza deneyiminin ülkeden ülkeye değişiklik gösterdiği görölmektedir [4].

Çizelge 4.7. Modern dönel kavşaklarda kaza tiplerinin karşılaştırılması [4]

Çarpışma tipi	Fransa (%)	Avustralya (%)	İngiltere (%)
1-Girişte sirkülasyon yapan araçlara izin vermeme (giriş - sirkülasyon)	36,6	50,8	71,1
2-Tek aracın sirkülasyon yolundan çıkması	16,3	10,4	8,2
3-Girişte tek aracın kontrolü kaybetmesi	11,4	5,2	
4-Girişte arkadan çarpışma	7,4	16,9	70
5-Sirkülasyon - çıkış	5,9	6,5	
6-Yaya geçidinde yayaya çarpma	5,9		3,5
7-Çıkışta tek aracın kontrolü kaybetmesi	2,5	2,6	
8- Çıkış-giriş	2,5		
9- Sirkülasyon yolunda arkadan çarpma	0,5	1,2	
10-Çıkışta arkadan çarpma	1,0	0,2	
11-Girişte bisikletiye çarpma	1,0		
12-Çıkışta bisikletiye çarpma	1,0		
13-Sirkülasyon yolunda kesişme	2,5	2,0	
14- Sirkülasyon yolunda yanlış yöne girme	1,0		
15- Sirkülasyon yolunda yayaya çarpma	3,5		
16-Yaya geçidi dışında yaklaşım yolunda yayaya çarpma	1,0		
Diğer çarpışma tipleri		2,4	10,2
Yandan çarpışmalı kazalar		1,6	



Şekil 4.10. Modern dönel kavşaklarda kaza tiplerinin şekli [4]

En çok görülen üç kaza tipi şunlardır [4];

1. Girişte sirkülasyon yapan taraçlara yol vermeme,
2. Sirkülasyon yolundan çıkan tek aracın yaptığı kazalar ve
3. Orta adacığa yapılan tek taşıtlı çarpmalar.

Yapılan bir kaza araştırmalarında tek taşıtlı kazaların yüksek bir yüzdeye sahip olduğu görülmektedir. Tek taşıtlı kazaların şiddetini azaltmak amacı ile hem kırsal hem de kentsel bölgelerde orta ada ve ayırıcı adalarda bulunan tehlikeli bir engelin görülmesini kolaylaştırmak ve bu engeli kaldırmak yada bu engeli dönel kavşakta bulundurmamak için çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Fransa’ da yapılan bir araştırmada orta adadaki ağaçlar, korkuluklar, beton bariyerler, çitler, duvarlar, sütunlar, işaretler yada ışık direkleri, peyzaj düzenlemesi için konulan cisimler, sağlam dekoratif nesneler gibi çok sayıdaki engelin ölümlere ve yaralanmalara yol açtığı belirlenmiştir [4].

Kırsal bölgelerde ışıklandırmanın faydası henüz rakamlarla tespit edilememiştir. Fransa’da sadece % 36 oranında kırsal alan ışıklandırılmıştır. Fransa’da bu yerlerdeki kazaların % 46’sı ve tek taşıtlı kazaların % 49’u geceleri gerçekleşmektedir [4].

4.3.3. Yayalar

Daha önce de belirtildiği üzere dönel kavşak inşası ile birlikte taşıtlardan kaynaklanan ve yaralanmaya sebebiyet veren kazalarda azalmalar görülmektedir. İngiltere’de yürütülen ve Çizelge 4.5’te açıklanan istatistiklere göre dönel kavşakların güvenlikle ilgili sağladıkları faydaların genel olarak yayalar için de geçerli olduğu bunun sebebinde önceki kavşak şekilleri ile karşılaştırıldığında dönel kavşaklardaki hız azalması olduğu anlaşılmaktadır [4].

Çizelge 4.8. İngiltere’de dönel kavşaklarda ve sinyalize kavşaklarda yayalar için kaza yüzdeleri [4]

Kavşak tipi	Yayalarla ilgili kazalar (bir milyon yaya trafiği için)
Küçük dönel kavşak	0, 31
Normal dönel kavşak	0,45
Girişleri genişletilmiş dönel kavşak	0,33
Sinyalize kavşak	0,67

Taşıt hızlarının düşüklüğünden dolayı yayaların dönel kavşaklarda ciddi kazalara uğrama riski diğer kavşak tiplerinden daha düşüktür. Aynı şekilde yayalar için dönel kavşaklarda çatışma noktası sayısı diğer kavşaklardan daha azdır, bu da kazaların oluş sıklığını azaltmaktadır. Giriş ve çıkış arasındaki küçük adacık yayaların hem giren hem de çıkan taşıtlarla çatışmalarını önlemektedir. Çizelge 4.9’ Hollanda’da dönel kavşaklara dönüştürülmüş 181 kavşak üzerine yapılan bir inceleme yaya ile ilgili bütün kazaların %73, yayada yaralanma ile sonuçlanan bütün kazaların %89 oranında azaldığını göstermektedir [4].

Çizelge 4.9. Hollanda’ da 181 dönel kavşakta çeşitli ulaşım tiplerine göre kaza sayısındaki yüzdelerdeki azalma [4]

Kazanın şekli	Bütün Kazalardaki azalma	Yaralanmalı kazalardaki azalma
Otomobil	%63	%95
Moped	%34	%63
Bisiklet	%8	%30
Yaya	%73	%89
Toplam	%51	%72

Yayaların önceliğe sahip olduğu zebra çizgili yaya geçitli dönel kavşaklarda yayaların güvenliğinin artırıldığına dair rakamsal bir ispat bulunmamaktadır. Bu yüzden çizgili geçitler tüm ülkelerde kullanılmamaktadır. Bununla birlikte ABD’ de düşük yaya trafiğine sahip kırsal bölgeler haricinde bütün yaya geçitlerinin çizgili olması önerilmektedir. Bu çizgilerin varlığı sürücülerin ortalama hızlarında bir değişiklik yapmalarını sağlamasa dahi bu çizgilere yaklaşan sürücülerin daha dikkatli olmalarını ve hızlarını düşürmeleri gerektiğini düşünmelerini sağlayabilir [4].

Kazalarda yaya kusurlarını göstermek üzere kaza verisi toplanmamıştır ve dönel kavşaklarda görme yetisi olmayan yayaların güvenliği üzerine herhangi bir araştırma yapılmamıştır [4].

4.4. Görme Engelli Yayalar İçin Kavşak Kullanımı

Kör yada görme özelliğini kaybetmiş yayaların dönel kavşağı geçmeleri zordur. Yaklaşım alanında duyulabilen ve yaya ile birlikte harekete geçen bir sinyal düşünülebilir ancak bu her yerde uygulanamaz. Eğer iyi bir proje ile dönel kavşağın herhangi bir ayağında yayalara yardım etmek isteniyorsa, yaya geçitine yaya hareketine göre çalışan sinyal yerleştirilebilir. Seyahat etmeyi bilen görme engelli

yayanın tanımadığı bir kavşağa ulaşabilmesi ve dönel kavşakla ilgili herhangi bir özel eğitim almaksızın, her zaman sahip olduğu kabiliyetleri ile dönel kavşağı geçebilmesi modern dönel kavşaklarda büyük sorun olmaktadır [4].

Kavşaktaki yaya geçiti de kolay anlaşılmalıdır. Görme engelli bir yayanın ilk düşüncesi yaya geçitini tespit edebilmektir. Eğer dönel kavşağın peyzajı düzgün bir şekilde yapılmamış ise ve rampanın kaldırım kenarı kolay tespit edilebilir yapılmamışsa bu durum görme engelliler için zor olabilir [4].

Görme yetisi olmayan bir yaya dönel kavşağı geçerken, giriş yada çıkış şeritlerini geçmek için uygun zaman kollarken baston kullanmalı ve sesleri iyi takip etmelidir. Geçiş problemi giriş ve çıkışı çok şeritli olan dönel kavşaklarda daha da çözülmesi zor bir hale gelmiştir. Bu aynı zamanda çok şeritli bir yolu geçen çocuklar ve tekerlekli sandalye kullanan yayalar için de bir problemdir [4].

Modern dönel kavşakların özürli insanlar tarafından kullanılmasını kolaylaştırmak için kavşakların nerede bulunmasının uygun olacağı, hangi tasarım özelliklerinin gerekli olduğunu belirlemek için belirgin standartlar kabul edilene kadar daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Güvenli girişler, görme engelli yayaların yaya geçitlerini bulmaları için çeşitli tedbirler, sürücülerin geçen yayalardan haberdar olmaları için sarı yanan ışıklar vb. yayaların karşılaştığı zorluklar için tasarımda uygulanacak bazı önlemlerdir [4].

4.5. Bisikletler

Çizelge 4.10'da belirtildiği gibi İngiltere'de yapılan bir araştırma neticesine göre bisiklet sürücülerini sinyalizasyon kavşaklarda dönel kavşaklara göre daha az kazaya maruz kalmaktadırlar.

Çizelge 4.10. Modern dönel ve sinyalize kavşaklarda motorsiklet ve bisiklet sürücüleri için (bir milyon seyahatte) gerçekleşen kaza sayıları [4]

Kavşak Tipi	Bisiklet sürücüleri	Motorsiklet sürücüleri
Küçük dönel kavşak	3,11	2,37
Geleneksel dönel kavşaklar	2,91	2,67
Girişleri genişletilmiş dönel kavşaklar	7,85	2,37
Sinyalize kavşaklar	1,75	2,40

Fransa’ da yapılan bir araştırma ile 15 şehirdeki sinyalize ve dönel kavşaklarda gerçekleşen kazalar karşılaştırılmış olup; sonuçlar Çizelge 4.8’de gösterilmektedir.

Araştırma sonuçları şunlardır [4];

- Bir yıl boyunca sinyalize kavşaklarda gerçekleşen yaralanmalı kazalar dönel kavşaklardaki kazaların iki katıdır,
- İki tekerlekli taşıtların sinyalize kavşaklardaki yaralanmalı kaza sıklığı dönel kavşaklardaki yaralanmalı kaza sıklığından % 77 daha yüksektir,
- Sinyalize kavşaklarda gerçekleşen bir kazadaki ölüm oranları dönel kavşaklarda gerçekleşen kazalardan daha yüksek ve yaralanmalar daha ağır olmaktadır,
- İki tekerlekli taşıt kullanıcıları dönel kavşaklarda, sinyalize kavşaklarda olduğundan daha sık (% 16) kazalara uğramaktadır.

Bütün Avrupa ülkelerinde bisiklet sürücülerinin trafik güvenliğini artırmak için daha itinalı bir tasarımın gerekli olduğu düşünülmektedir. Bisiklet kazalarının tipi dönel kavşakta bisikletler için inşa edilmiş yapılara bağlıdır. Eğer dönel kavşakta bisikletlilere kolaylık ve güvenlik sağlayan yapılar yoksa yada sirkülasyon yolunun

dış kısmında bir bisiklet şeriti varsa giriş,çıkış ve sirkülasyon yapan araçlarla bisikletli kazaları oluşabilir. Bisikletliler isterlerse yayalar gibi kavşağa girmeden yaya kaldırımını kullanarak ta kavşağı geçebilirler [4].

Çizelge 4.11. Fransa’da sinyalize ve modern dönel kavşaklardaki kazaların karşılaştırılması [4]

	Sinyalize kavşaklar	Dönel kavşaklar
Dörtlü kollu kavşak sayısı	1,238	179
Yaralı sayısı	794	59
2 tekerlekli taşıtların dahil olduğu kaza sayısı	278	28
Yaralanmalı kazalar / yıl / kavşak	0,64	0,33
İki tekerlekli taşıt kazaları/ yıl / kavşak	0,23	0,13
100 kazada 2 tekerlekli araçlara çarpma	35,0	40,7
Ciddi kazalar /yıl/ kavşak	0,14	0,089
Ciddi 2 tekerlekli taşıt kazaları / yıl / kavşak	0,06	0,045
Ciddi kazalar /100 kaza	21,9	27,1
2 tekerlekli taşıtlarla ciddi kazalar / 100 kaza	27,0	33,3

Sonuç olarak çoğu Avrupa ülkesinde çeşitli tedbirler alınmıştır. Bunlar [4];

- Sirkülasyon yolunun dış kısmında bisiklet şeritlerinden kaçınmak,
- Trafik hacmi düşük olduğu zaman (Hollanda’da 8000 araç/gün’e kadar) trafiğin düşük hızlarda işlediği tek şeritli dönel kavşaklarda sirkülasyon yolunda ayrı bir düzenleme yapılmaksızın bisiklet sürücülerinin taşıt trafiğine girmesine izin vermek ve
- Taşıt ve bisiklet trafik hacmi yüksek olduğu zaman sirkülasyon yolunun dışında bisikletler için ayrı bir yapısal düzenleme yapılmasıdır.

Bisiklet için ayrılan bu yol yaya yoluna bitişik olarak, sirkülasyon yolunun kenarından itibaren en az bir araç genişliğinde olacak şekilde girişten çıkışa doğru uzanır. Almanya’da olduğu gibi bazı ülkelerde bisiklet sürücüleri kentsel bölgelerde giren ve çıkan taşıtlara göre geçiş önceliğine sahiptir. Hollanda gibi bazı ülkelerde ise bisiklet sürücüleri bisikletlere özel geçiş işaretleri ile yönlendirilmekte araçların geçişine daha çok öncelik verilmektedir. Geçiş noktalarında taşıt trafiğine öncelik tanıyarak bisikletlere ayrı bir yol sağlamak için çeşitli düzenlemelerin yapıldığı sistem bir çok Avrupa ülkesinde kırsal bölgelerde uygulanan standard çözüm haline gelmiştir [4].

Hollanda’ da bisiklet sürücülerinin geçiş üstünlüğüne sahip olmadığı dönel kavşaklarda, kavşak çevresinde ayrı bisiklet yolu yapılması yaralanmalı kazalarda %90 oranında bir azalma sağlamıştır [4].

5. KAZA TAHMİN MODELLERİ

Dönel kavşakların yeni kullanılmaya başlandığı ülkelerde sürücülerin dönel kavşakları tanımamasından dolayı diğer ülkelerden alınan kaza tahmin modelleri dikkatli kullanılmalıdır. Kaza istatistikleri büyüklük ve kaza tipleri yönünden ülkeden ülkeye değişir. Bununla birlikte diğer ülkelerin kaza tahmin modelleri incelenerek değişik geometrik özelliklerin kazaların sayısı üzerindeki nisbi etkilerini anlamak açısından faydalı olabilir [4].

Tasarım ve araştırma yapanlar bu modelleri ancak karşılaştırma yaparken ve geometrik unsurları amacına en uygun şekilde değerlendirebilmek için kullanmaya dikkat etmeli, bunları ülkesimize ait koşulların farklı olduğunu gözönünde bulundurarak kesin kaza sayılarını tahmin etmek için kullanmamalıdır [4].

Modern dönel kavşaklardaki kaza sıklığını kavşak özellikleri ile bağdaştıran kaza modelleri İngiliz araştırmacılar tarafından elde edilmiştir. Örneklemde değişik büyüklüklerde küçükten büyüğe doğru, değişik yaklaşım şeridi sayısına ve giriş şeridine (girişi genişletilmiş yada paralel girişler) sahip 84 dört kollu dönel kavşak incelenmiştir. Kaza verileri her bir kavşak için 4 yıldan 6 yıla kadar değişen dönemler için toplanmış, toplam 1427 ölümcül, ciddi ve hafif yaralanma kaydedilmiştir. Sadece bir ölümün gerçekleştiği kazaların yüzdesinin %83,7 veiki ölümle sonuçlanan kazaların oranının %12,5 olduğu tespit edilmiştir [4].

Örneklemde kullanılan kavşaklardaki veriler kullanılarak elde edilen tahmini kaza denklemleri Eş. 5.1'den başlayan ve Eş. 5.4 ile son bulan denklemler kısmında listelenmiştir. Bu modellemelerin sadece dönel kavşaklar için geçerli olduğu ve bu modellemelerin ancak nisbi karşılaştırmalar için kullanılması durumunda yarar sağlayacağı unutulmamalıdır [4].

Giriş- sirkülasyon kaza modeli [4] :

$$A = 0,052Q_e^{0,7} Q_c^{0,4} \exp(-40C_e + 0,14e - 0,007ev - \frac{1}{1 + \exp(4R - 7)} + 0,2P_m - 0,01\theta) \quad (5.1)$$

Burada;

A: her bir dönel kavşak yaklaşımı için yaralanmalı kaza sayısı (ölümler dahil), (kaza/yıl)

Q_e : giriş akımı (günde 1000 taşıt)

Q_c : sirkülasyon akımı (1000 taşıt/gün)

C_e : giriş eğriliği (:1/ R_e)

e : giriş genişliği (m)

v: yaklaşım genişliği (m)

R: dış çember çapının orta ada çember çapına oranı

P_m : motorsiklet yüzdesi (%)

θ : yol eksenleri dikkate alınarak bir sonraki yaklaşım ile oluşturulan açı (derece)

Yaklaşım durumu kaza modeli [4] :

$$A = 0,0057Q_e^{1,7} \exp(20C_e - 0,1e) \quad (5.2)$$

Burada;

A : dönel kavşak yaklaşımları üzerinde oluşan yaralanmalı kaza sayısı (ölümler dahil), (kaza/yıl)

Q_e : giriş akımı (1000 taşıt/gün)

C_e : giriş eğriliği (: 1/ R_e)

R_e : en kısa taşıt yolu için giriş yolu yarıçapı (m)

e : giriş genişliği (m)

Tek taşıt kaza modeli [4] :

$$A = 0,0064Q_e^{0,8} \exp(25C_e + 0,2v - 45C_a) \quad (5.4)$$

Burada;

A : dönel kavşak yaklaşımları üzerinde tek taşıtın karıştığı yaralanmalı kaza sayısı (ölümler dahil), (kaza/yıl)

Q_e : giriş akımı(1000 taşıt/gün)

C_e : giriş eğriliği: $1/R_e$

R_e : en kısa taşıt yolu için giriş yolu yarıçapı (m)

v : yaklaşım genişliği (m)

C_a : yaklaşım eğriliği : $1/R_a$

R_a : yaklaşım yarıçapı (m), kavşak girişindeki yol ver çizgisinin gerisindeki 50 m. -500m. mesafe içerisinde yer alan kurbun yarıçapı olarak ifade edilir.

Yaya kaza modeli [4] :

$$A = 0,029Q_{ep}^{0,5} \quad (5.4)$$

Burada;

A : dönel kavşak yaklaşımları üzerinde oluşan yaralanmalı kaza sayısı (ölümler dahil), (kaza/yıl)

Q_{ep} : $(Q_e + Q_{ex}) \cdot Q_p$

Q_e : Giriş akımı (1000 taşıt/gün),

Q_{ex} : Çıkış akımı (1000 taşıt/gün),

Q_p : Yaya geçiş sayısı (1000 yaya/gün)

olarak tanımlanmaktadır. İngiliz kaza modellerine göre istatistiksel öneme sahip fiziksel faktörler giriş genişliği, sirkülasyon yolu genişliği, giriş kurbu yarıçapı, yaklaşım eğriliği ve yaklaşımlar arasındaki açılardır.

Bu ölçütlerin etkilerinden bazıları şunlardır [4]:

- Giriş genişliği : Toplam giriş akımı 20 000 araç/gün olan tek şeritli bir kavşakta giriş şeritlerinin bir şeritten iki şerite çıkarılması yaralanmalı kazalarda %30 oranında artışa neden olmaktadır.Yine toplam giriş akımı 40 000 araç/gün olan iki şeritli bir kavşakta giriş şeritlerinin iki şeritten üç şerite çıkarılması yaralanmalı kazalarda %15 oranında artışa neden olmaktadır. Bunun yanında modellerde şerit sayılarının artırılması durumunda daha uzun mesafeleri katetmek zorunda kalacak bisiklet sürücüleri ve yayalar için artacak olan kaza ihtimali hesaba katılmamıştır.
- Sirkülasyon yolu genişliği: Sirkülasyon yolu genişliğinin kazalar üzerindeki etkisi giriş genişliğinden daha az olmaktadır. Sirkülasyon yolunun iki metre genişletmesi halinde kazaların % 5 oranında yükselmesi beklenmektedir.
- Giriş yolu yarıçapı: Giriş yolu yarıçapının artırılması ile tek taşıtlı kaza ve yaklaşım durumu ile ilgili kaza tipleri azalırken giriş-sirkülasyon kazaları artmaktadır. Çift şeritli bir yaklaşım için tercih edilen giriş yolu yarıçapı 50 ile 70 m arasında değişmektedir.
- Yaklaşım eğriliği: Yaklaşım eğrisinin sağa doğru olması sola doğru olduğu zamandan daha güvenlidir. Sürücünün kavşağa düşük hızlarla girmelerini sağlamak amacıyla ters kurplar kullanılması güvenliği bir miktar artırmaktadır. Günde 50 000 aracın giriş yaptığı çift şeritli yaklaşıma sahip bir dönel kavşağın düz bir yaklaşımına 200 m. yarı çapında bir sağa dönüş kurbu yerleştirilmesi kaza sıklığını % 5 oranında azaltacaktır.
- Girişler arasındaki açı küçüldükçe, kaza sıklığı artmaktadır. Örneğin dönel kavşağın bir sonraki ayağı ile 60 derecelik açı oluşturan bir yaklaşım 90 derecelik yaklaşımlar göz önüne alındığında kaza sıklığını yaklaşık olarak %35 oranında artırır. Bu sebepten dolayı güvenliği artırmak için girişler arasındaki açı artırılmalıdır.

Tahminlerde kullanılan eşitliklerde sürücü davranışının temel alındığı göz önünde bulundurulursa Avustralya’ da önerilen yaklaşım İngiltere’ deki yaklaşıma göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin,

Tek taşıtlı kazalar için kaza modeli [4]:

$$A_{sp} = 1,64 * 10^{-12} * Q^{1,17} * L * (S + \Delta S)^{4,12} / R^{1,91} \quad (5.5)$$

$$A_{sa} = 1,79 * 10^{-9} * Q^{0,91} * L * (S + \Delta S)^{1,93} / R^{0,65} \quad (5.6)$$

olmaktadır. Bu eşitliklerde;

A_{sp} : Kavşağa girmeden, yol ver çizgisi öncesinde bir yaklaşımdaki bir yılda oluşan tek taşıtlı kaza sayısını,

A_{sa} : Yol ver çizgisinden sonra bir yaklaşımdaki bir yılda oluşan tek taşıtlı kaza sayısını,

Q : İncelenen yönde yıllık ortalama günlük trafik sayısını (sadece bir yönlü trafik , taşıt/gün)

L : Kavşağa girmeden evvel yatay geometrinin değiştiği yolun uzunluğu (m),

S : L mesafesi üzerinde sürücülerin %85’inin aşmadığı hız, km/h

ΔS : Yatay geometrideki değişim başlamadan önceki hız ile yüzde 85’ lik hıza düşüş arasındaki farkı ,km/ saat

R : Yatay geometrinin değiştiği kesimdeki taşıt yolu yarıçapını (m) göstermektedir.

Bu eşitlikler hızın ve geometrik özelliklerin değişimi nedeniyle oluşan hız farkları ile kaza sayıları arasındaki doğrudan ilişkiyi temsil etmektedirler. Bu tahminler ancak dönel kavşağın çeşitli kısımlarındaki taşıt hızlarının hesaplanarak farklı geometrik tasarımlardaki güvenlikle kıyaslanması suretiyle aralarındaki farklılıkların değerlendirilmesi için kullanılabilir [4].

Yeni Zelanda’da bisikletlilerin kavşaklarda uğradıkları toplam kaza sıklığını gösteren başka bir araştırmaya göre de Eş.5.7’deki kaza tahmin modeli elde edilmiştir [13].

Bu analizde motorlu araçlar ve bisikletliler için kullanılan trafik akımları ortalama günlük trafik akımlarıdır.

$$A=2,40.10^{-5} \times Q_e^{0,785} \times C_c^{0,316} \quad (5.7)$$

Burada;

A : Yıllık bisikletli kaza sayısı

Q_e : Bir yaklaşımdan kavşağa giren trafik akımı , taşıt/gün

C_c : Bir yaklaşımdaki sirkülasyon yapan bisikletli akımı, bisikletli/gün

Bu kaza modeli ile kavşaklarda oluşan bisikletli kazalarının bisikletli hacimlerinden daha ziyade motorlu araç hacimlerinden etkilendiği görülmektedir [13].

6. GEOMETRİK TASARIM

Dönel kavşakların geometrik tasarımı trafik güvenliği ve kapasite arasında denge oluşturulmasına dayanmaktadır. Dönel kavşaklar geometrileri gereği trafiğin düşük hızlarda seyretmesini ve sirkülasyon yapmasını sağladığı sürece güvenli olmaktadır. Bu yatay kurplar ve şeritlerin çok geniş olmaması ile sağlanmaktadır. Ancak anılan önlemler kapasiteyi düşürmektedir. Bu yüzden dönel kavşakların tasarlanması esnasında güvenlik, işletim performansı ve büyük taşıtlara hizmet verebilme gibi faktörlerin optimizasyonu gerekmektedir [4].

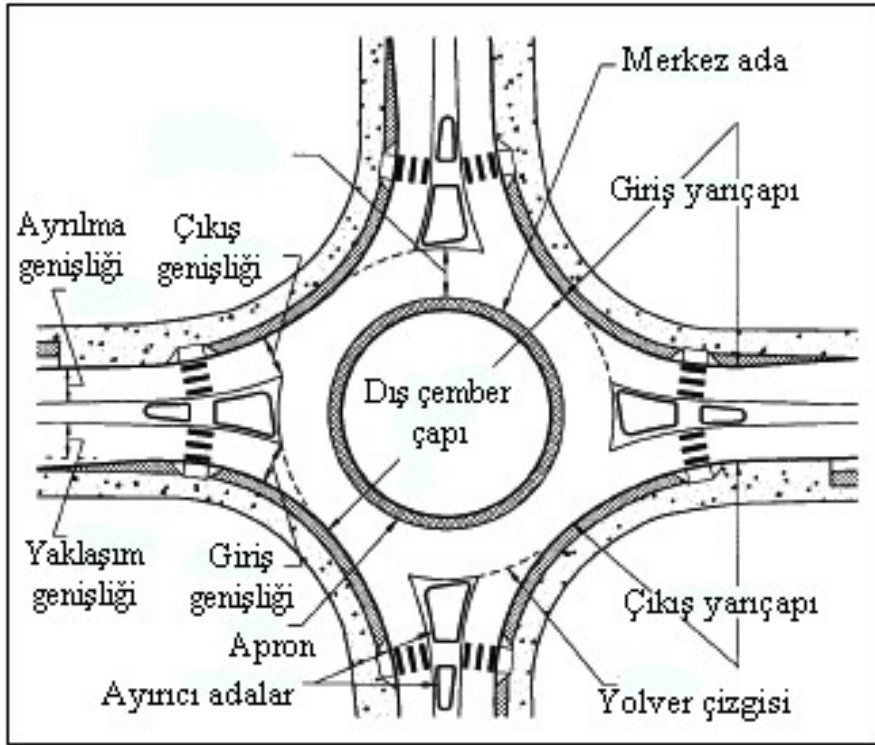
Çoğu dönel kavşağın genel olarak geometrisi ve diğer özellikleri benzer olsa da, bulundukları yere göre tasarım teknikleri ve parametreleri hız ve kapasite gereksinimleri gibi etkenler dikkate alındığında değişiklik gösterebilir. Yaklaşım hızlarının yüksek, yaya ve bisikletlilerin az olduğu kırsal bölgelerdeki dönel kavşaklar şehir içindekilere göre daha farklı olarak tasarlanır. Çünkü şehir içinde yaya ve bisikletlilerin güvenliği en önemli etkenlerdendir. Ayrıca tek şeritli ve çok şeritli dönel kavşakların tasarımları da farklıdır.

6.1. Geometrik Elemanlar

Şekil 6.1’de dönel kavşakların temel geometrik özellikleri ve boyutları verilmektedir.

6.2. Genel Tasarım Prensipleri

Dönel kavşakların tasarım işlemi diğer kavşaklara göre geometrik vaziyet, işletme analizi ve güvenlik değerlendirmesi bakımından daha fazla iterasyon gerektirmektedir. Geometrideki çok küçük değişiklikler bile güvenlik ve işlevsel performans açısından büyük değişikliklere sebep olmaktadır [4].



Şekil 6.1. Bir dönel kavşaktaki temel geometrik elemanlar [4]

Dönel kavşak tasarımı iteratif bir işlem olduğu için, ilk yerleşim çizimlerinin fazla ayrıntılı olmasına gerek yoktur. Detaylı tasarımdan önceki ilk tasarım aşamasında 3 temel eleman belirlenmelidir. Bunlar [4];

1. Optimum dönel kavşak boyutu,
2. Optimum yerleşim ve
3. Kavşak kollarının optimum yerleşimi ve düzenlenmesidir.

Bu tasarım elemanlarının tespitinden sonra kapasite analizi, performans analizi ve güvenlik parametreleri kontrol edilerek geometrik plan yeniden gözden geçirilir ve son aşamada aydınlatma ve peyzaj projeleri yapılarak kavşak tasarımı tamamlanmış olur. Kavşak inşasından sonra dahi yerinde yapılan gözlemlerle kavşakta gerekli ayarlamaların yapılması gerekmektedir [4].

6.2.1. Dönel kavşak içindeki hızlar

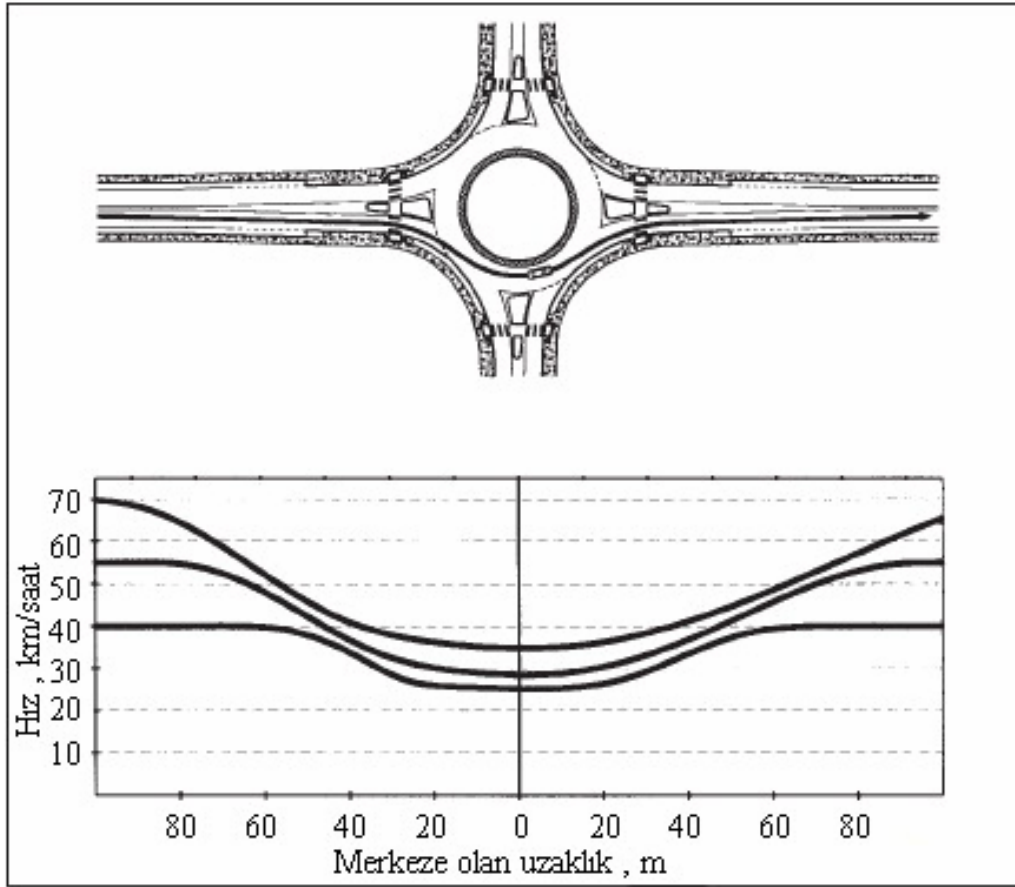
Güvenlik üzerindeki etkilerinden dolayı, dönel kavşaklarda uygun taşıt hızları elde etmek en önemli tasarım hedefi olmalıdır. İyi tasarlanmış bir dönel kavşakta karşıt akımlar arasındaki göreceli hızlar, kurplar vasıtasıyla düşürülmektedir [4].

Hız profilleri

Şekil 6.2’de bir dönel kavşağa yaklaşan, kullanan ve çıkan taşıtların işletim hızları ve dönel kavşak merkezinin yaklaşık 100 m gerisinden ve ilerisinden geçen 40, 55 ve 70 km/saat’lik yaklaşım hızlarına sahip taşıtların hız profilleri yer almaktadır. Yavaşlama bu zamandan önce başlamakta, sirkülasyon yapan sürücüler ise dönel kavşakta hemen hemen aynı hızlarda gitmektedir. Dönel kavşağın içinde neredeyse tüm sürücülerin aynı hızda gitmeleri, sürücülerin daha güvenli ve etkin bir biçimde istedikleri güzergahı kolayca bulmaları ve kullanmaları anlamına gelmektedir [4].

Tasarım hızı

Yapılan araştırmalara göre, taşıt güzergahının kavisliliğinin artırılması hızların düşmesine sebep olmaktadır. Böylece giren ve sirkülasyon yapan taşıtların çarpışma olasılıkları azaltılır. Çok şeritli dönel kavşaklarda ise, güzergah kavisinin artması komşu trafikten ötürü daha yüksek bir kenar sürtünmesi oluşturur ve yanal çarpışmalar daha çok gözlenir. Bu yüzden her dönel kavşak tipi için kazaların azaltılması adına gerekli optimum tasarım hızları mevcuttur [4].



Şekil 6.2. Kentsel kompakt tasarım için örnek teorik hız profili [4]

Değişik kategorilerdeki dönel kavşaklar için tavsiye edilen maksimum giriş hızları Çizelge 6.1’de verilmektedir.

Çizelge 6.1. Tavsiye edilen maksimum giriş tasarım hızları [4]

Arazi kategorisi	Tavsiye edilen maksimum tasarım giriş hızı (km/saat)
Mini dönel kavşak	25
Kentsel kompakt	25
Kentsel tek şeritli	35
Kentsel iki şeritli	40
Kırsal tek şeritli	40
Kırsal iki şeritli	50

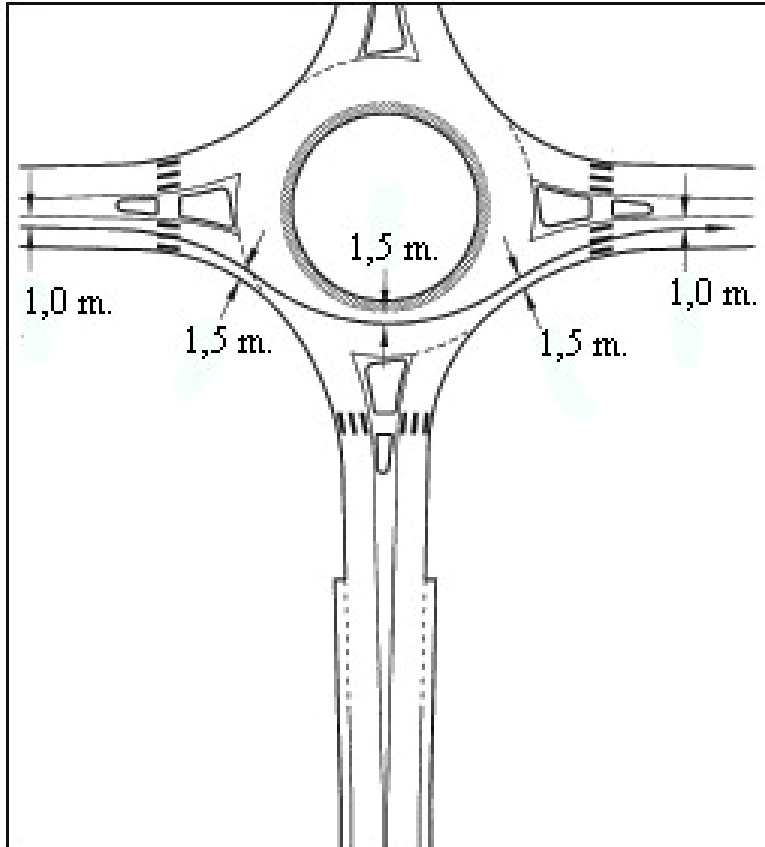
Taşıt güzergahları

Bir dönel kavşağın hızını belirlemek için geometrinin izin verdiği en hızlı güzergah seçilir. Bu güzergah tek bir aracın, hiçbir trafik ve işaretleme olmadığı varsayılarak girdiği, merkez adanın etrafında dönüş yaptığı ve çıktığı en düz ve yumuşak geometriye sahip güzergah olarak tanımlanmıştır. Genellikle en hızlı güzergah düz gidiş hareketidir, ancak bazı durumlarda sağa dönüş hareketi de olabilir [4].

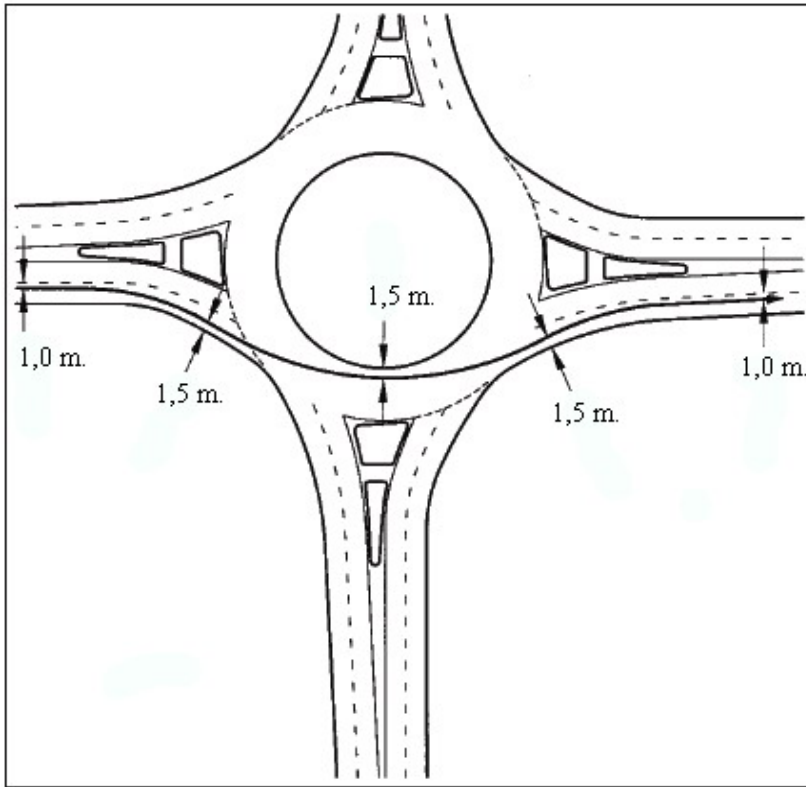
Bir aracın 2 m. genişliğinde olduğu ve yol orta çizgisi yada yol kenarından 0,50 m. mesafede olduğu kabul edilmiştir. Bu yüzden taşıt güzergahının orta çizgisi çeşitli geometrik değişkenlere göre şöyle konumlandırılabilir [4]:

- Kurptan 1,5 m. uzaklıkta,
- Yol orta çizgisinden 1,5 m. uzaklıkta,
- Boyalı kenar çizgisinden 1,0 m. uzaklıkta olabilir.

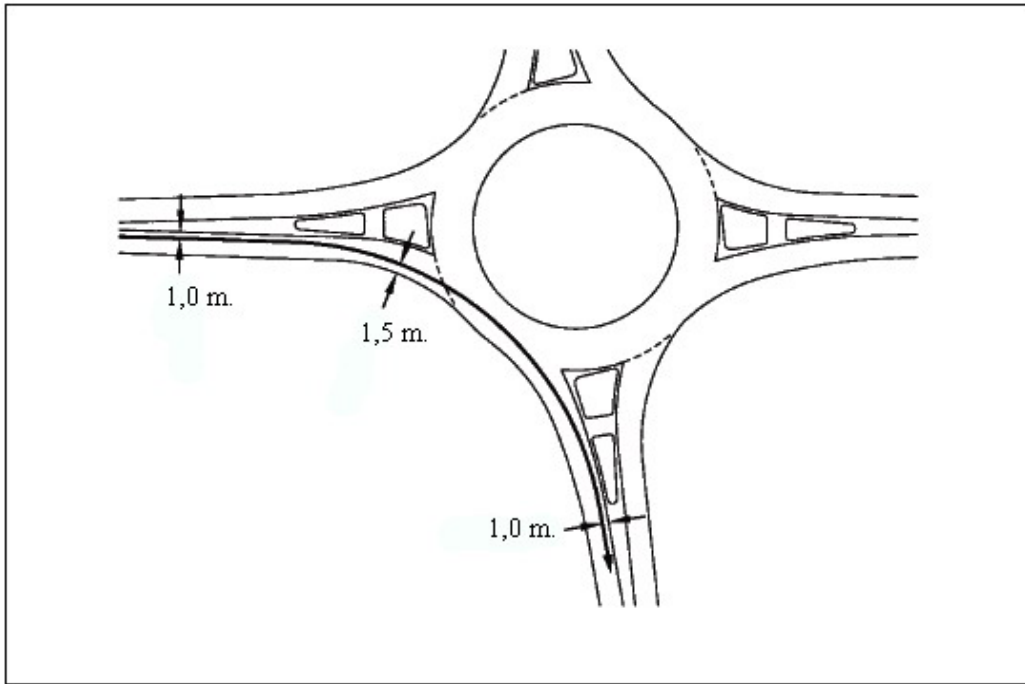
Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’de sırasıyla tek şeritli ve iki şeritli dönel kavşaklarda en hızlı güzergahın nasıl oluşturulacağı gösterilmektedir. Şekil 6.5’de sağa dönüş güzergahının düz gidişe göre daha kritik olduğu bir durum gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Tek şeritli dönel kavşaktaki en hızlı taşıt güzergahı [4]



Şekil 6.4. İki şeritli dönel kavşaktaki en hızlı güzergah [4]



Şekil 6.5. Kritik sağa dönüş hareketi örneği [4]

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te görüldüğü üzere düz gidiş hareketi için en hızlı güzergah bir seri ters kurptan meydana gelmektedir (sağa kurp + sola kurp + sağa kurp). En hızlı güzergah çizildikten sonra bu güzergahtaki minimum kurp yarıçapı belirlenmelidir.

Bir dönel kavşağın tasarımında kullanılan tasarım hızı en uzun güzergahtaki minimum kurp yarıçapından elde edilir. En küçük yarıçap genellikle sirkülasyon yolunda, taşıt sola doğru dönerken ortaya çıkar. Dönel kavşak tasarlanırken giriş kurbunun yarıçapının sirkülasyon yolunun çapından çok büyük olmamasına dikkat edilmeli, dönel kavşağın tüm kolları için en hızlı güzergah çizilmelidir [4].

Hız – kurp ilişkisi

Seyahat hızı ve yatay kurp yarıçapları arasında Eş. 6.1'de belirtilen bir ilişki bulunmaktadır. Bu eşitlik kullanılarak verilen bir yarıçap için tasarım hızı bulunabilir.

$$V = \sqrt{127 \cdot R \cdot (e + f)} \quad (6.1)$$

Eşitlikte;

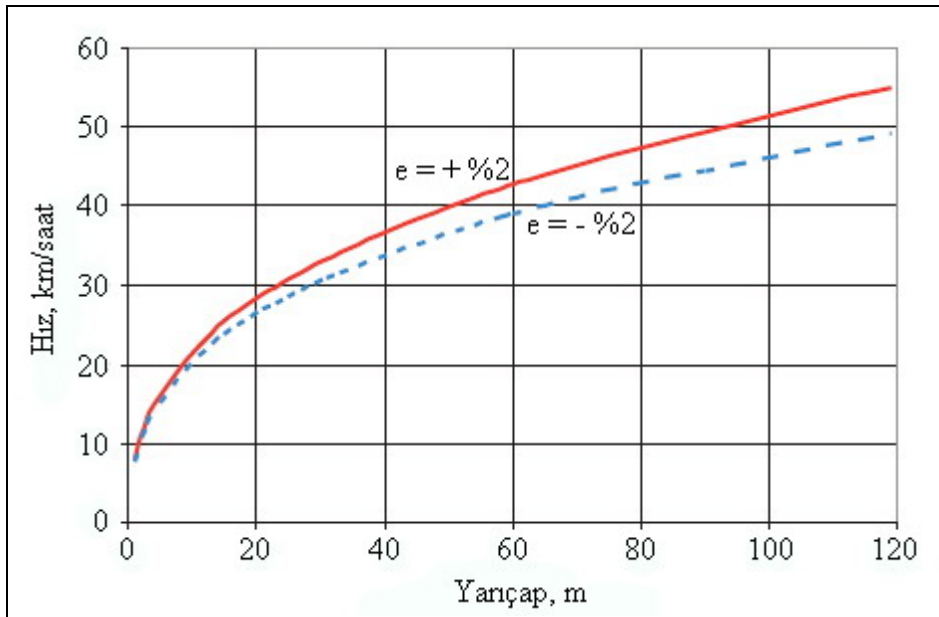
- V = Tasarım hızı, km/saat,
- R = Yarıçap, m,
- e = Dever, m/m,
- f = Yanal sürtünme faktörü

Dever eğimleri genellikle giriş ve çıkış kurpları için + %2 alınırken, merkez ada için -%2 olarak kabul edilmektedir. Sürtünme faktörü değerleri ise kaplama ile taşıt lastikleri arasındaki sürtünme katsayısı olup; taşıt hızına bağlıdır [4].

Çizelge 6.2. Çeşitli hızlarda yanal sürtünme faktörleri [14]

Dönüş Hızı (km/saat)	Yanal sürtünme faktörü , f
15	0,40
20	0,35
30	0,28
40	0,23
50	0,19
60	0,17
70	0,15

Her hıza karşılık gelen uygun sürtünme faktörü değerleri kullanılarak elde edilmiş, +0.02 ve -0.02 deverli kavşaklardaki hız-yarıçap ilişkileri Şekil 6.6'da gösterilmektedir.



Şekil 6.6. Hız-yarıçap ilişkisi [4]

Hız tutarlılığı

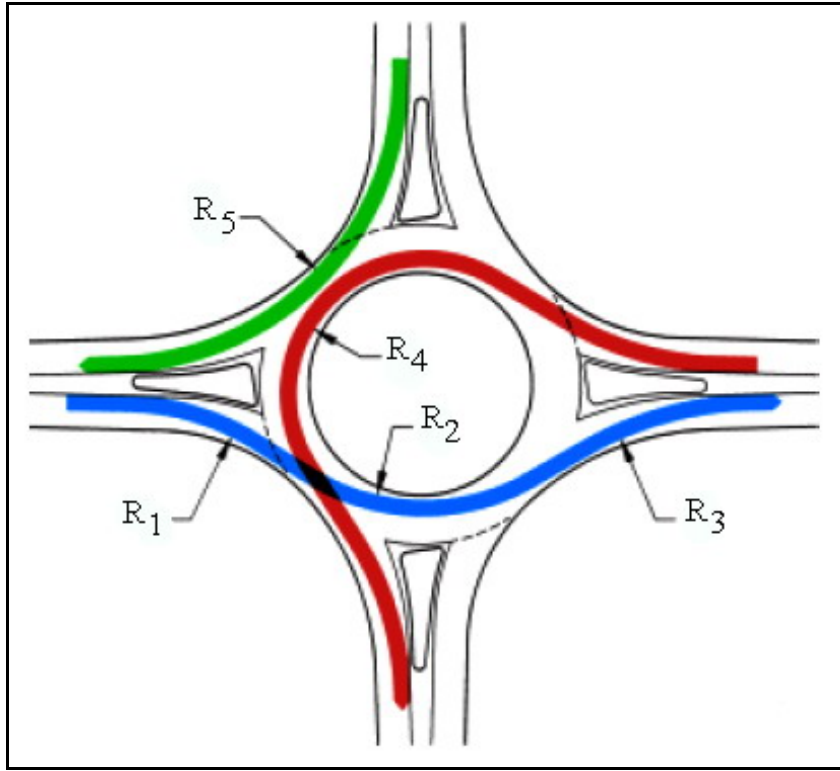
En hızlı hareket için uygun tasarım hızını elde etmeye ek olarak diğer bir önemli amaç ta tüm hareketler için tutarlı hızlar elde etmektir. Hız tutarlılığı ile hızlar azalmakta, kaza oranları ve karşıt akımlar arasındaki şiddet azalmaktadır. Karşıt trafik akımı içine girebilmeyi kolaylaştırmakta, kritik boşlukları en aza indirmekte ve böylece giriş kapasitesini artırmaktadır. Bu prensibin iki önemli gereği vardır. Bunlar;

1. Ardışık geometrik elemanlar arasındaki hız farkları en aza indirilmeli ve
2. Kesişen trafik akımları arasındaki hızlar en aza indirilmelidir.

Şekil 6.7’de görüldüğü gibi her yaklaşım için beş değişik kritik güzergah yarıçapı kontrol edilmelidir [4];

- R_1 (Giriş yolu yarıçapı) : Yolver çizgisinin önünde yer alan en hızlı düz gidiş güzergahındaki minimum yarıçaptır,
- R_2 (Sirkülasyon yolu yarıçapı) : Merkez adanın çevresindeki en hızlı düz gidiş güzergahının minimum yarıçapıdır,
- R_3 (Çıkış yolu yarıçapı) : Çıkıştaki en hızlı düz gidiş güzergahının minimum yarıçapıdır,
- R_4 (Sola dönüş güzergahı yarıçapı) : Sola dönüş güzergahı üzerindeki minimum yarıçaptır,
- R_5 (Sağa dönüş güzergahı yarıçapı) : Sağa dönen bir aracın en hızlı güzergahındaki minimum yarıçaptır,

Yukarıdaki güzergah yarıçapları kurp yarıçapları ile aynı değildir. İlk olarak temel kurp geometrisi çizilir ve daha sonra güzergahlar çizilerek yarıçaplar belirlenir.



Şekil 6.7. Taşıt güzergah yarıçapları [4]

En hızlı güzergahta R_1 'in, R_2 'den ve R_2 'nin de R_3 'ten küçük olması önerilmektedir. Böylece hızlar en aza inecek ve kazalar azalacaktır. R_1 'in R_2 'den küçük olması sağlanamazsa, hızlar arasındaki farkın 20 km/saat'ten az olması sağlanmalıdır [4].

Tek şeritli dönel kavşaklarda R_1 değerinin düşürülmesi kolaydır, ancak iki şeritli dönel kavşaklarda zordur. Bunun için iki şeritli dönel kavşaklar tasarlanırken R_1 , R_2 ve R_3 değerleri için ideal değerleri elde etmek önemlidir [4].

Çıkış yarıçapı, R_3 , R_1 veya R_2 'den küçük olmamalıdır. Yayaların da kullandığı tek şeritli dönel kavşaklarda çıkış hızlarını düşürmek için çıkış yarıçapı yine de gereğinden büyük olmamalıdır. İki şeritli dönel kavşakların tasarımında ise çakışmaların yaşanmamasına özen gösterilmelidir [4].

Sola dönüş hareketinin yarıçapı, R_4 , giren ve sirkülasyon yapan trafik arasındaki hız farkının 20 km/saat ten fazla olmasını sağlayabilmelidir. Sola dönüş hareketi, kritik

trafik akımıdır, çünkü en düşük sirkülasyon hızına sahiptir. Genellikle R_4 , merkez ada yarıçapına 1.5 m eklenerek belirlenebilir. Bu kabule dayanarak, Çizelge 6.3’de yaklaşık R_4 ve karşılık gelen R_1 değerleri görülmektedir [4].

Son olarak en hızlı sağa dönüş güzergahı yarıçapı, R_5 , değerlendirilmelidir. R_1 ’e benzer şekilde, sağa dönüş yarıçapının maksimum dönel kavşak tasarım hızının altında veya buna eşit olması ve R_4 ’ün tasarım hızından 20 km/saat’ten fazla olmamasına dikkat edilmelidir [4].

Çizelge 6.3. Yaklaşık R_4 değerleri ve bunlara karşılık gelen R_1 değerleri [4]

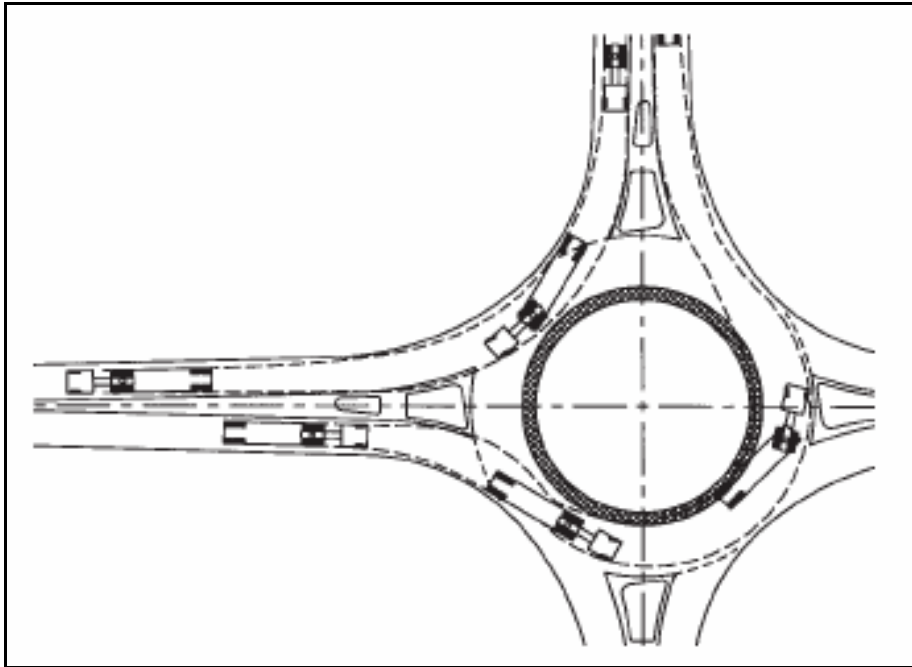
Merkezi çember çapı (m)	Yaklaşık R_4 değeri		Maksimum R_1 değeri	
	Yarıçap (m)	Hız (km/saat)	Yarıçap (m)	Hız (km/saat)
Tek şeritli dönel kavşaklar				
30	11	21	54	41
35	13	23	61	43
40	16	25	69	45
45	19	26	73	46
İki şeritli dönel kavşaklar				
45	15	24	65	44
50	17	25	69	45
55	20	27	78	47
60	23	28	83	48
65	25	29	88	49
70	28	30	93	50

6.2.2. Tasarım aracı

Bir dönel kavşağın yerleşim planının tespitindeki bir diğer önemli faktör de kavşağı kullanacak en büyük motorlu aracın belirlenmesidir. Bu aracın dönüş güzergahı gereksinimleri, dönel kavşağın bir çok boyutunu ortaya koymaktadır [4].

Tasarım aracının seçimi, yaklaşım yolları geometrisi ile arazi kullanımı karakteristiklerine bağlıdır [4].

Genel olarak büyük taşıtlara hizmet verebilmek için daha büyük dönel kavşaklar gerekmektedir. Ancak bazı durumlarda arazi buna imkan vermeyebilir. Böyle durumlarda kamyon apronu kullanılmalıdır [4].



Şekil 6.8. Sağa ve sola dönen bir treylerin (WB-50) süpürdüğü yol [4]

Çizelge 6.4.Tasarım araçlarının sirkülasyon yolunda ihtiyaç duydukları genişlik [15]

Dış çember çapı (m.)	Tasarım aracı				
	P Otomobil	SU Kamyonet	BUS Otobüs	WB-50 Yarı treyler kamyon	WB-67 Uzun yarı treyler kamyon
35	3,66	4.88	5,49	7,62	12,50
38	3,35	4,57	5,18	7,31	10,97
45	3,35	4,57	4,88	6,40	8,84
53	3,35	4,27	4,88	6,10	7,92
61	3,35	4,27	4,88	5,79	7,01

6.2.3. Motorize olmayan tasarım kullanıcıları

Motorlu tasarım aracı gibi kavşağı kullanacak motorize olmayan kullanıcılar için de bazı tasarım kriterleri vardır. Çeşitli tasarım kullanıcıları için temel tasarım boyutları Çizelge 6.5'te verilmektedir.

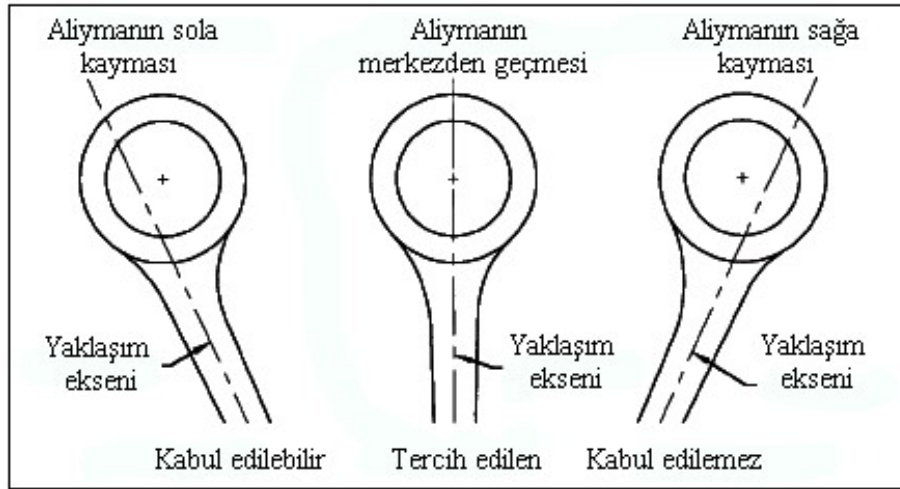
Çizelge 6.5. Motorize olmayan tasarım kullanıcıları için çeşitli boyutlar [4]

Kullanıcı	Boyut	Etkilenen dönel kavşak özelliği
Bisikletler		
Uzunluk	1,8 m	Ayırıcı adadaki yaya geçidi uzunluğu
Minimum işletim genişliği	1,5 m	Bisiklet şeridi genişliği
Her iki kenardaki yanal açıklık	0,6 m	Paylaşılan bisiklet-yaya yolu genişliği
Yaya (yürüme)		
Genişlik	0,5 m	Kaldırım ve yaya genişliği
Tekerlikli Sandalye		
Minimum genişlik	0,75 m	Kaldırım ve ayırıcı ada genişliği
İşletim genişliği	0,90 m	Kaldırım ve ayırıcı ada genişliği

6.2.4. Yaklaşım ve giriş alıymanı

Genellikle dönel kavşak kollarının eksen uzantıları merkez adanın merkezinden geçmektedir. Eğer bu mümkün değilse sola doğru küçük bir sapma kabul edilebilir. Bu sapmalar yine de kavşak giriş ve çıkışında gerekli kurp yarıçaplarının sağlanması için yeterli olmalıdır. Merkez adanın çok küçük olduğu durumlarda da merkez ada sola doğru kaydırılabilir. Ancak çıkışın teğet olmamasına dikkat edilmelidir. Özellikle şehir içinde, çıkış güzergahı mümkün olduğunca kavisli olmalı ve taşıt hızları düşürülmelidir [4].

Bir yaklaşım alıymanının dönel kavşağın merkez noktasının sağına sapması kabul edilemez. Çünkü taşıtlar dönel kavşağa daha hızlı girerler, kontrol kaybı ve kazalar meydana gelir. Şekil 6.8’de tercih edilen giriş alıymanları gösterilmektedir [4].



Şekil 6.9. Giriş aliynmanları [4]

Ayrıca birbirini izleyen giriş ve çıkışlar arasındaki mesafelerin optimum dağılılabilmesi için kavşak kolları arasındaki açıların eşit olması trafik güvenliğini artıran bir unsur olmaktadır [4].

6.3. Geometrik Elemanlar

Aşağıda bir dönel kavşağı meydana getiren geometrik elemanlar açıklanmaktadır. Ancak bunlar birbirinden bağımsız olarak ele alınamaz birbirleriyle etkileşimleri de göz önünde bulundurulmalıdır [4].

6.3.1. İç çember çapı

İç çember çapı, merkez ada çapı ile sirkülasyon yolu genişliğinin iki katının toplamına eşit olmaktadır [4].

Tek şeritli dönel kavşaklarda iç çember çapı tasarım aracının dönüş gereksinimlerine bağlıdır. Çap, tasarım aracına düzgün şekilde hizmet verirken, araçta yeterli dönüş kurbu sağlanmalı ve küçük taşıtlar için güvenli seyahat hızları elde edilmelidir. Genel olarak iç çember çapı WB-15 (WB-50) aracıya yani büyük bir treylere rahatça hizmet verebilmek için en az 30 m. olmalıdır [4].

İki şeritli dönel kavşaklarda, tasarım aracına hizmet vermek büyük sorun değildir. Dönel kavşağın boyutları genellikle dönüş elde etmek veya iç çember çevresinin etrafındaki giriş ve çıkışları uygun şekilde yerleştirme amacına yönelik olarak düzenlenir. Genellikle iç çember çapı iki şeritli dönel kavşaklar için minimum 45 m. olmalıdır [4].

Genel olarak, küçük iç çember çapları güvenlik açısından daha faydalıdır, çünkü hızlar düşüktür. Yüksek hızlı yollarda yaklaşım tasarımı düşük hızlı yollara göre daha kritiktir. Büyük iç çember çapı bu tip kavşaklarda yaklaşım geometrisin daha iyi ayarlanmasına ve hızların düşürülebilmesine olanak tanır. Büyük iç çember çapları aynı zamanda giren ve sirkülasyon yapan taşıt güzergahları arasındaki kesişim açısını azaltmakta ve kazaları önlemektedir. Bu yüzden yüksek hızlı yollardaki iç çember çapı diğerlerine göre daha büyüktür. Daha büyük çaplar (>60 m) ise, yüksek sirkülasyon hızları ve kaza oranları sebebiyle kullanılmamalıdır [4].

6.3.2. Giriş genişliği

Giriş genişliği bir dönel kavşağın kapasitesini belirleyen en önemli kriterdir. Bir yaklaşımın kapasitesi sadece şerit sayısına değil girişin toplam genişliğine de bağlıdır. Diğer bir söyleyişle giriş kapasitesi genişlikteki ufak bir artışla bile yükselmektedir. Bu yüzden, girişlerin ve sirkülasyon yollarının temel boyutları genişlik cinsinden tanımlanır. Birden fazla akıma hizmet verebilecek girişler ($w > 6$ m.), çizgiyle işaretlenerek şeritlendirilir [4].

Sirkülasyon yolu genişliği en geniş giriş genişliğinden az olmamalı ve sabit bir genişliği muhafaza etmelidir [4].

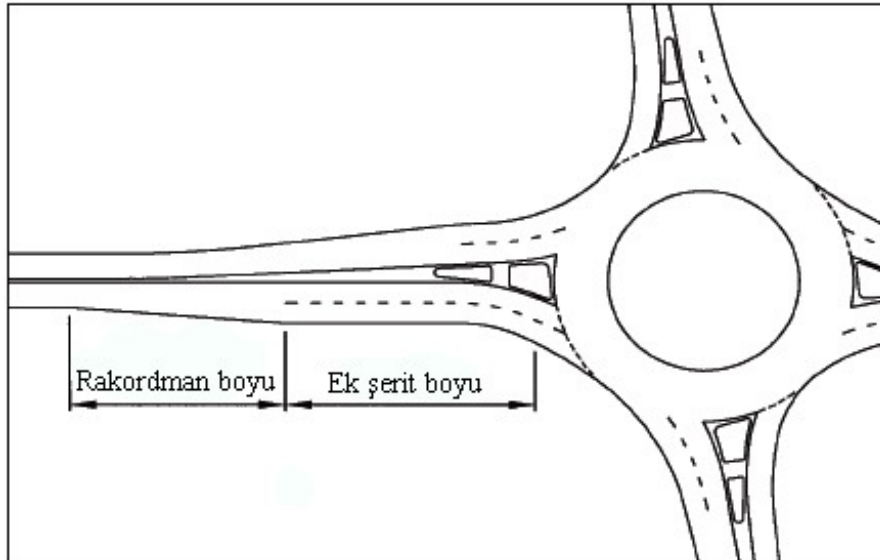
Dönel kavşağın güvenliğini maksimize etmek için, giriş genişliğini mümkün olduğunca asgaride tutmak gerekir. Kapasite gereksinimleri ve performans hedefleri her girişin belirli bir genişlikte ve şerit sayısında olmasını gerekli kılar. Buna ek olarak tasarım aracı girişin daha geniş olmasını gerektirebilir. Daha büyük giriş ve sirkülasyon yolu genişlikleri kaza sıklığını artırır. Giriş ve sirkülasyon yolu

genişliklerinin belirlenmesi, kapasite ve güvenlik problemleri arasında dengenin sağlanmasını gerektirir. Tasarım, kapasite için minimum genişliği sağlamalı ve en yüksek güvenlik seviyesini elde etmek için tasarım aracına hizmet verebilir durumda olmalıdır. Tek şeritli girişler için tipik giriş genişlikleri 4,3 ile 4,9 m. arasında değişmektedir, ancak bu aralığın dışındaki değerler kritik taşıt güzergahları için hız gereksinimlerinde ve kavşak yerine özel tasarım taşıtları olduğunda kullanılabilir [4].

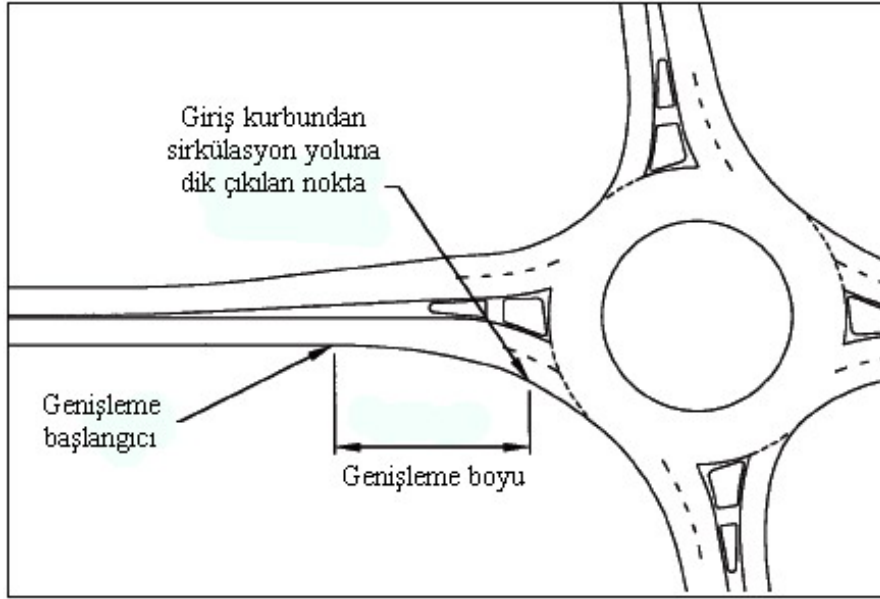
Eğer kapasite gereksinimleri sadece giriş genişliğine bağlıysa bu aşağıdaki iki yöntemle sağlanabilir [4];

1. Dönel kavşağın akım başına tam bir şerit eklenir ve giriş geometrisi boyunca paralel şeritler ile veya
2. Yaklaşımı giriş geometrisine doğru tadcricen genişleterek sağlanabilir.

Bu durumlar Şekil 6.10. ve Şekil 6.11. ile gösterilmektedir.



Şekil 6.10. Şerit eklenmesi [4]



Şekil 6.11. Giriş genişlemesi [4]

Giriş genişletmesi tam şerit eklenmesi kadar masraflı olmayan etkili bir kapasite artırma aracıdır. Genişleme uzunluğu artarken kaza frekansı artmaz. Giriş genişliği aynı olan yaklaşımların kapasiteleri aynıdır. İstenen kapasiteyi minimum kaza sıklığı ile elde etmek için giriş genişlikleri azaltılmalı ve genişletme boyları uzatılmalıdır. Genellikle genişletme boyu şehir içinde minimum 25 m. ve kırsal kesimlerde de minimum 40 m. olmalıdır. Eğer kamulaştırma zorlukları varsa, kapasitedeki olumsuz etkileri de dikkate alınarak daha kısa boylar da kullanılabilir [4].

Kimi zaman 20 yıllık bir süre için tasarlanan kavşakların ilk yıllarında giriş ve sirkülasyon yolu genişlikleri gerekenden daha geniştir. Bu durum trafik güvenliği problemleri doğurur. Bunun için kavşak inşa edilirken inşa edildiği zaman dilimine hizmet edecek gibi tasarlanır, ancak genişletmeler ve elentiler için tedbir alınmalı, gerekli kamulaştırmalar ve hazırlıklar tamamlanmalıdır [4].

6.3.3. Sirkülasyon yolu genişliği

Gerekli sirkülasyon yolu genişliği, girişlerin genişliğine ve tasarım aracının dönüş hareketi gereksinimlerine bağlıdır. Temel olarak sirkülasyon yolu genişliği en az

maksimum giriş genişliği kadar olmalı (maksimum giriş genişliğinin %120'sine kadar artırılabilir) ve dönel kavşak boyunca sabit olmalıdır [4].

Tek şeritli dönel kavşaklar

Tek şeritli dönel kavşaklarda sirkülasyon yolu ancak tasarım acına hizmet verebilecek şekilde boyutlandırılmalıdır. Muhtemel her dönüş güzergahı için tasarım aracının süpürdüğü hat gözden geçirilmelidir. Genellikle sirkülasyon yolu genişliğinin belirlenmesinde kullanılan kriter sola dönüş hareketidir. AASHTO'ya göre, kurp çizgisi ile taşıt tekeri arasında minimum 0,60 m mesafe olmalıdır. AASHTO'da çeşitli tasarım taşıtları ve kurp yarıçapları için gerekli genişlikler yer almaktadır. Sirkülasyon yolu genişliği tasarım aracının kurpları dönerken süpürdüğü genişlikleri karşılayacak şekilde tespit edilmelidir [4].

Tasarım aracından veya iç çemberin küçük olmasından dolayı sirkülasyon yolu çok geniş olabilir. Bu durumda trafiği yavaşlatmak ve gerekli sapmayı sağlamak için kamyon apronları kullanılmalıdır [4].

İki şeritli dönel kavşaklar

İki şeritli dönel kavşaklarda sirkülasyon yolu genişliği genellikle tasarım aracına bağlı değildir. En geniş girişe bağlı olarak bir yada iki araca hizmet verebilecek şekilde geniş olmalıdır. Bu taşıtlar binek taşıt olabileceği gibi, kamyon vb. taşıtlarda olabilir [4].

Çizelge 6.6'da iki şeritli dönel kavşaklar için sirkülasyon yolu genişlikleri verilmektedir.

Çizelge 6.6. İki şeritli dönel kavşaklar için minimum sirkülasyon yolu genişlikleri [4]

İç çember çapı (m)	Minimum sirkülasyon yolu 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

6.3.4. Merkez ada

Dönel kavşakların merkez adası, sirkülasyon yolu ve/veya apron tarafından çevrelenen yükseltilmiş ve taşıtların giremediği alandır [4].

Merkez ada genel olarak daireseldir. Dairesel merkez ada ve sabit yarıçaplı sirkülasyon yolu hızların sabit kalmasını sağlamaktadır. Diğer şekiller ise kullanışlı değildir. Ayrıca trafik güvenliği açısından da önerilmemektedir. Merkez adanın boyutları gerekli deplasmanın sağlanmasında önemli bir etkindir. Ancak merkez adanın boyutları iç çember ve sirkülasyon yolu genişliğine bağlıdır. Bu yüzden iç çember, sirkülasyon yolu ve ilk geometri hesaplandıktan sonra, yerleşim planı üzerinde en hızlı taşıt güzergahı çizilmeli ve merkez adanın yeterli olup olmadığı hesaplanmalıdır. Eğer en hızlı güzergah tasarım hızını aşarsa, merkez ada çapı artırılmalıdır [4].

Başka etkenler yüzünden iç çember çapı büyütülemiyorsa, sirkülasyon yolunun kenarına apron eklenebilir. Resim 6.1’de aprona sahip tipik bir merkez ada görülmektedir .

Apronlar kullanıldığında, sadece kamyonlar tarafından kullanılıp diğer binek taşıtlarla kullanılmamasının temini için tasarlanmalıdır. Genellikle 1-4 m genişliğinde ve merkez adadan dışa doğru yüzde 3-4 eğimle inşa edilmelidir. Binek taşıtların kullanımını engellemek için apronun dış ucu yükseltilmelidir. Apron yapımında kullanılacak malzeme farklı renkte olmalı ve farklı yol malzemesi kullanılmalıdır [4].



Resim 6.1. Apronlu modern dönel kavşak

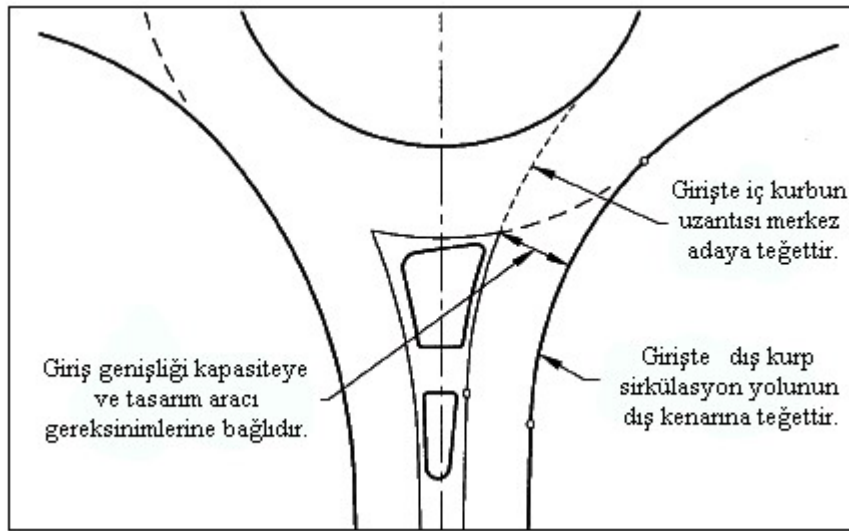
Genelde kırsal kesimlerdeki dönel kavşaklardaki merkez adalar, şehir merkezinde yer alan dönel kavşakların merkez adalarına göre daha büyük olmalıdır.

6.3.5. Giriş kurpları

Giriş yarıçapı, kapasite ve güvenlik üzerindeki etkilerinden dolayı bir dönel kavşağın operasyonunu etkileyen en önemli unsurlardandır. Giriş yarıçapı, giriş genişliği, sirkülasyon yolu genişliği ve merkez ada geometrisi ile beraber bir aracın giriş güzergahı üzerindeki deplasman miktarını kontrol eder. Büyük giriş yarıçapları, yüksek giriş hızlarına ve yüksek kaza oranlarına sebep olur [4].

Giriş kurbu sirkülasyon yolunun dış kenarına teğet olarak tasarlanmalıdır. Aynı şekilde, giriş yolunun iç (sol) kenarı da merkez adaya teğet olmalıdır. Şekil 6.12’de tipik bir dönel kavşak giriş geometrisi gösterilmektedir [4].

Giriş kurbu için bir yarıçap seçmedeki en önemli kriter, hız hedeflerini yakalamaktır. Giriş yarıçapı ilk olarak en hızlı taşıt güzergahında uygun bir tasarım hızı sağlamalıdır. İkinci olarak giriş güzergahı yarıçapının, R_1 , sirkülasyon yolu yarıçapından küçük yada eşit olmasını sağlayacak şekilde olmalıdır [4].



Şekil 6.12. Tek şeritli dönel kavşakta giriş tasarımı [4]

Tek şeritli dönel kavşaklarda giriş kurpları

Tek şeritli dönel kavşaklarda, giriş hızı hedeflerine ulaşmak daha kolaydır. Giren ve sirkülasyon yapan tek bir trafik akımı olduğundan istenen giriş güzergahı yarıçapı sağlanana kadar giriş yarıçapı azaltılıp artırılabilir [4].

Şehir içi tek şeritli dönel kavşaklarda giriş yarıçapı 10 ile 30 m. arasında değişmektedir. Daha büyük yarıçaplar da kullanılabilir, ancak büyük yarıçaplar yüksek hızlara sebep olmaktadır. Küçük caddelerdeki dönel kavşaklarda ise giriş yarıçapı 10 m.’nin altına inebilir [4].

Kırsal ve banliyö kesimlerinde, yaklaşım ve girişteki hız farkına dikkat edilmelidir. Eğer bu fark 20 km/saat'ten fazla ise; yaklaşım kurpları ya da başka hız düşürme araçları kullanılarak bu farkın azaltılması sağlanmalıdır [4].

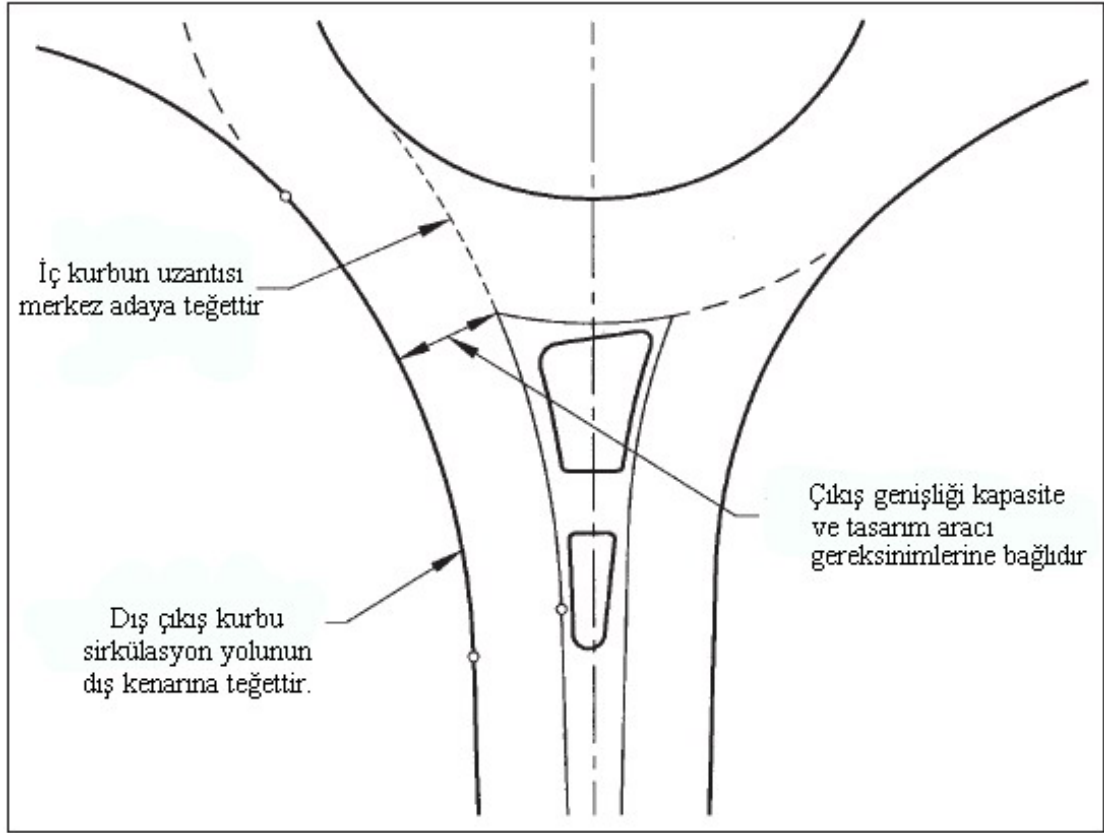
İki şeritli dönel kavşaklarda giriş kurpları

İki Şeritli dönel kavşaklarda, giriş kurbunun tasarımı daha karmaşıktır. Giriş yarıçapının çok küçük seçilmesi durumunda komşu trafik akımları arasında problemlere sebep olabilir. Böyle olunca kapasite düşer ve aynı zamanda da yan yana çarpışma oranı artacağından güvenlik üzerinde de olumsuz etkileri vardır [4].

6.3.6. Çıkış kurpları

Çıkışlardaki sıkışıkları önlemek için çıkış kurplarının yarıçapı giriş kurplarına göre daha büyüktür. Ancak bunu çıkıştaki yaya geçitlerine yaklaşıldığında azalan hızlarla dengelemek gerekir. Çıkış kurbunun yarıçapı, R_3 , sirkülasyon yolu yarıçapı R_2 'den büyük olmalıdır. Eğer çıkış güzergahı yarıçapı, sirkülasyon yolu yarıçapından küçük olursa taşıtlar çıkış geometrisini kolayca algılayamadıkları için ayrıca adaya ya da diğer şeritteki taşıtlara çarpabilirler. Aynı şekilde akım sonu yaya geçidinde hızların düşük olması için çıkış güzergahı yarıçapı sirkülasyon yolu yarıçapından önemli ölçüde büyük olmamalıdır [4].

Çıkış kurbu sirkülasyon yolu dış kenarına teğet olmalıdır. Aynı şekilde, çıkış yolunun iç kenarı merkez adaya teğet olmalıdır. Şekil 6.13'te tek şeritli bir dönel kavşağın çıkış planı görülmektedir [4].



Şekil 6.13. Tek şeritli dönel kavşak çıkış tasarımı [4]

Tek şeritli dönel kavşaklarda çıkış kurplarının yarıçapı, kavşağı kullanan taşıtların yaya geçidi yakınlarında 40 km/saat tasarım hızına eşit yada altında hızlarla seyahat etmelerini sağlamak üzerine tasarlanmalıdır. Genel olarak çıkış yarıçapı 15 m.'den düşük olmamalıdır, ancak yayaların çok kullandığı kavşaklarda bu 10-12 m.'ye kadar düşebilir [4].

Kırsal kesimlerde, yaya aktivitesinin düşük olduğu alanlarda yer alan dönel kavşaklarda çıkış yarıçapı büyütülerek taşıtların kavşağı daha hızlı terk etmeleri sağlanabilir. Bugün için kırsal olan kesimlerin yakın gelecekte şehirleşebileceği yerlerde çıkış eğrisinin düz bir güzergah olmaması gerekir [4].

İki şeritli kavşaklardaki çıkış kurbu tasarımı iki şeritli dönel kavşaklar başlığı altında anlatılacaktır.

6.3.7. Yaya geçitleri

Dönel kavşaklardaki yaya geçitlerinin tasarımında yayaların rahatça kullanabilmeleri, yaya güvenliği ve dönel kavşak operasyonları arasında denge sağlanmalıdır [4];

- Yaya kullanımı : Yayalar, yaya geçitlerinin mümkün olduğunca kavşağa yakın olmasını isterler. Çünkü böyle olmayınca yayalar kavşağı geçerken daha tehlikeli yollara başvurabilirler,
- Yaya güvenliği : Hem yaya geçidinin hem yeri hem de uzunluğu önemlidir. Yaya geçidi boyu mümkün olduğunca kısa tutulmalı, yolver çizgisine ne çok yakın ne de çok uzak olmalı, ayırıcı adayı kesmelidir.
- Dönel kavşak operasyonları : Dönel kavşak operasyonları özellikle çıkışlarda yaya geçitlerinden olumsuz olarak etkilenir. Ancak yaya geçidinin sirkülasyon yolu dış kenarından en az bir taşıt boyu kadar dışarıda yer almasının uygun olabileceği düşünülmektedir.

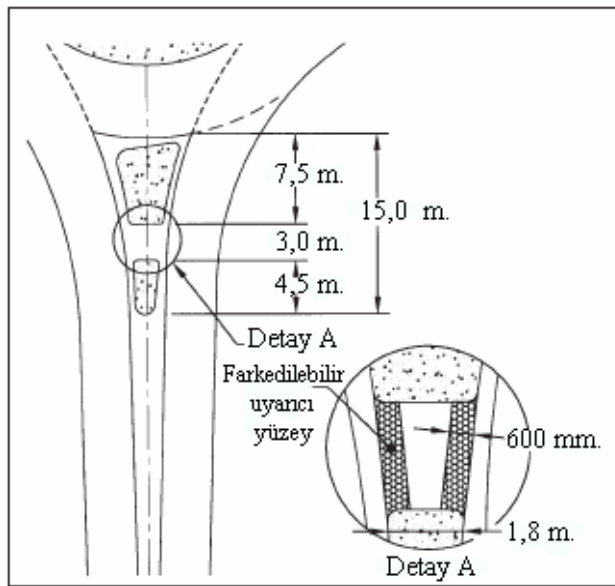
Yukarıda bahsedilen hususlara dikkat etmek koşuluyla yaya geçitleri aşağıdaki şartları sağlamalıdır [4];

- Yaya geçidi genişliği en az 1,8 m. genişliğinde olmalıdır,
- Tek şeritli dönel kavşaklarda yaya geçidi, yolver çizgisinden en az bir taşıt mesafesi (7,5 m.) uzakta olmalıdır. İki şeritli dönel kavşaklarda ise yaya geçidi, yolver çizgisinden 1, 2 veya 3 taşıt (7,5 m., 15 m. ve 22,5 m.) uzakta olmalıdır,
- Yaya geçidi, yol seviyesinde olmalıdır,
- Her yaya geçidinin sonunda rampalar yapılmalı ve bunlar birbirine bağlanmalıdır.

6.3.8. Ayırıcı adalar

Tüm dönel kavşaklarda ayırıcı adalar bulunmalıdır. Ancak merkez adanın görülmesini engelleyecek şekilde, özellikle küçük çaplı kavşaklarda ayırıcı ada konulmaz. Ayırıcı adalar, yayalara, bisikletlilere ve tekerlekli sandalye kullananlara kullanım kolaylığı sağlamakta, hızları kontrol altına almakta, trafiği dönel kavşak içine yönlendirmekte, giren ve çıkan trafiği fiziksel olarak ayırmakta, yanlış yol girişleri engellemektedir. Ayrıca işaret direkleri de buraya konabilmektedir [4].

Ayırıcı ada uzunluğu 15,0 m.'den kısa olmamalı, ayrıca çıkış kurbunun sonuna kadar uzanıp; çıkış yapan trafikle yaklaşan trafiğin karşılaşması engellenmelidir. Şekil 6.14'te tek şeritli bir dönel kavşaktaki ayırıcı ada tasarımı için minimum boyutlar yaya geçidi tasarımı ile beraber gösterilmektedir [4].

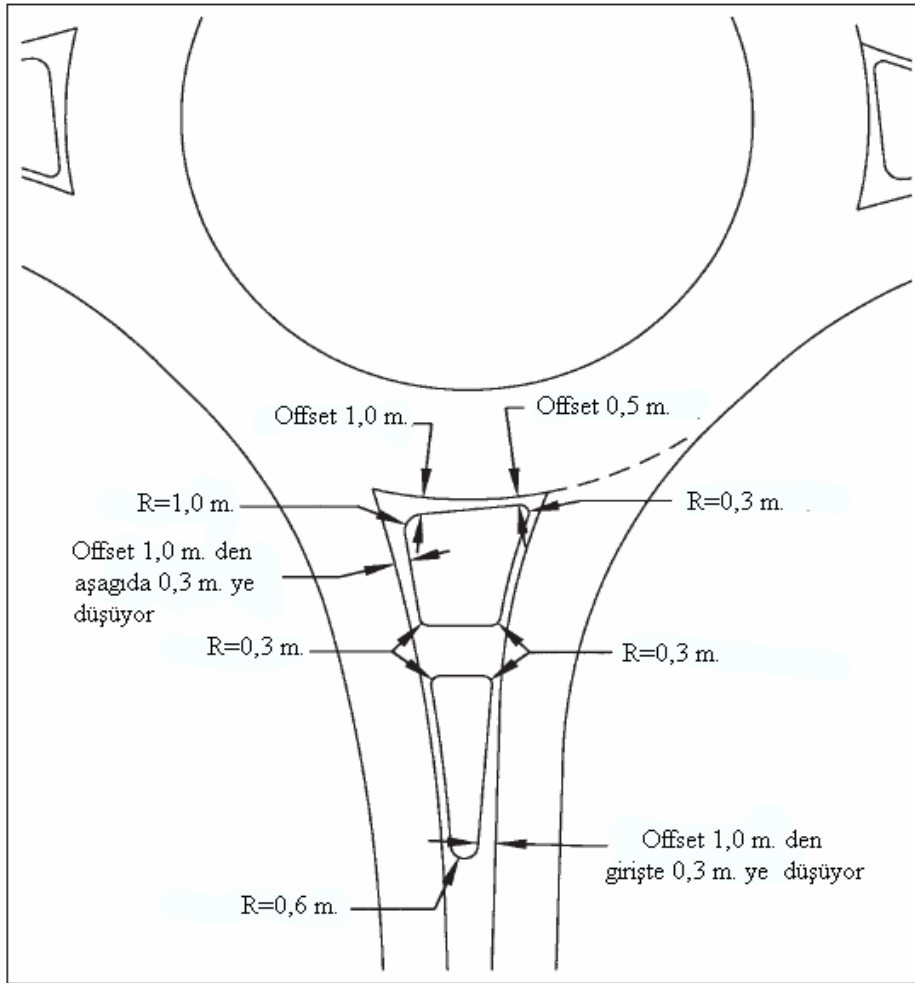


Şekil 6.14. Minimum ayırıcı ada boyutları [4]

Şekil 6.14'te minimum boyutlar verilmesine rağmen, büyük ayırıcı adalar yapmak daha kullanışlıdır. Ayırıcı ada genişliğini artırmak yaklaşan ve çıkan trafiğin daha iyi ayrılmasını sağlar, yaklaşan sürücülerin çıkan ve yaklaşan akımları fark etmesini kolaylaştırır. Böylece, daha büyük ayırıcı adalar giren motorlu taşıt sürücülerinin kafalarının karışmasını engeller. Yapılan bir araştırmaya göre ayırıcı ada genişliğini

artırmak, giren ve sirkülasyon yapan taşıtlar arasındaki kaza oranını azaltmaktadır. Ancak ayırıcı ada genişliğini artırmak iç çember çapını artırmayı gerektirdiğinden güvenlik yönünden sağladığı faydalar ekonomik sebeplerle gözden çıkarılabilir [4].

Şekil 6.15'te AASHTO kurallarına göre tasarlanmış örnek bir ayırıcı ada tasarımı görülmektedir.



Şekil 6.15. Örnek ayırıcı ada tasarım [4]

6.3.9. Duruş - görüş mesafesi

Duruş - görüş mesafesi bir dönel kavşak içindeki her noktada, her giriş ve çıkışta sağlanmalıdır. Duruş - görüş mesafesi aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir [4];

$$d = 0,278.t.V + 0,039 \frac{V^2}{a} \quad (6.2)$$

Eşitlikde;

d = duruş - görüş mesafesi, m

t = intikal süresi, 2,5 sn

V = ilk hız, km/saat ve

a = negatif ivme, 3,4 m/s²

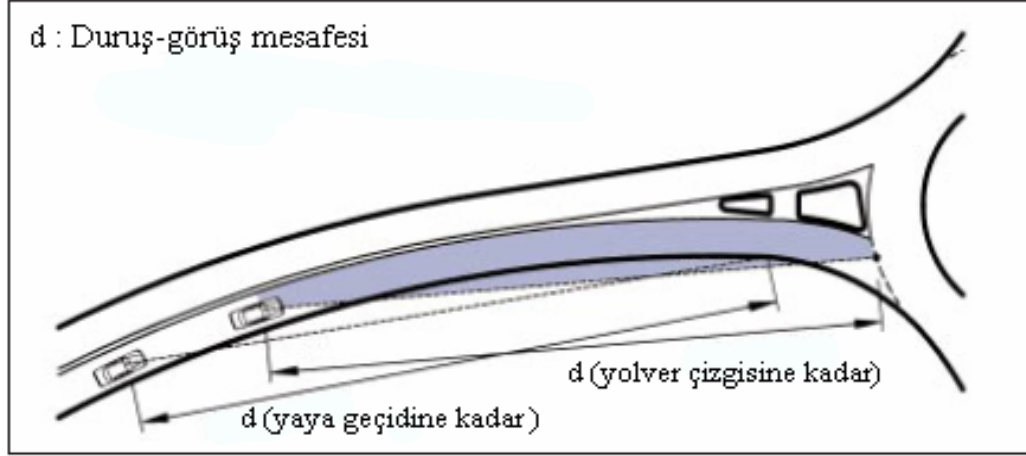
Çizelge 6.7. Duruş-görüş mesafesi için tasarım değerleri

Hız(km/saat)	Hesaplanan Mesafe(m)
10	8,1
20	18,5
30	31,2
40	46,2
50	63,4
60	83,0
70	104,9
80	129,0
90	155,5
100	184,2

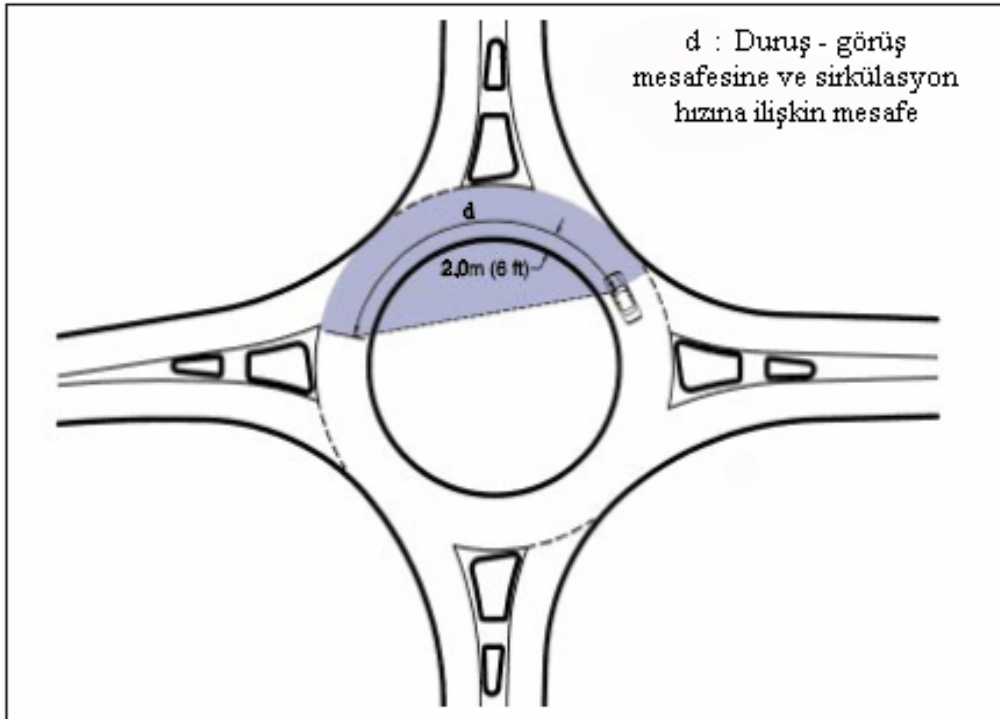
Sürücü göz yüksekliği 1080 mm., obje yüksekliği 600 mm. olarak kabul edilmektedir.

Dönel kavşaklarda, en azından aşağıdaki üç görüş mesafesi dikkate alınmalıdır [4];

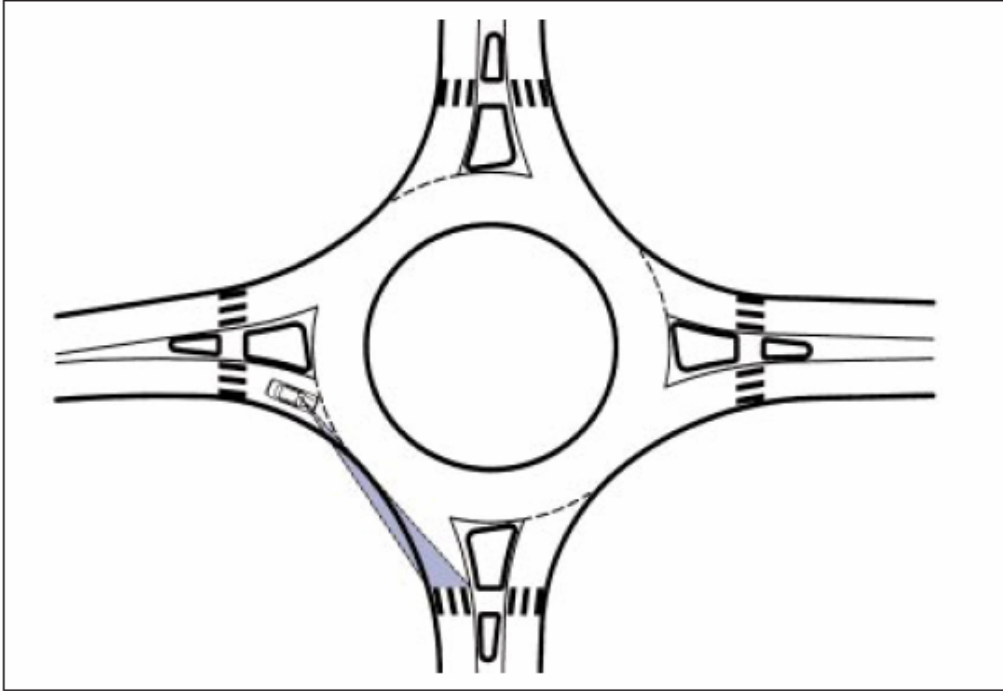
- Yaklaşım görüş mesafesi,
- Sirkülasyon yolundaki görüş mesafesi ve
- Çıkıştaki yaya geçidindeki görüş mesafesi.



Şekil 6.16. Yaklaşım görüş mesafesi [4]



Şekil 6.17. Sirkülasyon yolundaki görüş mesafesi [4]

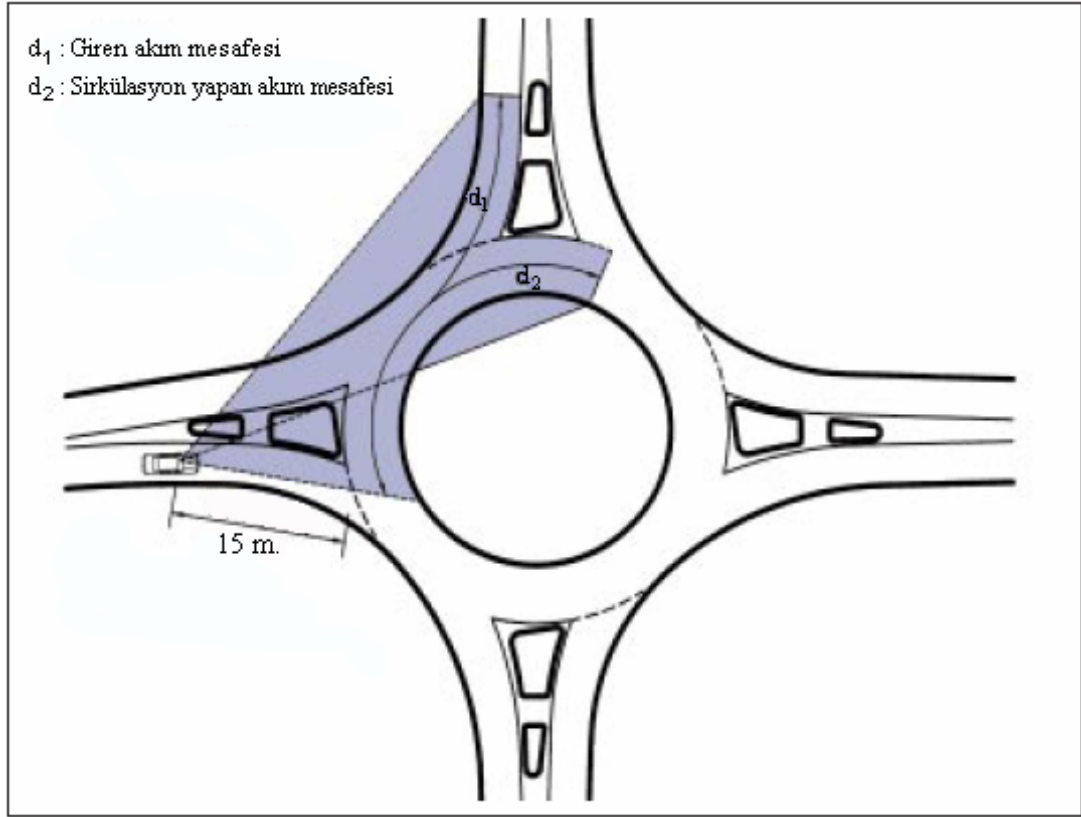


Şekil 6.18. Çıkıştaki yaya geçidine olan mesafe [4]

6.3.10. Kavşak görüş mesafesi

Kavşak görüş mesafesi, yol hakkı olmayan sürücülerin karşıt trafiği fark etmeleri ve reaksiyon göstermeleri için gerekli olan mesafedir. Kavşak görüş mesafesi sürücülerin potansiyel tehlikeleri kolayca algılamaları ve güvenli şekilde reaksiyon göstermeleri için uygun görüş hatları oluşturmaktır. Dönel kavşaklarda kavşak görüş mesafesinin değerlendirilmesi gereken yerler sadece kavşak girişleridir.

Kavşak görüş mesafesi geleneksel olarak bir görüş üçgeninin belirlenmesi ile ölçülür. Şekil 6.19’da görüş üçgeni şematik olarak gösterilmektedir [4].



Şekil 6.19. Kavşak görüş mesafesi [4]

Görüş üçgeni için yaklaşım kolu uzunluğu

Görüş üçgeninin yaklaşım kolu uzunluğu 15 m ile sınırlı olmalıdır. Yapılan araştırmalara göre görüş mesafesinin fazla olması daha fazla kazalara sebep olmaktadır. Görüş üçgeninin yaklaşım kolu uzunluğu 15 m'den uzun ise, peyzaj çalışması ile görüş mesafesini geçerli minimum değere indirmek gerekir [4].

Görüş üçgeninin kesişen trafik kolundaki uzunluğu

Dönel kavşağa yaklaşan bir taşıt diğer yönlerden gelen akımla sirkülasyon yolunda karşılaşır. Görüş üçgeninin kesişen diğer akımlar için kol uzunluğu girişe 15 m. mesafedeki araç için aşağıdaki eşitlikle hesaplanır [4]:

$$d_{1,2} = 0,278 \cdot V \cdot t_c \quad (6.3)$$

Eşitlikte;

- $d_{1,2}$ = görüş üçgeninin kesişen diğer akımlar için kol uzunluğu, m
- V = diğer akımların tasarım hızı, km/saat
- t_c = kavşağa giriş için kritik boşluk, sn, (6,5 sn.)

Her girişte iki kesişen trafik akımı kontrol edilmelidir [4];

- Giren akım: Konu edilen girişten bir önceki girişten kavşağa dahil olan taşıtlardan meydana gelir. Bu hareketin hızı giriş hızı ve sirkülasyon hızlarının ortalamasıdır.
- Sirkülasyon yapan akım: Konu edilen girişten bir önceki girişten önce kavşağa giren taşıtlardan oluşmaktadır. Bu hız, sola dönen taşıtların hızından elde edilir.

Yukarıdaki denklemde verilen 6,5 sn.'lik kritik boşluk zamanı kavşak görüş mesafesi için en kritik taşıt olan binek taşıtlar için verilmektedir.

Çizelge 6.8. Kavşak görüş üçgeni için karşıt kol uzunlukları [4]

Kesişen akım hızı (km/saat)	Hesaplanan d_1 ve d_2 mesafeleri (m)
20	36,1
25	45,2
30	54,2
35	63,2
40	72,3

Genel olarak, her yaklaşımda gerekli olan minimum görüş mesafesinden fazlası sağlanmamalıdır. Gerekenden fazla görüş mesafesi yüksek hızlara ve kaza oranlarına sebep olmakta, trafik güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. Peyzaj yaparak görüş mesafesi gerekli olan minimum seviyesine çekilmelidir [4].

6.3.11. Düşey güzergah tasarımı

Dönel kavşaklar için düşey güzergah tasarımı profil, dever, yaklaşım eğimleri ve drenajı içermektedir.

Profiller

Dönel kavşakların düşey tasarımı, yaklaşım yolu ve merkez ada profilinin geliştirilmesiyle başlar. Her bir profilin geliştirilmesi yaklaşım yolu profillerinin merkez ada etrafında yumuşak bir şekilde yer almasını içeren iteratif bir işlemdir.

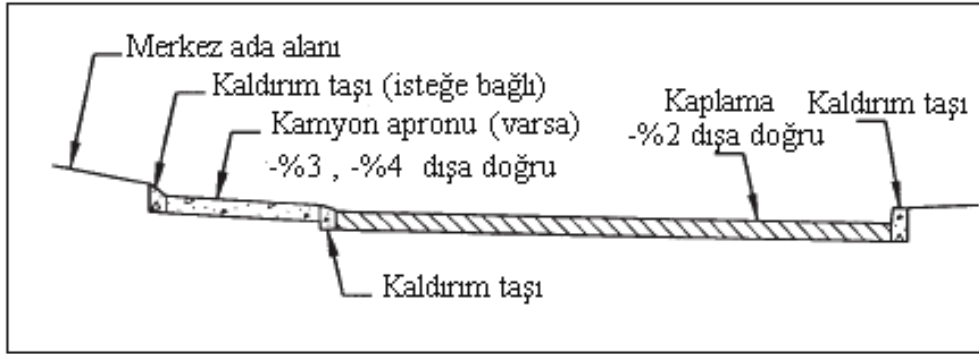
Genellikle her yaklaşım profili yaklaşım merkez çizgisinin merkez adayla kesiştiği noktada tasarlanmalıdır. Daha sonra bu dört noktadan da geçen bir merkez ada profili geliştirilir. Yaklaşım yolu profilleri daha sonra yeniden ayarlanarak merkez ada profiline uydurulur [4].

Dever

Genel bir yaklaşım olarak sirkülasyon yolu için, merkez ada'dan -%2'lik bir eğim kullanılabilir. Devere dışa doğru negatif eğim vermek dört ana sebepten dolayı tavsiye edilmektedir [4];

- Merkez ada yükseltilerek, görülmesi kolaylaştırılır ve güvenlik artar,
- Düşük sirkülasyon hızları sağlar,
- Giriş ve çıkışa ait düşey güzergahlardaki kırıklıkları azaltır,
- Yüzeysel suların drenajını sağlar.

Bu şekilde dever uygulanması düz giden ve sola dönen taşıtların kavşağa negatif deverde dahil olmaları anlamına gelmektedir. Çok fazla negatif dever taşıtların kendi kendilerine kaza yapmalarına, kamyonların yüklerini düşürmelerine sebep olmaktadır [4].



Şekil 6.20. Kamyon apronu tipik kesit [4]

Eğimlerde dönel kavşakların yerleştirilmesi

Arazi eğimlerinin yüzde 4'ü geçtiği yerlerde dönel kavşak yapılması tavsiye edilmemektedir. Kavşak boyunca sabit eğimin sağlanması gerekli olan yerlerde, sirkülasyon yolu sabit eğimli bir düzlemde yer almalıdır. Yani, kavşağın yüksek tarafında eğim + % 3 iken alçak tarafında -%3 olabilir [4].

Drenaj

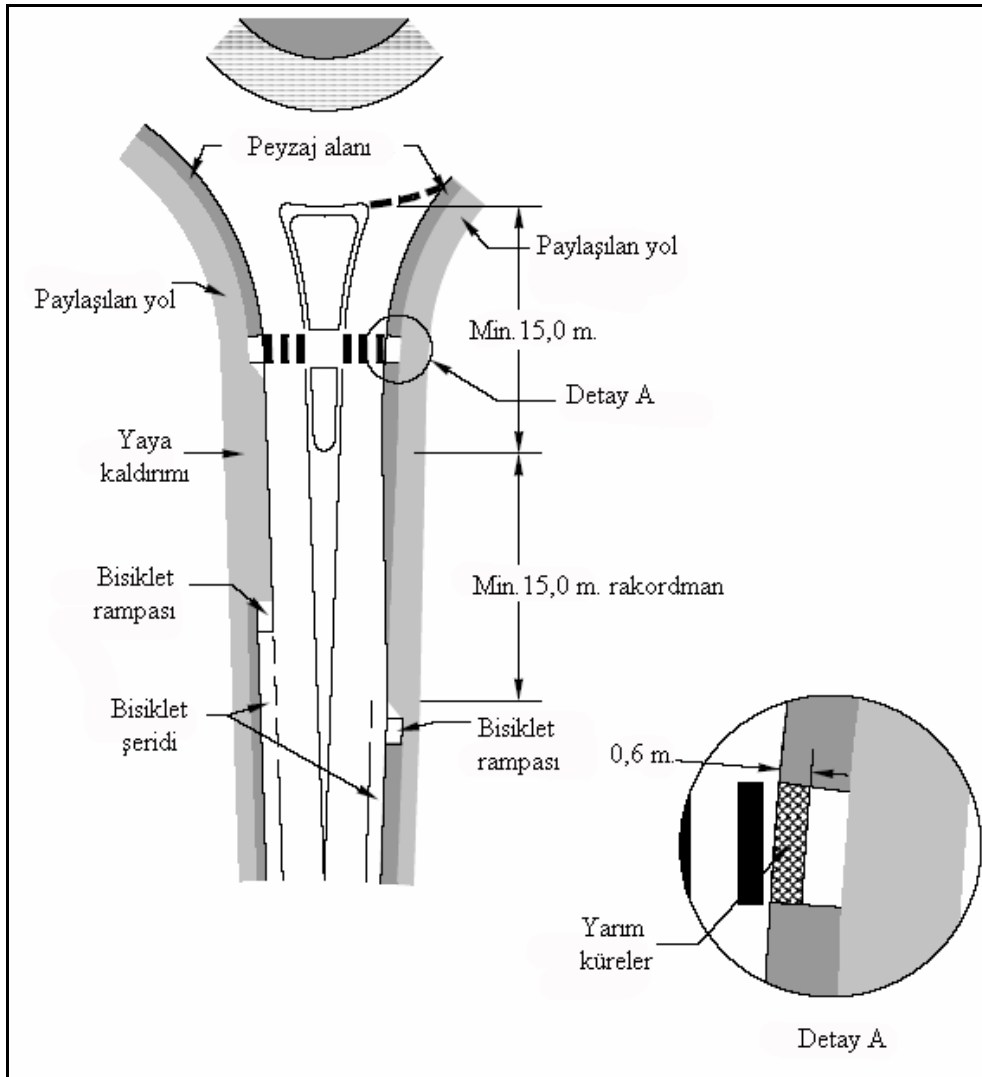
Yüzeysel sular deverdeki negatif eğim nedeniyle merkez adadan dışa doğru uzaklaşacaklardır bu nedenle drenaj boruları dönel kavşakların dış kurbuna yerleştirilmelidir. Kavşak deversiz inşa edilmişse, merkez ada boyunca da drenaj borusu gerekebilir. Suların toplanabileceği düşük kotlu noktalar ve drenaj boruları yaya yollarının altında yer almamalıdır. Eğer merkez ada yeterince büyükse, drenaj boruları merkez adaya da yerleştirilebilir [4].

6.3.12. Bisiklet yolları

Tasarımcı bisikletlilere kavşağı bir yaya gibi ya da bir taşıt gibi kullanma serbestliği tanımalıdır. Genel olarak bisikletlilere taşıt olarak hizmet vermek daha iyi sonuçlar verir [4].

Bisikletlilere taşıt olarak hizmet verilecekse yol kenarındaki bisiklet şeritleri dönel kavşağa gelmeden sonlandırılmalı ve bisikletlilerin trafik ile karışması sağlanmalıdır. Genellikle yolver çizgisinin 30 m. gerisinde bisiklet şeritleri iptal edilir. Bisikletliler akan trafikle hemen hemen aynı hızlarda seyir halinde oldukları için bu tip önlemler özellikle hızların 30 km/saat'ten düşük olduğu küçük dönel kavşaklarda daha iyi sonuç verir [4].

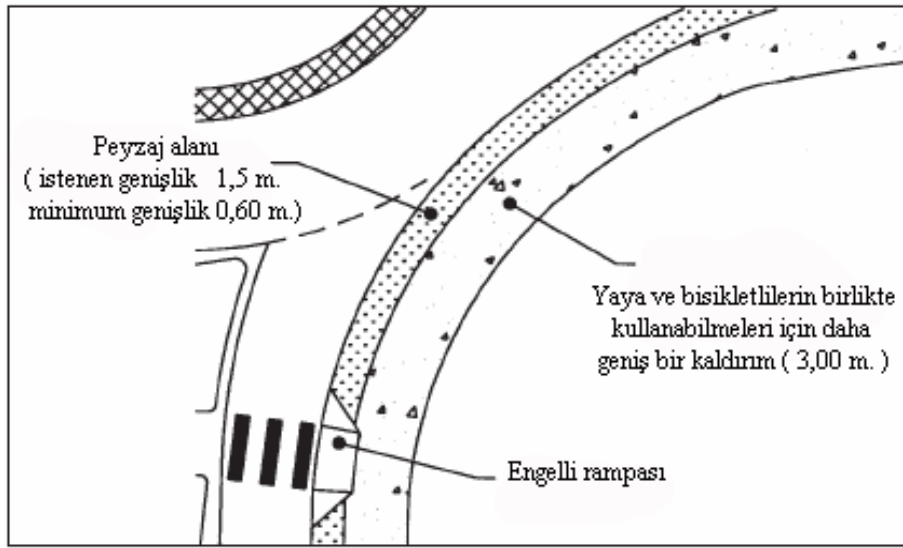
Sirkülasyon yolunu kullanmak istemeyen bisikletliler için, sirkülasyon yolundan fiziksel bir engelle ayrılmış, genişletilmiş bir kaldırım yada bisiklet/yaya ortak kullanımlı bir yol tasarlanabilir. Şekil 6.21'de tipik bir tasarım yer almaktadır.



Şekil 6.21. Yaya yolunun bisikletlilerle ortak kullanımı [5]

6.3.13. Kaldırımlar

Kaldırımlar sirkülasyon yolu kenarından mümkün olduğunca uzak olarak konuşlandırılmalı, görme engelliler için yarıcı tedbirler alınmalıdır. Sirkülasyon yolu ile yaya yolu arasında tercihen 1.5 m. mesafe olmalı ve bu alan bitkilendirilmelidir. Şekil 6.22’de örnek bir plan yer almaktadır [4].



Şekil 6.22. Kaldırım düzenlemesi [4]

6.3.14. Park yerleri ve otobüs durakları

Sirkülasyon yolu içinde durmak yasaktır. Giriş ve çıkışlardaki park alanları da mümkün olduğunca uzakta yer almalıdır. Otobüs durakları için de benzer tavsiyeler geçerlidir [4].

6.3.15. Sağa dönüş bypass şeritleri

Genel olarak sağa dönüş bypass şeritleri, özellikle bisiklet ve yaya aktivitesinin olduğu şehir merkezlerinde, kullanılmamalıdır. Bypass şeritlerinin giriş ve çıkışları bisikletlilerle çarpışmaları artırabilir. Bypass şeritlerinde olması muhtemel yüksek

hızlar yayalarla kaza yapma olasılığını artırmaktadır. Ancak kapasite yönünden bypass şeritlerinin kullanımı gerekli olabilir [4].

Sağa dönüş bypass şeritleri, sağa dönen trafiğin dönel kavşağa uğramadan geçmesini sağlayarak düz giden ve sola dönen taşıtlar için yeterli bir kapasite sağlayabilir. Fazlaca sağa dönüş trafiğinin olduğu ve kapasitenin yetersiz olduğu durumlarda çok faydalıdır. Bazı durumlarda bypass şeritleri ek bir giriş şeridinin kullanılmasına gerek bırakmayabilir. Bypass şeridine ihtiyaç olup olmadığının belirlenmesi için kavşağın işletim analizindeki gecikme ve kapasite hesapları kullanılmalıdır. Bazı kavşaklarda kamyonların sağa dönmesi güç ise sağa dönüş bypass şeritleri kullanılabilir [4].



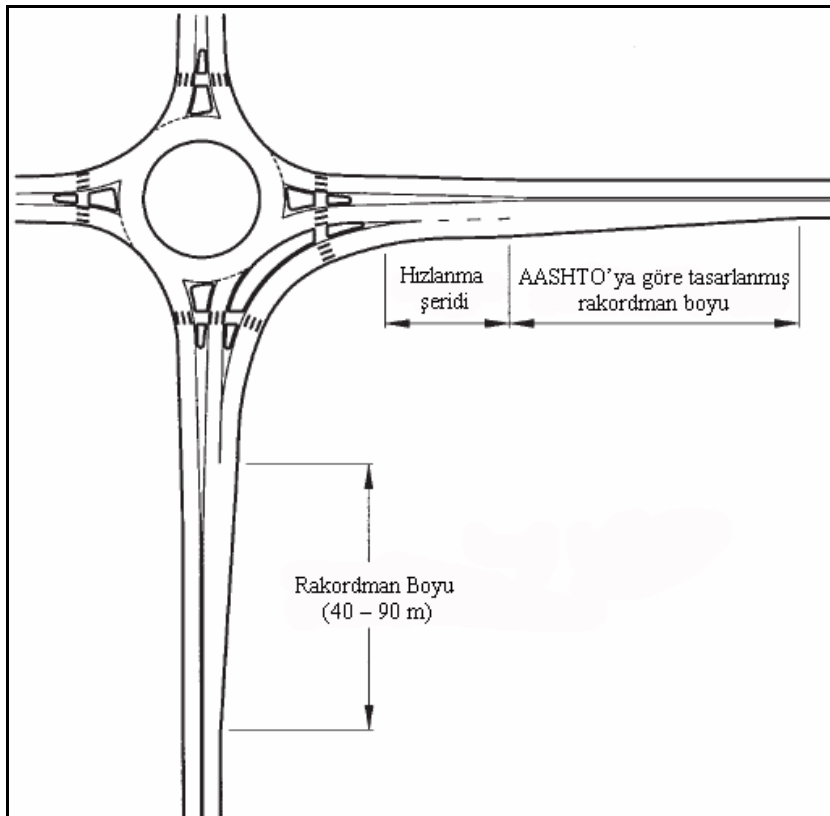
Resim 6.2. Sağa dönüş bypass şeridi uygulaması [4]

Sağa dönüş bypass şeritleri için, iki tasarım seçeneği vardır. İlk seçenek, Şekil 6.23'deki gibi bypass şeridini komşu çıkış yoluna paralel olarak taşımak ve daha sonra ana çıkış şeridine birleştirmektir. Bu opsiyonda bypass şeridi ana yolun kenarında makul bir mesafe taşınarak bypass şeridindeki taşıtların ana çıkış şeridindeki hızlara yaklaşması sağlanır. Daha sonra AASHTO standartlarına göre ana yolla birleştirilir. Sağa dönüş bypass şeridi için ikinci bir seçenek de komşu çıkış

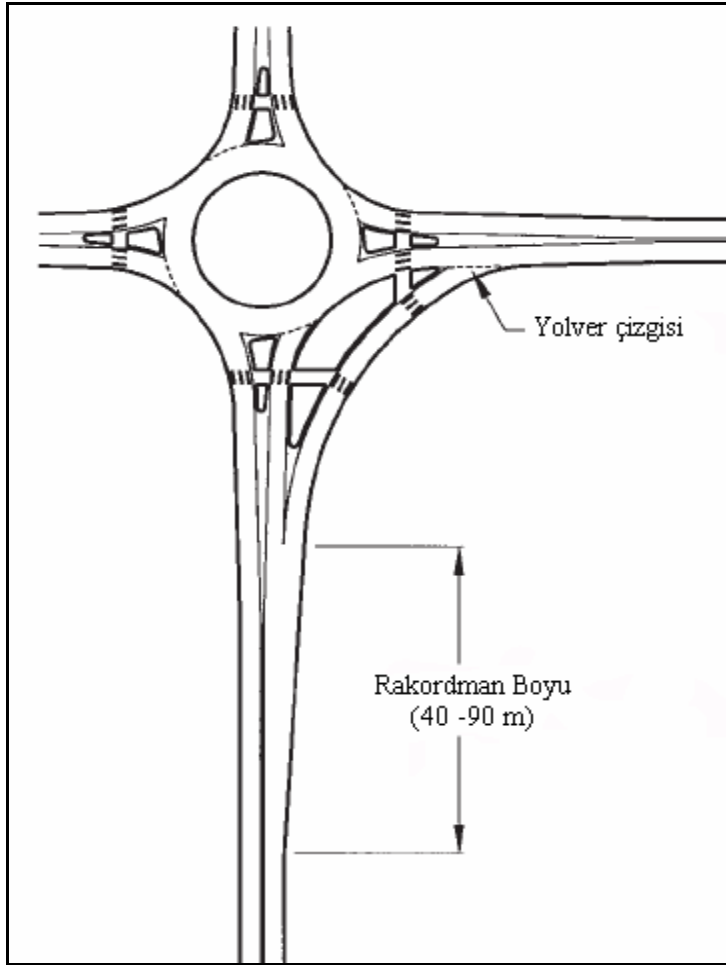
yoluna yol-ver kontrollü bir giriş sağlamaktır. İlk seçenek ikincisine göre daha iyi bir performans sağlar ancak ikinci seçeneğinde yapım maliyeti düşüktür [4].

Bir bypass şeridinde yol ver kontrolü koymak bisikletliler ve yayalar için daha güvenlidir ve şehir içinde yaya ve bisikletlilerin sıkça kullandığı kavşaklarda tavsiye edilmektedir. Bisikletliler için hızlanma şeritleri problem yaratabilir çünkü hızlanmakta olan motorlu taşıtların sol tarafında kalırlar. Buna ek olarak bypass şeridinin sonuna konulan yol ver kontrolü trafiği yavaşlatırken, hızlanma şeridi doğal olarak hızları artırmaktadır [4].

Sağa dönüş bypass şeridinin yarıçapı, dönel kavşakta sağlanmış olan en hızlı giriş güzergahı yarıçapından önemli ölçüde büyük olmamalıdır. Böyle olunca bypass şeridinde ve kavşak genelinde benzer hızlar elde edilir ve birleşme noktasında problem yaşanmaz. Ayrıca küçük yarıçaplar yayaların güvenliği için de olumlu sonuçlar verir [4].



Şekil 6.23. Hızlanma şeridi ile sağlanmış, sağa dönüş bypass şeridi [4]



Şekil 6.24. Yolver kontrollü sağa dönüş bypass şeridi [4]

6.4. İki Şeritli Dönel Kavşaklar

Tek şeritli dönel kavşaklarda olduğu gibi iki şeritli dönel kavşaklarda da yukarıda tanımlanan temel ilkeler uygulanırken, iki şeritli dönel kavşakların geometrisinin projelendirilmesi daha karmaşıktır. Çünkü kavşağa birden fazla trafik akımı girmekte, dağılmakta ve yan yana çıkmaktadır. Bu nedenle komşu trafik akımlarının kavşakta birbirlerini nasıl etkiledikleri konusu üzerinde durulmalıdır. Kavşak giriş şeridindeki taşıtların yer için birbirleriyle mücadelelerine izin vermeksizin dönel kavşağın geometrisinin yer paylaşımını düzenlemesi sağlanmalıdır. Kavşak geometrisi geçiş hakkı sorununu çözümleyemiyorsa, işletme ve güvenlik açısından sorunların çıkması kaçınılmazdır [4].

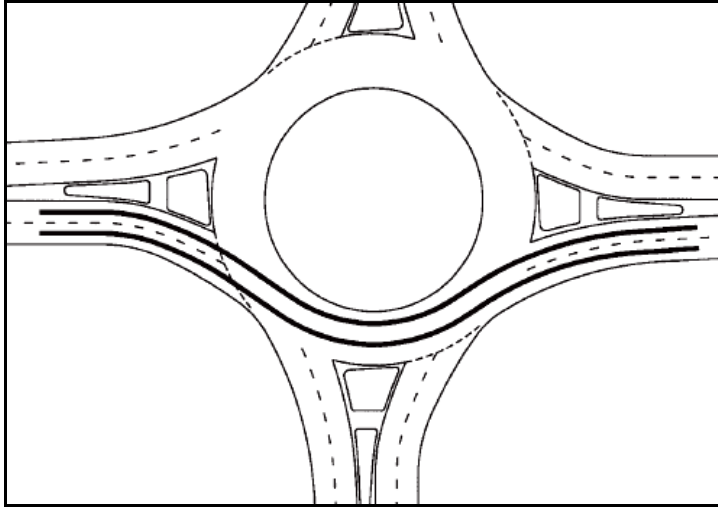
6.4.1. Doğal taşıt yolu

Dönel kavşak boyunca en hızlı güzergah çizilerek geometrinin en güvenli tasarım hızını sağlanması gerekir. Bu belirleme yapılırken kavşağın boş olduğu ve aracın komşu şeritleri ihlal ettiği kabul edilir ve tüm şerit işaretlemeleri gözardı edilir. En hızlı yol değerlendirmesine ilaveten, iki şeritli dönel kavşaklarda tasarımcılar doğal taşıt yollarını da değerlendirmelidirler. Doğal taşıt yolu, iki şeritli dönel kavşağa giren aracın normal güzergahı olup, kavşakta trafik olduğu kabul edilir [4].

Dönel kavşak içindeki komşu şeritlerde seyreden trafik akımları dönel kavşağa yaklaşırken, taşıtların yol ver çizgisine kadar kendi şeritlerinde kalmaları sağlanmalıdır. Yol ver çizgisindeki taşıtlar doğal yörüngeleri boyunca yollarına devam edecekler ve merkezi ada etrafında kavisle dönerek tekrar ters yönde bir kavisle çıkış yoluna gireceklerdir. Aracın yol ver çizgisindeki yönlenmesi ve hızı onun doğal yolunu belirlemiş olur. Eğer bir şeridin doğal olarak izleyeceği yol komşu şeridin doğal yolu ile çakışırsa, dönel kavşak yeterince güvenli olmaz ve işlemez [4].

Doğal yol oluşturulurken, sürücülerin taşıtlarının yönünü aniden değiştirmesinin mümkün olmadığı dikkate alınmalıdır. Ayrıca, hızda da ani değişiklikler olmaz. Doğal yolun kavisinde ani değişimlerin olmadığı gibi teğetler, kurplar ve ters kurplar arasında da yumuşak geçişler vardır. Ayrıca ardışık kurpların yarıçapları birbirine yakın olmalıdır. Eğer ikinci kurp yarıçapı, ilk kurp yarıçapından küçükse, sürücü ikinci kurpta kontrolünü kaybedebilir. Eğer bir kurpun yarıçapı önceki kurp yarıçapından önemli ölçüde küçükse projenin revizyonu gereklidir. Yolun tasarımında ardışık kurplar ve teğetler arasındaki geçişleri taşıtın gerçek hareketine uygun olmalıdır [4].

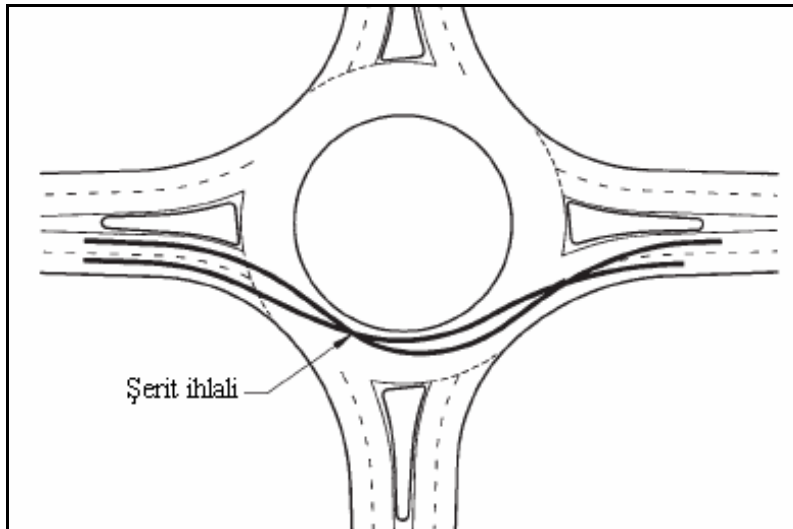
Şekil 6.30'da tipik bir iki şeritli dönel kavşak içinde bir taşıtın çizilmiş doğal yolu görülmektedir.



Şekil 6.25. İki şeritli dönel kavşakta çizilmiş doğal yol [4]

6.4.2. Şerit ihlali

Dönel kavşaktaki bir trafik akımının doğal yoluna diğer yolun çakışması sonucunda şerit ihlali (taşıt yollarının çakışması) ortaya çıkar. Değişik derecelerde gerçekleşir. Taşıtların bir veya daha fazla giriş şeridini kullanmaktan kaçınmalarından dolayı kapasite düşebilir, güvenlik sorunu yaşanır, yandan çarpmalar ve tek taşıtlı kazaların ortaya çıkma olasılığı artar. En yaygın şerit ihlali Şekil 6.26’da görüldüğü üzere kavşağa giriş sol şeridindeki aracın sağ şeritteki taşıt tarafından engellenmesidir [4].



Şekil 6.26. İkişeritli dönel kavşakta şerit ihlali [4]

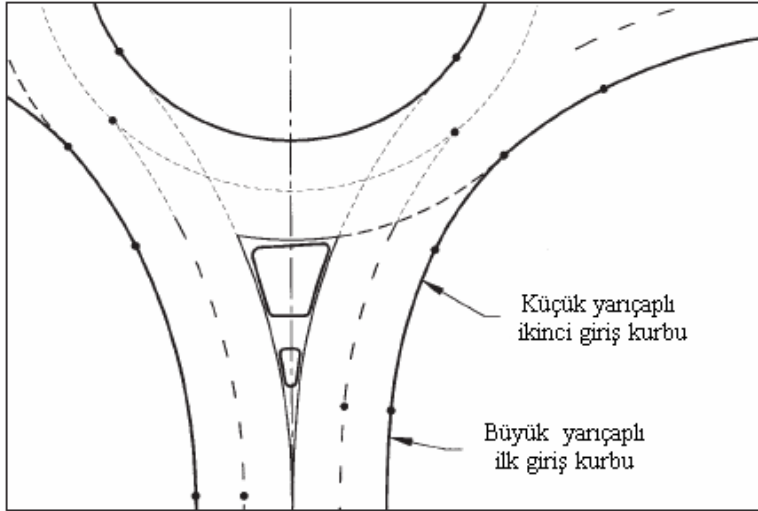
6.4.3. Şerit ihlalini önleyici tasarım metodu

Farklı geometrik parametrelerin birbirlerini olumsuz etkilemeleri nedeniyle taşıtların ihlalden kaçınarak dönel kavşakta makul hızlarla seyretmelerini sağlamak zordur. Küçük giriş yarıçapı düşük giriş hızına neden olur ancak bu durumda merkezi adaya girmekten kaçınan taşıtlar diğer şeridi ihlal eder ve girişte şerit ihlalleri olur. Küçük yarıçaplı çıkış trafiğin akış hızını düşürür, fakat kavşak çıkışında şerit ihlallerine neden olabilir [4].

Giriş kurpları

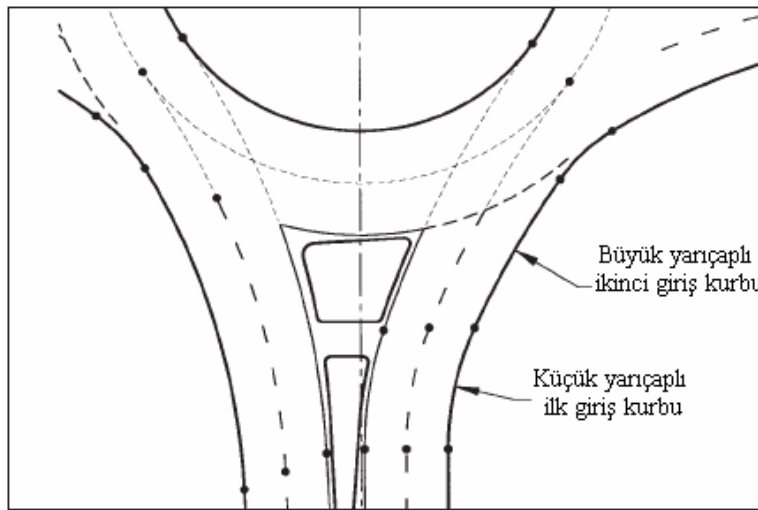
İki şeritli dönel kavşak girişlerinde, giriş hızlarının kontrolü ve şerit ihlallerinin azaltılması tasarım açısından çözülmesi gereken bir sorundur. Sorun kavşağın bulunduğu yere özgü koşullara bağlı olarak tek bir metoda bağımlı kalmaksızın değişik şekillerde çözümlenebilir [4].

Girişlerdeki şerit ihlallerini önlemede yöntemlerinden biri merkezi adaya teğet olan iç giriş kurbuna paralel bir dış giriş kurbu çizmek ve bu kurp üzerine girişte daha küçük çaplı kurplar eklemektir. Bu kurp çapları kentsel yollarda 30 m.'den 60 m.'ye, kırsal alanlarda ise 40 m.'den 80 m.'ye kadar değişir. Kurplar sürücünün kavşağı net görebileceği şekilde yaklaşık 30 m. uzunluğunda olmalıdır. Tasarımcı hızın yeterince düşük olmasını ve trafik akışıyla uygunluğu sağlayıcı kritik taşıt güzergahlarını kontrol etmelidir. Şekil 6.27'de bu metod görülmektedir [4].



Şekil 6.27. İki şeritli dönel kavşaklarda giriş tasarımıyla şerit ihlallerini önleme yöntemlerinden biri [4]

Giriş hızlarını azaltmak ve şerit ihlallerini önlemek için kullanılan diğer bir metot ise yol ver çizgisinden yaklaşık 10-15 metre geriye doğru küçük yarıçaplı (genellikle 15 m.den 30 m.ye kadar) kurplar kullanmaktır. Daha sonra bu küçük kurpların büyük yarıçaplı bir karp ile sirkülasyon yolunun kenarına bağlantısı yapılır. Böylece taşıtlar küçük yarıçaplı yaklaşım kurbuyla yavaşlamaya devam edeceklerdir ve yol ver çizgisine ulaşana kadar merkezi adaya teğet yola yönleneceklerdir. Şekil 6.28’de bu alternatif tasarım yöntemi görülmektedir.



Şekil 6.28. İki şeritli dönel kavşaklarda giriş tasarımıyla şerit ihlallerini önlemek için diğer metot [4]

Tek şeritli dönel kavşaklardaki gibi, iki şeritli dönel kavşaklarda da en önemli hedeflerden biri en hızlı güzergah boyunca giriş yolu yarıçapının sirkülasyon yolu yarıçapından önemli oranda daha geniş olmamasını sağlamaktır. Şekil 6.7' ye göre istenen R_1 değeri R_2 ' ye eşit veya daha küçük olmalıdır. Ancak iki şeritli dönel kavşaklarda R_1 değeri çok küçükse taşıt güzergahları çakışabilir, işletme performansı azalırken kaza oluşma riski artabilir. Tercih edilen R_1 değerleri 40-70 m. aralığında değişir ve bu 35-45 km/saat' lik bir proje hızı sağlar [4].

Eğer ilk planlama tercih edilen proje hızından daha yüksek bir giriş yolu yarıçapı ortaya koymuşsa, bunu azaltmanın bir yolu da ofseti artırarak sol yaklaşımı yavaş yavaş dışa doğru ötelemektir, ancak bu komşu çıkış hızlarını artırabilir [4].

Çıkış kurpları

Çıkıştaki güzergah örtüşmelerini engellemek için iki şeritli dönel bir kavşaktaki çıkış yarıçapı çok küçük olmamalıdır. Tek şeritli dönel kavşaklarda çıkış hızlarını ve yaya güvenliğini maksimum düzeyde sağlamak için daha küçük çıkış yarıçapları tercih edilebilir. Ancak, iki şeritli dönel kavşaklarda aynı durum her zaman doğru değildir. Eğer çıkış yarıçapı çok küçükse, sirkülasyon yolundan çıkışa yönelen akım, konforlu bir dönüş yarıçapı beklentisiyle kurbun dışına çıkabilir [4].

Kentsel alanlara ait iki şeritli dönel kavşaklarda yaya güvenliğini maksimize etmenin temel ilkesi taşıt hızlarını düşürerek girişte yol vermek ve araçlara sirkülasyon yolu üzerinde benzer hızlar sağlamaktır. Çıkış noktalarında, hızlanmak için yeterli mesafe olmadığı için trafik hala yavaş seyrediyor olacaktır. Eğer giriş ve sirkülasyon yolu yarıçapları (Şekil 6.7' de gösterildiği gibi R_1 ve R_2) 50 m. olursa, çıkış hızları genellikle çıkış yarıçaplarına bakılmaksızın 40 km/saat' in altında olacaktır [4].

Önemli oranda yaya aktivitelerinin olduğu yerlerde 40 km/saat' ten daha az çıkış hızları elde etmek için çoğunlukla çıkış yarıçaplarını daraltmak gerekebilir [4].

6.5. Kırsal Dönel Kavşaklar

Kırsal karayolları üzerindeki dönel kavşaklar çoğu kez özel proje gereksinimlerine sahiptir. Çünkü, yaklaşım hızları, kentsel veya yerel cadde hızlarından daha yüksektir ve genellikle sürücüler hız kesintileri ile karşılaşmayı beklemezler. Kırsal bir yerdeki öncelikle güvenliği sağlamak için sürücülere yeterli bir mesafe önceden dönel kavşağa yaklaştıklarını haber vermek ve hızlarını azaltmaları yönünde uyarabilmektir. Kırsal dönel kavşak yaklaşımlarında hız azalmasını sağlamak için ek tasarım kriterlerini vardır [4].

6.5.1. Görünürlük

Belki de kırsal kavşaklarda güvenliği etkileyen en önemli unsur kavşağın görünürlüğüdür. Dönel kavşaklar, genelde kavisli olmayan yollar boyunca, dur kontrollü veya sinyalize kavşaklardan farklı değildir. Bu sebeple, dönel kavşaklar birçok taşıtın çatışma şiddet ve sayısını azaltmasına rağmen tek taşıt çarpmalarını artırabilir. Bu olası sorun, kavşağın ve kollarının görünürlüğünü maksimize ederek çözülebilir [4].

Yaklaşım yollarına ait geometri mümkün olduğunca orta adanın ve kavşağın yapısının görünürlüğünü artıracak şekilde tespit edilmelidir. Yol eksenı boyunca yeterli görünürlüğün sağlanamadığı yerlerde yatay ve düşey trafik işaretleri ile diğer uyarı işaretleri kullanılmalıdır [4].

6.5.2. Kenar taşları

Trafiğe açık kırsal bir karayolunda, yolların enkesitindeki değişimler sürücülerin hız azaltması gerektiğini anlatmak için etkili bir yol olabilir. Genelde kırsal karayollarının dış banketleri kaplamalı değildir. Dar banketler ve kaplamanın kenar taşları genelde sürücülere kentsel bir alana girdiklerine dair bilgi verirken diğer taraftan yavaşlamaları gerektiğini hissettirir. Sonuç olarak, kırsal bir yolun hizmete

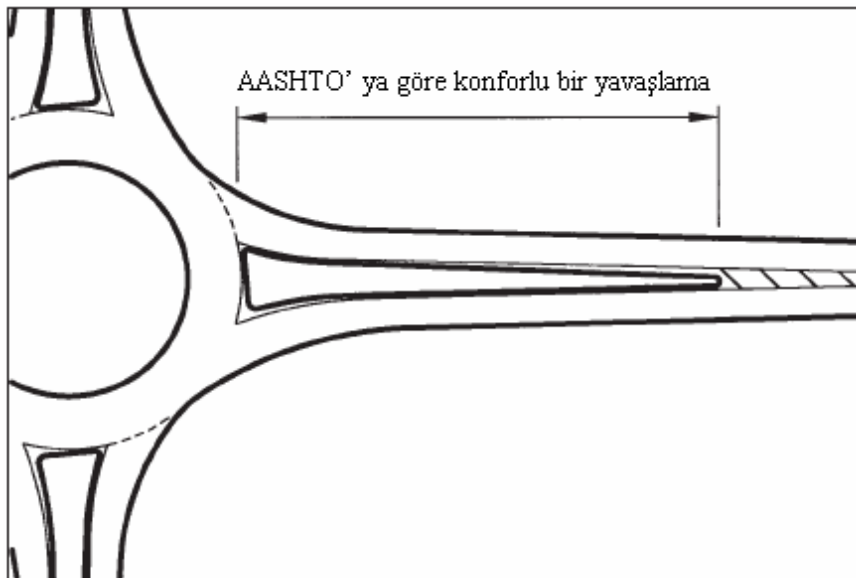
açılması ve bir dönel kavşağın yerleştirilmesi banket ve kaplama kenarlarına özen gösterilmesi gereğini ortaya koymaktadır [4].

Kenar taşları hareket edilecek alanı sınırlamalarından dolayı yaklaşımlarda düşük hızları sağlamaya yardımcı olurlar. Yaklaşımlardaki kenar taşları sürücülerin kavşağa yaklaştıklarını algılayabilecekleri bir uzunluğa sahip olmalıdır [4].

6.5.3. Ayırıcı adalar

Yaklaşım hızlarını düşürmek için diğer etkili bir çözüm de yaklaşımlarda daha uzun ayırıcı adalar kullanmaktır. Genelde ayırıcı adalar sürücülerin dur çizgisine kadar konfor düzeyini düşürmeden hız azaltmalarını temin eder. Minimum 60 m.lik bir uzunluk önerilir. Şekil 6.29’da tasarım için örnek bir ayırıcı ada diyagramı göstermektedir. Ayırıcı ada uzunluğu yaklaşım hızına göre değişim gösterir. Kırsal dönel kavşak yaklaşımlarının ideal ayırıcı ada uzunluğu için frenleme uzunluğunun dikkate alınması gerekir [4].

Başka bir hız azaltma tekniği ise ayırıcı ada boyunca çevre düzenlemesi yaparak tünel etkisi oluşturmaktır. Eğer bu tip bir teknik kullanılıyorsa çevre düzenlemesi uzunluğunu durma ve kavşak görüş mesafesine göre belirlenmelidir [4].



Şekil 6.29. Ayırıcı ada düzenlemesi [4]

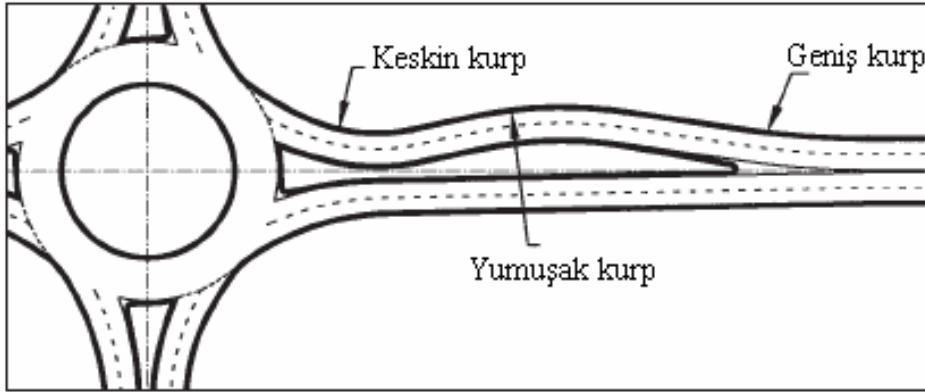
6.5.4. Yaklaşım kurpları

80 km/saat ve daha yüksek hızların olduğu yollardaki dönel kavşaklar da ekstra işaretlemelere rağmen, yaklaşımlardaki bazı sürücülerin kararsız davranışları nedeniyle tekil taşıt kazalarında bir artış olabilir. İyi bir kavşak tasarımı kavşağa gelmeden evvel hızda azaltma imkanı vermelidir. Yaklaşım hızları yüksek olduğunda, sirkülasyon platformuna girmeden evvel uygun hıza ulaştırıcı tedbirler alınmalıdır [4].

Dönel bir kavşaktaki kaza sıklığında, yaklaşım eğrisinin yarıçapının, doğrudan bir etkisi vardır. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki, genellikle bir yaklaşım kurbuna ait yarıçaptaki azalma, arkadan çarpma, giriş-sirkülasyon ve çıkış-sirkülasyon kazalarını azaltır. Diğer taraftan yaklaşım eğrisinin yarıçapındaki azalma, eğrideki tek taşıt kaza oranını ve yandan çarpma kazalarını artırır [4].

Hem tek taşıt kazalarını hem de dönel kavşakta kazaları azaltan hız azalmasını temin etmek için uygun yaklaşım eğrileri kullanılabilir. Uygun şekilde tasarlanmış dönel kavşak yaklaşım ters kurpları tek taşıt kaza oranlarını ve yaklaşımdaki yandan çarpma kazalarını azaltır. Dönel kavşak giriş eğrilerinden evvel hızların 60 km/saat ile sınırlandırılması önerilmektedir. Aksi taktirde yüksek hız sebebiyle arkadan çarpma ve giriş-sirkülasyon trafik kaza oranları artacaktır [4].

Hızları azaltmak için uygulanmış 3 adet eğri Şekil 6.30' da gösterilmektedir. Şekilde gösterildiği gibi, bu yaklaşım eğrilerinin yarıçapları hızı azaltmak için kavşağa yaklaştıkça küçülmektedir. Çalışmalara göre yaklaşım platformunda min. 7 m.'lik bir yanal deplasmanla elde edilen eğrilik amaç için yeterlidir. Eğer yanal deplasman çok küçükse sürücülerin yan şeridi kullanarak beklenen faydayı sağlamamaları mümkündür [4].



Şekil 6.30. Yüksek hızlı kavşak yaklaşımlarında ardışık eğrilerin kullanımı [4]

Eş. 6.4 ve Eş. 6.5 iki şartlı kırsal karayollarının işletme hızını tahmin etmek için eğrilik derecesinin bir fonksiyonu olarak kullanılabilir [4].

$$V_{85} = 103,66 - 1,95 D, D \geq 3^\circ \quad (6.4)$$

$$V_{85} = 97,9, D < 3^\circ \quad (6.5)$$

Burada;

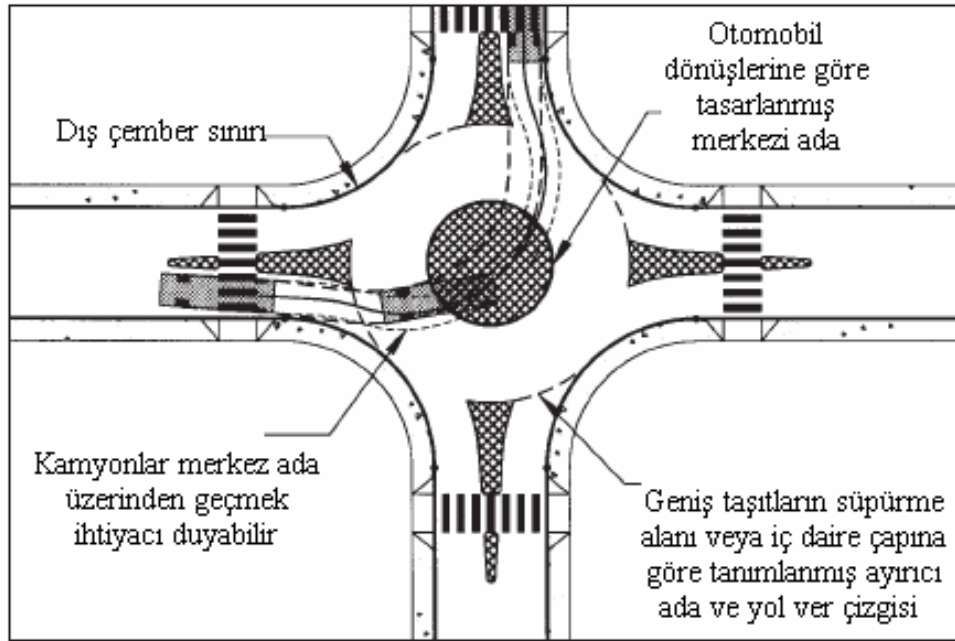
V_{85} = %85 lik hız (km/saat)

D = eğrilik derecesi, ($=1746.38 / R$)

R = eğrilik yarıçapı (m)

6.6. Mini Dönel Kavşaklar

Mini-dönel kavşak, bir kavşak alternatifi olup dur kontrollü veya sinyalize kavşak yerine güvenlik problemlerini çözmeye yardımcı olmak için zorlamalı çalışan kavşaklarda ve tali yaklaşımlarda aşırı gecikmelerin olduğu kavşaklarda kullanılabilir. Mini dönel kavşakların trafiği sakinleştirme özelliği yoksa da şekil olarak dönel kavşak formundadır. Şekil 6.31’de örnek bir mini dönel kavşak tasarımı bulunmaktadır [4].



Şekil 6.31. Mini dönel kavşak örneği [4]

Mini dönel kavşaklar 50 km/saat' ten daha düşük V_{85} hızına sahip olan yerlerde dikkate alınmalıdır. Mini dönel kavşaklar U dönüşlerinin beklendiği yerlerde kullanılmamalıdır. Yine kamyon ve treyler trafiğinin yoğun olduğu ve büyük taşıtların dönüş yaparak kavşağı uzun süre meşgul ettiği yerlerde mini dönel kavşaklar uygun değildir [4].

Bir mini dönel kavşağın merkezi ada tasarımı otomobillerde hız azalması sağlamak için öncelikli bir ihtiyaçtır. Giren taşıtlarda hız azalması ve sirkülasyon yapan taşıtlardaki hız tutarlılığı önemlidir. Bu sebeple, merkezi adanın yer ve ebatları bir otomobilin 25 km/saat' lik bir giriş hızını sağlaması için gereken süpürme alanı sınırlarına göre önerilir. Merkezi ada monte edilebilir ve genellikle 4 m. çapa sahiptir. Üzerlerinden kamyon ve otobüslerin geçebileceği şekilde inşa edilirler. Merkezi ada üzerinde asfalt, beton veya diğer kaplama malzemeleri ile her 1 m. çap için 25-30 mm., maksimum 125 mm. yüksekliğe sahip kubbeleme yapılıdır. Önemli olan husus merkezi adanın temiz ve net görünür nitelikte olmasıdır [4].

7. MODERN DÖNEL KAVŞAKLARIN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

7.1. Avantajları

- Kontrolsüz kavşaklarla karşılaştırıldıklarında çatışma noktalarının sayısı azdır,
- Yaklaşımlardaki uzun ayırıcı adalar ve diğer geometrik elemanlar sürücünün kavşağa girmeden önce hızını azaltmasını ve doğru yöne kanalize olmasını sağlar,
- Düşük trafik hızları hem araç-araca olan hem de araç-yaya arasında olan kazaların meydana gelme sıklığını ve şiddetini azaltır,
- Seyir halindeki trafik durmaktan ziyade yol vermekte, bu da daha küçük zaman aralıklarının kabulü ile sonuçlanmaktadır,
- Dönel kavşaklar, sinyalize kavşaklardaki zaman kaybının olmaması sebebiyle (kırmızı ve sarı ışıktaki), daha yüksek kapasite/şerit imkanı sunabilirler,
- Genel gecikme muhtemelen eşit hacimli sinyalize kavşaktakinden daha az olacaktır,
- Kazaların sayısının ve şiddetinin az olması sebebiyle kaza maliyetleri düşüktür,
- Genel olarak bakım ve işletme maliyetleri sinyalize kavşaklardan daha düşüktür,
- Düşük seyir hızları yayalar ve bisikletlilerin yaya-arac kazalarının sıklığını ve şiddetini azaltır,
- Yaklaşımlardaki yolların daraltılmış olması nedeniyle karşıya geçecek olan yayalar daha kısa kısa mesafede karşıya geçmekte ve geçerken bir yönü kontrol etmektedirler,
- Sürücüler yalnızca sağa dönerek giriş yapmaktadırlar,
- Kullanım ve algılanması kolay bir kavşak olduğu için acemi sürücüler için en güvenli kavşaktır,
- Kavşaktaki durma ve gecikme sürelerini azalttığı için araç emisyonları daha düşüktür dolayısıyla havayı daha az kirletirler,

7.2. Dezavantajları

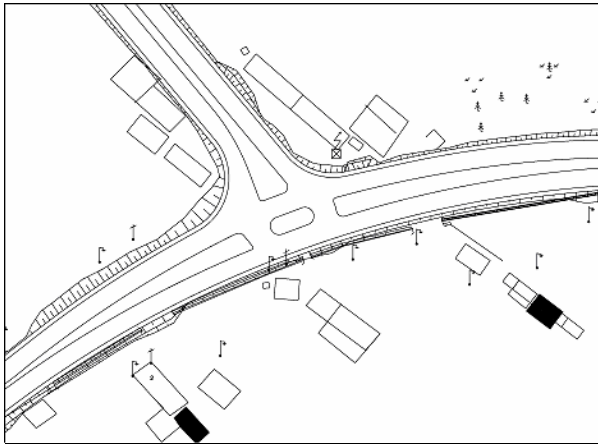
- Modern dönel kavşaklar Türkiye’deki sürücüler tarafından henüz bilinmediği için geçici bir süreyle sürücülerin kavşağın işleyişini öğrenme ve alışma sürecinde kazaların azalması yönündeki beklenen faydayı tam olarak sağlamayabilir,
- Kuyruk olduğu zamanlarda sürücülerin kavşağa girmek için uygun boşluk bulmaktaki sabırsızlıkları kazalara neden olabilir,
- Sirkülasyon yolu dış çapının büyük olması durumunda yeterli alanın elde edilmesi mümkün olmayabilir,
- Aydınlatmaya ihtiyaç duyduğu için aydınlatma maliyetleri yüksek bulunabilir,
- Kavşağa yaklaşımlarda düşey eğimin %4-5 ten küçük olması ve girişte yeterli duruş-görüş mesafesinin olması gerekir,
- Koordine edilen sinyalizasyonlu ağların kullanılması halinde, modern dönel kavşak ağın genel kapasitesini azaltabilir,
- Çok çarpık trafik dağılımı olması durumunda (bazı girişlerinde çok yüksek, diğer girişlerinde ise çok düşük trafik hacimleri olan kavşaklar) olduğu kavşaklarda daha uzun süreli gecikmeler verebilir,
- Bazı yerlerde, dönel kavşakların daha fazla aydınlatılmasına gerek vardır,
- Kavşağı çevreleyen uzun yaya güzergahları hem yayalar hem de bisikletliler için kat edilen mesafeyi artırır,
- Trafik ışığı güvenliği isteyen yayalar için trafiğin durduğu bir aşama söz konusu değildir,
- Yoldan geçmek için zaman aralıkları kollayan yayalar için dönel kavşaklar gecikmeyi artırır,
- Güvenlik açısından trafiğin durduğu bir faz yoktur.

8. TÜRKİYEDE MODERN DÖNEL KAVŞAK UYGULAMALARI

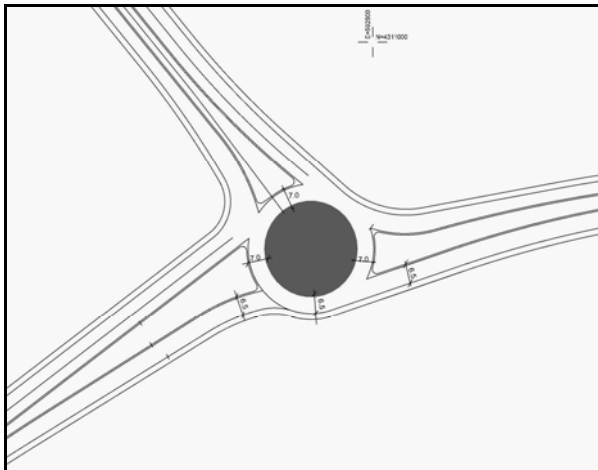
8.1. Karakoçan ve Başpınar Kavşakları

Ülkemizde daha önce uygulaması bulunmayan, ancak hem trafik güvenliğinin artırılması düşüncesi hem de denenerek sonuçlarının gözlenmesi amacıyla; 2005 yılı içerisinde Karakoçan ve Başpınar Kavşakları yeniden düzenlenerek modern dönel kavşağa dönüştürülmüştür.

Aşağıdaki şekillerde bu kavşakların inşa edilmeden önceki mevcut durumları ve modern dönel kavşağa dönüştürüldükten sonraki halleri görülmektedir.



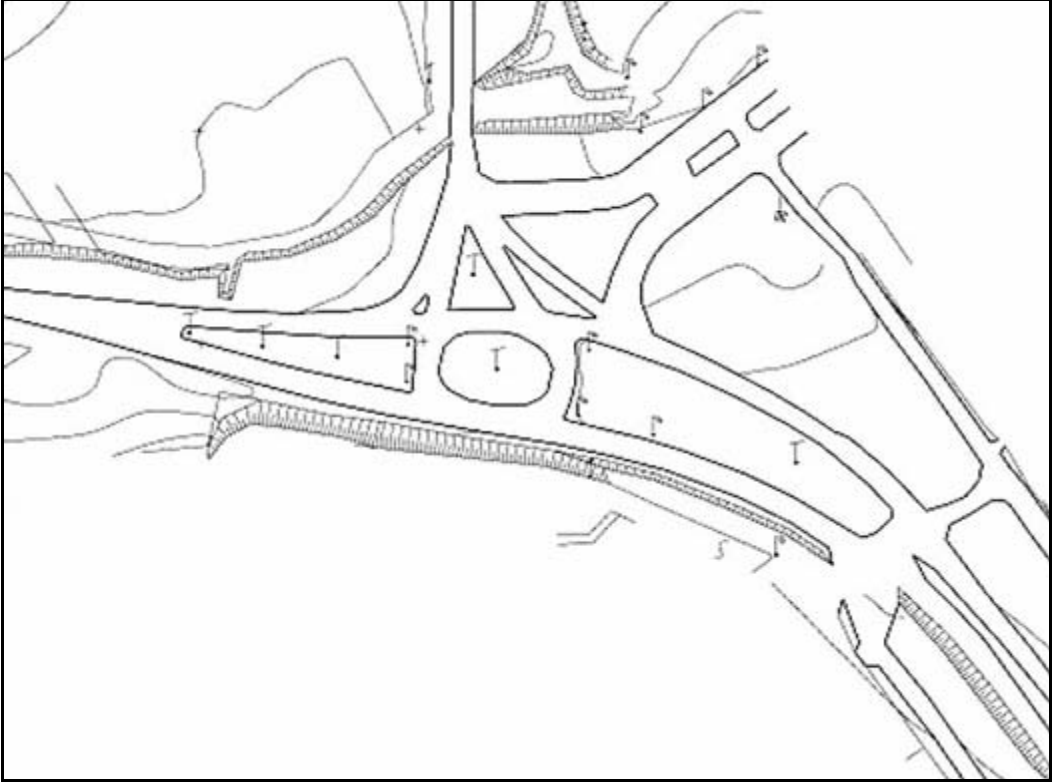
Şekil 8.1. Karakoçan kavşağının önceki hali



Şekil 8.2. Karakoçan kavşağının modern dönel kavşak olarak yeni tasarımı



Resim 8.1. Karakoçan kavağıının modern dönel kavşak olarak inşa edilmiş hali



Şekil 8.3.Bapınar kavağıının önceki hali

Karakoçan Kavşaaı 1 Aralık 2006, Başpınar Kavşaaı ise 1 Eylöl 2006 tarihinde yeni tasarımlarıyla hizmete açılmış olup; bu kavşaklarda eski tasarımlarıyla geçmiş yıllarda oluşan kazalar ile yeni tasarımlarıyla hizmete açılmasından sonra oluşan ve edilen kazalara ait Karayolları Genel Mődőrlőğőnden temin istatistiksel bilgiler izelge 8.1 ve izelge 8.2 ile gösterilmektedir

Çizelge 8.1. Karakoçan kavşaaı kaza istatistikleri

Yıllar	Kaza	Ölő	Yaralı	Maddi hasarlı araç sayısı	Kazaların oluş şekli
2006	0	0	0	0	1 Aralık 2005 te yeni tasarımı ile işletmeye açılmıştır
2005 1 Aralık - 30 Aralık	0	0	0	0	1 Aralık 2005 te yeni tasarımı ile işletmeye açılmıştır
2005 1 Ocak -30 Kasım	2	0	5	3	Yandan arpma :1 kaza Yoldan ıkma :1 kaza
2004	3	0	5	4	Yandan arpma :1 kaza Yoldan ıkma :2 kaza
2003	2	0	7	4	Karşılıklı arpışma :1 kaza Devrilme :1 kaza
2002	1	0	2	1	Hayvana arpma :1 kaza

Çizelge 8.2. Başpınar kavşağı kaza istatistikleri

Yıllar	Kaza	Ölü	Yaralı	Maddi hasarlı Araç sayısı	Kazaların oluş şekli
2006	0	0	0	1	1 Eylül 2005'te yeni tasarımı ile işletmeye açılmıştır
2005 1 Eylül-31 Aralık	0	0	0	0	1 Eylül 2005'te yeni tasarımı ile işletmeye açılmıştır
2005 1 Ocak:31 Ağustos	2	0	5	3	Yandan çarpma :1 kaza Yoldan çıkma :1 kaza
2004	4	1	26	7	Arkadan çarpma :1 kaza Yandan çarpma :2 kaza Yoldan çıkma :1 kaza
2003	3	0	11	5	Yoldan çıkma :1 kaza Yandan çarpma :2 kaza
2002	5	0	9	6	Karşılıklı çarpışma :1 kaza Yoldan çıkma :2 kaza Devrilme :2 kaza

Kaza verilerinin karşılaştırıldığı çizelgelerdeki sonuçlar incelendiğinde en önemli husus deneme amaçlı yapılan Karakoçan ve Başpınar kavşaklarından beklenen sonuçların elde edilmesi ve sonuçların ümit verici olmasıdır.

Ayrıca bu tür kavşaklar ülkemizde bilinen ve yaygın olarak kullanılan kavşak türlerinden olmadığından hizmete yeni açılan modern dönel kavşakların nitelik olarak değerlendirilebilmesi için yalnızca kaza verileri değerlendirilmemeli; aşağıdaki soruların da cevapları aranarak kavşağın işleyişi ve kullanılışı hakkında bilgi edinilmesi gerekir. Bunlar [4];

- Sürücüler kavşak giriş çizgisinde gereksiz yere duruyorlar mı?
- Sürücüler sirkülasyon yolunda gereksiz olarak duruyorlar mı?
- Merkezi adanın yanlış tarafına geçen taşıt var mı?

- Kavşak haricinde meydana gelen bir darboğazdan dolayı, dönel kavşak çıkışında bir kuyruk oluşumu var mı?
- Tasarımla uygulama arasında fark var mı?
- Kamyon apronu binek taşıtlar tarafından işgal ediliyor mu?
- Dönel kavşaktaki işaret levhalarında hasar var mı?
- Merkezi adada yaya aktivitesi var mı?
- Yayalar ve bisikletliler dönel kavşağı öngörüldüğü gibi kullanabiliyorlar mı?
- Herhangi bir kurpta taşıt sürtünmesi olduğuna ilişkin bir lastik izi var mı?
- Yaklaşımlarda ya da sirkülasyon yolunda kırık camlar vb. küçük kaza ibareleri var mı?
- Kavşak sathında bisikletlilere veya motosikletlilere sorun çıkarabilecek serbest malzeme (mıcır vb.) var mı?
- Taşıtlar hızları uygun mu? şeklindeki kavşağın işleyişi ve kullanılışı hakkında bilgi edinilmesi sağlayan sorulardır.

Bu sorulara verilen cevaplar ışığında yeni hizmete açılmış bir modern dönel kavşakta gerekli önlemler alınarak güvenlik ve işletme zafiyetleri giderilmelidir.

Her ne kadar bir kavşaktaki istatistiksel bilgilerin sağlıklı olarak değerlendirilebilmesi için bir yıllık gözlem sürenin yetersiz olacağı düşünülse de bu kavşaklardaki kaza verileri incelendiğinde; trafik güvenliği ön planda olan, kapasitesi yüksek, yapım, bakım ve işletme maliyetleri makul seviyelerdeki modern dönel kavşakların artık ülkemizde de uygulanması görüşünün ortaya çıkacağı düşünülmektedir . Ayrıca bu sonuçların kaza sayıları ve şiddetindeki beklenen azalmaları ortaya koyması durumunda; halk ve teknik uzmanlar ile yönetim kademesindeki karar mercilerinin de yeniliklere daha sıcak bakabileceği düşünülmektedir.

8.2. Avrupa Birliği Projesi Kapsamında 2007 Yılında İyileştirilmesi Düşünülen Kaza Kara Noktaları ve Kaza Potansiyeli Yüksek Yerler

Karayolları Genel Müdürlüğünden temin edilen bilgilere göre; 2007 yılında Avrupa Birliğince sağlanacak finansmanla iyileştirilmesi tasarlanan kaza kara noktaları ve

yüksek kaza potansiyeli taşıyan noktalarda yapılması düşünülen kavşaklardan modern dönel kavşak olarak tasarlanabilecek olanlar incelendiğinde; henüz planlama aşamasında olan ve Çizelge 8.3'te belirtilen mevcut 7 kavşağın yeniden düzenlenerek sinyalizasyon tesis edilmesi ve 29 kavşağın mevcut haliyle sinyalize kavşağa dönüştürülmesinin planlandığı düşünülmektedir.

Ülkemizde yaygın olarak uygulanan şekliyle inşa edilmiş olan dönel kavşaklar, ana arter üzerindeki trafiğin kavşak alanında hızını düşürmesini ve dönel kavşakların en önemli özelliklerinden biri olan dönüş manevrası yapmasını sağlayamamaktadırlar. Bunun en önemli sebebi ise kavşak yaklaşımlarının orta adaya teğet tasarlanması nedeniyle yüksek işletme hızlarına hizmet eden ana arter üzerindeki trafiğin kavşak alanında hızını azaltmasını gerektirecek sapmanın sağlanamamasıdır.

Dönel kavşaklarda tali yönlerden gelen trafiğin kavşak bölgesinde ana arter üzerindeki yüksek hızla seyreden trafikle karşılaşması veya kavşaktaki geçiş önceliklerine uyulmaması nedeniyle kazalar oluşmakta; kapasite sorunu yaşanmasa dahi artan trafik kazalarını önlemek amacıyla sinyalizasyon kullanma ihtiyacı doğmaktadır.

Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı hem güvenlikte sağlayacağı faydalar hem de düşük trafik hacimlerinden yüksek trafik hacimlerine kadar çok geniş bir yelpazede hizmet vermekte olan modern dönel kavşakların bu iyileştirmelerde bir alternatif olarak kullanılması önerilmektedir.

Çizelge 8.3'deki listede adı, yeri ve trafik değerleri bulunan kavşaklar için ; yıllık %5 trafik artışı ve 20 yıllık projeksiyon süresi dikkate alınarak uygun olabilecek modern dönel kavşakların listesi verilmektedir.

İncelenen yerlerin sahip olduğu yere ait yol geometrisi, trafik akımlarının ana ve tali yoldaki dağılımları ve arazi yapısının dönel kavşak tasarımına uygun olması koşuluyla uygulanabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 8.3. 2007 Yılında Avrupa Birliği Projesi içinde iyileştirilmesi düşünülen kaza kara noktaları ve kaza potansiyeli yüksek yerler

SIRA NO	BÖLGE NO	PROJE ADI	İL	K.K.NO	KM	YOGT (2005)	KAZA VERİLERİ (2004)				UYGUN MODERN DÖNEL KAVŞAK TIPI
							KAZA	ÖLÜ	YARALI	MHAS	
1	2	ÇEŞME (ÇAKABEY KAVŞAĞI) - SEFERİHİSAR (35-39) İYA (GÜZELBAHÇE) Kavşak düzenlemesi ve sinyalizasyon tesis edilmesi	İzmir	300-01	43+900	14 467	43	1	12	87	Sinyalize
2	2	DATÇA - BOZBURUN (48-53) İYA Kavşak düzenlemesi ve sinyalizasyon tesis edilmesi	Muğla	400-01	50+500	2 001	14	1	12	25	Kırsal 1 Şeritli
3	2	(ÖDEMİŞ - TORBALI)(310-01 / 550-10)DYA - (İZMİR - AYDIN)İL SN.(ORTAKLAR Y.) Sinyalizasyon tesis edilmesi	İzmir	550-11	1+000	3 787	3	0	3	4	Kırsal 1 Şeritli
4	2	(ÖDEMİŞ - TORBALI)(310-01 / 550-10)DYA - (İZMİR - AYDIN)İL SN.(ORTAKLAR Y.) Sinyalizasyon tesis edilmesi	İzmir	550-11	11+000	3 784	5	0	6	9	Kırsal 1 Şeritli
5	2	ÇEŞME (ÇAKABEY KAVŞAĞI) - SEFERİHİSAR (35-39) İYA (GÜZELBAHÇE) Sinyalizasyon tesis edilmesi	İzmir	300-01	36+000	3 524	3	1	5	7	Kırsal 1 Şeritli
6	2	(320-03) DYA (DENİZLİ) - YEŞİLOVA (330-05) DYA Sinyalizasyon tesis edilmesi	Denizli	585-09	6+300	9 175	2	0	5	5	Kırsal 2 Şeritli
7	2	(İZMİR - AYDIN) İL SN. - (525-01) DYA (SÖKE) Sinyalizasyon tesis edilmesi	Aydın	515-02	30+000	7 265	3	0	5	7	Kırsal 2 Şeritli
8	2	(İZMİR - ÇEŞME) (300-01) DYA - (SELÇUK - KUŞADASI) (515-01) DYA Sinyalizasyon tesis edilmesi	İzmir	35-39	56+000	1 411	1	0	3	2	Kırsal 1 Şeritli
9	2	(İZMİR - ÇEŞME) (300-01) DYA - (SELÇUK - KUŞADASI) (515-01) DYA Sinyalizasyon tesis edilmesi	İzmir	35-39	73+000	1 744	16	1	25	31	Kırsal 1 Şeritli
10	2	(AYDIN - MUĞLA) İL SN. - (MARMARİS - KÖYCEĞİZ) (400-02 / 03) DYA Sinyalizasyon tesis edilmesi	Muğla	550-14	58+000	7 600	5	0	8	9	Kırsal 2 Şeritli
11	2	(AYDIN - MUĞLA) İL SN. - (MARMARİS - KÖYCEĞİZ) (400-02 / 03) DYA Sinyalizasyon tesis edilmesi	Muğla	550-14	16+000	9 335	6	1	12	8	Kırsal 2 Şeritli
12	2	(BALIKESİR - İZMİR) İL SN. - ZEYTİNDAGI (35-80) İYA Sinyalizasyon tesis edilmesi	İzmir	550-08	0+000	6 097	4	0	6	7	Kırsal 1 Şeritli
13	2	(MANİSA - UŞAK) İL SN. - ULUBEY (64-50) İYA (UŞAK) Sinyalizasyon tesis edilmesi	Uşak	300-05	39+000	9 974	12	2	18	t	Kırsal 2 Şeritli
14	2	KULA (45-34) İYA - (MANİSA - DENİZLİ) İL SN. Sinyalizasyon tesis edilmesi	Manisa	585-05	6+000	5 338	8	0	9	17	Kırsal 1 Şeritli
15	2	(BALIKESİR - MANİSA) İL SN. - PALAMUT (45-06) İYA (AKHİSAR) Sinyalizasyon tesis edilmesi	Manisa	565-08	38+000	9 861	6	1	13	14	Kırsal 2 Şeritli

Çizelge 8.3. Devam 2007 Yılında Avrupa Birliği Projesi içinde iyileştirilmesi düşünülen kaza kara noktaları ve kaza potansiyeli yüksek yerler

SIRA NO	BÖLGE NO	PROJE ADI	İL	K.K.NO	KM	YOGT (2005)	KAZA VERİLERİ (2004)				UYGUN MODERN DÖNEL KAVŞAK TİPİ
							KAZA	ÖLÜ	YARALI	MHAS	
16	2	(İZMİR - AYDIN) İL SN. - (525-01) DYA (SÖKE) Sinyalizasyon tesis edilmesi	Aydın	515-02	9+000	7 355	5	0	11	12	Kentsel 2 Şeritli
17	2	(İZMİR - AYDIN) İL SN. - (525-01) DYA (SÖKE) Sinyalizasyon tesis edilmesi	Aydın	515-02	25+000	7 265	7	1	15	15	Kırsal 2 Şeritli
18	2	(SELÇUK - AYDIN) (550-12) DYA (ORTAKLAR) - (AYDIN - MUĞLA) İL SN Sinyalizasyon tesis edilmesi	Aydın	525-01	51+000	10 044	14	2	18	29	Kırsal 2 Şeritli
19	2	TURGUTREİS İSKELESİ - GÜLLÜK (48-77) İYA Sinyalizasyon tesis edilmesi	Muğla	330-01	45+000	9 331	6	0	12	11	Kırsal 2 Şeritli
20	2	(UŞAK - BANAZ) (300-06) DYA - (UŞAK - DENİZLİ) İL SN. Sinyalizasyon tesis edilmesi	Uşak	595-11	2+000	3 129	5	0	9	13	Kırsal 1 Şeritli
21	2	(UŞAK - BANAZ) (300-06) DYA - (UŞAK - DENİZLİ) İL SN. Sinyalizasyon tesis edilmesi	Uşak	595-11	4+000	3 129	4	0	9	9	Kırsal 1 Şeritli
22	2	(SELÇUK - TORBALI) (550-10 / 11) DYA - BİRGİ (35-30) İYA Sinyalizasyon tesis edilmesi	İzmir	310-01	65+000	3 257	8	1	13	17	Kırsal 1 Şeritli
23	2	(SELÇUK - TORBALI) (550-10 / 11) DYA - BİRGİ (35-30) İYA Sinyalizasyon tesis edilmesi	İzmir	310-01	29+000	5 904	7	0	12	15	Kırsal 1 Şeritli
24	2	(AYDIN - DENİZLİ) İL SN. - PAMUKKALE (20-01) İYA Sinyalizasyon tesis edilmesi	Denizli	320-03	6+000	8 063	9	2	15	17	Kırsal 2 Şeritli
25	2	BOZBURUN (48-53) İYA - (MUĞLA - KÖYCEĞİZ) (550-14 / 400-03) DYA Sinyalizasyon tesis edilmesi	Muğla	400-02	27+000	7 924	9	0	9	17	Kentsel 2 Şeritli
26	2	(AYVALIK - İZMİR) (550-08) DYA - (İZMİR - MANİSA) İL SN. Sinyalizasyon tesis edilmesi	İzmir	240-01	25+000	3 908	11	1	15	23	Kırsal 1 Şeritli
27	2	ULUBEY (64-50) İYA (UŞAK) - (UŞAK - AFYON) İL SN. Sinyalizasyon tesis edilmesi	Uşak	300-06	34+500	5 769	21	3	45	43	Kırsal 1 Şeritli
28	2	ULUBEY (64-50) İYA (UŞAK) - (UŞAK - AFYON) İL SN. Sinyalizasyon tesis edilmesi	Uşak	300-06	33+000	5 769	25	4	52	51	Kırsal 1 Şeritli
29	2	(ÖDEMiŞ - SALIHLI) (35-30) İYA - GÖLCÜK Sinyalizasyon tesis edilmesi	İzmir	35-31	13+750	Sayım yok	12	0	25	23	Kırsal 1 Şeritli
30	2	(320-03) DYA (DENİZLİ) - YEŞİLOVA (330-05) DYA Sinyalizasyon tesis edilmesi	Denizli	585-09	36+250	5 305	7	0	15	15	Kırsal 1 Şeritli

Çizelge 8.3. Devam 2007 Yılında Avrupa Birliği Projesi içinde iyileştirilmesi düşünülen kaza kara noktaları ve kaza potansiyeli yüksek yerler

SIRA NO	BÖLGE NO	PROJE ADI	İL	K.K.NO	KM	YOGT (2005)	KAZA VERİLERİ (2004)				UYGUN MODERN DÖNEL KAVŞAK TİPİ
							KAZA	ÖLÜ	YARALI	MHAS	
31	8	(BİNGÖL - MUŞ) (300-27) DYA - (BİNGÖL - DİYARBAKIR) İL SN. Genç Kavşağı düzenlemesi ve sinyalizasyon tesis edilmesi	Bingöl	950-07	2+000	2 024	10	2	11	13	Kırsal 1 Şeritli
32	8	(ARAPGİR - KEBAN) (260-19 / 20) DYA - MALATYA (300-23) DYA Kavşak düzenlemesi ve sinyalizasyon tesis edilmesi	Malatya	875-01	77+700	3 448	9	11	8	14	Kırsal 1 Şeritli
33	10	(TRABZON - VAKFIKEBİR) (010-21) DYA (AKÇAABAT) - ÇAL Kavşak düzenlemesi ve sinyalizasyon tesis edilmesi	Trabzon	61-76	0+800	6 838	6	2	3	11	kentsel 1 Şeritli
34	10	10 Bölge sınırları içinde Muhtelif kavşaklarda sinyalizasyon tesis edilmesi (12 adet kavşak)	Detay yok	Muhtelif	Muhtelif	25 618	35	6	76	81	Detaylı bilgi yok
35	15	(KARABÜK -SAFRANBOLU) (755-03)DYA - (KARABÜK-KASTAMONU) İL SN. Bartın kavşak düzenlemesi ve heyelanlı bölgeden uzaklaştırması için varyant yapılması	Karabük	030-01	5+850	2 893	5	1	6	11	Kırsal 1 Şeritli
36	15	(KASTAMONU - İNEBOLU) (765-01 / 02) DYA-(010-11) DYA (ÇATALZEYİN) Şenlik kavşağı düzenlemesi	Kastamonu	37-01	6+000	473	4	0	5	5	Kırsal 1 Şeritli

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Modern dönel kavşaklar geometrileri gereği sürücülerini kavşağa girerken yavaşlamaya mecbur bıraktıklarından dolayı düşük trafik hızları hem araç-araca olan hem de araç-yaya arasında olan kazaların meydana gelme sıklığını ve şiddetini azaltmaktadır. Ayrıca kontrolsüz kavşaklarla karşılaştırıldıklarında çatışma noktalarının sayısı çok azdır. Bu nedenle sinyalize ve dur kontrollü kavşaklara oranla daha güvenlidirler.

Kavşak girişlerinde, gerektiğinde sürücüyü yavaşlatıcı ve kapasiteyi artırıcı ek geometrik önlemler alınarak, kavşakların güvenilirliğinin ve hizmet seviyesinin artırılması yoluna gidilebilmektedir.

Dört farklı büyüklükteki kavşak tipi için kapasiteler karşılaştırıldığında; mini kavşaklar için dönel kavşak kapasitesi her durumda sinyalize kavşak kapasitesinden büyük olmakta; küçük kavşaklar için çoğu durumda dönel kavşak kapasitesi sinyalize kavşak kapasitesinden büyük olmakta; orta büyüklükteki kavşaklar için sola dönüş ve doğru giden trafik akımlarının nispeten düşük olduğu durumlarda dönel kavşak kapasitesi, diğer durumlarda ise sinyalize kavşak kapasitesi daha büyük olmakta; büyük kavşaklar için ise pek çok durumda sinyalize kavşak kapasitesi dönel kavşak kapasitesinden büyük olmaktadır.

Geometrik tasarımı belirlenmiş bir dönel kavşağın kapasitesi kavşak içerisindeki trafik akımlarının yönler göre dağılımına bağlı olmakta ve sola dönüşler kavşak kapasitesini azaltmaktadır.

Aynı sonuçların üç kollu kavşaklar için de geçerli olduğu gösterilebilir. Bu çalışmada yaya ve bisikletliler hesaba dahil edilmemiştir. Dönel kavşak kapasiteleri giriş ve sirkülasyon yolundaki şerit sayılarına göre tespit edildiğinden; giriş ve sirkülasyon yolunun çok şeritli olması durumları ayrıca incelenmelidir.

Kaza maliyetleri, yapım, bakım ve işletme maliyetleri sinyalize kavşaklardan daha düşüktür.

Modern dönel kavşak kullanılması durumunda kavşaklardaki durma ve gecikme sürelerinde azalma sağlanacağı için buna bağlı olarak hem daha az yakıt sarfiyatı sağlanmakta hem de araç emisyonlarında azalma sağlanacağı için hava ve çevre kirliliğinde azalma sağlanmaktadır.

Modern dönel kavşaklar kentsel kavşak yapımında estetik oluşları nedeniyle de özellikle göz önünde bulundurulmalıdır.

Son yıllarda pek çok ülkede karayolu kavşak noktaları üzerindeki trafik güvenliği sorunlarına çözüm olarak önerilen dönel kavşaklar, kapasite ve maliyet açısından uygun özellikleri ile ülkemiz için de tercih edilebilecek nitelikler taşımaktadırlar.

Trafik koşuları dikkate alınarak şehirlerarası yollarda, geliştirmekte olan bütün yerleşim birimlerinde ve yapılacak detaylı araştırmalar sonucunda büyük şehirlerimizdeki yoğun olmayan birçok ikinci derecede önemli kavşakta kullanılabilecek olanakları bulunmaktadır.

Avrupa Birliği ile müzakere aşamasındaki Türkiye'nin Avrupa Karayolu Ağına entegrasyonu açısından kentsel ve kırsal karayolu ulaşımında modern dönel kavşakların uygulamaya konulması bir gereklilik haline gelebileceği için bu kavşakların yapım ve kullanılmasına esas teşkil edecek teknik ve sosyal altyapının hazırlanması gerekmektedir.

Bütün dünyada, güvenilirlik ve yüksek kapasite sağlamaları sebebiyle özellikle de kaza oranlarının azaltılması açısından tercih edilen, modern dönel kavşaklar üzerinde yapılan araştırmaların ülkemizde de yapılması gerekmektedir.

Günümüzde kullanılan hesap metotları ve geometrik tasarımlar ülkelerin kendi sürücü ve yol karakteristiklerine bağlı olarak geliştirilmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalar ile ülkemize ait kapasite hesap metotlarının da geliştirilerek aktif olarak kullanılması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Trafik kazaları Özeti 2005, **Karayolları Genel Müdürlüğü** , Ankara, 4,12, (2006)
2. European Road Statistics 2004, **European Union Road Federation**, Brussels, 64, (2004)
3. Karayolu Tasarımı Raporu, Ek-2 Modern Dönel Kavşaklar İçin Önerilen Tasarım Esasları , **Sweroad**, Ankara , 2-10, (2001)
4. Roundabouts: An Informational Guide (FHWA-RD-00-067), **U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration**, Virginia, 2-181, (2000)
5. Design Manual, Chapter 915, **Washington State Department of Transportation**, Washington, 1-27 , (2005)
6. Highway Capacity Manual, Proposed Draft Chapter 17, Part C, **Transportation Research Board**, Washington , 51-58, (2006)
7. Rodergersdts, B.W., Rodegerdts, L.A., Capacity and Performance of Roundabouts: A Summary of Recommendations in the FHWA Roundabout Guide, **Fourth International Symposium on Highway Capacity**, Maui, Hawaii, 422-433, (2000)
8. Modern Roundabout Practice in the United States, **Transportation Research Board National Research Council, National Cooperative Highway Research Program**, Washington , D.C., 25-38, (1998)
9. Tan,J., Comparison Of Capacity Between Roundabout Design And Signalised Junction Design, **1st Swiss Transport Research Conference** , Monte Verità / Ascona, 1-16, (2001)
10. Kayacı, K., Sehtiyancı, O. ve Kalaycı A. S., Hemzemin Kavşakların Kapasite, Güvenlik ve Uygulanabilirliğinin İncelenmesi, Dönel Kavşakların Önemi, Avrupa Birliği ve Dünyadaki Örneklerine Genel Bakış, **3. Trafik ve Yol Güvenliği Ulusal Kongre ve Sergisi**, Ankara, 72-86, (2005)
11. Russel,E.R, Roundabouts Experience in the U.S., **TAC Annual Meeting**, Calgary,10-13, (2005)
12. Insurance Institute For Highway Safety, **Status Report**, Arlington, 36(7):3, (2001)
13. Turner S., ve Roozenburg, A.,Roundabout Safety – Influence of Speed, Visibility and Design, **New Zeland Road Safety Research 2005**, Wellington NZ, 4, (2006)
14. Karayolu Tasarım El Kitabı , **Karayolları Genel Müdürlüğü**, Ankara, 127, (2005)

15. A Policy on Geometric Design Of Highway and Streets , *American Assaciation of State Highway And Transportation Officials*, Washington, D.C., 5-107, (2001)
16. Trafik Kazaları ve Dönel Kavşaklar, Tanyel, S. , *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni*, Sayı 119, İzmir, 27-29, (2004)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YÜKSEL,Efkan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 23.10.1972 Böblingen/ALMANYA
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 4157362 , 0(532)7216648
Faks : 0 (312) 4157858
e-mail : eyuksel@kgm.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	KTÜ / İnşaat Müh. Bölümü	1993
Lise	Yozgat Lisesi	1989

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1993-2006	Karayolları Genel Müdürlüğü	Proje Şefi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilim ve teknoloji, Basketbol, Gezi