

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

**MODERN DÖNEL KAVŞAKLARIN GEOMETRİK TASARIMI
VE KAPASİTE İLİŞKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE ÖĞÜTVEREN

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

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



**MODERN DÖNEL KAVŞAKLARIN GEOMETRİK TASARIMI
VE KAPASİTE İLİŞKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE ÖĞÜTVEREN

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Emre ÖĞÜTVEREN tarafından hazırlanan "Modern Dönel Kavşakların Geometrik Tasarımı ve Kapasite İlişkisi" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 19.08.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN

Üye
Prof. Dr. Halim CEYLAN
Pamukkale Üniversitesi

Üye
Prof. Dr. Serhan Tanyel
Dokuz Eylül Üniversitesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
28/08/2019 tarih ve ...34/27... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

✓.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

EMRE ÖĞÜTVEREN



ÖZET

**MODERN DÖNEL KAVŞAKLARIN GEOMETRİK TASARIMI VE
KAPASİTE İLİŞKİSİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
EMRE ÖĞÜTVEREN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SONER HALDENBİLEN)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

Kavşaklar, iki veya daha fazla karayolunun kesişmesi ile oluşan çakışma alanlarıdır. Karayolu ulaşım ağında meydana gelen gecikmelerin büyük kısmı bu çakışma alanlarında meydana gelmektedir. Artan dünya nüfusu ve buna bağlı olarak artan motorlu taşıt sayısı nedeniyle bu alanlarda uygulanacak olan kavşak çeşitleri dikkatle seçilmeli, güvenlik ve performans açısından en iyi şekilde tasarlanmalıdır. Bu çalışmada kavşak seçim kriterlerinden bahsedilmiş ve dönel kavşakların geometrik tasarımına yönelik parametreler açıklanmıştır.

Çalışmanın kapsamında modern dönel kavşakların geometrik parametrelerinden olan merkez ada çapının kavşak performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın yöntemi olarak Ptv Vissim benzetim programı kullanılmıştır. İlk olarak sabit trafik hacmi altında, merkez ada çapı 15m ile 35m arasında 0,25m'lik artışlarla gözlemlenmiş ve kavşak performansı incelenmiştir. Kavşak performans parametreleri olarak ortalama gecikme, ortalama hız ve ortalama duruş sayıları alınmıştır. Kavşak çapının belirtilen parametrelerle ilişkisini araştırmak için regresyon analizi yapılmış ve kavşak çapı için bir regresyon denklemi elde edilmiştir. İkinci olarak bu değişken merkez ada çaplarından en iyi sonucu veren kavşak çapı belirlendi ve bu çapta trafik hacimleri arttırılarak, aynı parametrelerde kavşak performansı gözlemlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve sonuç kısmında yorumlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Dönel Kavşak, Vissim, Kapasite, Gecikme

ABSTRACT

GEOMETRIC DESIGN OF MODERN ROUNDABOUTS AND CAPACITY RELATION

MSC THESIS

EMRE ÖĞÜTVEREN

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR:PROF. DR. SONER HALDENBİLEN)

DENİZLİ, AUGUST 2019

Intersections are overlapping areas formed by the intersection of two or more highways. Most delays in the road transport network occur in these overlap areas. Because of the increasing world population and therefore the increasing number of motor vehicles, the types of junctions to be applied in these areas should be carefully selected and used in terms of safety and performance. In this study, junction selection criteria are mentioned and geometric elements of roundabouts are explained.

In the analysis part of the study, the effect of the central island diameter which is one of the geometric parameters of modern roundabouts on the junction performance is examined. Ptv Vissim simulation program was used as the method of the study. In this context, under the fixed traffic volume, the central island diameter was observed in increments of 0.25m between 15m and 35m and junction performance was examined. Average delay, average speed and average stop counts were taken as junction performance parameters. Regression analysis was performed to investigate the relationship between junction diameter and specified parameters and a regression equation was obtained for junction diameter. Secondly, the best junction diameter was determined from these variable center island diameters and the junction performance was observed in the same parameters by increasing the traffic volumes. The results obtained from the analysis were evaluated and interpreted in the results section.

KEYWORDS: Roundabout, Vissim, Capacity, Delay

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vii
SEMBOL LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel.....	1
1.2 Amaç.....	2
1.3 Kapsam.....	3
2. DÖNEL KAVŞAKLAR ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	5
3. KAVŞAKLAR VE TASARIM ESASLARI	11
3.1 Kavşak Tipleri	12
3.2 Eşdüzey Kavşaklar.....	13
3.2.1 Kol Sayılarına Göre Eşdüzey Kavşak Tipleri.....	14
3.2.1.1 Üç Kollu Kavşaklar	14
3.2.1.2 Dört Kollu Kavşak Tipleri.....	14
3.2.1.3 Çok Kollu Kavşak Tipleri	14
3.2.2 Trafik Denetleme Sistemlerine Göre Kavşaklar	15
3.3 Kavşak Tipinin Seçimi.....	16
3.4 Modern Dönel Kavşakların Tanımı ve Geometrik Elemanları	18
3.4.1 Modern Dönel Kavşakların Geometrik Özellikleri.....	20
3.4.1.1 Proje Tip Aracı ve Hızı	21
3.4.1.2 Görüş Mesafesi	22
3.4.1.3 Sapma Derecesi	23
3.4.1.4 Merkez Ada Çapı.....	24
3.4.1.5 Dönüş Şeridi Genişliği	24
3.4.1.6 Giriş ve Çıkış Şeritleri.....	25
3.4.1.7 Ayırıcı Ada	25
3.4.1.8 Yatay Düşey İşaretleme ve Aydınlatma.....	26
3.4.2 Modern Dönel Kavşakların Sınıflandırılması.....	26
3.4.2.1 Mini Dönel Kavşaklar	27
3.4.2.2 Kentsel Kompakt Dönel Kavşaklar	28
3.4.2.3 Kentsel Tek Şeritli Dönel Kavşaklar	28
3.4.2.4 Kentsel Çift Şeritli Dönel Kavşaklar	29
3.4.2.5 Kırsal Tek Şeritli Dönel Kavşaklar.....	30
3.4.2.6 Kırsal Çift Şeritli Dönel Kavşaklar.....	30
3.5 Kapasite Hesap Yöntemleri.....	31
3.5.1 Regresyon Modelleri	32
3.5.1.1 İngiliz Yöntemi.....	33
3.5.1.2 Alman Kapasite Hesap Yöntemi	36
3.5.2 Kritik Aralık Kabul Yöntemi	39
4. YÖNTEM	44
5. UYGULAMA VE ANALİZLER	51

5.1	Mevcut Durum.....	51
5.2	Trafik Bilgileri.....	52
5.3	Analizler.....	55
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
7.	KAYNAKÇA	76
8.	EKLER	81
9.	ÖZGEÇMİŞ.....	85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3. 1: Kavşak Türleri.....	12
Şekil 3. 2: Eşdüzey kavşakların sınıflandırılması	13
Şekil 3. 3: Eşdüzey Kavşak Tipleri (Umar ve Yayla, 1992).....	16
Şekil 3. 4: Trafik Hacmine Göre Kavşak Tipi Seçimi (KGM,2000)	17
Şekil 3. 5: Dönel Kavşak Girişinde Araç Yönünün Saptırılması.....	18
Şekil 3. 6: Dönel Kavşak Girişinde Şerit Sayısının ve Genişliğinin Arttırılması (Austron ve Bared, 1995).....	19
Şekil 3. 7: Dönel Kavşaklarda Teğet Geçiş (Seim, 1991)	20
Şekil 3. 8: Modern Dönel Kavşak Geometrik Elemanları (FHWA, 2000)	21
Şekil 3. 9: Şehirçi Kompakt Tasarım İçin Teorik Hız Profili (FHWA, 2000)	22
Şekil 3. 10: Kavşak görüş mesafesi (FHWA, 2000)	23
Şekil 3. 11: Trafiğin Doğrultusundan Sapma Sağlanması (SWEROAD, 2000).....	23
Şekil 3. 12: Dört kollu dönel kavşak örneği	24
Şekil 3. 13: Dönel Kavşak Giriş Tasarımı (FHWA, 2000).....	25
Şekil 3. 14: Minimum ayırıcı ada boyutları (FHWA, 2000)	26
Şekil 3. 15: Modern dönel kavşak çeşitleri (FHWA, 2000)	26
Şekil 3. 16: Mini dönel kavşak (FHWA, 2000)	27
Şekil 3. 17: Kentiçi kompakt dönel kavşak (FHWA, 2000).....	28
Şekil 3. 18: Kentsel tek şeritli dönel kavşak (FHWA, 2000)	29
Şekil 3. 19: Kentsel çift şeritli dönel kavşak (FHWA, 2000)	29
Şekil 3. 20: Kırsal tek şeritli dönel kavşak (FHWA, 2000).....	30
Şekil 3. 21: Kırsal çift şeritli dönel kavşak (FHWA, 2000)	30
Şekil 3. 22: İngiliz kapasite hesap yönteminde kullanılan parametreler (Akçelik, 1998).....	35
Şekil 3. 23: Kritik aralık kabulü (Hangring, 1996a).....	40
Şekil 4. 1: Ptv Vissim Benzetim programı arayüzü	45
Şekil 4. 2: Analizlerde altlık olarak kullanılan dönel kavşak	46
Şekil 4. 4: Linklerin çizilmesi	46
Şekil 4. 5: Benzetim programına taşıt hacimlerinin girilmesi	47
Şekil 4. 6: Yaklaşım kollarından gelen taşıtların rotalamalarının yapılması.....	47
Şekil 4. 7: Taşıtların çatışma alanlarının düzenlenmesi	48
Şekil 5. 1: Analizlerde kullanılan dönel kavşak geometrisi.....	51
Şekil 5. 2: Sayımları yapılan Kayseri’de bulunan kavşak görüntüsü.....	52
Şekil 5. 3: A yaklaşım koluna ait örnek rotalama	54
Şekil 5. 4: 15m ile 35m arasındaki kavşak çapında ortalama gecikme değerleri	56
Şekil 5. 5: 15m ile 35m arasındaki kavşak çapında ortalama durma sayısı değerleri	56
Şekil 5. 6: 15m ile 35m arasındaki kavşak çapında ortalama hız değerleri.....	56
Şekil 5. 7: 32,75m çaplı trafik artışı ve ortalama gecikme değerleri.....	60
Şekil 5. 8: 32,75m çaplı trafik artışı ve ortalama durma sayısı değerleri	61
Şekil 5. 9: 32,75m çaplı trafik artışı ve ortalama hız değerleri.....	61
Şekil 5. 10: %5’lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama gecikme değeri	62

Şekil 5. 11: %5'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama durma sayısı değeri	63
Şekil 5. 12: %5'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama hız değeri .	63
Şekil 5. 13: %10'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama gecikme değeri	64
Şekil 5. 14: %10'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama durma sayısı değeri	64
Şekil 5. 15: %10'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama hız değeri	65
Şekil 5. 16: %15'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama gecikme değeri	65
Şekil 5. 17: %15'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama durma sayısı değeri	66
Şekil 5. 18: %15'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama hız değeri	66
Şekil 5. 19: %20'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama gecikme değeri	67
Şekil 5. 20: %20'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama durma sayısı değeri	67
Şekil 5. 21: %5'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama hız değeri .	67
Şekil 5. 22: %25'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama gecikme değeri	68
Şekil 5. 23: %25'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama durma sayısı değeri	69
Şekil 5. 24: %25'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama hız değeri	69
Şekil 5. 25: %30'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama gecikme değeri	70
Şekil 5. 26: %30'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama durma sayısı değeri	70
Şekil 5. 27: %30'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama hız değeri	70
Şekil 5. 28: Artan trafik hacimlerine bağlı optimum çapların alansal değişimi	72

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3. 1: Tavsiye edilen maksimum giriş tasarım hızları (FHWA, 2000)....	22
Tablo 3. 2: Modern dönel kavşakların temel özelliklerinin karşılaştırılması (FHWA, 2000).....	27
Tablo 3. 3: Giriş kapasite değerlerinin ölçülmüş ve pratik değerleri (Kerenyi, 1998).....	36
Tablo 3. 4: Birim otomobil dönüşüm katsayıları (Stuwe, 1991).....	36
Tablo 3. 5: Yaklaşım kolları eğimlere göre dönüşüm katsayıları (Brilon v.d., 1993)	37
Tablo 3. 6: A ve Z parametrelerinin değerleri (Stuwe, 1991)	37
Tablo 5. 1: Analizde kullanılan trafik hacim değerleri	52
Tablo 5. 2: Yaklaşım kollarındaki araç rotalarının matrisi	53
Tablo 5. 3: Araç türlerinin dağılım oranları ve kabul edilen hız değerleri.....	54
Tablo 5. 4: Sınırlandırılmış hız değerleri	54
Tablo 5. 5: 15m ile 35m çap arasındaki kavşak performans parametreleri.....	55
Tablo 5. 6: Mevcut durum ile 32,75m çaplı kavşak performanslarının karşılaştırılması.....	57
Tablo 5. 7: Regresyon istatistikleri	59
Tablo 5. 8: Anova tablosu	59
Tablo 5. 9: Bağımsız değişkenlerin katsayıları ve P değeri	59
Tablo 5. 10: %5'den %30'a kadar arttırılan trafik hacmi değerleri.....	60
Tablo 5. 11: 32,75m'lik çaptaki trafik artışı ve performans parametreleri	60
Tablo 5. 12: %5'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı performans parametreleri.....	62
Tablo 5. 13: %10'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı performans parametreleri.....	64
Tablo 5. 14: %15'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı performans parametreleri.....	65
Tablo 5. 15: %20'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı performans parametreleri.....	66
Tablo 5. 16: %25'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı performans parametreleri.....	68
Tablo 5. 17: %30'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı performans parametreleri.....	69
Tablo 5. 18: Artan trafik hacimlerine karşın optimum çap değerleri	71
Tablo A. 1: 15m ile 20m Arası Analiz Sonuçları	81
Tablo A. 2: 15m ile 20m Arası Analiz Sonuçları	82
Tablo A. 3: 25m ile 30m Arası Analiz Sonuçları	83
Tablo A. 4: 30m ile 35m Arası Analiz Sonuçları	84

SEMBOL LİSTESİ

A ve Z	: Alman yönteminde gözlemlere bağlı olarak elde edilen parametreler
Q	: Hacim (araç/zaman)
Q_c	: Dönen araç sayısı (araç/sa)
Q_e	: Kavşağa girebilecek maksimum araç sayısı (araç/sa)
F ve f_c	: Geometri ve trafik akımına bağlı parametreler
L	: Örüme alanının uzunluğu
w_w	: Örüme genişliği
w_e	: Ortalama giriş genişliği
P	: Örüme hareketinde bulunan araç oranı
h	: Ağır ve orta ağır araç oranı
w_a	: Yaklaşım genişliği
Ø	: Kesişme açısı
D_i	: Kavşak çapı
n_e	: Giriş şeridi sayısı
n_c	: Dönüş şeridi sayısı
T_{odom}	: Baskın şeritteki takip aralığı değeri
Q_{dom}	: Baskın şeritteki akım
Q_{sub}	: Diğer şeritteki akım
T_{osub}	: Diğer şeritteki takip aralığı değeri
T_o	: Takip aralığı

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca yol gösterici olan, tez çalışmamın her anında deneyim ve değerli bilgilerini benimle paylaşarak yardımcı olan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yine çalışma süresince bana yardımcı ve destek olan bütün arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, beni hiç yalnız bırakmayan başta annem, babam ve abim olmak üzere bütün aileme teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Ulaşım; insanların, hayvanların ve eşyaların yararlı olduğu varsayılan bir amaç için bir noktadan başka bir noktaya aktarılmasıdır. Bu yer değiştirmenin yerine getirilmesi ise ulaştırma olarak tanımlanır. Ulaşım insanlık tarihinde her zaman önemli bir faktör olmuş ve ülkelerin gelişmişlik seviyelerini belirlemede etkili bir rol oynamıştır. Yüzyıllar boyunca insanlar kendi ihtiyaçlarını karşılayabilmek, ihtiyaç fazları ürünlerini satabilmek ve yeni yerler keşfetmek isteği doğrultusunda yolculuk yapmışlardır. Bu yolculuklar sayesinde toplumlar arasında sosyal, kültürel ve ekonomik ilişkiler önemli gelişme göstermiştir. Teknolojinin gelişmesi ile bu seyahatler kolaylaşmış ve ulaşım talebi günden güne artmıştır. Ulaşım talebini karşılayabilmek için sektör önemli bir hızla ilerlemiş ve büyümüştür. Dünya nüfusunun sürekli artış göstermesi ve özellikle 20. Yüzyılın başından itibaren motorlu ve motorsuz taşıt sahipliğinin artması insan hayatına önemli kolaylıklar sağlamasına karşın bir takım sıkıntıları da beraberinde getirmiştir. Trafik sıkışıklığı, gecikmelerin artması, trafik kazalarından meydana gelen maddi ve manevi kayıplar, motorlu taşıtlardan çevreye yayılan egzoz gazları ve taşıtların neden oldukları gürültü kirliliği bu problemlerin başında gelenleridir.

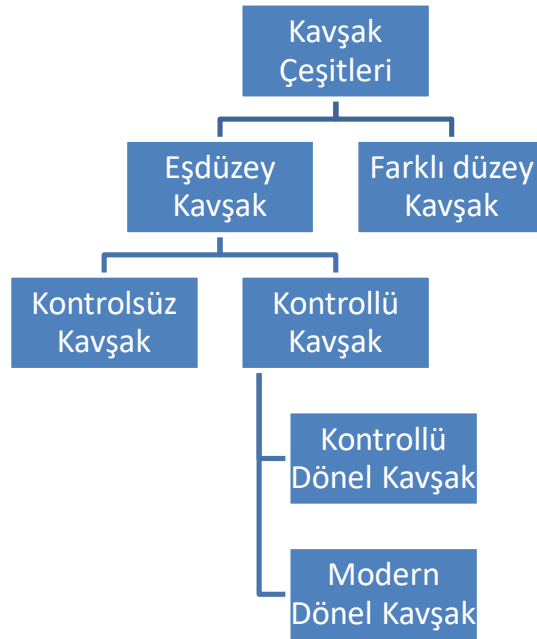
Kentiçi ve kentler arası seyahatler incelendiğinde bu olumsuz sonuçlar en fazla, birden çok karayolunun kesiştiği noktalar olan kavşaklarda meydana gelmektedir. Yapılan araştırmalar sonucu kentiçi ulaşım ağında meydana gelen gecikmelerin %70'den fazlasının kavşaklardaki zaman kayıplarından kaynaklandığı görülmüştür. Ayrıca kentiçi ulaşım ağında meydana gelen kazaların %40-60'ı kavşaklarda gerçekleşmektedir (Yayla 2004).

Karayollarında özellikle motorlu taşıt sayısının artması ile birlikte meydana gelen bu problemlerin çözümü için araştırmacılar ulaşım bilimi altında daha spesifik bir alan olan trafik yönetimi üzerine yoğunlaşmıştır. Özellikle kavşaklarda meydana gelen maddi ve manevi zararlara yol açan kazaları azaltabilmek için karayolu kesişim

noktalarında trafik denetimi yöntemi önermişlerdir. Sinyalize kavşak, dönel kavşaklar ve sinyalize dönel kavşak uygulamaları bunlara örnek gösterilebilir. Bu trafik denetleme tekniklerinin amacı taşıtların kavşağı daha kısa sürede ve daha güvenli şekilde terk etmelerini sağlamak ve trafik tıkanıklığını azaltmaktır (Çakıcı 2014).

1.2 Amaç

Kentiçi ulaşım ağında kavşaklar genellikle eşdüzey (hemzemin) kavşak olarak tasarlanmaktadır. Bu eşdüzey kavşaklar da kontrollü ve kontrolsüz olarak iki şekilde çalıştırılmaktadır. Trafik hacminin düşük olduğu kavşaklar kontrolsüz kavşak, trafik hacminin yüksek olduğu kavşaklar ise kontrollü kavşak olarak işletilmektedir. Kontrollü eşdüzey kavşaklar ise ışıklı ve dönel kavşaklar olarak tasarlanmaktadır (Erol 2018).



Şekil 1. 1: Kavşak çeşitleri

Kentiçi ulaşım ağında yaşanan sorunları en aza indirebilmek için kavşak performanslarının iyileştirilmesi gerekmektedir. Kavşak performansının artırılabilmesi için öncelikli olarak kavşak türleri hakkında yeterli bilgi sahibi olunmalı ve ulaşım ağındaki ihtiyaca en iyi cevap verecek kavşak türünün seçimi sağlanmalıdır. Sinyalize kavşaklar meydana gelebilecek kazaları önlemek ve

gecikmeleri azaltmak amacı ile kullanılmakla birlikte gerekli kriterlere uyulmadan işletilen sinyalize kavşaklar gecikmelerin ve trafik kazalarının artmasına neden olabilecektir. Bu nedenle her eşdüzey kavşağı sinyalize kavşak olarak düzenlemek kavşak performansı açısından doğru bir uygulama olmayabilir. Diğer taraftan sinyalize kavşakların devre sürelerinin en uygun şekilde belirlenmesi ve değişen trafik hacimlerine göre güncellenmesi gerekmektedir.

Diğer eşdüzey kavşak çeşidi ise dönel kavşaklardır. Dönel kavşakların gelişimi özellikle “Dönen araç geçiş önceliğine sahiptir” kuralının İngiltere’de Kasım 1966’da kabul edilmesinden sonra hızla artmış ve Avrupa’da yaygınlaşmaya başlamıştır. Ülkemizde her ne kadar dönel kavşaklar için aynı kurallar geçerli olsa da, uygulamada hem kavşak geometrisi, hem de işletim özellikleri açısından geleneksel dönel kavşakların bulunduğu söylenebilir. Ancak son yıllarda ülkemizde de modern dönel kavşakların sayısının arttığı görülmektedir.

Geleneksel dönel kavşaklar, trafiğin merkezde bulunan bir ada etrafında döndüğü kavşaklar olarak tanımlanabilirler; fakat yeni tip dönel kavşaklardan farklı olarak geçiş üstünlüğü, ada etrafında dönen araçlarda değil; yan yollardan kavşağa giriş yapan taşıtlara verilmiştir.

Bu çalışmanın amacı modern dönel kavşakların tasarımında kullanılacak olan geometrik elemanları tanıtmak ve bu elemanlardan olan kavşak çapının değişiminin, kavşak performansı üzerindeki etkisini PTV VISSİM benzetim programı ile gözlemlemektir. Çalışma kapsamında benzetim programı Türk sürücü davranışlarına göre kalibre edilmiştir. Kavşakta kullanılan trafik hacimleri Kayseri’de bulunan bir kavşakta yapılan sayımlardan elde edilmiştir.

1.3 Kapsam

Çalışmanın giriş bölümünde ulaşım ağında meydana gelen sorunlardan ve kısa vadede bu sorunları çözebilmek için kavşak seçimi ve tasarımlarının öneminden bahsedilmiş ve çalışmanın amacı ve kapsamından bahsedilmiştir.

İkinci bölümde dönel kavşaklar üzerine daha önce yapılmış olan çalışmalardan bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, kavşak çeşitleri üzerinde durulmuş, sinyalize kavşaklar, sinyalize olmayan ve modern dönel kavşaklar tanıtılmıştır. Ayrıca modern dönel kavşakların tasarımında kullanılan elemanlar açıklanmış olup dönel kavşaklarda kullanılan kapasite hesap yöntemlerinden İngiliz ve Alman hesap yöntemleri anlatılmış, sonrasında davranışsal model olan kritik aralık kabulünden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde, çalışmanın yöntemini oluşturan simülasyon programının arayüzü tanıtılmış ve analizlerin hangi yöntemlerle yapıldığı anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, simülasyon çalışmaları yapılmış, kavşak çapı 15 metreden 35 metreye kadar arttırılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Daha sonrasında en iyi kavşak performansını veren merkez ada çapı sabit tutularak bu kavşakta trafiğin artışı durumunda kavşak performansı incelenmiştir.

Altıncı bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuç ve öneriler değerlendirilmiştir.

2. DÖNEL KAVŞAKLAR ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Dönel kavşak uygulamaları kavşaktaki trafiği yönetmek için etkin şekilde kullanılan trafik yönetimi türlerindedir. Özellikle son yıllarda kavşak güvenliğini arttırmak amacıyla dönel kavşak uygulamaları büyük oranda artış göstermiştir. Bu nedenle farklı özelliklerdeki kavşakların performanslarının gözlemlenmesi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde tezin amacı olan, dönel kavşaklarla ilgili yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.

Dönel kavşaklar araçların dairesel hareket ederek değişik istikametlere yönelmesine imkân veren ve merkezi bir trafik ada etrafında trafiğin soldan aktığı durum için saat yönünde, sağdan aktığı durum için ise saat yönünün tersinde yönlendirilmiş kavşaklar olarak tanımlanmaktadır (Janssens, 1994). İlk olarak 1905 yılında New York'ta kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra başta İngiltere olmak üzere diğer Avrupa ülkelerinde de kısa sürede yaygınlaşmıştır. Bu kavşaklarda yüksek kaza oranı ve tıkanıklıkların görülmesiyle birlikte 1950'li yıllardan itibaren kavşakların tasarımında değişikliğe gidilmiştir. Özellikle nüfusu fazla şehirlerde, yoğun trafiğe sahip olan kentiçi kavşaklardaki sıkışıklıklar ve gecikmelerin büyük boyutlara ulaşmasıyla birlikte ilk defa kavşak içerisinde dönüş yapan araçların geçiş üstünlüğü konusu tartışılmış ve sonuç olarak mevcut dönel kavşaklarda "ada etrafında dönen araca yol ver" kuralı uygulanmıştır. Bu ülkelerdeki istatistiksel verilere göre kaza sayılarında ve şiddetlerinde önemli oranda azalma gözlemlenmiştir.

Gates ve Maki (2000) Michigan Üniversitesi içerisinde yer alan eski tip dönel kavşağı modern dönel kavşak olarak yeniden tasarlamışlar ve iki kavşak tipine ait kaza istatistiklerini incelemişlerdir. Gözlemleri sonucunda kaza sayılarında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Gross vd. (2013) ise sinyalize bir kavşağın modern dönel kavşağa dönüştürülmesi sonrasında kapasite bakımından sinyalize kavşağın daha iyi sonuç verdiğini ancak modern dönel kavşakların kaza şiddetleri ve sayıları bakımından daha güvenli olduğunu tespit etmiştir.

Akçelik (2005) yapmış olduğu çalışmalarda, Avustralya Merlbourne'de bulunan Mickleham RD - Broadmeadows RD dönel kavşağını ve Nepean Highway -

McDonald St dönel kavşağını, kavşaktaki mevcut geometrik özelliklerini ve mevcut trafik hacimlerini kullanarak, dönel kavşak ve kısmi denetimli sinyalize dönel kavşak olarak analiz etmiştir.

Yüksel (2007) modern dönel kavşak geometrisinin ülkelerin sürücü karakteristikleri, çevresel faktörler vb. değişkenlere bağlı olduğunu, kapasite hesabının buna göre yapıldığını ve ülkemize özgü bir tasarıma ihtiyaç olduğunu belirtmiştir. Alçelik (2010) siyalize ve dönel kavşak tasarımında farkların tam olarak ayırt edilmesi gerektiğine, kavşak türü seçimi ve kavşak tasarımının sadece kapasiteye göre yapılmaması gerektiğine dikkat çekmiştir. Çalışma kapsamında İstanbul'un Ümraniye ilçesinde bulunan Tepeüstü Mahallesi ve Yukarı Dudullu Mahallesinde bulunan dönel kavşak ve ışıklı kavşak içiren iki karayolu kesiti karşılaştırılmıştır. İnançlı (2012) Konya ilinde bulunan dokuz adet dönel kavşağı incelemiş ve bu kavşaklardaki meydana gelen kaza istatistiklerini belirterek dönel kavşakların sinyalize kavşaklara göre daha güvenliği olduğu sonucunu elde etmiştir. Kaygısız (2010) özellikle yuvarlak ada kavşaklar ve modern dönel kavşaklar arasındaki ayrımı açıklamış ve modern dönel kavşakların doğru tasarlanması halinde trafiği sakinleştirme ve düzenlemede önemli rol oynayacağını vurgulamıştır. Arıkan Öztürk vd. (2007) eski tip dönel kavşaklar olan Karakoçan ve Başpınar kavşaklarının, modern dönel kavşağa dönüştürülmesinden sonra kavşaklarda maddi hasarlı küçük kazalar dışında ölümlü veya yaralanmalı kazaların olmadığını gözlemlemişlerdir.

Tanyel (2005) İzmir ilinde bulunan yuvarlak ada kavşaklar olan, Lozan, Montrö, Cumhuriyet Meydanı ve Alsancak Garı kavşağı üzerinde, ana yoldaki trafik akımındaki ağır araç yüzdesinin yanyol kapasitesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuç olarak denetimsiz olarak işletilen kavşaklarda ağır taşıtların boyutlarının ve seyahat sürelerinin önemli olduğuna varılmıştır.

Özgan (2013) Düzce ilinde sinyalize kavşak olan ve yoğun trafik hacmine sahip olan Çoban kavşağını incelemiştir. Çalışmada kavşağın mevcut geometrik tasarımının dönel kavşak kriterlerine uygun olduğunu belirtilmiş ancak kavşakta kapasite probleminin yaşandığını, sinyalizasyonun bu kavşakta verimli çalışmadığını ve kavşak türünün değiştirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Kaygısız ve Şenbil (2011) tasarlanacak kavşakların önemine dikkat çekmiş, dönel kavşak yapılması halinde bile

imar planındaki kavşak geometrilerine dikkat edilmemesinin kavşaklarda yaşanan kaza sayısının artmasına neden olduğunu belirtmiştir.

Sweroad (2000) tarafından hazırlanan “Modern Dönel Kavşaklar için Önerilen Tasarım Esasları” başlıklı raporda modern dönel kavşakların, Türk tasarım esaslarına standart kavşak tipi olarak entegre edilmesi amaçlanmıştır. Önerilen tasarım esaslarının Türkiye şartlarına uygun hale getirilerek modern dönel kavşakların uygulanması ve nasıl kullanılması gerektiği hakkında tavsiyelerde bulunmuştur. Ayrıca bu raporda, ülkemizde bulunan mevcut dönel kavşak geometrilerinin, kavşağa yaklaşan sürücülerin hızlarını düşürmeye sevk edecek şekilde tasarlanmadığı aksine araçların hızla hareket etmelerine yönelik olduğunu belirtmiştir. Bu sorunun giriş kurbu için uygun tasarımın seçilmesi ve bazı durumlarda girişin yana kaydırılarak taşıtların güzergahlarından saptırılması ile çözülebileceği önerilmiştir. Yine Sweroad (2001) tarafından hazırlanan “Trafik Güvenliği Projesi” raporunda ülkemizdeki dönel kavşakların tasarım ve uygulama açısından yanlış olduğu ve kapasite, görüş mesafesi ve geometrik tasarımındaki bu yanlışlıkların düzeltilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Gross ve diğ. (2013) Amerika Birleşik Devletleri’nde bulunan ışıklı kavşaktan dönel kavşağa çevrilen 28 adet kavşağı güvenlik parametresi açısından değerlendirmiştir. Sonuç olarak ışıklı kavşakların dönel kavşaklara çevrilmesinin güvenlik açısından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çakıcı (2014) ışıklı dönel kavşakların tasarım esasları üzerinde çalışmış, depolama alanı gerekliliğine değinmiş ve farklı senaryolar altında kavşak performansını incelemiştir. Benzer şekilde Salamatı ve diğ. (2015) dönel ve ışıklı kavşakları emisyon salınımları açısından karşılaştırmıştır. Düşük talep/kapasite oranlarında dönel kavşakların, yüksek talep/kapasite oranlarında ise ışıklı kavşakların daha iyi sonuç verdiğinin belirtmişlerdir.

Tanyel (2001) İzmir ilinde bulunan kavşakların modern dönel kavşak olarak sınıflandırılmayacağını, aksine modern dönel kavşak olarak adlandırılan fakat özellikleri bakımından bu kavşakların performans özelliklerini göstermeyen kavşakların bulunduğuna dikkat çekmiştir. Çalışmada kavşak analizinde performans parametresi olarak gecikme ve kapasite parametrelerini kullanmıştır. Tanyel vd. (2013) yaptıkları çalışmalarda mevcut kavşaklarda bulunan geometrik yanlışlıklar, yaklaşım kollarından kavşağa giriş, çıkış ve dönen akımın belirlenmesi, kapasitenin

hesaplanması ve düzeltme katsayıları gibi konularda yeni model ve bağıntılar geliştirmişleridir.

Çavuş ve Karaşahin (2013) Pendik'te bulunan ve dönel kavşak olarak işletilmekte olan bir dönel kavşakta bulunan trafik işaretlerine ek olarak, yatay ve düşey trafik işaretlemeleri yerleştirerek bu işaretlemelerin kural ihlalleri üzerindeki etkilerine incelemiştir. Düşey işaretlemelerle sürücülere verilmek istenilen mesajların diğer işaretleme türlerine göre daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Bu işaretlemeler ile kural ihlallerinde azalmalar olsa da birçok sürücünün, yeterli trafik eğitimi almamış olması, yıllardır süre gelen araç kullanma alışkanlıkları gibi nedenlerle kuralla uymadıkları gözlenmiştir.

Tanyel ve Varlıoprak (1998) geometrik yapısı dönel kavşak olmaya elverişli olan iki kavşak üzerinde meydana gelen kazalar ve yapılan ihlaller sonucunda kapasitedeki azalmaları incelemiştir. Bu kavşaklar üzerinde modern dönel kavşak ve sinyalize kavşak performanslarını araştırmışlardır.

Troutbeck (1998) dönel kavşak performans analizini gecikme ve kapasite parametrelerini dikkate alarak incelemiş ve aralık kabulü yaklaşımının gerçeğe uygun sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Akçelik (2004) yuvarlakada kavşağı, taşıt gecikmesi, seyahat süresi, yakıt tüketimi gibi etkenleri dikkate alarak incelemiş ve kavşağın etkili bir şekilde çalışıp çalışmadığını değerlendirmiştir.

Yalgın (1975) yaptığı çalışmada kavşakların performansının sadece kavşağa gelen ana ve yan yollardaki trafik akımlarına bağlı olmadığını, aynı zamanda yakınında bulunan kavşakların hizmet seviyelerinin de göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmiştir. Bir kavşağa giren ve çıkan taşıt hacminin; kavşak tipine, şerit sayısına, kavşak çapına, giriş platformunun özelliğine, sürücünün tecrübe ve hareketleri üzerinde etkili olan çevre koşullarına, trafik akımının karakteristiklerine ve trafik kontrol yöntemlerine bağlı olduğunu vurgulamıştır.

Yin ve Qin (2011) yaptıkları çalışmada Vissim ve Sidra benzetip programlarını kullanmışlardır. İki şeritli bir dönel kavşak üzerinde ortalama gecikme parametresi üzerinden bu benzetip programlarının sonuçlarını karşılaştırmışlar ve benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Takemoto ve diğ. (2012) kış mevsiminde dönel kavşaklardaki sürücü davranışlarını farklı merkez ada çapları ve farklı yol durumlarında incelemiş ve sonuç olarak yüzey özelliklerinin seyahat hızını ve hızlanma parametrelerinde merkez ada çapından daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Tanyel ve Yayla (2010) İzmir’de bulunan dört adet yuvarlak ada kavşakta kapasite hesap yöntemleri üzerine çalışmıştır. Çalışmada kapasite ve performans analizlerinden olan kritik aralık kabulü ve regresyon analizi yöntemleri incelenmiştir.

Farklı kavşak türlerinin performansının karşılaştırılmasının yanında ışıklı kavşaklarda performansı arttırmaya yönelik en yaygın yöntem ışık sürelerinin ve fazların en uygun değerlerinin bulunmasıdır. Darma ve diğ. (2005) ışıklı bir kavşakta gecikmeyi etkileyen parametreleri belirlemek üzere çalışma yapmışlardır. Çalışmada, Highway Capacity Manuel (HCM) yöntemine dayanan SIDRA ve TRANSYT-7F programları kullanılmıştır. Sola dönüşlerin serbest bırakılmasının kavşak gecikmesini önemli derecede azaltacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Culum (2013) trafiğin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini araştırmış, bu etkileri azaltmak için ışıklı kavşaklarda devre sürelerinin optimum şekilde hesaplanması gerektiğini belirtmiştir.

Eraslan (2008) ışıklı kavşaklarda farklı yöntemlerin karşılaştırılması üzerine çalışmış ve gecikme parametresi bakımından en iyi sonucu veren yöntemin Avustralya yöntemi olduğunu belirtmiştir.

Dağst (2010) ışıklı kavşaklar için Webster metodunu kullanarak, İstanbul’da bulunan bazı ışıklı kavşaklar için süre optimizasyonu yapmıştır. Bu süreler Vissim programında analiz edilmiş ve performans kriterlerine göre karşılaştırılmıştır.

Akmaz (2012) Konya ilinde bulunan ışıklı kavşaklarda “Sidra Intersection” programını kullanarak, gecikmeleri en aza indirecek aynı zamanda kapasite ve hizmet düzeyini arttıracak devre sürelerini bulmayı amaçlamıştır. Mevcut ve önerilen devre süreleri karşılaştırıldığında, önerilen devre sürelerinin gecikme ve kapasite açısından daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Erol (2018) Denizli ilinde bulunan dört kollu sinyalize kavşak olan Emniyet Kavşağında, mevcut durumdaki ışık sürelerini TRANSYT- 7F programı ile optimize etmiş ve elde edilen yeşil süreleri Ptv Vissim benzetim programına girerek kavşak performansını incelemiştir. Performans parametresi olarak ortalama gecikme ve ortalama hız değerlerini kullanmıştır. Benzetim programının Türk sürücü davranışlarına uygun hale getirilmesi için Denizli ilinde bulunan Albayrak Kavşağı'nın yaklaşım kolunda bulunan Kaynarca Caddesi ve Gümüşler Bulvarı'nı birbirine bağlayan dönel kavşak üzerinde kalibrasyon çalışması yapmış ve ön boşluk değeri için 0.5 sn arka boşluk değeri için 1.2 sn ve güvenlik mesafesi katsayısı için 2.7 değerlerini elde etmiştir. Ayrıca kavşaktaki mevcut faz diyagramlarının değiştirilmesi ile mevcut duruma göre ortalama taşıt gecikmesinde ve ortalama hız değerlerinde iyileşmeler gözlemlemiştir. Son olarak sinyalize kavşak olan Emniyet Kavşağının kontrol türü değiştirilmiş ve modern dönel kavşak olarak tasarlanmıştır. Kavşak performansı açısından en iyi sonucun bu model ile elde edildiği görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında, dönel kavşakların kavşak çapının, kavşak performansı üzerindeki etkisi Türk sürücü davranışlarına göre kalibre edilerek incelenmiştir. Ptv Vissim benzetim programının kalibre edilmesinde Erol (2018)'de yapılan çalışmada elde edilen ön boşluk, arka boşluk ve güvenlik mesafesi katsayısı değerleri kullanılmıştır. Bu parametrelerin detaylı şekilde açıklanması çalışmanın dördüncü bölümü olan yöntem kısmında açıklanmıştır.

3. KAVŞAKLAR VE TASARIM ESASLARI

Çalışmanın bu bölümünde kavşak tiplerinden olan eşdüzey kavşakların sınıflandırılması üzerinde durulmuş ve tezin ana konusu olan modern dönel kavşakların geometrik elemanları açıklanmıştır. Dönel kavşaklarda kapasite hesap yöntemlerinden olan İngiliz ve Alman kapasite hesap yöntemleri anlatılmıştır.

Kavşaklar, karayolu ulaşım ağında 2 veya daha fazla yönden gelen trafik akımlarının kesiştiği, birleştiği ve ayrıldığı alanlar olarak tanımlanmaktadır. Karayollarında meydana gelen kazaların büyük bir kısmı kavşaklarda oluşmaktadır. Ayrıca kavşağa gelen taşıtların farklı yönlerde hareket etmek istemelerinden dolayı bu noktalarda ortalama araç hızları düşerken, ortalama taşıt gecikmeleri, yakıt tüketimi ve taşıtların çevreye verdikleri zararlar artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı kavşak seçimlerinin doğru yapılması ve kavşağın en iyi performans verecek şekilde tasarlanması ve işletilmesi gerekmektedir.

Kavşakların tasarlanmasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir;

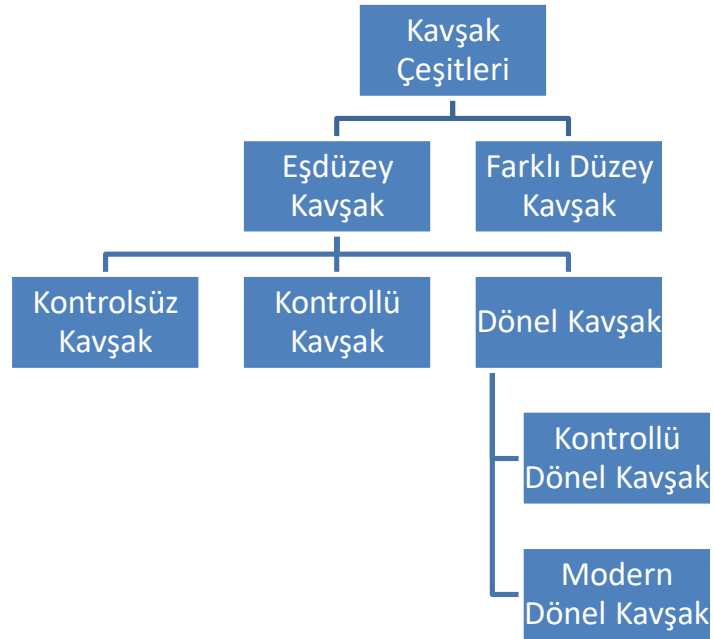
- Kavşağın ulaşım ağı içindeki önemi,
- Mevcut trafik karakteristikleri,
- Kavşağa bağlanan yolların geometrik özellikleri,
- Trafik hacimlerindeki değişim miktarı,
- Yakın kavşaklarda uygulanan denetim yöntemleri ve kavşak performansı,
- Sürücü ve yaya davranışları,
- Topoğrafik durum ve çevre koşullarıdır.

Taşıtlar kavşağa yaklaşırken sürücülerin yeterli görüş açılarının olmaması durumunda kavşak güvenliği olumsuz etkilenir. Bu nedenle görüş açısını engelleyecek engellerin kaldırılması gerekmektedir. Kavşakların daha güvenli hale getirilmesi ve maddi ve manevi kayıpların engellenebilmesi açısından aşağıdaki hususlara da dikkat edilmesi gerekmektedir;

- Sürücülerini şaşırtacak karışık düzenlemelerden kaçınılmalı,

- Kavşaktan geçen ana akım, akım doğrultusundan en az sapan akım olmalıdır,
- Kesişme noktalarında sollama ve geçme hareketlerini kısıtlayacak fiziki çözümler aranmalıdır,
- Trafik akımlarının kesişme açıları mümkün olan en küçük seviyede olmalıdır,
- Kavşağa her yönden gelen taşıtların yaptıkları tüm dönüş açıları incelenmelidir,
- Alternatif çözümler değerlendirilmelidir,
- Kapasite ve güvenlik önlemleri açısından kavşaklarda yatay ve dikey işaretlemeler ile gerekli aydınlatmalar yapılmalıdır (Umar ve Yayla, 1992).

3.1 Kavşak Tipleri



Şekil 3. 1: Kavşak Türleri

Kavşakları özellikleri bakımından değişik sınıflara ayrılabilir ancak yaklaşım kollarının kesiştikleri düzlemlere göre iki ana grupta sınıflandırılmaktadırlar:

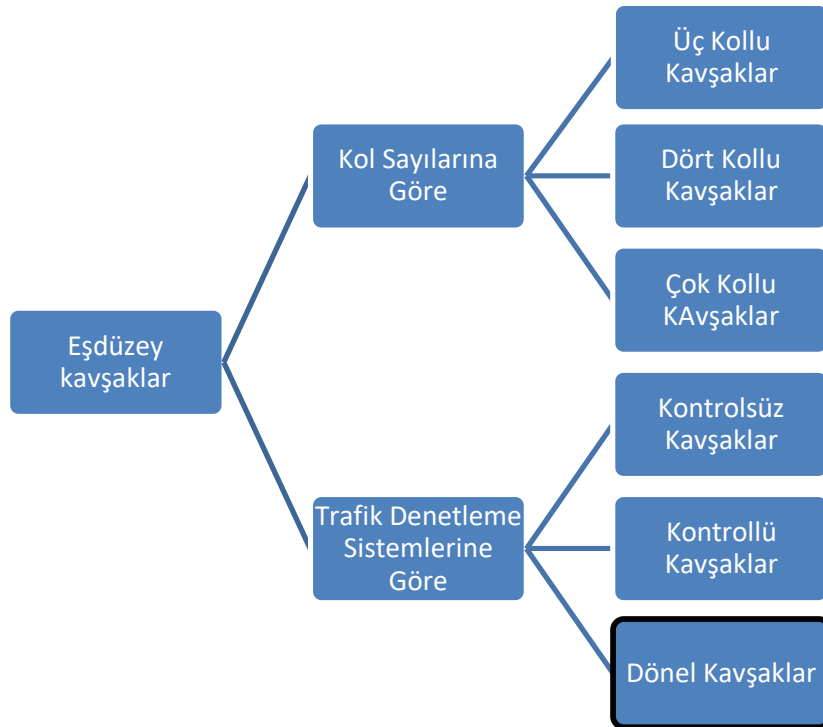
- 1- Eşdüzey (Hemzemin) kavşaklar
- 2- Farklı düzey (Köprülü) kavşaklar

Farklı düzey kavşakların uygulama alanları trafik hacminin ve trafik tıkanıklığının çok fazla olduğu kesişme alanlarıdır. Farklı düzeyli kavşak tasarımları için geniş alanlara ihtiyaç duyulması bu kavşakların tasarım maliyetlerini arttırmaktadır ancak bu tür kavşaklarda kaza oranları ve ortalama taşıt gecikme değerleri oldukça küçüktür.

Eşdüzey kavşaklar ise trafik kazalarının, taşıt gecikmelerin ve trafik tıkanıklarının farklı düzey kavşaklara oranla daha fazla görüldüğü kavşaklardır. Bu tür kavşaklar yatırım maliyetlerinin daha düşük olması ve yolun geometrik özelliklerinin uygulanabilmesi açısından daha çok tercih edilmektedir. Bu durum, bu kavşak türleri üzerinde yapılan çalışma sayısını arttırmıştır.

3.2 Eşdüzey Kavşaklar

Eşdüzey kavşakların sınıflandırılması; faaliyet alanı, şekil ve kanalize olma durumuna göre değişkenlik göstermektedir.



Şekil 3. 2: Eşdüzey kavşakların sınıflandırılması

3.2.1 Kol Sayılarına Göre Eşdüzey Kavşak Tipleri

Eşdüzey kavşaklar kol sayılarına göre üç gruba ayrılmaktadır.

- Üç kollu kavşaklar (T, Çatal veya Y tipi Kavşaklar)
- Dört kollu kavşaklar
- Çok kollu kavşaklar

3.2.1.1 Üç Kollu Kavşaklar

Üç kesişen ayağın teşkil ettiği kavşak türüdür. Bu kavşaklarda kolları arasındaki açı 70 dereceden küçüktür (Yayla 2002).

Üç kollu kavşak tiplerinden olan T tipi kavşaklarda tali yol ve ana yol kesişim açıları 60 derece ile 120 derece arasında olmalıdır. Düşük trafik hacimli 2x1 şeritli kırsal yollarda kullanıldığı gibi, kent içinde 2x2 şeritli yollarda da kullanılabilir. Daha yüksek trafik hacimli kavşaklarda dönen trafiği kontrol altına alabilmek ve yeterli dönüş yarıçaplarını sağlayabilmek amacıyla kanalize edilerek uygulanırlar.

3.2.1.2 Dört Kollu Kavşak Tipleri

Dört kesişen kavşak ayağının oluşturduğu kavşaklardır. Eğer kavşak ayaklarından ikisi diğer ikisinin yaklaşık olarak uzantıları ise ve kesişme açıları 70 derece ile 105 derece arasında ise bu kavşaklar dört kollu dik kavşaklar olarak adlandırılır. Eğer kavşak ayaklarının arasındaki açı 70 dereceden küçük veya 105 dereceden büyük ise bu kavşaklar da dört kollu yatık kavşak olarak adlandırılır.

3.2.1.3 Çok Kollu Kavşak Tipleri

Eşdüzey kavşaklarda dörtten fazla yaklaşım kolunun olması normalde istenmeyen bir durumdur. Ancak tasarlanmak zorunda kalınırsa trafiğin çok yoğun olmadığı ve dur kontrolünün yapılabileceği yerler tercih edilmelidir. Çok kollu kavşaklarda, bir veya daha fazla kol ekseninin yeniden düzenlenerek oluşturulacak ikinci bir kavşaklar taşıt kesişmeleri azaltılabilir. Bazı durumlarda ise yaklaşım

kollarından bir veya birden fazlasını tek yönlü çalıştırmak da uygun çözüm yöntemi olabilir.

3.2.2 Trafik Denetleme Sistemlerine Göre Kavşaklar

Trafik kontrol sistemlerine göre kavşaklar üç gruba ayrılır. Bunlar;

- Sinyalize olmayan kavşaklar
- Sinyalize kavşaklar
- Dönel kavşaklardır.

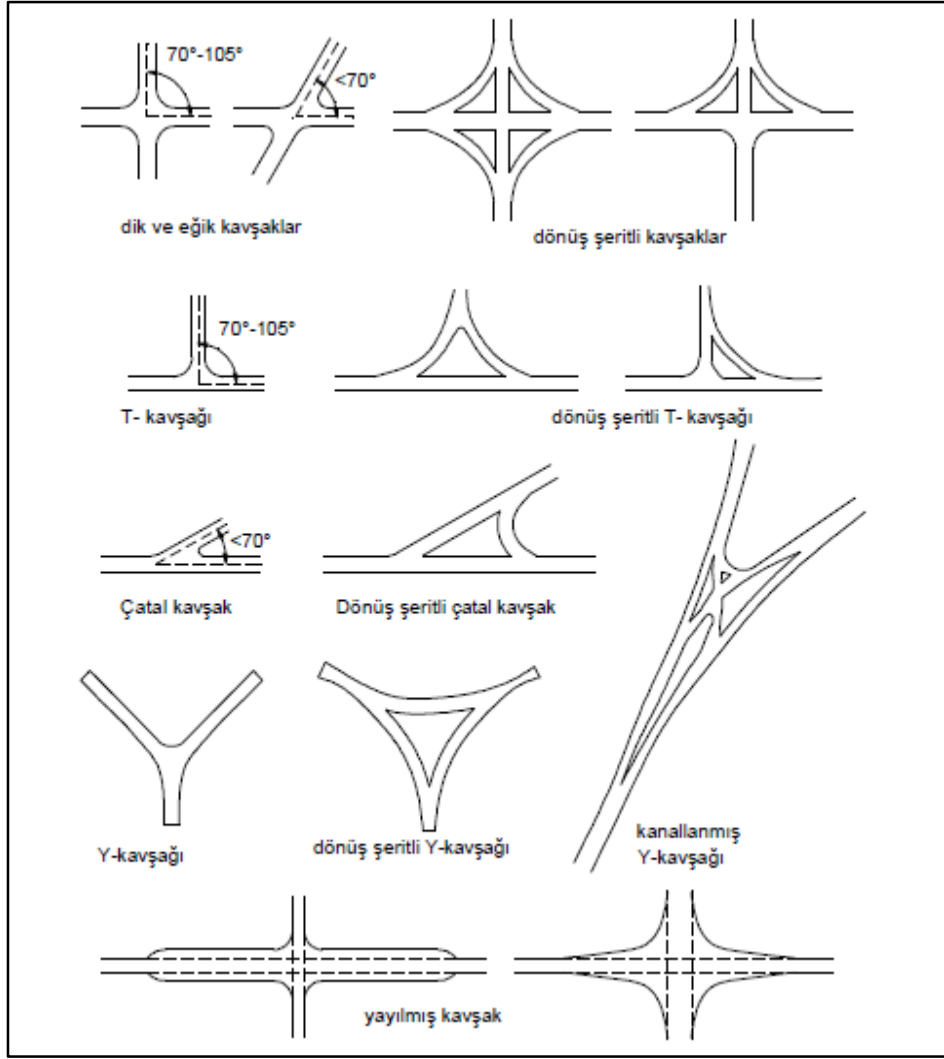
Sinyalize olmayan kavşaklar: Denetimsiz eşdüzey kavşak uygulamaları genelde trafik hacimlerinin az olduğu kavşaklarda kullanılmaktadır. Bu kavşaklarda taşıt hareketleri, burada bulunan trafik levhaları ile düzenlenmektedir. Kavşağa bağlanan kollardan biri sahip olduğu trafik hacmi veya geometrik standartları nedeniyle anayol durumundadır ve diğer kola göre geçiş üstünlüğüne sahiptir. Trafik güvenliği bakımından yan yol konumunda bulunan yolların kavşağa bağlandığı noktalara “DUR”, “YOL VER” anlamında trafik işaretleri yerleştirilir (Umar ve Yayla, 1992).

Sinyalize kavşaklar: Sinyalize kavşaklarda taşıt hareketleri polis veya ışıklı trafik sistemleri yardımıyla yönetilmektedir. Denetim çeşitleri bakımından üç başlığa ayrılabilir:

El ile kumanda: Bir yetkili veya trafik polisi tarafından yönetilen denetim yöntemidir.

Otomatik ışıkla kumanda: Kavşağa yaklaşma yönünde belli bir uzaklığa yerleştirilen detektörlerle kumanda sağlanır. Taşıt kavşağa girerken, tekerleğin detektöre yapacağı basınç ile kondansatör şarj olur ve taşıtın hızına göre, taşıtın kavşağı geçme süresince o yöndeki yeşil ışık açık tutulur. Diğer kollardaki taşıtların gereğinden fazla beklememeleri için bu yeşil ışık süresi sınırlıdır.

Zamana Bağlı Işıklı Kumanda: Denetimli kavşaklarda en sık kullanılan denetim yöntemidir. Kavşakta yapılan sayımlara göre elde edilen trafik hacimlerine göre kollardaki kırmızı, sarı ve yeşil süreleri ayarlanır ve trafik hacimlerindeki değişime göre bu süreler güncellenir. (Kutlu, 1991)



Şekil 3. 3: Eşdüzey Kavşak Tipleri (Umar ve Yayla, 1992)

Dönel Kavşaklar: Bu kavşaklar trafik akımlarının merkez ada etrafında saat yönünün tersine (trafik yönü sağdan olursa) doğru olduğu kavşak çeşitleridir. Çalışmanın ana konusunu oluşturduğu için sonraki bölümlerde detaylı olarak incelenecektir.

3.3 Kavşak Tipinin Seçimi

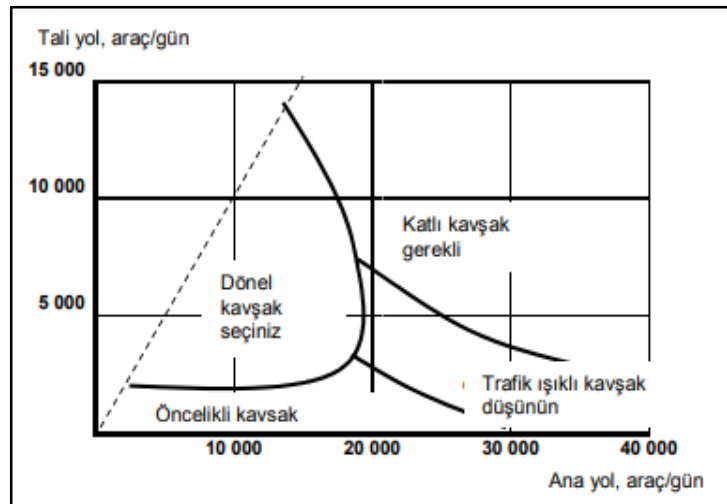
Kavşak tipinin seçiminde güvenlik, ortalama gecikme, arazi şartlarının uygunluğu ve ekonomik etkenler gibi parametreler göz önünde bulundurularak, bu şartlarda en iyi performansı gösterecek olan kavşak tipinin seçilmesi gerekmektedir.

Yapılan çalışmalar dönel kavşakların sinyalize kavşaklardan daha güvenli olduğunu göstermektedir. Aşağıdaki durumlar söz konusu olmadığında güvenlik sebeplerinden dolayı dönel kavşaklar seçilmelidir:

- Planlama koşullarının sinyalize kavşakların seçimini zorunlu kıldığı haller,
- Sinyalize kavşağın kullanılmasının sosyoekonomik açıdan daha avantajlı olduğu haller.

Arazi koşulları veya yolların güzergahına bağlı olarak dönel kavşağın kullanılması mümkün olmayan alanlar olabilir. Kavşağın, koordine olarak çalışan bir grup kavşağın bir parçası halinde olması veya sinyalize kavşakların yaygın olarak kullanıldığı bir bölgede olması durumunda sinyalize kavşak seçimi göz önünde bulundurulmalıdır.

Ana yol üzerinde yüksek trafik hacminin söz konusu olduğu durumlarda, sinyalize kavşaklardaki gecikmeler dönel kavşaklardakinden daha kısa sürelidir. Bu gibi durumlarda dönel kavşak yerine sinyalize kavşaklar tercih edilebilir. Aşağıdaki şekil, hangi trafik hacimleri için hangi kavşak tipinin ekonomik açıdan göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 3. 4: Trafik Hacmine Göre Kavşak Tipi Seçimi (KGM,2000)

3.4 Modern Dönel Kavşakların Tanımı ve Geometrik Elemanları

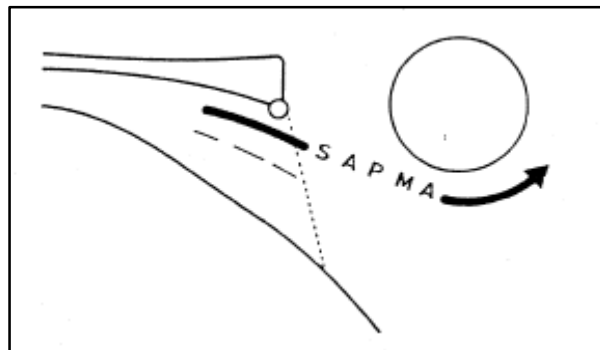
Dönel kavşaklar; merkezi bir trafik adası etrafında taşıtların saat yönünün tersine (eğer trafik sağdan akıyorsa) veya saat yönünde (eğer trafik soldan akıyorsa) hareket ettikleri yönlendirilmiş kavşaklardır (Janssens, 1994).

İngiltere ve Avustralya gibi trafiğin soldan aktığı ülkelerde de yol güvenliği ve kapasitesi açısından yeni tip dönel kavşakların kullanımı yaygınlaşmıştır. Modern dönel kavşakların sinyalizasyon kavşaklara oranla tercih edilmesinin nedenleri olarak:

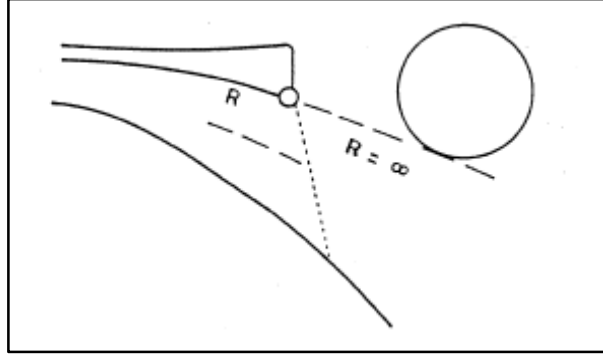
- Kavşağın geometrik yapısı sayesinde sürücülerin yavaşlamaya mecbur bırakılması nedeniyle kazalarda sayısal olarak ve şiddet olarak fark edilebilir azalma,
- Işıklı kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulmaması,
- Kavşaklardan geçişlerde gecikmelerin azalması,
- Yaya geçiş olanaklarının sağlanması,
- Yapım, bakım ve işletim masraflarının büyük oranda azalması,

gösterilebilir. (Ouston ve Bared, 1995)

Bu tip kavşakların önemli özelliklerinden biri kavşağa gelen taşıtların, kavşak girişinde yavaşlama ve durmaya mecbur edilmesi ve merkez ada etrafında dönüş hareketi yapan taşıtlara yol verip uygun boşluklarda trafik akımına dâhil olmasıdır. Modern dönel kavşakların bir diğer önemli özelliği ise yaklaşım kollarında araçların güzergâhlarının saptırılması (Şekil 3.5), dur işaretlerinin etkin kullanılması ve kavşak girişlerinde şerit sayılarının artırılmasıdır (Şekil 3.6).



Şekil 3. 5: Dönel Kavşak Girişinde Araç Yönünün Saptırılması



Şekil 3. 6: Dönel Kavşak Girişinde Şerit Sayısının ve Genişliğinin Arttırılması (Austron ve Bared, 1995)

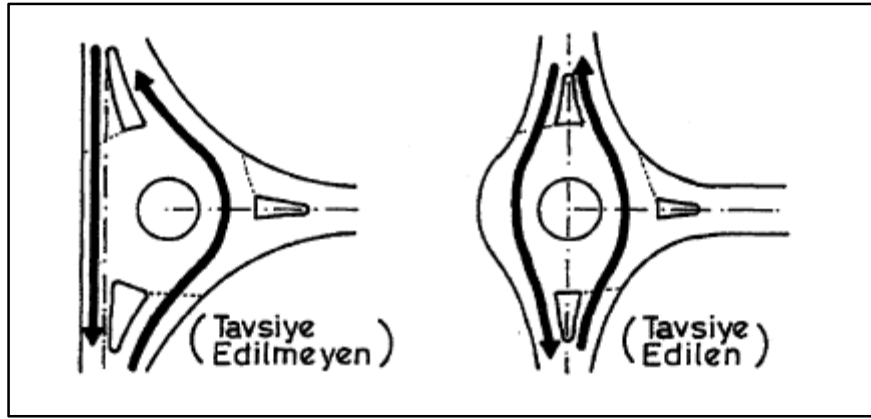
Dönel kavşaklar trafik akımlarının düzenlenmesinde aşağıdaki koşullarda uygun sonuçlar vermektedir:

- İş merkezi olmayan yerleşim bölgelerinde
- Kavşağa dörtten fazla yaklaşım kolunun bağlanması durumunda,
- Anayoldaki hızların azaltılmasında,
- Kazalar açısından “kara nokta” olarak belirlenmiş noktalarda,
- Günlük ve mevsimlik trafik hacimlerinin sık değişiklik gösterdiği bölgelerde,
- Sağa ve sola dönüş hacimlerinin fazla olduğu kesimlerde,
- Zonlar arası geçiş noktalarının düzenlenmesinde,
- Anayol trafik hacminin saatte 5000 aracı geçtiği kavşaklarda,
- Çevre düzenlemelerinde (Oustron ve Bared, 1995);(Stuwe, 1991).

Avrupa ülkelerinde ve Avustralya’da yapılacak olan yeni hemzemin kavşaklar modern dönel kavşak olarak tercih edilmekte ve eski tip kavşaklar da bu tür kavşaklara dönüştürülmektedir. Bunun nedenleri olarak; kaza sayılarında olan azalma, kavşak geometrisi nedeniyle taşıtların düşük hızlarda seyahat etmeleri, diğer kavşak türlerine göre gecikmelerin azalması, ışıklı denetim sistemlerine gerek duyulmaması, yüksek araç kapasitesi gösterilebilir.

Ülkemizde dönel kavşaklar Avrupa’daki kadar olmasa da sık kullanılan kavşak tiplerindedir. Ancak ülkemizde bulunan dönel kavşaklar genelde, modern dönel

kavşaklar olarak değerlendirilemezler. Dönel kavşakların önemli özelliklerinden olan, kavşağa yaklaşan taşıtların güzergahlarının saptırılması ve hızlarının düşürülmesi ülkemizde bulunan dönel kavşak olarak inşa edilmiş hemzemin kavşaklarda uygulanamamaktadır. Bunun en önemli nedeni, özellikle ana yol üzerindeki yol güzergahının yuvarlak ada etrafında yönünün saptırılmaması, yuvarlak adaya teğet şekilde geçirilmesidir (Şekil 3.14). Ayrıca Ülkemizde bulunan dönel kavşaklarda ada etrafında dönen akıma geçiş üstünlüğü verilmesi kuralına uyulmamaktadır.



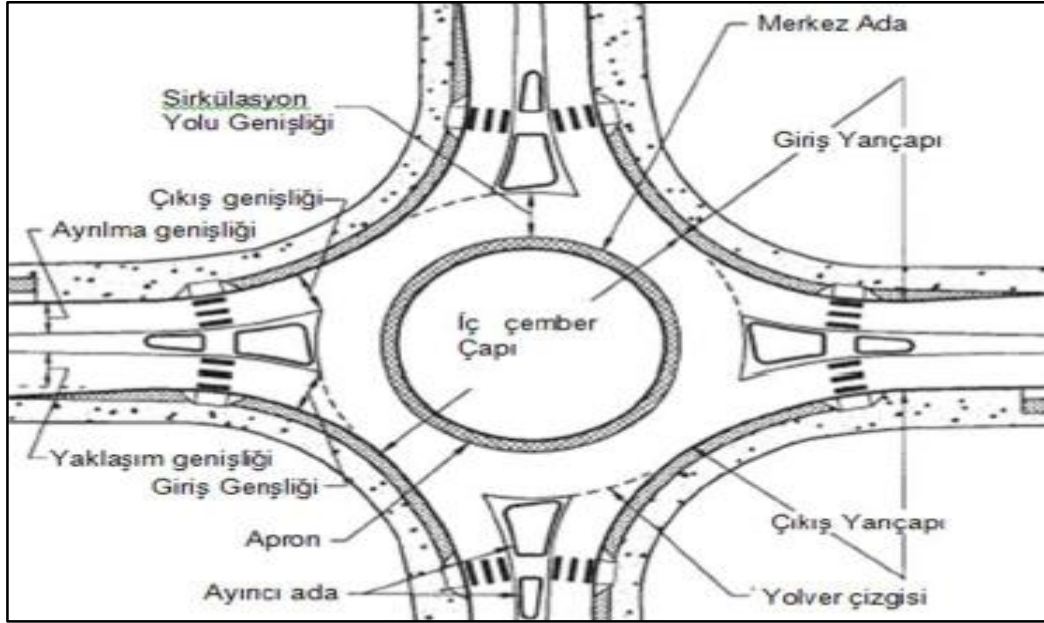
Şekil 3. 7: Dönel Kavşaklarda Teğet Geçiş (Seim, 1991)

3.4.1 Modern Dönel Kavşakların Geometrik Özellikleri

Dönel kavşakların geometrik özellikleri kavşak performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kavşağın iyi projelendirilmesi kapasitenin yanında kavşak güvenliğini de arttıracaktır. Dönel kavşakların projelendirilmesinde dikkate alınacak ana elemanlar şu şekildedir (Tanyel, 2001);

- Proje tip aracı ve hızı,
- Görüş mesafesi,
- Sapma derecesi
- Merkez ada çapı
- Dönüş şeridi genişliği
- Giriş ve çıkış şeritleri sayısı
- Ayırıcı ada
- Yatay, düşey işaretlemeler ve aydınlatma

Şekil 3.15’de dikkate alınması gereken bazı geometrik elemanlar gösterilmektedir.

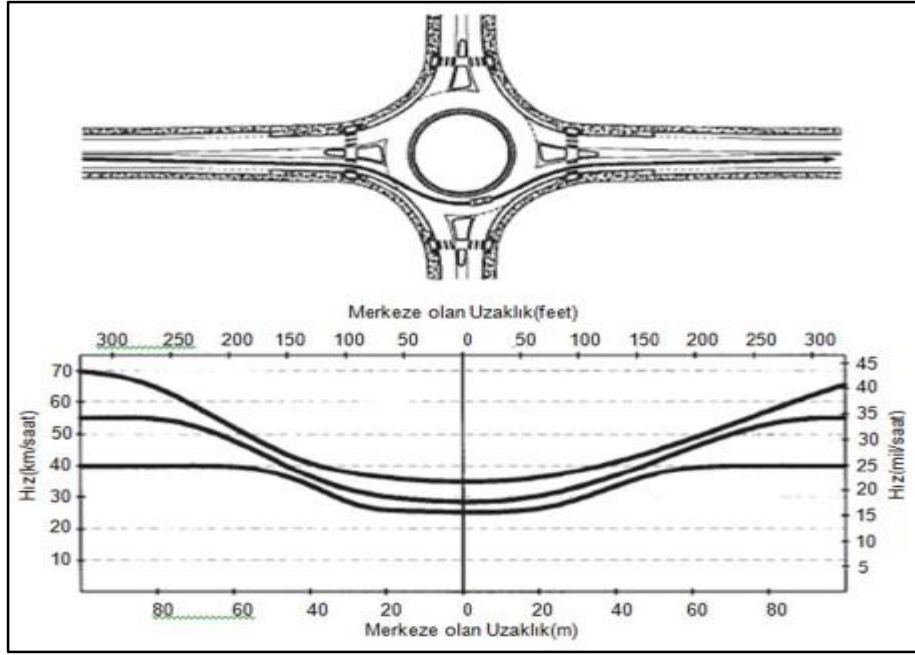


Şekil 3. 8: Modern Dönel Kavşak Geometrik Elemanları (FHWA, 2000)

3.4.1.1 Proje Tip Aracı ve Hızı

Dönel kavşaklar kavşağa giriş, kavşaktan çıkış ve kavşakta dönüş yapacak en büyük boyutlu araçların manevralarını yapabilecekleri boyutta tasarlanmalıdır. Dönel kavşakların tercih edilmesindeki en önemli etkenlerden birisi, kavşağın düşük hızda çalıştırılması ve böylece kaza oranlarının düşürülmesidir.

Yapılan çalışmalarda dönel kavşakların 40-50 km/sa hızlarla işletildiği ancak kavşak girişlerinde ve merkez ada etrafında bu hızların 25-30 km/sa civarında oldukları gözlenmiştir. Dönel kavşak tiplerine göre tavsiye edilen maksimum tasarım giriş hızları Şekil 3. 17’de verilmiştir.



Şekil 3. 9: Şehir içi Kompakt Tasarım İçin Teorik Hız Profili (FHWA, 2000)

Tablo 3. 1: Tavsiye edilen maksimum giriş tasarım hızları (FHWA, 2000)

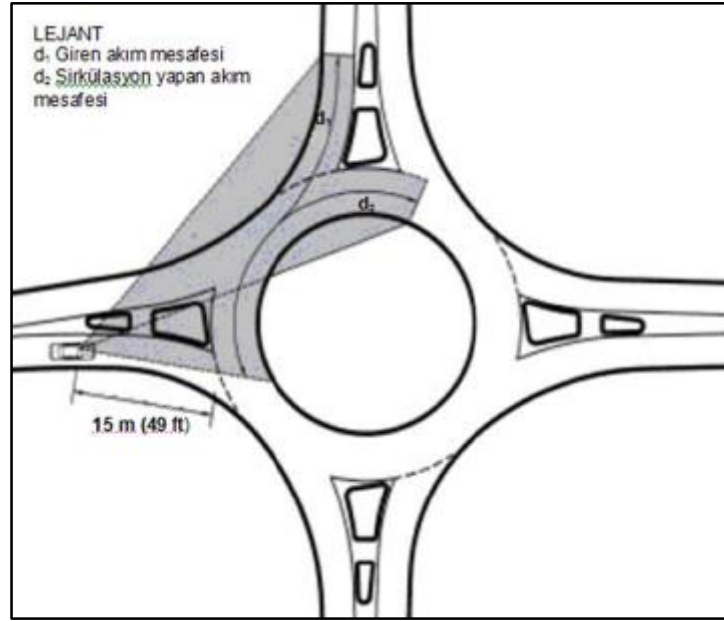
Arazi kategorisi	Tavsiye edilen maksimum tasarım giriş hızı (km/sa)
Mini dönel kavşak	25
Şehir içi kompakt	25
Şehir içi tek şeritli	35
Şehir içi çift şeritli	40
Kırsal tek şeritli	40
Kırsal çift şeritli	50

3.4.1.2 Görüş Mesafesi

Yeterli görüş mesafesinin sağlanmasında aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır.

- Yaklaşım kollarından kavşağa gelen sürücülerin ayırıcı ada, merkez ada ve dönüş şeritlerini rahatça görebilmeleri sağlanmalı, bu görüşü engelleyecek herhangi bir fiziki engel ortamdandır kaldırılmalıdır.
- Duruş çizgisinde bekleyen bir sürücü kendinden önceki yaklaşım kolundan kavşağa giriş yapan araçların girişlerini, en az kritik aralık değeri kadar uzaktan görebilmelidir. 50 km/sa seyir hızı ve 70 m mesafe, düşük dönüş

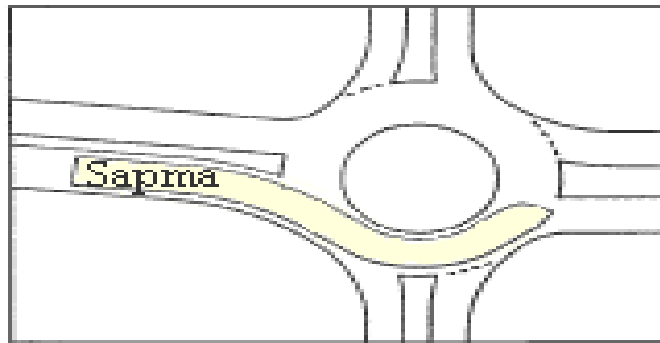
akımına sahip kavşaklar için yeterli olmaktadır. (Taekratok,1998). Daha yoğun kavşaklarda 4 saniyelik kritik aralık kabulü yeterli olacaktır.



Şekil 3. 10: Kavşak görüş mesafesi (FHWA, 2000)

3.4.1.3 Sapma Derecesi

Dönel kavşakların tercih edilmesinin en önemli nedenlerinden biri araçların güzergahlarından saptırılarak kavşak giriş, çıkışlarında ve doğru geçişlerinde hızlarının düşürülmesidir. Yeterli derecede yaptırılan saptırmalar kavşak güvenliğini arttırarak kaza oranlarını azaltmaktadır.



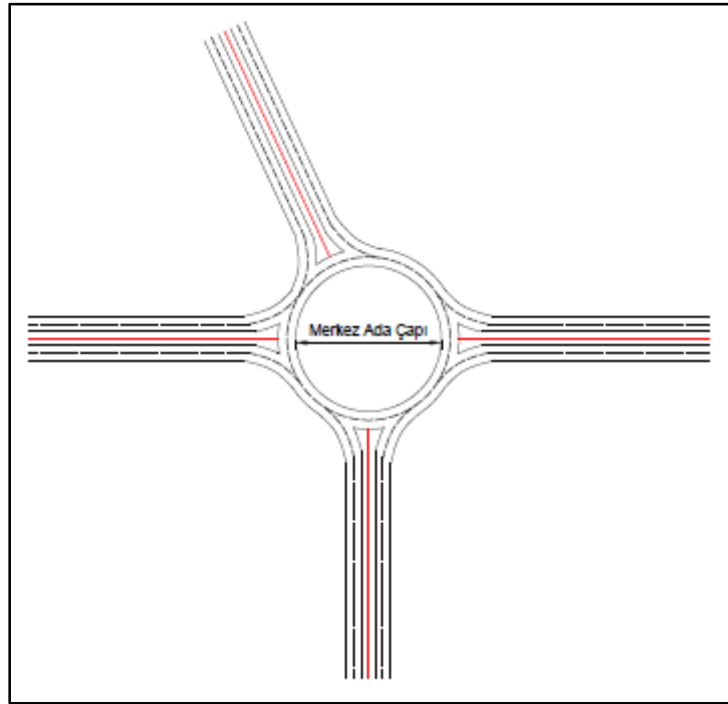
Şekil 3. 11: Trafiğin Doğrultusundan Sapma Sağlanması (SWEROAD, 2000)

3.4.1.4 Merkez Ada Çapı

Merkez ada kavşağın ortasında bulunan taşıtların üstünden geçemedikleri, etrafında dönüş hareketi yaptıkları kısımdır. Bazı durumlarda uzun ve ağır taşıtların dönüşlerini kolaylaştırmak için, merkez ada etrafında kamyon apronu adı verilen üzeri pürüzlü bir kısma yer verilebilir.

Merkez adanın çapı kavşağı kullanabilecek bütün taşıtların dönüş hareketlerini yapmalarına olanak sağlamalı ve yaklaşım kollarında yeterli derecede sapma yapılmasına uygun olmalıdır.

Bu çalışmada merkez ada çapının kavşak performansına etkisi Bölüm 5'te detaylı olarak incelenmiştir.



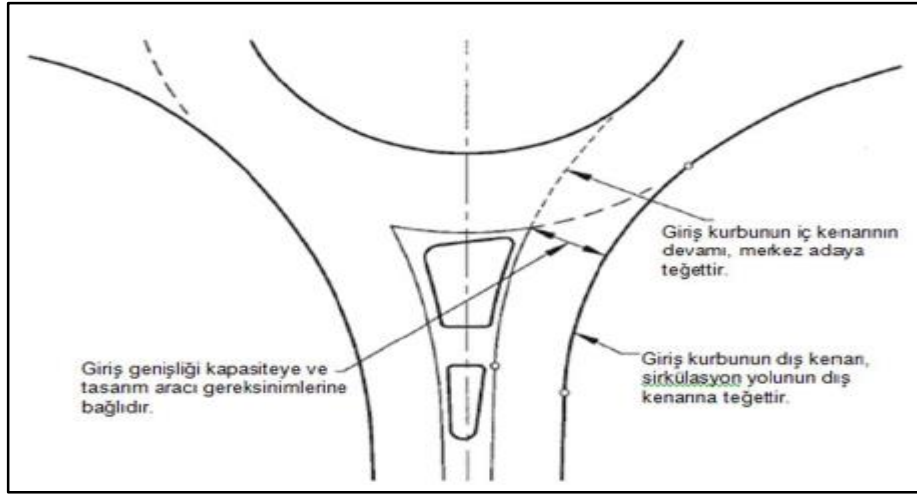
Şekil 3. 12: Dört kollü dönel kavşak örneği

3.4.1.5 Dönüş Şeridi Genişliği

Dönüş şeridi genişliği, düzgün bir hareket sağlanabilmesi için, giriş ve çıkış şeritlerinin sayısı ve genişliği ile kavşağın genel durumuna göre değişir. (Taekratok, 1998). Genelde yapılan kabul maksimum giriş genişliğinin "1" ile "1,2" katı olarak seçilmesidir.

3.4.1.6 Giriş ve Çıkış Şeritleri

Giriş ve çıkış şeritlerinin kavşak kapasitesi üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Giriş şeritleri, araçların yan yoldan kavşağa girerken yavaşlamalarını sağlamalı, çıkış şeritleri ise araçların en kısa sürede kavşağı ter etmelerini mümkün kılacak şekilde düzenlenmelidir.

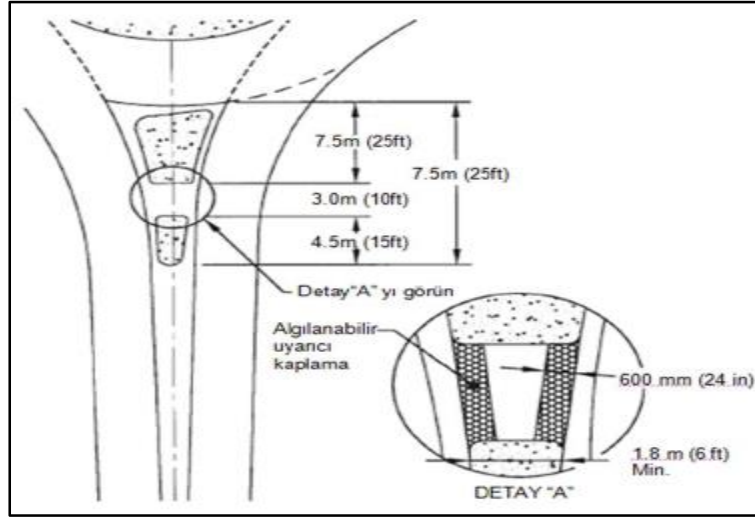


Şekil 3. 13: Dönel Kavşak Giriş Tasarımı (FHWA, 2000)

3.4.1.7 Ayırıcı Ada

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

- Giriş akımını fiziksel olarak ayırmak ve sürücülerin yanlış yöne gitmelerini engellemek
- Kavşak giriş ve çıkışlarında yapılan sapmaları kontrol altına almak
- Yayalara sığınma alanı yaratmak ve trafik işaretlerinin yerleştirileceği alan oluşturmak.



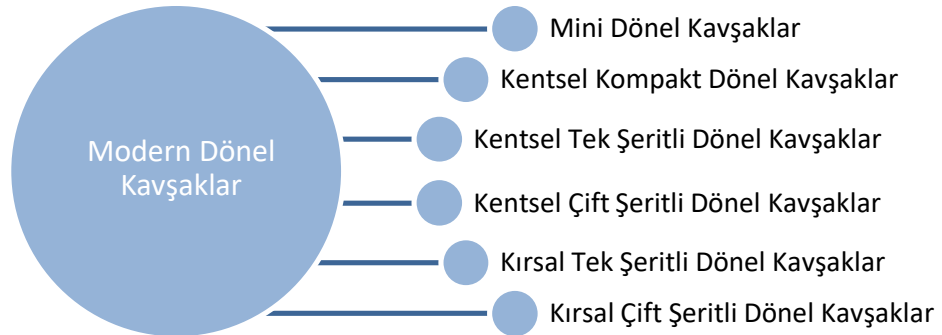
Şekil 3. 14: Minimum ayırıcı ada boyutları (FHWA, 2000)

3.4.1.8 Yatay Düşey İşaretlemeler ve Aydınlatma

Dönel kavşakların en önemli çalışma prensibi, yaklaşım kollarından kavşağa giriş yapan araçların merkez ada etrafında dönüş yapan araçlara yol vermesidir. Bu nedenle kavşak girişlerinde “DUR” veya “YOL VER” işaretlerinin yerleştirilmesi gerekmektedir. Kavşaklarda yapılan aydınlatmaların sürücüler tarafından kolay anlaşılır ve gündüz saatlerindeki görüş mesafeleri gece saatlerinde de bu aydınlatmalar ile sağlanmalıdır.

3.4.2 Modern Dönel Kavşakların Sınıflandırılması

Modern dönel kavşaklar buldukları yer, şerit sayıları ve boyutlarına göre altı gruba ayrılmaktadır. Bunlar;



Şekil 3. 15: Modern dönel kavşak çeşitleri (FHWA, 2000)

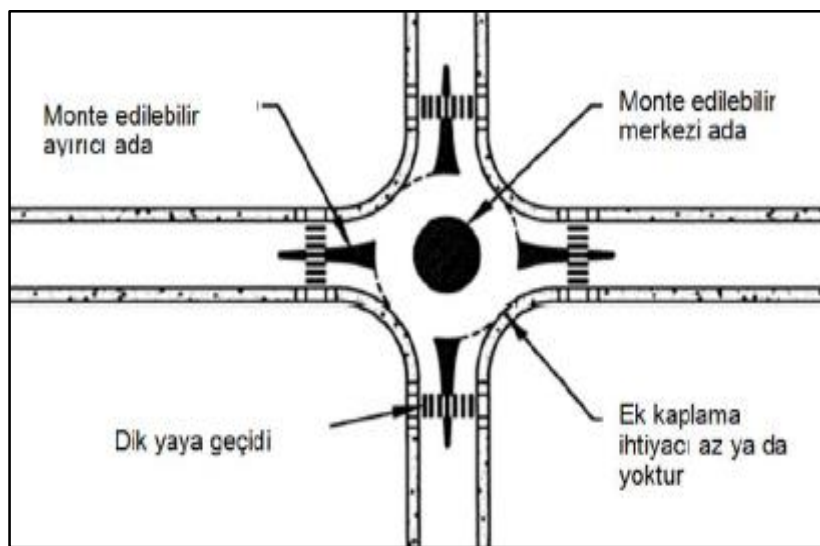
Bu kavşakların temel özelliklerine ait karşılaştırma aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3. 2: Modern dönel kavşakların temel özelliklerinin karşılaştırılması (FHWA, 2000)

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

3.4.2.1 Mini Dönel Kavşaklar

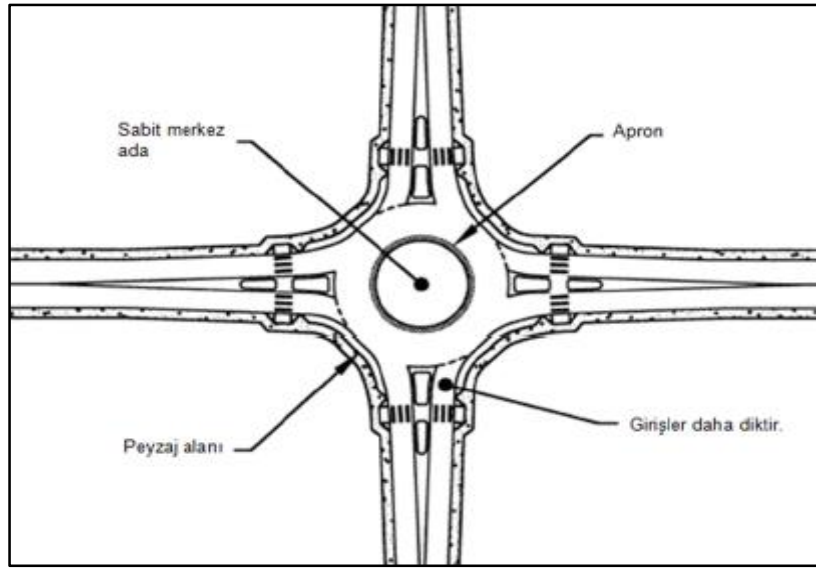
Mini dönel kavşaklar daha çok düşük hızlı şehir alanlarında görülmektedir. Ortalama işletim hızları 60 km/sa olan küçük dönel kavşaklardır. Bu kavşaklar kamulaştırmanın zor olduğu ve düşük hızların görüldüğü şehir içi kesimlerde görülmektedir. Maliyetleri yüksek olmadıkları için dönüştürmeye uygundur. Kentsel kompakt dönel kavşağın uygulanmadığı yerlerde tercih edilebilirler. Şekil 3.25'te tipik bir mini dönel kavşak verilmiştir.



Şekil 3. 16: Mini dönel kavşak (FHWA, 2000)

3.4.2.2 Kentsel Kompakt Dönel Kavşaklar

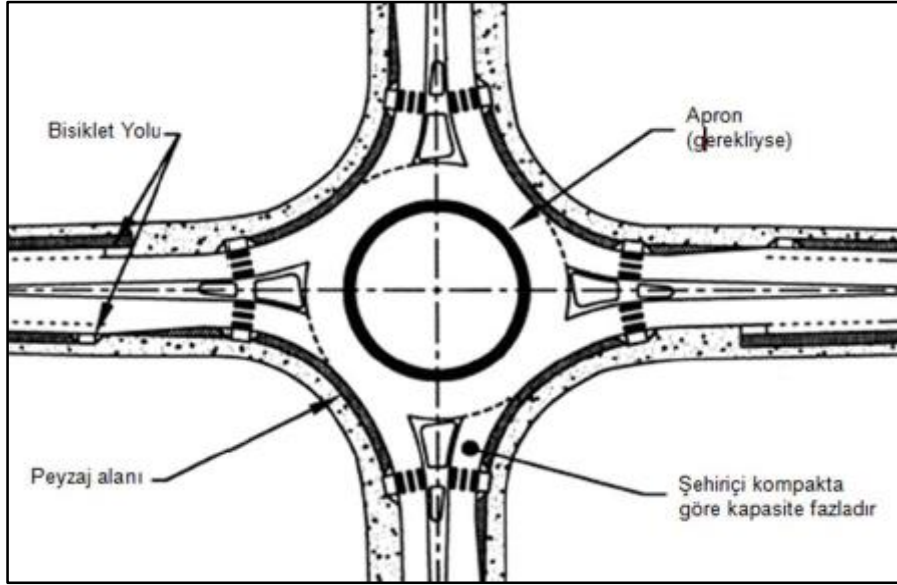
Bu tip kavşaklarda ana amaç yayaların kavşağı etkin bir şekilde kullanmalarını sağlamaktır. Kentsel kompakt dönel kavşaklar için kapasite kritik bir konumda olmamalıdır. Ayırıcı adalar arasında hemzemin yaya geçitleri olmalıdır. Sirkülasyon yapılacak merkez ada etrafında manevra yapamayan büyük taşıtlara hizmet vermek için bir apron bulunmalıdır. Şekil 3.26'da kentsel kompakt dönel kavşak tasarımı verilmiştir.



Şekil 3. 17: Kentsel kompakt dönel kavşak (FHWA, 2000)

3.4.2.3 Kentsel Tek Şeritli Dönel Kavşaklar

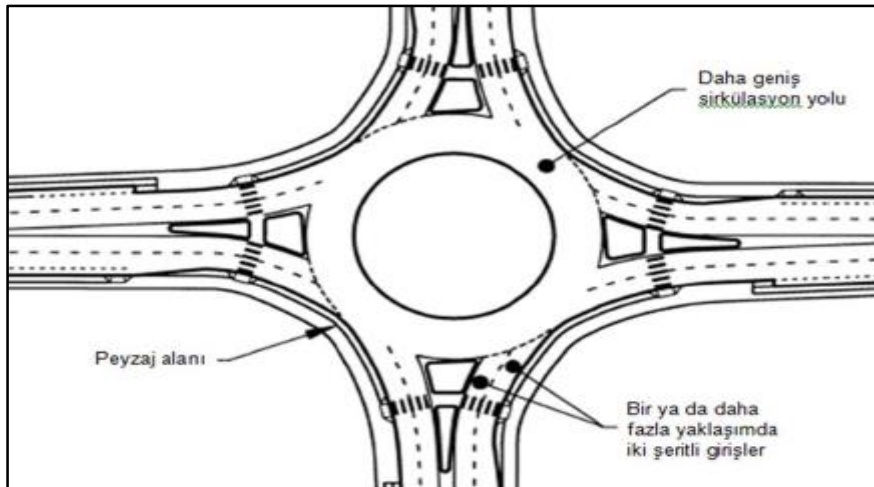
Bu tür dönel kavşaklarda yaklaşım kolları ve sirkülasyon yolu tek şeritlidir. Şekil 3.27'de görüldüğü gibi dış çember çapı daha büyük, kavşağı giriş ve çıkışlar daha yumuşak olduğundan kapasiteleri daha fazladır. Giriş, sirkülasyon yolu ve çıkış tasarımları daha yüksek hızlara olanak sağlamaktadır.



Şekil 3. 18: Kentsel tek şeritli dönel kavşak (FHWA, 2000)

3.4.2.4 Kentsel Çift Şeritli Dönel Kavşaklar

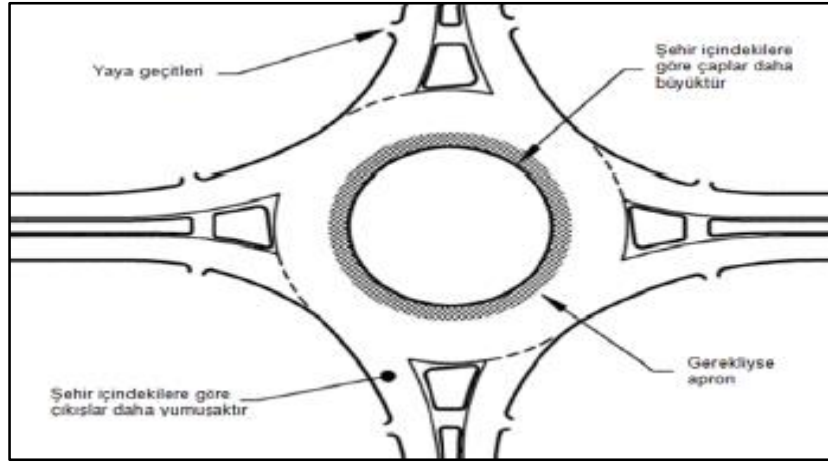
Kentsel çift şeritli dönel kavşaklar kent içinde bulunan ve en az bir yaklaşım kolundaki girişi iki şeritli olan dönel kavşakları kapsamaktadır. Yaklaşım kollarının giriş ağzları bir şeritten iki şeride genişleyen kavşaklar da bu kategoriye dahil edilmektedir. Sirkülasyon yolu en az iki aracın geçişine uygun olup, işletim hızları tek şeritli dönel kavşaklara benzerdir. Yaya ve bisikletliler için yollar belirli şekilde düzenlenmelidir. Şekil 3.28’de kentsel çift şeritli dönel kavşak tasarımı verilmiştir.



Şekil 3. 19: Kentsel çift şeritli dönel kavşak (FHWA, 2000)

3.4.2.5 Kırsal Tek Şeritli Dönel Kavşaklar

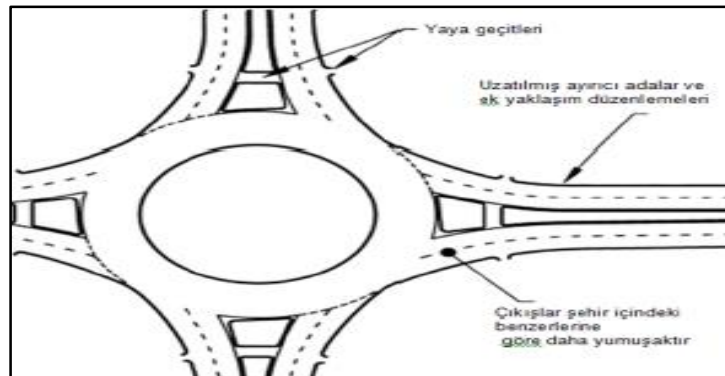
Kırsal tek şeritli dönel kavşaklardaki yaklaşım hızları 80-100 km/sa aralığında olduğu için sürücülerin kavşağa girmeden önce hızlarını azaltıcı geometrik elemanları vardır. Daha yüksek hızlara hizmet verebilmek için kırsal dönel kavşakların merkez ada çapları kentiçi dönel kavşaklara göre daha büyüktür. Çapları büyük oldukları için büyük taşıtların dönüş yapmasına yardımcı olmak adına aprona gerek yoktur.



Şekil 3. 20: Kırsal tek şeritli dönel kavşak (FHWA, 2000)

3.4.2.6 Kırsal Çift Şeritli Dönel Kavşaklar

Yaklaşım hızları 80-100 km/sa aralığındadır. En az bir yaklaşım kolunda giriş iki şeritli veya bir şeritten iki şeride genişlemektedir. Kentsel çift şeritli kavşaklara benzemektedir. İşletme hızları fazla, çaplar büyüktür.



Şekil 3. 21: Kırsal çift şeritli dönel kavşak (FHWA, 2000)

3.5 Kapasite Hesap Yöntemleri

Kapasite, Drew (1968) tarafından, hakim yol ve trafik koşulları altında yolun veya bir şeridin bir noktasından geçebilecek maksimum araç sayısı olarak tanımlanmıştır. Bu tanım tek bir trafik akımı için uygulanabilir olsa da özellikle kavşaklarda görülen daha karmaşık durumlarda kapasiteyi etkileyen farklı unsurlar bulunmaktadır. Kapasite en basit hali ile aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$Q_R = \sum_{i,l} Q_{il} \quad (3.1)$$

Burada:

Q_R = Dönel kavşağın toplam kapasitesi,

Q_{il} = Kavşağa bağlanan “i” yaklaşım kolundaki “l” şeridinin kapasitesi

olarak tanımlanmaktadır (Hangring, 1996);(Kerenyi,1998).

Hangring (1998) kapasiteyi en yüksek hacme sahip olan giriş şeridinin tam doygun olduğu durum olarak da tanımlamıştır. Bir şeridin doygunluk derecesi, şeritten birim zamanda geçen araç sayısının, aynı zaman biriminde geçebilecek en yüksek araç sayısına, yani kapasiteye oranıdır. Bu oranın “1” olması halinde şerit tam kapasite olarak çalışmaktadır.

Dönel kavşakların kapasitelerinin hesaplanması için iki ana yöntem bulunmaktadır. Bunlar:

- Geometrik yöntem
- Davranışsal yöntemdir

Geometrik yöntem, zirve saatlerde dönel kavşağa giren ve kavşakta dönüş hareketi yapan araçların etkileşimini incelemektedir. Yöntemde, regresyon parametre değerlerinin, bağlı geometrik parametrelerle ilişkilendirilmesine çalışılmaktadır. Bu geometrik parametrelere şerit sayısı, yuvarlak ada çapı, yaklaşım kollarının sayısı,

yaklaşımın giriş ve çıkış noktaları arasındaki mesafe örnek olarak gösterilebilir (Tanyel, 2001).

Davranışsal yöntemde ise, kavşağın geçiş hakkına sahip dairesel tek yönlü yola bağlanan T şeklinde kavşaklardan oluştuğu kabul edilmektedir. Bu, sürücü davranışına ve kritik aralık kabul teorilerini temel alan klasik kavşak teorisinin uygulanmasını mümkün kılmaktadır (Tanyel, 2001).

Geometrik yöntemle ilgili anlamlı bir kapasite hesabı yapılabilmesi için incelenen kolda en az yarın saat boyunca sürekli kuyruk olması gerekmektedir. Bu durum haricinde yapılan analizler anlamlı sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle davranışsal yöntemlerin uygulanması yoluna gidilmektedir. Davranışsal yöntemlerin en önemlisi kritik aralık kabulü yöntemidir. Aşağıda regresyon modelleri ve kritik aralık kabulü modelleri ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

3.5.1 Regresyon Modelleri

Kimber (1980), davranışsal yöntemle alternatif olarak regresyon modellerini öne sürmüştür. Bu yöntemin amacı değişik trafik akım parametreleri ve geometrik elemanlar arasında bir ilişki kurabilmektir. Bu yöntemde en önemli çalışmalar, İngiliz, Alman ve Fransız yöntemleridir.

Bu yöntemle göre bir şeridin kapasitesi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

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

Burada;

Q_e : Kavşağa girebilecek maksimum araç sayısı (araç/saat)

Q_c : Dönen araç sayısı (araç/saat)

F ve f_c = Geometrik ve trafik akımına bağlı parametrelerdir. (Janssens, 1994)

3.5.1.1 İngiliz Yöntemi

Dönel kavşakların kapasitelerinin hesaplanmasına yönelik ilk çalışmalar, 1930'lu yıllarda Watson ve Royal-Dawson tarafından yapılmıştır. Her ikisi de, bir örülme alanından geçebilen araç sayısının araçların fiziksel özelliklerini, seyir hızlarını ve kesişen akımların birleşme açılarının dikkate alınarak hesaplanması üzerinde durmuştur. Çalışmaları sonucunda değişik kavşak geometrileri için 1200-1800 araç/sa kapasite değerleri hesaplamışlardır. Amerika'da yapılan araştırmalara göre ise maksimum kapasitenin 1500 araç/sa olduğu belirtilmiştir.

Clayton, Dönel kavşağın kapasitesinin örülen trafiğe bağlı olduğu kabulüne göre çalışmalar yapmıştır. Clayton formülünde örülme faktörü, örülen trafik oranına, birleşme açısına ve örülme alanının genişliğine bağlı olarak hesaplanmıştır. Clayton'ın bu çalışmaları başta büyük kabul görmesine rağmen İngiltere ve Amerika'da yapılan araştırmalara göre kapasitenin aşağıdaki parametrelere bağlı olduğu belirlenmiştir:

- Örülme uzunluğu (L) (m)
- Örülme genişliği (w_w) (m)
- Ortalama giriş genişliği (w_e) (m)
- Örülme hareketinde bulunan araç oranı (p)
- Ağır ve orta ağır araç oranı (h)

Bu değişkenlere bağlı olarak aşağıdaki kapasite formülü elde edilmiştir:

$$Q_e = \frac{108w_w(1 + w_e / w_w)(1 - p / 3)}{(1 + w_w / L)} \quad (3.3)$$

Bu formül, Wardrop formülü olarak bilinmektedir. Pratik kapasite değeri bu formülden elde edilen değer %80'i alınarak bulunabilir. Bunun sebebi önceki ve sonraki örülme alanlarının, incelenen örülme alanı üzerindeki etkisidir.

Günümüzde kullanılan kapasite hesap yöntemi ise 1970'li yıllarda Kimber tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, kavşağa bağlanan yaklaşım kollarındaki kapasitenin, bu koldaki akımların karşılaşacağı ada çevresinde dönen akımların bir fonksiyonu olduğu temeline dayanmaktadır.

Yapılan gözlemler sonucunda elde edilen kapasite formülü:

$$Q_e = F - f_c Q_c \quad (3.4)$$

Q_c : Dönen araç sayısı (araç/saat)

F ve f_c = Geometrik ve trafik akımına bağlı parametrelerdir.

Bu parametreler aşağıdaki bağıntılardan elde edilebilir.

$$F = 303 * x_2 * k \quad (3.5)$$

$$f_c = 0.210 * t_D * k * (1 + 0.2 * x_2) \quad (3.6)$$

Bu denklemlerdeki değişkenler ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$k = 1 - 0.00347 * (\emptyset - 30) - 0.978 * (1 / r - 0.05) \quad (3.7)$$

$$t_D = 1 + \frac{0.5}{1 + e^{[(D_c - 60)/10]}} \quad (3.8)$$

$$x_2 = w_a + \frac{w_e - w_a}{1 + 2 * V} \quad (3.9)$$

$$V = 1.6 * \frac{w_e - w_a}{l'} \quad (3.10)$$

w_a = Yaklaşım kolunun yarı genişliği (m),

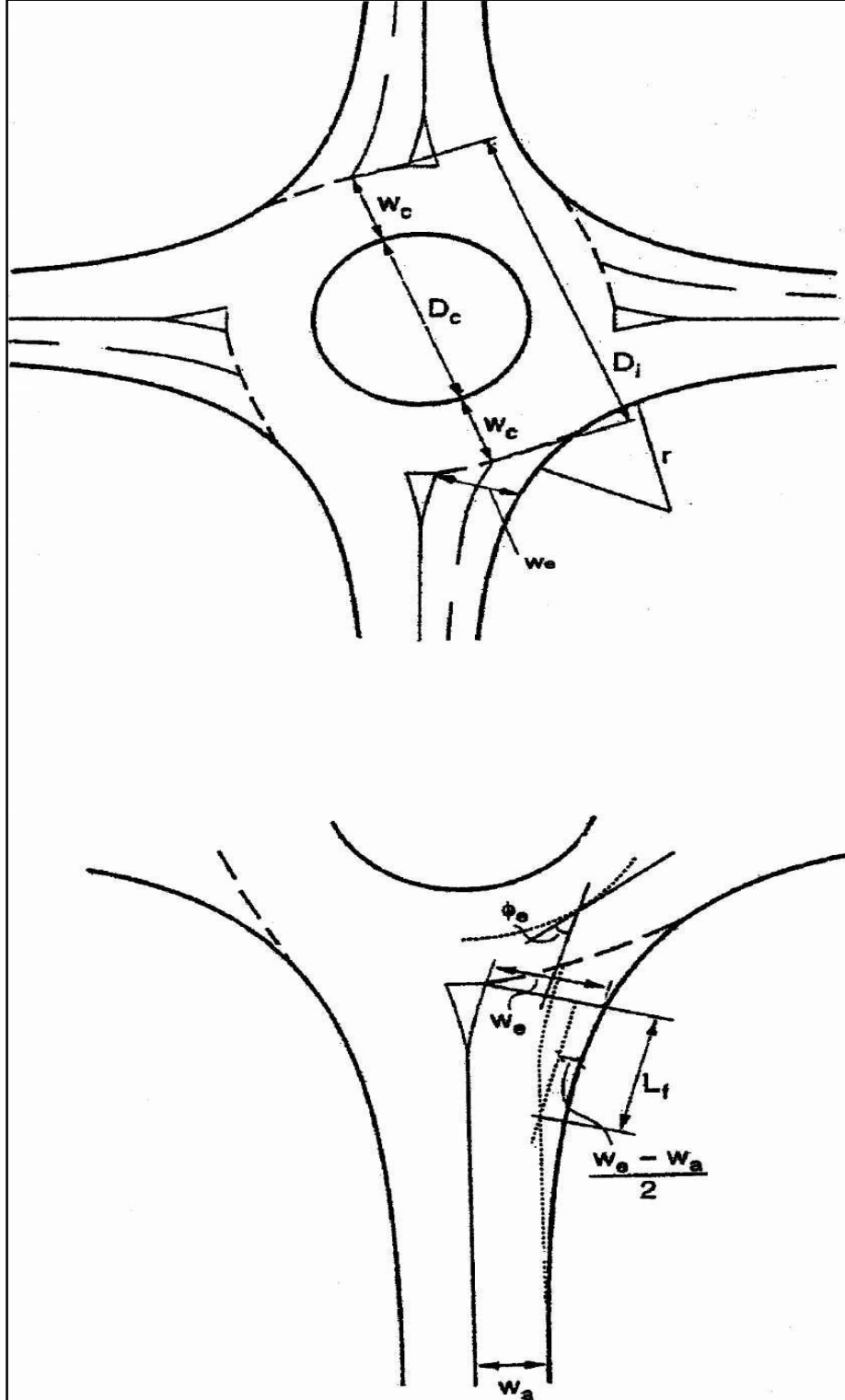
w_e = Yaklaşım kolu ağzında, kavşak dış kenarına dik olarak ölçülen açıklık (m),

r = Giriş yarıçapı (yaklaşım kolunun ağzındaki minimum eğiklik yarıçapı) (m),

\emptyset = Giriş açısı (kavşağa giren ve ada etrafında dönen akımların yörüngeleri arasındaki açı),

l' = Yaklaşım bölgesinin ağız bölgesinde ortalama etkin genişleme uzunluğu (m),

d_c = Kavşağın yarıçapıdır (m).



Şekil 3. 22: İngiliz kapasite hesap yönteminde kullanılan parametreler (Akçelik, 1998)

Tablo 3. 3: Giriş kapasite değerlerinin ölçülmüş ve pratik değerleri (Kerenyi, 1998)

Notasyon	Pratik Aralık	Ölçülen Aralık
I'	10.0-100.0 m	1.0-30.0 m
W_e	4.0-15.0 m	3.6-16.5 m
W_a	2.0-7.3 m	1.9-12.5 m
	10-60	0-77
R	6.0-100.0 m	3.4 m-sonsuz
Di	15.0-100.0 m	13.5-171.6 m
V		0-2.9

3.5.1.2 Alman Kapasite Hesap Yöntemi

Bu kapasite hesap yöntemi geliştirilirken gözlemler, Almanya'da on kavşak üzerinde yapılmıştır. Bu kavşakların çapları 28 ila 100 m arasında değişmektedir. Bu on kavşaktan ikisi tek şeritli, yedisi çift şeritli ve biri de üç şeritli olarak seçilmiştir. Akımlar 29 kolda video kamera ile belirlenmiş ve yaklaşan ve dönen akımlar 1'er dakikalık aralıklarla sayılmışlardır.

Ağır araç ve iki tekerlekli araçların birim otomobil değerine dönüştürülmesi için aşağıdaki tabloda verilen değerler kullanılmıştır.

Tablo 3. 4: Birim otomobil dönüşüm katsayıları (Stuwe, 1991)

Araç Tipi	Dönüşüm Katsayısı
Bisiklet vb.	0,5
Otomobil	1
Münibüs	1,5
Otobüs ve Kamyon	2
Ortalama (Genel)	1,1

Ancak yapılan araştırmalar, yaklaşım kollarının eğimlerinin de birim otomobil dönüşüm katsayılarında etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu durumda katsayılar Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 3. 5: Yaklaşım kolları eğimlere göre dönüşüm katsayıları (Brilon v.d., 1993)

Yaklaşım Eğimi %s	Araç Tipi				
	Bisiklet vb.	Otomobil	Münibüs	Otobüs ve Kamyon	Ortalama
4	0,7	1,4	3,0	6,0	1,7
2	0,6	1,2	2,0	3,0	1,4
-2	0,4	0,9	1,2	1,5	1,0
-4	0,3	0,8	1,0	1,2	0,9

Gözlemler sonucunda elde edilen en uygun regresyon eğrisinin, üssel eğri olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen formül İngiltere’de Kimber tarafından (1980) ve Fransa’da Simon tarafından (1988) yapılan çalışmalara göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Alternatif formül olarak da adlandırılan bu formül aşağıda verilmiştir. (Stuwe, 1991)

$$Q_e = A * e^{Z/10000 * Q_c} \quad (3.11)$$

Burada:

Q_e = Kavşağa girebilecek maksimum akım (araç/saat)

Q_c = Dönüş hareketini yapmakta olan araç sayısı (araç/saat)

A ve Z = Gözlemlere bağlı olarak bilinen parametrelerdir.

Yukarıdaki formülde bilinmesi gereken A ve Z parametreleri, yaklaşım kolu şerit sayısına ve dönel kavşak içinde dönüş yapan araçların dönüş hareketi için kullandıkları şerit sayısına bağlı olarak değişmektedir. Bu parametrelerin değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3. 6: A ve Z parametrelerinin değerleri (Stuwe, 1991)

Şerit Sayısı		A	Z
Kavşak İçi	Yaklaşım Kolu		
3	2	2018	6,68
2	2	1553	6,69
2-3	1	1200	7,3
1	1	1089	7,42

Almanya’da son zamanlarda yapılan çalışmalar doğrultusunda yeni bir kapasite hesap yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem hem kritik aralık kabulü hem de regresyon yönteminin birlikte kullanılması ile elde edilmiştir. Bu yeni yöntem, başlangıçta kullanılan hesap yönteminde yapılan gözlemlerin, regresyon analizinde kullanılan parametreleri tam olarak tanımlayamamasından dolayı oluşturulmuştur. Halen kullanılmakta olan yeni yöntem kritik aralık kabulü ile daha fazla ilişkilidir. Bu denklem şu şekildedir:

$$C = 3600 * \left(1 - \frac{t_{\min} * q_k}{n_c * 3600}\right)^{n_c} * \frac{n_e}{t_f} * e^{-\frac{q_k}{3600} * \left(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{\min}\right)} \quad (3.12)$$

Burada:

$C =$ Bir yaklaşım kolundaki kapasite (araç / saat)

$q_k =$ Dönel adadaki trafik hacmi (araç / saat)

$n_c =$ Sirkülasyon şeridi sayısı

$n_e =$ Giriş şeridi sayısı

$t_g =$ Kritik aralık (sn)

$t_f =$ Takip süresi (sn)

$t_{\min} =$ Sirkülasyon halindeki taşıtlar arasına girilebilecek en küçük boşluk değeri (sn)

Yukarıdaki denklemden de elde edileceği gibi her yaklaşım kolundan kavşağa girişteki kapasite, sirkülasyon halindeki trafik hacmine ve kavşak içindeki sirkülasyon şeridi sayısına ve girişlerdeki şerit sayısına bağlıdır. Mini dönel kavşaklar hariç, kavşağa girişlerin kapasiteleri diğer girdilerden hariç olarak sadece kavşak içinde sirkülasyon hareketi yapan taşıt hacmine bağlı olarak hesaplanmıştır. Bu denklemler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Mini dönel kavşaklar için

$$13 \leq d \leq 40$$

$$t_g = 3,86 + \frac{8,27}{d} \quad t_f = 2,84 + \frac{2,07}{d} \quad t_{\min} = 1,57 + \frac{18,6}{d} \quad (3.13)$$

d= Tanımlanan kavşak çember çapı

Kompakt kavşaklar için $n_e = 1$

$$C = 1440 * e^{-\frac{q_k}{1180}} \quad (3.14)$$

Kompakt kavşaklar için $n_e = 2$

$$C = 1642 * e^{-\frac{q_k}{1180}} \quad (3.15)$$

Büyük Kavşaklar İçin $n_e = 2$

$$C = 1926 * e^{-\frac{q_k}{1405}} \quad (3.16)$$

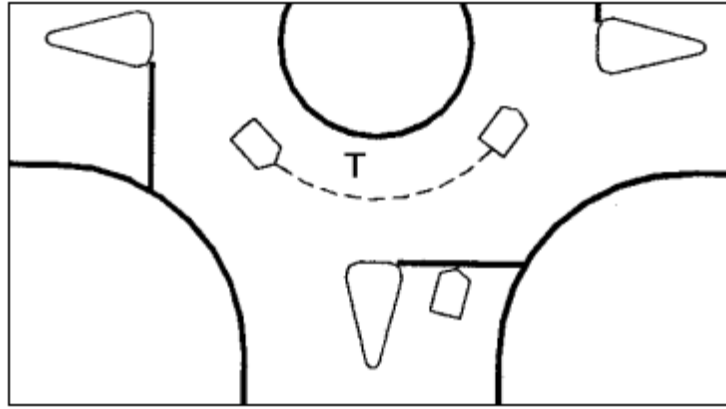
3.5.2 Kritik Aralık Kabul Yöntemi

Yanyoldan kavşağa gelen bir sürücü, kavşak boş ancak anayoldan kavşağa yaklaşan taşıt varsa öne giriş aralığı (lag) ile, kavşak dolu ve kavşağa yaklaşmakta olan taşıt var ise, bu anayol taşıtları arasındaki araya giriş aralığı (gap) ile karşılaşacaktır (Gedizlioğlu, 1979). Farklı bir tanımla yan yoldan kavşağa gelen sürücü ana akım içine, ancak kendisi için güvenli gördüğü “T” gibi bir zaman cinsinden kritik aralık değerine eşit veya daha büyük bir aralık bulduğunda katılabilecektir. Kritik aralığın büyüklüğü, mümkün olan en az gecikme için seçilen en güvenli minimum zaman cinsinden aralık değeri olarak tanımlanabilir. (Tanyel ve Yayla, 2010)

Her sürücünün kabul ettiği aralık değeri farklı olabilir. Bir sürücünün kabul ettiği aralık değerinden daha uzun aralık değerinin başka bir sürücü tarafından kabul edilmemesi sık yaşanan bir durumdur (Gedizlioğlu, 1979). Sürücülerin kabul ettikleri

aralık değerleri yaş, cinsiyet, karakter ve fiziksel durumlarına göre değişiklik gösterebilir. Sürücüler arasındaki davranış farkları aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

- Eğer sürücüler her zaman aynı aralığı kabul ediyorsa bu sürücülerin davranışı tutarlı olarak tanımlanabilir. Aksi durumda ise bu sürücülerin davranışı tutarsız olarak tanımlanabilir.
- Eğer sürücülerin kabul ettikleri aralık değerleri bütün sürücüleri kapsayacak bir dağılıma aitse bu sürücüler homojen değilse homejen olmayan sürücüler olarak tanımlanabilirler. (Hangring, 1998; Tanyel, 2001)



Şekil 3. 23: Kritik aralık kabulü (Hangring, 1996a)

Bu açıklamalara bağlı olarak sürücü davranışları dört Şekilde modellenebilir. Bunlar:

- Homojen ve tutarlı: Her sürücü sabit bir aralık kabulüne sahiptir.
- Homojen ve tutarsız: Sürücü durma çizgisine her geldiğinde, aralık kabul dağılımına ait farklı bir değeri seçmektedir.
- Homojen olmayan ve tutarlı: Her sürücünün kabul ettiği sabit bir aralık değeri vardır ancak bu aralık değerinin dağılımı bir sürücü grubu için ifade edilmektedir.
- Homojen olmayan ve tutarsız: Sürücülerin tutarsızlığına bağlı olarak her sürücü ayrı bir kritik aralık dağılımına sahiptirler. (Hangring, 1998)

Yapılan araştırmalar homojen olmayan ve tutarsız sürücü davranışının, gerçek olayları daha iyi yansıtığını göstermiştir. Ancak bu tarz sürücü davranışının modellenmesi çok zor olduğundan çalışmalarda sürücülerin homojen ve tutarlı oldukları kabul edilmiştir. Hewitt kritik aralık değerinin belirlenmesinde aşağıdaki zorluklarla karşılaşıldığını belirtmiştir.

- Kritik aralık değeri doğrudan ölçülemez ancak kabul edilen ve reddedilen aralık değerleri belirlenebilir.
- Uzun aralık değerlerini kabul eden sürücülerin oranının gerçekten daha yüksek tahmin edilmesi de karşılaşılan bir diğer sorundur. Belli bir aralık değerini seçen sürücülerin oranı ile bu aralık değerinden küçük aralıkları seçen sürücülerin oranı birbirine eşit değildir. Buna dikkat edilmezse hesaplamalarda problem yaşanabilir.
- Üçüncü problem ise aralık kabulünün ana akımdaki araçlar arasındaki aralıkların dağılımına bağlı olmasıdır. Bu dağılımlar arasında küçük aralıklar daha sık görülecektir. Bu da küçük aralık kabulü değerleri için daha sağlıklı gözlemler yapılabileceğini, uzun kabul aralığına sahip sürücüler için verilerin yetersiz olabileceği sonucunu doğurmaktadır.

Yanyoldan kavşağa giriş yapan sürücü tek bir giriş aralığını kabul ederek kavşağa girebilir fakat birden fazla aralığı reddedebilir. Bu durumda reddedilen aralıkların en büyüğünün dikkate alınması gerekmektedir. (Hagring, 1996; Gedizoğlu, 1979; Tanyel,2001)

Kritik aralık değer (T) ve yanyoldaki taşıtların en küçük takip aralığı değer (T₀) kapasite analizinde incelenmesi gereken iki önemli parametredir.

Troutbeck (1991), kavşak yaklaşım kollarındaki şeritleri ayrı ayrı inceleyerek kritik aralık değer (T) ve takip aralığı (T₀) değerlerini hesaplamıştır. Kavşak içinde ve yaklaşım kollarındaki şeritlerin eşit oranda kullanılmadığını göz önüne alarak, en fazla trafik akımının olduğu şeridi “baskın” şerit olarak tanımlamıştır.

Baskın şeritteki takip aralığı değer T_{0dom} aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$$T_{0dom} = 3.37 - 0.000394 * Q_c - 0.0208 * D_i + 0.0000889 * D_i^2 - 0.395 * n_e + 0.388 \quad (3.17)$$

Burada:

Q_c = Dönen Akım (araç/saat)

D_i = Dıştan dışa çap (m)

n_e = Giriş şeridi sayısı

n_c = Dönüş şeridi sayısıdır.

Diğer şeritlerdeki takip aralığı değerleri (T_{0sub}) ise aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanır:

$$T_{0sub} = 2.149 + 0.5135T_{0dom} \frac{Q_{dom}}{Q_{sub}} - 0,8735 \frac{Q_{dom}}{Q_{sub}} \quad (3.18)$$

Burada:

Q_{dom} = Baskın şeritteki akım (araç/saat)

Q_{sub} = Diğer şeritteki akım (araç/saat)

Troutbeck (1991), kritik aralık değerinin takip aralığı değerine (T_0), dönen akıma (Q_c), dönüş şeridi sayısına (n_c) ve ortalama giriş şeridi genişliğine (w_e) bağlı olduğunu belirtmiştir. Buna göre her şeride ait kritik aralık kabulü değeri aşağıdaki bağlantı ile elde edilebilir:

$$\frac{T}{T_0} = 3.6135 - 0.0003137 * Q_c - 0.3390 * w_e - 0.2775 * n_c \quad (3.19)$$

Akçelik (1998), dönel kavşaklar için Troutbeck'in bulduğu kritik aralık kabulü bağlantılarını kabul etmiş ancak yukarıdaki bağlantının dönen akım 1200 araç/saat'e eşit veya daha küçük olması durumunda geçerli olabileceğini belirtmiştir. Daha yüksek dönen hacimler için aşağıdaki bağlantıyı önermiştir:

$$T = (3.2371 - 0.339 * w_e - 0.2775 * n_c) * T_0 \quad (3.20)$$

Tanyel ve Yayla (2010) Türkiye için yukarıdaki bağlantıların kritik aralık kabulü için kullanılabileceğini belirtmişleridir.

Troutbeck'in yönteminden farklı olarak İsveç kapasite analiz yöntemi olan CAPCAL'da, etkin parametreler örülme boyu (L) ve örülme alanının genişliği (W_w) olarak belirlenmiştir. Bu yöntemde her şeritteki sağa, sola ve düz geçişler için ayrı kritik aralık kabulü değerleri bulunmaya çalışılmaktadır.

Sağa dönen araçlar için:

$$T = 3.06 + 1.1 \frac{w_w}{L} + 2.375 \left(\frac{w_w}{L} \right)^2 \quad (3.21)$$

Sola dönen ve doğru geçen araçlar için:

$$T = 3.06 + 2.6 \frac{w_w}{L} + 2.75 \left(\frac{w_w}{L} \right)^2 \quad (3.22)$$

Bağıntıları önerilmiştir. Burada:

L = Örülme alanı boyu (m),

w_w = Örülme alanı genişliğidir (m).

Çalışmanın bu bölümünde kavşak tiplerinden ve kavşak tipi seçiminden bahsedilmiş olup, çalışmanın ana konusu olan modern dönel kavşakların tasarım esasları ve uygulamada dikkat edilmesi gereken noktalar açıklanmıştır.

Dönel kavşakların kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılan iki ana yöntem olan geometrik ve davranışsal yöntemler açıklanmış ve geometrik yöntemlerden olan İngiliz ve Alman Kapasite hesap yöntemleri detaylı şekilde açıklanmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde kavşak performansının değerlendirilmesi için kullanılan Ptv Vissim benzetim programı tanıtılmış ve çalışmanın yöntemi anlatılmıştır.

4. YÖNTEM

Bu bölümde öncelikle çalışmanın yöntemini oluşturan ve analizlerin elde edilmesinde kullanılan Ptv Vissim benzetim programının kullanım alanları ve bu programda kullanılan sürücü davranış modelleri açıklanmıştır.

Vissim genellikle kentiçi ulaşım ağındaki özel araç trafiği, toplu taşıma, yayalar ve bisiklet sürücüleri gibi tüm yol kullanıcılarını ve bunların etkileşimini modellemek için kullanılan mikro ölçekli simülasyon programıdır. Bu yazılım sayesinde belirli bir kavşak veya bir ulaşım ağının, gecikme, hız, seyahat süresi gibi değişik parametrelere bağlı olarak performans analizi yapılabilmektedir. Yeni tasarlanan bir kavşakta veya iyileştirme yapılan bir ulaşım ağında karar vericilere değerlendirme yapabilmeye olanağı sunmaktadır.

Vissim programı çeşitli ulaşım problemlerinde kullanılmakla beraber daha çok aşağıda verilen başlıklarda kullanılmaktadır:

- Ulaşım ağlarında özel ve toplu taşıma modellemelerinde,
- Hafif raylı sistemlerin kentiçi ulaşım ağına entegre edilmesinin fizibilite çalışmalarında,
- Yaya ulaşımını modellemek ve yayalar ile karayolu trafiği arasındaki etkileşimi modellemede,
- Ulaşım ağı güzergah önerisi, adaptif sinyal kontrolü ve sistemler arasındaki etkileşimi belirlemede,
- Kentsel gelişim planlarının etkisinin analiz edilmesinde.

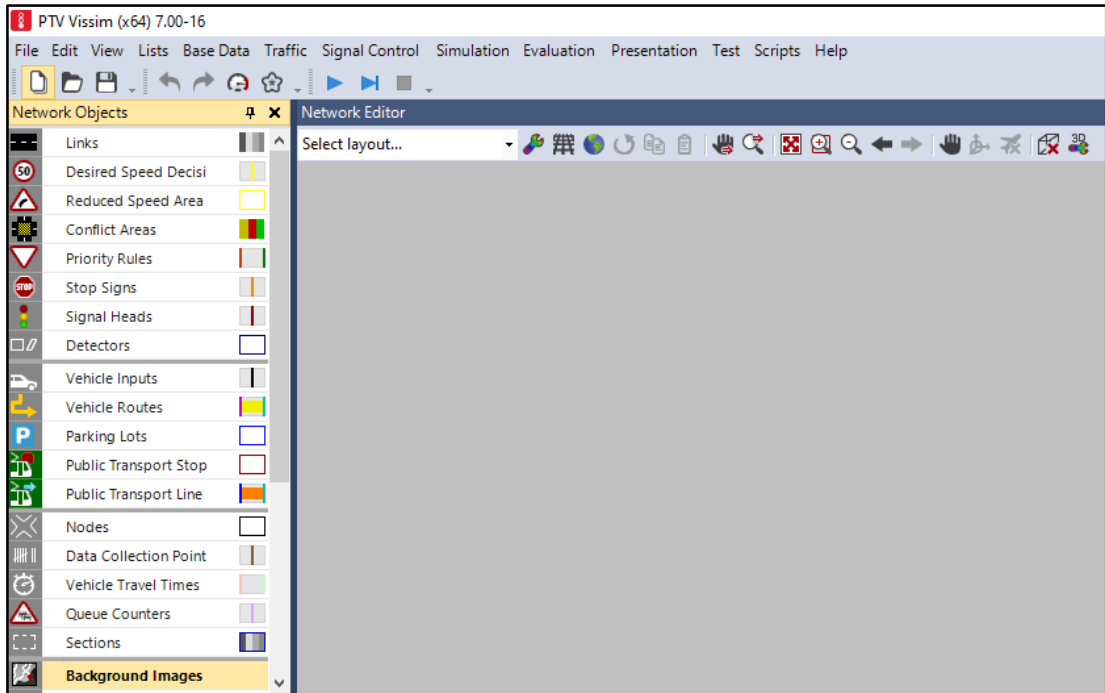
Vissim, aracı takip eden ve şerit değiştirme mantığını içeren mikro ölçekli bir trafik akışı simülasyon modelidir. Bir trafik simülasyon modelinin doğruluğu temel olarak araç modellemesinin kalitesine bağlıdır. Sabit hızları kullanan ve daha az mantıklı olan deterministik modellerin aksine, Vissim, Wiedemann (1974) tarafından geliştirilen psiko-fiziksel sürücü davranış modelini kullanmaktadır. Bu model sürücülerin fizyolojik kısıtlamalarının yanında psikolojik durumları da göz önüne aldığı için psiko-fiziksel takip modeli olarak algılanmaktadır. Bu modelin temel mantığı, sürücünün kendi hızından daha yavaş bir hızla seyahat eden bir taşıtı fark etmesi durumunda yavaşlamaya başlamasıdır.

Wiedemann 74 taşıt takip modelinde:

- Serbest sürüş
- Yaklaşma
- Takip
- Frenleme

olmak üzere 4 farklı seyir durumu olduğu temeline dayandırılmıştır.

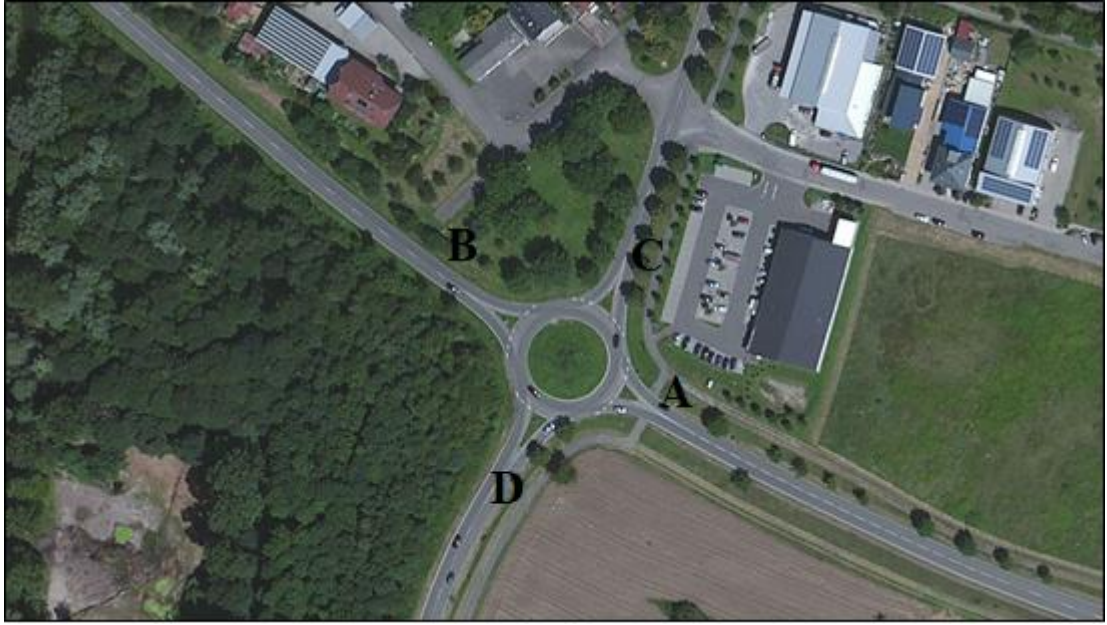
Ptv Vissim programının sade ve anlaşılır bir ara yüze sahip olması kullanıcılar için avantaj sağlamaktadır. Programın sol kısmında bulunan ağ parametrelerinin içeriğinde, linklerin çizilmesi, hız sınırlama alanlarının girilmesi, taşıtların çatışma alanlarının düzenlenmesi geçiş üstünlüklerinin tanımlanması gibi alt parametreler bulunmaktadır. Ayrıca kavşak kollarından kavşağa giriş yapacak taşıtların türü, sayısı ve bu taşıtların rotalamaları için kullanılan sekmeler de bu ağ parametrelerinin içerisinde yer almaktadır. Aşağıda Ptv Vissim programının arayüzü verilmiştir.



Şekil 4. 1: Ptv Vissim Benzetim programı arayüzü

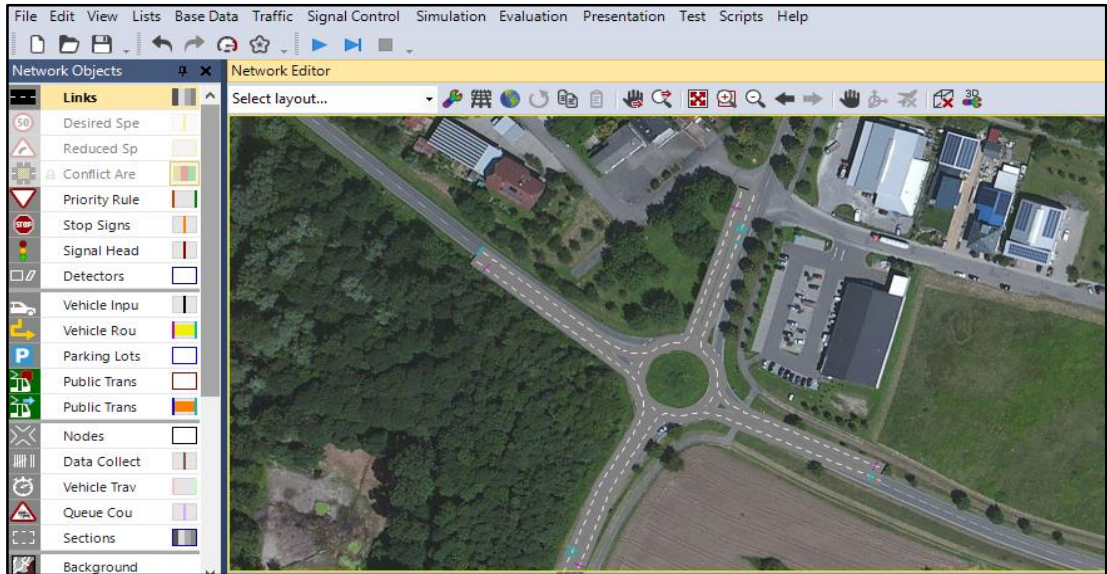
Çalışmanın yöntemi olarak yukarıda verilen arayüzde ağ parametrelerinin içinde bulunan “Background Images” sekmesi ile analizlerde altlık olarak kullanılacak

olan kavşağın programa yüklenmesi sağlanmaktadır. Altlık olarak kullanılan kavşak aşağıda verilmiştir.



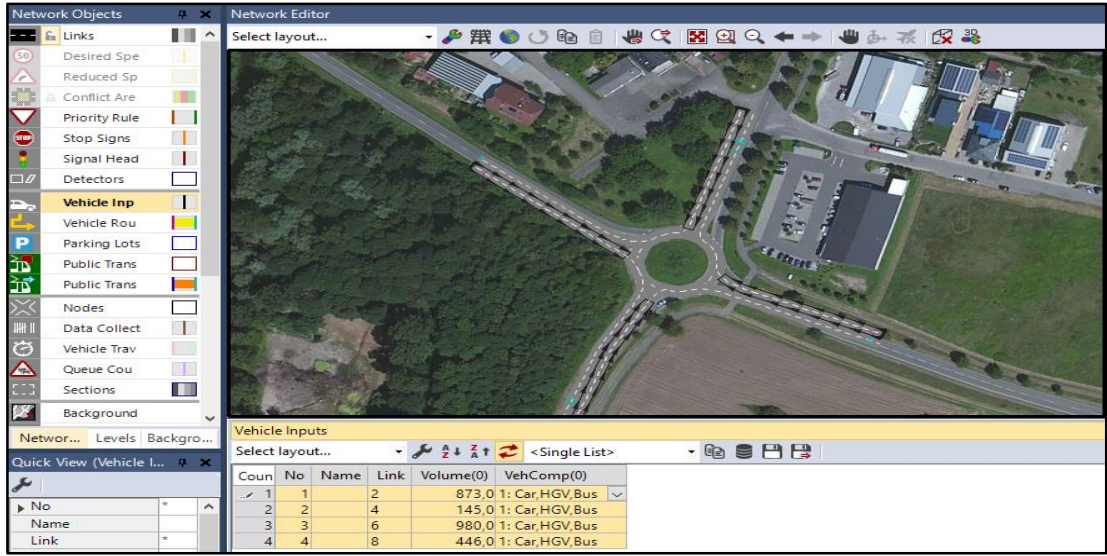
Şekil 4. 2: Analizlerde altlık olarak kullanılan dönel kavşak

Programa altlık olarak kullanılacak kavşağın girilmesi ile kavşak yaklaşım kollarının ve dönel kavşağın ulaşım ağı programda bulunan “Links” sekmesi kullanılarak çizilmiştir. Linklerin uzunluğu her bir yaklaşım kolu için 100m olarak belirlenmiştir. Linklerin çizilmiş hali aşağıdaki şekilde verilmiştir.



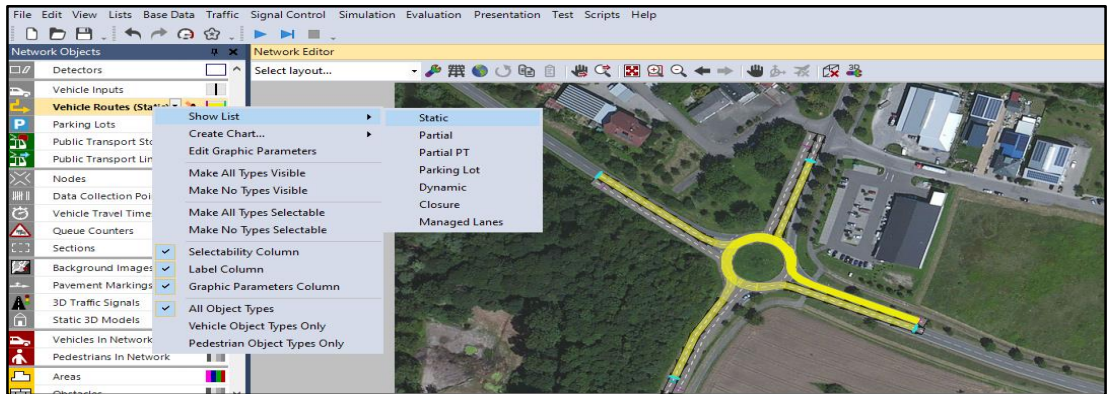
Şekil 4. 3: Linklerin çizilmesi

Linklerin çiziminden sonra yaklaşım kollarından kavşağa giriş yapacak olan taşıtların türleri “Traffic” bölümünde bulunan “Vehicle Compositions” sekmesi ile belirlenmiştir. Simülasyonlar boyunca taşıt türleri binek araç, ağır taşıt ve otobüs olarak belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra yaklaşım kollarından kavşağa giriş yapacak olan taşıtların trafik hacimleri “Vehicle Input” sekmesi kullanılarak yapılmıştır. Taşıt türlerinin oranları ve taşıt hacimleri bölüm beşte detaylı olarak verilmiştir. Aşağıda taşıt hacimleri girilmiş kavşağın görüntüsü görülmektedir.



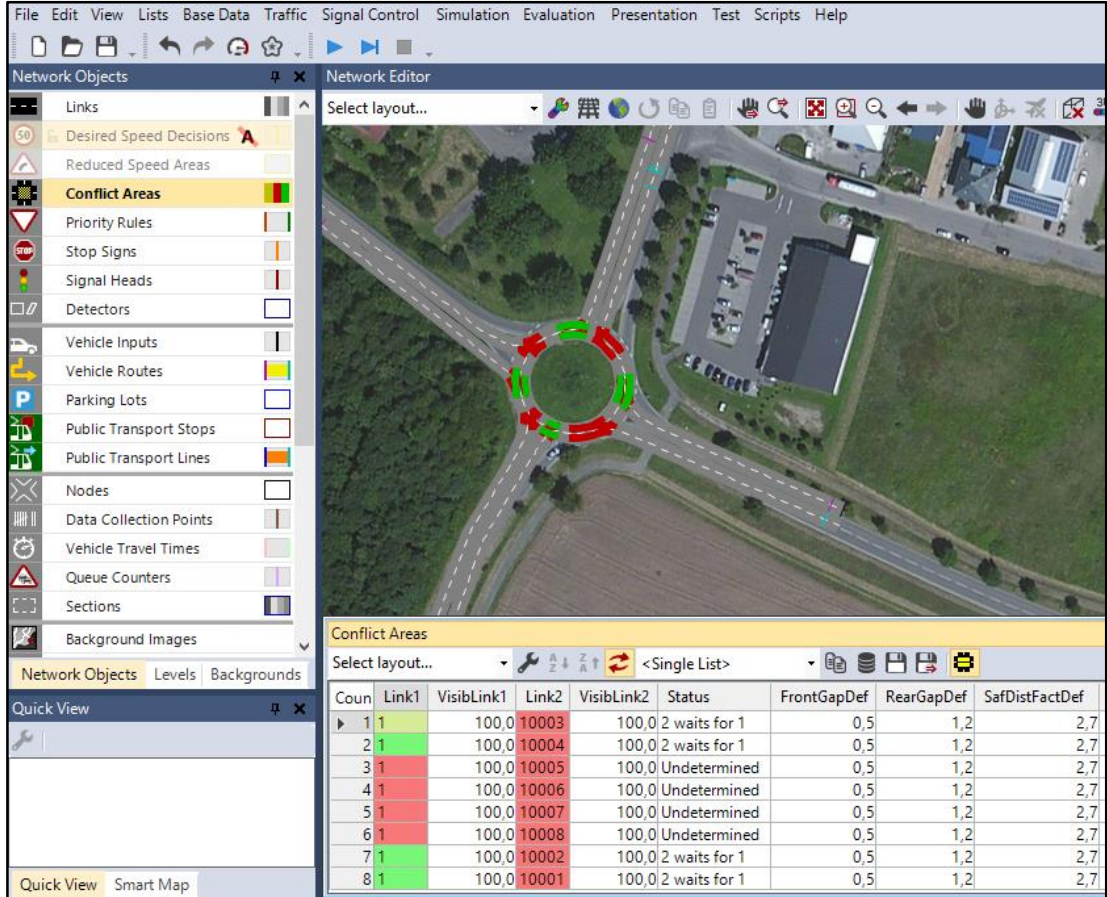
Şekil 4. 4: Benzetim programına taşıt hacimlerinin girilmesi

Taşıt hacimlerinin girilmesinin ardından kavşağa giriş yapan araçların hangi yöne gideceklerini belirlemek amacıyla taşıt rotalamaları yapılmıştır. Rotalamaların programa giriş şekli ve A yaklaşım kolu için örnek rotalama aşağıdaki şekilde verilmiştir. Bu rotalamaların matris değerleri bölüm beşte verilmiştir.



Şekil 4. 5: Yaklaşım kollarından gelen taşıtların rotalamalarının yapılması

Dönel kavşaklarda geçiş üstünlüğü kavşak içinde dönüş hareketi yapan araçlarda olup, yaklaşım kollarındaki taşıtlar bu trafik akımında kendileri için uygun gördükleri aralıklarda kavşağa giriş yapmaktadırlar. Bu nedenle yaklaşım kollarından kavşağa giriş yapacak olan araçlar ile ada etrafında dönüş hareketi yapan araçlar arasındaki çatışma alanlarının düzenlenmesi gerekmektedir. Bu düzenleme Vissim programında “Conflit Areas” sekmesi ile yapılmaktadır.



Şekil 4. 6: Taşıtların çatışma alanlarının düzenlenmesi

Sürücü davranışları ve trafik akım karakterleri bölgeler arasında farklılıklar göstermektedir. Buna bağlı olarak sürücülerin kavşak girişlerinde kabul ettikleri kritik aralık değerleri değişiklik göstermektedir. Nüfusun yoğun ve trafik hacminin fazla olduğu bölgelerde sürücüler daha düşük kritik aralık değerlerini kabul ederken, daha az trafik hacmi olan bölgelerde bu değer daha yüksektir.

Vissim programında yapılan simülasyonların gerçeğe uygun sonuçlar verebilmesi için bu kavşağa giriş aralıklarının bölgedeki sürücü karakteristiklerine göre kalibre

edilmesi gerekmektedir. Bu sürücü davranışlarını yansıtan parametreler aşağıda verilmiştir.

- Ön boşluk
- Arka boşluk
- Güvenlik mesafesi katsayısı

Ön boşluk, ayrılma durumunda geçiş hakkına sahip olan taşıtın çatışma bölgesinden ayrıldıktan sonra yan yoldan gelen taşıtın bu alana girmek için beklediği süre, katılma durumunda ise geçiş üstünlüğüne sahip olan taşıtın çatışma alanına girdikten sonra yol veren taşıtın alana girmek için beklediği süredir. Arka boşluk ise yan yoldan gelen taşıtın çatışma alanından ayrılmasından sonra ana yoldaki taşıtın çatışma alanına girmesi için beklemesi gereken minimum süre olarak tanımlanmaktadır. Güvenlik mesafesi katsayısı da yan yoldan ana akıma katılacak taşıtlar için minimum mesafeyi modellemek için kullanılır.

Vissim programında kabul edilen ön ve arka boşluk değerleri 0.5 sn olarak, güvenlik mesafesi katsayısı ise 1.5 olarak kabul edilmektedir. Literatür kısmında da verildiği gibi Erol (2018) Denizli ilinde bulunan Albayrak Kavşağı'nın yaklaşım kolunda bulunan Kaynarca Caddesi ve Gümüşler Bulvarı'nı birbirine bağlayan dönel kavşak üzerinde bu değerlerde kalibrasyon çalışması yapmış ve ön boşluk değeri için 0.5 sn arka boşluk değeri için 1.2 sn ve güvenlik mesafesi katsayısı için 2.7 değerlerini elde etmiştir. Bu çalışma kapsamında da yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi elde edilen bu değerler kullanılmıştır.

Türk sürücü davranışlarına göre kalibre edilen benzetim programında sabit trafik hacmi altında merkez ada çapı 15m'den başlayarak 0,25m'lik artışlar ile 35m'ye kadar arttırılmıştır. Elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkinin anlamlılığını test etmek için merkez ada çapı, ortalama gecikme, ortalama durma sayısı ve ortalama hız değerleri arasında regresyon analizi yapılarak bu parametreler arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.

Analizlerin ikinci aşamasında ise 15m ile 35m arasındaki kavşak çaplarından en iyi sonucu veren kavşak çapı belirlenmiş ve bu çap sabit tutularak trafik hacimleri

%5'den başlayarak %30'a kadar arttırılmıştır. Artan trafik hacmine bağlı olarak kavşaktaki performans parametreleri gözlemlenmiş ve değerlendirilmiştir.

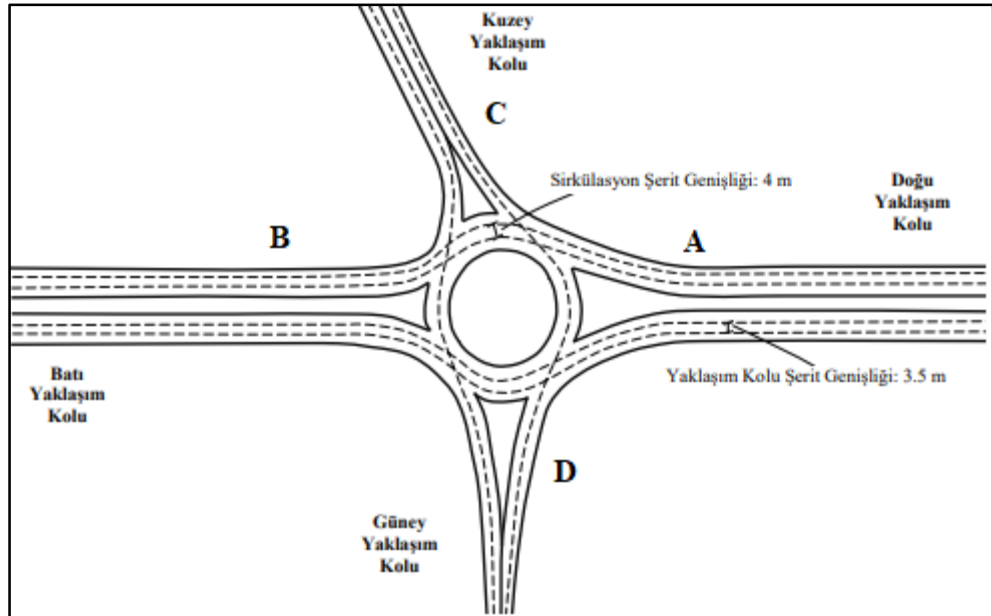
Bu bölümde çalışmanın yöntemi doğrultusunda kullanılan Ptv Vissim benzetim programında uygulanan adımlar açıklanmıştır ve çalışmanın Türk sürücü davranış özelliklerine uygun sonuçlar verebilmesi amacıyla kalibre edilmesinde kullanılan parametrelerden bahsedilmiştir. Benzetim programından elde edilen sonuçlar ile regresyon analizi yapılmış ve sonuçların anlamlılıkları değerlendirilmiştir. Çalışmanın beşinci bölümünde benzetim programından elde edilen değerler detaylı bir şekilde verilmiştir.

5. UYGULAMA VE ANALİZLER

Çalışma kapsamında sinyalizasyon olmayan bir döne kavşakın merkez ada çapındaki değişiminin kavşak performansı üzerindeki etkileri araştırılmak istenmiş ve performans parametreleri olarak da ortalama gecikme, ortalama duruş sayısı ve ortalama hız değerleri gözlemlenmiştir. Bu bölümde analizi yapılan kavşakın mevcut durumu, trafik hacimleri ve analizlerde yapılan kabuller anlatılmıştır. Benzetim programından elde edilen çıktılar detaylı şekilde verilmiştir.

5.1 Mevcut Durum

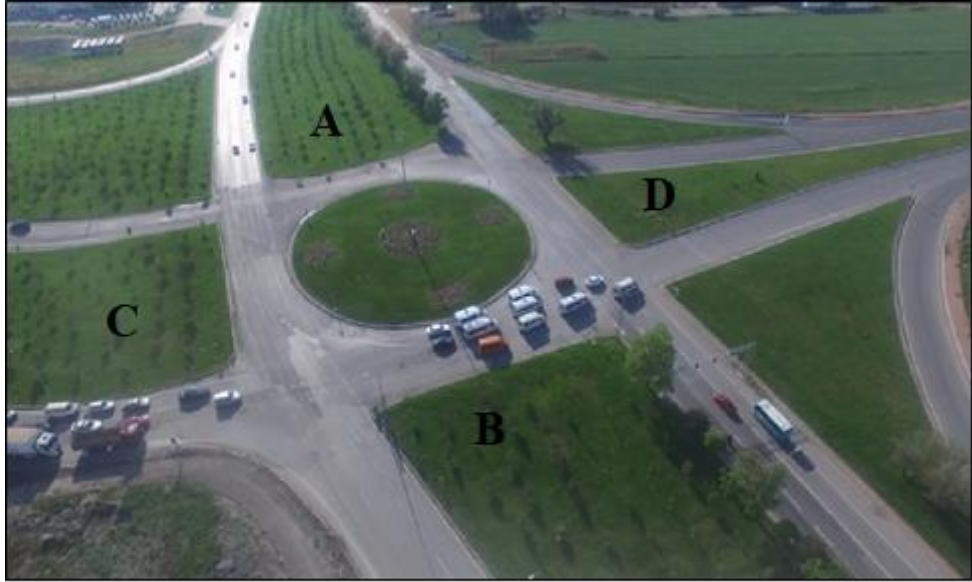
Analizler için kullanılan kavşakta mevcut merkez ada çapı 55m olarak belirlenmiştir. Bu kavşak çapında ortalama taşıt gecikmeleri 17,50 sn/ta ortalama duruş sayısı 0,58 ve ortalama hız değeri ise 24,48 km/sa olarak belirlenmiştir. Kavşağa bağlanan yaklaşım kolları iki şeritlidir ve yaklaşım kollarında şerit genişlikleri 3,5m iken, döne kavşak içinde şerit sayısı iki şerit ve şerit genişlikleri 4 m olarak uygulanmaktadır. Kullanılan bu kavşakın geometrik tasarımı ve yaklaşım kollarının gösterimi Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5. 1: Analizlerde kullanılan döne kavşak geometrisi

5.2 Trafik Bilgileri

Kavşağın Vissim programındaki analizinde kullanılan trafik hacimleri, Kayseri Ulaşım Ana Planı kapsamında sayımları yapılan bir dönel kavşağa aittir. Çalışma kapsamında analizlerde Kayseri'deki sayımları yapılan kavşağın altlık olarak kullanılmamasının sebebi, bu kavşakta taşıtların sağa dönüşlerinin dönel kavşak içine girmeden, ayrı olarak tasarlanmış olmasıdır. Bu nedenle çalışmanın dördüncü bölümü olan yöntem kısmındaki Şekil 4.3'te verilen kavşak analizlerde altlık olarak kullanılmıştır. Kavşakta trafik hacminin en yoğun olduğu sabah, öğle ve akşam saatlerinde video kamera ile çekimler yapılmış ve trafik hacim değerleri belirlenmiştir. Çekim yapılan kavşağa ait ekran görüntüsü Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5. 2: Sayımları yapılan Kayseri'de bulunan kavşak görüntüsü

Bu çalışmada trafik hacim değerleri olarak akşam zirve saatinde yapılan gözlemlerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu trafik hacim değerleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5. 1: Analizde kullanılan trafik hacim değerleri

Yaklaşım Kolu	Otomobil (ta/sa)	Otobüs (ta/sa)	Kamyom (ta/sa)	Münibüs (ta/sa)	Toplam (ta/sa)
A	691	53	95	34	873
B	751	56	99	74	980
C	90	5	31	19	145
D	312	33	73	28	446

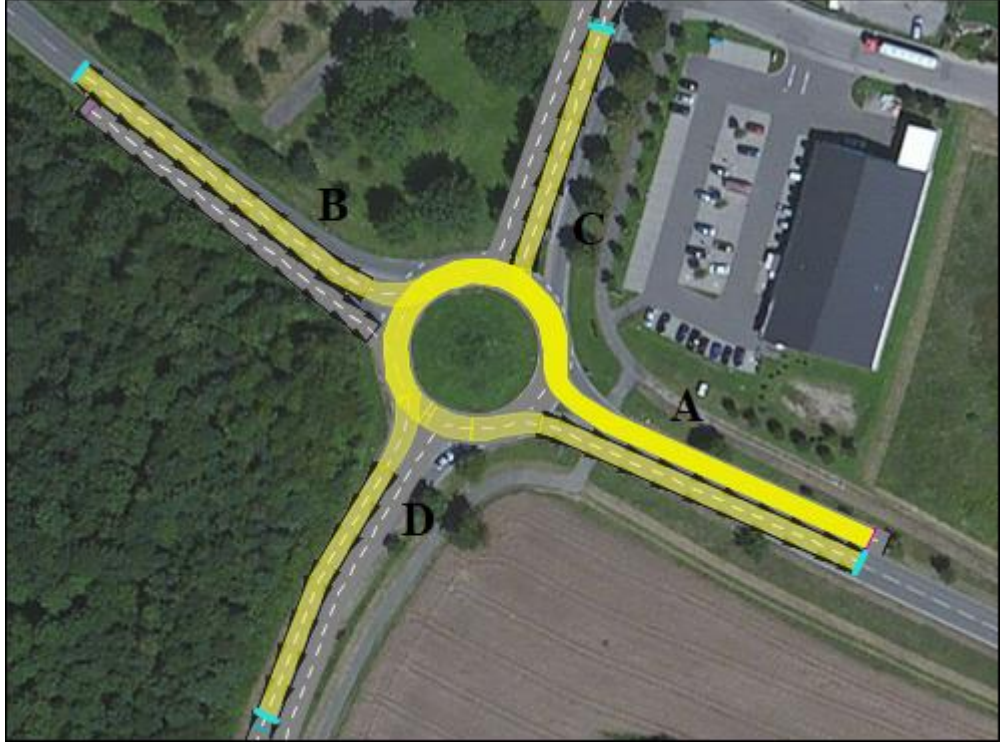
Kavşağa ait akşam zirve saat trafik hacim değeri 2444 ta/sa'dır. Yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerini değerlendirecek olursak A ve B yaklaşım kollarının C ve D yaklaşım kollarına göre daha fazla trafik hacmine sahip olduğu görülmektedir. Bu durumda A ve B kolları ana yol, C ve D kolları ise yan yol olarak değerlendirilebilir.

Kavşağa ait sayımlar incelendiğinde trafik hacimlerinin dengesiz akımı yansıttığı görülmektedir. Dönel kavşakların daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerinin birbirlerine yakın yani dengeli olması durumunda etkili şekilde çalışacağı kabul edilmektedir. Ancak bazı durumlarda trafik akımlarının dengesiz olması halinde de dönel kavşak uygulamaları yapılmaktadır. Analizlerde kullanılan bu trafik hacimleri dengesiz akım özellikleri gösterdiğinden bu çalışmada elde edilen sonuçlar, dengesiz akımlara ait dönel kavşaklarla ilişkilendirilebilir.

Kollardaki araçların sağa, sola, geriye dönüş ve düz geçiş değerleri Tablo 5.2'de ve A yaklaşım koluna ait Vissim programındaki örnek rotalamalar Şekil 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5. 2: Yaklaşım kollarındaki araç rotalarının matrisi

	A kolu (ta/sa)	B kolu (ta/sa)	C kolu (ta/sa)	D kolu (ta/sa)
A kolu (ta/sa)	3	799	45	26
B kolu (ta/sa)	824	6	148	2
C kolu (ta/sa)	25	75	3	42
D kolu (ta/sa)	182	64	200	0



Şekil 5. 3: A yaklaşım koluna ait örnek rotalama

Vissim programında kavşak analizi için kullanılan araç türlerinin yüzde dağılım oranları ve yaklaşım kollarında kabul edilen hız parametreleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5. 3: Araç türlerinin dağılım oranları ve kabul edilen hız değerleri

Araç Türü	İstenilen Hız (km/sa)	Hacim Oranı(%)
Otomobil	50	94
Ağır Taşıt	25	3
Otobüs	25	3

Dönel kavşaklar geometrik tasarımları sebebiyle sürücülerin kavşak girişlerinde hızlarını azaltması mantığı ile çalışmaktadırlar. Bu doğrultuda analizler yapılırken kavşak girişlerinde ve merkez ada etrafında dönüş hareketi yapan araçların hız değerleri sınırlandırılmıştır. Bu değerler Tablo 5.4’de görülmektedir.

Tablo 5. 4: Sınırlandırılmış hız değerleri

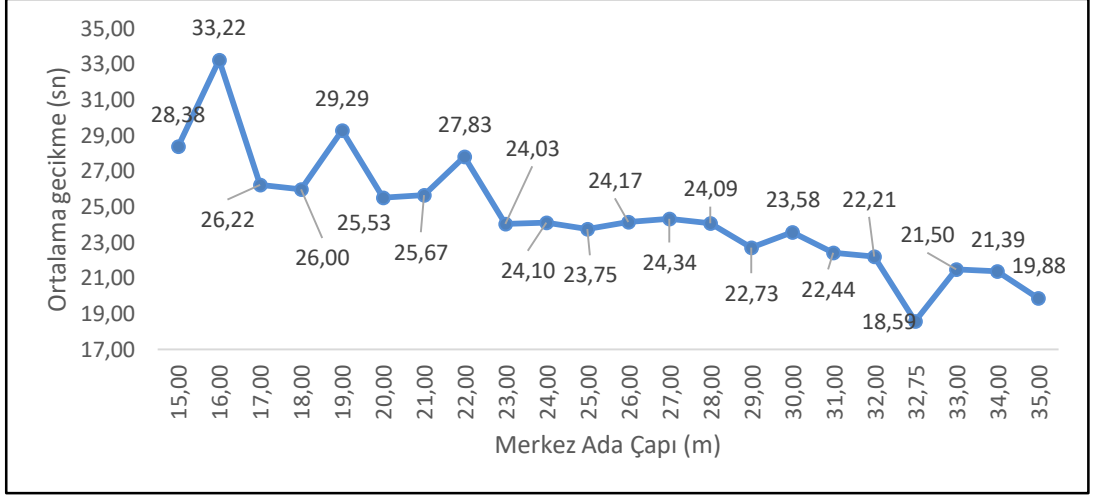
Araç Türü	Hız (km/sa)
Otomobil	25
Ağır Taşıt	20
Otobüs	20

5.3 Analizler

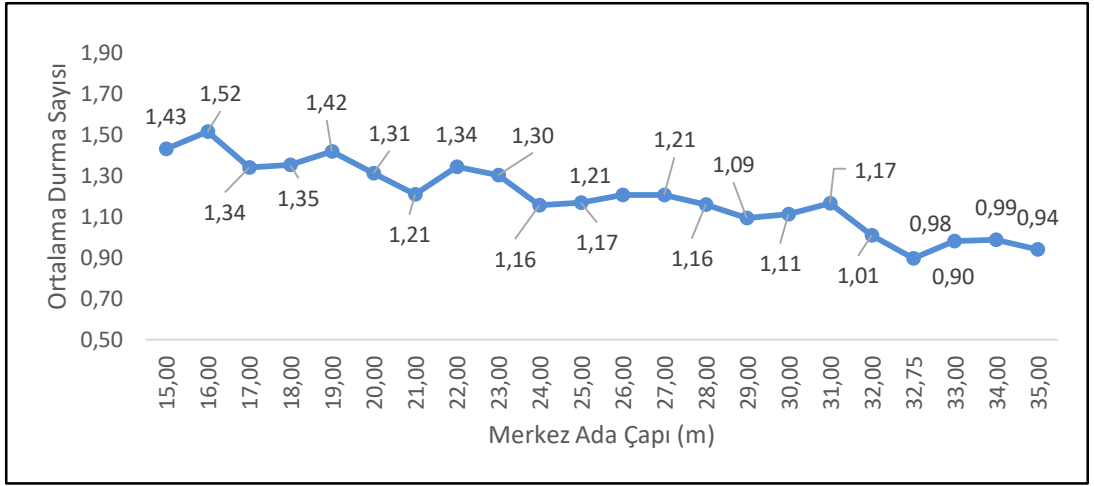
Vissim simülasyon programında kullanılan ve yukarıda verilen trafik hacimleri, taşıt dönüş oranları ve hız değerleri sabit tutularak dönel kavşak merkez adasının genişliğinin kavşak kapasitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda merkez ada çapı 15m ile 35m arasında 0,25m'lik artışlar ile gözlemlenmiştir. Kavşak performans parametresi olarak ortalama gecikme, ortalama durma sayısı ve ortalama hız değerleri seçilmiştir. Değişken kavşak merkez ada çaplarına bağlı olarak elde edilen bu değerler Tablo 5.5'te merkez ada çapının 1m aralık değişimi ile verilmiştir. Bu parametrelerin değişimleri ise Şekil 5.4–5.6'da verilmiştir. Merkez ada çapındaki 0,25m lik detaylı değişim değerleri ise ekler kısmında verilmiştir.

Tablo 5. 5: 15m ile 35m çap arasındaki kavşak performans parametreleri

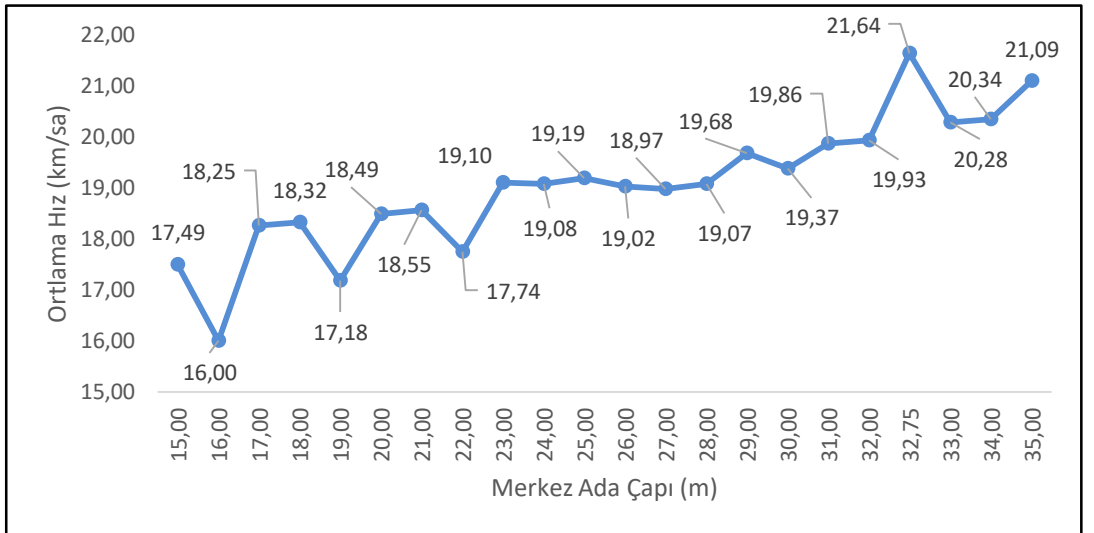
Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Duruş Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
15,00	28,38	1,43	17,49
16,00	33,22	1,52	16,00
17,00	26,22	1,34	18,25
18,00	26,00	1,35	18,32
19,00	29,29	1,42	17,18
20,00	25,53	1,31	18,49
21,00	25,67	1,21	18,55
22,00	27,83	1,34	17,74
23,00	24,03	1,30	19,10
24,00	24,10	1,16	19,08
25,00	23,75	1,17	19,19
26,00	24,17	1,21	19,02
27,00	24,34	1,21	18,97
28,00	24,09	1,16	19,07
29,00	22,73	1,09	19,68
30,00	23,58	1,11	19,37
31,00	22,44	1,17	19,86
32,00	22,21	1,01	19,93
32,75	18,59	0,90	21,64
33,00	21,50	0,98	20,28
34,00	21,39	0,99	20,34
35,00	19,88	0,94	21,09



Şekil 5. 4: 15m ile 35m arasındaki kavşak çapında ortalama gecikme değerleri



Şekil 5. 5: 15m ile 35m arasındaki kavşak çapında ortalama durma sayısı değerleri



Şekil 5. 6: 15m ile 35m arasındaki kavşak çapında ortalama hız değerleri

Yukarıda verilen tablodan da görüldüğü gibi kavşak çapı ile gecikme arasında doğrusal bir bağıntıdan söz etmek mümkün değildir. 15m merkez ada çaplı dönel kavşakta gecikme değeri 28,38 sn/ta iken, 16 m merkez ada çaplı dönel kavşakta 33,22 sn/ta, 17m çaplı kavşakta ise 26,22 sn/ta olduğu görülmektedir.

15m ile 35m arasında yapılan analizlerde en iyi sonucu 32,75m'lik merkez ada çapının verdiği görülmüştür. Bu çapta ortalama gecikme değeri 18,59 sn/ta ortalama durma sayısı 0,90 ve ortalama hız değeri 21,64 km/sa olarak bulunmuştur. 32,75m'lik kavşak çapının fiziki olarak uygulanması, arazi şartlarından dolayı her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle, elde edilen sonuçlar incelendiğinde 23m ile 35m'lik çaplar arasındaki gecikme değerlerinin 32,75m'lik çap haricinde birbirlerine yakın değerler olduğu görülmektedir. 32,75m'lik kavşak çapının uygulanamayacağı alanlarda, kavşağın ulaşım ağındaki önemine ve fiziki şartlara bağlı olarak 23m'lik kavşak çapı da gerekli durumlarda uygulanabilir.

Mevcut durumda 55m olarak çalıştırılan dönel kavşak, 32,75m olarak tasarlanması halinde performans parametreleri olan ortalama gecikme, ortalama durma sayısı ve ortalama hız değerlerindeki değişim aşağıdaki Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5. 6: Mevcut durum ile 32,75m çaplı kavşak performanslarının karşılaştırılması

Performans Parametreleri	Mevcut Durum (25m)	En İyilemiş (32,75m)	Değişim Oranı (%)
Ortalama Gecikme (sn/ta)	15,7	18,59	18,41
Orttalam Durma Sayısı	0,58	0,9	55,17
Ortalama Hız (km/sa)	24,48	21,64	11,60

Analiz sonuçları incelendiğinde ortalama taşıt gecikmelerinde yaklaşık %18'lik bir değişim gözlemlenirken, ortalama hız değerlerinde de %12'lik değişim görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre mevcut kavşak çapının gereğinden fazla büyük olduğu görülmektedir. Bu kavşak için 32,75m'lik kavşak çapının uygulanmasının kavşak performansı açısından ve yatırım maliyeti açısından değerlendirildiğinde daha uygun olacağı görülmektedir.

İki veya daha fazla değişken arasındaki doğrusal ilişki fonksiyonel olarak, regresyon denklemi ile ifade edilmektedir. Regresyon denklemi yardımı ile bağımsız değişkene verilen herhangi bir değere karşı bağımlı değişkenin alacağı değer

hesaplanabilmektedir. Doğrusal regresyon analizi ile kurulan modelde, bağımsız değişkenlerin değerleri, katsayıları ile çarpılarak bağımlı değişkenin değeri hesaplanabilmektedir.

$$R = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_iX_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (5.1)$$

Burada; R bağımlı değişkenin değerini, B_0 sabit katsayı değerini, B_i ($i = 1, 2, \dots, m$) bağımsız değişkenlerin katsayı değerlerinin ve X_i ($i = 1, 2, \dots, m$) ise bağımsız değişkenlerin değerlerini ifade etmektedir. Dönel kavşaklarda merkez ada çapının belirlenmesinde, çap, ortalama gecikme, ortalama durma sayısı ve ortalama hız değerleri arasında regresyon analizi yapılmış ve bu parametrelerin anlamlılık düzeyleri incelenmiştir. Burada merkez ada çapı bağımlı değişken, ortalama gecikme, ortalama durma sayısı ve ortalama hız değerleri bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Regresyon analizi sonucunda elde edilen regresyon denklemi (5.2)'de verilmiş olup, analize ait çıktılar aşağıda açıklanmıştır.

$$R = -177,43 + 3,45x_1 - 32,89x_2 + 8,29x_3 \quad (5.2)$$

Burada:

R = Dönel kavşak merkez ada çapı (m)

x_1 = Ortalama gecikme (sn/ta)

x_2 = Ortalama durma sayısı

x_3 = Ortalama hız değerleridir (km/sa).

Elde edilen bu denklemden ortalama gecikme değeri çekilerek aşağıda verilen bağıntı elde edilmiştir.

$$x_1 = \frac{R + 177,43 + 32,89x_2 + 8,29x_3}{3,45} \quad (5.3)$$

Tablo 5. 7: Regresyon istatistikleri

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,84
R Kare	0,71
Ayarlı R Kare	0,70
Standart Hata	3,23
Gözlem	81

Bu sonuçlar doğrultusunda 0,70 olan R kare değeri bu parametreler arasında tatmin edici düzeyde doğrusal ilişkilerin olduğunu göstermektedir. Regresyon analizine ait anova tablosu Tablo 5.8’da verilmiştir.

Tablo 5. 8: Anova tablosu

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anamlılık F</i>
Regresyon	3	1962,37	654,12	62,56	1,35675E-20
Fark	77	805,13	10,46		
Toplam	80	2767,5			

Anavo tablosunda görülen “Anamlılık F” değeri için 0,05’ten düşük olması istenmektedir. Regresyon analizi sonucunda elde edilen anlamlılık değerinin bu değerden oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bağımsız değişkenlere ait katsayı değerleri ise Tablo 5.9’da verilmiştir.

Tablo 5. 9: Bağımsız değişkenlerin katsayıları ve P değeri

	<i>Katsayılar</i>	<i>P-değeri</i>
Kesişim	-177,43	0,03
Ort. Gecikme	3,45	0,001
Ort. Durma Sayısı	-32,89	9,19095E-07
Ort. Hız	8,29	0,003

Tablo 5.9’da verilen “P” değerleri, elde bağımsız değişken katsayılarının güvenilirliğinin ölçüsüdür. Bu değerlerin sıfıra yakın olması katsayıların anlamlılığını arttırmaktadır.

Çalışmanın daha sonraki kısmında en iyi gecikme performansı veren 32,75m’lik kavşak çapı sabit tutularak, yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri her yaklaşım kolu için %5’den başlayarak %30’a kadar arttırılmıştır. Bu trafik hacimleri aşağıda verilmiştir.

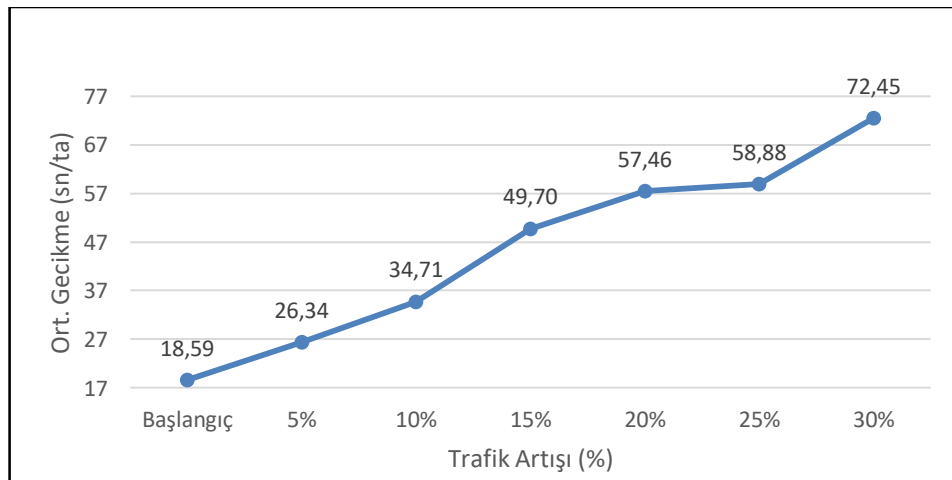
Tablo 5. 10: %5'den %30'a kadar arttırılan trafik hacmi değerleri

	Yaklaşım Kolu			
	A (ta/sa)	C (ta/sa)	B (ta/sa)	D (ta/sa)
BAŞLANGIÇ	873	145	980	446
5%	917	152	1029	468
10%	962	160	1080	492
15%	1011	168	1134	516
20%	1061	176	1191	542
25%	1114	185	1251	569
30%	1170	194	1313	598

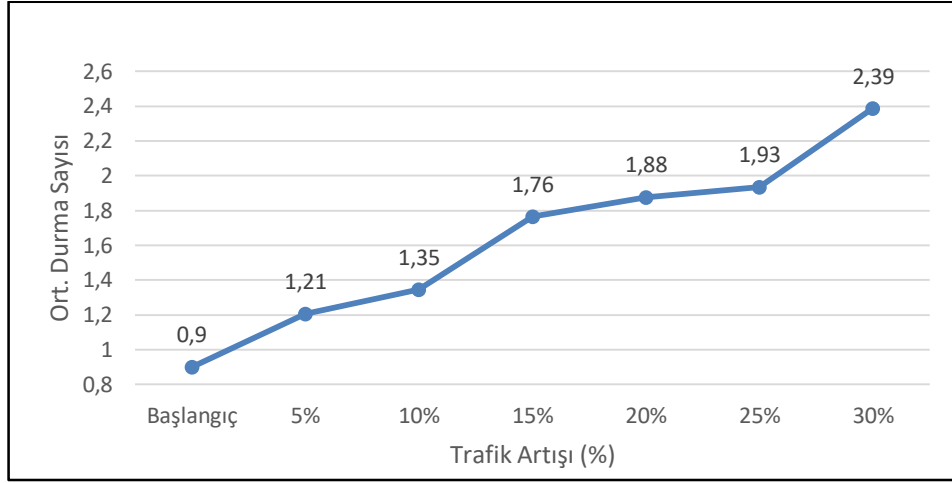
Bu trafik hacimlerine göre en iyi kavşak performansını veren 32,75m'lik çapta yapılan analizlerde elde edilen ortalama gecikme, ortalama durma sayısı ve ortalama hız değerleri ise aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bu parametrelerin değişimi ise Şekil 5.7-5.9'da verilmiştir.

Tablo 5. 11: 32,75m'lik çaptaki trafik artışı ve performans parametreleri

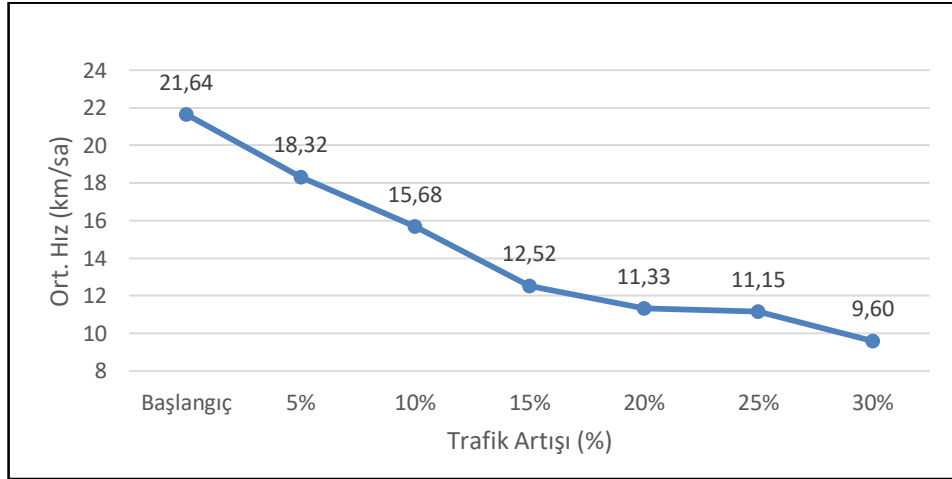
ap (m)	Trafik Artışı	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
32,75	Başlangıç	18,59	0,9	21,64
32,75	5%	26,34	1,21	18,32
32,75	10%	41,30	1,59	14,13
32,75	15%	49,70	1,76	12,52
32,75	20%	57,46	1,88	11,33
32,75	25%	61,71	2,03	10,81
32,75	30%	72,45	2,39	9,60



Şekil 5. 7: 32,75m çaplı trafik artışı ve ortalama gecikme değerleri



Şekil 5. 8: 32,75m çaplı trafik artışı ve ortalama durma sayısı değerleri



Şekil 5. 9: 32,75m çaplı trafik artışı ve ortalama hız değerleri

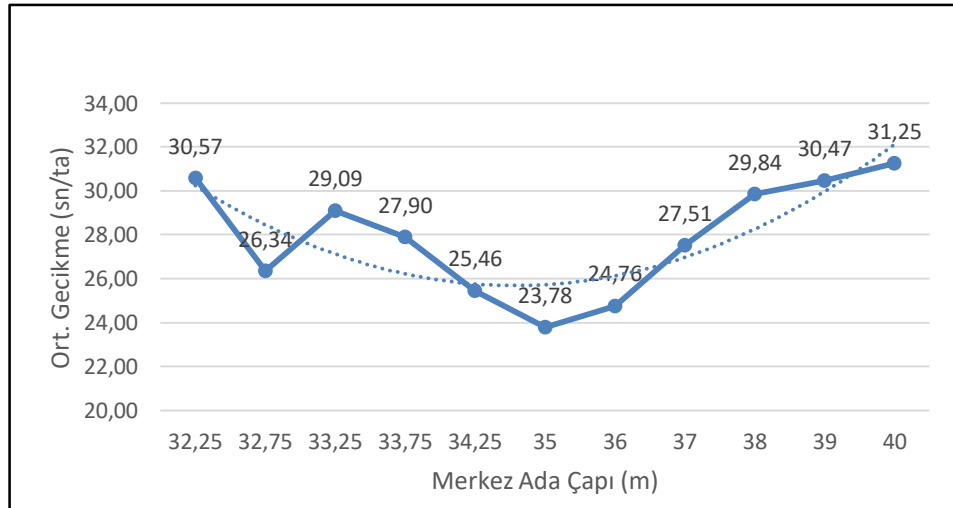
Kavşak merkez ada çapının sabit tutulup, trafik hacimlerinin artması ile kavşaktaki ortalama gecikme değeri artış eğilimi göstermektedir. Bu aşamada hem kavşak çapı hem de trafik hacimleri aynı anda arttırılarak ortalama gecikme, durma sayısı ve ortalama hız değerlerinin değişimi gözlemlenmiştir. Burada hem trafik hacimlerinin hem de kavşak çapının arttırılmasının amacı, mevcut trafik hacmi altında en iyi sonucu veren 32,75m'lik çapta elde edilen gecikme değeri ile artan trafik hacmi ve artan kavşak çapı arasındaki değişimi gözlemlemektir.

%5'lik trafik hacim artışına bağlı olarak 32,25m çap değerinden başlanarak 40 m'lik çap değerine kadar bu performans parametrelerinin değişimi aşağıdaki tabloda

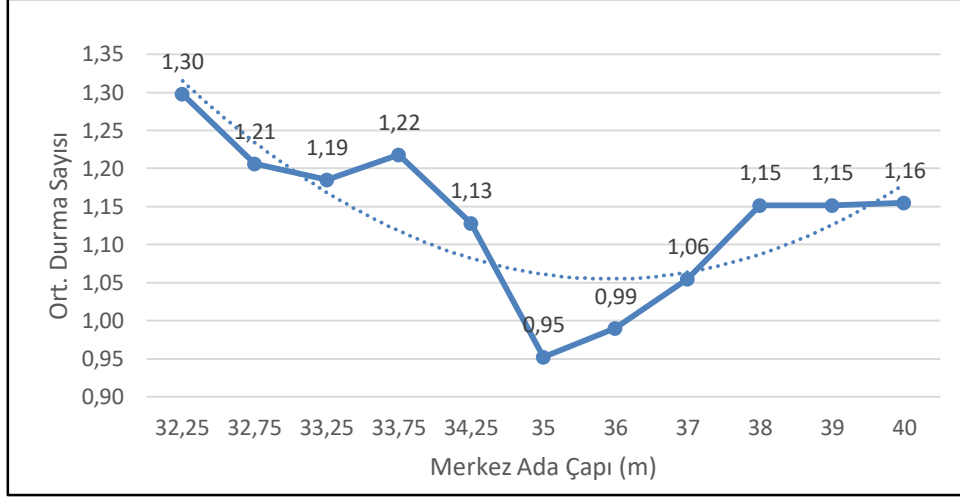
verilmiştir. Burada 32,25m kavşak çapından başlanmasının sebebi, kavşak çapı arttıkça, kavşak içinde dönüş hareketi yapan taşıtların kavşak içinde seyahat sürelerinin artması ve bunun da gecikmeleri arttırmasıdır. Bu nedenle 0,5m'lik fark ile daha küçük kavşaktaki performans parametreleri incelenmiştir. Analizlerde 32,25m ile 35m çaplı kavşaklar arasında, kavşak çapındaki artış miktarı 0,5m olarak, 35m ile 40m arasındaki kavşak çaplarında artış miktarı ise 1m olarak uygulanmıştır.

Tablo 5. 12: %5'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı performans parametreleri

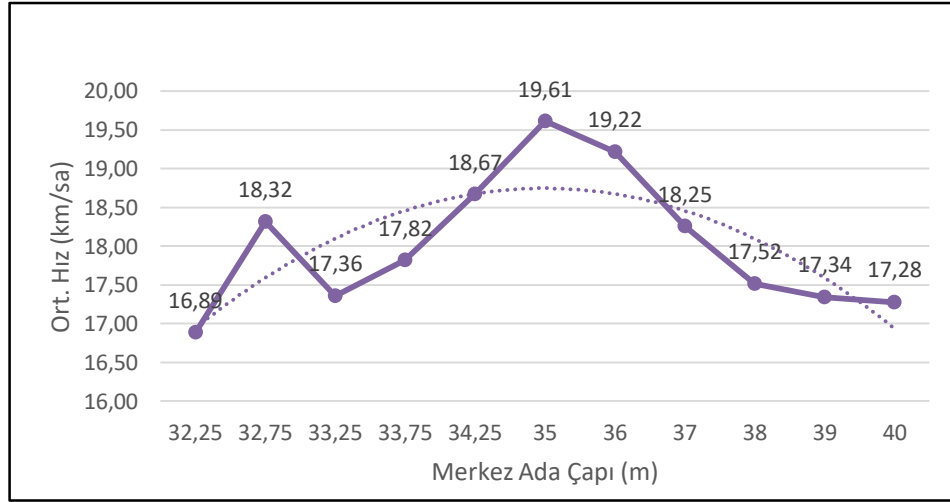
Trafik Artışı	Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
5%	32,25	30,57	1,30	16,89
	32,75	26,34	1,21	18,32
	33,25	29,09	1,19	17,36
	33,75	27,90	1,22	17,82
	34,25	25,46	1,13	18,67
	35	23,78	0,95	19,61
	36	24,76	0,99	19,22
	37	27,51	1,06	18,25
	38	29,84	1,15	17,52
	39	30,47	1,15	17,34
	40	31,25	1,16	17,28



Şekil 5. 10: %5'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama gecikme değeri



Şekil 5. 11: %5'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama durma sayısı değeri

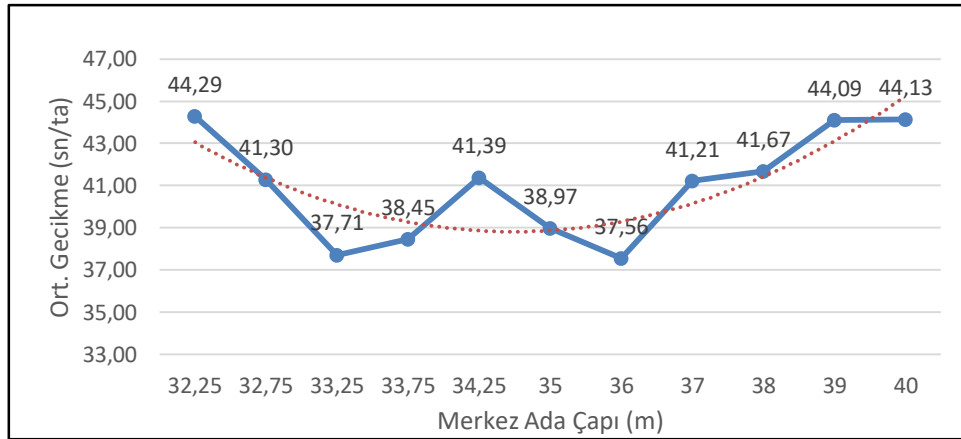


Şekil 5. 12: %5'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama hız değeri

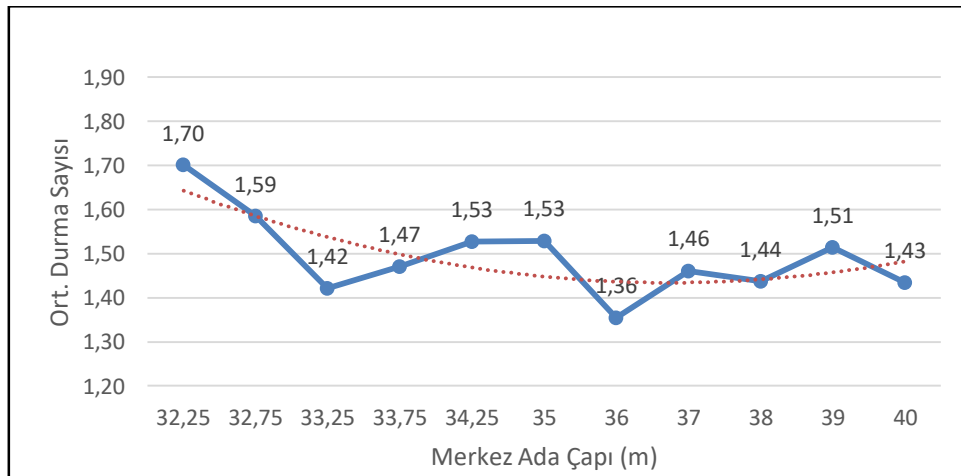
Şekil 5.10'da görüldüğü gibi %5'lik trafik hacmi artışında, ortalama gecikme değerlerinin 35m'lik kavşak çapına kadar azalma eğiliminde olduğu ancak bu çaptan sonra tekrar artma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni artan kavşak merkez ada çapında dönüş hareketi yapan araçların seyahat sürelerinin artması ve yaklaşım kollarından kavşağa giriş yapacak araçların kendilerine güvenli kritik aralık değeri bulamamalarıdır. Seçilen bu kavşak çaplarında, trafik hacimleri sırasıyla %10, %15, %20, %25 ve %30 değerlerinde arttırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 5. 13: %10'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı performans parametreleri

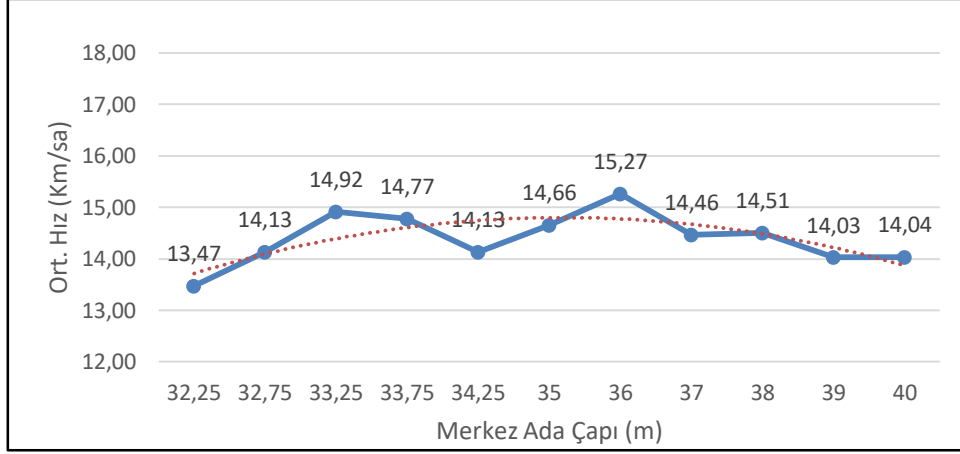
Trafik Artışı	Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
10%	32,25	44,29	1,70	13,47
	32,75	41,30	1,59	14,13
	33,25	37,71	1,42	14,92
	33,75	38,45	1,47	14,77
	34,25	41,39	1,53	14,13
	35	38,97	1,53	14,66
	36	37,56	1,36	15,27
	37	41,21	1,46	14,46
	38	41,67	1,44	14,51
	39	44,09	1,51	14,03
	40	44,13	1,43	14,04



Şekil 5. 13: % 10'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama gecikme değeri



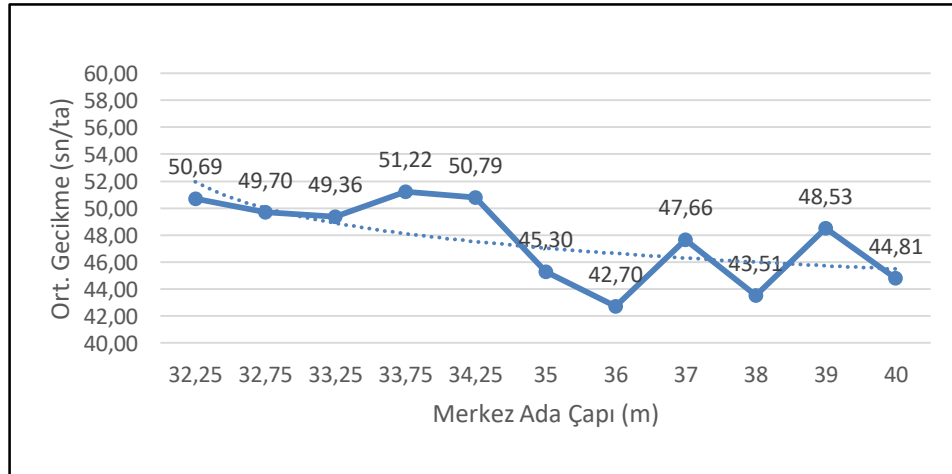
Şekil 5. 14: % 10'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama durma sayısı değeri



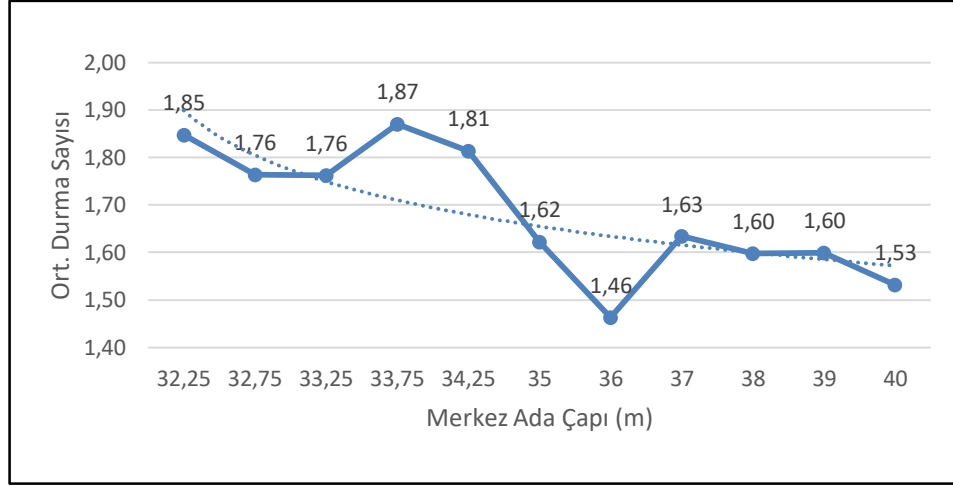
Şekil 5. 15: %10'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama hız değeri

Tablo 5. 14:%15'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı performans parametreleri

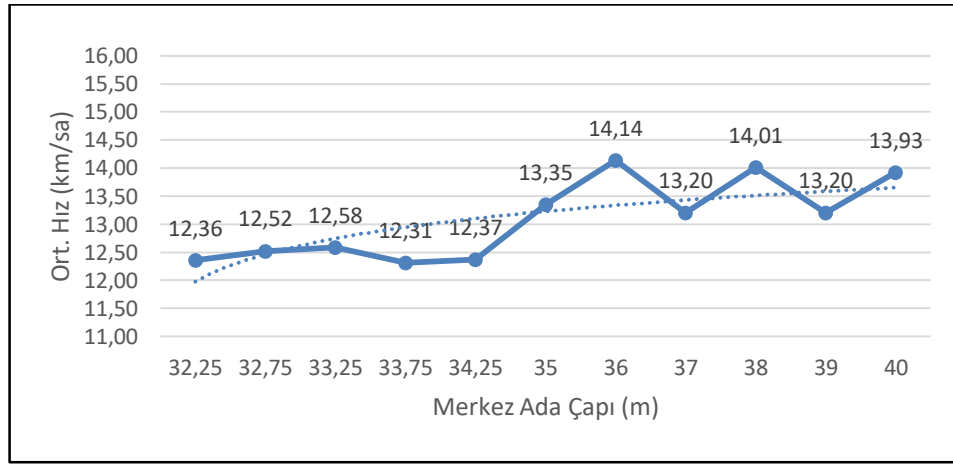
Trafik Artışı	Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
15%	32,25	50,69	1,85	12,36
	32,75	49,70	1,76	12,52
	33,25	49,36	1,76	12,58
	33,75	51,22	1,87	12,31
	34,25	50,79	1,81	12,37
	35	45,30	1,62	13,35
	36	42,70	1,46	14,14
	37	47,66	1,63	13,20
	38	43,51	1,60	14,01
	39	48,53	1,60	13,20
	40	44,81	1,53	13,93



Şekil 5. 16: %15'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama gecikme değeri



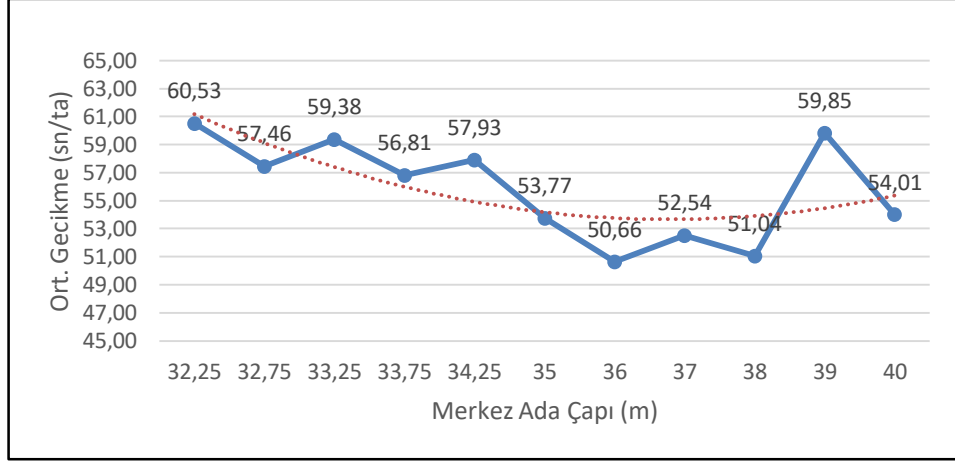
Şekil 5. 17: % 15'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama durma sayısı değeri



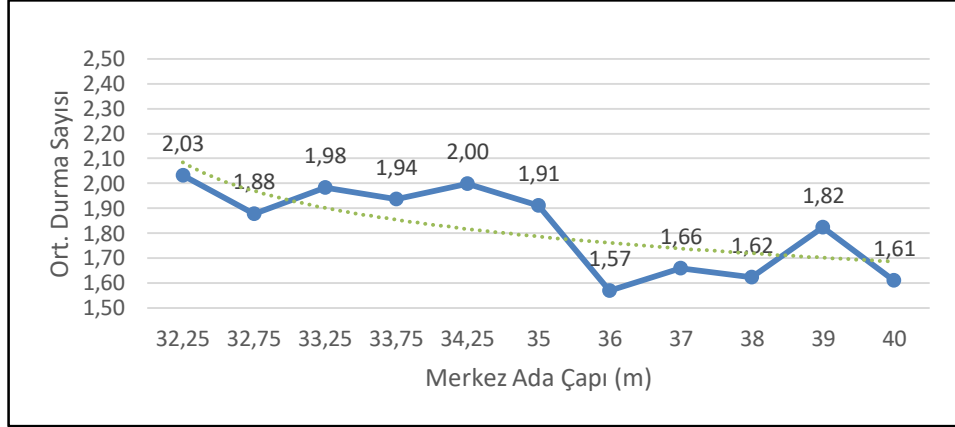
Şekil 5. 18: % 15'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama hız değeri

Tablo 5. 15: %20'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı performans parametreleri

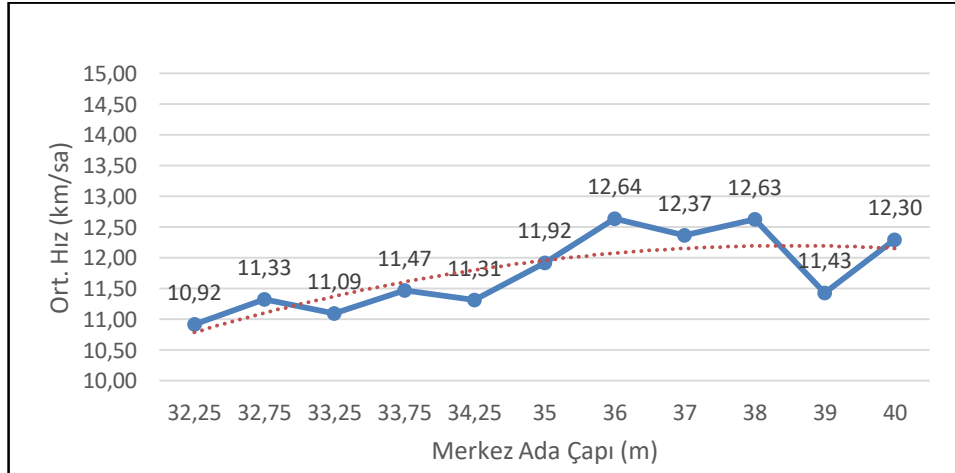
Trafik Artışı	Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
20%	32,25	60,53	2,03	10,92
	32,75	57,46	1,88	11,33
	33,25	59,38	1,98	11,09
	33,75	56,81	1,94	11,47
	34,25	57,93	2,00	11,31
	35	53,77	1,91	11,92
	36	50,66	1,57	12,64
	37	52,54	1,66	12,37
	38	51,04	1,62	12,63
	39	59,85	1,82	11,43
	40	54,01	1,61	12,30



Şekil 5. 19: % 20'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama gecikme değeri



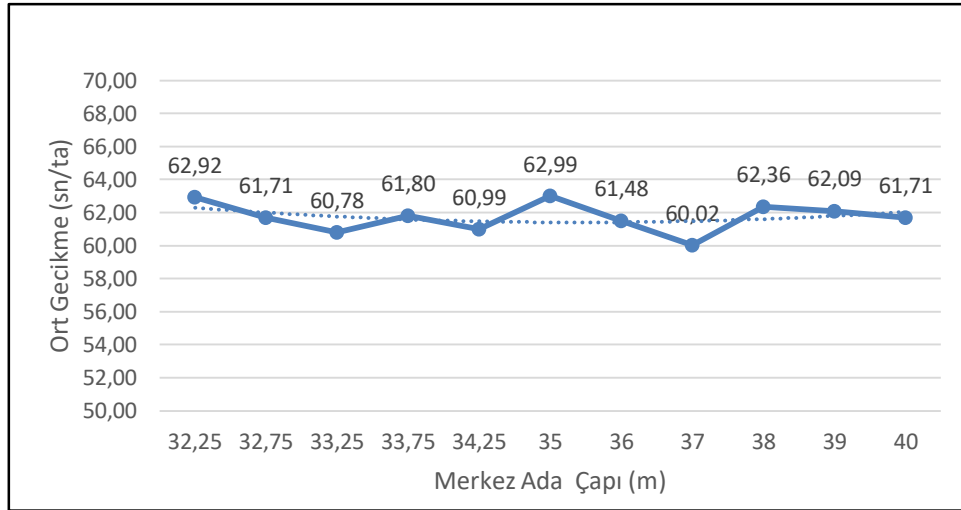
Şekil 5. 20: % 20'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama durma sayısı değeri



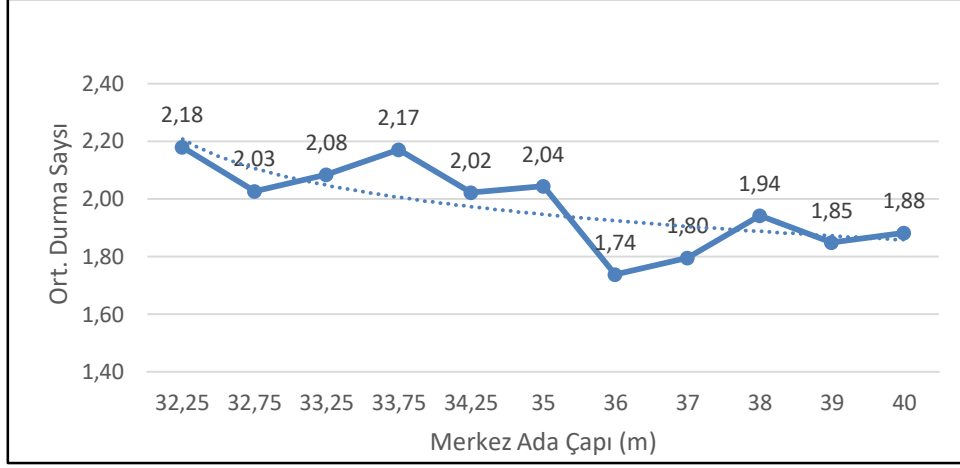
Şekil 5. 21: %5'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama hız değeri

Tablo 5. 16: %25'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı performans parametreleri

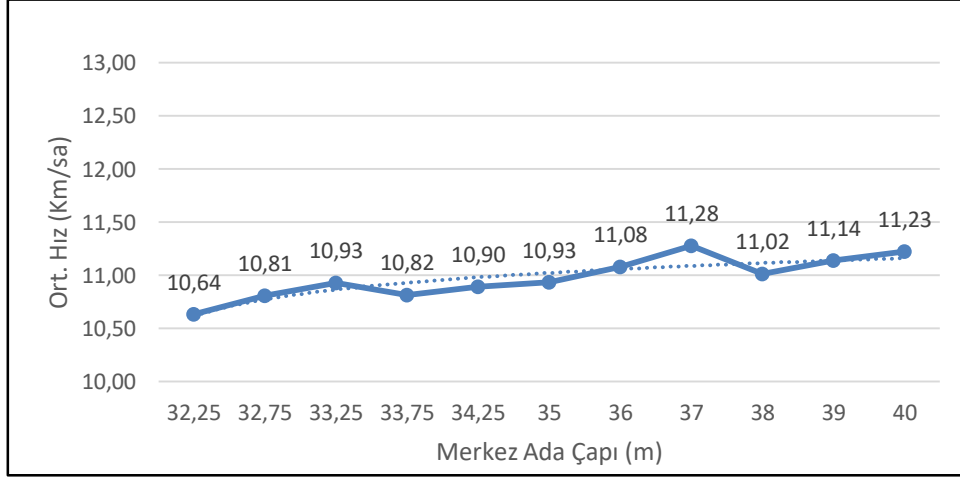
Trafik Artışı	Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
25%	32,25	62,92	2,18	10,64
	32,75	61,71	2,03	10,81
	33,25	60,78	2,08	10,93
	33,75	61,80	2,17	10,82
	34,25	60,99	2,02	10,90
	35	62,99	2,04	10,93
	36	61,48	1,74	11,08
	37	60,02	1,80	11,28
	38	62,36	1,94	11,02
	39	62,09	1,85	11,14
	40	61,71	1,88	11,23



Şekil 5. 22: %25'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama gecikme değeri



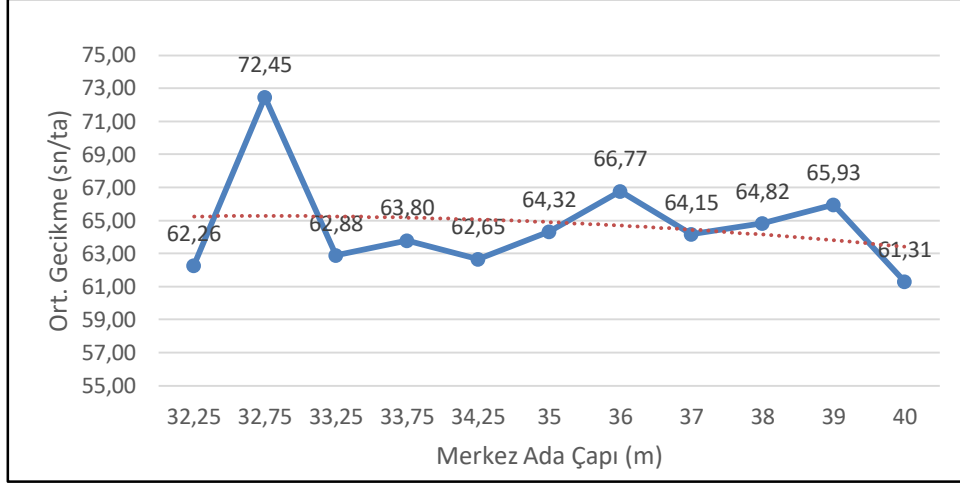
Şekil 5. 23: %25'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama durma sayısı değeri



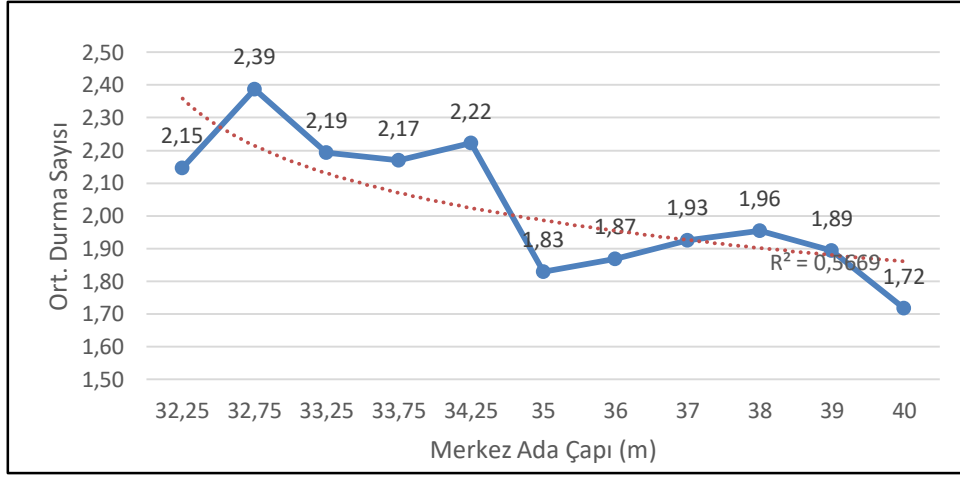
Şekil 5. 24: %25'lik trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama hız değeri

Tablo 5. 17: %30'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı performans parametreleri

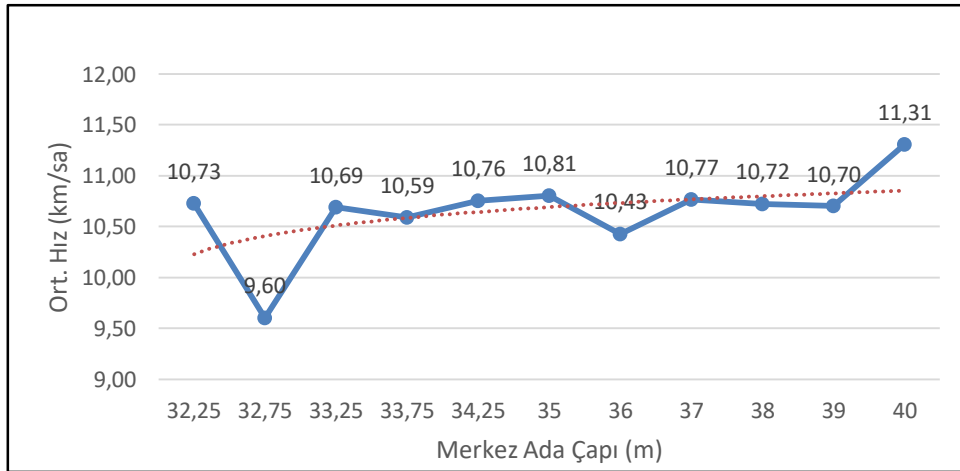
Trafik Artışı	Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
30%	32,25	62,26	2,15	10,73
	32,75	72,45	2,39	9,60
	33,25	62,88	2,19	10,69
	33,75	63,80	2,17	10,59
	34,25	62,65	2,22	10,76
	35	64,32	1,83	10,81
	36	66,77	1,87	10,43
	37	64,15	1,93	10,77
	38	64,82	1,96	10,72
	39	65,93	1,89	10,70
40	61,31	1,72	11,31	



Şekil 5. 25: %30'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama gecikme değeri



Şekil 5. 26: %30'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama durma sayısı değeri



Şekil 5. 27: %30'luk trafik artışında değişen çaplara bağlı ortalama hız değeri

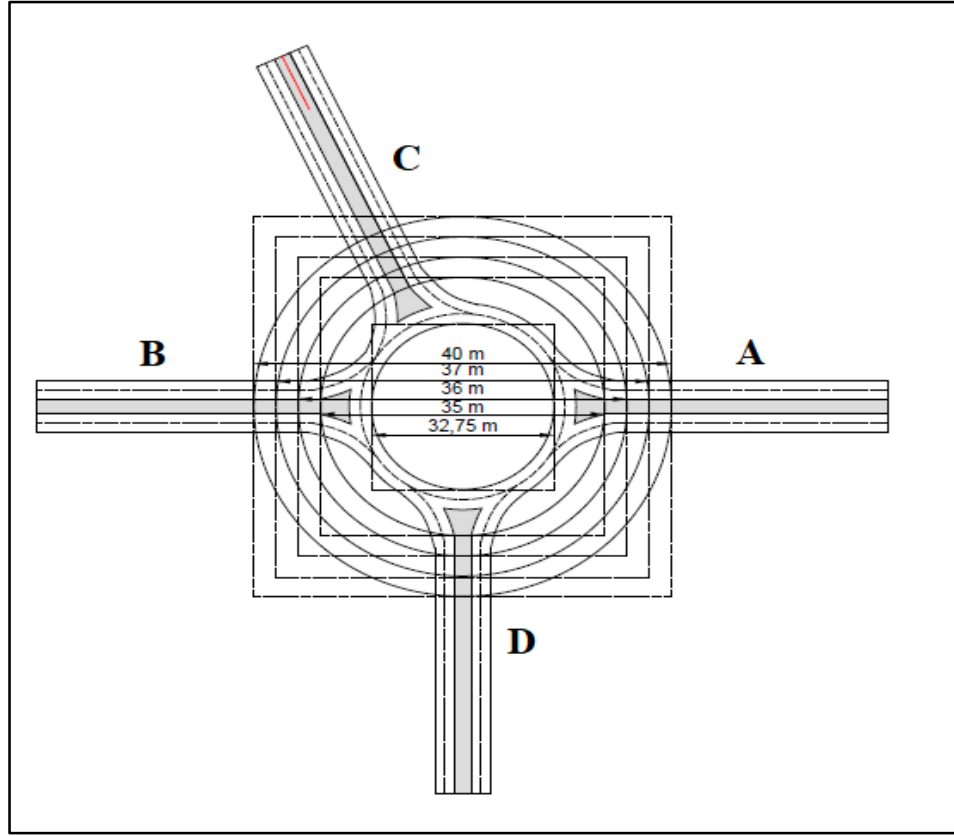
%5'lik trafik hacmi artışında 35m'lik merkez ada çapı en iyi sonucu verirken, %10 ve daha üzerindeki trafik hacmi artışlarında gecikme değerleri sürekli azalan veya artan bir eğilim göstermemektedir. Örneğin %10'luk trafik hacmi artışında en az gecikme değeri 36m'lik merkez ada çapında, %30'luk trafik hacmi artışında ise en iyi gecikme değeri 40m'lik merkez ada çapında sağlanmaktadır. Gecikmelerin dönel kavşak performansı açısından kabul edilemeyecek noktaya gelmesi noktasında bu kavşak dönel kavşak olarak işletilmekten vazgeçilmeli ve sinyalize kavşağa dönüştürülmelidir.

Sabit trafik hacmi altında belirlenen optimum çapta, trafik hacimlerinin arttırılması ile gecikmeler artmıştır. Gecikmelerin minimum düzeyde olması için kavşak çapının değiştirilmesi gerekmektedir. Trafik artışlarına bağlı olarak en iyi performansı gösteren kavşak çapları aşağıda verilmiştir.

Tablo 5. 18: Artan trafik hacimlerine karşın optimum çap değerleri

Trafik Artışı	Optimum Çap
5%	35
10%	36
15%	36
20%	36
25%	37
30%	40

Tablo 5.18'de görüldüğü gibi % 5'lik trafik artışında kavşak çapı 32,75m'den 35m'ye çıkarılması gerekmektedir. Analizler sonucunda %10 trafik artışı ile %20 trafik artışı değerlerinde en iyi sonucu 36m'lik kavşak çapı vermektedir. %30'luk trafik hacmi artışında ise kavşak çapının 40m olarak düzenlenmesi kavşak performansı açısından en iyi sonucu verecektir. Artan trafik hacimlerine bağlı olarak uygulanması gereken optimum çapların alansal değişimi Şekil 5.28'de verilmiştir.



Şekil 5. 28: Artan trafik hacimlerine bağlı optimum çapların alansal değişimi

Kavşak çapındaki bu değişimin sağlanabilmesi için bu tip dönel kavşaklara yakın bölgelerde bir koruma hattı oluşturularak bu bölgelerin imara kapatılması kavşaklardaki geometrik düzenlemelerin daha rahat ve sorunsuz şekilde yapılmasını sağlayacaktır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmanın bu bölümünde elde edilen sonuçlar ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalar verilmiştir. Giriş bölümünde kentiçi ulaşım ağında karşılaşılan problemler ele alınmış olup bu problemlerin çözümü için yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir. İkinci bölümde dönel kavşaklar üzerine literatür çalışmaları verilmiştir. Çalışmalar, farklı kavşak türlerinin dönel kavşak olarak tasarlanması durumunda kavşak parametrelerindeki değişimlerin gözlemlenmesi ve sürücü davranışları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu çalışma kapsamında dönel kavşaklarda merkez ada çapındaki değişimin kavşak performansı üzerindeki etkileri gözlemlenerek literatüre farklı bir değer katılmaya çalışılmıştır. Çalışmanın yöntemi olarak simülasyon programı seçilmiş ve bunun için de Ptv Vissim programı kullanılmıştır.

Analizler iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. Birinci kısmında dört kollu sinyalizasyon olmayan bir dönel kavşağın, merkez ada çapı değiştirilerek kavşak performansı gözlemlenmiştir. Merkez adanın çapının büyütülmesi kapasiteyi arttırmaktadır ancak buna bağlı olarak kavşaktaki gecikme değeri her zaman azalmamaktadır. Bunun nedeni olarak kavşak çapı büyüdükçe, merkez adanın içinde dönüş hareketi yapan taşıtların seyahat süreleri artacak ve yaklaşım kollarından kavşağa giriş yapmak isteyen sürücüler kavşağa girişlerde zorlanacaktır. Yapılan analizler sonucunda en az ortalama gecikme ve en büyük ortalama hız değerleri 32,75m'lik merkez ada genişliğinde elde edilmiştir. Mevcut durumda kavşak çapı 25m olarak belirlenmiştir. Bu kavşak çapında sabit trafik hacimleri altında gecikme değeri 23,75sn olarak hesaplanmıştır. Kavşaktaki gecikmelerin minimuma indirgenmesi için, kavşak çapı, 32,75m olarak düzenlenmelidir.

32,75m'lik kavşak çapının fiziki olarak uygulanması, arazi şartlarından dolayı her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle, elde edilen sonuçlar incelendiğinde 23m ile 35m'lik çaplar arasındaki gecikme değerlerinin 32,75m'lik çap haricinde birbirlerine yakın değerler olduğu görülmektedir. 32,75m'lik kavşak çapının uygulanamayacağı alanlarda, kavşağın ulaşım ağındaki önemine ve fiziki şartlara bağlı olarak 23m'lik kavşak çapı da gerekli durumlarda uygulanabilir.

Analizlerden elde edilen ortalama gecikme, ortalama duruş sayıları ve ortalama hız değerlerinin kavşak çapı ile ilişkilerinin incelenmesi amacıyla regresyon analizi yapılmıştır. İlk olarak kavşak çapı ile ortalama gecikme değerleri arasında regresyon analizi yapılmış olup bu analizden R kare değeri 0,54 olarak elde edilmiştir. Sonraki aşamada ortalama gecikme değerinin yanına bağımsız değişken olarak ortalama durma sayısı eklenmiş ve bu analizden elde edilen R kare değeri ise 0,67 olmuştur. Üçüncü regresyon analizinde ise bağımsız değişkenler olarak ortalama geçilme ve ortalama hız değerleri kullanılmış ve R kare değeri 0,60 olarak elde edilmiştir. Son olarak bağımlı değişken olan kavşak çapı ile, ortalama hız, ortalama durma sayısı ve ortalama hız bağımsız değişkenleri ile regresyon analizi yapılmış ve R kare değerinin 0,71 olduğu görülmüştür. Yapılan regresyon analizlerine bağlı olarak optimum kavşak çapının belirlenmesinde sadece ortalama gecikme değerinin kullanılması yeterli olmamaktadır.

Analizlerin ikinci kısmında en iyi sonucun elde edildiği 32,75m'lik merkez ada çapı sabit tutularak, trafik hacimleri her yaklaşım kolu için %5'den başlayarak %30'a kadar arttırılmıştır. Trafik hacminin artışına bağlı olarak kavşaktaki gecikme değeri yükselmiştir. 32,75m'lik merkez ada çapında elde edilen gecikme değeri 18,59sn olarak belirlenmiştir. Bu değere, trafik hacminin arttırılmasına karşılık merkez ada çapının da arttırılmasıyla, ilk analizde uygulanan trafik hacminden daha yüksek trafik hacimlerinde yeniden ulaşılmaya çalışılmıştır. %5 trafik hacmi artışında, 35m'lik merkez ada çapında gecikme değeri 23,78 ta/sn olarak bulunmuştur. Bu değerden sonra merkez ada çapının arttırılması kavşak içindeki seyahat süresini arttıracığından gecikme değerleri artma eğilimine geçmektedir.

Sabit trafik hacmi altında belirlenen optimum çapta, trafik hacimlerinin arttırılması ile gecikmeler artmıştır. Gecikmelerin minimum düzeyde olması için kavşak çapının değiştirilmesi gerekmektedir. Artan trafik hacimlerine bağlı olarak kavşak çaplarının değiştirilmesi, yol akslarının kaydırılması gerekmektedir. Mevcut halde 25m olan kavşak çapının %30'luk trafik artışında, optimum hizmet verebilmesi için 40m olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Kavşak çapındaki bu değişimin sağlanabilmesi için bu tip dönel kavşaklara yakın bölgelerde bir koruma hattı oluşturularak bu bölgelerin imara kapatılması kavşaklardaki geometrik düzenlemelerin daha rahat ve sorunsuz şekilde yapılmasını sağlayacaktır.

Karayolu ulaşım ağında yaşanan sorunları uzun vadede çözebilmek için özel otomobil kullanımı azaltılarak toplu taşıma sistemlerinin kullanılmasına öncelik verilmelidir. Kısa vadede çözüm üretebilmek için ise, trafik sorunlarının en fazla yaşandığı alanlar olan kavşakların performansı arttırılmalıdır. Bu da karar vericilerin tasarlanacak kavşağın bulunduğu bölgenin özelliklerini, sürücü profillerini, trafik akım değerlerini doğru analiz edip en uygun kavşağın seçiminin yapılması sağlanarak gerçekleştirilebilir.

7. KAYNAKÇA

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

Akcelik, R., "Roundabouts with Unbalanced Flow Patterns", *Paper presented at the ITE 2004 Annual Meeting*, Florida, (2004).

Akmaz, M.M., "Konya'nın Önemli Sinyalize Kavşaklarının Bilgisayar Programı İle İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, (2012).

Alçelik, N., "Kent İçi Sinyalize ve Dönel Kavşakların Kapasite Açısından Karşılaştırılması Ümraniye İlçesi Örneğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2010).

Aydemir, T., "Başlangıç-Son Matrisinin İzmir'deki Dönel Kavşak Giriş Kapasitesi Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir,(2006)

Aydemir, T. ve Tanyel, S., "Çok seritli dönel kavşaklar üzerinde OD matrisinin etkisi" *6. Ulaştırma Kongresi*, İstanbul, (2005).

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

Çakıcı, Z., "Sinyalize Dönel (Yuvarlakada) Kavşakların Tasarım Esaslarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2014).

Çelik, F., "Denetimsiz Esdüzey Kavşak Sisteminin Simülasyonu ve Taşıt Gecikmelerinin Formüle Edilmesi", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul,(1987)

Eraslan, O., "Işıklı Kavşaklarda Amerikan ve Avustralya Yöntemleri İle Gecikme Analizi ve Örnek Bir Kavşak Çözümü", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2008).

Erol, D., "Kentiçi Işıklı ve Dönel Kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisi: Denizli Örneği", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2018)

Erol, D. ve Başkan. Ö., “Şehiriçi Işıklı ve Dönel Kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisinin İncelenmesi”, *12. Ulaştırma Kongresi, Adana*, (2017).

Ersoy, M., “Capacity Analysis On Multi-Lane Roundabouts: An Evaluation With HCM2010 Capacity Model”, M. Sc. Thesis, *Istanbul Technical University Graduate School Of Science Engineering and Technology*, İstanbul, (2012)

Gedizoğlu, E.,”Denetimsiz Kavşaklarda Yanyol Sürücülerin Davranışlarına Gore Pratik Kapasite Saptanması İçin Bir Yöntem”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, İstanbul,(1979)

Gedizlioğlu, E., “Kentlerimizde Trafik Yönetimi”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 434, (2004).

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

Karayolu Tasarım El Kitabı, *Karayolları Genel Müdürlüğü*, Ankara, 127, (2005)

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

KGM, “Karayolu Tasarımı Raporu Ek 1: Kavşak Tipi Seçimi İle İlgili Olarak Önerilen Esaslar”, Ankara: (2000 a).

KGM, “Karayolu Tasarımı Raporu Ek 2: Modern Dönel Kavşaklar için önerilen Tasarım Esasları”, Ankara: (2000 b).

Liu, W., Qin, Y., Dong, H. and Yang, Y., “Driving behavior parameter sensitivity analysis based on VISSIM”, *Applied Mechanics and Materials*, (2014).

McKnight, G. A., Khattak, A. J. and Bishu, R., “Driver Characteristics Associated with Knowledge of Correct Roundabout Negotiation”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2078, (2008).

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

Murat, Y. S., Kutluhan, S., Cakici, Z., “Investigation of Cyclic Vehicle Queue and Delay Relationship for Isolated Signalized Intersection”, *16th Meeting of the Euro Working Group on Transportation*, 111 (5), Portugal, (2014).

Ouston, L. and Bared, J.G., (1995). Roundabouts, Public Roads. *Turner Fairbank Highway research Center*. Mclean, Viginia, USA.

PTV VISSIM 7 Users Guide, PTV AG, Karlsruhe, (2014).

Salamati, K., Roupail, N. M., Frey, H. C., Liu, B. and Schroeder, B. J., “Simplified Method for Comparing Emissions in Roundabouts and at Signalized Intersections”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2517, (2015).

Simitçiu, R., “ Türkiye’deki Dönel Kavşakların Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir,(2015).

Taekratok, T., *Modern Roundabouts for Oregon*. Oregon Department of Transportation Research Unit, Salem, Oregon, (1998).

Tanyel, S. ve Varlıoprak, Ç., “Yeni Tip Dönel Kavşak Uygulama Örnekleri”, *4. Ulaştırma Kongresi*, Denizli, (1998).

Tanyel, S. ve Yayla, N., “Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma”, *İMO Teknik Dergi*, 4935-4958, (2010).

Tanyel, S., “Türkiye’deki Dönel Kavşaklar İçin Kapasite Hesap Yöntemi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2001).

Tanyel, S., “Yuvarlak Ada Kavşaklarda Ana Akımdaki Ağır Araç Yüzdesinin Yanyol Kapasitesi Üzerindeki Etkisi”, *Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (1), (2005).

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

Trafik Kazalari ve Dönel Kavşaklar, Tanyel, S. , *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni*, Sayı 119, İzmir, (2004)

Transportation Research Bord (TRB) (2010). *Highway Capacity Manual*. National Research Council, Washington D.C., U.S.A.

Troutbeck, R., “Background for HCM Section on Analysis of Performance of Roundabouts”, *Transportation Research Record*, 1646, (1998).

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

Ünal, E., "Dönel Kavşakların İncelenmesi ve Mühendislik Yöntemleri İle Karşılaştırılması, Mersin İli Dönel Kavşak Örneği" Yüksek Lisans Tezi, *Toros Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, (2019)

Varlıorpak, Ç., *Trafik Ders Notları*, İzmir : Dokuz Eylül Üniversitesi Matbaası, (1982).

Wiedemann, R., *Simulation des Strassenverkehrsflusses*, Karlsruhe, (1974).

Yayla, N., *Karayolu Mühendisliği*, İstanbul: Birsen Yayınevi, 211-223, (2004).

Yüksel E., "Modern Dönel Kavşakların Kapasite ve Trafik Güvenliği Yönünden İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2007)

EKLER

8. EKLER

Ek A.1 15m ile 35m merkez ada çapları arasındaki 0,25m’lik değişimler

Tablo A. 1: 15m ile 20m Arası Analiz Sonuçları

ap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
15,00	28,38	1,43	17,49
15,25	36,21	1,89	15,19
15,50	29,11	1,41	17,26
15,75	28,71	1,36	17,39
16,00	33,22	1,52	16,00
16,25	27,23	1,33	17,89
16,50	29,53	1,44	17,10
16,75	22,38	1,17	19,81
17,00	26,22	1,34	18,25
17,25	29,78	1,47	16,99
17,50	28,02	1,39	17,61
17,75	25,04	1,29	18,72
18,00	26,00	1,35	18,32
18,25	22,79	1,17	19,62
18,50	26,65	1,31	18,08
18,75	24,23	1,26	19,03
19,00	29,29	1,42	17,18
19,25	25,65	1,25	18,45
19,50	28,32	1,34	17,51
19,75	25,43	1,31	18,55
20,00	25,53	1,31	18,49

Tablo A. 2: 15m ile 20m Arası Analiz Sonuçları

Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
20,00	25,53	1,31	18,49
20,25	25,94	1,28	18,36
20,50	25,55	1,27	18,61
20,75	30,36	1,43	16,93
21,00	25,67	1,21	18,55
21,25	24,82	1,23	18,84
21,50	24,84	1,32	18,86
21,75	28,50	1,43	17,50
22,00	27,83	1,34	17,74
22,25	24,71	1,21	18,89
22,50	28,30	1,36	17,57
22,75	20,49	1,08	20,67
23,00	24,03	1,30	19,10
23,25	27,63	1,59	17,74
23,50	24,94	1,23	18,74
23,75	23,45	1,17	19,35
24,00	24,10	1,16	19,08
24,25	22,41	1,16	19,80
24,50	25,40	1,27	18,55
24,75	26,02	1,27	18,31
25,00	23,75	1,17	19,19

Tablo A. 3: 25m ile 30m Arası Analiz Sonuçları

Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
25,00	23,75	1,17	19,19
25,25	24,74	1,13	18,77
25,50	22,72	1,19	19,60
25,75	23,65	1,14	19,21
26,00	24,17	1,21	19,02
26,25	20,85	1,03	20,46
26,50	25,63	1,23	18,44
26,75	22,10	1,11	19,86
27,00	24,34	1,21	18,97
27,25	27,15	1,32	17,90
27,50	23,70	1,19	19,23
27,75	25,43	1,21	18,49
28,00	24,09	1,16	19,07
28,25	20,37	1,05	20,68
28,50	24,70	1,21	18,79
28,75	21,78	1,07	20,08
29,00	22,73	1,09	19,68
29,25	22,59	1,10	19,76
29,50	22,19	1,11	19,92
29,75	22,71	1,12	19,72
30,00	23,58	1,11	19,37

Tablo A. 4: 30m ile 35m Arası Analiz Sonuçları

Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
30,00	23,58	1,11	19,37
30,25	20,26	1,01	20,79
30,50	23,04	1,08	19,53
30,75	22,06	1,06	20,00
31,00	22,44	1,17	19,86
31,25	20,92	1,04	20,52
31,50	20,71	1,01	20,62
31,75	20,82	1,03	20,59
32,00	22,21	1,01	19,93
32,25	24,03	1,07	19,22
32,50	22,24	1,02	19,92
32,75	18,59	0,90	21,64
33,00	21,50	0,98	20,28
33,25	21,76	1,04	20,13
33,50	24,55	1,07	19,04
33,75	20,42	0,97	20,82
34,00	21,39	0,99	20,34
34,25	23,02	1,07	19,64
34,50	22,47	0,98	19,90
34,75	22,20	0,97	19,98
35,00	19,88	0,94	21,09

9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emre ÖĞÜTVEREN

Doğum Yeri ve Tarihi : Muğla, 11/05/1992

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : emreogutveren@gmail.com

İletişim Adresi :Taşyaka Mah. 161 Sok. No:1
Fethiye/MUĞLA