BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖNEL KAVŞAKTA FARKLI UYGULAMALARIN PERFORMANS KRİTERLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Alphan KAYACAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2021

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖNEL KAVŞAKTA FARKLI UYGULAMALARIN PERFORMANS KRİTERLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed Alphan KAYACAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bahadır YILMAZ

TEMMUZ 2021

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 19262821016 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Muhammed Alphan KAYACAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "Dönel Kavşakta Farklı Uygulamaların Performans Kriterleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Bahadır YILMAZ** .....
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Turan ARSLAN** .....
Uludağ Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Nurten AKGÜN TANBAY .....
Bursa Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 14 Haziran 2021
Savunma Tarihi : 06 Temmuz 2021

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: M. Alphan KAYACAN

İmzası:

ÖNSÖZ

Bu tezin yazımında bana her türlü desteği sağlayan, bilgi ve birikimleriyle yol gösteren başta danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Bahadır YILMAZ olmak üzere, verilerimin analizinde tecrübeleriyle bana kılavuz olan Dr. Öğr. Üyesi Babak VAHEDDOOST, simülasyon ve planlamada elinden gelen her yardımı sağlayan Arş. Gör. Mehmet RİZELİOĞLU'na ve trafik verilerini paylaşıp her konuda yardımcı olmaya çalışan Bursa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca bana her türlü imkanı sunan, hayatın her alanında en büyük destekçim ve yol göstericim olan değerli Aileme teşekkür ederim.

Haziran 2021

M.Alphan Kayacan
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ……... ……v
İÇİNDEKİLER vi
KISALTMALAR viii
SEMBOLLER ix
ÇİZELGE LİSTESİ x
ŞEKİL LİSTESİ xi
ÖZET……..... xiiii
SUMMARY xiv
1. GİRİŞ …….. 1
1.1 Tezin Amacı 2
1.2 Literatür Araştırması 3
2. KAVŞAKLAR 8
2.1 Kavşak Tasarım İlkeleri 8
2.1.1 Kavşak emniyeti 8
2.1.2 Kavşak konforu 11
2.1.3 Kavşak kapasitesi 11
2.2 Kavşak Türleri 12
2.2.1 Farklı düzeyli kavşaklar 12
2.2.2 Hemzemin kavşaklar 13
2.2.2.1 Denetimsiz kavşaklar 14
2.2.2.2 Sinyalize kavşaklar 14
2.2.2.3 Dönel kavşaklar 15
2.3 Modern Dönel Kavşakların Tasarım Özellikleri 22
2.3.1 Proje hızı ve tip aracı 22
2.3.2 Sapma derecesi 24
2.3.3 Merkez ada 24
2.3.4 Giriş ve çıkış kurpları 25
2.3.5 Ayırıcı adalar 25
2.3.6 Görüş mesafesi 26
2.3.7 Trafik işaretleri ve aydınlatmalar 27
3. MATERYAL-METOT 29
3.1 PTV Vissim Mikro Ölçekli Trafik Simülasyon Yazılımı 29
3.2 Çalışma Alanının Seçimi 31
3.3 Verilerin Toplanması 33
3.4 Mevcut Durum Ağının Modellenmesi 35
3.4.1 Kavşak ve yol ağlarının oluşturulması 35
3.4.2 Taşıt girdileri 38
3.4.3 Sinyalizasyon 38
3.5 Senaryoların Modellenmesi 40
3.5.1 Dört kollu sinyalize kavşak (Senaryo 1) 41

3.5.2 Dört kollu modern dönel kavşak (Senaryo 2) 41
3.5.3 Üç kollu modern dönel kavşak (Senaryo 3) 44
3.6 Simülasyon Verilerinin Toplanması 45
3.7 Simülasyon Verilerinin Analizi 45
4. BULGULAR 47
4.1 Mevcut Durum Simülasyon Sonuçları 47
4.2 Dört Kollu Sinyalize Kavşak Simülasyon Sonuçları (Senaryo 1) 50
4.3 Dört Kollu Modern Dönel Kavşak Simülasyon Sonuçları (Senaryo 2) 54
4.4 Üç Kollu Modern Dönel Kavşak Simülasyon Sonuçları (Senaryo 3) 58
4.5 İstatistiksel Analiz 61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 65
KAYNAKLAR 69
EKLER…. 72
ÖZGEÇMİŞ 81

KISALTMALAR

ABD **:** Amerika Birleşik Devletleri
CO **:** Karbonmonoksit
CO_2 **:** Karbondioksit
EBO **:** Eşdeğer Otomobil Birimi
GEH **:** Geoffrey E. Havers
HC **:** Hidrokarbon
NO_x **:** Azot Oksit
YOGT **:** Yıllık Ortalama Günlük Trafik

SEMBOLLER

C : Mevcut durumda gözlemlenen taşıt sayıları

d : Görüş üçgeninin kesişen diğer akımlar için kol uzunluğu (m)

e : Dever (m/m)

f : Yanal sürtünme faktörü

$\mathbf{f_{AA}}$: Ağır araç düzeltme faktörü

$\mathbf{H_0}$: Null hipotez

$\mathbf{H_a}$: Alternatif hipotez

M : Modellemede elde edilen taşıt sayıları

R : Yarıçap (m)

$\mathbf{t_c}$: Kavşağa giriş için kritik boşluk (sn)

V : Hız (km/s)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Fransa'da seksen üç kavşağı içeren bir yıl süreli kaza istatistikleri **10**
Çizelge 2.2 : Avustralya'da iki yüz otuz kavşağı içeren bir yıl süreli kaza istatistikleri..... **10**
Çizelge 2.3 : Modern dönel kavşakların avantaj ve dezavantajları **20**
Çizelge 2.4 : Dönel kavşak türlerine göre tasarım özelliklerinin karşılaştırılması **21**
Çizelge 2.5 : Çeşitli hızlara ait yanal sürtünme faktörleri **23**
Çizelge 3.1 : Durmazlar Kavşağı zirve saatleri taşıt hacimleri (ta/s) **33**
Çizelge 4.1 : Mevcut durum simülasyonu zirve saati taşıt hacimleri (ta/s) **47**
Çizelge 4.2 : Mevcut durum simülasyonu taşıt hacimi GEH değerleri **48**
Çizelge 4.3 : Mevcut durum simülasyonu "Queue Counter" ve "Data Collection Point" verileri..... **49**
Çizelge 4.4 : Mevcut durum simülasyonu "Vehicle Travel Time" verileri..... 4**9**
Çizelge 4.5 : Dört kollu sinyalize kavşak simülasyonu "Queue Counter" ve "Data Collection Point" verileri **51**
Çizelge 4.6 : Dört kollu sinyalize kavşak simülasyonu "Vehicle Travel Time" verileri **52**
Çizelge 4.7 : Mevcut durum ve senaryo 1 simülasyon sonuçları karşılaştırması **53**
Çizelge 4.8 : Dört kollu modern dönel kavşak simülasyonu "Queue Counter" ve "Data Collection Point" verileri..... **55**
Çizelge 4.9 : Dört kollu modern dönel kavşak simülasyonu "Vehicle Travel Time" verileri **56**
Çizelge 4.10 : Mevcut durum ve senaryo 2 simülasyon sonuçları karşılaştırması **57**
Çizelge 4.11 : Üç kollu modern dönel kavşak simülasyonu "Queue Counter" ve "Data Collection Point" verileri..... **59**
Çizelge 4.12 : Üç kollu modern dönel kavşak simülasyonu "Vehicle Travel Time" verileri **59**
Çizelge 4.13 : Mevcut durum ve senaryo 3 simülasyon sonuçları karşılaştırması **60**
Çizelge 4.14 : Analizler sonucu elde edilen değerler **63**
Çizelge 5.1 : Tüm senaryolara ait performans parametreleri..... **67**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : 2020 yılı ölümlü veya yaralanmalı kazalara neden olan sürücü kusurları . **9**
Şekil 2.2 : Farklı düzeyli kavşak örneği **13**
Şekil 2.3 : Denetimsiz kavşak kaza örneği **14**
Şekil 2.4 : Dört kollu sinyalize kavşak örneği **15**
Şekil 2.5 : Dört kollu dönel olmayan kavşak ve dönel kavşak çakışma noktaları..... **16**
Şekil 2.6 : Üç kollu denetimsiz dönel kavşak örneği..... **17**
Şekil 2.7 : Dört kollu sinyalize dönel kavşak örneği **18**
Şekil 2.8 : Modern dönel kavşak örneği **19**
Şekil 2.9 : Minimum ayırıcı ada boyutları..... **26**
Şekil 2.10 : Kavşak görüş mesafesi **27**
Şekil 3.1 : Vissim program içi görünümü..... **29**
Şekil 3.2 : Simülasyon modellemesi aşamaları **30**
Şekil 3.3 : Durmazlar Kavşağı yerleşimi **31**
Şekil 3.4 : Durmazlar Kavşağı'na bağlanan kollar..... **32**
Şekil 3.5 : 2006 ve 2020 yıllarına ait uydu fotoğrafları..... **32**
Şekil 3.6 : Durmazlar Kavşağı sabah zirve saati trafik hacimleri ve güzergahları.... **34**
Şekil 3.7 : Durmazlar Kavşağı devre diyagramı..... **34**
Şekil 3.8 : Modellemesi yapılan yol ağı **35**
Şekil 3.9 : Vissim programı yol ayarları penceresi..... **36**
Şekil 3.10 : Mevcut durumda 4 numaralı yolda oluşan düzensizlik..... **37**
Şekil 3.11 : Kavşak bölgesinin Vissim programında çizilen modeli..... **37**
Şekil 3.12 : Güzergah görünümü ve güzergah seçenekleri..... **38**
Şekil 3.13 : Trafik ışılarının konumu ve isimlendirilmesi..... **39**
Şekil 3.14 : Mevcut durum sinyalizasyon devre diyagramı **39**
Şekil 3.15 : Trafik ışığı ayarlar penceresi..... **40**
Şekil 3.16 : Düzenlenmiş sinyalizasyon devre diyagramı **41**
Şekil 3.17 : Durmazlar Kavşağı kamulaştırma sınırları..... **42**
Şekil 3.18 : Dört kollu modern dönel kavşak modeli **43**
Şekil 3.19 : Vissim programı çakışma alanları gösterimi..... **43**
Şekil 3.20 : Çakışma alanındaki varsayılan davranış parametreleri **44**
Şekil 3.21 : Üç kollu modern dönel kavşak modeli..... **44**
Şekil 4.1 : Mevcut durum simülasyonu görünümü..... **48**
Şekil 4.2 : Dört kollu sinyalize kavşak simülasyonu görünümü **50**
Şekil 4.3 : Mevcut durum ve senaryo 1 seyahat süreleri karşılaştırması..... **53**
Şekil 4.4 : Dört kollu modern dönel kavşak simülasyonu görünümü..... **54**
Şekil 4.5 : Mevcut durum ve senaryo 2 seyahat süreleri karşılaştırması..... **57**
Şekil 4.6 : Üç kollu modern dönel kavşak simülasyonu görünümü **58**
Şekil 4.7 : Mevcut durum ve senaryo 3 seyahat süreleri karşılaştırması..... **60**
Şekil 4.8 : Mevcut durum ile senaryo 1 seyahat süresi istatistiksel veri analizi adımları **61**
Şekil 4.9 : Mevcut durum ile senaryo 1 kuyruk uzunluğu istatistiksel veri analizi adımları **62**
Şekil A.1 : Mevcut durum ile senaryo 1 ortalama kuyruk uzunluğu verileri karşılaştırması **72**
Şekil A.2 : Mevcut durum ile senaryo 1 ortalama sürat verileri karşılaştırması..... **72**

Şekil A.3 : Mevcut durum ile senaryo 2 ortalama kuyruk uzunluğu verileri karşılaştırması **73**
Şekil A.4 : Mevcut durum ile senaryo 2 ortalama sürat verileri karşılaştırması..... **73**
Şekil A.5 : Mevcut durum ile senaryo 3 ortalama kuyruk uzunluğu verileri karşılaştırması **74**
Şekil A.6 : Mevcut durum ile senaryo 3 ortalama sürat verileri karşılaştırması..... **74**
Şekil B.1 : Mevcut durum ile senaryo 1 seyahat süresi verileri karşılaştırması **75**
Şekil B.2 : Mevcut durum ile senaryo 2 seyahat süresi verileri karşılaştırması **75**
Şekil B.3 : Mevcut durum ile senaryo 3 seyahat süresi verileri karşılaştırması **76**
Şekil C.1 : Senaryo 1 sürat istatistiksel veri analizi adımları **77**
Şekil C.2 : Senaryo 2 kuyruk uzunluğu istatistiksel veri analizi adımları..... **77**
Şekil C.3 : Senaryo 2 sürat istatistiksel veri analizi adımları **78**
Şekil C.4 : Senaryo 2 seyahat süresi istatistiksel veri analizi adımları **78**
Şekil C.5 : Senaryo 3 kuyruk uzunluğu istatistiksel veri analizi adımları..... **79**
Şekil C.6 : Senaryo 3 sürat istatistiksel veri analizi adımları **79**
Şekil C.7 : Senaryo 3 seyahat süresi istatistiksel veri analizi adımları **80**

DÖNEL KAVŞAKTA FARKLI UYGULAMALARIN PERFORMANS KRİTERLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Ulaşım, insanların veya yüklerin bir yerden başka bir yere taşınmasıdır. Günümüzde ulaşımın %95 gibi büyük bir oranı karayollarından sağlanmaktadır. Bununla birlikte her yıl artan taşıt sayısı ve buna bağlı olarak artan trafik yoğunluğu özellikle büyük şehir merkezlerinde sıkıntılara yol açmaktadır. Sürdürülebilir bir trafik ağının oluşturulamaması, bekleme süreleri ve dur-kalk sayılarının artması psikolojik, ekonomik ve ekolojik anlamda olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Bu olumsuzlukları en aza indirebilmek için şehir içi ulaşım sürelerinin olabildiğince kısaltılması gerekmektedir. Bu noktada ise ulaşım ağlarının en önemli bağlantı elemanları olarak kavşakların verimli işlemeleri hayati önem taşımaktadır. Literatürde hemzemin kavşakları ele alan çalışmalarda modern dönel kavşakların birçok performans kriteri açısından sinyalize dönel kavşaklardan daha faydalı olduğu görülmektedir. Fakat incelenen kavşakların treyler, kamyon gibi ağır ve uzun taşıtların yer almadığı kent içi bölgelerde bulunması ve kavşağa bağlanan tüm kolların geometrik açıdan sorunsuz olması dikkat çekmiştir. Bu sebeple geometrik özelliklerinin ideal olmadığı durumda da her türden taşıtın aktif ve yoğun olarak kullanabileceği bir kavşağın farklı senaryolar altında göstereceği performansı araştırma gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada, Bursa ili içinde yer alan Ata Bulvarı üzerindeki sinyalize dönel kavşak, üç farklı senaryo oluşturularak farklı kavşak türleri olarak yeniden tasarlanmıştır. PTV Vissim simülasyon programından elde edilen mevcut duruma ve oluşturulan senaryolara ait veriler karşılaştırılmıştır. Kuyruk uzunluğu, sürat ve seyahat süresi parametreleri karşılaştırma parametreleri olarak seçilmiştir. Farklı durumlara ait optimum kavşak önerileri sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Hemzemin Kavşak, Kavşak Geometrisi, Modern Dönel Kavşak, PTV Vissim, Sinyalize Kavşak, Trafik Simülasyonu

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT APPLICATIONS ON PERFORMANCE CRITERIA IN THE ROUNDABOUT

SUMMARY

Transportation is the process of moving people or loads from one location to another. Nowadays roads provide 95 percent of all modes of transportation. However, the increasing number of vehicles on the road each year, as well as the increasing intensity of traffic, are causing problems, particularly in large city centers. Failure to build a sustainable traffic network and long wait times has negative psychological, economic, and environmental consequences. To reduce these drawbacks, urban transportation travel times must be reduced as much as possible. The efficient operation of intersections is critical at this point. Modern roundabouts are more useful than signalized roundabouts in terms of many performance criteria, according to studies dealing with at-grade intersections. It is worth noting, however, that every roundabout connection is geometrically sound, and the intersections under consideration are in urban areas with limited access to heavy and long vehicles. As a result, it is necessary to investigate the effects of transforming an active intersection used by various types of vehicles under various intersection scenarios.

In this study, Durmazlar signalized roundabout, located in the province of Bursa, was reconstructed as three different intersection types. The PTV Vissim simulation application was used to model the roundabout and collect data from the results. The data acquired from the present situation simulation program and the scenarios produced were compared. The data gathered for the new scenarios and the current situation were compared in terms of queue length, vehicle travel time, and speed metrics. For various conditions, the best at-grade intersection recommendations were offered.

Keywords: At-grade Intersection, Modern Roundabout, PTV Vissim, Roundabout Geometry, Signalized Roundabout, Traffic Simulation

1. GİRİŞ

Ulaşım, insanların ve eşyaların bir konumdan başka bir konuma yaya, karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu gibi yöntemlerle gitmesi olarak açıklanabilir. Ulaşım ihtiyacı insanlık tarihinin başından beri süregelen ve sürekli gelişen bir ihtiyaçtır. İlk çağlarda yaya olarak karşılanan ulaşım ihtiyacı, tekerleğin icadıyla birlikte gelişmeye başlamış ve günümüzde hala gelişmeye devam etmektedir.

Günümüzde yolcu ulaşımın %95, yük ve eşya ulaşımının ise %92 gibi büyük bir oranı karayolu aracılığıyla yapılmaktadır. Bu oranlar karayolu ağlarında yapılacak olan iyileştirmelerin etkisinin ne denli geniş bir kitleyi etkileyeceğini göstermektedir [1]. Dünya nüfusunun devamlı artış içinde olması ve nüfus artışına bağlı olarak trafiğe çıkan taşıt sayısındaki artış, insan hayatında çok büyük kolaylıklar sağlamasına rağmen, birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. Trafik kazalarından sebep maddi ve manevi kayıplar, trafik tıkanıklıkları, egzoz emisyonundan dolayı çevreye verilen zararlar, fosil yakıt tüketimi, taşıtların sebep olduğu gürültü kirlilikleri vb. durumlar söz konusu sorunlardan yalnızca bazılarıdır [2,3,4]. Son zamanlarda küresel çaptaki Covid-19 pandemisi sebebiyle insanların daha izole ulaşım sağlama istekleri, toplu taşımaya olan yönelimin şahsi araçlara doğru kaymasına, bu durum da ulaşım sağlayan taşıt sayısı artışının normal zamandan daha fazla artmasına sebep olmuş ve trafik ağlarında yapılacak iyileştirmeleri daha önemli kılmıştır.

Şehir içi karayollarında meydana gelen bu taşıt artışları beraberinde trafik yoğunluğu da getirmiş ve trafik yoğunluğuna bağlı olarak da trafikte bekleme süresi, yolda geçirilen zaman, harcanan yakıt miktarı, salınan egzoz gazı miktarı gibi ölçülebilir parametrelerin yanı sıra sürücülerde stres, tahammülsüzlük, agresiflik gibi olumsuz psikolojik etkileri de arttırmıştır. Bunların yanı sıra yapılan araştırmalar şehir içinde meydana gelen ölümlü veya yaralanmalı kazaların %47'sinin kavşaklarda meydana geldiğini göstermektedir [1]. Bahsi geçen olumsuzlukları azaltabilmek adına şehir içi yol ağlarının önemli bağlantı elemanları olan kavşakların verimli düzeyde işletilebilmesi büyük önem arz etmektedir. Bunun için de doğru kavşak türü seçimi kilit rol oynamaktadır. Trafik tıkanıklığı sorununu asgari seviyeye indirmek için, farklı tip kavşaklar ve farklı denetim yöntemleri kullanılmaktadır. Sinyalize dönel kavşaklar son yıllarda ülkemizde kullanımı artan kavşak türlerindendir. Sinyalize dönel

kavşakların kullanımının artmasına sebep olarak sürücülerin dönel kavşaklarda geçiş önceliği kuralına uymaması gösterilebilir. Sinyalize dönel kavşak uygulaması ile dönel ada etrafında sirküle olan akım ile yaklaşım kollarındaki akımların olası çakışmaları ve kaza olasılıklarını asgari seviyeye indirmek amaçlanır [5]. Fakat buna karşın şehir içi karayolu ağlarında meydana gelen gecikmelerin çoğu, sinyalizasyon sebepli durmalardan kaynaklanmaktadır. Seyahat hızı açısından kilometre başına düşen sinyalizasyon sayısının, şerit başına trafik hacminden veya hacim-kapasite oranından daha büyük bir etkisi olduğu söylenebilir [6]. Bu durum bizleri sinyalize dönel kavşaklardan daha verimli işleyebilecek bir hemzemin kavşak arayışına itmektedir. Yapılan çalışmalar ışığında birçok performans kriteri açısından ışıklı dönel kavşaklardan daha verimli olduğu görülen modern dönel kavşakların kullanımı son yıllarda artmakla beraber henüz modern dönel kavşakların tasarımı ve uygulanmasına dair belirlenmiş kesin kriterler bulunmamaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Yıllar yılı artan trafik yoğunluğunun etkisiyle trafikteki bekleme süresi ve araçların dur kalk oranları artmaktadır. Buna bağlı olarak yakıt israfı ve egzoz emisyon oranlarının artması, sürücülerin agresifleşmesi sonucu oluşabilecek kural ihlalleri ve kazalar gibi sonuçlar meydana gelmektedir. Bahsedilen olumsuzluklarının önüne geçebilmek için şehir içi ulaşım ağlarında tıkanıklığın en fazla yaşandığı noktalar olan kavşakların en verimli şekilde işletilmesi önem arz etmektedir.

Ülkemizde, sinyalize dönel kavşaklar hem yayalar hem de araçlar açısından daha kontrollü bir ulaşımın sağlanabilmesi nedeniyle sıkça tercih edilmektedir. Fakat çoğu sinyalizasyon sistemi trafik yoğunluğundan bağımsız olarak çalışmakta olup zirve saatlerde yoğunluğu önlemek yerine daha da arttırmaktadır. Zirve olmayan saatlerde ise araçların gereksiz beklemeler yapmasına sebep olmaktadır. Yapılan çalışmada, bu durumun önüne geçilebilmesi amacıyla trafik yoğunluğunun yüksek olduğu ve her türden aracın aktif olarak kullandığı şehir içi sinyalize bir dönel kavşak ele alınmıştır. Mevcut kaşağın yerine farklı kavşak senaryoları hazırlanarak yeniden tasarlanıp performans kriterleri karşılaştırılmış ve çözüm önerileri sunulmuştur. Mevcut durum ile hazırlanan senaryoların modellenmesi ve simülasyonları PTV Vissim programında yapılmış olup verilerin kullanılabilirliği GEH istatistiği yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen verilerin istatistiksel analizleri ise R Studio programı aracılığıyla yapılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Bu bölümde, tezin konusunu oluşturan dönel kavşaklar ve diğer hemzemin kavşak türleri hakkında önceden yapılmış olan çalışmalar incelenmiş olup bu çalışmalar hakkında kısaca bilgiler verilmiştir.

Yang, Li ve Xue tarafından yapılan çalışmada modern dönel kavşaklar için, dönel kavşakta trafik ve güvenlik sorununa neden olan örülme bölgelerini ve karışıklık noktalarını elimine eden yeni bir sinyal kontrol metodu önermişlerdir. Çalışmada, sirkülasyon şeridindeki kuyruk uzunluğu göz önünde bulundurularak her bir trafik akımı için yeşil süre ve devre süresi hesabı sağlanmıştır. Dönel kavşağın performansını değerlendirmek amacıyla, önemli performans parametreleri olan kapasite ve gecikme de formüle edilmiştir. Bu yeni trafik kontrolü, Xiamen/Çin' de bulunan bir dönel kavşaktaki ciddi trafik tıkanıklığı sorunlarını çözmek için kullanılmış ve başarıyla sonuçlanmıştır. Çalışma kapsamında yapılan önce ve sonra analizleri, kavsak işletiminde ciddi boyutta iyileşme olduğunu göstermiştir. Uygulanan yöntem ile her bir taşıtın ortalama gecikmesi yaklaşık 20 saniye azalmış, kapasite ise düz giden akımlar için %118 artarken, sola dönen akımlar için ise % 96 artarak, ortalamada %72,1 artış göstermiştir [7].

Mandavilli, Rys ve Russel sinyalize kavşakların, belli durumlarda taşıt trafiğinin hızını azalttığını hatta bazı durumlarda trafiğin durmasına yol açtığını ve bu durumun taşıt emisyonunda önemli düzeyde artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, Amerika'da bulunan birkaç modern dönel kavşakta yaptıkları gözlemler sonucunda, dönel kavşakların trafik akımını iyileştirme etkisine sahip olduğunu, bunun yanı sıra kavşaktaki taşıtların boşa harcadığı zamanı azalttığını ve buna bağlı olarak kavşaktaki yakıt tüketimi ve taşıt emisyonunun da azaldığını açıklamışlardır. Çalışma kapsamında, sinyalize kavşağın kaldırılarak yerine modern dönel kavşağın yerleştirildiği altı farklı bölge dikkate alınmış ve bu bölgelerdeki trafik verileri kullanılmıştır. Sinyalize kavşaklar ve modern dönel kavşaklar karbondioksit, nitrik oksit, karbonmonoksit, hidrokarbon emisyon parametreleri dikkate alınarak birbirleri ile istatistiksel olarak karşılaştırılmış, karşılaştırmaların sonucunda modern dönel kavşakların taşıt emisyonunu azaltmak için iyi bir alternatif kavsak olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan çalışma modern dönel kavşakların çevre dostu olduğunu da açıkça ortaya koymuştur [3].

Çin'de yer alan sinyalize kavşaklar ile farklı ülkelerde yer alan kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakları karşılaştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda, trafik akımının yüksek olduğu yerlerde taşıt gecikmelerini ve karmaşayı azaltmak, daha düzenli trafik akışı sağlamak için sinyalize

dönel kavşağın daha etkili olduğunu saptamıştır. Trafik akımlarının düşük olduğu yerlerde ise modern dönel kavşak kullanımının daha etkili olacağı sonucuna varılmıştır [8].

Otkovic ve Dadic yaptıkları çalışmada sinyal kontrollü kavşaktaki taşıt gecikmesi ile dönel kavşaktaki taşıt gecikmelerini karşılaştırmışlardır. Çalışmalar sonucunda sinyal kontrollü kavşaklardaki seyahat sürelerinin ve ortalama taşıt gecikmelerinin dönel kavşağa oranla daha fazla oldukları sonucuna ulaşılmıştır [9].

Tanyel ve Yayla tarafından İzmir ilinde yer alan dört kavşak incelenip, çok şeritli dönel kavşaklar için en uygun kapasite hesap yöntemleri tartışılmıştır. İlk olarak, ters öncelik ve aralık zorlama koşullarının kritik aralık kabul yöntemine etkisi incelenmiştir.. Ardından regresyon analizi yöntemi temel alınarak yeni bir bağıntı önerilmiştir. Çalışmanın sonucunda incelenen her iki kapasite hesap yöntemini de kabul edilebilir sonuçlar verdiği fakat daha fazla örnek kullanarak çalışmalar yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır [10].

Saplıoğlu ve Karaşahin yaptıkları çalışmada şehir içinde yer alan sinyalizasyon sistemi olmayan kavşaklarda meydana gelen kazaların oluşmasına neden yol ve çevre unsurları incelemiştir. Kavşak kollarından gelen trafik akımlarının diğer değişkenlerle güçlü bir korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple trafik hacimleri başta olmak üzere, hemzemin kavşaklarda yaşanan kazaları etkileyebilecek tüm faktörler ayrıntılı olarak incelenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre şehir içi sinyalizasyonsuz kavşaklarda olması gereken standart değerler elde edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen standartların, kavşak kazalarını etkileyen unsurların birbirleri ile etkileşimi ve korelasyon matrislerinin gelecekte yapılacak şehir içi sinyalizasyon kontrolsüz hemzemin kavşak kaza tahmin modelleri ve emniyet çalışmaları için kılavuz olacağı düşünülmüştür [11].

İnançlı tarafından yazılan tez kapsamında geometrik yönden incelenen Konya ili içinde yer alan dokuz kavşağın geometrik tasarımı belirlenmiştir. Her bir kavşak için düzeltme önerileri sunulmuştur. Ortak sonuç olarak bir dönel kavşağın kapasitesi, kavşak içerisindeki trafik akımlarının yönlerine göre dağılımına bağlı olmakta ve sola dönüş güzergahları kavşak kapasitesini olumsuz etkilemekte ve azaltmaktadır sonucuna varılmıştır [12].

Güney Afrika'da yapılan çalışmada araştırmacılar, sinyalize ve dönel kavşaklardaki hizmet düzeylerini belirlemeyi ve karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Performans kriteri olarak ortalama taşıt gecikmeleri dikkate alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda trafik sinyallerinin kapatıldığı durumlarda dönel kavşaklarda sıkışıklıkların, tıkanmaların ve çakışmaların azaltıldığını tespit

etmişlerdir. Sinyalize dönel kavşakların, kavşak tıkanmasında ve taşıtlardaki çakışmalarda önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir [13].

Amerika'da sinyalize kavşaktan modern dönel kavşağa dönüştürülen yirmi sekiz kavşak incelenmiştir. Bu kavşakların dönüşümden önce ve sonraki performans kriterleri karşılaştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda modern dönel kavşağa dönüştürülen kavşaklarda yaralanmalı ve ölümlü kaza miktarlarında azalma meydana geldiği ve güvenlik açısında daha olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [14].

Yıldız tarafından hazırlanan yüksek lisans tezi kapsamında şehirler arası ve şehir içi yollarda karayolunu kapasite ve güvenlik olarak etkileyen önemli faktörlerden biri olan kavşakların seçiminde yol gösterecek bir model geliştirilerek, bu model yine tez kapsamında yapılan bir yazılım ile desteklenmektedir. Modeli oluşturan bilgisayar yazılımı ile kavşak tipi belirlenmesi çalışması maliyet ve güvenlik parametreleri açısından optimize edilerek aynı zamanda tüm çalışmaların bir veri tabanında toplanarak birleştirilmesi sağlanmaktadır [15].

Yapılan çalışmada, İzmir ilinde bulunan beş farklı dönel kavşakta ağır araçların etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, ağır araç düzeltme faktörü (f_{AA}) değerini hesaplarken yanyol ve anayol akımı için farklı eşdeğer otomobil birimi (EBO) değerinin kullanılması gerektiğini göstermiştir. Her iki akım için aynı eşdeğer otomobil katsayısı değerinin kullanılması sonucunda eksik veya aşırı tasarımlar yapmasına sebep olacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca anayol akımındaki ortalama süratin düşük olması durumunda ana akımdaki ağır araç etkisinin daha fazla olduğu belirlenmiştir [16].

Ma ve diğ. sinyalize dönel kavşaklar için süre ve şerit işaretlemelerinin birlikte ele alındığı bütünleşik bir optimizasyon modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Sinyalize dönel kavşakların optimum seviyede işletilebilmesi için, kapasitenin azami, devre süresi uzunluğu ve gecikmenin asgari düzeyde tutulduğu bir formül elde etmişlerdir. Yapılan hassaslık analizi sonuçları, kapasite optimizasyonu için geliştirilen bu modelin etkili olduğunu göstermiştir [17].

Çakıcı ve Murat tarafından yapılan çalışmada, sinyalize dönel kavşaklara sinyalizasyon devre süresi ve faz planı için bir hesap yaklaşımı önerilmiştir. Yapılan hesap yaklaşımının etkinliği kavşak türü, farklı faz planları ve gecikme parametresi dikkate alınarak ölçülmüştür. Analizler sonucunda, sola dönüş oranı arttıkça, faz sayısının da artışına bağlı olarak, sinyalize dönel kavşak yerine, başka kavşak türlerinin tercih edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır [18].

Erol tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde ışıklı ve modern dönel kavşakların performansları incelenmiştir. İncelenen parametreler olarak gecikme ve hız parametreleri

seçilmiştir. Öncelikle ışıklı kavşak olarak hizmet veren bir kavşağın performans parametreleri analiz edilmiştir. Ardından performans iyileştirmesi amacıyla kavşağa ait sinyalizasyon süreleri TRANSYT-7F programında düzenlenmiş ve elde edilen performans verileri mevcut durumla karşılaştırılmıştır. Sonrasında kavşağın türü modern dönel kavşak olarak değiştirilmiş ve meydana gelen değişimler incelenmiştir. İkinci olarak ise mevcutta modern dönel kavşak olarak hizmet veren bir kavşak ışıklı kavşak olarak yeniden modellenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar modern dönel kavşakların trafik hacminin belli değerlere kadar gecikme ve hız parametreleri açısından ışıklı kavşaklara oranla daha iyi olduğunu performans sergilediğini göstermiştir [19].

Güncü tarafından yapılan tez çalışması kapsamında mini dönel kavşaklar ve modern dönel kavşaklar geometrik tasarımları dikkate alınarak trafik emniyeti açısından incelenmiştir. İncelenen mini dönel kavşaklar için, mevcut tasarımlarının korunması durumunda trafik güvenliğini arttırıcı tedbirler önerilmiştir. Ancak mümkün olması durumunda ilgili kavşakların modern dönel veya farklı seviyeli kavşaklara dönüşümleri önerilmektedir [20].

Öğütveren tarafından yapılan çalışma kapsamında modern dönel kavşakların geometrik parametrelerinden olan merkez ada çapının kavşak performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Öncelikle trafik hacmi sabit tutularak, merkez ada çapı 15m ile 35m arasında 0,25m'lik artışlar sağlanarak kavşakta meydana gelen performans değişimleri incelenmiştir. Kavşak performans parametreleri olarak ortalama gecikme, ortalama sürat ve ortalama duraksama sayıları dikkate alınmıştır. Merkez ada çapının bu parametrelerle ilişkisini incelemek için regresyon analizi yapılmış ve optimum kavşak çapı için bir denklem elde edilmiştir. Ardından en iyi performansı gösteren merkez ada çapı seçilerek ve bu çapa sahip kavşaktaki trafik hacimleri arttırılmış, aynı parametrelerde kavşağın performansı incelenmiştir [21].

Camcı tarafından yapılan çalışmada, kavşak tasarımında kullanılan trafik simülasyon yazılımlarını etkisi araştırılmıştır. Seçilenn iki kavşak geleneksel yöntemler ile incelenmiş, araç sayımları yapılarak güzergahlara ait trafik hacimleri belirlenmiştir. Çalışma konusu kavşakların, Vissim trafik simülasyon yazılımı aracılığıyla modelleri oluşturulmuştur. Mevcut durumdaki kuyruk uzunlukları iki kavşak içinde hesaplanmıştır. İncelenen kavşaklardan birinde kavşak türü değiştirilmiş diğerinde ise sinyalizasyon faz planı değiştirilerek oluşan yeni kuyruk uzunluğu değerleri hesaplanmıştır. Yapılan analizlerde ortaya çıkan sonuçların gerçek duruma çok yakın olduğu gözlenmiş olup trafik simülasyon tekniklerinin kavşak tasarımlarında kullanılmasının verimli olduğu ortaya konmuştur [22].

Hazırlanan makale dahilinde bugüne kadar yapılan ve dönel kavşakların geometrik tasarımlarının kavşak güvenliğine etkisini araştıran çalışmalar derlenmiştir. Çalışma sonucunda yuvarlak ada kavşaklardaki emniyetin sağlanabilmesi için geometrik elemanların birbirleriyle bağlantılı olarak uygun fiziki boyutlarda tasarlanması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca trafik emniyeti bakımından ülkemizde dönel kavşak tasarım standartları konusunda çalışmaların artması ve ülke koşullarına özgü tasarım kılavuzu hazırlanması gerektiği ifade edilmiştir [23].

2. KAVŞAKLAR

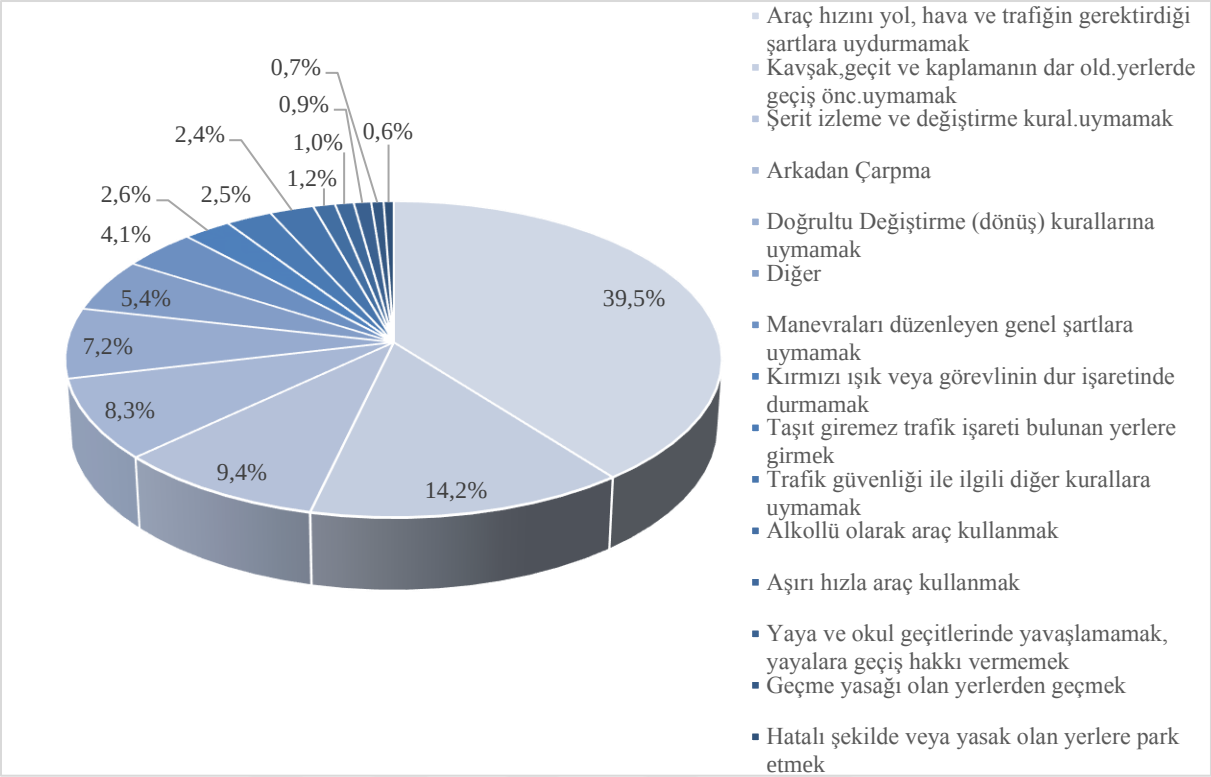
Bu başlık altında hemzemin kavşakların tasarım ilkeleri, hemzemin kavşak türleri ve geometrik özellikleri hakkında genel bilgiler yer almaktadır.

2.1 Kavşak Tasarım İlkeleri

Kavşaklar, en az iki farklı koldan gelen trafik akımının birleştiği veya kesiştiği yani ortak olarak kullanıldığı bağlantı elemanları olarak tanımlanabilir. Farklı kollardan gelen trafik akımlarının ortak olarak kullanımında olduğu için kavşaklar; kazaların sıklıkla yaşandığı, trafik tıkanıklığının en çok olduğu ve düzgün işletilemediği taktirde çeşitli birçok problemin ortaya çıkabildiği ulaşım ağı elemanlarıdır. Bu durumun önüne geçebilmek amacıyla kavşakların tasarımı ve verimli işletilebilmesi önem arz etmektedir. Kavşak tasarımında dikkat edilmesi gereken üç ana nokta bulunmaktadır. Bunlardan birincisi mühendisliğin her alanında olduğu gibi emniyettir, ikinci olarak zaman kaybı, yakıt harcama miktarı ve egzoz gazı emisyonu gibi etkileri optimum düzeyde tutabilmek için konfor, üçüncü olarak ise trafik yoğunluğunun önüne geçebilmek, seyahat sürelerini en aza indirebilmek için kapasitedir. Bu üç ana nokta, farklı kriterlere göre kendi içlerinde daha da detaylanmaktadır.

2.1.1 Kavşak emniyeti

Ülkemiz karayolu ulaşım ağında ölüm, yaralanma ya da maddi hasarla sonuçlanan trafik kazaları incelendiğinde, kazaların %50'sinin şehir içi, %30'unun ise şehirlerarası kavşaklarda meydana geldiği görülmektedir [24]. Ayrıca kentsel alanlarda meydana gelen tüm ölüm veya yaralanma içeren kazaların %45'i kavşaklarda olurken, bu kazalardaki ölüm oranları kentsel alandaki trafik ölüm oranlarının %27'sini oluşturmaktadır [25]. Ülkemizde, sadece sürücü kusurları göz önüne alındığında, 2020 yılında gerçekleşen ölümlü veya yaralanmalı kazaların %14,2'si kavşaklarda geçiş önceliğine uymamaktan ötürü meydana gelmiştir [26]. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi bu oran tüm sürücü kusurları arasında ikinci en yüksek orandır ve sürücüler tarafından geçiş önceliğinin yeterince dikkate alınmadığının net göstergesidir. Bu kaza oranları, kavşaklarda güvenliğin sağlanmasının çok önemli bir öncelik olduğunu açıkça göstermektedir.



Şekil 2.1 : 2020 yılı ölümlü veya yaralanmalı kazalara neden olan sürücü kusurları [26]

Trafik kurallarına daha fazla riayet edilmesi ve kavşaklarda yaşanan bu kazaların önüne geçilebilmesi için dikkat edilmesi gereken başlıca hususlar vardır:

- Araçların kavşak içindeki kesişme, ayrılma ve katılma noktaları olabildiğince az tutulmalıdır.
- Kavşağa giriş ve çıkışlarda karışık trafik işaret ve işaretçileri olmamalıdır.
- Kavşak girişleri, sürücülerin hızlarını düşürmelerine yönelik tasarlanmalıdır.
- Ana akım dışındaki kollar olabildiğince az kavşağa dahil edilmelidir.
- Kavşak etrafında sürücü görüşünü engelleyen reklam panosu, sık ve uzun bitkiler gibi sabit nesneler olmamalıdır.
- Kavşak, kendine bağlanan yolların proje hızlarına uygun olarak dizayn edilmelidir.

Bu hususlar sürücünün kavşağa girişte, hızını yeterli miktarda düşürüp gerekirse yayalara yol verebilmesini, çevre kontrolünü düzgün yapıp kavşağa doğru zamanda katılabilmesini, çıkış yapacağı rotayı kavşağa girmeden belirleyebilmesini sağlar. Ayrıca rotasını bilen ve çoğunlukla ana akımdan yönlendirilen sürücüler kavşak içinde olabildiğince az karışıklık meydana getirecektir.

Fransa'da seksen üç kavşak üzerinde yapılan Avusturalya'da ise iki yüz otuz kavşağı içeren araştırmada farklı kavşak türlerinden modern dönel kavşağa dönüştürülen kavşakların öncesi ve sonrası istatistikleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.1 : Fransa'da seksen üç kavşağı içeren bir yıl süreli kaza istatistikleri [27]

	Modern Dönel Kavşaktan Önce	Modern Dönel Kavşaktan Sonra	Değişim
Yaralanmalı Kaza /Kavşak	1,42	0,31	-78%
Ölüm/Kavşak	0,16	0,02	-88%
Yaralanma/Kavşak	2,78	0,49	-82%

Çizelge 2.2 : Avustralya'da iki yüz otuz kavşağı içeren bir yıl süreli kaza istatistikleri [27]

	Modern Dönel Kavşaktan Önce	Modern Dönel Kavşaktan Sonra	Değişim
Ölümlü Kaza/Kavşak	0,024	0,009	-63%
Yaralanmalı Kaza /Kavşak	1,045	0,571	-45%
Maddi Hasarlı Kaza /Kavşak	2,841	1,709	-40%

Yukarıda verilen istatistiklerin yanı sıra ABD'de otuz üç kavşak üzerinden yapılan araştırma nispeten daha az kavşak içerdiği için tablo olarak verilmemiştir. Fakat gerek bu 3 çalışmada gerekse Avrupa genelinde yapılan çalışmalarda, modern dönel kavşağa dönüştürülmüş kavşakların öncesi-sonrası kaza istatistikleri araştırıldığında modern dönel kavşağa dönüştürülen kavşaklardaki kaza oranlarının önemli bir azalış gösterdiği görülmektedir. İncelenen kavşakların sahip olduğu geometri özellikleri standart olmamakla birlikte mini, kentsel, kırsal ve şerit sayıları gibi özellikleri bakımından da farklı sonuçlar ortaya çıkarabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca kazalarda azalmaların sağlandığı kavşaklar yerine trafik kompozisyonu modern dönel kavşağa uyumlu olmayan daha problemli kavşakların seçilmesi halinde sonuçların daha farklı olacağı unutulmamalıdır. Bu gibi sebeplerden ötürü kazalarla ilgili araştırma sonuçları kıyaslanırken genel bir yargıda bulunmamak gerekmektedir [28].

2.1.2 Kavşak konforu

Kavşak konforu, sürücünün kavşak alanına girdiği andan itibaren hızını düşürmeye başlaması, kavşak boyunca geçirdiği bekleme süresi, yaptığı dur kalk miktarı, kavşak içerisindeki manevralara bağlı olarak kavşaktaki ulaşımını sorunsuz bir şekilde tamamlamasını sağlamayı hedefler. Kavşak alanında yaşanılacak bu ve benzeri konforsuzluk örnekleri beraberinde gürültü ve çevre kirliliği getirmektedir. Kavşaklardaki bekleme süresi ve dur kalk miktarlarının artmasıyla birlikte egzoz gazı salınımı ve harcanan akaryakıt miktarı önemli ölçüde artmaktadır. Kansas'ta bulunan üç kollu, trafik sinyal kontrollü bir kavşağın dönel kavşak olarak tekrar düzenlenmesinden önceki ve sonraki gerçek verileri toplanarak incelenmiş ve karbonmonoksitte (CO) %45, karbondioksitte (CO_2) %61, azot oksitlerde (NO_x) %51 ve hidrokarbonlarda (HC) da %68 oranında azalma olduğu belirtilmiştir. Benzer bir çalışma İsveç'te yürütülmüş, sinyalize bir kavşak dönel kavşak olarak yeniden tasarlanarak önceki ve sonraki veriler karşılaştırılmış, CO emisyon miktarında %20 ve NO_x miktarında ise %29 oranında azalma olduğu belirtilmiştir [29].

Kavşak konforunun doğa üzerindeki etkilerinin yanı sıra sürücü davranışlarıyla da doğrudan ilişkisi vardır. Trafikte olması gerekenden fazla vakit geçiren, tıkanıklık yüzünden seyahat süresi uzayan, uzun süre korna ve motor sesine maruz kalan, stresli bir ulaşım sağlayan sürücüler trafikte daha agresif tutum sergileyebilmektedir. Kavşak konforunun sağlanabilmesi hem kaza riskini azaltacak hem de sürücü, yolcu ve yayalar için olumsuz psikolojik sonuçlar ortaya çıkarmasının bir miktar önüne geçebilecektir.

2.1.3 Kavşak kapasitesi

Kapasite kavramı hâkim yol, kontrol ve trafik şartlarında belli bir zaman dilimi içerisinde belirli bir yol kesimi veya bir noktadan geçebilecek araç/insan/diğer yol kullanıcılarının maksimum sayısı olarak tanımlanabilir [30]. Karayolu elemanının planlanan hizmet ömrü boyunca artan veya değişen trafik koşullarında verimli bir şekilde işletilebilmesi için kapasite analizinin doğru yapılması gerekmektedir. Kavşaklar diğer karayolu ulaşım elemanlarından daha karmaşık yapılar olduğu ve kendine bağlanan yolların özelliklerine göre karakteristikleri olduğu için kapasite hesapları da birçok değişken barındırır. Bu değişkenlerden başlıcaları;

- Kavşağa bağlanan yolların şerit sayısı ve genişlikleri
- Kavşağı kullanan yolların trafik yönelimleri
- Kavşağa bağlanan yolların kapasiteleri

- Kavşağı kullanan taşıt tipleri (Ağır araç miktarı)
- Kavşağa bağlanan yolların proje hızları
- Arazi şartları
- İstenen hizmet ömrü
- Kavşak içindeki sirkülasyon akımı
- Kavşağı kullanan yaya ve bisiklet miktarları ve benzeri faktörler olarak sıralanabilir.

Fakat farklı tip kavşakları kapasitelerine göre sınıflandırmak için yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) değerleri dikkate alınır. Yıllık ortalama günlük trafik, belirlenen bir yoldan bir yıl boyunca geçen araçların sayısının bir yılın günlerine yani 365'e bölünerek bulunan ortalama değere verilen addır. Yıl içinde mevsimden mevsime, aydan aya trafik yoğunluk verileri değişebildiği gibi aylar içinde de özel gün ve haftalara göre, hatta gün içinde mesai saatlerinin durumuna göre bile trafik yoğunluğu değişmektedir. Bu gibi nedenlerden ötürü seçilen kısıtlı bir zaman aralığı içinde trafik ölçümü yapmak sağlıklı olmamaktadır. Onun yerine yılın tamamında yapılan ölçümlerin ortalaması alınıp o değer YOGT değeri olarak kabul edilir. Yılın tamamında ölçüm yapılabileceği gibi yılın farklı periyotlarında eşit zaman aralıklarıyla yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak da elde edilebilir [31].

2.2 Kavşak Türleri

Kavşak yapılması planlanan yere hangi tür kavşağın yapılacağını seçmek için göz önüne alınması gereken parametreler vardır. Bunlardan ilki kavşak yapılacak olan yerin fiziksel özellikleridir. Fiziksel özelliklerin izin verdiği ölçüye göre kapasite, güvenlik ve maliyet analizleri yapılarak en uygun kavşak türünü seçmek amaçlanır. Bu başlık altında belli başlı kavşak türleri hakkında bilgiler verilmiştir.

2.2.1 Farklı düzeyli kavşaklar

Farklı düzeyli kavşaklarda yollar mümkün mertebe birbirinden ayrı tasarlanarak kesişme, birleşme ve ayrılmadan kaynaklı araç çakışmaları en aza indirilir. Bu sayede oluşabilecek kazaların önüne geçilebildiği gibi kavşakta çakışmaların olmamasından ötürü kavşağın kapasitesi kavşağa bağlanan yollardaki kapasiteye oranla azalmayacak olup yolun hizmet kalitesi ve konforu düşmeyecektir. Farklı düzeyli kavşaklar güvenlik, kapasite ve konfor olarak hemzemin kavşaklardan daha üstün olsalar da yapımı için çok geniş alana ve düz topoğrafik yapıya ihtiyaç duymaları, yapım-onarım ve kamulaştırma maliyetleri hemzemin kavşaklara

kıyasla çok daha yüksek olması, yaya ve bisiklet kullanımına uygun olmamaları gibi sebeplerle her yere yapılamamaktadır.



Şekil 2.2 : Farklı düzeyli kavşak örneği

2.2.2 Hemzemin kavşaklar

Hemzemin kavşaklar en az iki veya daha fazla koldan gelen trafik akımının aynı düzlem üzerinde kesiştiği, birleştiği ya da ayrıldığı karayolu ulaşım ağı bağlantı noktalarıdır. Hemzemin kavşaklar kapasite, konfor ve güvenlik açısından farklı düzeyli kavşaklardan daha düşük performanslara sahip olmalarına karşın yapım kriterleri bakımından daha asgari koşullar gerektirdiği için özellikle şehir içi ulaşım ağlarında daha fazla tercih edilmektedir. Bu noktada kapasite, konfor ve güvenlik açısından en verimli işleyecek ve kendine bağlanan kolların karakteristik özelliklerine en uygun hemzemin kavşağın seçilmesi gerekmektedir. Hemzemin kavşaklar genel olarak denetimsiz, sinyalize ve dönel olmak üzere üç başlık altında kategorize edilebilir [31].

2.2.2.1 Denetimsiz kavşaklar

Denetimsiz kavşaklar, üzerinde sinyalizasyon ve dönel ada olmayan eş düzeyli kavşaklardır. Trafik yoğunluğunun az ve kaza oranlarının düşük olduğu yollarda tercih edilirler. Taşıtların hareketleri geçiş önceliği kuralları ve trafik levhaları tarafından sağlanır [31]. Yıllara ya da çevre koşullarına bağlı olarak trafik yoğunluğunun veya kazaların arttığı durumlarda kollardan gelen akımların daha kontrollü iletilebilmesi için sola ya da sağa yönelim şeritleri eklenerek kavşağın verimi arttırılabilmektedir. Bu eklemelerin de trafiği karşılayamadığı durumlarda kavşak sinyalize, dönel veya farklı düzeyli olarak yeniden düzenlenir. Şekil 2.3'te yüksek yoğunluklu trafikte kullanılan denetimsiz kavşakta meydana gelen trafik kazası gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Denetimsiz kavşak kaza örneği

2.2.2.2 Sinyalize kavşaklar

Sinyalize kavşaklar, denetimsiz kavşağın yetersiz kaldığı bölgelerde kollardan gelen trafik akımlarının, sinyalizasyon yardımıyla yönlendirilip hem trafik yoğunluğunu kontrol etmeye hem de kavşak emniyetini sağlamaya yardımcı olur. Trafik tamamen sinyalizasyon kontrolünde

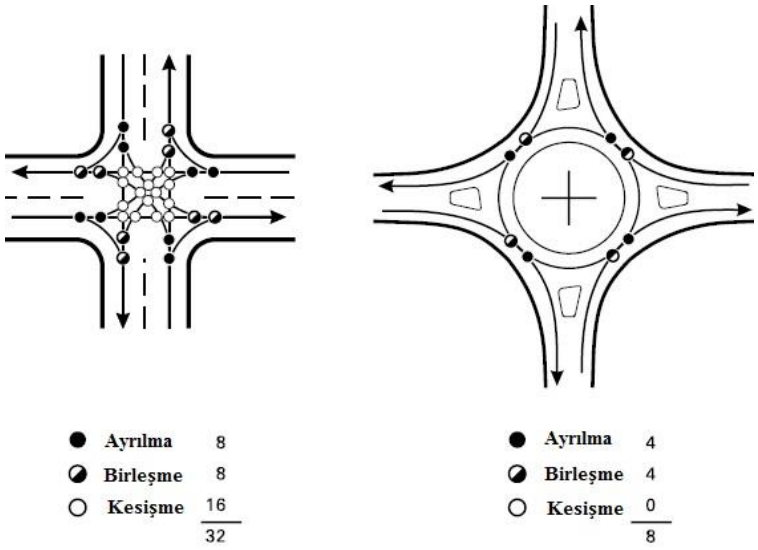
olduğu için kaza oranları hemzemin kavşaklar içinde en düşük olan kavşak türüdür fakat düşük işletme hızı ve yüksek bekleme süreleri sebebiyle trafik sıkışıklığına yol açabilmektedir.



Şekil 2.4 : Dört kollu sinyalize kavşak örneği

2.2.2.3 Dönel kavşaklar

Dönel kavşaklar, ortasında yuvarlak ada bulunan, yaklaşım kollarından gelen trafik akımlarının bu ada etrafındaki akıma katıldıkları, saatin ters yönünde hareket ettiği ve geçiş önceliğinin dönel ada içindeki araçta bulunduğu kavşak türüdür. Çakışma noktaları, dönel olmayan kavşaklara göre çok daha az olduğu için kurallara riayet edilmesi durumunda kaza olasılıkları diğer kavşak türlerine göre daha azdır [33].



Şekil 2.5 : Dört kollu dönel olmayan kavşak ve dönel kavşak çakışma noktaları [32]

Dönel kavşaklarda, araçların kavşağa katılma ve ayrılma durumları gerçekleşirken farklı yönlerde seyreden trafik akımları olmadığı için araçların kesişme durumu oluşmamaktadır. Dönel ada içindeki araçların hareket yönü aynı olmasından ötürü araçların burun buruna çarpışmaları olanaksız olmakla birlikte kavşağa katılımların eğik açılı olması sebebiyle dik açılı (90°) çarpışmaların da meydana gelme olasılığı çok düşüktür. Bu sayede dönel kavşak içinde meydana gelen kazalarda can kaybı miktarı oldukça azdır [32].

Denetimsiz dönel kavşaklar

Trafik yoğunluğunun çok fazla olmadığı fakat denetimsiz kavşağın güvenlik açısından sorun teşkil edebileceği durumlarda denetimsiz dönel kavşaklar tercih edilebilir. Taşıtların, denetimsiz kavşağa oranla dönel kavşaklara daha dikkatli yaklaşması, dönel kavşağa giriş yapmak için yavaşlaması, gerekirse durması, doğru zamanı bekleyip giriş yapması ve çakışma noktalarının en az olması gibi etkenlerden dolayı şehir içi ve şehirler arası yollarda sıkça tercih edilmektedir. Üç kollu ve dört kollu denetimsiz dönel kavşaklar yaygın olarak kullanılırken dörtten fazla kolun bağlandığı durumlarda karışıklıklar oluşabildiği için denetimsiz dönel kavşaklar tercih edilmez.



Şekil 2.6 : Üç kollu denetimsiz dönel kavşak örneği

Şekil 2.6'da görüldüğü üzere denetimsiz kavşaklarda kavşağa bağlanan kollardan bazıları kavşak geometrisinden dolayı anayol durumunda olabilmektedir [33]. Bunun yanı sıra kavşak alanı içinde park yapılabilmektedir. Kendi yolundan saptırılmayan araç kavşak girişinde hızını düşürmemekte ve kavşak içinde hareket eden araçlara yol vermemektedir. Ayrıca kavşak içerisinde durma ve park etme imkanının olması da kavşak kapasitesini ve güvenliğini olumsuz etkilemektedir. Denetimsiz dönel kavşaklar, bölgedeki trafik yoğunluğunun artmasıyla bunun gibi sorunlar ortaya çıkarmakta ve yeniden düzenlemeler gerektirmektedir.

Sinyalize dönel kavşaklar

Trafik miktarının artmasına bağlı olarak dönel kavşak içinde ve kollarında artan taşıt sayısı kavşağa girişi zorlaştırıp, bekleme süresini arttırabilir. Bu durumda kavşağa girmek için uzun süre bekleyen sürücüler, kavşak içinde yeterli boşluğu beklemeden kavşağa giriş yapabilmekte ve güvenlik sorunlarına yol açabilmektedir. Artan trafik yoğunluğunun düzenli bir şekilde kontrol edilebilmesi için kollardan kavşağa sinyalizasyon yardımıyla taşıt alınıp, tahliye edilmesi sonucunda sinyalize dönel kavşaklar geliştirilmiştir. Sinyalize dönel kavşaklar, hem içindeki trafik akımının sinyalizasyon tarafından yönetilmesi hem de dönel kavşak karakteristik özellikleri sebebiyle en emniyetli hemzemin kavşaklardır. Fakat bu avantajlarının yanı sıra

günün farklı zamanlarında oluşan farklı karakterdeki trafik akımlarına uyum sağlayamaması, bekleme sürelerinin artması ve buna bağlı olarak egzoz gazı salınımı ve yakıt artışı gibi olumsuzluklara sebep olabilmektedir.



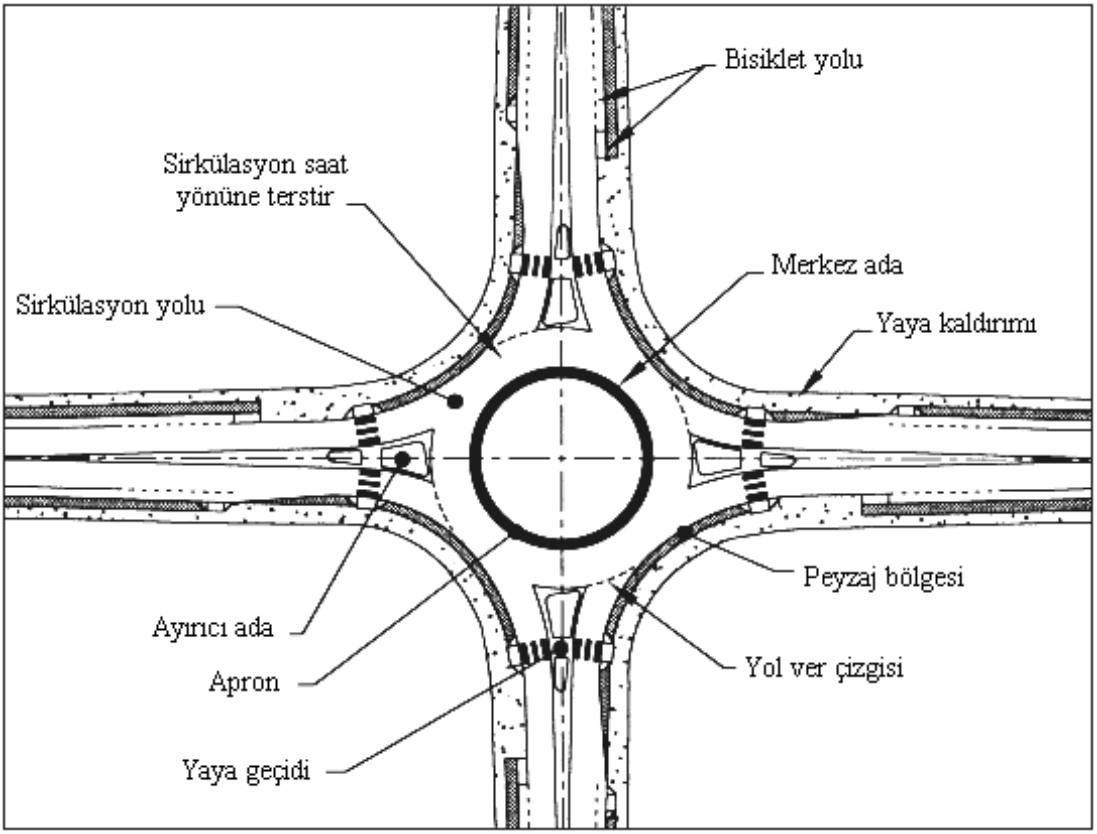
Şekil 2.7 : Dört kollu sinyalize dönel kavşak örneği

Modern dönel kavşaklar

Son yıllarda kent içi ulaşım ağlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanılan hemzemin kavşak türlerinden olan modern dönel kavşaklar herhangi bir sinyalizasyon sistemi olmadan trafik akımının merkezde bulunan bir yuvarlak ada etrafında döndüğü kavşaklar olarak tanımlanmaktadır [12]. Modern dönel kavşaklar, dönel ada içinde araçların tek yönde hareket edebilmesi ve dönel ada içindeki aracın kollardan bağlanan araçlara karşı geçiş üstünlüğünün bulunması bakımından teori olarak denetimsiz dönel kavşaklara benzer özellikler gösterir. Fakat modern dönel kavşaklar tasarım özellikleri sayesinde trafiğin kontrollü bir şekilde akmasını sağlamasıyla denetimsiz dönel kavşaklardan ayrılır. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün belirlediği standartlara göre bir kavşağın modern dönel kavşak olarak tanımlanabilmesi için kavşağın dönüş platformu, giriş ve çıkış kurbuna sahip olması gerekmektedir. Modern dönel kavşaklar bu özellikleri sayesinde denetimsiz dönel kavşaklardan

ayrılabilmektedirler [12]. Modern dönel kavşakları diğer kavşak türlerinden ayıran diğer özellikler aşağıdaki maddeler olarak sıralanabilir;

- Kavşağa bağlanan kolların hiçbirinin anayol durumunda olmaması,
- Kavşağa bağlanan her yolun kendi güzergahından saptırılarak kavşağa dahil edilmesi,
- Kavşak içinde durma, park etme gibi eylemlere olanak olmaması,
- Dönel ada içinde yaya trafiğinin olmaması,
- Ayırıcı adalar ile trafiğin yönlendirilmesi



Şekil 2.8 : Modern dönel kavşak örneği [32]

Modern dönel kavşaklarda Şekil 2.8'de gösterildiği üzere, kavşağın tasarımı sayesinde kavşak giriş-çıkışlarında ve kavşak bölgesinde araç hızları önemli miktarda düşürülmesi sağlandığından ve aynı zamanda kesişme noktalarının tamamen kaldırılabilmesinden dolayı trafik emniyeti önemli miktarda artmaktadır. Özellikle modern dönel kavşaklar, anayol ve tali yollarda dönüş trafiğinin direkt trafiğe göre daha fazla olduğu, ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde uygulanması trafik güvenliğini iyice arttırmaktadır [34]. Güvenlik başta olmak üzere birçok açıdan avantajı olan modern dönel kavşakların elbette dezavantajları da mevcuttur. Modern dönel kavşakların başlıca avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Modern dönel kavşakların avantaj ve dezavantajları [28]

Avantajlar	Dezavantajlar
•Çakışma noktaları kontrolsüz kavşaklara oranla çok daha azdır.	•Sürücüleri modern dönel kavşaklar hakkında bilgilendirmek gerekebilir.
•Tasarımı sayesinde kavşağa giren taşıtların hızı önemli ölçüde azalır.	•Kavşak içindekine yol ver kuralına uyulmadığında kazalar yaşanabilir.
•Taşıtlar tamamen durup beklemek yerine yavaşlayarak kavşağa girer.	•Çarpık trafik dağılımı olduğu takdirde gecikme süreleri uzayabilir.
•Dur-kalk miktarının azalmasına bağlı olarak araç emisyonu da azalır.	•Tamamen durduğu bir faz olmadığı için yayalar için gecikme artabilir.
•Sinyalizasyondan kaynaklı gereksiz beklemeler ortadan kalkar.	
•Bakım, onarım ve işletim maliyetleri düşüktür.	
•Kaza şiddetleri diğer kavşak türlerine daha düşüktür.	
•Trafik kanallaması yapılarak kavşak içinde karışıklık olması engellenir.	

Modern dönel kavşaklar boyutlarına, tasarım özelliklerine ve bulundukları konuma göre altıya ayrılmaktadır:

- Mini Dönel Kavşak
- Kentsel Kompakt Dönel Kavşak
- Kentsel Tek Şeritli Dönel Kavşak
- Kentsel Çift Şeritli Dönel Kavşak
- Kırsal Tek Şeritli Dönel Kavşak
- Kırsal Çift Şeritli Dönel Kavşak [32].

Modern dönel kavşak türlerinin tasarım özellikleri Çizelge 2.4'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Dönel kavşak türlerine göre tasarım özelliklerinin karşılaştırılması [28]

	Proje Elemanı	Mini	Kentsel Kompakt	Kentsel Tek Şeritli	Kentsel Çift Şeritli	Kırsal Tek Şeritli	Kırsal Çift Şeritli
Genel	Şerit Sayısı	1	1	1	2	1	2
	Max Günlük Trafik	12.000	15.000	20.000	40.000	20.000	40.000
	Ayırıcı Ada İşlemi	Mümkünse Boyanmış ve Yükseltilmiş	Yükseltilmiş	Yükseltilmiş	Yükseltilmiş	Yükseltilmiş ve Genişletilmiş	Yükseltilmiş ve Genişletilmiş
	Max Tasarım Taşıtı	SU(Tek Parça Kamyon)	SU-BUS (Tek Parça Kamyon /Otobüs)	WB-50 (Yarı Treyler Kamyon, Toplam Dingil Açıklığı=15,24m)	WB-50 (Yarı Treyler Kamyon, Toplam Dingil Açıklığı=15,24m)	WB-67 (Yarı Treyler Kamyon, Toplam Dingil Açıklığı=20,45m)	WB-67 (Yarı Treyler Kamyon, Toplam Dingil
Sirkülasyon	Uygun Daire Çapı (m)	13,70 - 24,40	24,40 - 30,50	30,50 - 39,70	45,80 - 54,90	35,05 - 39,70	54,90 - 61,00
	Sirkülasyon Yolu İçin Proje Hızı (km/saat)	25 - 30	25 - 30	30 - 40	35 - 45	35 - 45	40 - 50
	Sirkülasyon Yolu Genişliği (m)	4,30 - 5,80	4,30 - 5,80	4,30 - 5,80	8,90 - 9,75	4,30 - 5,80	8,90 - 9,75
Giriş	Max Proje Giriş Hızı (km/saat)	25	25	35	40	40	50
	Giriş Yarıçapı (m)	7,65 - 13,70	7,65 - 30,50	10,70 - 30,50	30,50 - 61,00	12,20 - 36,60	39,60 - 79,25
	Giriş Şerit Genişliği (m)	4,30 - 4,90	4,30 - 4,90	4,30 - 4,90	7,65 - 8,55	4,30 - 4,90	7,65 - 8,55

2.3 Modern Dönel Kavşakların Tasarım Özellikleri

Dönel kavşakların geometrik özellikleri kavşağın performansı üzerinde elzem bir etkiye sahiptir. Kavşağın iyi projelendirilmesi kapasitenin yanında kavşak güvenliğini de arttıracaktır. Detaylı tasarımdan önce ilk tasarım aşamasında üç ana başlık belirlenmelidir. Bunlar dönel kavşağın boyutu, yerleşimi ve kavşak kollarının düzenlenmesidir. Bu tasarım elemanlarının tespiti yapıldıktan sonra gerekli analizler ışığında diğer tasarım elemanlarının düzenlemesi yapılır [32]. Dönel kavşakların projelendirilmesinde dikkate alınacak diğer tasarım elemanları şu şekildedir:

- Proje tip aracı,
- Proje hızı
- Görüş mesafesi
- Sapma derecesi
- Merkez ada
- Dönüş şeridi
- Giriş ve çıkış kurpları
- Ayırıcı adalar
- Yatay, düşey işaretlemeler ve aydınlatma [35]

2.3.1 Proje hızı ve tip aracı

Dönel kavşak içindeki neredeyse tüm sürücülerin aynı veya birbirine yakın hızlarda gitmeleri, sürücülerin daha güvenli ve etkin bir şekilde hedefledikleri güzergahı kolayca bulmaları ve kullanmaları anlamına gelmektedir [32].

Dönel kavşağın geometrik özellikleri giriş akım hızını etkilemektedir. Bu geometrik özeliklerden en önemlisi giriş ve kavşak içi şerit genişlikleri, şerit sayıları ve kavşağın kavisidir. Giriş şeridi sayısı iki katına çıkarıldığında giriş akım hızı da yaklaşık olarak iki katına çıkmaktadır. Ayrıca genişleme ağzı uzunluğu da kapasiteyi önemli ölçüde arttırırken, iç çember çapı ve giriş açısının kapasite üzerindeki etkileri oldukça azdır [32].

Bunların yanı sıra taşıtların kendi yolundan saptırılması hızların önemli bir ölçüde düşmesine sebep olmaktadır. Böylece kavşağa giren ve sirkülasyon yapan taşıtların çarpışma olasılıkları azalır. Birden fazla şeritli dönel kavşaklarda ise güzergah kavisinin artması komşu trafikten dolayı daha yüksek bir kenar sürtünmesi oluşturur ve yanal çarpışmalar daha fazla gözlenebilir.

Bu yüzden her dönel kavşak tipi için kazaların azaltılması adına gerekli optimum tasarım hızları farklıdır [32].

Dönel kavşaklar için tasarım hızı ve yatay kurp yarıçapları arasında Eş. 2.1'de gösterildiği gibi bir ilişki bulunmaktadır. Bu eşitlik kullanılarak istenen yarıçap için tasarım hızı bulunabilir.

$$V = \sqrt{127 * R * (e + f)} \qquad \text{(Eş 2.1)}$$

Eşitlikte;

V = Tasarım hızı (km/saat),

R = Yarıçap (m),

e = Dever (m/m),

f = Yanal sürtünme faktörü

Dever eğimleri genellikle giriş ve çıkış kurpları için + %2 alınırken, merkez ada için -%2 olarak kabul edilmektedir. Sürtünme faktörü değeri, kaplama ile taşıt lastikleri arasındaki sürtünme katsayısı olup; taşıt hızına bağlıdır [32]. Çizelge 2.5'te çeşitli hızlara ait yanal sürtünme faktörleri verilmiştir.

Çizelge 2.5 : Çeşitli hızlara ait yanal sürtünme faktörleri [36]

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

Bir dönel kavşağın tasarımında dikkate alınması gereken bir diğer faktör de kavşağı kullanacak en büyük motorlu aracın belirlenmesidir. Bu aracın dönüş güzergahı gereksinimleri, bu aracın sayısının kavşağı kullanan tüm araçlara oranı, dönel kavşağın birçok tasarım ihtiyacını ortaya koymaktadır. Proje tip aracının seçimi, yaklaşım kolları geometrisi ile arazi özelliklerine bağlıdır. Genel olarak büyük taşıtlara hizmet verebilmek için daha büyük dönel kavşaklar gerekmektedir. Ancak arazinin büyük dönel kavşaklara imkan vermediği durumlarda kamyon apronu kullanılabilir [32].

2.3.2 Sapma derecesi

Dönel kavşakların kullanılmasının başlıca nedenlerinden biri taşıtların güzergahlarından saptırılarak kavşak giriş, çıkış ve doğru geçişlerinde hızlarının düşürülmesidir. Optimum düzeyde yaptırılan saptırmalar kavşak güvenliğini arttırıp kaza oranlarını azaltmaktadır [21].

Çoğunlukla dönel kavşaklara bağlanan kolların eksen uzantıları merkez adanın merkezinden geçmektedir. Eğer bu mümkün değilse sola doğru az miktarda bir sapma kabul edilebilir. Bu sapmalar kavşak giriş ve çıkışındaki gerekli kurp yarıçaplarının sağlanmasına engel olmamalıdır. Merkez adanın fazla küçük olduğu durumlarda ise merkez ada sola doğru kaydırılabilir. Ancak kavşaktan çıkış kolunun merkez adaya teğet olmamasına dikkat edilmelidir. Özellikle şehir içindeki dönel kavşaklarda çıkış güzergahı mümkün mertebe kavisli olmalı ve taşıt hızları düşürülmelidir. Bunlara ek olarak birbirini takip eden giriş ve çıkışlar arası mesafelerin optimum dağılabilmesi için kavşak kolları arasındaki açıların eşit olması trafik güvenliğini artıran bir unsurdur [32].

2.3.3 Merkez ada

Merkez ada, dönel kavşağın merkezinde yer alan, taşıtların etrafında dönüş hareketi yaptıkları kısımdır. Merkez adaların dairesel olması tercih edilir. Dairesel merkez ada ve sabit yarıçaplı sirkülasyon yolu, kavşak içindeki hızların sabit kalmasını sağlamaktadır. Daire harici şekiller ise güvenlik ve konfor açısından kullanışlı değildir. Merkez adanın boyutları taşıtların yolundan saptırılması ve hızlarının düşürülmesi için önemli bir etkendir. Fakat merkez adanın boyutları iç çember ve sirkülasyon yolu genişliğine bağlıdır. Bundan ötürü iç çember, sirkülasyon yolu ve ilk geometri hesaplandıktan sonra, yerleşim planı üzerinde en hızlı taşıt güzergahı çizilmeli ve merkez adının yeterli olup olmadığı hesaplanmalıdır. Eğer en hızlı güzergah tasarım hızını aşarsa, merkez ada çapı artırılmalıdır [32].

Merkez ada çapının arttırılamadığı durumlarda uzun ve ağır taşıtların kavşağı kullanımını kolaylaştırmak için sirkülasyon yoluyla merkez adanın birleşiminde apron yapılabilir. Apronlar kullanıldığında, uzun taşıtlar tarafından kullanılıp diğer taşıtlarca zorunda olmadıkça kullanılmaması sağlanmalıdır. Kesin bir standart olmamakla birlikte 1-4 m genişliğinde ve merkez adadan dışa doğru yüzde 3-4 eğimle inşa edilmelidir. Normal bir şerit gibi kullanımını engellemek için apronun dış ucu yükseltilmelidir. Apron yapımında farklı yol malzemesi kullanılmalıdır ve kullanılacak malzeme yoldan farklı renkte olmalıdır [32].

2.3.4 Giriş ve çıkış kurpları

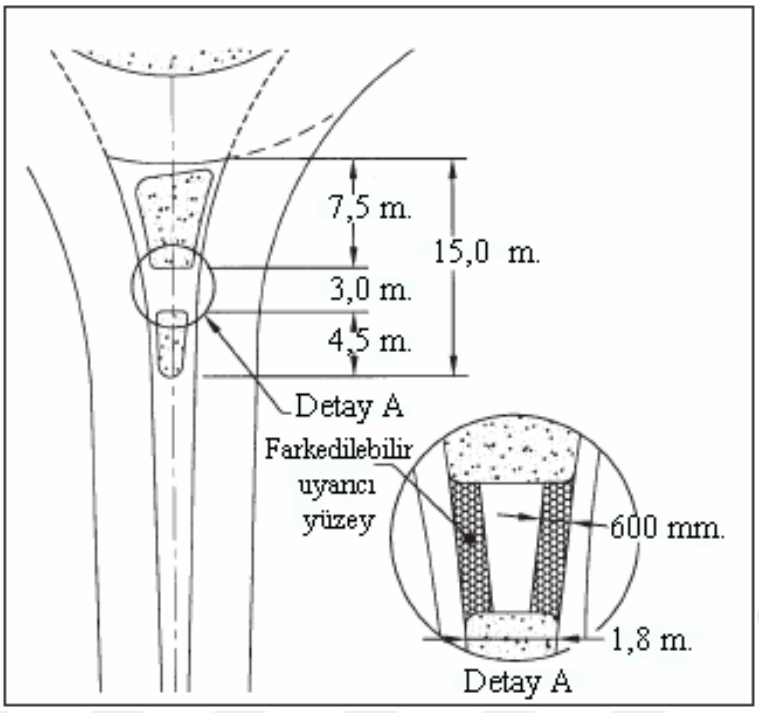
Giriş yarıçapı, kapasite ve güvenlik üzerindeki etkilerinden ötürü dönel kavşağın verimli bir şekilde işletilmesini sağlayan en önemli unsurlardandır. Giriş yarıçapı, giriş genişliği, sirkülasyon yolu genişliği ve merkez ada geometrisi gibi etkenler taşıtların kavşağa girişindeki sapmaları kontrol eder. Kavşak geometrisine uygun olmayan, büyük giriş yarıçapları, yüksek giriş hızlarına ve yüksek kaza oranlarına sebep olur [32].

Kavşak çıkışlarındaki sıkışıkları önlemek için çıkış kurplarının yarıçapı, giriş kurpları yarıçapına ve sirkülasyon yolu yarıçapına göre daha büyük olmalıdır. Çıkış yolu yarıçapı, sirkülasyon yolu yarıçapından küçük olduğu durumlarda sürücüler kavşaktan çıkış mekanizmasını net algılayamayabilir ve kavşak içinde karışıklık meydana getirebilir. Fakat yayaların ve motorize olmayan taşıtların geçişini zorlaştırmamak için çıkış yarıçapları sirkülasyon yolu yarıçapına oranla çok fazla büyük olmamalıdır [32].

2.3.5 Ayırıcı adalar

Ayırıcı adalar, dönel kavşağa bağlanan trafiğin yönlendirilmesi ve saptırılması için muhakkak gerekli olan tasarım elemanlarıdır. Özellikle modern dönel kavşaklarda kanallamanın sorunsuz yapılabilmesi ve kavşak giriş çıkışlarında karışıklık olmaması için ayırıcı adalar çok önemli bir yer tutar. Ayrıca yayalar, engelliler ve bisikletliler için kavşak alanında özellikle karşıdan karşıya geçişlerde kolaylık ve güvenlik sağlar.

Ayırıcı adanın uzunluğu en az 15 metre olmalı, ayrıca çıkış kurbunun sonuna kadar uzanarak; çıkış yapan trafikle yaklaşan trafiğin karşılaşması engellenmelidir [28]. Şekil 2.9'da tek şeritli bir dönel kavşak için minimum ayırıcı ada tasarım boyutları verilmiştir. Bu değerlerin artması ve ayırıcı adanın büyümesi kavşak trafiğine herhangi bir zarar vermemekte aksine daha büyük ayırıcı adalar tavsiye edilmektedir.



Şekil 2.9 : Minimum ayırıcı ada boyutları [32]

2.3.6 Görüş mesafesi

Dönel kavşakların girişlerinde, kavşak içindeki sirkülasyon yolunda ve kavşak çıkışlarında uygun görüş mesafesi muhakkak sağlanmalıdır. Kavşak girişindeki görüş mesafesi, kavşağa giriş yapacak ve geçiş üstünlüğü bulunmayan sürücülerin karşıt trafiği net bir şekilde görebilmeleri ve gerekli reaksiyonu göstermeleri için gerekli olan mesafedir.

Kavşak görüş mesafesi genellikle kavşak içinde bir görüş üçgeninin oluşturularak hesaplanır. Görüş üçgeni aşağıdaki Şekil 2.10'da şematik olarak gösterilmektedir. Kavşak içindeki her giriş kolu için kendinden önce kavşağa giren akım ve sirkülasyon yapan akım hesaba katılmalıdır. Görüş üçgeninin kesişen diğer trafik akımları için kol uzunluğu, girişe 15 metre mesafedeki taşıtlar için aşağıda verilen Eşitlik 2.2 hesaplanır [32].

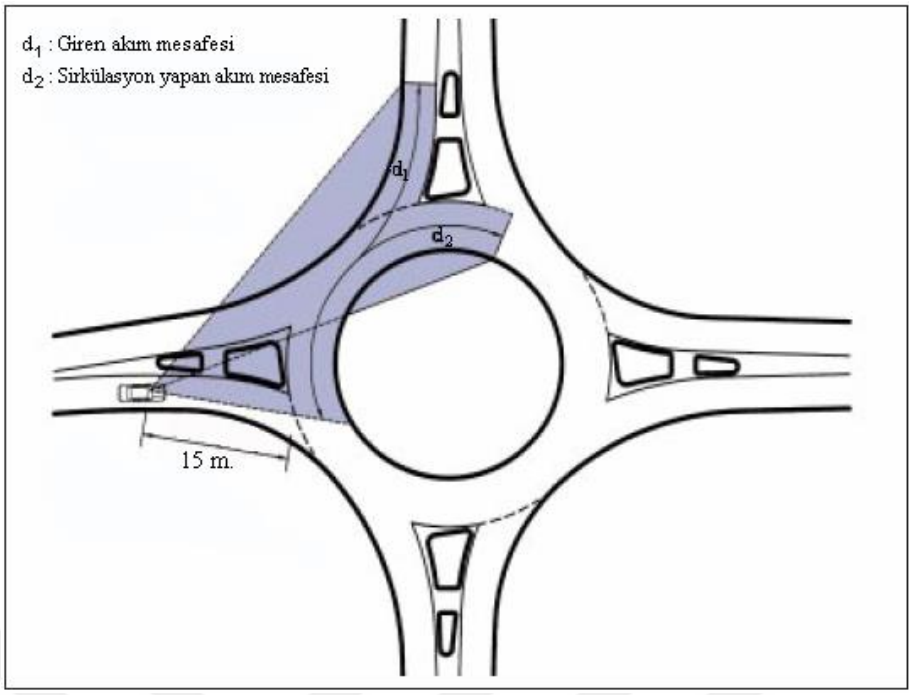
$$d_{1,2} = 0{,}278 * V * t_c \qquad \text{(Eş 2.2)}$$

Eşitlikte verilen;

$d_{1,2}$ = Görüş üçgeninin kesişen diğer akımlar için kol uzunluğu, m

V = Diğer akımların tasarım hızı, km/saat

t_c = Kavşağa giriş için kritik boşluk, sn



Şekil 2.10 : Kavşak görüş mesafesi [32]

Kavşak girişlerinde hesaplanan minimum görüş mesafesinden fazlasının inşa edilmesi önerilmemektedir. Hesaplanan değerden daha fazla görüş mesafesi olması taşıtların hızlarını düşürmemelerine, kavşağa daha dikkatsiz dahil olmalarına ve bunlara bağlı olarak kaza oranlarını arttırmakta, trafik emniyetini sıkıntıya sokmaktadır [32].

2.3.7 Trafik işaretleri ve aydınlatmalar

Modern dönel kavşaklarda sinyalizasyon sistemi olmadığı için taşıtların kavşağın geometrik şekli ile yavaşlaması ve gerekirse durması sağlanır. Ardından modern dönel kavşakların en temel ilkesi olan ada etrafında dönen araca yol ver prensibine göre araçlar kavşağa giriş yapar. Modern dönel kavşakların tasarımları bu ilkelere göre yapılmış olsa da sürücülerin trafik işaretleriyle de uyarılmaları gerekmektedir. Kavşak girişlerinde muhakkak "Yol Ver" işareti konulmalı, gerek olması durumunda "Dur" işareti de eklenmelidir. Kavşak yaklaşımlarında hızın düşürülmesi için trafik işaretlemesi yapmak faydalı olacaktır. Taşıtların kavşak içindeki güzergahlarını kavşak alanına girmeden belirleyebilmeleri için kavşak alanından önce anlaşılabilir ve net bir yön tabelası olmalıdır. Kavşak içinde yön tabelaları bulunması sürücülerin karar verme sürelerini kısaltır, güzergahlarını net olarak belirlenememesine yol açar, kavşak içindeki şerit değişikliği sayısını arttırır ve karışıklık meydana getirebilir.

Modern dönel kavşaklarda karar verme mekanizması sürücü olduğu için sürücülerin görüşü günün her vaktinde tamamen açık olmalıdır. Aydınlatmalar kavşağın tamamını kapsamalıdır.

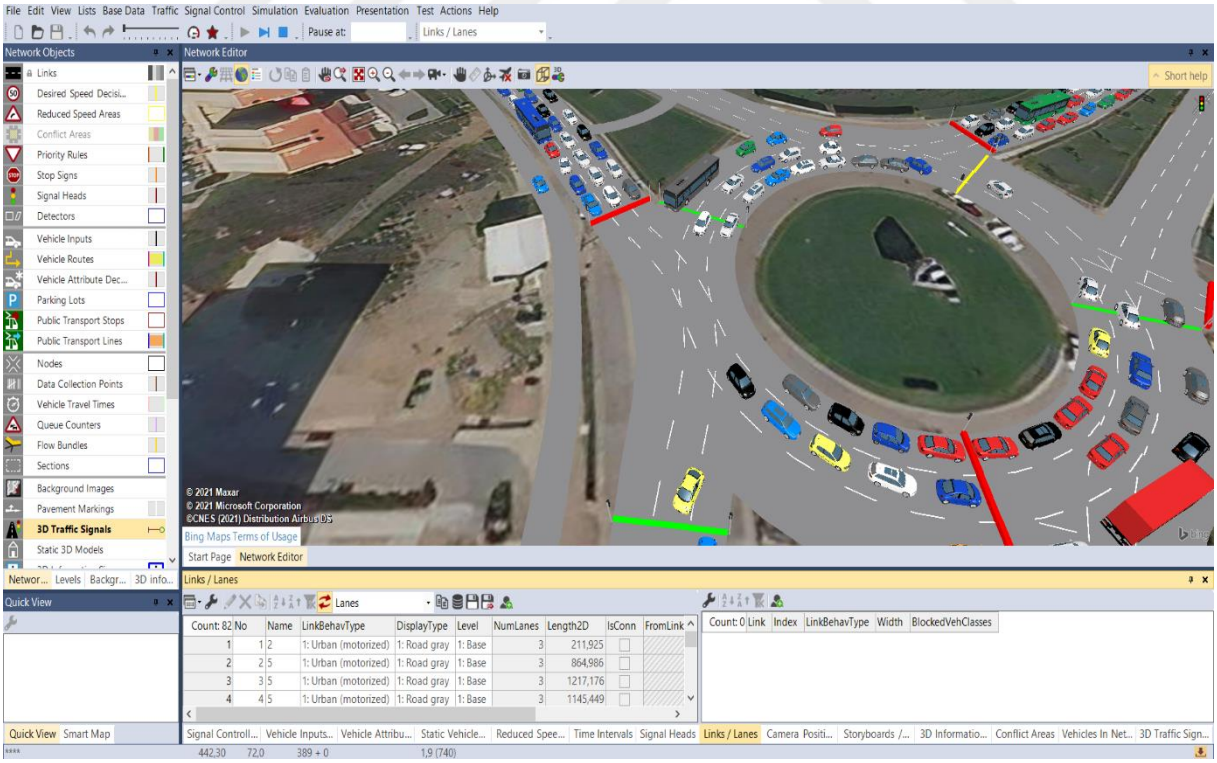
Kavşak bölgesinde karanlık bölge olmamalı, sürücülerin görüş mesafesi kısıtlanmamalıdır. Ayrıca kavşak bölgesinde görüş mesafesine engel olabilecek büyük panolardan ve peyzaj düzenlemesinden kaçınılmalıdır.

3. MATERYAL-METOT

Bu başlık altında öncelikle tez çalışmasında kullanılan PTV Vissim simülasyon programı hakkında bilgiler verilmiş olup ardından çalışma kapsamında yapılan işlemler anlatılmıştır.

3.1 PTV Vissim Mikro Ölçekli Trafik Simülasyon Yazılımı

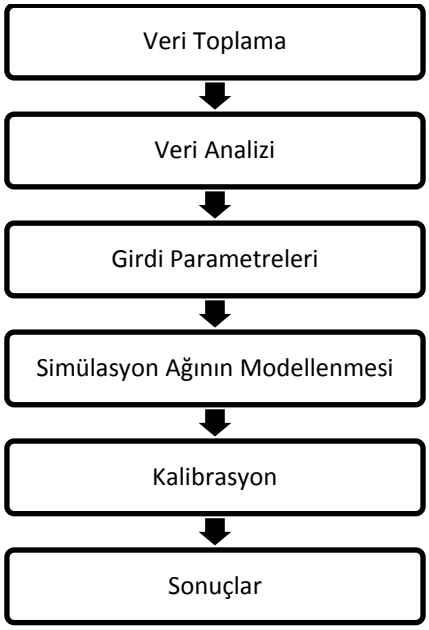
Trafik simülasyon yazılımları mevcut trafik durumunun modellenmesi, sorunların tespit edilmesi ve en uygun çözümlerin bulunabilmesi için önemli bir araçtır. Olası birçok senaryonun denenebilmesi ve farklı koşullar altında trafiğin vereceği tepkinin ölçülebilmesi, trafik planlaması açısından en uygun modelin seçilmesine yardımcı olur. Optimum sonuçlara ulaşabilmek için simülasyonu yapılacak trafiğin mevcut durumuna en uygun şekilde modellenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışma kapsamında sürücü davranışları, trafik karakteristikleri, taşıt takip modelleri, sinyalizasyon sistemleri gibi kriterleri gerçeğe en uygun şekilde yansıtabilmek ve mevcut geometrik durumu modelleyebilmek için Vissim benzetim programı kullanılmıştır. PTV Group'a yapılan "Akademik Tez Lisansı" başvurusu sonucu verilen lisans ile Vissim programı kullanılmıştır.



Şekil 3.1 : Vissim program içi görünümü

Vissim programı, kavşak tasarımları, kent içi yol trafiği, trafik sinyalizasyonları, toplu ulaşım sistemleri, yaya hareketleri gibi tüm karayolu kullanıcılarını ve bunların birbirleriyle etkileşimlerini farklı senaryolar altında modelleyip analiz etmeyi sağlayan, davranış tabanlı ve ayrık zamanlı mikro ölçekli trafik simülasyon yazılımıdır. Ulaşım danışmanlık ve yazılım firması PTV Group ile Karlsruhe Teknik Üniversitesi ortak çalışmalarıyla geliştirilmiştir. Program, yalın ara yüzü, detaylı veri toplama imkanı, gerçekçi ve tutarlı kapasite, yoğunluk, gecikme analizleri yapması, ayarlanabilir durma-hızlanma ivmelenmeleri, sürücü davranış özellikleri, takip ve seyir özellikleri gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca simülasyon sırasında trafiğin her açıdan incelenip kaydedilmesine, parametrelere ilişkin verilerin anlık olarak takip edilmesine imkân sağlar. Özetle Vissim programı kent içi trafik planlanması, sinyalizasyon sistemleri, alternatif yol ağları, alternatif ulaşım sistemleri gibi ulaşım bileşenlerinde çözüm önerileri oluşturabilmek veya mevcut durumu iyileştirmek için kullanılabilecek önemli bir araçtır [37].

Modelleme yapmadan önce çalışma alanının mevcut durum verileri toplanır. Toplanan bu veriler kullanılacak olan programa göre uyarlanır ve girdi parametreleri istenen birimlere çevrilir. Ardından simülasyon programında, çalışma yapılacak olan trafik ağının modellemesi yapılır. Mevcut durum ile simülasyon programında hazırlanan modelin, mevcut durumu olabildiğince doğru sonuçlarla gösterebilmesi için kalibrasyonu yapılır. Sorunlar ve düzensizlikler tespit edilir. Çözüm önerileri, alternatif yol ağı çalışmaları ve uygulanabilecek iyileştirmelere karar verilir [37]. Şekil 3.2'de simülasyon modellemesi aşamaları verilmiştir.



Şekil 3.2 : Simülasyon modellemesi aşamaları

3.2 Çalışma Alanının Seçimi

Tez kapsamında çalışmak üzere Bursa ilinde yer alan trafik yoğunluğu yüksek olan kavşaklar incelenmiştir. Bursa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Koordinasyon Şube Müdürlüğü ile iletişime geçilerek belirlenen kavşaklar hakkında trafik, kaza, plan, kamulaştırma gibi konularda bilgi alınmış ve Nilüfer ilçesi, Ata Bulvarı üzerinde yer alan Durmazlar Kavşağı çalışma yapmak üzere seçilmiştir. Durmazlar Kavşağı'nın ana arter üzerinde yer alması, sanayi bölgesi ile yerleşim bölgesini birbirine bağlaması, ideal olmayan geometriye sahip birer adet giriş ve çıkışa sahip olması, kamulaştırma bakımında geometri değişikliklerine elverişli olması gibi özellikleri çalışma yapılmak üzere seçilmesine etki etmiştir. Şekil 3.3'de Durmazlar Kavşağı ve çevre yerleşimi verilmiştir.



Şekil 3.3 : Durmazlar Kavşağı yerleşimi

Durmazlar Kavşağı, üçer şeritli dört kolun kendisine bağlandığı, iki kolun ana arter, bir kolun yerleşim bölgesine, bir kolun ise sanayi bölgesine giriş çıkış kolu olduğu üç şeritli sinyalize bir dönel kavşaktır. Şekil 3.4'de kavşağa bağlanan kollar gösterilmiş ve numaralandırılmıştır.



Şekil 3.4 : Durmazlar Kavşağı'na bağlanan kollar

Kavşağa Kuzeydoğu yönünden bağlanan kol Mudanya Bulvarı'nın devamı olan Sanayi Caddesi'ne bağlanmaktadır ve 1 sayısı ile numaralandırılmıştır. Güney yönünden bağlanan kol İzmir, Çalı ve Bursa istikametlerindeki yolların birleşimi olan İzmir Caddesi'ne bağlanmaktadır ve 2 sayısı ile numaralandırılmıştır. Kuzeybatı yönünden bağlanan kol Bursa Organize Sanayi Bölgesi ve Nilüfer Organize Sanayi Bölgesi'ne bağlanmakta olup 3 sayısı ile gösterilmiştir. 3 ile 2 yolunu bağlayan yan yol ise 5 sayısı ile verilmiştir. Kavşağa Doğu yönünden bağlanan son kol Ata Caddesi ile bağlantılı olup 4 sayısı ile numaralandırılmıştır.



Şekil 3.5 : 2006 ve 2020 yıllarına ait uydu fotoğrafları

Durmazlar Kavşağı 2006 yılında inşa edilmiş olup bölgenin hızlı yapılaşması ve nüfus artışı sonucunda bölge trafiği için yetersiz kalmaya başlamıştır. Şekil 3.5'te Durmazlar Kavşağı'nın inşa edildiği 2006 yılı ile 2020 yılında çekilmiş uydu görüntüleri yer almaktadır.

3.3 Verilerin Toplanması

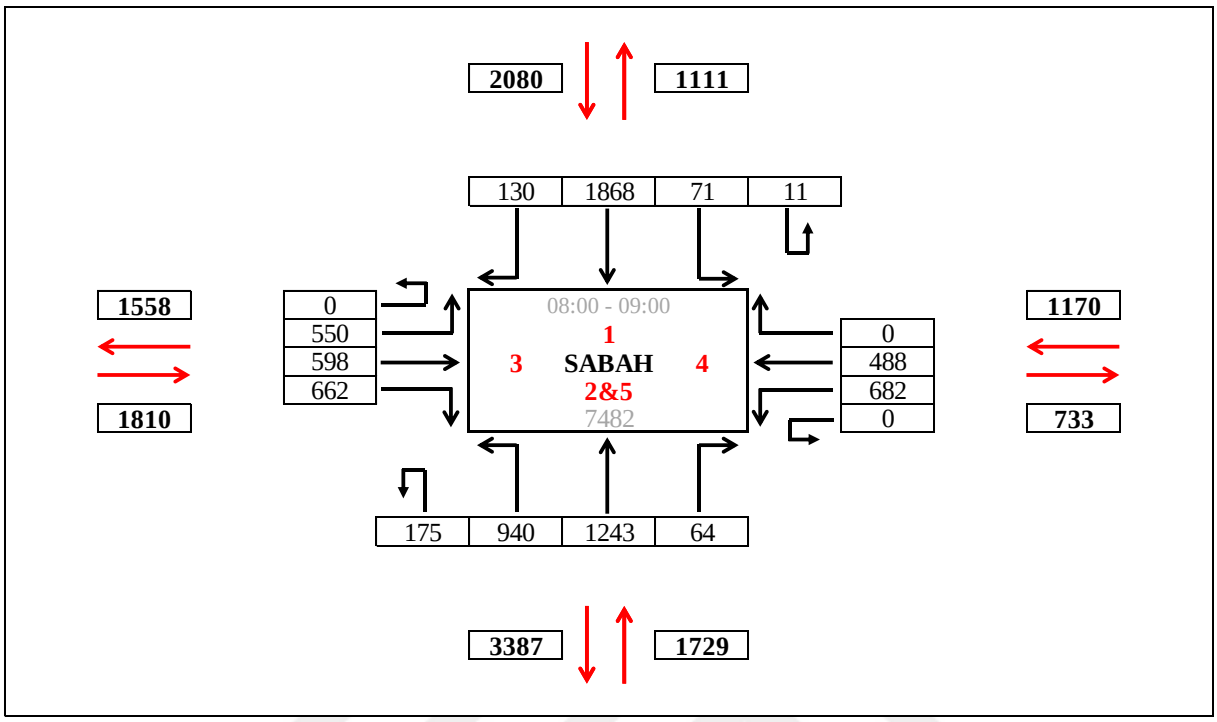
Çalışmada kullanmak üzere Durmazlar Kavşağı'na ait trafik verileri ve sinyal süreleri Bursa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Koordinasyon Şube Müdürlüğü ve Trafik Şube Müdürlüğü'nden alınmıştır. Araç sayımları 2018 yılı Mayıs ayına ait olup sabah, öğle ve akşam saatlerine ait zirve değerleri içermektedir. Kavşağa her koldan giren ve her koldan çıkan araçlarla bunların güzergahlarını içermektedir. Kavşaktan önceki giriş ve çıkışlara ait veriler bulunmamaktadır. Çizelge 3.1'de kavşağa ait araç sayım verileri verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Durmazlar Kavşağı zirve saatleri taşıt hacimleri (ta/sa)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**Genel Toplam**
SABAH	1804	2929	1558	733	458	**7482**
1	11	1868	130	71	0	**2080**
2	1243	175	940	64	0	**2422**
3	550	204	0	598	458	**1810**
4	0	682	488	0	0	**1170**
5	0	0	0	0	0	**0**
ÖĞLE	1436	2185	1003	490	266	**5380**
1	20	1299	163	71	0	**1553**
2	1099	222	608	95	0	**2024**
3	305	254	0	324	266	**1149**
4	12	410	232	0	0	**654**
5	0	0	0	0	0	**0**
AKŞAM	2356	2169	1003	969	896	**7393**
1	113	1398	195	163	0	**1869**
2	1604	160	515	130	0	**2409**
3	606	143	0	675	896	**2320**
4	33	468	293	1	0	**795**
5	0	0	0	0	0	**0**

Tablonun sol tarafında yer alan yol numaraları o koldan çıkış yapan araçları temsil ederken tablonun üst kısmında yer alan numaralar o kola giriş yapan araçların sayısını vermektedir. Tablonun sonunda ise her bir koldan çıkış yapan toplam araç miktarı yer almaktadır. Veriler, sabah zirve saat (08.00-09.00), öğle zirve saat (13.00-14.00) ve akşam zirve saat (17.30-18.30)

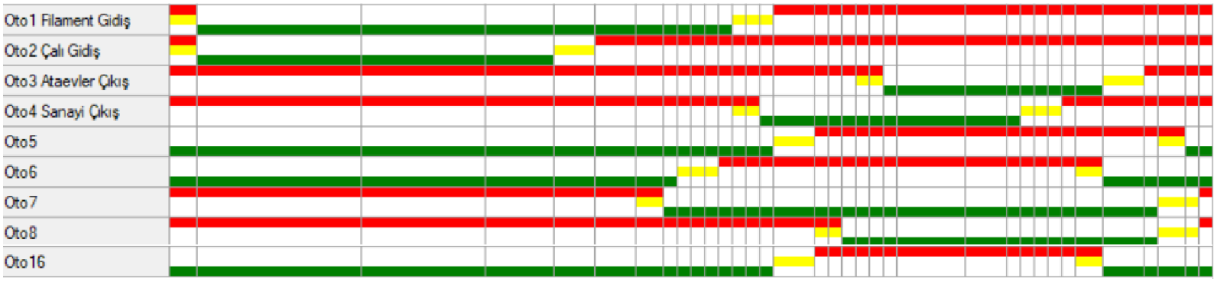
zaman dilimlerinde toplanmıştır. En yüksek taşıt yoğunluğunun olduğu sabah zirve saatine ait kol bazlı araç hareket güzergahları ve miktarları aşağıdaki Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Durmazlar Kavşağı sabah zirve saati trafik hacimleri ve güzergahları (ta/sa)

Durmazlar Kavşağı'na bağlanan kollardan en çok taşıt trafiğine sahip kol, 2 numaralı koldur. Kavşağa en çok giriş 1 numaralı koldan yapılırken, kavşaktan çıkışlar en çok 2 numaralı koldan yapılmaktadır. Kavşakta sola dönme oranı 1 numaralı kol haricinde her kol için yüksek seviyededir.

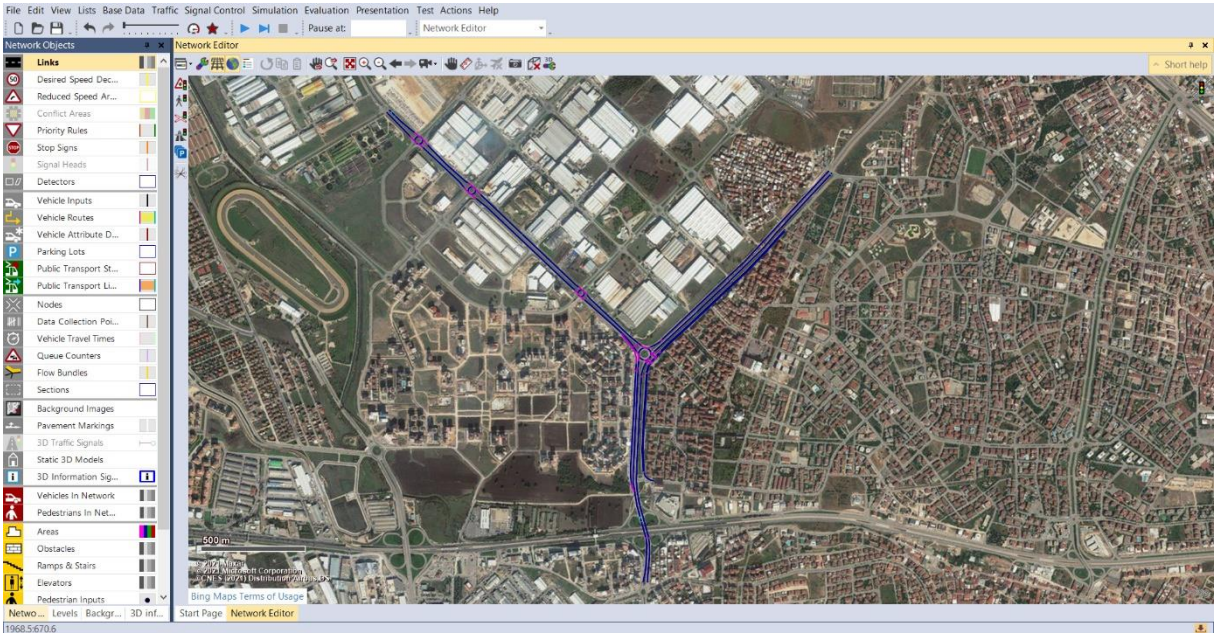
Durmazlar Kavşağı'nın sinyal devre süresi 74 saniyedir. Sinyal sürelerine dair Bursa Büyükşehir Belediyesi Trafik Şube Müdürlüğü'nden alınan ışık süreleri devre diyagramı Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7 : Durmazlar Kavşağı devre diyagramı

3.4 Mevcut Durum Ağının Modellenmesi

Durmazlar Kavşağı'nın mevcut durum modellemesi Vissim programı aracılığıyla yapılmıştır. Sırasıyla önce kavşağa bağlanan kollar çizilmiştir. Ardından dönel kavşak çizilip yollarla bağlantısı yapılmıştır. Araç sayıları yollara göre girilmiş ve güzergahları belirlenmiştir. Kavşağın sinyalizasyonu alınan veriler ışığında ayarlanmıştır. Sürücülerin akan ve duran trafikteki davranışları yerinde yapılan gözlemlere göre düzenlenmiştir. Programda çizilen yol ağı Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Lacivert renkli kısımlar yolları, mor renkli kısımlar dönel kavşakları temsil etmektedir. Yapılan işlemler altta başlıklar halinde detaylı olarak verilmiştir.

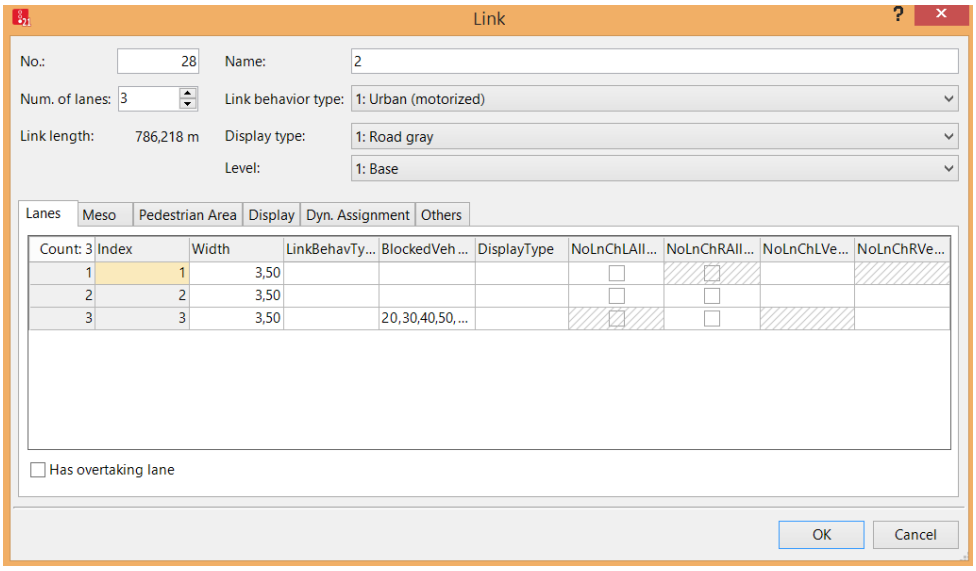


Şekil 3.8 : Modellemesi yapılan yol ağı

3.4.1 Kavşak ve yol ağlarının oluşturulması

Modelin olabildiğince doğru işlemesi için Vissim programında tanımlanan her veri grubunun özelliklerinin detaylandırılması gerekmektedir. Bu sebeple, çizilecek olan yolun şerit sayısı, şeritlerin genişliği, yolun topoğrafyasına göre verilecek boyuna eğim, kot farkları, yolun hangi tip trafiğe açık olacağı, yolda izin verilen hız, şerit değiştirme davranışları, izin verilen taşıt tipleri ve benzeri bilinen her özelliğin programa tanımlanması gerekmektedir.

Vissim programında yollar link sekmesinden seçilip, çizim ekranı üzerine tanımlanmaktadır. Tanımlanan yolun ismi, başlangıç-bitiş noktaları, uzunluğu, kurpları, şerit özellikleri gibi özellikleri ayarlanmaktadır. Şekil 3.9'da yol ayarları penceresi gösterilmiştir.



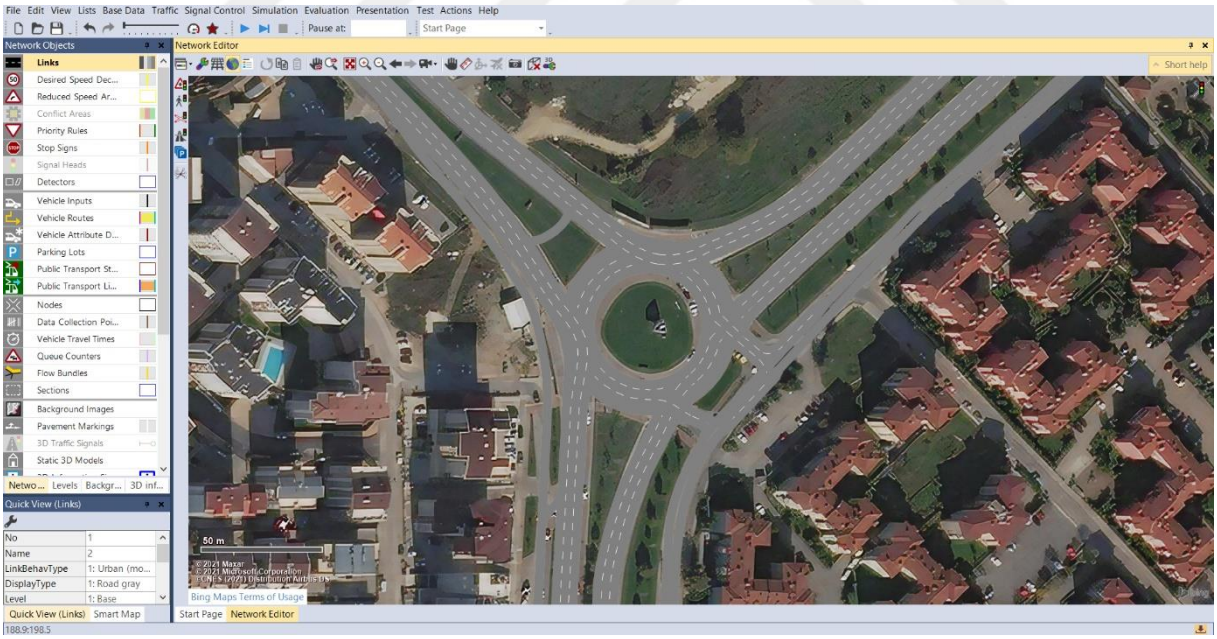
Şekil 3.9 : Vissim programı yol ayarları penceresi

Durmazlar Kavşağı'na bağlanan kollardan 1 ile numaralandırılan Kuzeydoğu yönündeki yolun kavşağa giriş yönü 1211.86 metre, kavşaktan çıkış yönü 1217.17 metre uzunluğunda, Güney yönündeki 2 numaralı yolun kavşağa giriş yönü 1071.87 metre, kavşaktan çıkış yönü 1076.54 metre uzunluğunda, Kuzeybatı yönündeki 3 numaralı yolun kavşağa giriş yönü 1686.24 metre, kavşaktan çıkış yönü 1678.13 metre uzunluğunda, Doğu yönündeki 4 numaralı yolun üst bağlantısı 863.7 metre, alt bağlantısı 628.72 metre uzunluğunda ve son olarak 5 ile numaralandırılan yan yol ise 784.90 metre uzunluğunda çizilmiştir. Şerit genişlikleri aksi belirtilmediği durumlar haricinde 3,5 metre olarak ayarlanmıştır. 1, 2 ve 3 numaralı yollar gidiş ve geliş olarak üçer şeritli olarak uydu görüntüsü üzerinden mevcut durum ile eşit yatay kurp yarıçapları ile çizilmiştir. En solda yer alan şeritlerde otobüs, kamyon ve treyler trafiğine izin verilmemiştir. 5 ile numaralandırılan yan yol tek şerit olarak modellenmiş ana yola giriş ve çıkışları gerçeğe uygun olarak yapılmıştır. 4 numaralı yol kavşak giriş bölgesi hariç bir gidiş bir geliş olmak üzere iki şerit olarak modellenmiştir. Kavşak girişlerinde şerit sayıları iki geliş iki gidiş olarak ayarlanıp kavşağa üç şeritten giriş verilerek mevcut durumda yaşanan karışıklık simülasyona yansıtılmıştır. Mevcut durumda yaşanan düzensizlik Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Mevcut durumda 4 numaralı yolda oluşan düzensizlik

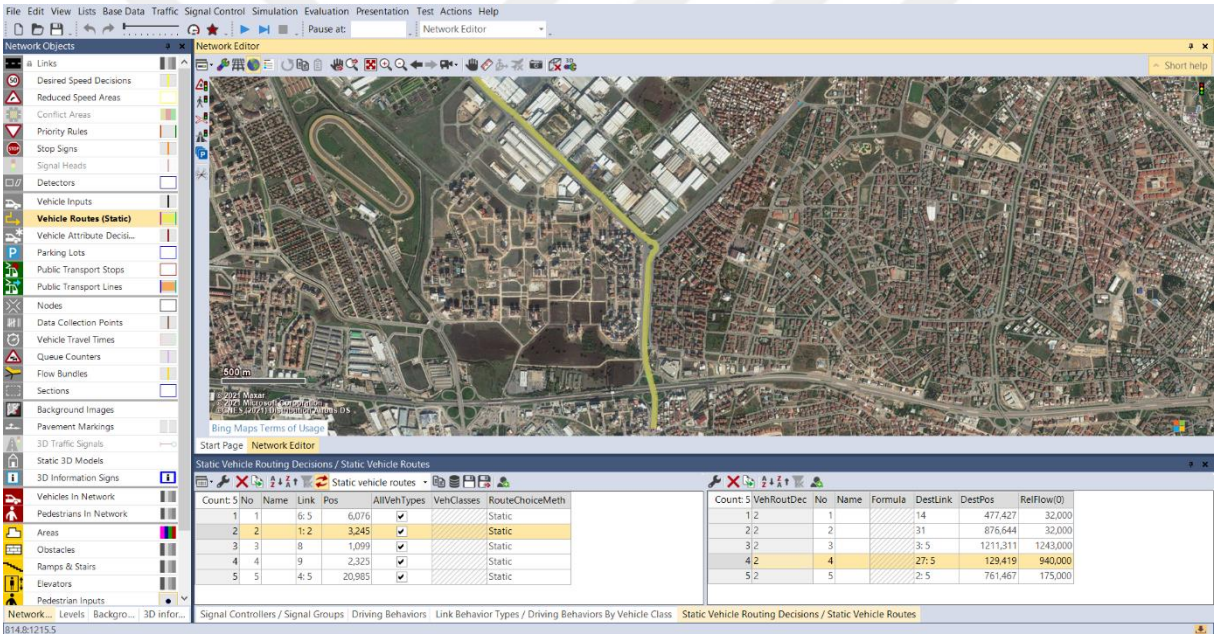
Dönel kavşak 4m-4m-6,5m genişliğinde üç şeritten oluşmaktadır. Modellemede dever uygulaması yapılmamıştır. Kavşak bölgesinin modeli Şekil 3.11'da verilmiştir.



Şekil 3.11 : Kavşak bölgesinin Vissim programında çizilen modeli

3.4.2 Taşıt girdileri

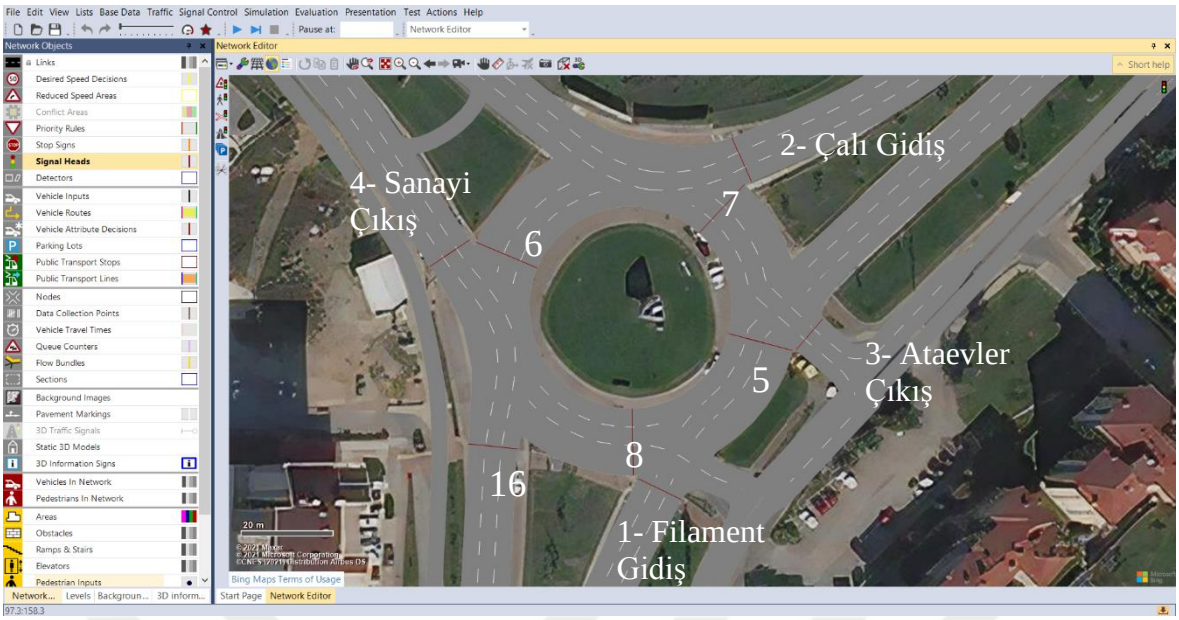
Kavşağa bağlanan kollara ait zirve saati araç sayıları her yolun başlangıç noktasından ayarlanmıştır. “Vehicle Inputs” sekmesi seçildikten sonra girdinin tanımlanacağı yol seçilmiş ve yeni girdi oluşturulmuştur. Araç miktarı, zaman aralığı, araçların dağılımı gibi özellikler girilmiştir. Taşıt girdileri oluşturulduktan sonra “Vehicle Routes” sekmesi seçilerek bilinen tüm araç güzergahları ağ üzerinde tanımlanmıştır. Her güzergahı kullanacak olan araç sayısı ayrı ayrı girilmiştir. Her yol için “Vehicle Inputs” kısmında tanımlanan araç sayısı ile o yola ait rotaları (Vehicle Routes) kullanan araç sayısının toplamı eşit olmalıdır. Örnek olması için 2 yolundan 3 yoluna giden araçların güzergahı ve güzergah seçenekleri sekmesi Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Araç güzergahları Bursa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Koordinasyon Şube Müdürlüğü tarafından verilen veriler dikkate alınmıştır.



Şekil 3.12 : Güzergah görünümü ve güzergah seçenekleri

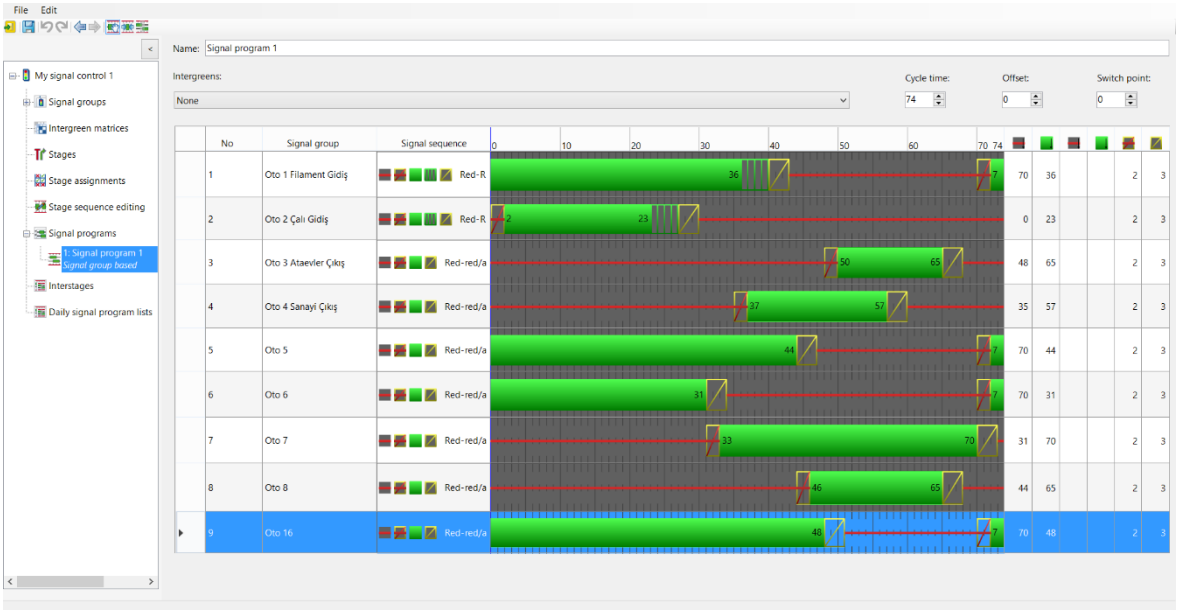
3.4.3 Sinyalizasyon

Kavşak bölgesinde toplamda dokuz adet taşıt sinyalizasyon bölgesi bulunmaktadır. Yaya hareketleri çalışma kapsamında değerlendirilmediği için yayalar için olan trafik ışıkları simülasyona dahil edilmemiştir. Taşıtlar için olan trafik sinyalizasyonları kavşağa bağlanan her kolun kavşak girişinde, kavşak içinde her girişten önce ve kavşaktan 1 numaralı yol çıkışında bulunmaktadır. Bursa Büyükşehir Belediyesi Trafik Şube Müdürlüğü tarafından verilen sinyalizasyon bilgilerinde yer alan isimlendirmeler yapılan modellemede değiştirilmemiş, aynı kullanılmıştır. Çizilen modelde trafik ışıklarının konumları ve isimleri Şekil 3.13’de verilmiştir.



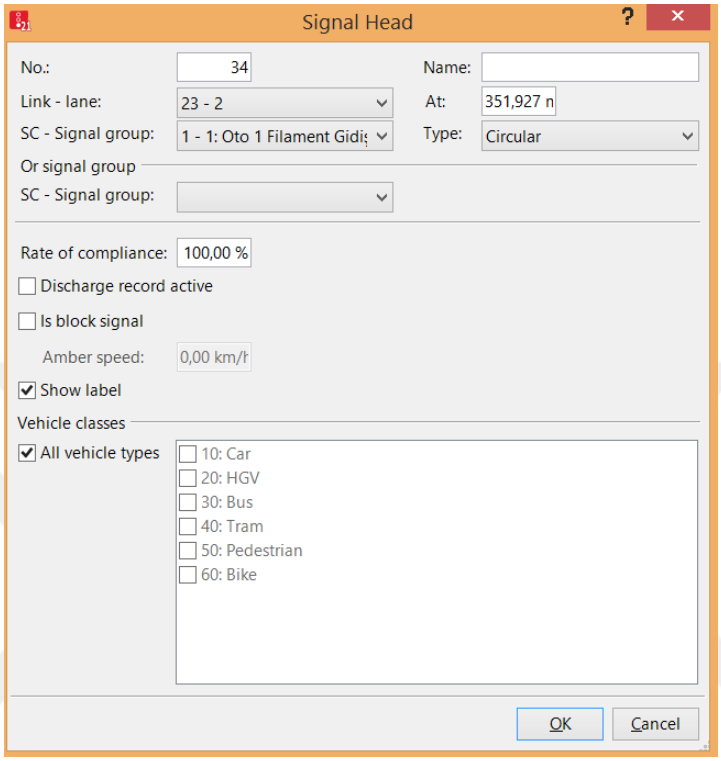
Şekil 3.13 : Trafik ışıklarının konumu ve isimlendirilmesi

Vissim programında sinyalizasyon sistemini tanımlamadan önce devre süresi ve devre diyagramı ayarlanmıştır. Bunun için "Signal Control" başlığından "Signal Controllers" şeçeneği seçilmiş ve açılan pencerede yeni sinyalizasyon grubu eklenmiştir. "Edit Signal Control" seçeneği seçilerek sinyalizasyona ait bilgileri girmek için gerekli pencere açılmış olup "Signal Groups" sekmesinde her trafik ışığı için grup oluşturularak ve isimlendirmeler yapılmıştır. "Signal Programs" sekmesine geçilerek oluşturulan her sinyal grubu için devre diyagramı hazırlanmış, süreler girilmiştir. Vissim programında hazırlanan sinyalizasyon devre diyagramı Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14 : Mevcut durum sinyalizasyon devre diyagramı

Sinyal devre diyagramı hazırlandıktan sonra “Signal Heads” sekmesi seçilip modelde olması gereken yerlere trafik ışıkları eklenmiştir. Trafik ışığı eklenince açılan pencerede daha önceden ayarlanan sinyal gruplarından uygun olan tanımlanmıştır. Trafik ışığı özellik penceresi Şekil 3.15’te verilmiştir.



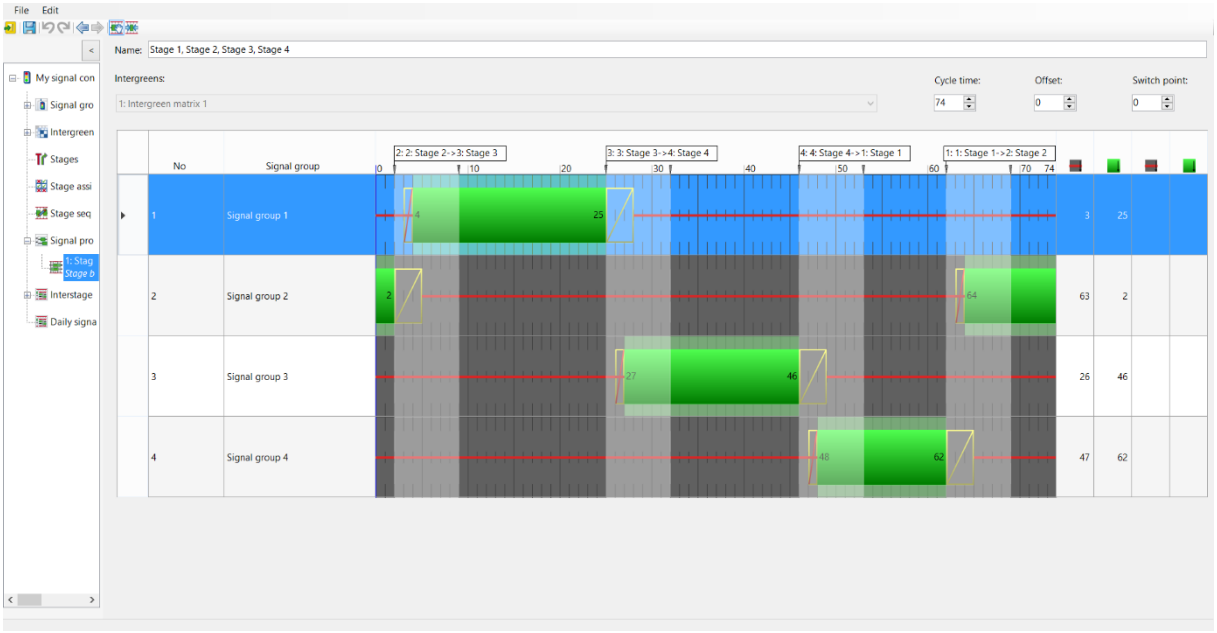
Şekil 3.15 : Trafik ışığı ayarlar penceresi

3.5 Senaryoların Modellenmesi

Tez kapsamında değerlendirmek üzere Durmazlar Kavşağı’na uygulanması planlanan üç farklı senaryo hazırlanmıştır. Senaryo 1 dahilinde mevcut kavşaktan dönel ada kaldırılarak sinyalizasyon optimize edilmiştir. Senaryo 2 kapsamında sinyalizasyon kaldırılıp dönel ada tutularak dört kollu modern dönel kavşak olarak düzenlenmiştir. Senaryo 3 için ise sinyalizasyon kaldırılıp dönel ada sabit tutularak geometrik standartlara uymayan kolun kaldırıldığı üç kollu modern dönel kavşak tasarımı yapılmıştır. Modellenen senaryolar altında mevcut trafik verilerinin farklı performans kriterleri açısından nasıl değişeceği araştırılmış ve optimum kavşak önerisi hazırlanmıştır. Aşağıda başlıklar altında bu senaryoların nasıl hazırlandığı detaylıca anlatılmıştır.

3.5.1 Dört kollu sinyalize kavşak (Senaryo 1)

Bu senaryo dahilinde mevcut dönel ada kaldırılarak kolların birbirine direkt bağlanması sağlanmıştır. Mevcut durumda sorunlu olan 4 numaralı kolda herhangi bir geometrik düzenleme yapılmamıştır. Bunun nedeni senaryodaki asıl amacın, dönel adanın kaldırılarak sinyal optimizasyonunun meydana getireceği değişimi incelemek olmasıdır. Mevcut sinyalizasyon devre süresi değiştirilmemiş fakat dönel adanın olmadığı yeni duruma daha uyumlu olması için optimize edilmiştir. Birçok kez tekrarlanan simülasyonlar sonucunda en yoğun saatte yaşanan kuyruk uzunlukları ve bekleme süreleri dikkate alınarak günün tamamında kullanılmak üzere yeni bir sinyalizasyon devre diyagramı oluşturulmuştur. Şekil 3.16'te hazırlanan yeni devre diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.16 : Düzenlenmiş sinyalizasyon devre diyagramı

3.5.2 Dört kollu modern dönel kavşak (Senaryo 2)

Literatürde yapılan çalışmalarda farklı hemzemin kavşak türlerinin modern dönel kavşağa dönüştürülmesiyle hem yaralı/ölümlü kaza oranlarında azalış meydana geldiği hem de çoğu performans kriterinde iyileşme gerçekleştiği görülmüştür. Kavşak bölgesinde yapılan sayım ve incelemeler esnasında dokuz saatlik trafik sayımı boyunca iki kez trafik kazası meydana gelmesinden ötürü sinyalizasyonun kaldırılıp kavşağın modern dönel kavşak olarak düzenlenmesi fikri ortaya çıkmıştır.

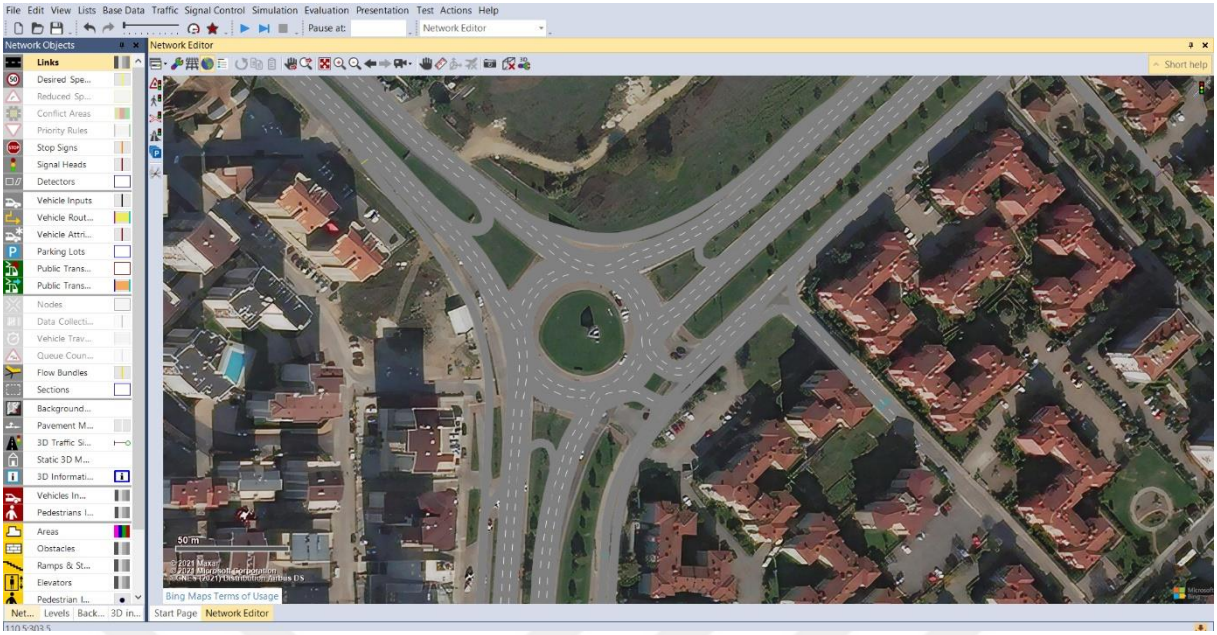
Durmazlar Kavşağı'nın modern dönel kavşak olarak düzenlenmesi için her kolda müşterek olarak kavşağa giriş eğimleri arttırılmış ve kavşak girişlerinde hız sınırlandırılması

uygulanmıştır. Kavşak öncesinde kanallama yapılarak kavşak alanına daha az taşıt girmesi sağlanmıştır. 1 numaralı koldan 3 numaralı kola dönüşler için belediyeden alınan bilgiler dahilinde kamulaştırma sınırı içinde kalacak şekilde yan yol açılmıştır. Ayrıca 1 numaralı koldan gelip kavşak boyunca dönüp U dönüşü yapan taşıtlar için de kavşak öncesinde U dönüşü için yol yapılmıştır. Durmazlar Kavşağı ve çevresine ait kamulaştırma sınırlarının AutoCad programında çizilmiş planı Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17 : Durmazlar Kavşağı kamulaştırma sınırları

2 numaralı yoldan 4 numaralı yola sağa dönüşler için kanallama 4 numaralı yolun yapısı sebebiyle yapılamamıştır. 2 numaralı yoldan gelip kavşak boyunca dönüp U dönüşü yapan araçlar için kavşak öncesinde U dönüşü yapılabilmesi amacıyla yol açılmıştır. 3 numaralı yoldan 1 numaralı yola dönüşler için ayrıca kanallama yapılmamış mevcutta bulunan 5 numaralı yan yol kullanılmıştır. Geometrik olarak modern dönel kavşak standartlarına uygun olmayan, genişletme veya düzenleme imkanının kısıtlı olduğu ve en çok düzensizliğin meydana geldiği 4 numaralı yoldan kavşağa girişler üst taraftan olacak şekilde tek yön uygulaması yapılmıştır. 4 numaralı yolda kavşak giriş-çıkışlarında karışıklık olmaması için ayırıcı ada kullanılmıştır. Kavşak bölgesine girişlerde sürat uyarı tabelaları yerleştirilerek sürat düşürme bölgeleri oluşturulmuştur. Yapılan düzenlemeler sonucunda kavşak bölgesinin görünümü Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.18 : Dört kollu modern dönel kavşak modeli

Kavşağa 4 numaralı yol aracılığıyla bağlanan araçlardan alttaki yolu kullanan taşıtlar, mevcutta var olan geçiş ile kavşak bölgesinden önce 2 numaralı yola yönlendirilmiştir. Kavşakta yer alan sinyalizasyon sistemi kaldırıldığı için dönel kavşak içinde ilerleyen aracın yol üstünlüğü tanımlanmış ve kavşağa girişlerde "dönen araca yol ver" kuralı uygulanmıştır. Şekil 3.19'da Vissim programında aynı çakışma noktası için (a) geçiş üstünlüğü tanımlanmamış durum ve (b) dönel kavşak içindeki trafiğe geçiş üstünlüğü tanımlanmış durumun gösterimleri bulunmaktadır.



(a) (b)

Şekil 3.19 : Vissim programı çakışma alanları gösterimi

Geçiş üstünlüğü tanımının özelleştirilebilmesi için sürücülerin bu bölgelerdeki davranışlarına dair belirli parametreler mevcuttur. Sürücülerin önündeki ve arkasındaki araçla arasına bırakacağı mesafe, geçiş önceliği bulunmayan aracın çakışma alanına girebilmesi için gerekli mesafe gibi davranış özellikleri tanımlanarak kavşak bölgesi istenildiği gibi

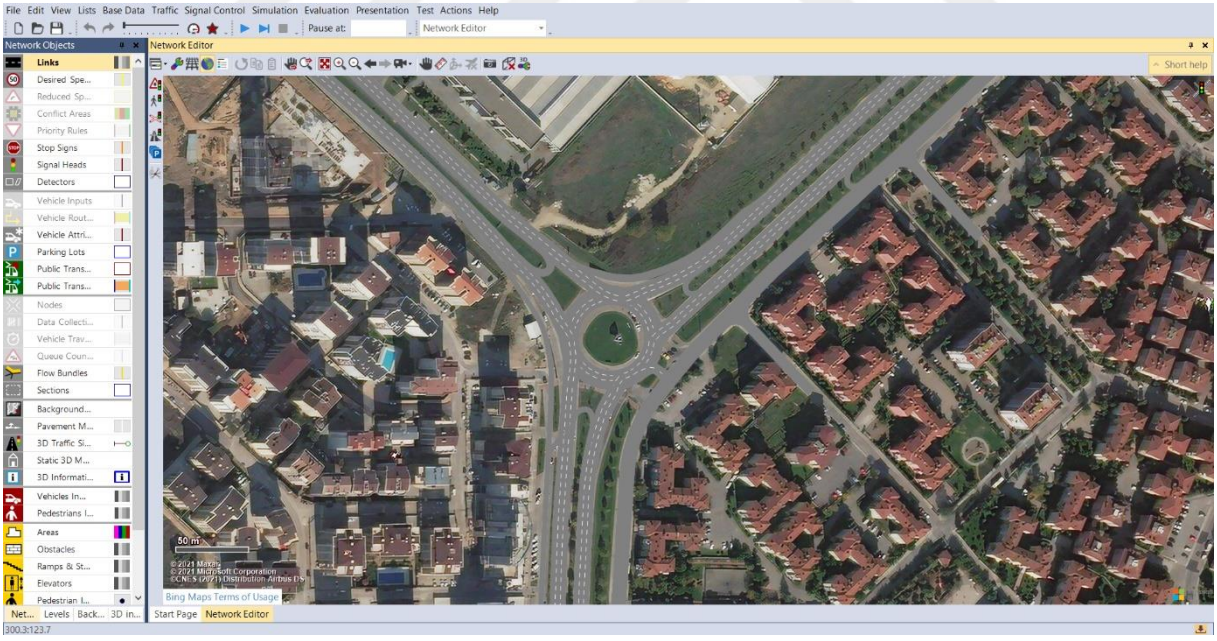
özelleştirilebilmektedir. Şekil 3.20'de programda tanımlanabilecek parametreler ve bu parametrelerin varsayılan değerleri verilmiştir.

FrontGapDef	RearGapDef	MinGapBlockDef	MesoCritGap	SafDistFactDef	AddStopDist	ObsAdjLns	AnticipRout	AvoidBlockMinor
0,5	0,5	3,0	3,5	1,5	0,0	☐	0,0 %	100,0 %

Şekil 3.20 : Çakışma alanındaki varsayılan davranış parametreleri

3.5.3 Üç kollu modern dönel kavşak (Senaryo 3)

Kavşağa bağlanan kollardan geometrik olarak ideal olmayan 4 numaralı yolun iptal edildiği durumda, kavşağın performansında meydana gelecek değişiklikleri araştırmak amacıyla bu senaryo uygulanmıştır. Kavşağa giriş yapmak için kullanılan 4 numaralı yol kapatılmış fakat kavşaktan çıkış yolu açık bırakılmıştır. 4 numaralı kolun alt yolundan gelen trafik mevcutta yer alan bağlantı ile 2 numaralı yola aktarılmıştır. 4 numaralı yolun üst kısmından gelerek kavşağa dahil olan trafik, önce bağlantı yolu açılarak 2 numaralı yolun gidiş yönüne ardından U dönüşü ile 1 numaralı yola aktarılmıştır. Sisteme giren araç sayısında azaltma yapılmamış, 4 numaralı yoldaki araçlar hedef noktalarına ulaşabilecekleri farklı güzergahlara yönlendirilmiştir. Şekil 3.21'de yapılan düzenlemeler sonucunda oluşan üç kollu modern dönel kavşak modeli verilmiştir.



Şekil 3.21 : Üç kollu modern dönel kavşak modeli

Belirtilen değişiklikler haricinde dört kollu modern dönel kavşak modelinde uygulanan güzergah tercihleri, geçiş önceliği kuralları ve hız sınırlamaları gibi özelliklerde değişiklik yapılmamıştır.

3.6 Simülasyon Verilerinin Toplanması

Tez çalışması kapsamında performans kriterleri olarak kuyruk uzunluğu, seyahat süresi ve ortalama sürat parametreleri kullanılmıştır. Bu verilerin elde edilebilmesi için oluşturulan ağ üzerine ilgili sayım araçları yerleştirilmiştir.

- Veri Toplama Noktası (Data Collection Point): Taşıtın sürati, hızlanma-yavaşlama ivmesi, araç tipi, kuyruk gecikmesi ve doluluk oranı gibi durumları saptamak için kullanılır. Veri toplama noktaları, sinyalizasyon kullanılan modellerde sinyalizasyon ile aynı hizaya, sinyalizasyon olmayan modellerde ise kavşak girişlerinde yer alan geçiş üstünlüğü tabelalarının hizasına yerleştirilmiştir.
- Kuyruk Sayacı (Queue Counter): Belirlenen noktalarda oluşan ortalama kuyruk uzunluğu, en yüksek kuyruk uzunluğu, kuyruk boyunca duraksama adedi gibi parametrelerin elde edilmesi amacıyla kullanılır. Yapılan modellerde veri toplama noktalarıyla aynı konuma yerleştirilmişlerdir.
- Taşıt Seyahat Süresi (Vehicle Travel Time): Taşıtların güzergah üzerinde seçilen bir noktadan belirlenen diğer noktaya ulaşana kadar geçen ortalama süreyi belirlemek için kullanılır. Yapılan modellemelerde seyahat süresi ölçümleri her kol için kavşak bağlantı noktasından elli metre önce başlayıp taşıt kavşağı terk ettikten sonraki elli metrelik mesafe için yapılmıştır.
- Düğüm Noktası (Node): Veri toplama işlemi için kullanılan diğer bir araçtır. Yol, şerit veya nokta seçmeye gerek olmadan işaretlenen alandaki tüm verilerin işlenmesine olanak sağlar. Her veri grubundan temel bilgileri içermesine karşın detay verileri içermemektedir.

3.7 Simülasyon Verilerinin Analizi

Mevcut durum simülasyon sonucunda elde edilen verilerin kullanılabilirliğini saptamak için GEH istatistiği kullanılmıştır. GEH istatistiği ulaşım plancısı Geoffrey E. Havers tarafından 1970'li yıllarda geliştirilmiş bir formüldür. Temel olarak modellenen trafik akışı ile gözlemlenen akışın birbirleri arasındaki uyumun derecesini belirler. GEH istatistiği yüzde hesabına göre daha küçük hacimlerde daha tutarlı sonuçlar vermektedir [38]. Eşitlik 3.1'de GEH istatistiğinin formülü verilmiştir.

$$GEH = \sqrt{\frac{2*(M-C)^2}{M+C}} \quad \text{(Eş 3.1)}$$

Eşitlikte;

M = Modellemede elde edilen taşıt sayıları

C = Mevcut durumda gözlemlenen taşıt sayıları

Yapılan işlemler sonucunda çıkan değer 5'ten küçük olması durumunda modelleme ile elde edilen verilerin gözlemlenen değerler ile uyumlu olduğu ve kullanılabileceği kabul edilir. Sonuç değerinin 5 ile 10 arasında çıkması durumunda simülasyon verilerin çok sağlıklı olmadığı ve tekrardan araştırılması önerilir. Değerin 10'dan büyük çıkması durumunda ise elde edilen simülasyon verileri gözlemlenen mevcut durum ile uyumsuzdur ve kesinlikle kullanılamaz.

Verilerin GEH istatistiğine göre uygunluğu hesaplandıktan sonra istatistiksel analizleri yapılmaya başlanmıştır. Bunun için R Studio programı kullanılmıştır. R programlama dili Yeni Zelanda Auckland Üniversitesi'nde görev yapan Ross Ihaka ve Robert Gentleman tarafından geliştirilmiştir. R programlama dili açık kaynak kodlu olup kullanıcıların ekleyebildiği özel komutlar ile geliştirilebilirdir [39]. R Studio, esnek bir istatistiksel analiz programı olarak farklı özelliklerdeki veri gruplarının incelenmesini, veriler üzerinde değişiklik yapılabilmesini ve istenilen istatistiksel analizlerin yapılabilmesine olanak sağlar. Bu özelliklerinin yanı sıra R Studio klasik istatistik testleri, zaman serileri analizi, sınıflandırma, kümeleme gibi analizleri büyük veri grupları üzerinde uygulayabilme imkânı sunmaktadır [40].

4. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında Durmazlar Kavşağı, mevcut hali, dört kollu sinyalize kavşak senaryosu, dört kollu modern dönel kavşak senaryosu ve üç kollu modern dönel kavşak senaryosu olmak üzere toplamda dört ayrı modelleme yapılmıştır. Yapılan modellemeler sonucunda elde edilen bulgular bu başlık altında verilmiştir. Her senaryonun mevcut hal ile karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma parametreleri olarak seyahat süresi, kuyruk uzunluğu ve ortalama sürat kullanılmıştır.

4.1 Mevcut Durum Simülasyon Sonuçları

Durmazlar Kavşağı mevcut durum modeli, çalışma içinde belirtilen modelleme adımlarının hepsi tamamlandıktan sonra simüle edilmeye hazır hale gelmiştir. Sistem mevcut hali en gerçekçi haliyle yansıtana kadar toplamda elli adet simülasyon yapılmış ve sistemin geometrisi düzenlenmiştir. Sistem mevcut durumu karşılar hale geldiğinde veriler toplanmıştır. Çizelge 4.1'de mevcut durum simülasyonu sonucunda elde edilen güzergahlara göre saatlik taşıt miktarları verilmiştir. Tablonun sol tarafı araçların geldiği yön olup, tablonun üst tarafı araçların kavşağı terk ettiği yönü göstermektedir.

Çizelge 4.1 : Mevcut durum simülasyonu zirve saati taşıt hacimleri (ta/s)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**Genel Toplam**
SABAH	1827	2844	1519	707	441	**7338**
1	10	1830	116	77	0	**2033**
2	1255	166	900	63	0	**2384**
3	562	197	0	567	441	**1767**
4	0	651	503	0	0	**1154**
5	0	0	0	0	0	**0**

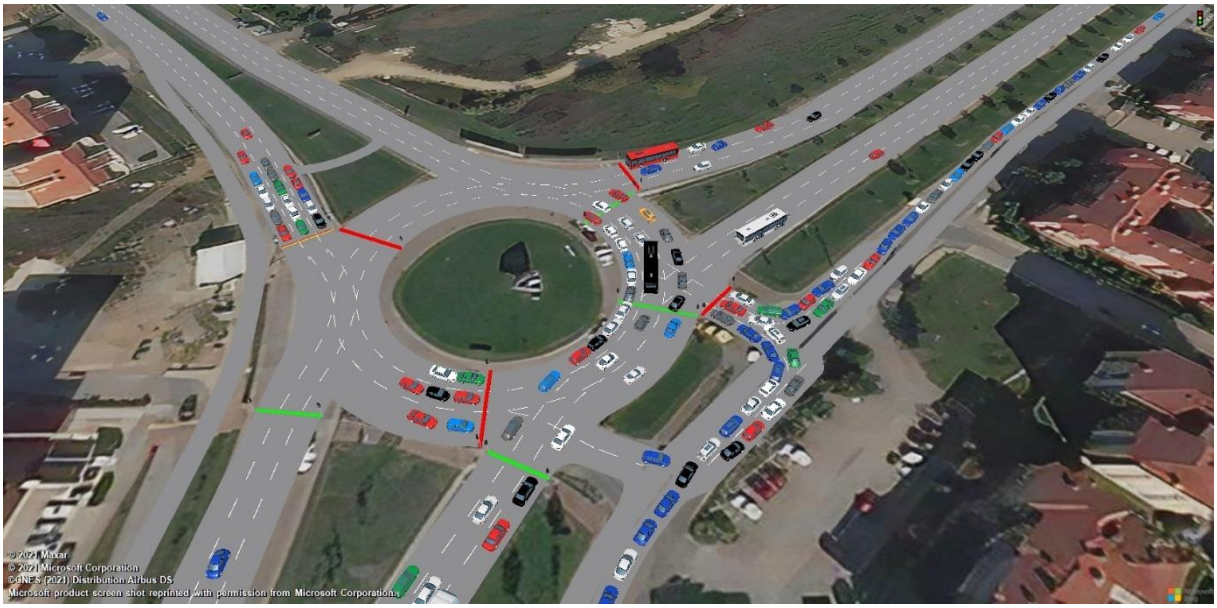
Mevcut durum simülasyonu sonucunda elde edilen veriler ile gözlemlenen değerler karşılaştırılıp, verilerin kullanılabilirliğini saptamak için GEH istatistiği kullanılmıştır. Kavşak alanına dahil olan her güzergah için GEH değerleri hesaplanmıştır. Hem gözlemlenen durumda hem de simülasyon sonucunda aracın geçmediği güzergahlarda GEH değeri hesaplanmamıştır. Çizelge 4.2'de simülasyon sonucu elde edilen veriler ile hesaplanan GEH değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Mevcut durum simülasyonu taşıt hacmi GEH değerleri

	1	2	3	4	5
1	0,308607	0,883721	1,262337	0,697486	-
2	0,339547	0,689256	1,318761	0,125491	-
3	0,508913	0,494357	-	1,28444	0,801833
4	-	1,200775	0,67386	-	-
5	-	-	-	-	-

Yapılan işlemler sonucunda elde edilen tüm değerlerin kabul edilebilir aralık olan beşten küçük olması sonucunda simülasyon verilerinin gerçek durumu yansıttığı ve analiz yapmak için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Mevcut durum simülasyonunun gözlemlenen değerlerle uyumlu olduğu saptandıktan sonra sistemde meydana gelen aksaklıklar araştırılmış ve uygun çözüm önerileri sunulmuştur. Yerinde yapılan gözlemlerde olduğu gibi simülasyonda da 4 numaralı yolda tıkanıklık ve yığılma gerçekleşmiştir. 1, 2 ve 3 numaralı yollar, yeşil ışık sürelerinde boşalmalarına karşın dönel kavşak içinde yer alan sinyalizasyonlarda yaşanan tıkanıklıktan dolayı ciddi gecikmelere maruz kalmışlardır. Şekil 4.1'de modellemede yaşanan trafik tıkanıklıkları gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Mevcut durum simülasyonu görünümü

Simülasyonlar sonucunda mevcut durum için elde edilen ortalama kuyruk uzunluğu, taşıt sayısı ve ortalama sürat verileri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3: Mevcut durum simülasyonu "Queue Counter" ve "Data Collection Point" verileri

Yol	Ort. Kuyruk Uzunluğu (m)	Taşıt	Ort. Sürat (km/s)
1	23,97	2035	39,84
2	19,43	2419	26,05
3	22,55	1347	24,32
4	80,98	1166	20,9
5	0	441	50,14

Kavşağa giren her aracın izlediği güzergâh ve bu güzergahta geçirdiği seyahat süresi Çizelge 4.4'te verilmiştir. Seyahat süreleri sayımları her yoldan kavşağa girmeden önceki ellinci metrede başlayıp kavşaktan çıktıktan sonraki ellinci metreye kadar yapılmıştır. Taşıt sayısı ve güzergahlarına göre seyahat süreleri verilerinin yanında her yol için toplam taşıt sayısı ve ortalama seyahat süresi değerleri verilmiştir.

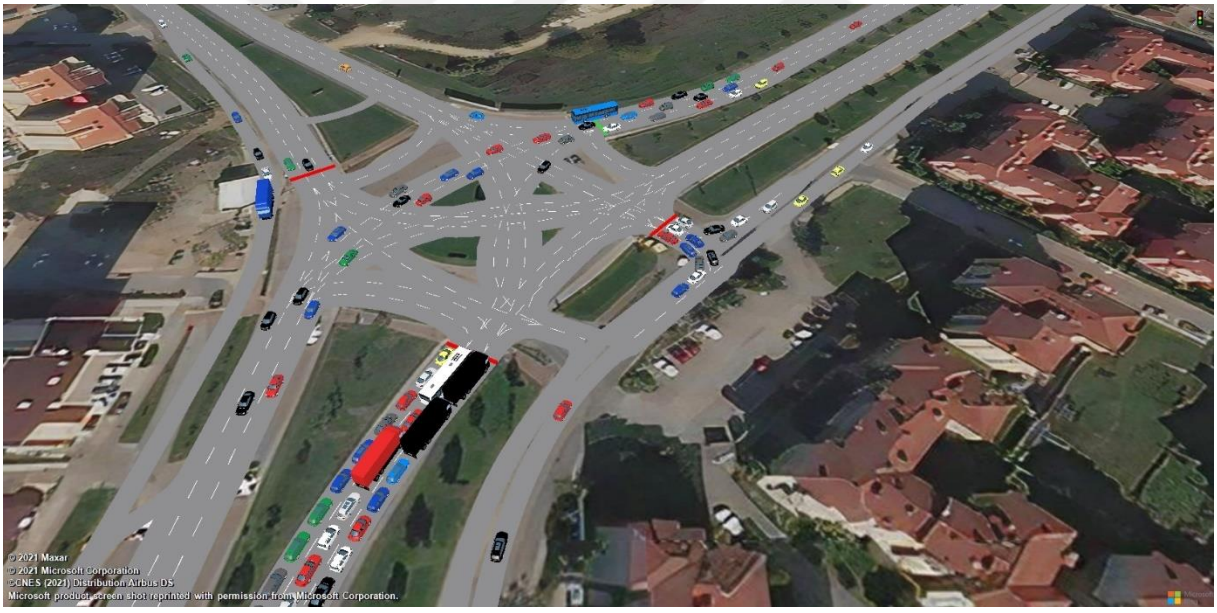
Çizelge 4.4: Mevcut durum simülasyonu "Vehicle Travel Time" verileri

Güzergah	Taşıt Sayısı	Seyahat Süresi (sn)	Toplam Taşıt Sayısı	Ortalama Seyahat Süresi (sn)
1→1	10	81,99	2033	56,71
1→2	1830	30,15		
1→3	116	29,47		
1→4 alt	35	65,27		
1→4 üst	42	76,65		
2→1	1259	30,01	2404	47,29
2→2	166	85,72		
2→3	914	50,09		
2→4 alt	29	21,15		
2→4 üst	36	49,46		
3→1	565	72,63	1331	57,07
3→2	198	45,83		
3→4 alt	266	47,15		
3→4 üst	302	62,67		
4 alt→3	268	56,58	1166	74,93
4 alt→2	344	76,28		
4 ust→3	240	75,44		
4 üst→2	314	91,43		

Simülasyon görüntüsünün bize göstermiş olduğu 4 numaralı yolda yaşanan yoğunluk, elde edilen verilerdeki değerlerle desteklenmiştir. Tablolarda görüldüğü üzere ortalama kuyruk uzunluğunun ve ortalama seyahat süresinin en yüksek olduğu, ortalama süratin ise en düşük olduğu yol 4 numaralı yol olarak karşımıza çıkmıştır.

4.2 Dört Kollu Sinyalize Kavşak Simülasyon Sonuçları (Senaryo 1)

Mevcut durum simülasyonunda 4 numaralı kolda diğer kollara oranla çok fazla birikme olduğu görülmüştür. Ayrıca kavşağa bağlanan kollardaki trafik, yeşil ışık süresi içinde boşalmasına rağmen dönel kavşak içindeki sinyalizasyondan ve yeterli depolama alanı olmamasından ötürü tıkanıklık oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu sorunların çözülebilmesi için zaten sinyalizasyonla kontrol edilen bu kavşaktaki dönel adanın kaldırılarak dört kollu sinyalize kavşak olarak yeniden düzenlenmesi ve sinyalizasyon sürelerinin güncellenmesi düşünülmüştür. Dört kollu sinyalize kavşağa ait simülasyon görüntüsü Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Dört kollu sinyalize kavşak simülasyonu görünümü

Yapılan simülasyonlarda herhangi bir tıkanıklık meydana gelmemiştir. Trafiğin akıcılığı sağlanmış, her koldaki trafik yeşil ışık süresince sorunsuz bir şekilde boşalmıştır. 4 numaralı koldaki sorunlar azalmış fakat geometrik düzensizliklerden ötürü ortadan kalkmamıştır. Çizelge 4.5'te dört kollu sinyalize kavşağa ait ortalama kuyruk uzunluğu, taşıt sayısı ve ortalama sürat verileri verilmiştir.

Çizelge 4.5: Dört kollu sinyalize kavşak simülasyonu "Queue Counter" ve "Data Collection Point" verileri

Yol	Ort. Kuyruk Uzunluğu (m)	Taşıt	Ort. Sürat (km/s)
1	28,01	2034	39,48
2	55,81	2420	40,11
3	22,34	1138	30,17
4	30,5	1184	27,3
5	0	640	50,1

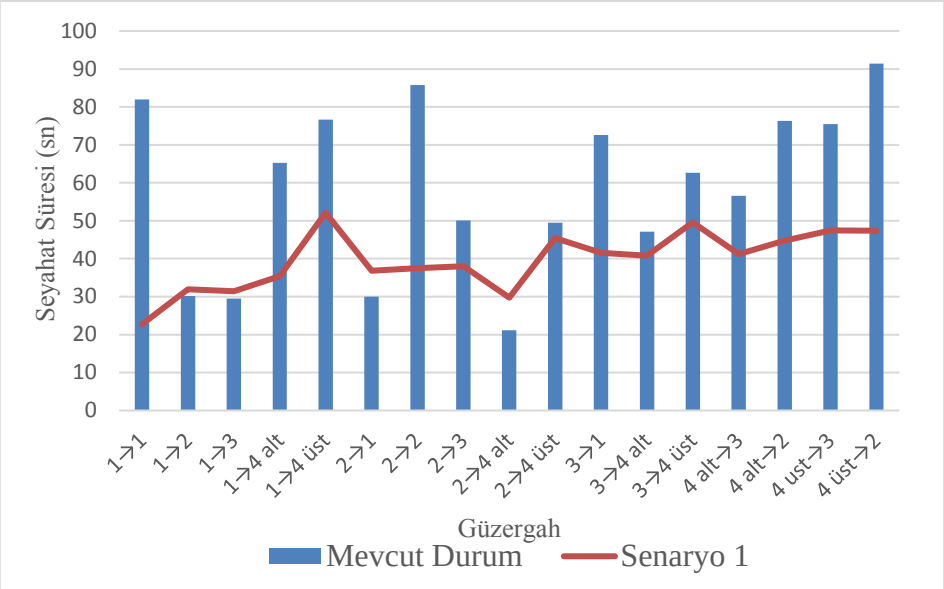
Çizelge 4.5'ten görüldüğü üzere ortalama kuyruk uzunluğu her kol için azalmıştır. Taşıt miktarları 1 ve 3 numarada azalırken 2, 4 ve 5 numaralı kollarda artış göstermiştir. Ortalama sürat ise 1 ve 5 numaralı kollarda çok az miktarda azalış gösterirken 2, 3 ve 4 numaralı kollarda artmıştır.

Dört kollu sinyalize kavşak için kavşağa giren her aracın izlediği güzergah ve bu güzergahta geçirdiği seyahat süresi Çizelge 4.6'da verilmiştir. Seyahat süreleri sayımları mevcut durum simülasyonunda olduğu gibi her yoldan kavşağa girmeden önceki ellinci metrede başlayıp kavşaktan çıktıktan sonraki ellinci metreye kadar yapılmıştır.

Çizelge 4.6: Dört kollu sinyalize kavşak simülasyonu "Vehicle Travel Time" verileri

Güzergah	Taşıt Sayısı	Seyahat Süresi (s)	Toplam Taşıt Sayısı	Ortalama Seyahat Süresi (s)
1→1	10	22,74		
1→2	1829	31,9		
1→3	116	31,4	3288	34,71
1→4 alt	36	35,38		
1→4 üst	43	52,11		
2→1	1254	36,83		
2→2	168	37,52		
2→3	913	38	2969	37,49
2→4 alt	29	29,71		
2→4 üst	36	45,4		
3→1	569	41,54		
3→4 alt	266	40,82	1138	43,96
3→4 üst	303	49,53		
4 alt→3	271	41,2		
4 alt→2	345	44,76	1184	45,21
4 ust→3	245	47,47		
4 üst→2	323	47,39		

Simülasyonda gözlemlenen trafik sıkışıklıklarının azalması, seyahat sürelerinin verildiği tablo ile desteklenmiştir. 1 yolundan 2 yoluna giden güzergah, 1 yolundan 3 yoluna giden güzergah, 2 yolundan 1 yoluna giden güzergah ve 2 yolundan 4 yolunun üst istikametine giden güzergahlar olmak üzere sadece dört güzergahta seyahat sürelerinde artış yaşanırken, kalan on üç güzergahta azalış meydana gelmiştir. Seyahat sürelerinde meydana gelen artış ve azalış miktarları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 : Mevcut durum ve Senaryo 1 seyahat süreleri karşılaştırması

Mevcut durum simülasyon verileriyle dört kollu sinyalize kavşak verilerinin karşılaştırılması Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7: Mevcut durum ve senaryo 1 simülasyon sonuçları karşılaştırması

	Ort.Kuyruk Uzunluğu (m)	Taşıt	Ort. Sürat (km/s)	Ort. Seyahat Süresi (sn)
Mevcut Durum	29,39	7408	32,25	58,22
4 Kollu Sinyalize	27,33	7416	37,43	39,63
Değişim (%)	-6,99	0,11	16,07	-31,93

Çizelge 4.7'de görüldüğü üzere yapılan kavşak tipi değişikliği sonucunda performans parametrelerinden kavşağa bağlanan kollarıda meydana gelen ortalama kuyruk uzunluğu %6,99 oranında kısalırken, ortalama seyahat süresi %31,93 azalmıştır. Bunlara ek olarak kavşak bölgesinde oluşan tıkanıklığın azalmasından ötürü ortalama sürat %16,07 artmıştır. Sisteme verilen araç miktarı aynı olmasından ötürü taşıt sayısında çok değişiklik olması beklenmemektedir. Buna bağlı olarak kavşak alanını kullanan taşıt sayısı %0,11 gibi düşük bir oranında artış göstermiştir.

4.3 Dört Kollu Modern Dönel Kavşak Simülasyon Sonuçları (Senaryo 2)

Dünya'nın pek çok yerinde yapılan çalışmalarda başka kavşak türlerinden modern dönel kavşağa geçiş yapıldığı durumlarda birçok kriter açısından kavşakların daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Bu kapsamda mevcut durumdan sinyalizasyon sisteminin kaldırılıp geometrik olarak sorunlu olan 4 numaralı kolda düzenlemeye gidilerek modern dönel kavşak modelinin performansı araştırılmıştır. Yapılan düzenlemeler Materyal-Metot başlığı altında detaylıca verilmiştir. Dört kollu modern dönel kavşağın simülasyon esnasındaki genel görünümü Şekil 4.4'te verilmiştir. Kollarda oluşan tıkanıklıklar şekil üzerinde açıkça belli olmaktadır.



Şekil 4.4 : Dört kollu modern dönel kavşak simülasyonu görünümü

Yapılan simülasyonlarda 2, 3 ve 4 numaralı kollarda trafik performansları yükselmiş olmasına karşın 1 numaralı kolda mevcut duruma kıyasla çok daha fazla tıkanıklık meydana gelmiş, uzun kuyruklar oluşmuştur. Dört kollu modern dönel kavşak simülasyonuna ait ortalama kuyruk uzunluğu, taşıt sayısı ve ortalama sürat verileri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8: Dört kollu modern dönel kavşak simülasyonu "Queue Counter" ve "Data Collection Point" verileri

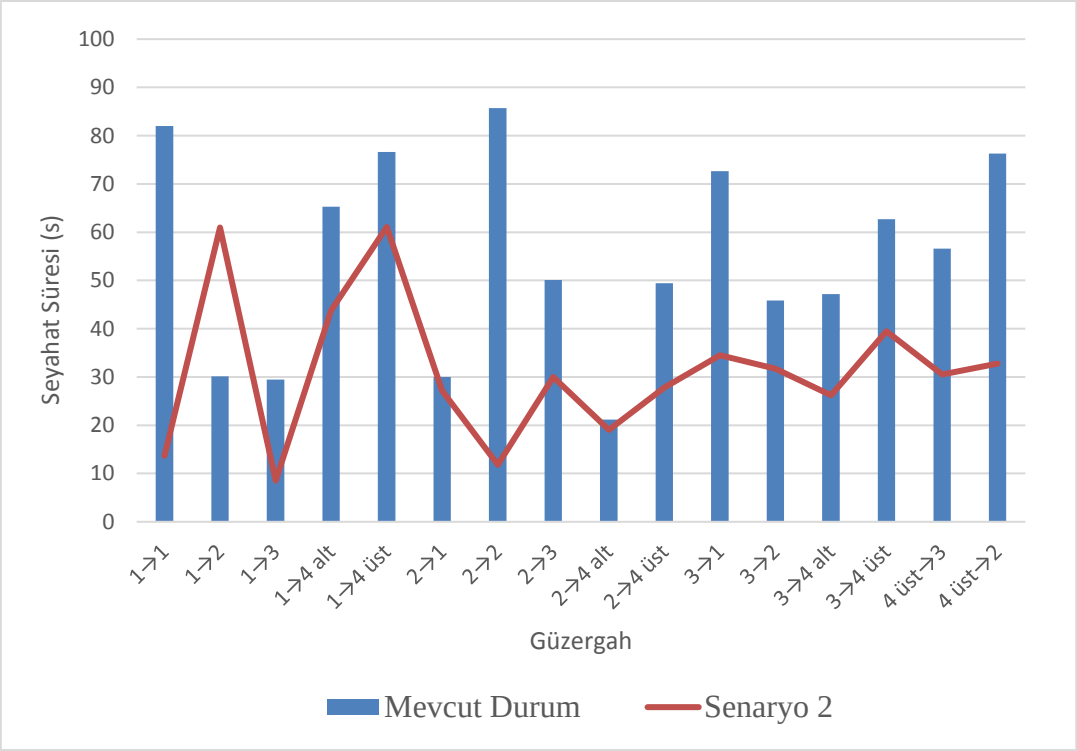
Yol	Ort. Kuyruk Uzunluğu (m)	Taşıt	Ort. Sürat (km/s)
1	258,35	1829	13,57
2	65,58	2342	17,47
3	39,54	1334	12,62
4	11,11	693	10,71
5	0	442	60,42
1→3	0	115	61,28
1U	0	9	32,83
2U	0,87	528	31,43

Dört kollu modern dönel kavşak için kavşağa giren her aracın izlediği güzergah ve bu güzergahta geçirdiği seyahat süresi Çizelge 4.9'da verilmiştir. Seyahat süreleri sayımları mevcut durum simülasyonunda olduğu gibi her yoldan kavşağa girmeden önceki ellinci metrede başlayıp kavşaktan çıktıktan sonraki ellinci metreye kadar yapılmıştır.

Çizelge 4.9 : Dört kollu modern dönel kavşak simülasyonu "Vehicle Travel Time" verileri

Güzergah	Taşıt Sayısı	Seyahat Süresi (s)	Toplam Taşıt Sayısı	Ortalama Seyahat Süresi (s)
1→1	8	13,68	1752	37,61
1→2	1572	60,98		
1→3	104	8,53		
1→4 alt	30	43,79		
1→4 üst	38	61,08		
2→1	1258	27,12	2901	23,16
2→2	533	11,82		
2→3	1045	30,01		
2→4 alt	29	19,04		
2→4 üst	36	27,83		
3→1	570	34,52	1340	32,99
3→2	199	31,7		
3→4 alt	268	26,24		
3→4 üst	303	39,48		
4 üst→3	363	30,5	688	31,65
4 üst→2	325	32,79		

İncelenen güzergahlar arasında sadece 1 yolundan 2 yoluna giden güzergahın seyahat süresinde artış yaşanırken geri kalan on beş güzergahın seyahat süresi azalmıştır. Fakat seyahat süresi verileri incelenirken kavşaktan önceki 50 metrelik kısmın dikkate alındığı unutulmamalıdır. 1 numaralı yolda oluşan uzun kuyruk boyunca muhtemel seyahat süresi daha fazla çıkacaktır. Mevcut durum ile dört kollu modern dönel kavşak simülasyonlarının seyahat süreleri karşılaştırmaları Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : Mevcut durum ve Senaryo 2 seyahat süreleri karşılaştırması

Dört kollu modern dönel kavşak simülasyon verilerinin mevcut durum verileri ile karşılaştırması Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10: Mevcut durum ve senaryo 2 simülasyon sonuçları karşılaştırması

	Ort.Kuyruk Uzunluğu (m)	Taşıt	Ort. Sürat (km/s)	Ort. Seyahat Süresi (sn)
Mevcut Durum	29,39	7408	32,25	58,22
4 Kollu Modern	74,92	7292	30,04	31,19
Değişim (%)	154,94	-1,57	-6,85	-46,42

Çizelge 4.10'da görüldüğü üzere yapılan kavşak tipi değişikliği ve 4 numaralı kol düzenlemesi sonucunda 4 numaralı kolun performansı iyileştirilmesine karşın performans parametrelerinden kavşağa bağlanan kolların ortalama kuyruk uzunluğu toplamda %154,94 gibi yüksek bir oranda artmıştır. Fakat buna karşın kavşak alanına giren sürücülerin, kuyruk boyunca beklediği süre dahil edilmeden ortalama seyahat süresi %46,42 oranında azalmıştır. Sisteme verilen araç miktarı aynı olmasından ötürü taşıt sayısında çok değişiklik olması beklenmemektedir. Nitekim kavşak alanını kullanan taşıt sayısı %1,57 gibi düşük bir oranında azalış göstermiştir. Sistemin ortalama sürati de %6,85 oranında azalmıştır.

4.4 Üç Kollu Modern Dönel Kavşak Simülasyon Sonuçları (Senaryo 3)

Dört kollu modern dönel kavşakta 4 numaralı kolda iyileşme olması 1 numaralı kolun performansını kötü etkilemiştir. Bunun sebebini araştırmak için farklı senaryolar denenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda 4 numaralı koldaki trafik sıkışıklığının 1 numaralı yoldaki trafiğin akmasını sağladığı tespit edilmiştir. Taşıtların 4 numaralı koldan beklemeden çıkış yapması sonraki giriş olan 1 numaralı koldan kavşağa girecek olan araçları engellediği görülmüştür. Bu veriler doğrultusunda dört kollu modern dönel kavşağın 4 numaralı giriş kolu iptal edilmiştir. 4 numaralı koldan kavşağa dahil olan taşıtlar kavşak alanından önceki yollardan kavşağa dahil edilmiştir. Yapılan değişiklikler daha detaylı olarak "Materyal-Metot" başlığı altında verilmiştir. Üç kollu modern dönel kavşağın simülasyon esnasındaki genel görünümü Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 : Üç kollu modern dönel kavşak simülasyonu görünümü

Üç kollu modern dönel kavşak modelinde yapılan simülasyonlarda herhangi bir tıkanıklık, yoğunluk ve olumsuzluğa rastlanmamıştır. 1 ve 2 numaralı kollardaki trafik miktarı fazlaca artmış olmasına rağmen tıkanıklık yaşanmamıştır. Üç kollu modern dönel kavşak simülasyonuna ait ortalama kuyruk uzunluğu, taşıt sayısı ve ortalama sürat verileri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11: Üç kollu modern dönel kavşak simülasyonu "Queue Counter" ve "Data Collection Point" verileri

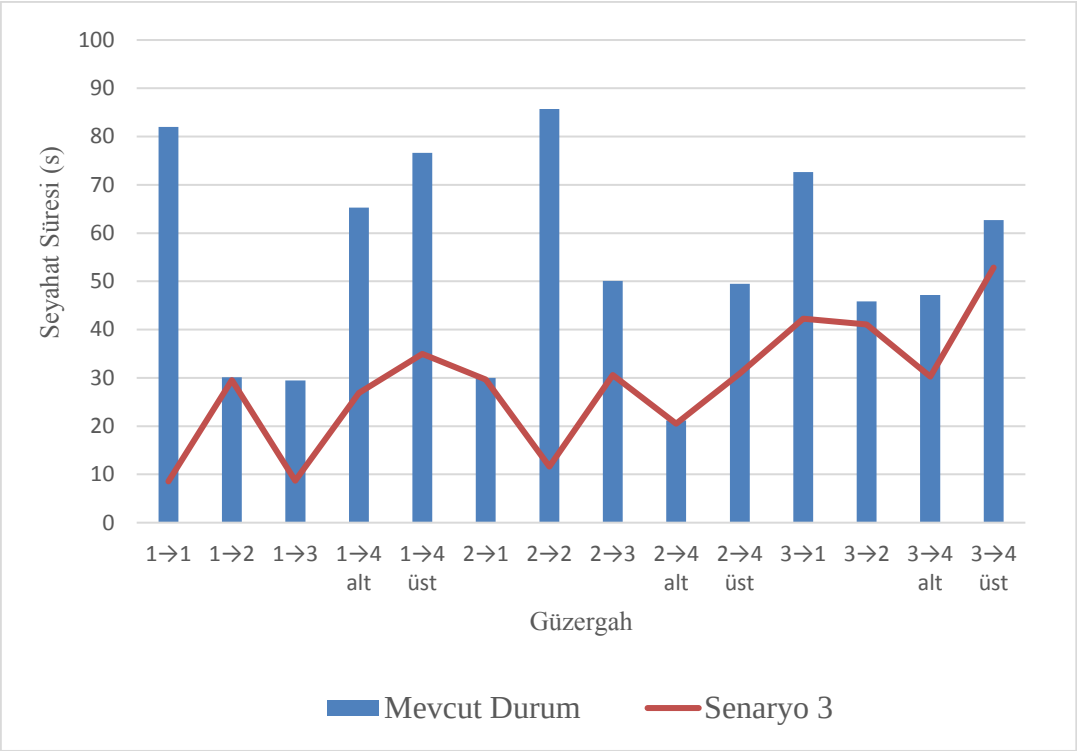
Yol	Ort. Kuyruk Uzunluğu (m)	Taşıt	Ort. Sürat (km/s)
1	21,33	2226	18,3
2	53,43	2376	16,8
3	27,17	1308	13,8
5	0	442	63,99
1→3	0	478	61,13
1U	0	13	35,25
2U	0	535	30,25

Üç kollu modern dönel kavşak için kavşağa giren her aracın izlediği güzergah ve bu güzergahta geçirdiği seyahat süresi Çizelge 4.12'de verilmiştir. Seyahat süreleri sayımları diğer simülasyonlarda olduğu gibi her yoldan kavşağa girmeden önceki ellinci metrede başlayıp kavşaktan çıktıktan sonraki ellinci metreye kadar yapılmıştır.

Çizelge 4.12: Üç kollu modern dönel kavşak simülasyonu "Vehicle Travel Time" verileri

Güzergah	Taşıt Sayısı	Seyahat Süresi (s)	Toplam Taşıt Sayısı	Ortalama Seyahat Süresi (s)
1→1	12	8,55	2722	21,72
1→2	2150	29,55		
1→3	481	8,7		
1→4 alt	36	26,85		
1→4 üst	43	34,97		
2→1	1256	29,63	2900	24,64
2→2	533	11,59		
2→3	1046	30,59		
2→4 alt	29	20,51		
2→4 üst	36	30,9		
3→1	565	42,25	1330	41,62
3→2	197	41,09		
3→4 alt	267	30,28		
3→4 üst	301	52,85		

İncelenen güzergahların hepsinde seyahat süresi düşmüştür. Ortalama seyahat süresi incelenen tüm kavşaklar arasında en düşük değere sahiptir. Taşıt sayısı iki güzergahta azalırken kalan on iki güzergahta ya artmış ya da aynı kalmıştır. Üç kollu modern dönel kavşak simülasyonu sonucu meydana gelen seyahat süresi değişimleri Şekil 4.7'te verilmiştir.



Şekil 4.7 : Mevcut durum ve senaryo 3 seyahat süreleri karşılaştırması

Üç kollu modern dönel kavşak simülasyon verileri ile mevcut durum verilerinin karşılaştırılması Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13: Mevcut durum ve senaryo 3 simülasyon sonuçları karşılaştırması

	Ort.Kuyruk Uzunluğu (m)	Taşıt	Ort. Sürat (km/s)	Ort. Seyahat Süresi (sn)
Mevcut Durum	29,39	7408	32,25	58,22
3 Kollu Modern	25,48	7378	34,22	28,45
Değişim (%)	-13,29	-0,40	6,10	-51,13

Çizelge 4.13'te verildiği üzere üç kollu modern dönel kavşak simülasyonunda kavşağa bağlanan yollardaki ortalama kuyruk uzunluğu mevcut duruma göre %13,29 azalırken, ortalama sürat %6,1 artmakta ve ortalama seyahat süresi %51,13 azalmaktadır. Olumsuz olarak değişim gösteren tek parametre taşıt sayısıdır ve %0,4 azalmıştır. Kavşaktaki kuyruk uzunluğu,

sürat ve seyahat süreleri iyileşme gösterirken taşıt sayısında yaşanan azalma, bazı güzergahtaki taşıtların yapılan kanallama işlemleriyle kavşak alanına girmesine gerek kalmadan gideceği güzergaha devam edebilmesi ile açıklanabilir.

4.5 İstatistiksel Analiz

Elde edilen verilerin ortalama değerlerinin karşılaştırılabilirliğini incelemek amacıyla veriler t-testi yöntemi ile analiz edilmiştir. Veri gruplarından kuyruk uzunluğu ve sürat parametreleri t-test yapılabilmesi için yeterli veri adedine sahip olmadıkları için ortalama değerleri ve varyansları karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Seyahat süresi parametreleri ise verilerin normal dağıldığı varsayılarak t-teste tabi tutulmuştur. Uygulanacak t-test için hipotezler;

H_0= Ortalamalar birbirine eşittir

H_a= Ortalamalar birbirine eşit değildir olarak belirlenmiştir.

Mevcut durum ile senaryo 1 seyahat süreleri verileri R Studio programına yüklenmiştir. "Attach" komutu ile programa tanıtılan veri setlerinin "mean" komutu ile ortalamaları alınmıştır. Ortalama ile varyansların karşılaştırılabilmesi amacıyla "var" komutu kullanılarak verilerin varyansları hesaplanmıştır. İstatistiksel olarak ortalamaların karşılaştırılabilmesi için yeterli veri adedi olmasından ötürü "t.test" komutu ile t-test uygulanmıştır. Yapılan işlemler Şekil 4.8'de verilmiştir.

```
> attach(mevcut)
> attach(sinyalize)
> mean(travtm)
[1] 58.22056
> mean(ssure)
[1] 39.62941
> var(travtm)
[1] 462.9256
> var(ssure)
[1] 61.67239
> t.test(travtm,ssure)

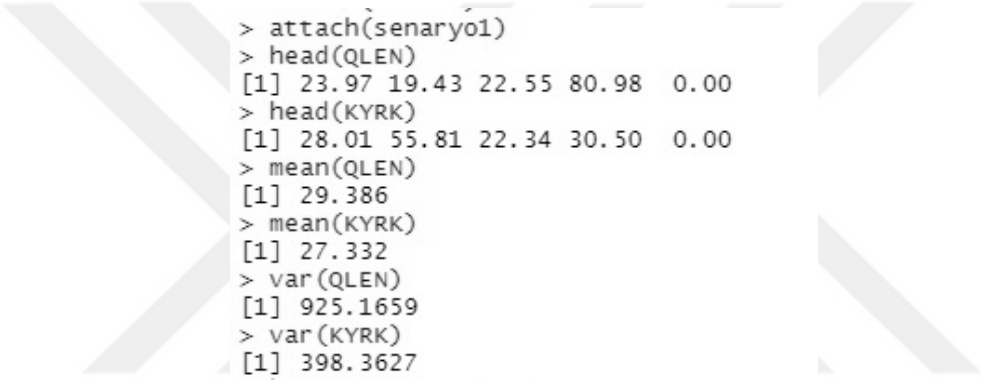
        Welch Two Sample t-test

data:  travtm and ssure
t = 3.4319, df = 21.676, p-value = 0.00242
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
  7.34685 29.83544
sample estimates:
mean of x mean of y
 58.22056  39.62941
```

Şekil 4.8 : Mevcut durum ile senaryo 1 seyahat süresi istatistiksel veri analizi adımları

T-test sonucu p-value değeri 0.00242 olarak bulunmuştur. Elde edilen p-value değerinin minimum değer olan 0.05 değerinden küçük olması nedeniyle testin başında kurulan hipotezlerden H_0 reddedilip, H_a kabul edilmiştir. Böylece mevcut durum ile senaryo 1 seyahat süreleri veri gruplarının ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir. Aynı işlemler senaryo 2 ve senaryo 3 seyahat süresi verileri için de yapılmış olup elde edilen sonuçlar ve kabul edilen hipotezler Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Kuyruk uzunluğu ve sürat parametrelerinde elde edilen veriler, o veri grubunu temsil etmeye yetecek sayıda olmadığı için t-test uygulanmamış olup, onun yerine ortalamalar ve varyanslar karşılaştırılıp yorumlanmıştır. Örnek olması amacıyla Şekil 4.9'da mevcut durum ile senaryo 1 kuyruk uzunluğu verilerinin analiz adımları verilmiştir.



Şekil 4.9 : Mevcut durum ile senaryo 1 kuyruk uzunluğu istatistiksel veri analizi adımları

T-test uygulamak için yeterli veri sayısına sahip olmayan mevcut durum, senaryo 1, senaryo 2 ve senaryo 3 modellerine ait kuyruk uzunluğu ve sürat parametrelerinin hepsine yukarıda anlatılan adımlar uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14 : Analizler sonucu elde edilen değerler

			Ortalama	Varyans	T-Test	Hipotez
Dört Kollu Sinyalize Kavşak (Senaryo 1)	Kuyruk Uzunluğu	Mevcut Durum	29,39	925,17	-	-
		Simülasyon	27,33	398,36		
	Sürat	Mevcut Durum	32,25	151,95	-	-
		Simülasyon	37,43	81,81		
	Seyahat Süresi	Mevcut Durum	58,22	462,93	0,00242	H_a
		Simülasyon	39,63	61,67		
Dört Kollu Modern Dönel Kavşak (Senaryo 2)	Kuyruk Uzunluğu	Mevcut Durum	29,39	925,17	-	-
		Simülasyon	74,92	11167,57		
	Sürat	Mevcut Durum	32,25	151,95	-	-
		Simülasyon	30,04	430,71		
	Seyahat Süresi	Mevcut Durum	58,22	462,93	0,000174	H_a
		Simülasyon	31,19	227,96		
Üç Kollu Modern Dönel Kavşak (Senaryo 3)	Kuyruk Uzunluğu	Mevcut Durum	29,39	925,17	-	-
		Simülasyon	25,48	483,43		
	Sürat	Mevcut Durum	32,25	151,95	-	-
		Simülasyon	34,22	433,52		
	Seyahat Süresi	Mevcut Durum	58,22	462,93	3,92E-05	H_a
		Simülasyon	28,45	164,66		

Yapılan istatistiksel analizler sonucunda t-test uygulamak için yeterli veri sayısına sahip olan senaryo 1, senaryo 2 ve senaryo 3 seyahat süresi parametrelerinin üçünde de H_a kabul edilmiş olup meydana gelen değişimlerin anlamlı olduğu bulunmuştur. T-test uygulamak için yeterli veri miktarına sahip olmayan kuyruk uzunluğu ve sürat verilerinde ise ortalamalarda meydana gelen artış veya azalışların hepsi varyans değerleri ile desteklenmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada yoğun olarak kullanılan ve ideal olmayan geometrik özelliklere sahip bir kavşak, farklı senaryolar oluşturularak yeniden tasarlanmıştır. Mevcut durum ve oluşturulan senaryoların modellenmesi, simülasyonu ve verilerinin toplanmasında Vissim benzetim programı kullanılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda kuyruk uzunluğu, sürat ve seyahat süresi parametrelerine ait veriler toplanmıştır. Elde edilen veriler R Studio programı aracılığıyla analiz edilmiştir.

Mevcut durum simülasyonlarında dönel kavşağa girişlerin düzenlenmesi için konulan sinyalizasyonlarda herhangi bir olumsuz trafik şartına rastlanmamasına karşın dönel kavşak içinde yer alan sinyalizasyonlardan ötürü trafik sıkışıklığı meydana geldiği, kavşak içinde kapasitesinden fazla taşıt biriktiği gözlemlenmiştir. Taşıtların kavşakta geçirdikleri sürenin azaltılabilmesi için alternatif tasarımlar yapılmıştır.

İlk senaryoda mevcut kavşaktan dönel ada kaldırılarak o bölgede oluşan yoğunluğun önlenmesi ve taşıtların dönel ada içinde tekrardan durmasına gerek kalmadan tek sinyalizasyonla güzergahına devam edebilmesi amaçlanmıştır. Yapılan düzenlemeler sonrasında ortalama kuyruk uzunluğu 29.39 metreden 27.33 metreye düşerken, varyans da 925.17'den 398.36'ya düşerek yaşanan azalmanın anlamlı olduğunu desteklemiştir. Ortalama sürat parametresi mevcut durumda 32.25 km/s iken 37.43 km/s hızına yükselmiştir. Ortalama sürat parametresine ait varyans değeri de mevcut durumda 151.95 iken 81.81'e inerek senaryo 1 sonucunda elde edilen sürat değerlerinin dağılımlarının daha tutarlı olduğunu göstermiştir. Ortalama seyahat süresi parametresi ise 58.22 saniyeden 39.63 saniyeye düşmüş, bunula birlikte varyans da 462.93'ten 61.67'ye düşerek senaryo 1 verilerinde görülen iyileşmeyi desteklemiştir. Uygulanan t-test sonucunda p-value 0.00242'ye çıkmış, böylelikle null hipotez reddedilerek ortalamalarda gerçekleşen değişimlerin anlamlı olduğunu göstermiştir.

Yapılan istatistiksel analizler sonucunda tez kapsamında incelenen üç performans parametresinde de senaryo 1 kapsamında iyileşme meydana geldiği görülmüştür. Mevcut durumdan dönel adanın kaldırılıp trafik sinyal sürelerinin yeniden ayarlanmasıyla ekstra maliyet gerektirmeden trafik performansının arttığı belirlenmiştir.

İkinci senaryoda mevcut kavşaktaki sinyalizasyon sistemleri kaldırılmıştır. Kavşakta, modern dönel kavşak tasarımına göre düzenlenmeler yapılmıştır. Geometrik standartlara uygun olmayan 4 numaralı kolda tek yön uygulaması yapılarak yeniden tasarlanmıştır. Yapılan

düzenlemelerle ideal tasarım özelliklerine sahip olmayan bir modern dönel kavşağın nasıl performans vereceği araştırılmak istenmiştir. Simülasyonlar sonucunda mevcut durumda 4 numaralı kolda meydana gelen aşırı tıkanıklık giderilmiş fakat 1 numaralı kolda aşırı tıkanmalar meydana gelmiştir. Kavşak genelindeki ortalama kuyruk uzunluğu 29.39 metreden 74.92 metreye yükselmiştir. Varyans mevcut durumda 925.17 iken yapılan düzenlemeler sonucunda yaklaşık 12 kat yükselerek 11167.57 olmuştur. Bu durum ortalama kuyruk uzunluğu verilerinin çok uç değerlerde ölçüldüğünü göstererek simülasyonda 1 numaralı kolda aşırı tıkanmalar meydana gelirken diğer kolların tıkanmadan işlemesini desteklemiştir. Ortalama sürat 32.25 km/s değerinden 30.04 km/s hızına düşmüştür. Sürat parametresinin varyansı mevcut durumda 151.95 iken düzenlemeler sonucunda 430.71 olarak kuyruk uzunluğu parametresinde olduğu gibi kavşak kollarında görülen farklı trafik karakterlerini desteklemiştir. Mevcut durumda dönel ada çevresinde biriken taşıt yoğunluğu yapılan düzenlemelerden sonra kavşağa giriş alanına kaymıştır. Sorunlu olan 4 numaralı kolda iyileşme sağlanmasına karşın bu iyileşme 1 numaralı kolu olumsuz etkilemiştir. Tüm olumsuzluklara rağmen dönel ada içindeki sinyalizasyonların kaldırılması sayesinde taşıtların kavşak alanına girmelerinden itibaren ortalama seyahat süreleri 58.22 saniyeden 31.19 saniyeye düşmüştür. Varyansın da 462.93'ten 227.96'ya düşmesi seyahat süresi parametresinde meydana gelen iyileşmeyi desteklemiştir. Uygulanan t-test sonucunda p-value 0.000174 çıkmıştır. Böylelikle null hipotez reddedilerek meydana gelen değişimin anlamlı olduğu belirlenmiştir. Kavşak türü değişimi, incelenen performans verilerinden ortalama kuyruk uzunluğu ve sürat verilerinde olumsuz etki oluşturmuş fakat seyahat süresi parametresine olumlu yansımıştır.

İstatistiksel analizler sonucunda yapılan kavşak düzenlemeleri üç performans parametresinin iki tanesine olumsuz etki ederken bir performans kriterini olumlu yönde etkilemiştir. Sonuçlar, seçilen kavşağa ait mevcut trafik şartları ve geometrik koşullarda, geometrik özellikleri ideal olmayan bir modern dönel kavşağa dönüşümünün olumlu sonuçlar vermeyeceğini göstermiştir.

Üçüncü ve son senaryoda geometrik standartlara uygun olmayan 4 numaralı koldan kavşağa giriş kaldırılmıştır. Kavşaktan 4 numaralı kola giriş kolu açık bırakılmıştır. Kavşak modern dönel kavşak biçimini koruyacak şekilde üç giriş kollu olarak düzenlenmiştir. 4 numaralı koldan kavşağa dahil olan taşıtlar kavşak bölgesinden önce kanallama yapılarak 1 numaralı ve 2 numaralı yollara yönlendirilmiş ve kavşağa dahil edilmiştir. Taşıt sayısı sabit tutularak modern dönel kavşağı asgari maliyetle ideal tasarım standartlarına uydurmak ve performans değerlerini araştırmak amaçlanmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda üç kollu modern dönel kavşak tasarımında ortalama kuyruk uzunluğu 25.48 metre, varyans 483.43 çıkmıştır. Mevcut

durum simülasyonunda ise bu uzunluk 29.39 metre, varyans 925.17 olarak bulunmuştur. Kuyruk uzunluğunda meydana gelen iyileşme varyans değerleri ile desteklenmiştir. Ortalama sürat parametresi mevcut durumda 32.25 km/s, varyans 151.95 olmasına karşın yapılan düzenlemelerden sonra sürat 34.22 km/s, varyans 433.52 değerine yükselmiştir. Fakat en belirgin değişim ortalama seyahat süresi parametresinde meydana gelmiş olup mevcut durumda 58.22 metre iken senaryo 3 simülasyonunda 28.45 metre olarak hesaplanmıştır. 462.93'ten 164.66'ya inen varyans ise seyahat süresinde görülen iyileşmeyi desteklemiştir. Uygulanan t-test sonucunda p-value 0.00000392 olarak bulunmuş ve null hipotez reddedilerek verilerde görülen değişimin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Özetle senaryo 3 simülasyonunda ortalama kuyruk uzunluğu %13,29 azalmış, ortalama sürat %6,10 artmış ve ortalama seyahat süresi %51,13 azalmıştır. İncelenen tüm parametrelerde mevcut duruma kıyasla iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.1'de yapılan tüm modellere ait performans parametreleri birlikte verilmiştir. Ortalama kuyruk uzunluğu ve ortalama seyahat süresi parametrelerinde senaryo 3 en iyi performansı gösterirken, toplam taşıt ve ortalama sürat parametrelerinde senaryo 1 en iyi performansı göstermiştir. Çizelgede yer alan dört parametrenin üç tanesinde senaryo 2 en kötü sonuçları verirken mevcut durum ortalama seyahat süresi açısından en başarısız model olmuştur. Bu noktada karar vericinin tercihleri, bölgenin ihtiyacı, parametrelerin birbirleri arasındaki önceliği kavşak seçimi için belirleyici olabilir. Fakat optimum kavşak türünün seçilebilmesi için başka performans parametrelerin de incelenerek analizlerin detaylandırılması daha faydalı olacaktır.

Çizelge 5.1 : Tüm senaryolara ait performans parametreleri

	Ort.Kuyruk Uzunluğu (m)	Taşıt	Ort. Sürat (km/s)	Ort. Seyahat Süresi (sn)
Mevcut Durum	29,39	7408	32,25	58,22
Senaryo 1	27,33	7416	37,43	39,63
Senaryo 2	74,92	7292	30,04	31,19
Senaryo 3	25,48	7378	34,22	28,45

Mevcut trafik koşullarında kavşağın sinyalize dört kollu kavşak ve üç kollu modern dönel kavşak olarak tasarlandığı durumlarda mevcut durumdan daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. İki olumlu kavşak tasarımının birleşimi olarak nitelendirilebilecek olan sinyalize

dönel kavşak modelinde yani mevcut durumda ise trafik performansının yukarıda belirtilen iki senaryodan da düşük olması iki olumlu durumun birleşiminden olumsuz bir sonuç çıkabileceğini göstermiştir. Sinyalize dönel kavşaklar inşa etmek yerine trafiğin karakterine göre sadece sinyal kontrollü kavşakların veya modern dönel kavşakların kullanılması trafik performansı açısından daha etkili olacaktır.

Yapılan senaryo 2 simülasyonunda, dört kollu modern dönel kavşak modelinde bir kolun dahi tasarım standartlarına uygun olmaması diğer kolların da performansını ciddi ölçekte etkilemiş ve kavşak performansını düşürmüştür. Bu durum bize modern dönel kavşaklardaki tasarım standartlarının önemini göstermiştir.

Çalışmada görüldüğü üzere kavşak türü seçiminin birçok olumlu veya olumsuz sonucu olabilmektedir. Doğru seçilen ya da tasarlanan bir kavşak sayesinde azalan kuyruk uzunluğu, bekleme süresi, dur-kalk miktarı gibi parametreler yakıt tüketiminin ve salınan egzoz gazının azalmasını sağlayarak çevresel ve ekonomik faydalar getirecektir. Sinyalizasyonun kullanılmadığı durumlarda yapım, onarım, yenileme maliyetleri ortadan kalkacaktır. Kavşağın bölge trafiğini karşılayabilme süresi artacağı için kullanım ömrü daha uzun olacaktır. Yaşanabilecek her türlü olumsuzluğu asgari düzeyde tutarak optimum kavşak seçimi için yapılacak olan simülasyonlar faydalı bir öngörü sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] **"European Road Statistics 2004",** The European Union Road Federation, 64, Brussels, 2004

[2] **Coelho, M. C., Farias, T. L. & Rouphail, N. M.** (2006). Effect of Roundabout Operations on Pollutant Emissions, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 11 (5), 333-343.

[3] **Mandavilli, S., Rys, M. J. & Russel, E. R.** (2008). Environmental Impact of Modern Roundabouts, International Journal of Industrial Ergonomics, 38 (2), 135-142.

[4] **Gross, F., Lyon, C., Persuad, B. & Srinivasan, R.** (2013) Safety Effectiveness of Converting Signalized Intersections to Roundabouts, Accident Analysis & Prevention, 50, 234-241.

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

[6] **Transportation Research Board,** (1996). Natıonal Research Council, "Driveway and Street Intersectıon Spacing", Transportation Research Circular, Number 456, March

[7] **Yang, X., Li, X., Xue, K.,** (2004). A New Traffic-Signal Control for Modern Roundabouts: Method and Application, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 5(4), 282-287.

[8] **Qian, H., Li, K., & Sun, J.** (2008). The Development and Enlightenment of Signalized Roundabout. 2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA). doi:10.1109/icicta.2008.49

[9] **Ištoka Otković, I. & Dadić, I.** (2009). Comparison of Delays at Signal-Controlled Intersection and Roundabout. Promet - Traffic - Traffico. 21. 157-165. 10.7307/ptt.v21i3.221.

[10] **Tanyel, S. & Yayla, N.,** (2010). Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma, Teknik Dergi, 21 (101), 4935-4958.

[11] **Saplıoğlu, M., & Karaşahin, M.,** (2010). Şehiriçi Kontrolsüz Eşdüzey Kavşak Kazalarini Etkileyen Unsurlarin Değerlendirilmesi, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 2 (2), 26-49.

[12] **İnançlı, M.** (2012). Dönel Kavşakların Güvenliği ve Konya'daki Bazı Kavşakların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[13] **Ben-Edigbe, J., Eltwati, A. & Abbaszadehfallah, I.** (2012). Extent of delay and level of service at signalised roundabout. International Journal of Engineering and Technology. 2. 419-424.

[14] **Gross, F., Lyon, C., Persaud, B. & Srinivasan, R.** (2013). Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts, Accident Analysis & Prevention, Volume 50, Pages 234-241, ISSN 0001-4575

[15] **Yıldız, D.,** (2013). Kapasite, güvenlik ve maliyet analizi ve gelistirilmesi ile optimize edilmis kavsak tipini belirleyen program üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[16] **Tanyel, S., Çalışkanelli, S.P., Aydın, M.M. & Utku, S. B.,** (2013). Yuvarlakada Kavşaklardaki Ağır Araç Etkisinin İncelenmesi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası (İMO) Teknik Dergi, 24(4), 6479-6504.

[17] **Ma, W., Liu, Y., Head, L., Yang, X.** (2013). Integrated Optimization of Lane Markings and Timings for Signalized Roundabouts, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 36, 307-323.

[18] **Cakici, Z. & Murat, Y.** (2016). Sinyalize Dönel Kavşaklar için Hesap Yöntemi Önerisi ve Performans Analizi. Teknik Dergi. 27. 7569-7592.

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

[20] **Güncü, V.,** (2019). Türkiye'de karayolları üzerinde mevcut dönel kavşakların geometrik tasarımları dikkate alınarak trafik güvenliği yönünden incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[21] **Öğütveren, E.** (2019). Modern dönel kavşakların geometrik tasarımı ve kapasite ilişkisi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstiüsü.

[22] **Camcı, A. A.,** (2019). Kavşak Tasarımında Trafik Simülasyon Tekniklerinin Kullanımı ve Sakarya İçin Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstiüsü.

[23] **Özinal Y. & Uz V. E.,** (2021). Dönel kavşak geometrik elemanlarının kavşak güvenliği üzerine etkisinin literatür ışığında değerlendirilmesi, Politeknik Dergisi, 24(1): 283-297.

[24] **EGM,** (2012). Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, Emniyet Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

[25] **TUİK,** (2013). Trafik Kazaları İstatistiği 2012, TUİK Yayınları, Ankara.

[26] **EGM,** (2020). Trafik İstatistik Bülteni, Emniyet Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

[27] **Modern Roundabout Practice in the United States,** (1998). Transportation Research Board National Research Council, National Cooperatve Highway Research Program, Washington, D.C., 25-38.

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

[29] **Mandavilli, S., Russel, E.R. & Rys, M.,** (2003). Environmental Impact of Kansas Roundabouts, Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Toronto, Ontario.

[30] **Design Manual,** (2005). Chapter 915, Washigton State Department of Transportation, Washington, 1-27.

[31] **Yayla, N.,** (2004). Karayolu Mühendisliği, İstanbul: Birsen Yayınevi.

[32] **Roundabouts: An Informational Guide (FHWA-RD-00-067),** (2000). U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Virginia, 2-181.

[33] **Aydemir, T.,** (2006). Baslangiç – Son Matrisinin İzmir' deki Dönel Kavşak Görüş Kapasitesi Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[34] **Göktan, B.,** (2018). Türkiye Karayolu Ağında Kullanılan Hemzemin Kavşaklar ile Farklı Seviyeli Kavşakların Karşılaştırılması ve Başpınar Kavşağı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[35] **Tanyel, S.,** (2001). Türkiye'deki Dönel Kavşaklar İçin Kapasite Hesap Yöntemi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü.

[36] **Karayolu Tasarım El Kitabı,** (2005). Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 127.

[37] **Rizelioğlu, M.,** (2015). Bursa Hrs Hattinin Metrobüs Sistemi Olarak Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

[38] **Feldman, O.,** (2012). The GEH Measure and Quality of the Highway Assignment Models.

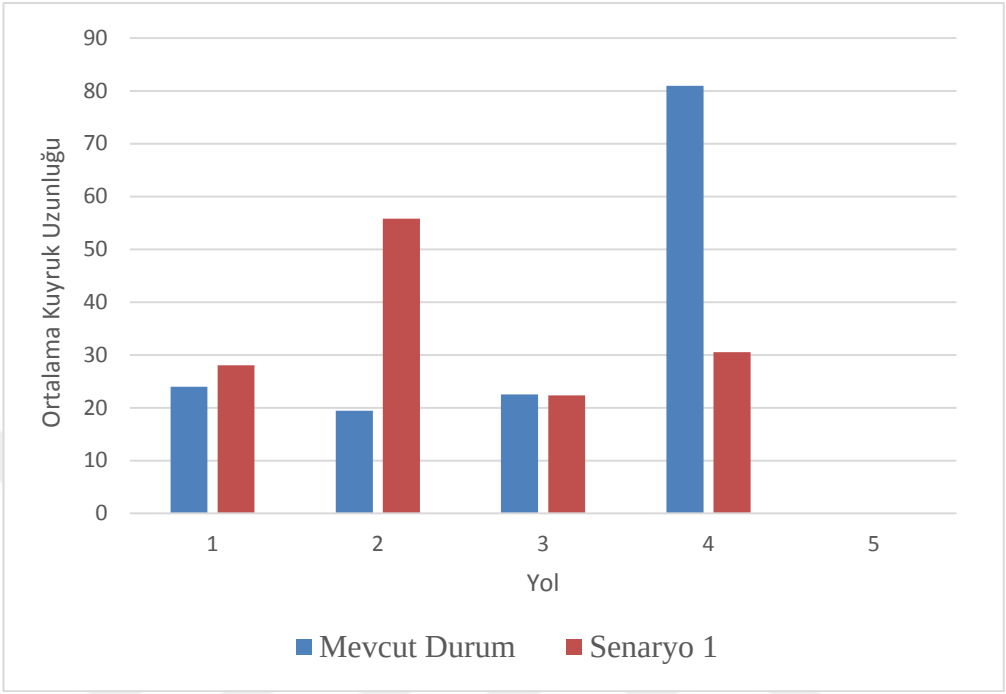
[39] **RStudio-** Open source and enterprise-ready professional software for R.

< *https://www.rstudio.com* >, 2017

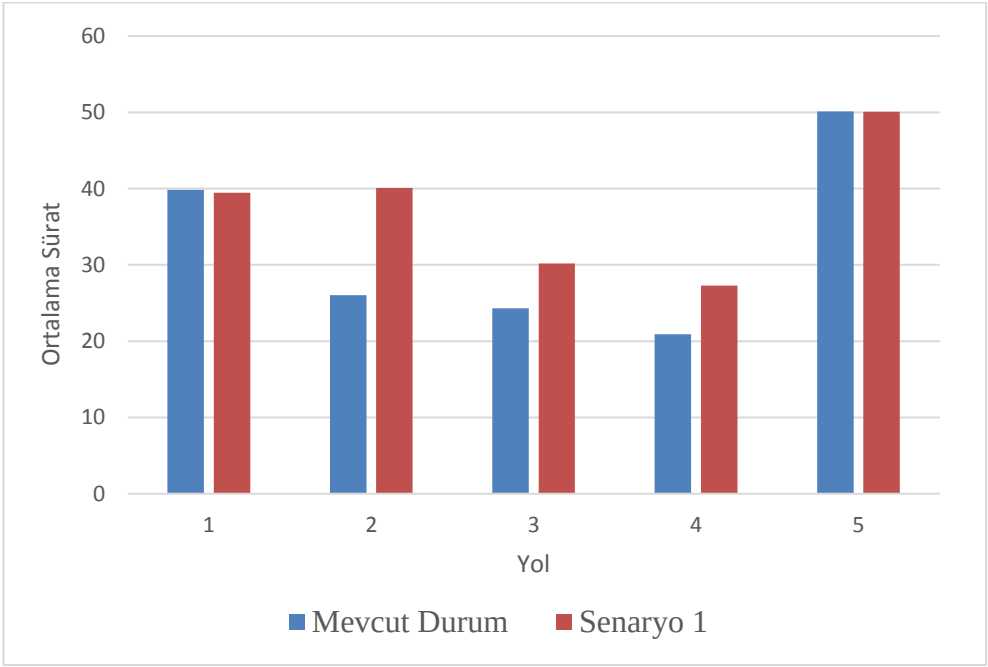
[40] **Ihaka, R. & Gentleman R.,** (1996). R: A Language for Data Analysis and Graphics, Journal of Computational and Graphical Statistics, 5:3, 299-314

EKLER

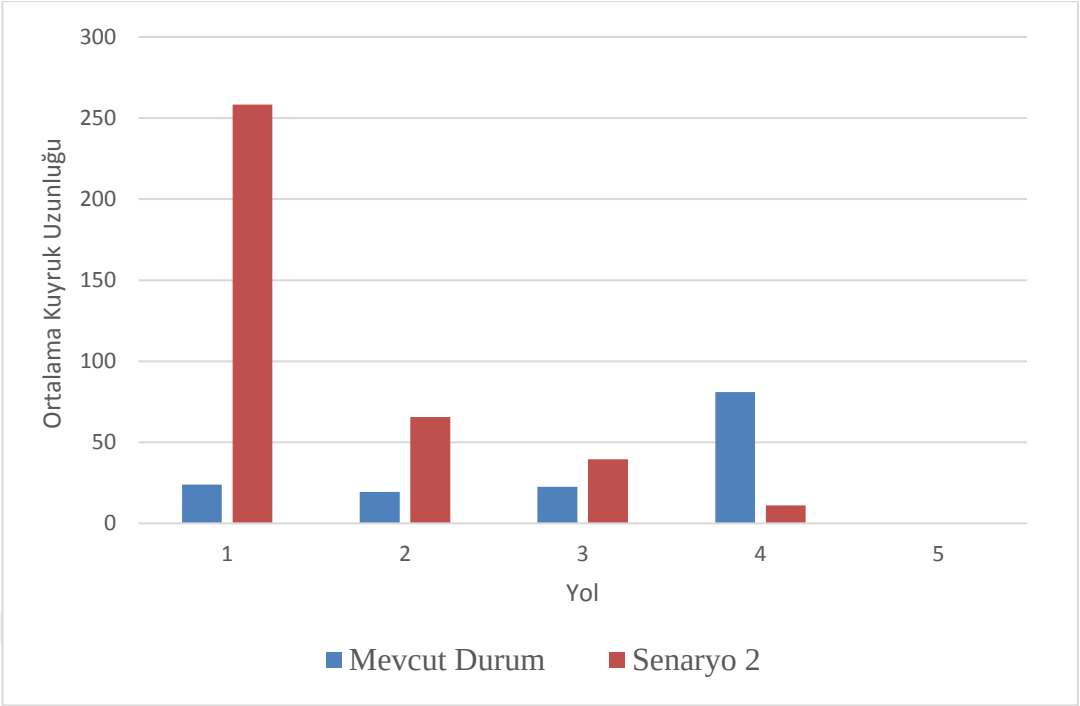
EK A: Mevcut durum ve oluşturulan senaryolar için "Ortalama Kuyruk Uzunluğu" ve "Ortalama Sürat" karşılaştırmalı histogram grafikleri



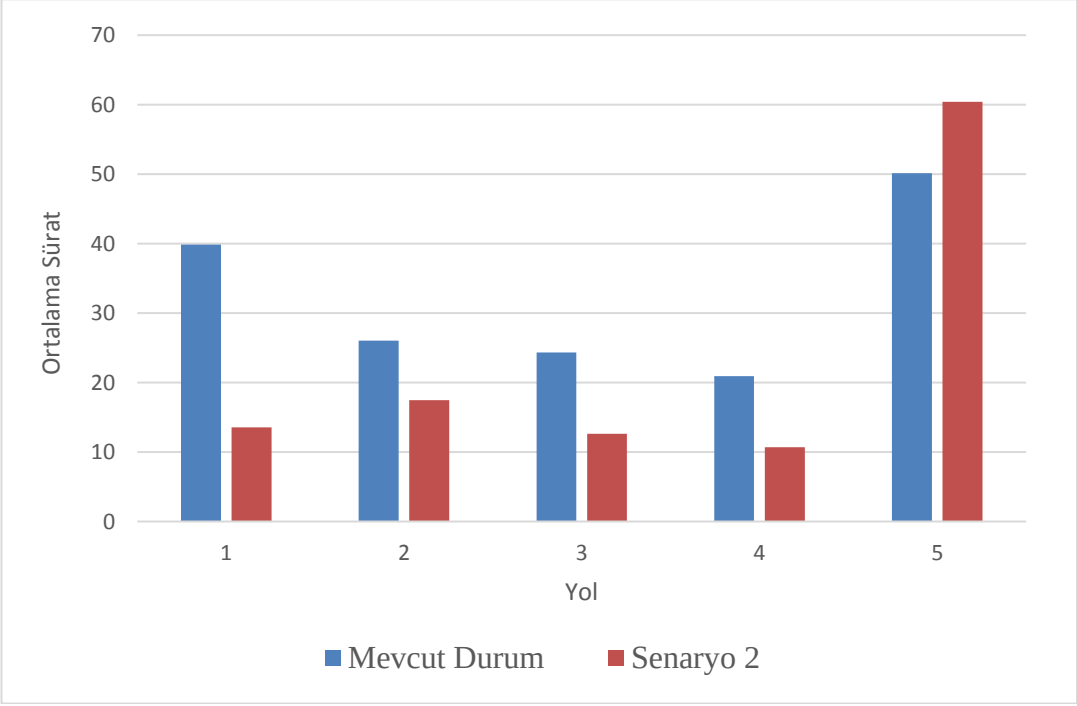
Şekil A.1 : Mevcut durum ile senaryo 1 ortalama kuyruk uzunluğu verileri karşılaştırması



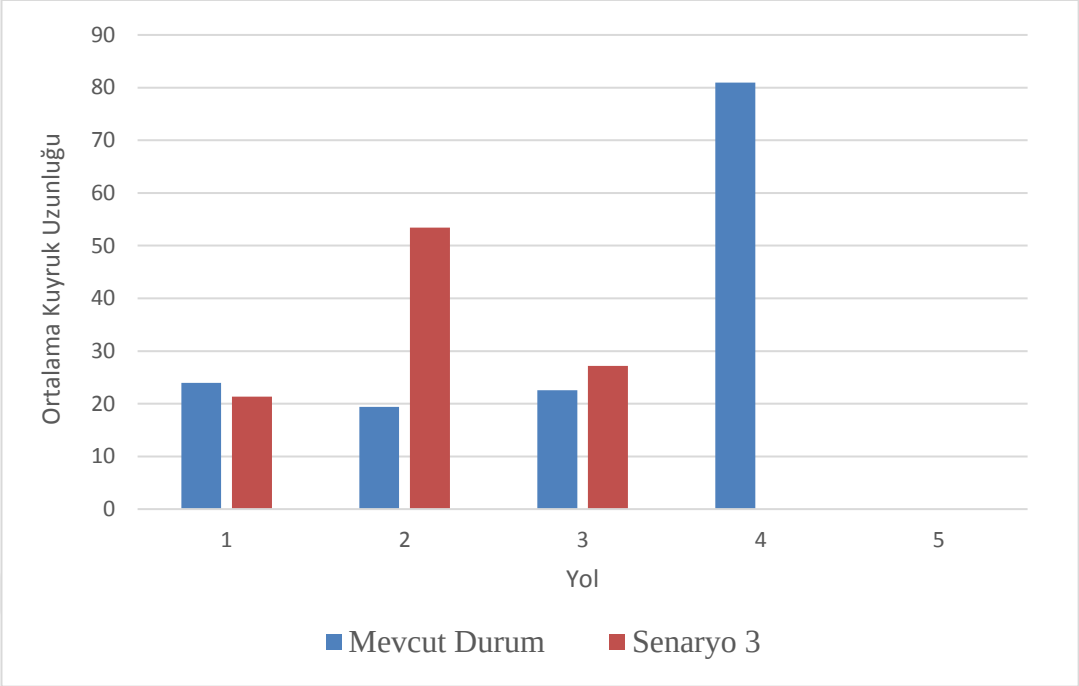
Şekil A.2 : Mevcut durum ile senaryo 1 ortalama sürat verileri karşılaştırması



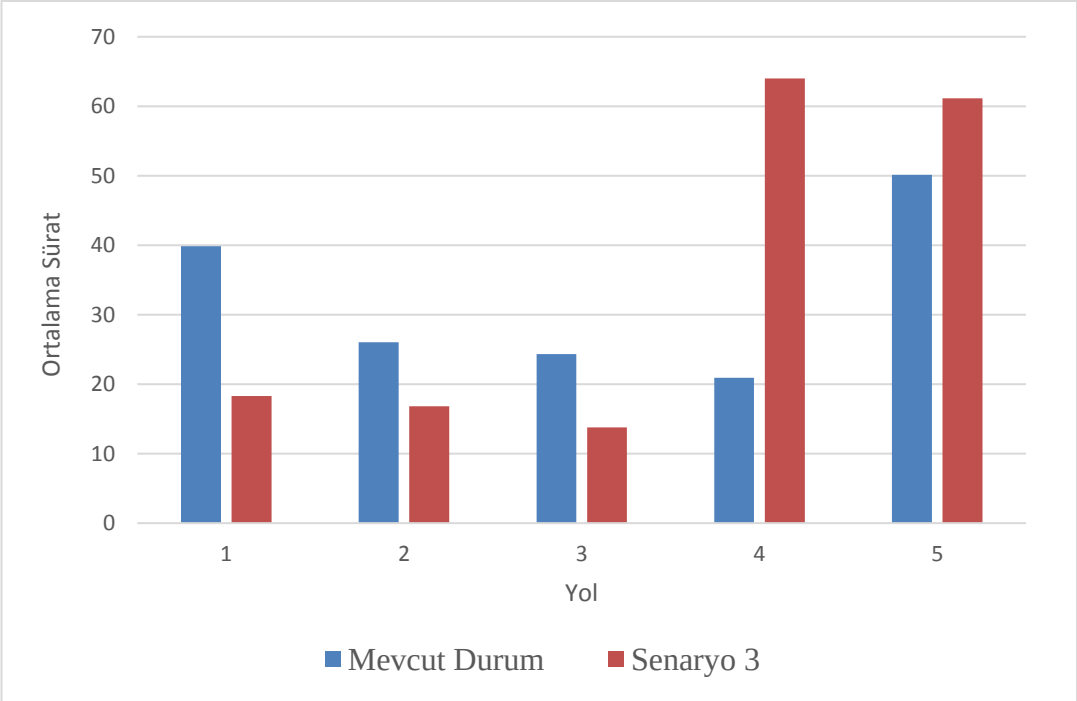
Şekil A.3 : Mevcut durum ile senaryo 2 ortalama kuyruk uzunluğu verileri karşılaştırması



Şekil A.4 : Mevcut durum ile senaryo 2 ortalama sürat verileri karşılaştırması

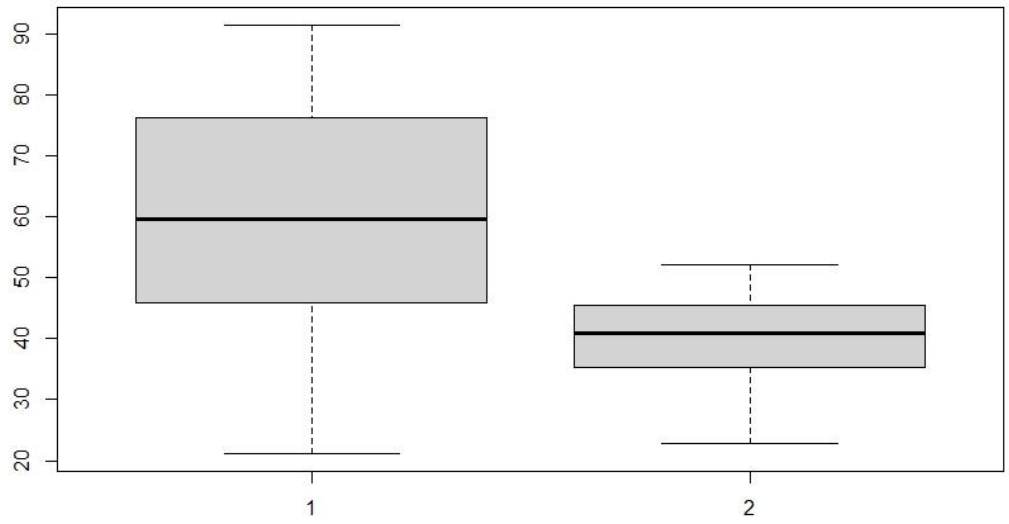


Şekil A.5 : Mevcut durum ile senaryo 3 ortalama kuyruk uzunluğu verileri karşılaştırması

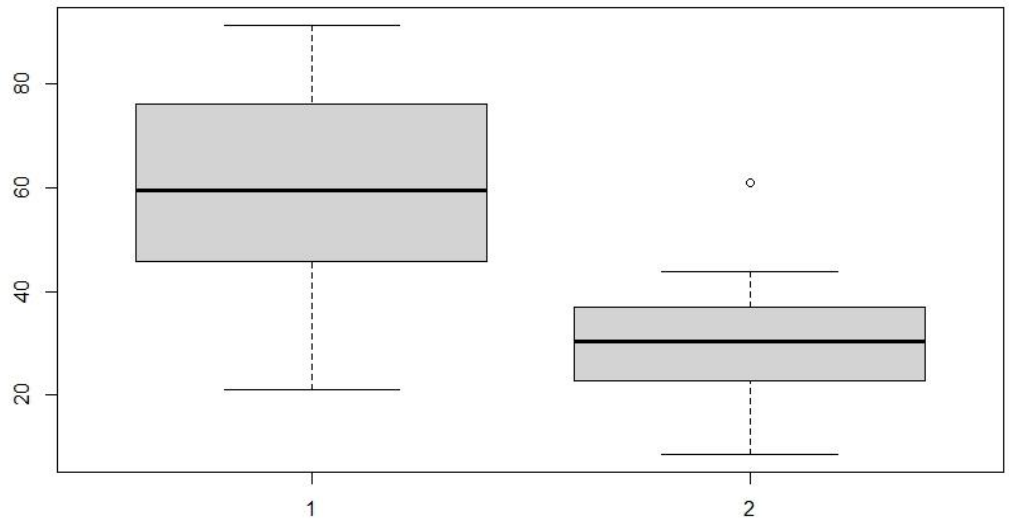


Şekil A.6 : Mevcut durum ile senaryo 3 ortalama sürat verileri karşılaştırması

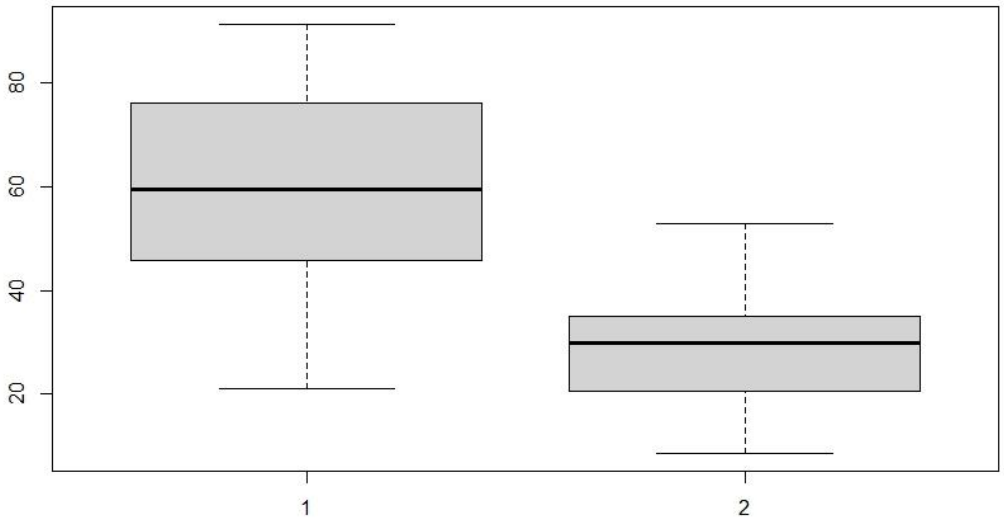
EK B: Mevcut durum ve oluşturulan senaryolar için "Seyahat Süresi" karşılaştırmalı boxplot grafikleri



Şekil B.1 : Mevcut durum ile senaryo 1 seyahat süresi verileri karşılaştırması



Şekil B.2 : Mevcut durum ile senaryo 2 seyahat süresi verileri karşılaştırması



Şekil B.3 : Mevcut durum ile senaryo 3 seyahat süresi verileri karşılaştırması

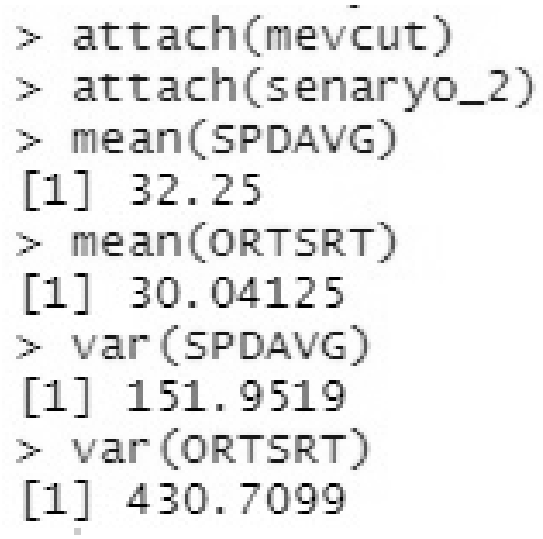
EK C : İstatistiksel veri analizi adımları

```
> attach(mevcut)
> attach(Senaryo1)
>  mean(SPDAVG)
[1] 32.25
> mean(ORTSRT)
[1] 37.432
> var(SPDAVG)
[1] 151.9519
> var(ORTSRT)
[1] 81.80957
```

Şekil C.1 : Senaryo 1 sürat istatistiksel veri analizi adımları

```
> attach(mevcut)
> attach(senaryo2)
> mean(QLEN)
[1] 29.386
> mean(KYRK)
[1] 74.916
> var(QLEN)
[1] 925.1659
> var(KYRK)
[1] 11167.57
```

Şekil C.2 : Senaryo 2 kuyruk uzunluğu istatistiksel veri analizi adımları



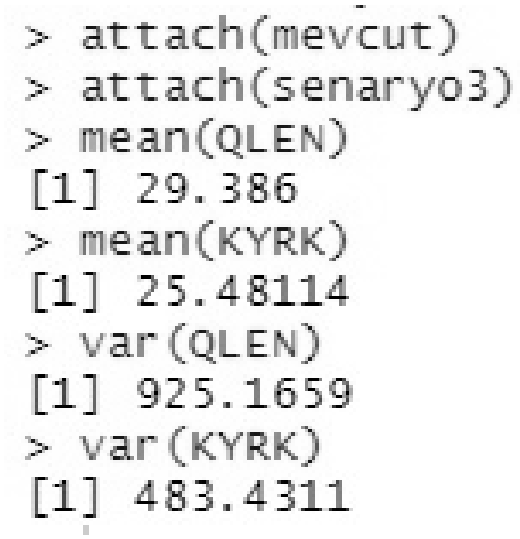
Şekil C.3 : Senaryo 2 sürat istatistiksel veri analizi adımları

```
> attach(mevcut)
> attach(senaryo2)
> mean(TRAVTM)
[1] 58.22056
> mean(dortkolsure)
[1] 31.19438
> var(TRAVTM)
[1] 462.9256
> var(dortkolsure)
[1] 227.958
> t.test(TRAVTM,dortkolsure)

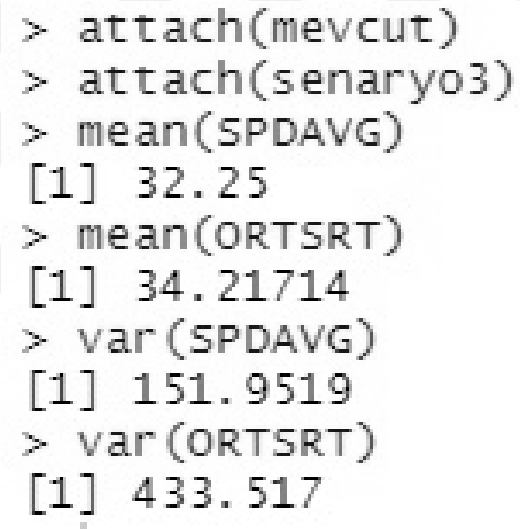
        Welch Two Sample t-test

data:  TRAVTM and dortkolsure
t = 4.2751, df = 30.459, p-value = 0.000174
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 14.12344 39.92892
sample estimates:
mean of x mean of y
 58.22056  31.19438
```

Şekil C.4 : Senaryo 2 seyahat süresi istatistiksel veri analizi adımları



Şekil C.5 : Senaryo 3 kuyruk uzunluğu istatistiksel veri analizi adımları



Şekil C.6 : Senaryo 3 sürat istatistiksel veri analizi adımları

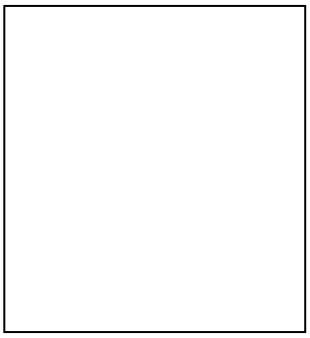
```
> attach(mevcut)
> attach(senaryo3)
> mean(TRAVTM)
[1] 58.22056
> mean(uckolmodernsure)
[1] 28.45071
> var(TRAVTM)
[1] 462.9256
> var(uckolmodernsure)
[1] 164.6576
> t.test(TRAVTM,uckolmodernsure)

        Welch Two Sample t-test

data:  TRAVTM and uckolmodernsure
t = 4.8627, df = 28.351, p-value = 3.919e-05
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 17.23640 42.30329
sample estimates:
mean of x mean of y
 58.22056  28.45071
```

Şekil C.7 : Senaryo 3 seyahat süresi istatistiksel veri analizi adımları

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **:** Muhammed Alphan Kayacan

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2018, Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü (İngilizce)
- **Lisans** **:** 2020, Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü
- **Yüksek Lisans** **:** 2021, Bursa Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Programı