

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**EŞDÜZEY KAVŞAKLARIN PERFORMANS ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI:
BURSA ESENTEPE KAVŞAĞI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVANUR YILMAZ

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ HASAN BOZKURT

BİLECİK, 2022

10444146

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**EŞDÜZEY KAVŞAKLARIN PERFORMANS ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI:
BURSA ESENTEPE KAVŞAĞI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAVANUR YILMAZ

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ HASAN BOZKURT

BİLECİK, 2022

10444146

BEYAN

Eşdüzey Kavşakların Performans Etkilerinin Araştırılması : Bursa Esentepe Kavşağı Örneği adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında herhangi bir kurumdan proje desteği alınmamıştır.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	
☐		☒	
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:		/.....	

Havanur Yılmaz

Tarih

İmza

ÖN SÖZ

Tez çalışmamda her konuda yardımcı ve destek olan kıymetli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hasan Bozkurt'a değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışması için gerekli trafik verilerine ulaşmamı sağlayan Bursa Büyükşehir Belediyesi Trafik Şube Müdürlüğüne değerli katkıları adına teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez Çalışması için Vissim programının akademik lisansını sağlayan PTV Group'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Savunma sınavı sırasında değerli jüri üyeleri ve proje danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hasan Bozkurt'a çalışmamın son haline gelmesindeki değerli katkıları adına teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Son olarak tez çalışmam ve öğrenim hayatım boyunca maddi manevi her konuda yanımda olan değerli aileme bugünlere ulaşmamdaki emekleri adına teşekkür ederim.

Havanur Yılmaz

2022

ÖZET

EŞDÜZEY KAVŞAKLARIN PERFORMANS ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI : BURSA ESENTEPE KAVŞAĞI ÖRNEĞİ

Nüfus artış problemleri dünya genelinde ve ülkemizde başlıca problemlerin başında gelmektedir. Bunun yanı sıra kentsel nüfusun artışı ile şehirlerdeki hareketlilik miktarı da artmıştır. Trafik problemlerinden kaynaklanan araç gecikmeleri, durup kalkma hareketleri yakıt tüketimiyle birlikte CO ve diğer zararlı emisyon salınımlarını artırdığı için çevre problemlerine de sebebiyet vermektedir. Trafik problemleri, ulaştırma hizmetlerinde olduğu kadar yakıt tüketiminin artış göstermesinin tükenmekte olan enerji kaynaklarına etkisi, karbon emisyonu ve zararlı sera gazı etkilerinin iklim değişikliğindeki rolü açısından ele alındığında oldukça önemli bir kavram haline gelmiştir. Birçok yönden değerlendirilmesi gereken trafik konusu hakkında yapılan çalışmaların daha anlaşılır hale gelmesi açısından literatüre katkı sunulmak istenmiştir. Çalışmanın amacı sinyalize bir kavşak alanı için doğru devre süresinin gerçek zamanlı benzetimi yapılarak optimum süre kullanımının sinyalizasyondan kaynaklanan problemleri azaltmadaki önemini göstermektir.

Trafiğin güvenli ve aktif bir şekilde işletilmesinde kavşaklar kritik noktalar olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada Bursa ili için kritik noktalardan biri olan Esentepe Kavşağı çalışma alanı olarak seçilmiştir. Kavşak üzerinde PTV Vissim programı ile 5 farklı senaryo oluşturularak farklı devre sürelerinin performans üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada performans parametresi olarak kuyruk uzunluğu, ortalama araç gecikmesi, hizmet düzeyi, CO salınımı ve yakıt tüketimi sonuçları dikkate alınmıştır. İlk olarak Vissim programı ile kavşak alanının mevcut durumda sinyal devre süresindeki performans sonuçları değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları doğrultusunda mevcut durum sinyal sürelerinde yeni bir düzenleme yapılarak performans değerlerinin iyileştiği saptanmıştır. Yeni sinyal düzenlemesine göre devre süresi belirli oranda artırılıp azaltılarak en uygun devre süresi tespit edilmiştir. Webster yöntemi ve simülasyon ile belirlenen optimum sürelerin karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan performans parametreleri mevcut durum ve senaryolar üzerinde karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda bulunan optimum sürenin en iyi performans sonuçlarını verdiği ispatlanarak kavşak performansındaki önemi ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kavşak, Devre Süresi, Hizmet Düzeyi, Simülasyon, PTV Vissim.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF PERFORMANCE EFFECTS ON INTERSECTION : A CASE OF BURSA ESENTEPE INTERSECTION

Population growth problems are one of the main problems in our country and all over the world. Also, the increase in the urban population has increased mobility in the cities. Vehicle delays, stop and start movements occur from traffic problems and this causes environmental problems as it increases fuel consumption, CO and other harmful emissions. Traffic problems of getting become a crucial concept in terms of fuel consumption effect on limited energy resources and carbon emissions effects and harmful greenhouse gas effects on climate change as much as transportation services. It is aimed to contribute to the literature to make the studies about traffic, which should be evaluated in many ways, become more understandable. The purpose of the study is to simulate the correct cycle time for the signalized intersection area in real-time and to show the importance of using the optimum time in reducing the problems caused by the signalization.

In order to ensure operating safe and active traffic, intersections are evaluated as crucial points. In this study, Esentepe Intersection, which is one of the critical points for the city of Bursa, was chosen as the study area. With the PTV Vissim program on the intersection, 5 different scenarios were created and the effect of different cycle times on the performance was examined. In this study, queue length, average vehicle delay, service level, CO emissions, and fuel consumption are considered for performance parameters. First of all, the performance results of the intersection area in the current state of the signal circuit time were evaluated with the Vissim program. According to simulation results, it has been determined that the performance values have improved by making a new arrangement in the current state signal times. Through new signal arrangements, period time was raised and decreased at a determined rate to find out optimum period time. Optimum times determined by Webster's method and simulation were compared. The performance parameters which is examined within the scope of the study were compared on the current situation and scenarios. In conclusion, the study shows that; Optimum time which is found as a result of study is provide the best performance results and has an important effect on intersection performance.

Key Words: Intersection, Cycle Time, Level of Service, Simulation, PTV Vissim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
GRAFİKLER LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Çalışmanın Amacı.....	2
1.2.Çalışmanın İçeriği.....	2
1.3. Literatür Taraması.....	3
2. KAVŞAKLAR	6
2.1. Kavşak Tasarımı	6
2.2. Kavşak Tipleri.....	7
2.3. Kavşak Tipi Seçimi	8
3. EŞDÜZEY KAVŞAKLAR	10
3.1. Kol Sayısına Göre Eşdüzey Kavşaklar	11
3.1.1. Üç Kollu Eşdüzey Kavşaklar	11
3.1.2. Dört Kollu Eşdüzey Kavşaklar	12
3.1.3. Çok Kollu Eşdüzey Kavşaklar	13
3.2. Denetim Şekline Göre Eşdüzey Kavşaklar	14
3.2.1. Sinyalize Eşdüzey Kavşaklar	14
3.2.2. Sinyalize Olmayan Eşdüzey Kavşaklar.....	14
3.2.3. Dönel Kavşaklar	15

3.3. Eşdüzey Kavşaklarda Meydana Gelen Trafik Hareketleri	18
4.SİNYALİZASYON.....	22
4.1. İzole Sinyalizasyon Sistemleri.....	23
4.1.1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi.....	23
4.1.2. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi.....	23
4.1.3. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi.....	24
4.1.4. El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi.....	24
4.2. Koordine Sinyalizasyon Sistemleri.....	24
4.3. Sinyalizasyon Hesaplarında Kullanılan Yöntemler.....	25
4.3.1. Webster (İngiliz) Yöntemi	25
4.3.2. Highway Capacity Manual (Amerikan) Yöntemi	28
4.3.3. Avustralya (Akçelik) Yöntemi	30
5.YÖNTEM, ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	33
5.1. PTV Vissim Programı	33
5.2. Esentepe Kavşağı	35
5.2.1. Esentepe Kavşağı Hakkında Genel Bilgiler	35
5.2.2. Esentepe Kavşağı Zirve Saat Trafik Hacim Verileri.....	36
5.2.3. Esentepe Kavşağı Sinyal Verileri.....	38
5.2.4. Esentepe Kavşağı'nın Programda Modellenmesi	39
5.2.5. Esentepe Kavşağı simülasyon geçerliliği ve analiz sonuçları	52
5.3. Esentepe Kavşağı Senaryo Modelleri.....	55
5.3.1. Senaryo 1 (Devre süresi = 100 saniye).....	56
5.3.2. Senaryo 2 (Devre süresi = 110 saniye).....	60
5.3.3. Senaryo 3 (Devre süresi = 120 saniye).....	63
5.3.4. Senaryo 4 (Devre süresi = 130 saniye).....	66
5.3.5. Senaryo 5 (Devre süresi = 140 saniye).....	70
5.3.6. Senaryoların Karşılaştırılması.....	73

5.6.7. Webster Yöntemi ile Optimum Süre Hesabı	78
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	80
KAYNAKÇA	86



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Modern dönel kavşak çeşitlerinin temel özelliklerinin karşılaştırılması	18
Tablo 4.1. Farklı tür araçların otomobil birim karşılıkları	26
Tablo 4.2. Hizmet düzeyi belirleme tablosu	30
Tablo 4.3. Faz-Akım matrisi tablosu	31
Tablo 5.1. Esentepe Kavşağı trafik hacim matrisi	37
Tablo 5.2. Esentepe kavşağı mevcut sinyal verileri	38
Tablo 5.3. GEH istatistiği ile mevcut durum ve simülasyon hacim doğrulaması	53
Tablo 5.4. Mevcut durum simülasyon değerlendirme sonuçları	54
Tablo 5.5. GEH istatistiği ile senaryo 1 hacim doğrulaması	57
Tablo 5.6. Senaryo 1 değerlendirme sonuçları	59
Tablo 5.7. GEH istatistiği ile senaryo 2 hacim doğrulaması	60
Tablo 5.8. Senaryo 2 değerlendirme sonuçları	62
Tablo 5.9. GEH istatistiği ile senaryo 3 hacim doğrulaması	64
Tablo 5.10. Senaryo 3 değerlendirme sonuçları	65
Tablo 5.11. GEH istatistiği ile senaryo 4 hacim doğrulaması	67
Tablo 5.12. Senaryo 4 değerlendirme sonuçları	69
Tablo 5.13. GEH istatistiği ile senaryo 5 hacim doğrulaması	71
Tablo 5.14. Senaryo 5 değerlendirme sonuçları	72
Tablo 5.15. Tüm durumların performans ölçütlerinin karşılaştırılması	74
Tablo 5.16. Webster yöntemi ile devre süresi bulmak için gereken veriler	78
Tablo 5.17. Senaryo 3 ve Webster yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması	79

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Kavşak tipleri	8
Şekil 2.2. Trafik hacmine göre kavşak seçim diyagramı	9
Şekil 3.1. Eşdüzey kavşakların sınıflandırılması	10
Şekil 3.2. Üç kollu Y tipi kanalize kavşak	11
Şekil 3.3. Üç kollu T tipi kanalize kavşak	12
Şekil 3.4. Dört kollu kavşak örneği-Bursa Beşevler kavşağı	12
Şekil 3.5. Dört kollu eşdüzey kavşak tasarımları	13
Şekil 3.6. Çok kollu eşdüzey kavşaklarda yapılabilecek düzenlemeler	13
Şekil 3.7. Denetimsiz standart üç kollu kavşak ve üç kollu dönel kavşakta çakışma noktası .	15
Şekil 3.8. Denetimsiz standart dört kollu kavşak ve dört kollu kavşakta çakışma noktası	16
Şekil 3.9. Modern dönel kavşak ve geometrik elemanları	16
Şekil 3.10. Modern dönel kavşakların sınıflandırılması	17
Şekil 3.11. Eşdüzey kavşaklarda trafik hareketleri	18
Şekil 3.12. Eşdüzey kavşaklarda ayrılma hareketi	19
Şekil 3.13. Eşdüzey kavşaklarda katılma hareketi	19
Şekil 3.14. Eşdüzey kavşaklarda kesişme hareketi	19
Şekil 3.15. Eşdüzey kavşaklarda örülme hareketi	20
Şekil 3.16. Eşdüzey kavşaklarda taşıt çakışmaları	20
Şekil 3.17. Sinyalize olmayan dört ve üç kollu kavşaklarda çakışmalar (Tek şeritli yol)	21
Şekil 3.18. Dört kollu sinyalize kavşaklarda çakışma (Tek şeritli yol)	21
Şekil 4.1. Doygun akım grafiği	25
Şekil 4.2. Amerikan (HCM) yönteminde kullanılan yöntem şeması	29
Şekil 4.3. Örnek faz şeması	30
Şekil 4.4. Örnek faz diyagramı için sinyal devre diyagramı	31

Şekil 4.5. Temel akım karakteristikleri modeli	32
Şekil 5.1. PTV Vissim ara yüzü	35
Şekil 5.2. Esentepe Kavşağı uydu görüntüsü	36
Şekil 5.3. Esentepe Kavşağı akşam zirvesi trafik hacim şeması	37
Şekil 5.4. Esentepe Kavşağı faz diyagramı ve sinyal süreleri	39
Şekil 5.5. Arka plan ayarı	40
Şekil 5.6. Bağlantılar ve bağlayıcılar	41
Şekil 5.7. Azaltılmış hız alanı tanımlama	42
Şekil 5.8. Araç girdi değerleri ve rota değerleri	43
Şekil 5.9. Tüm kollara ait araç girdileri ve araç rotaları	43
Şekil 5.10. Esentepe Kavşağı temel sinyal grupları ve süreleri	44
Şekil 5.11. Kavşak alanında sinyal başlıklarının tanımlanması	45
Şekil 5.12. Tel çerçeve özelliği ile sinyal başlık kontrolü	45
Şekil 5.13. Simülasyonun başlatılması	46
Şekil 5.14. Sürüş davranış parametreleri penceresi	47
Şekil 5.15. Bağlayıcı üzerinden şerit değişikliği kalibrasyonu	49
Şekil 5.16. Yapılandırma ayarları	50
Şekil 5.17. Performans ölçümlerinin modelde gösterilmesi	52
Şekil 5.18. Gerçek hacim ve simülasyon hacim değerleri	53
Şekil 5.19. PTV Vissim mevcut durum değerlendirme sonuçları	54
Şekil 5.20. Vissim senaryo yöneticisi	55
Şekil 5.21. Gerçek hacim ve senaryo 1 hacim değerleri	57
Şekil 5.22. Senaryo 1 sinyal süreleri	58
Şekil 5.23. PTV Vissim Senaryo 1 değerlendirme sonuçları	58
Şekil 5.24. Gerçek hacim ve senaryo 2 hacim değerleri	60
Şekil 5.25. Senaryo 2 sinyal süreleri	61
Şekil 5.26. PTV Vissim Senaryo 2 değerlendirme sonuçları	61

Şekil 5.27. Gerçek hacim ve senaryo 3 hacim değerleri	63
Şekil 5.28. Senaryo 3 sinyal süreleri	64
Şekil 5.29. PTV Vissim Senaryo 3 değerlendirme sonuçları	65
Şekil 5.30. Gerçek hacim ve senaryo 4 hacim değerleri	67
Şekil 5.31. Senaryo 4 sinyal süreleri	68
Şekil 5.32. PTV Vissim Senaryo 4 değerlendirme sonuçları	68
Şekil 5.33. Gerçek hacim ve senaryo 5 hacim değerleri	70
Şekil 5.34. Senaryo 5 sinyal süreleri	71
Şekil 5.35. PTV Vissim Senaryo 5 değerlendirme sonuçları	72
Şekil 5.36. Esentepe Kavşağı şerit akımları	78

GRAFİKLER LİSTESİ

Sayfa

Grafik 5.1. Mevcut durum ve senaryo 1 performans ölçümlerinin karşılaştırılması	59
Grafik 5.2. Mevcut durum ve senaryo 2 performans ölçümlerinin karşılaştırılması	63
Grafik 5.3. Mevcut durum ve senaryo 3 performans ölçümlerinin karşılaştırılması	66
Grafik 5.4. Mevcut durum ve senaryo 4 performans ölçümlerinin karşılaştırılması	70
Grafik 5.5. Mevcut durum ve senaryo 5 performans ölçümlerinin karşılaştırılması	73
Grafik 5.6. Tüm durumlar için ortalama araç gecikmesi değerinin karşılaştırılması	74
Grafik 5.7. Tüm durumlar için hizmet düzeyinin karşılaştırılması	75
Grafik 5.8. Tüm durumlar için ortalama kuyruk uzunluğu değerinin karşılaştırılması	75
Grafik 5.9. Tüm durumlar için CO salınımı değerinin karşılaştırılması	76
Grafik 5.10. Tüm durumlar için yakıt tüketimi değerinin karşılaştırılması	76
Grafik 5.11. Tüm senaryolar için yüzleşme yüzdelerinin karşılaştırılması	77
Grafik 6.1. Tüm durumlar için performans ölçümlerinin karşılaştırılması	83
Grafik 6.2. Webster Yöntemi ve Vissim Programı sinyal süresi sonuçları	83

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

- Bo:** birim otomobil
- C:** Devre süresi
- c_i:** Yeşil sürede akımdan geçebilecek maksimum araç sayısı
- C_o:** Optimum devre süresi
- C_p:** Pratik devre süresi
- d:** Akımdaki her araç için kontrol gecikmesi
- d:** Kavşak koluna ait taşıt başı ortalama gecikme
- D:** Toplam gecikme değeri
- d₁:** Uniform kontrol gecikmesi
- d₂:** Düzeltilen artırılmış gecikme
- d₃:** Başlangıç kuyruklanma gecikmesi
- d_A:** Herhangi bir kavşak yaklaşımı için ortalama gecikme değeri
- d_i:** Şerit grubu için gecikme değeri
- f_a:** Kavşak alanı için düzeltme faktörü
- f_{bb}:** otobüs için düzeltme faktörü
- f_g:** Kavşak yaklaşım kolunun eğim düzeltme faktörü
- f_{HV}:** Ağır taşıt düzeltme faktörü
- f_{Lpb}:** Sola dönen trafik akımıyla, yaya ve bisikletin çakışma durumu için düzeltme faktörü
- f_{LT-RT}:** Sola dönüş düzeltme faktörü - Sağa dönüş düzeltme faktörü
- f_{LU}:** Şerit kullanımı düzeltme faktörü
- f_p:** Park durumu için düzeltme faktörü
- f_{PA}:** Yeşil süresi içerisinde gelen araçlar için düzeltme faktörü
- f_{Rpb}:** Sağa dönen trafik akımıyla, yaya ve bisikletin çakışma durumu için düzeltme faktörü
- f_w:** Şerit genişliği düzeltme faktörü
- g:** Etkin yeşil süre
- g/C:** Mevcut trafik akımındaki yeşil süresinin devre süresine oranı
- G_p:** Yayalar için minimum yeşil süre
- I:** Kayıp süre
- L:** Akımdaki toplam kayıp zaman
- LOS:** Hizmet düzeyi
- N:** Şerit Sayısı

N_{ped} : Karşıdan karşıya geçiş yapan yaya sayısı
 P : yeşil süresince kavşağı boşaltan araç sayısının kavşağa gelen araçlar sayısına oranı
 PF : İlerleme faktörü
 PHF : Zirve saat faktörü
 Q : Kapasite
 q : Kavşaktaki her bir kola ait akım
 R_p : kümeleşme oranı
 S : Doygun akım
 S : Doygun akım oranı
 s_i : Doygun akım
 S_o : İdeal doymuş akım değeri
 S_p : Yayaların ortalama hızı
 T_f : Akım süresi
 U : Yeşil süre oranı
 U_r : Şerit kullanım faktörü
 V : Saatlik hacim
 V_{15} : Zirve saatteki 15 dakikalık maksimum hacim
 v_i : Düzeltilmiş akım hacim değeri
 V_i : Şerit grubu için düzeltilmiş akım değeri
 V_p : 15 dakikalık zirve periyottaki akım oranı
 w : Yaklaşım kolu genişliği
 W_E : Karşıya geçilen yol genişliği
 $W_{kayıp}$: Park eden taşıtın neden olduğu şerit genişliğinde meydana gelen kayıp
 x : Doygunluk derecesi
 X_c : Kritik hacim/kapasite oranı
 X_i : Hacim / kapasite oranı
 Y : Toplam akım oranı
 $YOGT$: Yıllık ortalama günlük trafik
 z : Park eden taşıtın dur çizgisine uzaklığı
 λ : Etkin yeşil süresi/ devre süresi
 Φ : Düzeltme katsayısı

1. GİRİŞ

Trafik, ulaşım güzergahları üzerinde taşıt ve yayaların oluşturmuş olduğu hareket olarak basitçe tanımlansa da detaylı olarak ele alındığında bu tanımın çok ötesinde karmaşık bir yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Şehirleşmenin gün geçtikçe artması trafik problemlerini de buna paralel olarak artırmaktadır. Plansız şehirleşmeden kaynaklanan mevcut yol problemleri ve sürekli artmakta olan nüfus, karmaşık yapı olarak nitelendirdiğimiz trafiği de etkilemektedir. Trafik problemlerinin artması dolaylı olarak çevre kirliliğini de artırmaktadır. Trafik problemleri, tükenmekte olan enerji kaynakları ve dünyanın iklim değişikliği sürecinde sürüklendiği nokta düşünüldüğünde göz ardı edilmemesi gereken bir konudur. Trafik kavramı hem günlük hayatta ulaşım gereksiniminin güvenli ve konforlu olarak karşılanmasını sağlamak hem de atmosfere salınan gazlar ve sınırlı olan enerji kaynaklarının kullanımı açısından ele alınması gereken bir kavram haline gelmiştir. Sürdürülebilir bir yaşam, güvenli ve konforlu bir ulaşım için trafik çalışmalarının üzerinde daha fazla durulması gerektiği ortadadır. Ayrıca trafik kazalarının meydana getirdiği kayıplar ve kaza sonucu meydana gelen hasarların olumsuz etkileri de düşünüldüğünde konunun önemi artmaktadır.

Kavşak noktaları trafik problemlerinin en fazla yaşandığı alanlar olarak nitelendirilmektedir. Bu nedenle trafik ile ilgili yapılan çalışmalarda genel olarak bu kritik noktalar ele alınarak bunlara yönelik çözümler sunulmaktadır. Trafikte yaşanan sorunların önüne geçmek için kesişim noktalarını oluşturan bu alanların gerekli hizmet seviyelerinde işletilmesi gerekmektedir. Kavşak alanından en iyi performansın alınması için doğru kavşak tipi seçimi önemli bir rol oynamaktadır. Trafik hacminin yüksek olduğu yollarda, arazi koşullarının dönel kavşak tasarımına elverişsiz olduğu yerlerde sinyalize kavşak tasarımı tercih edilmektedir. Sinyalize kavşaklarda sinyalizasyondan dolayı meydana gelen gecikme, araç kuyruklanma problemi, sürekli durup kalkmaktan kaynaklanan yakıt tüketimi ve karbon emisyonu gibi problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin azaltılması için sinyal süre düzenlemesinin en iyi şekilde yapılması ve optimum sürenin tespit edilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar maksimum devre süresinin 120 sn olması gerektiğini ancak trafik hacminin çok yoğun olduğu koşullarda Maksimum devre süresi 150 sn de kabul edilmektedir. Kavşak daha uzun veya daha kısa süreyle değil optimum devre süresi ile en iyi işletme koşullarını sunmaktadır.

1.1.Çalışmanın Amacı

Sinyalizasyonun kavşak yoğunluğu ve pik saatlere göre düzenlenmemesi trafik akışını ve kavşak performansını olumsuz etkilemektedir. Bu tez çalışmasının temel amaçlarından biri sinyalizasyon kavşaklarda performansa dayalı yaşanan problemlerde sinyal düzeninin ve devre süresinin önemini göstermektir.

Bu doğrultuda yapılan çalışmada Bursa ilinde kritik noktalardan birinde yer alan Esentepe Kavşağı seçilerek farklı sinyal sürelerinin performans parametrelerine etkisi gösterilmiştir. Senaryolar ve mevcut durum PTV Vissim programı kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada öncelikle programla mevcut durumda kullanılan sinyal süresi ile analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Performans kaybının en yoğun yaşandığı kol ve güzergâh tespit edilerek kayıp sürede azaltma yoluna gidilerek sinyal süreleri düzenlenmiştir. Yeni düzenlenen sinyal süreleri oranında devre süresinde belli oranda artma ve azaltma uygulanarak senaryo sonuçları karşılaştırılmıştır.

1.2.Çalışmanın İçeriği

Çalışma beş bölümden meydana gelmektedir. Birinci bölümde araştırma konusunun geniş kapsamı ve önemine yer verilmiştir. Çalışma içeriği detaylı olarak anlatılarak çalışmanın öneminden ve daha önce bu konuda yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

İkinci bölümde kavşak tasarımı, kavşak tipleri ve kavşak tipi seçiminden bahsedilerek kavşaklar hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde eşdüzey kavşaklar hakkında bilgi verilerek eşdüzey kavşakların kol sayısına ve denetim şekline göre sınıflandırılması yapılmış meydana gelen trafik hareketleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde sinyalizasyon kavramı incelenerek sinyalizasyonun önemi vurgulanmış avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Sinyalizasyon sistemleri kendi içinde sınıflandırılarak ele alınmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde çalışmada izlenen yöntem ve kullanılan programdan bahsedilerek çalışma alanı hakkında bilgi verilmiştir. Yapılan tüm araştırmalar, analizler bulunan sonuçlar bu bölümde ele alınmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler tablo haline getirilmiş ve gerekli karşılaştırmalar yapılarak grafiklerle somutlaştırılmıştır.

Tezin son bölümü olan sonuç bölümünde araştırma ve bulgular sonucunda ulaşılan sonuç parametreleri üzerinde durularak bunlara bağlı olarak gerekli öneriler sunulmuştur.

1.3. Literatür Taraması

Günümüz dünyasında nüfus artışına bağlı olarak her geçen gün araç sayısı da artmaktadır. Özellikle şehir içi trafik planlamasında en önemli noktaların başında gelen kavşaklarda hizmet düzeyi seviyesinde azalma, gecikme ve kuyruk uzunluğu gibi trafik problemleri meydana gelmektedir. Trafik problemleri yakıt tüketimi artışını ve çevresel problemleri de beraberinde getirmektedir. Kritik nokta diyebileceğimiz kavşaklarda bu problemleri azaltmak için ışık sürelerini iyileştirmek, denetim şeklini değiştirmek gibi kavşak performansını artırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Kavşak performansını artırmak için yapılan çalışmalarda benzetim ve optimizasyon kullanılarak iyileştirmeye yönelik senaryolar oluşturulmaktadır. Kavşak performansları incelenirken ortalama taşıt gecikmesi, kuyruk uzunluğu, ortalama hız, araç seyahat süresi, emisyon salınımı, yakıt tüketimi gibi kriterler incelenmektedir.

Sinyalize eşdüzey kavşaklarda kavşak performansını artırmak ve trafik akımını iyileştirmek için yapılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Murat (1996) çalışmasında, Denizli iline ait önem arz eden sinyalize kavşakların gecikme ve kuyruk nedenlerini tespit ederek ve yeni devre süreleri oluşturarak trafik akışının iyileştirilmesinde geometriyle olan ilişkisine bağlı çözümler üretmiştir. Çalışmada Avustralya programını esas alan SIDRA ve İngiliz yöntemini esas alan QuickBasic Programını kullanmıştır (Murat, 1996).

Eraslan (2008), İstanbul Ümraniye’de bulunan dört kollu ışıklı bir kavşakta meydana gelen gecikme değerini gözlemledikten sonra Amerikan ve Avustralya yöntemleriyle hesaplanan gecikme değerleriyle karşılaştırmış ve yöntemleri analiz etmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Avustralya yönteminin gecikme değerini en aza indirdiğini belirlemiştir (Eraslan, 2008).

Bozkurt (2010), Kırıkkale’de bulunan 5 sinyalize kavşak üzerinde toplanan veriler yardımıyla trafik yükünü, kavşağa ait geometrik özellikleri, sinyal ve kaza verilerini incelemiştir. Mevcut problemlerin sinyalizasyon parametrelerini ve kavşak geometrisinde yapılacak değişikliklerle trafik güvenliğinin artırılabilceği şeklinde çözümler sunmuştur (Bozkurt, 2010).

Alçelik (2010) çalışmasında, İstanbul Ümraniye’de bulunan dönel kavşak ve sinyalize kavşak içeren iki karayoluna ait koridoru incelemiştir. Benzetim programıyla oluşturulan simülasyonlarla mevcut durum kapasitesi ve dönel kavşakların sinyalize kavşağa çevrildikten

sonraki kapasitelerini inceleyerek karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda kapasitenin bazen olumlu bazen olumsuz etkileyebileceği, kavşak tipinin avantajlı oluşunun çalışma alanına göre değişebileceği ve kavşak tipi belirlemede tek unsurun kapasite olmayıp birçok parametrenin birlikte değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşmıştır (Alçelik, 2010).

Dağüstü (2010) tarafından, İstanbul'daki bazı sinyalize kavşaklarda Webster metoduyla geliştirilen sinyal zamanlama algoritması kullanılarak devre süresi hesabı yapılmıştır. Mevcut kullanılan süreleri ve hesaplanan süreleri PTV Vissim programıyla analiz ederek kavşak performansına etkisini karşılaştırmıştır. Hesaplanan sürelerin kavşak performansını artırarak iyileşme sağlayacağı sonucuna ulaşmıştır (Dağüstü, 2010).

Akmaz (2012) tarafından, Konya şehrinde önemli noktalarda bulunan bazı kavşaklar incelenerek gecikmeleri en aza indirerek kapasite ve hizmet düzeyini artıracak devre süresinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Kavşak için toplanan veriler Sidra Intersection programıyla incelenerek mevcut kavşak devre süresiyle Amerikan ve Avustralya yöntemleriyle belirlenen optimum süreleri karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda Amerikan ve Avustralya yöntemlerinin yakın değerler belirttiğine ve önerilen devre süresinin kavşak performansını artırdığına ulaşmıştır (Akmaz, 2012).

Çakıcı (2014) çalışmasında, Denizli'de bulunan Pakdemir Kavşağı'na ait gözlemlenen gecikme sonuçlarını Vissim programının vermiş olduğu sonuçlarla karşılaştırmıştır. Farklı kavşak tipleri, farklı faz planlarıyla on iki farklı trafik senaryo uygulayarak gecikme faktörü değişimini karşılaştırmıştır. İki fazlı ve üç fazlı denetim şekilleri deneyerek sinyal optimizasyonu için değerlendirmeler yapmıştır. Sinyalize dönel kavşaklarda yaklaşım kollarındaki trafik hacmi ve yaklaşım kolundan sola dönüş yapacak trafik hacmine göre belirlenen optimum sürenin ortalama gecikmeyi azaltabileceği sonucunu elde etmiştir.

Korkmaz (2016), Corsim simülasyon programını kullanarak Diferansiyel Gelişim Algoritması ve Yapay Arı Kolonisi Algoritmasıyla dört farklı formda gecikme modellerinin optimizasyonunu yaparak HCM ve Avustralya modellerini ile karşılaştırmıştır. Çalışma ile sezgisel optimizasyon yöntemleriyle gecikme hesabının daha ulaşılabilir parametrelerle yapılabileceği sonucuna ulaşmıştır (Korkmaz, 2016).

Karagöz (2018) tarafından, Eskişehir ilinde yer alan Nayman ve Kırım komşu kavşaklarında Sidra İntersection 7 programıyla mevcut durum ve birlikte sinyalize edilmeleri durumu karşılaştırılmıştır. Birlikte sinyalize edildikten sonra kavşaklardaki gecikme süresinin %42 oranında azaldığını tespit etmiş, kavşaklar arası mesafe ve devre sürelerinin gecikmeye olan etkilerini araştırmıştır (Karagöz, 2018).

Demiral (2019) çalışmasında, Antalya ilinde bulunan önemli bölgelerde bulunan ve düzenlemeleri yeni yapılan üç adet sinyalize kavşakta incelemeler yapmıştır. Kavşakta yapılan bir önceki dönem verileri ve en son yapılan düzenleme sonrası verileri PTV Vissim Programıyla karşılaştırarak kavşakta geçen araç sayısında %10'luk artış olmasına rağmen yapılan düzenleme sonucunda hizmet düzeylerinde artış olduğunu tespit etmiştir (Demiral, 2019).



2. KAVŞAKLAR

Kavşaklar taşıtların birbirleriyle veya yayalar ile etkileşim halinde olduğu, iki veya daha fazla kolun birleşerek veya kesişerek çakışma noktalarını meydana getirdiği alanlarda tasarlanan trafik akımının yönetildiği kritik noktalardır. Kavşaklar trafik güvenliğinin sağlanması, trafiğin kesintiye uğramaması, uygun görülen hız limitinde trafik akımının devam ettirilmesi gibi değişkenler dikkate alınarak tasarlanıp işletilmelidir (Alemdar, 2019: 11).

2.1. Kavşak Tasarımı

Kavşak noktaları trafikte güvenliğin en az, kaza oluşma ihtimalinin en fazla olduğu alanlardır. Ayrıca birçok yolla bağlantısı olduğu için bu yollara ait kapasite ve performansı da etkileyerek trafikte kilit nokta olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle kavşakların doğru şekilde tasarlanması trafik akışı ve güvenliği için oldukça önemlidir.

Kavşak tasarımında dikkat edilmesi gereken ilkeler aşağıda belirtilmiştir (Yayla, 2015: Akpınar'dan (2020: 11)).

- Kavşak güvenliği
- Kapasite
- Ekonomi
- Kavşağın çevreye uyumluluğu

Kavşak tasarımında esas alınan bu ana unsurlardan hepsini aynı anda sağlamak bazı koşullarda zor olabilir. Bu gibi durumlarda güvenlik unsurundan ödün verilmeden kapasiteyi en iyi şekilde sağlayacak çözümlerin üretilmesi gerekmektedir. Kavşak noktaları trafik kazalarının en çok yaşandığı yerler olduğu için güvenlik en önemli kriter olarak görülür. Kavşak tasarımı yaya ve sürücülerin güvenli şekilde giriş ve çıkışlarını yapabilecekleri şekilde yapılmalıdır.

Çağımızda hız ve zaman kavramı oldukça önem kazanmıştır bu nedenle kavşaklar yeterli hizmet düzeyini sağlayacak kapasitede tasarlanmalıdır. Kavşakların yeterli sayıda kullanıcıya minimum zamanda gerekli hizmeti sunabilmesi kavşak güvenliğinin sağlanmasından sonraki temel hedeftir. Tüm bunlarla birlikte kavşağın yapım işletme ve kullanım maliyetleri olarak en uygun mal olacak model tercih edilerek ekonomiklik ilkesine uygun tasarlanmalıdır. Güvenlik, kapasite ve ekonomi unsurları dikkate alınarak tasarlanan kavşağın estetik açıdan nasıl görüldüğü göz ardı edilmemelidir. Çevreye uygun ve estetik kaygı oluşturmayacak, şehirlerimizin güzelliğine uyum sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Kavşak tasarımı etkileyen birçok ana etken ve bu etkenlerin de bağlı olduğu alt etkenler bulunmaktadır. Bunların kavşak tasarımı yapılırken dikkate alınması gerekmektedir. Bu faktörler aşağıda sıralanmıştır (Camcı, 2019: 11).

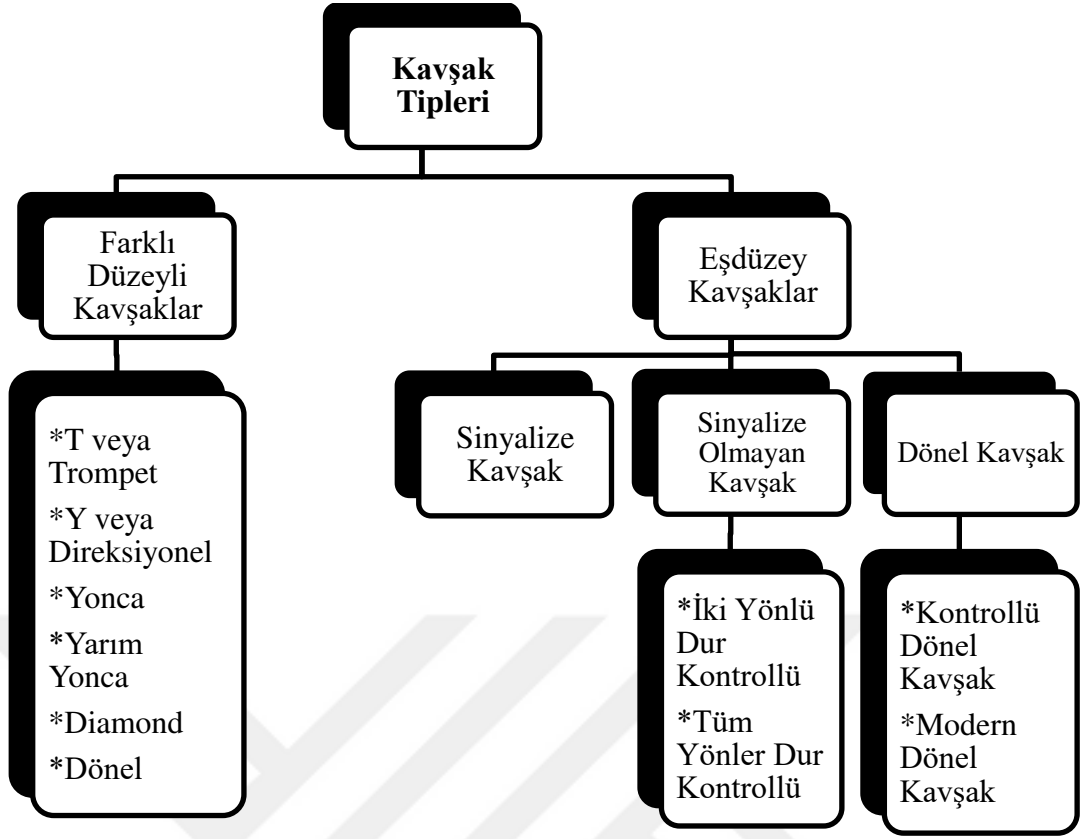
1. İnsan faktörü: Sürücü ve yayaların alışkanlıkları, karar verme ve reaksiyon sürelerinin dikkate alınması gerekir.
2. Trafik faktörü: Trafik hacmi, zirve saat trafik verileri, taşıt hızları, kaza sayısı ve analizleri, yaya hareketleri trafik faktörü etkenleridir.
3. Fiziksel faktörler: Trafik levhaları, aydınlatma araçları, geometrik özellikler, yaya geçitleri, kavşak alanı, güvenlik parametrelerini kapsayan etkenlerdir.
4. Ekonomik faktörler: kavşak alanının kamulaştırılması, yapımı ve işletiminden doğan maliyetler ekonomik faktör olarak dikkate alınmalıdır.
5. Sosyal faktörler: Kavşağın planlandığı yerin sosyal kültürel ve demografik yapısını oluşturur.
6. Fiziksel ve işlevsel kavşak alanı: fiziksel alan olarak dikkate alınması gereken yolların kesiştiği alanlardır. Fonksiyonel alan olarak ise reaksiyon, manevra ve depolama mesafelerin de dâhil edildiği daha kapsamlı bir bölge ele alınarak tasarım yapılmalıdır.

2.2. Kavşak Tipleri

Kavşaklar kesiştikleri trafik akımlarının düzeylerine göre eşdüzey kavşaklar ve farklı düzeyli kavşaklar olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. (Şekil 2.1) Bu kesişimin aynı düzeyde kullanılması eş düzey (hemzemin) kavşakları farklı düzeylerde kullanımı ise farklı düzeyli kavşakları meydana getirmektedir. Farklı düzeyli kavşaklar köprülü kavşak veya katlı kavşak olarak da isimlendirilmektedir.

Eşdüzey kavşaklar maliyet ve uygulanabilirlik açısından farklı düzey kavşaklara göre daha fazla tercih edilmektedir fakat trafik kazaları, tıkanıklık, gecikme gibi olumsuzluklar eşdüzey kavşaklarda katlı kavşaklara oranla daha fazladır. Eşdüzey kavşaklar kol sayısı ve denetim şekline ve adalar ile yapılan yönlendirmeye göre kendi içinde gruplandırılmaktadır.

Farklı düzeyli kavşaklar trafik hacminin fazla olması, kapasite ve güvenliğin yetersizliği gibi durumlarda tasarlanarak meydana gelecek çatışmaları farklı düzeylere taşıyarak yol güvenliğini artırmak amacıyla tasarlanır.



Şekil 2.1 Kavşak tipleri

2.3. Kavşak Tipi Seçimi

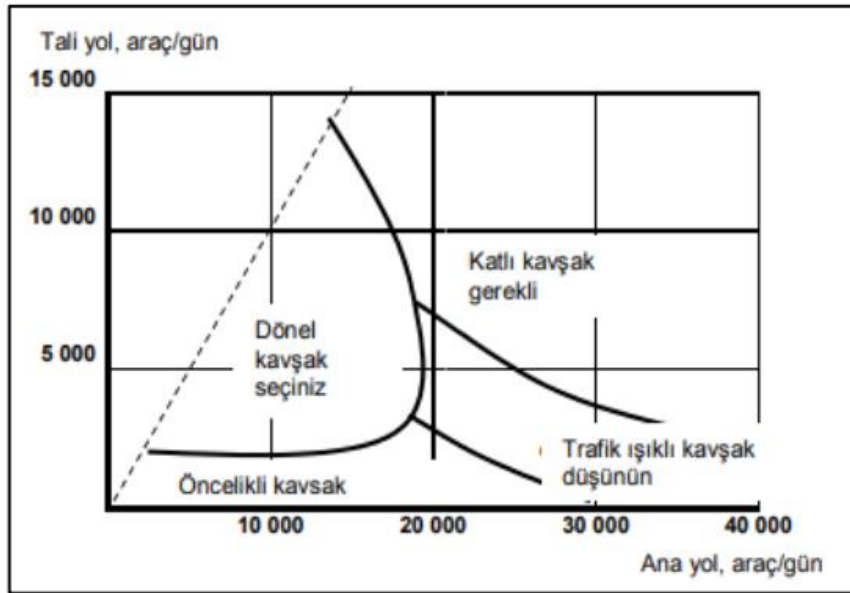
Kavşaktan istenen en iyi performansın alınması için kavşak tipi seçimi yapılırken kavşak güvenliği, kavşağın tasarlanacağı arazi koşulları, maliyet, trafik hacmi gibi birçok faktör göz önüne alınmaktadır.

Trafikte yaşanan kaza ve gecikmelerin önüne geçmek için kavşakların farklı düzeyli tasarlanması en doğru yaklaşım olarak görünmektedir. Fakat farklı düzeyli kavşaklar oldukça maliyetlidir ve büyük yatırımlar gerektirir. Mühendisliğin tanımı ve anlamı gereğince güvenlik kavramı ile birlikte ekonomiklik de dikkate alınması gereken ana unsurlardandır. Ayrıca farklı düzey kavşak tasarımı için gerekli alanın büyüklüğü şehir yollarında ve merkezlerinde bu kavşak tipinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Eşdüzey kavşakların kapasitesinin yetersiz kaldığı, gecikme ve kazalar sonucu ekonomik kayıpların büyük olduğu yerlerde farklı düzeyli kavşak seçimi zorunlu hale gelmektedir (Yayla, 2015: Akpınar'dan (2020: 8)).

Mevcut kapasitenin yeterli olması durumunda eşdüzey kavşak seçimi daha ekonomik ve uygulanabilir olmaktadır. Yapılan çalışmalar dönel kavşakların (sinyalize olmayan) çakışma noktalarının daha az olması ve kesişme türü çakışmaların yaşanmaması nedeniyle kaza görülme

riskinin daha düşük olduğu ve diğerkavşak türlerine göre trafik güvenliğinin en fazla sağlandığı eşdüzey kavşak tipi olduğunu göstermektedir (Özinal ve Uz, 2020: 285). Bu nedenle planlama ve sosyoekonomik koşulların sinyalizasyon kavşak seçimini mecbur kılmadığı durumlar dışında dönel kavşak (sinyalizasyon olmaya) tercih edilmektedir. Arazi şartlarının uygun olmadığı alanlarda, tasarlanacak kavşak bölgesinde yoğunlukla sinyalizasyon ve eşgüdümlü çalışan kavşaklar bulunması durumunda ise sinyalizasyon kavşak tasarımı tercih edilmesi daha doğru olacaktır. Ayrıca trafik hacminin yüksek olduğu yollarda gecikmeler daha kısa süreli olacağı için sinyalizasyon kavşaklar uygulanmaktadır (Öğütveren, 2019:17).

Kavşakta oluşan trafik hacmine göre hangi kavşağın seçileceği ana yol ve yan yollar üzerindeki günlük trafik hacmine bağlıdır. Trafik hacminin artmasına bağlı olarak dönel kavşak, sinyalizasyon kavşak veya katlı kavşak seçimi yapılmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Trafik hacmine göre kavşak seçimi diyagramı

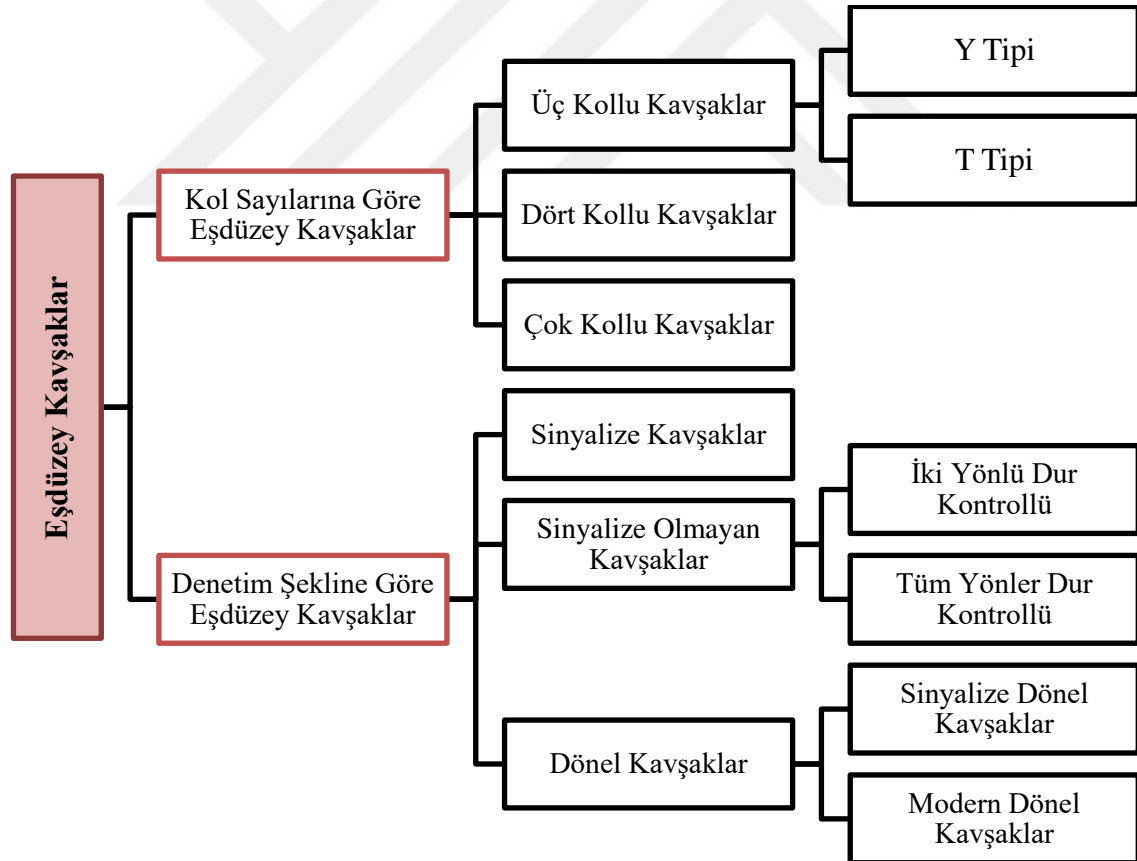
Kaynak: (KGM, 2000: 11)

3. EŞDÜZEY KAVŞAKLAR

Eşdüzey (hemzemin) kavşak aynı düzlemde yer alan iki veya daha fazla sayıda yolun kesişmesi sonucu oluşan ve farklı yönlerden gelen trafik akımlarının ortak kullanacağı bir alanı meydana getiren kavşak tipidir. Kavşağa ait tasarım yapılırken kavşak kollarındaki trafik hacmi, arazi koşulları, yaya ve taşıtların emniyet faktörlerine dikkat edilmesi gerekmektedir (KGM, 2005: 103).

Eşdüzey kavşaklar kol sayılarına göre; üç kollu kavşaklar, dört kollu kavşaklar ve çok kollu kavşaklar olmak üzere üç grupta sınıflandırılırken denetim şekline göre sinyalize kavşaklar (denetimli), sinyalize olmayan kavşaklar (denetimsiz) ve dönel kavşaklar olmak üzere üç grupta ele alınmaktadır (Şekil 3.1).

Ayrıca trafik akımına katılmada kapasiteyi artırmak için adalar ve işaretlemeler aracılığıyla yapılan yönlendirmeye göre de kanalize edilmiş kavşaklar ve kanalize edilmemiş kavşaklar olarak iki gruba ayrılmaktadır (KGM, 2005: 105)



Şekil 3.1. Eşdüzey kavşakların sınıflandırılması

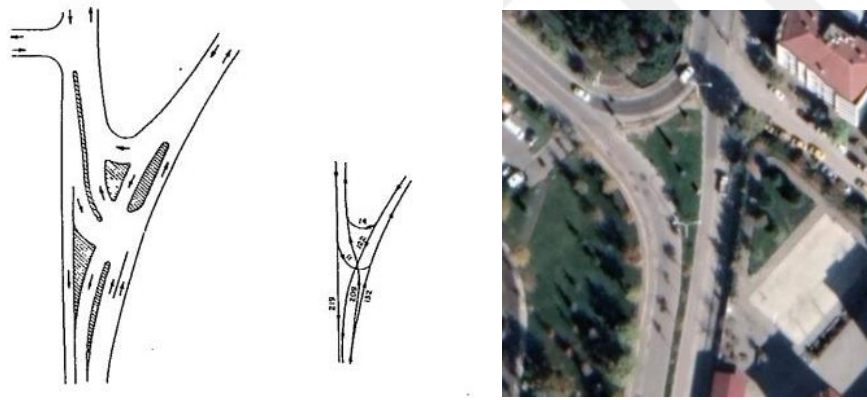
3.1. Kol Sayısına Göre Eşdüzey Kavşaklar

Kol sayısına göre yapılacak olan gruplandırmada eşdüzey kavşaklar üç grupta incelenmektedir.

1. Üç kollu eşdüzey kavşaklar: Kendi içerisinde Y tipi kavşak ve T tipi kavşak olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.
2. Dört kollu eşdüzey kavşaklar
3. Çok kollu eşdüzey kavşaklar

3.1.1. Üç Kollu Eşdüzey Kavşaklar

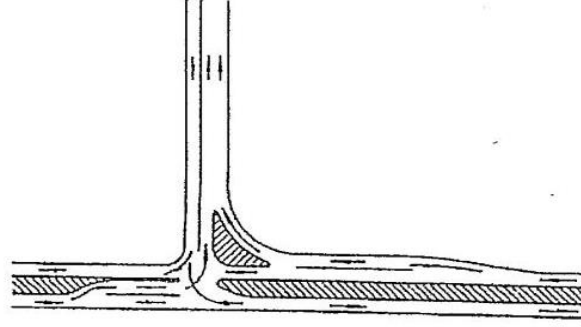
Üç kollu kavşak grubunda yer alan Y tipi kavşaklar anayol-tali yol kesişim noktalarının dar açılı oluşturduğu yollarda, imar kamulaştırma gibi nedenlerden dolayı tali yolda dik veya dike yakın düzenleme yapılamayan alanlarda tercih edilmektedir (Şekil 3.2). Trafik hacminin artmasının olası olduğu durumlarda ana yoldan dönüş yapacak taşıtlar ile karşı yönden direkt gelen taşıtların çakışma noktalarında ışıklı uyarı sistemleri kullanılmalıdır. Ayrıca trafik güvenliği için merkez ada genişliği U dönüşü yapacak araçların minimum dönüş yarıçapına göre düzenlenmelidir (KGM, 2005: 105).



Şekil 3.2. Üç kollu Y tipi kanalize kavşak

Kaynak: (KGM, 2005: 106)

Bu grupta yer alan T tipi kavşaklarda ise ana yol ve tali yol kesişimi 60° ile 120° lik açılar arasında olmalıdır (Şekil 3.3). Düşük trafik hacmine sahip 2x1 şeritli kırsal yollarda ve şehir içi 2x2 şeritli yollarda kanalize edilmeden uygulanmaktadır. Daha yüksek trafik hacmine sahip yollarda ise trafik güvenliğini ve yeterli dönüş açılarını sağlamak amacıyla kanalize edilerek uygulanmaktadır (KGM, 2005: 105).



Şekil 3.3. Üç kollu T tipi kanalize kavşak

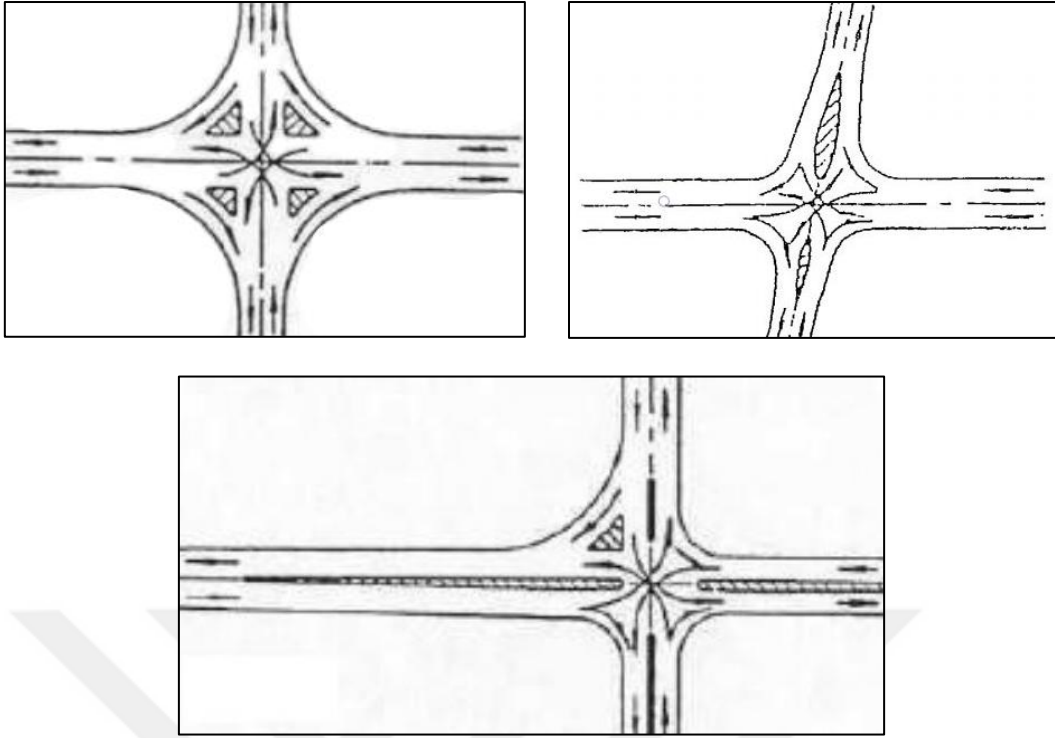
Kaynak: (KGM, 2005: 105)

3.1.2. Dört Kollu Eşdüzey Kavşaklar

Dört kolun aynı düzeyde kesişmesi ile oluşan kavşak tipidir (Şekil 3.4) (Şekil 3.5). Kavşak kollarının kesişme açısı 60° ile 120° arasında bir açıyla tasarlanmaktadır. Kavşak kesişimi 70° ile 105° arasında bir açıda tasarlananlar dört kollu dik açılı kavşak, 70° den az veya 105° den fazla olması durumunda ise dört kollu yatık kavşak olarak adlandırılmaktadır (Öğütveren, 2019: 14). Kolların dar açılı kesişmelerinde tali yol ekseni tekrar düzenlenmelidir. Bu tip kavşaklarda trafik akışının kesintiye uğramaması için hız değiştirme şeritleri planlanmaktadır. Şeritlere ait paralel bölümler anayoldan ayılmalarda en az 45 m, anayola birleşmelerde ise en fazla 60 m olarak uygulanması gerekmektedir. Ayrıca hızlanma şeritleri ana yola katılmalarda minimum 50 m olarak belirlenen yeterli mesafe ölçüsünde kama olarak tasarlanabilmektedir. Kavşak güvenliğinin sağlanması amacıyla dönüş yarıçapları büyük taşıtların dönüşlerine elverişli şekilde tasarlanmalıdır (KGM, 2005: 106).



Şekil 3.4. Dört kollu kavşak örneği-Bursa Beşevler kavşağı

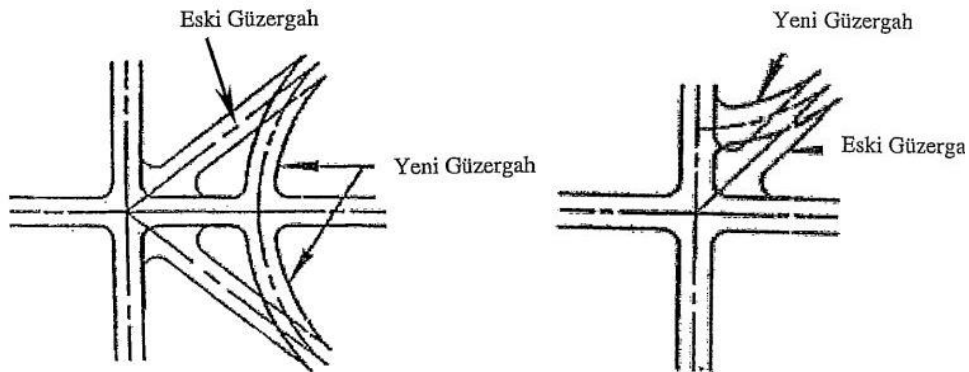


Şekil 3.5. Dört kollü eşdüzey kavşak tasarımları

Kaynak: (KGM, 2005: 107)

3.1.3. Çok Kollü Eşdüzey Kavşaklar

Kol sayısı dörtten fazla olan eşdüzey kavşak tipidir. Kavşak tasarımında dörtten fazla kol yapılması istenmeyen bir durumdur. Tasarımın zorunlu olarak yapılmasını gerekli kılan durumlarda ise trafik yoğunluğunun az olduğu ve DUR kontrolünün uygulanacağı yerlerin tercih edilmesi gerekmektedir (KGM, 2005: 107). Çok kollü kavşakların kolları üzerinde yapılacak düzenleme ile ikinci bir kavşak oluşturmak veya bazı kolları tek yönlü çalıştırmak meydana gelecek kesişimleri azaltarak alternatif çözüm oluşturabilmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Çok kollü eşdüzey kavşaklarda yapılabilecek düzenlemeler

Kaynak: (KGM, 2005: 107-108)

3.2. Denetim Şekline Göre Eşdüzey Kavşaklar

Trafik denetim sistemlerine göre kavşaklar:

- Sinyalize eşdüzey kavşaklar
- Sinyalize olmayan eşdüzey kavşaklar
- Dönel kavşaklar

Olmak üzere üç ana grupta incelenmektedir.

3.2.1. Sinyalize Eşdüzey Kavşaklar

Sinyalizasyon sistemleri tarafından kontrol edilerek trafik akımının bu sistemler aracılığıyla yönlendirildiği denetimli kavşak tipidir. Bu tip kavşaklarda düzenli bir akım oluşturulduğu için planlanan kapasitede kavşağın çalıştırılmasını sağlamakta ve meydana gelebilecek kaza olasılıklarını düşürmektedir. Trafiğin yoğun olduğu kavşak noktalarında taşıt ve yaya gecikmelerini en aza indireyecek şekilde tasarlanmalıdır. Kaza türlerinde yandan çarpma şeklinde gerçekleşen kazalarda azalma görülmekte genelde arkadan çarpma şeklinde kazalar meydana gelmektedir. Buda kavşak içerisinde araç hızları düşük olacağı için ölümlü kaza ve maddi hasarı azaltmaktadır (Karagöz, 2018: 6).

Sinyalizasyon sistemlerinin tüm bu avantajlarının yanı sıra devre süresinin yetersiz hesaplanması, kavşağa uymayan faz düzeni, standartlara uymayan hatalı kavşak geometrisi gibi nedenlerden kaynaklanan dezavantajları da bulunmaktadır. Bu durumlar beraberinde gecikme ve kuyruklanmaların artmasına, sürücü davranışlarına bağlı olarak arkadan çarpma şeklinde oluşacak kazaların artışı gibi farklı reaksiyonlara sebebiyet verebilmektedir (Korkmaz, 2019: 12).

3.2.2. Sinyalize Olmayan Eşdüzey Kavşaklar

Trafik akımının sinyalizasyon sistemleri kullanılmadan ışıksız trafik levhaları ile yönlendirildiği veya trafik levhaları kullanılmadan trafik akımının sağlandığı kavşak tipidir. Kavşak kollarının özelliklerine bakılarak ana yol ve yan yol belirlenerek geçiş önceliğinin hangi kola verileceği tespit edilmektedir. Ana yoldan gelen taşıtlar geçiş önceliği hakkına sahiptir ve ana yol için kavşak noktasına yaklaşıldığına dair işaretler verilirken tali yol için ‘Dur’ ve ‘Yol Ver’ şeklinde ikaz levhaları konularak kavşak güvenliği sağlanmaktadır.

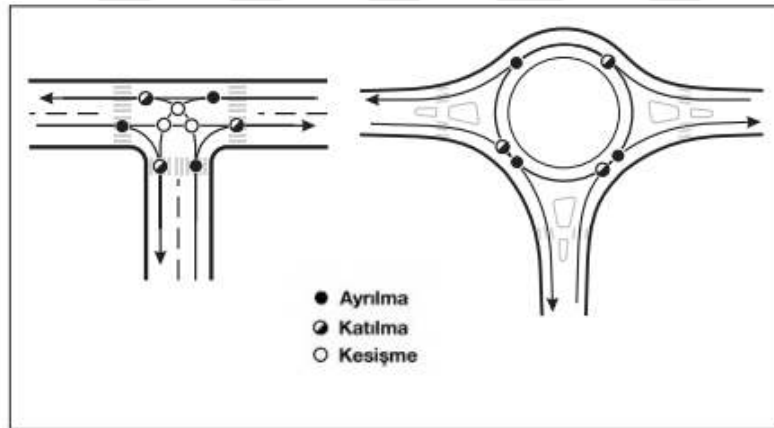
Trafik akımının işaretleme ve adalar aracılığıyla yönlendirilme şekline göre kanalize edilmiş kavşak ve kanalize edilmemiş kavşak olarak da sınıflandırılmaktadır.

3.2.3. Dönel Kavşaklar

Dönel kavşak trafik akımının merkezi bir ada çevresinde saat yönünde (trafiğin sol taraftan akması durumunda) veya saat yönüne ters yönde (trafiğin sağ taraftan akması durumunda) hareket ettiği kavşak tipidir (Janssens, 1994).

Dönel kavşaklardaki çakışma noktaları denetimsiz standart kavşaklara göre daha azdır. Dönel kavşaklarda kesişme çakışmaları ve kafa kafaya çarpışmalar meydana gelmez bunların yerine örülme çakışmaları ve açısallı çarpışmalar görülmektedir. Denetimsiz eş düzey kavşaklara oranla dönel kavşakların çakışma noktalarının daha az oluşu, merkezi bir adaya sahip olduğu için adaya girişte zorunlu olan hız azalışını gerekli kılması, daha riskli çarpışma türlerini ortada kaldırması gibi özellikleriyle daha güvenli kavşak türü olmasını sağlamıştır.

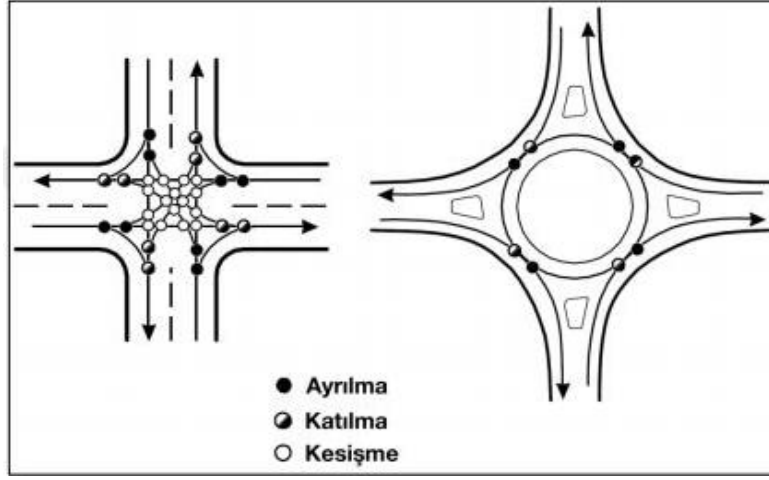
Standart üç kollu denetimsiz eş düzey kavşaklar ve üç kollu dönel kavşakların çakışma noktaları karşılaştırıldığında denetimsiz standart kavşakta dokuz tane çakışma noktası meydana gelirken üç kollu dönel kavşakta çakışma noktası sayısı altıya düşmektedir (Şekil 3.7) (Dixon ve Zheng'den, 2013: Özinal ve Uz'dan (2021: 284)).



Şekil 3.7. Denetimsiz standart üç kollu kavşak ve üç kollu dönel kavşakta çakışma noktası

Kaynak: (Federal Highway Administration [FHWA], 2000: 105)

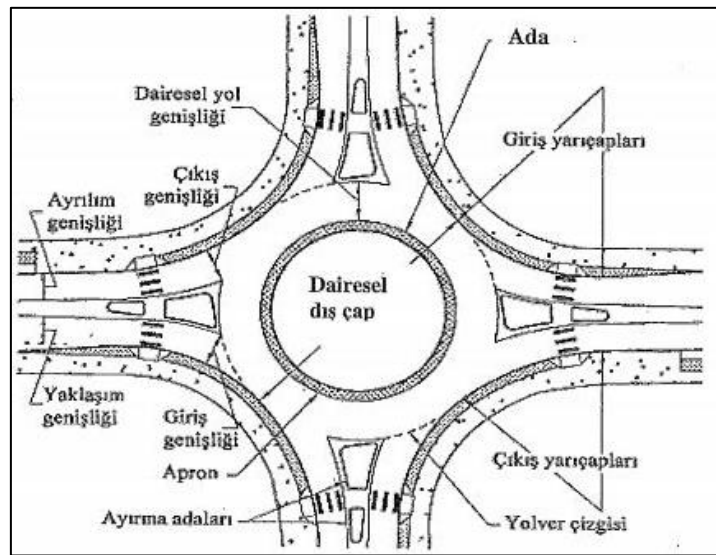
Denetimsiz dört kollu kavşak tipi ve dört kollu dönel kavşak karşılaştırıldığında da aynı duruma rastlanmaktadır. Denetimsiz dört kollu kavşakta çakışma noktasının 32 olduğu görülürken dört kollu dönel kavşakta sekize düştüğü bilinmektedir (Şekil 3.8) (Dixon ve Zheng'den, 2013: Özinal ve Uz'dan (2021: 284)). Ayrıca Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 incelendiğinde dönel kavşaklarda kesişme türü çakışmaların meydana gelmediği görülmektedir. Bu durumlar göze alındığında dönel kavşaklar diğer kavşak türlerine göre kaza risklerini azaltarak yol güvenliğini artırmayı sağlamaktadır.



Şekil 3.8. Denetimsiz standart dört kollu kavşak ve dört kollü dñel kavşakta çakışma noktası

Kaynak: (Federal Highway Administration [FHWA], 2000: 106)

Modern dñel kavşaklar trafik akımını dñzenlemek için sinyalizasyon sistemi bulundurmaması, kavşak çapının bñyüt÷lmesi sonucu araç hareketleri doğrultusunda yaklaşım kollarında tasarlanan giriş-çıkış yarıçapı ve sapma açısı gibi elemanlar bulundurmasıyla eski tip dñel kavşaklardan ayrılmaktadır. Dñel kavşağın gñvenliėi ve kapasitesi geometrik elemanlarla ilişkilidir bu nedenle beklenen performansta çalışması ve yol gñvenliėini sağlaması için geometrik elemanların standartlara uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir. Doğru ve standartlara uygun geometride tasarlanan ve birbirleriyle uyumlu şekilde çalışan geometrik elemanlar kaza riskini ciddi oranda azaltmaktadır. Şekil 3.9’da modern dñel kavşak ve dñel kavşaağa ait geometrik elemanlar gñr÷lmektedir.



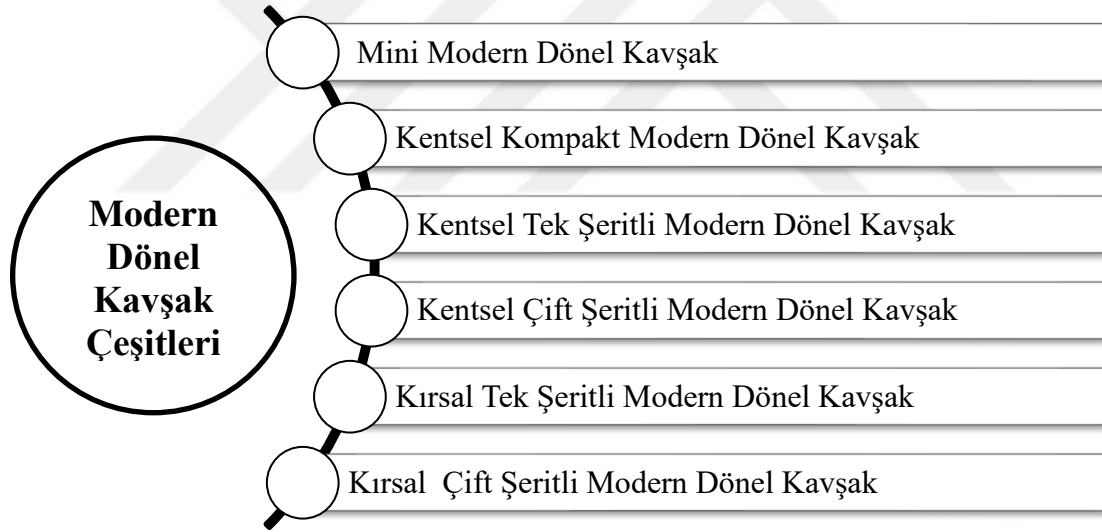
Şekil 3.9. Modern dñel kavşak ve geometrik elemanları

Kaynak: (KGM, 2005: 165)

Dönel kavşak tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken, kavşak kapasitesi ve kavşak güvenliği üzerinde etkili olan bazı geometrik elemanlar aşağıda sıralanmıştır (Tanyel, 2001).

- Kavşak görüş mesafesi
- Tasarım aracı ve tasarım giriş hızı
- Merkez ada
- Ayırıcı ada
- Dolaşım yolu genişliği
- Sapma açısı
- Giriş genişliği ve giriş yarıçapı
- Çıkış genişliği ve çıkış yarıçapı

Modern dönel kavşaklar bulunduğu çevresel konuma, kavşak boyutuna ve şerit sayısına göre altı ayrı grupta incelenmektedir. (Şekil 3.10)



Şekil 3.10. Modern dönel kavşakların sınıflandırılması

Kaynak: (Federal Highway Administration [FHWA], 2000: 12)

Modern dönel kavşak çeşitlerinin maksimum tasarım giriş hızı, yaklaşım başına maksimum giriş şeridi sayısı, iç çember çapı, dört kollu modern dönel kavşaklardaki günlük hizmet hacimleri gibi temel özellikleri karşılaştırılmıştır (Tablo 3.1).

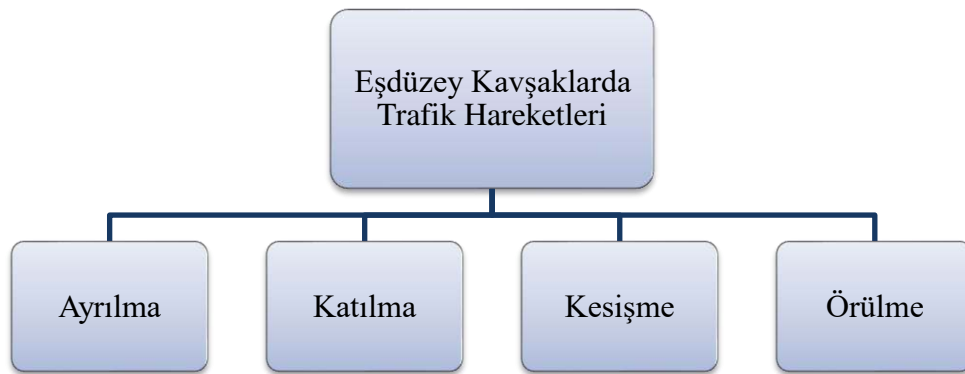
Tablo 3.1. Modern dönel kavşak çeşitlerinin temel özelliklerinin karşılaştırılması

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

Kaynak : (Federal Highway Administration [FHWA], 2000: 13)

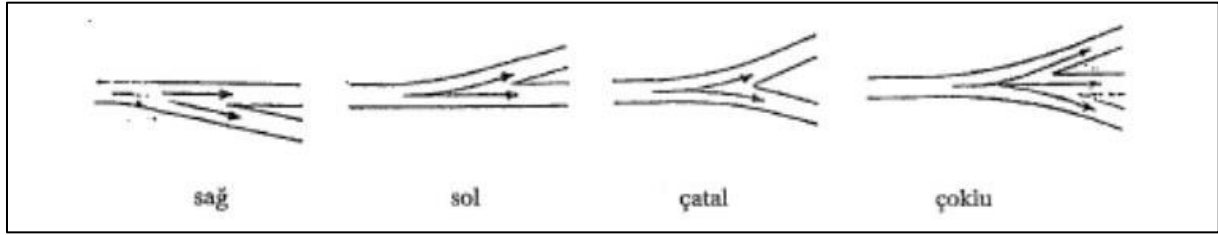
3.3. Eşdüzey Kavşaklarda Meydana Gelen Trafik Hareketleri

Eşdüzey kavşaklarda kavşak tasarımı yapılırken kaza ihtimalini azaltmak ve güvenli sürüşü sağlamak için trafik hareketlerini göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Eşdüzey kavşaklarda meydana gelen trafik hareketleri Şekil 3.11 de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Eşdüzey kavşaklarda trafik hareketleri

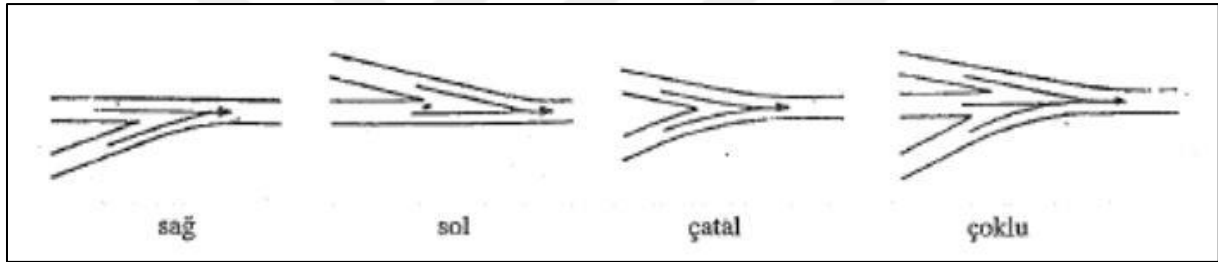
Ayrılma: Eşdüzey kavşaklarda aynı yönde ilerleyen taşıtların ana yoldan tali yola geçişleri sırasında sağa, sola, çatal ve çoklu yön şeklinde yaptıkları trafik hareketi olarak tanımlanır. (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Eşdüzey kavşaklarda ayrılma hareketi

Kaynak: (KGM, 2005: 112)

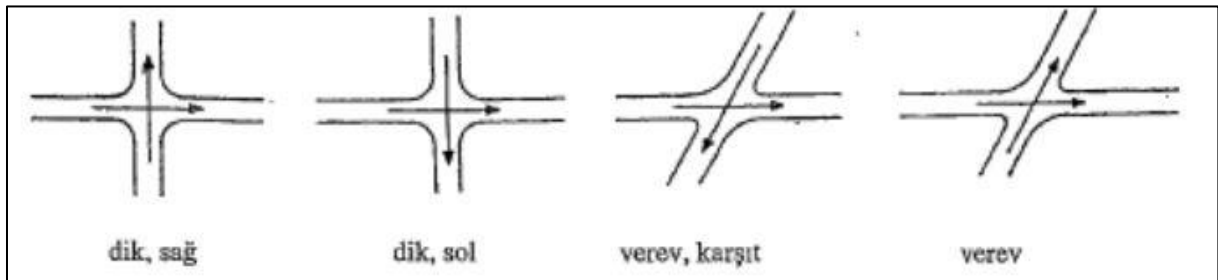
Katılma: Eşdüzey kavşaklarda tali yoldan ana yola geçen araçların yapmış oldukları trafik geçişidir. (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Eş düzey kavşaklarda katılma hareketi

Kaynak: (KGM, 2005: 112)

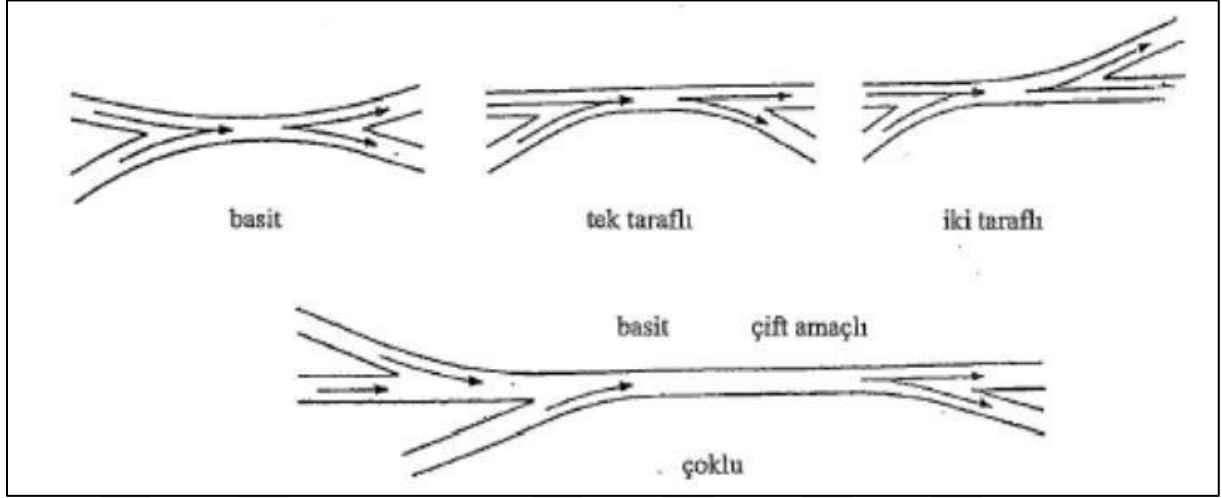
Kesişme: Farklı yönden gelmekte olan trafik akımlarının dik veya açısıl olarak ortak bir noktada çakışmasıdır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Eşdüzey kavşaklarda kesişme hareketi

Kaynak: (KGM, 2005: 112)

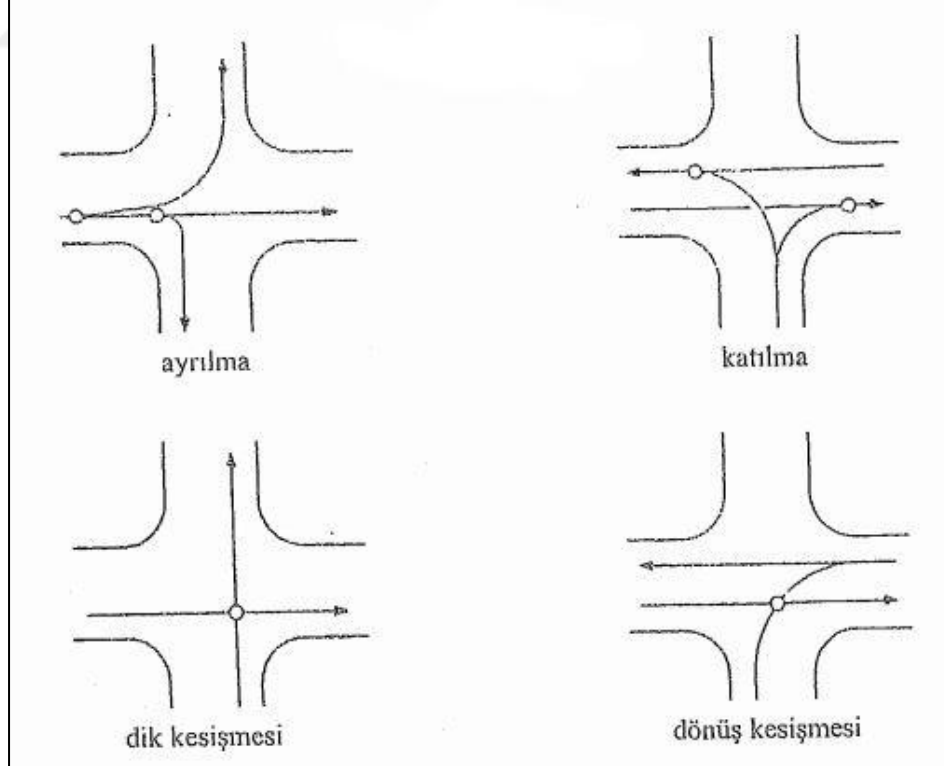
Örölme: Aynı yönde gerçekleşen ayrılma ve katılma şeklindeki trafik hareketlerinin kesişmesidir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Eşdüzey kavşaklarda örölme hareketi

Kaynak: (KGM, 2005: 112)

Eşdüzey kavşaklarda çakışmalar ayrılma, katılma, doğrusal geçişler kesişmeleri ve dönüş kesişmeleri olmak üzere dört şekilde görülür (Şekil 3.16).

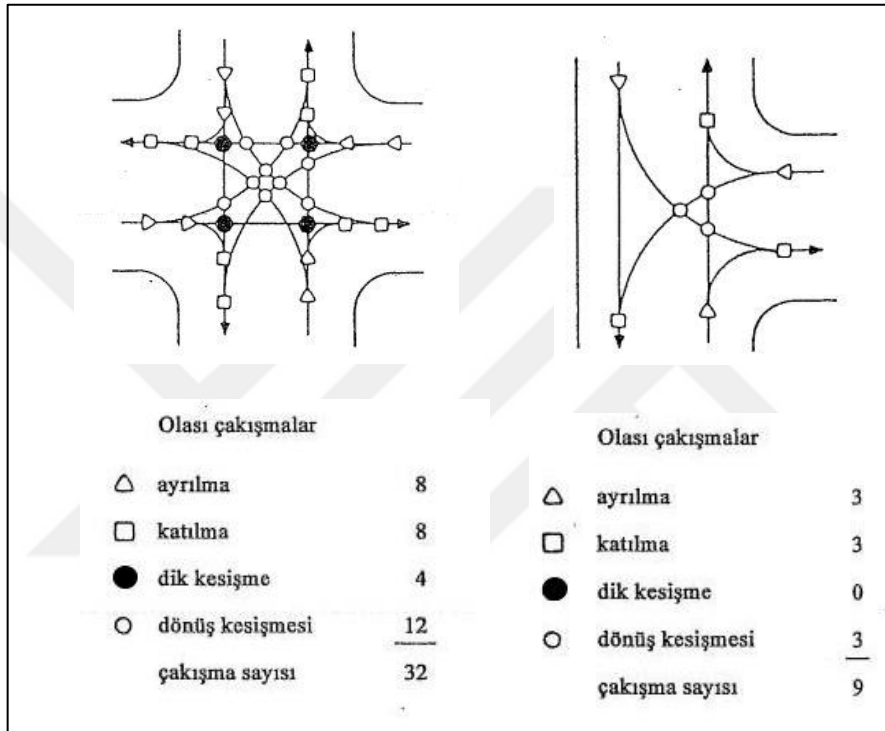


Şekil 3.16. Eşdüzey kavşaklarda taşıt çakışmaları

Kaynak :(KGM, 2005: 114)

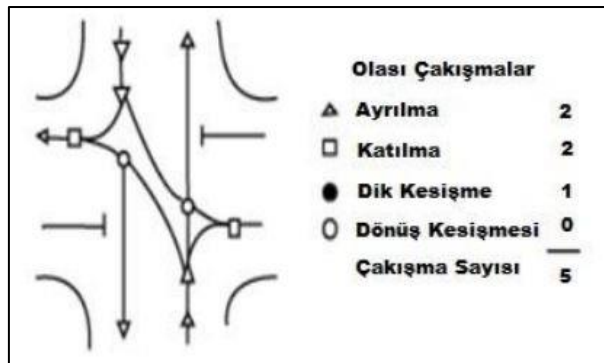
Kavşaklarda meydana gelen çakışma sayıları;

- Kavşak sinyalizasyon durumuna
- Kavşak yaklaşımlarında bulunan taşıt sayısına
- Kavşaktaki trafik hacmine
- Sola ve sağa dönüşlerdeki trafik oranına
- Kavşağa yaklaşan tek ve iki yönlü yol sayısına bağlıdır (KGM, 2015).



Şekil 3.17. Sinyalize olmayan dört ve üç kollu kavşaklarda çakışmalar (Tek şeritli yol)

Kaynak: (KGM, 2005: 113)



Şekil 3.18. Dört kollu sinyalize kavşaklarda çakışma (Tek şeritli yol)

Kaynak: (KGM, 2005: 113)

4.SİNYALİZASYON

Kavşak noktalarında güvenli ve sistemli bir trafik akışı ve trafik denetimini sağlamak amacıyla sinyalizasyon veya ışıklı işaret olarak adlandırılan araçlar kullanılmaktadır. Sinyalizasyon ile taşıt ve yayaların en güvenli ve kapasite olarak en elverişli şekilde kavşağı kullanmaları sağlanmaktadır (Murat, 1996: 23).

Trafikte sinyalizasyon ilk defa 1868 yılında Londra’da gece görüşünü sağlamak trafik sinyalleri gaz lambaları ile aydınlatılarak kullanılmıştır. İlk elektrikli trafik lambası ise 1914’te ABD’de demiryollarında kullanılmıştır (Harb, 2019: 10). Amerika Birleşik Devletleri’nde Cleveland’ da kurulan sinyalizasyon tesisinde kırmızı ve yeşil ışık kullanılmıştır. Daha sonra 1920’de Detroit’te sarı ışıklı sinyalizasyon kullanılmaya başlanmıştır (Oğuzhan, 2015: 29: Uysal’dan (2001)). 1924’ten sonra Avrupa ülkelerinde kullanılmaya başlayan trafik ışıkları zamanla daha da geliştirilerek Pappis ve Mamdani tarafından yapılan bulanık mantık yöntemiyle iki kollu tek şeritli yollar için tasarlanmıştır. Bu çalışmadan yola çıkan Favilla ise 1993 yılında çok şeritli kavşaklarda uygulanabilir bir çalışma ortaya koymuştur (Harb, 2019: 11).

Sinyalizasyon sistemlerinin kavşak güvenliğini sağlama ve gerekli kapasite ve konforda trafik akımını düzene sokma gibi özelliklerinin yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

Bu dezavantajlar:

- Sinyalizasyonun işletme, bakım, onarım masrafları
- Araçların sinyalizasyondan kaynaklanan gecikme ve kuyruklanma problemleri
- Sürekli durup kalkmalarından kaynaklanan fazla yakıt tüketimi ve bunun getirdiği hava kirliliğinin
- Bekleme sonucu oluşan zaman ve enerji kayıpları

Sinyalizasyon sistemleri izole sistemler ve koordine sistemler olmak üzere ika ana grupta incelenmektedir. Kavşakların birbirinden bağımsız olarak çalıştırılması durumunda izole sinyalizasyon sistemleri kavşakların uyum sağlanarak bir arada kullanılması durumunda koordine sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır.

4.1. İzole Sinyalizasyon Sistemleri

Sinyalizasyonda kullanılan izole sistemler diğer kavşaklara uygulanan sinyalizasyonu etkilemeyen ve onlardan etkilenmeyen bağımsız sistemlerdir. İzole sinyalizasyon sistemler dört ayrı grupta incelenmektedir (Murat, 2001)

- Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemi
- Trafik uyarmalı sinyalizasyon sistemi
- Yaya uyarmalı sinyalizasyon sistemi
- El ile kumandalı sinyalizasyon sistemi

4.1.1. Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi

Sabit zamanlı sistemlerde sinyalizasyonda kullanılan devre ve faz süreleri gibi parametreler önceden belirlenerek trafik yüküne uygun şekilde araçlara doğru sıra ve önceden belirlenmiş sabit bir devre süresiyle geçiş hakkı verilmektedir. Sinyalizasyonda kullanılan süreler trafik yüküne bağlı olduğu için sistemin sorunsuz işleyebilmesi için çok sayıda ve dikkatli şekilde sayımlar yapılmalıdır (Korkmaz, 2019).

Bu sistem trafik akımlarının gün içerisinde zirve saatlerde değişiklik göstermesi, trafikte beklenmeyen dalgalanmaların oluşması, mevsimsel olarak değişen trafik yükü yoğunluğu gibi koşullarda kavşak performansını olumsuz etkilemekte ve gecikmeleri artırmaktadır. Bu durum gecikmeyi meydana getiren durumun tespit edilerek değişen trafik akımına göre farklı zaman dilimlerine programlanabilir.

4.1.2. Trafik Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Trafik uyarmalı sistemler sabit zamanlı sistemlerden farklı olarak kavşak kollarındaki trafiğe göre geçiş sırasının belirlendiği ve devre süresinin sabit kalmadığı değişim gösteren sistemlerdir. Kendi içerisinde yarı trafik uyarmalı sistem ve tam trafik uyarmalı sistem olarak iki gruba ayrılır.

Yarı trafik uyarmalı sistemlerde ana yol olarak belirlenen yol üzerindeki akım referans alınarak kesintisiz olarak yeşil ışık verilir ve yan yollardan gelecek olan uyarı doğrultusunda bu yollara geçiş hakkı verilmektedir.

Tam trafik uyarmalı sistemlerde geçiş hakkı ve geçiş süresi trafik yüküne göre kollarda bulunan sensörler aracılığıyla belirlenmektedir.

4.1.3. Yaya Uyarmalı Sinyalizasyon Sistemi

Yaya uyarmalı sistemler kavşaklarda veya kavşaklardan uzakta yer alan yaya geçitlerinde yayanın butona basarak uyarı oluşturmaya geçiş hakkı verildiği bunun dışında devamlı olarak taşıtlara yeşil ışık yakılarak gecikmelerin azaltıldığı sistemlerdir. Sabit zamanlı ve trafik uyarmalı sistemlerle birlikte çalışmaları sağlanarak da kullanılmaktadır (Korkmaz, 2019).

4.1.4. El ile Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi

Manüel işletme olarak da adlandırılan bu sistemin çalışma prensibi trafik uyarmalı ve yaya uyarmalı sistemle benzerlik göstermektedir. Genellikle sabit zamanlı sistemlerin kullanıldığı fakat trafik akımlarının değişkenlik gösterdiği kavşaklarda ışıklı sinyal grupları bir kumanda yönetimine bağlanarak sinyallerin dışarıdan yapılan gözlem ve değerlendirmeler doğrultusunda yönetilmesi prensibiyle çalışmaktadır.

4.2. Koordine Sinyalizasyon Sistemleri

Aynı ana yola ait güzergâhta bulunan kavşakların meydana getirdiği tıkanıklık ve gecikmelerin azaltılması amacıyla kavşakların sinyalizasyonlarının uyumlu çalışacak şekilde birlikte hesaplandığı sistemlerdir. Koordine sistemler çoğunlukla ana yol trafiği için uygulanırken bazı durumlarda diğer yönlerdeki trafik yoğunluğunun azaltılması durumları içinde kullanılmaktadır. Koordine sinyalizasyon sistemlerinde dört farklı şekilde incelenmektedir.

- Senkronize sistem
- Alternatif Sistem
- Progresif Sistem
- Arazi Trafik Kontrol Sistemi

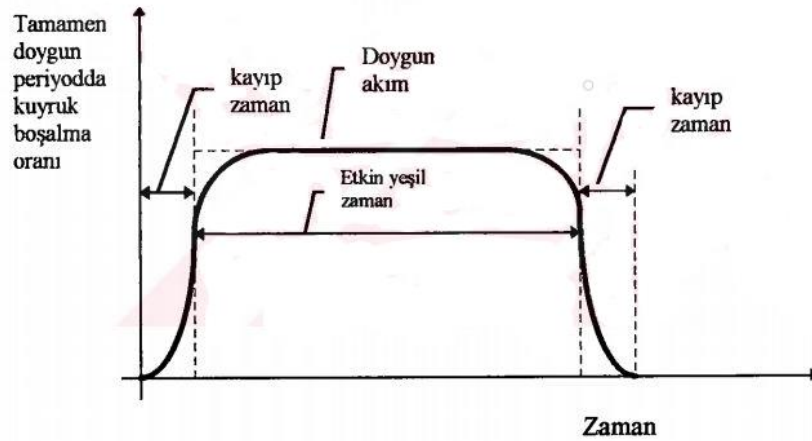
4.3. Sinyalizasyon Hesaplarında Kullanılan Yöntemler

4.3.1. Webster (İngiliz) Yöntemi

1958 yılında İngiltere’de Webster tarafından önerildiği için İngiliz yöntemi veya Webster yöntemi olarak bilinen bu yöntem sinyalizasyon süre hesabı için yapılan ilk çalışmadır ve daha sonra yapılacak çalışmalara öncülük etmiştir. Yöntem, sinyalize bir kavşağın kapasitesini kavşaktan geçebilecek taşıt sayısı, yeşil süresince kavşaktan en fazla geçen araç sayısı ve trafiğin sürdüğü yeşil süre gibi parametrelere bağlı olduğu temeline dayanır.

- **Kapasite Hesabı:**

Webster yöntemine göre doygun akım kırmızı ışıktaki bekleyen araçların yeşil ışık yandığında kavşağı kolunu boşaltmaya başladığı sabit oran olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.1. Doygun akım grafiği

Kaynak: (Murat, 1996: 47)

Kavşak kolu kapasitesi (ta/sn): Kavşaktan geçmekte olan trafik akımının kapasitesi doygun akımın etkin yeşil süre ve devre süresi oranı ile çarpılmasıyla bulunmaktadır.

$$Q = s \left(\frac{g}{C} \right) \quad (4.1)$$

Q = Kapasite, **S**=Doygun akım(ta/sa), **g** = Etkin yeşil süre (sn), **C**=Devre süresi (sn)

Etkin yeşil süre (sn): Toplam yeşil süresinden kayıp sürelerin çıkartılmasıyla bulunmaktadır.

$$g = G - I \quad (4.2)$$

g = Etkin yeşil süre (sn), **G** = Yeşil+sarı periyot (sn), **I**= Kayıp süre (sn)

- **Doygun Akım Hesabı**

Doygun akım ve kayıp zamanın saptanmasında arazi ölçümleri asıl istenendir fakat uygulamada bunun gerçekleştirilmesi oldukça zordur. Bu nedenle doymun akım; yaklaşım genişliği, eğim, trafik kompozisyonu, sağa ve sola dönen akımlar, yaya etkisi ve park eden taşıtlar etkisi gibi birçok parametreye göre düzeltmeler yapılarak tahmin edilmektedir (Murat, 1996).

Yaklaşım genişliği etkisi: S ta/sa cinsinden doymun akımı, w yaklaşım kolu genişliğini belirtir.

$$S = 160w \quad (4.3)$$

Eğim etkisi: Doymun akım her %1 çıkış eğiminde %3 azalır, her %1 iniş eğiminde %3 artmaktadır.

Trafik kompozisyonu etkisi: Trafikte bulunan farklı araç türlerinin doymun akıma olan etkisi hesaplanırken birim otomobil cinsinden düzeltmeleri yapılır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Farklı tür araçların otomobil birim karşılıkları

1 ağır yük taşıyan araç	1.75 bo
1 otobüs	2.25 bo
1 tramvay	2.50 bo
1 hafif yük aracı	1.00 bo
1 motosiklet	0.33 bo
1 bisiklet	0.20 bo

Kaynak: (Webster ve Cobbe, 1966: Karagöz'den (2018:15))

Sola dönen trafik etkisi: Kavşak kapasitesi, zıt yönde sola dönüş yapan trafik akımı tıkanmalara sebep oluyorsa olumsuz etkilenmektedir. Buna genellikle aşağıda bahsedilen 4 durum sebep olmaktadır.

1. Zıt yönde akım yok, tekil sola dönüş şeridi yoksa → dönüş akımı dikkate alınmaz ve diğer kurallara göre doymun akım tahmini yapılır.
2. Zıt yönde akım yok, tekil sola dönüş şeridi varsa → Sola dönen akım için ayrı bir doymun akım değeri bulunur. Bu doymun akım değeri, akım dik açıyla dönüyorsa dönüş yarıçapına (r) bağlıdır.

$$\text{Tek şeritli için} \quad S = \frac{1800}{1 + \frac{5}{r}} \text{ bo/sa} \quad (4.4)$$

$$\text{Çifte şerit için} \quad S = \frac{3000}{1 + \frac{5}{r}} \text{ bo/sa} \quad (4.5)$$

3. Zıt yönde akım var, tekil sola dönüş şeridi yoksa → Sola dönenler için 3 durum meydana gelir. İlk durumda zıt trafik nedeniyle araçlar dönüş yapmayan diğer araçları ve kendini geciktirirler. İkinci durumda sola dönecek olan taşıt dönmeden direkt geçecekler engel olarak gecikmeye neden olur. Üçüncü durumda yeşil sürenin sonunda sola dönecek olan taşıtlar hala kavşak içerisinde bulunduğunda kavşağın boşalması için belirli bir süreyi işgal ederek geçiş fazının geç başlamasına neden olur.
4. Zıt yönde akım var, özel sola dönüş şeridi varsa → aynı yaklaşım koluna ait düz giden trafikte gecikme meydana gelmemelidir. Fakat sola dönecek olan taşıtlarda geçiş fazında etki edebilir.

Sağa dönen trafik etkisi: Sağa dönen trafiğin doymuş akıma olan etkisi yaya akımlarına ve dönüş sayısına bağlıdır. Sağa dönüş yapan araçlar akımın %10'undan daha az olduğu durumlarda herhangi bir düzeltme gerekmez, akımın %10'undan fazla olduğu durumlarda 1 sağa dönen taşıt = 1.25 düz giden taşıt şeklinde kabul yapılmaktadır.

Yaya etkisi: Yaya etkisinin fazla olduğu durumlar için ayrı faz düzenlenerek sola dönen trafik etkisine de ayrıca bakılmalıdır.

Park eden araçların etkisi: Kavşaktaki dur çizgisinde park olduğu durumlarda yol genişliği park genişliği kadar azaltılmaktadır. Kayıp yol genişliği:

$$W_{\text{kayıp}} = 5.5 - \frac{0.9 \cdot (z - 25)}{9} \quad (4.6)$$

$W_{\text{kayıp}}$ = Park eden taşıtın neden olduğu şerit genişliğinde meydana gelen kayıp (m),

z = Park eden taşıtın dur çizgisine uzaklığı (m)

- **Kayıp Zaman**

Bu yöntemle göre yapılan devre süresi hesabında taşıt başına düşen ortalama gecikmeyi minimum hale getiren devre uzunluğu kayıp zamana ve fazların kullanılma değerlerine bağlı olmaktadır. Kayıp zamanın belirlenmesi için Londra’da yapılan deney ve araştırmalarda ortalama bir sinyal devresi için başlangıç gecikmesi ve yavaşlayan akımdan kaynaklanan kayıp zamanların her bir faz içi yaklaşık 2 sn olduğu tespit edilmiştir. Fakat akımların çok değişken olduğu durumlar için 0-7 sn aralığında da olabileceği tespit edilmiştir (Murat, 1996).

- **Devre Süresi Hesabı**

Webster yöntemiyle minimum ve optimum devre süresi hesabı 4.7 ve 4.8 de verilen denklemlerle hesaplanmaktadır.

$$C_{\min} = \frac{L}{1 - Y} \quad (4.7)$$

$$C_{\text{opt}} = \frac{\Phi L + 5}{1 - Y} \quad (4.8)$$

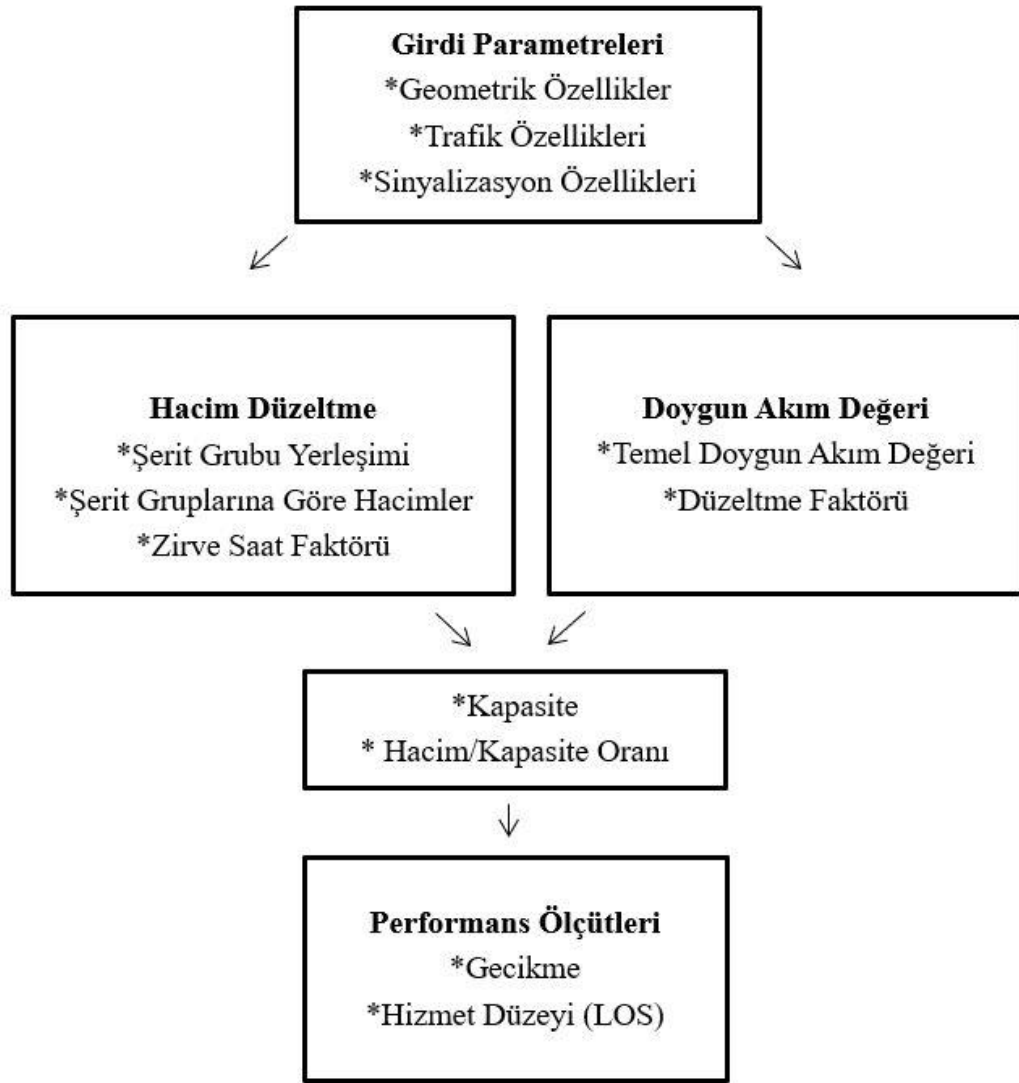
Φ = düzeltme katsayısı

Y = Toplam akım oranı (trafik hacmi/doygun akım oranı)

Optimum devre süresi aynı fazda kayıp zamanı minimum olan kavşak kolu seçilerek hesaplanmaktadır. Denklemden yer alan Φ düzeltme katsayısı 1.25 ve 1.98 arasında bir değerdir. Maksimum devre süresi 120 sn. veya daha az olması gerekmektedir ancak 150 sn.ye kadar da kabul edilebilir. Üç veya üçten fazla faza sahip olan çok fazlı devreler için $\Phi = 1.5$ alınmaktadır (Murat, 1996).

4.3.2. Highway Capacity Manual (Amerikan) Yöntemi

Sinyalizasyon hesaplamasında kullanılan bir başka yöntem olarak Amerikan yönteminde kavşak yaklaşım kollarına ait kapasite-hizmet düzeyleri ve kavşağın tamamına ait olan hizmet düzeyi bulunacak şekilde hesap yapılmaktadır. Kapasite hesabında hacmin kapasiteye oranlanması, hizmet düzeyi belirlenmesine ise kavşaktaki araçlar için araç başına düşen ortalama duruş gecikmesi esas alınmaktadır (Murat, 1996). HCM yönteminde hesaplamalar Şekil 4.2 de görüldüğü gibi 5 bölümde yapılmaktadır.



Şekil 4.2. Amerikan (HCM) yönteminde kullanılan yöntem şeması

Kaynak: (HCM, 2000: Eraslan'dan (2008:8))

Hizmet Düzeyi

HCM yönteminde hizmet düzeyi belirleme gecikme sonuçlarına göre yapılmaktadır. Hizmet düzeyi en iyi olan A'dan en kötü olan F'ye kadar 6 farklı sınıf bulunmaktadır ve araç başına düşen kontrol gecikmesine göre kavşağın hizmet sınıfı belirlenmektedir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Hizmet düzeyi belirleme tablosu

Hizmet Düzeyi (LOS)	Araç Başına Kontrol Gecikmesi (sn/araç)
A	≤ 10
B	$>10-20$
C	$>20-35$
D	$>35-55$
E	$>55-80$
F	>80

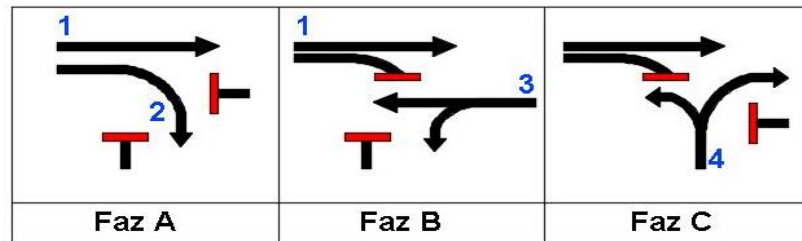
Kaynak: (HCM, 2000)

4.3.3. Avustralya (Akçelik) Yöntemi

Kavşak analizinde kullanılan Dr. Rahmi Akçelik'in geliştirmiş olduğu ve Avustralya Yol Araştırmaları Kurumu aracılığıyla yayımlanan bu yöntem Avustralya veya Akçelik yöntemi olarak bilinmektedir. Diğer yöntemlere kıyasla fazlı yöntem yerine akımla ilişkili yöntem kullanılarak farklı bir bakış açısı getirilmiştir. Belirlenen kritik akımlara göre kayıp zaman, devre süresi ve yeşil süre hesabı yapılmaktadır. Sinyalizasyon analizinde kullanılan SIDRA programının temeli Avustralya yöntemine dayanmaktadır (Murat, 1996).

Faz ve Akım

Yön, faz durumu, şerit işgaliyle nitelendirilen kavşak noktasına gelen her kuyruk akım olarak adlandırılır. Birden fazla geçiş hakkına sahip oldukları durumda tekrarlı akım, kavşak kapasitesini ve gerekli süreleri belirleyen akım kritik akımdır. Faz kavramı sinyalizasyondaki bir veya daha fazla akımın geçiş hakkı elde ettiği devrenin bir modülüdür (Murat, 1996). Avustralya yönteminde akımların başlangıç ve bitişlerini gösteren faz diyagramı ve faz matrisi kullanılmaktadır (Şekil 4.3) (Tablo 4.3).



Şekil 4.3. Örnek faz şeması

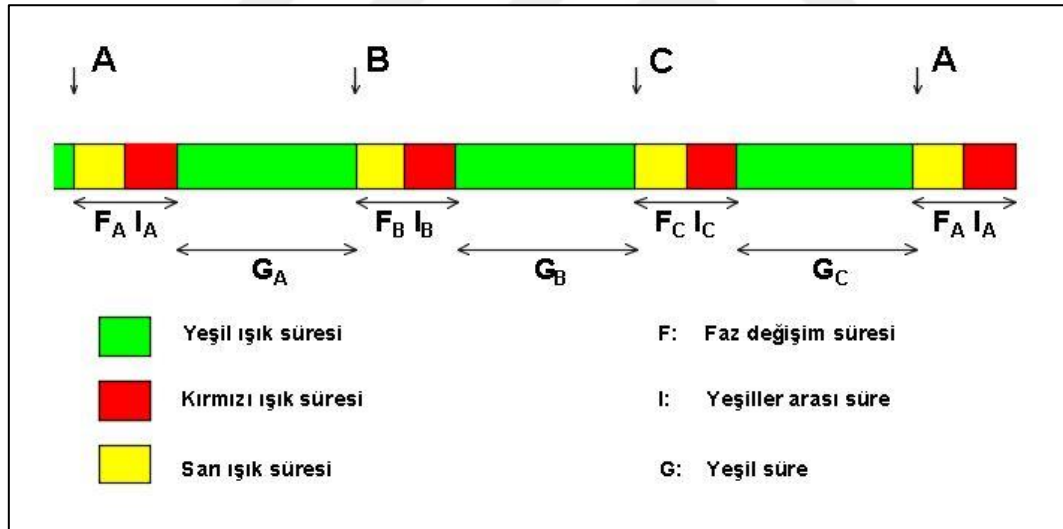
Kaynak: (Akçelik, 1998:2)

Tablo 4.3. Faz-Akım matrisi tablosu

Akım	Başlangıç Fazı	Bitiş Fazı
1	A	C
2	A	B
3	B	C
4	C	A

Kaynak: (Akçelik, 1998:2)Sinyal Devresi

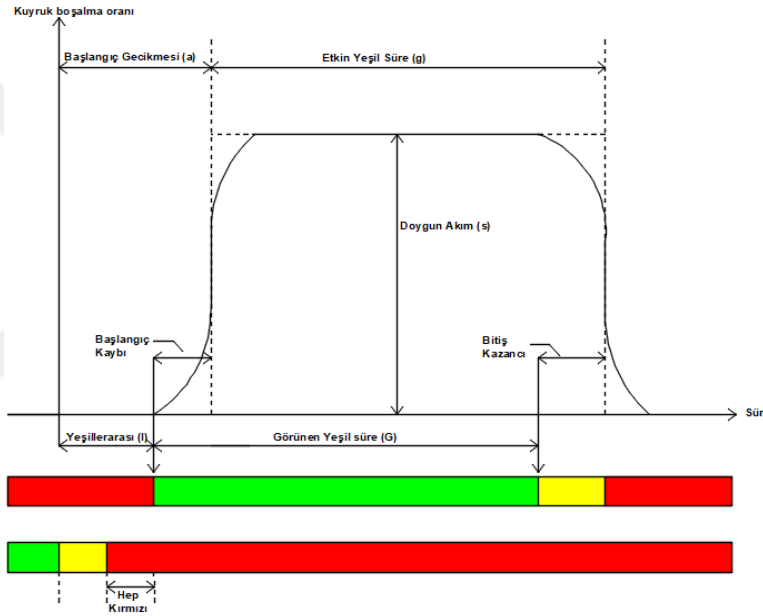
Sinyal devresi yeşil, sarı ve kırmızı ışıkların birbiri ardına sıralandığı sinyal fazlarının toplamında oluşmaktadır. Bir sinyal fazında yeşil sürenin bitişinden sonra hemen bir sonraki fazda yeşil sürenin başlangıcı arasına geçen süreye yeşiller arası süre denilmektedir ve devre süresi hesabında kullanılmaktadır. Örneği verilmiş olan faz şemasına ait sinyal devre diyagramı Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

**Şekil 4.4.** Örnek faz diyagramı için sinyal devre diyagramı**Kaynak:** (Murat, 1996:35)

Şekil 4.4'te G_A ifadesi A fazı için, G_B→ B fazı için, G_C→ C fazı için yeşil ışık süresini temsil etmektedir. F sembolü faz değişim süresini, I sembolü yeşiller arası süre anlamına gelmektedir.

Akıma Ait Özellikler

Temel akım karakteristikleri modeline göre kavşak yaklaşım kolunda beklemekte olan araçlar yeşil ışıkla birlikte harekete geçerek doyma akımı veya doymun akım olarak adlandırılan sabit bir oranda kavşağa giriş yaparlar. Başlangıç aşamasında araçlar kuyrukta bekledikleri için hareketleri yavaşır ve harekete geçene kadar bir kayıp süre meydana gelmektedir. Bu kayıp süre başlangıç kaybı olarak adlandırılmaktadır. Benzer diğer durumda doymun akıma ulaştıktan sonra yeşil ışık sönüp sarı ışığın yanmasıyla kavşakta hareket etmeye devam eden taşıtların bulunduğu akım kolunun yeşiline ekledikleri sürede görülür. Bu durumda bitiş kazancı olarak adlandırılmaktadır (Murat, 1996:37) (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Temel akım karakteristikleri modeli

Kaynak: (Murat, 1996:36)

5.YÖNTEM, ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu bölümde çalışmada akademik lisansı alınan PTV Vissim programının kullanımı, içeriği, çalışma yapılan kavşağa ait bilgiler ve yapılan analizler sonucu elde edilen veriler yer almaktadır.

5.1 PTV Vissim Programı

Vissim trafikte karmaşık araç ilişkilerinin gerçekçi şekilde simüle edilmesini, otobüs metro gibi toplu taşıma araçları işletmelerinin modellenmesini ve analiz edilmesini sağlayan PTV GmbH tarafından geliştirilmiş mikroskobik simülasyon programıdır. Mikrosimülasyon yazılımları araç takibi ve araç şerit değiştirme hareketlerini temel alarak araç hareketlerinin gerçekte olan yansımasını ortaya koyar. Simülasyon sırasında trafiğin gözlemlenmesine ve performans parametrelerine ilişkin verilerin anlık takibine olanak sağlar. Vissim, kavşak bölgelerinin veya bir ulaşım ağının gecikme, seyahat süresi, ortalama hız, yakıt tüketimi, CO emisyonu gibi performansı etkileyen parametrelerle analiz yapmayı sağlamaktadır. Dolayısıyla trafiğe ait problemlerin çözüme kavuşturulmasında, mevcut trafik koşullarının iyileştirilmesine öneriler sunmaktadır.

Çalışma yapılacak kavşaklar belirlendikten sonra mevcut duruma ait hacim ve sinyal verileri elde edilir. Bu veriler doğrultusunda programda bir ağ oluşturularak simülasyonlar başlatılır. Temel verilerin tanımlanması, bir ağ oluşturulması ve simülasyonun başlatılması için gerekli adımlar aşağıda sıralanmıştır (PTV AG, 2021).

- Vissim açılarak yeni bir ağ dosyası kaydedilir.
- Simülasyon parametreleri programa tanımlanır.
- İstenen hız dağılımları, araç tipleri ve araç bileşimleri eldeki veriler doğrultusunda programa girilir.
- Elimizde seçtiğimiz proje alanı arka plana görüntü olarak yüklenir, ölçeklendirilir ve kaydedilir.
- Şeritler ve analizde değerlendirmeye alınacaksa yaya geçitleri bağlantı olarak çizilir ve oluşturulan bağlantıların rotalarına uygun olacak şekilde bağlayıcılar oluşturulur.
- Araçların kavşak alanına giriş yaptığı bağlantının uç noktalarına araç girişleri yapılır ve her kolun dönüş yaptığı rota kararları ve değerleri girilir. (Yaya değerlendirmesi dahilse yaya girişleri ve yaya yönlendirme kararları da modele dahil edilmelidir.)

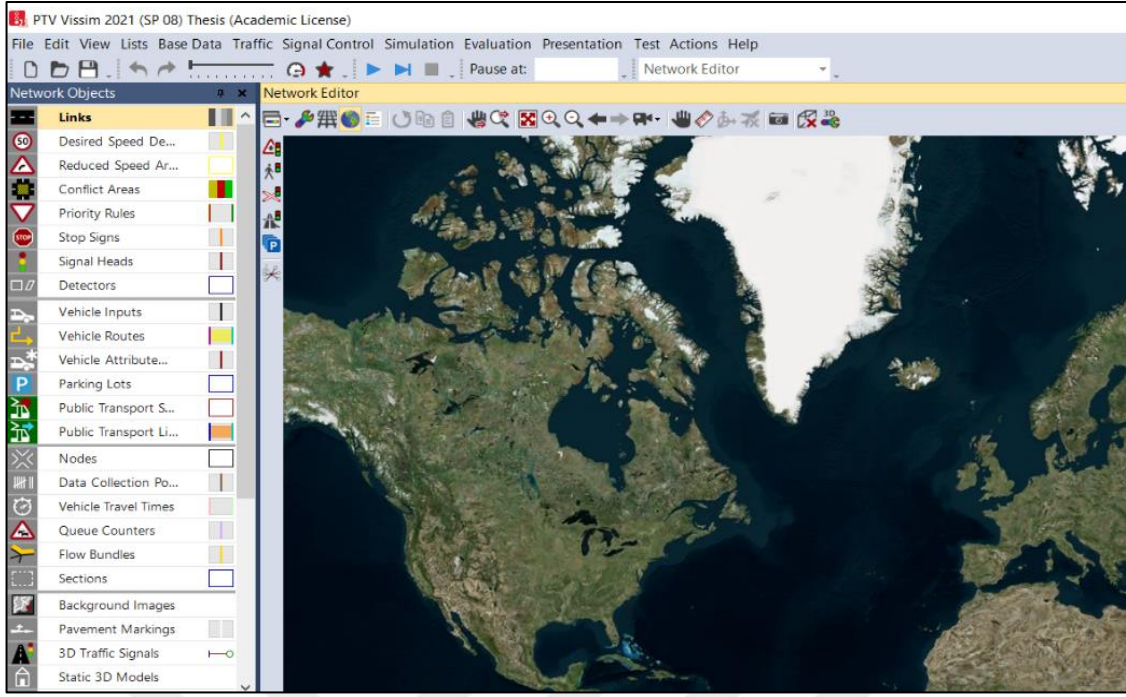
- Azaltılmış hız alanları için istenilen hız değışiklikleri tanımlanır.
- Eğer sinyalizasyon olmayan kavşak modeli tanımlanıyorsa çatışma alanları tanımlanır ve özel durumlar için öncelik kuralları tanımlanmalıdır.
- Sinyalize kavşaklarda sinyal grupları tanımlanır, devre süresi ve gerekli zaman değerleri girildikten sonra bağlayıcılarda gerekli yerlere sinyal başlıkları yerleştirilir.
- Kırmızı ışıktaki sağa dönen araçlar için dur levhaları yerleştirilir. Kırmızı ışık ve yaya geçitlerinde çakışan sola dönüş yapan araçlar için öncelik kuralları girilmelidir.
- Değerlendirmeler etkinleştirilerek (seyahat süreleri, gecikmeler, kuyruk sayacı vb.) simülasyon gerçekleştirilir.

Programın verdiği sonuçlar irdelenir öneriler doğrultusunda kavşak tasarımında ve bazı verilerde değışiklik yapılarak yeni sonuçlar elde edilir. Mevcut kavşak durumuna en yakın analiz sonuçları ve yeni öneriler doğrultusunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak iyileştirme sağlayacak tavsiyeler verilir.

Vissim programının sol kenarında yer alan ağ nesneleri bölümünden bağlantı çizimleri, hız kararları, hız azaltma bölgeleri, çatışma alanları, geçiş önceliği kuralları, sinyal başlıkları, duruş işaretleri, araç girdi ve rota belirleme vb. tasarım parametreleri yer almaktadır. Bu alanlarda listeleri göster seçeneğinden gerekli ayarlama ve girdiler yapılmaktadır. Gerekli objenin seçilmesi ve çalışma alanında uygulandıktan sonra listeden düzenleme prensibiyle girdiler yapılmaktadır.

Ağ editörü başlığı altında bulunan alanda harita seçenekleri, ızgara ayarı ile bağlantı ve bağlayıcıları kontrol etme, harita veya düz ızgaralı zemin şeklinde arka planı ayarlama, 3 boyutlu hale getirme ve detaylı gözlemlene gibi seçenekler bulunmaktadır.

En üst bölümünde dosya, düzenleme, temel veriler, trafik ile ilgili ayarlar, sinyalizasyon ayarları, simülasyon parametrelerini düzenleme, değerlendirme gibi başlıklar bulunmaktadır. (Şekil 5.1)



Şekil 5.1. PTV Vissim ara yüzü

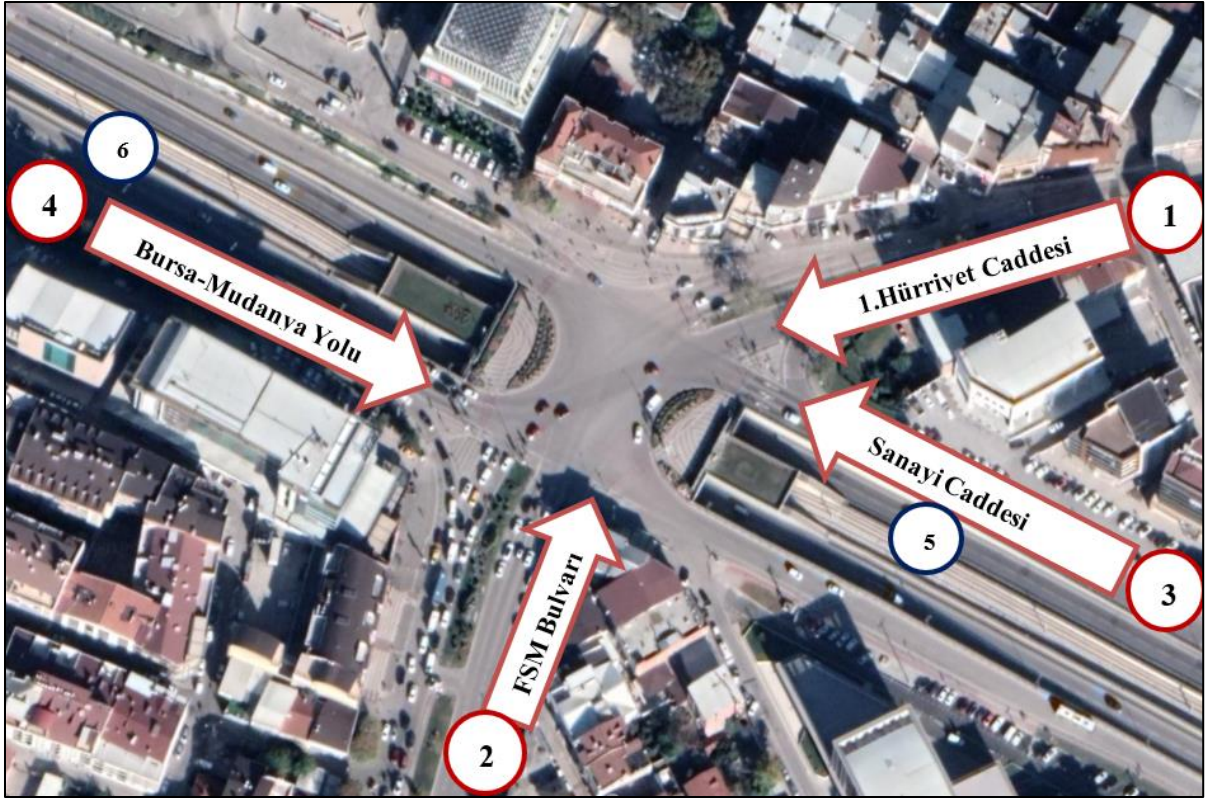
5.2. Esentepe Kavşağı

Tez kapsamında Bursa Esentepe kavşağı çalışma alanı olarak belirlenmiştir ve Vissim programının kullanımı da bu kavşak üzerinde detaylandırılmıştır.

5.2.1. Esentepe Kavşağı Hakkında Genel Bilgiler

Çalışmada incelenen Esentepe Kavşağı; Mudanya Bulvarı, Sanayi Caddesi, Fatih Sultan Mehmet Bulvarı ve 1. Hürriyet Caddesine ait olan kolların kesişiminde yer almaktadır ve hem transit hem de kent içi trafiğe hizmet vermektedir. İncelemelerde kent içi trafiğe hizmet eden dört kollu sinyalizasyon eşdüzey kavşak olarak işletilmekte olan kısım ele alınmıştır (Şekil 5.2). Esentepe Kavşağı'nda 2018 yılında Fatih Sultan Mehmet Bulvarı istikametinden Esentepe Kavşağı'na bağlanan kol üzerinde orta refüj bölgesinde kalan yeşil bölge daraltılarak ilave şeritler eklenmiş ve kavşak ortasında bulunan merkez ada kaldırılarak sinyalizasyon kavşağın daha aktif çalışmasını sağlayacak iyileştirmeler yapılmıştır.

Kavşağın kent içi ulaşımında kritik bağlantı bölgelerinden birinde bulunması, kentin nüfusunun zamanla artmaya devam etmesi gibi sebeplerden dolayı trafik özellikle zirve saatlerde oldukça yoğun hal almaktadır. Bu da kavşağın çalışma alanı olarak seçilmesinde etken olmuştur.



Şekil 5.2. Esentepe Kavşağı uydu görüntüsü

5.2.2. Esentepe Kavşağı Zirve Saat Trafik Hacim Verileri

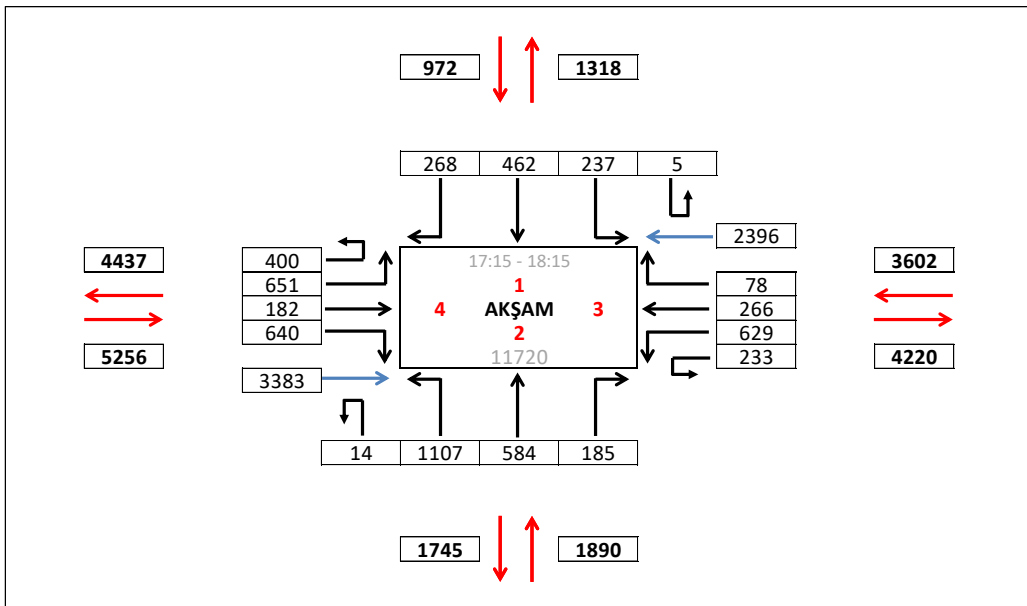
Çalışmada kullanılacak güncel trafik hacim verileri Bursa Büyükşehir Belediyesi Trafik Şube Müdürlüğü'nden alınmıştır. Kavşak içerisinde sabah zirve saatinde (07.45-08.45) 11107, öğlen zirve saatinde (13.00-14.00) 9224, akşam zirve saatinde (17.15-18.15) 11720 araç geçtiği verilerde görülmüştür. Araçlar tabloda birim otomobil olarak hesaplanmıştır. Trafik hacim matrisi incelendiğinde tablonun sol bölümünde yukarıdan aşağı yer alan rakamlar araçların çıkış yaptığı kolu, tablonun üstünde yer alan rakamlar giriş yaptığı kolu temsil etmektedir ve değerler hücrelerde yer almaktadır. Tablonun sağındaki değerler ise birim otomobil cinsinden saatlik geçen araç sayısıdır. Çalışma alanında trafik yoğunluğunun en fazla akşam zirve saati olduğu görülmektedir ve toplam hacim değeri 11720 bo/sa'dır. (Tablo 5.1) Bu nedenle en yoğun olan akşam zirve saatine ait hacim değerleri alınarak analizlerde bu değerler kullanılmıştır.

Tablo 5.1. Esentepe Kavşağı trafik hacim matrisi

	1	2	3	4	5	6	Genel Toplam
SABAH	1355	1730	851	1779	2967	2425	11107
1	0	646	341	299	0	0	1286
2	698	0	144	1076	0	0	1918
3	51	582	157	171	0	0	961
4	606	502	209	233	0	0	1550
5	0	0	0	0	0	2425	2425
6	0	0	0	0	2967	0	2967
ÖĞLE	1045	1564	937	1578	2165	1935	9224
1	2	379	260	212	0	0	853
2	465	9	227	923	0	0	1624
3	101	501	233	197	0	0	1032
4	477	675	217	246	0	0	1615
5	0	0	0	0	0	1935	1935
6	0	0	0	0	2165	0	2165
AKŞAM	1318	1745	837	2041	3383	2396	11720
1	5	462	237	268	0	0	972
2	584	14	185	1107	0	0	1890
3	78	629	233	266	0	0	1206
4	651	640	182	400	0	0	1873
5	0	0	0	0	0	2396	2396
6	0	0	0	0	3383	0	3383

Kaynak: Bursa Büyükşehir Belediyesi Trafik Şube Müdürlüğü

Kavşak kollarının toplam ve rotalara göre dağılım trafik hacimleri hacim şemasında detaylı olarak verilmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Esentepe Kavşağı akşam zirvesi trafik hacim şeması

Kaynak: Bursa Büyükşehir Belediyesi Trafik Şube Müdürlüğü

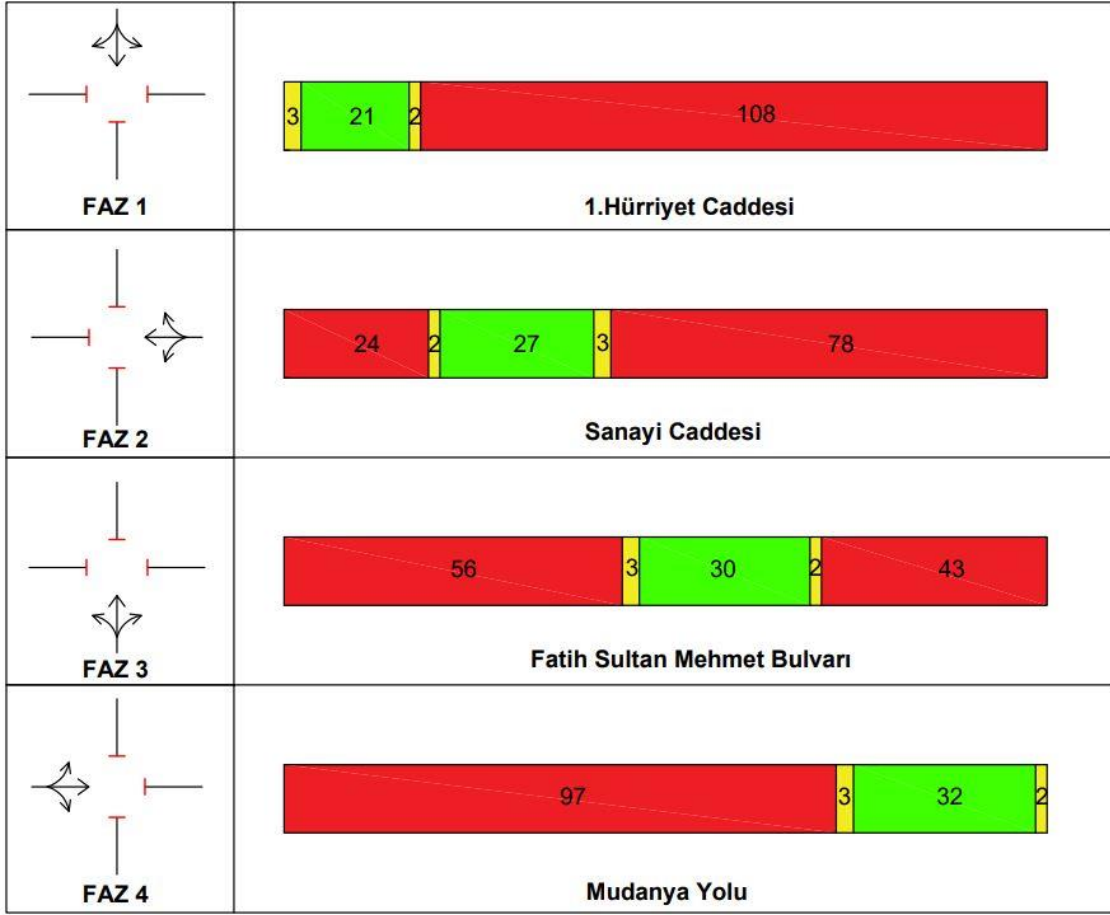
Şemada verilen bilgiler doğrultusunda saatlik hacim değerleri 1 numara ile gösterilen 1.Hürriyet Caddesine ait kolda 972, 2 numaralı FSM Bulvarında 1890, 3 Numaralı Sanayi Caddesi kolunda 1206, Mudanya Bulvarında 1873 araçtır. 3 ve 4 olarak numaralandırılmış kollarda mavi okla gösterilen değerler transit trafiğe aittir. Çalışmada kent içi trafiğe ait eş düzey kavşak incelendiği için transit trafik dikkate alınmamıştır. Trafik yoğunluğu en çok FSM bulvarından gelen kol üzerinde yaşanmaktadır. Aynı kol üzerinde ve ayrıca 3 ve 4 numaralı kollarda sola dönüş miktarının da oldukça fazla olduğu görülmektedir (Şekil 5.3).

5.2.3. Esentepe Kavşağı Sinyal Verileri

Kavşak sinyal sürelerinin tespiti için kavşak noktasına gidilerek sürelerin her kolda sayımı yapılmıştır. Kavşak 4 fazlıdır 1.Hürriyet Caddesi-Sanayi Caddesi-Fatih Sultan Mehmet Bulvarı-Mudanya Yolu sırasıyla trafik akışı gerçekleşmektedir (Şekil 5.4). Devre süresi 134 saniye olarak ölçülmüştür. Ana kollarda bulunan trafik lambaları haricinde Bursa-Mudanya yolunun karşı istikametinde bir trafik lambası daha bulunmaktadır. Bu lamba Hürriyet fazının yeşil süresi içerisinde yaya geçişi için 16 sn. kırmızı, diğer tüm devre süresi boyunca yeşil yanmakta ve diğer kollardaki trafik akışını herhangi bir şekilde etkilememektedir. (Tablo 5.2).

Tablo 5.2. Esentepe Kavşağı mevcut sinyal verileri

	Yeşil	Sarı	Ortak Kırmızı	Sarı+ Kırmızı	Kırmızı
1.Hürriyet Caddesi	21	2	1	3	107
Sanayi Caddesi	27	3	1	2	101
FSM Bulvarı	30	2	1	3	98
Mudanya Yolu	32	2	1	3	96
Mudanya Giriş	118	0	0	0	16



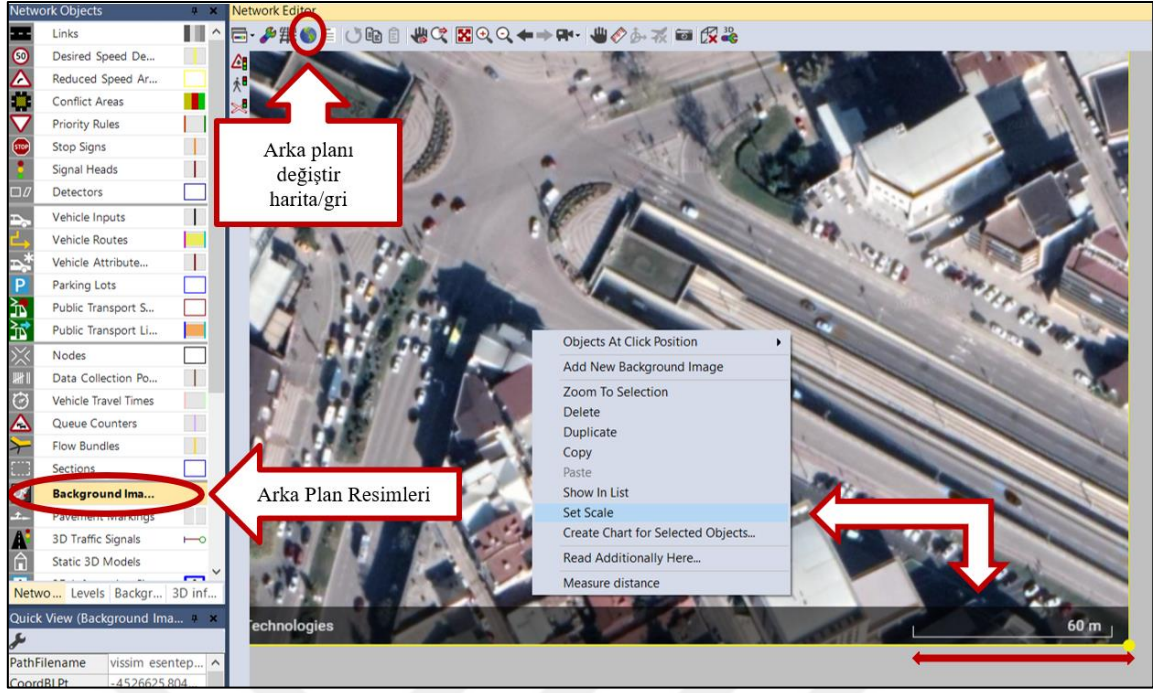
Şekil 5.4. Esentepe Kavşağı faz diyagramı ve sinyal süreleri

5.2.4. Esentepe Kavşağı'nın Programda Modellenmesi

- Arka Plan Ayarı

Programın ara yüzünde de yer alan dünya haritası üzerinden yakınlaştırma yapılarak çalışma alanının bulunduğu nokta bulunur ve arka plan olarak kullanılabilir.

İkinci bir yol ise çalışma alanının uydu görüntüsü veya elimizde olan ve altlık olarak kullanmak istediğimiz fotoğraf programa aktarılır ve ölçeklendirilir. Bunun için öncelikle ağ editörü bölümünde yer alan arka planı değiştir (switch background) kısmından harita kapatılarak arka plan gri forma alınır. Ağ nesnelerinde (Network Object) yer alan arka plan resimleri (Background Images) seçilerek CTRL ve farenin sağ tuşuna basılarak açılan pencere ile altlık olarak kullanılmak istenen görsel program içerisine aktarılır. Görsel sonradan yüklendiği için ölçek ayarı yapmak için ölçeği ayarla seçeneği seçilerek görsel üzerindeki ölçek cetvelinin başlangıcından sonuna kadar fare basılı tutularak düz bir çizgi çizilir ve daha sonra görselde yazan gerçek uzunluk değeri girilir (Şekil 5.5).

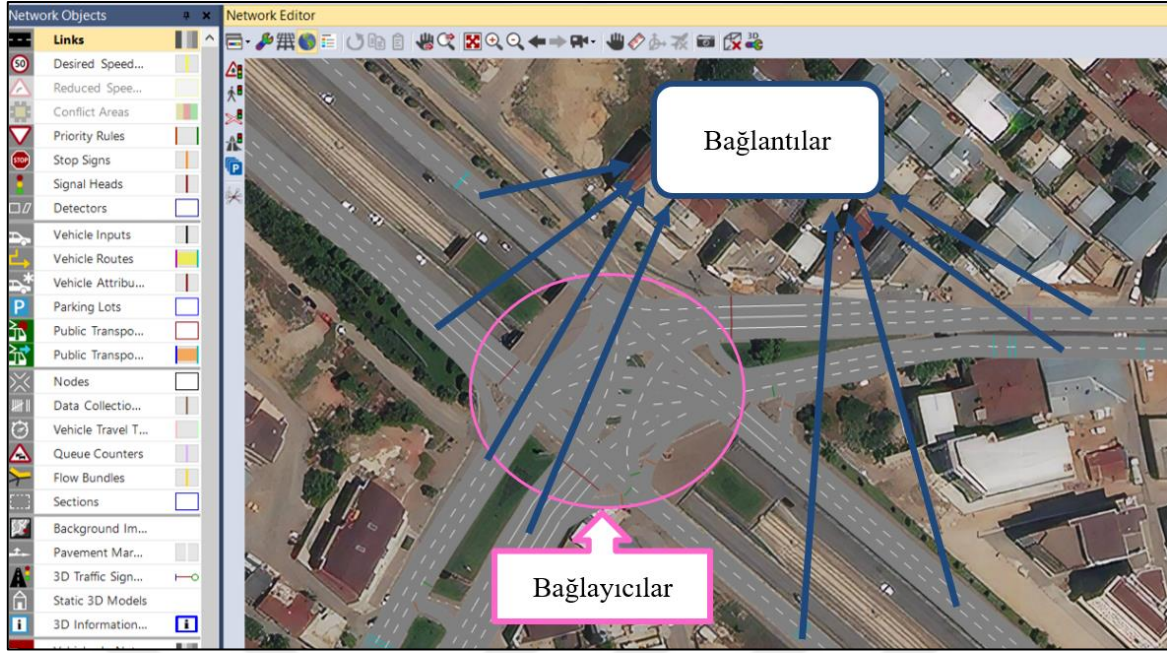


Şekil 5.5. Arka plan ayarı

- Bağlantı ve Bağlayıcıların Çizimi

Programda links olarak belirtilen bağlantılar yolları temsil etmektedir (şehir yolu, otoyol, yaya yolu vb.). Ağ nesneleri kısmında yer alan Links seçeneği seçilerek başlangıç ve bitiş noktasına göre yönleri ayarlanan bağlantılar çalışma alanına uygun olarak çizilir. Bağlantılar tanımlanırken açılan pencerelerde şerit sayısı, şerit genişliği, davranış tipi vb. özellikler ayarlanır.

Programda trafik akışını bir bağlantıdan diğerine geçirmek için bağlayıcılar (connectors) çizilmelidir. Çalışma alanında mevcut olan trafik akışına uygun şekilde her kavşak kolundan güzergahlar doğrultusunda diğer kollara bağlayıcılar yerleştirilir. Bağlayıcıların dönüş sayılarını artırarak daha düzgün eğriler elde etmek mümkündür. Sol bölümde yer alan bağlantılar (Links) seçeneği üzerine gelinerek farenin sağ imlecine tıklandığında açılan listeden listeleri görüntüle seçeneği sayesinde çizilen tüm bağlantılar ve bağlayıcıların özellikleri ve doğrulukları kontrol edilebilir. Programın bu özelliği diğer girdi parametrelerinde de bulunduğu için tüm adımlarda sağlama yapılarak ilerlemeyi mümkün kılmaktadır.

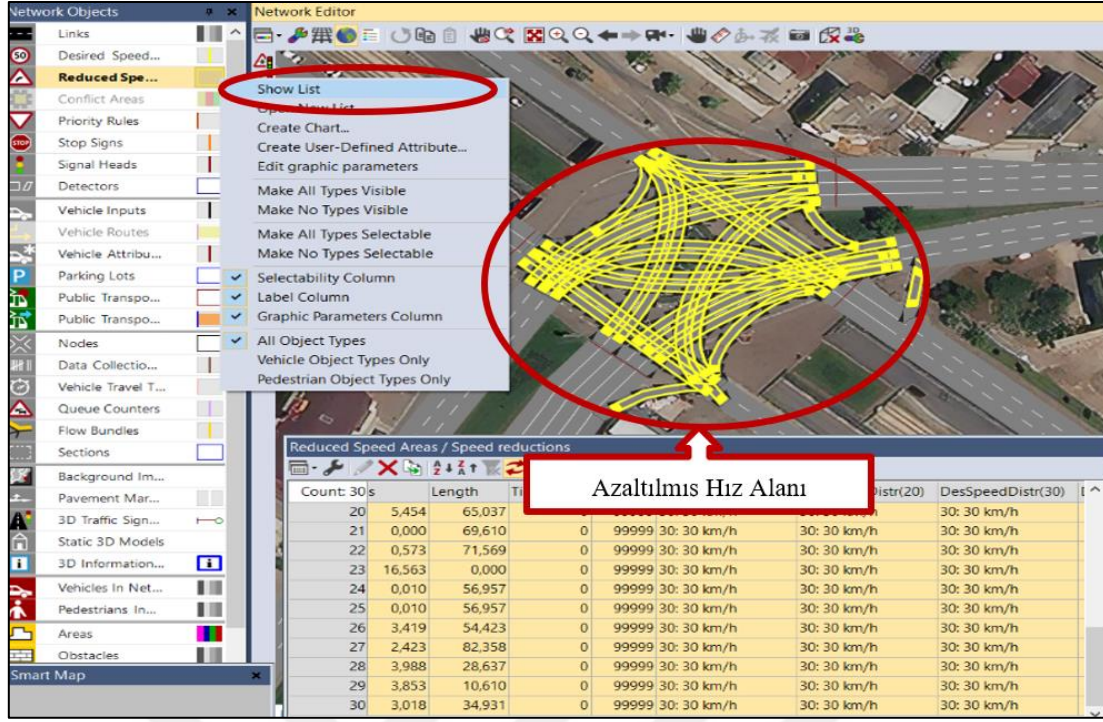


Şekil 5.6. Bağlantılar ve bağlayıcılar

Tüm bunlar dikkate alınarak eş düzey kavşağın tüm kolları ve kollar üzerinde bulunan şeritler çizilmiştir. Daha sonra bağlantılar trafik akışının ilerlediği güzergahlar doğrultusunda bağlayıcılarla bağlanmıştır (Şekil 5.6).

- Azaltılmış hız alanı, varsayılan hız ve araç tipi tanımlama

Azaltılmış hız alanı (Reduced speed area), kavşak dönüş alanı içerisinde araçların daha düşük hıza sahip olmalarını ayarlamaya yarar. Bu özelliği programa tanımlamak için ağ nesnelerinden azaltılmış hız alanı seçildikten sonra CTRL ve farenin sağ tuşuna basılı tutarak her bağlayıcının başından sonuna kadar bu alanlar çizilir. Bağlayıcıda bulunan tüm şeritlere aynı işlem uygulanır. Çalışma alanında azaltılmış hız alanları çizildikten sonra hız sınır bölgesi 30 olduğu için bu değer listelenip detaylı olarak kontrol edildikten sonra istenen hız azaltma hücrelerine tanımlanmıştır (Şekil 5.7).

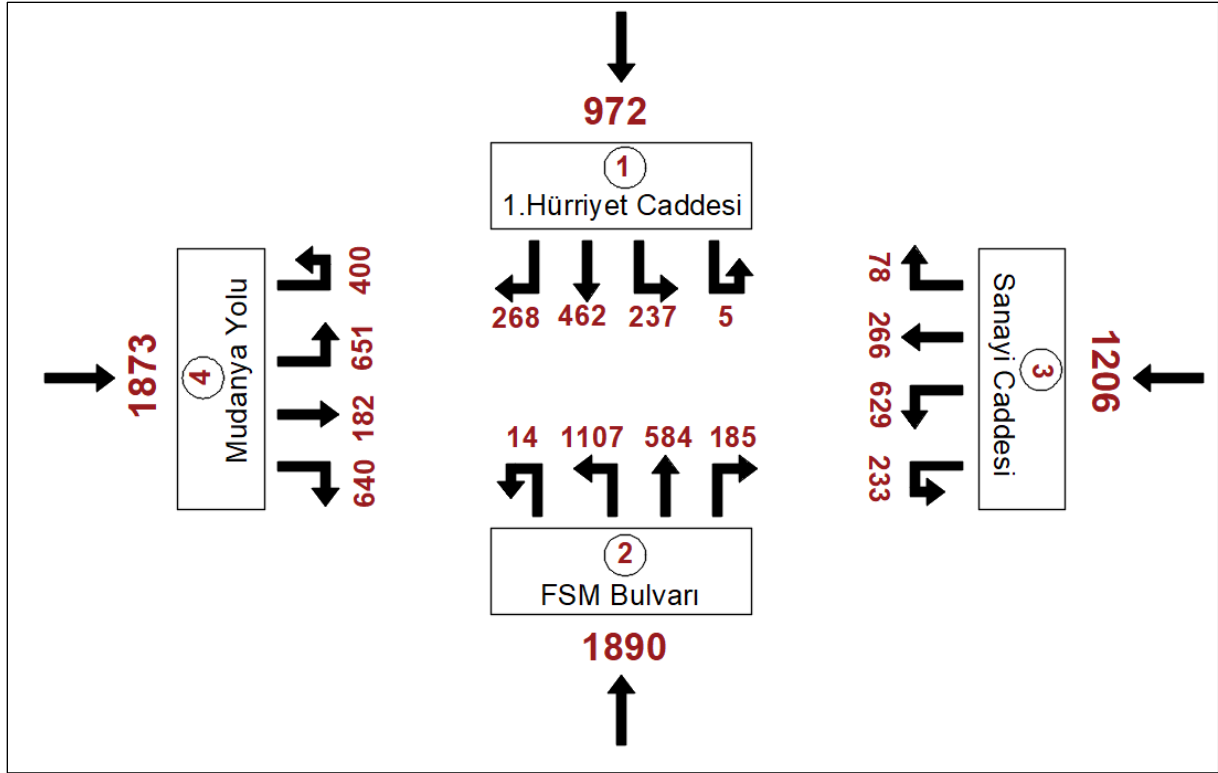


Şekil 5.7. Azaltılmış hız alanı tanımlama

Ayrıca mevcut araç tipini değiştirebilir, tanımlanan her araç tipi için varsayılan hızlar eklenebilir. Programın üst bölümünde yer alan temel başlıklarda bulunan trafik sekmesinden araç kompozisyonları seçilir. Açılan listede hali hazırda programın kendi tanımlamış olduğu araç tipleri mevcuttur. Bu mevcut araç tipleri üzerinde gereken girdiler yapılarak kullanılabilir veya kullanıcı seçimine göre yeni araç tipleri (otomobil, ağır vasıta, otobüs, tramvay, bisiklet,) eklenebilir. Eklenen araç tipi isimlendirilerek istenen hız dağılımı (desired speed distribution) kısmından hızları istenilen şekilde tanımlamak mümkündür.

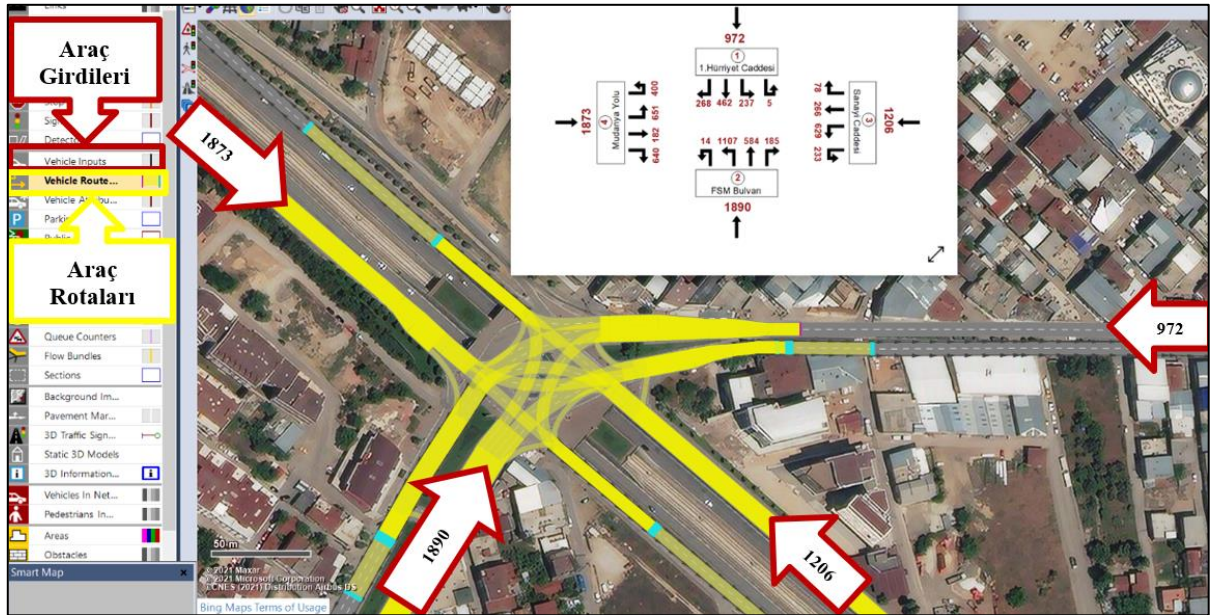
- Araç girdileri ve statik araç rotaları tanımlama

Araç girdileri, ağ nesnelerinden “Vehicle Inputs” seçilerek araçların giriş yaptığı tüm kolları tek tek tanımlanır. Tanımlama giriş yapılan kolun üzerine gelinerek CTRL + farenin sağ imlecine aynı anda basılarak yapılır. Diğer öğelerde de bahsedildiği gibi programda ağ nesnelerindeki parametreler seçildikten sonra çoğunlukla bu kısa yol kullanılarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada dört kollu kavşak ele alındığı için dört tane giriş gerekli bağlantılara eklendikten sonra trafik şube müdürlüğünden alınan trafik hacim şemasındaki hacim değerleri tanımlanmıştır (Şekil 5.8). Giriş bağlantıya eklenirken bağlantının hangi noktasına fare imlecinin basıldığına bir önemi yoktur çünkü Vissim araç girişlerini her zaman başlangıç noktası olan 0 konumundan başlatmaktadır.



Şekil 5.8. Araç girdi değerleri ve rota değerleri

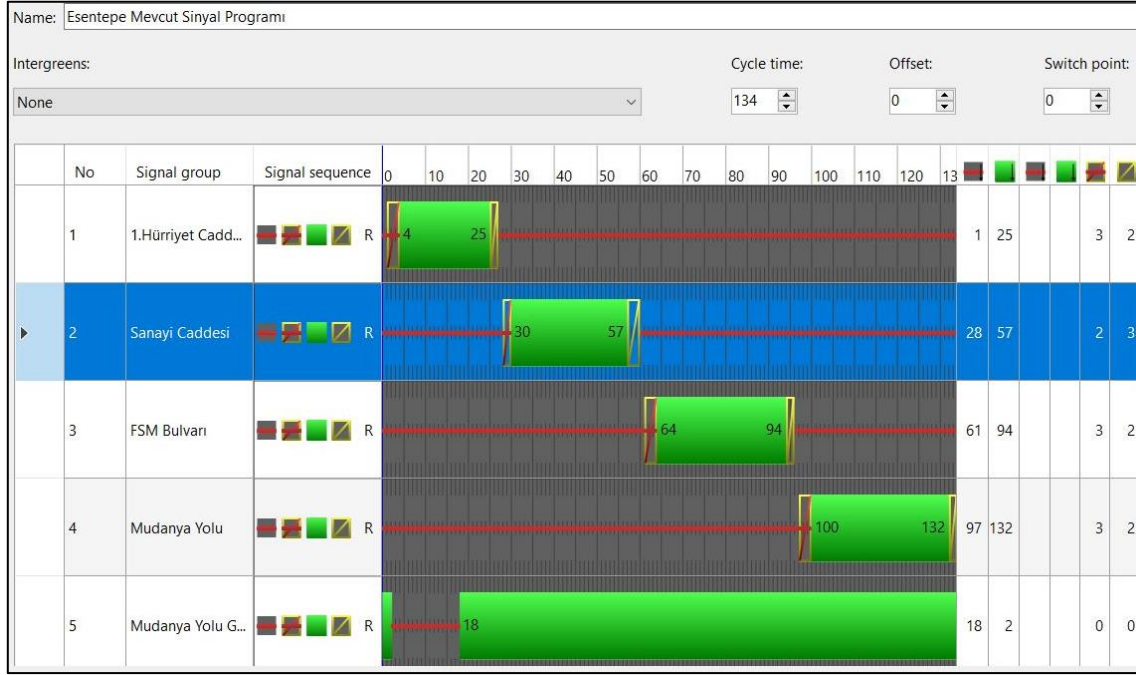
Statik araç rotaları eklemek için “Vehicle Routes (Static)” parametresi seçildikten sonra kavşağın her yaklaşım kolu için bir rota karar noktası belirlenerek diğer yönlerde rotalar oluşturulur. Rotalar oluşturulduktan sonra trafik hacim şemasından gerekli dönüş değerleri programa tanımlanmıştır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Tüm kollara ait araç girdileri ve araç rotaları

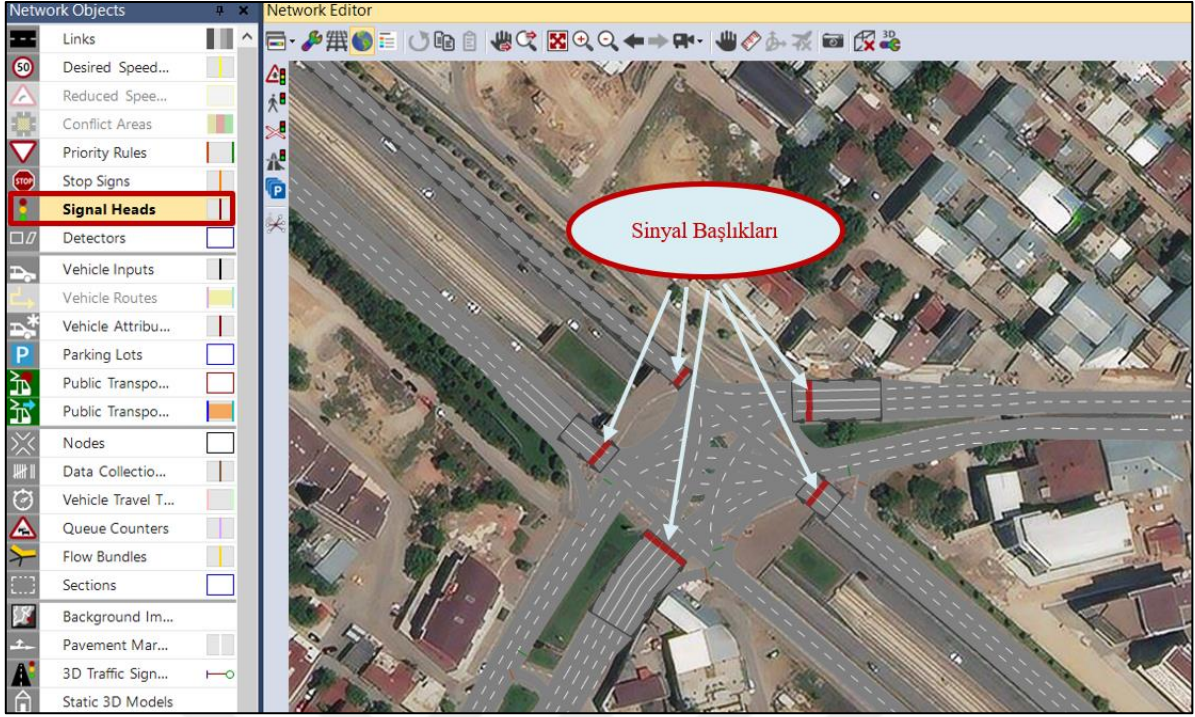
- Sinyal grupları ve sinyal başlıkları tanımlama

Sinyal Kontrol sekmesinden sinyal kontrolörlerine girilerek açılan pencereden kontrol tipi belirlenir ve sinyal kontrolü düzenle butonu ile yazılımın sinyalleri düzenleme programı açılır. (Signal Control-Signal Contollers-Signal Groups-Signal Program) Bu alanda her kol için sinyal grupları sinyal süre değerleri ve tüm kavşak için devre süresi (cycle time) eklenmiştir (Şekil 5.10).



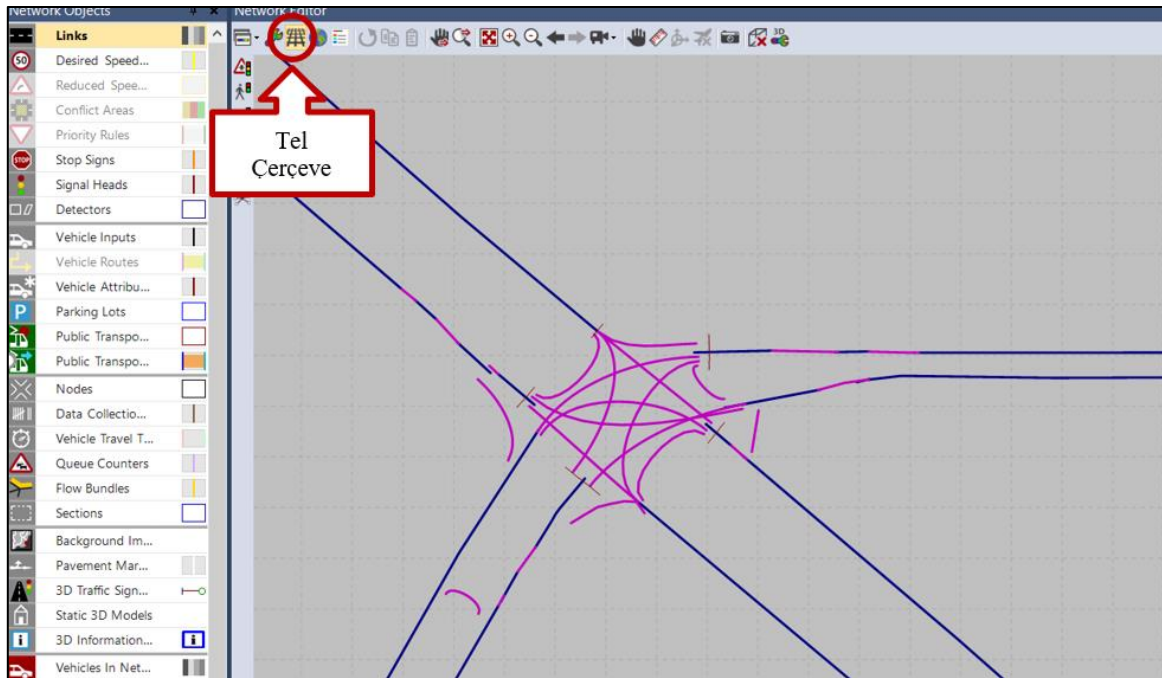
Şekil 5.10. Esentepe Kavşağı temel sinyal grupları ve süreleri

Sinyal verileri girildikten sonra ağ nesneleri kısmından sinyal başlıkları parametresi seçildikten sonra her kol için sinyal başlıkları eklenerek, ekledikten sonra açılan pencereden her bağlantıya kendi sinyal grubu tanımlanır (Şekil 5.11).



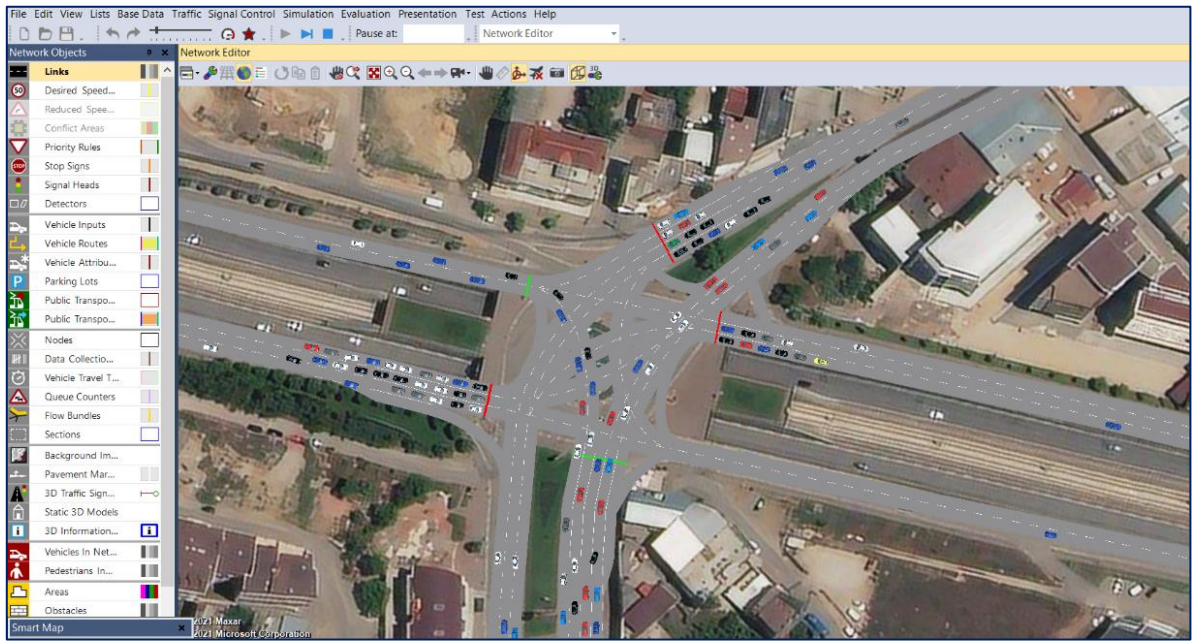
Şekil 5.11. Kavşak alanında sinyal başlıklarının tanımlanması

Sinyal başlıklarının çalışabilmesi için bağlayıcılara değil bağlantılara yerleştirmeye dikkat etmek gerekmektedir. Bu nedenle sinyal başlıkları yerleştirilirken ağ editöründe yer alan tel çerçeveye geçiş yapılarak (toggle wireframe) kolaylıkla kontrol edilebilir. Tel çerçevedeki mavi çizgiler bağlantıları, pembe çizgiler bağlayıcıları göstermektedir. Sinyal başlıklarının mavi çizgiler yani link adı verilen bağlantılar üzerinde yer alması gerekmektedir (Şekil 5.12)



Şekil 5.12. Tel çerçeve özelliği ile sinyal başlık kontrolü

Kavşak alanının programda modellenmesinin doğruluğu yapılan her adımdan sonra veya kontrolün gerekli görüldüğü yerlerde simülasyonu başlatarak tespit etmek mümkündür. Örneğin sinyal başlıklarını ekledikten sonra simülasyonu başlatarak kavşağı inceleyip trafik akış sırasını, sinyal başlıkları nesnesinin çalışma ve araçların algılama durumu kontrol edilebilir. Bu şekilde ağ nesnesindeki araç çubukları kavşağa tanımlandıkça kontrolünü yaparak ilerlemek modeli doğru yansıtmayı kolay hale getirmektedir. Bu şekilde araçların sürüş hareketleri, hız azaltma alanlarında kurallara uyup uymadıkları, rota kararları, tıkanıklık vb. parametrelerdeki davranışları rahatlıkla kontrol edilmektedir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. Simülasyonun başlatılması

- Kalibrasyon

Simülasyonda yapılan modelin mevcut durumu yansıtması için programda ölçü birimleri, geometrik düzenlemeler, sürücü davranış parametrelerinde düzenleme vb. yapılması gerekmektedir. Kalibrasyon simülasyon modelindeki çeşitli parametrelerin gerçek alan koşullarını yansıtana kadar ayarlandığı bir süreçtir. Aksi halde durum gerçeği yansıtmayacak ve yanlış analiz sonuçları ortaya çıkacaktır. Bu nedenle proje alanı programa yansıtılıp gerekli geometrik düzenlemeler yapıldıktan sonra programda mevcut durum yansıtılana kadar kalibrasyon çalışması yapılır. Program içerisinde sürüş davranışı, istenilen hızlanma ve yavaşlama durumuna göre hız dağılımı gibi birçok değiştirilebilir kalibrasyon parametresi bulunmaktadır.

Sürüş davranışlarını düzenlemek için Vissim’de temel veri alanında yer alan sürüş davranışları sekmesi açılır (Base Data → Driving Behavior). Burada tanımlanmış 8 davranış tipi bulunmaktadır. Bunlar içerisinde en sık kullanılan şehir içi motorlu ve otoban seçeneğidir. Bunlar kavşak tipine göre seçilerek direk kullanılabileceği gibi içerisinde bazı parametrelerde düzenleme yapılarak da kullanılmaktadır. Ya da farklı bir davranış biçimi kullanıcı tarafından eklenerek çalışma bölgesindeki durumu yansıtacak değerler bu yeni davranış biçiminde düzenlenebilir. Buna karar verildikten sonra gerekli davranış tipi üzerine gelinerek düzenle seçeneğinden veya çift tıklanarak parametrelerin olduğu pencere açılır (Şekil 5.14).

Şekil 5.14. Sürüş davranış parametreleri penceresi

Takip (Following): Bu başlık altında ileriye-geri görüş mesafesi, etkileşim araçları, etkileşim objeleri gibi parametreler yer almaktadır. İleri görüş mesafesi aynı bağlantı içerisinde aracın önündeki veya yanındaki diğer araçlara tepki verebilmesi için tanımlanır. Bu nedenle minimum mesafe aracın görüşü için bir alt sınırdır. Geriye bakma mesafesi de aracın kendi arkasında yer alan diğer araçları görebileceği mesafeyi belirlemeye yarar. Etkileşim araçlarının ve etkileşim objelerinin minimum ve maksimum ileri görüş sınırları içerisinde araç ve nesnelerin ne kadarının görülebileceğini sayısal olarak tanımlamayı sağlamaktadır.

Araç Takip Modeli (Car Following Model): Bu sekmede programın içeriğindeki ana araba takip modeli olan Wiedemann modelinin iki farklı örneği yer almaktadır. Bunlardan ilki Wiedemann 74 modelidir. Bu modelde hız ve istenen güvenlik mesafesi arasında doğrusal

olmayan bir ilişki grafiği bulunmaktadır. Bu nedenle şehir içi sürüş davranışı için tercih edilmektedir. Bu davranışta ortalama durma mesafesi, ek güvenlik mesafesi ve güvenlik mesafesi kat sayısı gibi 3 değer tanımlanır. Diğer model olan Wiedemann 99'da ise istenen güvenlik mesafesi ve hız arasında doğrusal ilişki tanımlanmıştır bu da modelin otoyol gibi şehirlerarası alanlarda kullanımını uygun kılmaktadır. Bu modelde cc0 ve cc9 arasında 10 farklı parametre tanımlanarak düzenlemeler yapılmaktadır.

Şerit Değiştirme Davranışı (Lane Change): Bu alanda şerit değişikliği yaparken kullanılacak genel davranış tanımlanmaktadır. Varsayılan olarak araçların seyahat ederken herhangi bir şeride geçiş yapabileceği serbest şerit seçilir. Yavaş olan araçların sağ şeritte kalmasını diğerlerin sol şeritten devam etmesini istediğimiz yollarda yavaş şerit kuralı tanımlanabilir. Zorunlu şerit değişikliği bölümünden de şerit değiştiren ve onu takip etmekte olan araç için gerekli düzenlemeler yapılmaktadır.

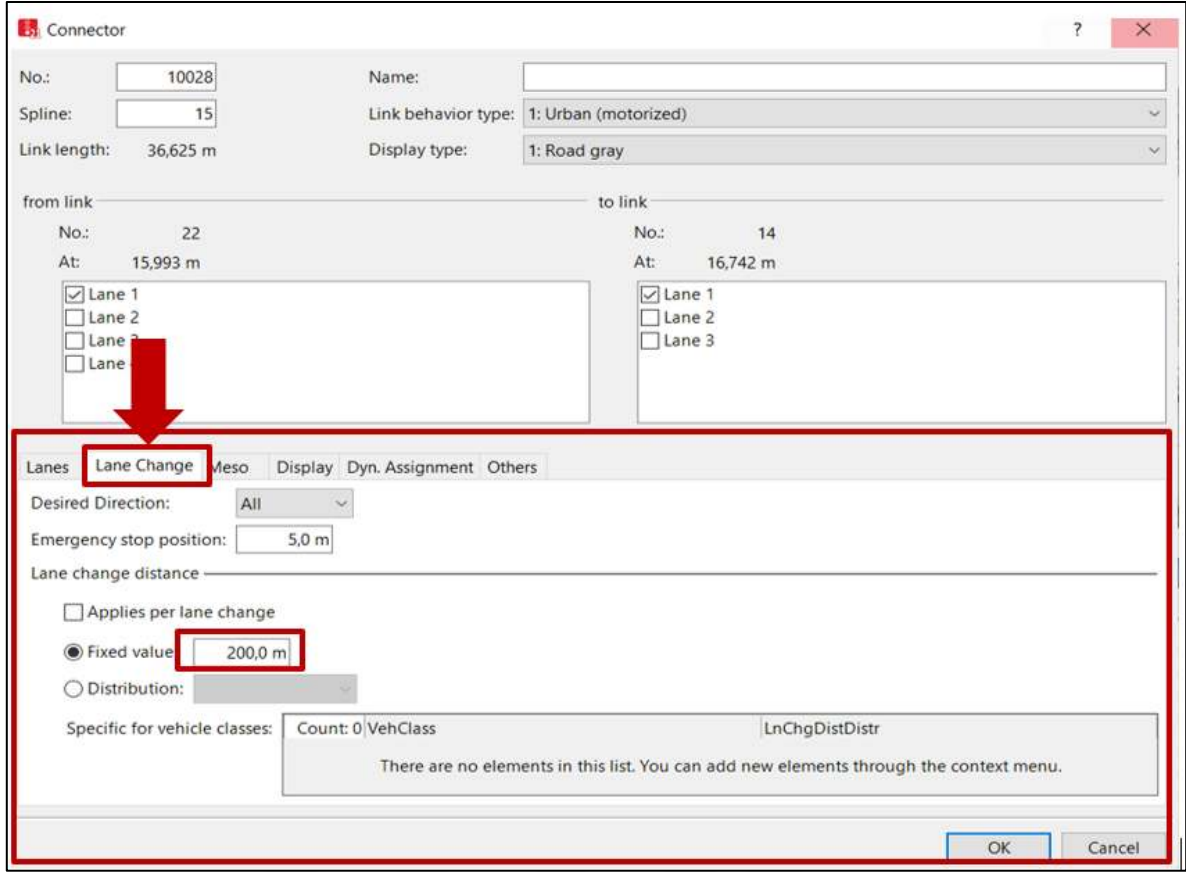
Yanal Davranış (Lateral): Serbest akışta aracın gideceği pozisyon, aynı şeritte veya bitişik şeritte araç sollarken varsayılan davranış bu sekmeden ayarlanmaktadır.

Sinyal Kontrolü (Signal Control): Sinyalize kavşaklarda aracın yeşilden sonraki tepkisi ve kırmızıdan sonraki tepkisi ayarlanmaktadır. Dönel kavşaklarda da durma çizgisine yakın azaltılmış güvenlik mesafesi tanımı yapılabilir.

Otonom Sürüş (Autonomous Driving): Bu kısımda bulunan mutlak fren mesafesi uygula seçeneği ile önde araç olduğu herhangi bir zamanda takip eden aracın çarpışmadan güvenli bir şekilde durması gerektiği mesafe ayarlanır. Örtük stokastik kullanımı ile insan davranışının kusurları daha belirleyici makine tipi bir davranışa çevrilir. Ayrıca diğer parametreler düzenlenerek araçların takım halinde hareket etmesini de sağlamak mümkündür.

Bunlara ek olarak sürüş hatalarından sürücülerin bazı hatalar yapmasının mümkün olduğu durumları da düzenlenmektedir.

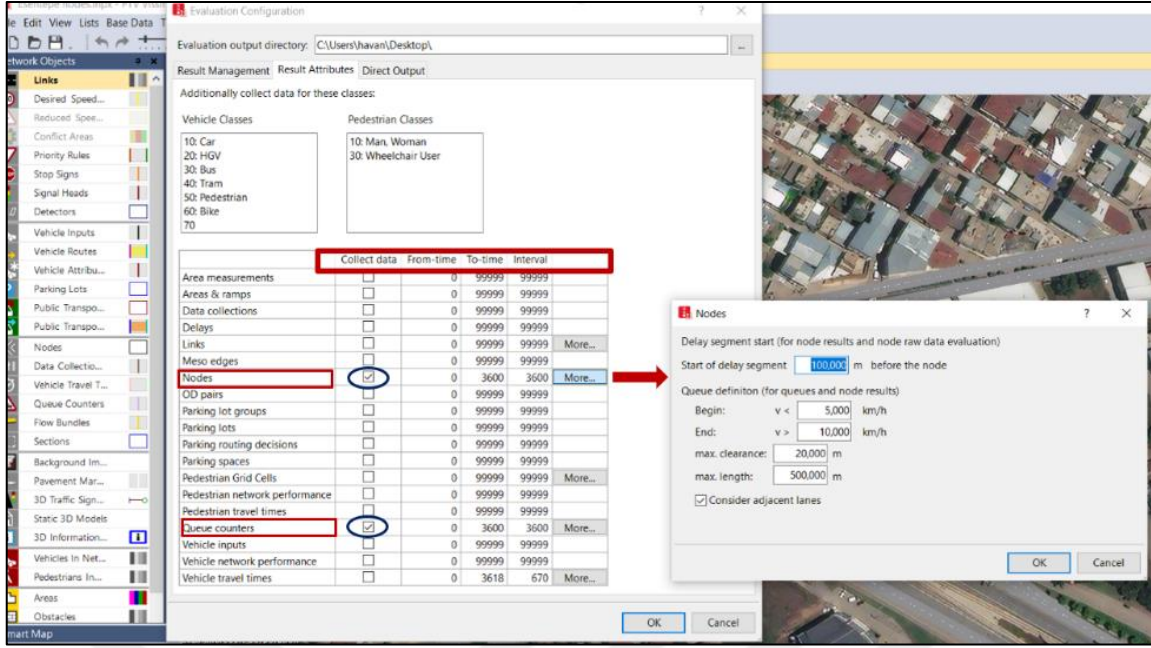
Sürüş davranışı bölümünden ayrı olarak ek bir şerit değiştirme kalibrasyonu bulunmaktadır. Bu ayar bağlayıcılar kısmından ayarlanmaktadır (Şekil 5.15). Her bağlayıcının üzerine iki kere tıklandığında açılan pencerede bulunan şerit değişikliği sekmesinden yapılmaktadır. Kavşak noktasında belirli yönlere geçiş yapacak araçların ne kadar uzaklıktan gerekli şerit değişikliği yapması gerektiğini algılaması tanımlanmaktadır. Burada bulunan mesafenin artırılması gideceği yöne önceden karar vermesini ve son dakika şerit değişikliği yapmasını önlemeyi sağlamaktadır.



Şekil 5.15. Bağlayıcı üzerinden şerit değişikliği kalibrasyonu

- Simülasyon performans ölçümlerini yapılandırılması ve değerlendirilmesi

Performans ölçümlerini değerlendirmeden önce hangi performans ölçümlerinin yapılacağını programa tanımlamak için değerlendirme menüsünden yapılandırma seçeneği açılır. Açılan pencerede sonuç özellikleri sekmesinden yapılmak istenen değerlendirmenin ölçümleri için veri toplama kutusu işaretlenir. Aynı alanda programın veri toplamaya başlayacağı zaman, veri toplamayı bitireceği zaman ve bu iki dilim arasında hangi aralıkta veri toplanacağını tanımlanacağı hücreler yer almaktadır. Ayrıca belirli öğeler için daha fazla yapılandırma seçeneği de bulunmaktadır (Şekil 5.16). Simülasyon periyodu ve veri toplamayı bitireceği zaman denk olmak zorundadır aksi takdirde program hata verecektir. Yapılandırma ayarları yapıldıktan sonra simülasyon başlatılır, değerlendirme menüsünden hangi performans ölçümü seçildiyse onun sonuçları için listeleme seçeneği açılır ve istenen sonuç değerlerine açılan listeden ulaşılır.



Şekil 5.16. Yapılandırma ayarları

Koridor (Güzergâh) Değerlendirmesi

Bir yol güzergahı boyunca bağlantının kendisi hakkında konum tabanlı veri toplamayı sağlamaktadır.

Bağlantı Değerlendirmesi (Link Evaluation): Bağlantı değerlendirmelerini gözlemlemek için bağlantıları listeledikten sonra listeye bağlantı değerlendirme ve segment uzunluğunu ek özellik olarak eklenmelidir. Bağlantı değerlendirme aktif hale getirilen bağlantıda değerlendirme yapılacak ve segment uzunluğu bu değerlendirmenin hangi uzunlukta yapılacağını belirleyecektir. Verilerin bu bölümlere ayrılan küçük segmentler yerine büyük bir değer girilmesi verilerin tüm bağlantı için toplanmasını sağlayacaktır. Bu değerlendirme bağlantı yoğunluğu, göreceli gecikme, bağlantı hızı, bağlantı hacmi gibi sonuçlara ulaşmayı sağlamaktadır.

Araç Seyahat Süresi (Vehicle Travel Time): Güzergâh üzerine yerleştirilen başlangıç ve bitiş noktaları arasında geçen ortalama süreyi belirlemek için kullanılan yöntemdir. Ağ nesnesindeki araç çubuğu içerisinde araç seyahat süresi seçilerek bağlantı üzerine önce pembe şerit şeklinde başlangıç noktası eklenir daha sonra ölçümün tamamlanacağı bitiş noktası yerleştirilir bu noktada açık yeşil rengindedir (Şekil 5.17). Bu iki nokta arasında geçen araçların seyahat süreleri, araç sayıları, kat edilen mesafe gibi sonuçlar elde edilir. Bu sonuçlar tüm araçlar için olduğu gibi programa tanımlanan farklı tip araç sınıfları için ayrı ayrı da listelenmektedir.

Veri Toplama Noktası (Data collection point): Veri toplama noktaları bağlantı üzerinde belirli yerlere yerleştirilerek sadece üzerinden geçen araçlar için veri toplayacaktır. Bağlantının tamamını kapsayacak şekilde yerleşmez bu nedenle çok şeritli yollarda her şeride ayrı bir veri toplama noktası yerleştirilmesi gerekmektedir. Araç çubuğundan veri toplama noktası seçilerek veri toplanacak bağlantıdaki şeritlere kahverengi tonlarında bir çizgi olarak tanımlanır (Şekil 5.17). Sonuç almadan önce verilerin şerit olarak mı toplanacağı yoksa bütün bağlantıyı mı kapsayacağını tanımlamak için ek bir yapılandırma adımı daha bulunmaktadır. Değerlendirme menüsü altında bulunan ölçüm tanımı seçeneğinden veri toplama ölçümleri seçilmelidir (Evaluation → Measurement Definition → Data Collection Measurement). Açılan pencerede yeni ölçüm ekleme seçeneği ile yapılacak ölçümler seçilebildiği gibi alanda sağa tıklanarak otomatik olarak da ayarlanabilmektedir. Birebir oluştur seçeneği her şeridi ayrı ayrı ölçecek şekilde ayarlar hepsini gruplandırılmış oluştur seçeneği bağlantıda bulunan her şeritteki veri toplama noktalarını otomatik olarak gruplandırır. Veri toplama analizi yapıldıktan sonra belirli bir konumda seyahat eden araçların sayısına, doluluk oranına, kuyruk gecikmesine, hız ve hacim gibi ölçümlere değerlendirme menüsündeki veri toplama sonuçları kısmından ulaşılır.

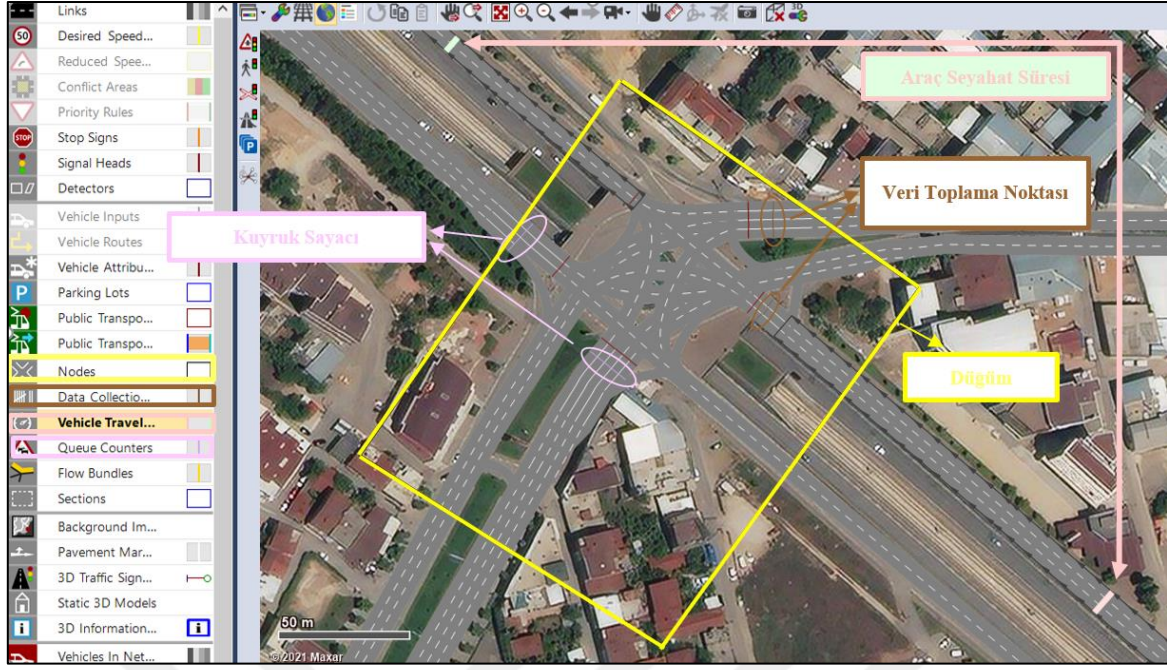
Kavşak (Düğüm) Değerlendirmesi

Kesişim bölgelerindeki veriler düğümler veya kuyruk sayaçları kullanılarak elde edilmektedir.

Düğüm Değerlendirmesi (Node Evaluation): Araç çubuğundan nokta değerlendirme seçildikten sonra değerlendirme yapılacak alan kontrol cihazlarını veya sinyal başlıklarını dahil edecek şekilde sarı bir çokgen çerçeve içerisine alınır (Şekil 5.17). Çokgen çizildikten sonra otomatik olarak açılacak pencerede değerlendirme için kullan seçeneği seçili olmak zorundadır. Düğüm sonuçları her hareket ve zaman aralığı için kuyruk uzunluğu, araç sayısı, durma ve gecikme süresi, yolun hizmet sınıfı gibi performans ölçütlerini vermektedir.

Kuyruk Sayacı (Queue Counter): Programda kuyruk sayaçları şerit başına değil bağlantıya yerleştirilmiştir (Şekil 5.17). Değerlendirme kuyruk uzunluğu, maksimum kuyruk uzunluğu, adım sayısı sonuçlarını verecektir.

Düğüm değerlendirmesiyle de kuyruk sayaçlarıyla da kuyruk için sonuçlar elde edilmektedir. Düğümler kuyruk sayımını sinyal başlıkları veya durma çizgisinden başlatırken kuyruk sayaçları konumlandırıldığı yerden itibaren başlatmaktadır. Bu nedenle sayaçların nereye yerleştirildiği önem arz etmektedir. Kuyruk sayaçları ile belirli yerler için sonuç alırken düğümler daha genel ve hızlı sonuçlar sunmaktadır.



Şekil 5.17. Performans ölçümlerinin modelde gösterilmesi

5.2.5. Esentepe Kavşağı simülasyon geçerliliği ve analiz sonuçları

Kavşak çalışma alanının programda modellendikten sonra kullanımının uygunluğunu tespit etmek için Geoffrey E. Havers (GEH) istatistik hesaplaması ile hacim karşılaştırılması yapılmıştır.

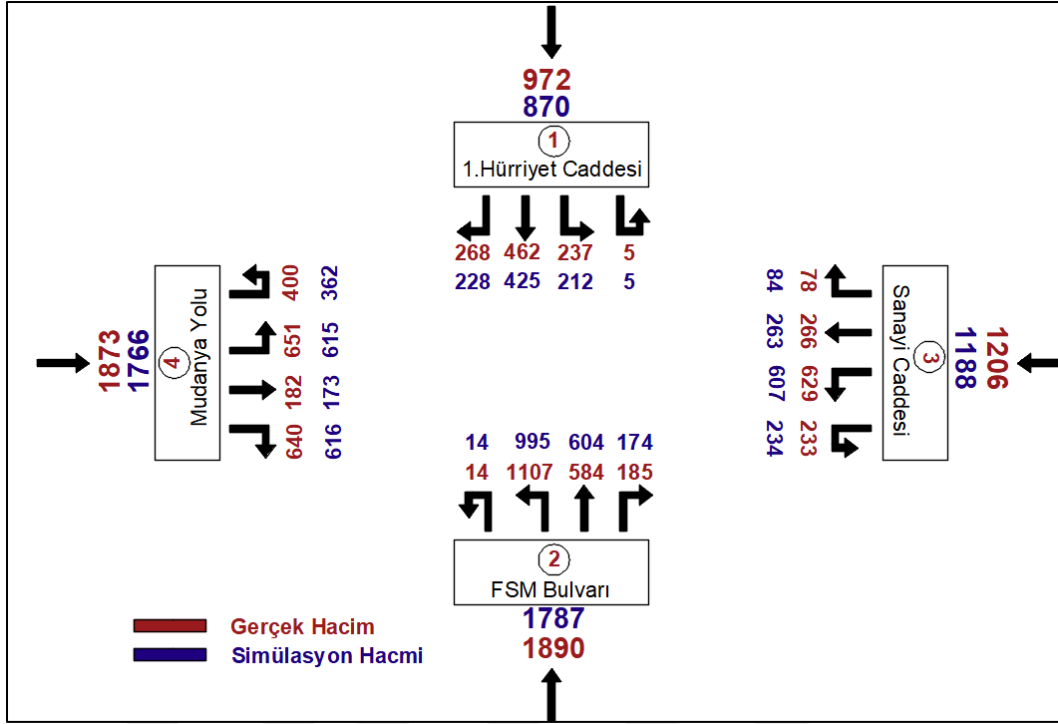
$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}} \quad 5.1$$

M= Simülasyon modelindeki trafik hacmi

C= Gerçek ölçümde sayılan trafik hacmi

GEH İstatistik hesaplama sonucuna göre çıkan değerlerin 5'ten küçük olması gerçek değer ve simülasyon değerinin birbirlerine uyduğunu ve kullanılabileceğini gösterir. Değerin 10'dan büyük çıkması durumunda alan ve simülasyon değerlerinin uyumsuz olduğunu, kullanılamayacağını belirtir. Değer 5 ve 10 arasında kaldığı durumlarda ise güvenli bölgede kalınmaz modelin tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir (FDOT, 2021:61).

Çalışma alanında mevcut duruma yakın değerlere ulaşmak için birçok düzenleme ve gerekli kalibrasyonlar yapıldıktan sonra tüm güzergahlar için GEH değerleri bulunmuştur (Şekil 5.18). Tüm GEH değerlerinin 5'ten küçük olduğu ve sonuçların mevcut durumu karşıladığı bu şekilde tespit edilmiştir (Tablo 5.3).

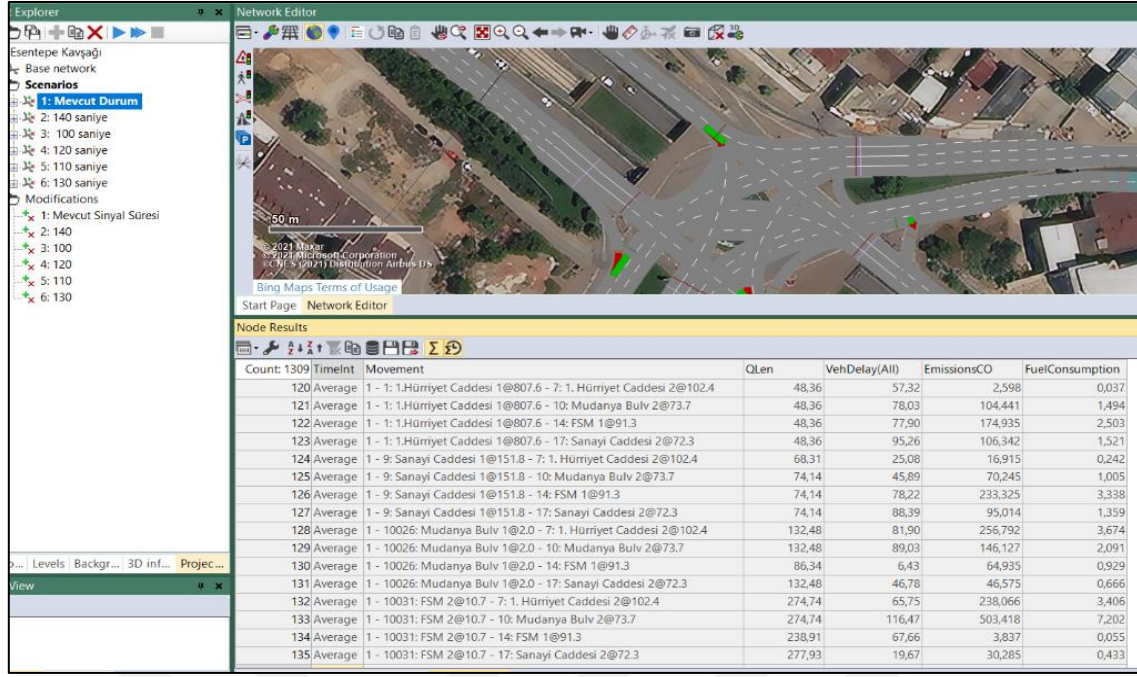


Şekil 5.18. Gerçek hacim ve simülasyon hacim değerleri

Tablo 5.3. GEH istatistiği ile mevcut durum ve simülasyon hacim doğrulaması

Güzergâh	Gerçek Hacim	Simülasyon Hacmi	Hacim Farkı	GEH	GEH (<5)
1-1	5	5	0	0,00	Evet
1-2	462	425	-37	1,76	Evet
1-3	237	212	-25	1,67	Evet
1-4	268	228	-40	2,54	Evet
2-1	584	604	20	0,82	Evet
2-2	14	14	0	0,00	Evet
2-3	185	174	-11	0,82	Evet
2-4	1107	995	-112	3,45	Evet
3-1	78	84	6	0,67	Evet
3-2	629	607	-22	0,88	Evet
3-3	233	234	1	0,07	Evet
3-4	266	263	-3	0,18	Evet
4-1	651	615	-36	1,43	Evet
4-2	640	616	-24	0,96	Evet
4-3	182	173	-9	0,68	Evet
4-4	400	362	-38	1,95	Evet

Simülasyonun mevcut durumu karşılayıp modelin doğru yansıtıldığı tespit edildikten sonra performans kriterlerini tespit etmek için düğüm değerlendirmesi yapılmıştır (Şekil 5.19).



Şekil 5.19. PTV Vissim mevcut durum değerlendirme sonuçları

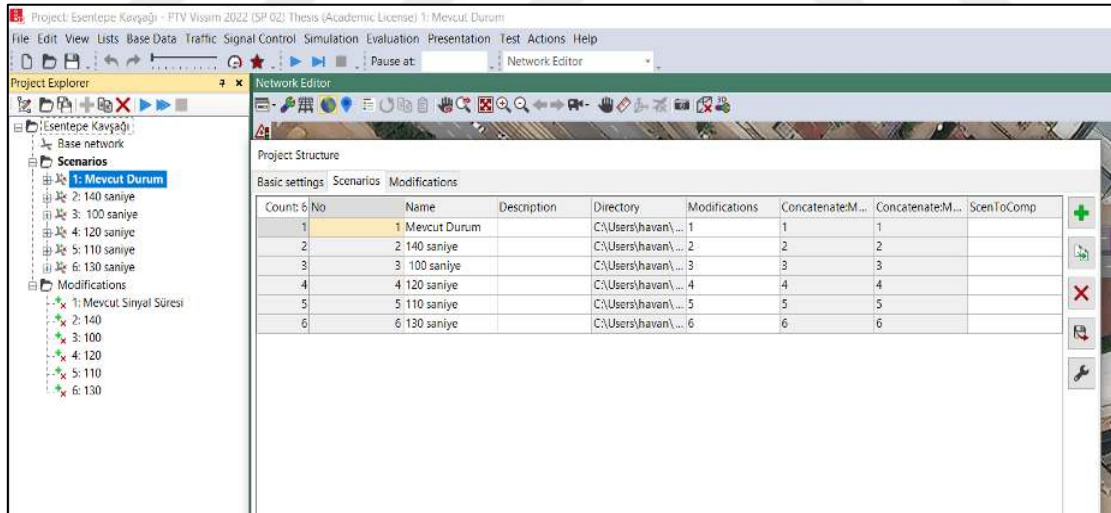
Tablo 5.4. Mevcut durum simülasyon değerlendirme sonuçları

Güzergâh	Ortalama Araç Gecikme Süresi (sn)	Hizmet Düzeyi	Ortalama Kuyruk Uzunluğu (m)	Ortalama CO Salınımı (gr)	Ortalama Yakıt Tüketimi (lt)
1-1 (Hürriyet -Hürriyet)	57,32	E	48,36	2,6	0,04
1-2 (Hürriyet-FSM Bulvarı)	77,9	E	48,36	174,94	2,50
1-3 (Hürriyet -Sanayi)	95,26	F	48,36	106,34	1,52
1-4 (Hürriyet-Mudanya Yolu)	78,03	E	48,36	104,44	1,49
2-1 (FSM Bulvarı-Hürriyet)	65,75	E	274,74	238,07	3,41
2-2 (FSM Bulvarı-FSM Bulvarı)	67,66	E	238,91	3,84	0,06
2-3 (FSM Bulvarı-Sanayi)	19,67	B	277,93	30,29	0,43
2-4 (FSM Bulvarı-Mudanya Y.)	116,47	F	274,74	503,42	7,20
3-1 (Sanayi-Hürriyet)	25,08	C	68,31	16,92	0,24
3-2 (Sanayi-FSM Bulvarı)	78,22	E	74,14	233,33	3,34
3-3 (Sanayi-Sanayi)	88,39	F	74,14	95,02	1,36
3-4 (Sanayi Mudanya Yolu)	45,89	D	74,14	70,25	1,02
4-1 (Mudanya Yolu-Hürriyet)	81,9	F	132,48	256,8	3,67
4-2(Mudanya Yolu-FSM)	6,43	A	86,34	64,94	0,93
4-3 (Mudanya Yolu-Sanayi)	46,78	D	132,48	46,58	0,67
4-4 (Mudanya Y.-Mudanya)	89,03	F	132,48	146,13	2,10
Esentepe Kavşağı (Genel Ortalama)	64,99	E	127,14	130,87	1,87

Yapılan analiz ile kavşağa ait her koldan diğer kollara geçişlerde yani rotalarda ve kavşağın tamamında meydana gelen kuyruk uzunluğu, araç gecikme süresi, CO salınımı, yakıt tüketimi ve hizmet sınıfı gibi kavşak performans parametrelerine ulaşılmıştır. Ortalama araç süresi 64,99 saniyedir dolayısıyla kavşak E sınıfında hizmet vermektedir (Tablo 5.4). Bu durumda trafik hacmi kapasiteye yakındır ve trafik akımında kararsızlıklar oluşmaktadır.

5.3. Esentepe Kavşağı Senaryo Modelleri

Vissim programının senaryolar oluşturmak, gerekli değişiklikler yapıp bu değişiklikleri gerekli senaryolara yansıtmak için kendine ait senaryo yöneticisi bulunmaktadır (Şekil 5.20). Senaryo yöneticisi oluşturulan temel model dışında yeni eklenen senaryolar ve çalışma alanında yapılacak değişiklikleri tek bir çalışma dosyası içerisinde görme, değerlendirme ve karşılaştırma fırsatı sunarak modeli iyileştirmede kolaylık sağlamaktadır. Senaryo yöneticisi içerisinde temel ağ, senaryolar ve modifikasyonlar bölümü yer almaktadır. Temel ağ kalibre edip mevcut durumu yansıttığımız çalışmadır. Burada yapılacak herhangi bir değişiklik tüm senaryolara otomatik olarak taşınmaktadır bu nedenle temel halin de hali hazırda bulunması için eklenilen ilk senaryoda hiçbir değişiklik yapılmadan temel ağın bulundurulması faydalı olacaktır. Senaryolar günün belirli zaman dilimleri, geometrik güncellemeleri, sinyal süreleri gibi değerlendirme yapılacak parametreye göre kullanıcı tarafından oluşturulmaktadır. Temel ağda yapılması istenen değişiklikler modifikasyon kısmına eklenmektedir. Daha sonra tanımlanan değişiklik hangi senaryoda kullanılmak isteniyorsa proje gezgini penceresinde yer alan proje yapısı bölümünden gerekli senaryo veya senaryolara eklenebilir. Ayrıca çoklu çalıştırma özelliği sayesinde eklenen tüm senaryolar aynı anda çalıştırılıp sonuçları karşılaştırmak mümkündür.



Şekil 5.20. Vissim senaryo yöneticisi

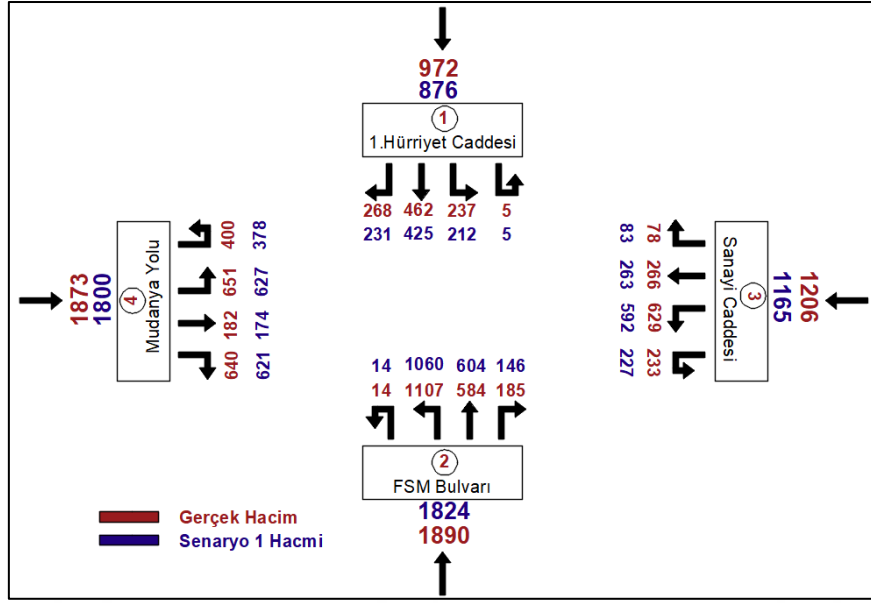
Bu bölümde kavşak alanı performans parametrelerinin iyileştirilmesi için alternatif öneriler sunulacaktır. Senaryolar sinyal süreleri üzerinde değişiklikler yapılarak oluşturulmuştur. Öncelikle mevcut durumda 134 sn. devre süresine sahip olan kavşak alanında her faz için toplamda 5 sn. olan sarı ve sarı+kırmızı kayıp süreler minimum süre korunacak şekilde 2 saniye azaltılmıştır. Kavşak devre süresi 130 saniyeye düşürülmüştür.

Program simülasyon denemeleri ile kavşak hacmi ve kolların kapasitesi dikkate alınarak en iyi sonuç elde edilene kadar yeşil ve kırmızı ışık süreleri düzenlenmiştir. Ayrıca Hürriyet fazıyla entegreli çalışan Mudanya yolu karşı istikametinde yer alan lamba minimum yaya geçiş süresi dikkate alınarak kırmızı süresi 16 saniyeden 10 saniyeye düşürülerek Hürriyet kolu yeşil süresi artırılarak trafik akışı rahatlatılmıştır. (Şekil 5.31). Mevcut durumda yani devre süresi 134 saniye iken kavşak E hizmet sınıfında, ortalama araç gecikmesi 64,99 saniye ortalama kuyruk uzunluğu 127,14, ortalama CO salınımı 130,87 gr ve yakıt tüketimi 1,87 litredir. Kavşak süresinin 130 saniyeye indirilerek kollarda eniyileme yöntemi ile oluşturulan yeni kayıp süre, kırmızı ve yeşil süresi dağılımı sonucunda kavşak hizmet sınıfı E olarak kalmaya devam etmiştir fakat ortalama araç gecikmesi 56,86 saniye, ortalama kuyruk uzunluğu 69,45 saniye, ortalama CO salınımı 115,81 saniye ve yakıt tüketimi 1,66 litreye düşmüştür. Yani ortalama araç gecikmesi %12,5, ortalama kuyruk uzunluğu %45,4, ortalama CO salınımı %11,5 ve yakıt tüketimi %11,2 oranında iyileştirildiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Daha sonra iyileştirme yapılan 130 saniye devre süresi 10’ar saniyelik dilimlerde artırılıp azaltılarak kırmızı ve yeşil ışık süreleri oluşturulan devre süreleriyle orantılı bir şekilde değiştirilerek optimum devre süresi elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada 100, 110, 120, 130, 140 saniye için devre süreleri incelenmiştir. Tüm devre sürelerine ait değerlendirmeler yapıldıktan sonra sonuçlar karşılaştırılmıştır. Eniyileme için devre süreleri sırasıyla senaryolaştırılıp öncelikle mevcut durumu yansıtmaya durumları kontrol edilmiştir. Bu nedenle her yeni devre süresinde hacim değerleri mevcut hacimle karşılaştırıldıktan sonra GEH istatistik yöntemi ile kullanılabilirlikleri test edilmiştir. Sonrasında her senaryo için düğüm değerlendirmesi yapılarak bölüm sonunda tüm senaryo sonuçları karşılaştırılmıştır.

5.3.1. Senaryo 1 (Devre süresi = 100 saniye)

Senaryo 1 düğüm değerlendirmesi yapılmadan önce bu devre süresinde kavşak hacminin mevcut hacime uygun olup olmadığının kontrolü için kavşak kollarından ve güzergahlardan geçen trafik hacimleri mevcut durumla karşılaştırılmıştır (Şekil 5.21). Daha sonra mevcut hacim değerleri ve simülasyon değerleri GEH istatistiği ile hesaplanarak tüm değerlerin 5’ten küçük çıktığı ve sonuçların kullanılabileceği tespit edilmiştir (Tablo 5.5).

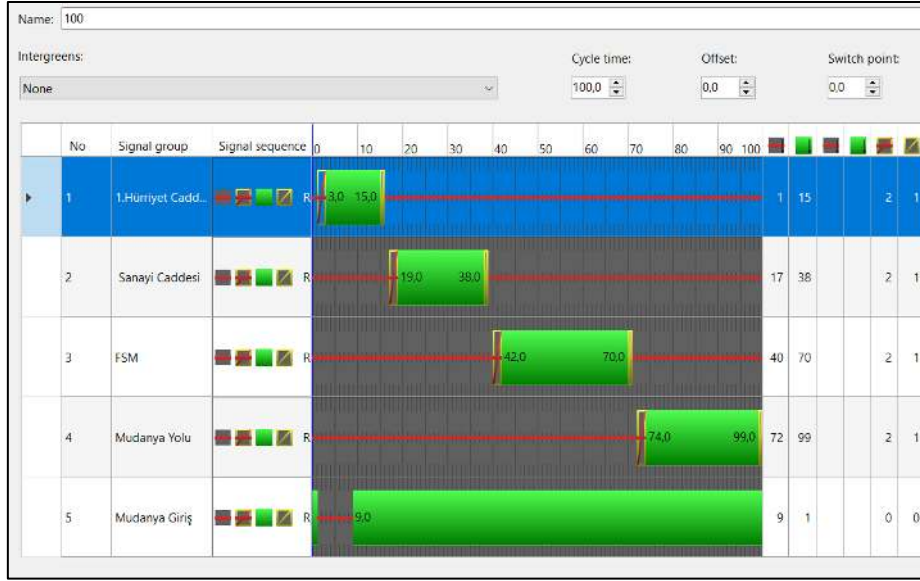


Şekil 5.21. Gerçek hacim ve senaryo 1 hacim değerleri

Tablo 5.5. GEH istatistiği ile senaryo 1 hacim doğrulaması

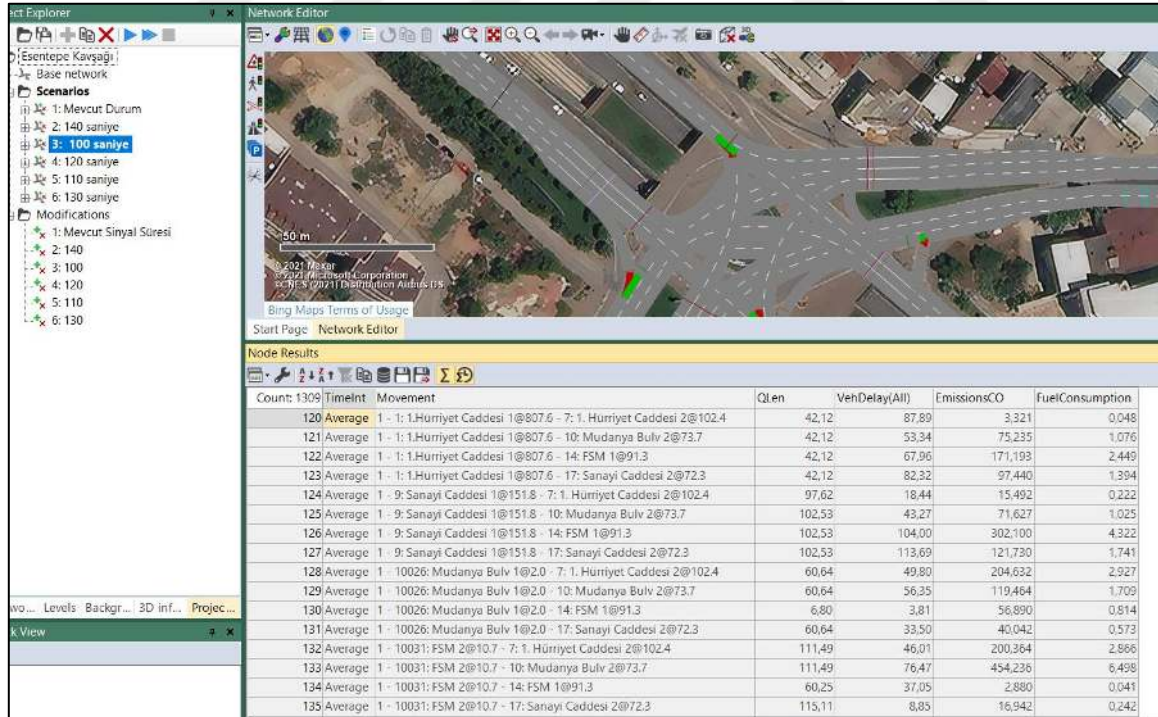
Güzergâh	Gerçek Hacim	Senaryo 1 Hacmi	Hacim Farkı	GEH	GEH (<5)
1-1	5	5	0	0,00	Evet
1-2	462	425	-37	1,76	Evet
1-3	237	212	-25	1,67	Evet
1-4	268	231	-37	2,34	Evet
2-1	584	604	20	0,82	Evet
2-2	14	14	0	0,00	Evet
2-3	185	146	-39	3,03	Evet
2-4	1107	1060	-47	1,43	Evet
3-1	78	83	5	0,56	Evet
3-2	629	592	-37	1,50	Evet
3-3	233	227	-6	0,40	Evet
3-4	266	263	-3	0,18	Evet
4-1	651	627	-24	0,95	Evet
4-2	640	621	-19	0,76	Evet
4-3	182	174	-8	0,60	Evet
4-4	400	378	-22	1,12	Evet

Mevcut durumda 134 saniye devre süresinde yeşil, kırmızı ve sarı ışık sürelerinde yapılan eniyileme ile 130 saniyeye indirilmiştir. Oluşturulan yeni ışık süreleri senaryo 1 için kullanılan 100 saniye devre süresi ile orantılı bir şekilde azaltılarak yeni analiz sonuçları elde edilmiştir (Şekil 5.22) (Tablo 5.6).



Şekil 5.22. Senaryo 1 sinyal süreleri

Devre süresi 100 saniye olan senaryo 1 için düğüm değerlendirmesi yapılarak simülasyon sonuçları elde edilmiştir (Şekil 5.23). Simülasyon sonuçlarından 100 saniye devre süresi için kavşağa ve her kavşak kolunda oluşan rota kararına ait performans değerlerine ulaşılmıştır (Tablo 5.6).

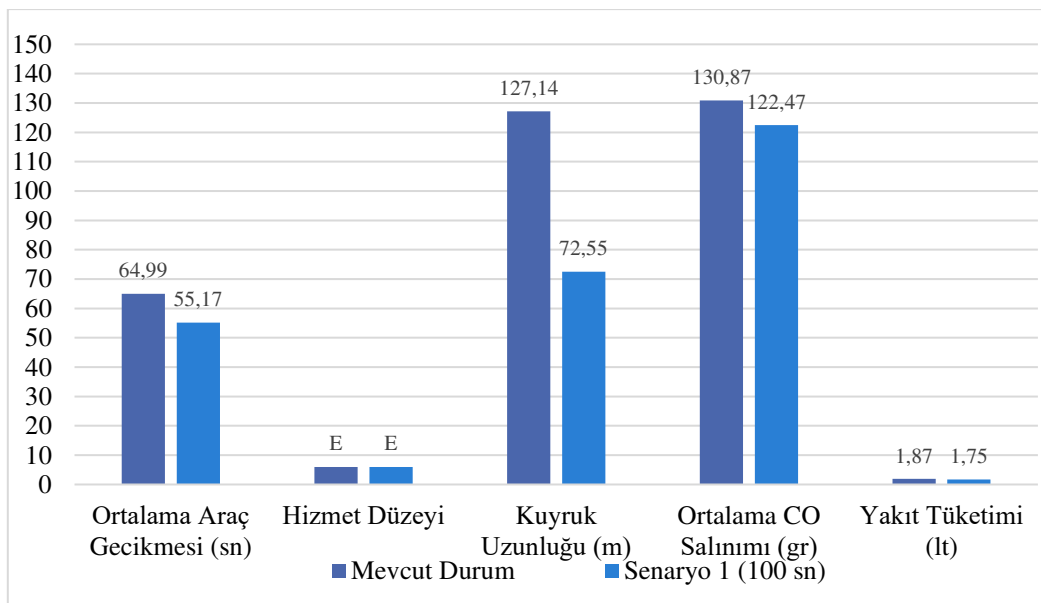


Şekil 5.23. PTV Vissim Senaryo 1 değerlendirme sonuçları

Tablo 5.6. Senaryo 1 değerlendirme sonuçları

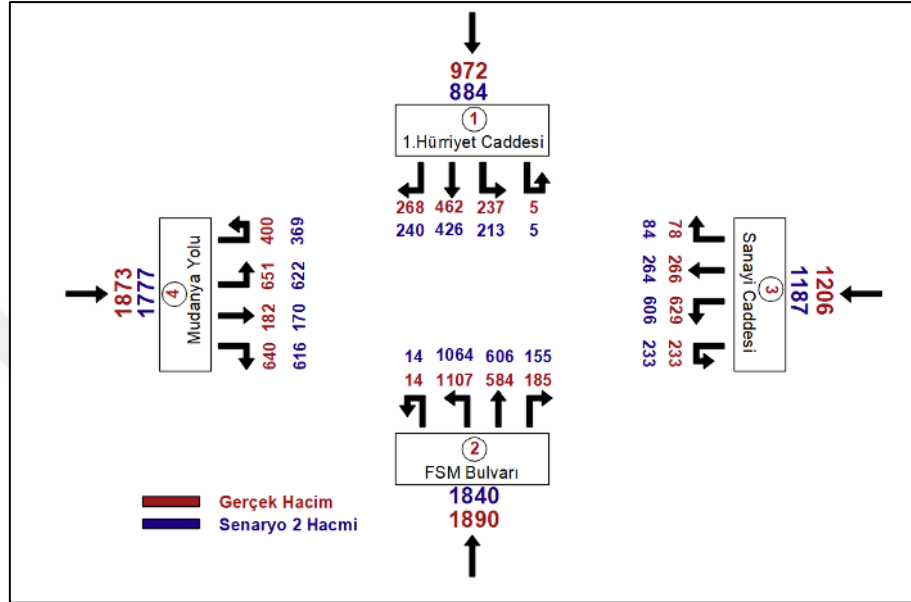
Güzergâh	Ortalama Araç Gecikme Süresi (sn)	Hizmet Düzeyi	Ortalama Kuyruk Uzunluğu (m)	Ortalama CO Salınımı (gr)	Ortalama Yakıt Tüketimi (lt)
1-1 (Hürriyet Cad.-Hürriyet Cad.)	87,89	F	42,12	3,32	0,05
1-2 (Hürriyet Cad.-FSM Bulvarı)	67,96	E	42,12	171,19	2,45
1-3 (Hürriyet Cad.-Sanayi Cad.)	82,32	F	42,12	97,44	1,39
1-4 (Hürriyet Cad.-Mudanya Yolu)	53,34	D	42,12	75,24	1,08
2-1 (FSM Bulvarı-Hürriyet Cad.)	46,01	D	111,49	200,36	2,87
2-2 (FSM Bulvarı-FSM Bulvarı)	37,05	C	60,25	2,88	0,04
2-3 (FSM Bulvarı-Sanayi Cad.)	8,85	A	115,11	16,94	0,24
2-4 (FSM Bulvarı-Mudanya Yolu)	76,47	E	111,49	454,24	6,50
3-1 (Sanayi Cad.-Hürriyet Cad.)	18,44	B	97,62	15,49	0,22
3-2 (Sanayi Cad.-FSM Bulvarı)	104,00	F	102,53	302,10	4,32
3-3 (Sanayi Cad.-Sanayi Cad.)	113,69	F	102,53	127,73	1,74
3-4 (Sanayi Cad.-Mudanya Yolu)	43,27	D	102,53	71,63	1,03
4-1 (Mudanya Yolu-Hürriyet Cad.)	49,80	D	60,64	204,63	2,93
4-2 (Mudanya Yolu-FSM Bulvarı)	3,81	A	6,80	56,89	0,81
4-3 (Mudanya Yolu-Sanayi Cad.)	33,50	C	60,64	40,04	0,57
4-4 (Mudanya Yolu-Mudanya Yolu)	56,35	E	60,64	119,46	1,71
Esentepe Kavşağı (Genel Ortalama)	55,17	E	72,55	122,47	1,75

Mevcut durum ve devre süresinin 100 saniye olması durumu analiz sonuçları karşılaştırılmış hizmet düzeyinde bir değişiklik olmadığı ama diğer parametrelerde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda %15,11 araç gecikmesi, %42,94 kuyruk uzunluğu, %6,42 CO salınımı ve %6,42 yakıt tüketimi performansında iyileşme olmuştur (Grafik 5.1).

**Grafik 5.1.** Mevcut durum ve Senaryo 1 performans ölçümlerinin karşılaştırılması

5.3.2. Senaryo 2 (Devre süresi = 110 saniye)

Senaryo 2 hacminin mevcut hacmin mevcut hacmi karşıladığını tespit etmek için geçen trafik hacimleri mevcut durumla karşılaştırılmıştır (Şekil 5.24). Senaryo 1 de olduğu gibi mevcut hacim değerleri ve simülasyon değerleri GEH istatistiği ile hesaplanarak tüm değerlerin 5'ten küçük çıktığı ve sonuçların kullanılabileceği tespit edilmiştir (Tablo 5.7).

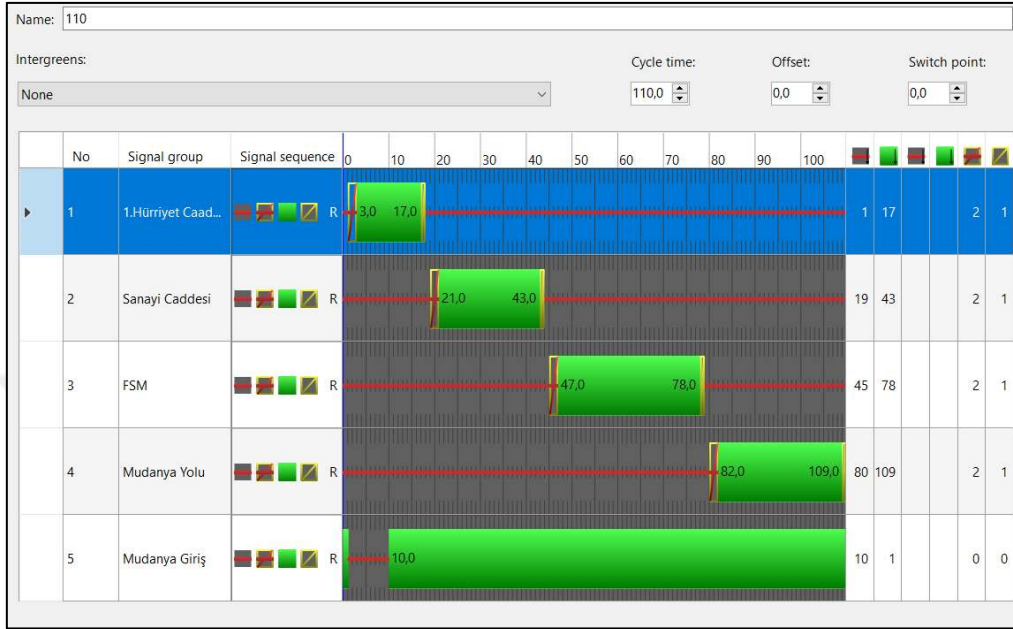


Şekil 5.24. Gerçek hacim ve senaryo 2 hacim değerleri

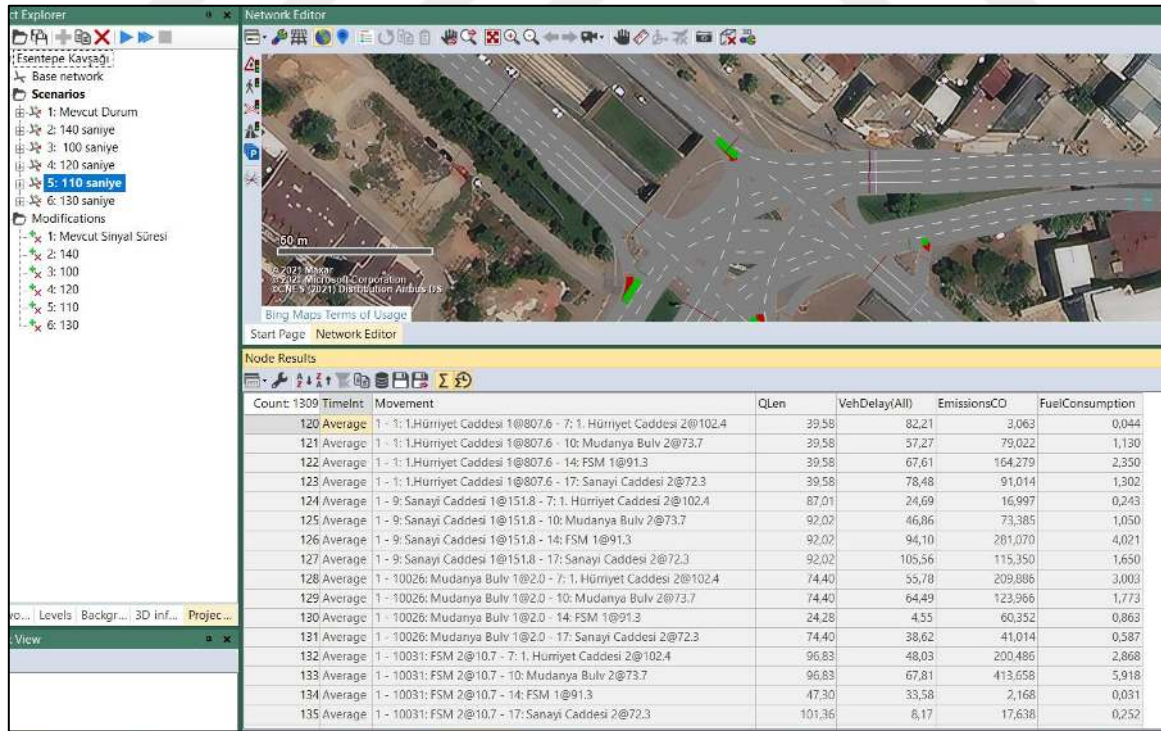
Tablo 5.7. GEH istatistiği ile senaryo 2 hacim doğrulaması

Güzergâh	Gerçek Hacim	Senaryo 2 Hacmi	Hacim Farkı	GEH	GEH (<5)
1-1	5	5	0	0,00	Evet
1-2	462	426	-36	1,71	Evet
1-3	237	213	-24	1,60	Evet
1-4	268	240	-28	1,76	Evet
2-1	584	606	22	0,90	Evet
2-2	14	14	0	0,00	Evet
2-3	185	155	-30	2,30	Evet
2-4	1107	1064	-43	1,31	Evet
3-1	78	84	6	0,67	Evet
3-2	629	606	-23	0,93	Evet
3-3	233	233	0	0,00	Evet
3-4	266	264	-2	0,12	Evet
4-1	651	622	-29	1,15	Evet
4-2	640	616	-24	0,96	Evet
4-3	182	170	-12	0,90	Evet
4-4	400	369	-31	1,58	Evet

Çalışmanın en başında eniyileme ile 130 saniyeye indirilerek oluşturulan yeni ışık süreleri senaryo 2 için kullanılan 110 saniye devre süresi ile orantılı olacak şekilde düzenlenerek yeni analiz sonuçları elde edilmiştir (Şekil 5.25) (Şekil 5.26). Analiz sonuçlarına göre kavşağa ve kavşak rotalarına ait performans değerlerine ulaşılmıştır (Tablo 5.8).



Şekil 5.25. Senaryo 2 sinyal süreleri

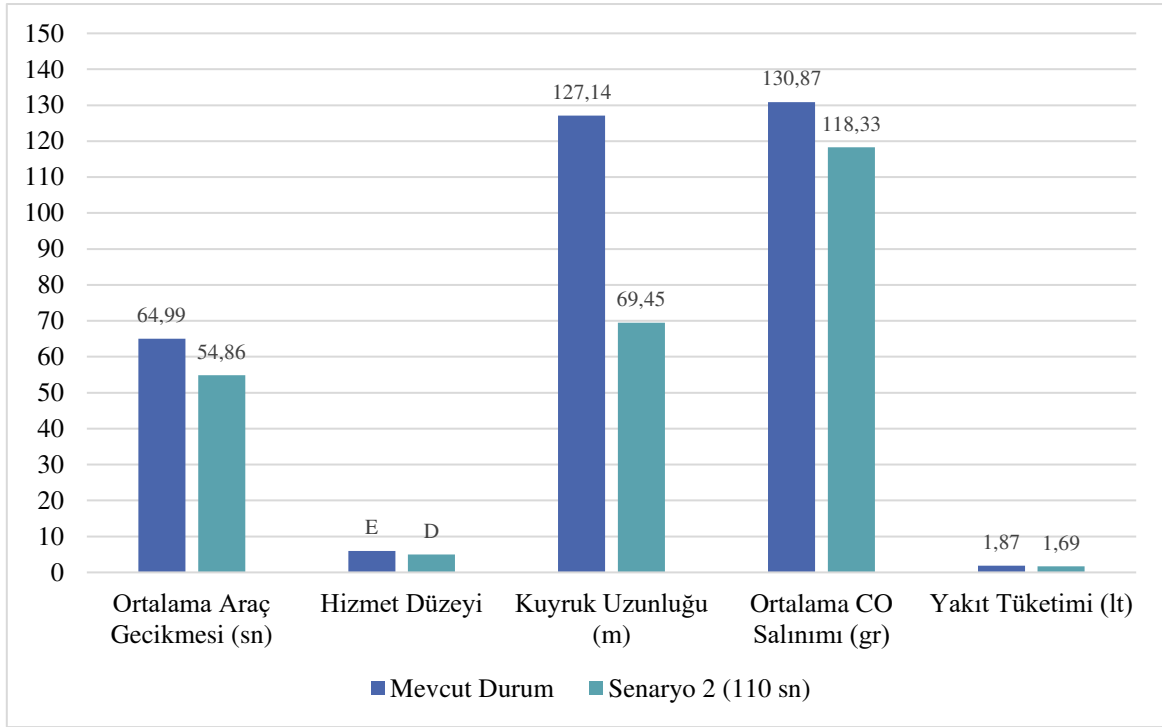


Şekil 5.26. PTV Vissim Senaryo 2 değerlendirme sonuçları

Tablo 5.8. Senaryo 2 değerlendirme sonuçları

Güzergâh	Ortalama Araç Gecikme Süresi (sn)	Hizmet Düzeyi	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Ortalama CO Salınımı (gr)	Ortalama Yakıt Tüketimi (lt)
1-1 (Hürriyet Cad.-Hürriyet Cad.)	82,21	F	39,58	3,06	0,04
1-2 (Hürriyet Cad.-FSM Bulvarı)	67,61	E	39,58	164,28	2,35
1-3 (Hürriyet Cad.-Sanayi Cad.)	78,48	E	39,58	91,01	1,30
1-4 (Hürriyet Cad.-Mudanya Yolu)	57,27	E	39,58	79,02	1,13
2-1 (FSM Bulvarı-Hürriyet Cad.)	48,03	D	96,83	200,49	2,87
2-2 (FSM Bulvarı-FSM Bulvarı)	33,58	C	47,30	2,17	0,03
2-3 (FSM Bulvarı-Sanayi Cad.)	8,17	A	101,36	17,64	0,25
2-4 (FSM Bulvarı-Mudanya Yolu)	67,81	E	96,83	413,66	5,92
3-1 (Sanayi Cad.-Hürriyet Cad.)	24,69	C	87,01	17,00	0,24
3-2 (Sanayi Cad.-FSM Bulvarı)	94,10	F	92,02	281,07	4,02
3-3 (Sanayi Cad.-Sanayi Cad.)	105,56	F	92,02	115,35	1,65
3-4 (Sanayi Cad.-Mudanya Yolu)	46,86	D	92,02	73,39	1,05
4-1 (Mudanya Yolu-Hürriyet Cad.)	55,78	E	74,40	209,89	3,00
4-2 (Mudanya Yolu-FSM Bulvarı)	4,55	A	24,28	60,35	0,86
4-3 (Mudanya Yolu-Sanayi Cad.)	38,62	D	74,40	41,01	0,59
4-4 (Mudanya Yolu-Mudanya Yolu)	64,49	E	74,40	123,97	1,77
Esentepe Kavşağı (Genel Ortalama)	54,86	D	69,45	118,33	1,69

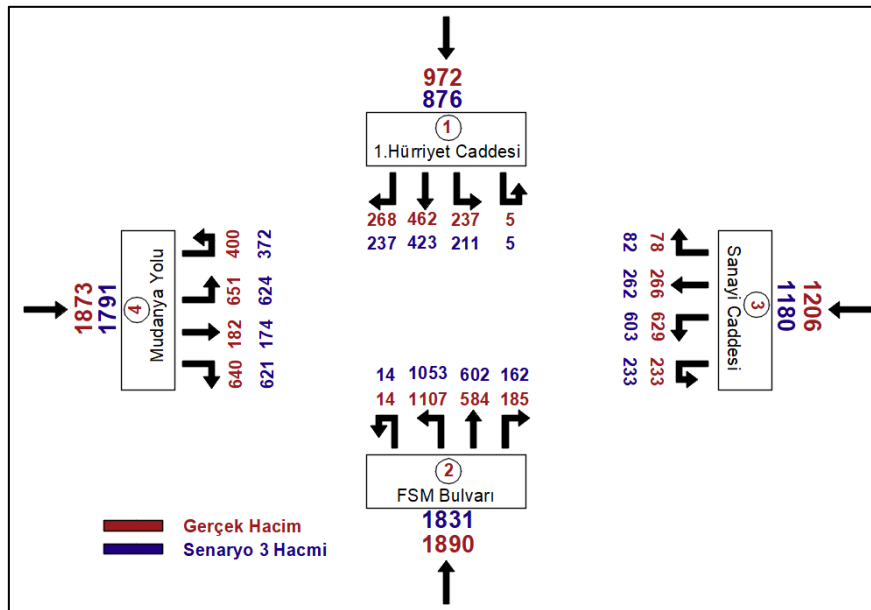
Mevcut durum ve devre süresinin 110 saniye olması durumu analiz sonuçları karşılaştırılmış hizmet düzeyinin bir seviye yükseldiği ve diğer parametrelerde de iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda performans ölçütlerinden %15,59 araç gecikmesinde, %45,38 kuyruk uzunluğunda, %9,58 CO salınımında ve %9,63 yakıt tüketiminde iyileşme meydana gelmiştir (Grafik 5.2).



Grafik 5.2. Mevcut durum ve Senaryo 2 performans ölçümlerinin karşılaştırılması

5.3.3. Senaryo 3 (Devre süresi = 120 saniye)

Senaryo 3 için de hacim kontrolleri yapılarak mevcut durumla karşılaştırılmıştır (Şekil 5.27). Mevcut hacim değerleri ve simülasyon değerleri GEH istatistiği ile hesaplanarak tüm değerlerin 5'ten küçük çıktığı ve sonuçların kullanılabileceği tespit edilmiştir (Tablo 5.9).

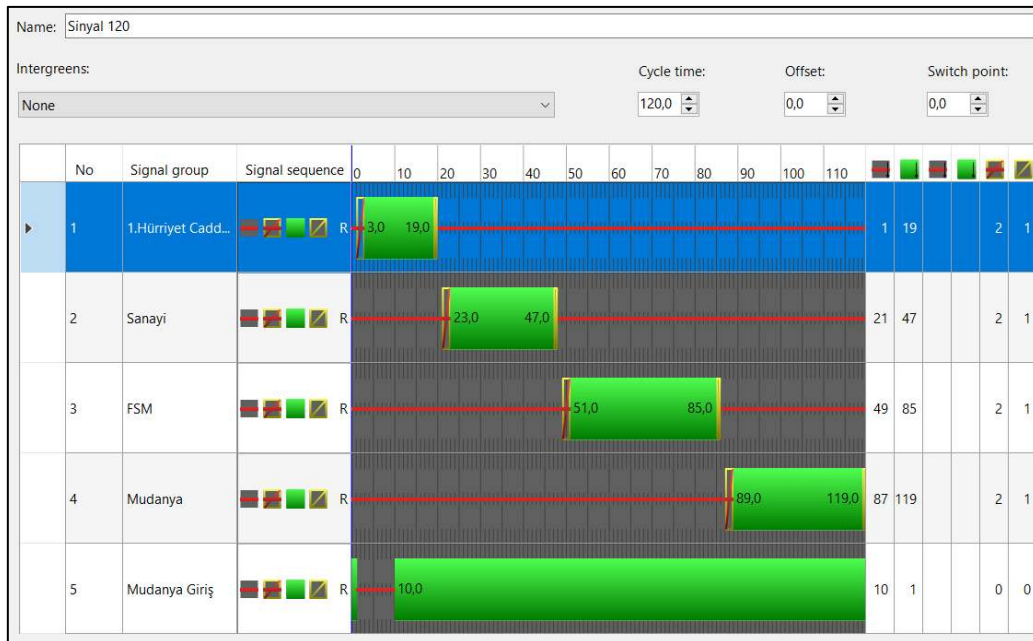


Şekil 5.27. Gerçek hacim ve senaryo 3 hacim değerleri

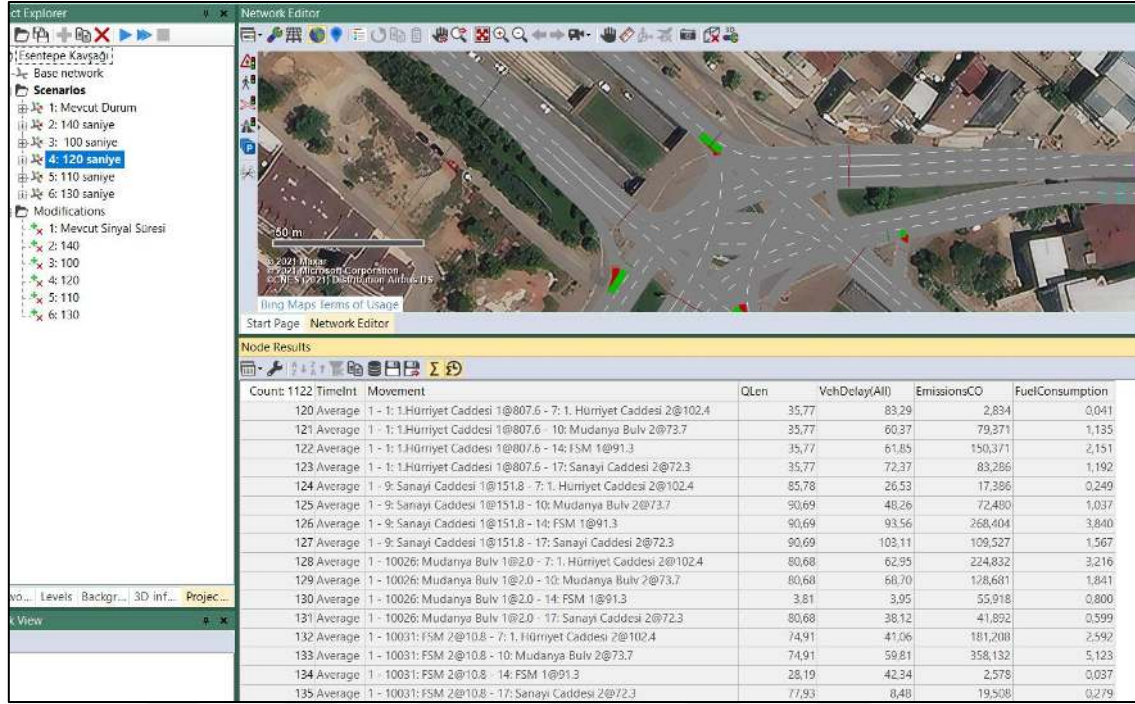
Tablo 5.9. GEH istatistiği ile senaryo 3 hacim doğrulaması

Güzergâh	Gerçek Hacim	Senaryo 3 Hacmi	Hacim Farkı	GEH	GEH(<5)
1-1	5	5	0	0,00	Evet
1-2	462	423	-39	1,85	Evet
1-3	237	211	-26	1,74	Evet
1-4	268	237	-31	1,95	Evet
2-1	584	602	18	0,74	Evet
2-2	14	14	0	0,00	Evet
2-3	185	162	-23	1,75	Evet
2-4	1107	1053	-54	1,64	Evet
3-1	78	82	4	0,45	Evet
3-2	629	603	-26	1,05	Evet
3-3	233	233	0	0,00	Evet
3-4	266	262	-4	0,25	Evet
4-1	651	624	-27	1,07	Evet
4-2	640	621	-19	0,76	Evet
4-3	182	174	-8	0,60	Evet
4-4	400	372	-28	1,43	Evet

Devre süresi 120 saniye olarak belirlenen senaryo 3 için Vissim programı ile yeni analiz sonuçları elde edilmiştir (Şekil 5.28) (Şekil 5.29). Elde edilen sonuçlarda 120 saniye devre süresi için kavşak performans değerlerine ulaşılmıştır (Tablo 5.10).



Şekil 5.28. Senaryo 3 sinyal süreleri

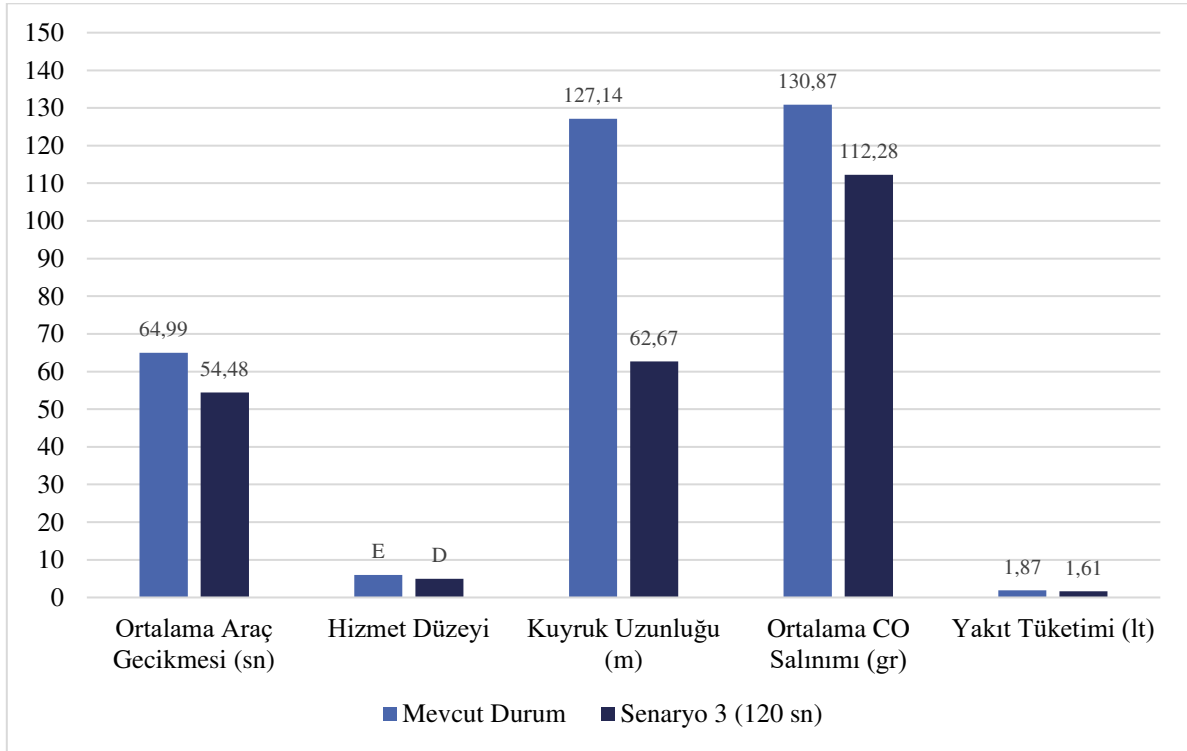


Şekil 5.29. PTV Vissim Senaryo 3 değerlendirme sonuçları

Tablo 5.10. Senaryo 3 değerlendirme sonuçları

Güzergâh	Ortalama Araç Gecikme Süresi (sn)	Hizmet Düzeyi	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Ortalama CO Salınımı (gr)	Ortalama Yakıt Tüketimi (lt)
1-1 (Hürriyet Cad.-Hürriyet Cad.)	83,29	F	35,77	2,83	0,04
1-2 (Hürriyet Cad.-FSM Bulvarı)	61,85	E	35,77	150,37	2,15
1-3 (Hürriyet Cad.-Sanayi Cad.)	72,37	E	35,77	83,29	1,19
1-4 (Hürriyet Cad.-Mudanya Yolu)	60,37	E	35,77	79,37	1,14
2-1 (FSM Bulvarı-Hürriyet Cad.)	41,06	D	74,91	181,20	2,59
2-2 (FSM Bulvarı-FSM Bulvarı)	42,34	D	28,19	2,58	0,04
2-3 (FSM Bulvarı-Sanayi Cad.)	8,48	A	77,93	19,51	0,28
2-4 (FSM Bulvarı-Mudanya Yolu)	59,81	E	74,91	358,13	5,12
3-1 (Sanayi Cad.-Hürriyet Cad.)	26,53	C	85,78	17,39	0,25
3-2 (Sanayi Cad.-FSM Bulvarı)	93,56	F	90,69	268,40	3,84
3-3 (Sanayi Cad.-Sanayi Cad.)	103,11	F	90,69	109,53	1,57
3-4 (Sanayi Cad.-Mudanya Yolu)	48,26	D	90,69	72,48	1,04
4-1 (Mudanya Yolu-Hürriyet Cad.)	62,95	E	80,68	224,83	3,22
4-2 (Mudanya Yolu-FSM Bulvarı)	3,95	A	3,81	55,92	0,80
4-3 (Mudanya Yolu-Sanayi Cad.)	38,12	D	80,68	41,89	0,60
4-4 (Mudanya Yolu-Mudanya Yolu)	65,70	E	80,68	128,68	1,84
Esentepe Kavşağı (Genel Ortalama)	54,48	D	62,67	112,28	1,61

Mevcut durum ve devre süresinin 120 saniye olması durumu analiz sonuçları karşılaştırılmış hizmet düzeyinin bir seviye yükselerek D sınıfına geldiği ve diğer parametrelerde de iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda performans ölçütlerinden %16,17 araç gecikmesinde, %50,71 kuyruk uzunluğunda, %14,20 CO salınımında ve %13,90 yakıt tüketiminde iyileşme meydana gelmiştir (Grafik 5.3).

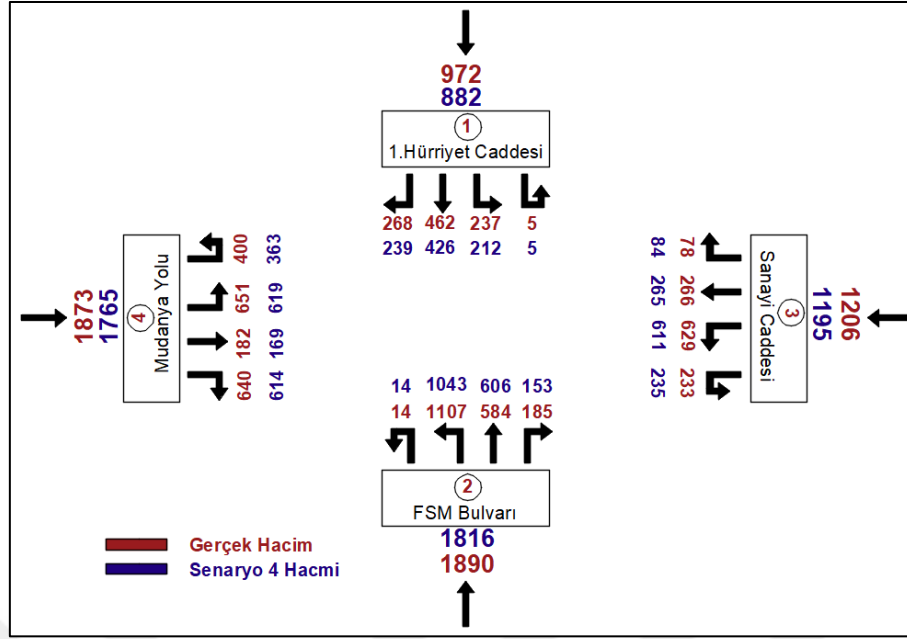


Grafik 5.3. Mevcut durum ve Senaryo 3 performans ölçümlerinin karşılaştırılması

5.3.4. Senaryo 4 (Devre süresi = 130 saniye)

130 saniye devre süresinin iyileştirmenin ilk yapıldığı devre süresi olduğu ve diğer senaryolardaki dağılımın bu düzenlemedeki ışık süreleriyle doğru orantılı olarak oluşturulduğu daha önceki bölümlerde de belirtilmiştir. Fakat çalışmada tüm devre sürelerinin sırayla incelenmesi amacıyla Senaryo 4 olarak ele alınmıştır.

Senaryo 4 için de hacim kontrolleri yapılarak mevcut durumla karşılaştırılmıştır (Şekil 5.30). Mevcut hacim değerleri ve simülasyon değerleri GEH istatistiği ile hesaplanarak tüm değerlerin 5'ten küçük çıktığı ve sonuçların kullanılabileceği tespit edilmiştir (Tablo 5.11).

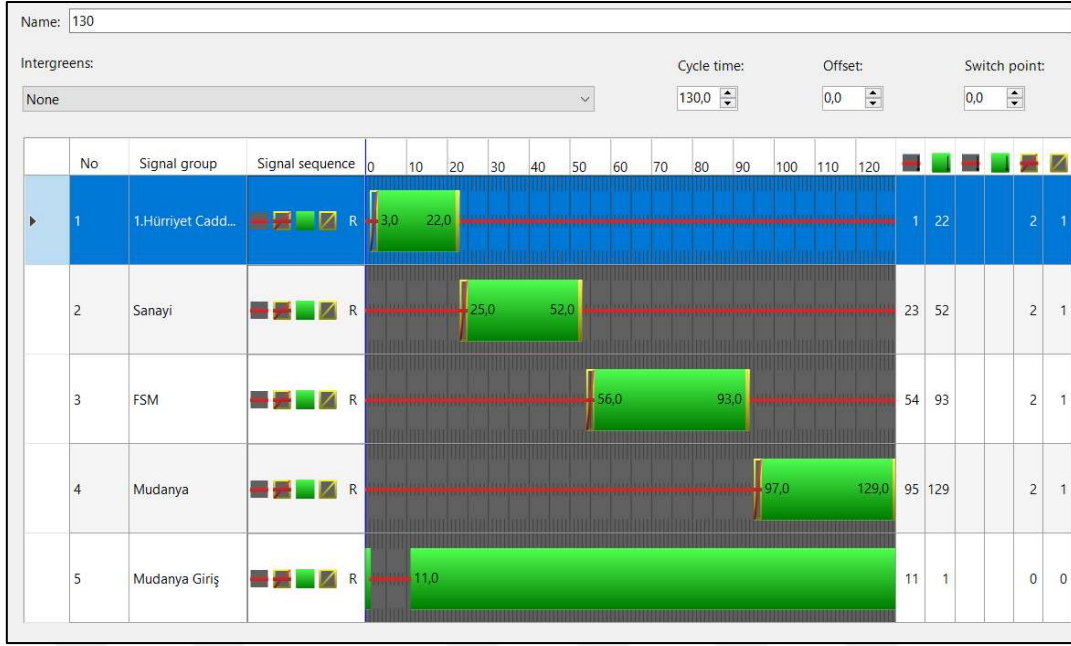


Şekil 5.30. Gerçek hacim ve senaryo 4 hacim değerleri

Tablo 5.11. GEH istatistiği ile senaryo 4 hacim doğrulaması

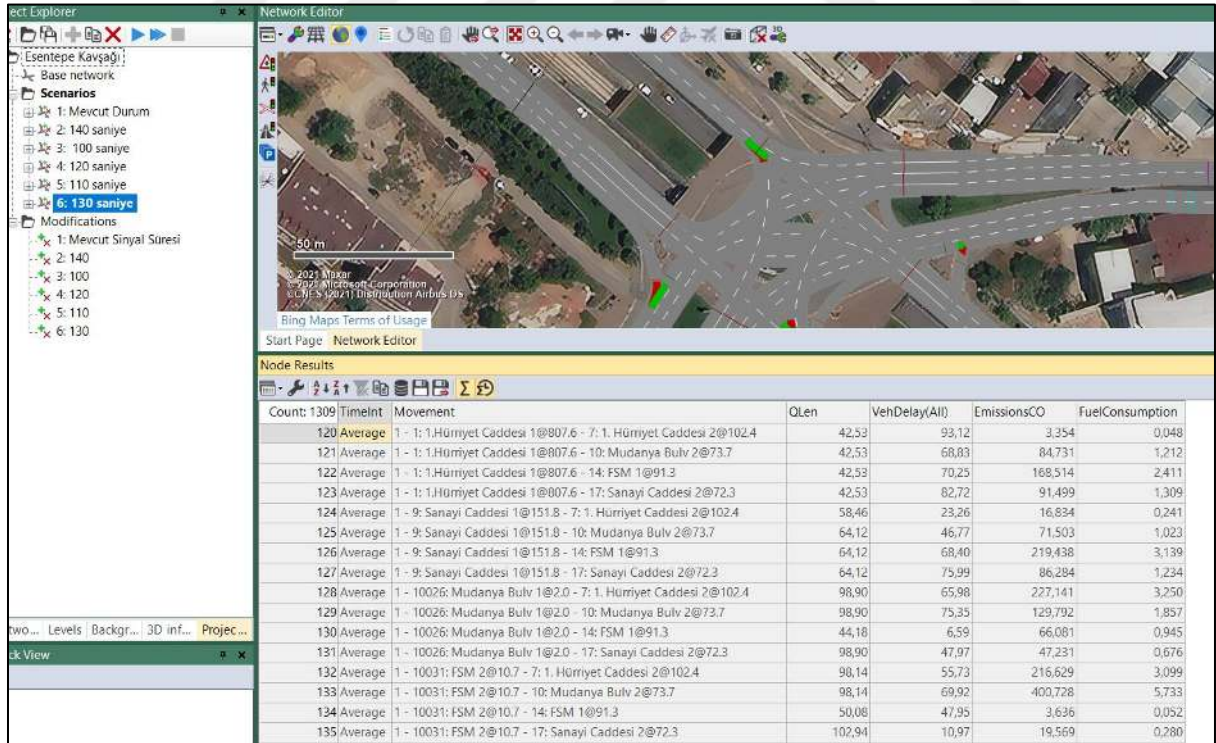
Güzergâh	Gerçek Hacim	Senaryo 4 Hacmi	Hacim Farkı	GEH	GEH(<5)
1-1	5	5	0	0,00	Evet
1-2	462	426	-36	1,71	Evet
1-3	237	212	-25	1,67	Evet
1-4	268	239	-29	1,82	Evet
2-1	584	606	22	0,90	Evet
2-2	14	14	0	0,00	Evet
2-3	185	153	-32	2,46	Evet
2-4	1107	1043	-64	1,95	Evet
3-1	78	84	6	0,67	Evet
3-2	629	611	-18	0,72	Evet
3-3	233	235	2	0,13	Evet
3-4	266	265	-1	0,06	Evet
4-1	651	619	-32	1,27	Evet
4-2	640	614	-26	1,04	Evet
4-3	182	169	-13	0,98	Evet
4-4	400	363	-37	1,89	Evet

Bu devre süresi oluşturulurken mevcut devre süresindeki sarı ışık sürelerinde azaltma yapılarak yeşil süreler en iyi performans sonucunun alınacağı şekilde düzenlenmiştir. Diğer devre süresi ve senaryoları bu dağılıma orantılı olacak şekilde oluşturulmuştur. (Şekil 5.31)



Şekil 5.31. Senaryo 4 sinyal süreleri

Senaryo 4'e göre yapılan simülasyon sonuçları ile ele aldığımız 130 saniye devre süresine sahip kavşak performans değerlendirme sonuçlarına ulaşılmıştır (Şekil 5.32) (Tablo 5.12).

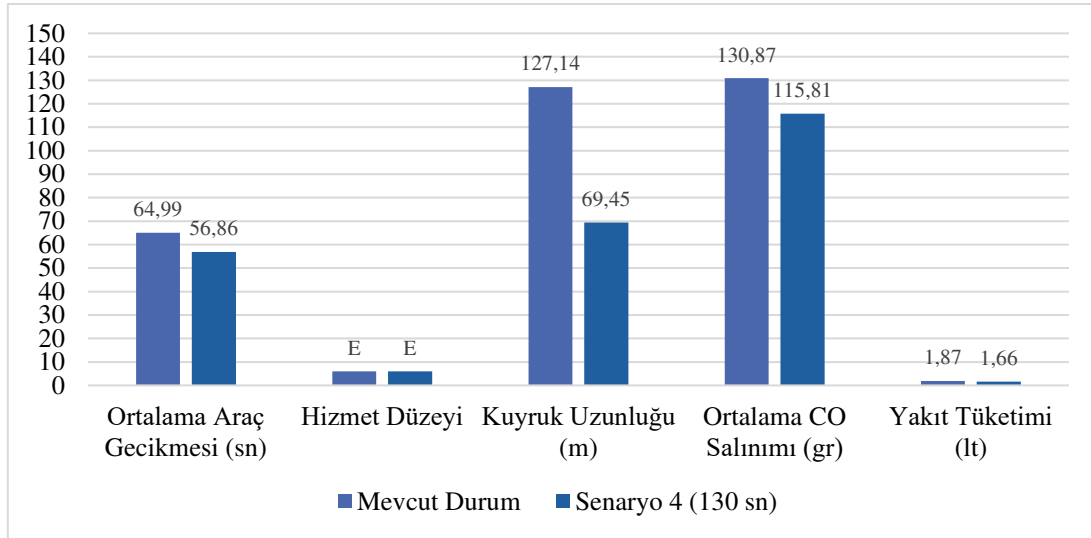


Şekil 5.32. PTV Vissim Senaryo 4 değerlendirme sonuçları

Tablo 5.12. Senaryo 4 değerlendirme sonuçları

Güzergâh	Ortalama Araç Gecikme Süresi (sn)	Hizmet Düzeyi	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Ortalama CO Salınımı (gr)	Ortalama Yakıt Tüketimi (lt)
1-1 (Hürriyet Cad.-Hürriyet Cad.)	93,12	F	42,53	3,35	0,05
1-2 (Hürriyet Cad.-FSM Bulvarı)	70,25	E	42,53	168,51	2,41
1-3 (Hürriyet Cad.-Sanayi Cad.)	82,72	F	42,53	91,50	1,31
1-4 (Hürriyet Cad.-Mudanya Yolu)	68,83	E	42,53	84,73	1,21
2-1 (FSM Bulvarı-Hürriyet Cad.)	55,73	E	98,14	216,63	3,10
2-2 (FSM Bulvarı-FSM Bulvarı)	47,95	D	50,08	3,64	0,05
2-3 (FSM Bulvarı-Sanayi Cad.)	10,97	B	102,94	19,57	0,28
2-4 (FSM Bulvarı-Mudanya Yolu)	69,92	E	98,14	400,73	5,73
3-1 (Sanayi Cad.-Hürriyet Cad.)	23,26	C	58,46	16,83	0,24
3-2 (Sanayi Cad.-FSM Bulvarı)	68,40	E	64,12	219,44	3,14
3-3 (Sanayi Cad.-Sanayi Cad.)	75,99	E	64,12	86,28	1,23
3-4 (Sanayi Cad.-Mudanya Yolu)	46,77	D	64,12	71,50	1,02
4-1 (Mudanya Yolu-Hürriyet Cad.)	65,98	E	98,90	227,14	3,25
4-2 (Mudanya Yolu-FSM Bulvarı)	6,59	A	44,18	66,08	0,95
4-3 (Mudanya Yolu-Sanayi Cad.)	47,97	D	98,90	47,23	0,68
4-4 (Mudanya Yolu-Mudanya Yolu)	75,35	E	98,90	129,79	1,86
Esentepe Kavşağı (Toplam)	56,86	E	69,45	115,81	1,66

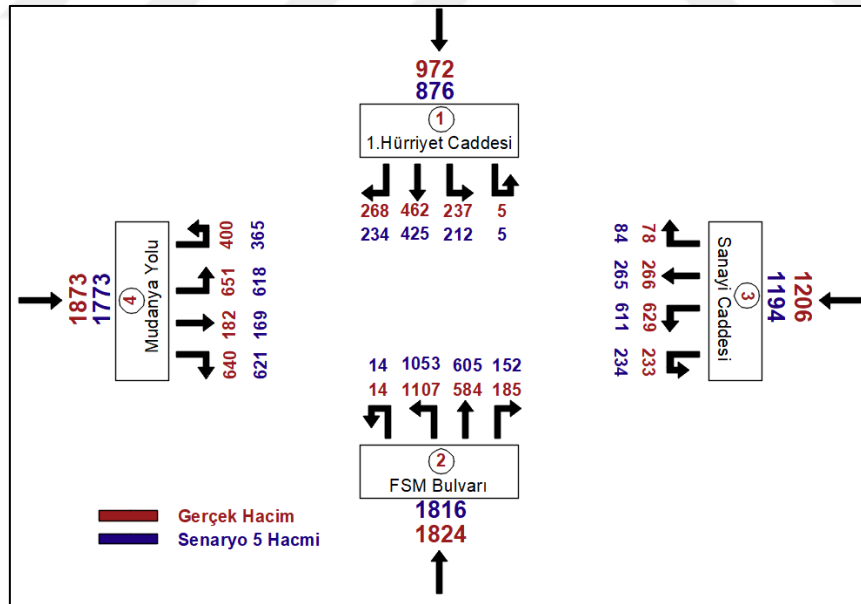
Mevcut durum ve devre süresinin 130 saniye olması durumu analiz sonuçları karşılaştırılmış hizmet düzeyinde bir değişiklik olmadığı ama diğer parametrelerde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda %12,51 araç gecikmesi, %45,38 kuyruk uzunluğu, %11,51 CO salınımı ve %11,23 yakıt tüketimi performansında iyileşme olmuştur (Grafik 5.4).



Grafik 5.4. Mevcut durum ve Senaryo 4 performans ölçümlerinin karşılaştırılması

5.3.5. Senaryo 5 (Devre süresi = 140 saniye)

Senaryo 5 için hacim kontrolleri yapılmıştır (Şekil 5.33). GEH istatistiği sonucu ile tüm değerlerin senaryo 5 için de 5'ten küçük çıktığı ve sonuçların kullanılabileceği tespit edilmiştir (Tablo 5.13).

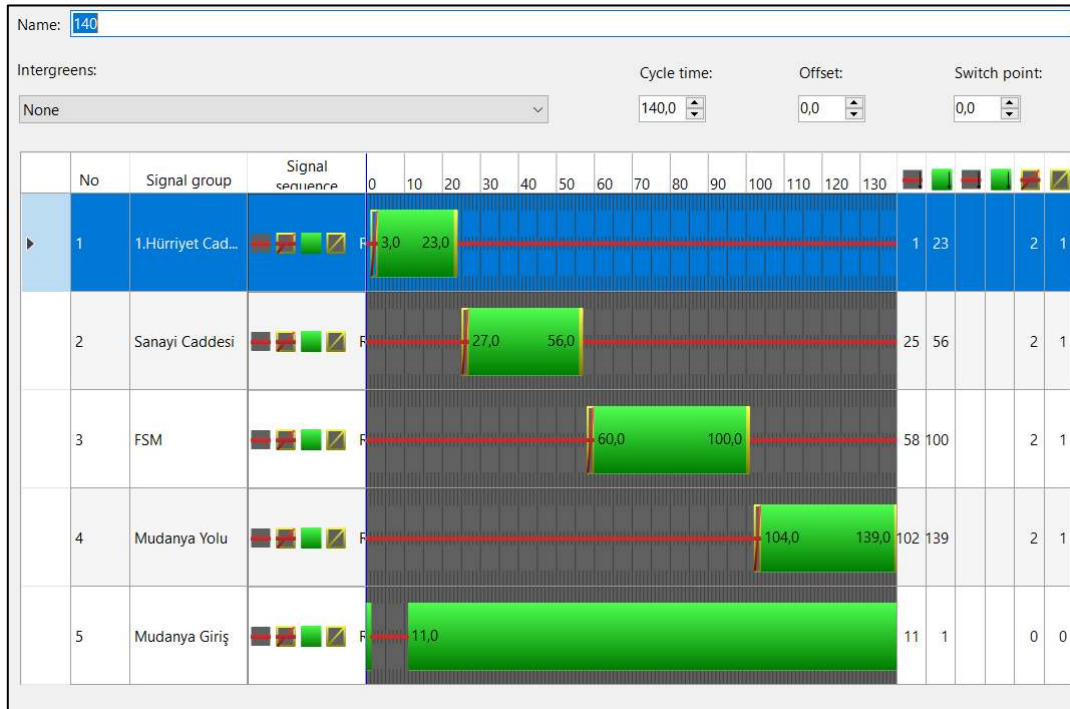


Şekil 5.33. Gerçek hacim ve senaryo 5 hacim değerleri

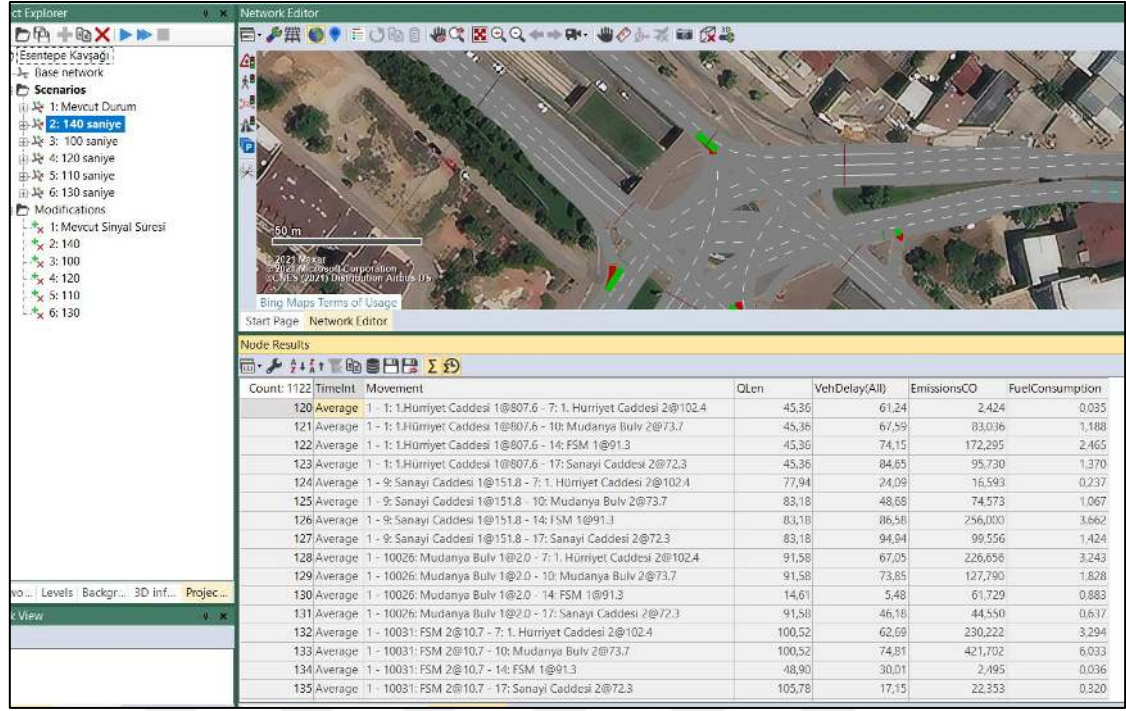
Tablo 5.13. GEH istatistiği ile senaryo 5 hacim doğrulaması

Güzergâh	Gerçek Hacim	Senaryo 5 Hacmi	Hacim Farkı	GEH	GEH(<5)
1-1	5	5	0	0,00	Evet
1-2	462	425	-37	1,76	Evet
1-3	237	212	-25	1,67	Evet
1-4	268	234	-34	2,15	Evet
2-1	584	605	21	0,86	Evet
2-2	14	14	0	0,00	Evet
2-3	185	152	-33	2,54	Evet
2-4	1107	1053	-54	1,64	Evet
3-1	78	84	6	0,67	Evet
3-2	629	611	-18	0,72	Evet
3-3	233	234	1	0,07	Evet
3-4	266	265	-1	0,06	Evet
4-1	651	618	-33	1,31	Evet
4-2	640	621	-19	0,76	Evet
4-3	182	169	-13	0,98	Evet
4-4	400	365	-35	1,79	Evet

Çalışmanın en başında oluşturulan yeni ışık süreleri senaryo 5 için kullanılan 140 saniye devre süresi ile orantılı olacak şekilde düzenlenerek yeni analiz sonuçları elde edilmiştir (Şekil 5.34) (Şekil 5.35).



Şekil 5.34. Senaryo 5 sinyal süreleri



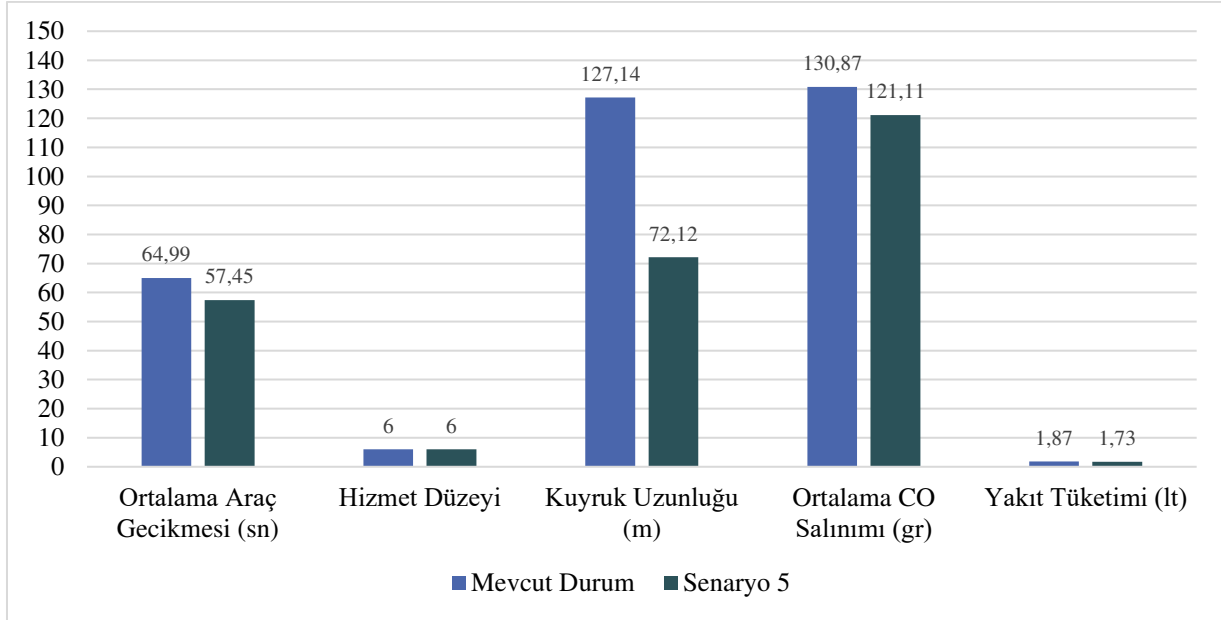
Şekil 5.35. PTV Vissim Senaryo 5 değerlendirme sonuçları

Senaryo 5'e göre elde edilen simülasyon sonuçları ile kavşak performans değerlendirme sonuçlarına ulaşılmıştır (Tablo 5.14).

Tablo 5.14. Senaryo 5 değerlendirme sonuçları

Güzergâh	Ortalama Araç Gecikme Süresi (sn)	Hizmet Düzeyi	Ortalama Kuyruk Uzunluğu	Ortalama CO Salınımı (gr)	Ortalama Yakıt Tüketimi (lt)
1-1 (Hürriyet Cad.-Hürriyet Cad.)	61,24	E	45,36	2,42	0,04
1-2 (Hürriyet Cad.-FSM Bulvarı)	74,15	E	45,36	172,30	2,47
1-3 (Hürriyet Cad.-Sanayi Cad.)	84,65	F	45,36	95,73	1,37
1-4 (Hürriyet Cad.-Mudanya Yolu)	67,59	E	45,36	83,04	1,19
2-1 (FSM Bulvarı-Hürriyet Cad.)	62,69	E	100,52	230,22	3,29
2-2 (FSM Bulvarı-FSM Bulvarı)	30,01	C	48,90	2,50	0,04
2-3 (FSM Bulvarı-Sanayi Cad.)	17,15	B	105,75	22,35	0,32
2-4 (FSM Bulvarı-Mudanya Yolu)	74,81	E	100,52	421,70	6,03
3-1 (Sanayi Cad.-Hürriyet Cad.)	24,09	C	77,94	16,59	0,24
3-2 (Sanayi Cad.-FSM Bulvarı)	86,58	F	83,18	256,00	3,66
3-3 (Sanayi Cad.-Sanayi Cad.)	94,94	F	83,18	99,56	1,42
3-4 (Sanayi Cad.-Mudanya Yolu)	48,68	D	83,18	74,57	1,07
4-1 (Mudanya Yolu-Hürriyet Cad.)	67,05	E	91,58	226,66	3,24
4-2 (Mudanya Yolu-FSM Bulvarı)	5,48	A	14,61	61,73	0,88
4-3 (Mudanya Yolu-Sanayi Cad.)	46,18	D	91,58	44,55	0,64
4-4 (Mudanya Yolu-Mudanya Yolu)	73,85	E	91,58	127,79	1,83
Esentepe Kavşağı (Toplam)	57,45	E	72,12	121,11	1,73

Mevcut durum ve Senaryo 5 analiz sonuçları karşılaştırılmış hizmet düzeyinde bir değişiklik olmadığı ama diğer parametrelerde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda %11,60 araç gecikmesi, %43,28 kuyruk uzunluğu, %7,46 CO salınımı ve %7,49 yakıt tüketimi performansında iyileşme olmuştur (Grafik 5.5).



Grafik 5.5. Mevcut durum ve Senaryo 5 performans ölçümlerinin karşılaştırılması

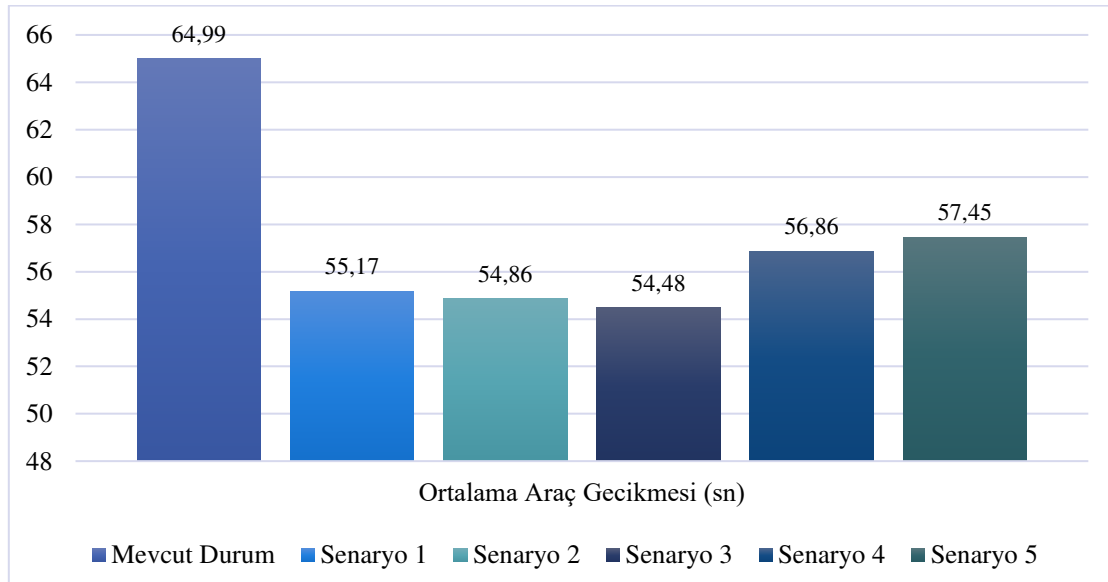
5.3.6. Senaryoların Karşılaştırılması

Tüm senaryolar için düğüm değerlendirmesi sonuçları incelenerek mevcut durum ve senaryolar arasında karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma boyunca bahsedilen ve senaryolara uyarlanan yeni düzenlemeden sonra tüm senaryolar da mevcut duruma göre iyileşme meydana geldiği gözlemlenmiştir. Senaryolar kendi arasında karşılaştırıldığı zaman 120 saniye devre süresine sahip olan Senaryo 3'te optimum süreye ulaşıldığı tespit edilmiştir. 120 saniyeden sonraki her 10 saniyelik artışta ve azalışta incelenen parametre değerlerinde artış, kavşak performansında azalma meydana gelmektedir. Buda 120 saniyeyi en uygun devre süresi haline getirmektedir (Tablo 5.15).

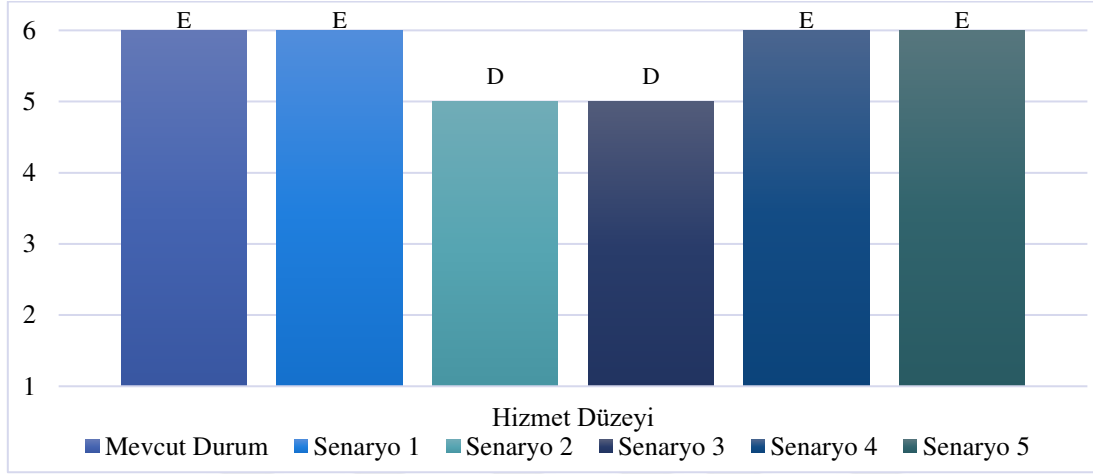
Tablo 5.15. Tüm durumların performans ölçütlerinin karşılaştırılması

	Ortalama Araç Gecikmesi (sn)	Hizmet Düzeyi	Kuyruk Uzunluğu (m)	Ortalama CO Salınımı (gr)	Yakıt Tüketimi (lt)
Mevcut Durum	64,99	E	127,14	130,87	1,87
Senaryo 1 (100 sn)	55,17	E	72,55	122,47	1,75
Senaryo 2 (110 sn)	54,86	D	69,45	118,33	1,69
Senaryo 3 (120 sn)	54,48	D	62,67	112,28	1,61
Senaryo 4 (130 sn)	56,86	E	69,45	115,81	1,66
Senaryo 5(140 sn)	57,45	E	72,12	121,11	1,73

Ortalama araç gecikme süresinde tüm senaryolarda mevcut duruma kıyasla iyileşme meydana geldiği görülmektedir. Senaryolar kıyaslandığında bu parametre için değerlerin birbirine yakındır. Amaç en uygun süreyi bulmak olduğu için değerler yakın olsa da en iyi sonuç ortalama araç süresi için Senaryo 3 yani 120 saniye devre süresinde meydana gelmiştir. Optimum süreyle diğer durumlar karşılaştırıldığında devre süresinin 120 saniyeden sonra artması azalmasından daha fazla ortalama araç gecikmesini artırmıştır (Grafik 5.6).

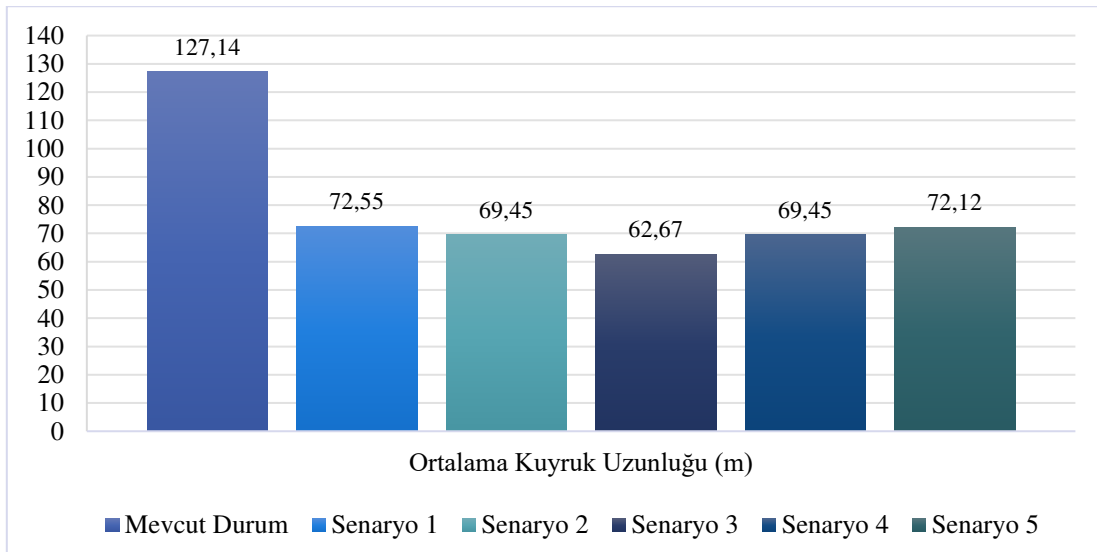
**Grafik 5.6.** Tüm durumlar için ortalama araç gecikmesi değerinin karşılaştırılması

Hizmet düzeyi ortalama araç gecikmesi değerine bağlı olarak belirlenen yolcuların trafik şartlarından memnun olma durumunun derecelendirilme parametresidir. HCM yönteminde süre aralıklarına göre yolun veya kavşağın hangi düzeyde olduğu belirtilmiştir (Tablo 4.2). Değerlendirme sonuçlarına göre bu parametre Senaryo 2 ve Senaryo 3'te bir sınıf artarak D hizmet seviyesine yükselmiştir. Yani kararsız ve temel kapasiteye çok yakın bir trafik akımından kısa mesafeler için daha kabul edilebilir bir seviyeye geçtiği görülmektedir. Diğer durumlar mevcut durumla aynı hizmet seviyesinde kalmıştır (Grafik 5.7).



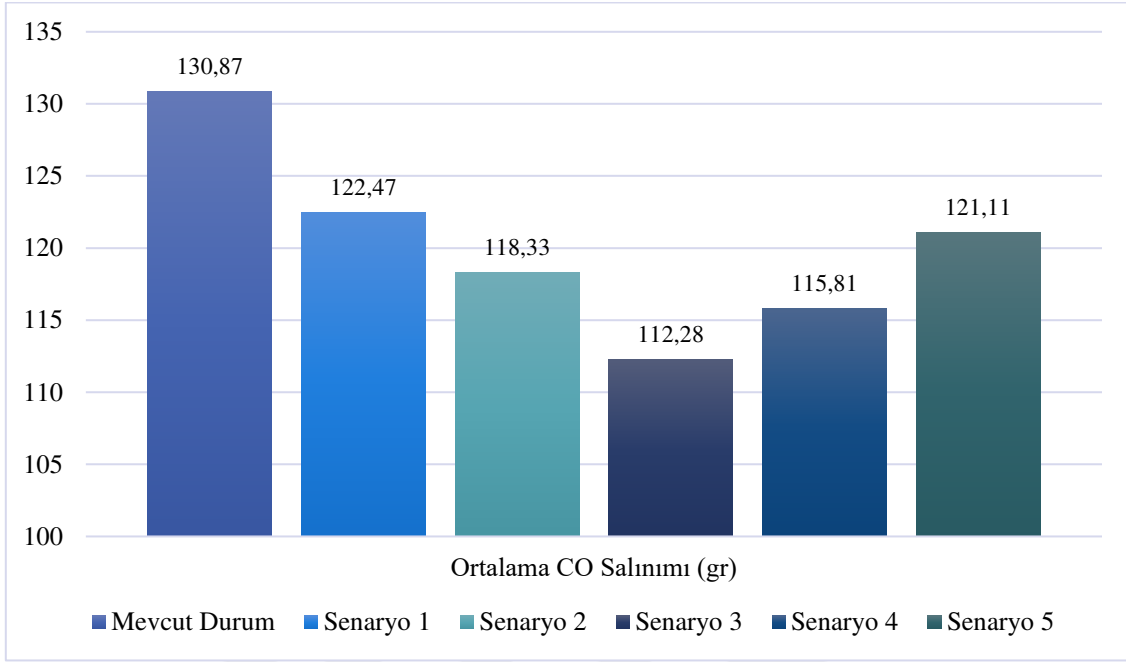
Grafik 5.7. Tüm durumlar için hizmet düzeyinin karşılaştırılması

Ortalama kuyruk uzunluğu performans parametresinde tüm senaryolarda mevcut duruma kıyasla iyileşme meydana geldiği görülmektedir. Senaryolar kendi arasında kıyaslandığında optimum süre olarak tespit edilen Senaryo 3'te en iyi sonuca ulaşılmıştır (Grafik 5.8).



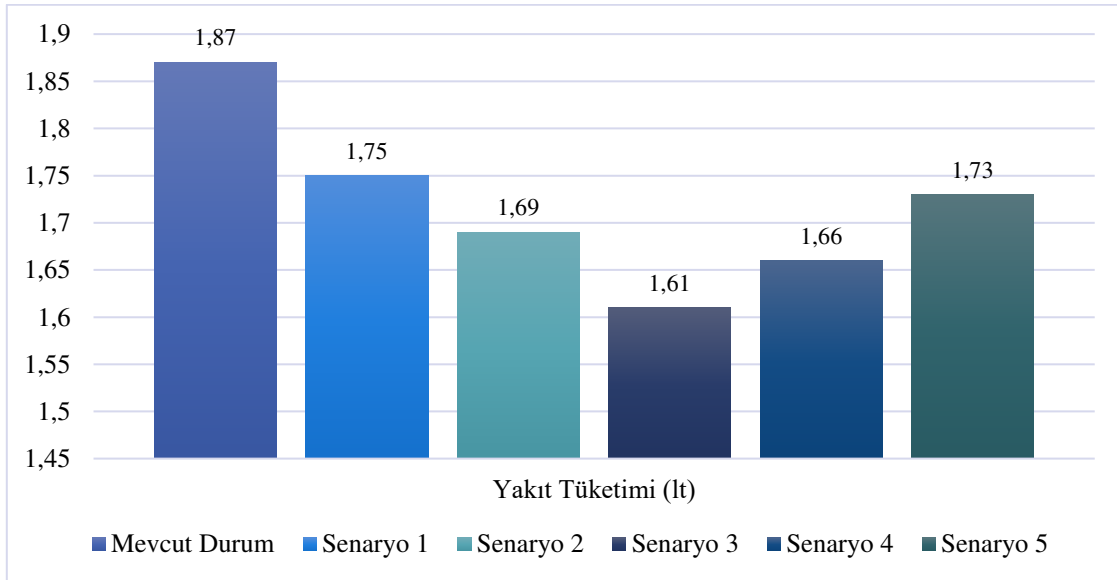
Grafik 5.8. Tüm durumlar için ortalama kuyruk uzunluğu değerinin karşılaştırılması

Ortalama CO salınımı Senaryo 3’te yani 120 saniye kabul edilen devre süresinde en iyi duruma ulaştığı görülmektedir (Grafik 5.9)



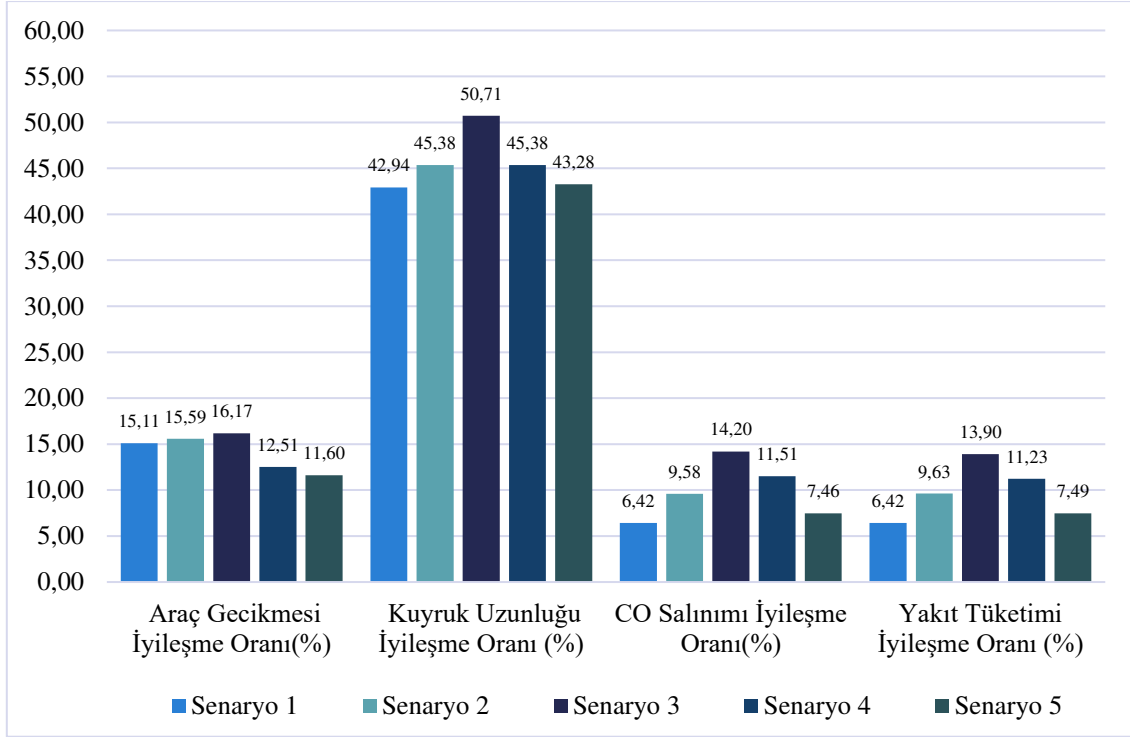
Grafik 5.9. Tüm durumlar için ortalama CO salınımı değerinin karşılaştırılması

Ortalama yakıt tüketiminin Senaryo 3’te yani 120 saniyeye sahip devre süresinde en iyi duruma ulaştığı görülmektedir (Grafik 5.10)



Grafik 5.10. Tüm durumlar için yakıt tüketimi değerinin karşılaştırılması

Tüm senaryolar için performans ölçütlerinde meydana gelen iyileşme genel olarak değerlendirildiğinde en iyi sonuç tüm parametreler için devre süresi 120 saniye olarak kabul edildiğinde ortaya çıkmaktadır. Bu şekilde Senaryo 3'te yapılan değişiklik ile yüzde olarak en iyi iyileşme değerine ulaşılmıştır (Grafik 5.11).

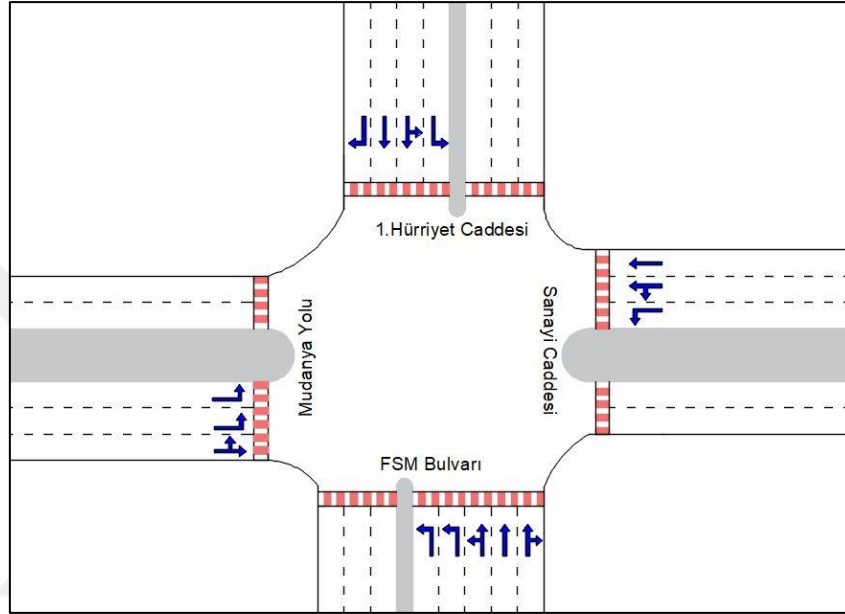


Grafik 5.11. Tüm senaryolar için iyileşme yüzdelerinin karşılaştırılması

Mevcut durum ve tüm senaryolar için performans ölçütleri genel olarak karşılaştırıldığında en iyi sonuç tüm parametreler için devre süresi 120 saniye olarak kabul edildiğinde ortaya çıkmaktadır. Bu şekilde Senaryo 3'te yapılan değişiklik ile Esentepe Kavşağı için optimum devre süresi elde edilmiştir.

5.6.7. Webster Yöntemi ile Optimum Süre Hesabı

Webster yöntemiyle optimum süreyi tespit etmek için kavşak kollarından diğer yönlere giden araç hacim değerleri şeritlerde bulunan akım yönleri doğrultusunda düzenlenmiştir. (Şekil 5.36) Doygun akım çalışmanın dördüncü bölümünde detaylı olarak bahsedilen parametreler doğrultusunda düzenlenerek her faz ve şerit grubu için doyumluk oranı tespit edilmiştir. (Tablo 5.16)



Şekil 5.36. Esentepe Kavşağı Şerit Akımları

Tablo 5.16. Webster Yöntemi ile devre süresi bulmak için gereken veriler

	Şerit Akımları	Düzeltilmiş Akım (q)	Düzeltilmiş Doygun Akım (S)	Doygunluk Oranı (y)
1.Hürriyet Caddesi	$H_{(düz+sağ)}$	797	5625	0.142
	$H_{(sol)}$	242	3075	0.080
Sanayi Caddesi	$S_{(düz)}$	344	3750	0.092
	$S_{(sol)}$	862	4755	0.181
FSM Bulvarı	$F_{(sol)}$	769	5625	0.137
	$F_{(düz+sağ)}$	1121	4620	0.243
Mudanya Yolu	$M_{(düz)}$	182	1875	0.098
	$M_{(sağ)}$	1051	4275	0.246

Fazlarda bulunan her akım için doygunluk oranını hesaplandıktan sonra optimum devre süresi hesabı için toplam doygunluk(Y) hesabı yapılması gerekmektedir. Bunun için tüm fazlarda hesaplanan maksimum doygunluk değerleri toplanarak optimum devre süresi formülünde yerine koyulur.

$$Y = \sum \text{maks} \left(\frac{q}{S} \right) = 0.142 + 0.181 + 0.243 + 0.246 = 0.812 \quad 5.2$$

$$C_{\text{opt}} = \frac{1.5 \times 12 + 5}{1 - 0.812} = 122.3 \quad 5.3$$

$$\text{Toplam Yeşil Süre } G = 122.3 - 12 = 110.3 \quad 5.4$$

Kavşaktaki her fazdaki yeşil sürenin(g) hesabı için devre süresinden kayıp süre çıkarılarak bulunan sonuç her faz için seçilen maksimum doygunluk oranı ile çarpılarak toplam doygunluk oranına bölünür.

$$g_{\text{Hürriyet}} = 110.3 \times \frac{0.142}{0.812} = 19.3 \cong 19 \quad 5.5$$

$$g_{\text{Sanayi}} = 110.3 \times \frac{0.181}{0.812} = 24.6 \cong 25 \quad 5.6$$

$$g_{\text{FSM}} = 110.3 \times \frac{0.243}{0.812} = 33 \quad 5.7$$

$$g_{\text{Mudanya}} = 110.3 \times \frac{0.246}{0.812} = 33.4 \cong 33 \quad 5.8$$

Bulunan değerler yaklaşık değerine yuvarlanarak daha önce Vissim programı ile tespit edilen optimum senaryo değerleri ile karşılaştırılmıştır. Birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 5.17).

Tablo 5.17. Senaryo 3 ve Webster Yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması

	PTV Vissim (Senaryo 3) Sonuçları	Webster Yöntemi Sonuçları
Hürriyet Fazı	16	19
Sanayi Fazı	24	25
FSM Fazı	34	33
Mudanya Fazı	30	33
Devre Süresi	120	122

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kavşak performansını kavşak tipi seçimi, geometrik elemanların doğru tasarımı etkilediği kadar sinyalizasyondan kaynaklanan gecikmelerde etkilemektedir. Bu doğrultuda gecikmelerin azaltılması ve performans etkilerinin iyileştirilmesi için kavşağın en elverişli sürede işletilmesi gerekmektedir. Bu nedenle kavşak için optimum devre süresi ve her faz için gereken yeşil sürenin kavşak yoğunluğu doğrultusunda belirlenmesi gerekmektedir. Kavşağın en iyi hizmet seviyesinde işletilmesi gecikme, kuyruk uzunluğu gibi trafik problemleri ile bunlara paralel olarak oluşan CO emisyonu ve yakıt tüketimi gibi çevre problemlerinin azaltılmasını sağlayacaktır.

Bursa Esentepe Kavşağı şehrin yoğun ve kritik noktalardan biri olduğu için çalışma alanı olarak seçilmiş ve gerekli trafik verileri Bursa Büyükşehir Belediyesi Trafik Şube Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Performans sonuçları PTV Grup tarafından sağlanan PTV Vissim programının akademik lisansı ile elde edilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde çalışmanın yapılma amacından, literatüre katkılarından ve çalışma içeriğinden bahsedilmiştir. Bu bölümde kavşak performansı ve sinyalizasyon konularını ele alan çalışmalar üzerinde literatür taraması yapılarak elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde kavşak tipleri, kavşak tipi seçimi, kavşak tasarımı ve tasarımı etkileyen faktörlerden bahsedilerek kavşaklar hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde çalışmada esas olarak ele alınan eş düzey kavşaklar üzerinde durulmuştur. Eşdüzey kavşaklar kol sayısı ve denetim durumuna göre sınıflandırılarak her bir eşdüzey kavşak tipinden detaylı olarak bahsedilerek ve görsellerle örneklendirilmiştir. Eşdüzey kavşaklarda meydana gelen trafik hareketleri açıklanmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde çalışmada sinyalizasyon eş düzey kavşak ele alındığı için sinyalizasyon kavramına yer verilerek detaylı olarak açıklaması yapılmış ve sinyalizasyon sistemleri ele alınmıştır. Sinyalizasyon hesaplarında kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Webster yöntemi çalışmada kullanıldığı için detaylı olarak anlatılmış diğer yöntemlerden genel hatlarıyla bahsedilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümü yöntem, analiz ve bulguların yer aldığı bölümü oluşturmaktadır. Çalışma için kullanılan Vissim programının özelliklerinden, ara yüzünden ve programa temel verilerin tanımlanarak analiz yapılması için gereken adımlardan bahsedilmiştir. Çalışma alanı olarak Seçilen Esentepe Kavşağına ait trafik hacim verileri, sinyal süreleri gösterilerek kavşağın en yoğun olduğu 17.15-18.15 akşam zirve saatindeki hacim değerleri ele alınmıştır. Mevcut durumun programa yansıtılma aşamaları detaylı olarak anlatılmıştır. Programdaki simülasyon sonuçlarının gerçek durumu yansıtması için gerekli kalibrasyon yapılarak kalibrasyon değişkenlerine detaylı olarak yer verilmiştir. Mevcut durum en doğru şekilde yansıtılana kadar gereken düzenlemeler ve kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Programda yapılan modellemenin mevcut durumu yansıttığını göstermek için GEH analizi yapılarak tüm değerlerin kullanılabilir olduğu ispatlanmıştır. Yapılan ispat sonrasında simülasyonda düğüm değerlendirmesi yapılarak mevcut durum performans sonuçlarına ulaşılmıştır. Mevcut durumda 64,99 sn. ortalama araç gecikmesi ile E hizmet düzeyinde kavşağın işletildiği, kavşak genelinde ortalama kuyruk uzunluğunun 127,14 m olduğu, 130,87 gr ortalama CO salınımı meydana geldiği ve ortalama 1,87 lt yakıt tüketimi yapıldığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Kavşağın mevcut durumda verdiği performans sonuçlarının iyileştirilmesi için 134 saniye devre süresi kavşak kollarındaki hacim değerleri göz önünde bulundurularak ve kayıp süre uzunluğu göz önüne alınarak yeniden tasarlanmıştır. Mevcut durumda her fazda 5 saniye olan sarı süresi 4 fazlı kavşakta toplam 20 saniye kayıp süre oluşturmaktadır. Bu durum minimum süre korunarak her faz için 3 saniyeye düşürülerek 8 saniye kazanç elde edilmiştir. Yeni tasarlanan devre süresini 134 saniye yerine 4 saniye azaltılarak 130 saniyeye düşürülüp simülasyon sonuçları ve kavşak yoğunluğuna bağlı olarak fazlar için yeni bir sinyal düzeni oluşturulmuştur. Yeni duruma göre yapılan kavşak performans sonuçlarında iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlara göre ortalama araç gecikmesi 56,86 saniye, ortalama kuyruk uzunluğu 69,45 saniye, ortalama CO salınımı 115,81 saniye ve yakıt tüketimi 1,66 litreye düşmüştür. Bu durumda ortalama araç gecikmesi %12,5, ortalama kuyruk uzunluğu %45,4, ortalama CO salınımı %11,5 ve yakıt tüketimi %11,2 oranında iyileştirildiği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Elde edilen iyileştirilmiş yeni sinyal tasarımına göre devre süresinin kavşak performansındaki önemini göstermek için 100, 110, 120, 130, 140 saniye devre sürelerinde yeni elde edilen yeşil ve kırmızı süreleri aynı oran korunacak şekilde azaltılarak analiz ve karşılaştırmalar yapılmıştır. 130 saniye devre süresi ilk iyileştirilme elde edilen ve diğer

senaryoların buna göre şekillendiği süredir fakat çalışma içerisinde devre süreleri sırayla ele alınarak açıklanmıştır. Devre süresi 100 saniye Senaryo 1, 110 saniye Senaryo 2, 120 saniye Senaryo 3, 130 saniye Senaryo 4 ve 140 saniye Senaryo 5 olacak şekilde elde edilen sonuçlar çalışmaya eklenmiştir. Tüm senaryolar için de mevcut durumu yansıtmaya oranları GEH analizi yapılarak değerlerin kullanılabilirliği ispatlanmıştır.

100 saniye devre süresine sahip senaryo 1 ve mevcut durum karşılaştırıldığında ortalama araç gecikmesi 55,17 saniyeye düşerek %15,11, ortalama kuyruk uzunluğu 72,55 metreye düşerek %42,94, CO emisyonu 122,47'ye düşerek %6,42 ve yakıt tüketimi 1,75'e düşerek %6,42 iyileşme oranı elde edilmiştir.

110 saniye devre süresine sahip senaryo 2 ve mevcut durum karşılaştırıldığında ortalama araç gecikmesi 54,86 saniyeye düşerek %15,59, ortalama kuyruk uzunluğu 69,45 metreye düşerek %45,38, CO emisyonu 118,33'e düşerek %9,58 ve yakıt tüketimi 1,69'a düşerek %9,63 iyileşme oranı elde edilmiştir.

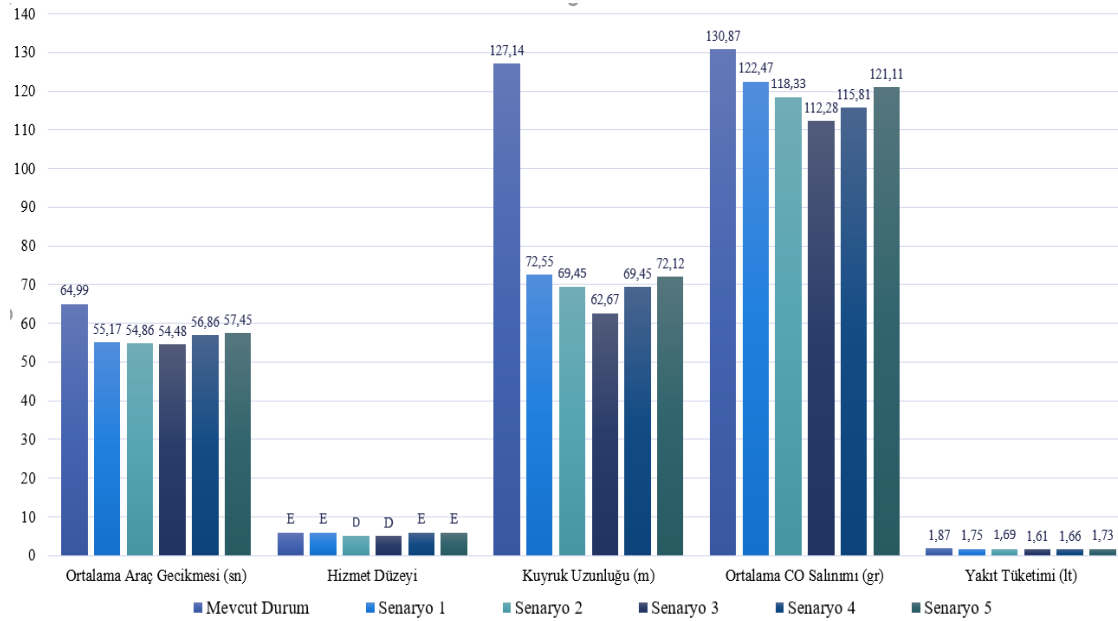
120 saniye devre süresine sahip senaryo 3 ve mevcut durum karşılaştırıldığında ortalama araç gecikmesi 54,48 saniyeye düşerek %16,17, ortalama kuyruk uzunluğu 62,67 metreye düşerek %50,71, CO emisyonu 112,28'e düşerek %14,20 ve yakıt tüketimi 1,61'e düşerek %13,90 iyileşme oranı elde edilmiştir.

130 saniye devre süresine sahip senaryo 4 ve mevcut durum karşılaştırıldığında ortalama araç gecikmesi 56,86 saniyeye düşerek %12,51, ortalama kuyruk uzunluğu 69,45 metreye düşerek %45,38, CO emisyonu 115,81'e düşerek %11,51'ye ve yakıt tüketimi 1,66'ya düşerek %11,23 iyileşme oranı elde edilmiştir.

140 saniye devre süresine sahip senaryo 5 ve mevcut durum karşılaştırıldığında ortalama araç gecikmesi 57,45 saniyeye düşerek %11,60, ortalama kuyruk uzunluğu 72,12 metreye düşerek %43,28, CO emisyonu 121,11'e düşerek %7,46'ya ve yakıt tüketimi 1,73'e düşerek %7,49 iyileşme oranı elde edilmiştir.

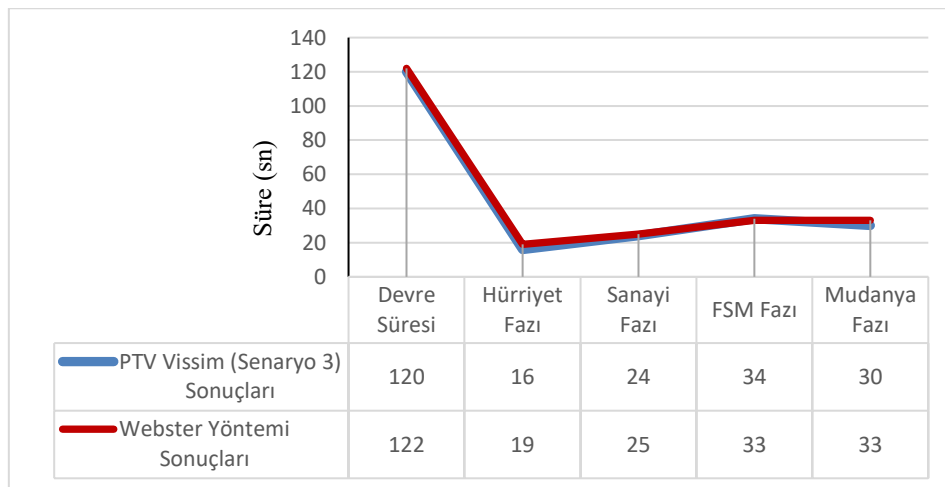
Tüm senaryolar mevcut duruma kıyaslandığında performans sonuçlarında senaryolarda iyileşme olduğu belirtilmiştir. Senaryolar kendi içinde karşılaştırıldığında ise Senaryo 3 yani 120 saniye devre süresi en iyi performans sonuçlarını vermektedir (Grafik 6.1). Devre süresinin 120 saniyeden fazla veya az olduğu durumlarda performansta düşüş meydana gelmektedir. Bu nedenle karşılaştırılan süreler içerisinde 120 saniye en uygun ve kavşak performansını en iyi duruma getiren süre olarak tespit edilmiştir.

Kavşak optimum devre süresi ile en iyi işletme koşullarını sunmaktadır. Bu sürenin daha az veya daha fazla olduğu durumda performans parametrelerinin olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir.



Grafik 6.1. Tüm durumlar için performans ölçümlerinin karşılaştırılması

Sinyalizasyon hesaplama yöntemlerinden biri olan Webster Yöntemi ile kavşak şeritlerindeki akım yönleri ve doymun akım düzeltme faktörleri göz önünde bulundurularak hesaplama yapılmış ve optimum devre süresi 122,3 saniye olarak bulunmuştur. Webster ile elde edilen Optimum süre, Vissim benzetim programı senaryoları ile elde edilen en iyi süre ile yaklaşık sonuçları vermiştir (Grafik 6.2).



Grafik 6.2. Webster Yöntemi ve Vissim Programı sinyal süresi sonuçları

Senaryo 3 yani 120 saniye ile elde edilen performans değerleri detaylı olarak incelendiğinde kavşak hizmet düzeyi E seviyesinden D seviyesine geçerek daha kabul edilebilir bir durum elde etmeyi sağlamıştır. Ortalama araç kuyruk uzunluğunda %50,71 iyileşme durumu sağlanarak kavşak performansındaki trafik problemlerinin iyileştiği sonucuna ulaşılmıştır. Araçların kuyrukta beklerken sürekli durup kalkmasından kaynaklanan CO emisyonu mevcut duruma göre 18,59 gr, yakıt tüketimi 0.26 lt azalmıştır. Sadece günün en yoğun 1 saatinde meydana gelen bu iyileşme yılın en yoğun saatleri baz alınarak düşünüldüğünde CO emisyonunda azalma ve yakıt tüketiminde meydana gelecek tasarruf göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir.

Bu koşullarda günün en yoğun 1 saatindeki iyileşmeden yola çıkılarak CO emisyonunda bir ayda 557,7 gr, bir yılda 6692,4 gr; yakıt tüketiminde bir ayda 7.8 lt, bir yılda 93,6 lt tasarruf sağlanacağı sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu değerlere ele alınan kavşağın bir saat içerisinde vermiş olduğu sonuçlar göz önünde bulunarak ulaşılmıştır. Bu değerlendirme ile küçük bir parça ele alınarak yapılan inceleme bütüne yansıtıldığında ciddi bir iyileşme elde edilebileceği gösterilmeye çalışılmıştır. Ülkemizde bulunan tüm kavşaklarda yapılacak iyileştirme çalışmaları sonrasında meydana gelecek yakıt tasarrufu ve CO salınımı iyileştirmesinin sonuçlarının ülke ekonomisindeki ve çevre kirliliğini azaltmadaki önemi gösterilmek istenmiştir.

Günümüzde şehirlerin nüfusundaki ciddi orandaki artış taşıt sayısını da artırmakta ve trafik problemlerini meydana getirmektedir. Sinyalizasyon hesaplarında yapılan düzenlemeler kavşaklarda iyileşme meydana getirirse de her an artan hacim faktörü ele alındığı zaman bir süre sonra bu çözümlerin de yetersiz kalacağı ortadadır. Trafik sinyalizasyonunda sağlanan çözümler fayda sunsa da öngörülemeyen nüfus ve taşıt artışı bu çözümleri geçici çözümler durumuna getirmektedir. Bu durumda sinyalizasyon kontrol sistemi olarak tüm yaklaşım kollarında araçlar ve yayalar için algılayıcıların yer aldığı tam trafik uyarmalı sistemlerinin kullanılması önerilmektedir. Bu sistemlerde kavşak yaklaşımlarında yer alan sensörler geçiş sırası ve sürelerini trafiğin anlık yoğunluğuna göre otomatik olarak düzenleyerek gecikmeleri minimuma indirmektedir. Bir diğer öneri ise taşıt gecikmelerini, yakıt tüketimini, kuyruk oluşumunu azaltmak ve etkili trafik akışını sağlamak amacıyla tasarlanan koordine sinyalizasyon sistemlerinin tercih edilmesidir. Kavşağın aynı bölgede gerekli mesafe koşullarını sağlayacak şekilde yer alan diğer kavşaklarla koordine olarak çalıştırılması alternatif öneri olarak sunulmaktadır. Ayrıca araç egzozlarının neden olduğu zararlı gaz salınımlarının çevreye; yakıt tüketiminin sınırlı kaynaklara ve tüm bunların ekonomiye olan etkisi göz önüne

alındığında toplu ulaşımın ağırlıkta olduğu bir ulaşım modeli geliştirilmelidir. Toplu taşıma koşullarının iyileştirilerek insanların özel araçlar yerine toplu taşıma araçlarını tercih etmesi daha güvenli, daha çevreci ve daha ekonomik bir ulaşım elde edilmesini sağlayacaktır. Mikro hareketlilik kavramı dikkate alınarak çevresel ve ekonomik koşulların uygun olduğu durumlarda toplu taşıma ile entegreli çalışacak küçük taşıtların kullanılması trafiği bk ölçüde rahatlatacaktır.



KAYNAKÇA

- Akçelik, R.** (1998) *Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis*. Australian Road Research Board Transport Research Ltd, Australia.
- Akmaz, M.M.** (2012). *Konya'nın Önemli Sinyalize Kavşaklarının Bilgisayar Programı ile İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Akpınar, O.** (2020). *Gölcük İlçesi Kent Geçişinde Bulunan Kavşakların Mikrosimülasyon ve Taguchi Metoduyla İyileştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Alçelik, N.,** (2010). *Kent İçi Sinyalize ve Dönel kavşakların Kapasite Açısından Karşılaştırılması Ümraniye İlçesi Örneğinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alemdar, K.D.** (2019). *Kavşak Tasarımlarının Karar Verme Teknikleri ile Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bozkurt, Ç.** (2010). *Kırıkkale Kent Merkezinde Sinyalize Kavşakların İncelenmesi; Samsun Bulvarı Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Camcı, A.A.** (2019). *Kavşak Tasarımında Trafik Simülasyon Tekniklerinin Kullanımı ve Sakarya için Uygulamalar*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Çakıcı, Z.,** (2014). *Sinyalize Dönel (Yuvarlakada) Kavşakların Tasarım Esaslarının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Dağüstü, Ş.H.** (2010). *Trafik Yönetiminde Kavşak Trafığının Kontrolü İçin Bir Sinyal Zamanlama Modeli*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demiral, A.C.** (2019). *Antalya İli Muratpaşa İlçesinde Sinyalize Kavşak Analizi Örnek Çalışması*. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Dixon K. and Zheng J.** (2013). *Developing safety performance measures for roundabout applications in the state of Oregon*. Oregon Dep. of Transportation.

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

Florida Department of Transportation (FDOT). (2021). *Traffic Analysis Handbook*. Tallahassee, Florida.

Harb, A.M.A. (2019). *Akıllı Kontrol Yöntemleri ile Trafik Sinyalizasyon Kontrolü*. Yüksek Lisans Tezi. Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.

Highway Capacity Manual (HCM). (2000). *Transportation Research Board*, National Research Council.

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

Karagöz, G.T. (2018). *Kent İçi Sinyalize Eşdüzey Kavşaklarda Sinyalizasyon Sisteminin Modellenmesi ile Trafik Akışının İyileştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), (2000). *Karayolu Tasarımı Raporu Ek 1: Kavşak Tipi Seçimi İle İlgili Olarak Önerilen Esaslar*. Ankara.

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), 2005. *Karayolu Tasarım El Kitabı*. 297s, Ankara.

Korkmaz, E. (2019). *İzole Sinyalize Kavşaklarda Yapay Zekâ Teknikleri ile Trafik Sinyal Kontrolü ve Optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Murat, Y.Ş. (1996). *Denizli Şehir İçi Kavşaklarındaki Trafik Akımlarının Bilgisayarla İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Murat, Y.Ş. (2001). *Sinyalize Kavşaklarda Bulanık Mantık Tekniği ile Trafik Uyumlu Sinyal Devre Modeli*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Oğuzhan, N.E. (2015). *Şehiriçi Kavşakların Yeterliliğinin Tasarım Kriterleri Puanlama Yöntemi ile Belirlenmesi: Ankara Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Öğütveren, E. (2019). *Modern Dönel Kavşakların Geometrik Tasarımı ve Kapasite İlişkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

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

PTV AG. (2021). PTV Vissim 2021 User Manual. Karlsruhe, Germany.

Tanyel, S. (2001). *Türkiye'deki Dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yayla N. (2015). *Karayolu Mühendisliği*, 285s, Birsen Yayınevi

