

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA BİLİM DALI**

**KAVŞAK TASARIMINDA TRAFİK SİMÜLASYONU UYGULAMALARI:
BURSA İLİ GÜRSU KAVŞAĞI ÖRNEĞİ**

Buse BERYAN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tülin ÇETİN



MANİSA-2023

**BUSE
BERYAN**

**KAVŞAK TASARIMINDA TRAFİK SİMÜLASYONU UYGULAMALARI:
BURSA İLİ GÜRSU KAVŞAĞI ÖRNEĞİ**

2023

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Buse BERYAN



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLO DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
TEŞEKKÜR	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Araştırması	1
2. KAVŞAKLAR VE SİNYALİZASYON SİSTEMİ	6
2.1. Kavşaklar.....	6
2.2. Kavşak Düzenlemeleri.....	6
2.3. Kavşak Düzenlemelerini ve Tasarımını Etkileyen Faktörler	7
2.4. Kavşak Tipleri	9
2.5. Sinyalizasyon Sistemi.....	22
3. SİMÜLASYON MODELLEMELERİ VE HESAP METOTLARI.....	24
3.1. Modelleme Türleri.....	24
3.2. VISSIM Programı.....	27
3.3. Sinyalizasyon Sistemlerinde Hesap Yöntemleri	32
3.3.1. Webster (İngiliz) Yöntemi.....	33
3.3.2. HCM Yöntemi (Yolların Kapasitesi El Kitabı Yöntemi).....	38
3.3.3. Avustralya (Akçelik) Yöntemi	38
3.4. Simülasyon Modelleme Analizi	38
4. ÇALIŞMA ALANI VE ARAŞTIRMA BULGULARI.....	40
4.1. Çalışma Alanının Özellikleri.....	40
4.2. Veri Toplanması	45
4.3. Mevcut Durum Modellemesi.....	46
4.4. Senaryoların Modellenmesi.....	55
4.4.1. Senaryo 1	58
4.4.2. Senaryo 2.....	59
4.4.3. Senaryo 3	61

4.4.4. Senaryo 4	62
4.4.5. Senaryo 5	64
4.4.6. Senaryo 6	67
4.4.7. Senaryo 7	68
4.4.8. Senaryo 8	69
4.5. GEH Analizi Sonuçları.....	70
4.6. VISSIM Programı Sonuçları	71
4.6.1. Taşıt Gecikme Değerleri.....	71
4.6.2. Duraklama Gecikme Değerleri.....	73
4.6.3. Kuyruk Uzunlukları.....	74
4.6.4. Taşıtların Yolculuk Süreleri	76
4.6.5. Toplam Yakıt Tüketimi	77
4.6.6. CO-NOx-VOC Emisyonu	78
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kavşak Ortak Alanı	6
Şekil 2. Kavşak Tasarımını Etkileyen Faktörler	7
Şekil 3. Kavşak Tasarımını Etkileyen Faktörler	7
Şekil 4. Araçların Trafiğe Katılma Durumları	9
Şekil 5. Eşdüzey Kavşak Tipleri	10
Şekil 6. Bursa, Nilüfer	11
Şekil 7. Bursa, Yıldırım	11
Şekil 8 Bursa, Osmangazi	12
Şekil 9. Bursa, Gürsu - Sinyalize Kavşak Örneği	13
Şekil 10. Dur – Yol Ver – Dönel Ada Etrafında Dönünüz Levhaları	13
Şekil 11. Yönlendirme Adalarıyla Kanalize Edilmiş Kavşak	14
Şekil 12. Ayırma Adaları	15
Şekil 13. Bursa, Nilüfer - Kanalize Edilmiş Kavşak Örneği.....	15
Şekil 14. Kanalize Edilmemiş Kavşak	16
Şekil 15. Bursa, Nilüfer- Kanalize Edilmemiş Kavşak Örneği.....	16
Şekil 16. Bursa, Nilüfer.....	17
Şekil 17. Bursa, Nilüfer.....	18
Şekil 18. Farklı Düzey Kavşak Tipleri.....	19
Şekil 19. Bursa-Acemler Yonca Tipi Kavşak Örneği	20
Şekil 20. Bursa-Yıldırım Yarım Yonca Tipi Kavşak Örneği.....	20
Şekil 21. Bursa- Nilüfer Hüdavendigar T Tipi Kavşak Örneği	21
Şekil 22. Kırmızı-Sarı-Yeşil Işık	22
Şekil 23. Faz Düzeni	23
Şekil 24. Devre Süresi.....	23
Şekil 25. Simülasyon Modelleme Türleri	25
Şekil 26. Makro-Mikro-Mezo Modelleme Şeması	26
Şekil 27. Yaya-Araç ve Toplu Taşıma Örneği.....	28
Şekil 28. Veri Girişi	28
Şekil 29. Yol Kesim Sonuçları.....	30
Şekil 30. Ağdaki Taşıtlar	30
Şekil 31. Kuyruk Sonuçları	31
Şekil 32. Taşıt Ağı Performans Değerlendirme Sonuçları.....	31
Şekil 33. Düğüm Sonuçları	32
Şekil 34. Sinyalizasyon Sistemlerinde Hesap Yöntemleri.....	33
Şekil 35. Faz Değişim Süresi-Yeşiller Arası Süre	34
Şekil 36. Faz Sistemi.....	34
Şekil 37. Bursa İli Konum Haritası	40
Şekil 38. Bursa İli Haritası	41
Şekil 39. Gürsu Kavşağının Konumu	42
Şekil 40. Gürsu Kavşağı Eski Hali.....	42
Şekil 41. Gürsu Kavşağı Mevcut Durumu	43

Şekil 42. Gürsu Kavşağı Bursa Yönü	43
Şekil 43. Gürsu Kavşağı Ankara Yönü	44
Şekil 44. Gürsu Kavşağı Vaziyet Planı	45
Şekil 45. Yol Ayarları	47
Şekil 46. Bağlantı Ayarları.....	47
Şekil 47. Kavşağın Modellenmesi.....	48
Şekil 48. Yol Güzergahları ve Araç Sayım Değerleri.....	49
Şekil 49. Trafik Işıklarının Yerleştirilmesi	49
Şekil 50. Devre Süresi.....	50
Şekil 51. Geçiş Öncelikleri	51
Şekil 52. Sonuç Sayaçları.....	51
Şekil 53. Taşıt Gecikmeleri ve Seyahat Süresi Sayacı.....	52
Şekil 54. Kuyruk Sayacı.....	52
Şekil 55. Durak Tanımlanması.....	53
Şekil 56. Yayaların ve Durağın 3D Görünümü.....	53
Şekil 57. GEH Formülü Tanımlanması.....	54
Şekil 58. Modelin 3D Görünümü.....	55
Şekil 59. Senaryoların Oluşturulması	55
Şekil 60. Senaryolar	57
Şekil 61. Senaryolarda Yapılan Değişiklikler	57
Şekil 62. Senaryo 1 (Mevcut Durum)	58
Şekil 63. Mevcut Durumdaki Devre Süresi	58
Şekil 64. Trafik Işıklarının Eklenmesi	59
Şekil 65. Trafik Işığının Sinyal Grubuyla Eşleştirilmesi	60
Şekil 66. Senaryo 3 - Durakların Kaldırılması.....	61
Şekil 67. Senaryo 4 - Yaya Üst Geçidi	62
Şekil 68. Yaya Üst Geçidi 3D Görünümü.....	63
Şekil 69. Yeni Devre Süresinin Tanımlanması	65
Şekil 70. Webster Yöntemiyle Bulunan Yeşil Süreler.....	66
Şekil 71. Trafik Işığının Yeni Sinyal Grubuyla Eşleştirilmesi	67
Şekil 72. Senaryo 7 - Durakların Kaldırılması.....	68
Şekil 73. Senaryo 8 - Yaya Üst Geçidi	69
Şekil 74. Ortalama Taşıt Gecikme Değerleri	72
Şekil 75. Ortalama Duraklama Gecikme Değerleri	74
Şekil 76. Ortalama Kuyruk Uzunlukları	75
Şekil 77. Taşıtların Ortalama Yolculuk Süreleri.....	77
Şekil 78. Toplam Yakıt Tüketimi Değerleri	78
Şekil 79. CO Emisyonu (g).....	79
Şekil 80. No _x Emisyonu (g)	79
Şekil 81. VOC Emisyonu (g)	80

TABLO DİZİNİ

Tablo 1. Temel Doygun Akım Değerleri	35
Tablo 2. Birim Oto Eşdeğerlikleri	36
Tablo 3. Zirve Saat Değerleri.....	46
Tablo 4. Hesaplanan Faz Değerleri.....	64
Tablo 5. Düzeltilmiş Doygun Akım Değerleri.....	64
Tablo 6. Hesaplanan Yeşil Işık süreleri	65
Tablo 7. GEH Analizi Değerleri	70
Tablo 8. Taşıt Gecikme Değerleri (s).....	71
Tablo 9. Ortalama Taşıt Gecikme Değerleri (s).....	72
Tablo 10. Duraklama Gecikme Değerleri (s).....	73
Tablo 11. Ortalama Duraklama Gecikme Değerleri (s).....	73
Tablo 12. Kuyruk Uzunlukları (m)	74
Tablo 13. Ortalama Kuyruk Uzunlukları (m)	75
Tablo 14. Taşıtların Yolculuk Süresi (s).....	76
Tablo 15. Taşıtların Ortalama Yolculuk Süreleri (s)	77
Tablo 16. Toplam Yakıt Tüketimi Değerleri (l).....	77
Tablo 17. CO-NO _x -VOC Emisyonu (g)	78

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

G	Görünen yeşil süre (s)
I	Kayıp süre (s)
s	Doygun akım (bo/saat)
w_a	Kavşak kolu genişliği (ft)
R	Dönüş yarıçapı (ft)
Q_x	Taşıt sayısı(taşıt/saat)
S_x	Doygun akım
Y_x	Akım oranı
D	Devre süresi
Ø	Katsayı
L	Kayıp süre
Y	Toplam akım oranı
G_x	Yeşil faz süresi
M	Modellemedeki taşıt sayısı
C	Mevcut durumdaki taşıt sayısı
Σ	Toplam
μ	Ortalama
s	Saniye
sa	Saat
m	Metre
l	Litre
g	Gram
CO	Karbonmonoksit
NO_x	Nitrik oksit ve Nitrojen dioksit
VOC	Uçucu Organik Bileşikler
VISSIM	Şehirlerde Trafik Simülasyonu Programı
GEH	Geoffrey E. Hovers İstatistiği
PLC	Programlanabilen Mantıksal Denetleyici
HCM	Yolların Kapasitesi Yöntemi
2D	İki Boyutlu
3D	Üç Boyutlu

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında tecrübelerini ve desteğini esirgemeyen, teşvik eden değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tülin Çetin'e, lisans başvurumu kabul eden PTV Group'a, trafik verilerini paylaşan Bursa Büyükşehir Belediyesi'ne, ayrıca her zaman güçlü durabilmem için maddi ve manevi olarak hep yanımda olan annem ve babama, tez çalışma sürecimde çalışma gayreti göstermemi destekleyen, sevgi ve sabırla yanımda olan sevdiklerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Buse BERYAN
Manisa, 2023



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Buse BERYAN

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tülin ÇETİN

Günümüzde artan nüfusla birlikte, artan araç trafiği birçok probleme sebep olmaktadır. Bunlar araç yoğunluğuna bağlı olarak kuyruk uzunluğu, fazla yakıt tüketimi ve zaman kaybı gibi problemlerdir. Bu problemlerin yanında trafikteki sürücülerini ve seyahat eden yolcularını psikolojik olarak olumsuz etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında Bursa ili Gürsu Kavşağı ele alınmıştır. Gürsu Kavşağı'nın mevcut durumunda zirve saat değerlerinde yoğunluk olduğu gözlemlenmiş ve kuyruk uzunluğu, bekleme süresi değerlerinin azaltılması amaçlanmıştır. Yapılan tez çalışmasında, PTV VISSIM adlı simülasyon programı kullanılmıştır. Bu programla birlikte, yerinde uygulamaya geçilmeden veri girişleri yapılarak olası sonuçları öğrenmek mümkündür.

VISSIM programında simüle edilen Gürsu Kavşağı için mevcut durum da dahil olmak üzere toplam sekiz senaryo oluşturulmuştur. Ayrıca Geoffrey E. Hovers İstatistiği (GEH) analizi yapılarak simülasyonun gerçek verilere uygunluğu test edilmiştir. Simülasyonların ardından senaryolar taşıt gecikme değerleri, duraklama gecikme değerleri, kuyruk uzunlukları, taşıtların yolculuk süreleri, toplam yakıt tüketimi ve kuyruk uzunlukları ile kıyaslanmıştır. Elde edilen değerler incelendiğinde en iyi sonuçların, mevcut durumdaki devre süresinin kullanıldığı ve toplu taşıma duraklarının kaldırıldığı senaryo 3 ve yayalar için üst geçit planlamasının yapıldığı senaryo 4'te elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: (Kavşak, Sinyalizasyon, Simülasyon, VISSIM, Geh Analizi)

2023, ix+86 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Buse BERYAN

**Manisa Celal Bayar University
Faculty of Engineering
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Assist.Prof.Dr. Tülin ÇETİN

With the growing population, increasing vehicle traffic causes many problems. These are problems such as queue length, excessive fuel consumption and loss of time depending on vehicle density. In addition to these problems, it affects the passengers in traffic psychologically negatively.

Within the scope of this study, Bursa province Gürsu Junction was discussed. It has been observed that there is an improvement in the peak hour values of Gürsu Junction and it is aimed to reduce the queue length and waiting time values. In the thesis, a simulation program called PTV VISSIM was used. It is possible to configure data entries and learn possible consequences without going through the current surveillance with this program. VISSIM Also, Statistics of Geoffrey E. Hovers (GEH) analysis tested that the configuration simulation would be real. The scenario results created were compared, and scenarios 3 and 4 were executed with the best results. In scenario 3, the current circuit time is paused while running. In scenario 4, the pedestrian upper project was designed while using the current circuit time. As a result of the analysis, emission values such as transport delay, stopping delay, queue lengths, journey time, fuel consumption, CO, NO_x, VOC have decreased in scenarios 3 and 4.

Keywords: (Intersection, Signaling, Simulation, VISSIM, Geh Analysis)

2023, ix+86 pages

1. GİRİŞ

Ulaşım insan hayatını önemli düzeyde etkileyen faktörlerden biridir. Günümüzde ise, gelişmekte olan şehirlerde nüfusun artmasıyla birlikte artan araç trafiği birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Artan araç trafiği, karayollarındaki kuyruk uzunluğu sebebiyle sıkışıklık meydana gelmesine, bununla birlikte zaman kaybına ve fazla yakıt tüketimiyle çevresel kirlenmeye neden olmaktadır. Özellikle kavşaklar bu tür problemlerin sıklıkla ortaya çıktığı ulaşım ağındaki kesişim noktalarıdır. Ulaşım ağında kesişim noktaları olan kavşakların planlanması veya mevcutta bulunan problemlerin giderilmesi inşaat mühendisliğinin önemli alanlarından biridir.

Ülkemizde, karayollarındaki bu gibi problemleri çözmek amacıyla birçok uygulamalar ve bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. İnşaat mühendisliğinin alanı olan ulaştırmada, sorunlu olan yolun, probleminin saptanması ve düzenlemenin verimliliğinin hesaplanması son derece önemlidir. Tasarımların verimliliğinin hesaplanması ile uygulamanın kolaylaşması amacıyla mikro-simülasyon modelleri sıkça kullanılmaktadır. Bu modellerin kullanılmasıyla güvenli ve hesaplı bir şekilde farklı alternatifler elde edilebilir. Bu alternatiflerin doğrudan sahaya uygulanması yerine optimum olanının simülasyon teknikleriyle birlikte bulunması, ekonomik olarak ve süreç açısından kolaylık sağlamaktadır.

1.1.Literatür Araştırması

Trafiğin iyileştirilebilmesi ve sinyalizasyon kavşakların program yardımıyla geliştirilebilmesi ile ilgili literatür araştırmalarına aşağıda yer verilmiştir.

Çakır, Çalış ve Dandıl [1] çalışmalarında PLC tabanlı bir trafik sinyalizasyon otomasyonu ve hız ölçüm sistemi tasarımına yer vermiştir. Bu sistemde yollara algılayıcılar yerleştirilerek trafik ışıklarının yanma süreleri dinamik olarak ayarlanabilmektedir. Ayarlama işlemi, trafik yoğunluğuna göre olmaktadır. Böylece araç trafik akımının gereksiz yere kesilmesi önlenmektedir. Algılayıcılardan toplanan bilgiler PLC tabanına işlenerek akıcı bir trafik oluşumu sağlanmaktadır. Çalışmada, trafik sinyalizasyon sistemiyle birlikte bu sorunların azalabileceğini öngörmektedir.

Özge [2] İstanbul Kağıthane tarafında bulunan Cendere yolu koridorunu ele almıştır. Zirve saatlerde oluşan aşırı trafik yoğunluğu ve noktasal kavşak sorunu olarak değil de yolun tamamındaki trafik sorunları sebebiyle bu koridoru seçmiştir. Daha önce yapılan çalışmayla, VISSIM üzerinden simülasyonunu yaptığı Cendere yolunun sonucunu karşılaştırmıştır. Faz sayılarını ve sinyalizasyon sürelerini değiştirerek,

trafik levhası eksikliğini gidererek Cendere Koridorunun iyileştirilmesinin mümkün olduğunu gözlemlemiştir.

Simitciu [3] dönel kavşakların çevresel etkilerini araştırmıştır. Geleneksel kavşakların araçları yavaşlamaya mecbur ettiğinden ve durmalar sonucunda emisyon değerlerinde artış meydana geldiğinden bahsetmiştir. Ayrıca, kavşağın dıştan dışa çapının artmasıyla çevresel etkisinin azaldığı dolayısıyla değiştirilen geometrik özellikler ile trafik kaynaklı çevresel etkilerin azaltılabileceği sonucuna ulaşmıştır.

Utku [4] çalışmasında İzmir'de bulunan beş adet yuvarlak ada kavşağı incelemiştir. Bu kavşaklarda görülen genel problem, yaklaşım kolundaki araç sayısının ana akımdaki araçları durdurması ve kavşaktaki bekleme süresinin artmasıdır. Kolun araç kapasitesi hesaplanmış, kuyruk uzunluğu değerlendirilmiş ve buna uygun modellemeler yapılmıştır. Gözlem verilerinin ve mevcut durumun birbirine uygun olduğu görülmüştür.

Çakıcı ve Murat [5] sinyalize dönel kavşakların performans analizi için çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, ele aldıkları sinyalize dönel kavşakların, sinyal devre süresi ve faz planı için bir hesap yaklaşımı önermişlerdir. Farklı tip kavşakları ve farklı faz planlarını göz önünde bulundurarak değerlendirmişlerdir. Bununla birlikte gecikme performans kriterlerini dikkate almışlardır. Analizler sonucunda, sola dönüş oranı arttığında faz sayısının da arttığı görülmüştür. Bu sebeple sinyalize dönel kavşaklar yerine, farklı alternatiflerin uygulanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Gökçek [6] İstanbul ili Barbaros kavşağının trafik akımı modellemesini yapmıştır. Şeritlerdeki araçların 90 dakika boyunca taşıt sayımını, zaman cinsinden taşıtlar arası aralık ölçümünü ve hız ölçümünü yapmıştır. Daha sonrasında tek yön ANOVA testi, Tukey-Kramer testi ve Non-pooled t testi yapmıştır. Çalışma sonucunda hız değerlerinin toplum ortalamalarının değişmediği sonucuna varılmıştır.

Bayata ve Bayrak [7] Erzurum ilinde yapılması düşünülen bir kavşağın çevre trafiğine etkisini araştırmak amacıyla VISSIM programıyla yonca yaprağı şeklindeki kavşağı simüle etmişlerdir. Kuyruk uzunlukları, seyahat süresi, CO ve yakıt tüketimleri mevcut durumdaki sonuçlarla kıyaslamışlardır. Mikro-simülasyon analiz sonuçlarına göre, kuyruk uzunluklarında %83, seyahat süresi ve gecikmelerde %35, egzoz emisyonlarında ise yaklaşık %23 oranlarında azalma olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Savaş [8] Çorlu ilçesi örneğini ele almıştır. Çalışmasında yaya ve taşıt trafiğinin birlikte olduğu bir modelleme yapmak istemiştir. Bu amaç doğrultusunda, çalışma alanı olarak yaya ve araç trafiğinin yoğun olduğu bir bölge seçmiştir. Çalışmada, yaya geçidi konumunun, kavşak performansına etkisini değerlendirmek amacıyla VISSIM mikro trafik simülasyonu yazılımını kullanmıştır. Yaya geçidinin sinyalize kavşağa olan uzaklığı değiştirilerek, optimize sinyal süreleri belirlenmiş ve kavşağın performansına olan etkisini sayısal olarak elde etmiştir.

Demiriz [9] tez çalışmasında Erzincan ili kent merkezindeki ana arterlerde bulunan kavşakları ele almıştır. Çalışmasında gecikme, seyahat süresi, kuyruk uzunlukları, NO_x ve CO emisyonları ve ortalama hız değerleri kullanarak öneriler sunmuştur. Mevcut durumla birlikte dört farklı senaryo için AIMSUN simülasyon programını kullanmıştır. Çalışma sonuçlarında, seyahat süreleri için %23, gecikmeler için %47, kuyruk uzunlukları için %48, NO_x için %11, ve CO için %13 oranlarında azalmalar, ortalama hızda ise %30 oranında artış görülmüştür. Tüm alternatifler içerisinde öncelik değerine senaryo 4 sahip olmuştur.

Alemdar [10] çalışmasında belediyeden aldığı kavşak verilerini VISSIM programıyla simüle etmiştir. Ele aldığı üç kavşağın ilkinde sinyalizasyon sürelerinde değişiklik yapmış, ikinci kavşağın tasarımını değiştirmiş ve üçüncü kavşağı mevcut durumla aynı bırakmıştır. Oluşturulan farklı sinyal ve farklı düzey kavşakta; taşıt gecikmesi, kuyruk uzunluğu performansları en az %36 iyileşme gözlemlenmiştir. Fakat bu çalışmadaki en büyük eksiklik yayaların dikkate alınmamasıdır.

Ahadi [11] VISSIM ve Sidra programları yardımıyla kavşak gecikme analizi yapmıştır. iki adet kavşağı sinyalize kavşak halinde modelleyerek farklı senaryolar üretmiştir. Bu senaryolar ile mevcut durumu, trafik hacmi ve kuyruk uzunluğu yönünden incelemiştir. Kavşaklar arasında koordinasyon sağlanarak toplam taşıt gecikmelerinde %3,36 kadar düşüş gözlemlenmiştir. Geometrik tasarım iyileştirildikten sonra ise %8,85'e varan düşüşler gözlemlenmiştir.

Ünlü [12] çalışmasında Antalya Atatürk Bulvarında bulunan dört kollu sinyalize bir kavşağı ele almıştır. Kavşağın mevcut durumu üzerinden üç farklı faz diyagramıyla, üç farklı senaryoyu modellemiştir. Kuyruk uzunluğu, duruş sayısı, gecikme süresi, yakıt tüketimi ve emisyon açılarından sonuçlarını birbiriyle karşılaştırmıştır. Faz sürelerinin değiştirilmesinin kavşağın mevcut durumuna göre senaryo 1 ve 2'de %50 oranında iyileşme olurken senaryo 3'te bu değer %40 olarak görülmüştür.

Camcı [13] Sakarya'da bulunan iki kavşağı geleneksel yöntemlere göre incelemiş araç sayımlarına göre trafik hacmini belirlemiştir. Birinci kavşak için farklı trafik hacimleri kullanarak katlı kavşak tasarımı yapmış, ikinci kavşakta ise faz değerlerini değiştirerek kuyruk uzunluklarını incelemiştir. Yapılan VISSIM çalışmasının sonuçlarının gerçek durumla çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Yiğit [14] tez çalışmasında Ulus Bulvarı örneğini ele almıştır. Çalışmada, sinyalize kavşaklar arasında bağlantı sağlanarak minimum gecikmenin elde edilmesi amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda, VISSIM trafik simülasyon ve analiz programı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kavşaklar arasından minimum gecikme sağlanmış olup, bu sayede ulaşım ağında zirve saatte %15, zirve dışı saatte ise %32 oranında iyileşme görülmüştür.

Güneş, Bayraklı ve Zaim [15] çalışmalarında sinyalize bir kavşakta oluşan trafik akımının performansını, kuyruk teorisi ile incelemişlerdir. İstanbul Güngören’de seçilen bir kavşaktan döngü algılayıcılarla elde edilen veriler yardımıyla performansın ortaya çıkarılmasını amaçlamışlardır. Webster modeli, HCM gecikme modeli, Akçelik gecikme modeli ve Kuyruk teorisi modeli üzerinde araştırma yapmışlardır.

Ordu ve Kırbaş [16] makalelerinde dönel kavşaklarda meydana gelen dengesiz akımlara çözüm önerisi sunmak amacıyla, kuyruklanma ve gecikme sorunlarının azaltılması hedeflenerek kısmi denetimli sinyalize dönel kavşaklar bir çözüm seçeneği olarak araştırılmıştır. Kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların gecikme üzerine etkisinin yanında ekonomik ve çevresel katkılarına da yer vermiştir. Çalışmalarında, kısmi denetimli sinyalize dönel kavşakların çeşitli akım taleplerini karşıladığı ve uygun sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu nedenle ülkemizdeki dönel kavşaklar dikkate alındığında, kısmi denetimli sinyalize kavşakların çözüm niteliğinde olabileceği bulgusuna ulaşılmıştır.

Kayacan [17] tez çalışması kapsamında, Bursa ili içinde Ata Bulvarında bulunan sinyalize dönel kavşakta, üç farklı senaryo oluşturup farklı kavşak türleri olarak yeniden tasarlamıştır. VISSIM simülasyon programında mevcut durum ve senaryolar modellenmiştir. Modellemeden elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. İlk senaryoda amaç dönel adayı mevcut kavşaktan kaldırarak, bölgedeki taşıt yoğunluğunun önüne geçmek ve araçların tekrar durmak zorunda kalmadan devam etmesini sağlamaktır. Üçüncü ve son senaryoda dört numaralı koldan kavşağa giriş kaldırılmıştır. Karşılaştırılan verilere göre seyahat süresinde ve ortalama kuyruk uzunluğunda senaryo 3 daha iyi sonuç verirken, diğer parametrelerde ise senaryo 1 iyi performans göstermiştir.

Becerikli, Gürsel, Sarısoy ve Delice [18] Yalova ilindeki bir eşdüzey kavşağı seçerek test etmişlerdir. Kavşak için iki alternatif sunmuşlardır. İlk alternatif, mevcut durumun korunmasıyla birlikte sinyal sürelerinin değiştirilmesidir. İkinci alternatif ise, Karayolları Tasarımı El Kitabındaki dönel kavşak esaslarına uyularak mevcut kavşak türünün değiştirilmesidir. İkinci alternatifin sonuçlarının daha iyi olmasıyla birlikte; ortalama gecikme süresi %84, ortalama hız %58, ortalama kuyruk uzunluğu %93, zararlı gaz salınımları ve yakıt tüketimi %58 oranında iyileşme göstermiştir.

Pamuk [19] makalesinde kavşaklarda trafik sinyalizasyonu konusunu ele alarak kavşakta bulunan trafik ışıklarının süreleri ile araç yoğunluğunu giderme konusu üzerinde durmuştur. Trafik yoğunluğu, araçların kırmızı ışıkta bekleme süresi, kırmızı ışıkta bekleyen araç sayısı gibi verileri değişken olarak kullanarak örnek bir sinyalizasyon yöntemi uygulamıştır. Uygulanan trafik sinyalizasyon sisteminde ultrasonik mesafe sensörleri belirli noktalara konumlandırılarak, trafik ışıklarının yanma süreleri kavşaklarda bulunan araç sayılarına göre anlık olarak ayarlandığından trafik akışının gereksiz yere durması engellenmiştir.

Aydın, Aydoğdu ve Yıldırım [20] sinyalizasyon kavşaklarında ÷lkelere göre gecikme ve kuyruk uzunluğu denklemleri geliştirilmesinin gerekliliği üzerine bir çalışma yapmışlardır. Antalya’da yer alan altı farklı kavşağı incelemişlerdir. Gecikme ve kuyruk analizi hesabında sıklıkla kullanılan yöntemlerden HCM ve Akçelik yöntemini ele alarak en düşük hata değerine sahip olan yöntemin HCM yöntemi olduğunu tespit etmişlerdir.

Bu tez çalışmasında Bursa ili, Osmangazi ilçesi Gürsu kavşağı seçilmiştir. Kavşağın mevcut durumu ayrıntılı olarak incelenmiş olup, kavşadaki trafik yoğunluğundan dolayı kuyruk uzunluğunun ve bekleme süresinin fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada hedeflenen, VISSIM adlı simülasyon programını kullanarak, kavşağın trafik yoğunluğunun azaltılması, yol güvenliğinin arttırılması ve sinyalizasyon sistemleriyle birlikte farklı bir bakış açısıyla, kavşağın daha verimli hale getirilebilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, modellemeler yapılacak ve sinyalizasyon süreleriyle ilgili farklı senaryolar üretilecektir. Üretilen senaryoların sonuçları birbiriyle karşılaştırılacaktır. Senaryo sonuçlarının gerçeğe uygunluğu ve verilerin sağlıklı olması açısından GEH analizi yapılacaktır.

Tez alışması kapsamında, kavşak tasarımı ve çalışma alanı ile ilgili bilgiler verilecek, daha sonrasında alternatif çözüm önerilerine ve en uygun sonuca yer verilecektir.

2. KAVŞAKLAR VE SİNYALİZASYON SİSTEMİ

2.1.Kavşaklar

İki veya daha fazla karayolunun birbiriyle kesişmesi, birleşmesi ve birbirinden ayrılması ile oluşan ortak alanlara kavşak adı verilir. Kavşak alanı ise, kavşağa giren ve çıkan kollar dikkate alındığında, kollardaki fiziki veya geometrik değişikliklerin başladığı noktaların bir araya gelmesi ile oluşan bölgedir. Şekil 1’de kavşak ortak alanı görselle ifade edilmiştir.



Şekil 1. Kavşak Ortak Alanı [21]

Bağlantı noktaları olan kavşaklar karayolunun önemli bir parçasıdır. Çünkü, hız, güvenlik, maliyet, yolun performansı ve kapasitesi gibi faktörler kavşakların tasarımına bağlıdır. Kavşaklar iki veya daha fazla karayolunun doğrusal veya kesişen trafik akışlarını içerdiği gibi, bu yollar arasındaki dönüş hareketlerini de barındırır. Bu hareketler, kavşak tipine göre çeşitli geometrik tasarımlar ve trafik kontrolleri ile sağlanmaktadır. [22]

2.2.Kavşak Düzenlemeleri

Kavşak düzenlemelerinde, trafiğin hızının kontrol altına alınmasıyla daha güvenli hale gelmesi, trafikte bulunan araçların dur-kalk sebebiyle oluşan gecikmelerinin azaltılması ve sürekliliğin sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda trafik hacmi ve arazi şartları dikkate alınarak iyileştirmeler yapılabilmektedir. Bu iyileştirmeler yapılırken hem güvenli ve ekonomik olması hem de yeterli hizmet seviyesinde olması temel prensiplerendir.

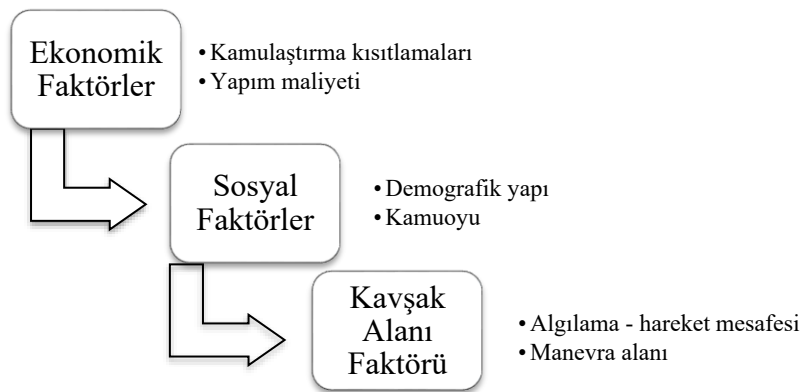
2.3.Kavşak Düzenlemelerini ve Tasarımını Etkileyen Faktörler

Kavşak tasarımını etkileyen faktörler vardır. Bu faktörler; insan faktörü, trafik faktörü, fiziksel faktör, ekonomik faktör, sosyal faktör ve kavşak alanı faktörü olmak üzere altı ana başlıkta incelenebilir. Altı ana başlıkta incelenen faktörler Şekil 2 ve Şekil 3’te gösterilmiştir.

Bir kavşağı fiziksel ve fonksiyonel alanlarıyla tanımlamak mümkündür. Kesişen yolların birbiriyle çakıştığı bölge fiziksel alan olarak adlandırılır. Fonksiyonel alan ise, fiziksel alanı da kapsamaktadır. Yol platformunun kavşak nedeniyle farklılık gösterdiği, kavşağın giriş çıkışına kadar olan tüm bölge (yardımcı şeritler, adalar, vs.) fonksiyonel alan olarak adlandırılır. [22]



Şekil 2. Kavşak Tasarımını Etkileyen Faktörler [22]



Şekil 3. Kavşak Tasarımını Etkileyen Faktörler [22]

Kavşak tasarımını etkileyen faktörler ise, bölgesel veriler ve trafik verileridir.

Bölgesel Veriler;

- Kavşak bölgesinin topoğrafik durumu ve bölgenin haritası
- Kesişen yolların yatay ve düşey geometrileri, enkesit tipleri ve kaplama durumları,
- Kavşak bölgesindeki hukuki, tarihi ve kültürel sınırlamalar getirecek durumlar,
- Mevcut zemin durumu ve drenaj sistemi,
- Kavşak bölgesinde bulunan yerel veya imar yolları, mevcut veya planlanan kavşakların kategori ve çeşitleri,
- Mevcut imar koridorları ve kamulaştırma sınırları,
- Kavşak alanından sorumlu yerel yönetim, idare veya kurumların ihtiyaçları,
- Önemi olan tesis ve kurumların konumu

olarak sıralanabilir.

Trafik Verileri;

- Ana yol ve tali yolda bulunan tüm yönlerin trafik sayımları (taşıt sınıfına göre ve saat, gün, YOGT),
- Zirve saat değerleri,
- Taşıtların tipleri ve özellikleri,
- Kesişen yolların taşıt hızları,
- Yaya trafik sayımları ve hareketleri (Özellikle şehir içi kavşaklarda),
- Kaza raporlama, analiz ve istatistikleri,
- Mevcut kavşakların kapasite analizleri,
- Planlanan kavşakların kapasite analizleri

olarak sıralanabilir.

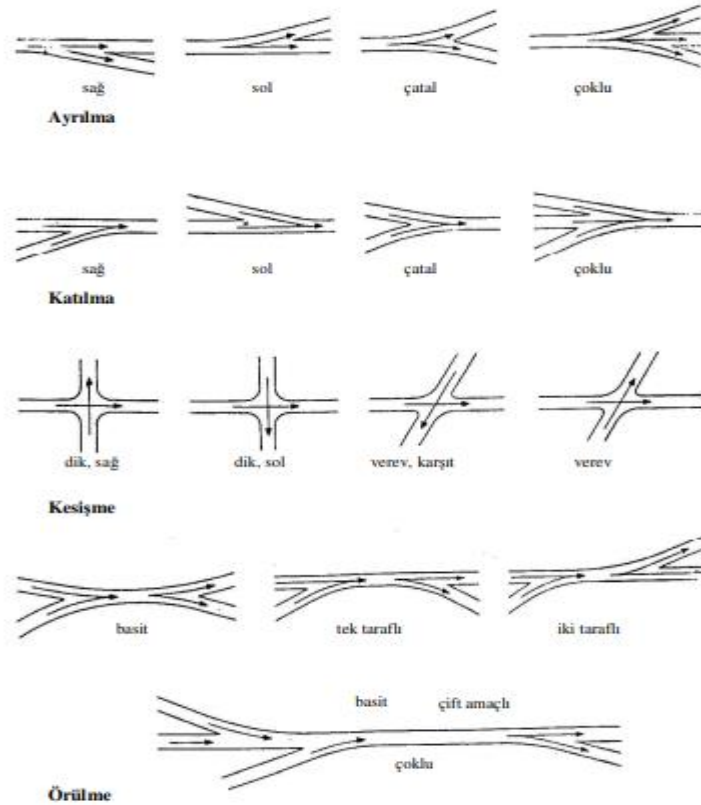
2.4.Kavşak Tipleri

Kavşaklar, eşdüzey veya farklı düzey kavşaklar olarak tasarlanır. Tez çalışması kapsamında eşdüzey kavşaklar incelenecektir.

Eşdüzey Kavşaklar

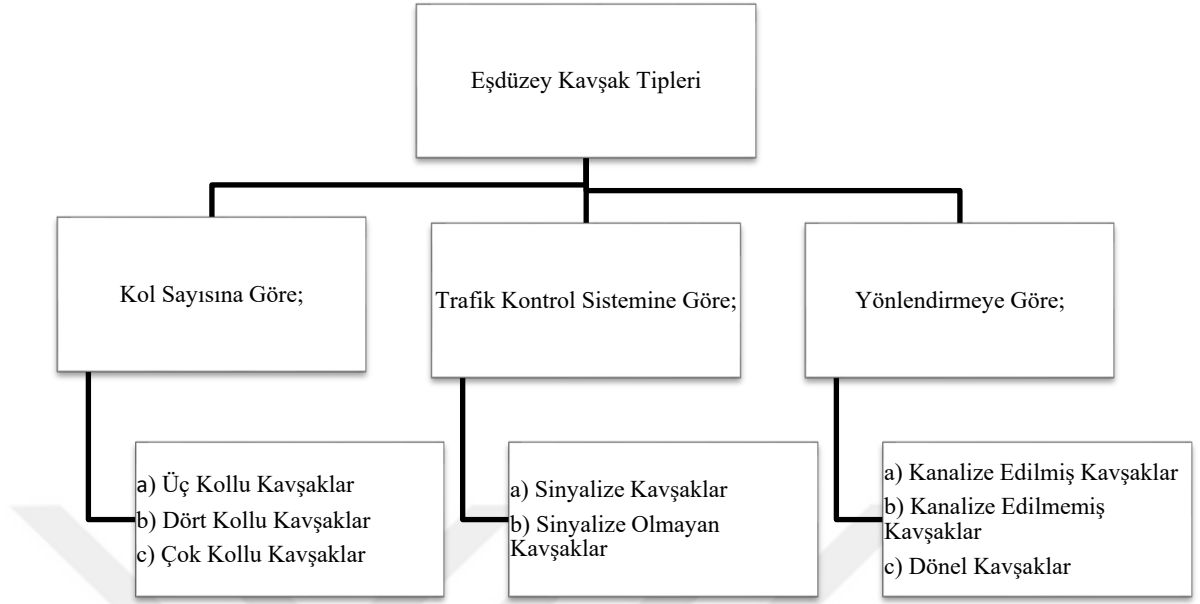
İki veya daha fazla karayolunun aynı düzlemde kesişmesi ile oluşan kavşaklar eşdüzey kavşaklar olarak adlandırılır. Kavşağa giren ve çıkan kolların trafik hacmi, arazi şartları, yaya ve taşıt güvenliği kriterleri göz önünde bulundurularak ele alınır. [22]

Eşdüzey kavşaklarda, araçların trafikteki hareketleri de önemlidir. Bu hareketler ayrılma, katılma, kesişme ve örülme olarak dört başlıkta incelenebilir. İncelenen hareketler sonucunda araçların karşılaşmasıyla bazı çakışmalar meydana gelebilmektedir. Bu çakışmaların sayısı; şerit ile araç sayısına, araçların dönüşlerine ve sinyalizasyon durumuna bağlıdır. Şekil 4'te araçların trafiğe katılma, ayrılma, kesişme ve örülme durumları verilmiştir.



Şekil 4. Araçların Trafiğe Katılma Durumları [22]

Eşdüzey kavşak tipleri Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Eşdüzey Kavşak Tipleri

Eşdüzey kavşaklar, kol sayısına göre dört gruba ayrılır:

- Üç kollu kavşaklar (T veya Y kavşaklar),
- Dört kollu kavşaklar,
- Çok kollu kavşaklar.

Trafik kontrol sistemine göre ise;

- Sinyalize kavşaklar,
- Sinyalize olmayan kavşaklar

olarak 2 grupta incelenir.

Ek olarak, kapasiteyi artırmak amacıyla işaretleme ya da adalar ile düzenlenen yönlendirmeye göre;

- Kanalize edilmiş kavşaklar,
- Kanalize edilmemiş kavşaklar
- Dönel Kavşaklar

olarak sınıflandırılır.

Kol Sayısına Göre;

a) Üç Kollu Kavşaklar

Üç kollu kavşaklar, genellikle trafik yoğunluğunun daha az olduğu kırsal yerlerde, tali yol ve ana yol kesişiminde gidiş-dönüş tek şeritli (2x1) olarak bulunur. Tali yol ve ana yol kesişimi 60° ve 120° derece arasında olmalıdır. Bu kavşak türü şehir trafiğine uygulanmak istendiğinde, yeterli dönüş çapları göz önünde bulundurularak tasarlanır. Şekil 6'da örnek olarak Bursa ili Nilüfer ilçesinde bulunan üç kollu bir kavşak verilmiştir.



Şekil 6. Bursa, Nilüfer [23]

b) Dört Kollu Kavşaklar

Üç yollu kavşak tasarımında olduğu gibi, dört kollu kavşaklarda da tali yol ve ana yol kesişim dereceleri 60° ile 120° derece arasındadır. Kavşak köşeleri ağır taşıtların dönüşüne uygun şekilde tasarlanmalıdır. Üçgen adalarla katılma ve ayrılma şeritleri sıkça oluşturulur. Bursa ili Yıldırım ilçesinde bulunan dört kollu bir kavşak Şekil 7'de örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 7. Bursa, Yıldırım [23]

c) Çok Kollu Kavşaklar

Kavşak kollarının dörtten fazla olması tercih edilen bir durum değildir. Tasarlanması gereken durumlarda tali yolun, trafik hacmi daha az olan bir kolla birleşmesi istenir. Şekil 8’de Bursa ili Osmangazi ilçesinde bulunan çok kollu kavşak örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 8 Bursa, Osmangazi [23]

Trafik Kontrol Sistemine Göre;

a) Sinyalize Kavşaklar

Kavşaklardaki tıkanmalardan, araç sayısının fazlalığından ve olası kazalardan kavşak kapasitesinin performansı düşmeye başladığında sinyalizasyon sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, kavşağın yaklaşım kollarına trafik ışıklandırılması yapılmaktadır. Trafik ışıklandırılmasında, ışıkların sinyal devre süreleri ve faz planı belirlenerek sinyalize bir kavşak elde edilebilmektedir. Sinyalize kavşaklarda, kavşağın kapasitesinin artması ve ulaşımın kolaylaşması beklenmektedir. Şekil 9’da sinyalize kavşağa örnek olarak gösterilen ve tez çalışmasında ele alınan Gürsu Kavşağı bulunmaktadır.



Şekil 9. Bursa, Gürsu - Sinyalize Kavşak Örneği

b) Sinyalize Olmayan Kavşaklar

Sinyalize olmayan kavşaklar sinyalize kavşaklara göre daha fazla dikkat gerektiren kavşaklardır. Bu kavşakların trafik kontrolü pasif denetim sistemleri ile yapılmaktadır. Pasif denetim sistemlerinin uygulanması, uyarı levhalarıyla veya kavşağın kanalize edilerek dönel adalarla araçların yönlendirilmesiyle mümkün olabilmektedir. Şekil 10'da uyarı levhalarından bazıları örnek olarak verilmiştir.



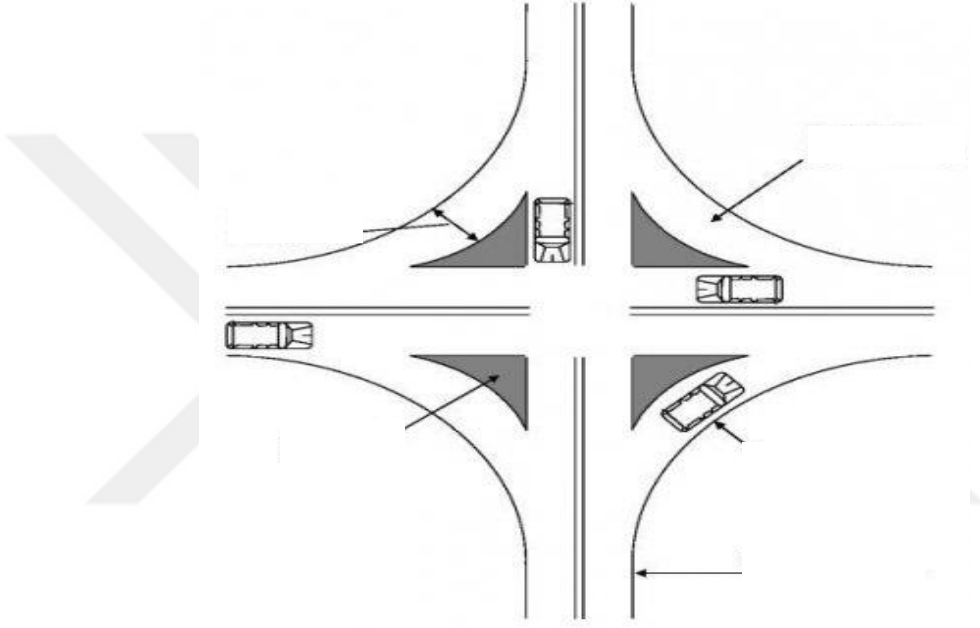
Şekil 10. Dur – Yol Ver – Dönel Ada Etrafında Dönünüz Levhaları

Yönlendirmeye Göre;

Eş düzey kavşaklar yönlendirmeye göre; kanalize edilmiş, kanalize edilmemiş ve dönel kavşaklar olmak üzere üç alt başlıkta incelenebilir.

a) Kanalize Edilmiş Kavşaklar

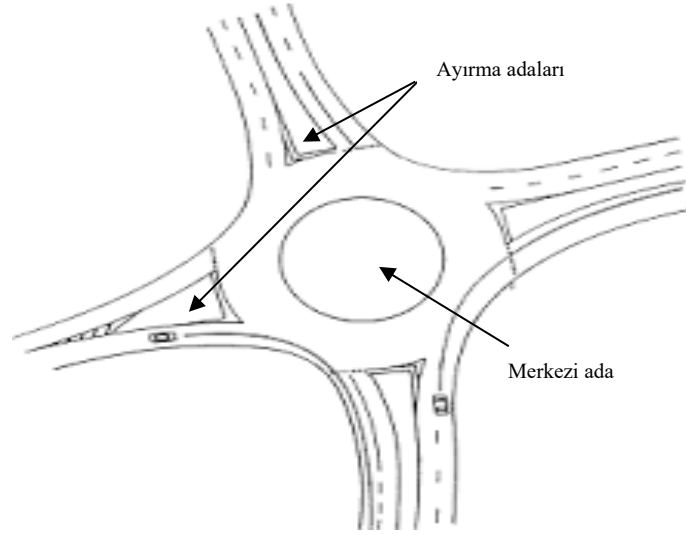
Araç ve yaya hareketleri bir takım uyarı levhaları, adalar veya korkuluklarla yönlendirilebilmektedir. Dönüş hareketlerinin istenilen yöne yönlendirilmesi, yönlendirme adaları ile mümkün olmaktadır. Kavşak planlaması yapılan bölgede yönlendirme, kullanılmayan boş alanların trafiği şaşırtmaması ve düzenlemesi amacıyla adalara dönüştürülmesiyle sağlanır. Kavşağın şartlarına ve boyutlarına göre farklı şekil ve ebatlarda tasarlanabilir. Şekil 11’de yönlendirme adalarıyla kanalize edilen kavşak gösterilmiştir.



Şekil 11. Yönlendirme Adalarıyla Kanalize Edilmiş Kavşak [24]

Yönlendirme adalarıyla kanalize edilmiş kavşakların; kısa mesafeli yaya yolları sayesinde sinyallerin faz sürelerinin kısılabilmesi, dönüş şeridine yaklaşırken mevcut olan hız düşürme alanı ile sürücülere yaya geçidine yaklaşımadan önce hızlarını düşürmelerine fırsat vermesi gibi olumlu yanları bulunmaktadır. Bahsedilen olumlu özelliklerin yanında; yaya geçidinin önünde araçların kuyruk yapma ihtimali, sinyalizasyon ekipmanlarının kurulumunun yüksek maliyet gibi olumsuzlukları da bulunmaktadır. [24]

Ayırma adaları ise, bölünmemiş yollarda bulunan kavşaklardaki hareketi düzenler ve kavşağa yaklaşmakta olan sürücülere ileride bir kavşak bulunduğu konusunda bilgilendirir. Genellikle düz gidiş hareketlerinde aynı ya da zıt yönlerdeki trafiği ayırmak için kullanılır. Bu yönlendirme olan kavşaklara kanalize edilmiş kavşaklar denir [25]. Şekil 12’de ayırma adaları örnek olarak verilmiştir.



Şekil 12. Ayrırma Adaları [26]

Bursa ili Nilüfer ilçesinde olan yönlendirme ve ayırma adaları bulunan kavşak, Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. Bursa, Nilüfer - Kanalize Edilmiş Kavşak Örneği [23]

b) Kanalize Edilmemiş Kavşaklar

Yoğun olmayan, araç ve yaya güvenliği tehdit etmeyen kavşaklarda ise kavşağın kanalize edilmesine gerek yoktur. Şekil 14’te yönlendirme ve ayırma adaları bulunmayan kanalize edilmemiş kavşak, Şekil 15’te ise Bursa ili Nilüfer ilçesinde bulunan kanalize edilmemiş kavşak gösterilmiştir.



Şekil 14. Kanalize Edilmemiş Kavşak [27]



Şekil 15. Bursa, Nilüfer- Kanalize Edilmemiş Kavşak Örneği [23]

c) Dönel Kavşaklar

Trafik hacmi ve yaya hareketlerine bağlı olarak, trafik seyir hızını düşürerek trafik güvenliğini arttıran kavşak tipidir. Taşıt hızlarının düşmesiyle kavşak kapasitesi azalacağından sinyalizasyon sistemleri kullanılarak kavşağın iyileştirilmesi mümkün olmaktadır. Şekil 16’da Bursa ili Nilüfer ilçesinde bulunan dönel kavşak örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 16. Bursa, Nilüfer [23]

Dönel kavşaklar daire veya elips adalı eş düzey dönel kavşaklar olarak tasarlanabilir. Kol sayısına göre üç başlıkta incelenebilir.

- Yarım dönel (üç kollu kavşaklar),
- Mini dönel (üç veya daha fazla kollu kavşaklar),
- Modern dönel (üç veya daha fazla kollu kavşaklar)

olarak gruplandırılır.

Mini ve modern dönel kavşakların kol sayısının dörtten fazla olması tercih edilmez. Mini dönel kavşaklarda ada yarıçapı en az 8 m, modern dönel kavşaklarda ise ada yarıçapı minimum 20-25 m olarak tasarlanmaktadır. Giriş sayısının dörtten fazla olduğu modern dönel kavşakların yarıçapı 60 m’ye kadar tasarlanabilir. Üç kollu kavşaklarda yarım dönel ada, U-dönüşü için kullanılamaz [22].

Modern dönel kavşak planlamasının uygun olduğu kavşaklar; transit trafiğin (durmada, doğrudan ilerleyen araçlar) dönen trafik hacmine göre daha az olduğu kavşaklar ve yaya hareketleri ile ağır taşıt oranının fazla olduğu kavşaklardır. Bu planlamalarda kavşak giriş-çıkışında veya kavşak içindeki taşıtların hızını düşürerek trafik güvenliğini artırması amaçlanır. Sonuç olarak araç hızı düştükçe kavşak kapasitesi azalmaktadır. Ancak kapasiteyi ve yol güvenliğini optimize edecek

önlemler alınırrsa istenilen kapasiteye ulaşmak mümkündür [22]. Şekil 17’de Bursa ili Nilüfer İlçesinde bulunan dönel kavşak örnek olarak gösterilmiştir.

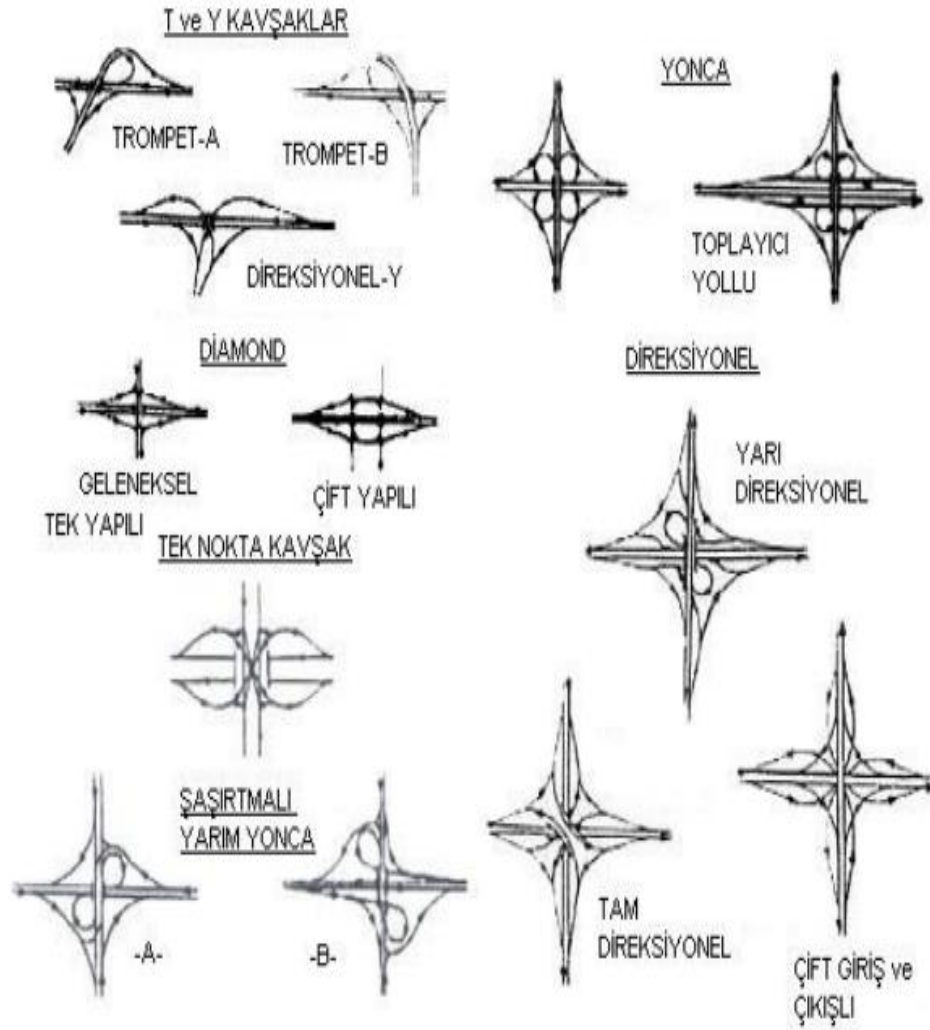


Şekil 17. Bursa, Nilüfer [23]

Farklı Düzeyli Kavşaklar

İki veya daha fazla sayıdaki karayolunun birden fazla düzeyde kesişme ve birleşmesiyle oluşan kavşaklar farklı düzeyli kavşaklar olarak adlandırılır. Bu tip kavşaklarda karşılıklı geçişlerdeki çakışmaların tamamının ortadan kaldırılması amaçlanır. Ayrıca hedeflerden biri de dönüşlerdeki çakışmaları da en aza indirmektir. Kavşak kollarındaki trafik hacminin tek şerit için 1800 taşıt/sa’i aştığı durumlarda, sağ veya sol dönüşlerde trafik hacminin %20’den fazlasının dönüş yapma durumunda ve kavşak kapasitesinin yetersiz olduğu durumlarda farklı düzey kavşak gerekliliği düşünülmektedir.

Farklı düzeyli kavşak tipleri; T-Y kavşak tipi, yonca, diamond, direksiyonel ve tek nokta kavşak tipi olarak sınıflandırılabilir. Farklı düzey kavşak görselleri Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. Farklı Düzey Kavşak Tipleri [22]

Ayrıca, farklı düzeyli kavşaklara Bursa ilinden Şekil 19’da yonca tipi, Şekil 20’de yarım yonca tipi, Şekil 21’de T tipi örnek olarak verilmiştir.



Şekil 19. Bursa-Acemler Yonca Tipi Kavşak Örneği [23]



Şekil 20. Bursa-Yıldırım Yarım Yonca Tipi Kavşak Örneği [23]



Şekil 21. Bursa- Nilüfer Hüdavendigar T Tipi Kavşak Örneği [23]

Farklı düzey kavşakların tasarımında kavşak tipinin seçimi çok önemlidir. Kavşak tipinin seçiminde,

- Kesişen kol sayısı,
- Kesişen yolların önemi ve işlevleri,
- Transit ve sağ/sol dönüş trafik hacmi, kapasite ve servis seviyesi,
- Trafik kompozisyonu ve ağır taşıt oranı,
- Tasarım hızı,
- Topoğrafya ve zemin koşulları,
- Arazi kullanım durumu ve nüfus yoğunluğu,
- Kamulaştırma imkanı ve maliyeti,
- Yakınındaki diğer kavşaklar ile ilişkisi,
- Yaya hareketleri,
- Yapım maliyeti

gibi özellikler ile kavşak tipinin sahip olduğu olumlu ve olumsuz yönler göz önünde bulundurulmalıdır. [22]

2.5. Sinyalizasyon Sistemi

Trafik yoğunluğunu önlemek, araçların ana yola katılmasını kolaylaştırmak, yaya veya sürücülerin güvenliğini sağlamak amacıyla kavşaklara konulan trafik ışıklarının çalışma sürelerinin ve sıralamasının değişmesine sinyalizasyon sistemi adı verilir. [27]

Kavşağın sinyalize bir kavşak olabilmesi için, kavşağın trafik akımına uygun olarak düzenlenmesi, doğru devre süresinin hesaplanması ve buna uygun olarak doğru faz diyagramının hazırlanması gerekmektedir. Hesaplamalar doğru yapılmadığı takdirde bekleme süresinin artmasıyla, sürücü huzursuzluğu da artabilmektedir.

Sinyalizasyon sisteminde bilinmesi gereken terimler aşağıda verilmiştir.

Flaş: Trafik yoğunluğunun az olduğu zamanlarda kırmızı veya sarı ışığın yanıp sönmesiyle, sırasıyla “dur” ve “yol ver” levhalarıyla aynı anlama gelen sistemdir.

Kırmızı Flaş: “Dur” levhasıyla aynı anlama gelen flaştır.

Kırmızı Işık: Kırmızı ışığın bulunduğu koldaki yaya veya araçların durması gereken süredir.

Sarı Flaş: “Yol ver” levhasıyla aynı anlama gelen flaştır.

Sarı Işık: Kırmızı ve yeşil ışık arasında bulunan, sürücülerin durması veya harekete hazırlanması gerektiğini belirtir.

Yeşil Flaş: Yoğunluğun fazla olduğu yollarda yanıp sönerik yeşil ışık süresinin biteceğini belirtir.

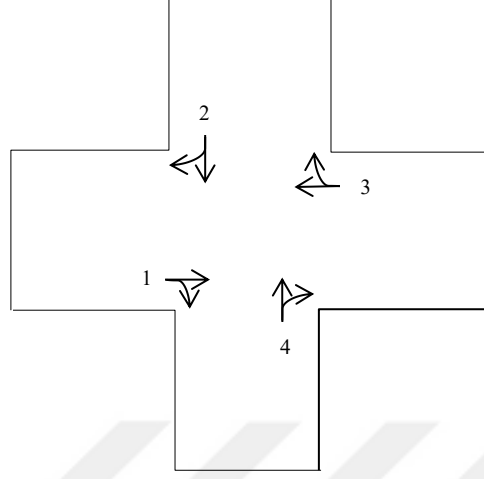
Yeşil Işık: Yeşil ışığın bulunduğu koldaki yaya veya araçların hareket etmesine izin süredir.

Şekil 22’de trafik ışıkları örnek olarak sunulmuştur.



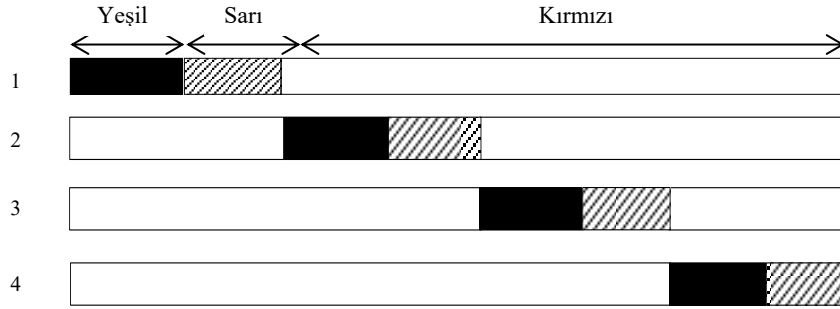
Şekil 22. Kırmızı-Sarı-Yeşil Işık

Faz: Kırmızı, sarı ve yeşil ışık sürelerinin toplamıdır. Kollara göre geçiş sıralaması ise faz düzenidir. Şekil 23’te görülen faz düzeni örnek olarak çizilmiştir.



Şekil 23. Faz Düzeni

Devre (Periyot): Yeşil ışıktan sonra tekrar yeşil yanma süresi için geçen süredir. Araçların hareketli veya hareketsiz olacağı süreleri gösterir. Şekil 24’te görülen devre süresi örnek olarak çizilmiştir.



Şekil 24. Devre Süresi

Minimum Süreler: Araçlar için en az 8 s, yayalar için ise minimum 6 s yeşil süre olmakla birlikte devre süresinin 30 s.den daha az olmasını gerektiren kavşaklar sinyalsiz de olabilir. Ancak kesişmeleri önlemek amacıyla sinyalizasyon sistemi gerekliyse devre süresinin 25 s.den kısa olması tercih edilmemektedir.

Maksimum Süreler: Devre süresi, sinyalizasyon kavşakta maksimum 120 s olmalıdır ve gerekli olmadıkça 150 s.den uzun olmamalıdır.

3. SİMÜLASYON MODELLEMELERİ VE HESAP METOTLARI

Simülasyon modellemeleri günümüzde sık sık başvurulan, yerinde inşasına gerek kalmadan sonuca götüren, sonuçların kolayca karşılaştırılmasını sağlayan bilgisayar destekli programlardır. Bu programlar, planlamanın ve tasarımın daha iyi yapılmasına olanak sağlar. [28]

Hesap metotları ise, düzenlemesi yapılan kavşak için optimum sürelerin bulunmasına yardımcı olur. Bununla birlikte modellemeden sonra yapılacak olan analiz hesaplamaları, mevcut durumla planlaması yapılan durumun karşılaştırılmasını sağlar.

3.1. Modelleme Türleri

Modelleme, mevcut durumdaki veya projelendirilmesi planlanan kavşaklarda kapasitenin etkilerinin değerlendirilebilmesi veya öngörülebilmesi için çeşitli yazılımlar aracılığıyla yapılan simülasyon çalışmasıdır.

Bu bağlamda oluşturulan senaryoları kullanarak aşağıdaki sonuçları analiz edebiliriz:

- Kapasite
- Maliyet Verimliliği
- Çevre
- Tahmin Edilebilirlik
- Güvenlik

Diğer taraftan hızlı sonuç veren simülasyon teknikleri ile birlikte kullanılan simülasyon programına göre çeşitli analizler yapılabilmekte ve çözüm önerileri üretilmektedir.

Simülasyon modelleme türleri altı grupta incelenebilir. Şekil 25'te simülasyon modelleme türlerine yer verilmiştir [29].



Şekil 25. Simülasyon Modelleme Türleri

1) Stokastik ve Deterministik Modeller

Stokastik modelde rastgelelik vardır. Modelin bazı özellikleri kesin olarak bilinemez. Bu nedenle analiz süresince rastgele değişkenler kullanılır. Deterministik modelde ise rastgelelik yoktur. Model her çalıştırıldığında aynı çıktıları üretir [8].

2) Olay Bazlı ve Zaman Bazlı Modeller

Olay tabanlı modeller, bir olaydan sıradaki olaya geçiş yaparak ilerleyen zamanlar için oluşturulan modellerdir. Olay tabanlı modellerde atlama işlemi, arada atlanan sürenin önemsiz olduğu anlamına gelmemektedir. Sadece, atlama işleminin yapıldığı aralıkta sonucu belirgin şekilde değiştirecek bir olay gerçekleşmemektedir. Benzetim modeli yardımıyla sadece istenen olaylar için sonuç elde edilir. Yalnızca belirli bir zaman aralığından sonuç talep eden modeller, zaman tabanlı modellerdir. Zaman aralığı, trafik modellerinde olayların modellenmesi istenen ayrıntı düzeyine bağlı olarak 0,1 s'den sonraki 1,0 s'ye kadardır [8].

3) Makroskopik, Mikroskopik ve Mezoskopik Modeller

Makroskopik modeller 1950'li yıllarda geliştirilmiş olup, nehirdeki veya borudaki suyun akımı baz alınarak bulunmuş modelleme türüdür. Araçların bireysel hareketlerini değil de kompleks bir sistem içinde bulunan araçların tamamını

incelemeye yarar. Bu programla birlikte bölgenin yoğunluğuna, ortalama araç sayısına ve araçların ortalama hızlarına ulaşılabilir.

Mikroskopik modeller ise daha çok araçların bireysel hareketlerini incelemektedir. Araçların tek tek incelenmesinden dolayı detaylı bir çalışma gerektirebilir. Araçların şerit değiştirmesi, sürücü davranışları ve manevraları ağdan izlenilebilmektedir. Trafik mühendisliği açısından bu modelleme türü büyük önem taşımaktadır. [8]

Mezoskopik modeller; Şekil 26'da görüldüğü üzere, makroskopik ve mikroskopik modellerin arasında yer alır. Kompleks bir sitemin içindeki araçların tek tek incelenmesinde fayda sağlar.



Şekil 26. Makro-Mikro-Mezo Modelleme Şeması [30]

4) Zamana Bağlı Akım Modelleri

Zamanla değişen akım terimleri, simülasyon modelinde trafik akımının zamansal özelliklerini dikkate almaktadır. Kısaca terimler, sabit trafik akım oranlarını kullanan ve kullanmayan modellere göre farklılık göstermektedir. Bu ayrımı yaparken, modelde simüle edilen olaylar nedeniyle akım oranlarının değiştiği durumlar (örneğin kazalar, sinyal döngüleri, yüksek doluluklu şerit kapanmaları) halihazırda zamanla değişen akımları temsil eden modellerle karıştırmamalıdır. Zamanla değişen akımlar söz konusu olduğunda, birden fazla akım oranı seti belirtilerek matrisinin zaman içinde değişebilmesi sağlanabilmelidir.

Birçok modelde akımlar saatte bir kez değişirken, bazı modellerde akımların 15 dakikada bir değiştirilmesine izin verilir. Bazı modellerde ise, değişiklik her 5 dakikada bir yapılır, bununla birlikte her dakikada değişiklik yapılma olasılığı

düşüktür. Birden fazla akışın belirlenmesi, özellikle trafik akışında önemli değişikliklerin olduğu yoğun dönemlerde ve bir spor etkinliğinin veya konserin sonunda olduğu gibi trafikteki büyük dalgalanmaların incelenmesinin gerektiği durumlarda yararlıdır [8].

5) Normatif Modeller

Açıklayıcı ve normatif terimleri, simülasyon modelinin hangi sonuçları analiz etmek için oluşturulduğunu ifade eder. Bu tür modeller, optimum sistem performansı sağlayan belirli bir parametre kümesini tanımlamak yerine, olayların ilgili nesnelere davranışını açıklayan mantığa göre nasıl çözüldüğünü açıklamak için oluşturulur. Normatif modeller, optimum sistem performansı sağlayacak parametreleri belirlemeye çalışır. Modelde, objektif operasyonun dış etkileri altında sistemin optimum şekilde çalışması sağlanmaya çalışılır. Bunun en iyi bilinen örneklerinden biri, sinyal sürelerini optimize etmeye çalışan modeldir [8].

6) Çevrimdışı ve Gerçek Zamanlı Modeller

Çevrimdışı çalıştırılan modellerde model zamanının gerçek zamanla uyumlu olması koşulu yoktur. Çevrimdışı modellerde hangi özellik öğrenilmek isteniyorsa, koşulların farklılaşması durumunda özelliğin değişimini görmeyi amaçlar. Öte yandan, gerçek zamanlı modellerde ise, gerçekteki ilerleme hızına uyumlu olması beklenir. Simülasyon süresinin her saniyesi ve gerçek zaman uyumlu olmalıdır. Eğitim oturumları veya sistemde meydana gelen diğer olaylar sırasında sistemin nasıl değişeceğini temsil etmek için gerçek zamanlı modeller kullanılır [8].

3.2.VISSIM Programı

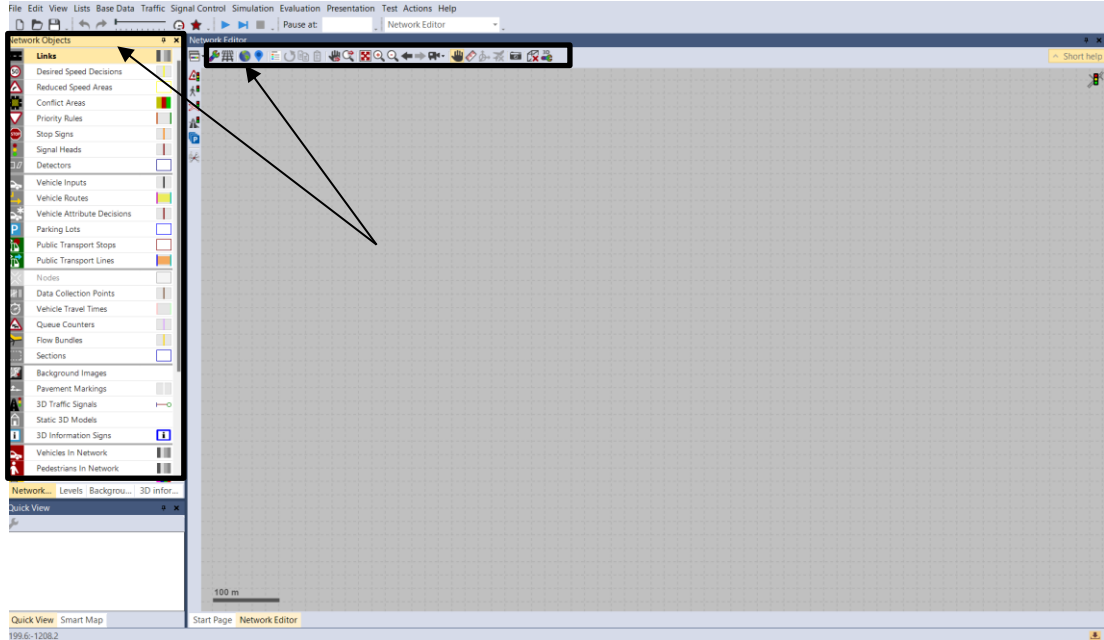
PTV Group şirketinin bir programı olan VISSIM mikro ölçekli simülasyon programıdır. VISSIM programı ile birlikte mevcut durum incelenerek çeşitli senaryolar oluşturulabilir. Oluşturulan senaryolar arasından en ideali seçilerek proje alanına uygulanabilir.

Mikro ölçekli simülasyon programı olan VISSIM ile; yaya simülasyonu, araç simülasyonu, raylı sistem ve toplu taşıma simülasyonu, kent içi trafik yoğunluğu, ulaşım ağları incelemesi ve değerlendirme analizleri yapıp, 2D veya 3D modunda incelenebilir. VISSIM programından örnek olarak alınan ekran görseli Şekil 27'de verilmiştir.



Şekil 27. Yaya-Araç ve Toplu Taşıma Örneği [31]

VISSIM programında çeşitli veri girişleri yapılır. Veri girişinde ilk olarak, “switch bakground maps/grid” sekmesinden düzenlenecek olan yerin güncel görüntüsü varsa seçilir veya vaziyet planı kullanılarak ölçeklendirilir. “Network Objects” kısmında bulunan sekmeler kullanılarak; yollar, trafik ışıkları, duraklar veya park alanları oluşturulur. Daha sonra ise araç sayıları, araçların rotaları, araçların geçiş öncelikleri ve sinyal süreleri, vb. tanımlamalar yapılır. Bu sekmeler Şekil 28’de gösterilmiştir. Ayrıca Bölüm 4.3’te veri girişlerinden ayrıntılı olarak bahsedilecektir.



Şekil 28. Veri Girişi

Çeşitli veri girişlerinin ardından VISSIM programında araçların hızı, yoğunluğu, kuyruk uzunluğu, gecikme süreleri yakıt tüketimi ve trafik hacmi gibi parametreler incelenebilmektedir. Bahsedilen parametreler aşağıda kısaca tanımlanmıştır:

Hız: Hareket eden aracın zamana göre yer değiştirmesidir.

Yoğunluk: Belirli bir zaman içerisinde, belirli bir yolu veya şerit uzunluğunu işgal eden araç sayısıdır. Bu yoğunluk, araçların hareketinin kısıtlanmasına ya da hızının yavaşlamasına neden olduğunda sıkışıklık meydana gelir.

Kuyruk Uzunluğu: Araçların art arda durarak oluşturdukları dizi olarak tanımlanabilir. Trafik ışıklarında beklemek kuyruk uzunluğuna örnek olarak gösterilebilir. Bununla birlikte oluşacak bir kuyruğun uzunluğu ve kuyruқта bekleme zamanı, trafik yoğunluğuna bağlıdır.

Gecikme Analizi: Trafikte oluşan yoğunluk, kuyruk uzunluğu kaza gibi farklı nedenlerle gecikmeler olabilmektedir. Simülasyon teknikleriyle gecikme analizi yapılarak, seyahat süresinin asgari seviyeye indirilmesi ve kavşak performansının iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

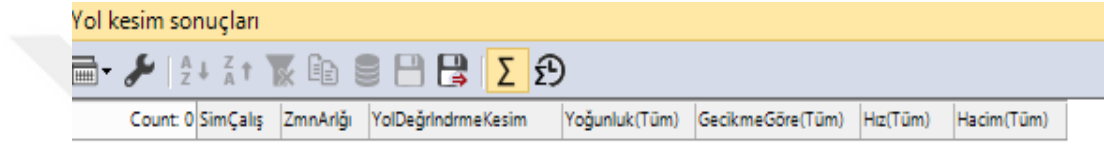
Yakıt Tüketimi: Araç kullanılırken, aracın farklı koşullar altında tükettiği yakıt değeri, yakıt tüketimi olarak adlandırılır. Yakıt tüketimi şehir içi, şehir dışı ve ortalama olmak üzere üç grupta incelenir. Ayrıca, trafiğin yoğun ve dur-kalk sayısının fazla olduğu yerlerde yakıt tüketimi artmaktadır.

Trafik Hacmi: Çalışma yapılması için planlanan yolun belli bir kesiminden, belirli süre içerisinde geçen araç ve yaya sayısıdır. Trafik hacmi belirlenirken araç sayımı ve sınıflandırılması yapılır.

Parametrelerin VISSIM programına tanımlanmasından sonra, aşağıda bahsedildiği şekilde sonuçlar alınmaktadır:

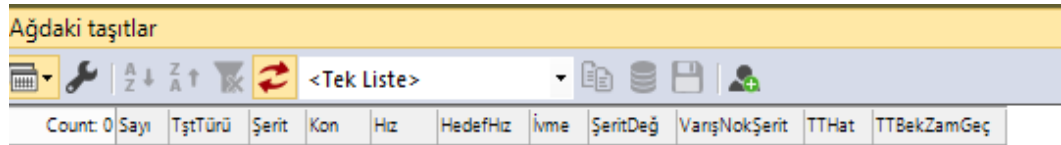
Yol Kesim Sonuçları - Ağdaki Taşıtlar: Simülasyon programının üst şeridinde yer alan “Evaluation” sekmesinden “Result Lists” seçilerek “Link Results” ile yol kesim sonuçlarına ulaşılır. Ağdaki Taşıtlar ise, yine “Result List” sekmesinden “Vehicles in Network” düğmesine tıklanarak bulunur.

Simülasyon çalıştırıldığında ağdaki araç yoğunluğu, ortalama hız ve ivme değerlerine ulaşılabilir. Şekil 29’da yol kesim sonuçları ve Şekil 30’da ağdaki taşıtlar ile ilgili görseller, çalışma ile ilgili veri girişi yapılmadan önce programdan alınmıştır.



Count: 0	SimÇalış	ZmnArlığı	YolDeğrindirmeKesim	Yoğunluk(Tüm)	GecikmeGöre(Tüm)	Hız(Tüm)	Hacim(Tüm)
----------	----------	-----------	---------------------	---------------	------------------	----------	------------

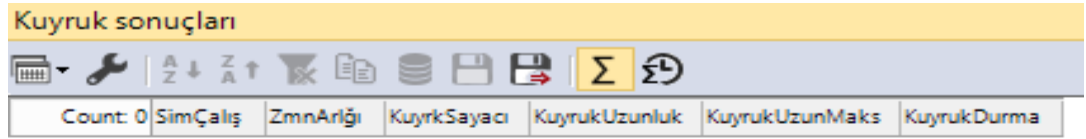
Şekil 29. Yol Kesim Sonuçları



Count: 0	Sayı	TıştTürü	Şerit	Kon	Hız	HedefHız	İvme	ŞeritDeğ	VarışNokŞerit	TTHat	TTBekZamGeç
----------	------	----------	-------	-----	-----	----------	------	----------	---------------	-------	-------------

Şekil 30. Ağdaki Taşıtlar

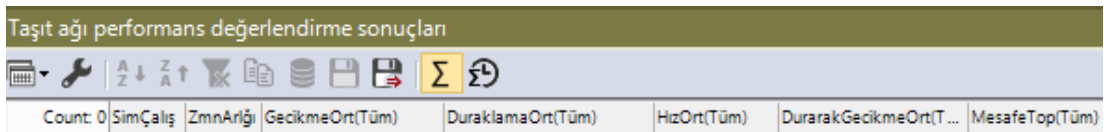
Kuyruk Sonuçları: Kuyruk sonuçları bulunurken yukarıda anlatıldığı üzere, üst şeritte yer alan “Evaluation” sekmesinden “Result Lists” seçilerek “Queue Results” ile kuyruk uzunluğuna ve kuyruktaki durma sonuçlarına ulaşılır. Kuyruk uzunluğunun olabilecek minimum değer olması hedeflenir. Kuyruk uzunluğunun fazla olması, trafik yoğunluğuna sebep olur. Şekil 31’de kuyruk sonuçları, veri girişi yapılmadan önce programdan alınmıştır.



Count: 0	SimÇalış	ZmnArlığı	KuyrkSayacı	KuyrukUzunluk	KuyrukUzunMaks	KuyrukDurma
----------	----------	-----------	-------------	---------------	----------------	-------------

Şekil 31. Kuyruk Sonuçları

Taşıt Ağı Performans Değerlendirme Sonuçları: Bu sonuçlar bulunurken, “Result Lists” sekmesindeki “Vehicle Network Performance Results” ile ağda bulunan araçların ortalama duraklama ve gecikme değerlerine ulaşılabilir. Şekil 32’de veri girişinden önce alınan taşıt ağı performans değerlendirme sonuçları görseli sunulmuştur.



Count: 0	SimÇalış	ZmnArlığı	GecikmeOrt(Tüm)	DuraklamaOrt(Tüm)	HızOrt(Tüm)	DurarakGecikmeOrt(T...	MesafeTop(Tüm)
----------	----------	-----------	-----------------	-------------------	-------------	------------------------	----------------

Şekil 32. Taşıt Ağı Performans Değerlendirme Sonuçları

Düğüm Sonuçları: Bu sonuçlar “Result Lists” sekmesindeki “Node Results” ile yakıt tüketimiyle birlikte CO, NO_x ve VOC emisyon değerleri de elde edilebilmektedir. Bu değerler, araçlarda kullanılan yakıtın yanmasıyla birlikte bu kimyasalların havaya karışmasını ifade eder. Araç yoğunluğunun ve trafikte bekleme süresinin artmasıyla, bu tür kimyasal gazlar yayılarak çevremize zarar vermektedir. Şekil 33’te veri girişinden önceki düğüm sonuçları görseli yer almaktadır.

COEmisyonu	NOxEmisyonu	VOCEmisyonu	YakıtTük
------------	-------------	-------------	----------

Şekil 33. Düğüm Sonuçları

3.3. Sinyalizasyon Sistemlerinde Hesap Yöntemleri

Eşdüzey kavşakların denetim biçimi olan sinyalizasyon sisteminde, kavşak güvenliğinin ve kapasitesinin artırılmasının amaçlanması kapasite tahmin yöntemleriyle mümkün olmaktadır. Kırmızı ışıktaki araç birikmesi, yeşil ışıktaki araçların düzenli olarak hareket etmesi sinyalizasyon sistemiyle sağlanmaktadır. Kavşak kapasitesini etkileyen temel faktörlerden biri yeşil sürenin uzunluğudur. Kavşağın kolundan geçen trafik miktarı hem yeşil ışığın süresine hem de yeşil süre boyunca duruş hattından geçen maksimum taşıt oranına bağlıdır. Bu yeşil sürenin en doğru şekilde uygulanabilmesi adına bazı hesap yöntemleri kullanılabilir.

Trafik akım kuramını temel alan bu hesap yöntemleri Şekil 34’te gösterildiği üzere üç başlıkta incelenebilir.



Şekil 34. Sinyalizasyon Sistemlerinde Hesap Yöntemleri

Webster (İngiliz) yöntemi ve HCM yöntemi faz tabanlı yöntem, Avustralya (Akçelik) yöntemi ise hareket tabanlı bir yöntemdir. Faz tabanlı yöntemlerde faz sistemi dikkate alınırken, hareket tabanlı yöntemlerde ise akımlar tekil olarak fazlar yerine dikkate alınmaktadır. Bu yöntemler en önemli kavşak performans kriterlerinden gecikme ve gecikmelerin en önemli etkenlerinden biri olan sinyal sürelerinin bulunmasını amaçlar.

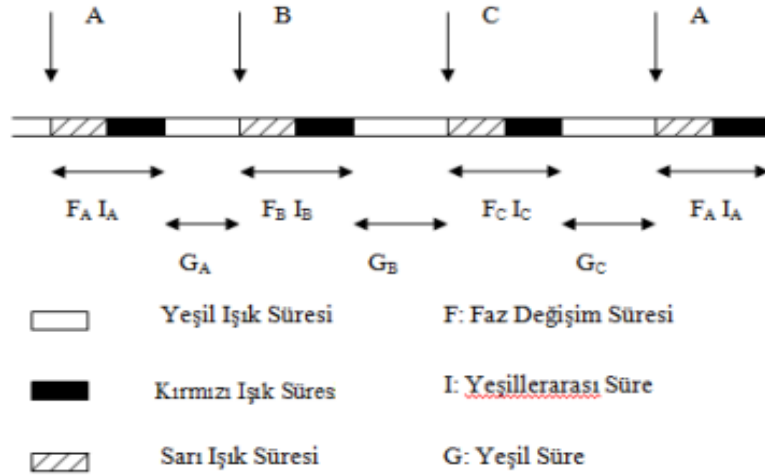
3.3.1. Webster (İngiliz) Yöntemi

Webster yöntemi sinyalizasyon sistemlerinde kullanılan hesaplama tekniklerinden biridir. Webster, 1958 yılında ilk kez taşıt gecikmelerini modelleyerek bu yöntemi oluşturmuştur [32]. F.V.Webster tarafından geliştirilen Optimum Devre Süresi modeli, kavşaktaki toplam gecikme süresini en aza indirerek uygun devre süresinin hesaplanabilmesini amaçlamaktadır. Fazlar arasında doygunluk derecelerine göre, belirlenen devre süresi dağıtılır. Temel doygun akım değeri, Webster yönteminde kavşak kolu genişliğine göre belirlenir. Ayrıca; yolun eğimi, trafik çeşitliliği, sağ ve/veya sol dönen trafik, yaya etkisi ve park şeridi gibi katsayılar düzeltilerek hesaplanmaktadır [33]. Bu hesap sonucu devre süresi ve yeşil süre bulunabilmektedir.

Sinyal devresi, tamamlanmış birden fazla sinyal fazının toplamından oluşur. Bir sinyal devresinde sinyal fazları yeşil, sarı ve kırmızı ışıkların yanışı ve birbirini takip etmesiyle oluşmaktadır. Fazdaki yeşil periyodun bitişi ile, bir sonraki fazdaki yeşil ışık süresinin başlamasına kadar geçen süreye yeşil ışık süresi denir ve bu, sinyalizasyon hesabında etkin yeşil ışık süresinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Kapasite, etkin yeşil süre ile doğru orantılıdır.

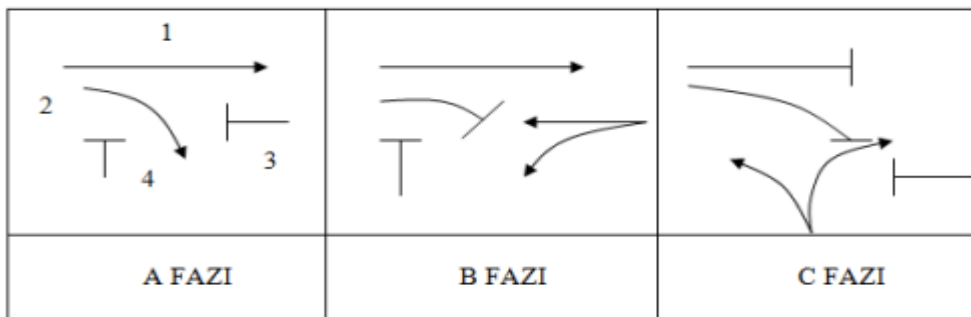
Trafik akımının doygun olarak aktığı süreye etkin yeşil süre denir. Sinyalize kavşaklarda belirli bir şerit grubu için, yoğun trafik akımı içindeki araçların sayısı doygun akım olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle doygun akım; bir kavşağın yaklaşım kollarındaki sinyallerin bir saat boyunca yeşil yanması sonucu kavşaktan geçebilen araç sayısı olarak da tarif edilebilir.

Trafik akımının geçmediği zaman ise kayıp süre olarak adlandırılır. Yani yeşil ışık yanarken kavşağa son olarak giren taşıtın, kırmızı ışığın yanmasını ardından kavşaktan güvenle ayrılması için gerekli olan süredir. Kayıp süre, koruma süresi veya yeşiller arası süre olarak da adlandırılır. Şekil 35'te faz değişim süresi, yeşiller arası süre ve yeşil süre görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 35. Faz Değişim Süresi-Yeşiller Arası Süre

Trafik akımlarının hangi sırayla geçecekleri sinyal faz sistemi ile belirlenmektedir. Sinyal faz sistemi, araç ve yayalara geçiş hakkı sağlar. Sinyalize kavşakta faz sisteminin belirlenmesi, kavşağın geometrisi ile dönen trafik akımlarının derecesine bağlı olarak gerçekleştirilir. Sinyal fazı tasarımı, akımların karşılaşmasının azaltılması, trafik kazalarını minimuma indirgenmesi ve gecikmelerin azaltılması mümkün olmaktadır. Şekil 36'da örnek olarak verilen faz sisteminde trafik akımındaki geçiş hakları sıralanmıştır.



Şekil 36. Faz Sistemi [33]

Devre süresi, Tüm fazların yeşiller arası ve yeşil sürelerinin toplamından meydana gelmektedir. Buna göre devre süresi Formül 1 ile, etkin yeşil süre ise Formül 2 ile bulunabilir:

$$c = \sum(G + I) \quad 1$$

$$g = G - I \quad 2$$

Formüllerde c ; devre süresini, g ; etkin yeşil süreyi, G ; görünen yeşil süreyi (s), I ise kayıp süreyi (s) ifade etmektedir.

Doygun akım değerinin ve kayıp zamanın belirlenmesinde asıl istenen arazi ölçümüdür. Burada arazi ölçümü olarak kastedilen, çalışma yapılacak olan kavşaktaki trafik sayımıdır. Fakat pratikte trafik sayımının yapılabilmesi oldukça güç olmaktadır. Bu nedenle doygun akıma etki eden parametreler göz önüne alınarak doygun akım değerleri tahmin edilmektedir.

Temel doygun akım değeri tahmini kavşak kolunun genişliğine göre belirlendikten sonra çeşitli faktörlere göre düzeltilmektedir.

Temel doygun akım (s), Formül 3'ten elde edilerek saatte birim oto cinsinden ifade edilmektedir:

$$s = 160 * w_a \quad 3$$

Formülde s ; doygun akımı (bo/sa), w_a ise kavşak kolu genişliğini (ft) göstermektedir.

Kavşak kolu genişliğinin 10 ft ve 17 ft arasındaki değerleri için temel doygun akım değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Temel Doygun Akım Değerleri [34]

w_a (ft)	10	11	12	13	14	15	16
w_a (m)	3,05	3,35	3,66	3,96	4,27	4,57	4,88
S(bo/sa)	1850	1875	1900	1950	2075	2250	2475

Yukarıda bahsedilen doygun akım değerlerini etkileyen faktörlerden biri de eğimdir. Doygun akım değeri her %1'lik çıkış eğimi için %3 azaltılırken, %1'lik iniş eğimi için %3 artırılmaktadır.

Buna ek olarak, farklı türdeki taşıtlar için birim oto eşdeğerlikleri tanımlanmaktadır. Birim oto eşdeğerliği ağır taşıtların aynı trafik koşullarında kaç arabayı temsil ettiğini gösterir. Birim oto eşdeğerliğinin kullanılmasıyla, trafikteki farklı taşıtlar aynı taşıt cinsi ile belirtilmekte ve bu değerlerin kullanılması ile gerçeğe daha yakın sonuçların elde edilmesi hedeflenmektedir.

Tablo 2’de hacim düzeltmesi için gerekli olan birim oto eşdeğerlikleri verilmiştir.

Tablo 2. Birim Oto Eşdeğerlikleri [34]

1 ağır taşıt	1,75
1 otobüs	2,25
1 tramvay	2,50
1 hafif taşıt	1,00
1 motosiklet	0,33
1 bisiklet	0,20

Bir diğer doygun akım değerini etkileyen faktör sağa dönen trafiğin etkisidir. Eğer sağa dönenler trafiğin %10’undan çok ise %10’dan fazla olan sağa dönen taşıtların her biri 1,25 ile çarpılarak doğru giden taşıta eşit olduğu düzeltmesi yapılır. Sağa dönen araç sayısı trafiğin %10’undan daha az ise düzeltme yapılmasına gerek yoktur.

Sola dönen trafiğin etkisinde ise dört farklı durum incelenmektedir:

1. Çakışan akımsız ve özel sol dönüş şeritsiz durum: Bu durumda kavşak için doygun akım değeri, doygun akım tahmini bölümünde bahsedildiği şekilde bulunur.

2. Çakışan akımsız ve özel sol dönüş şeritli durum: Sola dönen trafiğin doygun akımı ayrı bir şekilde bulunur.

Doygun akım;

Sol dönüş şeridi 1 tane ise:

$$s = \frac{1800}{1+\frac{5}{R}} \left(\frac{bo}{sa} \right) \quad 4$$

Sol dönüş şeridi 2 tane ise:

$$s = \frac{3000}{1+\frac{5}{R}} \left(\frac{bo}{sa} \right) \quad 5$$

olarak hesaplanır. Formüllerde yer alan s ; doygun akımı, R ; dönüş yarıçapını (ft) ifade etmektedir.

3. Çakışan akımlı ve özel sol dönüş şeritsiz durum: Bu durumda çakışan akım kendisinin gecikmesine neden olmakla birlikte aynı akımdaki doğru giden taşıtların da gecikmesine neden olmaktadır. Ayrıca sola dönen taşıtlar kavşakta bekleme yaptığından, yeşil sürenin sonunda kavşağı boşaltmak için ek bir süre

kullanırlar. Bu şekilde karşı fazın başlangıcı geciktirilmektedir. Bu etkilere her bir sol dönen taşıtı 1,75 ile çarparak, doğru giden taşıt cinsinden alma izni verilebilir.

4. Çakışan akımlı ve özel sol dönüş şeritli durum: Sol dönüş şeridi mevcut olduğundan sola dönenler, aynı kavşak kolunu kullanarak doğru giden trafik için gecikme oluşturmamaktadır. Ancak karşı faz için gecikme meydana gelebilir. Bu durumda her bir sol dönen taşıt 1,75 ile çarpılarak doğru giden taşıt cinsinden alınır.

Faktörlerden diğeri ise yaya ve park eden araç etkisidir.

Yayaların etkisi; Yaya sayısı çok fazla ise ayrı faz düzenlenmeli ve sola dönen trafiğin etkisi ayrıca incelenmelidir.

Park eden taşıtların etkisi; Kavşakta dur çizgisinde park varsa yol genişliği park genişliği kadar azaltılır.

Kavşakta akım oranı Formül 6'da gösterildiği gibi ifade edilir:

$$y_x = \frac{Q_x}{S_x} \quad 6$$

Formülde yer alan Q_x ; x. koldan geçen taşıt sayısını (taşıt/sa), S_x ise o yolun koşullarına göre x. koldan geçebilecek taşıt sayısını ifade etmektedir.

Optimum devre süresini hesaplamak için ilk olarak aynı fazda kayıp zamanı en küçük olan kollar seçilir ve optimum devre süresi D , Formül 7'deki gibi hesaplanır:

$$D = \frac{\emptyset L + 5}{1 - Y} \quad 7$$

Formülde \emptyset ; 1,25 ile 1,98 arasında bir katsayı, L ; kayıp süre, Y ; her koldan bulunan y_x değerlerinin toplamı olan toplam akım oranıdır. D ; maksimum devre süresi için 120 s olup 150 saniyeye kadar kabul edilebilir. Üç veya daha çok fazlı devrelerde \emptyset 1,5 olarak alınır.

Webster yönteminde yeşil sürenin hesaplanması için etkin yeşil sürelerin birbirine oranı ile y değerlerinin oranı eşitlenir. Tüm kollar için işlem tekrarlanır. Yeşil faz süresi g_x Formül 8 ile bulunmaktadır:

$$g_x = \frac{y_x}{Y} (D - L) \quad 8$$

Formülde yer alan y_x ; akım oranını, Y ; toplam akım oranını, D ; devre süresini, L ; kayıp süreyi ifade eder.

Bu formüllerin hesabından sonra Webster yöntemine göre yeşil süre bulunur.

3.3.2. HCM Yöntemi (Yolların Kapasitesi El Kitabı Yöntemi)

HCM (Highway Capacity Manual) yöntemine göre bir kavşağın kapasitesi her bir kavşak kolu için ayrı ayrı tanımlanır. Tüm kavşak kollarında aynı anda doygunluğa ulaşmasının az rastlanan bir durum olduğu belirtilmiştir. Kavşak kapasitesi en önemli faktör olduğundan, akımın kavşaktan gecikmeden geçip geçemeyeceğine önem verilmiştir [35].

Webster yöntemi Hacim/Kapasite (V/C) değerine ve toplam kavşak gecikmesine odaklanırken, HCM yöntemi kritik hareket gecikmelerine odaklanır [36].

3.3.3. Avustralya (Akçelik) Yöntemi

1981 yılında Avustralya Yol Araştırma Kurumu tarafından yayınlanan yöntem, Dr. Rahmi Akçelik tarafından geliştirilmiştir [37].

Bu yöntem ile yapılan hesaplamalarda her akım için doygun akım değeri ve akım oranı belirlenmesinin ardından, doygunluk derecesi hesaplanmaktadır. Doygunluk derecesine göre kritik akım bulunmaktadır. Bu kritik akımlar, devre süresi hesaplamalarında ve yeşil ışık süresi hesaplamalarında kullanılır.

Bu yöntemde diğer yöntemlerden farklı olarak, akım kayıp zamanı faz kayıp zamanı yerine kullanılmaktadır. Ayrıca etkin yeşil sürenin devre süresi oranı olarak hesaplanan “yeşil süre oranı” yöntemdeki yeniliklerdendir.

Akçelik (1988), HCM (1985) gecikme formülünü kalibre ederek alternatif bir model meydana getirerek bu modeli diğer gecikme modelleriyle karşılaştırmıştır [38,39].

3.4. Simülasyon Modelleme Analizi

Mevcut durum ve simülasyon üzerinden elde edilen verilerin kullanılabilirliği açısından GEH analizi yapılabilmektedir. GEH analizi adını 1970'lerde Londra, İngiltere'de ulaşım planlayıcısı olarak çalışan Geoffrey E. Havers'den almaktadır. GEH istatistiği iki trafik hacmi kümesini karşılaştırmak için trafik mühendisliği, trafik tahmini ve trafik modellemede kullanılan bir formüldür. [40]

GEH formülü Formül 9'da verilmiştir.

$$GEH = \frac{\sqrt{2 * (M - C)^2}}{M + C} \quad 9$$

Formülde M ; modellemede elde edilen taşıt sayılarını, C ; mevcut durumda gözlemlenen taşıt sayılarını ifade etmektedir.

Trafik hacimlerinin birbiriyle uyumlu olması durumu, elde edilen GEH değerine göre aralıklara aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

- $GEH < 5$ ise, modellemeden elde edilen verilerle gözlemlenen mevcut değerlerin birbiriyle uyumlu olduğu ve kullanılabilceği sonucuna ulaşılır.
- $5 < GEH < 10$ ise, simülasyon verilerin çok sağlıklı olmadığı ve tekrar kontrol edilmesi önerilir.
- $10 < GEH$ ise, modellemeden elde edilen verilerle gözlemlenen mevcut değerler birbiriyle uyumsuzdur ve kullanılmaması gerekir.



4. ÇALIŞMA ALANI VE ARAŞTIRMA BULGULARI

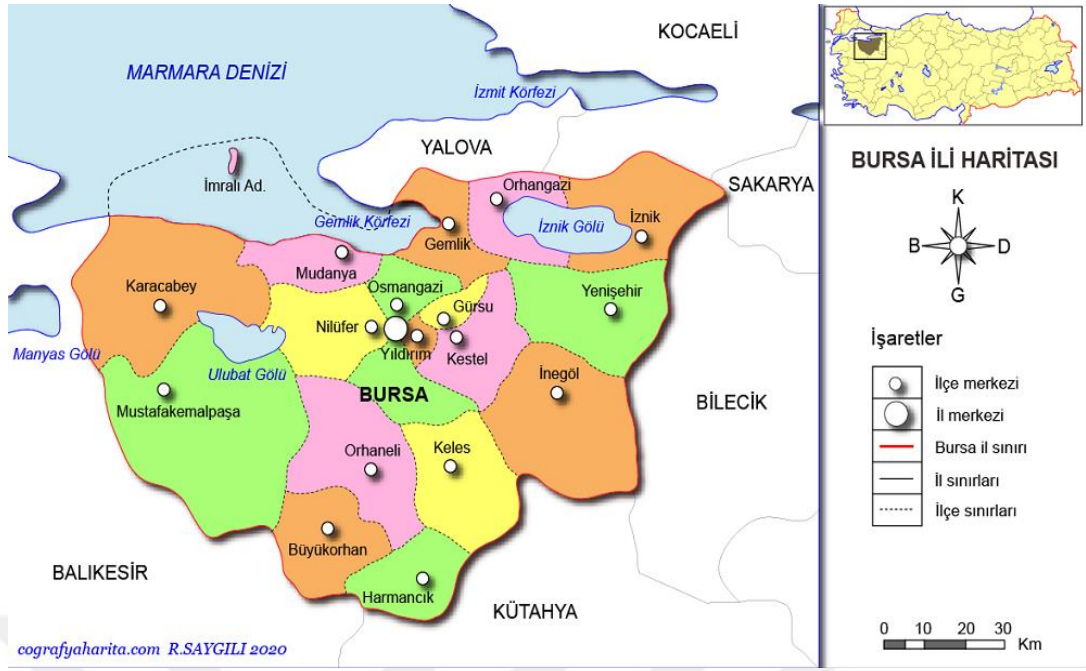
4.1.Çalışma Alanının Özellikleri

Çalışma alanı olarak Bursa ili Gürsu ilçesinde bulunan, araç hareketliliğinin fazla olduğu Gürsu Kavşağı seçilmiştir. Şekil 37’de Türkiye haritasında Bursa ilinin konumu, Şekil 38’de Bursa’nın ilçeleri verilmiştir.



Şekil 37. Bursa İli Konum Haritası [41]

Gürsu kavşağı Bursa-Ankara istikametinde bulunmakla birlikte, Bursa ilinin doğusunda yer almakta ve Gürsu ilçesinin merkezine de ulaşımı sağlamaktadır.



Şekil 38. Bursa İli Haritası [41]

Gürsu kavşağı katlı bir kavşak olmasına rağmen, mevcut konumu ve durumu itibariyle, kavşakta araç yoğunluğu oluşmaktadır. Gürsu ilçesinde bulunan Uludağ Organize Sanayi Bölgesi, çoğunluğu tekstil sektörü olmak üzere, otomotiv ve metal sanayi, içecek ve gıda, petrol ürünleri ve enerji üretimi gibi sektörlerde üretim yapmaktadır. Yoğun istihdam kapasitesiyle ilçe halkının işsizlik sorununun önüne geçmektedir. Bu sebeplerden dolayı, özellikle sabah ve akşam saatlerinde çalışma konusu olarak seçilen kavşakta uzun kuyruklar oluşmaktadır. Şekil 39’da Gürsu Kavşağının konumu verilmiştir.

Gürsu kavşağının alt geçit kısmında yer alan doğu - batı ekseninde Ankara – Bursa hattı yer almaktadır. Hemzemin olarak yer alan bölümünde ise Ankara – Bursa – Gürsu – C107 sokak hatları bulunmaktadır. Şekil 39’da konumu ve mevcut durumu görünen Gürsu kavşağının hemzemin kısmı, 2019 yılı öncesinde dönel kavşak olarak kullanılmıştır. Fakat zaman içerisinde artan araç sayısı ile, dönel kavşakta ciddi bir yoğunluk oluşturmuş ve belediye yetkilileri tarafından trafiğin durma noktasına geldiği ifade edilmiştir. Bursa Belediyesi’nin yaptığı çalışmalar sonucu akıllı kavşak tasarlanmıştır. Akıllı kavşakta bekleme süresi, eskiye göre oldukça iyileşme göstermesine rağmen günün bazı saatlerinde hala trafik yoğunluğu devam etmektedir.



Şekil 39. Gürsu Kavşağının Konumu [23]

Şekil 40'ta Gürsu kavşağının eski haline, Şekil 41'de ise Gürsu kavşağının mevcut durumuna yer verilmiştir.



Şekil 40. Gürsu Kavşağı Eski Hali



Şekil 41. Gürsu Kavşağı Mevcut Durumu

Kavşağın altgeçidi haricinde, gidiş-geliş ikişer şeritli olan Gürsu Kavşağı'nın görüntüleri Şekil 42 ve Şekil 43'te verilmiştir. Şekil 42'deki görselde U dönüşü yapan araçlar Bursa şehir merkezi istikametine geri dönmektedir. Düz giden araçlar ise doğu yönünde ilerlemekle birlikte, kavşaktan Gürsu ilçesine girişler de mevcuttur.



Şekil 42. Gürsu Kavşağı Bursa Yönü

Şekil 43'te yoğun olarak görünen araçlar ise doğu yönünden, Bursa şehir merkezi yönüne doğru ilerlemektedir. Ek olarak, Gürsu ilçesine ulaşım sağlanmaktadır.

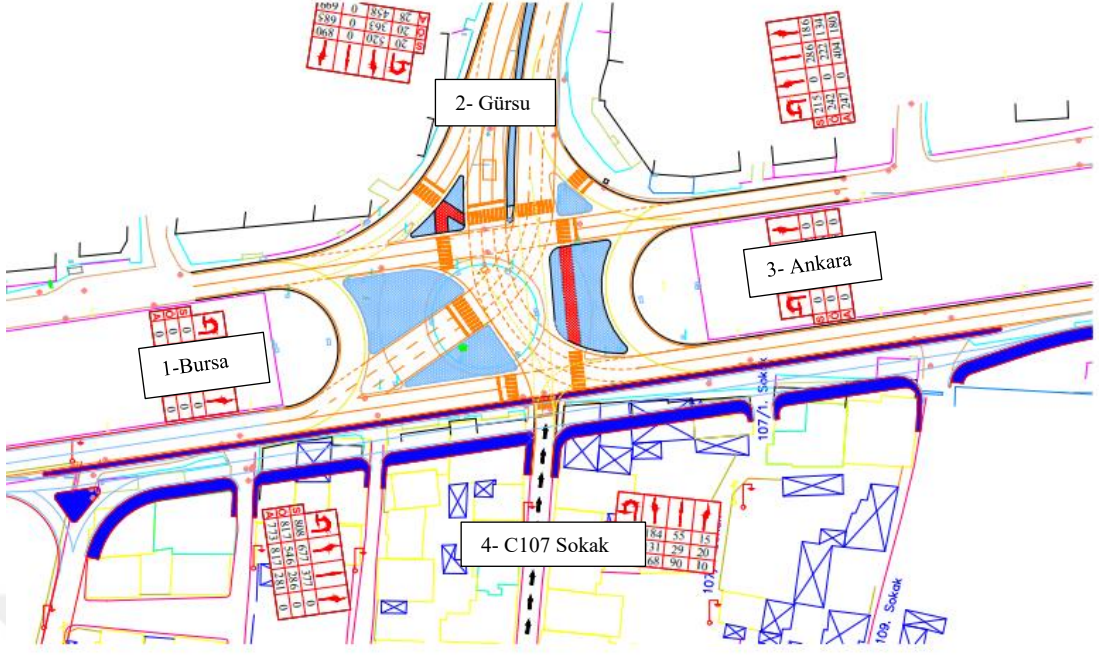


Şekil 43. Gürsu Kavşağı Ankara Yönü

Araç yoğunluğu fazla olan bu kavşakta, Şekil 42 ve Şekil 43'te bulunan görüntülerde olduğu gibi uzun kuyruklar oluşabilmektedir. Gürsu Kavşağı'nın mevcut durumundaki yoğunluğu ve kavşağın bölge trafiği için yetersiz oluşu, çalışma yapılmak üzere seçilmesinde etkili olmuştur.

Şekil 44'te Gürsu Kavşağının vaziyet planı ve mevcut durumu gösterilmiştir. Görselde yer alan Gürsu Kavşağı vaziyet planı Bursa Büyükşehir Belediyesi'nden alınmıştır. 1 numara ile gösterilen Bursa şehir merkezi batı yönünde, 2 numara ile gösterilen Gürsu merkezi, kuzey yönünde bulunmaktadır. 3 numaralı bölüm ise, doğu yönünü göstermekle birlikte Ankara istikametinden Bursa istikametinde olup, 4 numaralı bölüm, C107 sokağı göstermektedir. Bu sokaktan, kuzey yönlü gidilerek Gürsu'ya, Batı yönünde gidilerek Bursa'ya ve Doğu yönünde gidilerek Ankara istikametinde ilerlemek mümkündür.

VISSIM programının içinde yer alan Bing maps uygulamasında, Gürsu kavşağının eski kavşak görüntüsü bulunmaktadır. Kavşağın eski hali olduğundan Şekil 44'te bulunan Gürsu kavşağı vaziyet planı, programda altlık olarak kullanılmıştır.



Şekil 44. Gürsu Kavşağı Vaziyet Planı

4.2. Veri Toplanması

Verilerin toplanması ve veri girişi, simülasyon modellemelerinde çok önemlidir. Simülasyon sonucunun gerçeği yansıtması amacıyla verilerin doğru olması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında mikro ölçekli simülasyon modellemesi kullanılmıştır. Ayrıca Webster yöntemi vasıtasıyla en doğru yeşil sürenin bulunması amaçlanmıştır.

Yapılan bu çalışmada simülasyon modellemesinde kullanılmak üzere, teze çalışma alanı olarak seçilen Gürsu Kavşağı'nın araç sayımları ve sinyal faz süreleri Bursa Büyükşehir Belediyesinden alınmıştır. Ağıdaki taşıt sayıları, kuyruk uzunlukları, emisyon değerleri vb. sonuçların analizlerini elde etmek için VISSIM programını kullanmak amacıyla, PTV Group'a "Akademik Tez Lisansı" başvurusu yapılmıştır. Başvurunun kabul edilmesiyle birlikte VISSIM programı lisanslı olarak kullanılmıştır.

Araç Sayımları

Aşağıda Gürsu Kavşağına ait olmakla birlikte sabah öğlen ve akşam sayımları yapılmış olan kavşağın zirve saat değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Bu değerler; sabah 08:00-09:00, öğlen 13:00-14:00, akşam 17:45-18:45 arasında elde edilmiştir.

Tablo 3. Zirve Saat Değerleri

1.KOL	Sabah	Öğle	Akşam
Bursa -Ankara	496	300	544
Bursa -Gürsu	712	640	816
Bursa U Dönüşü	956	844	728
2.KOL	Sabah	Öğle	Akşam
C107-Gürsu	80	41	95
C107-Ankara	21	28	11
C107-Bursa	269	186	171
3.KOL	Sabah	Öğle	Akşam
Ankara-Bursa	372	336	320
Ankara -Gürsu	84	60	68
Ankara U Dönüşü	212	164	200
4.KOL	Sabah	Öğle	Akşam
Gürsu-Bursa	984	780	784
Gürsu-Ankara	600	712	780
Gürsu U Dönüşü	22	19	30

Sabah yoğunluğu, öğle ve akşam yoğunluğuna göre daha fazla olduğundan VISSIM programında yapılan çalışmada sabah zirve saat değerleri kritik değer kabul edilerek çalışılmıştır.

4.3.Mevcut Durum Modellemesi

Mevcut durum modellemesi belediyeden alınan veriler kapsamında düzenlenmiştir. Gürsu Kavşağının görüntüsü, VISSIM programındaki Bing maps üzerinde dönel kavşak olarak bulunmaktadır. Dönel kavşak, Gürsu Kavşağının eski hali olduğu için modelleme yapılmadan önce vaziyet planı programa aktarılmış ve arka plan olarak belirlenmiştir. Bu görüntünün programa uyarlanması adına ölçeklendirme yapılmıştır. Yapılan ölçeklendirme sonrasında, VISSIM programına gerekli veriler tanımlanmıştır. Bu veriler; şerit sayısı, şerit değiştirme davranışları, hız, sinyal süresi, araç tipi ve sayısı gibi faktörlerdir.

Vissim programında ilk olarak, yollar “Links” sekmesinden tanımlanmıştır. Tanımlanan ana yolların birbiriyle bağlantıları ise “connector” yardımıyla tamamlanmıştır. Link sekmesi ana yolların çizilmesini sağlarken, “connector” bu yollar arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Şerit genişlikleri 3,5 m olarak alınmıştır. Şekil 45’te örnek olarak yol ayarlarına yer verilirken, Şekil 46’da yolları birbirine bağlayan bağlantı ayarları gösterilmiştir.

Link

No.: 1 Name:

Num. of lanes: 2 Link behavior type: 1: Urban (motorized)

Link length: 62.084 m Display type: 1: Road gray

Level: 1: Base

Lanes: Meso Pedestrian Area Display Dyn. Assignment Others

Count	Index	Width	LinkBehavTy ...	BlockedVeh ...	DisplayType	NoLnChLAIll ...	NoLnChRAIll ...	NoLnChLVeh ...	NoLnChRVeh ...
1	1	3.50	1: Urban			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
2	2	3.50	1: Urban			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Has overtaking lane

OK Cancel

Şekil 45. Yol Ayarları

Connector

No.: 10000 Name:

Spline: Link behavior type: 1: Urban (motorized)

Link length: 25.224 m Display type: 1: Road gray

from link: No.: 1 At: 61.837 m to link: No.: 2 At: 0.243 m

Lane 1
 Lane 2

Lane 1
 Lane 2

Lanes: Lane Change Meso Display Dyn. Assignment Others

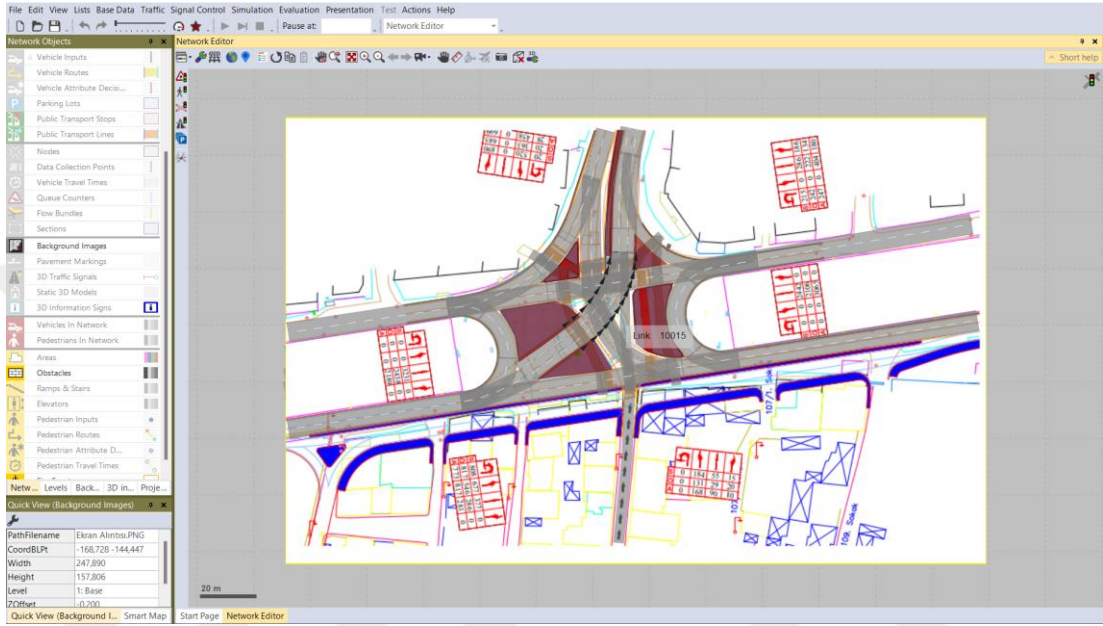
Count	Index	Width	LinkBeha...	BlockedV ...	DisplayTy...	NoLnChL...	NoLnChR...	NoLnChL...	NoLnChR...
1	1					<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
2	2					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Has overtaking lane

OK Cancel

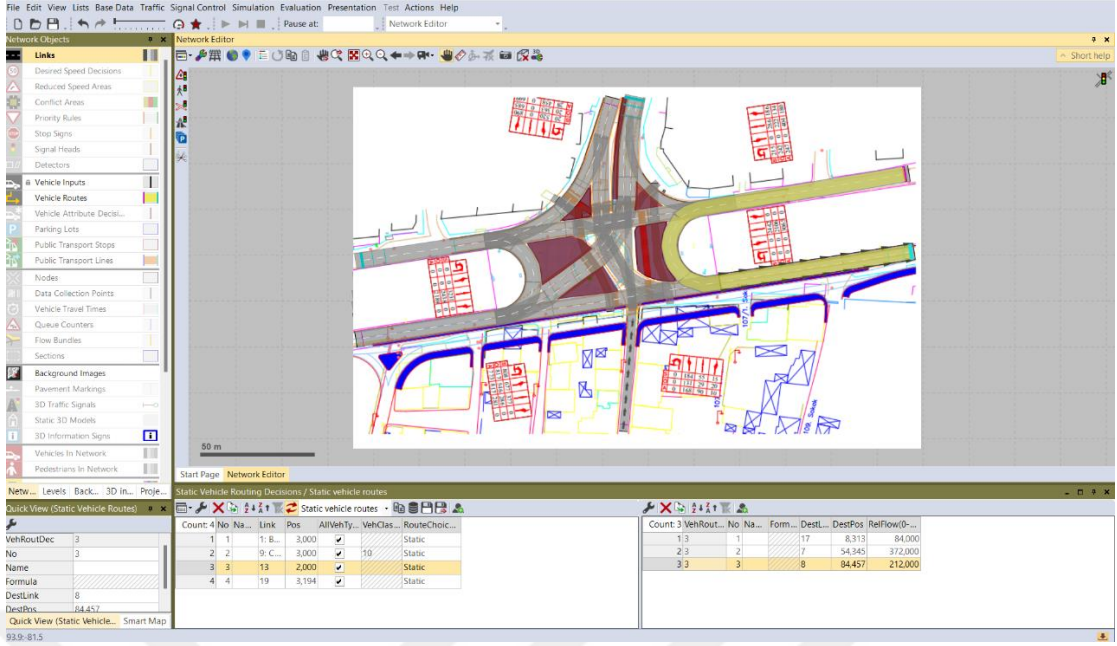
Şekil 46. Bağlantı Ayarları

Şekil 44'te bulunan vaziyet planında görüldüğü üzere, Bursa – Ankara, Ankara – Bursa, Gürsu – Bursa yolları gidiş geliş çift şerittir. Bursa yönünden Gürsu'ya giriş yollarının birbirine bağlanması ise üç şerittir. Şerit sayıları programa da bu şekilde tanımlanmıştır. Kavşakta şerit sayıları iki olarak ayarlanıp kavşağa üç şeritten giriş verilerek mevcut durumda yaşanabilecek yoğunluk simülasyona yansıtılmıştır. Kavşak bölgesinin modeli ve üç şerit olarak bağlanan yol, Şekil 47'de verilmiştir.



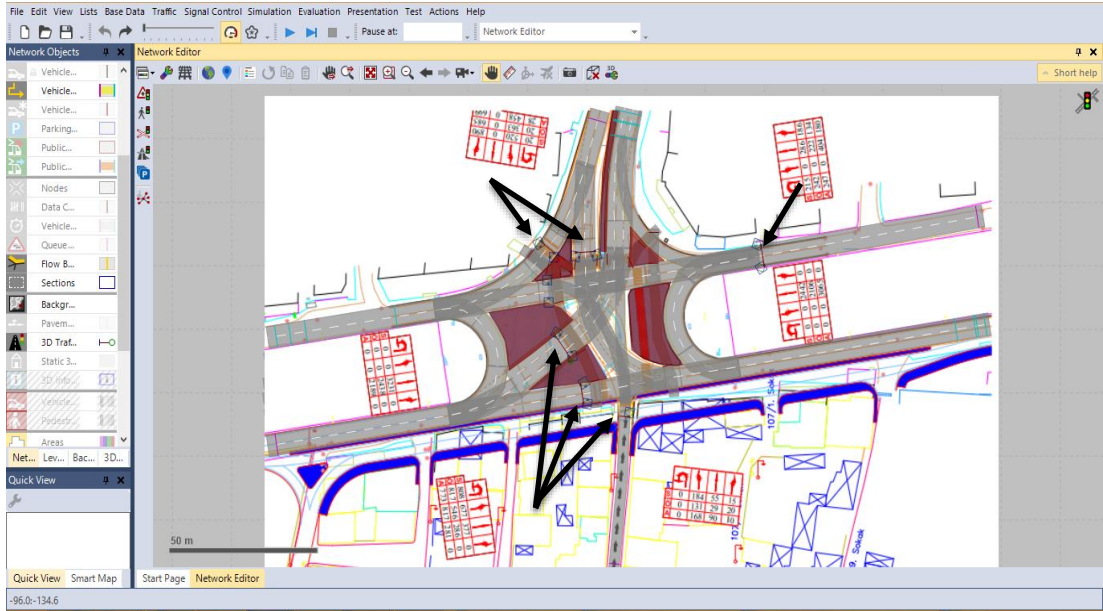
Şekil 47. Kavşağın Modellenmesi

Yolların çizimi link komutu ile tamamlandıktan sonra, kollara ait olan zirve saat değerleri tanımlanmıştır. Yola ait zirve saat değerleri, “Vehicle Inputs” sekmesiyle oluşturulmuştur. Değerlerin tanımlanmasından sonra yolun güzergahı belirlenmiştir. Güzergah üzerindeki araç sayıları tek tek girilmiştir. Bu işlemler “Vehicle Routes” sekmesiyle yapılabilmektedir. Şekil 48’de yola ait olan güzergah ve araç değerleri örnek olarak verilmiştir.



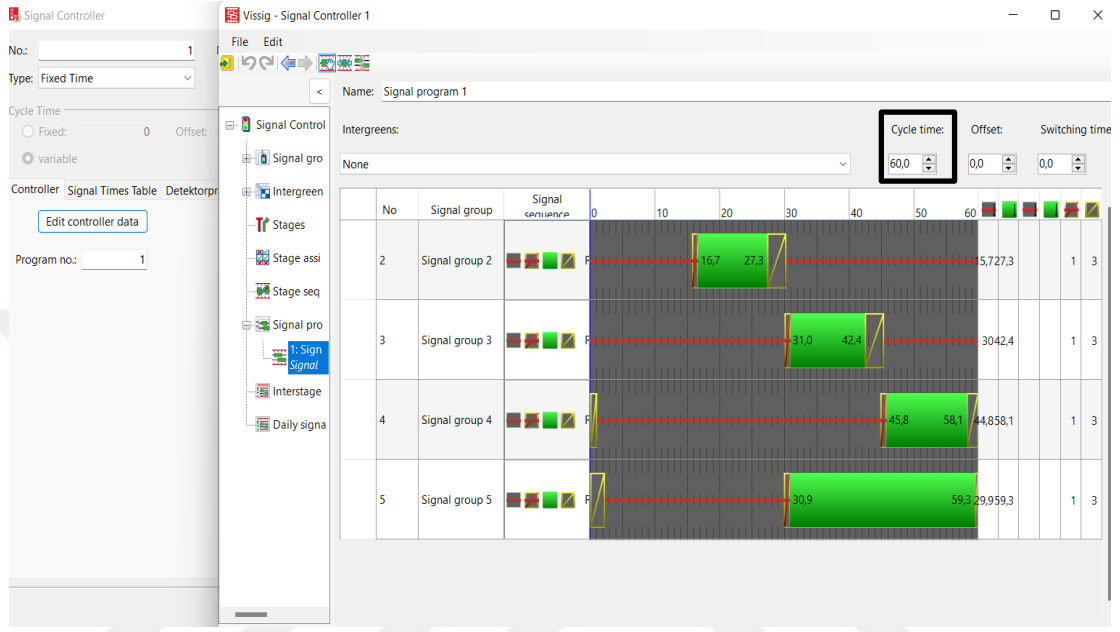
Şekil 48. Yol Güzergahları ve Araç Sayım Değerleri

Yol güzergahları ve zirve saat değerlerinin tanımlanmasından sonra, mevcutta bulunan trafik ışıkları yerleştirilmiştir. Yerleştirilen ışıklar Şekil 49’da gösterilmiştir.



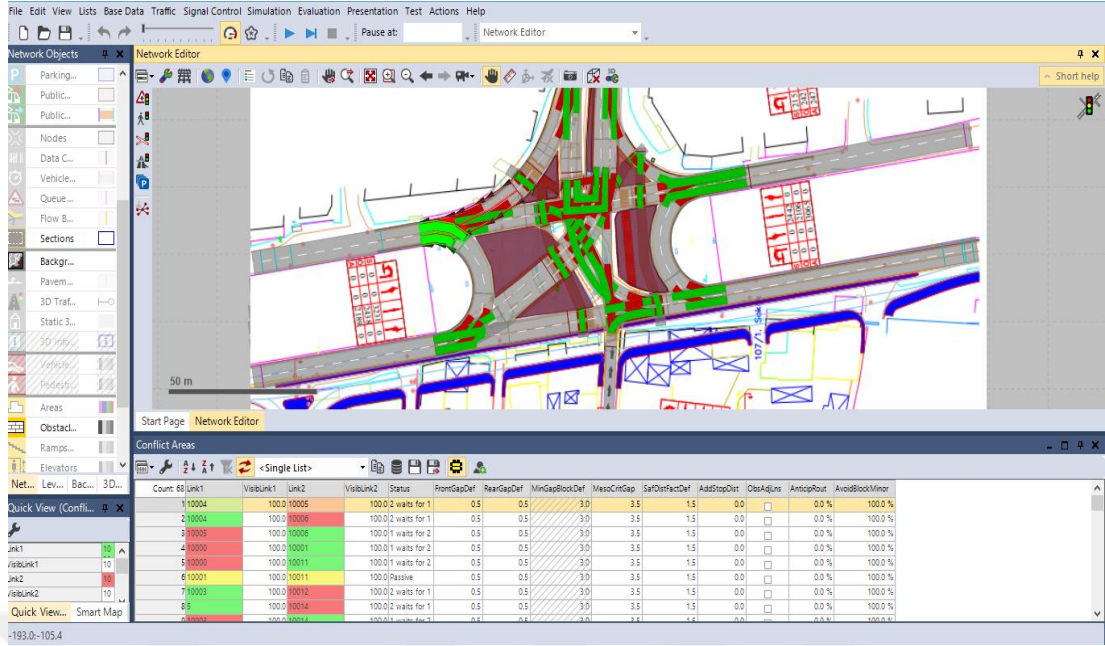
Şekil 49. Trafik Işıklarının Yerleştirilmesi

Bununla birlikte faz diyagramı dikkate alınarak, belediyeden 60 s olarak belirtilen devre süresi veri girişi yapılmıştır. Devre süresinin oluşturulması “Signal Control” sekmesinden ayarlanmıştır. Şekil 50’de devre süresi girişine yer verilmiştir. Devre süresi mevcut durum için 60 s alınmış ve Bölüm 3.3’te verilen Webster yöntemiyle ideal devre süresi tekrar hesaplanarak farklı bir senaryo oluşturulmuştur.



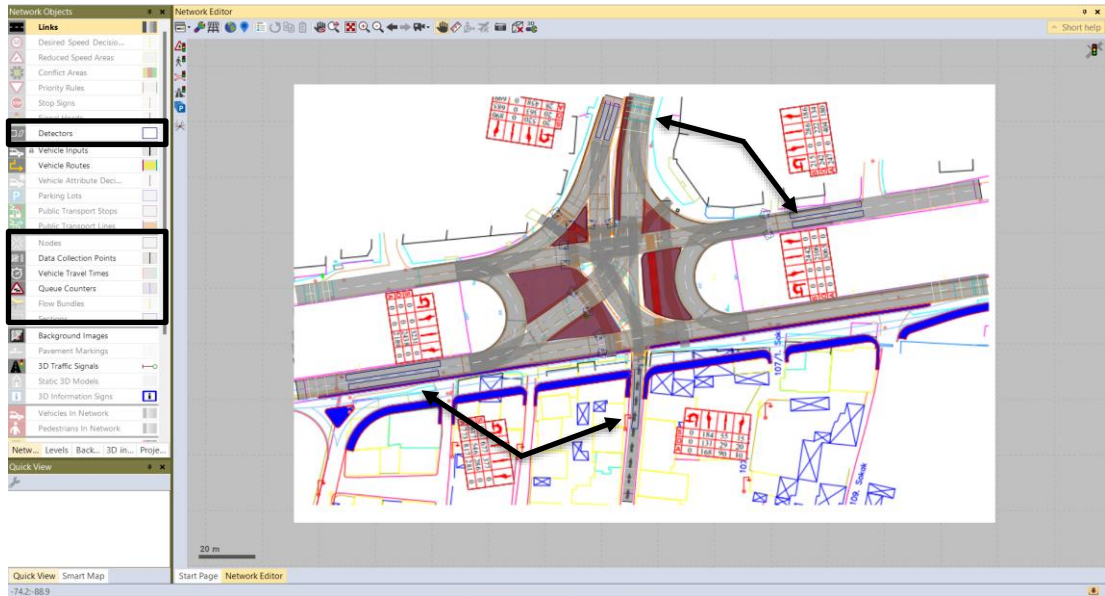
Şekil 50. Devre Süresi

Trafik ışıkları yerleştirilip faz diyagramı ayarlandıktan sonra, araçların kavşak içindeki çakışmaları düzenlenmiştir. Bu çakışmaların düzenlenmesi için “Conflict Points” ve “Priority Rules” sekmeleri kullanılmıştır. Şekil 51’de araç öncelikleri gösterilmiştir. Araç önceliklerine, tali yoldan ana yola çıkacakken ana yoldan gelen araçlara veya dönüş yaparken doğru geçmekte olan araçlara geçiş önceliği tanınması örnek olarak gösterilebilir. Olası bir çakışmada geçmesi gereken yeşil renk ile, durması gereken kırmızı renk ile belirlenmiştir.



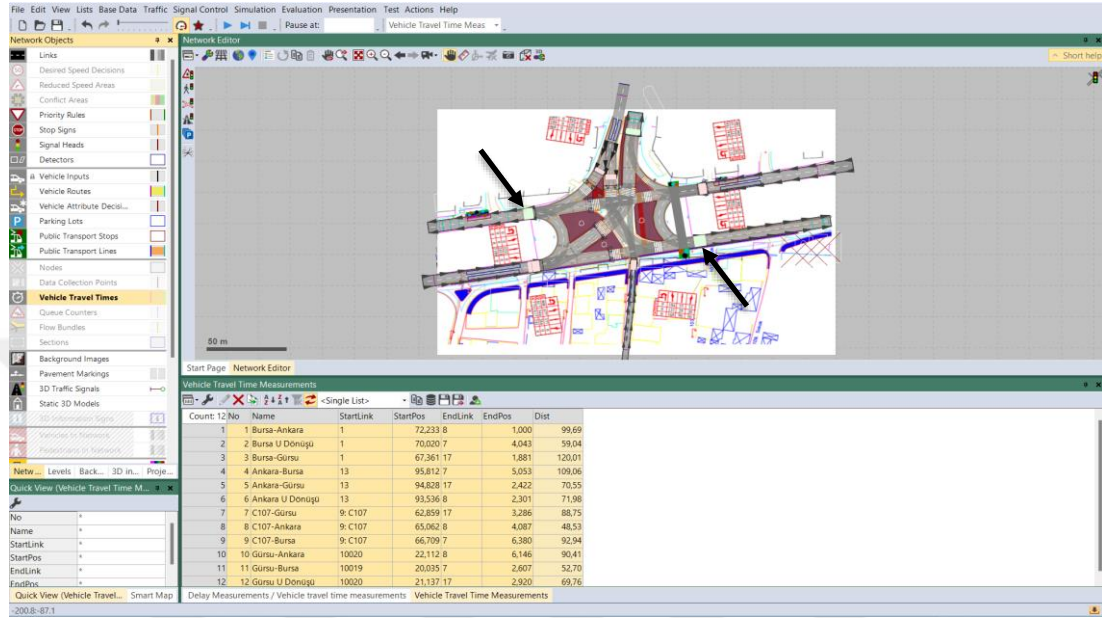
Şekil 51. Geçiş Öncelikleri

Araçların geçiş önceliklerinin tamamlanmasının ardından; programdan gerekli sonuçların alınabilmesi ve yoğunluğun tespiti adına dedektör, veri toplama noktası, gecikme ölçüm sayacı ve kuyruk sayacı yerleştirilmiştir. Bunların yerleştirilebilmesi için, “Detectors”, “Data Collection Points”, “Vehicle Travel Times” ve “Queue Counters” sekmeleri kullanılmıştır. Kullanılan sekmeler ve yerleştirilen bazı bölümlere Şekil 52’de yer verilmiştir.



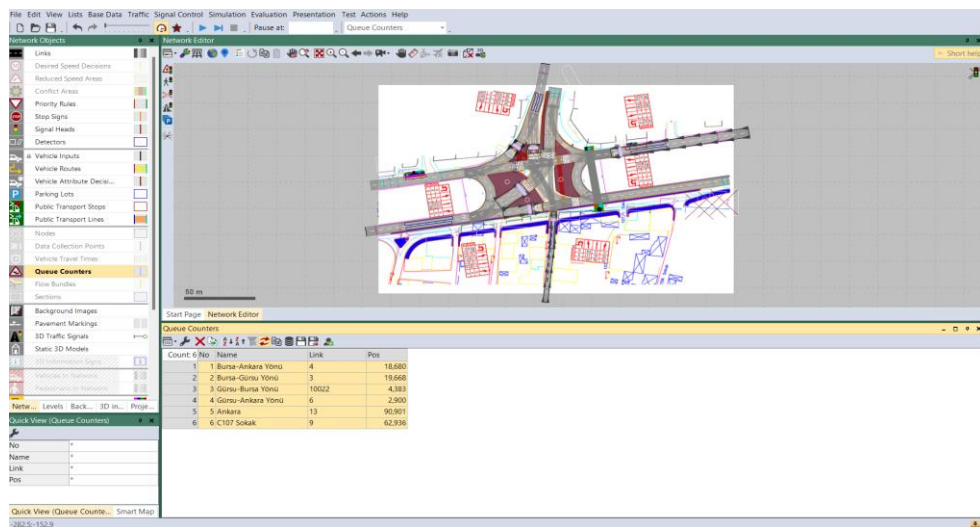
Şekil 52. Sonuç Sayaçları

Taşıtların gecikme sonuçlarının alınabilmesi ve seyahat süresinin öğrenilmesi amacıyla kullanılan “Vehicle Travel Times” sekmesine ait görsel Şekil 53’te verilmiştir. Görselde on iki adet gecikme ölçüm sayacı bulunmaktadır. Bu sayaç birbiriyle bağlantılı tüm yollar arasında bulunmaktadır. Gecikme ölçüm sayacının bulunduğu yollar isimlendirilmiştir.



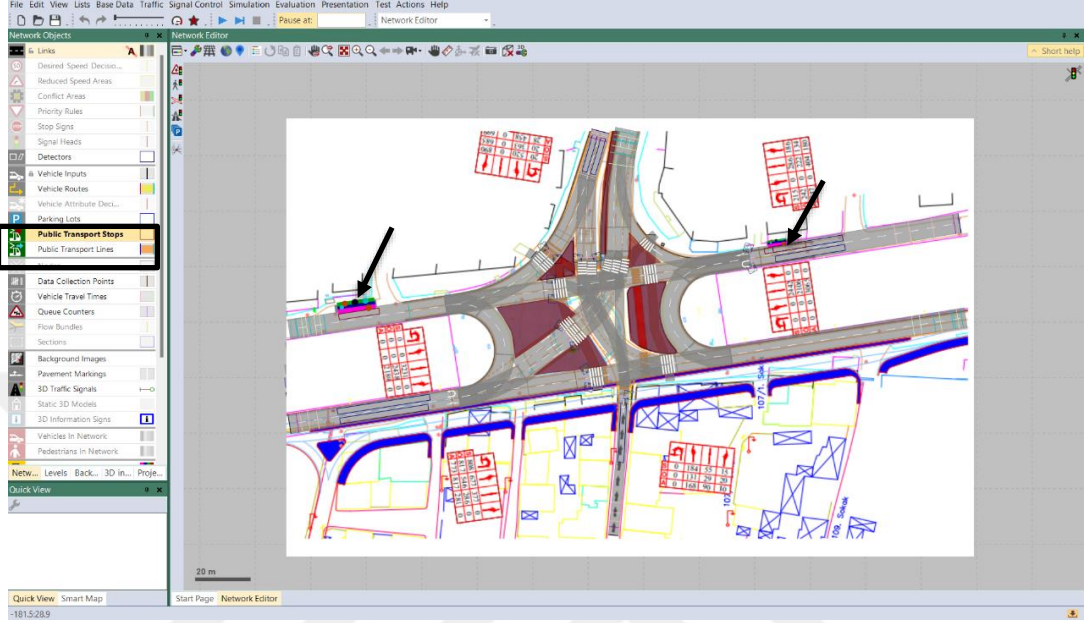
Şekil 53. Taşıt Gecikmeleri ve Seyahat Süresi Sayacı

Kavşakta oluşan kuyruk uzunlukları için “Queue Counters” sekmesi kullanılmıştır. Bu sekme kullanılarak altı adet kuyruk sayacı konulmuştur. Şekil 54’te yerleştirilen kuyruk sayaçları gösterilmiştir. Kuyruk sayaçlarının bulunduğu yollar isimlendirilmiştir.



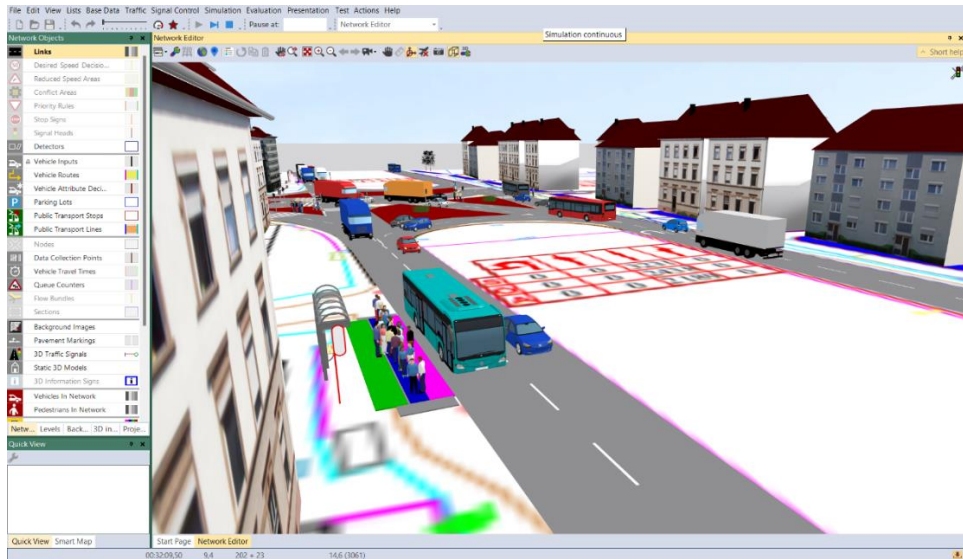
Şekil 54. Kuyruk Sayacı

Sonuç sayaçları ayarlarından sonra, mevcutta olduğu gibi toplu taşımalar için durak tanımlanmıştır. Bu duraklarda sadece minibüsler değil, otomobiller de durarak yoğunluk oluşturmaktadır. Durakların tanımlanması “Public Transport Stops” ve “Public Transport Lines” sekmelerinden yapılmıştır. Şekil 55’te tanımlanan duraklar ok ile gösterilmiştir.



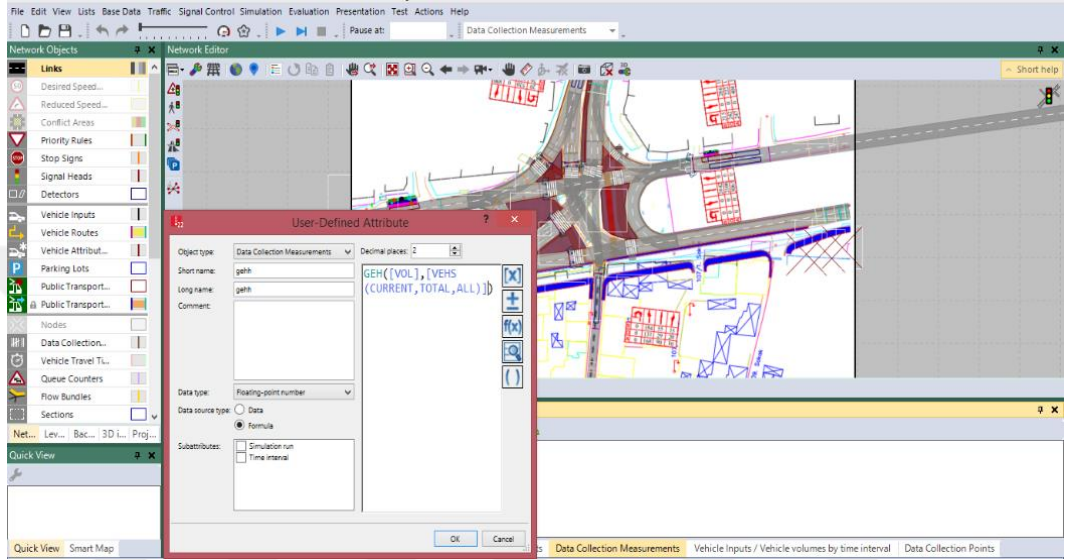
Şekil 55. Durak Tanımlanması

Ayrıca “Areas” sekmesinden durak için çeşitli alanlar tanımlanır. Bu alanlar yayalar için gereklidir. “Pedestrian Inputs” ve “Pedestrian Routes” sekmelerinden yaya ataması yapılmaktadır. Böylece yayaların otobüs beklemesi, inip binmesi simülasyonda görülmektedir. Şekil 56’da ataması yapılan yayaların 3D görüntüsü verilmiştir.



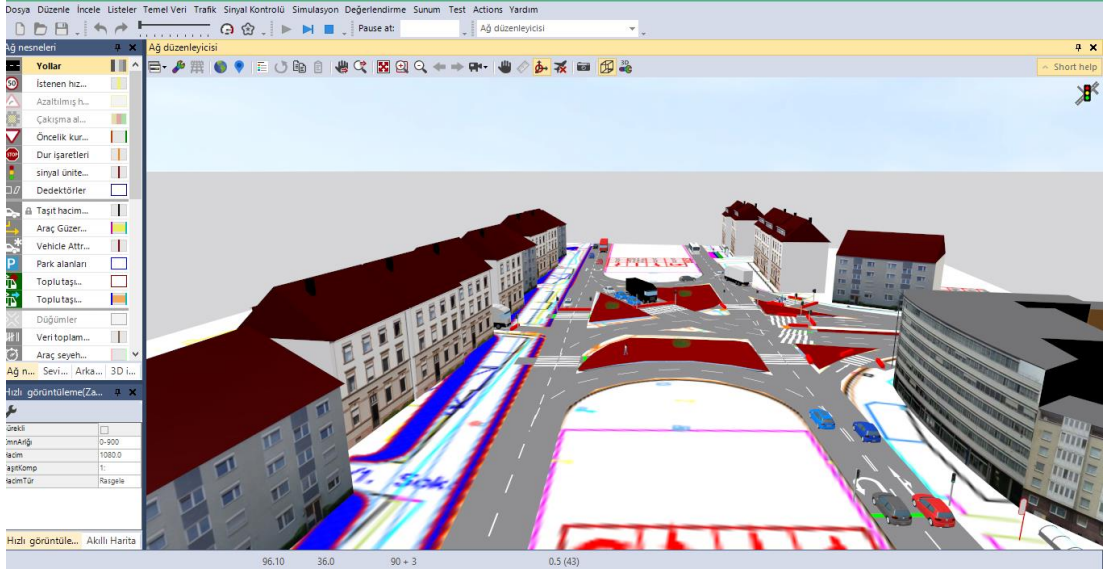
Şekil 56. Yayaların ve Durağın 3D Görünümü

Bu ayarların ardından GEH analizi sonuçlarını elde etmek amacıyla Vissim programı üzerine, Bölüm 3.4.'te verilen Formül 9'da olduğu gibi formül tanımlanmıştır. Formül tanımlamaları ana kollar için yapılmıştır. Bölüm 4.1, Şekil 44'te yer alan vaziyet planında olduğu gibi kollar sırasıyla; Bursa, Gürsu, Ankara ve C107 sokaktır. GEH analizi sonuçları elde hesaplanabileceği gibi, programda yapılan formül tanımlamasıyla da hesaplanabilmektedir. Tanımlanan formül, Şekil 57'de verilmiştir.



Şekil 57. GEH Formülü Tanımlanması

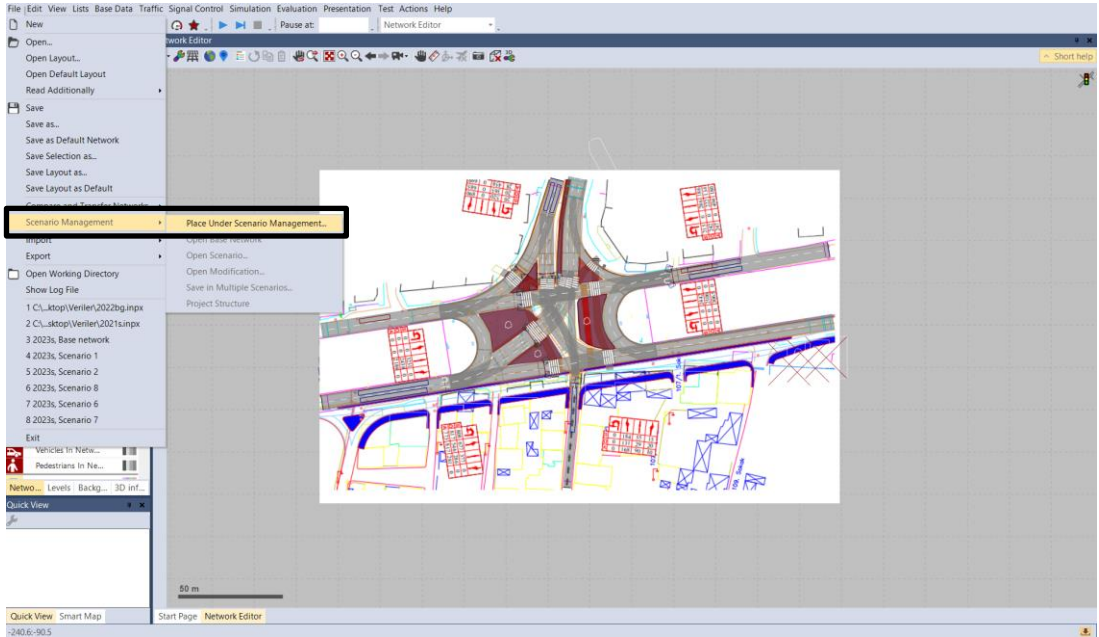
Tüm veri girdilerinin tamamlanmasının ardından oluşturulan modelin 3D görüntüsü Şekil 58'de verilmiştir.



Şekil 58. Modelin 3D Görünümü

4.4.Senaryoların Modellenmesi

Hazırlanan tez kapsamında, Gürsu Kavşağı için mevcut durumla birlikte sekiz farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryoların oluşturulması, Vissim programında bulunan “Scenario” sekmesinden “Place Under Scenario Management” seçilerek yapılmıştır. Şekil 59’da senaryoların nasıl giriş yapıldığına yer verilmiştir.



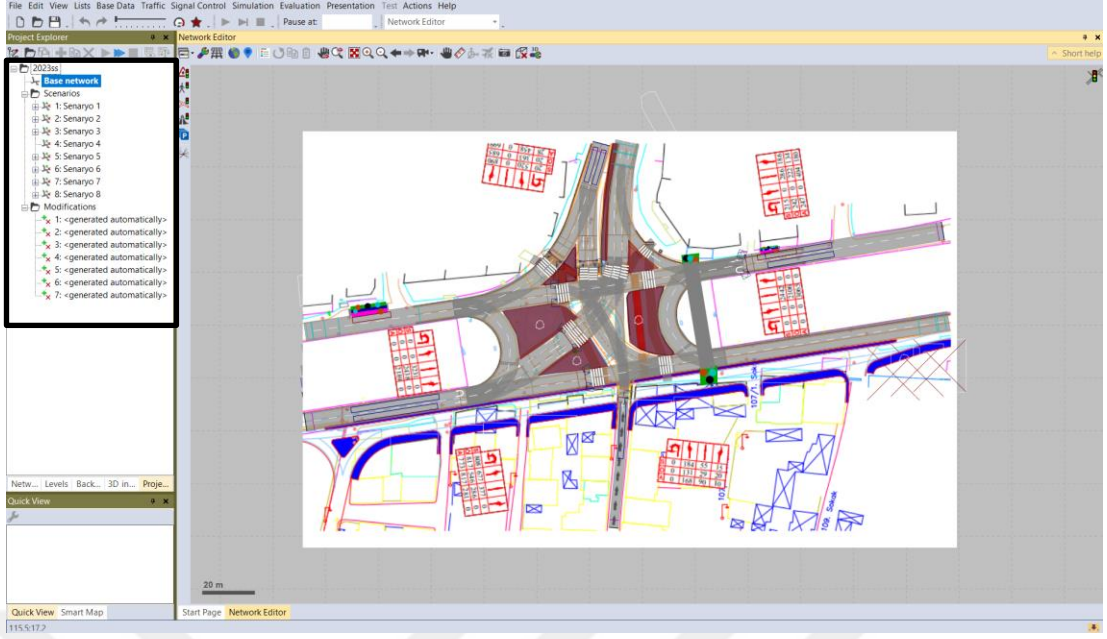
Şekil 59. Senaryoların Oluşturulması

Mevcut durum ataması yapılmış olan temel proje üzerine girilmiş, sonraki senaryolar için değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler “Modification” komutuyla girilmiştir.

Tez çalışması kapsamında oluşturulan senaryolar aşağıda verilmiştir:

- Birinci senaryoda, Bölüm 4.3’te anlatılan mevcut durum modellemesine yer verilmiştir. Mevcut durumda devre süresi 60 s olarak alınmıştır. Ayrıca mevcutta olduğu gibi kavşak içerisinde duraklar bulunmaktadır.
- İkinci senaryoda, mevcut duruma ilave olarak kavşakta bulunan U dönüşlerine trafik ışığı yerleştirilmiştir.
- Üçüncü senaryoda, mevcut durumda kavşakta bulunan duraklar kaldırılmıştır. Böylece toplu taşımanın iç bölgelere alınarak kavşak içine girmemesi amaçlanmıştır.
- Dördüncü senaryoda, mevcut duruma yayalar için üstgeçit eklenmiştir. Böylece yaya yoğunluğunun önüne geçilmesi amaçlanmıştır.
- Beşinci senaryoda, Webster yöntemi uygulanarak ideal yeşil ışık süresi bulunmuştur. Bulunan yeni süre ile, mevcut durumdaki devre süresi değiştirilmiştir.
- Altıncı senaryoda, Webster yöntemi uygulanarak bulunan ideal yeşil ışık süresi ile, ikinci senaryoda olduğu gibi kavşaktaki U dönüşlerine trafik ışığı yerleştirilmiştir.
- Yedinci senaryoda, Webster yöntemi uygulanarak bulunan ideal yeşil ışık süresi kullanılırken otobüs veya minibüslerin durduğu duraklar kaldırılmıştır. Böylece üçüncü senaryoda olduğu gibi toplu taşımanın iç bölgelere alınarak kavşak içine girmemesi amaçlanmıştır.
- Sekizinci senaryoda ise, Webster yöntemi uygulanarak bulunan ideal yeşil ışık süresinin kullanılmasıyla birlikte yayalar için üstgeçit eklenmiştir.

Şekil 60’ta oluşturulan sekiz senaryonun program içerisindeki listesine yer verilmiştir.



Şekil 60. Senaryolar

Şekil 61’de ise, senaryolarla ilgili girişler görülmektedir.

Project Structure

Basic settings Scenarios Modifications

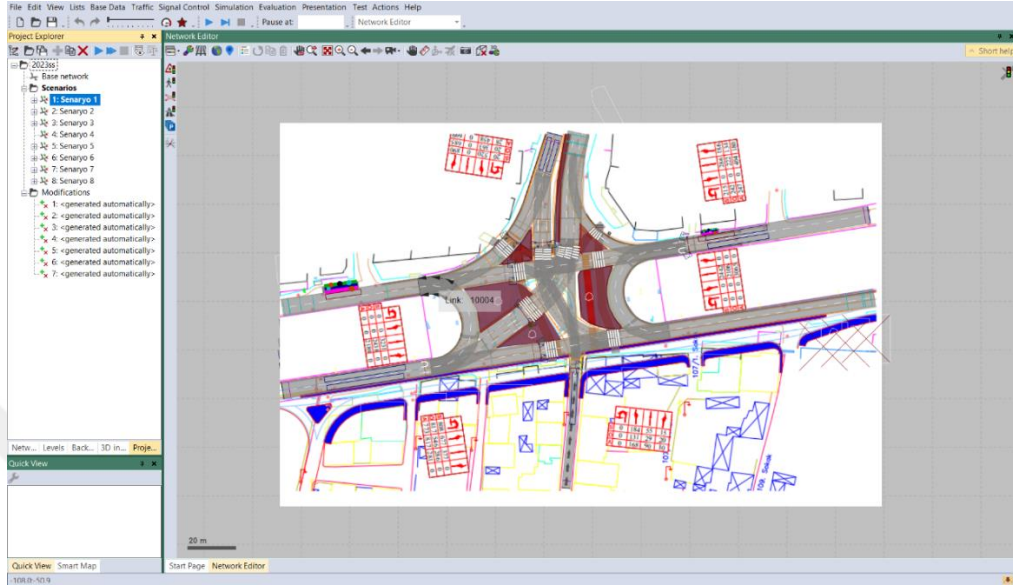
Count	No	Name	Description	Directory	Modifications	Concatenate:M...	Concatenate:M...	ScenToComp
1	1	Senaryo 1	Mevcut Durum	C:\Users\Buse\...	1	1		
2	2	Senaryo 2	Mevcut Durum + U Işık	C:\Users\Buse\...	2	2	2	
3	3	Senaryo 3	Mevcut Durum + Durakların Kaldırılması	C:\Users\Buse\...	3	3	3	
4	4	Senaryo 4	Mevcut Durum + Yaya Üst Geçidi	C:\Users\Buse\...	7	7	7	
5	5	Senaryo 5	Webster	C:\Users\Buse\...	4	4	4	
6	6	Senaryo 6	Webster + U Işık	C:\Users\Buse\...	5	5	5	
7	7	Senaryo 7	Webster + Durakların Kaldırılması	C:\Users\Buse\...	6	6	6	
8	8	Senaryo 8	Webster + Yaya Üst Geçidi	C:\Users\Buse\...	8	8	8	

Close

Şekil 61. Senaryolarda Yapılan Değişiklikler

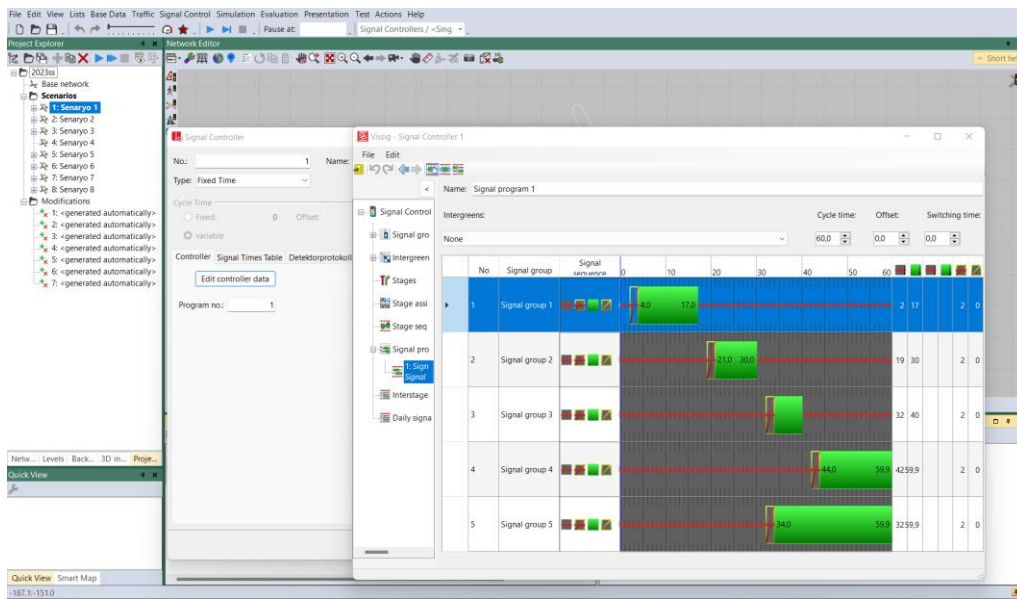
4.4.1. Senaryo 1

Birinci senaryoda mevcut duruma yer verilmiştir. Bölüm 4.3'te detaylandırılan mevcut duruma ait görsel, Şekil 62'de bulunmaktadır.



Şekil 62. Senaryo 1 (Mevcut Durum)

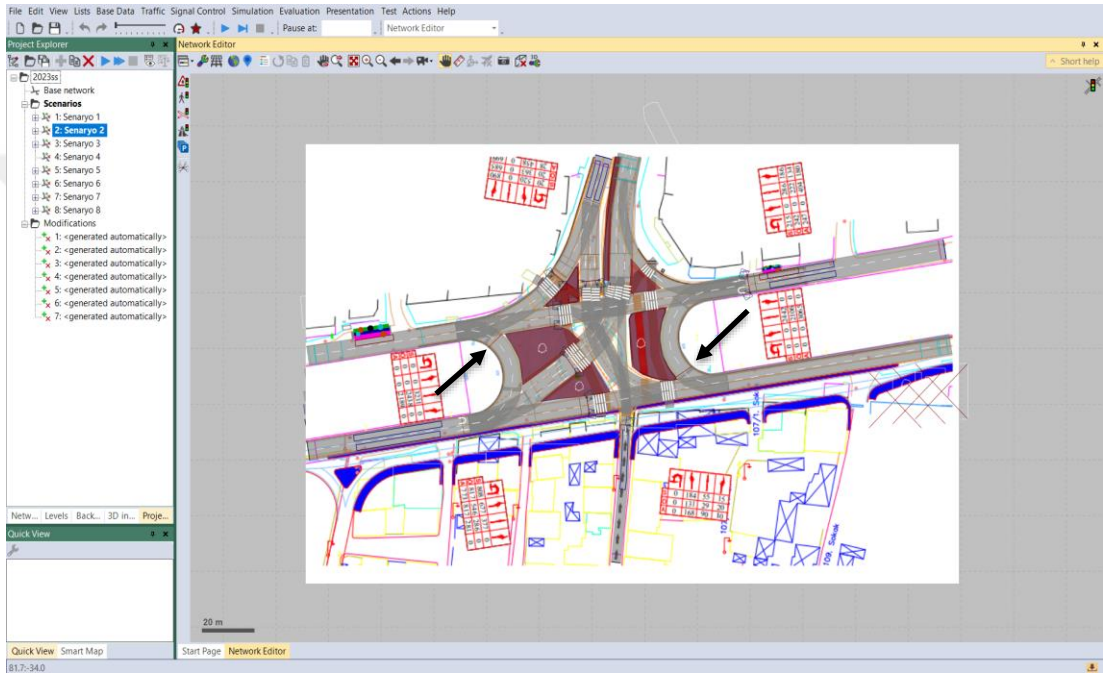
Mevcut durumda devre süresi 60 s olduğundan, Şekil 63'te mevcut durumdaki devre süresine yer verilmiştir. Şekil 63'te bulunan mevcut durumdaki devre süresinde beş farklı sinyal grubu görülmektedir. Bu sinyal grupları, trafik ışıklarıyla eşleştirilmiştir. Eşleştirilme, kavşak kollarındaki geçiş sıralamasına (faz diyagramına) göre yapılmıştır.



Şekil 63. Mevcut Durumdaki Devre Süresi

4.4.2. Senaryo 2

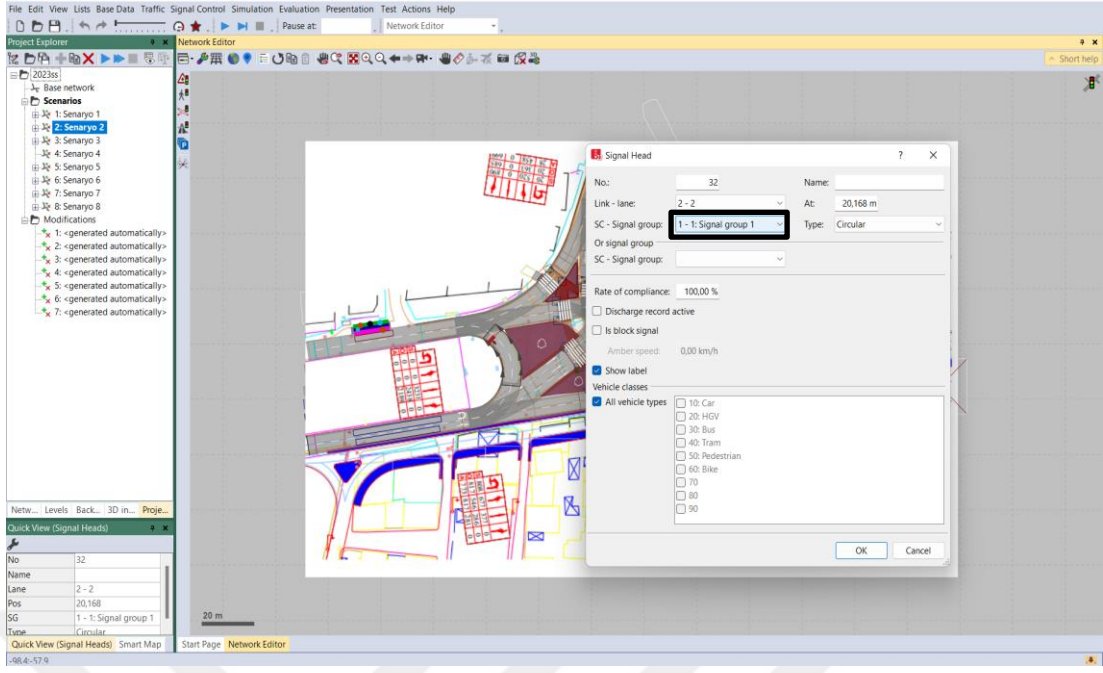
İkinci senaryoda, kavşakta bulunan U dönüşlerine trafik ışıkları eklenmiştir. Trafik ışıklarının eklenmesinin ardından, devre süresindeki sinyal grubuyla eşleştirilmiştir. Bu eşleştirme “Signal Head” sekmesi ile yapılmaktadır. Bu senaryoda; kavşak kollarından gelen araçlarla, U dönüşü yapan araçların oluşturduğu yoğunluğun önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Şekil 64’te U dönüşüne konumlandırılan trafik ışıklarına yer verilmiştir.



Şekil 64. Trafik Işıklarının Eklenmesi

Mevcut durumdaki devre süresi, ikinci senaryoda da kullanılmaya devam edilmiştir.

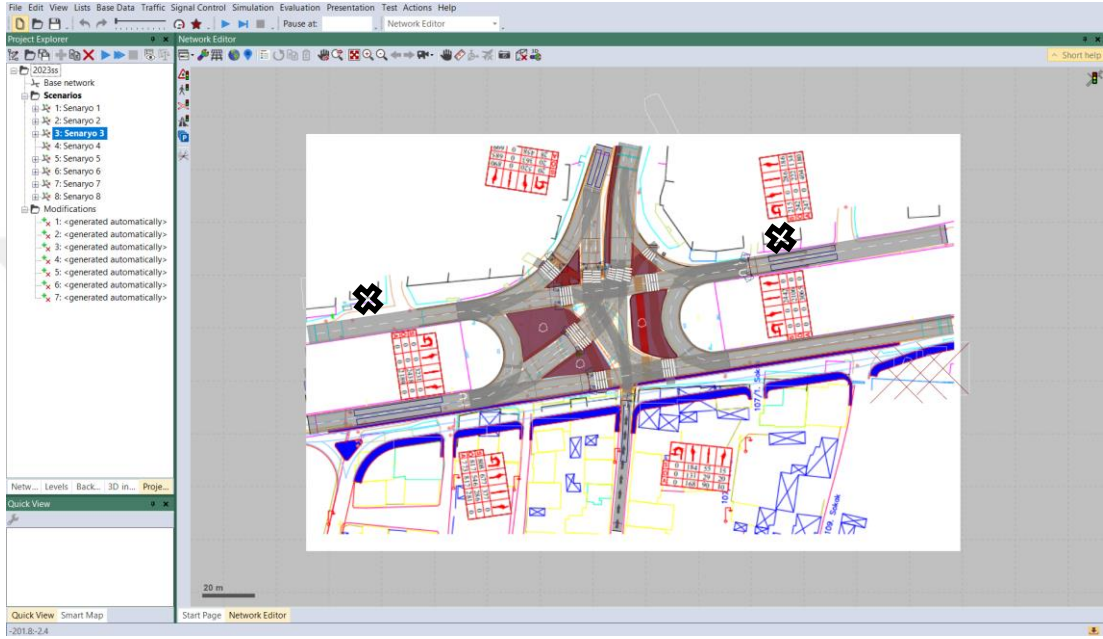
Şekil 65’te trafik ışığının sinyal grubuyla eşleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 65. Trafik Işığının Sinyal Grubuyla Eşleştirilmesi

4.4.3. Senaryo 3

Üçüncü senaryoda, daha önce Şekil 55'te durak tanımlamasında gösterilen duraklar kaldırılmıştır. Otobüs ve minibüs güzergahlarının değiştirilmesi, otobüs ve minibüslerin kavşakta dur kalk yapmaması çözüm olarak düşünülmüştür. Şekil 66'da kaldırılan duraklar gösterilmiştir.

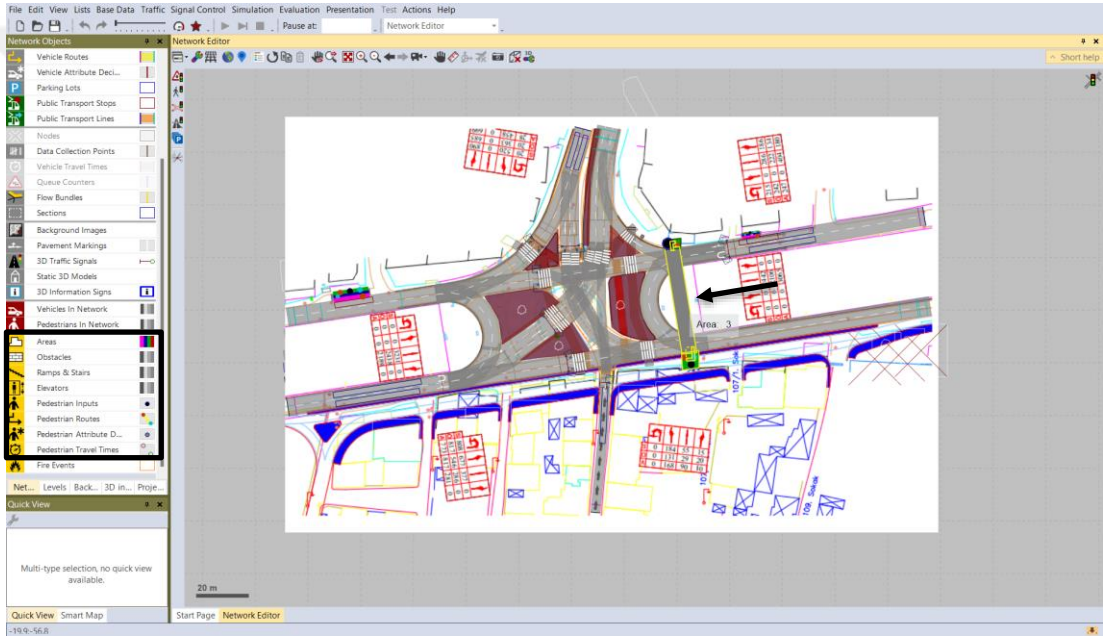


Şekil 66. Senaryo 3 - Durakların Kaldırılması

Mevcut durumdaki devre süresi, üçüncü senaryoda da kullanılmaya devam edilmiştir.

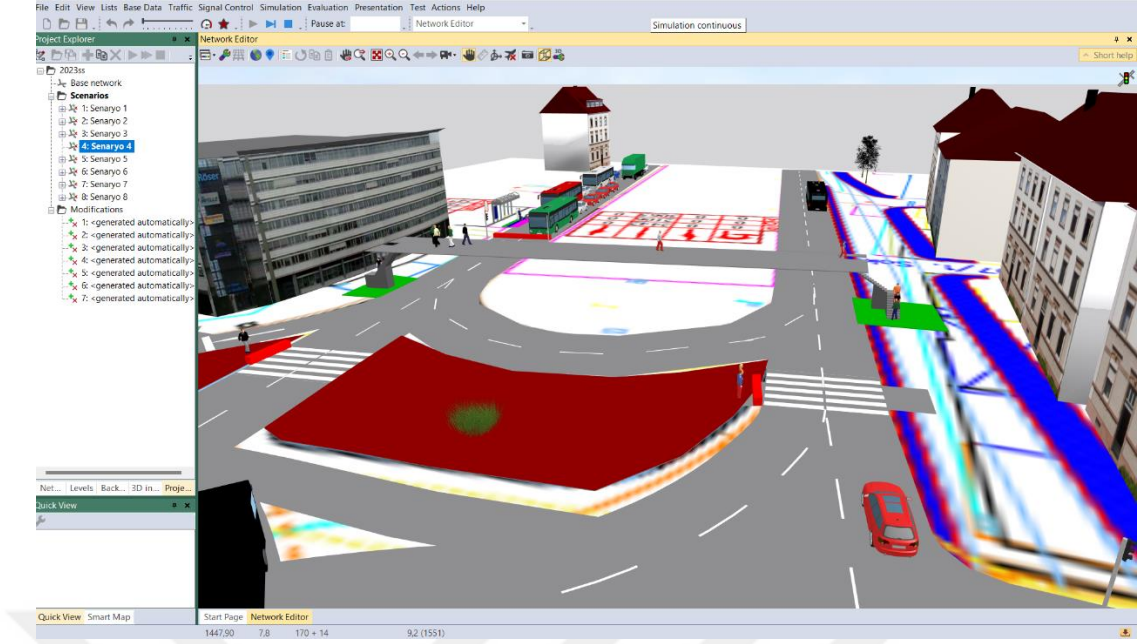
4.4.4. Senaryo 4

Gürsu kavşağı yoğun olarak yaya trafiğine sahip olduğundan, alan ayrılması durumunda üst geçit yapılabilmesi fikri ile dördüncü senaryoda oluşturulmuştur. Mevcut durumdaki devre süresi, dördüncü senaryoda da kullanılmaya devam edilmiştir. Yaya için üst geçidin oluşturulması için, “Areas” ve “Ramps & Stairs” sekmeleri kullanılmıştır. Bu sekmelerle üç farklı alan oluşturulup, iniş çıkış merdivenleri konumlandırılmıştır. Daha sonra ise, “Pedestrian Inputs” ve “Pedestrian Routes” sekmeleri seçilmiştir. Yaya ataması yapılmış ve yaya rotası belirlenmiştir. Şekil 67’de üst geçit için kullanılan sekmelere ve ok ile gösterilen üst geçide yer verilmiştir.



Şekil 67. Senaryo 4 - Yaya Üst Geçidi

Şekil 68’de ise, üst geçidin 3D görünümü mevcuttur.



Şekil 68. Yaya Üst Geçidi 3D Görünümü

4.4.5. Senaryo 5

Beşinci senaryo kapsamında kavşak kollarına göre düzeltilmiş akım, düzeltilmiş doygun akım, akım oranları, kapasite ve gecikme değerleri, Bölüm 3.3'te verilen hesaplama yöntemlerinden olan Webster yöntemiyle hesaplanmıştır. Hesaplamalar Excel üzerinden yapılmıştır. Webster yöntemi uygulanarak bulunan devre süresinin sonuçlarına Tablo 4'te yer verilmiştir. Bulunan yeni devre süresi beşinci senaryo ile birlikte, altıncı, yedinci ve sekizinci senaryolarda da kullanılmıştır.

Tablo 4. Hesaplanan Faz Değerleri

1.KOL	Taşıt Sayısı	Akım Oranı
Bursa-Gürsu (düz)	712	0,2416
Bursa-Ankara (sağ)	496	0,2416
Bursa U Dönüşü (u)	956	0,170714
2.KOL	Taşıt Sayısı	Akım Oranı
Gürsu-Bursa (sağ)	284	0,1768
Gürsu-Ankara (sol)	600	0,1244
Gürsu U Dönüşü (u)	22	0,0088
3.KOL	Taşıt Sayısı	Akım Oranı
Ankara-Gürsu (sağ)	84	0,0912
Ankara-Bursa (düz)	372	0,0912
Ankara U Dönüşü (u)	212	0,037857
4.KOL	Taşıt Sayısı	Akım Oranı
C107-Gürsu (düz)	80	0,296
C107-Bursa (sol)	269	0,296
C107-Ankara (sağ)	21	0,296

3,5 m olan şerit genişliğinde doygun akım değeri için S değeri Bölüm 3.3.1'de yer alan Tablo 1'e göre 1890 olarak alınmıştır. Bunun sonucunda Bölüm 3.3.1'de anlatılan gerekli katsayılarla çarpılarak hesaplanan düzeltilmiş doygun akım değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Düzeltilmiş Doygun Akım Değerleri

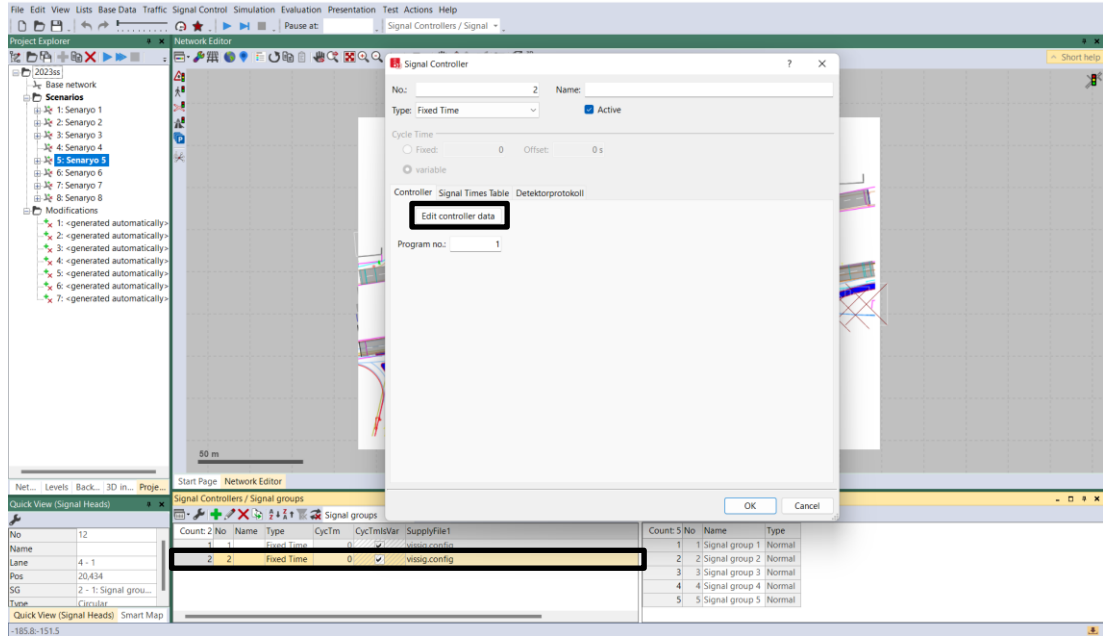
Yön	Düzeltilmiş Doygun Akım Değerleri
S _{doğru}	2500
S _{dönen}	2800
S _{karma}	2500

Düzeltilmiş doygun akım değerleri bulunduğundan sonra, Bölüm 3.3.1’de bahsedilen Formül 7 kullanılarak yeşil süreler elde edilmiştir. Devre süresinin (D) 108 s olarak bulunmasıyla birlikte faz sıralamasına uygun yeşil süreler Tablo 6’da yer almaktadır. Devre süresinin 60 s ile 120 s arasında bir değer olan 108 s bulunması ile, kabul edilebilir bir sonuç olduğu kanaatine varılmıştır.

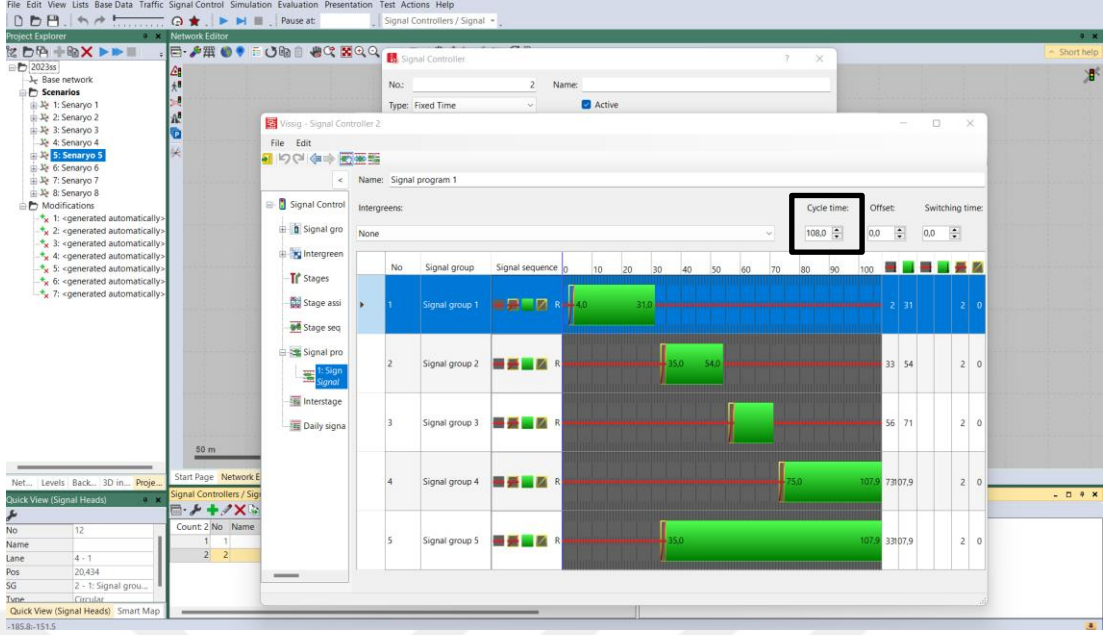
Tablo 6. Hesaplanan Yeşil Işık süreleri

D	108
Yeşil Süre F1	29
Yeşil Süre F2	21
Yeşil Süre F3	15
Yeşil Süre F4	35

Webster yöntemine göre bulunan yeni devre süresi ataması “Signal Control” sekmesi ile yapılmıştır. Tanımlama yapıldıktan sonra, “Edit Controller Data” tıklanarak bulunan yeşil süreler girilmiştir. Şekil 69’da yeni devre süresinin tanımlanmasına yer verilirken, Şekil 70’te Webster yöntemiyle bulunan yeşil süreler gösterilmiştir.



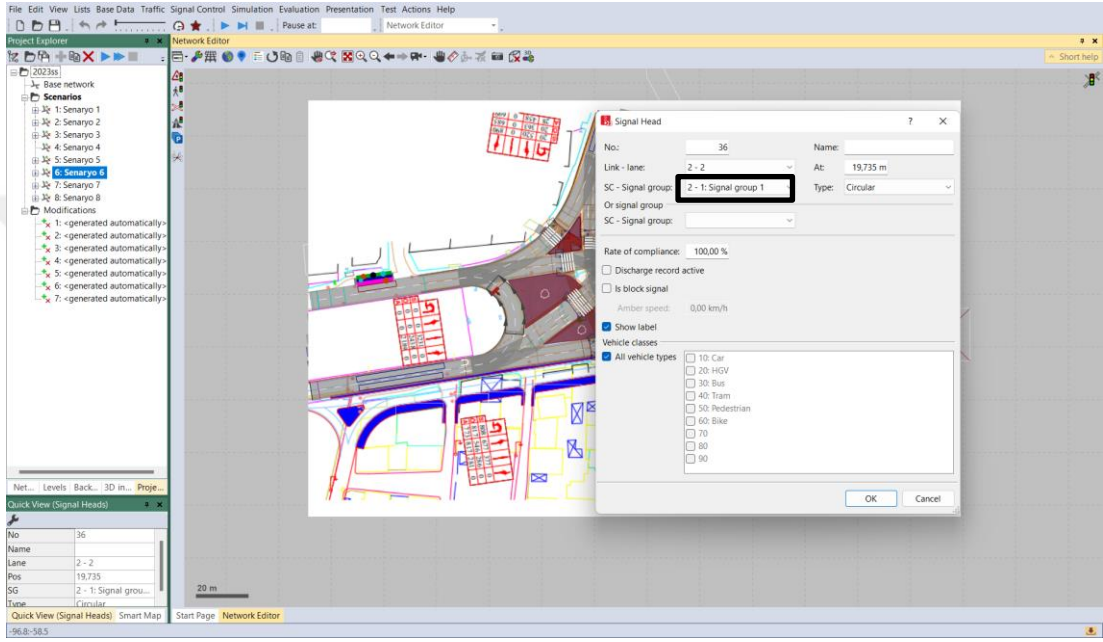
Şekil 69. Yeni Devre Süresinin Tanımlanması



Şekil 70. Webster Yöntemiyle Bulunan Yeşil Süreler

4.4.6. Senaryo 6

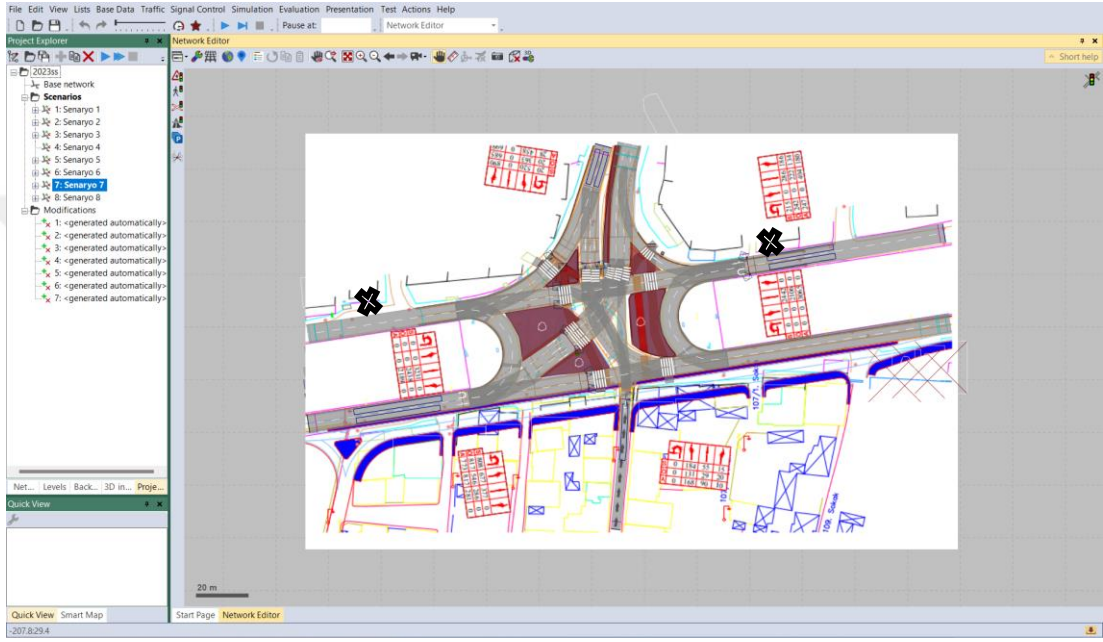
Altıncı senaryoda, ikinci senaryoda olduğu gibi kavşakta bulunan U dönüşlerine trafik ışığı eklenmiştir. Buradaki temel fark, altıncı senaryoda Webster yöntemiyle bulunan yeni devre süresinin kullanılmasıdır. Eklenen trafik ışıkları, hesaplanan yeni devre süresindeki sinyal grubuyla eşleştirilmiştir. Şekil 71’de trafik ışığının yeni devre süresinin sinyal grubuyla eşleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 71. Trafik Işığının Yeni Sinyal Grubuyla Eşleştirilmesi

4.4.7. Senaryo 7

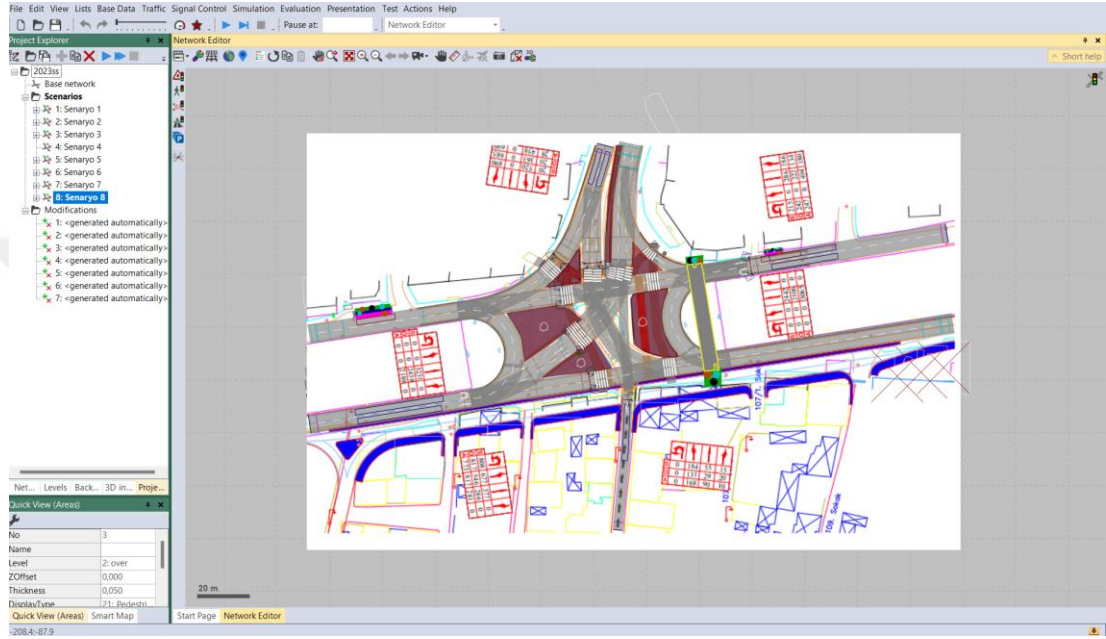
Yedinci senaryoda, üçüncü senaryoda olduğu gibi duraklar kaldırılmıştır. Otobüs ve minibüs güzergahlarının değiştirilmesi ile otobüs ve minibüslerin kavşakta dur kalk yapmaması çözüm olarak düşünülmüştür. Buradaki temel fark, Webster yöntemiyle hesaplanan devre süresinin kullanılacak olmasıdır. Oluşturulan yedinci senaryoya ait görsel Şekil 72’de verilmiştir.



Şekil 72. Senaryo 7 - Durakların Kaldırılması

4.4.8. Senaryo 8

Yoğun yaya trafiğine sahip olan Gürsu kavşağında yaya üst geçit yapılabilmesi fikrine dördüncü senaryoda yer verilmişti. Sekizinci senaryoda aynı durum, Webster yöntemiyle hesaplanan devre süresine göre ele alınmıştır. Oluşturulan sekizinci senaryoya, Şekil 73'te yer verilmiştir.



Şekil 73. Senaryo 8 - Yaya Üst Geçidi

4.5.GEH Analizi Sonuçları

VISSIM programına tanımlanan Formül 9'da yer alan GEH formülünün sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Tablonun solunda yer alan numaralar, Bölüm 4.1, Şekil 44'te yer alan vaziyet planında gösterilen kavşakta bulunan ana kolları göstermektedir. Daha önce Şekil 57'de gerekli tanımlamanın nasıl yapılacağı gösterilmiştir. Her senaryo için ayrı ayrı olacak şekilde GEH analizi sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 7. GEH Analizi Değerleri

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8
1	0,08	0,60	0,46	0,46	1,08	1,11	0,77	0,77
2	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
3	0,21	0,32	0,28	0,28	0,34	0,34	0,32	0,32
4	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33

Elde edilen değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Bölüm 3.4'te bahsedildiği üzere GEH değeri 5'ten küçükse, modelleme ile elde edilen verilerin gözlemlenen değerler ile uyumlu olduğu ve kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Buna göre Tablo 7'deki veriler incelendiğinde tüm senaryoda elde edilen sonuçların kullanılabileceği görülmektedir.

4.6.VISSIM Programı Sonuçları

Oluşturulan sekiz farklı senaryodan elde edilen sonuçlar, VISSIM programından alınmıştır. Program otuz kere çalıştırılarak elde edilen ortalama değerlerin gerçeğe en yakın sonucu vermesi amaçlanmıştır. Ortalama değerlere ait oluşturulan tablolarda gösterilen kırmızı çizgi, senaryo 1'e göre azalan değerleri göstermektedir.

4.6.1. Taşıt Gecikme Değerleri

İlk olarak, Tablo 8'de taşıt gecikme değerleri (s) verilmiştir. Tablonun solunda belirtilen 12 değer, Bölüm 4.3, Şekil 53'te anlatıldığı gibi 12 farklı yere konumlandırılan gecikme ölçüm sayaçlarını göstermektedir. Elde edilen taşıt gecikme değerlerine göre senaryolar karşılaştırılmıştır.

Tablo 8. Taşıt Gecikme Değerleri (s)

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8
1	35,86	49,37	30,51	27,59	52,86	63,20	50,66	46,13
2	23,64	99,48	21,38	23,01	24,68	112,25	22,54	24,16
3	40,36	58,88	37,30	40,77	51,96	71,17	56,06	52,36
4	18,21	9,48	11,35	20,41	17,53	12,60	21,70	21,96
5	13,20	12,32	10,84	13,00	16,35	15,30	15,36	14,49
6	6,29	27,31	4,87	5,34	5,21	51,42	5,37	6,42
7	14,53	14,61	10,47	10,42	12,53	9,71	13,55	10,56
8	2,32	2,52	2,05	2,18	3,64	1,17	2,65	1,46
9	12,36	6,25	12,00	9,60	9,62	5,93	10,76	9,79
10	40,49	53,19	33,35	30,58	43,78	36,64	55,14	35,43
11	49,48	49,27	41,82	48,53	58,56	55,63	56,25	59,54
12	31,83	37,64	27,66	28,56	35,41	36,17	44,44	31,55

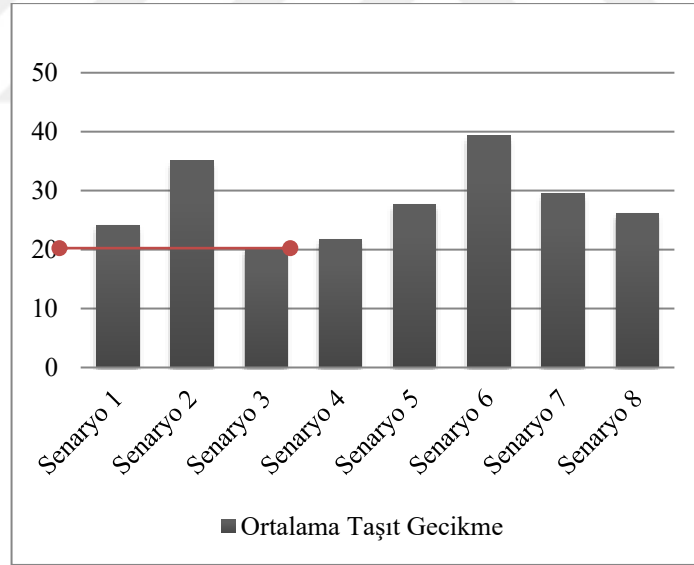
Senaryo 3 mevcut duruma ve diğer senaryolara göre azalarak ideal gecikme değerlerini vermiştir. Senaryo 3'te düşünülen durakların kaldırılmasıyla, taşıt gecikme değerleri %18 azalmıştır. Taşıt gecikme değerlerindeki en çok azalma, 4 ve 11 olarak numaralandırılan yollarda görülmektedir. Bu yollar, daha önce Şekil 53'te belirtilen Ankara-Bursa ve Gürsu-Bursa istikametinde bulunmaktadır.

Senaryo 3'e en yakın taşıt gecikme değerleri yaya üst geçidi planlanan senaryo 4'te görülürken, yeni devre süresinde U dönüşlerine trafik ışığı planlanan senaryo 6 en fazla taşıt gecikme değerlerine sahiptir. Webster yöntemine göre elde edilen ve mevcut duruma göre uzun olan devre süresi, taşıt gecikme değerlerini arttırmıştır. Bununla birlikte senaryo 6'da U dönüşlerine konumlandırılan trafik ışıkları, yoğunluk meydana getirmiştir. 2 ve 6 numaralı yollar, Bursa ve Ankara U dönüşünü göstermektedir. Senaryo 1'de verilen mevcut duruma göre bu yollarda, taşıt gecikme değerlerinde fazlasıyla artış olduğu görülmektedir.

Bu tabloya ek olarak, taşıt gecikme değerlerinin grafikte gösteriminin kolaylaşması amacıyla 12 güzergahta bulunan sayaçlara ait ortalama (μ) taşıt gecikme değerleri bulunmuştur. Bu değerler Tablo 9'da yer almaktadır. Grafik gösterimi ise, Şekil 74'te bulunmaktadır.

Tablo 9. Ortalama Taşıt Gecikme Değerleri (s)

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8
μ	24,05	35,03	20,31	21,67	27,68	39,27	29,54	26,15



Şekil 74. Ortalama Taşıt Gecikme Değerleri

4.6.2. Duraklama Gecikme Değerleri

Tablo 10’da güzergahlara ait duraklama gecikme değerleri (s) verilmiştir.

Tablo 10. Duraklama Gecikme Değerleri (s)

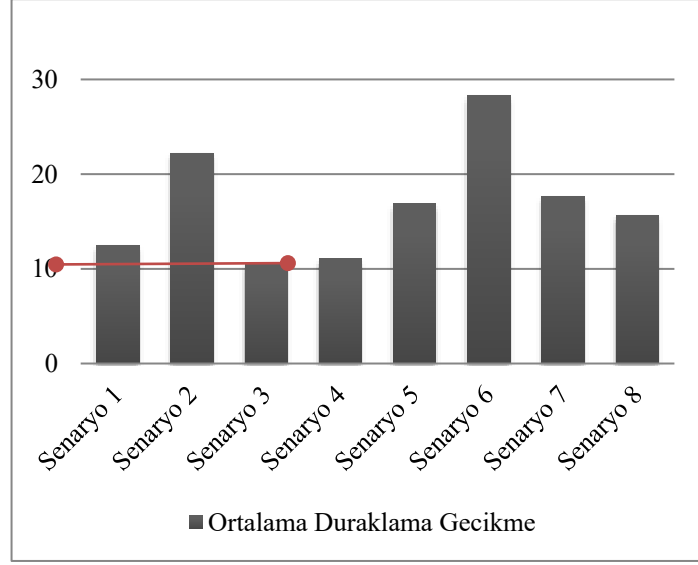
	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8
1	22,13	32,32	20,63	16,25	39,55	49,20	37,77	34,72
2	5,90	70,45	5,36	5,79	7,36	83,57	6,56	7,13
3	23,57	39,21	21,63	23,95	36,04	54,69	40,20	36,92
4	3,40	1,35	2,61	4,33	3,09	3,698	5,08	6,36
5	0,88	0,64	0,68	0,65	1,67	2,08	1,50	1,14
6	0,48	14,27	0,11	0,30	0,35	41,66	0,56	1,10
7	9,17	9,12	5,39	6,59	8,38	6,62	8,59	7,24
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2,03	0,63	1,87	0,96	1,31	1,45	1,16	1,48
10	27,51	34,71	21,30	22,61	34,68	28,62	38,77	29,03
11	30,89	32,32	27,43	30,28	40,75	39,94	39,28	41,48
12	23,35	30,95	20,23	20,77	29,13	28,40	32,01	20,85

Duraklama gecikme değerlerinin karşılaştırılmasıyla azalan değerlerin mevcut devre süresinde durakların kaldırılması planlanan senaryo 3 ve mevcut devre süresinde yaya üst geçidi planlanan senaryo 4’te bulunduğu görülmüştür. Durakların kaldırılmasıyla %17 veya yaya üst geçidi planlamasıyla %13 duraklama gecikme değerleri azalmıştır. Bu verilere ek olarak en kötü değerlerin ise, yeni devre süresinde U dönüşlerine trafik ışığı planlanan senaryo 6’da olduğu anlaşılmaktadır. Mevcut devre süresinin uzaması ve U dönüşlerine konulan trafik ışığı, taşıt gecikme değerlerini arttırdığı gibi duraklama gecikme değerlerini de arttırmıştır.

Bu tabloya ek olarak, duraklama gecikme değerlerinin grafikte gösteriminin kolaylaşması amacıyla 12 güzergahta bulunan sayaçlara ait ortalama (μ) duraklama gecikme değerleri bulunmuştur. Bu değerler Tablo 11’de yer almaktadır. Grafik gösterimi ise, Şekil 75’te bulunmaktadır.

Tablo 11. Ortalama Duraklama Gecikme Değerleri (s)

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8
μ	12,44	22,16	10,60	11,04	16,85	28,32	17,62	15,62



Şekil 75. Ortalama Duraklama Gecikme Değerleri

4.6.3. Kuyruk Uzunlukları

Elde edilen taşıt gecikmesi ve duraklama gecikmesi sonuçlarının karşılaştırılmasının ardından, Tablo 12’de kuyruk uzunluğu sonuçları (m) sunulmuştur.

Tablo 12. Kuyruk Uzunlukları (m)

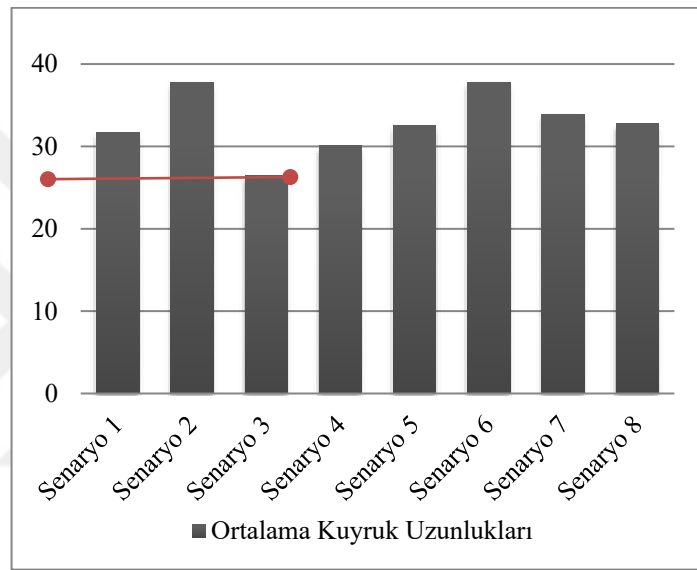
	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8
1	57,24	97,82	40,21	49,39	61,72	93	74,27	56,41
2	67,58	87,74	56,24	67,07	75,17	99,41	77,12	88,23
3	57,53	68,16	49,11	56,2	54,98	59,19	63,13	62,56
4	52,28	55,35	42,71	45,06	54,88	59,56	54,02	43,84
5	90,98	90,97	77,09	90,41	91,93	91,38	87,06	90,99
6	54,48	53,48	52,52	52,62	51,65	50,63	50,89	50,78

Sunulan kuyruk uzunlukları Bölüm 4.3, Şekil 54’te verilen altı yola aittir. Tablo 12’de verilen kuyruk uzunluklarının karşılaştırılmasıyla mevcut devre süresinde durakların kaldırılması planlanan senaryo 3 ve mevcut devre süresinde yaya üst geçidi planlanan senaryo 4’ün, senaryo 1’de verilen mevcut duruma göre tüm güzergahlarda azalma gösterdiği görülmüştür. Devre süresinin uzadığı 5, 6, 7 ve 8. senaryolarda kuyruk uzunlukları da artmıştır.

Bu tabloya ek olarak, kuyruk uzunluklarının grafikte gösteriminin kolaylaşması amacıyla altı kuyruğa ait ortalama (μ) kuyruk uzunlukları (m) bulunmuştur. Bu değerler Tablo 13'te yer almaktadır. Grafik gösterimi ise, Şekil 76'da bulunmaktadır.

Tablo 13. Ortalama Kuyruk Uzunlukları (m)

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8
μ	31,67	37,79	26,49	30,06	32,52	37,76	33,87	32,73



Şekil 76. Ortalama Kuyruk Uzunlukları

4.6.4. Taşıtların Yolculuk Süreleri

Tablo 14'te taşıtların yolculuk süreleri (s) verilmiştir.

Tablo 14. Taşıtların Yolculuk Süresi (s)

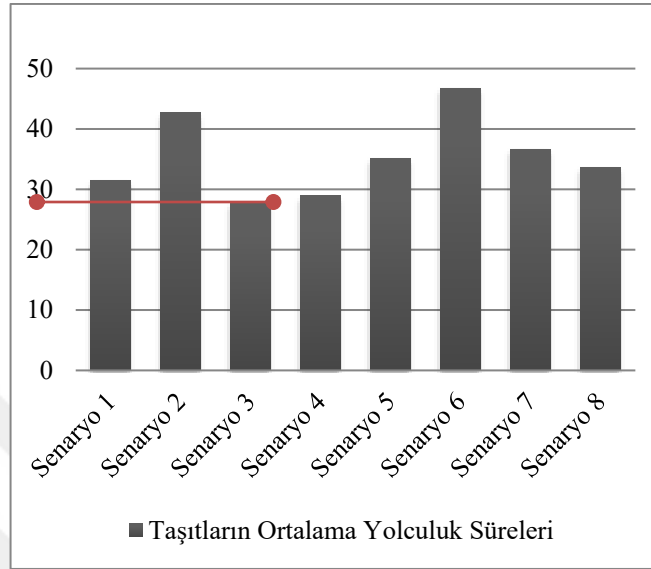
	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8
1	44,98	58,38	35,09	36,61	62,14	71,96	59,10	55,06
2	29,37	105,17	27,61	28,86	30,42	117,98	27,83	29,97
3	51,61	70,18	47,82	51,92	63,23	82,22	66,65	63,78
4	29,07	20,49	24,36	28,12	28,58	23,68	31,77	32,99
5	19,22	18,46	19,17	19,07	22,45	21,42	21,55	20,58
6	13,26	34,19	11,51	12,47	12,08	58,36	12,09	13,36
7	21,24	21,29	16,82	17,08	19,14	16,30	19,87	17,19
8	6,97	7,18	6,43	6,86	8,26	5,61	6,92	5,88
9	20,69	14,68	18,31	18,11	18,11	14,31	18,99	18,20
10	49,39	62,13	42,54	39,65	52,72	45,72	63,50	44,23
11	54,69	54,38	50,75	53,69	63,77	60,82	61,20	64,67
12	37,30	45,24	33,13	34,33	40,65	41,61	49,59	38,41

Bu süre güzergahtaki durmaya ve araç yoğunluğundan kaynaklanan kuyruğa bağlıdır. Sayaçlarla numaralandırılan yollar, daha önce Bölüm 4.3, Şekil 50'de verilmiştir. Tablo 14'te görülen değerler, mevcut yolculuk süresine göre azalarak, mevcut devre süresinde durakların kaldırılması planlanan senaryo 3 ve mevcut devre süresinde yaya üst geçidi planlanan senaryo 4'ten elde edilmiştir. Senaryo 3'te %13 azalma görülürken, senaryo 4'te %10 azalma görülmüştür. Mevcut devre süresinde U dönüşlerine trafik ışığı planlanan senaryo 2 ve yeni devre süresinde U dönüşlerine trafik ışığı planlanan senaryo 6'da U dönüşüne bağlı güzergahlarda taşıtların yolculuk süresi artarken diğer güzergahlarda fazla değişiklik olmamıştır. Senaryo 5, 6, 7 ve 8'de ise devre süresi arttığından taşıtların yolculuk süresi artmıştır.

Bu tabloya ek olarak, taşıtların yolculuk sürelerinin grafikte gösteriminin kolaylaşması amacıyla 12 güzergaha ait taşıtların ortalama (μ) yolculuk süreleri bulunmuştur. Bu değerler Tablo 15'te yer almaktadır. Grafik gösterimi ise, Şekil 77'de bulunmaktadır.

Tablo 15. Taşıtların Ortalama Yolculuk Süreleri (s)

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8
μ	31,48	42,64	27,79	28,89	35,12	46,66	36,58	33,69



Şekil 77. Taşıtların Ortalama Yolculuk Süreleri

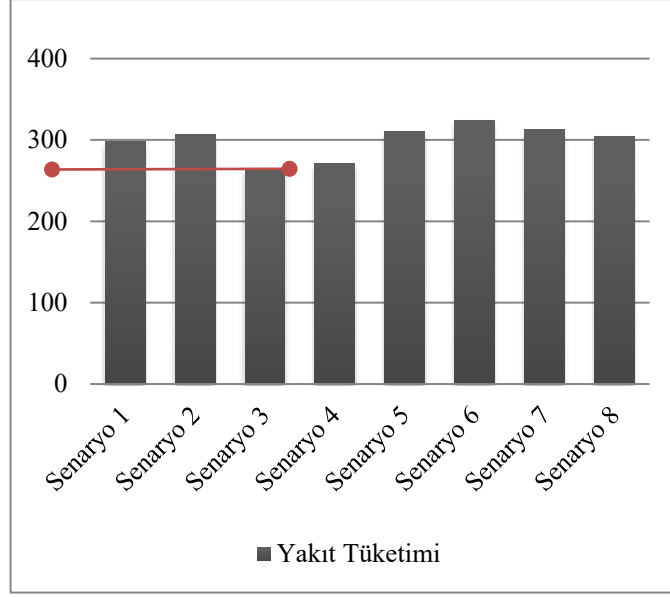
4.6.5. Toplam Yakıt Tüketimi

Tablo 16’da, programdan alınan toplam (Σ) yakıt tüketim değerleri (l) verilmiştir.

Tablo 16. Toplam Yakıt Tüketimi Değerleri (l)

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8
Σ	298,31	306,92	264,71	270,92	310,78	323,80	312,27	304,75

Şekil 78’de ise toplam yakıt tüketim değerlerinin grafik gösterimi bulunmaktadır. Verilere göre, mevcut devre süresinde durakların kaldırılması planlanan senaryo 3 ve mevcut devre süresinde yaya üst geçidi planlanan senaryo 4’te toplam yakıt tüketiminde azalma gözlenmiştir. Senaryo 3’te %12 iyileşme görülürken, senaryo 4’te %10 iyileşme görülmektedir. Yeni devre süresinde U dönüşlerine trafik ışığı planlanan senaryo 6 ise, en yüksek yakıt tüketim değerine sahiptir.



Şekil 78. Toplam Yakıt Tüketimi Değerleri

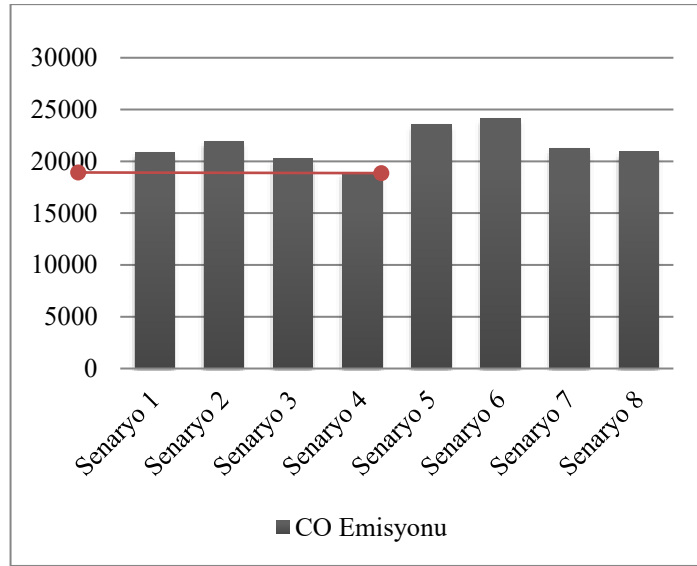
4.6.6. CO-NO_x-VOC Emisyonu

Tablo 17’de CO, NO_x ve VOC emisyonu (g) değerleri verilmiştir. Tablonun solunda bulunan numaralardan, 1 numara; toplam CO emisyonunu, 2 numara; toplam NO_x emisyonunu ve 3 numara; toplam VOC emisyonunu göstermektedir.

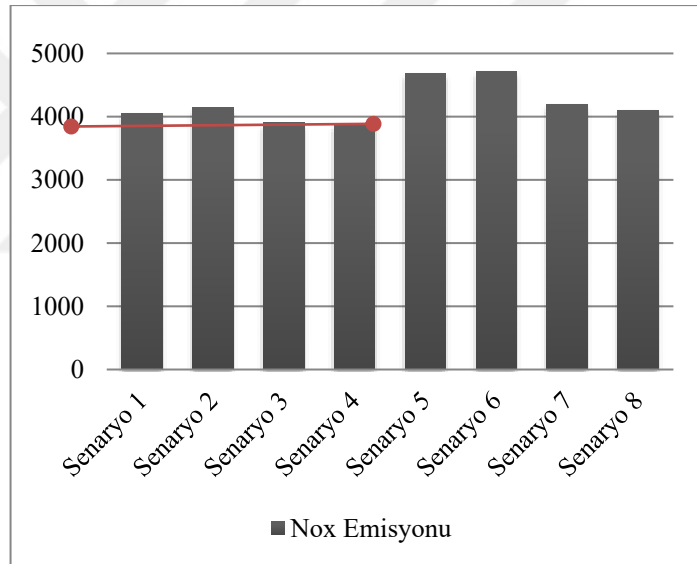
Tablo 17. CO-NO_x-VOC Emisyonu (g)

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	Senaryo 7	Senaryo 8
1	20830,2	21955,3	20273,1	18937,7	23568,6	24141,9	21220,8	20907,1
2	4052,80	4138,22	3900,51	3884,60	4683,87	4715,74	4198,90	4104,60
3	4827,60	5010,24	4613,17	4389,01	5187,11	5279,63	5092,81	5026,95

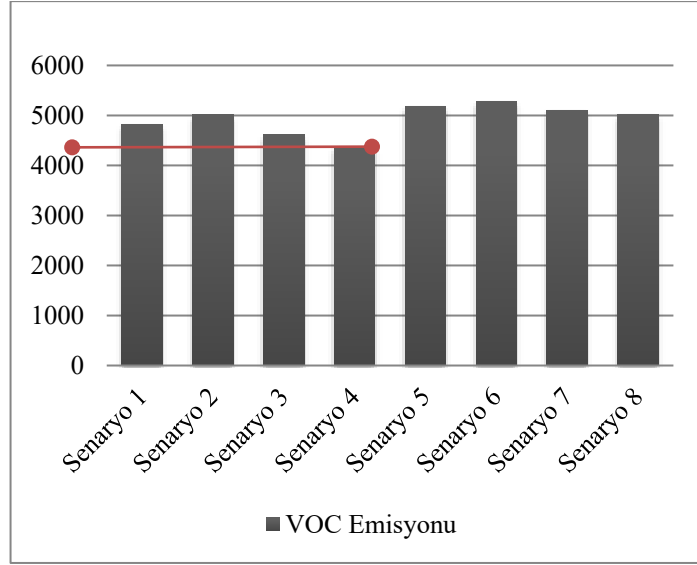
Şekil 79’da ise CO, Şekil 80’de NO_x ve Şekil 81’de VOC emisyonu değerlerinin grafik gösterimi mevcuttur. Programdan alınan sonuçlara göre mevcut devre süresinde durakların kaldırılması planlanan senaryo 3 ve mevcut devre süresinde yaya üst geçidi planlanan senaryo 4’te CO, NO_x ve VOC emisyon değerlerinde azalma gözlenmiştir. Bu değerlere en yakın değerler yeni devre süresinde yaya üst geçidi planlanan senaryo 8’de gözlenirken, en kötü değerler yeni devre süresinde U dönüşlerine trafik ışığı planlanan senaryo 6’da bulunmaktadır.



Şekil 79. CO Emisyonu (g)



Şekil 80. No_x Emisyonu (g)



Şekil 81.VOC Emisyonu (g)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ulaşım sorunlarında, kavşaklar önemli bir yer tutmaktadır. Kavşaklardaki yoğunluk sonucunda, uzun kuyruklar oluşmakta ve trafik kazaları meydana gelmektedir. Oluşan uzun kuyruklar, seyahat süresini uzatmakla birlikte yakıt tüketimini de arttırmaktadır. Bu nedenle, kavşakların iyi analiz edilerek projelendirilmesi ve mevcutta bulunan sorunlara çözüm niteliğinde olması gerekmektedir.

Tez çalışması kapsamında trafik yoğunluğunun fazla olduğu Bursa ilinde bulunan Gürsu kavşağı ele alınmıştır. Çözüm üretebilmek amacıyla mikro ölçekli simülasyon uygulaması kullanılmıştır. Simülasyondan elde edilen sonuçlara göre çeşitli öneriler ortaya konmuştur.

Tez çalışmasında ilk olarak, mevcut duruma yer verilmiştir. Mevcut durumdaki, maksimum taşıtın geçtiği zirve saat değerleri dikkate alınmıştır. Ayrıca modelleme sırasında kavşakta halihazırda bulunan yaya geçitlerine, toplu taşıma güzergahlarına ve duraklara da yer verilmiştir.

Kavşağı analiz edebilmek amacıyla mevcut durumla birlikte sekiz farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryolar oluşturulurken mevcut durum senaryo 1 olarak adlandırılırken, kavşakta bulunan U dönüşlerine trafik ışığı konulması senaryo 2, durakların kaldırılması senaryo 3, yayalar için üst geçidi konumlandırılması senaryo 4 olarak adlandırılarak mevcut kavşak kullanımı için üç farklı öneri sunulmuştur. Dört senaryoda da trafik ışıkları için devre süreleri, halihazırda kavşakta kullanılmakta olan değer olarak alınmıştır.

Oluşturulan dört senaryoya ek olarak, kavşak analiz edilerek trafik ışıkları devre süresi Webster yöntemiyle yeniden hesaplanmıştır. Hesaplanan yeni devre süresi, mevcuttaki devre süresine kıyasla daha uzundur. İlk dört senaryodaki mevcut devre süresi yeni hesaplanan devre süresiyle değiştirilerek, aynı senaryolar yeniden modellenmiştir.

Senaryoların modellenmelerinin ardından, VISSIM programıyla analiz edilerek kavşakla ilgili değerlendirmelerde kullanılmak üzere sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuçlar taşıt gecikme değerleri, duraklama gecikme değerleri, kuyruk uzunlukları, taşıtların seyahat süreleri, toplam yakıt tüketimi ile CO, NO_x ve VOC emisyonu değerleri olmak üzere altı farklı başlıkta incelenmiştir.

İncelenen sonuçlara göre;

Mevcut durumdaki devre süresinin kullanıldığı ve toplu taşıma duraklarının kaldırılmasının planlandığı senaryo 3 ve yaya üst geçidi yapılmasının planlandığı senaryo 4'te tüm sonuçlarda, mevcut durumun modellendiği senaryo 1'e kıyasla iyileşme olduğu görülmüştür.

Senaryo 2’de U dönüşlerine konumlandırılan trafik ışığı, beklemeye neden olması sebebiyle U dönüşü yapılan ana kolda yoğunluk oluşturmuştur.

Webster yöntemiyle bulunan yeni devre sürelerinin kullanıldığı senaryo 5, 6, 7 ve 8’de ise, mevcut duruma kıyasla iyileşme görülmemiştir. Devre süresinin uzamasıyla yeşil ışık süreleri gibi kırmızı ışık süreleri de artmıştır. Bu sebeple; kuyruk uzunlukları, seyahat süreleri ve diğer analiz sonucu değerleri artış göstermiştir. Yeni devre süresinin kullanıldığı senaryolar kendi içlerinde kıyaslanırsa, durakların kaldırıldığı senaryo 7 ve yaya üst geçidi planlanan senaryo 8, senaryo 5 ve 6’ya göre daha iyi sonuç vermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, mevcut durumda uzun devre süresinin kullanıldığı kavşaklarda devre süresini azaltmak amacıyla Webster yöntemi kullanılarak hesaplanmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Senaryo sonuçlarının elde edilmesinin ardından, tüm senaryolara GEH analizi uygulanmıştır. Bütün senaryolarda GEH değerleri 5’ten küçük elde edilmiştir. Böylece programda hazırlanan modellerin mevcut durumla uyumlu oldukları ve değerlerin kullanılabilceği sonucu ortaya çıkmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre Bursa ili Gürsu Kavşağındaki trafik yoğunluğunun azaltılabilmesi için, kavşağı kullanan toplu taşıma araçlarının güzergahlarının değiştirilmesi veya toplu taşıma araçlarının kavşağa girişlerinin engellenememesi durumunda kavşak içinde duraklara yer verilmemesinin uygun olduğu görülmektedir. Kavşak alanı içinde yer ayrılabilmesi durumunda yayaların kullanımı için yaya üst geçidi planlanması da olumlu bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Çakır, A., Çalış, H., Dandıl, E. (2019), “A New Dynamic Traffic Signalization and Vehicle Speed Measurement System Using PLCs” Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13-1 ,101-107.
- [2] Özge, V. (2010), “Kavşak İyileştirme Seçeneklerinin Simülasyon Tekniğiyle Değerlendirilmesi: İstanbul Cendere Yolu Örneği” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Simitciu, R. (2015), “Türkiye’deki Dönel Kavşakların Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- [4] Utku, S. (2016), “Yuvarlakada Kavşaklarda Dönüş Alanındaki Gecikmelere Göre Kapasite Değişimlerinin Modellenmesi” Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [5] Çakıcı, Z., Murat, Y. (2016), “Sinyalize Dönel Kavşaklar İçin Hesap Yöntemi Önerisi Ve Performans Analizi” İMO Teknik Dergi, 7569-7592, Yazı 46.
- [6] Gökçek, U. (2018), “Trafik Akım Hızının Modellenmesi: İstanbul Barbaros Bulvarı Örneği” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Bayata, H., Bayrak, O. (2018), “Yeni Yapılması Planlanan Bir Kavşağın Mikro-Simülasyon ile Değerlendirilmesi” Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3), 550-559.
- [8] Savaş, K. (2019), “Kavşaklarda Yaya Simülasyonu Ve Kavşak Kapasitesine Olan Etkisinin İncelenmesi: Çorlu İlçesi Örneği” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [9] Demiriz, A. (2019), “Mezoskopik Simülasyon İle Koridor Kapasite Analizi Yapılması: Erzincan İli Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [10] Alemdar, A. (2019), “Kavşak Tasarımlarının Karar Verme Teknikleri İle Değerlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [11] Ahadi, S. (2019), “VISSIM Yazılımı Kullanarak Mezar-I-Şerif (Afganistan) Örnek Çalışması İçerikli Kavşak Gecikme Analizleri” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [12] Ünlü, E. (2019), “Eşdüzey Kavşaklarda Sinyal Faz Planının Kavşak Performansına Etkilerinin Benzetim Modeli İle Değerlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [13] Camcı, A. (2019), “Kavşak Tasarımında Trafik Simülasyon Tekniklerinin Kullanımı Ve Sakarya İçin Uygulamalar” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [14] Yiğit, H. (2019), “Koordine Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Modellemesi: Ulus Bulvarı Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Denizli Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [15] Güneş, F., Bayraklı, S., Zaim, A. (2020), “Sinyalize Bir Kavşakta Oluşan Trafik Akımının Kuyruk Teorisi ile Performansının İncelenmesi” Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı 19, 56-65.
- [16] Odu, H., Kırbaş, U. (2021), “Dönel Kavşaklarda Meydana Gelen Dengesiz Akımlara Bir Çözüm Önerisi Olarak Kısmi Denetimli Sinyalize Dönel Kavşaklar: Bir Literatür Araştırması” NÖHÜ Mühendislik Bilim Dergisi, 10(2), 674-683.
- [17] Kayacan, M. (2021). “Dönel Kavşakta Farklı Uygulamaların Performans Kriterleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [18] Becerikli, M., Gürsel, Berk., Sarısoy, G., Delice, Y. (2021), “Eşdüzey Kavşak Düzenleme Projelerinde Bir Algoritma Önerisi: Yalova İli Örneği” Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25(3), 665-678.
- [19] Pamuk, N. (2021), “Trafik Sinyalizasyon Sisteminde Akıllı Kavşak Kontrolü” Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı 28, S. 312-319
- [20] Aydın, M., Aydoğdu, İ., Yıldırım, M. (2022), “Sinyalize Kavşaklarda Ülkelere Göre Gecikme Ve Kuyruk Uzunluğu Denklemleri Geliştirilmesinin Gerekliği Üzerine Bir Araştırma” GUFBD / GUJS, 12(2), 597-613.
- [21] www.trafikkurallari.net ., Erişim Tarihi: 22.03.2023
- [22] KGM (2005), Karayolu Tasarımı El Kitabı
- [23] <https://earth.google.com/web/> ., Erişim Tarihi: 22.03.2023
- [24] Design Guidance For Channelized Right-Turn Lanes (2014), National Ooperative Highway Research Program.
- [25] Özinal, Y., Uz, V.E. (2021), “Dönel Kavşak Geometrik Elemanlarının Kavşak Güvenliği Üzerine Etkisinin Literatür Işığında Değerlendirilmesi”, Politeknik Dergisi, 24(1): 283-297, (2021).
- [26] KGM (2000), Karayolu Tasarımı Raporu, Dönel Kavşaklar İçin Önerilen Tasarım Esasları
- [27] www.asyatrafik.com., Erişim Tarihi: 22.03.2023

- [28] ISSD, Trafik Simülasyon Çalışmaları, Trafik Mühendisliği Faaliyetleri, [Www.issd.com.tr/Tr/19571/Trafik-Simulasyon-Calismalari](http://www.issd.com.tr/Tr/19571/Trafik-Simulasyon-Calismalari), Erişim Tarihi: 22.03.2023
- [29] Transportation Research Board (TRB) (2000), “Higway Capacity Manual (HCM)”, Washington.
- [30] Ünlü, E. (2019), “Eşdüzey Kavşaklarda Sinyal Faz Planının Kavşak Performansına Etkilerinin Benzetim Modeli İle Değerlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [31] www.ptvgroup.com., Erişim Tarihi: 22.03.2023
- [32] Webster F.V. (1958), “Traffic Signal Settings”, Road Research Technical Paper. No: 39, Road Research Laboratory.
- [33] Ceylan, H., Başkan, Ö., Ceylan, H., Haldenbilen, S. (2007), “Mathematical Solutions Of Vehicular Delay Components At Signalized Intersections Based On Approximate Calculation Method”, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg., 13(2): 279-288.
- [34] Webster, F.V., Cobbe, B.M. (1966) “Traffic Signals”, Road Research Technical Paper No.56, HMSO London.
- [35] Çetinkaya, G. (2008), “Işıklı Kavşaklarda Değişik Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [36] E. Clark, J. (2008)., “Assessing The Sensibility Of Signal Timing Split Optimization In Addressing Congestion”. ITE Journal, 78, 24-29.
- [37] Akçelik, R. (1981), “Traffic Signals: Capacity And Timing Analysis”. Vermont South: ARRB Transport Research.
- [38] Akçelik, R. (1988), “Estimating The Capacity Of A Shared Lane”, Proc. 14th ARRB Conf., 14 (2), Pp. 228-41.
- [39] Akçelik, R. (1988), “The Highway Capacity Manual Delay Formula For Signalized Intersections”. ITE Journal, 58:3.
- [40] Geoffrey E., (1996), “Desing Manual For Roads And Bridges”, Londra Department For Transport.
- [41] <http://cografyaharita.com> ., Erişim Tarihi: 22.03.2023

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Buse BERYAN

Doğum Tarihi :

E-posta :

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Manisa Celal Bayar Üniversitesi	2023
Lisans	Manisa Celal Bayar Üniversitesi	2020
Lise	Bursa Hürriyet Anadolu Lisesi	2015

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017 -2017	ASTAŞ ARİES Mavi Mudanya Konut Projesi Bursa/Mudanya	Stajyer İnşaat Mühendisi
2018-2018	DLSY JV 1915 Çanakkale Köprüsü Çanakkale/Lapseki	Stajyer İnşaat Mühendisi
2020-2020	DLSY JV 1915 Çanakkale Köprüsü Çanakkale/Gelibolu	Stajyer İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce