

T.C.
ERZİNCAN BİNALI YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AİMSUN YAZILIMI KULLANILARAK SİNYALİZE KAVŞAK MODELLEMESİ VE
TRAFİK SİMÜLASYONU: ERZURUM İLİ ÖRNEĞİ

Zühal ZİREK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Ali ÇOLAK

TEZ JÜRİ ÜYELERİ

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Ali ÇOLAK

Dr. Öğr. Üyesi Fatih İrfan BAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Emre KUŞKAPAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERZİNCAN, 2026

© 2026 [Zühal ZİREK]. Tüm hakları saklıdır.

Kabul ve Onay Sayfası

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Ali ÇOLAK danışmanlığında, Zühal ZİREK tarafından hazırlanan bu çalışma 23.12.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Emre KUŞKAPAN İmza:
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Ali ÇOLAK İmza:
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih İrfan BAŞ İmza:

Yukarıdaki Yüksek Lisans/Doktora Tezi Enstitü Yönetim Kurulunun 23 / 12 / 2025 tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Kemal Volkan ÖZDOKUR

Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Aimsun Yazılımı Kullanılarak Sinyalize Kavşak Modellemesi ve Trafik Simülasyonu: Erzurum İli Örneği” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiğı gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 23/12/2025

(İmza)

Zühal ZİREK

ÖZET

AİMSUN YAZILIMI KULLANILARAK SİNYALİZE KAVŞAK MODELLEMESİ VE TRAFİK SİMÜLASYONU: ERZURUM İLİ ÖRNEĞİ

Zühal ZİREK

Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Ali ÇOLAK

2026, 94 sayfa

Şehir içi ulaşım sistemlerinin etkin çalışabilmesi için yatırımlarının doğru ve zamanında yapılması, trafik düzenlemelerinin sürdürülebilirlik prensiplerine uygun olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Trafikte sürdürülebilirlik hem çevreyi koruyan hem de uzun vadede ekonomik ve toplumsal fayda sağlayan ulaşım politikalarının hayata geçirilmesidir. Bu bağlamda, ulaşım politikaları geliştirilirken çevresel etkilerin asgariye indirilmesi ve yenilikçi teknolojilerin entegrasyonu büyük önem arz etmektedir. Yaptığımız bu çalışmada Erzurum'un ana merkez caddelerinden olan Gürcükapı ve Taşhan Kavşakları incelenmiştir. Kavşaklar için; mevcut şimdiki durumu seneryo 1, mevcut durumun geometrik olarak düzenlenmesi ve kavşak modelinin değiştirilmesi seneryo 2, geometrik olarak düzenlenen ve kavşak modeli değiştirilen kavşağa ek olarak Taşhan Kavşağına sinyal süresi eklenmesi seneryo 3, mevcut durumun geometrik olarak düzenlenmesi, kavşak modelinin değiştirilmesi ve Ayaz Paşa Caddesi'nin ters yöne çevrilmesiyle seneryo 4, geometrik düzenlemeyle ve Ayaz Paşa Caddesi'nin yönü değiştirilip Taşhan Kavşağına sinyal süresi eklenerek seneryo 5 olarak hazırlanmıştır. Alternatif projeler Autocad ortamında üretilmiş, üretilen alternatifler de aimsun yazılımında modellenmiştir. Yazılım yapılırken de şehir modellemesi içinde Sketchup 3D Programından yararlanılmıştır. Aimsun programından çekilen GEH analiz değerleri üzerinden gecikme süresinin 156,69 (s/km), ortalama kuyruk uzunluğunun 83,16 (araç), bekleme süresinin 137,03 (s/km), seyahat süresinin 238,42 (s/km) olarak 2.seneryo olan kavşak modelinin değiştirilmesi ve düzenlenmesi en iyi sonuçları vermiştir. Ayrıca yine GEH analizi sonuçlarına göre Anlık CO_2 Salınımı 81,37 ($g*10000$), Anlık NO_x Salınımı 116,76 ($g*10$), Anlık VOC Salınımı 180,70 ($g*10$) olarak yine en iyi sonucu seneryo 2 vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Trafik, geometrik düzenleme, yön çalışması, sinyalizasyon, simülasyon

ABSTRACT

SIGNALIZED INTERSECTION MODELING AND TRAFFIC SIMULATION USING AIMSUN SOFTWARE: THE ERZURUM PROVINCE EXAMPLE

Zühal ZİREK

**Master's Thesis, Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Science and
Technology,**

Department of Civil Engineering

Advisor: Dr. Öğr. Muhammed Ali ÇOLAK

2026, 94 pages

For urban transportation systems to operate effectively, investments must be made accurately and in a timely manner, and traffic regulations should be implemented in accordance with sustainability principles. Sustainability in traffic refers to the implementation of transportation policies that not only protect the environment but also provide long-term economic and social benefits. In this context, minimizing environmental impacts and integrating innovative technologies play a critical role in the development of transportation policies. In this study, the Gürcükapı and Taşhan intersections, located on major arterial corridors in the city center of Erzurum, were examined. Five different scenarios were developed for these intersections: Scenario 1 represents the existing conditions; Scenario 2 involves geometric improvement of the existing layout and modification of the intersection model; Scenario 3 includes the geometric improvement and intersection model modification applied in Scenario 2, with the addition of signal timing at the Taşhan Intersection; Scenario 4 consists of geometric improvement, modification of the intersection model, and reversal of traffic direction on Ayaz Paşa Street; and Scenario 5 combines geometric improvement and reversal of Ayaz Paşa Street with the addition of signal timing at the Taşhan Intersection. The alternative design scenarios were prepared using AutoCAD, and the generated layouts were modeled in the Aimsun traffic simulation software. During the modeling process, the urban environment was also represented using the SketchUp 3D program. Based on the GEH analysis results obtained from Aimsun, Scenario 2—characterized by the modification and geometric improvement of the intersection model—yielded the most favorable performance indicators, with a delay time of 156.69 s/km,

an average queue length of 83.16 vehicles, a waiting time of 137.03 s/km, and a travel time of 238.42 s/km. Furthermore, according to the GEH-based emission analysis, Scenario 2 also produced the lowest instantaneous emission values, with CO₂ emissions of 81.37 (g×10,000), NO_x emissions of 116.76 (g×10), and VOC emissions of 180.70 (g×10), indicating superior environmental performance compared to the other scenarios.

Keywords: Traffic, geometric improvement, direction arrangement, signalization, simulation

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca, kendisine danıştığım her konuda yanımda olan, değerli akademik bilgilerini ve desteklerini sabırla ve özenle benimle paylaşan, danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Ali ÇOLAK'a, ve yardımlarını esirgemeyen Fatih Ahmet DENİZ hocama sonsuz saygılarımı, teşekkürlerimi sunuyorum.

Eğitim hayatım boyunca, yaşadığım her zorlukta ve güzellikte, bana benden daha çok inanan ve güvenen, maddi – manevi her türlü desteğini eksik etmeyen, her zaman yanımda olan, biricik eşime, oğluma ve canım ailemin her bir üyesine anneme, babama çok teşekkür ederim.

Zühal ZİREK

Ocak, 2026

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iv
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Araştırmanın Amacı	1
1.2. Araştırmanın Önemi.....	2
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Kaynak Özetleri	4
2.1.1. Tasarım ile ilgili özetler	4
2.1.2. Yazılım ile ilgili özetler	6
2.2. Kuramsal Temeller	11
2.2.1. Ulaşımın amaçları	11
2.2.2. Ulaşım planlaması	12
2.2.3. Ulaşım planlama çalışmaları.....	13
2.2.4. Karayollarının sınıflandırılması	14
2.2.4.1. Konumlarına göre yollar	14
2.2.4.1.1. Kent içi yollar	14
2.2.4.1.2. Kent dışı yollar	15
2.2.4.2. Fonksiyonlarına göre yollar	16
2.2.4.2.1. Ana yollar	16
2.2.4.2.2. Toplayıcı yollar	17
2.2.4.2.3. Yerel yollar	17
2.2.4.3. Yapılarına göre yollar	18
2.2.4.3.1. Bölünmüş yollar	18
2.2.4.3.2. Bölünmemiş yollar	19
2.2.4.4. Kaplama türüne göre yollar	20
2.2.4.4.1. Asfalt yollar.....	20
2.2.4.4.2. Beton yollar	20

2.2.4.4.3. Stabilize yollar.....	21
2.2.4.4.4. Toprak yollar	21
2.2.4.5. Hizmet seviyesine göre yollar	21
2.2.4.5.1. Otoyollar	21
2.2.4.5.2. Devlet yolları.....	22
2.2.4.5.3. İl yolları.....	22
2.2.4.5.4. Köy yolları	23
2.2.5. Kavşak tipleri	23
2.2.5.1. Eş düzey hemzemin kavşaklar	24
2.2.5.1.1. Kol sayısına göre	24
2.2.5.1.1.1. Üç kollu kavşaklar (T veya Y kavşaklar)	24
2.2.5.1.1.2. Dört kollu kavşaklar	26
2.2.5.1.1.3. Çok kollu kavşaklar	27
2.2.5.1.2.Trafik kontrol sistemine göre	28
2.2.5.1.2.1. Sinyalize kavşaklar	28
2.2.5.1.2.2. Sinyalize olmayan kavşaklar	29
2.2.5.2. Katlı kavşak (farklı seviyeli kavşak)	29
2.2.5.3. Dönel kavşaklar.....	31
2.2.6. Kavşak tipi seçimi	32
2.2.7. Kavşak geometrisin planlanması.....	34
2.2.8. Kavşak geometrisinin tasarlanması	35
2.2.9. Tasarım kuralları	36
2.2.10. Aimsun yazılım programı	40
2.2.11. Yön çalışmaları	41
2.2.12. Sinyalize sistem.....	42
3. YÖNTEM.....	44
3.1. Materyal.....	44
3.1.1. Stratejik konum ve mevcut durum analizi	44
3.1.2. Sayımlar	47
3.1.3. Sinyalize durum sistemi.....	50
4. BULGULAR.....	52
4.1. Araştırmalar	54
4.1.1. Autocad çalışmaları.....	54

4.1.2. Geometrik tasarımlar	57
4.1.3. Sketchup çalışmaları.....	59
4.1.4. Aimsun yazılım modellemesi	64
4.1.5. Aimsun yazılım sinyalize modellemesi ve simülasyon.....	67
4.1.6. Aimsun yazılım 3d modelleme	71
4.1.7. Aimsun yazılım simülasyon modellemesi	75
4.2. Bulgular	78
5. SONUÇ VE TARTIŞMALAR	85
KAYNAKÇA	87
EKLER	92
Ek A. Autocad Dosyası	93
Ek B. Sketchup Dosyası	93
Ek C. Aimsun Dosyası	93
Ek D. Aimsun Sonuç Dosyası	93
ÖZGEÇMİŞ.....	94

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Hıza göre en az trafik şeridi genişlikleri	37
Tablo 2. Otobüs durak cebi ölçüleri.....	38
Tablo 3. Dönel kavşaklar tasarım esasları.....	38
Tablo 4. Bazı taşıtların tasarım boyutları.....	40
Tablo 5. Gürcükapı kavşağı sayım matrisi.....	48
Tablo 6. Gürcükapı kavşağı sayım tablosu	48
Tablo 7. Taşhan kavşağı sayım matrisi.....	49
Tablo 8. Gürcükapı kavşağı sayım tablosu	49
Tablo 9. Taşhan Kavşağı akşam saatleri sinyal grubu	52
Tablo 10. Mevcut durum ve alternatif senaryolar hakkında bilgi	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Ana yollar (https://www.kgm.gov.tr).....	16
Şekil 2. Bölünmüş yollar 1 (https://www.kgm.gov.tr).....	18
Şekil 3. Bölünmüş yollar 2 (https://www.kgm.gov.tr).....	19
Şekil 4. Devlet yolları (https://www.kgm.gov.tr)	22
Şekil 5. İl yolları (https://www.kgm.gov.tr).....	23
Şekil 6. Kavşak tipleri örnekleri (On Dokuz Mayıs Üniversitesi Kadastro Bilgileri).....	25
Şekil 7. Y Tipi kavşak modeli örneği	
Şekil 8. T Tipi kavşak modeli örneği.....	25
Şekil 9. Dört kollu kavşak modelleri (Wordpres.com)	26
Şekil 10. Dört kollu kavşak modeli örneği.....	26
Şekil 11. Dört kollu ve dönel kavşak tipi örneği	27
Şekil 12. Çok kollu kavşak model örneği	27
Şekil 13. 5 Kollu kavşak tasarım örneği	28
Şekil 14. Katlı kavşak modeli (https://www.kgm.gov.tr)	30
Şekil 15. Dönel kavşağın geometrisini oluşturan temel tasarım parametreleri (Kadastro Bil.)	31
Şekil 16. Dönel kavşak tasarım modeli.....	32
Şekil 17. Geometrik düzeni farklı dönel kavşak modeli	32
Şekil 18. Kavşak tipi seçim grafiği (Beryan, 2023).....	34
Şekil 19. Kavşak içi dönüş yarıçapları (Standartları, 1995).....	39
Şekil 20. Yol kenar parkında park etme şekline göre tercihler (Standartları, 1992)	39
Şekil 21. Ring oluşturulmuş yön bağlantısı (Alızadeh, 2019)	42
Şekil 22. Gürcükapı kavşağı mevcut durum hali hazır	46
Şekil 23. Gürcükapı kavşağı mevcut durum (Google Earth)	46
Şekil 24. Taşhan kavşağı mevcut durumu hali hazır	46
Şekil 25. Taşhan kavşağı mevcut durumu (Google Earth).....	47
Şekil 26. Gürcükapı-Taşhan Kavşakları sabah ve öğlen saatleri sinyalizasyon uygulaması(Maest.)	51
Şekil 27. Gürcükapı-Taşhan Kavşakları akşam saatleri sinyalizasyon uygulaması (Maestro)	51
Şekil 28. Gürcükapı Kavşağı-Taşhan Kavşağı seneryo 2- seneryo 3	54
Şekil 29. Seneryo 2- seneryo 3 birleştirilmiş model	55
Şekil 30. Gürcükapı Kavşağı-Taşhan Kavşağı seneryo 4- seneryo 5	56

Şekil 31. Seneryo 4- seneryo 5 birleştirilmiş model.....	56
Şekil 32. Taşhan Kavşağı senaryo 1 sketchup modellemesi.....	60
Şekil 33. Taşhan Kavşağı senaryo 2 sketchup modellemesi.....	61
Şekil 34. Taşhan Kavşağı senaryo 3 sketchup modellemesi.....	61
Şekil 35. Taşhan Kavşağı senaryo 4-senaryo 5 sketchup modellemesi.....	62
Şekil 36. Gürcükapı Kavşağı senaryo 2-senaryo 3 sketchup modellemesi.....	62
Şekil 37. Gürcükapı Kavşağı senaryo 4-senaryo 5 sketchup modellemesi.....	63
Şekil 38. Taşhan Kavşağı-Gürcükapı Kavşağı senaryo 2-senaryo 3 sketchup modellemesi...	63
Şekil 39. Taşhan Kavşağı-Gürcükapı Kavşağı senaryo 4- senaryo 5 sketchup modellemesi..	64
Şekil 40. Aimsun yazılımında şerit çizgileri oluşturma ve kavşak oluşturma	65
Şekil 41. Aimsun yazılımında düğüm noktalarını oluşturma.....	65
Şekil 42. Aimsun yazılımında araç modellerinin tanımlanması.....	66
Şekil 43. Aimsun yazılımında araç sayım verilerinin girilmesi	66
Şekil 44. Aimsun yazılımında trafik demand oluşturulması	67
Şekil 45. Gürcükapı Kavşağında sinyal gruplarının oluşturulması	67
Şekil 46. Taşhan Kavşağında sinyal gruplarının oluşturulması	68
Şekil 47. Aimsun yazılımında control plan oluşturulması	68
Şekil 48. Aimsun yazılımında Gürcükapı Kavşağında sinyal sürelerinin oluşturulması.....	69
Şekil 49. Aimsun yazılımında Taşhan Kavşağında sinyal sürelerinin oluşturulması.....	69
Şekil 50. Aimsun yazılımında master control planı oluşturulması.....	70
Şekil 51. Aimsun yazılımında dynamic scenario oluşturulması.....	70
Şekil 52. Aimsun senaryo 1 3d modellemesi	71
Şekil 53. Aimsun senaryo 1 3d modellemesi çift görünümlü	71
Şekil 54. Aimsun senaryo 2 Taşhan Kavşağı 3d modellemesi.....	72
Şekil 55. Aimsun senaryo 2 Gürcükapı Kavşağı 3d modellemesi.....	72
Şekil 56. Aimsun senaryo 2-senaryo 3 Taşhan Kavşağı-Gürcükapı Kavşağı durum 3d modellemesi.....	73
Şekil 57. Aimsun senaryo 4-senaryo 5 Taşhan Kavşağı-Gürcükapı Kavşağı durum 3d modellemesi.....	73
Şekil 58. Aimsun senaryo 4 Gürcükapı Kavşağı durum 3d modellemesi.....	74
Şekil 59. Aimsun senaryo 5 Gürcükapı Kavşağı durum 3d modellemesi.....	74
Şekil 60. Aimsun senaryo 1 Gürcükapı Kavşağı tasarımı simülasyon modellemesi	75
Şekil 61. Aimsun senaryo 1 Taşhan Kavşağı tasarımı simülasyon modellemesi.....	75

Şekil 62. Aimsun senaryo 2 Gürcükapı Kavşağı tasarımı simülasyon modellemesi	76
Şekil 63. Senaryo 3 Taşhan Kavşağı tasarımı simülasyon modellemesi	76
Şekil 64. Aimsun senaryo 4 Gürcükapı Kavşağı tasarımı simülasyon modellemesi	77
Şekil 65. Aimsun senaryo 5 Taşhan Kavşağı tasarımı simülasyon modellemesi.....	77
Şekil 66. Gürcükapı bölgesinin aksam saatleri yoğunluğu	79
Şekil 67. Senaryolar için ortalama kuyruk uzunluğu sonuç değerleri	79
Şekil 68. Bekleme süresi sonuç değerleri.....	80
Şekil 69. Seyahat süresi sonuç değerleri	81
Şekil 70. Hız sonuç değerleri.....	81
Şekil 71. Salınım sonuç değerleri	82
Şekil 72. Yakıt tüketimi sonuç değerleri.....	83
Şekil 73. Senaryoların analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması 1	84
Şekil 74. Senaryoların analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması 2	84

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
VOC	Volume Over Capacity (Hacim/Kapasite Oranı)
PM Salmımı	PM = Particulate Matter (Partikül Madde)
NO _x	NO _x = Nitrogen Oxides (Azot Oksitler)
PCE	Passenger Car Equivalent (Yolcu Aracı Eşdeğeri)
LPOE	Land Port of Entry –Giriş Noktası
R ₂	İstatistiksel Ölçü
IEM	(Intersection Evaluation Method / Kavşak Değerlendirme Yöntemi)
TGP	Tasarım Genel Prosedürü
DWG	CAD dosyalarında sık karşılaşılan bir uzantıdır
DXF	Drawing Exchange Format (Çizim Değişim Formatı)
TS	Türkiye Standartları
GEH	Geoffrey E. Havershott (Model Tahmin Değerleri)
DN1A	Prohova Valeni de Munte de Yol İsmi
N1	Ben Schocman da Yol İsmi
Maest.	Maestro Yazılım Programı

Simgeler

Km/şerit	Toplam Yol Uzunluğu (km)/Şerit Sayısı
%	Yüzde İfadesi
m	Metre
R	Kavşak İçi Dönüş Yarıçapı
r	Dönel Kavşak Yarıçapı
L	Park Etme Uzunluğu
sn	Saniye
km/m	Toplam Yol Uzunluğu (km)/Yol Uzunluğu

1. GİRİŞ

1.1. Araştırmanın Amacı

Günümüzde hız, toplumun en önemli ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. Hedeflere ulaşmak, zaman sınırlaması olmadan mümkün olamadığından, hız aynı zamanda başarıya ulaşmanın bir göstergesi olarak da nitelendirilebilir. Bu durum insanoğlunu daha hızlı yaşama konusunda hem teşvik etmekte hem de mecbur bırakmaktadır (Camcı, 2019). Hızın bu kadar öne çıkması, yalnızca kişisel hayatları etkilemekle kalmaz, aynı zamanda toplumsal yapıları, iş alanını ve teknolojiyle olan ilişkimiz üzerinde de derin etkiler yaratmaktadır. Günümüzde bireyler, daha fazla işi daha kısa bir zamanda tamamlayabilmek için sürekli bir yarış içerisinde. Bu hız tutkusu, üretkenliği artırmakla birlikte stres, tükenme ve yüzeysel bağlantılar gibi çeşitli sorunları da beraberinde getirmektedir. Artık bir eylemin kalitesinden ziyade, ne kadar hızlı yapıldığı daha fazla önem kazanmaktadır. Bu durum, yaşamın doğal seyrini bozmakta; insanları kendi temposunu unutan, sürekli bir yetişme hali içinde olan bir hayata sürüklemektedir. İnsanlar her gün farklı amaçlar için farklı noktalara yolculuk etmekte ve bu yolculuklar için özellikle büyükşehirlerde zamanlarından büyük bir pay ayırmak zorunda kalmaktadırlar. Yolculuk sürelerinin uzun olması, trafiğe katılan kullanıcılar üzerinde “varış noktasına yetişme” baskısı kurmaktadır (Aksoy, 2019). Hızlı ve etkili ulaşım sistemleri, bireylerin ve toplumların ekonomik ve sosyal aktivitelerini artırırken, trafikte harcanan gereksiz zaman ise stres ve yorgunluğa yol açmaktadır. Bu nedenle, ulaşım sistemlerinin planlanmasında zaman yönetimi büyük önem taşımaktadır. Ulaşım sistemlerinin planlanmasında etkin zaman yönetimi, hem bireylerin günlük yaşam kalitesini artırmakta hem de şehirlerin genel işleyişine pozitif katkı sağlamaktadır. Bu da sürdürülebilir ve akıllı şehirlerin temelini oluşturmaktadır. Sürdürülebilir ve akıllı şehirler, geleceğin yaşam alanlarını oluştururken çevresel, ekonomik ve sosyal faktörleri dengede tutmaya çalışmaktadır. Bu şehirlerde enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı, çevre dostu ulaşım sistemleri ve akıllı altyapılar büyük öneme sahiptir. Veri temelli yönetim yaklaşımı sayesinde kaynaklar daha iyi kullanılırken, şehirde yaşayan insanların yaşam kalitesini artırmaktadır. Bu bağlamda akıllı şehirlerin en önemli bileşenlerinden biri olan ulaşım sistemleri öne çıkmaktadır. Artan nüfus ve trafik sıklığı çevresel kirliliği ve enerji tüketimini artırmaktadır. Ancak akıllı ulaşım çözümleri, bu sorunlara yenilikçi ve etkili çözümler sunmaktadır. Elektrikli ve paylaşımlı araçlar, bisiklet yolları, toplu taşıma sistemleriyle entegrasyon ve trafik yönetiminde kullanılan akıllı sensörler, ulaşımı çevreci, verimli ve herkesin erişilebilir hale getirmektedir. Gerçek zamanlı veri analitiği

sayesinde toplu taşıma sistemlerinin daha iyi planlanması, yolculuk sürelerinin kısaltılması ve karbon emisyonlarının azaltılması da mümkün olmaktadır. Bu nedenle akıllı ulaşım uygulamaları hem çevresel hem de toplumsal açıdan sürdürülebilir şehir hedeflerine önemli katkılarda bulunmaktadır.

1.2. Araştırmanın Önemi

Büyükşehirlerde trafik sıkışıklığı ulaşımı zorlaştıran önemli bir sorundur. Belirli bir yoldaki araç sayısı arttığında trafik sıkışıklığı meydana gelmekte ve trafiğin yavaşlamasına, hatta durmasına neden olmaktadır. Trafik yoğunluğunun artmasında birçok neden etkili olmaktadır. Şehir nüfusunun artması, altyapının yetersiz olması, toplu taşımanın çok tercih edilmemesi ve kentsel yapıların planlanmaması gibi birçok faktör bu duruma sebep olmaktadır. Özellikle kentlerin hızlı bir şekilde büyümeye devam etmesiyle birlikte, mevcut yollar ve ulaşım sistemleri artan araç sayısına yetişememektedir. Bu durum bireylerin özel araç kullanmaya yönelmesine neden olmaktadır. Toplu taşıma araçlarının da yoğunluk ve konfor açısından ihtiyaçlara cevap verememesi bu eğilimi daha da pekiştirmektedir. Şehir planlaması sırasında uzun vadeli ulaşım politikalarının göz ardı edilmesi, yolların genişletilmesi, otopark alanlarının artırılması veya alternatif ulaşım biçimlerinin geliştirilmesi gibi konularda kalıcı çözümler üretmenin önüne geçmektedir. Tüm bu nedenler bir araya gelince, günlük yaşamı olumsuz etkileyen, ekonomik, çevresel ve sosyal maliyetleri artıran en büyük sorunlardan biri haline gelmektedir.

Trafik yoğunluğu, modern şehir yaşamının en çok karşılaşılan sorunlarından biri olup insanların günlük yaşamlarını doğrudan etkilemektedir. Büyükşehirlerde nüfusun artması, araç sahipliği sayısındaki artış ve ulaşım altyapısındaki yetersizlik, trafik sıkışıklığının kaçınılmaz hale gelmesine neden olmaktadır. Bu durum sadece insanların işe, okula veya sosyal etkinliklere geç kalmasına neden olmamakla beraber, aynı zamanda yaşam kalitesini de ciddi şekilde düşürmektedir. Trafikte geçirilen uzun süreler, dinlenme, aileyle vakit geçirmek veya üretken faaliyetlerde bulunmak gibi imkânları azaltmaktadır. Ayrıca stres, yorgunluk ve psikolojik baskılara da sebep olmaktadır. Yoğun trafik, yakıt kullanımını artırarak ekonomik kayıplara neden olurken, araçlardan çıkan dumanlar da çevre kirliliğini artırmaktadır. Dolayısıyla trafik yoğunluğu sadece ulaşımı yavaşlatan bir sorun değil, aynı zamanda sosyal, ekonomik ve çevresel açıdan önemli sonuçlar doğuran bir kentleşme sorunudur.

Trafiğin yoğunluğu arttıkça hayatın akışının yavaşladığı bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır (Camcı, 2019). Yaşantımız içinde günlük kararlarımızı dahi etkileyen trafik yoğunluğu, yolların fiziksel ve işlevsel özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan, kullanım kapasitesi ile doğrudan ilişkili bir parametredir. Bu nedenle, şehir içi ulaşımın verimli şekilde sürdürülebilmesi için trafik kapasitesinin doğru planlanması ve mevcut yolların bu kapasiteye uygun şekilde yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. Bir kavşağın kapasitesi, dönen bir yoldaki akış için belirli bir giriş ayağında birim zamanda kavşağa girebilen maksimum araç sayısı olarak tanımlanmıştır (Papatzikou vd., 2018). Belirli bir zaman diliminde bir kavşakta aynı anda işlem görebilecek maksimum araç sayısı o kavşağın kapasitesine bağlıdır. Trafik mühendisleri bu kapasiteyi artırmak için çeşitli stratejiler ve çözümler geliştirerek trafik akışını iyileştirmekte ve sıkışıklığı azaltmaktadır. Bu sayede ulaşım sistemlerinin daha verimli ve güvenli çalışması sağlanmaktadır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2.1. Kaynak Özetleri

Literatür çalışmaları hem yazılımsal olarak hem de kavşak geometrisi olarak iki farklı başlık altında çalışmalar yapılmıştır. Yazılımsal olarak kullanılan simülasyon programları ve analizleri üzerinde çalışmalar yapılmış, kavşak geometrisi olarak da geometriyi etkileyecek parametreler üzerinde araştırmalar yapılmıştır.

2.1.1. Tasarım ile ilgili özetler

Yetgin (2020), Ceylan Kavşağı'nı inceleme alanı olarak belirlemiş, kollardan geçen araç sayısını tespit etmiş, kavşak geometrisi ile sinyalizasyon durumu arasındaki ilişkiyi analiz etmiş ve kapasite ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Sayımlardan elde ettiği verileri geometrik düzenleme hesaplama tablolarında kullanmış, Pucher ve Babkov abaklarından uygun kavşak tipinin seçileceğini belirtmiş ve şu sonuçlara ulaşmıştır: 1- Kavşak öncesi ve içindeki yönlendirme işaretleri, şehir hakkında bilgi sahibi olanlar için değil, yabancı gelenler için tasarlanmalıdır. 2- Kavşaklarda zemin kayganlığının önlenmesi önem arz etmektedir. 3- Kavşak girişlerinde iyi sürtünmeye sahip malzemeler tercih edilebilir. 4- Yaya geçitlerinin genişlikleri, yaya trafiğine ve yerel koşullara bağlı olarak 2,5-4,00 metre arasında değişebilir. 5- Refüjlere araç girişi ve park edilmesi engellenmeli, refüj ikiye ayrılarak çiçek gibi tasarım unsurlar eklenmelidir. 6- Engelli bireyler veya tekerlekli sandalye kullanıcıları göz önünde bulundurularak yeşil ışık süreleri ayarlanmalıdır. 9 metreyi aşan yollarda geçişler iki aşamada sağlanmalıdır. 7- Kavşak içerisindeki bordürlerin gece görünür olması için boyanması gerekmektedir. 8- Kavşak kolları, görüş açısını artırmak amacıyla dik ya da ona yakın açılarla kesiştirilmelidir.

Özinal vd. (2021), döner kavşaklar üzerine araştırmalar yapmış, geometrik öğelerin belirli kurallar çerçevesinde tasarlanması ve bu öğelerin birbirleriyle uyumlu bir düzen içinde yer alması gerektiğini vurgulamışlardır. Ülkemizde tasarım konusundaki bilginin yetersiz olduğunu ve bu nedenle daha fazla kaynak ile standartlara ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, mevcut literatürü incelemiş ve döner kavşaklar için standartların oluşturulması gerektiğine karar vermişlerdir.

İlyas vd. (2017), Gazi Bulvarı - Fatih Caddesi - Yıldırım Beyazıt Caddesi arasındaki sinyalize olan dairesel kavşak için bir tasarım üzerinde çalışmalara başlanmıştır. Gazi Bulvarı üzerindeki kavşağın ada yarıçapındaki değişiklikleri incelemek üzere bir simülasyon programı kullanılmıştır. Yapılan incelemelerde, kavşak merkezinin genişliği nedeniyle mevcut sistemde araçların bu alanda fazla zaman kaybettiği ve bu durumun kavşağa ulaşan yollarda yoğunluk yarattığı tespit edilmiştir. Araştırmada $R=13,05$, $Ry1=8,49$ ve $Ry2=3,49$ değerleri kullanılarak simülasyon gerçekleştirilmiş ve yarıçap azaldıkça Fatih Caddesi'ne giriş ile Yıldırım Beyazıt Caddesi'nden çıkışlarda sapma açısının düştüğü ve araç birikmesinin azaldığı görülmüştür. En fazla gecikme süresi, araç yoğunluğu ve araçların durma sayısı en büyük yarıçapta gözlemlenmiştir.

Ataşoğlu (2019), yürüttüğü araştırma sürecinde, şeritlerin adedi, genişlikleri ve cepler gibi geometrik unsurların kavşak performansına etkilerini incelemiştir. Sol dönüş cebi eklenerek Vıssım yazılımında analiz edilmiştir. Nihayetinde, şerit sayısının artışı, kuyruklanma, ortalama araç gecikme süresi ve durma gecikmesi gibi performans kriterlerini pozitif yönde etkilediği sonucu elde edilmiştir.

Pratelli vd. (2022), kavşak kapasitesini hesaplamak için kullanılan ana yöntemleri tanıtmışlardır. İtalya'nın Toskana Bölgesi'nde yer alan mevcut bir kavşakta tasarlanan İki Geometrilik Kavşak ile ilgili hesaplamaları örnek olarak verdiler. Özellikle, Aimsun yazılımı aracılığıyla iki farklı tipte döner kavşak arasındaki trafik simülasyonlarını karşılaştırdılar. Yazılımın sağladığı çıktılar arasında gecikme süresini dikkate aldılar. Trafik verilerine gelince, yalnızca eşdeğer araçlardan oluşan bir matristen başlayarak, %5, %10, %15, %20 ve %25 oranında ağır araçların varlığına karşılık gelen 5 ek senaryoya kadar farklı O/D matrislerini oluşturduklar. Aimsun yazılımından çıkarılan giriş gecikme süresi değerlerinin sonuçları, benimsenen 6 senaryo için İki Geometrilik Dönel Kavşak ile Geleneksel Dönel Kavşağı karşılaştırmışlardır. İki Geometrilik Döner Kavşağın, incelenen tüm senaryolarda Geleneksel Döner Kavşağa göre daha düşük ortalama giriş gecikme süresi değerlerine sahip olduğu sonucuna vardılar.

2.1.2. Yazılım ile ilgili özetler

Rodrigues vd. (2021), iki alt modele dayalı yeni bir park modeline dayalı olarak simülasyon gerçekleştirmişlerdir: park alanı seçimi ve park alanı arama. Modeli, kaldırım üzerindeki trafiği göz önünde bulundurarak geliştirmişler ve geleneksel bir mikro simülasyon trafik programında uygulamışlardır. Alt modellerin parametreleri, İspanya'nın Santander şehrinin merkezinde toplanan verilerle ve park yeri kullanıcılarına yöneltilen belirli tercihleri içeren anketle tahmin etmişlerdir. Farklı politikaları test etmek amacıyla modeli, Python 3.7 kullanarak özel bir API oluşturan Aimsun simülasyon yazılımında çalıştırmışlardır. Python programlama dilini kullanarak Aimsun modelinde bir simülasyon aracı yazmışlar ve kaldırım kenarı park alanları geleneksel bir mikro simülasyon modeline entegre etmişlerdir. New York Şehri üzerine yaptıkları çalışmada da görüldüğü gibi, trafik yoğunluğunun yaklaşık %50 arttığını göstermişlerdir. Otopark alanlarında dinamik ücretlerin uygulanmasının faydaları, arama süreleri, park etme girişimleri ve yakıt tüketimi açısından önemini ortaya koymuşlardır. Dinamik ücretler uygulandığında park etme modu dağılımı değişiklik göstermiştir. Sokak dışı park yeri tercih oranı %8'e kadar artmış, elde edilen sonuçlar dinamik fiyatlandırmanın uygulanmasıyla %60 ile %80 arasında azalma ile arama süresinde önemli iyileşmeler göstermiştir.

Akkaya (2022), PTV Vissim, Aimsun, Trafficware SimTraffic, Quadstone Paramics, Sumo gibi yazılım programları arasında karşılaştırmalar yapılarak trafik artışına yol açan unsurlar gözden geçirilmiştir. İncelenen her yazılım uygulaması, tam sürümü kullanıldığında, kullanıcıya bu görevi gerçekleştirirken mevcut veya planlama aşamasındaki bilgileri, istatistikleri ve trafik sisteminin görüntüsünü sunacaktır. Trafik simülasyon yazılımları, analizciler açısından maliyetli ulaşım yatırımlarında doğru bir karar alınmasını sağlarken, kamu ve yatırımcılar için de maliyet tasarrufu elde etme imkanı sunmaktadır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, Sumo, Aimsun ve Vissim'in genelde tatmin edici sonuçlar verebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Üç simülasyon paketi de oldukça iyi bir performans sergilemekte, ancak bir yol ağı analizi için seçim yapılmadan önce bazı sınırlamaların anlaşılması gerektiği vurgulanmıştır. Aimsun ve Vissim görsel nitelikleri ve hız açısından öne çıkarken, yazılım maliyeti ile fiyat-performans karşılaştırması yapıldığında Sumo'nun avantaj sağladığı gözlemlenmiştir.

Özkul (2023), İstanbul'un Zeytinburnu ilçesinde gerçekleştirilen bir araştırma, trafik yoğunluğundaki artışın araçların bekleme süreleri ile hız ve yolculuk sürelerine olan etkisinin

incelendiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, en iyi sonuçların alınıp performansın artırılabilmesi için alternatif çözümlerin değerlendirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Farklı senaryolar kullanarak, akıllı kavşak yapılarına yönelik kombinasyon denemeleri yapılmış ve bu şekilde yol üzerindeki araçların gecikme süreleri, toplam yolculuk süreleri, ortalama hız, CO_2 emisyonu, NOx emisyonu ve yakıt tüketim değerleri üzerinde olumlu etkiler sağlanmış ve ortalama hızın artırılması amaçlanmıştır. İncelemeler, Aimsun mikro simülasyon programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, araç başına gecikmelerde %10 ile %97 arasında, toplam yolculuk sürelerinde %9 ile %67, ortalama hızda %5 ile %67, CO_2 emisyonlarında %1 ile %18, NOx emisyonlarında %4 ile %16 ve yakıt tüketiminde %1 ile %32 oranında iyileşmelerin farklı senaryolar üzerinden hesaplandığını göstermiştir.

Kırımlı (2019), Trabzon'un Ortahisar ilçesinde, kavşaklar arasındaki mesafe ve yol uzunluğunun kavşakların kapasitesine olan etkilerini incelemiştir. Simülasyon aracı kullanarak, trafik kuyruk uzunluğu, karbon monoksit miktarı ve yakıt tüketiminde bir azalma sağlanacağı sonucuna ulaşmıştır. Seçilen yolda ve oluşturulan 250, 500 ve 750 metrelik güzergâhlarda kavşaklar arasındaki mesafenin kavşakların işlevselliğine olan etkisini araştırmıştır. Ptv Vissim programında, değişen kavşaklar arası mesafelere bağlı olarak gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre; ölçüm kriterleri olarak ortalama trafik kuyruk uzunluğu, araç gecikme süreleri, CO salınımı ve yakıt tüketiminde önemli düşüşler yaşanabileceğini ve hizmet seviyesinin artabileceğini belirlemiştir.

İnançlı (2012), Konya ilinde bir çalışma gerçekleştirmiş ve dönel kavşak üzerinde modelleme yapmıştır. Bu modellemenin gerçek yaşam üzerindeki etkisi, tasarımların uygulanmadan önce kavşak verimliliğini artırdığı sonucunu ortaya koymuştur. Ayrıca, kaza yoğunluğunun yüksek olduğu alanları belirlemiştir. Dokuz kavşağın geometrik tasarımını inceleyen bir çalışmada, dönel kavşağın kapasitesinin trafik akışlarının yönlerine göre dağıldığı ve sola dönüş yollarının kavşak kapasitesini olumsuz yönde etkilediğini tespit etmiştir. Bunun yanı sıra, dönel kavşaklardaki kaza maliyetlerinin, yapım, bakım ve işletme masraflarının sinyalize kavşaklara göre daha düşük olduğunu gözlemlemiştir. Dönel kavşakların ayrıca durma ve gecikme sürelerini azalttığı, böylece araçların yakıt tüketiminde de bir düşüş sağladığını ifade etmiştir.

Yalçın vd. (2023), sinyalize kavşakların modellemesi, Aimsun Programı aracılığıyla gerçekleştirmiş ve bu kavşaklarda yeşil ışık süresinin, araç yoğunluğunun, araç tespiti, trafik sıklığı ve ortalama hız gibi unsurlara göre iyileştirilmesinin trafik akışına olumlu etkide

bulunacağı sonucuna ulaşmıştır. Tekirdağ il sınırları içindeki Santral Kavşağı'nda, günde yaklaşık 30.000 aracın geçtiği noktada, tam trafik uyarlamalı sinyalizasyon sisteminin simülasyonu sayesinde gecikmelerde ortalama %27,72'lik bir azalma, ortalama hızda ise %27,31'lik bir artış gözlemlenmiş ve durma sayısında da ortalama %25,54'lük bir düşüş yaşanmıştır.

Erol vd. (2017), Denizli ilinde yer alan Emniyet kavşağını inceleme alanı olarak seçmişler, bu kavşağı Vissim simülasyon yazılımı ile modellemişlerdir. Çalışmanın hedeflerinden biri olan kavşak kontrol türünün değiştirilmesi durumunda hem sinyalize hem de döner kavşak senaryoları dikkate alınarak kavşak performansındaki değişimlerin Vissim yazılımında araştırılmasını gerçekleştirmişlerdir. İncelenen kavşak, döner kavşak olarak tasarlandığında, ortalama araç gecikmesinin arttığını gözlemlenmiştir; ayrıca, talebin yaklaşık yüzde 50 oranında artması durumunda, döner kavşaktaki ortalama hızın sinyalize kavşağa göre daha hızlı düşeceği sonucuna ulaşmışlardır.

Alemdar (2019), İstanbul'un Fatih ilçesinde üç ayrı kavşak üzerinde çalışmalara başlanmış ve taşıt gecikmesi, kuyruk uzunluğu, gecikme süresi, duraklama sayısı, seyahat süresi, taşıt güvenliği, karbon monoksit emisyon seviyeleri, yakıt tüketimi ve kavşak inşaat maliyeti gibi veriler üzerinde analiz yapmak amacıyla Vissim yazılımı kullanılmıştır. 30 farklı koridor tasarımı Ptv Vissim mikro simülasyon programı ile gerçekleştirilmiş olup, 16 Numaralı koridor tasarımı en iyi sonucu vermiştir. 16 No'lu koridor alternatifinin mevcut durum koridoru ile performans değerlerini karşılaştırdıklarında, mevcut duruma kıyasla değerlendirme kriterlerinin 7 tanesinde en az %36, en fazla ise %91 oranında iyileşme sağlamıştır.

Granal vd. (2020), yaptığı bu çalışma için iki şeritli bir döner kavşağın, benzer boyutlardaki temel bir turbo döner kavşağa dönüştürülmesini inceleyen bir vaka çalışmasına odaklanmışlardır. Her iki kavşak için ampirik kapasite fonksiyonları, şerit başına simüle edilen kapasitelerin karşılaştırıldığı hedef değerler olarak geliştirmişlerdir. Aımsun, iki farklı dönel kavşakta değişik oranlarda ağır araç içeren trafik durumlarını simüle etme olanağı sağlamışlardır. Bu şekilde, farklı filoların faaliyet gösterdiği trafik koşullarının çeşitliliğini incelemişlerdir. Benzer giriş manevrası mekanizmasıyla tanımlanan her giriş şeridi için tahmin edilen Pce'ler arasında bir kıyaslama gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen bulgular, iki şeritli döner kavşak ile turbo döner kavşağın işletim performansını değerlendirirken ağır araçların etkisinin dikkate alınması gerektiğini göstermişlerdir.

Salgado vd. (2016), araştırma ekibi, Aimsun, Trans Modeler ve Vissim yazılım programlarından faydalanılarak üç farklı yazılımla üç farklı model üzerinde çalıştı. Bu makale, uluslararası LPOE'leri modellerken her aracın avantajlarını ve dezavantajlarını bize sundu.

Ki An a vd. (2017), yaptıkları çalışma kapsamında sayısal bir model geliştirmişlerdir, kavşaktaki kuyruk uzunluğunun tahmin edilmesine yönelik çalışma sürdürmüşlerdir. Model, iki ayrı durumda gelişmiş araç algılayıcıları ve bir trafik ışığı içerir. Modelin geçerliliğini değerlendirmek amacıyla bir R2 testi gerçekleştirmişler ve bulgular kuyruk uzunluklarının tahmin edilmesine olanak tanıdığını ortaya koymuştur. Kuyruk uzunlukları, Aımsun yazılımı tarafından yapılan tahminlerle karşılaştırma yapmışlardır. Modelleme sonuçlarında, Dedektör C ve M konumlarındaki varyasyonların, kontrol ve ölçüm yaklaşımlarındaki kuyruk uzunluklarında ve faz zaman aralıklarında değişikliklere yol açacağını göstermiştir. Dedektör C ve M'nin konumları şu anda sırasıyla 305 ve 220 m olarak tasarlanmış olsa da, 121 modelleme senaryosuna dayanarak, 380 m (C için) ve 320 m (M için) konumları her iki yaklaşımda da kuyruk uzunluğunu azaltabilir sonucuna varmışlardır.

Rosca vd. (2019). makalede, Romanya'nın bir kasabasından geçen önemli bir ulusal yol üzerindeki araç trafiğinin mikro simülasyonu yoluyla trafik yoğunluğu, yaya geçitleri, trafik sinyalleri zamanlamasının ve trafik sinyalleri koordinasyon parametrelerinin etkisini araştırmışlardır. Karayolu trafiğinin düzenlenme biçiminin trafik göstergeleri üzerindeki etkisi, 2011 nüfus sayımına göre nüfusu 12.257 olan Romanya'nın Prahova ilinden Valenii de Munte şehrinden geçen ulusal yol DN1A'nın ana arter kısmında analiz etmişlerdir. Bu makalede kullanılan simülasyon senaryolarının amacı, kavşaklardaki (sinyalizasyonlu yaya geçitleri, trafik ışıklarının koordinasyonu) trafik kontrolünün bir arter yol boyunca araç trafiği gecikmeleri üzerindeki etkisini incelemektir. Aımsun'da karayolu trafiğinin mikro simülasyonundan elde edilen sonuçlara göre, S2 senaryosuna kıyasla trafik ışığı geçişi sayesinde şehir sakinlerinin trafik güvenliği derecesinin önemli ölçüde iyileştirildiği için S3 senaryosunun seçilmesini önermektedirler. Bu nedenle, işaretlenmemiş kavşaklardan geçişi ve bu kavşaklardaki olası kazaları önler. Bu kullanıcılar için, şehir altyapısında kavşakların topolojisi ve kavşak içindeki tehlikeli alanlar hakkında önceden bilgi eksikliği, Valenii de Munte sakinlerinin olduğu alanda kaza riskini artırmaktadır. Transit şeritteki trafik ışıklarının korelasyonuna ilişkin incelenen ölçüm, yol bypassının bulunmadığı ve çok sayıda aracın geçiş yaptığı diğer şehirlere de genişletilebilir; bu durum, seyahat süresinin artması, yakıt tüketiminin

artması ve rölanti, frenleme ve sık hızlanma nedeniyle hava kirliliğinin artması gibi olumsuz etkiler yarattığı sonucuna varmaktadırlar.

Ra (2016), makalede Ben Schoeman Otoyolu'nu modelleyerek Güney Afrika'da Mikro-simülasyonun başarısı hakkında araştırma yapmıştır. Makale daha sonra, geleneksel analiz araçları kullanılarak elde edilmesi zor olan mikro-simülasyon verilerine ulaşmıştır. Bunlardan biri, şerit uzunluğu ve yardımcı şeritlerin kavşaklarda otoyola giren ve çıkan trafiğin akışını kolaylaştırmadaki etkisini incelemiştir.

Deniz (2023), araştırmada Aimsun Programı kullanılarak Erzincan İli merkezinde bir koridor oluşturmuş ve yedi kavşak üzerinde incelemeler yapmıştır. 27. 648 senaryoya ait verileri karşılaştırmıştır. Sayım verileri ile sanal veriler üretilerek makine öğrenimi modellerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Simülasyon sonuçları, tüm senaryolar için elde edilen toplam seyahat süreleri, gecikme süreleri ve Iem, CO_2 parametrelerine ilişkin verilerle makine öğrenimi modelleri oluşturmuştur. İncelenen katsayı değerleri dikkate alındığında, kavşak geometrisi ile otomobil trafik yoğunluğu değişkenlerinin üç parametre için de kritik öneme sahip olduğu belirlenmiştir. Simülasyon verilerinin kullanımıyla oluşturulan sentetik verilerle başarılı makine öğrenimi modellerinin geliştirilmesi mümkün olmuştur.

Baş vd. (2020), yapılan çalışma çerçevesinde, stratejik öneme sahip ve bölgenin önemli merkezi olarak görülen Erzurum ilinin Tebrizkapı Kavşağı, inceleme alanı olarak belirlenmişlerdir. İlk olarak, haftalık, günlük ve saatlik trafik hesaplamaları yapılarak yoğun saatlerdeki trafik durumu incelenmiş ve mevcut şartlar Aimsun yazılımıyla modellenmişlerdir. Daha sonra, kavşak tipini değiştirip ve Aimsun programında yeni bir modelleme yapılarak bu modellerin karşılaştırmaları gerçekleştirmişlerdir. Güncel durumda gecikme süresi 41,10 saniye, bekleme süresi ise 26,85 saniye olarak tespit edilmiştir. Mevcut kavşak tipi değiştirilerek Modern Dönel Kavşak ve Farklı Düzey Kavşak tasarımları oluşturulmuş ve simülasyonlar yapmışlardır. Yeni tasarımların gecikme süreleri, Modern Dönel Kavşak için 9,21 saniye, Farklı Düzey Kavşak için 5,03 saniye; bekleme süreleri ise Modern Dönel Kavşak için 1,66 saniye ve Farklı Düzey Kavşak için 1,20 saniye olarak belirlenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, gecikme süresi ve bekleme süresi gibi faktörler dikkate alındığında en uygun kavşak türü Farklı Düzey Kavşak olarak çıkmasına rağmen, yüksek inşaat maliyetleri nedeniyle Modern Dönel Kavşak en uygun tercih olarak belirlenmişlerdir.

2.2. Kuramsal Temeller

Çalışmamızda Aimsun simülasyon programı incelenmiştir. Trafik simülasyonu, trafik modelleme çalışmalarının yanı sıra ulaşım ağları ve sistemlerinin planlanması ve geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir metodolojidir. Dört içerik kategorisi bulunmaktadır: makro, mezo, mikro ve nano. Aimsun, gerçek zamanlı trafik bilgisi ve sinyal yönetimi gibi kabiliyetler sunmakta ve çeşitli modeller kullanarak uygulamadan bağımsız analiz yapılmasına olanak sağlamaktadır.

2.2.1. Ulaşımın amaçları

Ulaşım, bireylerin ve toplumların yaşamında vazgeçilmez bir rol oynamaktadır. Zamanla değişen ihtiyaçlarla birlikte, ulaşım sadece bir noktadan bir başka noktaya gitmekten çok daha fazlasını ifade etmeye başlamıştır. Günlük yaşamın düzgün bir şekilde devam etmesi ve uzak mesafelerin aşılması açısından ulaşım, sunmuş olduğu olanaklarla büyük bir kolaylık sağlamaktadır. İnsanlar, işe gitmek, eğitim kurumlarına ulaşmak, sevdikleriyle zaman geçirmek ya da yeni yerler keşfetmek için sürekli hareket halindedir. Ancak ulaşım, yalnızca bireysel gereksinimlerle sınırlı kalmaz; ekonomik ve toplumsal dinamiklerin sürdürülebilirliği açısından da kritik bir öneme sahiptir. Malların ve hizmetlerin taşınması, ticaretin devamlılığı ve küresel iletişimin sağlanması, ulaşım altyapısının etkinliğine doğrudan bağlıdır. Ayrıca acil durumlarda sağlık hizmetlerine hızlı erişim ve afet müdahaleleri gibi hayati süreçlerde de etkili ulaşım çözümleri son derece önemlidir. Bu anlamda kara, deniz, hava ve demir yolları gibi çeşitli ulaşım türlerinin gelişimi, bireylerin ve toplumların yaşam kalitesini artırmakta ve modern dünyadaki ilerlemeyi desteklemektedir.

Ulaşımın planlanması ve tasarımı, şehirlerin altyapısını daha güvenilir, etkili ve sürdürülebilir hale getirmek için önemli bir işlev üstlenir. Bu iki unsur da modern yaşamın kalitesi ve hareketliliği üzerinde doğrudan etkisi olan temel unsurlardır. Hangi tür ulaşım aracı olursa olsun, hizmet süresi boyunca güvenli, hızlı, konforlu ve erişilebilir olması gerekir; bu da planlama, tasarım, inşaat, bakım ve onarım süreçlerinde mühendislik standartlarının uygulanmasıyla mümkün hale gelir.

Karayolu tasarımında, tasarım kıstasları ve tasarım elemanları gibi başlıca unsurlar birbirleri ile etkileşim halindedir (Genç, 2018). Ulaşım planlamasındaki amaç; geometrik standartları sağlatarak verimli tasarım projeleri elde etmek ve trafiği olumsuz etkileyen etmenlerden uzaklaşmaktır. Karayolu mühendisliğinde başarının temelinde, sadece teknik bilgi yer almaz, aynı zamanda çevresel, ekonomik ve sosyal unsurların bütünsel biçimde göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bir yolun uzun vadede işlerliğini koruyabilmesi, sadece başlangıçta iyi bir şekilde planlanmasına değil, aynı zamanda değişen koşullara adapte olabilecek esneklikte tasarlanmasına da bağlıdır. Trafik yoğunluğundaki artış, iklim değişikliğinin yol yüzeyine olan etkileri veya çevresel mevzuatlardaki değişiklikler, karayolu tasarımını doğrudan etkileyen unsurlardandır. Sonuç olarak, karayolu tasarımı yalnızca teknik bir faaliyet değil, yaşam kalitesini dolaylı yoldan etkileyen stratejik bir planlama disiplindir. Çalışmamızda öngörülen eksikler olarak karayolu tasarımında kavşaklardaki geometrik düzensizlikler, park yeri yetersizliği, çift sıra park yeri, şerit dışında atık kenarlar, yaya geçitlerinin olmayışı, mevcut yaya geçitlerinin yayaların ihtiyaçlarını tam olarak karşılayamaması sorunu yaşanmaktadır. Kavşak koşullarının sağlanamaması, geometrik olarak oluşturulan adaların standartlara uymaması, refüjlerin refüj standartlarını karşılamaması, otobüs duraklarında yaşanan karmaşıklık, turistik katile olarak gelen körüklü araçlar için durak yeri tahsis edilmemiş olması diğer sorunlardan bazılarıdır.

2.2.2. Ulaşım planlaması

Ulaşım planlaması, bir bölgenin ulaşım ihtiyaçlarını belirlemek, mevcut altyapıyı incelemek ve gelecekteki trafik taleplerini karşılamak amacıyla geliştirilen stratejilerle dolu bir süreçtir. Bu süreç, hem bireylerin hem de ticari etkinliklerin her zaman kesintisiz ve verimli bir şekilde ilerlemesini sağlamak için ulaşım ağını düzenlemeyi hedeflemektedir. Ulaşım planlaması, toplu taşıma sistemlerinin etkinliğini, karayolu altyapısının güvenliğini, yaya yollarının ve bisiklet yollarının tasarımı gibi birçok farklı konuyu içerecek şekilde geniş kapsamlıdır. Temel hedeflerden biri, ekonomik kalkınmayı desteklerken aynı zamanda çevresel etkileri azaltmak ve yaşam kalitesini artırmaktır. Bu amaçla ulaşım planlaması, trafik yoğunluğunun önlenmesi, güvenli seyahat imkânlarının sağlanması ve sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin oluşturulması gibi çeşitli hedefleri gerçekleştirmeyi teşvik eder.

Ulaşım planlaması, otoyol ve toplu taşıma projelerini listelemekten daha fazlasıdır. Bunu gerektirirken bölgenin yönetimi, bakımı, işletilmesi, finansmanı için stratejiler geliştirmek ve topluluğun uzun vadeli ulaşım hedeflerine ulaşmak için ulaşım sistemini geliştirmek gereklidir (Alızzadeh, 2019). Ulaşım planlaması, bir bölgenin sadece fiziksel altyapısının inşa edilmesini değil, aynı zamanda bu altyapının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini, bakımının yapılmasını ve işletilmesini de kapsayan çok yönlü bir süreçtir. Bu süreç, uzun vadeli topluluk ihtiyaçlarına göre şekillenen stratejik bir yaklaşım gerektirir. Ulaşım ağının etkin bir şekilde işletilmesi için, trafik yönetimi, yol bakım ve onarım süreçlerinin yanı sıra, mevcut ulaşım sistemlerinin verimliliğini artıracak yenilikçi çözümler geliştirilmelidir. Bunun için, bölgedeki trafik akışını optimize etmek, yoğunlukları yönetmek ve ulaşım hizmetlerinin zamanında ve doğru şekilde sunulmasını sağlamak için bir dizi teknoloji ve yönetim tekniği kullanılır. Ayrıca, ulaşım sistemlerinin finansmanı da bu planlamanın kritik bir bileşenidir. Kaynakların doğru bir şekilde tahsis edilmesi, projelerin finansal açıdan sürdürülebilir olması için kamu ve özel sektör iş birlikleri, maliyet etkin çözümler ve uzun vadeli yatırımlar gereklidir. Tüm bu süreçlerin bir arada yürütülmesi, ulaşım sisteminin sadece bugünün ihtiyaçlarını karşılamasını değil, gelecekteki talepleri de göz önünde bulundurarak şekillendirilmesini sağlar. Bu şekilde, toplumun uzun vadeli ulaşım hedeflerine ulaşabilmesi için ulaşım sistemleri sürekli olarak geliştirilir, iyileştirilir ve toplumsal refahı destekleyecek şekilde evrilir. Bu da daha güvenli, sürdürülebilir, erişilebilir ve verimli bir ulaşım altyapısının oluşturulmasını mümkün kılar.

2.2.3. Ulaşım planlama çalışmaları

Planlama süreci, bir hedefe ulaşmak için izlenecek yolun sistemli bir şekilde belirlenmesini kapsamaktadır ve belirli aşamalardan oluşmaktadır. İlk aşama hedeflerin belirlenmesidir; bu aşamada örgüt ya da birey, neyi başarmak istediğini açık ve ölçülebilir bir şekilde tanımlamaktadır. Ardından gelen durum analizi aşamasında, mevcut kaynaklar, olanaklar, çevresel koşullar ve kısıtlar değerlendirilerek güçlü ve zayıf yönler analiz edilmektedir. Üçüncü aşama olan alternatiflerin geliştirilmesi kısmında, hedefe ulaşmak için izlenebilecek farklı yollar belirlenmektedir. Bu yolların her biri, maliyet, zaman, risk ve verimlilik gibi kriterler açısından değerlendirilmektedir. Devamında, en uygun seçeneğin seçilmesi aşaması gelmektedir; burada analizler doğrultusunda en etkili ve uygulanabilir plan tercih edilmektedir. Seçilen plan doğrultusunda detaylı bir yol haritası çıkarılarak uygulama aşamasına geçilmektedir. Son olarak, izleme ve değerlendirme süreci başlamaktadır; bu aşamada

uygulamanın gidişatı düzenli olarak kontrol edilmekte ve gerekirse plana müdahalelerde bulunularak iyileştirmeler yapılmaktadır. Bu aşamaların tümü, planlama sürecinin dinamik, esnek ve sürekli gelişime açık bir yapıda olmasını sağlamaktadır.

Modern ulaşım planlamasında sürdürülebilirlik önemli bir ilke hâline gelmiştir. Çevreye zarar vermeyen, enerji verimliliği yüksek ve sosyal eşitliği gözetilen ulaşım sistemleri oluşturulması hedeflenir. Bu kapsamda, toplu taşımanın yaygınlaştırılması, bireysel araç kullanımının azaltılması, bisikletli ve yaya ulaşımına uygun altyapıların geliştirilmesi gibi stratejiler öne çıkmaktadır. Ayrıca farklı ulaşım türlerinin entegre edilmesi, örneğin metro hattının otobüs ağıyla bağlantılı hâle getirilmesi, kullanıcıların daha rahat ve kesintisiz ulaşım deneyimi yaşamasını sağlamaktadır.

Ulaşım planlaması çok paydaşlı bir süreçtir. Yerel yönetimler, merkezi idareler, şehir plancıları, mühendisler ve halk bu süreçte önemli rol oynamaktadır. Etkin bir planlama için, halkın ihtiyaç ve beklentilerinin doğru anlaşılması gerekmektedir. Bu nedenle katılımcı planlama yaklaşımları benimsenerek, halkın görüşleri alınmalı ve karar süreçlerine dahil edilmelidir. Böylece sadece teknik açıdan değil, sosyal ve ekonomik açıdan da toplumun geniş kesimlerine hitap eden ulaşım çözümleri geliştirilebilir.

2.2.4. Karayollarının sınıflandırılması

2.2.4.1. Konumlarına göre yollar

2.2.4.1.1. Kent içi yollar

Kent içindeki yollar, şehirlerin ulaşım sisteminin önemli unsurlarını oluşturur ve toplumsal yapı ile hem fiziksel hem de sosyal açıdan etkileşim içerisindeki karmaşık bir düzen meydana getirir. Bu yollar, ana yollar, toplayıcı yollar ve yerel yollar şeklinde sınıflandırılırken, yoğun trafik akışını etkili bir şekilde yönetmek üzere tasarlanmışlardır. Aynı zamanda, yayalar, bisikletliler ve toplu taşıma araçları için gerekli altyapıyı sağlar. Geniş kaldırımlar, bisiklet yolları ve otobüs durakları gibi unsurlar sunarak, bütün kullanıcıların güvenli ve konforlu bir şekilde hareket etmesine olanak tanır. Ayrıca, iyi yapılandırılmış yolların olumsuz hava şartlarında bile trafik akışını sürdürülebilmesi, çeşitli ulaşım türlerinin entegrasyonunu kolaylaştırması ve çevre

dostu seçeneklerin teşvik edilmesi, günümüz şehirlerinin karşılaştığı en önemli zorluklardan biri haline gelmiştir. Bu nedenle, yerel yönetimler ve ulaşım politikaları, kent içindeki yolların fiziksel durumu ile toplumsal etkilerini kapsamlı bir şekilde ele almaları kritik bir öneme sahiptir. Kent içi yolların bakımı ve yönetimi, trafik sıkışıklığını azaltma ve güvenliği artırmada hayati bir rol oynarken, çağdaş şehir planlamasının gereksinimlerini karşılamak için sürekli olarak yenilikler yapılmakta ve geliştirilmektedir.

2.2.4.1.2. Kent dışı yollar

Kent dışındaki yollar, şehirlerin dışındaki alanlarda yer alan, genelde kırsal kesimleri, kasabaları ve şehirler arası bağlantıları sağlayan ulaşım yollarıdır. Bu yolların ana amacı, şehirler arasında ticaret, sosyal etkileşim ve ekonomik bağlantıları artırmak, ulaşım sürelerini azaltmak ve ülke genelinde ulaşımın bütünlüğünü sağlamaktır. Kent dışındaki yollar, karayolu taşımacılığının en önemli unsurlarından biri olarak hem yük hem de yolcu taşınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle şehirler arası seyahatlerin güvenli ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi için bu yolların belirlenen standartlara uygun şekilde inşa edilmesi ve sürekli olarak bakımlarının yapılması oldukça kritiktir.

Kent dışındaki yollar, tarım ve ticaret faaliyetleri açısından da çok önemlidir. Tarım bölgelerinden şehir merkezlerine ürün taşıyan traktörler ve kamyonlar için bu yollar hayati bir işlev üstlenir. Ayrıca, kırsal bölgede yaşayan bireylerin eğitim, sağlık ve diğer hizmetlere ulaşmalarını kolaylaştırarak toplumsal ilişkileri güçlendirir. Kent dışı yollar, sunduğu doğal manzaralar sayesinde turizm açısından da çekici hale gelir; doğa yürüyüşleri, bisiklet turları ve diğer açık hava etkinlikleri için popüler güzergâhlar oluşturur. Bu yolların güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi, ulaşımın yanı sıra ekonomik ve sosyal yaşam için de büyük bir öneme sahiptir. Uygun bakım ve geliştirme çalışmaları sayesinde bu yollar, kırsal ve kentsel bölgeler arasında etkileşimi artırarak yerel ekonomilerin canlanmasına yardımcı olur.

2.2.4.2. Fonksiyonlarına göre yollar

2.2.4.2.1. Ana yollar

Ana yollar; şehirler, kasabalar ve önemli yerleşim merkezleri arasında yüksek trafik hacmini taşıyan ve genellikle geniş, çok şeritli olarak inşa edilen yollardır (Şekil 1). Bu yollar, uzun mesafeli seyahatler için tasarlanmış olup, yüksek hızda ve kesintisiz trafik akışını sağlamak amacıyla erişim kontrolü ve çeşitli güvenlik önlemleri ile donatılmıştır. Ana yollar, ekonomik faaliyetlerin ve ticaretin can damarı olarak kabul edilir, çünkü mal ve hizmetlerin hızlı ve verimli bir şekilde taşınmasını sağlar.

Ana yollar, şehirler ve kasabalar arasındaki bağlantının yanı sıra, bölgesel ve ulusal düzeydeki ekonomik etkileşimleri de artıran önemli ulaşım kanallarıdır. Bu yollar, bireylerin yanı sıra ticari ve sanayi araçlarının da yüksek hızla seyahat etmesini sağlayarak, ekonomik gelişimin önemli bir parçasıdır. Gelişmiş yapıları nedeniyle, ana yollar, özellikle iş dünyası açısından büyük bir öneme sahiptir; çünkü mal taşımacılığında zaman tasarrufu sağlamakta ve pazara erişim imkânlarını geliştirmektedir. Ayrıca, bu yollar üzerindeki dinlenme alanları, restoranlar ve çeşitli hizmet istasyonları, yolculuk sırasında yolcuların rahatını artırarak seyahat tecrübesini olumlu yönde etkiler. Sürekli olan trafik akışı, acil durumlarda müdahale sürelerini kısaltarak toplumsal güvenliği de artırmaktadır. Böylece, ana yollar yalnızca bir ulaşım yolu olmanın ötesine geçerek, sosyal etkileşimlerin ve ekonomik büyümenin önemli bir parçası haline gelir. Bu yollara yapılan yatırımlar, bölgesel gelişimi desteklerken, insanları, kültürel öğeleri ve ekonomik fırsatları bir araya getiren bir köprü görevi görmektedir.



Şekil 1. Ana yollar (<https://www.kgm.gov.tr>)

2.2.4.2.2. Toplayıcı yollar

Toplayıcı yollar, yerel yollar ve ana yollar arasında bağlantı sağlayan, orta derecede trafik hacmine sahip yollardır. Bu yollar, mahalleler ve küçük yerleşim birimlerinden gelen trafiği ana yollara yönlendirir ve böylece trafik akışının düzenlenmesine yardımcı olur. Toplayıcı yollar, genellikle iki veya daha fazla şeritli olup hem araç trafiğine hem de yayalara hizmet verecek şekilde tasarlanmıştır. Bu yollar, yerel ulaşımın etkin bir şekilde sağlanması için kritik öneme sahiptir ve genellikle okullar, alışveriş merkezleri ve diğer önemli noktalar gibi yoğun kullanılan alanlara erişim sağlar. Toplayıcı yollar, yerel ulaşım sisteminin temelini oluştururken, çevre dostu ulaşım seçeneklerinin entegrasyonuna da imkân tanır. Bu yollar, bisiklet ve yaya yollarıyla bir arada kurgulanarak hem araç trafiğini düzenler hem de sürdürülebilir ulaşım yöntemlerini teşvik eder. Yoğun saatlerde, bu güzergâhlar üzerinden toplu taşıma araçlarının geçişi, sefer sürelerini kısaltarak yolculara zaman kazandırır. Ayrıca, toplum etkileşimini artıran sosyal alanlara yakın olmaları, sosyal yaşamın dinamik olmasını sağlar. Toplayıcı yolların etkin bir şekilde planlanması ve bakımı, yerel ekonomiye ve yaşam kalitesine doğrudan etki ederek güvenli ve erişilebilir bir ulaşım ağı oluşturma hedefine katkıda bulunur. Bu nedenle, toplu taşıma ve bisiklet kullanımını destekleyen altyapılar ile estetik öğelerle zenginleştirilmiş hem kullanıcılar hem de yerel halk için güçlendirici unsurlar haline gelmektedir. Bu yollar, yalnızca trafik akışını düzenlemekle kalmaz, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği destekleyerek daha sağlıklı ve yaşanabilir şehirler yaratılmasına da yardımcı olur.

2.2.4.2.3. Yerel yollar

Yerel yollar, mahalleler, küçük yerleşim birimleri ve özel mülkler arasında ulaşımı sağlamanın yanı sıra, toplumsal yaşamın kalbini oluşturan unsurlar olarak da büyük öneme sahiptir; çünkü genellikle dar ve tek şeritli tasarımlarıyla, düşük hız limitleriyle güvenli bir sürüş deneyimi sunarken, aynı zamanda evler, okullar, parklar ve küçük işletmeler gibi yerel destinasyonlara erişim imkânı tanıyarak toplulukların sosyal etkileşimlerini artırmakta, yürüyüş ve bisiklet gibi alternatif ulaşım biçimlerini teşvik ederek çevre dostu bir yaşam tarzını desteklemekte ve bu yönleriyle gündelik yaşamın akışını düzenleyerek kentsel ve kırsal alanlardaki bireylerin bağlılık hissini pekiştirmektedir.

2.2.4.3. Yapılarına göre yollar

2.2.4.3.1. Bölünmüş yollar

Bölünmüş yollar, iki veya daha fazla yönlü trafiği güvenli ve düzenli bir şekilde yönetmek için tasarlanmış, genellikle fiziksel engellerle ayrılmış karayolu yapılarıdır (Şekil 2-3). Bu yol türü, her bir yön için ayrı şeritler sunarak, sürücülerin karşıdan gelen araçlarla doğrudan temasını engeller ve bu da kaza olasılığını önemli ölçüde düşürür. Bölünmüş yollar genellikle yüksek hız limitlerine sahiptir ve uzun mesafeli ulaşımında etkinliği artırmayı hedefler. Ayrıca, bu yollar gelişmiş trafik tabelaları, aydınlatma sistemleri ve güvenlik önlemleri ile donatılarak sürücülerin dikkatini çekmeyi ve güvenli bir yolculuk deneyimi sunmayı amaçlar. Bölünmüş yollar genellikle şehirler arası seyahat için tercih edilse de, büyük şehirlerin iç kesimlerinde de trafik akışını kolaylaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. İnşaat maliyeti yüksek olabilese de, sağladığı güvenlik ve ulaşım etkinliği açısından önemli avantajlar sunar. Bu yapılar, zamanla farklı ülkelerde ve coğrafyalarda değişkenlik gösteren mühendislik standartları, malzeme kalitesi ve tasarım özellikleri ile tasarlanabilmektedir.



Şekil 2. Bölünmüş yollar 1 (<https://www.kgm.gov.tr>)



Şekil 3. Bölünmüş yollar 2 (<https://www.kgm.gov.tr>)

2.2.4.3.2. Bölünmemiş yollar

Bölünmemiş yollar, iki yönlü trafiğin bulunduğu, her iki yönün de fiziksel olarak ayrılmadığı yollardır. Bu yollar genellikle her iki yanında sadece çizgilerle belirlenmiş şeritler taşır, bu da her yönün araçlarının daha yakın bir mesafede seyahat etmesini sağlar. Bölünmemiş yollar, özellikle şehir ve kırsal bölgelerde yaygın olarak kullanılır ve düşük yoğunluklu trafik koşullarında etkili bir şekilde çalışabilir. Ancak bu yolların bazı olumsuz yönleri bulunmaktadır. Karşı yönden gelen araçlarla yan yana seyahat edilmesi, bağımsız hareket ve aşırı hız durumlarında risk oluşturabilir. Ayrıca, bu yollar, geçiş üstünlüğü gibi durumlarda kazaların meydana gelme riskini artırabilir. Güvenliği artırmak için, bölünmemiş yollar genellikle belirli standart genişlik ve görüş açısı şartlarına göre inşa edilir. Yol kenarındaki işaretler ve trafik ışıkları, sürücülerin dikkatini çekmek ve güvenli geçişleri sağlamak için son derece önemlidir. Bu yollar, düşük hız sınırlarına sahip yerleşim alanlarında tercih edilse de, daha yoğun trafik olan bölgelerde bölünmüş yolların inşa edilmesi, sürücü güvenliğini artırmak açısından önem taşır. Ayrıca bölünmemiş yollar, ekonomik olarak da avantaj sunabilir; inşaat ve bakım masrafları genellikle daha düşüktür, bu da yerel yönetimler için bir cazibe yaratır. Kısacası, bölünmemiş yollar uygun koşullarda verimli bir ulaşım alternatifini sunarken, aynı zamanda güvenlik ve performans açısından dikkat edilmesi gereken bazı zorluklar da barındırır.

2.2.4.4. Kaplama türüne göre yollar

2.2.4.4.1. Asfalt yollar

Asfalt yol, araç ve yayaların ulaşımını kolaylaştırmak için çeşitli tabakalarla güçlendirilmiş bir zemin üzerine, bitümlü bağlayıcı ile mineral agregaların birleşiminden oluşan asfalt katmanıyla kaplanmış bir yol türüdür. Bu yol türü, sağlamlığı, düzgün yüzeyi ve bakımının kolay olması sayesinde hem şehir içi hem de şehirler arası ulaşımında en fazla tercih edilen kaplama şekli olarak dikkat çekmektedir. Asfalt yollar, ağır araç geçişine karşı dayanıklı olmaları ve rahat bir sürüş deneyimi sunmaları nedeniyle günümüz ulaşım altyapısının önemli bileşenlerinden biri olarak görülmektedir. Asfalt yollar, çağdaş ulaşım sisteminin temel unsurlarından biri olarak, araçların güvenli ve rahat bir biçimde yol almasını sağlar. Aynı zamanda, ekonomik aktivitelerin artmasına ve sosyal yaşamın daha canlı hale gelmesine yardımcı olmaktadır. Bu yolların dayanıklılığı, hava şartlarına karşı gösterdikleri direnç ve bakım gereksinimlerinin diğer malzemelere göre daha az olması, onları yoğun trafik bölgelerinde tercih edilen bir yapı malzemesi durumuna getirmekte, bu şekilde şehirlerin altyapısının iyileştirilmesine ve sürdürülebilir ulaşım çözümleri geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

2.2.4.4.2. Beton yollar

Beton yol, araç trafiğinin güvenli ve rahat bir şekilde ilerlemesini sağlamak için zeminini belirli katmanlarla desteklenmiş ve üst yüzey malzemesi olarak çimento, su ve agreganın bir karışımıyla inşa edilen yol tipidir. Yüksek dayanıklılığı, uzun ömürlü yapısı ve ağır araç trafiğine karşı direnç gösterme özelliği sayesinde özellikle şehirler arası yollar, havaalanı pistleri ve sanayi bölgelerinde sıkça tercih edilmektedir. Beton yollar, bakım ihtiyacının az olması ve iklim koşullarına dayanıklı yapısıyla modern ulaşım altyapısında mühim bir rol oynamaktadır. Beton yollar, dayanıklılığı ve uzun süre dayanma özellikleri sayesinde çağdaş ulaşım sistemlerinin ayrılmaz bir bileşeni haline gelirken, bu yolların yapımında kullanılan özel bileşimler ve yöntemler, iklim koşullarına ve trafik baskısına dayanabilecek şekilde hazırlanmakta, ayrıca asfalt yollarla kıyaslandığında daha az bakım istemeleri ve çevre üzerindeki etkilerini azaltmaları gibi faydalarla sürdürülebilir ulaşım çözümlerine destek sunmaktadır.

2.2.4.4.3. Stabilize yollar

Stabilize yollar, günümüzdeki ulaşım sistemlerinin vazgeçilmez bir parçasıdır ve genellikle ekonomik olmaları ve pratik bir şekilde yapılabilmesiyle öne çıkarlar. Bu yollar, doğal kaynaklardan elde edilen malzemelerle inşa edildiği için, zeminin niteliklerine göre farklı faydalar sağlarlar. Özellikle etkili su tahliye sistemleriyle birlikte kullanıldıklarında, suyun birikmesini engelleyerek sürüş emniyetini yükseltebilir, tozlanmayı azaltarak çevreyi koruyabilir ve köy ve şehir gibi yerleşim yerlerine erişimi kolaylaştırarak ekonomik kalkınmayı destekleyebilirler. Stabilize yollar, sertleştirilmiş toprak zemin üzerine orta büyüklükte çakıl ve kum serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan yollardır.

2.2.4.4.4. Toprak yollar

Toprak yollar, doğal malzemeler kullanılarak inşa edilen ve genellikle tarım arazileri, köyler ya da kırsal alanlarda bulunur. Bu yollar, ekonomik ve çevresel açıdan önemli bir ulaşım seçeneği sunmakta; yerel sakinlerin günlük yaşamında büyük bir rol oynamakta. Bu yollar, tarım ürünlerinin pazara ulaştırılması, okula giden çocukların seyahatleri gibi birçok farklı işlevi yerine getirirken, aynı zamanda doğal dengenin korunmasına katkı sağlayarak sürdürülebilir ulaşım yöntemlerinden biri haline gelmekte ve bu sayede kırsal alanların erişilebilir olmasına imkân tanımaktadır.

2.2.4.5. Hizmet seviyesine göre yollar

2.2.4.5.1. Otoyollar

Otoyollar, modern ulaşım ağının önemli bir bileşeni olarak, şehirler arası hızlı ve kesintisiz bağlantılar sunarak, ekonomik gelişmeyi teşvik etmek, ticareti kolaylaştırmak ve insanların günlük yaşamlarını daha rahat hale getirmek amacıyla inşa edilen, genellikle çok şeritli, kontrollü erişim sistemleriyle donatılmış ve belirli bir hız sınırına sahip olan yollardır; bu yollar, devletin altyapı yatırımlarıyla ilerletilirken, güvenlik standartları ve çevresel etkiler gibi unsurlar göz önünde bulundurularak tasarlandığı ve bakım süreçlerine tabi tutulduğu için, araçların akışını düzenlemek amacıyla dinlenme alanları, hizmet üniteleri ve trafik levhaları

entegre edilmektedir, dolayısıyla hem sürücülerin hem de yolcuların seyahat deneyimlerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

2.2.4.5.2. Devlet yolları

Devlet yolları, ülkenin ulaşım altyapısının önemli unsurlarından biri olarak, ekonomik büyüme ve sosyal etkileşim açısından büyük bir rol oynamaktadır. Bu yollar, güvenli ve sürdürülebilir ulaşım sağlamak amacıyla belirli standartlar doğrultusunda inşa edilmekte ve bakım yapılmaktadır. Yerel ve ulusal ticaretin, turizmin ve günlük yaşamın daha verimli bir şekilde sürdürülmesine katkıda bulunurken, çevresel etkilerin azaltılması için modern mühendislik çözümleri ile donatılmakta ve toplumun gereksinimlerine uygun şekilde sürekli olarak geliştirilmektedir. Şekil 4’te devlet yolu örneği görülmektedir.



Şekil 4. Devlet yolları (<https://www.kgm.gov.tr>)

2.2.4.5.3. İl yolları

Şekil 5’te görüldüğü üzere İl Yolları; Ülkenin her köşesini birbirine bağlayan yollar, yalnızca insanların günlük hayatını kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda ticaretin artmasına, ekonomik büyümenin hızlanmasına ve kültürel etkileşimin artmasına da büyük katkılar sunarak, yerel ekonomiye olumlu etkiler sağlar ve farklı bölgeler arasında insan akışını teşvik eden bir köprü işlevi görür; bu kapsamda, modern yolların inşasında uygulanan mühendislik yöntemleri, çevreye duyarlı malzemelerin kullanımı ve sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin

oluşturulması, daha iyi bir yaşam alanı sağlarken, doğal kaynakların etkin kullanımı açısından da büyük önem arz eder.



şekil 5. İl yolları (<https://www.kgm.gov.tr>)

2.2.4.5.4. Köy yolları

Köy yolları, köyleri komşu yerleşimlere, il, ile ve bucak merkezlerine, ayrıca üretim ve tüketim alanlarına bağlayan temel ulaşım akslarıdır. Bu yollar genellikle taş veya toprak zeminli olup, çevresini saran ağaçlar ve bitki örtüsüyle kırsal peyzajın doğal bir parçasını oluşturur. Günlük yaşamın akışı içerisinde çocukların oyun oynadığı, hayvanların serbestçe dolaştığı ve köy halkının tarımsal ve sosyal faaliyetlerini sürdürdüğü bu yollar; dar geometrileri, virajlı yapıları ve zaman zaman zorlu geçiş koşullarıyla dikkat çeker. Aynı zamanda köy yolları, yalnızca bir ulaşım işlevi görmekle kalmayıp, kırsal kültürün izlerini, geçmişe dair yaşanmışlıkları ve doğal çevrenin sunduğu estetik değerleri bünyesinde barındıran mekânsal bir bütünlük niteliği taşımaktadır.

2.2.5. Kavşak tipleri

Kavşaklar, yolların keşiştiği noktalarda trafik akışını düzenlemek ve kullanıcı güvenliğini sağlamak amacıyla farklı tiplerde tasarlanmaktadır. Bu kavşak türlerinden biri olan düz kavşaklar, yolların aynı seviyede keşiştiği düzenlemeler olup trafik ışıkları, dur levhaları veya trafik görevlileri aracılığıyla kontrol edilebilmektedir. T-kavşaklar, Y-kavşaklar ve dört kollu

kavşaklar, düz kavşaklara örnek teşkil etmektedir. Yaygın olarak kullanılan bir diğer kavşak türü ise dönel kavşaklardır. Ortasında bir ada bulunan bu kavşaklarda araçlar ada etrafında dolaşarak hareket etmekte, bu düzenleme sayesinde araç hızları düşürülmekte ve çarpışma riski azaltılmaktadır. Dönel kavşaklar, durma sayısının ve gecikmelerin azalmasına katkı sağlaması açısından avantajlıdır. Katlı kavşaklar, yolların farklı seviyelerde inşa edilmesiyle oluşturulan ve genellikle yoğun trafik yüküne sahip bölgelerde tercih edilen kavşak türleridir. Köprüler, alt geçitler ve viyadükler aracılığıyla trafiğin kesintisiz akışı sağlanmaktadır. Kontrollü kavşaklarda ise trafik akışı, sinyalizasyon sistemleri veya dur levhaları yardımıyla düzenlenmektedir. Buna karşılık, özellikle eski yerleşim alanlarında karşılaşılan plansız kavşaklar, yeterli tasarım ve kontrol unsurlarına sahip olmamaları nedeniyle trafik güvenliği açısından risk oluşturabilmektedir. Tüm bu kavşak türleri, trafik güvenliğinin artırılması ve akışın iyileştirilmesi amacıyla mühendislik ilkeleri doğrultusunda geliştirilmekte ve uygulanmaktadır.

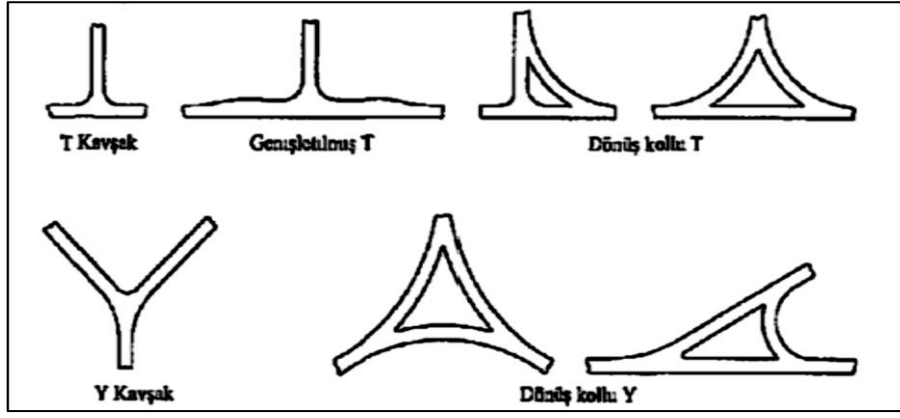
2.2.5.1. Eş düzey hemzemin kavşaklar

2.2.5.1.1. Kol sayısına göre

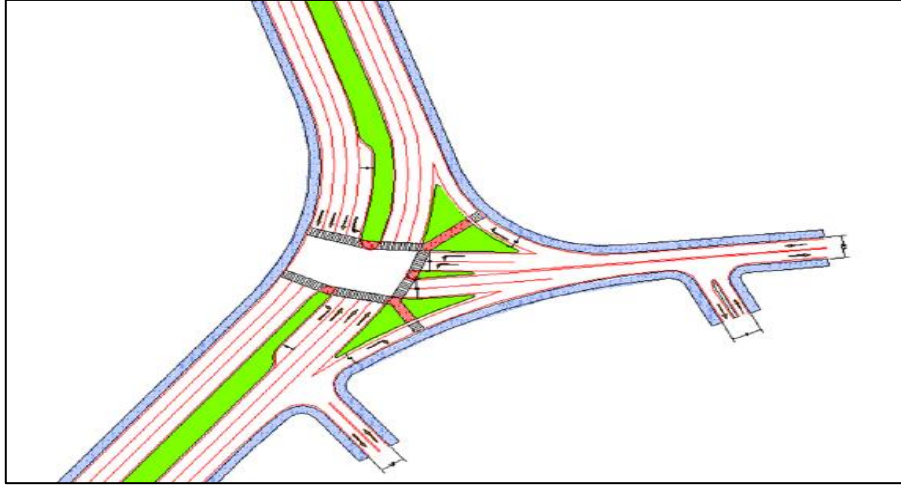
2.2.5.1.1.1. Üç kollu kavşaklar (T veya Y kavşaklar)

Bu grupta yer alan T tipi kavşaklarda tali yolun anayol ile kesişme açısı 60° ile 120° arasında olmalıdır. Kanalize edilmeden, düşük trafik hacimli 2x1 şeritli kırsal yollarda kullanılabildiği gibi, şehir içlerinde 2x2 şeritli yollarda da uygulanabilir. Daha yüksek trafik hacimli anayol - tali yol kesişmelerinde, dönen trafiği kontrol altına almak ve yeterli dönüş yarıçaplarını sağlamak amacıyla kanalize edilerek uygulanır.

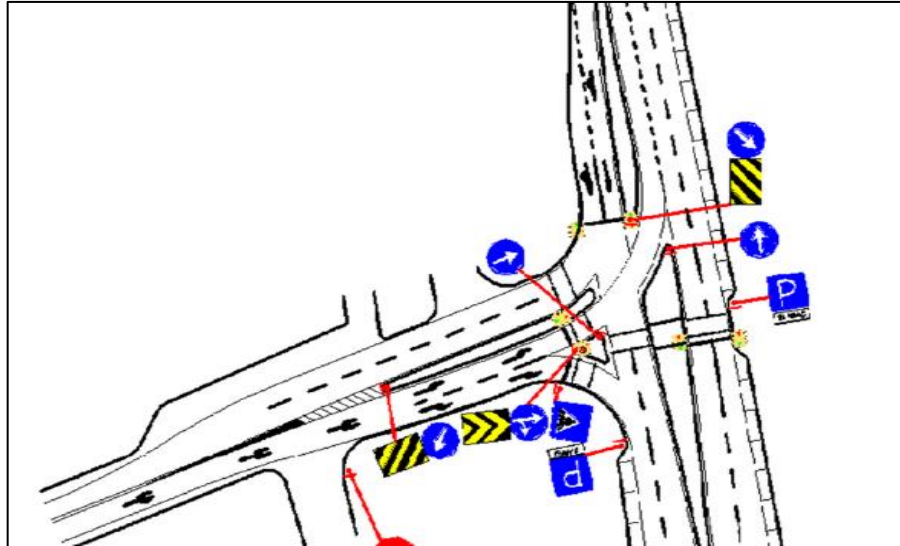
Y tipi üç kollu kavşaklarda anayol ve tali yol kesişim noktası daha dar açıdır. Özellikle tali yolun imar, kamulaştırma gibi nedenlerden dolayı böyle dar bir açıyla şekillendirildiği düşünülebilir. Dar açıyla birleşen bu yollarda anayoldan sola dönecek olan taşıtların ve karşı yönden gelen taşıtların buluşma noktalarında trafik kontrolü ve güvenliğinin sağlanması için ışıklı ikaz sistemleri uygulanmaktadır (Veysel, 2013). Şekil 6' da kavşak tipi örnek modelleri ve Şekil 7-8' de örnek olarak projelendirilen Y ve T Tipi kavşak modeli görülmektedir.



Şekil 6. Kavşak tipleri örnekleri (On Dokuz Mayıs Üniversitesi Kadastro Bilgileri)



Şekil 7. Y Tipi kavşak modeli örneği

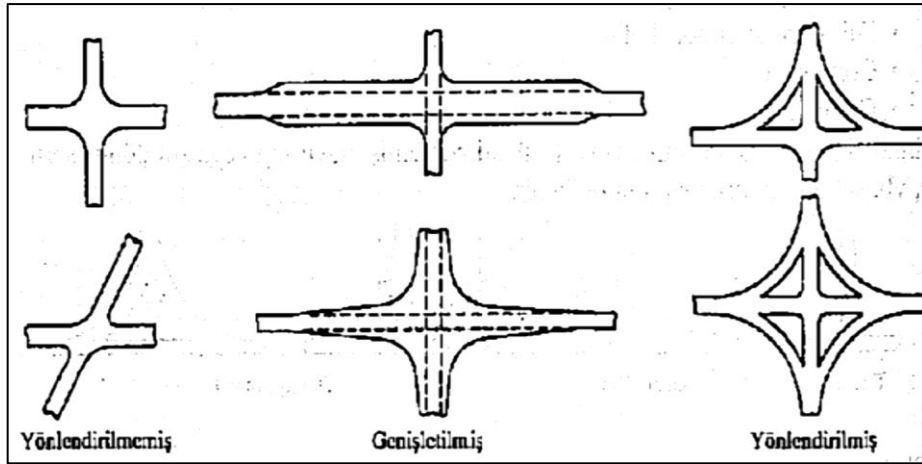


Şekil 8. T Tipi kavşak modeli örneği

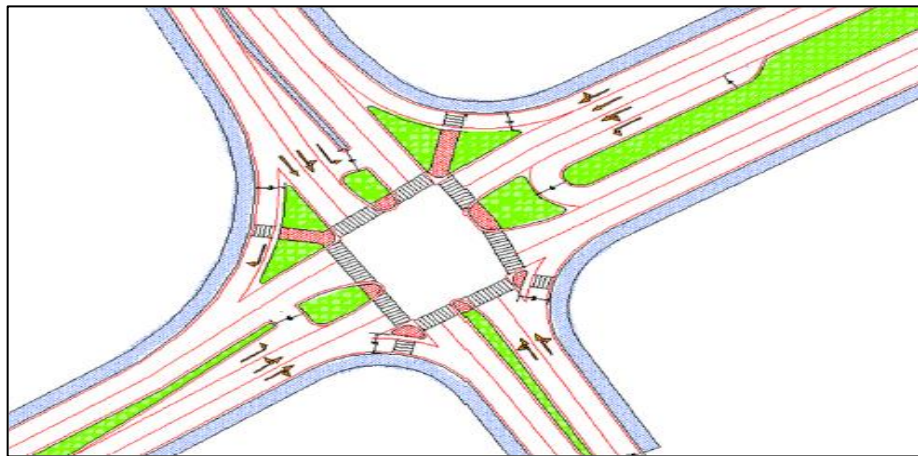
2.2.5.1.1.2. Dört kollu kavşaklar

Dört kollu kavşak, dört farklı yolun bir noktada kesiştiği ve trafik akışının düzenlendiği kavşak türüdür. Bu kavşaklar, genellikle şehir içi ve şehir dışı yollarda yaygın olarak kullanılır ve trafik akışını güvenli ve verimli bir şekilde yönetmek için tasarlanmıştır.

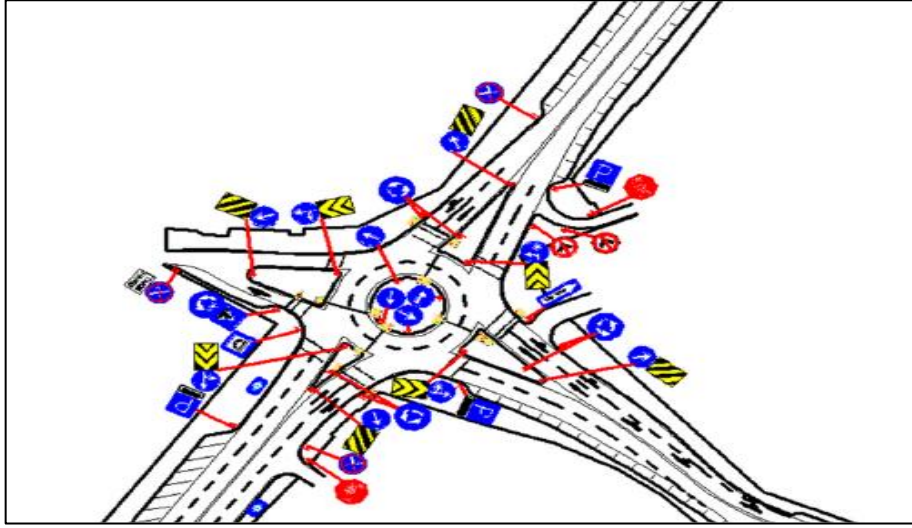
Bu tip kavşaklar dört koldan oluşmaktadır. Şekil 9’ da çeşitli açılara bağlı olarak isimlendirilirler. Kavşak kollarının ikisi diğerlerinin uzantısı şeklindeyse, bunların kesişme açıları 70° ile 105° arasındaysa dört kollu dik açılı kavşak olarak isimlendirilir. Ancak kolların ikisi diğerlerinin takriben uzantısı şeklindeyse ve kesişme açıları 70° den az veya 105° den de fazlaysa dört kollu yatık kavşak olarak değerlendirilir (Veysel, 2013). Şekil 10-11’ de örnek tasarımlar gösterilmektedir.



Şekil 9. Dört kollü kavşak modelleri (Wordpres.com)



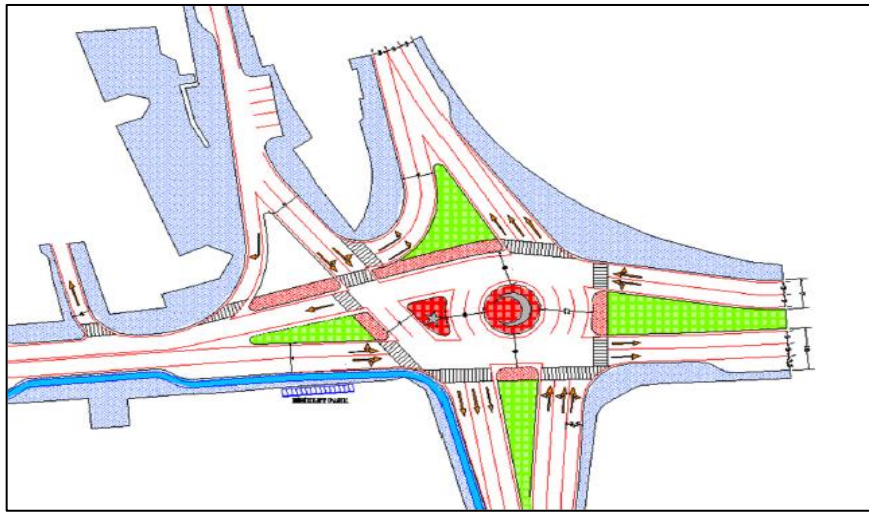
Şekil 10. Dört kollü kavşak modeli örneği



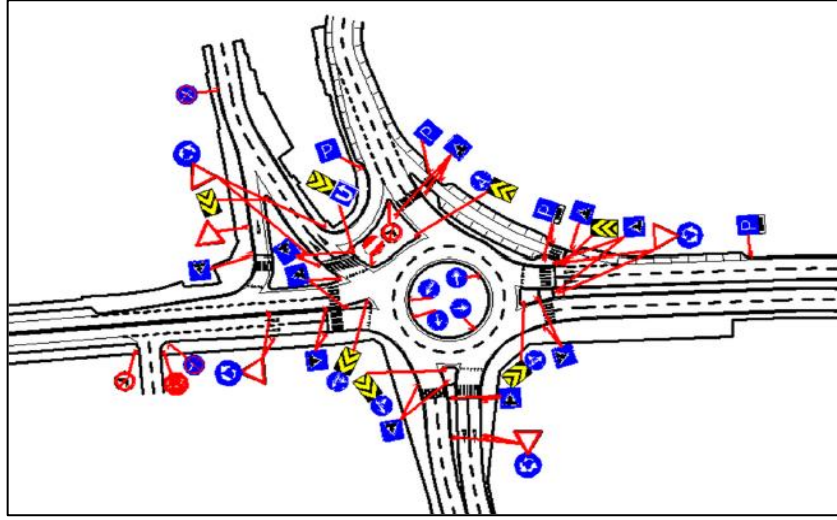
Şekil 11. Dört kollu ve dönele kavşak tipi örneği

2.2.5.1.1.3. Çok kollu kavşaklar

Çok kollu kavşak, birden fazla yol kolunun bulunduğu, trafiğin çeşitli yönlere dağılmasına olanak tanıyan ve genellikle yoğun trafik akışının görüldüğü alanlarda tercih edilen bir kavşak türüdür. Şekil 12-13' te ki gibi kavşaklar, şehir içi ulaşımın karmaşık yapısını düzenlemek amacıyla özenle planlanır; her bir yol kolu, farklı yönlerden gelen araçların güvenli ve kontrollü bir şekilde bir araya gelmesini sağlar. Trafik ışıkları, yön levhaları ve diğer düzenleyici unsurlar, bu kavşağın etkin çalışmasını destekleyerek, olası karışıklıkların ve kazaların önüne geçilmesine yardımcı olur. Böylece, çok kollu kavşaklar, hem araç hem de yaya trafiğinin sorunsuz akışını sağlayacak şekilde tasarlanır.



Şekil 12. Çok kollu kavşak model örneği



Şekil 13. 5 Kollu kavşak tasarım örneği

2.2.5.1.2. Trafik kontrol sistemine göre

Trafik kontrol sistemine göre kavşaklar; Sinyalize Kavşaklar ve Sinyalize Olmayan Kavşaklar olarak ikiye ayrılır.

2.2.5.1.2.1. Sinyalize kavşaklar

Sinyalize kavşaklar, trafik akışını düzenlemek amacıyla sinyal lambaları kullanılarak kontrol edilen bir kavşaktır. Bu tür kavşaklar, sürücülerin ve yaya geçitlerini kullananların güvenli bir şekilde hareket etmelerini sağlamak için tasarlanmıştır. Sinyalize kavşaklarda genellikle üç ana renkli sinyal lambası kullanılır: kırmızı, yeşil ve sarı. Kırmızı ışık, durulması gerektiğini belirtirken, yeşil ışık geçiş izni verir ve sarı ışık, kavşağın değişeceği anlamına gelir; bu durumda sürücülerin durması ya da hazır olmaları gerekir.

Sinyalize kavşakların tasarımı, trafik akışını optimize etmek için çeşitli faktörler dikkate alınarak gerçekleştirilir. Bu faktörler arasında araç yoğunluğu, yaya trafiği, kavşak tipleri ve yolun geometrisi yer alır. Bu kavşaklarda ayrıca, zamanlama sistemleri bulunur ve bu sistemler, trafik akışını en verimli hale getirmek için belirli aralıklarla sinyal değişimlerini ayarlar. Bazı sinyalize kavşaklarda ayrıca, trafik akışını daha da iyileştirmek amacıyla dedektörler ve kameralar kullanılabilir. Bu teknoloji, trafik yoğunluğunu izlemek ve sinyal zamanlamalarını

optimize etmek için veri toplar. Sonuç olarak, sinyalize kavşaklar, hem yayalar hem de sürücüler için güvenli ve etkili bir trafik deneyimi sağlamak için önemli bir role sahiptir.

2.2.5.1.2.2. Sinyalize olmayan kavşaklar

Sinyalize olmayan kavşaklar, trafik akışını düzenlemek için trafik işaretleri veya ışık sistemleri içermeyen, araçların ve yayaların bir arada geçtiği noktalardır. Bu tür kavşaklar genellikle düşük trafik yoğunluğuna sahip bölgelerde veya kırsal alanlarda bulunur. Sinyalize olmayan kavşaklarda, sürücüler ve yayalar dikkatli olmalı ve birbirlerine öncelik verme konusunda özen göstermelidir. Teknik olarak, sinyalize olmayan kavşaklar kavşakların tasarımında, görüş mesafesi, yol geometrisi ve kavşak alanının boyutları gibi faktörler dikkate alınır. Bu kavşak türlerinde öncelik, genellikle ana yolda seyreden araçların olurken, yan yoldan gelen araçların dikkatlice ana yola katılması beklenir. Ayrıca, bu kavşaklar için belirlenen hız limitleri, yol çizgileri ve diğer işaretlemeler, sürücülerin ve yayaların güvenliğini artırmaya yönelik olarak uygulanır. Sinyalize olmayan kavşakların etkili bir şekilde işlemesi için trafikteki herkesin dikkatli ve kurallara uygun bir şekilde hareket etmesi büyük önem taşır. Bunların yanı sıra, yolcu güvenliği açısından, sinyalize olmayan kavşaklar kavşakların araç hızlarının düşürülmesi amacıyla, fiziksel yapılarla (yaya geçitleri, trafikten ayrılmış alanlar gibi) desteklenmesi gerekebilir. Bu durumda, hem sürücüler hem de yayalar için daha güvenli bir geçiş sağlanması hedeflenir.

2.2.5.2. Katlı kavşak (farklı seviyeli kavşak)

Katlı kavşak, trafik akışını düzenlemek ve yoğunluğu azaltmak hedefiyle, farklı katmanlarda inşa edilen yol geçiş sistemidir. Bu tür kavşaklarda yollar aynı seviyede kesişmez; köprüler, tüneller veya viyadükler kullanılarak araçların durmadan ilerlemesi sağlanır. Bu sayede trafik lambalarına olan ihtiyaç azalır, bekleme süreleri kısalmaya ve özellikle kalabalık şehir içi ile şehirler arası yollarda güvenli ve hızlı bir ulaşım olanağı sunulur. Katlı kavşaklar, hem zaman hem de yakıt tasarrufu sağlamaları nedeniyle modern ulaşım planlamasında önemli bir rol oynamaktadır.

Katlı kavşakların tercih edilmesi, bir alandaki mevcut ve gelecekteki araç trafiğinin doğru bir şekilde incelenmesine dayanır. Yoğun trafik yaşanan yerlerde, düz kavşak yapıları zamanla

kapasite yetersizliğinden dolayı sıkışıklık ve gecikmelere sebep olurken, katlı kavşaklar daha fazla kapasite sunarak bu sorunları büyük ölçüde azaltır. İyi bir şekilde tasarlanmış bir katlı kavşak, araçların duraklamadan geçişini sağlayarak kapasiteyi etkin bir biçimde kullanır ve gelecekteki artan trafik taleplerine uyum gösterir. Bu sebeple, katlı kavşakların planlanmasında yalnızca mevcut trafik değil, uzun dönemli kapasite ihtiyaçları da göz önünde bulundurulmalıdır. Kapasite (kavşak seçimi) dikkate alındığında belli bir trafik hacmine kadar eş düzey kavşaklar hizmet verebilirken daha yüksek yoğunluklarda katlı kavşaklara ihtiyaç duyulmaktadır (Camcı, 2019). Şekil 14’ te katlı kavşak modeli örneği görülmektedir.

Katlı kavşakların maliyeti, tercih edilen kavşak türü ve bölgedeki fiziksel şartlar açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Basit köprülü kavşaklar genellikle daha az maliyetli olurken, çok kollu veya çok seviyeli kavşaklar, karmaşık mühendislik çözümleri, geniş alan kullanımı ve ekstra yapısal unsurlar gerektirdiğinden maliyetleri önemli ölçüde artmaktadır. Ayrıca, yerin jeolojik yapısı, kamulaştırma gereksinimi ve viyadük veya tünel ihtiyacı da toplam maliyeti etkileyen faktörler arasındadır. En köklü çözüm kavşağın farklı kotlu kavşak tipinden yapılmasıdır. Ancak, katlı kavşakların büyük yatırım gerektirmesi, kent içi yollarda ve özellikle merkez bölgelerde kavşak için kullanılabilecek alanın sınırlı olması nedeniyle farklı düzeyli kavşakların uygulanması kolay olmamaktadır (Tuncuk vd., 2005). Bu sebeple, kavşak türü belirlenirken yalnızca trafik kapasitesi ve akış avantajlarının değil, aynı zamanda inşaat, bakım ve işletme maliyetlerinin de dikkate alınması, maliyet-fayda analizi yapılmasıyla en uygun seçeneğin tercih edilmesi gerekmektedir.

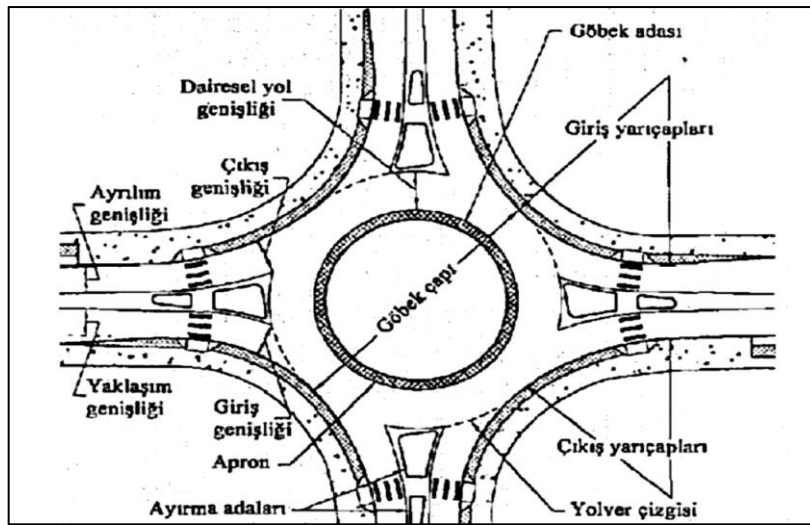


Şekil 14. Katlı kavşak modeli (<https://www.kgm.gov.tr>)

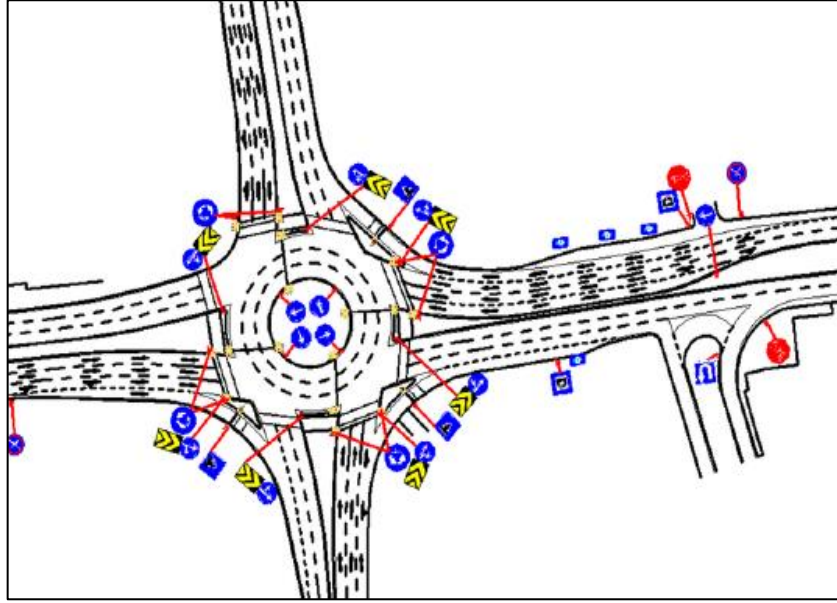
2.2.5.3. Dönel kavşaklar

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 dörtten fazla kollu tasarımları arzu edilmez. Dönel kavşakların kapasitesi, kavşağa giren yolların trafik yoğunluğuna, giriş açılarının durumuna, şerit sayısına ve merkez adanın şekline bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak, dönel kavşaklar, düşük ve orta seviyedeki trafik akışı için etkili ve güvenli bir çözüm sunarken, yoğun trafik durumlarında giriş yollarında beklemeye ve gecikmelere sebep olabilmektedir. Kapasite, özellikle kavşağa giren araçların birbirine yol vermesi gerektiğinden sınırlıdır; bu da düz veya katlı kavşaklarla kıyaslandığında daha az kapasite anlamına gelir. Ancak, uygun tasarımıyla, yeterli şerit düzenlemesi ve doğru sinyalizasyon uygulamaları ile dönel kavşakların kapasitesi yükseltilebilir ve belirli trafik yoğunluklarında etkili bir çözüm sunabilir. Dönel kavşakların uygun geometrik tasarımlarının yapılması durumunda taşıtların hızlarının azalmasından dolayı trafik güvenliği artmakta ancak kapasite bir miktar azalabilmektedir (Erol vd., 2017).

TGP tarafından Haziran 2010 tarihinde hazırlanan “Karayolu Tasarımı Raporu–Modern dönel kavşaklar için tasarım esasları” isimli rapor; modern kavşakların genel tasarımı ve güvenlik performansının kısaca tanımlanması ile Türkiye’deki modern dönel kavşakların tasarım esaslarına ilişkin bir öneri sunulmasını amaçlamıştır (Veysel, 2013). Tasarım esaslarına ilişkin tasarım parametreleri Şekil 15’ te, örnek modelleri de Şekil 16-17’ de verilmiştir.



Şekil 15. Dönel kavşağın geometrisini oluşturan temel tasarım parametreleri (Kadastro Bil.)



Şekil 16. Dönel kavşak tasarım modeli



Şekil 17. Geometrik düzeni farklı dönel kavşak modeli

2.2.6. Kavşak tipi seçimi

Kavşak tipi seçimi, trafik akışını düzenlemek, güvenliği sağlamak ve kullanıcı konforunu artırmak için önemli bir süreçtir. Bu süreçte çeşitli faktörler dikkate alınır. İlk olarak, trafik hacmi ve araç kompozisyonu değerlendirilir. Yol üzerinde hareket eden araç sayısı, yaya trafiği yoğunluğu ve ağır taşıtların oranı, kavşak tasarımında belirleyici rol oynar. Örneğin, trafik yoğunluğunun düşük olduğu bölgelerde kontrollü kavşaklar tercih edilirken, araç hareketliliğinin fazla olduğu noktalarda döner kavşaklar veya katlı kavşaklar kullanılabilir.

Bunun yanı sıra, trafik akış yönü ve hız seviyesi de kavşak seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek hızla seyredilen yollarda, trafiğin kesintisiz akmasını sağlamak için genellikle katlı kavşaklar daha uygun olurken, hızın daha düşük olduğu alanlarda döner kavşaklar tercih edilebilir. Ayrıca, kavşağın yapılacağı bölgedeki fiziksel kısıtlamalar ve alan kullanımını da önemli bir kriterdir. Şehir içinde alanın sınırlı olduğu bölgelerde sinyalize kavşaklar daha pratik bir çözüm sunarken, geniş arazilerde turbo döner kavşaklar etkili bir trafik yönetimi sağlar.

Trafik güvenliği, kavşak tasarımında göz ardı edilmemesi gereken bir başka faktördür. Kaza riski yüksek olan noktalarda, çarpışma ihtimalini azaltacak tasarımlar tercih edilmelidir. Bu gibi durumlarda, mini döner kavşaklar ya da trafik ışıklarının kullanıldığı kavşak sistemleri, güvenliği artırmaya yönelik etkili çözümler sunar. Aynı zamanda, kavşağın bulunduğu bölgenin çevresel ve kentsel yapısı da tasarım üzerinde belirleyici olabilir. Yaya trafiğinin yoğun olduğu kent merkezlerinde, yaya geçişlerini kolaylaştıran kavşak modelleri tercih edilirken, sanayi bölgelerinde ağır taşıtların güvenli hareketini sağlayacak düzenlemeler yapılmalıdır.

Ekonomik faktörler ve inşaat maliyetleri de kavşak tipi seçiminde önemli bir rol oynar. Mevcut altyapıya uygunluk, bakım masrafları ve uzun vadeli sürdürülebilirlik dikkate alınarak planlama yapılmalıdır. Katlı kavşaklar, yüksek maliyetli yatırımlar gerektirirken, kontrollü kavşaklar daha ekonomik çözümler sunar.

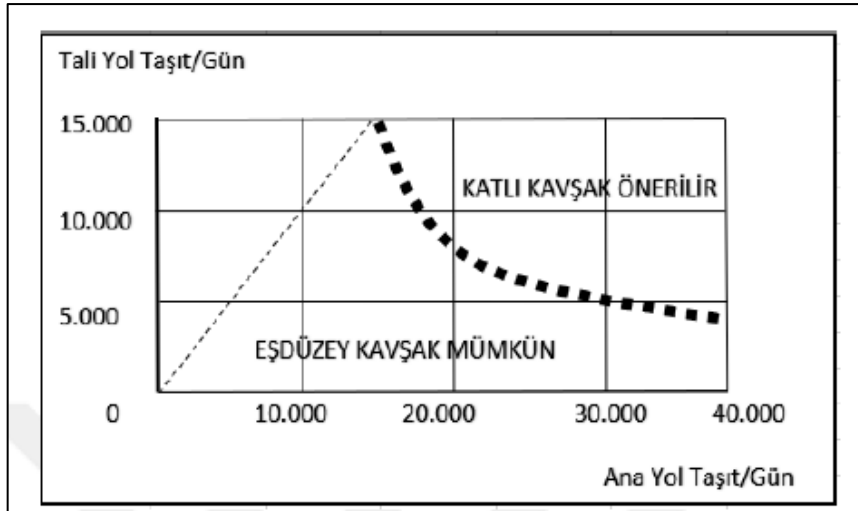
Genel olarak, kavşak tipi seçimi yapılırken trafik yoğunluğu, hız, alan kullanımı, güvenlik, çevresel faktörler ve maliyet gibi unsurlar dikkatlice değerlendirilmelidir. Kavşak tipinin seçiminde güvenlik, ortalama gecikme, arazi şartlarının uygunluğu ve ekonomik etkenler gibi parametreler göz önünde bulundurularak, bu şartlarda en iyi performansı gösterecek olan kavşak tipinin seçilmesi gerekmektedir (Öğütveren, 2019). Kontrollü kavşaklar, döner kavşaklar, katlı kavşaklar, mini döner kavşaklar ve turbo döner kavşaklar, farklı ihtiyaçlara yönelik tasarlanan başlıca kavşak tipleri arasında yer alır. Şekil 18' de kavşak tipi seçim grafiğinde gösterilmiştir.

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 imkânı 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 (Beryan, 2023).



Şekil 18. Kavşak tipi seçim grafiği (Beryan, 2023)

2.2.7. Kavşak geometrisin planlanması

Kavşak geometrisinin planlanması, daha çok makro ölçekteki kararları kapsar. Yani hangi tip kavşağın yapılacağı (dönel, sinyalize, katlı vb.), kaç kollu olacağı, çevredeki yol ağının özellikleri, trafik hacimleri, kapasite ihtiyaçları ve uzun vadeli ulaşım hedefleri gibi stratejik düzeydeki seçimleri ifade eder.

Kavşak geometrisinin planlanması, modern ulaşım sistemlerinin etkinliğini ve güvenliğini artırmada kritik bir rol oynamaktadır. Kavşaklar, araç ve yaya trafiğinin kesişim noktalarıdır ve

bu nedenle doğru tasarım hem kazaları azaltmak hem de akışkan bir trafik sağlamak açısından son derece önemlidir. Kavşak geometrisinin planlanması, çeşitli faktörlerin dikkate alınmasını gerektirir. Bu faktörler arasında yol genişliği, görüş mesafeleri, dönüş yarıçapları, sinyalizasyon sistemleri ve yaya geçitlerinin konumu gibi unsurlar yer almaktadır. Ayrıca, kavşakların trafik yoğunluğu, mevcut ve gelecekteki araç sayıları, bisiklet ve yaya trafiği tahminlerinin yanı sıra çevre faktörleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Uygun bir şekilde tasarlanmış bir kavşak, trafiğin daha seri bir şekilde akmasını sağlayarak bekleme sürelerini minimize ederken, aynı zamanda çarpışma riskini de önemli ölçüde azaltır.

Kavşak geometrisi planlanırken, kavşak türü ve çevresindeki alanın özellikleri de dikkate alınmalıdır. Örneğin, döner kavşaklar, genellikle trafik akışını kolaylaştırmakta ve daha az dur-kalk yaşanmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, yapılan planlamada kavşak çevresindeki yerleşim yapıları, iş yerleri ve sosyal alanlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü bu alanlar, yaya yoğunluğu, bisiklet kullanıcıları ve araç trafiği üzerinde etkili olabilmektedir. Ayrıca, kavşak tasarımında sürdürülebilirlik ilkeleri de ön plana çıkmaktadır. Yeşil alanların oluşturulması, enerji verimliliği ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi, modern kavşak geometrisi planlamalarının temel unsurlarındandır. Sonuç olarak, kavşak geometrisinin planlanması hem trafik güvenliğinin artırılması hem de ulaşım sistemlerinin daha verimli hale getirilmesi adına stratejik bir süreçtir ve bu süreç, mühendislik disiplinlerinin yanı sıra sosyolojik ve çevresel faktörleri de kapsamaktadır.

2.2.8. Kavşak geometrisinin tasarlanması

Kavşakta etkili bir tasarım, trafik akışını güvenli, hızlı ve verimli şekilde idare etmeyi hedefleyen bir planlama sürecidir. İyi bir kavşak tasarımı için öncelikle bulunduğu yerin trafik yoğunluğu, araç çeşitleri, yaya hareketleri, çevresel durumlar ve gelecekteki talep artışları göz önünde bulundurulmalıdır. Geometrik düzenlemelerde ulaşım noktaları, şerit sayıları, görünüş alanları, yarıçaplar ve arazi büyüklükleri doğru bir şekilde belirlenmelidir. Ayrıca, kavşak türü (dönel, katlı, sinyalizasyonlu vb.) mevcut ile gelecekteki kapasite ihtiyaçlarını karşılayacak biçimde tercih edilmelidir. Güvenlik açısından yaya geçitleri, bisiklet yolları, sinyalizasyon ve aydınlatma uygulamaları tasarıma dahil edilmelidir. Özetle, doğru bir kavşak tasarımı, trafik akışını kesintisiz hale getiren, kazaları asgariye indiren, kapasite kullanımını etkinleştiren ve kullanıcıların konforunu ön planda tutan bir yaklaşım gerektirir. Kavşaklar, karayollarında

trafik yoğunluğunun en göze çarptığı yerlerdir. Ancak doğru tasarımın yapılmadığı durumlarda güvenlik sağlamak ve karmaşayı önlemek yerine kazalara neden olabilmektedirler (Sağlık vd., 2020). Kavşakların tasarımında göz önünde bulundurulması gereken en kritik faktör, trafik akışının etkili bir şekilde yönetilmesidir. İyi bir şekilde planlanmış kavşak hem sürücülerin hem de yayaların güvenliğini artırırken, aynı zamanda trafik akışını da düzenler. Ayrıca, çağdaş kavşak tasarımları, ışık sistemleri ve trafik işaretleri gibi unsurlar kullanarak sürücülerin dikkatini çekmekte ve potansiyel tehlikeleri azaltmaktadır. Kavşakların yeterli alan ve uygun geometrik yapılarla donatılmaları gerektiği göz ardı edilmemelidir; aksi halde, araçlar arasındaki mesafe ve görüş açıları olumsuz etkiler görülebilir. Bu nedenle, kavşak tasarım sürecinde mühendislerin trafik akışını inceleyerek en etkili çözümleri bulmaları büyük bir önem taşımaktadır. Her kavşakta yaşanabilecek olası tehlikelerin ve kazaların önüne geçmek için sürekli iyileştirmeler yapılmalı ve mevcut veriler doğrultusunda tasarım güncellenmelidir.

2.2.9. Tasarım kuralları

Kavşak tasarımıyla ilgili kurallar, güvenli ve etkili bir trafik düzeni sağlamak için oluşturulmuştur. Bu kurallar, kavşakların şekil özellikleri, görünürlük, aydınlatma ve yayalarla bisikletlilerin geçiş önceliği gibi unsurları kapsar. Kavşakların boyutları, araçların hareket yeteneği ve hızları dikkate alınarak ayarlanmalı, yeterli bir görüş açısı sunulmalıdır. Ayrıca, trafik yoğunluğu ve araç akışının dinamikleri göz önüne alınarak uygun sinyal sistemleri geliştirilip, gerektiğinde dönel kavşaklar yapılmalıdır. Bu tasarım ilkeleri, kavşakların işlevini artırırken, aynı zamanda trafik kazalarını azaltmaya yardımcı olur.

Kavşaklardaki kazaların nasıl meydana geldiği, o noktadaki sorunların tespit edilmesi bakımından önem taşımaktadır. Ayrıca, kavşaktaki işaretlemelerin gözden geçirilmesi ve eksikliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra, kavşağı kullanan yayaların geçiş güvenliğini sağlamak amacıyla sinyal süreleri ve yaya işaretleri incelenmelidir. Kavşağı kullanan toplu taşıma araçları da kavşak tasarımında dikkate alınmalı ve sinyal süreleri ile dönüşlerin güvenli ve kesintisiz olabilmesi için kavşak çaplarının yeterli boyutta olması sağlanmalıdır. Tüm bu faktörler bir arada değerlendirilerek, tasarımın uzun vadeli bir biçimde gerçekleştirilmesi önemlidir.

Yol en kesitinde trafik şeridi teşkili:

TS 7249 Şehir içi Yollar Boyutlandırma ve Tasarım Esaslarına Standardı (Karayolu Trafik İşaretleme Şehir İçi Yollar Boyutlandırma ve Tasarım Esasları Standartları, 2013). Tasarım kurallarının hız seviyesine ve şerit genişliklerine göre düzenlenmiş hali Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Hıza göre en az trafik şeridi genişlikleri

	A	B	C
Hız km/şerit genişliği(m)	Şerit Genişliği(m)	Araç Genişliği (m)	Yanal Emniyet Mesafesi (m)
50	2,75	2,50	0,125
60	2,75	2,50	0,125
70	3,00	2,50	0,250
80	3,25	2,50	0,375
90	3,25	2,50	0,375
100	3,50	2,50	0,500

Refüj Ayırıcı: Şehir içi bölünmüş yollarda, yol sınıfına ve şerit sayısına bağlı olarak refüj genişliği en az 1,20 m olmalıdır. Refüjün toplu taşıma araçlarına tahsisli yol gibi özel nitelikli taşıtlara ayrılması halinde genişlikleri durak dışında iki yönlü toplu taşıma yolu için en az 7,00 m olmalıdır.

Yol Kenar Çizgisi: Meskûn olmayan alandan geçen 1. ve 2. derecedeki trafik yollarında, yolun her iki tarafında taşıt yolunu belirtmek için 0,20 m, diğer yollarda 0,15 m olarak taşıt yolu yüzeyinden ayrı bir yüzey malzemesi veya yol çizgi boyası ile belirtilmelidir.

Yağmur Suyu Oluğu: Şehir içi 1. ve 2. derecedeki yollarda yağmur suyu (drenaj) oluğu genişliği en az 0,25 m ve en çok 0,50 m olmalıdır. Boyuna eğimi ise % 0,6 - % 5 arası olmalıdır.

Yaya Geçidi Tasarımı: Ts 7635/Kasım 1989 Türk Standardına (Yaya Geçidi Standartları, 1989). Geçitli ayırıcı, yaya ve araç trafiğinin az olduğu yerde birbirini görecek biçimde en az 90 m aralıklarla orta refüjde yaya geçişi için yapılan düzenlemedir. Bu durumda yol genişliği 12,00 m'den az, refüj 1,20 m'den az olmamalıdır.

Otobüs Durak Cebi: TS 11783 Ocak 2014 Türk Standardına göre durak cepleri hız limitine, cep genişliğine, giriş-çıkış boyuna göre cep boyu oluşturulmaktadır (Durak Celeri Standartları, 2014). Otobüs Durak cep ölçüleri; hız, cep genişliği, cep giriş boyu, cep çıkış boyu ve cep boyuna göre Tablo 2’ de belirlenmiştir.

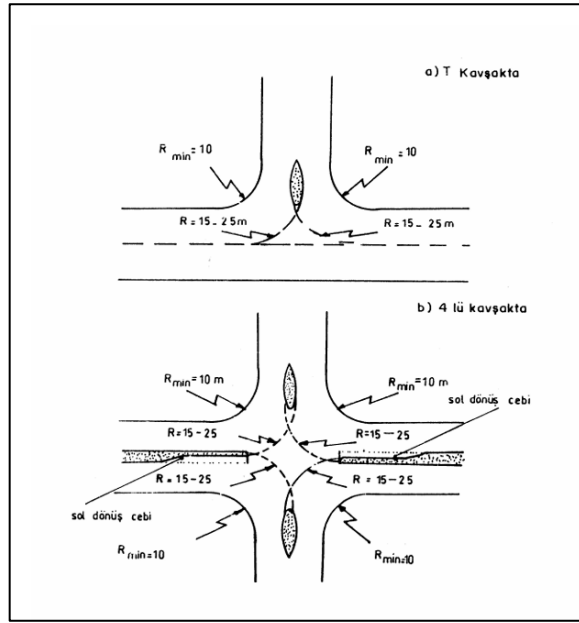
Tablo 2. Otobüs durak cebi ölçüleri

Hız	Cep Genişliği (m)	Cep Giriş Boyu(m)	Cep Çıkış Boyu(m)	Cep Boyu(m)
50	2,5	18	12	18
	2,7	19	13	
	3,0	20	14	
70	3,0	24	18	18

Dönel Kavşak: Dönel kavşak oluşturulması için; günlük servis hacimlerine göre kavşak çapı seçimi yapılır (Kavşak İçi Dönüş Yarıçapları Standartları, 1995). Dönel kavşak tasarım hesapları mini dönel kavşak, şehir içi kompakt kavşak, şehir içi tek şerit, şehir içi çift şerit, kırsal yollar olarak belirlenmiş olup Tablo 3’ te verilmiştir.

Tablo 3. Dönel kavşaklar tasarım esasları

Tasarım Elemanı	Mini Dönel Kavşak	Şehir İçi Kompakt	Şehir İçi Tek Şerit	Şehir İçi Çift Şerit	Kırsal Tek Şerit	Kırsal Çift Şerit
Tavsiye edilen maksimum giriş hızı	25 km/saat	25 km/saat	35 km/saat	40 km/saat	40 km/saat	50 km/saat
Yaklaşım başına maksimum giriş şeridi sayısı	1	1	1	2	1	2
Tipik iç çember çapı	13-25	25-30	30-40	45-55	35-40	55-60
Günlük servis hacimleri	10000	15000	20000	Trafik talebine göre	20000	Trafik talebine göre



Şekil 19. Kavşak içi dönüş yarıçapları (Standartları, 1995)

Park Alanları: Park yeri oluşturmak için; TS 10551/Aralık 1992 standartları gereği bazı tasarım kuralları oluşturulmuştur (Öğütveren, 2019). Şekil 20’ de park etme açlarına göre standartlar aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

PARALEL		$N = \frac{L}{6.7}$	15 adet
30 DERECE		$N = \frac{L - 0.9}{5}$	19,8
45 DERECE		$N = \frac{L - 2}{3.7}$	26,5
60 DERECE		$N = \frac{L - 2}{3}$	32,6
90 DERECE (Yola dik)		$N = \frac{L}{2.6}$	38,5

Şekil 20. Yol kenar parkında park etme şekline göre tercihler (Standartları, 1992)

Taşıtların Tasarım Boyutları: Trafikteki araçların fiziksel özellikleri, kavşak tasarımı için son derece önemlidir. Kavşağın planlanması sürecinde, o kavşağı kullanacak olan farklı araç türleri ayrı ayrı değerlendirilmelidir ve bu araçlar için uygun şerit genişlikleri ile dönüş yarıçapları belirlenmelidir. Ayrıca şehirlerarası yollarda, hatta en büyük araçlara da sığınabileceği anlamda kavşaklar tasarlanmalıdır (Camcı, 2019). Tablo 4’ te bazı taşıtların tasarım boyları verilmiştir.

Tablo 4. Bazı taşıtların tasarım boyutları

Araç	Sembol	Yükseklik	Genişlik	Uzunluk	Minimum Yarıçapı
Otomobil	P	1,3	2,1	5,8	7,3
Kamyon	SU	3,4-4,1	2,4	9,2	12,8
Otobüs	BUS-12	3,7	2,6	12,2	13,7
Körüklü Otobüs	A-BUS	3,4	2,6	18,3	12,1
Treyler(Orta)	WB-12	4,1	2,4	13,9	12,2
Treyler(Büyük)	WB-19	4,1	2,6	20,9	13,7
Treyler(3 Kasalı)	WB-20D	4,1	2,6	22,4	13,7
Treyler	WB-33D	4,1	2,6	34,8	18,3
Karavan	MH	3,7	2,4	9,2	12,2
Karavan+Bot	MH/B	3,7	2,4	16,2	15,2
Traktör	TR	3,1	2,4-3,1	4,9	-

Ülkemizde taşıt boyutlarının belirlenmesinde Karayolları Trafik Yönetmeliği’nin 128. maddesinde belirtilen ölçüler dikkate alınmalıdır. Madde 128: Karayollarında seyreden araçların yüklü ve yüksüz olarak uyacakları boyutların ve bu araçların karayolu yapısına zarar vermeden güvenle seyredebilecekleri belirtilen şartlara uygun olması zorunludur (Genç, 2018).

2.2.10. Aimsun yazılım programı

Aimsun simülasyon sistemleri, trafik ve ulaşım analizleri yapmak amacıyla geliştirilmiş bir yazılım platformu olarak dikkat çekmektedir. Kullanıcı dostu bir arayüze sahip olması, karmaşık trafik senaryolarını modelleme ve çeşitli senaryoların etkinliğini değerlendirme imkânı sunmaktadır. Aimsun, hem dinamik hem de statik simülasyon tekniklerini entegre ederek, gerçek zamanlı veri entegrasyonu ile mevcut durumun analizini sağlamaktadır. Böylece şehir plancıları ve ulaşım mühendisleri, öncelikle yol güvenliği gibi pek çok faktörü dikkate alarak süreklilik arz eden iyileştirmeler gerçekleştirebilmektedir.

Yazılım, simülasyon süreçlerini daha erişilebilir hale getirirken, aynı zamanda kapsamlı veri analiz araçları da sunmaktadır. Aimsun sayesinde, kullanıcılar trafik akışını, yol kapasitelerini

ve yol kullanıcılarının tutumlarını ayrıntılı bir biçimde değerlendirebilir; bunun yanında makro ve mikro düzeydeki trafik dinamiklerini takip ederek daha verimli çözüm önerileri geliştirme imkânına sahip olurlar. Aimsun'un çok yönlü yapısı, karmaşık ulaşım sistemlerinin anlaşılmasını sağlarken, bu sistemlerin daha sürdürülebilir hale gelmesi için önemli bir kaynak niteliği taşımaktadır. Simülatörlerin çoğu, araçların davranışını modellemek için araç takip etme, şerit değiştirme ve boşluk kabul modelleri ailesine dayanmaktadır. Yani araçlar, araçlar arasındaki etkileşimleri ve geometrik koşulları ve trafik kontrolünü dikkate alarak davranışlarını ayarlar (Giannakosa vd., 2021).

Simülasyon modelleri, kullanılan parametreler ve yaklaşımlar açısından farklılık gösterir. Bugün, Aimsun, Mitsim, Paramics ve Vissim en çok kullanılan mikro simülasyon yazılımlarıdır. Aimsun güvenli mesafe modeli, Mitsim GHR modeli, Paramics Fritzsche modeli ve Vissim ise psiko-fiziksel araç takip modeli esas alınarak geliştirilmiştir (Camcı, 2019).

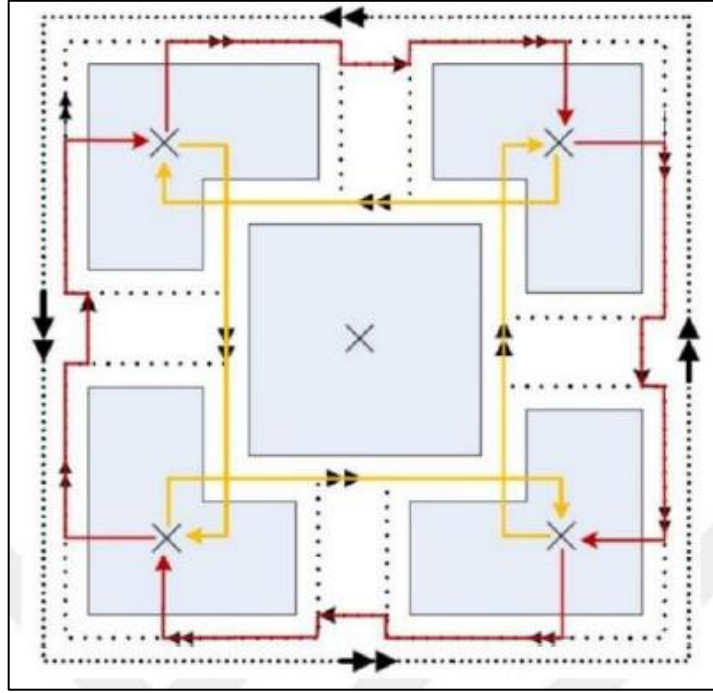
2.2.11. Yön çalışmaları

Ulaşımında yönlendirme faaliyetleri, trafik akışını kontrol etmek ve güvenliği artırmak açısından oldukça önemlidir. Trafik sorunlarının çözümünde dikkate alınan unsurlardan biri de tek yönlü ve çift yönlü sistemlerdir. Tek yön ve çift yön sistemlerin avantaj ve dezavantajları uzun yıllardır araştırılmaktadır ve tartışılmaktadır (Acar, 2007). Tek şeritli yolların ring yolu sistemleri ile birleştirilmesi, araçların daha düzenli ve etkili bir şekilde hareket etmesini sağlayarak trafik sıkışıklığını azaltır. Bu tür düzenlemeler, sürücülere net bir yön verirken, karşıt yönlerdeki araçların çarpışma olasılığını da düşürür. Ring yollar, şehir içindeki ulaşımı daha akıcı hale getirirken, yolculuk sürelerinin kısalmasına da yardımcı olur. Ayrıca, bu sistemlerin bir araya getirilmesi sürdürülebilir ulaşım politikalarına da katkıda bulunmaktadır. Şekil 21' de ring oluşturulmuş yön bağlantısı verilmiştir.

Tek yönlü yolların oluşturulması, kazaların ve trafik sıkışıklığının azaltılması bakımından oldukça yararlıdır. Sürücüler için daha az karmaşa yaratması ve yönlendirme işaretlerinin daha verimli olmasına olanak tanınması, trafik akışını kolaylaştırır. Ayrıca, bisikletler ve yaya geçişleri gibi alternatif ulaşım yollarının da göz önünde bulundurulması, tek yönlü sistemlerin tasarımında tüm kullanıcıların güvenliğini artırır. Sonuç olarak, ulaşımında yönlendirme

alışmasının etkili bir şekilde hayata geçirilmesi, şehirlerin ulaşım alt yapısının etkinliğini ve güvenliğini önemli ölçüde geliştirmektedir.

Tek yön yöntemi uygulandığında, yolların başlangıç ve bitiş noktaları, kavşak, arazi kullanım sorunları, ana arterlerin uzunluğu ve alt arterler dikkate alınmalı ve tek yönlü yöntemin kullanılması mümkün olabilir (Alızadeh, 2019).



Şekil 21. Ring oluşturulmuş yön bağlantısı (Alızadeh, 2019)

2.2.12. Sinyalize sistem

Sinyalizasyon sistemleri, ulaşım ağlarının verimliliğini artırmada önemli bir işlev üstlenmektedir. Bu yapılar, çeşitli sinyallerin (ışık, ses veya elektronik) etkin bir şekilde kullanılmasıyla araçların akışını kontrol eder. Mesela, trafik lambaları ve yol levhaları, sürücülere zamanında bilgiler sunarak, hızlanma, durma ve yön değiştirip değiştirmeme gibi seçimler yapmalarını destekler. Bunun yanı sıra, sinyal sistemlerinin ayarları, yoğun dönemlerde trafik akışını en iyi şekilde sağlamak amacıyla programlanabilmektedir. Gelişmiş algılama sistemleri, yol kullanıcılarının davranışlarını inceleyerek sinyal sürelerinin aktif bir şekilde düzenlenmesini mümkün kılar. Bu sayede, yoğunluk ve kazaların azaltılmasına yardımcı olur.

Sinyalizasyon sistemlerinin bir diğer kritik yönü, iletişim ve entegrasyon teknolojilerinin kullanılmasını içermektedir. Akıllı ulaşım sistemleri aracılığıyla, trafik sinyal altyapısı ile araçlar arasında veri akışı sağlanabilir. Bu durum, sürücülere gelecekteki trafik koşullarıyla ilgili bilgi edinme imkânı verirken, merkezi kontrol sistemlerinin durumu anlık olarak takip etmesine olanak tanır. Böylelikle hem toplu taşıma araçlarının hem de bireysel araçların rotaları daha verimli hale gelir.

3. YÖNTEM

3.1. Materyal

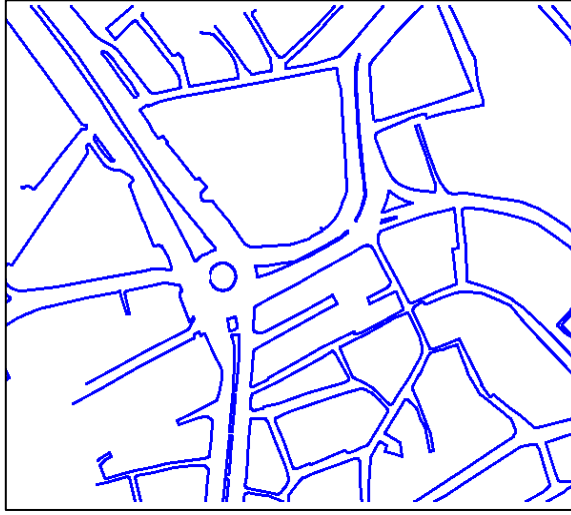
3.1.1. Stratejik konum ve mevcut durum analizi

Şehir merkezleri, çağdaş kentsel alanların karmaşık ve sürekli gelişen çerçeveleri içinde önemli yolların kesişme noktalarında yer alan belirlenmiş konumlardır. Bu merkezler hem yerel hem de bölgesel trafiğin yanı sıra ticari faaliyetler, sosyal etkileşimler ve kültürel etkinliklerin odak noktaları olarak hizmet verdikleri için önemlidir. Önemli merkezlerin, kritik yolların ve bölgelerin kesişimleri arasına kurulduğu görülmektedir. Karayolu ağları illerin sınırlarından geçmekte ve kent merkezleri önemli yolların kesişimleri arasında konumlanmaktadır. Bu oluşum sosyo-ekonomik yapıyı doğrudan etkilemektedir. Kritik kesişim yollarının ulaştığı bölgelerin gelişmişlik düzeyini artırması kaçınılmaz bir gerçek olmaktadır (Sesli, 2017). Bu çerçevede, ulaşım şebekelerinin merkezlerde yoğunlaşması sadece mekânsal hareketliliği kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda ekonomik dinamizmin de önemli bir belirleyeni olmaktadır. Özellikle kritik kavşaklarda yoğunlaşan ulaşım yoğunlukları, ticari kuruluşların, hizmet alanlarının ve sosyal muhitlerin gelişimini destekleyerek kentsel büyümeyi hızlandırmaktadır. Bu durum, şehir merkezlerinin cazibe noktaları haline gelmesine ve çevre alanlardaki yerleşimlerin de bu merkezlerle kurduğu bağlar aracılığıyla ekonomik ve sosyal gelişim göstermesine olanak tanımaktadır.

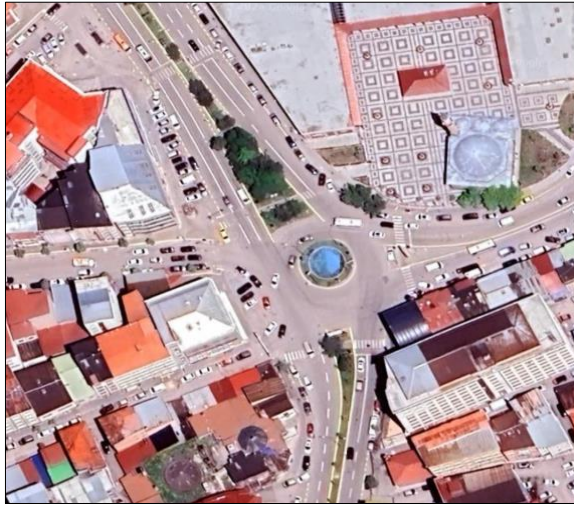
Kavşaklar, sadece çeşitli ulaşım yollarının buluşma noktaları değil, aynı zamanda şehir içindeki hareketliliğin ve mekân düzeninin ana etkenlerindedir. Bir kavşağın etkinliği, yalnızca tasarım şekline veya araç geçiş kapasitesine bağlı değildir; çevresindeki alan kullanımları, yaya faaliyetleri ve ticari ile sosyal alanlarla olan ilişkisi de kavşağın başarısını doğrudan etkileyen unsurlardır. Özellikle yoğun nüfus barındıran yerleşim alanlarında yer alan kavşaklar, çevre yapısıyla birlikte düşünüldüğünde hem trafik akışının etkinliği hem de şehir yaşam kalitesi bakımından daha sürdürülebilir alternatifler sunabilir. Kavşakta yapılacak değişimler sadece belli bir gruba değil, kavşağı kullanan araç ve yayaların tamamına fayda sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Kavşak alanı, yakın çevresiyle birlikte değerlendirilmelidir (Yetgin, 2020). Ayrıca kavşak tasarım çalışması uzun vadeli olarak düşünülmeli ve ileriki zamanlara da uygun olarak tasarlanmalıdır. Bu sebeple çalışma yapılacak bölgenin Nazım Planının incelenmesi de

oldukça büyük önem taşımaktadır. Kavşaktaki sorunun eksiksiz tespit edilebilmesi için kavşak sayımları yapılmalı, kavşaktaki sinyalizasyon sistemleri incelenmeli ve değerlendirilmeli, kavşakta meydana gelen kazalar ve kazaların oluşma şekli incelenmelidir. Çevredeki işyeri sahipleri, kavşağı kullanan yaya ve sürücülerle görüşmeler, anketler vs. yapılarak ön bilgi toplanmalıdır. Trafik akışlarının yönetiminde en önemli unsur, sistemin ve sonuçta ortaya çıkan trafik verilerinin kapsamlı bir şekilde hazırlanmasıdır. Bu verileri oluştururken öncelikle sayım, yönlendirme ve hız incelemeleri gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalara ek olarak, son üç yılın kaza istatistikleri değerlendirilmeli, eldeki bu veriler yardımıyla yeni önerilerin doğruluğu kanıtlanmaya çalışılmalıdır (Acar, 2007). Kavşakta farklı akımların yönü, yayaların hareketleri, araç türleri, arazi koşulları ve zaman içindeki trafik durumu tespit edilmelidir. Arazinin topoğrafik özellikleri ve mevcut durumla ilgili ölçümler gerçekleştirilmelidir. Kavşak alanı içerisinde bulunan ağaç, direk vs. proje üzerine işlenmelidir. Zorunlu bir durum olmadıkça istimlak uygulamalarına gidilmemelidir (Yetgin, 2020).

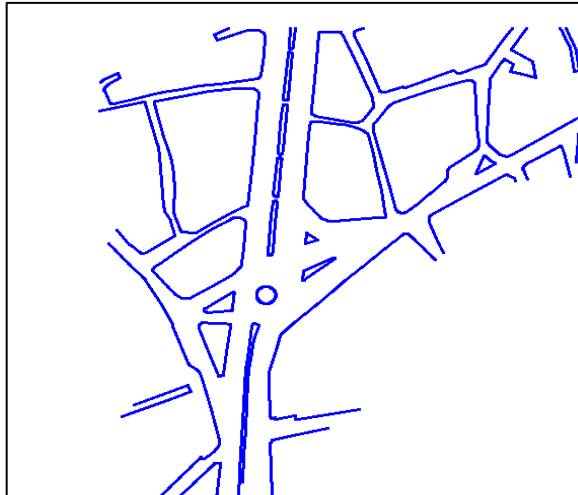
Erzurum kent merkezinde nüfusun artması ile birlikte insan ihtiyaçları da artmaktadır. Daha fazla alternatif yollara, daha geniş yol şeritlerine, park alanlarına, yaya yollarına ve hatta daha çok toplu ulaşım araçlarına olan ihtiyaç artmaktadır. Hatta daha da ötesi her bir haneye düşen araç sayısında bile artış meydana gelmektedir. Bu artışla birlikte kavşaklarda büyük bir yoğunluk olmaktadır. Bu araştırma kapsamında Erzurum kenti içerisindeki kavşaklarda bu yoğunluğu çözmek ve trafikteki ulaşım ihtiyacı karşılayabilmek için Erzurum'un en gözde ve Turistik bölgesi olan Gürcükapı Kavşağı ve Taşhan Kavşağı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Osmanlı döneminde Gürcükapı ve Taşhan Erzurum'un ticaret hayatında önemli bir merkezdi. Bölge, özellikle ticaret kervanlarının ve yerel tüccarların yoğun olarak geçtiği bir bölgeydi. Erzurum'un bu dönemki ticaret hayatının kalbinin attığı yerlerden biri olan Gürcükapı ve Taşhan, çeşitli zanaat ve ticaret erbabının da faaliyet gösterdiği bir alandı. Zamanla kapının etrafındaki bölgede de çarşılar ve dükkânlar kurulmuş, bu da bölgenin önemini artırmıştır. Günümüzde de yoğunluğunu hala sürdüren bölge gerek ticari olarak gerek turistik bölge olarak önemini korumaktadır. Ayrıca Erzurum'un ana caddesi olan Cumhuriyet caddesine bağlantı kavşağı olması açısından önem teşkil etmektedir. Mevcut durumun uydu görüntüsü Şekil 23-25' te Autocad görüntüsü de Şekil 22-24' de gösterilmiştir.



Şekil 22. Gürcükapı kavşağı mevcut durum hali hazır



Şekil 23. Gürcükapı kavşağı mevcut durum (Google Earth)



Şekil 24. Taşhan kavşağı mevcut durumu hali hazır

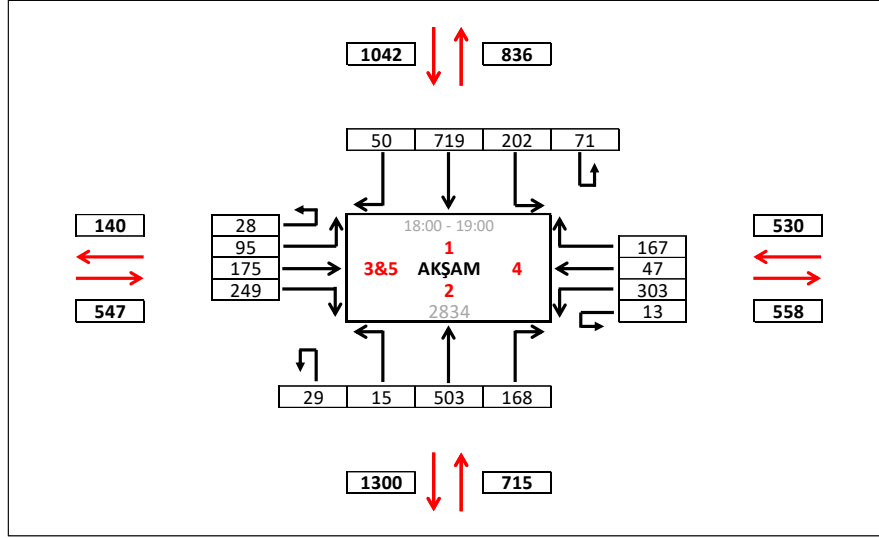


Şekil 25. Taşhan kavşağı mevcut durumu (Google Earth)

3.1.2. Sayımlar

Doğru analizlerin yapılması ve sağlıklı çözümlerin üretilmesi doğru veri elde etmek ile olmaktadır. Toplanan veriler, araştırmanın temel dayanağını oluşturmakta ve işlenerek anlam çıkarmada, problemin çözümünü sağlayacak sonuçlara varmada kullanılmaktadır. Her çalışma elde edilecek sağlıklı verilere dayanmak zorundadır. Doğru analizleri elde edebilmek için Ulaşım Daire Başkanlığı Ulaşım Planlama Şube Müdürlüğü Ulaşım Master planı verileri Tablo 5-6-7-8’ de kullanılarak analizler yapılmıştır. Sayımlar pik saat olarak sabah 8:00-9:00 saat dilimleri arasında, öğlen 12:00-13:00 saat dilimleri arasında, akşam 17:00-18:00 saat dilimleri arasında yapılmış ve en kalabalık ve en pik saatler arası akşam saati seçilmiştir. Tabloların okunabilirliğini arttırmak ve kullanım kolaylığı sağlamak için özet gösterimler olarak nitelendirilebilecek matris ve şema gösterimleri hazırlanmıştır. Kavşak sayımları sonucunda oluşturulan matris ve şemalar aşağıda gösterilmektedir.

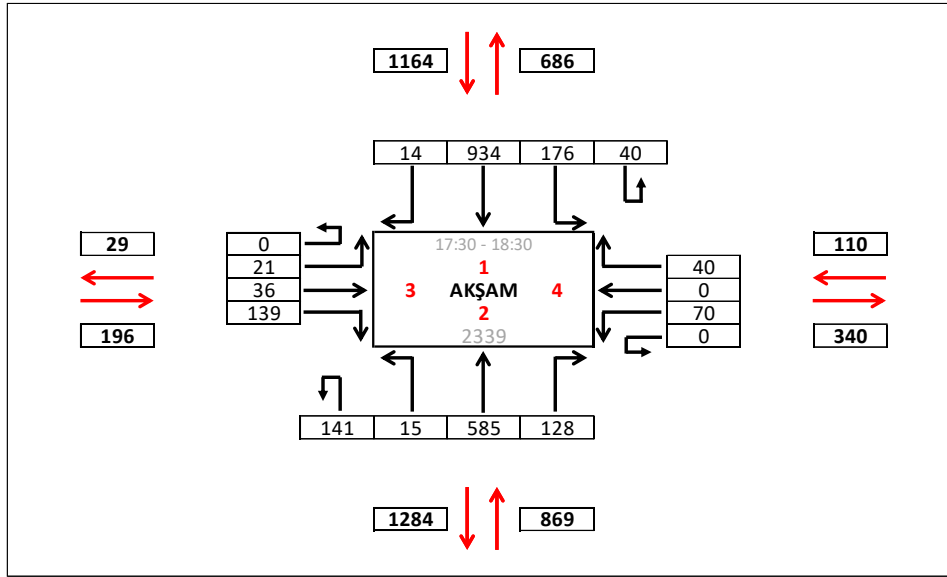
Tablo 5. Gürcükapı kavşağı sayım matrisi



Tablo 6. Gürcükapı kavşağı sayım tablosu

	1	2	3	4	5	Genel Toplam
SABAH	557	963	1	476	120	2117
1	58	560	0	182	43	843
2	348	16	1	166	18	549
3	65	205	0	122	35	427
4	85	182	0	6	24	297
5	1	0	0	0	0	1
ÖĞLE	760	1160	0	524	103	2547
1	84	654	0	213	26	977
2	456	14	0	170	19	659
3	83	220	0	131	21	455
4	136	272	0	10	37	455
5	1	0	0	0	0	1
AKŞAM	836	1300	0	558	140	2834
1	71	719	0	202	50	1042
2	503	29	0	168	15	715
3	95	249	0	175	28	547
4	167	303	0	13	47	530
5	0	0	0	0	0	0

Tablo 7. Taşhan kavşağı sayım matrisi



Tablo 8. Gürcükapı kavşağı sayım tablosu

	1	2	3	4	Genel Toplam
SABAH	555	921	46	319	1841
1	19	677	13	184	893
2	504	150	32	113	799
3	21	73	0	22	116
4	11	21	1	0	33
ÖĞLE	646	1162	23	313	2144
1	51	836	15	178	1080
2	534	148	7	98	787
3	27	110	0	36	173
4	34	68	1	1	104
AKŞAM	686	1284	29	340	2339
1	40	934	14	176	1164
2	585	141	15	128	869
3	21	139	0	36	196
4	40	70	0	0	110

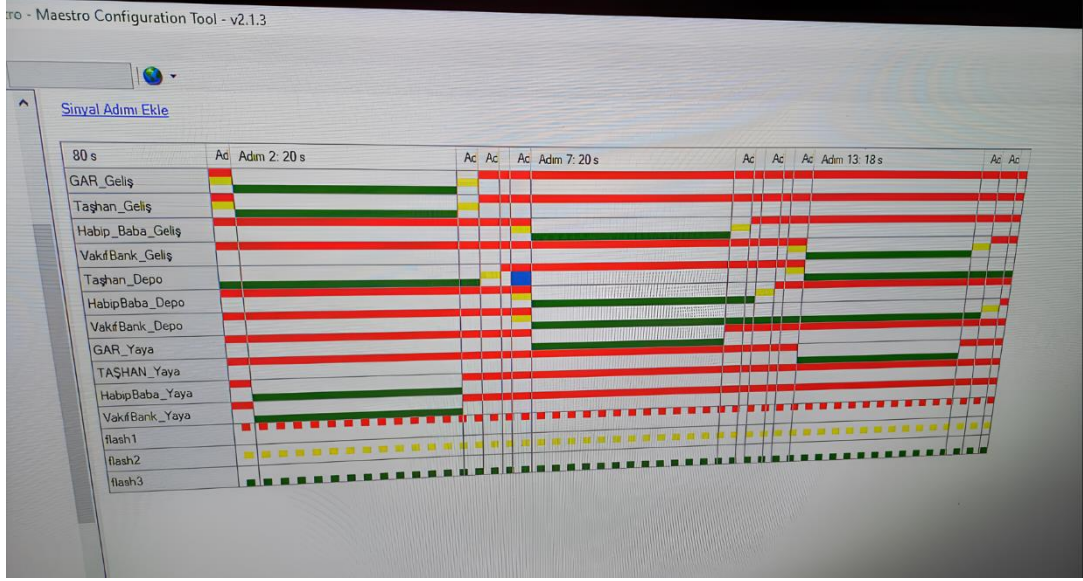
3.1.3. Sinyalize durum sistemi

Kent içindeki ulaşım sistemlerinin verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmesi, yalnızca yol ağına yönelik fiziki değişikliklerle sınırlı değildir; bunun yanı sıra trafik akışının dinamik yapısına uygun kontrol stratejilerinin geliştirilmesi de gereklidir. Bu çerçevede, tek yönlü trafik düzenlemeleri gibi yapısal önlemlerin yanı sıra, özellikle sinyalizasyonu bulunan kavşaklarda uygulanan trafik kontrol teknikleri, ulaşım sisteminin etkinliğini doğrudan etkileyen önemli faktörler arasında bulunmaktadır.

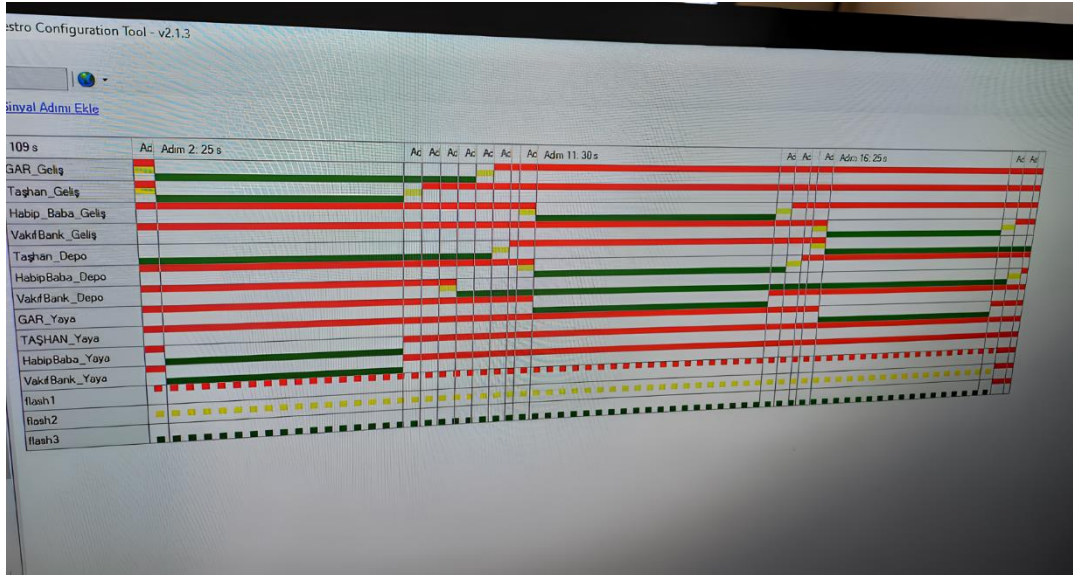
Trafik denetimi ve yöntem planlarını oluşturma, uygulama ve geliştirme süreci, zamanla değişen trafik düzenlerinin öngörülmesine ve kavşakların kesintisiz çalışmasının temin edilmesine dayanmaktadır. Bu süreçte, özellikle araç sayılarını etkileyen değişimler, trafik akışlarının zaman dilimlerine göre farklılıkları ve kavşakların fiziksel özellikleri göz önünde bulundurularak uygun kontrol senaryoları yaratılmaktadır. Amaç, sadece anlık trafik sorunlarına çözüm bulmak değil, aynı zamanda uzun vadeli bir sistem verimliliği sağlamaktır. Trafik kontrol işleminin temel unsurlarından biri olan trafik sinyal düzeni, kavşaktaki araç hareketlerinin trafik yoğunluğu, operasyonel gereksinimler ve mekânsal yapısı göz önünde bulundurularak oluşturulmaktadır. Sinyal düzenlemesi, sürücü ve yaya güvenliğini artırmayı, hareket sürelerini en iyi hale getirmeyi ve kavşaklarda meydana gelebilecek gecikmeleri asgariye indirmeyi amaçlamaktadır. Bu çerçevede, birçok araştırmada kavşak bazında performans değerlendirmeleri yapılmakta ve farklı sinyal zamanlama senaryoları ile iyileştirme çözümleri geliştirilmektedir.

Nitekim, izole edilmiş bir kavşak için optimum sabit zamanlı sinyal planını bulma sorunu, literatürde genellikle kavşağın hizmet verdiği tüm trafik hareketlerinin toplam gecikmesini, kuyruk uzunluklarını veya durma sayılarını en aza indirmeyi; ya da kavşağın toplam kapasitesini en üst düzeye çıkarmayı amaçlayan optimizasyon problemleri olarak tanımlanmaktadır (Papatzikou vd., 2018). Bu çerçevede geliştirilen sinyal planları, belirli bir süre için sabit kalan faz sürelerine dayanmakla birlikte, bu sürelerin kavşak koşullarına göre dikkatle belirlenmesi gerekmektedir. Aksi halde, trafik akışında düzensizlikler ve gereksiz beklemler ortaya çıkabilmektedir.

Özellikle sabit zamanlı sinyal sistemleri kullanıldığında, farklı gün ve saatlerde değişkenlik gösteren trafik hacimlerinin dikkate alınarak planların düzenli aralıklarla gözden geçirilmesi gereklidir. Ayrıca, sinyal planlarının diğer trafik yönetim stratejileriyle, örneğin tek yön uygulamalarıyla, bir bütün olarak değerlendirilmesi ulaşım sisteminin genel verimliliğini artırmak için önemlidir. Bu kapsamlı yaklaşım, trafik mühendisliği uygulamalarının daha faydalı sonuçlar vermesine yardımcı olurken, aynı zamanda şehir içi ulaşımında kullanıcı tatminini artırma konusunda da katkı sağlar.



Şekil 26. Gürcükapı-Taşhan Kavşakları sabah ve öğlen saatleri sinyalizasyon uygulaması(Maest.)



Şekil 27. Gürcükapı-Taşhan Kavşakları akşam saatleri sinyalizasyon uygulaması (Maestro)

Arazi koşulları veya yolların güzergâhına bağlı olarak dönel kavşağın kullanılması mümkün olmayan alanlar olabilir. Kavşağın, koordine olarak çalışan bir grup kavşağın bir parçası halinde olması veya sinyalize kavşakların yaygın olarak kullanıldığı bir bölgede olması durumunda sinyalize kavşak seçimi göz önünde bulundurulmalıdır (Öğütveren, 2019).

Ulaşım Daire Başkanlığı Trafik ve Sinyalizasyon Şube Müdürlüğü ulaşım sayım verilerine göre Maestro yazılım programı Şekil 26-27' de (Sinyal Yazılım Programı) kullanılmaktadır. Mevcut durumun gerçek durumu yansıtması adına maestro yazılım programının akşam saati olarak kullanılan sinyal süreleri kullanılmıştır.

Tablo 9. Taşhan Kavşağı akşam saatleri sinyal grubu

Işık Süreleri	Başlangıç	Yeşil	Başlangıç	Yeşil
Gar Gelişi	2	33		
Taşhan Gelişi	2	25		
Habib Baba Gelişi	42	30		
Vakıfbank Gelişi	79	25		
Taşhan Depo	0	37	79	30
Habib Baba Depo	42	32		
Vakıfbank Depo	33	73		

Yeşil Işık süresi 2 sn ye, toplam periyot 109 sn ye olarak verilmiştir. Gar gelişi ve Taşhan Kavşağı birlikte çalıştırma işlemi gerçekleştirilmiş fakat aksam saati uygulamasında Gar gelişinin daha yoğun olmasından kaynaklı yeşil ışık süresi 33 sn ye olarak tutulmuştur ve Tablo 9' da olduğu gibi uygulamada bu şekilde ele alınmıştır.

4. BULGULAR

Kavşak ölçümleri, sahada nokta alımları yapılarak Autocad yazılımında modellenmiş ve ölçümlerdeki mevcut değerler kullanılmıştır. Mevcut durum değerlendirilirken, kavşaklarda geometrik düzensizlikler, park yeri eksiklikleri, çift sıra parklar, şerit dışı atık kenarlar, yayaların güvenliğini tehdit eden yaya geçitleri eksiklikleri, mevcut yaya geçitlerinin mesafelerinin çok yakın veya uzak olması, kavşak geometrisinin dönel kavşak şartlarına uymaması, dönüşlerin depolama alanını karşılamaması, adaların standartlara uygun olmaması,

orta refüjlerin refüj standartlarını karşılamaması, otobüs duraklarında yaşanan karmaşıklıklar, yönlerdeki karmaşıklıklar ve körüklü otobüsler için uygun durak yerlerinin olmaması gibi sorunlar tespit edilmiştir.

Gürcükapı Kavşağı, 2*2 modeline rağmen Ayaz Paşa ve Habip Baba Caddeleri, mevcut yapı ve şerit genişliği nedeniyle tek şeritli olarak çalışmaktadır. Ayaz Paşa Caddesi'nden giren araçlar, Habip Baba Caddesi üzerinden Gürcükapı Caddesi ve Kongre Caddesi'ne ilerlemektedir. Oluşturulan senaryolar kapsamında Gürcükapı Kavşağı'ndaki yoğunluğun azaltılması hedeflenmiş ve Habip Baba Caddesi ile Ayaz Paşa Caddesi'nin yönü bir ring oluşturacak şekilde yeniden düzenlenmesi planlanmıştır.

Tek yönlü yol uygulaması gerçekleştirilirken, yolların başlangıç ve bitiş noktaları, kavşaklar, arazi kullanımı sorunları, ana arterlerin uzunluğu ve alt arterler göz önünde bulundurulmalıdır (Alizadeh, 2019). Düzenli bir ağ yapısına sahip olan kentlerde tek yönlü yol uygulamaları başarılı olabilmektedir. Ancak, eğer yollar arasındaki mesafeler çok fazla ise ya da eski şehir merkezlerinde olduğu gibi düzensiz bir yol ağı mevcutsa, tek yönlü uygulamalar araçların gereksiz yere dolaşmasına yol açarak trafik hacmini artırabilmektedir (Gedizlioğlu, 2004).

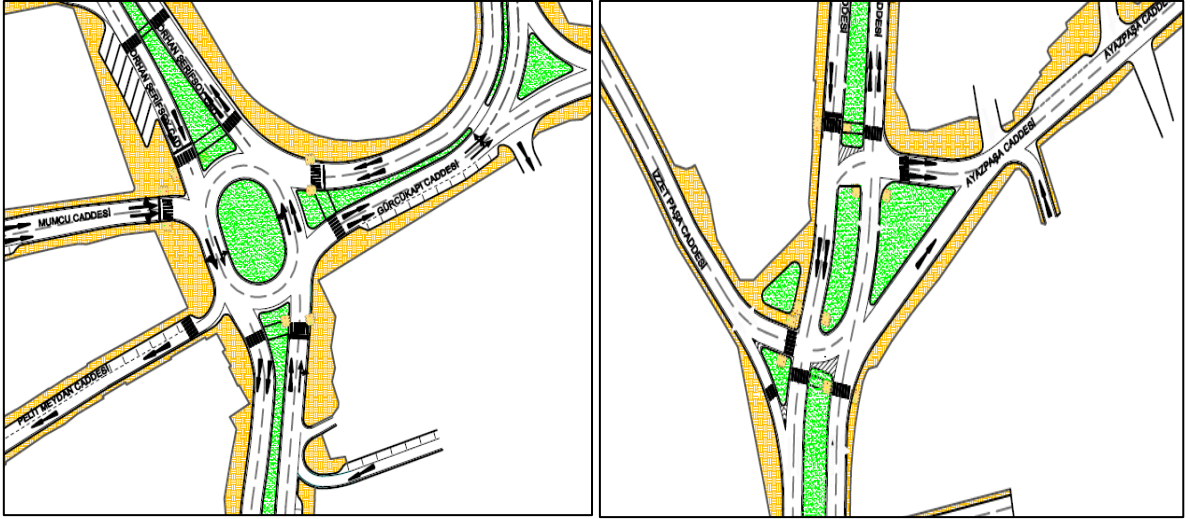
Çalışma olarak seçilen Gürcükapı ve Taşhan kavşaklarının kavşak tipi modelleri, geometrik düzenlemeler ve yön çalışmaları esas alınarak değerlendirilmiş ve tasarımlar mevcut durumla birlikte 5 senaryo olarak incelenmiştir. Kavşaklar için; mevcut durumu yansıtan senaryo 1, mevcut durumun geometrik olarak düzenlenmesi ve kavşakların modelinin değiştirilmesi senaryo 2, geometrik düzenlemeye tabi tutulan ve modeli değiştirilen kavşağa Taşhan Kavşağı için sinyal süresi eklenmesi senaryo 3, mevcut durumun geometrik olarak iyileştirilmesi, kavşak modelinin değiştirilmesi ve Ayaz Paşa Caddesi'nin ters yönde düzenlenmesi senaryo 4, geometrik düzenleme ile birlikte Ayaz Paşa Caddesi'nin yönünün değiştirilmesi ve Taşhan Kavşağı'na sinyal süresi eklenmesiyle senaryo 5 seçenekleri oluşturulmuştur. Tüm bu alternatif projeler Autocad programında geliştirilmiş, ardından aimsun yazılımında modellenmiştir. Alternatif projeler ve mevcut durum Sketchup programı kullanılarak 3 boyutlu bina ve yol tasarımı yapıldı. Oluşturulan 3 boyutlu tasarımlar aimsun yazılımında alt veri tabanı olarak kullanıldı ve aimsun simülasyon modellemesinde görsellik katmak amacıyla kullanıldı. Aimsun programından alınan GEH analiz değerleri, gecikme süresi, ortalama kuyruk uzunluğu, bekleme süresi, seyahat süresini, Anlık CO_2 Salınımı, Anlık NO_x Salınımı, Anlık VOC Salınımı ve yakıt tüketimi olarak değerleri karşılaştırıldı, kavşak üzerindeki etki incelendi ve

en iyi senaryo seçimi yapıldı. Değerlendirme sürecinde kullanılan trafik performansı ölçümleri seyahat süresi, gecikme süresi, kuyruklar ve hızdır. Çevresel etkilerin belirlenmesi amacıyla yakıt tüketimi ve karbondioksit CO_2 emisyonları tahmin edilmiştir (Giannakosa vd., 2021).

4.1. Araştırmalar

4.1.1. Autocad çalışmaları

Total Station kullanılarak yapılan hassas ölçümler sonucunda, belirlenen hedef noktaların koordinatları büyük bir doğrulukla tespit edilip dijital ortamda konumlandırılarak noktasal alımları başarıyla tamamlanmış ve Autocad ortamında mevcut durumun gerçeği yansıtacak şekilde modellenmeler tasarlanmıştır.

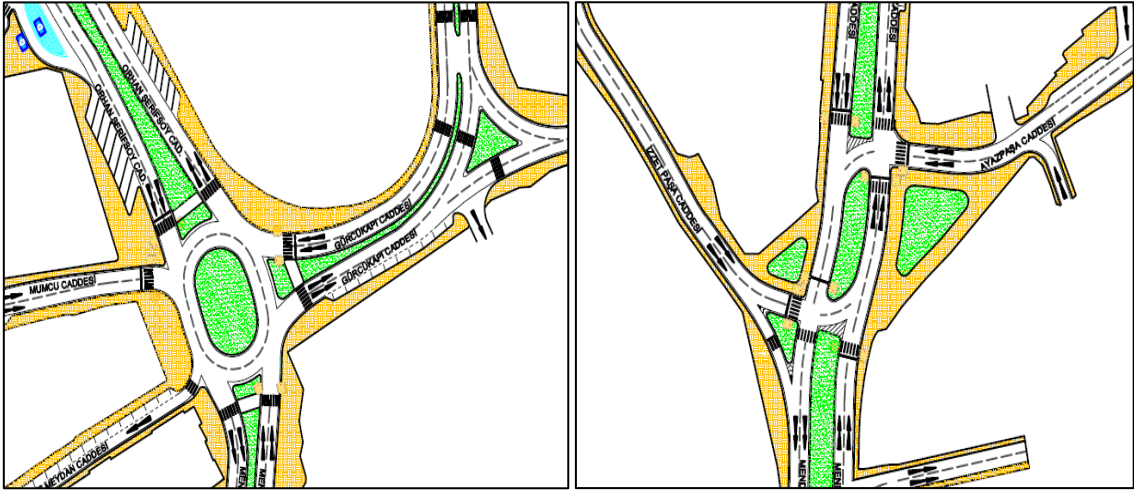


Şekil 28. Gürcükapı Kavşağı-Taşhan Kavşağı seneryo 2- seneryo 3



Şekil 29. Seneryo 2- seneryo 3 birleştirilmiş model

Seneryo 2- Seneryo 3 alternatif proje kapsamında Şekil 28-29' da Gürcükapı Kavşağı eliptik dönele kavşak modeli tercih edilmiş, ada kullanılmamıştır. Gürcükapı Caddesinden Kongre Caddesine giden refüj aralığı kapalı olarak tutulmuş, yön olarak Habib Baba Caddesinden Kongre Caddesine doğru güzergâh oluşturulmuş ve mevcut durumun aynı yönünde Ayaz Paşa Caddesi Habib Baba Caddesine doğru akım devam etmiştir. Gülahmet Caddesi İle Kale Caddesi arası yine mevcut durumdaki gibi çift yönlü olarak uygulanmıştır. Taşhan Kavşağı Ayaz Paşa Caddesi ile İzzet Paşa Caddesi giriş çıkışları ayrılacak şekilde damla ada modeli oluşturulmuş banket ve yol çizgisi harici oluşan fazlalıklar kaldırım olarak eklenmiştir. Seneryo 3 alternatif projeye göre; Gürcükapı Kavşağı sinyalizasyon mevcut durumu ile aynı şekilde kullanılmış, Taşhan Kavşağına sinyalizasyon durumu eklenmiştir.



Şekil 30.Gürcükapı Kavşağı-Taşhan Kavşağı seneryo 4- seneryo 5



Şekil 31. Seneryo 4- seneryo 5 birleştirilmiş model

Seneryo 4-Seneryo 5 alternatif proje kapsamında Şekil 30-31' de Gürcükapı Kavşağı eliptik dönele kavşak modeli tercih edilmiş, ada kullanılmamıştır. Gürcükapı Caddesinden Kongre Caddesine giden refüj aralığı açık olarak tutulmuş, yön olarak Kongre Caddesinden Habib Baba

Caddesine doğru güzergâh oluşturulmuş ve mevcut durumun tersi yönünde Habib Baba Caddesi Ayaz Paşa Caddesine doğru akım devam etmiştir. Gülahmet Caddesi İle Kale Caddesi arası yine mevcut durumdaki gibi çift yönlü olarak uygulanmıştır. Taşhan Kavşağı Ayaz Paşa Caddesi ile İzzet Paşa Caddesi giriş çıkışları ayrılacak şekilde damla ada modeli oluşturulmuş banket ve yol çizgisi harici oluşan fazlalıklar kaldırım olarak eklenmiştir. Seneryo 5 alternatif projeye göre; Gürcükapı Kavşağı sinyalizasyon mevcut durumu ile aynı şekilde kullanılmış, Taşhan Kavşağına sinyalize durumu eklenmiştir.

4.1.2. Geometrik tasarımlar

Gürcükapı Kavşağı, 2*2 modeline rağmen Ayaz Paşa ve Habib Baba Caddeleri, mevcut yapı ve şerit genişliği nedeniyle tek yönlü çalışmaktadır. Ayaz Paşa Caddesi'nden giren araçlar, Habib Baba Caddesi üzerinden Gürcükapı Caddesi ve Kongre Caddesi'ne ilerlemektedir. Proje kapsamında Gürcükapı Kavşağı'ndaki yoğunluğun azaltılması hedeflenmiş ve Habib Baba Caddesi ile Ayaz Paşa Caddesi'nin ters yönlü bir ring oluşturacak şekilde düzenlenmesi planlanmıştır.

Geometrik düzenlemeler de standartlar dahilinde yapılmıştır. Şeritler 2*2 olarak tasarlanmıştır. Şehir içi yollar boyutlandırma ve tasarım esaslarına dayanarak yol tasarım kurallarına göre 70 km/m hızla gidilebilecek şerit genişliği 3 m (Şehir İçi Yollar Boyutlandırma ve Tasarım Esasları Standartları, 2013). olarak verilmiş olup proje tasarım şerit genişliği 3 m, Karayolları Tasarım El Kitabı tasarımına göre banket çizgilerimiz 0.5m olarak tasarlanmıştır (Karayolları Tasarım El Kitabı, 2022).

Kavşaklar kent içi ve kent dışı kullanım alanlarına göre belirli tasarım hızlarına göre m², tasarlanmaktadır. Yönlendirme adaları tasarlanırken kent içi yollarda 5 m² kent dışı kavşaklarda ise 7 m² tasarlanmalıdır. Her ikisi için tercih edilmesi gereken alan 9 m² dir (İnançlı, 2012). Şehir içi bölünmüş yollarda, yol sınıfına ve şerit sayısına bağlı olarak refüj genişliği en az 1,20 olmalıdır (Şehir İçi Yollar Boyutlandırma ve Tasarım Esasları Standartları, 2013). Tasarım yollarımıza göre en düşük refüj aralığı 1.5 m olarak tasarlanmıştır. Park etme durumu ve yol kenarı uzunluğuna göre park ölçüleri çizelgeye göre 2.40 olarak verilmiş tasarım projemizde ise 2.5 m olarak tasarlanmıştır (Tasarım Kuralları Standartları, 1992). Otobüs durak cepleri hız 50 km/h olarak ele alındığı zaman cep genişliği 2.5 m olarak verilmiştir (Durak Cepleri

Standartları, 2014). Tasarlanan proje olarak yolcu indirip bindirme düşünülerek 3.5 m olarak tasarlanmıştır. Kavşak içi dönüş yarıçapları Türk Standartlarına göre en az 10 m olarak belirtilmiş ve tasarımda en az 10 m olarak alınmıştır (Kavşak İçi Dönüş Yarıçapları Standartları, 1995). Geçitli ayırıcı, yaya ve araç trafiğinin az olduğu yerde birbirini görececek biçimde en az 90 m aralıklarla orta refüjde yaya geçişi için yapılan düzenlemedir (Yaya Geçidi Tasarımı Standartları , 1989). Proje tasarımı kaldırım yapımı en az 2 m olarak alınmış olup fazla olarak tanımsız olan bölgeler şerit çizgileri belirlendikten sonra kaldırım olarak tasarımda düzenlenmiştir. Yapılan proje Senaryoları durumları Tablo 10’ da gösterilmiştir.

Tablo 10. Mevcut durum ve alternatif senaryolar hakkında bilgi

Geometrik Düzen		Ada Yarıçapı	Ada	Sinyal Koşulları	Yön Koşulları
Senaryo 1-Mevcut Durum					
Gürcükapı	Mevcut durumda, şeritler iki şeritli veya tek şeritli konfigürasyonlarda kullanılmaktadır. Şerit sayısı değişkenlik göstermekte, bu da tanımsız şerit aralıklarına ve çift sıra park alanlarının oluşmasına yol açmaktadır. Gürcükapı kavşağı bir döner kavşak olarak modellenirken, Taşhan kavşağı dört düğümlü bir konfigürasyona sahip mini bir döner kavşak olarak modellenmiştir.	15 m	Yok	Mevcut sinyal sistemi 4 fazlı ve depolama formatında çalışmaktadır.	Ayaz Paşa Caddesi, Habib Baba Caddesi'ne doğru akmakta ve Habib Baba Caddesi, trafiği Kongre Caddesi'ne yönlendirmektedir. Habib Baba Caddesi'nden Gürcükapı Caddesi'ne geçişle bir halka oluşturulmuştur.
Taşhan		7.75 m	4	Yok	
Senaryo 2-Sinyal Vermeden Aynı Yön					
Gürcükapı	Tasarım aşamasında, şeritler 3 metre genişliğinde olacak şekilde düzenlenmiş, kalan alanlar park cepleri olarak belirlenmiş ve kalan alanlar kaldırımlara ayrılmıştır. Gürcükapı kavşağında, ada çapı 30 metreye çıkarılmıştır. Mevcut 4 düğüm noktalı Taşhan kavşağı ve mini dönел kavşak kaldırılmış ve bunların yerine, ayrı giriş ve çıkışlara sahip damla şeklinde adalar tasarlanmıştır.	30 m	Yok	Mevcut sinyal sistemi 4 fazlı ve depolama formatında çalışmaktadır.	"Mevcut Durum" ile aynı
Taşhan		Yok	Damla Tipi Kavşak	Yok	
Senaryo 3-Sinyal Verilip Aynı Yön					

Tablo 10. (Devamı)

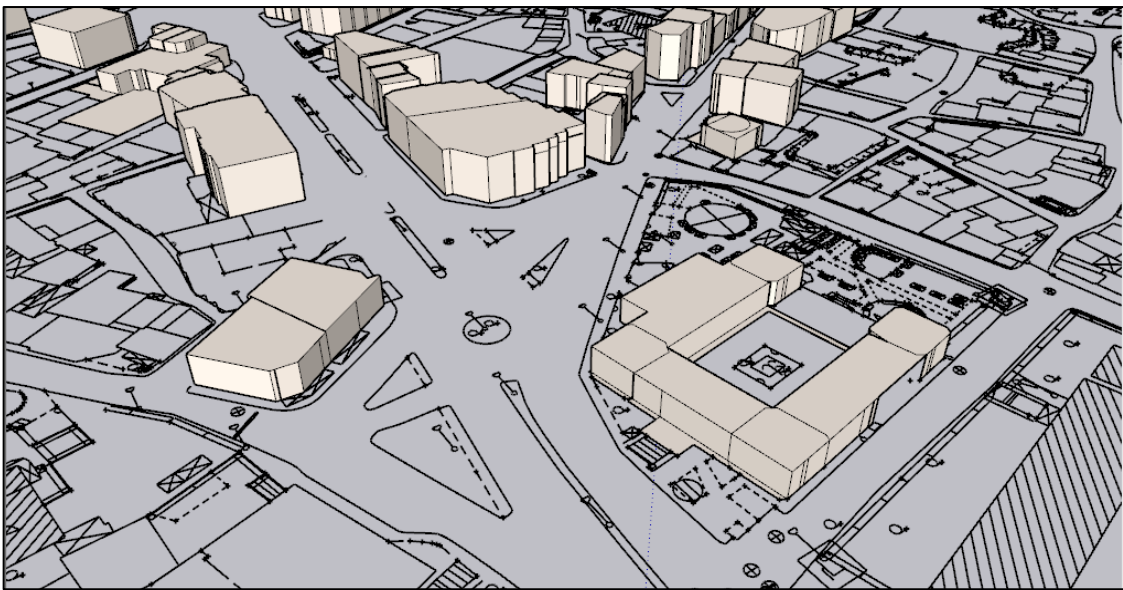
Gürcükapı	Sinyal Vermeden Aynı Yön ile aynı	30 m	Yok	Mevcut sinyal sistemi 4 fazlı ve depolama formatında çalışmaktadır.	"Mevcut Durum" ile aynı
Taşhan		Yok	Damla Tipi Kavşak	Sinyal ataması 3 fazda çalışacak şekilde yapılmıştır.	
Senaryo 4-Sinyal Verilmeden Ters Yön					
Gürcükapı		30 m	Yok	Mevcut sinyal sistemi 4 fazlı ve depolama formatında çalışmaktadır.	Gürcükapı Caddesi, Habib Baba Caddesi ve Kongre Caddesi'ne doğru akarken, Habib Baba Caddesi trafiği Ayaz Paşa Caddesi'ne yönlendiriyor.
Taşhan	"Sinyal Vermeden Aynı Yön" ile aynı	Yok	Damla Tipi Kavşak	Yok	Ayaz Paşa Caddesi ise trafiği Cumhuriyet Caddesi'ne yönlendirerek bir halka oluşturuyor.
Senaryo 5-Sinyal Verilip Ters Yön					
Gürcükapı	"Sinyal Vermeden Aynı Yön" ile aynı	30 m	Yok	Mevcut sinyal sistemi 4 fazlı ve depolama formatında çalışmaktadır.	"Sinyal Verilmeden Ters Yön" ile aynı
Taşhan		Yok	Damla Tipi Kavşak	Sinyal ataması 4 fazda çalışacak şekilde yapılmıştır.	

4.1.3. Sketchup çalışmaları

Sketchup, mimarlık, iç mimari, mühendislik, oyun tasarımı ve daha birçok alanda kullanılan, kullanıcı dostu ara yüzü ve güçlü özellikleriyle dikkat çeken bir 3d modelleme programıdır. Web tabanlı versiyonu ve gelişmiş özellikler ile farklı kullanıcı ihtiyaçlarına hitap etmektedir. 3d Warehouse adı verilen çevrimiçi kütüphanesi milyonlarca kullanıma hazır model sunarken, eklenti desteği görselleştirme, analiz ve diğer özel işlevler için esneklik sağlar.

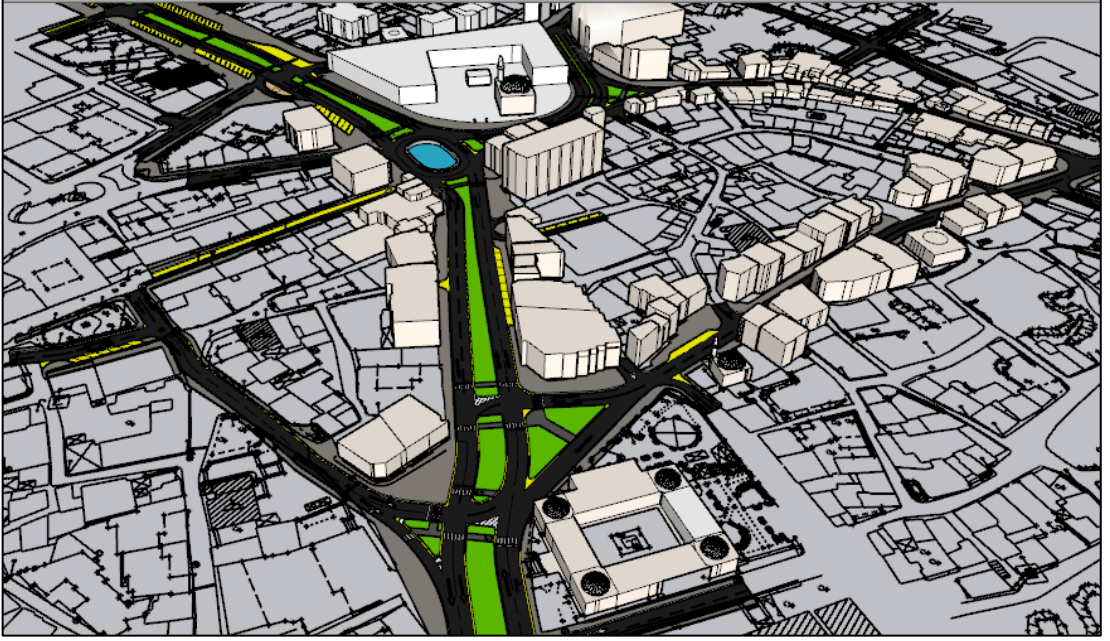
Sketchup, yol tasarımı gibi altyapı projelerinde hızlı ve verimli 3d modellemeye olanak tanıyan güçlü bir araçtır. Ara yüzü ve esnek modelleme araçları, rotaların, kavşakların ve çevresel özelliklerin ayrıntılı şekilde tasarlanmasına olanak tanır. Tasarlanmış yollar, kaldırım detayları ve çevresel unsurlar tasarımı daha işlevsel ve görsel olarak etkileyici kılmaktadır. Programın eklenti desteği, yol tasarım projelerinde daha gelişmiş işlevsellik sağlar. Aynı zamanda Sketchup'ın fotogerçekçi render uzantıları, yol tasarımlarının sunum aşamasında daha etkileyici olmasına yardımcı olur. Sketchup bu özellikleriyle sadece tasarım aracı olarak değil, proje planlama ve sunum sırasında da güçlü bir destek sağlar. Ayrıca Sketchup, tasarımları dwg ve dxf gibi formatlarda dışa aktarabildiği için mühendislik yazılımlarıyla entegre çalışabilmektedir.

Tüm simülasyon programlarının çalışma adımı olarak ilk önce problemler tanımlanır ve bunun için üretilecek çözümler programa aktarılır (Alemdar, 2019). Çalışmada kullanılan Sketchup yazılım programı Aimsun Programına da entegre olduğu için simülasyon yazılım programında da alt veri tabanı olarak kullanılmıştır. Bu modellemenin kullanım amacı kullanılacak Aimsun programında çalışılan kavşakların daha anlaşılır hale gelmesi ve aimsun simülasyonunda 3d görünütüsünde yönleri daha iyi kavrayabilmemiz için alt veri tabanı oluşturmaktır. Görsel olarak binalarımız hali hazır Autocad programından alınarak gerçek durumuna göre ve oluşturulan senaryo projeleri de bu programda modellenmiştir. Yapılan çalışmada aimsun yazılım programından koordinatları almak yerine, hali hazır Autocad programından saha nokta koordinatları belirlenerek Sketchup programına entegre edilmiştir.



Şekil 32. Taşhan Kavşağı senaryo 1 sketchup modellemesi

Taşhan Kavşağı mevcut durumu Sketchup programında modelleme yapılmış olup, Şekil 32 kuzeybatı yönünden görüntü alınarak yansıtılmıştır.



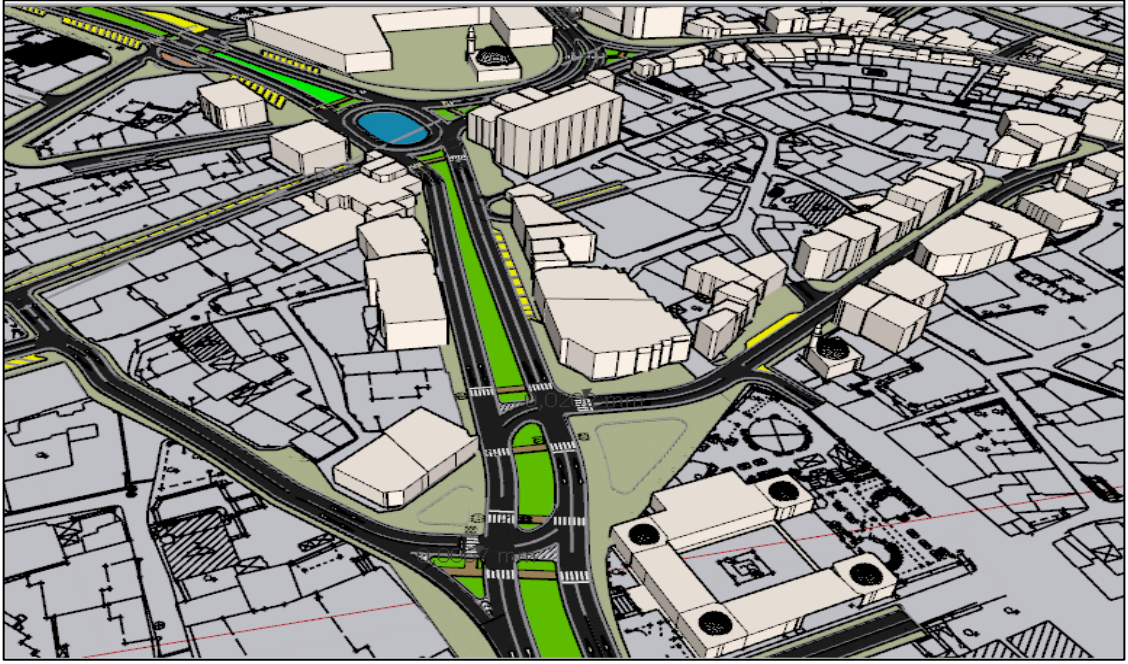
Şekil 33. Taşhan Kavşağı senaryo 2 sketchup modellemesi

Taşhan Kavşağı Senaryo 2 olarak Şekil 33 olarak güneybatı yönünden görüntü alınmıştır.



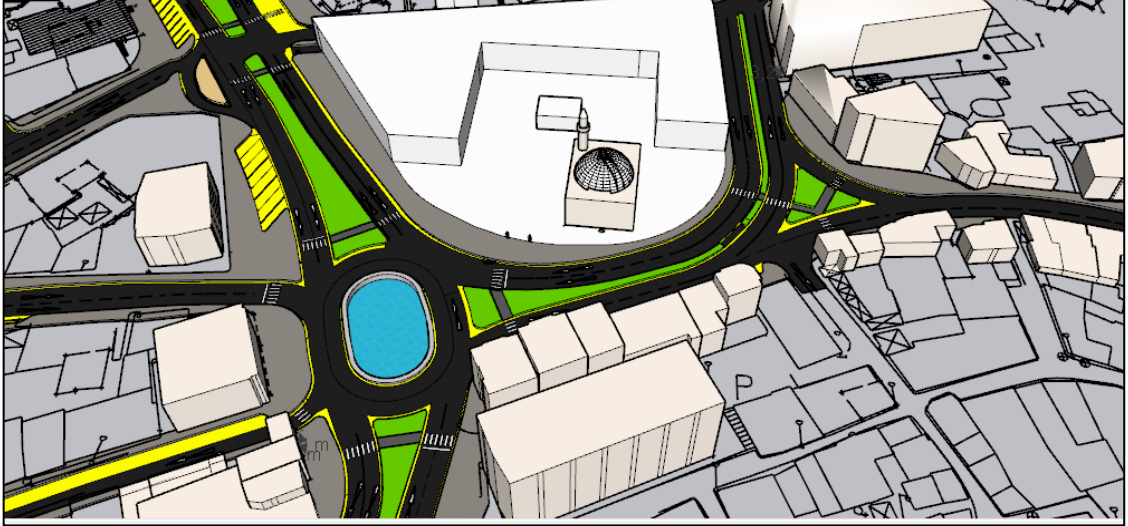
Şekil 34. Taşhan Kavşağı senaryo 3 sketchup modellemesi

Taşhan Kavşağı Senaryo 3 Şekil 34 olarak güneybatı yönünden kuşbakışı görüntüsü görülmektedir.



Şekil 35. Taşhan Kavşağı senaryo 4-senaryo 5 sketchup modellemesi

Taşhan Kavşağı Senaryo 4-Senaryo 5 olarak Şekil 35 olarak güneybatı yönünden görüntü alınmıştır.



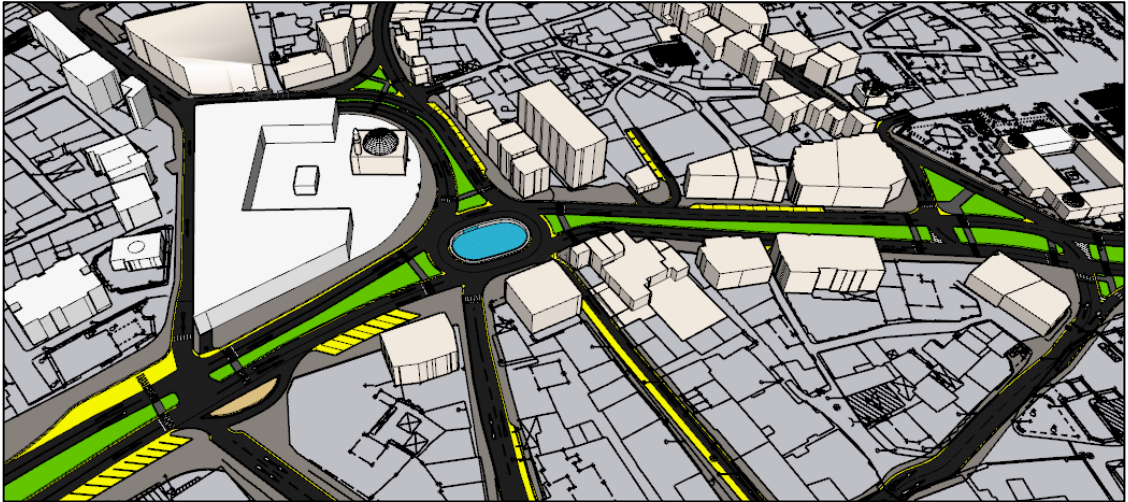
Şekil 36. Gürcükapı Kavşağı senaryo 2-senaryo 3 sketchup modellemesi

Gürcükapı Kavşağı Senaryo 2-Senaryo 3 yakın görüntü Şekil 36 olarak Gürcükapı Caddesi refüj aralığı kapalı olarak güney batı yönlü görüntü yansımaktadır.



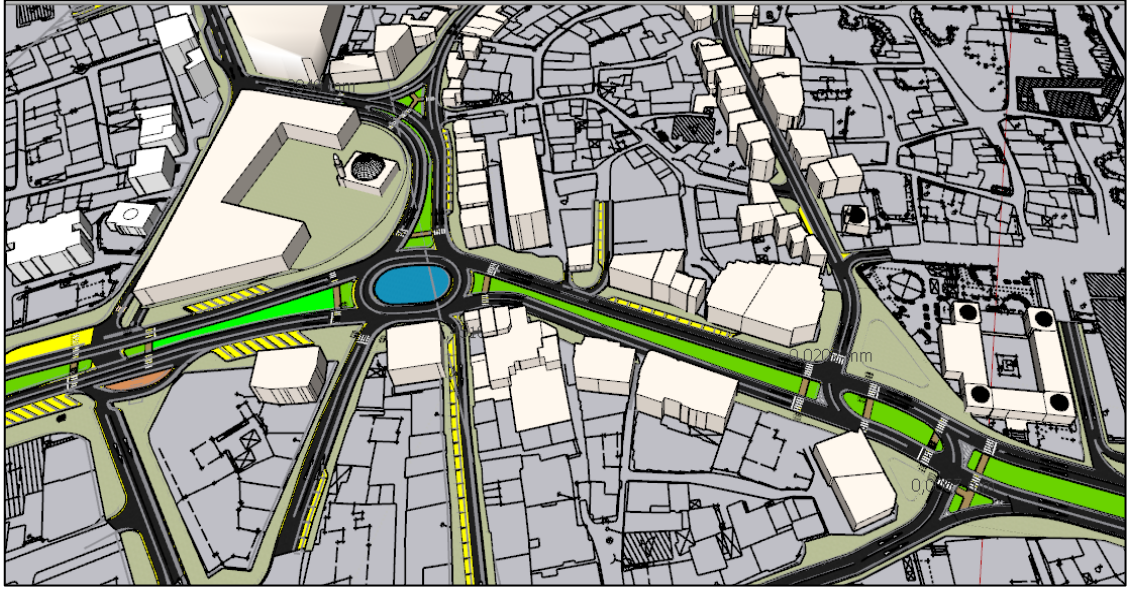
Şekil 37. Gürcükapı Kavşağı senaryo 4-senaryo 5 sketchup modellemesi

Gürcükapı Kavşağı Senaryo 4-Senaryo 5 yakın görüntü olarak Şekil 37 olarak Gürcükapı Caddesi refüj aralığı açılmış olarak gözükmektedir.



Şekil 38. Taşhan Kavşağı-Gürcükapı Kavşağı senaryo 2-senaryo 3 sketchup modellemesi

Taşhan Kavşağı-Gürcükapı Kavşağı Senaryo 2-Senaryo 3 olarak kuşbakışı olarak Şekil 38 olarak batı yönünden görüntü alınmıştır.

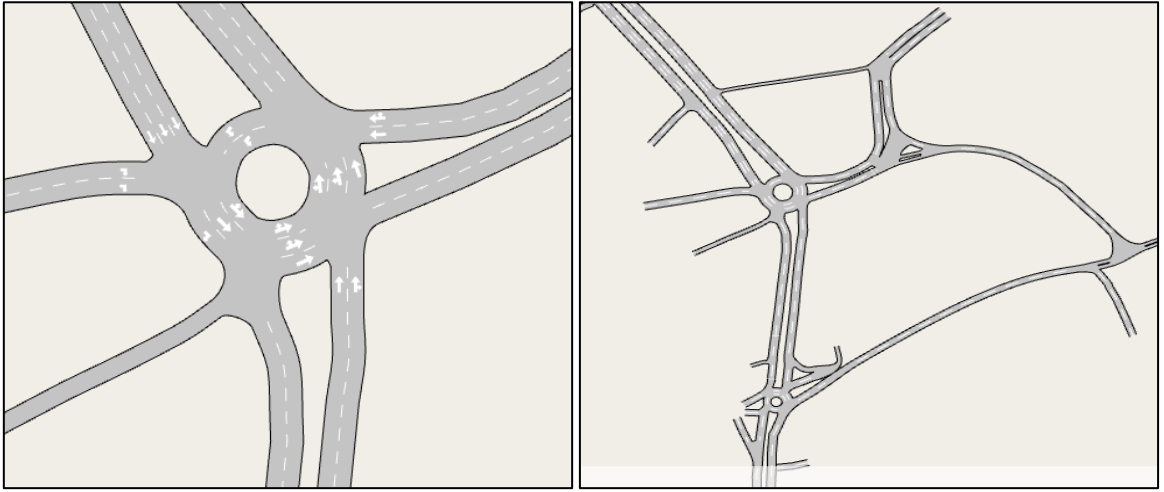


Şekil 39. Taşhan Kavşağı-Gürcükapı Kavşağı senaryo 4- senaryo 5 sketchup modellemesi

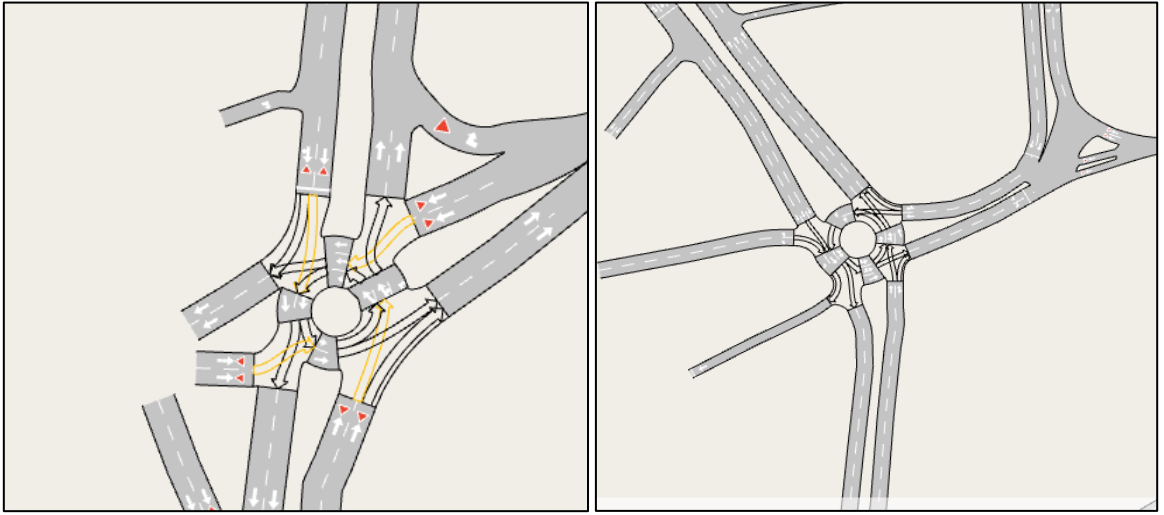
Taşhan Kavşağı-Gürcükapı Kavşağı Senaryo 4-Senaryo 5 olarak kuşbakışı olarak Şekil 39 olarak batı yönünden görüntü alınmıştır.

4.1.4. Aimsun yazılım modellemesi

Autocadde oluşturulan tasarım cad dosyası Aimsun yazılım programında açılarak, üzerinden tekrardan çizim yapıp yol şerit çizgileri oluşturuldu (Şekil 40). Dönüşleri oluşturmak için düğüm noktaları tanımlandı (Şekil 41). Dönel kavşak giriş çıkışları oluşturularak kavşak olan kısımlara dönel kavşak şekli verildi. Vehicle type kısmından araç model tanımlaması yapılarak, trafik state kısmından da araç sayım verileri girildi ve trafik demand kısmından araç yüzdeleri yüklemesi yapıldı.

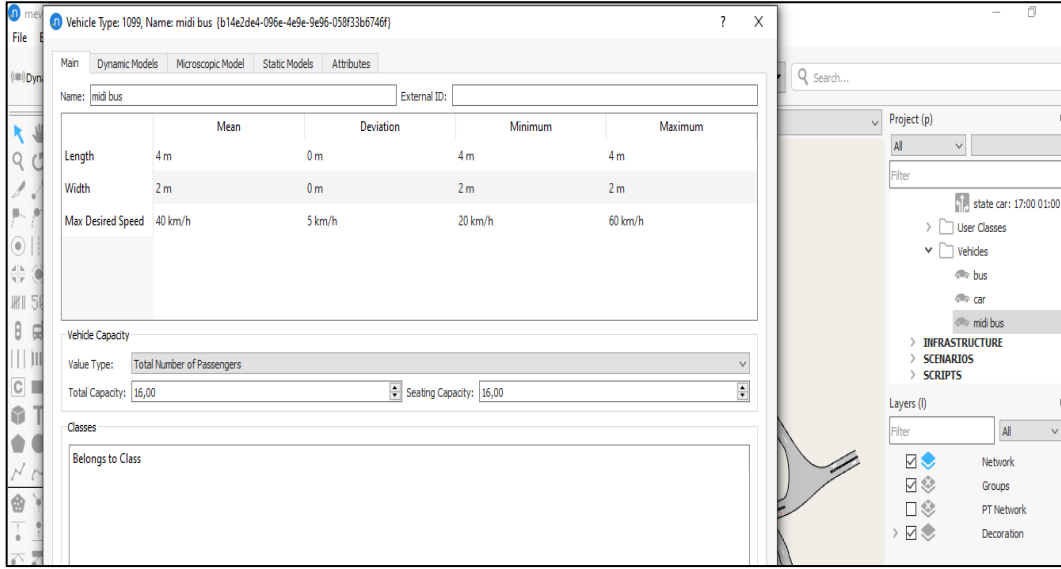


Şekil 40. Aimsun yazılımında şerit çizgileri oluşturma ve kavşak oluşturma



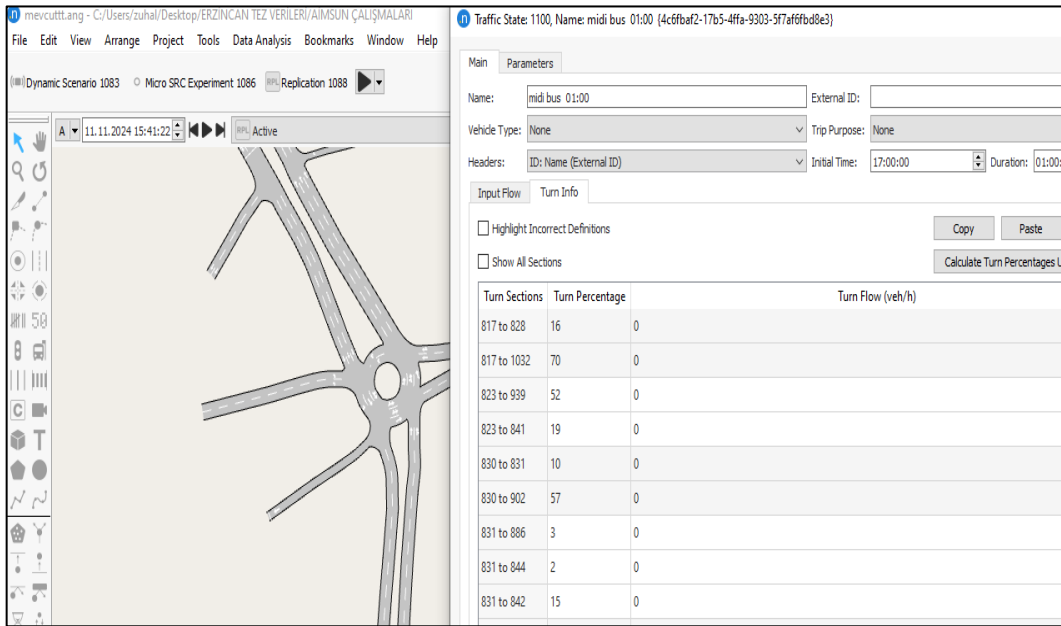
Şekil 41. Aimsun yazılımında düğüm noktalarını oluşturma

Dönüşleri oluşturmak için 'Main' sekmesindeki New ' i tıklanıp, nodu oluşturmak için tüm giriş ve çıkışlar üzerinden birden çok şerit seçildi ve istenilen bölgeye nod oluşturuldu (Şekil 41).



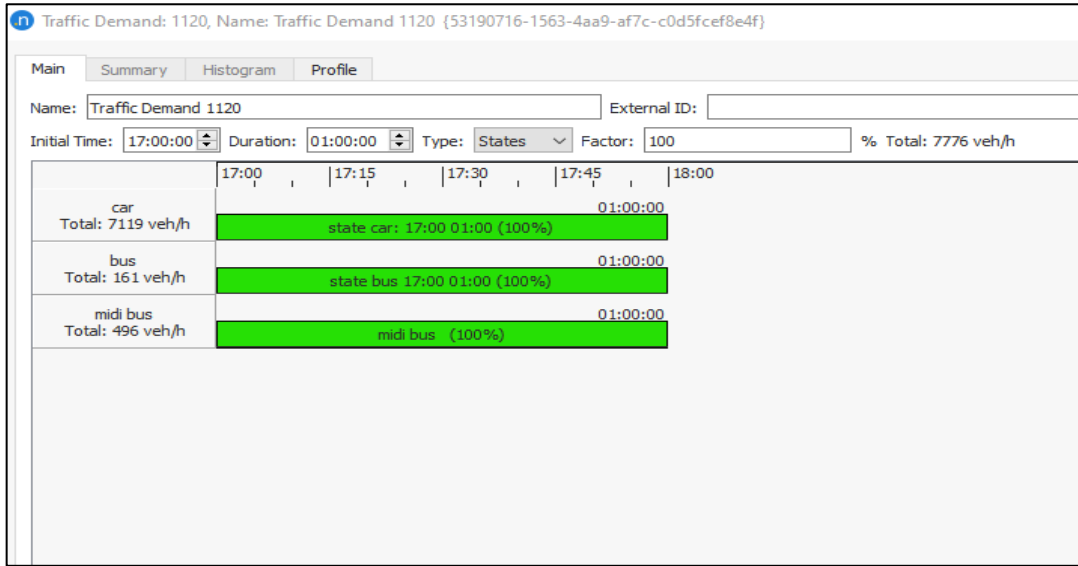
Şekil 42. Aimsun yazılımında araç modellerinin tanımlanması

Modele yerleştirmek için, Project / New / Demand Data / Traffic Vehicle menüsünden Şekil 42' den aimsun yazılımında araç modellerinin tanımlaması yapılarak araç özellikleri oluşturuldu.



Şekil 43. Aimsun yazılımında araç sayım verilerinin girilmesi

Modele sayım verilerini yerleştirmek için, Project / New / Demand Data / Traffic State menüsü ile bir Traffic State oluşturuldu (Şekil 43). Burada araç sayım verileri turn percentage kısmına girilerek Calculate Turn Percentages kısmından verilerin yüzdeleri oluşturuldu.

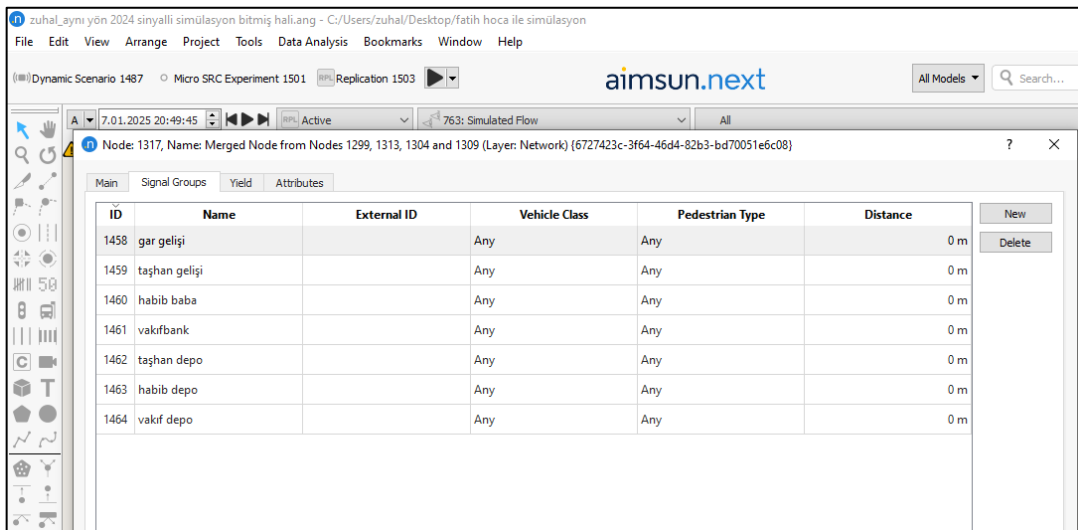


Şekil 44. Aimsun yazılımında trafik demand oluşturulması

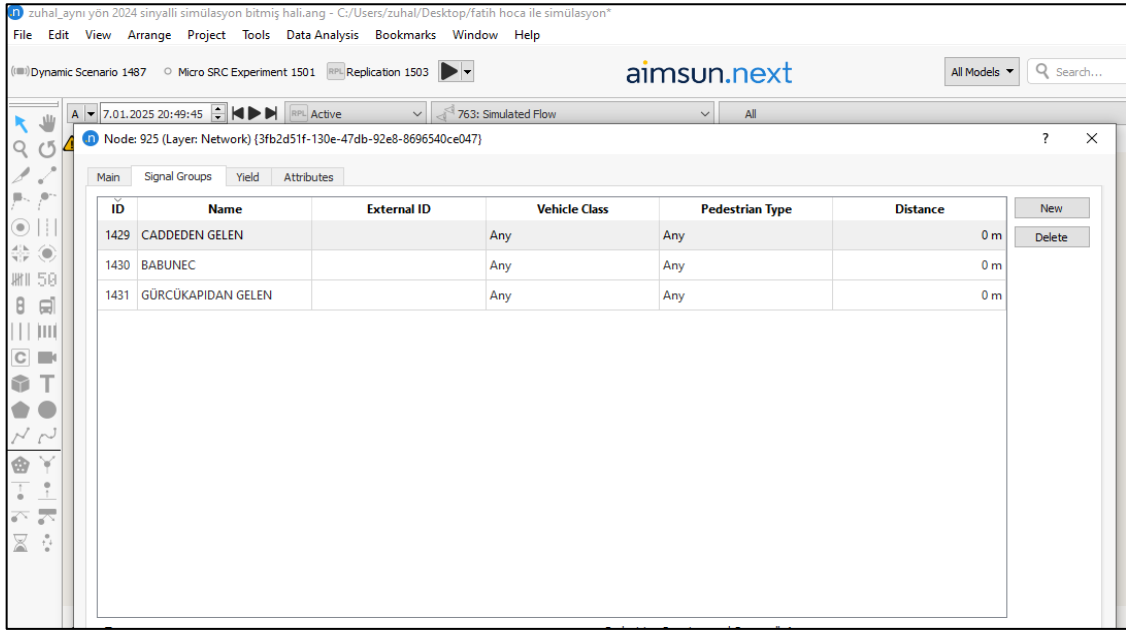
Traffic Demand oluşturuldu (Şekil 44). Burada tanımladığımız ve sayısal verileri girilen değerler Trafik Demand kısmına yüklenerek veri tabanına aktarıldı.

4.1.5. Aimsun yazılım sinyalize modellemesi ve simülasyon

Sinyal grupları oluşturularak sinyalize durumun kaç faz da çalıştırılacağı belirlendi, kontrol plan menüsünden faz süreleri oluşturuldu ve mevcut olan sinyalize süreleri girişi yapıldı. Master kontrol plan menüsünden demand data verileri ve control plan verileri master control plan durumuna aktarıldıktan sonra simülasyon değerleri analiz edilmiştir.

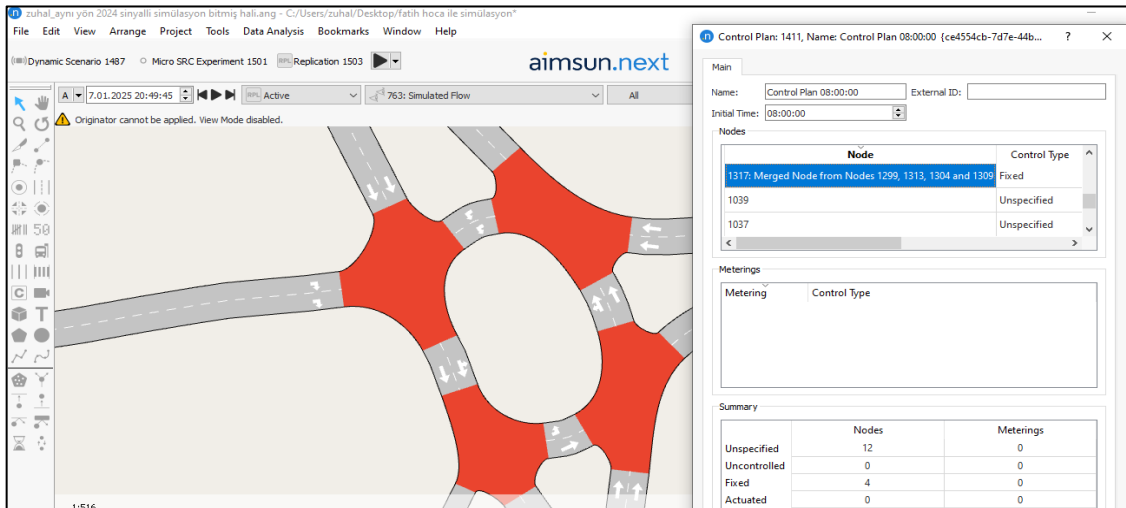


Şekil 45. Gürcükapı Kavşağında sinyal gruplarının oluşturulması



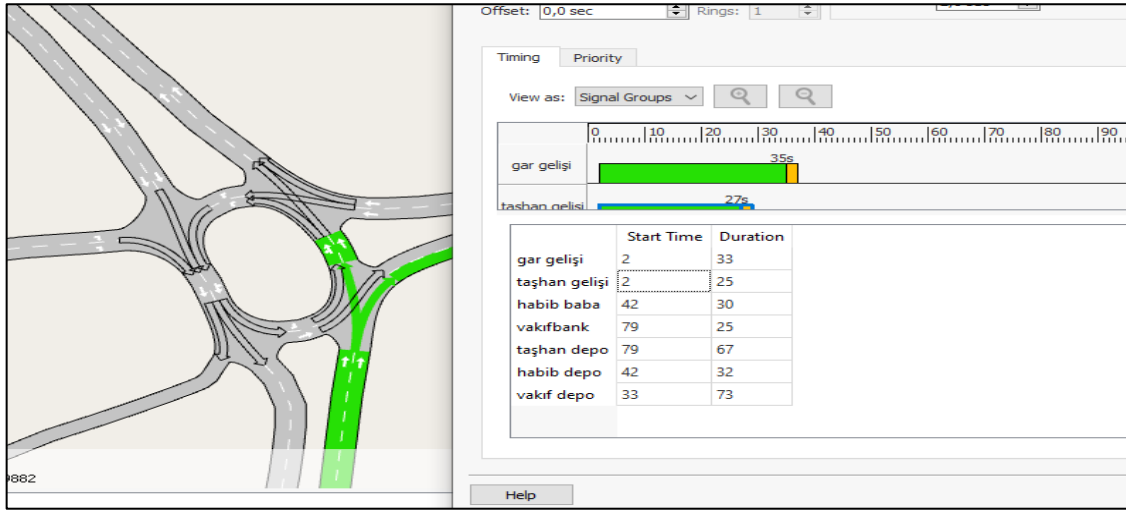
Şekil 46. Taşhan Kavşağında sinyal gruplarının oluşturulması

Gürcükapı Kavşağı 4 kollu faz olarak çalışır ve depo sinyal süreleri bu süreler içerisinde çalışmaya devam eder. Taşhan Kavşağında kavşak projesine göre değişmekte ve 3 - 4 faz olarak çalışmaktadır (Şekil 45-46).

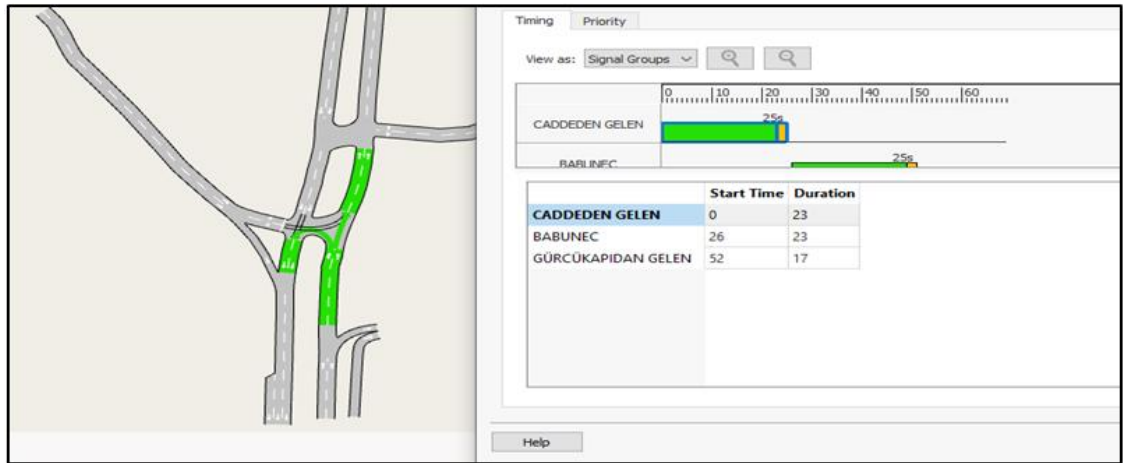


Şekil 47. Aimsun yazılımında control plan oluşturulması

Oluşturduğumuz fazları tanımlamamız için Control Planı komutu kullanıldı. Control Planları Project\ New\ Control\ Control Plan menüsünden oluşturuldu (Şekil 47).

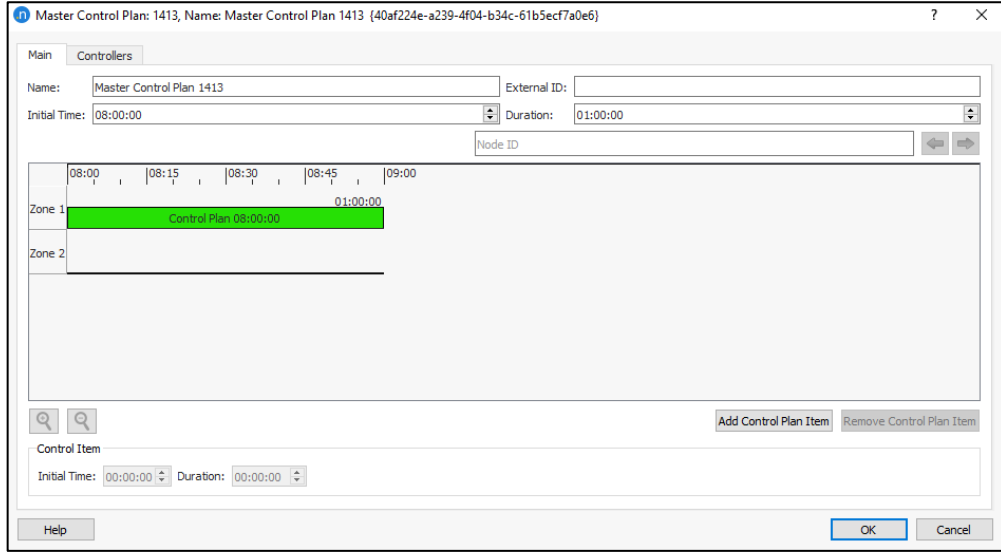


Şekil 48. Aimsun yazılımında Gürcükapı Kavşağında sinyal sürelerinin oluşturulması



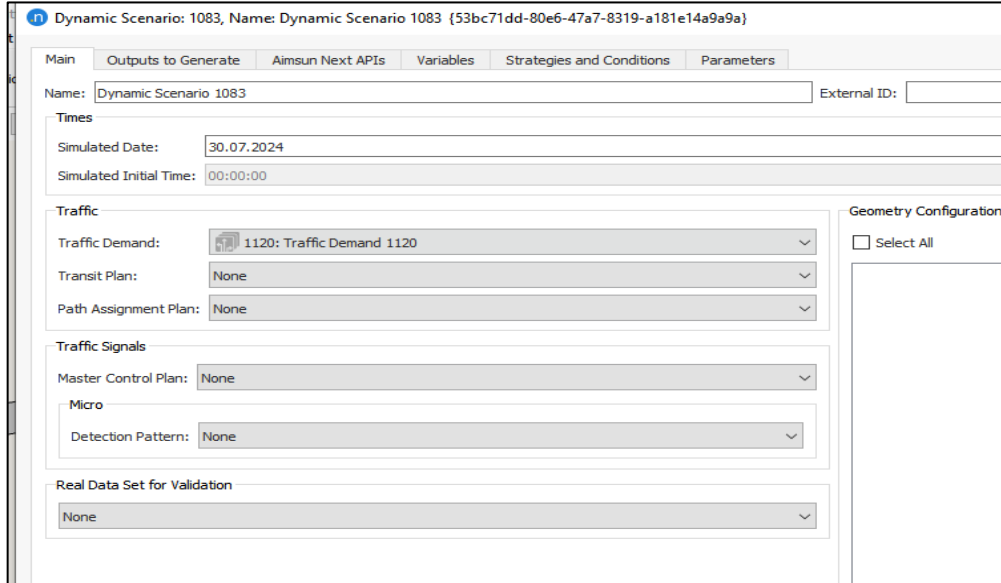
Şekil 49. Aimsun yazılımında Taşhan Kavşağında sinyal sürelerinin oluşturulması

Burada Gürcükapı Kavşağı için mevcutta kullanılan sinyal süreleri baz alınarak kullanılmış olup, Senaryo 3 ve Senaryo 5 için Taşhan Kavşağında yeni sinyalizasyon durumu oluşturulmuş, sinyal süreleri girilmiştir (Şekil 48-49). Yeni oluşturulan sinyalizasyon için bekleme süresi olarak 3 sn ve kavşak süreleri de 23-23-17 sn ye olarak kullanılmıştır.



Şekil 50. Aimsun yazılımında master control planı oluşturulması

Fazları tanımlamak için Master Control Planı oluşturulmalıdır (Şekil 50). Kontrol Planları Project\ New\ Control\ Master Control Plan menüsünü buradan oluşturulmakta ve sinyal sürelerini Master Kontrol Planı veri tabanı altında toplanmaktadır.

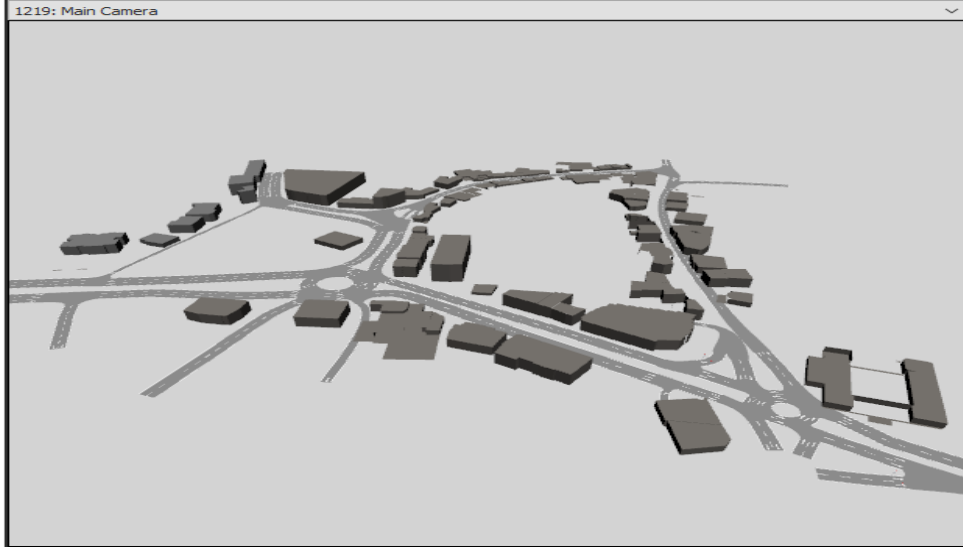


Şekil 51. Aimsun yazılımında dynamic scenario oluşturulması

Project/ New/ Scenarios/ Dynamic Scenario menüsünü senaryoları simüle etmek için oluşturulur (Şekil 51). Burada oluşturulan Aimsun yazılımında Dynamic Scenario menüsüne Trafik Demand kısmından araç sayım verilerini ve Master Kontrol plan kısmından da sinyalizasyon verilerini yüklenerek simülasyon için alt yapı oluşturulur.

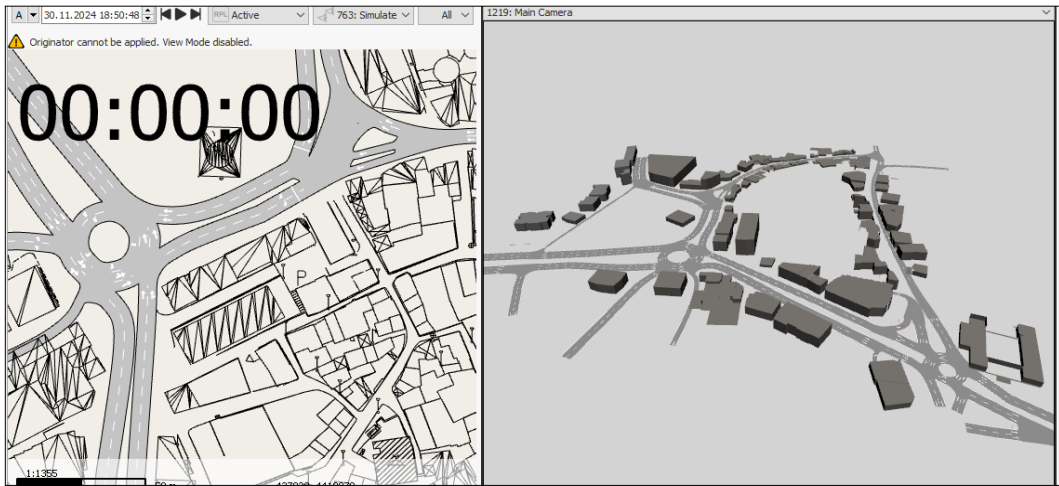
4.1.6. Aimsun yazılım 3d modelleme

Simülasyon programı çalıştırılmadan önce alt taban olarak yapılan Sketchup programını altlık olarak açılmış ve şehrin hali hazır konumu 3d olarak görsellenmiştir.



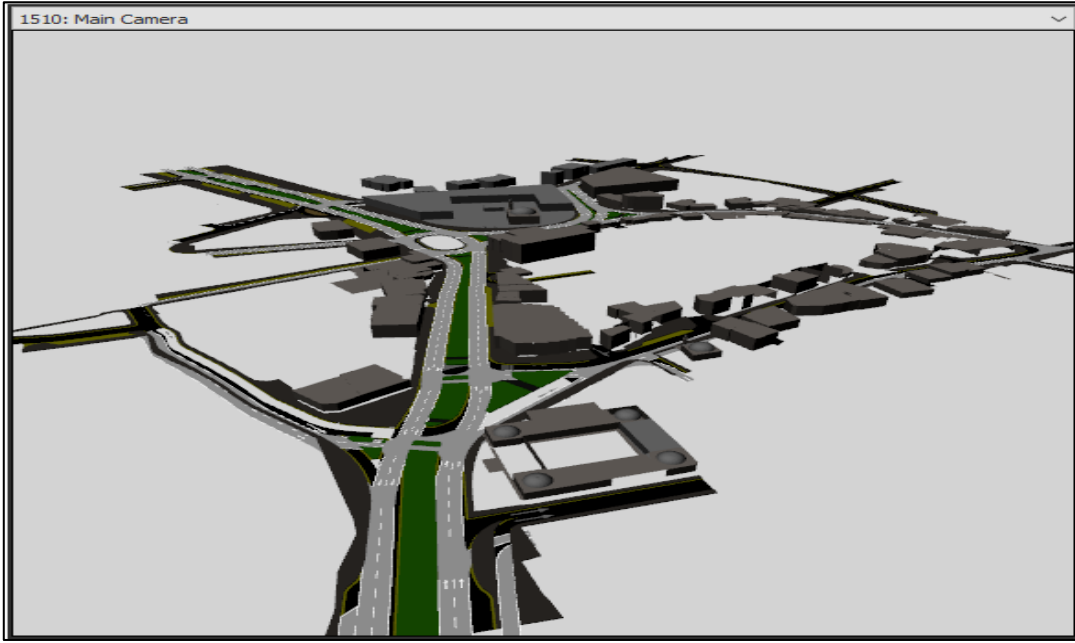
Şekil 52. Aimsun senaryo 1 3d modellemesi

Mevcut durum modellemesi ve simülasyon görüntüsü batı yönü olarak Şekil 52’ de gösterilmiştir.



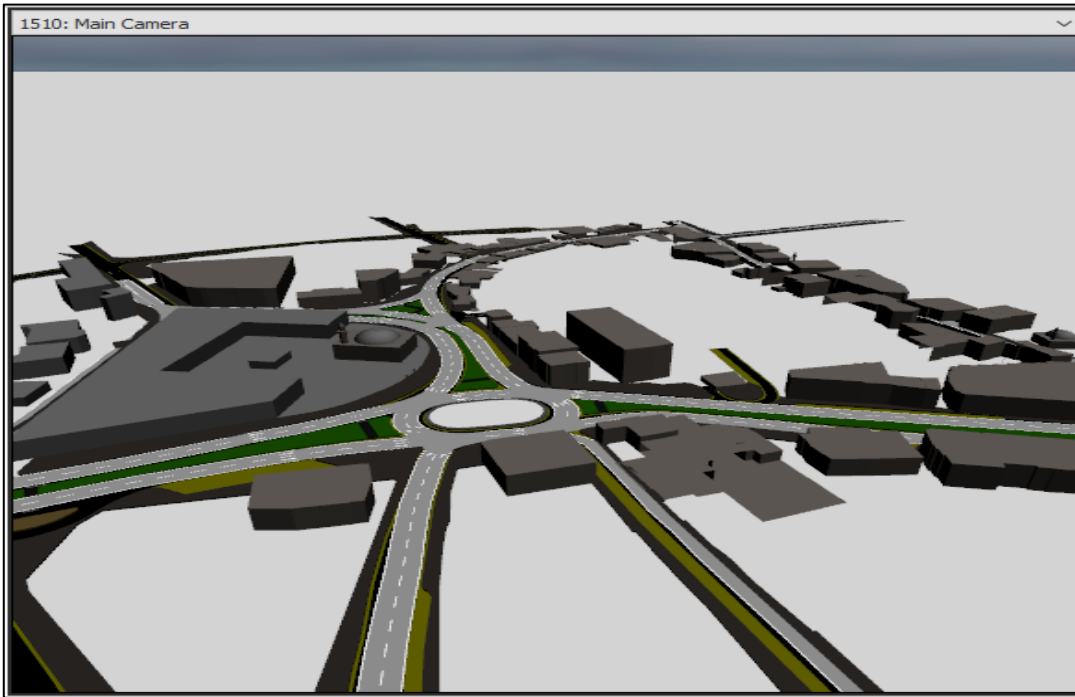
Şekil 53. Aimsun senaryo 1 3d modellemesi çift görünümlü

Mevcut Durum ana sayfa modellemesi olarak sol tarafta simülasyon görseli sağ tarafta da 3d modelli durumu Şekil 53’ de görülmektedir.



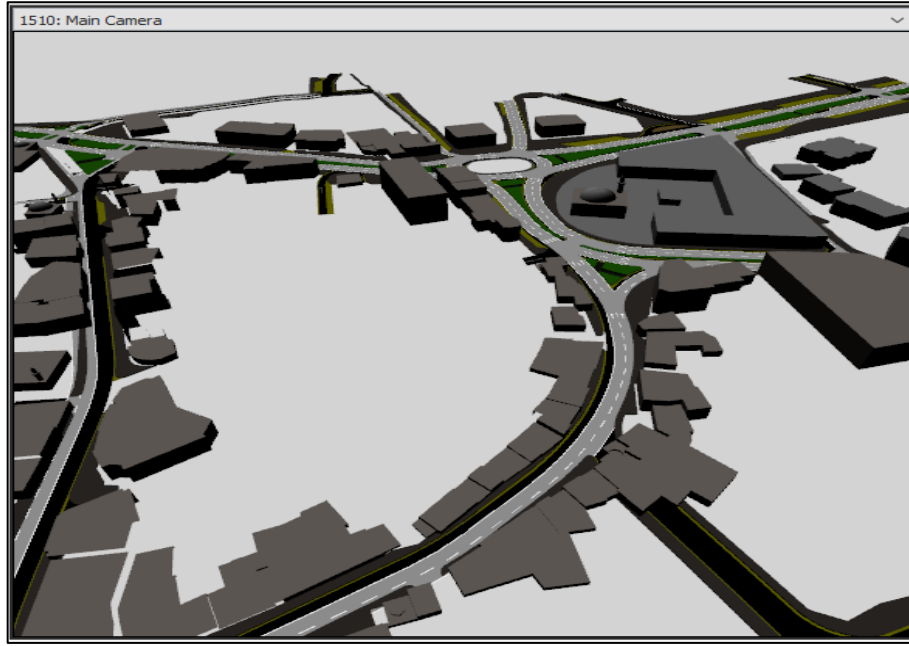
Şekil 54. Aimsun senaryo 2 Taşhan Kavşağı 3d modellemesi

Senaryo 2 Taşhan Kavşağı olarak kavşak modellemesi 3d görüntüsü ile güneybatı yönlü olarak Şekil 54’ de verilmiştir.



Şekil 55. Aimsun senaryo 2 Gürcükapı Kavşağı 3d modellemesi

Senaryo 2 Gürcükapı Kavşağı olarak kavşak modellemesi 3d görüntüsü ile Gürcükapı Kavşağının batı yönü Şekil 55 ile gösterilmiştir.



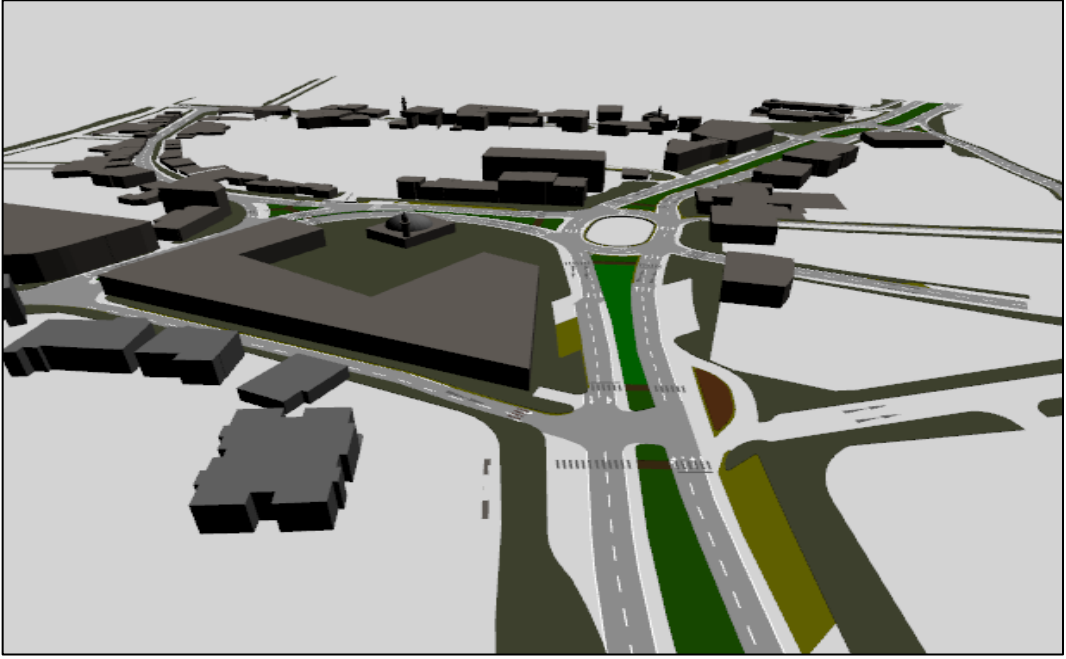
Şekil 56. Aimsun senaryo 2-senaryo 3 Taşhan Kavşağı-Gürcükapı Kavşağı durum 3d modellemesi

Senaryo 2-Senaryo 3 Taşhan Kavşağı-Gürcükapı Kavşağı olarak kavşak modellemesi 3d görüntüsü ile Habib Baba Caddesi doğu yönü Şekil 56 ile gösterilmiştir.



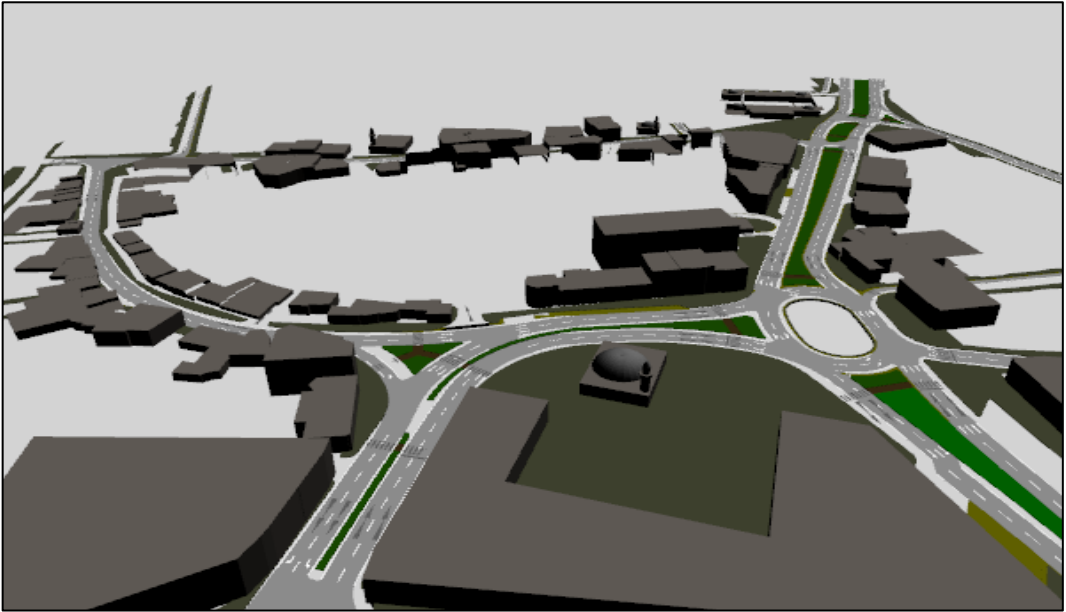
Şekil 57. Aimsun senaryo 4-senaryo 5 Taşhan Kavşağı-Gürcükapı Kavşağı durum 3d modellemesi

Senaryo 4-Senaryo 5 Taşhan Kavşağı-Gürcükapı Kavşağı olarak (ters yönlü olarak) kavşak modellemesi 3d görüntüsü ile kuşbakışı olarak batı yönü Şekil 57 ile gösterilmiştir.



Şekil 58. Aimsun senaryo 4 Gürcükapı Kavşağı durum 3d modellemesi

Senaryo 4 Gürcükapı Kavşağı olarak kavşak modellemesi 3d görüntüsü ile Orhan Şerifsoy Caddesinden Gürcükapı Kavşağı batı yönü olarak Şekil 58 ile gösterilmiştir.

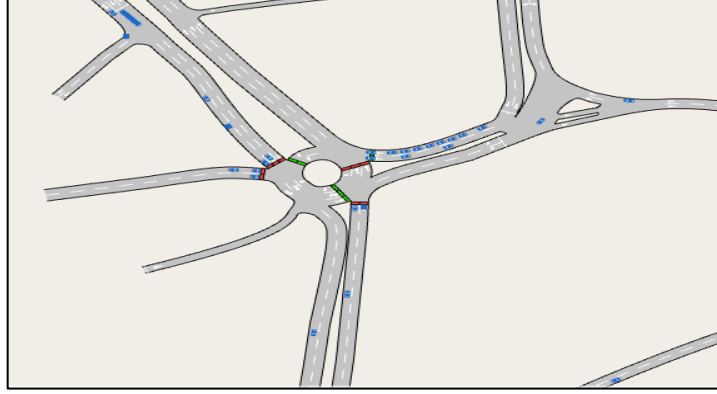


Şekil 59. Aimsun senaryo 5 Gürcükapı Kavşağı durum 3d modellemesi

Senaryo 5 Gürcükapı Kavşağı olarak kavşak modellemesi 3d görüntüsü ile Orhan Şerifsoy Caddesinden Kongre Caddesi batı yönü olarak Şekil 59 ile gösterilmiştir.

4.1.7. Aimsun yazılım simülasyon modellemesi

Senaryoyu simüle etmek için, Bir Replication oluşturulur. Experiment üzerinden New\ Replication açılmaktadır. 'Run Animated Simulation'ı çalıştırılarak simülasyon çalıştırılmaktadır.



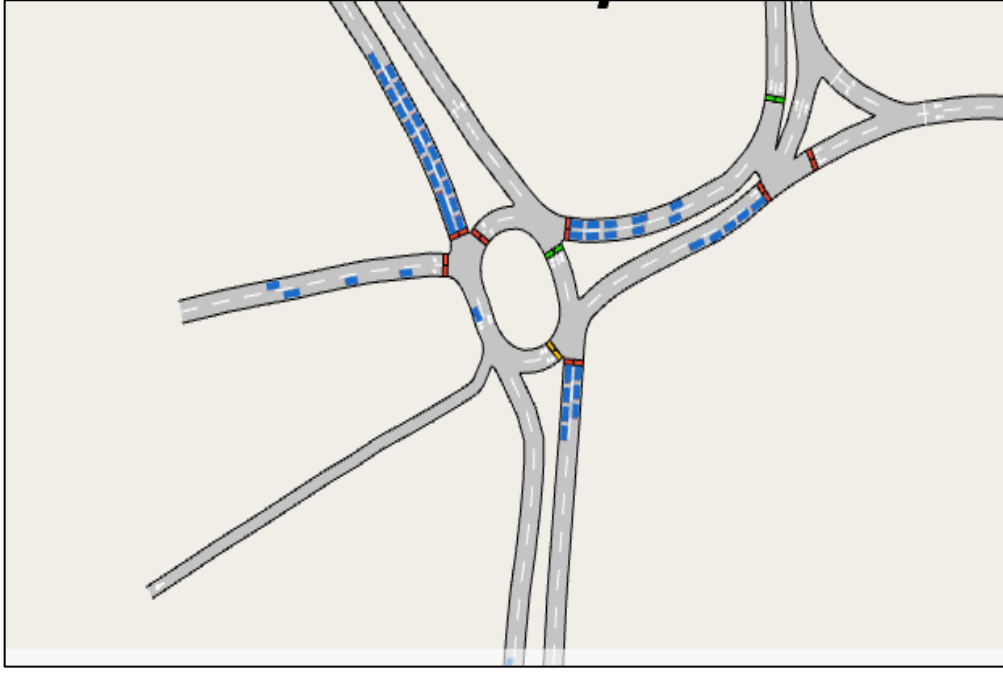
Şekil 60. Aimsun senaryo 1 Gürcükapı Kavşağı tasarımı simülasyon modellemesi

Mevcut durum olarak Gürcükapı Kavşağı Simülasyon modellemesi batı yönü olarak Şekil 60 'ta gösterilmektedir.



Şekil 61. Aimsun senaryo 1 Taşhan Kavşağı tasarımı simülasyon modellemesi

Mevcut durum olarak Gürcükapı Kavşağı ve Taşhan Kavşağı simülasyon modellemesi tıkanıklık durumu kuşbakışı olarak batı yönü olarak Şekil 61' de gösterilmektedir.



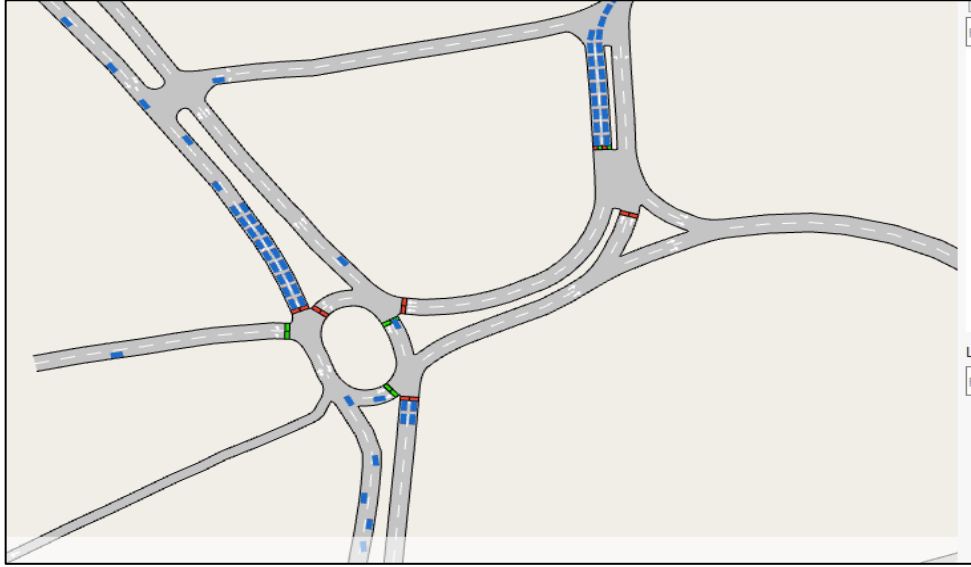
Şekil 62. Aimsun senaryo 2 Gürcükapı Kavşağı tasarımı simülasyon modellemesi

Senaryo 2 kapsamında aynı yön uygulama çalışması olarak Gürcükapı Kavşağı Simülasyon modellemesi kuşbakışı olarak batı yönü olarak Şekil 62' de gösterilmektedir.



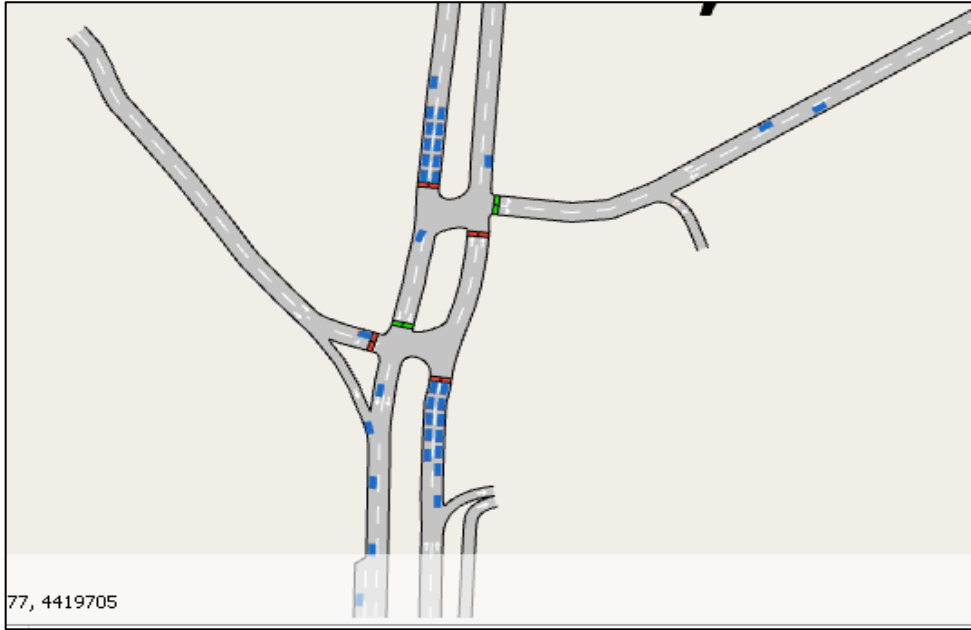
Şekil 63. Senaryo 3 Taşhan Kavşağı tasarımı simülasyon modellemesi

Senaryo 3 kapsamında aynı yön uygulama çalışması olarak Taşhan Kavşağı Simülasyon modellemesi tıkanıklık durumu kuşbakışı olarak batı yönü olarak Şekil 63' de gösterilmektedir.



Şekil 64. Aimsun senaryo 4 Gürcükapı Kavşağı tasarımı simülasyon modellemesi

Senaryo 4 kapsamında ters yön uygulama çalışması olarak Gürcükapı Kavşağı Simülasyon modellemesi tıkanıklık durumu kuşbakışı olarak batı yönü olarak Şekil 64' de gösterilmektedir.



Şekil 65. Aimsun senaryo 5 Taşhan Kavşağı tasarımı simülasyon modellemesi

Senaryo 5 kapsamında ters yön uygulama çalışması olarak Taşhan Kavşağı Simülasyon modellemesi tıkanıklık durumu kuşbakışı olarak batı yönü olarak Şekil 65' te gösterilmektedir.

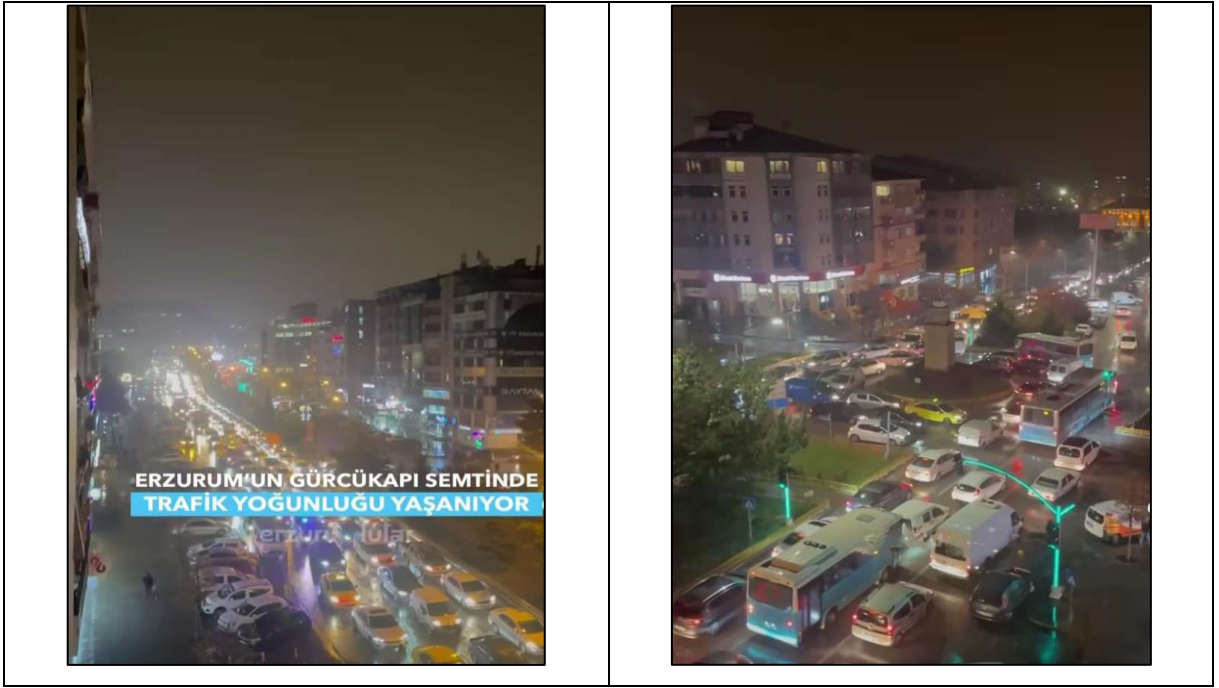
4.2. Bulgular

Çalışma kapsamında incelenen kavşak, mevcut durumda şehir içi ulaşım ağının önemli bir parçası olup hem araç trafiği hem de yaya hareketliliği açısından yüksek yoğunluğa sahiptir. Yerinde yapılan gözlemler ve Şekil 66' da sunulan görseller incelendiğinde, özellikle akşam saatlerinde (zirve saatlerde) kavşak kollarında ciddi trafik birikmeleri olduğu görülmektedir. Bu yoğunluk, araçların kavşağa giriş ve çıkış sürelerini uzatmakta, dolayısıyla gecikmelere ve sürücü sabırsızlığına neden olmaktadır.

Kavşak çevresinde ticari alanların, toplu taşıma duraklarının ve yaya çekim merkezlerinin bulunması, yaya hareketliliğini artıran önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Yoğun yaya geçişleri, özellikle sinyal sürelerinin yetersiz kaldığı zaman dilimlerinde araç–yaya etkileşimini artırmakta ve trafik güvenliği açısından risk oluşturmaktadır. Gözlemler sırasında, bazı sürücülerin yayalara yol verme konusunda tereddüt yaşadığı, bunun da ani duruşlara ve düzensiz trafik akışına yol açtığı tespit edilmiştir.

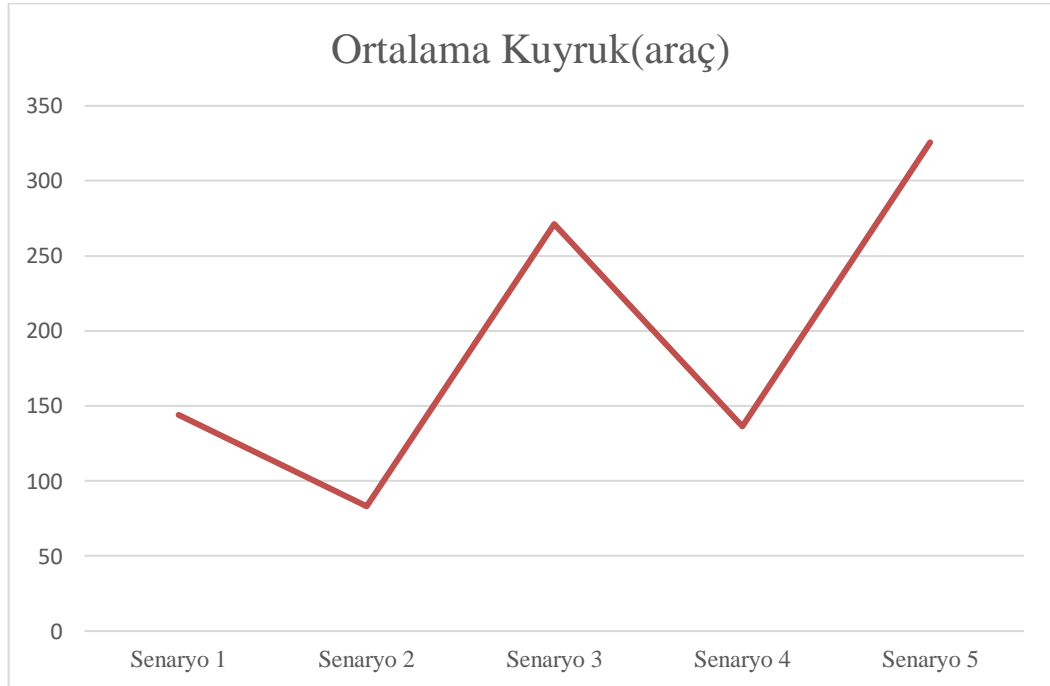
Ayrıca kavşakta toplu taşıma araçlarının yoğun olarak bulunması, dur-kalk sayısını artırarak trafik akışını olumsuz etkilemektedir. Otobüs ve minibüslerin yolcu indirme-bindirme sırasında şerit ihlali yapması, özellikle dar kesitli kavşak kollarında kapasite düşüşüne neden olmaktadır. Bu durum, kavşağın teorik kapasitesinin altında çalışmasına yol açmaktadır.

Mevcut kavşakta gözlemlenen yoğunluk; trafik hacmi, yaya hareketliliği, toplu taşıma etkisi ve geometrik yetersizliklerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu bulgular, kavşağın mevcut haliyle talebi karşılamakta zorlandığını ve geometrik düzenleme, sinyalizasyon optimizasyonu veya alternatif kavşak çözümlerinin değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.



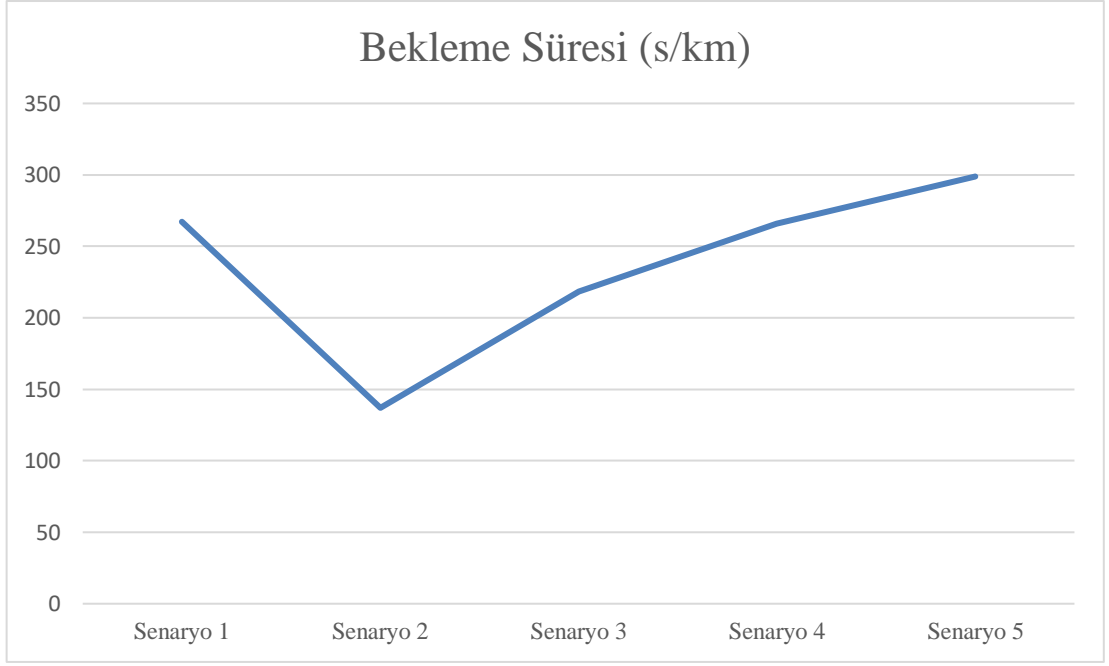
Şekil 66. Gürcükapı bölgesinin akşam saatleri yoğunluğu

Şekil 67 senaryolar için ortalama kuyruk uzunluğunun (araç) simülasyon çıktı sonuçlarını göstermektedir. Senaryo 1 için; 144,1, Senaryo 2 için; 83,16, Senaryo 3 için ; 271,21, Senaryo 4 için; 136,24, Senaryo 5 için; 325,66 olarak sonuç vermektedir. Senaryolar için ortalama kuyruk uzunluğunun (araç) en iyi Senaryo 2 olduğu sonucuna varılmıştır.



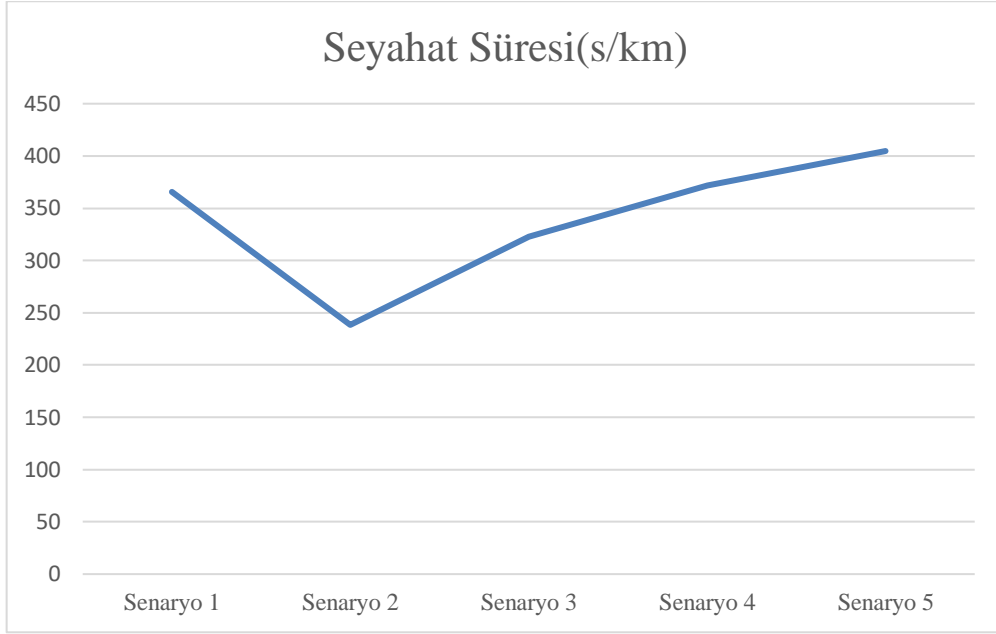
Şekil 67. Senaryolar için ortalama kuyruk uzunluğu sonuç değerleri

Şekil 68 bekleme süresinin (s/km) simülasyon çıktı sonuçlarını göstermektedir. Senaryo 1 için; 267,08, Senaryo 2 için; 137,03, Senaryo 3 için ; 218,21, Senaryo 4 için; 265,97, Senaryo 5 için; 298,87 olarak sonuç vermektedir. Bekleme süresinin (s/km) en iyi Senaryo 2 olduğu sonucuna varılmıştır. Sinyalizasyonun gecikme süresini artırdığı görülürken, Gürcükapı ve Taşhan kavşaklarının modernizasyonunun gecikmeleri azalttığı tespit edilmiştir. Bu durumun kırmızı ışıkta beklemeden kaynaklandığı düşünülebilir. Kavşakta yön değiştirmek de gecikmelere katkıda bulunmaktadır.



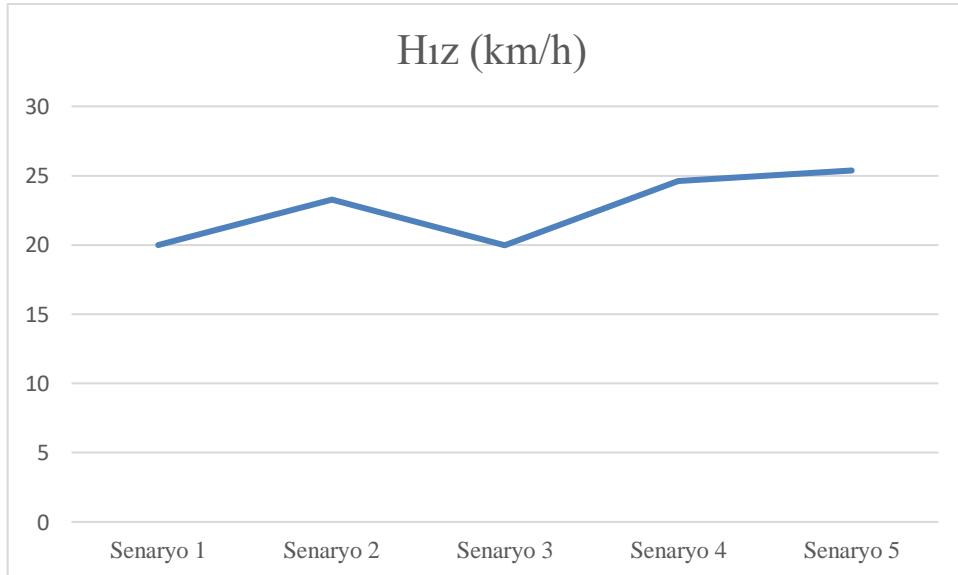
Şekil 68. Bekleme süresi sonuç değerleri

Şekil 69 senaryolar için seyahat süresi (s/km) simülasyon çıktı sonuçlarını göstermektedir. Senaryo 1 için; 365,44 , Senaryo 2 için; 238,42, Senaryo 3 için; 322,70, Senaryo 4 için; 371,85, Senaryo 5 için; 404,70 olarak sonuç vermektedir. Senaryolar için seyahat süresi (s/km) en iyi Senaryo 2 olduğu sonucuna varılmıştır.



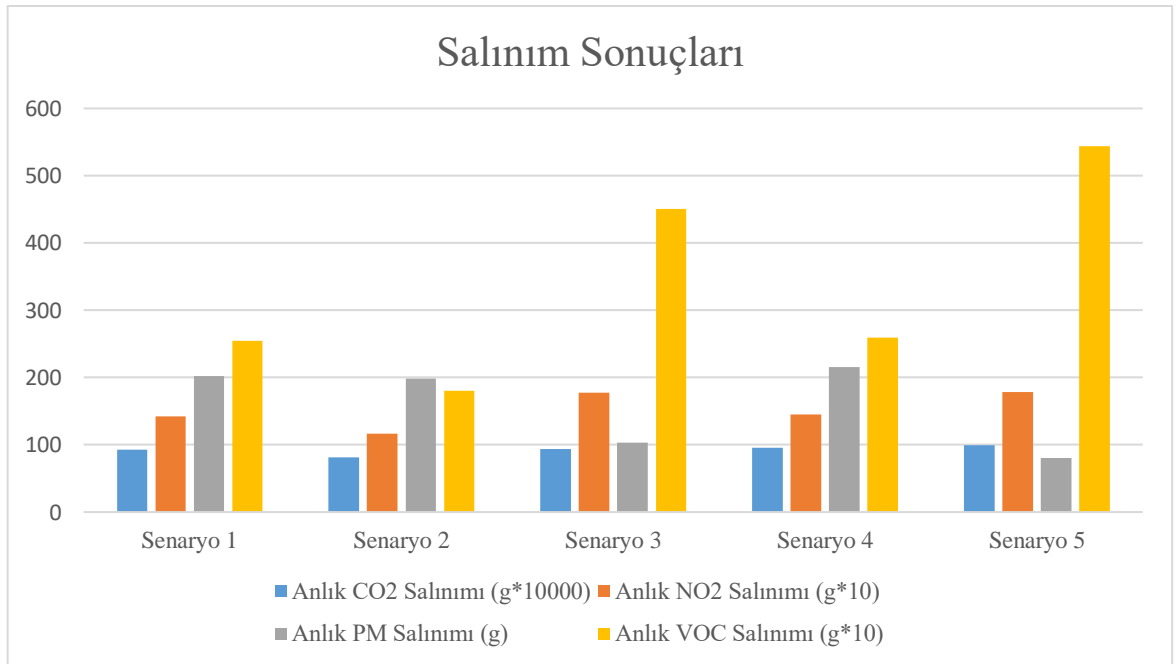
Şekil 69. Seyahat süresi sonuç değerleri

Şekil 70 senaryolar için hız (km/saat) simülasyon çıktı sonuçlarını göstermektedir. Senaryo 1 için; 19,99 , Senaryo 2 için; 23,25, Senaryo 3 için; 19,97, Senaryo 4 için; 24,59, Senaryo 5 için; 25,37 olarak sonuç vermektedir. Senaryolar için hız (km/saat) en iyi Senaryo 1 olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer senaryolar içinde yakın değerler olduğunu görülmektedir. Kavşak kollarının yönlerini değiştirmenin hız açısından önemli bir fayda sağlamadığını göstermektedir.



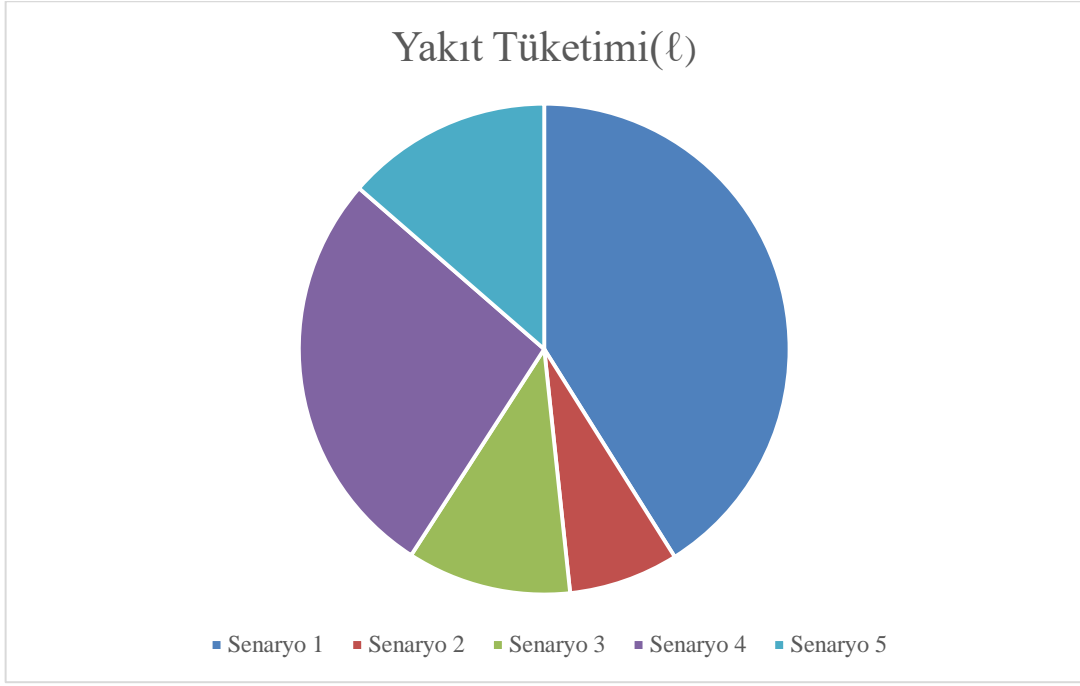
Şekil 70. Hız sonuç değerleri

Şekil 71 senaryolar için yine GEH Analizi sonuçlarına göre Anlık CO_2 Salınımı 81,37 (g*10000), Anlık NO_x Salınımı 116,76 (g*10), Anlık VOC Salınımı 180,70 (g*10), Anlık PM salınımı (g) simülasyon çıktı sonuçlarını göstermektedir. Anlık CO_2 Salınımı Senaryo 1 için; 92,40 , Senaryo 2 için; 81,37, Senaryo 3 için; 93,81, Senaryo 4 için; 95,53, Senaryo 5 için; 98,97 olarak sonuç vermektedir. Senaryolar için Anlık CO_2 Salınımı (g*10000) en iyi Senaryo 2 olduğu sonucuna varılmıştır. Anlık NO_x Salınımı Senaryo 1 için; 142,42 , Senaryo 2 için; 116,76, Senaryo 3 için; 177,44, Senaryo 4 için; 145,24, Senaryo 5 için; 178,46 olarak sonuç vermektedir. Senaryolar için Anlık NO_x Salınımı (g*10) en iyi Senaryo 2 olduğu sonucuna varılmıştır. Anlık VOC Salınımı Senaryo 1 için; 254,85 , Senaryo 2 için; 180,70, Senaryo 3 için; 450,67, Senaryo 4 için; 258,88, Senaryo 5 için; 544,08 olarak sonuç vermektedir. Senaryolar için Anlık VOC Salınımı (g*10) en iyi Senaryo 2 olduğu sonucuna varılmıştır. Anlık PM Salınımı Senaryo 1 için; 202,07 , Senaryo 2 için; 189,56 Senaryo 3 için; 103,57, Senaryo 4 için; 215,24, Senaryo 5 için; 80,23 olarak sonuç vermektedir. Senaryolar için Anlık PM Salınımı (g*10) en iyi Senaryo 5 olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 71. Salınım sonuç değerleri

Şekil 72 senaryolar için yakıt tüketimi (ℓ) simülasyon çıktı sonuçlarını göstermektedir. Senaryo 1 için; 437, 84, Senaryo 2 için; 77, 2, Senaryo 3 için; 115,30, Senaryo 4 için; 290,55, Senaryo 5 için; 145,17 olarak sonuç vermektedir. Yakıt tüketimi (ℓ) en iyi Senaryo 2 olduğu sonucuna varılmıştır. Bekleme süresinin az olmasından kaynaklı yakıt tüketimi azdır.

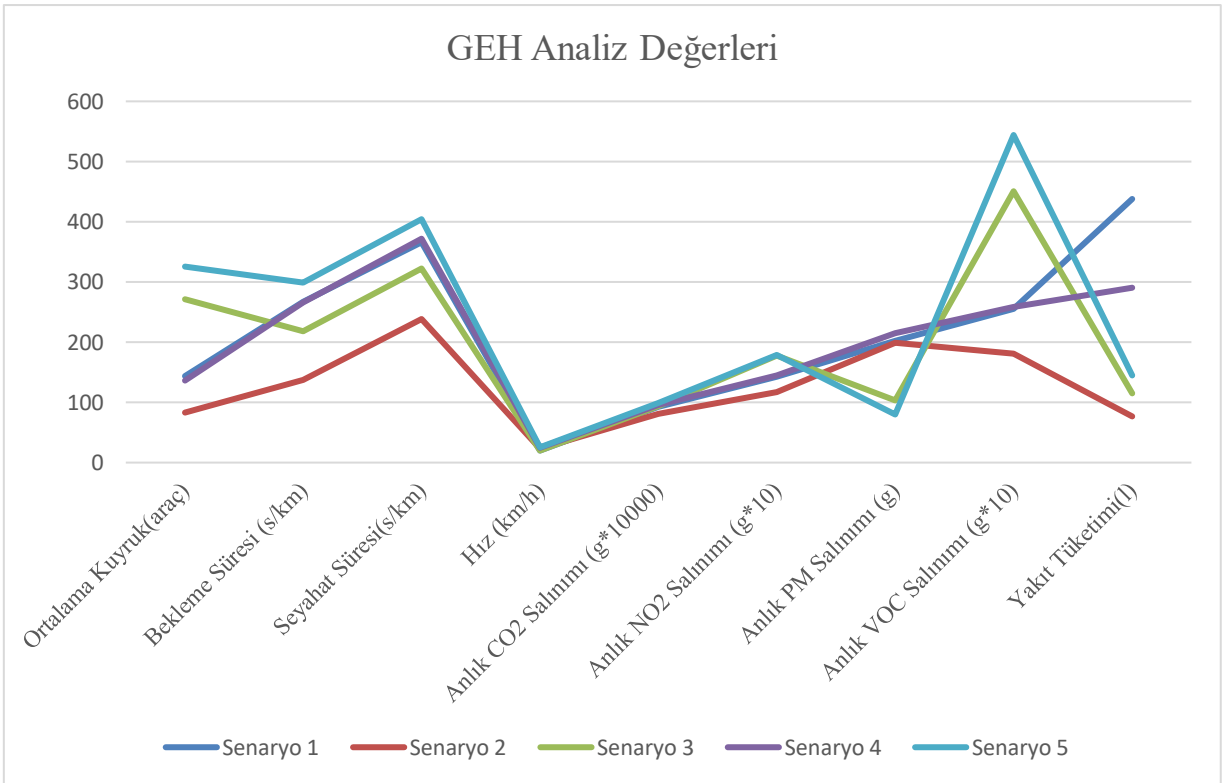


Şekil 72. Yakıt tüketimi sonuç değerleri

Şekil 73-74 'te mevcut durumdaki Seneryo 1 ve seneryo 4' teki her bir parametrenin değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir. Burada, geometrik yapının değiştirilmesi ve yönün ters çevrilmesinin yani senaryo 4' ün işe yarama olasılığının düşük olduğu ve sadece maliyetlere ekleneceği anlamına gelmektedir. Senaryo 3 incelendiğinde, gecikme süresi, bekleme süresi ve seyahat süresi açısından ikinci en iyi senaryo; ortalama kuyruk, anlık NO_x , VOC ve PM parametreleri açısından ikinci en kötü senaryo; ve anlık CO_2 açısından dördüncü en kötü senaryo olduğu görülmektedir. Uzun seyahat süreleri, hedefe ulaşmak için trafiğe katılan kullanıcılar üzerinde baskı yaratmaktadır. Bu durum bizim bulgularımızla birleştirildiğinde, söz konusu senaryonun mevcut durumdan daha kötü çıktılar vermesi, bu senaryonun uygulanmasının anlamsız olduğunu göstermektedir. Grafik, sinyalize olmayan kavşaklar aynı yön senaryosunun yani senaryo 2'nin Gürcükapı ve Taşhan kavşaklarında ve bunları birbirine bağlayan yollarda işe yaradığını göstermektedir. Bu durumda, çalışma senaryonun uygulanmasını önermektedir.



Şekil 73. Senaryoların analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması 1



Şekil 74. Senaryoların analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması 2

5. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında, Gürcükapı ve Taşhan kavşaklarında gözlenen mevcut trafik sorunlarının giderilmesi amacıyla, farklı geometrik ve işletimsel düzenlemeler içeren dört ayrı senaryo geliştirilmiştir. Önerilen senaryolar; sinyalizasyon kavşak, sinyalizasyon ters kavşak, sinyalizasyon içermeyen kavşak düzenlemesi ve mevcut duruma alternatif bir sinyalizasyon dışı işletim modeli olmak üzere tanımlanmıştır. Her bir senaryo, mevcut durumla karşılaştırmalı olarak seyahat süresi, gecikme süresi, bekleme süresi, ortalama hız, kuyruk uzunluğu, yakıt tüketimi ve CO_2 , NO_x , PM ve VOC gibi anlık emisyon parametreleri açısından ayrıntılı biçimde analiz edilmiştir.

Analiz sonucunda, Senaryo 2 seçeneğinin, kuyruk uzunluğu 83,16 (araç), seyahat süresi 238,424 (s/km), bekleme süresi 137,03 (s/km), yakıt tüketimi 77,2 (ℓ) ve emisyon değerleri açısından yine GEH Analizi sonuçlarına göre Anlık CO_2 Salınımı 81,37 (g*10000), Anlık NO_x Salınımı 116,76 (g*10), Anlık VOC Salınımı 180,70 (g*10), mevcut duruma kıyasla önemli iyileştirmeler sağladığı tespit edilmiştir. Mikroskobik trafik simülasyonları sonucunda elde edilen bulgular, incelenen dört alternatif senaryo arasında Senaryo 2'nin genel performans açısından en başarılı seçenek olduğunu göstermiştir. Bu senaryoda, özellikle seyahat süresi ve gecikme sürelerinde sağlanan belirgin azalmalar, kavşak işletim verimliliğinin önemli ölçüde iyileştirildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, kuyruk uzunluklarındaki azalma ve ortalama hızlardaki artış, trafik akışının daha dengeli ve süreklilik arz eden bir yapıya kavuştuğunu göstermektedir.

Çevresel etkiler açısından yapılan değerlendirmeler de Senaryo 2'nin üstünlüğünü desteklemektedir. Yakıt tüketiminde gözlenen düşüşe paralel olarak CO_2 , NO_x , PM ve VOC emisyonlarında anlamlı azalmalar elde edilmiştir. Bu durum, sinyalizasyon kavşak düzenlemesi ile dur-kalk sayısının azalması ve araçların daha akıcı bir hız profilinde seyretmesiyle doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla önerilen senaryo, yalnızca trafik performansını artırmakla kalmamış, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da olumlu sonuçlar üretmiştir.

Çalışmada kullanılan Aimsun yazılımı, mikro ölçekte trafik akışının modellenmesi, farklı senaryoların karşılaştırılması ve trafik kaynaklı çevresel etkilerin değerlendirilmesi açısından etkin bir analiz aracı olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, kavşak

düzenlemelerine yönelik karar alma süreçlerinde yalnızca kapasite ve gecikme ölçütlerinin değil, çevresel etkilerin de dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Bu bağlamda çalışma, yerel yönetimler ve ulaştırma planlamacıları için uygulanabilir ve bilimsel temellere dayanan bir yol haritası sunmakta; benzer kentsel kavşaklarda gerçekleştirilecek trafik iyileştirme projelerine rehberlik edebilecek nitelikte bulgular sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

- An a, K.H., Yue a, W., & Stazic, B. (2017). Estimation of vehicle queuing lengths at metering roundabouts. *Journal o f traffic a nd transportation engineering (English Edition)*, 4(6)/545e554.
- Acar, G. (2007). *Tek yön sistemlerinin çift yöne dönütürülmesinin sonuçları ve performans analizi üzerine araştırma (Balıkesir ve İzmir örnekleri)*. (Yayınlanmış yüksek lisans tezi),Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Adriaans, P., & Zantinge, D. (1997). *Data mining*. Boston, MA, USA: Addison Wesley Longman Publishing.
- Aimsun, E. S. (1997). *Internet & networking support*. Retrieved April 13, 2023, from <https://www.aimsun.com/>
- Akkaya, S. (2022). Trafik simülasyon yazılımlarına genel bakış. *Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, Cilt:5 Sayı:2.
- Aksoy, P. (2019). *Işıklı kavşaklarda sola dönüşlerde sürücülerin kurallara uymamaları ile trafik işaretlemeleri ve kavşak geometrisi arasındaki ilişkilerin incelenmesi*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Alemdar, K. D. (2019). *Kavşak tasarımlarının karar verme teknikleri ile değerlendirilmesi*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Alızadeh, N. (2019). *Analysing traffic network parameters after implementing on e-Way method:Hatay, Dörtüol case study*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Ataşoğlu, S. (2019). *Sinyalize kavşaklarda farklı geometrik özelliklerin performans üzerine etkisinin incelenmesi*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Avşar,Özinal, Y., Yıldırım, Z. B. ve Çalışkanelli, S. (2023). Yol tasarım ve işletme sorunlarının trafik kazaları üzerindeki etkisinin incelenmesi: Buca Koop. Mahallesi Örneği. *OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,Araştırma Makalesi*, 6(1):275-288.
- Baş, F. İ., Çolak, M. A., Demiriz, A. O., Bayata, H. F., Bayrak, O. Ü., Keleş, Ö. F., . . . Gürel, M. O. (2020). Kentiçi kavşakların mikrosimülasyon yöntemiyle modellenmesi: Erzurum İli örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı, Araştırma Makalesi*, 444-451.

- Beryan, B. (2023). *Kavşak tasarımında trafik simülasyonu uygulamaları: Bursa İli Gürsu Kavşağı örneği*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Camcı, A. A. (2019). *Kavşak tasarımında trafik simülasyon tekniklerinin kullanımı ve Sakarya için uygulamalar*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Deniz, F. A. (2023). *Mikrosimülasyon programı kullanılarak üretilen kent içi trafik koridoruna ait veriler ile makine öğrenmesi tahmin modellerinin oluşturulması*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Erol, D. ve Başka, Ö. (2017). Şehir içi ışıklı ve dönel kavşak uygulamalarının performans kriterlerine etkisinin incelenmesi. *Araştırma Makalesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Anabilim Dalı, Denizli*.
- Figueiredo, M., Secoa, A., & Silva, A. B. (2014). *Calibration of microsimulation models – the effect of calibration*. *Transportation Research Procedia* 3, 962-971.
- Gedizlioğlu, E. (2004). Kentlerimizde trafik yönetimi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*. <https://eski.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/128.pdf> adresinden 15 Mart 2023 tarihinde edinilmiştir.
- Genç, K. B. (2018). *Üniversite kampüslerinde sürdürülebilir karayolu ağının geometrik tasarımı: YTÜ Davutpaşa Kampüsü örneği*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Giannakosa, L., Mintsis, E., Basbas, S., Mintsis, G., & Taxiltaris, C. (2021). *Simulating traffic and environmental effects of pedestrianization and traffic management. A comparison between static and dynamic traffic assignment*. *Transportation Research Procedia* 24, 313-320.
- Granal, A., Giuffre, T., Macioszek, E., & Acuto, F. (2020). Estimation of passenger car equivalents for two-lane and turbo roundabouts using aimsun. *Frontiers in Built Environment*, Volume 6/Article 86.
- İlyas, S. A. ve Üser Yavuz. (2017). Antalyada sinyalizeli dönel kavşakta bilgisayar programı ile tasarım çalışması. *Optimum Desing Of A Rotary Intersection With Aimsun Programme*. https://www.researchgate.net/publication/343530073_Optimum_Desing_Of_A_Rotary_Intersection_With_Aimsun_Programme adresinden 5 Nisan 2023 tarihinde edinilmiştir.

- İnan, O. (2003). *Veri madenciliği*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- İnançlı, M. (2012). *Dönel kavşakların güvenliği ve Konya'daki bazı kavşakların incelenmesi*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Kalikov, A. (2006). *Veri madenciliği ve bir E-ticaret uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi. <https://tezara.org/theses/180400>. adresinden 19 Mayıs 2023 tarihinde edinilmiştir.
- Kırımlı, Y. S. (2019). *Eşdüzey kavşaklarda kavşaklar arası mesafenin kavşak performansına etkisinin araştırılması*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Kitabı, K. E. (2022). <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Yayinlar/Yayinlar.aspx> adresinden 03 Haziran 2023 tarihinde edinilmiştir.
- Macedob, J., Vilarinho, C., Soaresb, G., Tavaresa, J. P., & Rossettib, R. j. (2014). Capability-enhanced aimsun with real-time signal timing control. *Social And Behavioral Sciences* 111, 262-271.
- Madi, M. Y. (2016). *Investigating and calibrating the dynamics of vehicles in traffic micro-simulations models*. Transportation Research Procedia, 1782-1791.
- Öğütveren, E. (2019). *Modern dönel kavşakların geometrik tasarımı ve kapasite*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Özinal, Y. ve Uz, V. E. (2021). Dönel kavşak geometrik elemanlarının kavşak güvenliği üzerine etkisinin literatür ışığında değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 2(1):283-297.
- Özkuş, T. (2023). *10.yıl arterindeki 3 eş düzey sinyalizasyon kavşağının akıllı kavşak performanslarının incelenmesi*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Papatzikou, E., & Stathopoulos, A. (2018). Rapid algorithm for finding the best combination of signaling phases using optimization methods. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 229-240.
- Pratelli, A., & Brocchini, L. (2022). *Two geometry roundabouts: estimation of capacity*. International Scientific Conference, The Science and Development of Transport – Znanost. Antonio Pratelli et al. / Transportation Research Procedia, 232-239.
- Ra, P. (2016). *Aimsun mikro simülasyonun pratik bir uygulaması: Mikro simülasyonun NI Fraway*. 27.Güney Afrika Ulaştırma Konferansı (SATC 2008) Bildirileri, ISBN Numarası 978-1-920017-3-7.

- Rodrigues, A., Cordero, R., Alonso, B., Dell'olio, L., & Benavente, J. (2021). *Microsimulation parking choice and search model to assess*. Transportation Research Part A.
- Rosca, M., Oprea, C., Petrescu, R., Burciu, S., & Stere, A. (2019). *Improving safety and traffic conditions on national roads passing through towns without bypass*. 13th International Conference Interdisciplinarity in Engineering (Inter-Egn 2019).
- Sağlık, A., Ekiz, N., Bayram, S. ve Temiz, M. (2020). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Kavşağı peyzaj düzenlemesinin incelenmesi. *Makale,18 Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı,Çanakkale, 78-85*.
- Salgadoa, D., Jolovichb, D., Martinc, P. T., & Aldreded, R. M. (2016). *Traffic microsimulation models assessment – A case study of international land port of entry* . The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies, 441-448.
- Sesli, G. (2017). *Kent içi kavşak tasarımı*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Yaya Geçidi Standartları, T. (1989, Kasım). Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolu Trafik İşaretleme *Yaya Geçidi Standartları*, Ankara.
- Tasarım Kuralları Standartları, T. (1992, 1Aralık). *Karayolu Trafik İşaretleme Tasarım Kuralları Standartları*, Karayolları Genel Müdürlüğü Ankara.
- Durak Cepleri Standartları, T. (2014, Ocak). *Karayolu Trafik İşaretleme Durak Cepleri Standartları*, Karayolları Genel Müdürlüğü Ankara.
- Karayolu Trafik İşaretleme Şehir İçi Yollar Boyutlandırma ve Tasarım Esasları Standartları, T. (2013, Mart). *Karayolu Trafik İşaretleme Şehir İçi Yollar Boyutlandırma ve Tasarım Esasları Standartları*, Karayolları Genel Müdürlüğü Ankara.
- Kavşak İçi Dönüş Yarıçapları Standartları, T. (1995, Temmuz). *Karayolu Trafik İşaretleme Kavşak İçi Dönüş Yarıçapları Standartları*, Karayolları Genel Müdürlüğü Ankara.
- Tuncuk , M., ve Karaşahin, M. (2005). Şehir içi Eşdüzey Kavşak Geometrilerinin ve Kazalara Etkilerinin İncelenmesi. <https://eski.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11165.pdf> adresinden 1 Nisan 2023 tarihinde edinilmiştir.
- Veysel, G. (2013). *Türkiye'de karayolları üzerinde mevcut dönel kavşakların geometrik tasarımları dikkate alınarak trafik güvenliği yönünden incelenmesi*. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir.
- Yalçınlı, F., Akdemir, B., Durdu, A. ve Yıldız, Ö. (2023). Tam trafik uyarmalı sinyalizasyon sisteminin simülasyon modellemesi ve iyileştirme oranlarının saptanması. *Uluslararası İleri Doğa Bilimleri ve Mühendislik Araştırma Dergisi*, Sayı:7,S.1-7,6.
- Yarımağan, Ü. (2000). *Veritabanı sistemleri*. Ankara: Akademi Yayınevi.

Yetgin, Z. (2020). *Kavşak tasarım -uygulama hatalarının analizine yönelik bir araştırma*. Euroasia Journal of Mathematics,Engineering, Natural and Medical Sciences, <https://euroasiajournal.org/index.php/ejas/article/view/47> adresinden 1 Nisan 2023 tarihinde edinilmiştir.

EKLER

Ek A. Autocad Dosyası

Ek B. Sketchup Dosyası

Ek C. Aimsun Dosyası

Ek D. Aimsun Sonuç Dosyası

ÖZGEÇMİŞ

Zühal ZİREK, 1989 yılında Erzurum'da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Erzurum'da tamamladım. 2012 yılında Atatürk Üniversitesi Matematik Bölümünden, 2014 yılında Anadolu Üniversitesi Kamu Yönetimi Bölümünden, 2019 yılında Erzurum Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldum. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesin 'de yüksek lisans eğitimime devam etmekteyim. 2013 yılından beri Erzurum Büyükşehir Belediyesinde çalışmaktayım.