

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**SİNYALİZE KAVŞAKLARDA TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN
BENZETİME DAYALI ANALİZİ VE ENİYİLENMESİ:
GAZİANTEP İLİ ÖRNEĞİ**

HAZIRLAYAN

HANDE SAMBUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA - 2025

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**SİNYALİZE KAVŞAKLARDA TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN
BENZETİME DAYALI ANALİZİ VE ENİYİLENMESİ:
GAZİANTEP İLİ ÖRNEĞİ**

HAZIRLAYAN

HANDE SAMBUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ MERVE UZUNER

ANKARA - 2025

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Hande Sambur tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 26 / 08 / 2025

Tez Adı: Sinyalize Kavşaklarda Trafik Yoğunluğunun Benzetime Dayalı Analizi ve Eniyilenmesi: Gaziantep İli Örneği

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Doç. Dr. Gerçek BUDAK	Yıldırım Beyazıt Üniversitesi	
Dr. Öğr. Üyesi Merve UZUNER	Başkent Üniversitesi	
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet GÜLŞEN	Başkent Üniversitesi	

ONAY

Prof. Dr. Dilek ÇÖKELİLER SERDAROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih : ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 10 / 09 / 2025

Öğrencinin Adı, Soyadı: Hande Sambur

Öğrencinin Numarası: 2210393

Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Programı: Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Dr. Öğr. Üyesi Merve Uzuner

Tez Başlığı: Sinyalize Kavşaklarda Trafik Yoğunluğunun Benzetime Dayalı Analizi ve Eniyilenmesi: Gaziantep İli Örneği

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans/Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 90 sayfalık kısmına ilişkin, 10 / 09 /2025 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

ONAY

Tarih : ... / ... /

Öğrenci Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Merve UZUNER

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi, tecrübe ve engin akademik birikimiyle bana yol gösteren, araştırma sürecimde karşılaştığım her zorlukta yapıcı önerileri ve çözüm odaklı yaklaşımıyla desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Merve Uzuner'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın bu önemli döneminde, tez sürecimin en yoğun ve stresli zamanlarında dahi anlayışı, sabrı ve desteğiyle yanımda olan, birlikte geleceğe adım atmaya hazırlandığım değerli nişanlım Arif Uzel'e teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren, yaşamım boyunca sevgileri, fedakârlıkları ve inançlarıyla her zaman yanımda olan canım ailem annem Merve Sambur, babam Bilal Sambur ve kardeşim Kıvanç Sambur'a minnettarım. Tez sürecim boyunca gösterdikleri sabır, anlayış ve destek; her aşamada moral ve motivasyon kaynağım olmuş, çalışmamı tamamlamamda en önemli etkenlerden biri olmuştur.

Bu süreçte hem iş hayatının hem de tez çalışmalarının zorluklarını paylaşan, her zaman yanımda olup desteğini hissettiren değerli iş arkadaşım Minel Balaban'a ve bu dönemde moralimi yüksek tutmamı sağlayan tüm arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Ayrıca, tez çalışmam kapsamında ihtiyaç duyduğum trafik verilerinin sağlanması, açıklanması ve detaylandırılması sürecinde göstermiş oldukları iş birliği ve desteklerinden dolayı Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'ne teşekkür ederim.

Bu çalışmada, sevgisini, inancını ve desteğini her daim yanımda hissettiren aileme, hayatımın en değerli yol arkadaşına ve dostlarıma en içten sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Hande SAMBUR

SİNYALİZE KAVŞAKLARDA TRAFİK YOĞUNLUĞUNUN BENZETİME DAYALI ANALİZİ VE ENİYİLENMESİ: GAZİANTEP İLİ ÖRNEĞİ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

2025

Günümüzde şehirleşmenin hız kazanmasıyla birlikte bireylerin ulaşım ihtiyacı da paralel şekilde artış göstermekte; bu durum özellikle büyükşehirlerde ciddi trafik yoğunluklarını beraberinde getirmektedir. Özellikle sabah ve akşam zirve saatlerinde, işe ve okula gidiş-geliş sürelerinde kent içi ulaşım ağlarında belirgin bir trafik sıkışıklığı yaşanmaktadır. Günün belirli zaman dilimlerinde trafik akışının neredeyse durma noktasına gelmesi, özellikle sinyalize kavşaklarda daha da belirgin hale gelmektedir. Kavşaklar, şehir içi trafik akışının hem yönlendirildiği hem de en fazla darboğazın yaşandığı kritik noktalardan biridir.

Benzetime dayalı yaklaşımlar, gerçek hayat uygulamalarına geçilmeden önce sistemin davranışının önceden analiz edilmesine olanak tanıyarak hem zaman hem de maliyet açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu bağlamda, ARENA benzetim yazılımının esnek ve kullanıcı dostu yapısı, farklı araç türleri ve yönelme oranları gibi değişkenlerin modele entegre edilmesine imkân sağlayarak, trafik sistemlerinin daha gerçekçi ve ayrıntılı biçimde analiz edilmesine olanak vermektedir.

Bu çalışma, Gaziantep şehir merkezinde yer alan ve birbirine operasyonel olarak bağlı iki sinyalize kavşağın performansını analiz etmeyi ve iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Kavşakların özellikle en yoğun zaman dilimlerine ait gerçek saha verileri temin edilmiştir. Araç geliş oranları, dönüş oranları ve sinyal fazları gibi parametrelerin dikkate alınmasıyla oluşturulan benzetim modelinde kavşaklar, senkronize bir sistem olarak ele alınmıştır.

Böylece sinyal sürelerinin sistem üzerindeki etkisi gözlemlenebilmekte, olası iyileştirme senaryoları sayısal olarak test edilebilmektedir. Çalışma kapsamında ARENA benzetim yazılımı kullanılarak kavşakların mevcut durumu modellenmiş; OptQuest modülü kullanılarak farklı sinyal zamanlama senaryoları test edilmiştir. Bu sayede farklı sinyal sürelerinin kavşak performansı üzerindeki etkisi; toplam çıkış hacmi, yön başına kuyruk uzunluğu göstergelerine dayalı olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda araç geçiş kapasitesini artıran en uygun konfigürasyon(lar) belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, sinyal

sürelerinde yapılan makul değişikliklerin trafik akışında kayda değer iyileşmelere yol açtığını göstermekte ve koordineli sinyal kontrolünün önemini ortaya koymaktadır. Çalışma, benzer kentsel alanlar için veri temelli, tekrarlanabilir bir eniyileme yaklaşımı sunarak trafik planlaması ve yönetimi açısından önemli bir katkı sağlamaktadır.

ANAHTAR KELİMELEER: Trafik Benzetimi, Kavşak Eniyilemesi, Benzetim Eniyilemesi, Kavşak Performans Analizi, Sinyal Süresi Eniyilemesi



ABSTRACT

Hande SAMBUR

SIMULATION-BASED ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF TRAFFIC DENSITY ANALYSIS AND SIMULATION OPTIMIZATION AT SIGNALIZED INTERSECTIONS: THE CASE OF GAZİANTEP

Baskent University Institute of Science

Department of Industrial Engineering

2025

With the acceleration of urbanization, individuals' transportation needs have increased correspondingly; leading to severe serious traffic congestion, especially in metropolitan areas. Particularly during morning and evening peak hours, significant congestion emerges in urban transportation networks during commuting periods. At certain times of the day, traffic flow almost comes to a standstill, a phenomenon that becomes especially pronounced at signalized intersections. Intersections represent critical points within urban traffic systems, where traffic is both directed and experiences the most severe bottlenecks.

Simulation-based approaches provide significant advantages in terms of both time and cost, as they allow system behavior to be analyzed in advance before real-word implementation.

In this context, the flexible and user-friendly structure of the ARENA simulation software enables the integration of variables such as different vehicle types and turning ratios into the model, thereby facilitating a more realistic and detailed analysis of urban traffic systems.

This study aims to analyze and improve the performance of two operationally interconnected signalized intersections located in the city center of Gaziantep. Real-world traffic data corresponding to the peak demand periods of the intersections were gathered. Based on parameters including vehicle arrival rates, turning ratios, and signal phases, the intersections were modeled within the simulation as a coordinated system.

In this way, the impact of signal timings on the overall system could be observed, and potential improvement scenarios can be quantitatively tested. Within the scope of the study, the current conditions of the intersections were modeled using the ARENA simulation software; while the OptQuest module was employed to evaluate alternative signal timing scenarios. Consequently, the effects of different signal timings on intersection performance were examined based on indicators such as total output volume and queue length per approach. As a result, the optimal configuration(s) that increase vehicle throughput capacity

were identified. The results demonstrate that reasonable adjustments in signal timings can lead to significant improvements in traffic flow, underscoring the importance of coordinated signal control. Moreover, the study provides a data-driven and replicable optimization approach for similar urban areas, offering a valuable contribution to traffic planning and management.

KEYWORDS: Traffic Simulation, Intersection Optimization, Simulation Optimization, Intersection Performance Analysis, Signal Timing Optimization



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. BENZETİM VE TRAFİK YÖNETİMİNİN TEMELLERİ	6
2.1. Trafik Akışı ve Kavşak Yönetimi	6
2.2. Trafik Sinyalizasyon Sistemleri.....	7
2.3. Simülasyon Türleri (Mikroskobik, Makroskobik, Mezokobik)	9
2.4. ARENA Benzetim Yazılımının Yapısı	12
2.5. OptQuest Modülü: Özellikleri ve Kullanımı	12
3. ALANYAZIN TARAMASI	15
3.1. Trafik Benzetimi ve Uygulama Alanları.....	16
3.2. ARENA Benzetim Yazılımı Kullanılarak Yürütülen Çalışmalar.....	17
4. YÖNTEM ve UYGULAMA.....	20
4.1. İncelenen Kavşakların Tanıtımı.....	20
4.1.1. Çevik Kuvvet-1 kavşağı	20
4.1.2. Çevik Kuvvet-2 kavşağı	23
4.1.3. Kavşaklar arası bağlantı ve etkileşim	25
4.2. Trafik Verilerinin Toplanması.....	26
4.3. Benzetim Modelinin Oluşturulması.....	32
4.3.1. Araç türlerinin gruplandırılması	34
4.3.2. Araç gelişlerinin modellenmesi	34
4.3.3. Araç dönüş oranlarının belirlenmesi.....	35

4.3.4. Modelde kullanılan ARENA modülleri	42
4.3.5. Tekrar (Replication) sayısının belirlenmesi	43
4.3.6. Model sonuçlarının değerlendirilmesi.....	44
4.4. OptQuest ile Eniyileme Süreci	46
5. BULGULAR VE ANALİZ.....	49
5.1. Senaryo 1- Mevcut Durum Eniyilemesi	50
5.1.1 Mevcut durum sonuçları	50
5.1.2. OptQuest ve senaryo analizi.....	53
5.1.3 Dönemler arası karşılaştırma ve nihai öneri	55
5.2. Senaryo 2- KD ve GB Kolları için Bağımsız Faz Uygulaması	56
5.3. Senaryo 3- Alt Geçit Uygulaması.....	59
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
6.1. Mevcut Durumun Değerlendirilmesi ve Eniyileme Sonuçları	64
6.2. Senaryo 2- KD ve GB Kolları için Bağımsız Faz Uygulaması Sonuçları.....	65
6.3. Senaryo 3- Alt Geçit Uygulaması Sonuçları	65
6.4. Öneriler	66
KAYNAKLAR	68
EKLER	
EK 1: TRAFİK SAYIM ÇİZELGESİ	

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. Çevik Kuvvet-1 kavşağı yaklaşım kollarının yönleri ve şerit sayıları	21
Tablo 4.2. Çevik Kuvvet-2 kavşağı yaklaşım kollarının yönleri ve şerit sayıları	23
Tablo 4.3. Kavşak gözlem planı	26
Tablo 4.4. Çevik Kuvvet Kavşaklarında Zaman Aralıklarına Göre Araç Giriş Sayıları	27
Tablo 4.5. Çevik Kuvvet-1 Kavşağı güncel sinyal faz süreleri	32
Tablo 4.6. Çevik Kuvvet-2 Kavşağı güncel sinyal faz süreleri	32
Tablo 4.7. Çevik Kuvvet-1/2 Kavşakları için Kullanılan Üstel Dağılım Parametreleri	35
Tablo 4.8. Çevik Kuvvet-1 Kavşağı için araç dönüş oranları.....	37
Tablo 4.9. Çevik Kuvvet-2 Kavşağı için araç dönüş oranları.....	37
Tablo 4.10. Çevik Kuvvet-1 Kavşağı Sabah için araç tipi bazlı dönüş oranları.....	38
Tablo 4.11. Çevik Kuvvet-1 Kavşağı Akşam için araç tipi bazlı dönüş oranları.....	39
Tablo 4.12. Çevik Kuvvet-2 Kavşağı Sabah için araç tipi bazlı dönüş oranları.....	40
Tablo 4.13. Çevik Kuvvet-2 Kavşağı Akşam için araç tipi bazlı dönüş oranları	41
Tablo 4.14. Mevcut Durum Modeli Replikasyon Sonuçları.....	44
Tablo 4.15. Sabah Zirve Saatleri için Araç Giriş Sonuçları.....	45
Tablo 4.16. Akşam Zirve Saatleri için Araç Giriş Sonuçları	46
Tablo 5.1. Mevcut Durum Modeli (Sabah Dönemi) – Sistem Giriş/Çıkış	50
Tablo 5.2. Mevcut Durum Modeli (Sabah Dönemi) – Bekleme Kuyrukları.....	51
Tablo 5.3. Mevcut Durum Modeli (Akşam Dönemi) – Sistem Giriş/Çıkış.....	52
Tablo 5.4. Mevcut Durum Modeli (Akşam Dönemi) – Bekleme Kuyrukları	52
Tablo 5.5. Sabah Zirve Saatler için OptQuest Sonuçları.....	53
Tablo 5.6. Sabah Zirve Saatler için Seçilen Yeşil Işık Faz Kombinasyonları	53
Tablo 5.7. Sabah Zirve Saatler için Uygulanan Faz Kombinasyonlarının Sonuçları	54
Tablo 5.8. Akşam Zirve Saatler için OptQuest Sonuçları.....	54
Tablo 5.9. Akşam Zirve Saatler için Seçilen Yeşil Işık Faz Kombinasyonları	55
Tablo 5.10. Akşam Zirve Saatler için Uygulanan Faz Kombinasyonlarının Sonuçları.....	55
Tablo 5.11. Mevcut Durum vs. Senaryo 2 (Sabah Zirve Saatleri).....	56
Tablo 5.12. OptQuest En İyi Çözüm Senaryo 2–Yeşil Işık Süreleri (Sabah Zirve Saatler).57	
Tablo 5.13. Mevcut Durum vs. Senaryo 2 (Akşam Zirve Saatler)	58
Tablo 5.14. OptQuest En İyi Çözüm Senaryo 2–Yeşil Işık Süreleri (Akşam Zirve Saatler).59	

Tablo 5.15. Mevcut Durum vs. Senaryo 3 (Sabah Zirve Saatler).....	60
Tablo 5.16. OptQuest En İyi Çözüm Senaryo 3–Yeşil Işık Süreleri (Sabah Zirve Saatler)..	61
Tablo 5.17. Mevcut Durum vs. Senaryo 3 (Akşam Zirve Saatler)	62
Tablo 5.18. OptQuest En İyi Çözüm Senaryo 3–Yeşil Işık Süreleri (Akşam Zirve Saatler)..	63



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Tez Kapsamında İzlenen Metodolojik Süreç.....	5
Şekil 2.1. Eş-simülasyon tabanlı eniyileme yaklaşımı	9
Şekil 2.2. Şekil Trafik akışı modellerinin sınıflandırılması	10
Şekil 3.1. Yıllara Göre Yayın Sayısı	16
Şekil 4.1. Çevik Kuvvet-1 Kavşağı'nın kuş bakışı görünümü	21
Şekil 4.2. Çevik Kuvvet-1 Kavşağı'nın detaylı görünümü	22
Şekil 4.3. Çevik Kuvvet-2 Kavşağı'nın kuş bakışı görünümü	23
Şekil 4.4. Çevik Kuvvet-2 Kavşağı'nın detaylı görünümü	24
Şekil 4.5. Çevik Kuvvet-1 ve Çevik Kuvvet-2 kavşaklarının harita üzerindeki konumları.	26
Şekil 4.6. Çevik Kuvvet-1'de toplam taşıt hacminin sabah–akşam karşılaştırması	28
Şekil 4.7. Çevik Kuvvet-2'de toplam taşıt hacminin sabah–akşam karşılaştırması	29
Şekil 4.8. Çevik Kuvvet-1/2 kavşaklarında yer alan trafik ışıklarının konumsal planı.....	31
Şekil 4.9. ARENA Modeli Akış Diyagramı.....	33

1. GİRİŞ

Günümüzde şehirlerin hızlı bir şekilde büyümesi, motorlu taşıt sahipliğinin artması ve kentleşme oranının yükselmesi, ulaşım sistemlerinde ciddi baskılar oluşturmakta ve trafik sorunlarını şehir yaşamının merkezine yerleştirmektedir. Özellikle sabah ve akşam zirve saatlerinde; işe ve okula gidiş-gelişlerin yoğunlaştığı zaman dilimlerinde ortaya çıkan trafik tıkanıklığı, yalnızca bireysel düzeyde zaman ve enerji kaybına yol açmakla kalmamakta, aynı zamanda hava kirliliği, karbon salınımı ve gürültü gibi çevresel sorunları da derinleştirmektedir. Artan trafik stresi, bireylerin psikolojik sağlığı üzerinde de olumsuz etkiler yaratmakta; kentte yaşam kalitesini düşüren başlıca unsurlardan biri haline gelmektedir. Bu sorunların en yoğun şekilde yaşandığı yerlerin başında ise, araç hareketlerinin yönlendirildiği, çeşitli trafik fazlarının kesiştiği ve darboğaz niteliği taşıyan sinyalize kavşaklar gelmektedir.

Bu çalışmada örneklem alanı olarak ele alınan Gaziantep ili, söz konusu trafik sorunlarının birçok boyutuyla gözlemlenebildiği ve çeşitli yönleriyle analiz edilebildiği yüksek potansiyelli bir büyükşehir konumundadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin en büyük ili olan Gaziantep, yalnızca bölgesel bir üretim ve dağıtım merkezi olmakla kalmayıp, aynı zamanda Türkiye genelinde de ekonomik ve lojistik olarak kilit bir rol üstlenmektedir. Sanayi altyapısı, hızla artan nüfusu, gelişen ulaşım ağı, kentsel büyüme dinamikleri ve turizm potansiyeli ile Gaziantep; çok boyutlu trafik sorunlarını içinde barındıran, hem teorik hem uygulamalı analizler için zengin bir ortam sunan bir örnek alan niteliğindedir.

Gaziantep'in nüfusu son dört yılda istikrarlı bir artış göstermiştir. 2020 yılında 2.101.157 olan nüfus, 2024 yılı itibarıyla 2.193.363'e ulaşmıştır [1]. Bu artış, hem bireysel taşıt kullanımı hem de kamu ulaşım sistemlerine olan talebi yükseltmiş; şehir içi ulaşım altyapısı üzerindeki baskıyı önemli ölçüde artırmıştır. Bu bağlamda, nüfus artışı ile orantılı olarak trafik hacminin de sürekli yükseldiği gözlemlenmektedir. Şehirdeki ulaşım ağı, bu büyümeyi karşılayacak şekilde yeniden planlanmadığı takdirde, sinyalize kavşaklardaki gecikme süreleri, araç yığılmaları ve ortalama hızlarda düşüş gibi olumsuzluklar daha da artacaktır.

Bu nüfus dinamiklerine paralel olarak, motorlu taşıt sahipliğinde de dikkat çekici bir artış yaşanmaktadır. Türkiye genelinde trafiğe kayıtlı araç sayısının en yüksek olduğu iller arasında Gaziantep, 7. sırada yer almaktadır. 2025 yılı Haziran ayı itibarıyla Gaziantep'te trafiğe kayıtlı araç sayısı 746.018'e ulaşmıştır. Bu sayı, şehir nüfusunun dikkate alındığında,

her üç kişiye bir araç düştüğünü göstergesi olmuştur. Bu oran, Türkiye ortalamasının oldukça üzerindedir ve bireysel araç kullanımının kent içi ulaşımda yaygın şekilde tercih edildiğini göstermektedir. Bu durum, Gaziantep’in hem taşıt yoğunluğu hem de trafik yükü açısından Türkiye’nin en kritik büyükşehirlerinden biri olduğunu açıkça ortaya koymaktadır [2].

Artan araç sahipliği, özellikle şehir merkezlerinde trafik yoğunluğunu artırmakta; sinyalize kavşaklarda uzayan kuyruklar, artan bekleme süreleri ve tıkanıklıklar gibi yapısal sorunlara yol açmaktadır. Öte yandan, yeni araç kayıtlarının her yıl artarak devam etmesi, mevcut ulaşım altyapısı üzerindeki yükün gelecek yıllarda daha da artacağına işaret etmektedir.

Gaziantep’in sadece nüfus ve araç sayısı açısından değil, aynı zamanda turizm potansiyeli açısından da trafik sistemleri üzerinde yoğun bir etkisi bulunmaktadır. UNESCO tarafından “Gastronomi şehri” unvanı ile tescillenen Gaziantep, yıl boyunca hem yerli hem de yabancı turistlerin yoğun ilgisini çekmektedir[3]. Hafta sonları, bayram tatilleri, gastronomi festivalleri ve ulusal-uluslararası organizasyon dönemlerinde ziyaretçi sayısındaki belirgin artış, şehir merkezindeki yollar ve kavşaklarda aşırı yoğunluklara ve tıkanmalara neden olmakta, bu durum da trafik kontrolünü zorlaştırmaktadır. Özellikle trafiğin en sıkışık olduğu saatlerde hem yerel halkın hem de ziyaretçilerin aynı gzerghları kullanması, kavşak noktalarında düzensizlikleri artıran bir başka etkindir.

Buna ek olarak, Gaziantep’in Türkiye ihracatındaki yeri de trafik açısından önemli bir etkindir. 2024 yılı itibarıyla yaklaşık 10 milyar dolarlık ihracat hacmiyle, Gaziantep, Türkiye’nin en fazla ihracat yapan altıncı ili konumundadır [4]. Bu dış ticaret hacmi, şehirdeki sanayi üretiminin yksekliliğini ve kara yolu lojistik faaliyetlerinin yoğunluğunu yansıtmaktadır. Türkiye’nin en büyük yzlmne sahip Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Gaziantep’te yer almakta olup, bu bölgeden yurt içi ve yurt dışına taşınan mallar nedeniyle günlük olarak ağır taşıt trafiğini etkilemektedir. Bu durum, şehir içi trafiği yalnızca bireysel taşıtlar açısından değil, lojistik geçişler ve yük taşımacılığı bakımından da ciddi şekilde etkilemektedir.

Bu çerçevede, şehir içi trafik akışının etkin ve sürdürülebilir biçimde yönetilebilmesi için, sinyalize kavşaklarda oluşan tıkanma noktalarının bilimsel yöntemlerle analiz edilmesi gerekmektedir. Geleneksel, gözleme dayalı müdahalelerin çoğu zaman yetersiz kaldığı bu analiz için veri temelli, modelleme ve eniyileme odaklı yaklaşımların kullanılması gerekmektedir. Gaziantep gibi hem nüfus yoğunluğu hem de turizm hareketliliği açısından baskı altında olan büyükşehirlerde, sinyalize kavşakların performansının analiz edilmesi ve

ihtiyaç doğrultusunda yeniden yapılandırılması, sürdürülebilir ulaşım politikalarının geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Trafik akışının benzetime dayalı analizi ve eniyilemesi, günümüzde önemi hızla artan bir yaklaşımdır. Özellikle karmaşık yapıya sahip kentsel trafik sistemlerinin modellenmesi, performanslarının değerlendirilmesi ve alternatif stratejilerin test edilmesi açısından benzetime dayalı yaklaşımlar önemli avantajlar sunmaktadır.

Benzetime dayalı yöntemler, gerçek dünya uygulamalarına geçilmeden önce sistem davranışının öngörülmesine imkân tanıyarak hem zaman hem de maliyet açısından çok sayıda avantaj sağlamaktadır. Bu çerçevede, ARENA benzetim yazılımının esnek ve kullanıcı dostu yapısı, araç türleri, yönelme oranları ve trafik akış özellikleri gibi çeşitli değişkenlerin modele entegre edilmesine olanak tanımakta; böylece trafik sistemlerinin daha gerçekçi, ayrıntılı ve senaryo odaklı biçimde analiz edilmesine zemin hazırlamaktadır.

ARENA benzetim yazılımı yalnızca üretim sistemleri için değil, hizmet sistemleri ve ulaşım altyapıları gibi farklı alanlarda da geniş ölçekte uygulanabilmektedir. Özellikle trafik sistemlerinde, mikroskobik düzeydeki davranışları modelleyebilme kabiliyeti öne çıkmaktadır. Kamrani et al. [5], ARENA benzetim yazılımının araç davranışlarını, trafik ışığı mantıklarını ve kuyruk yapılarını esnek şekilde modelleyebildiğini, bu nedenle tercih edildiğini belirtmiştir. Ayrıca ARENA benzetim yazılımının geniş araştırmacı kitlesi tarafından erişilebilir olması ve farklı alanlara kolayca uyarlanabilir yapısı, yazılımın çok yönlülüğünü ortaya koymaktadır. Bu özellikleri sayesinde ARENA, sinyalizasyon kavşakların trafik akışını analiz etmek için uygun bir araç olarak kabul edilmekte ve alanyazında başarıyla uygulanmaktadır. Nitekim, ARENA kullanılarak şehir içi trafik sinyal sistemlerinin modellenebileceği ve farklı sinyal stratejilerinin etkilerinin test edilebileceği gösterilmiş; Türkiye’de yapılan çalışmalarda ise sinyal süreleri, trafik hacmi gibi parametrelerin benzetim yoluyla eniyilenebileceği ortaya konulmuştur [6].

Özkan vd. [6] tarafından İzmir ilinde gerçekleştirilen çalışmada, ARENA benzetim yazılımı kullanılarak sabah yoğun saatlerinde bir kavşakta trafik modellemesi yapılmış; çıkan sonuçlarda kuyruk sayılarına göre darboğazların belirlenmesine yönelik analizler gerçekleştirilmiş. Çalışmada ayrıca OptQuest modülü entegre edilerek, farklı senaryo kombinasyonları otomatik biçimde test edilmiş ve sistem performansını artıracak en uygun çözüm varyasyonları belirlenmiştir. Bu bağlamda, kuyruk uzunluklarının ve bekleme sürelerinin azaltılmasına yönelik olarak önerilen alt geçit senaryosu, benzetim ve eniyileme çıktılarıyla desteklenmiştir. Bu çalışma, ARENA benzetim yazılımının gerçek trafik davranışlarını mikroskobik ölçekte başarıyla yansıtabildiğini ortaya koymaktadır.

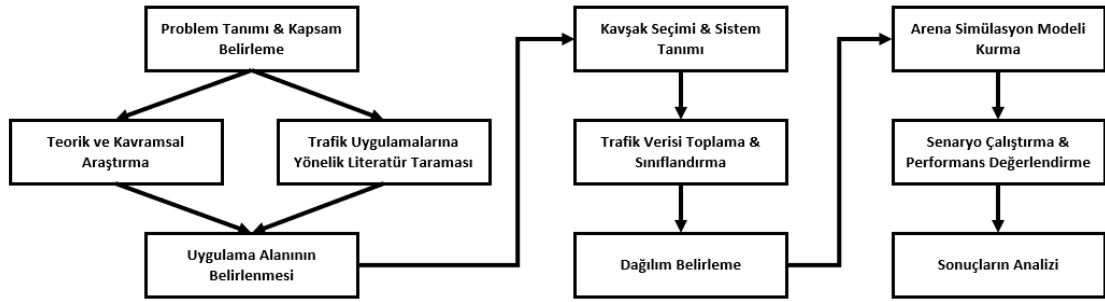
Benzer biçimde, Edis ve Özfirat [7], tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, İzmir'de yer alan çok kavşaklı bir arter üzerinde trafik akışı modellenmiş ve deneysel tasarım yöntemleriyle farklı trafik yoğunlukları, sinyal süreleri ve araç hızlarının sistem performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. ARENA benzetim yazılımı aracılığıyla oluşturulan 486 farklı senaryonun analiz edilmesiyle, sistemdeki toplam bekleme süresini en küçükleyen faktör düzeyleri belirlenmiştir.

Gaziantep ili özelinde gerçekleştirilen çalışmalara bakıldığında ise, bu tür ARENA tabanlı analiz ve eniyileme yaklaşımlarının sınırlı olduğu görülmektedir. Bilgin ve Pense [8] tarafından yürütülen çalışmada, Gaziantep kent merkezinde yer alan Shell Kavşağı'nın mevcut durumu PTV Vissim yazılımı ile modellenmiş, mevcut trafik verileriyle geliştirilen simülasyonlar sonucunda yeni bir geometrik tasarım ve sinyal planı önerilmiştir.

ARENA yazılımı içerisinde yer alan OptQuest modülü, güçlü bir meta-sezgisel arama algoritması sunan entegre bir eniyileme aracıdır. Benzetim modelinde, farklı parametre kombinasyonları otomatik olarak denenir ve ilgilenilen performans ölçütünün en iyi değerini veren parametre kombinasyonları belirlenir. Bu sayede, benzetim modelinde tanımlanan parametre aralıkları üzerinden farklı senaryolar sistematik biçimde değerlendirilir ve en iyi çözüm/ler otomatik olarak önerilebilir.

Çalışma kapsamında hem sanayi gücü hem de tarihi ve kültürel zenginliği ile öne çıkan Gaziantep kent merkezinde yer alan ve yoğun saatlerde trafik sıkışıklığı yaşanan ardışık iki sinyalizasyon kavşağının mevcut performansı incelenmiştir. ARENA ve OptQuest entegrasyonuna dayalı bir trafik akışı analizi ve iyileştirme çalışması gerek şehir gerekse ülkemiz açısından özgün bir katkı potansiyeli taşımaktadır. Yapılan bu çalışma sayesinde sadece mevcut sistemin değerlendirilmesi değil; aynı zamanda alternatif karar senaryolarının etkinliği analiz edilerek karar vericilere somut veri temelli öneriler sunulması da sağlanmıştır. Burada amaç, yerel trafik yöneticileri ve planlamacılar için alternatif senaryo geliştirme ve etkili karar destek süreçleri sunmaktır.

Bu kapsamda, çalışmanın başlangıcından sonuçların değerlendirilmesine kadar izlenen yöntemsel adımlar bütüncül bir yapı içinde planlanmıştır. Bu süreci özetleyen araştırma süreci akış diyagramı, Şekil 1.1'de sunulmuştur. Diyagramda; problem tanımından veri toplamaya, modelleme ve eniyilemeye kadar yürütülen araştırma adımları sıralı ve şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Tez Kapsamında İzlenen Metodolojik Süreç

Tez çalışması altı ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, çalışmada ele alınan problem, önemi ve amacı açıklanmıştır. İkinci bölümde, trafik akışı, sinyalizasyon kavşakları, simülasyon türleri ve kullanılan yazılımlar gibi temel kavramlara yer verilerek çalışmanın teorik altyapısı sunulmuştur. Üçüncü bölümde, alanyazında trafik simülasyonu ve eniyilemesi konularında yapılmış çalışmalar incelenmiş, ARENA benzetim yazılımı ve OptQuest modülünün bu alandaki yeri değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde, analiz edilen kavşağa ilişkin detaylı bilgiler, veri toplama süreci ve modelleme yaklaşımı açıklanmıştır. Beşinci bölümde, ARENA benzetim yazılımı kullanılarak oluşturulan model ile OptQuest modülü kullanım süreci sunulmuş; performans ölçütleri doğrultusunda senaryolar oluşturularak elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Altıncı bölümde ise sırasıyla genel değerlendirmeler yapılmış ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. BENZETİM VE TRAFİK YÖNETİMİNİN TEMELLERİ

Trafik yönetimi ve benzetim, kentsel trafik sıkışıklığının azaltılması, yol güvenliğinin artırılması ve mevcut altyapının daha verimli kullanılmasında temel rol oynamaktadır. Bu alan, farklı kavşak tipleri ve trafik akış koşulları altında araç hareketlerini anlamak ve yönetmek amacıyla çeşitli modelleme teknikleri ve yazılımların kullanımını içermektedir. Benzetim, gerçek dünyada uygulanması maliyetli veya riskli olabilecek senaryoların sanal ortamda test edilmesini sağlayarak, karar vericilere güvenilir ve ekonomik çözümler sunmaktadır.

2.1. Trafik Akışı ve Kavşak Yönetimi

Trafik akışı teorisi, araçlar, sürücüler ve ulaşım sistemi arasındaki etkileşimleri inceleyen ve bu etkileşimlerden doğan dinamikleri modellemeyi amaçlayan bir alandır [9]. Özellikle karayolları ve şehir içi ulaşım ağlarında hız, yoğunluk ve hacim değişkenlerinin ilişkisi trafik akışının temelini oluşturmaktadır. Bu bağlamda hız-yoğunluk-hacim diyagramı, trafik davranışlarının anlaşılmasında en kritik araçlardan biridir. Diyagram, trafik yoğunluğundaki artış veya azalışın araç hızlarına ve toplam akış kapasitesine etkisini istatistiksel olarak inceleme imkânı sunmakta ve trafik yönetimi için temel bir çerçeve sağlamaktadır [10]. Bu teorik yaklaşımlar özellikle kavşaklardaki tıkanıklıkların anlaşılması ve yönetilmesinde kritik rol oynamaktadır.

Kavşak performansının değerlendirilmesinde yalnızca trafik hacmi değil; araç türleri, akış değişkenliği ve çevresel etkiler de rol oynamaktadır. Bu değişkenlerin dikkate alınması, kavşak yönetiminde daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır [11]. Bununla birlikte, simülasyon çalışmalarında doğruluk ile hesaplama verimliliği arasında bir denge kurulması gerekmektedir. Starozhilets ve Chekhovich [12], bu dengeyi sağlayan istatistiksel modellerin, trafik akışı analizlerinde ölçeklenebilir ve güvenilir çözümler sunduğunu göstermektedir. Ancak kavşak tipinin (izole veya çoklu) farklı olması, bu faktörlerin yönetiminde doğrudan belirleyici olmaktadır.

Akgüngör [13] sinyalizasyon kavşaklarda gecikme tahminine yönelik geliştirdiği araştırmada, mevcut deterministik ve stokastik gecikme modellerinin yetersizliklerini ele alarak çözümleme süresine bağlı yeni bir model önermiştir. TRAF-NETSIM tabanlı simülasyonlar aracılığıyla 15, 30, 45 ve 60 dakikalık çözümleme süreleri denenmiş, elde edilen değerler regresyon analizi ile yeni model formuna uyarlanmıştır. Çalışma, Avustralya,

Kanada ve HCM 2000 modelleriyle karşılaştırıldığında, özellikle doymuş ve aşırı doymuş trafik koşullarında daha güvenilir gecikme tahminleri sunduğunu ortaya koymuştur.

Kavşaklar, trafik akışının yönlendirildiği ve darboğazların sıkça yaşandığı kritik noktalar olup, alanyazında genellikle izole kavşaklar ve çoklu kavşaklar olarak sınıflandırılmaktadır. İnağ [14] , kavşakların komşu kavşaklarla olan ilişkilerine göre bu iki kategoriye ayrıldığını belirtmiştir. İzole kavşaklarda sinyalizasyon yalnızca ilgili kavşağın kendi trafik hacmi dikkate alınarak düzenlenirken, çoklu kavşaklarda arter boyunca sinyal sürelerinin koordinasyonu önem kazanmakta ve eşgüdümlü sinyal planları ile toplam arter verimliliği artırılmaktadır.

Alanyazında, izole kavşaklarda gecikme süreleri ve kuyruk uzunluklarının azaltılmasına yönelik eniyileme çalışmaları öne çıkarken, çoklu kavşaklarda ise sinyal sürelerinin eşgüdümü ve yeşil dalga stratejileri aracılığıyla toplam gecikmenin azaltılması hedeflenmektedir. İzole kavşakların eniyilenmesi, her sinyal döngüsünün yalnızca kendi trafik hacmine göre ayarlanmasını gerektirirken, koordineli sistemlerde gecikme ve duruşların en küçüklenmesi adına sinyal zamanlamaları arası etkileşim kritik rol oynamaktadır [14] .

Bu teorik çerçeve doğrultusunda, çalışmada Gaziantep kent merkezinde yer alan iki sinyalizasyon kavşak ele alınmış ve koordineli senaryolar altında performansları karşılaştırılmıştır. Böylece trafik akışı teorisinin sunduğu kavramsal altyapı, benzetim tabanlı bir yaklaşımla somut biçimde uygulanmıştır.

2.2. Trafik Sinyalizasyon Sistemleri

Kentsel ulaşım sistemlerinin artan karmaşıklığı, trafik sinyalizasyon sistemlerinde gelişimi zorunlu kılmıştır. Geleneksel sabit zamanlı sinyal planları, değişken trafik koşullarına uyum sağlayamadığından özellikle yoğun saatlerde gereksiz gecikmelere ve verimsizliklere yol açmıştır. Bu sınırlamaları aşmak amacıyla trafik mühendisleri, farklı trafik talep kalıplarına ve hacim değişikliklerine yanıt verebilen daha duyarlı sinyal kontrol stratejileri geliştirmiştir. Kotwal et al. [15] , gerçek zamanlı verilere dayalı olarak sinyal sürelerini dinamik biçimde ayarlayan uyarlamalı trafik kontrol sistemlerini tanıtmış ve bu yaklaşımın daha verimli akış ile azaltılmış gecikmeler sağladığını ortaya koymuştur.

Günümüzde kullanılan mikroişlemci tabanlı denetleyiciler, trafik algılama sensörleri ve haberleşme altyapısı sayesinde trafik koşulları sürekli izlenebilmekte; faz süreleri ve yeşil ışık dağılımları buna göre değiştirilebilmektedir. Ancak en gelişmiş teknolojilerin bile,

kurumlar arası iş birliği ve merkezi yönetim mekanizmaları yetersiz olduğunda etkin çalışamayacağı da vurgulanmaktadır [16].

Alanyazında sabit sistemlerin yetersizliğine dair çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Roy et al. [17], tekil bir kavşakta sabit süreli trafik ışıklarının değişken trafik yoğunluklarını karşılamada yetersiz kaldığını göstermiştir. Çalışmalarında MATLAB ve ARENA tabanlı benzetim kullanarak araç geliş oranı, yeşil süre ve döngü uzunluğu parametrelerini eniyilemiş ve bu parametrelerin kavşak performansını doğrudan iyileştirebileceğini ortaya koymuşlardır.

Ceyhan ve Ceyhan [18], Bartın ilinde en yoğun beş kavşakta sabit zamanlı sinyal planlarını yeniden düzenleyerek trafik performansını iyileştirmeyi amaçlamıştır. Emniyet Müdürlüğü kamera verileriyle oluşturulan veri tabanına dayalı analizlerde, yeşil sürelerin bazı kollarda fazla uzun bırakıldığı ve durak/park alanı gibi çevresel faktörlerin kuyruklanmayı artırdığı tespit edilmiştir. Çalışmada, yeşil sürelerin yeniden ayarlanması, kavşak çevresindeki durakların taşınması ve sağa kontrollü dönüşlerin açılması gibi önerilerle trafik akışında belirgin iyileşmeler elde edilebileceği gösterilmiştir.

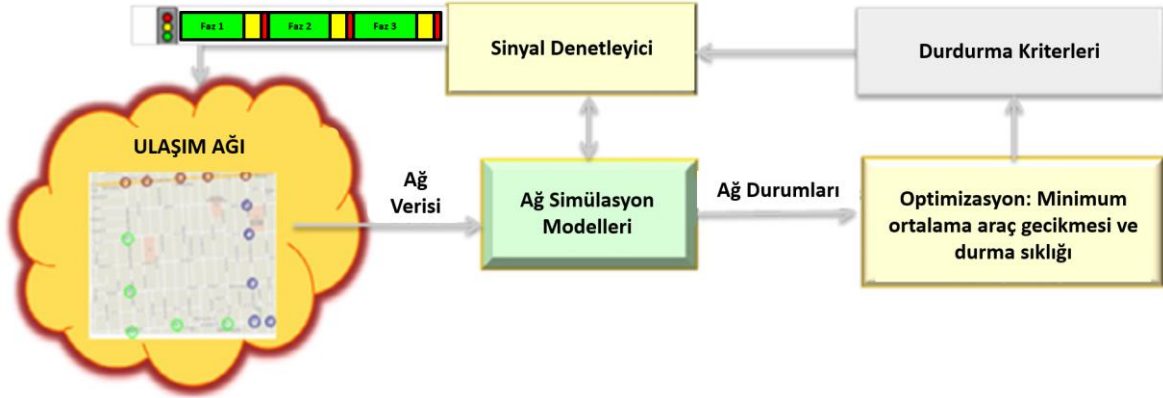
İnağ ve Arıkan [19], Ankara ili Polatlı Refik Cesur Kavşağı'nda trafik ışık sürelerinin eniyilenmesi amacıyla Webster ve Modifiye Webster tabanlı Karınca Kolonisi Algoritması (KKA) kullanmıştır. SUMO benzetim ortamında gerçekleştirilen analizlerde, önerilen modellerin mevcut duruma kıyasla ortalama gecikme sürelerini %32–42 oranında azalttığı görülmüştür. Çalışma, yapay zekâ temelli yöntemlerin Türkiye'de sinyalizasyon kavşaklarda trafik akışını iyileştirme potansiyelini ortaya koymaktadır.

Yang ve Wen [20] ise ARENA tabanlı bir benzetim modeliyle farklı yeşil ve kırmızı ışık sürelerinin trafik akışı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırma, uygun ışık süresi politikalarının ortalama gecikmeleri ve kuyruk uzunluklarını önemli ölçüde azaltabileceğini göstermiştir. Bu bulgu, yeşil süre eniyilemesinin sinyalizasyon sistemlerinde kritik bir rol oynadığını desteklemektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, sinyalizasyonun yalnızca sabit planlarla değil, dinamik trafik koşullarına uyum sağlayacak şekilde düzenlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Antit et al. [21], değişken seyahat süreleri dikkate alınmadan planlanan sinyalizasyonun gecikmeleri ve kuyrukları artırdığını, bu nedenle sinyal planlarının trafik koşullarına uyarlanabilir olması gerektiğini göstermiştir.

Ayrıca sinyalizasyon stratejilerinin eniyilenmesi için benzetim araçları giderek artan oranda kullanılmaktadır. Eş-benzetim tabanlı yöntemlerde, trafik benzetim modelleri ağın performansını tahmin etmekte; denetleyiciler ise gecikme veya kuyruk uzunluğu gibi

maliyet fonksiyonlarını en küçükleyecek sinyal desenlerini geliştirmektedir. Bu yaklaşım, sinyal kontrol stratejilerinde dinamik uyarlamayı mümkün kılmaktadır. Şekil 2.1’de bu yöntem şematik olarak gösterilmektedir [22].



Şekil 2.1. Eş-simülasyon tabanlı eniyileme yaklaşımı [22]

Yeşil sinyal sürelerinin eniyilenmesi, trafik sıkışıklığını azaltmak ve akış verimliliğini artırmak amacıyla sisteme matematiksel fonksiyonların eklenmesiyle sağlanmaktadır. Bu yöntem, yalnızca uygulanabilir, ekonomik ve kolay kurulabilir olmasıyla değil, aynı zamanda özellikle yoğun saatlerde işletim kolaylığı sunmasıyla da sabit zamanlı sistemlere göre önemli bir gelişme sağlamaktadır [23]. Bununla birlikte, Sayyed et al. [24], geleneksel trafik ışığı denetleyicilerinin sabit ve önceden tanımlı donanım ayarlarına bağımlılıkları nedeniyle sinyal parametrelerini gerçek zamanlı olarak ayarlayamadıklarını ve bu sebeple sınırlı kaldıklarını belirtmiştir.

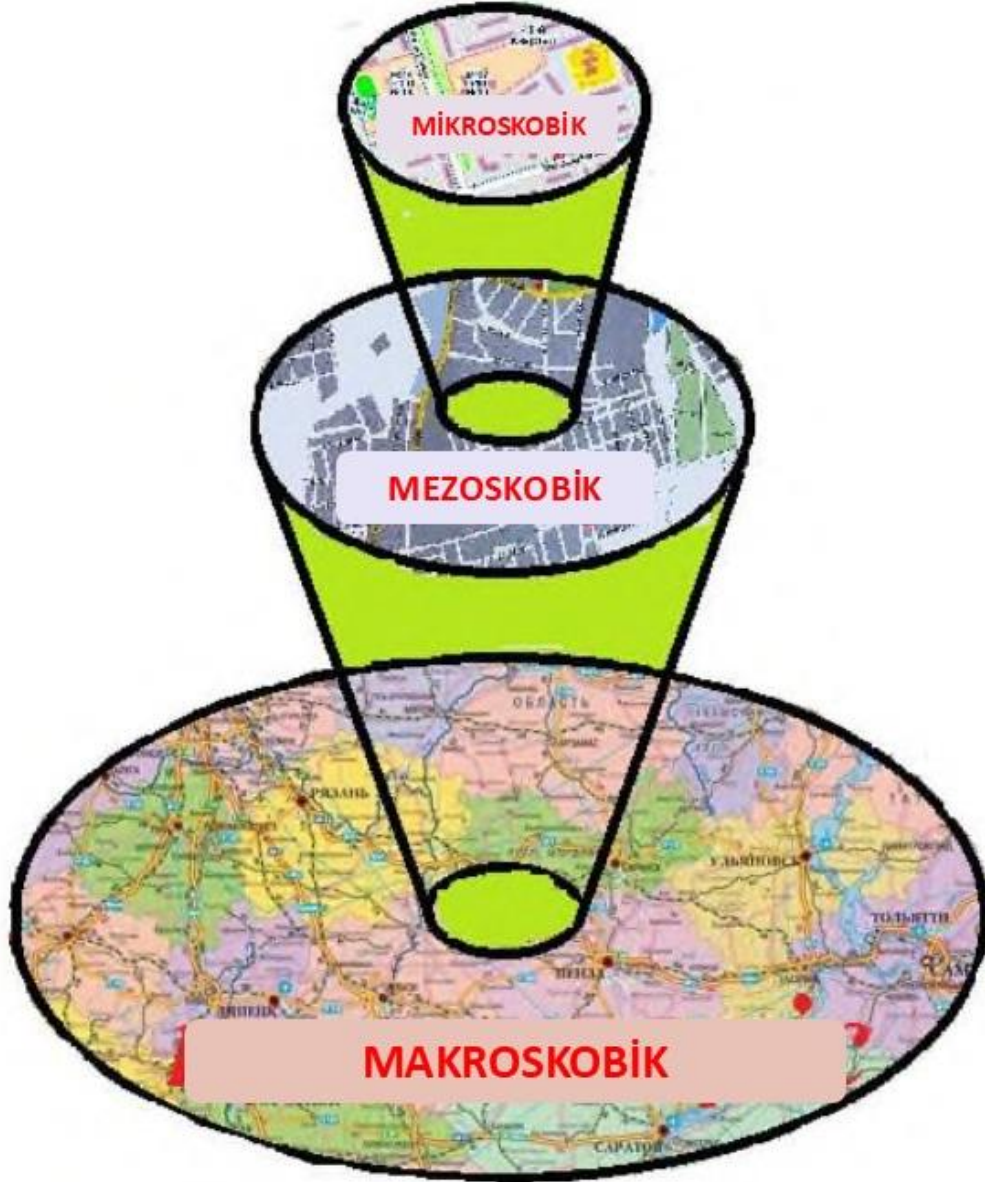
Bu teorik çerçeve doğrultusunda, Gaziantep kent merkezindeki koordineli kavşaklarda sabit zamanlı sinyal planları yerine eniyileme tabanlı yaklaşımlar benimsenmiştir.

2.3. Simülasyon Türleri (Mikroskobik, Makroskobik, Mezoskopik)

Payne [25], trafik simülasyon modellerini, trafik akışındaki nesneleri ayırt etme dereceleri ve hesaplama performanslarının etkinliğine göre mikroskobik, makroskobik ve mezoskopik olmak üzere üç sınıfa ayırmaktadır. Benzer şekilde Azlan ve Rohani [26], bu modellerin ayrıştırma düzeyleri bakımından farklılaştığını; tek bir aracın özel davranışının analizinden, trafik sistemindeki yoğunluk ve akışın genel eğilimlerinin incelenmesine kadar farklı uygulama amaçlarına hizmet ettiğini belirtmiştir.

Dorokhin et al. [27], bu sınıflandırmanın farklı ölçeklerde karar desteği sağladığını vurgulamaktadır. Buna göre mikroskobik modeller, bireysel araç davranışlarını (şerit değiştirme, araç takip etme, boşluk kabul etme) ayrıntılı biçimde analiz ederek kavşaklardaki

kuyruk oluşumlarını ve gecikmeleri ortaya koymaktadır. Makroskobik modeller ise geniş ölçekli ağlarda hız–yoğunluk–akım ilişkilerini esas alarak stratejik düzeyde trafik akışını incelemektedir. Mezoskopik modeller ise iki yaklaşım arasında köprü kurarak araç gruplarının hareketlerini ve zamana bağlı dağılımlarını ele almakta, böylece doğruluk ile hesaplama maliyeti arasında bir denge sağlamaktadır.



Şekil 2.2. Şekil Trafik akışı modellerinin sınıflandırılması [27]

Bu türlerin uygulama alanları da farklılık göstermektedir. Latorre-Biel et al. [28], özellikle akıllı şehir programlarında mesoskopik simülasyonun karar destek süreçlerinde kritik rol oynadığını, Petri net tabanlı yaklaşımların seyahat süreleri, trafik yoğunluğu, ortalama hız ve emisyon gibi performans göstergelerinin değerlendirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Nagel et al. [29] ise geniş ölçekli mikroskobik modellerin

hem kısa vadeli trafik tahminlerinde hem de uzun vadeli ulaşım planlamasında trafik sıkışıklığının azaltılmasında önemli katkılar sağladığını ortaya koymuştur.

Mikroskobik modeller, simülasyonda yer alan araçların bireysel davranışlarını incelemekte; araç takip etme ve şerit değiştirme davranışları bu kapsamda Kosonen ve Archer [30] tarafından modellenmiştir. Lazar [31], sürücü ilişkilerine dair daha ayrıntılı bilgiler sunarken, Jaworski et al. [32], akıllı ulaşım sistemlerinin etkinliğini değerlendirmek üzere gaz ve fren tepkilerini modele eklemiştir. Ayrıntılı mikroskobik modeller, yeni teknolojilerin sürücü davranışına ve yol performansına etkisinin test edilmesinde önemli araçlar olarak değerlendirilmektedir. Her ne kadar yüksek hesaplama gücü gerektirse de işlem kapasitesindeki ve veri örnekleme hızındaki artış, bu modellerin giderek daha büyük ve karmaşık ağlarda kullanılabilmesini sağlamaktadır.

Makroskobik modeller ise, trafiği toplu ölçekte ele almakta ve hız, yoğunluk, akım gibi parametreler üzerinden sistemin genel davranışını temsil etmektedir. Payne [25], tarafından geliştirilen FREFLO modeli ve Azlan ve Rohani [26] tarafından değinilen Greenshield ve Greenberg gibi klasik akış modelleri bu yaklaşımın temel örneklerindendir. Fakharian[33], yönetilen şeritli bir otoyol koridoru içindeki trafik akışı ve sıkışıklık kalıplarını değerlendirmede makroskobik modellerden yararlanmıştır. Bu tür modeller, geniş ölçekli planlama ve politika geliştirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Mezokobik simülasyonlar, mikroskobik ve makroskobik genellemeler arasında ara konumda yer almakta; araç filoları veya konvoyların davranışlarını temsil ederek geniş ölçekli ağ hızını korurken belirli düzeyde ayrıntı sağlamaktadır. Payne [25] ve Vilaro et al. [34] , bu yaklaşımı araç gruplarının modellenmesi üzerinden ele almış; Burghout ve diğ. [35], mezoskopik ve mikroskobik teknikleri birleştiren hibrit simülasyon modeli kavramını tanıtmışlardır. Joueiai et al. [36] ise hibrit trafik modellemenin önemine dikkat çekerek farklı modelleme düzeyleri arasındaki tutarlılık sorunlarına ve modellerin sınırlarında kolay geçiş ihtiyacına odaklanmıştır.

Sonuç olarak, mikroskobik, mezoskopik ve makroskobik benzetim türleri farklı detay ve ölçek düzeylerinde avantajlar sunmaktadır. Bu tez çalışmasında, araçların bireysel hareket ve etkileşimlerini ayrıntılı biçimde yansıtabilme gücü nedeniyle mikroskobik benzetim yaklaşımı benimsenmiş; kavşak performans analizleri ise ARENA yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.4. ARENA Benzetim Yazılımının Yapısı

Takus ve Profozich [37] tarafından yapılan tanıma göre ARENA, nesne yönelimli bir çerçevede grafiksel model oluşturulmasına imkân tanıyan, genel amaçlı bir benzetim yazılımıdır. Temeli, SIMAN benzetim diline dayanır ve kullanıcılar modellerini oluşturmak için grafikler geliştirdikçe çevrim içi SIMAN kodlarını otomatik olarak üretir. Bu iki yönlü yaklaşım, kullanıcılara hem doğrusal model oluşturmayı kolayca yapma hem de sınırsız benzetim yeteneğinden yararlanma avantajı sağlar. Profozich ve Markovitch [38], ARENA'nın, bir benzetim dili kavramı ile grafiksel arayüz entegrasyonunu birleştiren hiyerarşik mimarisini vurgulamıştır.

Modelleme özelliklerinin yanı sıra ARENA, girdi verilerinin analizinden başlayarak animasyon ve çıktı analizine kadar benzetimin her aşamasında destek sağlar. Drevna ve Kasales [39], yazılımın dinamik görselleştirme işlevlerini ve istatistiksel çıktı raporlama özelliklerini içeren arayüzünü vurgulamış; bu özelliklerin kullanıcılara daha fazla netlik sağladığını ve karar alma süreçlerini kolaylaştırdığını belirtmiştir. İlk uygulama alanı üretim olsa da ARENA'nın esnekliği onu iş süreçlerinin yeniden yapılandırılması, sağlık hizmetleri, ulaşım ve veri iletişimi gibi diğer alanlarda da faydalı bir araç haline getirmiştir. Hammann ve Markovitch ile Drevna ve Kasales'in makaleleri, benzetime dayalı çalışma ve eniyileme uygulamalarının kritik olduğu farklı sektörlerde ARENA kullanımının önemini doğrulamaktadır.

Bu tezde ARENA yazılımının tercih edilme nedeni, mikroskobik düzeyde araç davranışlarını ve sinyalizasyon süreçlerini ayrıntılı biçimde modelleyebilmesi, ayrıca OptQuest modülüyle entegre edilerek farklı senaryoların eniyilenmesine imkân tanınmasıdır.

2.5. OptQuest Modülü: Özellikleri ve Kullanımı

OptQuest, ARENA benzetim yazılımına entegre edilmiş, kullanıcı tarafından tanımlanan karar değişkenleri için en uygun çözümü bulmak amacıyla benzetim modeli sonuçlarına bağlı olarak farklı parametre kombinasyonlarını sistematik olarak değerlendiren, güçlü bir eniyileme aracıdır.

Özellikle tabu arama, yapay sinir ağları ve dağılım araması (dispersion search) gibi birden fazla meta-sezgisel yöntemi aynı çatı altında birleştirmesi, OptQuest'i belirsizlik ve kombinatoriyal yapıya sahip problemlerin çözümünde etkili bir araç haline getirmektedir. Kullanıcılar, benzetim modeli içerisinde belirli sınırlar ve kısıtlar dahilinde eniyileme sürecini tanımlayabilmekte; OptQuest ise bu tanımlar doğrultusunda alternatif senaryolar

üretmek en yüksek performansı sağlayan parametre kombinasyonlarını önermektedir. Bu özelliği sayesinde modül, yalnızca sistem davranışını öngörmekle kalmamakta, aynı zamanda karar vericilere sistematik, veri temelli ve güvenilir çözüm önerileri sunmaktadır [40].

Schwetman [41], bu entegrasyonun, en iyi sonuçların elde edilmesinin ve belirli gereksinimlerin karşılanması hedeflendiği iş atölyesi çizelgeleme ve web sunucusu performansı gibi uygulama alanlarında özellikle kullanışlı olduğunu belirtmiştir. Bodily et al. [42]'ün de ifade ettiği gibi bu araç; hedeflerin, karar değişkenlerinin ve kısıtların kullanıcı dostu bir ortamda tanımlanmasını kolaylaştırarak hem yeni başlayanlar hem de deneyimli kullanıcılar için uygun hale getirmektedir.

OptQuest, benzetim modeli ve eniyileme sonuçlarının grafiksel olarak görüntülenmesini sağlayarak karar verme sürecini kolaylaştırır; bu da kullanıcıların sonuçları kolayca yorumlamasını ve alternatif senaryolarla karşılaştırmasını mümkün kılar. Li ve Wang [43], bu özelliğin, özellikle hızlı yanıt politikalarının devreye alınması gibi belirsiz ortamlarda standart uygulamaların hesaplanmasında, iş karar analizi açısından önemini vurgulamıştır.

Bu araç, girdi değişkenlerinin konfigürasyonunun analizi ve bunların sistem performansına etkilerinin tahmini yoluyla karar verme sürecinin eniyilenmesine dayanmaktadır. Sadowski et al. [44]'ın belirttiği üzere, OptQuest simülasyon ortamlarıyla daha iyi entegre edilebilmekte, bu da gerçek dünyada gözlemlenen belirsizliğin daha doğru modellenmesine olanak tanımakta ve aracı pratik kullanımda son derece yararlı hale getirmektedir.

OptQuest'in temel güçlü yönlerinden biri, scatter search metodolojisinin uygulanmasıdır; bu yaklaşım sayesinde araç, stokastik, doğrusal olmayan veya kombinatoriyal türler de dâhil olmak üzere çok çeşitli eniyileme problemlerini çözebilmektedir. Bu metodoloji, umut vadeden çözümlerin sistematik bir şekilde değerlendirilmesi ve birleştirilmesi yoluyla yeni aday çözümler oluşturma sürecini izlemektedir [45].

OptQuest, kullanıcıların hedef fonksiyonları, kısıtlar ve karar değişkenlerini tanımlamasına olanak tanır; ardından OptQuest, tekrarlanan yinelemeler gerçekleştirerek en etkili senaryoları belirler. Araç, temel performans ölçütlerini eniyilemek ve belirsizliğin yanı sıra değişkenlik veya hizmet seviyesi uyumu gibi diğer performans ölçütlerini de dikkate almak için kullanılabilir. Senaryolar kolayca yapılandırılabilir ve arama süreci izlenebilir; sonuçlar görsel ve istatistiksel karşılaştırmalarla yorumlanabilir. Kullanılabilirliği ve güçlü

eniyileme işlevleri sayesinde, Salih Aka [46], OptQuest'in Process Analyzer ile birlikte, üretim süreçlerinin iyileştirilmesinde, kaynak ve kapasite kısıtları altında alternatif senaryoların etkin bir şekilde değerlendirilmesini ve optimal çözümlerin belirlenmesini sağladığını vurgulamaktadır.



3. ALANYAZIN TARAMASI

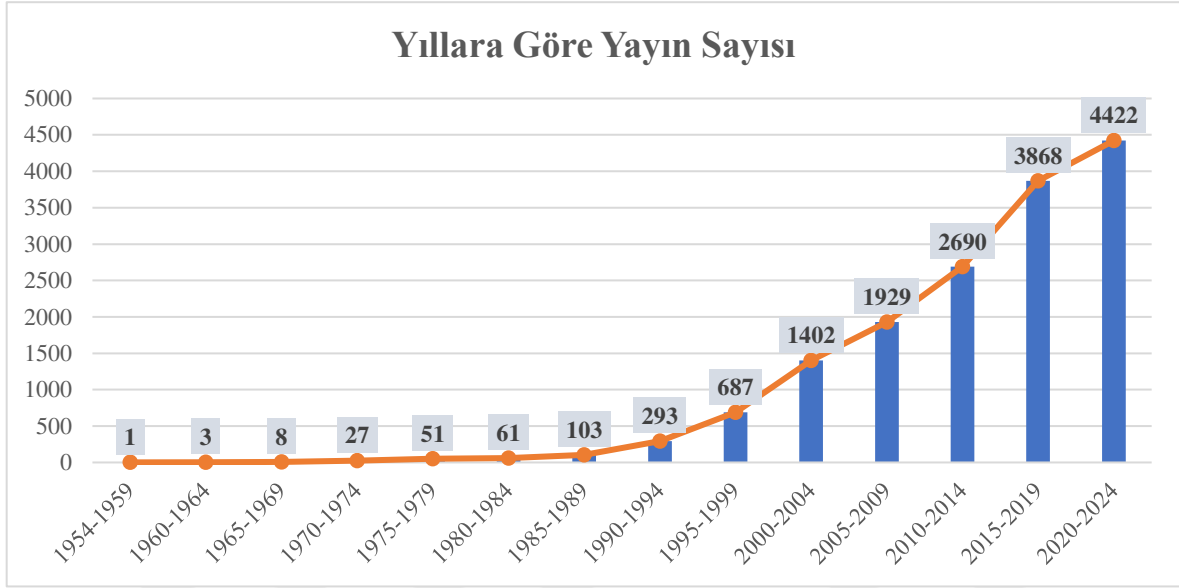
Trafik benzetimi, ulaşım ağlarının ve sistemlerinin trafik modellemesi, planlaması ve geliştirilmesi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Gerçek hayatta yapılması zor ya da maliyetli olan senaryoları, bilgisayar ortamında modellenerek analiz etmeye olanak tanır; bu sayede taşıt trafiğine ilişkin sorunların daha kısa sürede ve düşük maliyetle çözümlenmesi hedeflenir [47].

Trafik benzetiminin evrimi alanyazında incelendiği üzere, bilgisayar teknolojilerinin gelişimiyle birlikte üç temel evrede şekillenmiştir: keşif dönemi (1950–1970), hızlı gelişim dönemi (1980–1990) ve akıllı sistemlerle bütünleşme dönemi (2000–günümüz). İlk kentsel kavşak benzetimi 1951 yılında İngiltere Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarı (TRRL) tarafından gerçekleştirilmiş; 1960’lı yıllarda TRANSYT, SIGOP ve MAXBAND gibi makroskobik modeller geliştirilerek şehir içi trafik akışının sistem düzeyinde modellenmesine olanak tanınmıştır. 1980’li yıllarla birlikte mikroskobik modellemeye geçilmiş; bireysel araç davranışlarını simüle edebilen TRAF-NETSIM, DYNEMO gibi yazılımlar ortaya çıkmıştır. 1990’larda grafiksel kullanıcı arayüzlerinin gelişimiyle birlikte CORSIM, PARAMICS, VISSIM ve AIMSUN gibi ticari benzetim yazılımları geniş uygulama alanı bulmuştur. 2000’li yılların başında ABD’de başlatılan NGSIM programı ile birlikte simülasyon sistemlerine akıllı ulaşım teknolojileri, sürücü davranışı modelleme ve çok etmenli sistem tasarımları entegre edilmeye başlanmıştır. 2010 sonrasında ise Nesnelerin İnterneti (IoT), büyük veri (Big Data), bulut bilişim (Cloud Computing), otonom sürüş sistemleri, donanım/yazılım destekli (HIL/SIL) benzetimler ve yapay zekâ destekli karar algoritmaları trafik benzetimlerinin ayrılmaz birer parçası hâline gelmiştir. Bu dönemde, trafik benzetim modelleri yalnızca analiz amaçlı araçlar olmaktan çıkmış; karar destek sistemlerinin, gerçek zamanlı kontrol stratejilerinin ve sürücüsüz ulaşım ağlarının temel yapıtaşlarına dönüşmüştür [48].

Bu gelişmelerle artan ilgi akademik alanyazına da yapılan çalışmalara da yansımış; tez kapsamında Scopus üzerinden “Traffic Signal Simulation” anahtar kelimesi içeren yayınlar incelendiğinde özellikle 2010 sonrasındaki dönemde trafik benzetimi konusunun işlenmesi belirgin bir yükseliş Şekil 3.1’de görülmektedir.

Scopus verilerine göre ülke dağılımında dikkat çekmektedir. En fazla yayına sahip ülkeler arasında Çin (5110 yayın) ve Amerika Birleşik Devletleri (3392 yayın) ilk sıralarda yer almaktadır, onları Hindistan (930 yayın), Japonya (818 yayın), Güney Kore (595 yayın) ve Birleşik Krallık (584 yayın) takip etmektedir. Bu dağılım, trafik simülasyonu alanının

küresel ölçekte hangi ülkeler tarafından daha çok çalışıldığı ve bu gelişmeye öncülük ettiğini ortaya koymaktadır. Çin, Hindistan ve Amerika Birleşik Devletleri gibi yüksek nüfuslu ülkelerin yanı sıra, Japonya gibi orta-yüksek, Güney Kore ve Birleşik Krallık gibi görece daha düşük nüfusa sahip ülkelerin de trafik benzetimi alanındaki yayın sayılarında üst sıralarda yer alması, bu alandaki çalışmalarda yalnızca nüfus büyüklüğünün değil, aynı zamanda ülkelerin akademik ilgisi ve araştırma altyapısının da belirleyici olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.1. Yıllara Göre Yayın Sayısı

Kamrani et al.[5] ,ARENA benzetim yazılımının sinyalizasyon olmayan T-kavşaklarda trafik akışı benzetimi için etkili bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir. Araştırmaları, kavşaklardaki trafik performansını ve yönetimini iyileştirmeye yönelik planların geliştirilmesine yardımcı olmak amacıyla farklı koşullarda trafik davranışının anlaşılmasını sağlamıştır. Yuniawan et al.[49], ARENA benzetim yazılımını kentsel bir alandaki kavşaklarda kuyrukları simüle etmek için kullanarak iyi bir örnek sunmuştur. Çalışmanın amacı, trafik kuyruklarını azaltmak ve genel olarak trafik akışını iyileştirmektir ve ARENA, kentsel trafik sıkışıklığı sorununu çözmede oldukça yararlı olduğunu görülmüştür.

3.1. Trafik Benzetimi ve Uygulama Alanları

Trafik benzetimi, ulaşım altyapısının planlanması ve değerlendirilmesinde önemli bir karar destek aracı olarak kullanılmaktadır. Farklı yol tasarımlarının ve sinyal stratejilerinin sahada uygulanmasına gerek kalmadan test edilmesine olanak tanır. Stirzaker ve Dia [50], mikroskobik simülasyon modelleriyle alternatif şerit kullanım senaryolarını inceleyerek

benzetimin karar vericilere güvenilir öngörüler sunduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde Kotusevski ve Hawick [51], SUMO, Paramics ve Aimsun gibi yaygın yazılımları karşılaştırmış ve bu yazılımların özellikle sinyal eniyilemesi ve yoğunluk azaltma süreçlerinde etkin karar destek sunduğunu vurgulamıştır.

Trafik benzetiminde sinyal eniyilemesi konusunda Liu ve Song [52], Tianjin’de Anylogic tabanlı ajan tabanlı bir model geliştirerek trafik ışığı sürelerini eniyilemiş ve araçların ortalama sistemde kalış süresini %9 oranında düşürmüştür. Krautter et al. [53], araçtan araca iletişim sistemlerinin simülasyon ortamında test edilmesinin akış verimliliğini artırarak sinyal eniyilemesine katkı sağladığını belirtmiştir.

Trafik yoğunluğunun azaltılması konusunda, Liu et al. [54], bisikletli ve yayaların da dâhil edilebildiği çok modlu mikroskobik modellerin kuyruk uzunluklarını ve gecikmeleri azaltmaya yönelik etkili bilgiler sunduğunu göstermiştir. Singh et al. [55], gelişmekte olan ülkelerde gerçek zamanlı tahmin ve sinyal yönetiminde simülasyonun kritik rol oynadığını vurgulamıştır. Pais et al. [56], Brezilya’nın Maceió kentinde SUMO ile farklı şerit ve yaya sinyal senaryolarını test ederek, seyahat sürelerinde %59’a varan azalma ve yakıt tüketiminde önemli düşüşler elde etmiş; böylece simülasyonun hem trafik akışı hem de çevresel etkiler açısından güçlü bir araç olduğunu ortaya koymuştur.

Becerikli vd. [57], Yalova’daki Orman İşletme Kavşağı’nda PTV Vissim ve Vistro kullanarak iki farklı senaryo geliştirmiştir. Mevcut kavşak tasarımı korunarak yapılan sinyal eniyilemesinde ortalama gecikmenin %68, kuyruk uzunluklarının ise %87 oranında azaldığı görülmüştür. Kavşağın dönel kavşak olarak yeniden tasarlanması halinde ise ortalama gecikme %84, kuyruk uzunlukları %93 oranında azalmış ve hizmet düzeyi C’den A’ya yükselmiştir. Ayrıca emisyon ve yakıt tüketiminde %58 oranında iyileşme elde edilmiştir. Bu çalışma, Türkiye’de mikro-simülasyon araçlarının sinyal eniyilemesi ile birlikte kavşak performansının artırılmasında etkin biçimde kullanılabileceğini göstermektedir.

3.2. ARENA Benzetim Yazılımı Kullanılarak Yürütülen Çalışmalar

ARENA benzetim yazılımı, trafik akışını eniyilemek ve gecikmeleri en aza indirmek amacıyla yapılan trafik benzetimi çalışmalarında etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Yuniawan et al. [49] buna iyi bir örnek sunmaktadır; yazarlar, ARENA’yı kullanarak dört kollu bir kavşakta trafik kuyruklarını modellemiş ve çeşitli trafik kontrol senaryolarını değerlendirmiştir. Araştırmaları, ARENA’nın senaryo test etme yeteneğinin kullanımını

desteklemiş ve şehir plancılarının daha verimli trafik düzenlemeleri geliştirmesinde bu aracın faydalı olduğunu ortaya koymuştur.

Ayyıldız vd. [58], Trabzon kent merkezindeki Maçka Kavşağı'nda sabah ve akşam yoğun saatlerde gözlemlenen trafik akışını ARENA benzetim yazılımı ile modellemiştir. MOBESE kayıtlarından elde edilen araç verileri Input Analyzer modülüyle dağılımlara dönüştürülmüş; Create, Decide, Assign, Process ve Dispose modülleri kullanılarak kavşak sistemi senaryo bazlı olarak oluşturulmuştur. Farklı yeşil-kırmızı ışık süreleri denenmiş ve mevcut durumda 50 saniye olan yeşil sürenin 35 saniyeye indirilmesiyle ortalama bekleme süresinde %13 oranında iyileşme sağlanabileceği ortaya konmuştur. Bu çalışma, ARENA yazılımının Türkiye'de kavşak sinyalizasyonunun eniyilenmesi amacıyla kullanılabilirliğini somut biçimde ortaya koymaktadır.

Cav vd. [59], ARENA yazılımını kullanarak dört yönlü bir kavşakta uyarlamalı sinyal kontrolü üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araç-altyapı iletişimi (V2I) temelli olarak geliştirilen sistem, kavşak durumunu gerçek zamanlı izleyerek sinyal sürelerini dinamik biçimde ayarlamaktadır. Simülasyon sonuçları, sabit zamanlı sisteme kıyasla araçların ortalama bekleme sürelerinde %80'e varan iyileşmeler sağlandığını göstermiştir. Bu bulgu, ARENA yazılımının akıllı sinyalizasyon uygulamalarında da etkin bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Yaygın trafik kavşağı uygulamalarının yanı sıra, ARENA daha karmaşık sistemlerde, özellikle acil durum güzergâhlarının planlanmasında da kullanılmıştır. Abd-Fatah et al. [60], ARENA'yı kullanarak geleneksel zaman tabanlı trafik ışığı sistemleri ile sensör tabanlı sistemleri karşılaştırmıştır. Çalışmalarında, sensör tabanlı sistemlerin, normal günlerde bekleme süresini %62,5, yoğun günlerde ise %15 oranında kısaltarak son derece başarılı olduklarını ortaya koymuşlardır. Tüm bu katkılar, ARENA'nın trafik verimliliği ve güvenliğini sağlamaya yönelik veri odaklı kararların alınmasında ne derece yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Henchey et al. [61], gerçekçi koşullara dayalı ulaşım ağları oluşturmuş ve bunları ARENA'ya entegre ederek, trafik sıkışıklığı ve hava koşullarının etkileri gibi farklı durumlarda acil müdahale sürelerinin performansını değerlendirmiştir. Araştırmalarında, ARENA'nın dış değişkenleri benzetim modellerine nasıl dâhil edebileceğine odaklanmışlardır.

ARENA yalnızca kavşak sinyalizasyonunda değil, farklı ölçeklerde de kullanılmıştır. Örneğin Ghaleb et al. [62], bir üniversite yemekhanesindeki kuyruklanma düzenini; Kim et al. [63] ise bir havalimanındaki iniş uçuş trafiğini modelleyerek yazılımın hizmet ve hava

taşımacılığı gibi alanlardaki esnekliğini göstermiştir. Benzer şekilde Bartın ve Özbay [64], Washington D.C. Beltway ağı üzerinde farklı acil durum müdahale stratejilerini simüle ederek ARENA'nın olay yönetimi ve acil durum planlamasında da karar destek sağlayabileceğini ortaya koymuştur.

Alanyazın taraması sonucunda, trafik benzetimi alanında gerçekleştirilen çalışmaların büyük çoğunluğunun tekil (izole) kavşaklara odaklandığı; özellikle yeşil sürelerin eniyilenmesi, kuyruk uzunluğu ve ortalama bekleme süresi gibi performans göstergelerinin yoğun biçimde ele alındığı tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda genellikle mikroskobik simülasyon yaklaşımları benimsenmiş; benzetim ve eniyileme süreçlerinde SUMO, VISSIM, AIMSUN ve ARENA gibi yazılımlar sıklıkla tercih edilmiştir. Alanyazında, trafik sinyalizasyonunun sabit zamanlı planlar yerine dinamik ve uyarlamalı algoritmalarla eniyilenmesinin sistem performansı üzerinde olumlu etkiler yarattığı sıklıkla vurgulanmaktadır. Özellikle OptQuest gibi meta-sezgisel temelli araçlar kullanılarak yürütülen benzetim tabanlı eniyileme çalışmalarının, trafik akışını iyileştirmeye yönelik karar destek mekanizmalarında etkin rol oynadığı görülmüştür.

Bununla birlikte, yapılan incelemelerde birbirine operasyonel olarak bağlı birden fazla kavşağın eşgüdümlü sinyal eniyilemesine odaklanan çalışmalara alanyazında son derece sınırlı düzeyde yer verildiği dikkat çekmektedir. Bu kapsamda, Gaziantep ili kent merkezinde yer alan iki sinyalizasyon kavşağına senkronize biçimde yürütülen bu tez çalışması; hem yerel trafik koşullarına dayanması hem de mikroskobik simülasyon ile OptQuest modülünün birlikte kullanılması açısından alanyazına özgün bir katkı sunmaktadır.

Bu doğrultuda, trafik sıkışıklığının azaltılması ve sistem performansının artırılması amacıyla çoklu kavşak etkileşimini dikkate alan modelleme ve eniyileme yaklaşımlarının geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla, çalışma kapsamında ARENA benzetim yazılımı ile oluşturulan senkronize model aracılığıyla farklı sinyal süreleri test edilmiş; OptQuest modülü kullanılarak sistemin en verimli biçimde çalışmasını sağlayacak parametre kombinasyonları belirlenmiştir. Alanyazında, aynı anda iki bağlı kavşak üzerinde yürütülmüş, benzetim tabanlı ve OptQuest modülüyle entegre biçimde gerçekleştirilen herhangi bir çalışmaya rastlanmamış olması, bu tezin hem yöntemsel hem de uygulama yönüyle özgünlüğünü güçlendirmektedir.

4. YÖNTEM ve UYGULAMA

Türkiye'nin en hızlı büyüyen büyükşehirlerinden biri olan Gaziantep, hem nüfus artışı hem de sanayi ve ticaret faaliyetlerinin yoğunluğu nedeniyle giderek artan bir ulaşım talebiyle karşı karşıyadır. Özellikle son yıllarda motorlu araç sahipliğinin belirgin biçimde yükselmesi, şehir içi ulaşım altyapısının kapasitesini zorlamakta ve trafik yoğunluğunu kritik bir sorun haline getirmektedir. Sabah ve akşam zirve saatlerde özellikle sinyalize kavşaklarda meydana gelen tıkanıklıklar, bireysel zaman kaybı, yakıt tüketiminde artış ve psikolojik stres gibi olumsuz etkiler doğurmaktadır. Bu nedenle, Gaziantep'te trafik yoğunluğunun bilimsel yöntemlerle analiz edilmesi ve sürdürülebilir ulaşım planlaması kapsamında çözümlerin geliştirilmesi, kentsel yaşam kalitesinin artırılması açısından kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

4.1. İncelenen Kavşakların Tanıtımı

Bu tez çalışmasında analiz edilen iki sinyalize kavşak, Gaziantep il merkezi sınırlarında ulaşım ağında önemli rol oynayan, yoğun taşıt trafiğine sahip ve birbirine yakın konumlanan “Çevik Kuvvet-1” ve “Çevik Kuvvet-2” kavşaklarıdır. Her iki kavşak da dört kollu ve sinyalize olup, taşıt akışlarının yönü, şerit sayıları ve geometrik yapıları bakımından birbirine benzemektedir. Ancak en kritik özellik, bu kavşakların sadece mekânsal olarak değil, trafik akışı bakımından da birbirine doğrudan bağlı olmasıdır.

Bu nedenle bu iki kavşak yalnızca bağımsız birimler olarak değil, karşılıklı olarak birbirini etkileyen senkronize bir trafik sistemi olarak ele alınmış ve simülasyon modeli bu yapıyı yansıtacak şekilde yapılandırılmıştır.

4.1.1. Çevik Kuvvet-1 kavşağı

Çevik Kuvvet-1 Kavşağı, 56060. Cd., 82017 Cd. ve Üniversite Bulvarı yollarının kesişiminde yer almaktadır. Kavşağın koordinatları 37°02'35.8"N, 37°19'28.6"E olarak tespit edilmiştir. Kavşak dört koldan oluşmakta olup, her yaklaşım kolu çift şeritlidir. Kavşaktaki her bir yaklaşım kolunun numaraları, adları ve şerit sayıları Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Çevik Kuvvet-1 kavşağı yaklaşım kollarının yönleri ve şerit sayıları

<i>Yaklaşım Kolu No</i>	<i>Yol Adı</i>	<i>Şerit Sayısı</i>
1	56060. Cd.	2
2	Üniversite Blv. Güneybatı	2
3	82017 Cd.	2
4	Üniversite Blv. Kuzeydoğu	2

Çevik Kuvvet-1 Kavşağı'nda dört yönlü sinyalizasyon kontrolü bulunmaktadır. Taşıtlar, sinyal fazlarına bağlı olarak sağa, sola veya düz şekilde ilerleyebilmektedir. Her bir yaklaşım koluna ait sinyal ışığı sayıları farklılık göstermektedir. 56060. Cd. ve 82017 Cd. yönlerinde birer sinyal ışığı bulunurken, Üniversite Bulvarı'nın kuzeydoğu ve güneybatı yönlerinde ikişer sinyal ışığı yer almaktadır.

Çevik Kuvvet-1 Kavşağı'nın şerit düzeni ve yaklaşım kolları, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de kuş bakışı ve detaylı görünüm olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 4.2. Çevik Kuvvet-1 Kavşağı'nın kuş bakışı görünümü



Şekil 4.3. Çevik Kuvvet-1 Kavşağı'nın detaylı görünümü

Çevik Kuvvet-1 Kavşağı ile ilgili veri seti ve yol haritaları incelendiğinde bazı yönlerde dönüş yasaklarının uygulandığı belirlenmiştir. Bunlar:

- 2 no'lu kol (Üniversite Blv. Güneybatı) üzerinden gelen araçların, 1 ve 2 no'lu kollara (yani 56060 Cd. ve tekrar Üniversite Blv. Yönüne) dönüş yapması yasaktır.
- 4 no'lu kol (Üniversite Blv. Kuzeydoğu) üzerinden gelen araçlar için, 3 ve 4 no'lu kollara (yani 82017 Cd. ve tekrar Üniversite Blv. Yönüne) dönüş yasaktır.

Bu yasaklar hem fiziki levhalar hem de sinyal faz düzenlemeleriyle desteklenmektedir.

Yetkililerle yapılan görüşmeler ve alınan veriler sonucu kavşağın trafik yoğunluğunun, sabah saatlerinde en yüksek 82017 Cd. (3 no'lu kol) üzerinden geliş yönünde, akşam saatlerinde ise en yüksek 56060 Cd. (1 no'lu kol) üzerinden geliş yönünde olduğunu göstermektedir.

Çevik Kuvvet-1 Kavşağı'ndaki en kritik bağlantı, 3 no'lu kol olan 82017 Cd.'dir; çünkü bu kolu kullanan veya bu kola dönüş yapan taşıtlar doğrudan Çevik Kuvvet-2 Kavşağının 1 no'lu koluna yönelmektedir. Bu durum, Çevik Kuvvet-1 birinci kavşağındaki dönüşlerin ve çıkış sıralarının Çevik Kuvvet-2 kavşağındaki giriş baskısını doğrudan etkilediğini göstermektedir.

4.1.2. Çevik Kuvvet-2 kavşağı

Çevik Kuvvet-2 Kavşağı, 82017 Cd. ve Yavuz Sultan Selim Cd. yollarının kesişiminde yer almaktadır. Kavşağın koordinatları 37°02'31.6"N, 37°19'32.6"E olarak tespit edilmiştir. Dört yönlü bu sinyalize kavşakta her yaklaşım kolu çift şeritlidir. Kavşağın kollarına ilişkin numaralar, yönler ve şerit sayıları Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Çevik Kuvvet-2 kavşağı yaklaşım kollarının yönleri ve şerit sayıları

<i>Yaklaşım Kolu No</i>	<i>Yol Adı</i>	<i>Şerit Sayısı</i>
1	82017 Cd. (Kuzey yönü)	2
2	Yavuz Sultan Selim Cd. Batı	2
3	82017 Cd. (Güney yönü)	2
4	Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu	2

Çevik Kuvvet-2 Kavşağı’nda da dört yönlü trafik sinyalizasyon sistemi kullanılmaktadır. Taşıtlar, sinyal fazlarına bağlı olarak sağa, sola ya da ileri yönde hareket edebilmektedir. Her bir yaklaşım koluna ait sinyal ışığı sayıları eşittir.

Çevik Kuvvet-2 Kavşağı’nın şerit düzeni ve yaklaşım kolları, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te kuş bakışı ve detaylı görünüm olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 4.4. Çevik Kuvvet-2 Kavşağı’nın kuş bakışı görünümü



Şekil 4.5. Çevik Kuvvet-2 Kavşağı'nın detaylı görünümü

Çevik Kuvvet-2 Kavşağı ile ilgili veri seti ve yol haritaları incelendiğinde bazı yönlerde U dönüşü yasaklarının uygulandığı belirlenmiştir. Bunlar:

- 1 no'lu kol (82017 Cd. Kuzey Yönü) üzerinden gelen taşıtlar için tekrar aynı kol yönüne (1 no'lu kola) dönüş (U dönüşü) yasaktır.
- 3 no'lu kol (82017 Cd. Güney Yönü) üzerinden gelen taşıtların tekrar 3 no'lu kola dönüş yapmaları yasaktır.

Bu yasaklar hem kavşak güvenliğini artırmak hem de sinyal fazlarını daha verimli hale getirmek amacıyla uygulanmaktadır.

Yetkililerle yapılan görüşmeler ve alınan veriler sonucu kavşağın trafik yoğunluğunun, sabah saatlerinde en yüksek 82017 Cd. (3 no'lu kol) üzerinden geliş yönünde, akşam saatlerinde ise en yüksek 82017 Cd. Kuzey yönü (1 no'lu kol) üzerinden geliş yönünde olduğunu göstermektedir.

Çevik Kuvvet-2 Kavşağı'ndaki en kritik bağlantı, birinci kavşaktaki 3 nolu kolun devamı olan ve iki kavşak arasındaki karşılıklı etkileşimi doğrudan belirleyen 1 no'lu 82017 Cd. (Kuzey yönü) üzerinden gerçekleşmektedir. Birinci kavşakta olduğu gibi ikinci kavşaktan da bu yol aracılığıyla 1. Kavşağa dönen taşıtlar bulunmaktadır. Bu durum, Çevik Kuvvet-1 kavşağındaki dönüşler ve çıkış sıralarının yalnızca Çevik Kuvvet-2 kavşağının giriş baskısını etkilemekle kalmayıp, Çevik Kuvvet-2 kavşağından gelen akımın da Çevik

Kuvvet-1 kavşağının girişini etkilediğini ve böylece iki kavşak arasında karşılıklı bir etkileşim oluştuğunu göstermektedir.

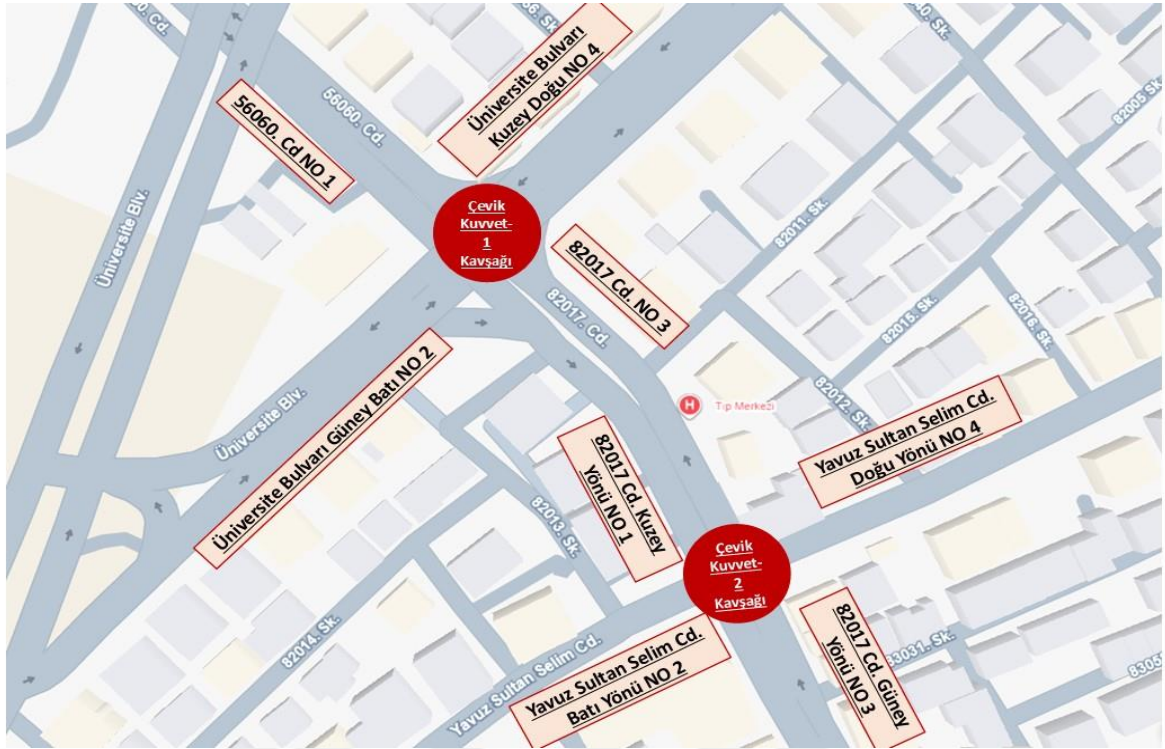
4.1.3. Kavşaklar arası bağlantı ve etkileşim

Önceki bölümde açıklandığı üzere, Çevik Kuvvet-1 ve Çevik Kuvvet-2 kavşakları, yalnızca fiziksel olarak birbirine yakın olmakla kalmayıp, trafik akışı bakımından da doğrudan bir ilişki içerisindedir. Her iki kavşağın da 82017 Cd. üzerinde konumlanmış olması, taşıt geçişlerini doğrudan birbirine bağlamakta ve bu iki kavşak arasında çift yönlü bir etkileşim doğurmaktadır.

Birinci kavşaktan ikinciye geçiş: Çevik Kuvvet-1 Kavşağı'ndaki 56060 Cd. (1. kavşak, kol 1) ve Üniversite Blv. Güneybatı yönü (1.kavşak kol 2) üzerinden çıkan araçlar, Çevik Kuvvet-2 Kavşağı'nın 1 no'lu kolu olan 82017 Cd. Kuzey yönüne doğru ilerleyebilmektedir.

İkinci kavşaktan birinciye geçiş: Çevik Kuvvet-2 Kavşağı'nda bulunan 82017 Cd. Güney yönü (2. kavşak, kol 3), Yavuz Sultan Selim Cd. Batı yönü (2. kavşak, kol 2) ve Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu yönü (2. kavşak, kol 4) üzerinden çıkan taşıtlar, 1 no'lu kol olan 82017 Cd. Kuzey yönünü kullanarak Çevik Kuvvet-1 Kavşağı istikametine doğru ilerleyebilmektedir

Bu karşılıklı akış yapısı nedeniyle, kavşaklardan birinde meydana gelen sinyal gecikmeleri veya şerit tıkanmaları, diğer kavşakta da birikmelere neden olabilmektedir. Bu nedenle çalışmada, her iki kavşak bağımsız modeller olarak değil, birbirine bağlı bir sistemin iki alt düğümü olarak ele alınmış; benzetim modeli buna göre kurgulanacaktır. Kavşaklar arasındaki bu fiziksel bağlantı Şekil 4.5'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Çevik Kuvvet-1 ve Çevik Kuvvet-2 kavşaklarının harita üzerindeki konumları

4.2. Trafik Verilerinin Toplanması

Çevik Kuvvet-1 ve Çevik Kuvvet-2 kavşaklarıyla ilgili veriler, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı'ndan temin edilmiştir. Temin edilen veri seti, araç sayıları, araç türleri, araç rotaları, mevcut faz bilgileri ve mevcut ışık planını içermektedir.

Sabah ve akşam zirve saatleri içerisinde belediye tarafından 15 dakikalık zaman aralıklarıyla gözlem yapılmış olup veri seti oluşturulmuştur. Böylece her kavşak için toplamda 8 ayrı zaman diliminde veri toplanmıştır. Gözlemlerin yapıldığı saat aralığı ve ölçüm periyotları Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Kavşak gözlem planı

Gözlem Dönemi	Başlangıç Saati	Bitiş Saati	Ölçüm Periyodu	Süre
SABAH	07:00	09:00	15 dk	2 saat
AKŞAM	17:00	19:00	15 dk	2 saat

Her iki kavşakta da dört yaklaşım kolu ayrı ayrı ele alınarak detaylı taşıt sayımları gerçekleştirilmiştir. Sayımlar sırasında, sahadan geçen taşıtlar türlerine göre sınıflandırılmış; bu doğrultuda sekiz farklı taşıt grubu tanımlanmıştır: otomobil, minibüs, kamyonet, otobüs, tır/treyler, motosiklet, bisiklet ve scooter. Bu sınıflandırma sayesinde, trafik yapısının taşıt kompozisyonu düzeyinde ayrıştırılması ve analiz edilebilir hâle getirilmesi sağlanmıştır.

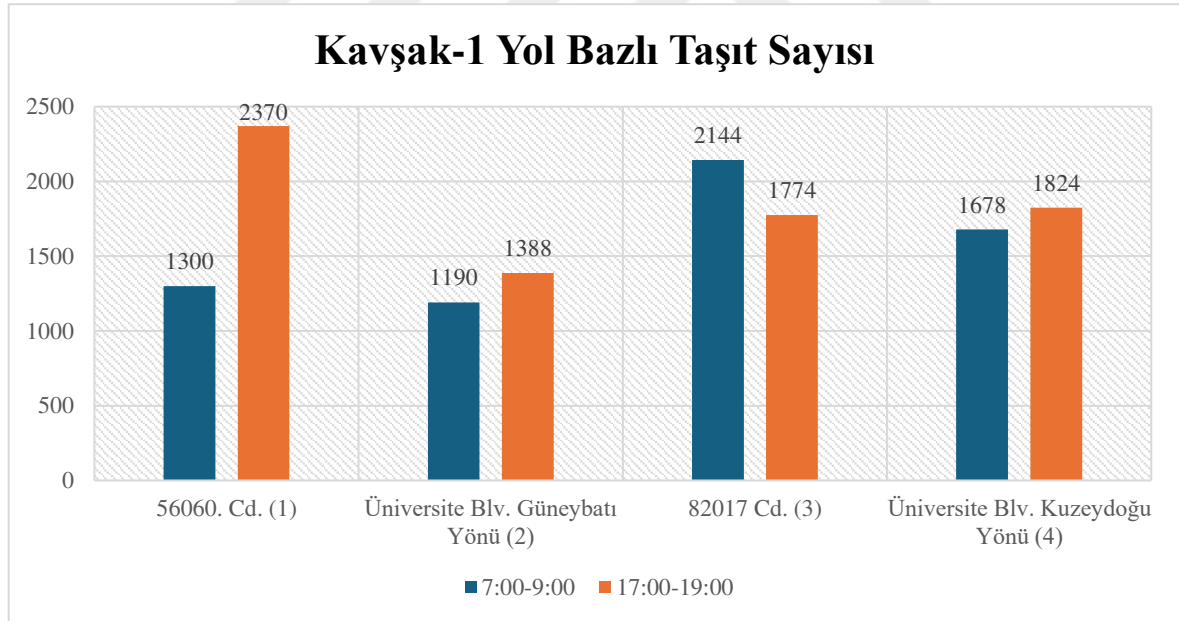
Sayım verileri, her bir 15 dakikalık zaman dilimi ile her yaklaşım kolu için ayrı ayrı tablolar içerisinde düzenlenmiştir. Tablolarda, sekiz taşıt türüne karşılık gelen sütunlar oluşturulmuş ve her tür için taşıt geçişleri sistematik biçimde işlenmiştir. Bu yapı, hem dikeyde (taşıt türlerine göre) hem yatayda (zaman aralıklarına göre) detaylı analiz yapılmasına olanak tanımıştır. Araçlar için oluşturulan veri seti, Tablo 4.4.'te sunulmuştur. Bu tablo, belirli bir gözlem periyodu boyunca farklı yönlerden kavşağa giriş yapan araç sayılarını, birer saatlik zaman dilimleri halinde göstermektedir. Her bir satır, sabah ve akşam yoğunluk saatlerini kapsayan belirli zaman aralıklarındaki trafik akışını yansıtmaktadır.

Tablo 4.4. Çevik Kuvvet Kavşaklarında Zaman Aralıklarına Göre Araç Giriş Sayıları

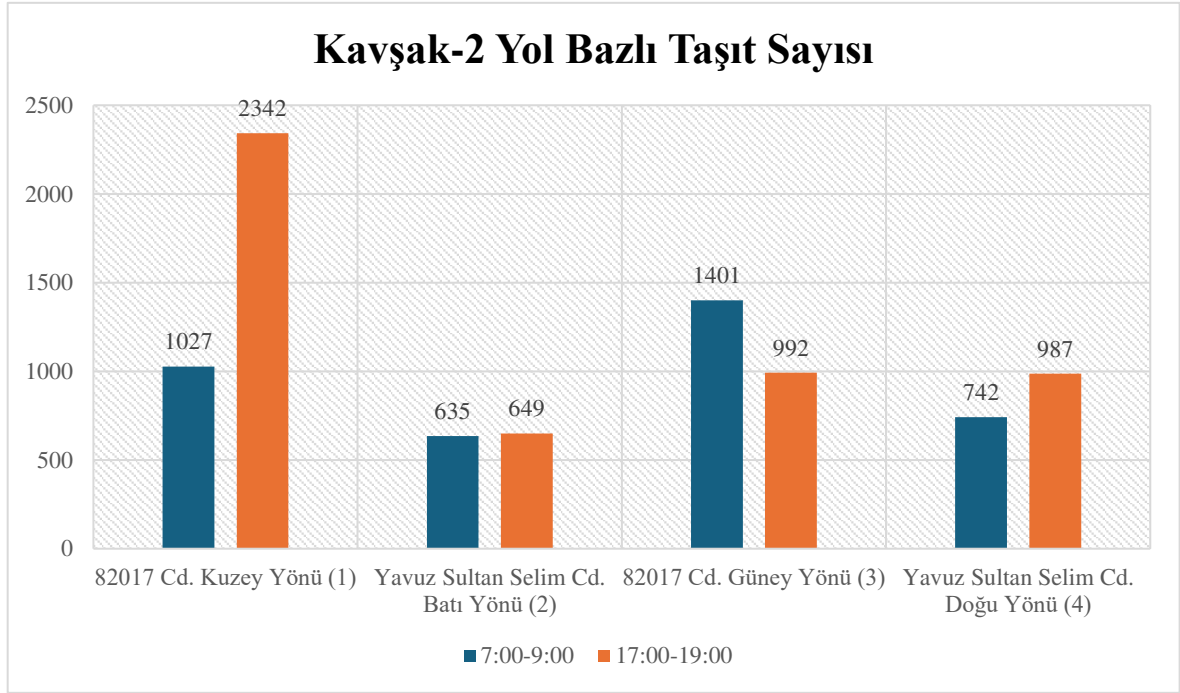
ÇEVİK KUVVET- 1 KAVŞAĞI					
Zaman Aralığı	56060. Cd. (1)	Üniv. Blv. Güneybatı Yönü (2)	82017 Cd. (3)	Üniv. Blv. Kuzeydoğu Yönü (4)	Toplam
07:00–08:00	881	875	360	747	2.863
08:00–09:00	932	1.026	672	819	3.449
17:00–18:00	648	1.058	1.216	802	3.724
18:00–19:00	601	1.157	1.122	752	3.632
ÇEVİK KUVVET- 2 KAVŞAĞI					
Zaman Aralığı	82017 Cd. Kuzey (1)	Y.S. Selim Cd. Batı (2)	82017 Cd. Güney (3)	Y.S. Selim Cd. Doğu (4)	Toplam
07:00–08:00	1.059	129	348	228	1.764
08:00–09:00	992	228	501	320	2.041
17:00–18:00	759	466	1.014	302	2.541
18:00–19:00	675	480	930	344	2.429

Veri düzenlemesinde bir diğer önemli unsur, kavşaklar arası yönsel geçişlerin de dikkate alınmış olmasıdır. Her iki kavşak için hem geliş yönündeki hem de gidiş yönündeki taşıt hareketleri ayrı ayrı ele alınmış; böylece yönsel etkileşimlerin ve karşılıklı trafik etkilerinin modellenmesi mümkün hâle getirilmiştir.

Sayım verilerinin analizinde kolaylık sağlamak amacıyla, sabah (07:00–09:00) ve akşam (17:00–19:00) gözlem dönemlerine ait 15 dakikalık veriler birleştirilerek her bir yaklaşım kolu ve taşıt türü için toplam geçiş sayısını içeren ayrıntılı 2 saatlik tablolar hazırlanmıştır. Bu özet tablolar, EK-1’de sunulmakta olup, verilerin simülasyon modeline doğrudan aktarılabilir şekilde yapılandırıldığını göstermektedir. EK-1’de sunulan tablo verilerine ek olarak, sabah (07:00–09:00) ve akşam (17:00–19:00) saatlerine ait toplam taşıt hacmi değişimleri, Çevik Kuvvet-1 ve Çevik Kuvvet-2 kavşakları için sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de karşılaştırmalı biçimde sunulmuş; böylece trafik yoğunluğundaki zaman bazlı farklılıklar görselleştirilerek simülasyon modeline aktarılacak veri yapısı bütünsel olarak özetlenmiştir. Hazırlanan matris formatı sayesinde, her kol için toplam trafik hacmi, taşıt türü bileşimi ve yönsel dağılım kolaylıkla izlenebilir hâle getirilmiştir.



Şekil 4.7. Çevik Kuvvet-1 Kavşağı'nda toplam taşıt hacminin sabah–akşam karşılaştırması



Şekil 4.8. Çevik Kuvvet-2 Kavşağı'nda toplam taşıt hacminin sabah–akşam karşılaştırması

Sonuç olarak, veri düzenleme süreci yalnızca temin edilen ham verilerin işlenmesiyle sınırlı kalmamış, aynı zamanda modelleme sürecine uygun ve istatistiksel analiz yapılabilir bir veri yapısının oluşturulmasını da kapsamıştır. Bu yapı, simülasyon ortamında hem dinamik trafik değişimlerinin hem de taşıt türleri bazında akış karakteristiklerinin değerlendirilmesine olanak sunmaktadır.

Bununla birlikte gerçek hayatta bazı taşıtların sinyal fazlarına aykırı şekilde hatalı dönüş yaptığı gözlemlenmiş olsa da bu tür kurallara aykırı manevralar, gözlenen toplam trafik hacminin oldukça küçük bir kısmını oluşturduğundan ve düzenli bir örüntü göstermediğinden, modelleme sürecinde dikkate alınmamıştır. Bu tercih, benzetimin genel geçer trafik davranışlarını temsil etmesini sağlarken, analiz sürecinde kontrol dışı sapmalardan kaynaklanabilecek öngörülemezliklerin önüne geçmeyi amaçlamaktadır.

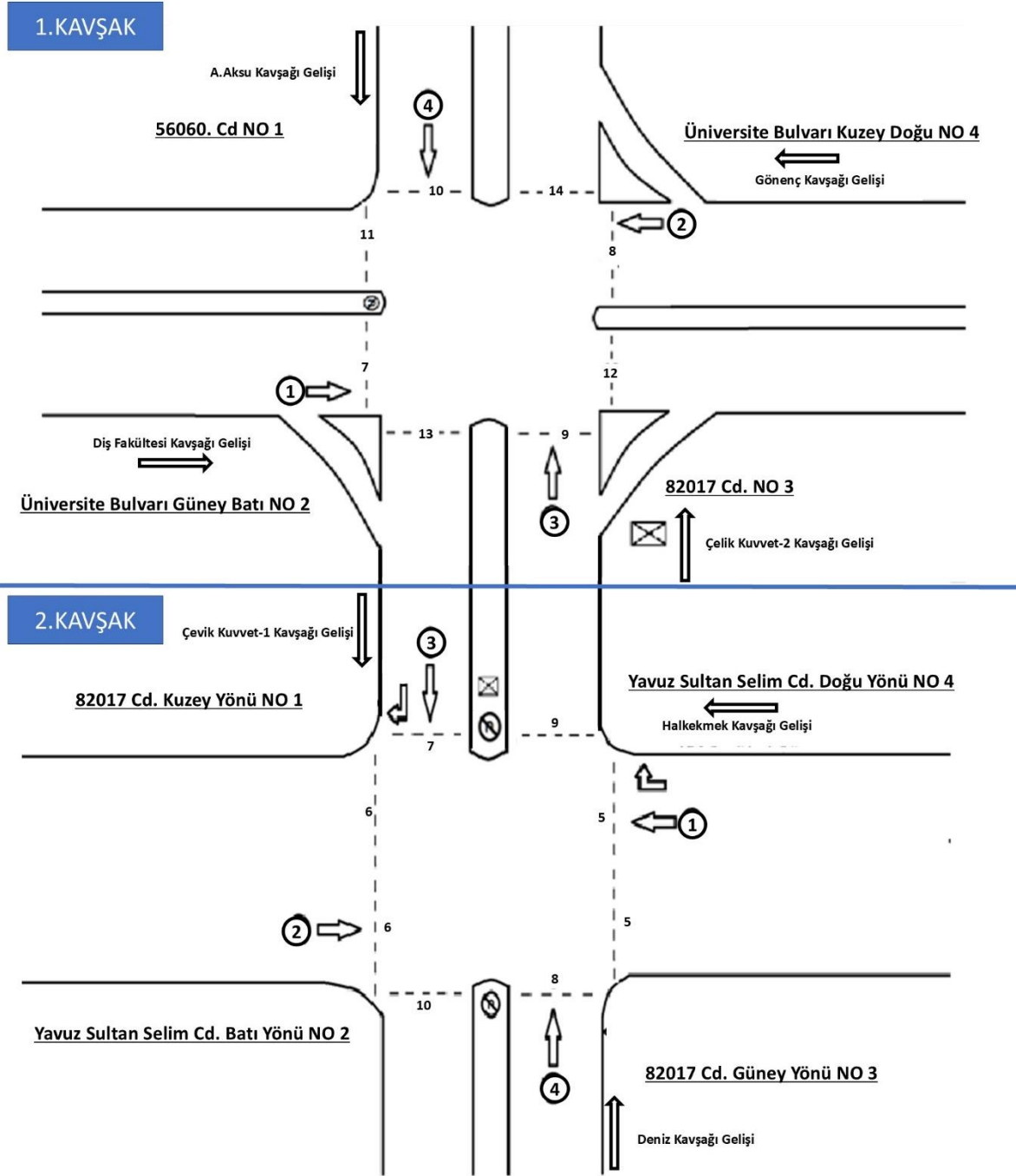
Benzetim modelinde trafik akışının doğru şekilde temsil edilebilmesi amacıyla, incelenen iki kavşağa ait trafik sinyalizasyon süreleri belediyeden temin edilen geçmiş faz planları doğrultusunda detaylı biçimde analiz edilmiştir. Her yaklaşım kolunun bağlı olduğu faz gruplarına ait yeşil ışık süreleri saat dilimlerine göre sınıflandırılmış; benzetim modelinde her faza karşılık gelen süreler, taşıt akımının yönsel özelliklerine göre atanmıştır.

Her iki kavşakta da sinyal çevrimleri içinde faz geçişleri sırasında oluşan kayıp süreler (lost time) dikkate alınmıştır. Bu süreler, fazlar arası geçişlerdeki sarı ışık süresi ve güvenlik

amacıyla bırakılan aralıklardan kaynaklanmakta olup toplam çevrim süresinden düşölerek net yeşil süreler hesaplanmıştır. Böylece taşıt başına düşen efektif geçiş süresi gerçek koşulları yansıtır şekilde modellenenbilmektedir.

Öte yandan, sinyal sistemlerinin her iki kavşakta da günün belirli saatlerinden sonra flaş moduna (ikaz moduna) geçtiğı bilinmektedir. Gece saatlerinde aktifleşen bu modda, klasik faz döngüsü yerine sabit sarı veya kırmızı ışık yanmaktadır. Ancak gözlemler yalnızca sabah (07:00–09:00) ve akşam (17:00–19:00) zirve saatlerini kapsadığından, flaş moduna ait zaman dilimleri benzetim modeline dahil edilmemiştir.

Kavşaklara ait trafik sinyal verileri tablolar hâlinde sunulmadan önce, sinyalizasyon sisteminin fiziksel yerleşimini görsel olarak ifade eden numaralandırılmış kavşak krokisi hazırlanmıştır. Bu krokide her bir trafik ışığı bir numara ile temsil edilmiş olup, Tablo 4.4, Tablo 4.5'te sunulan faz sıraları ve süreleri ile bu numaralar eşleştirilmiştir. Böylece, her faz grubuna ait yeşil sürenin fiziksel olarak hangi yön ve sinyal grubuna karşılık geldiğı net bir biçimde izlenebilmektedir. Söz konusu sinyal noktalarının fiziksel yerleşimini gösteren krokisi Şekil 4.8'de sunulmaktadır.



Şekil 4.9. Çevik Kuvvet-1/2 kavşaklarında yer alan trafik ışıklarının konumsal planı

Çevik Kuvvet-1 Kavşağı'nda 2023 yılından itibaren kullanılan güncel sinyal planı Tablo 4.5.'te detaylı biçimde verilmiştir.

Tablo 4.5. Çevik Kuvvet-1 Kavşağı güncel sinyal faz süreleri

Faz Sırası (Yeşil Işık Sırası)	1/2-3-4	1/2-3-4	1/2-3-4	1/2-3-4	1/2-3-4	1/2-3-4	1/2-3-4
Saat Dilimi	06:00	08:30	10:00	15:00	17:00	20:00	24 SAAT
Grup No	P1	P6	P2	P3	P4	P2	FLAŞ
1/2	25	23	15	20	20	15	S
3	23	24	20	17	17	20	K
4	17	28	20	33	38	20	K
Kayıp Süre	15	15	15	15	15	15	
Periyot	80	90	70	85	90	70	

Çevik Kuvvet-2 Kavşağı'nda 2024 yılından itibaren kullanılan güncel sinyal planı Tablo 4.6.'te detaylı biçimde verilmiştir.

Tablo 4.6. Çevik Kuvvet-2 Kavşağı güncel sinyal faz süreleri

Faz Sırası (Yeşil Işık Sırası)	1-2-3-4	1-2-3-4	1-2-3-4	1-2-3-4	1-2-3-4
Saat Dilimi	06:00	10:00	15:00	21:00	24 SAAT
Grup No	P1	P2	P3	P4	FLAŞ
1	13	14	16	13	S
2	12	11	11	12	K
3	18	17	23	18	K
4	16	12	14	16	K
Kayıp Süre	16	16	16	16	
Periyot	75	70	80	75	75

4.3. Benzetim Modelinin Oluşturulması

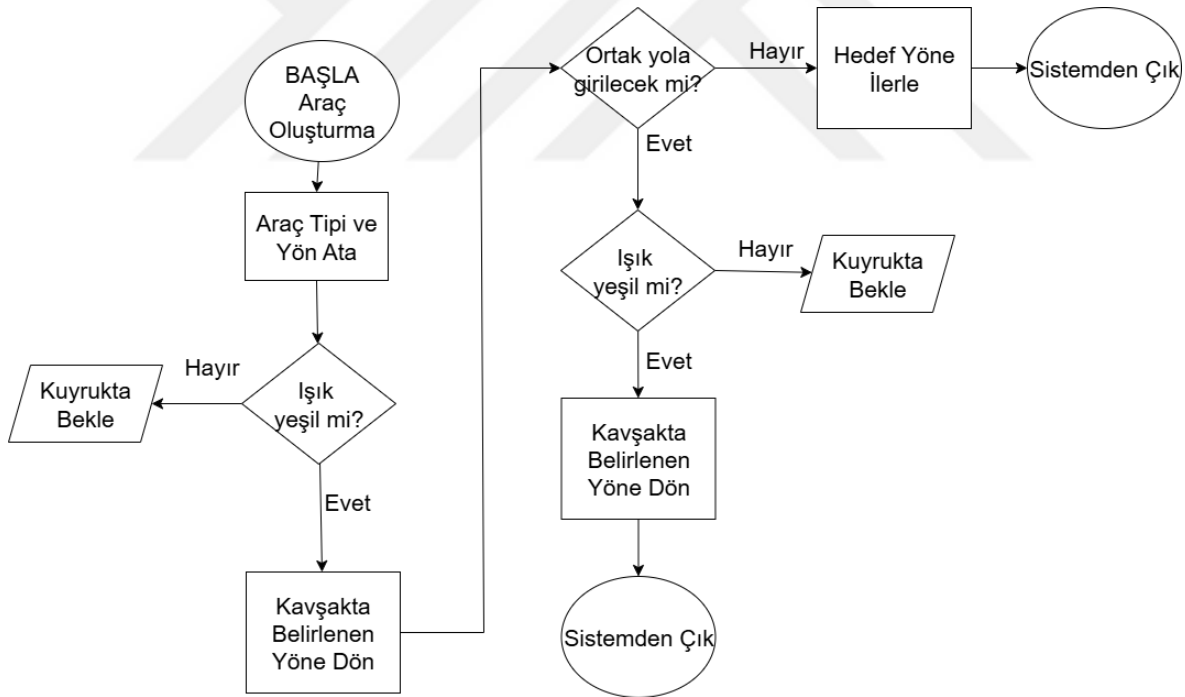
Çalışma kapsamında geliştirilen benzetim modeli, iki kavşağın tek bir model içerisinde senkronize biçimde modellenmesi esasına dayalı olarak oluşturulmuştur. Kavşaklar arasındaki fiziksel bağlantılar ve taşıt akımlarının birbirine etkisi göz önünde bulundurularak, sistem bütüncül bir yapı halinde ele alınmıştır. Yani ortak cadde kullanımı

göz önünde bulundurularak ortak koldan giren araçlar her iki kavşakla ilişkili şekilde modellenmiştir.

Kavşaklar arası koordineli sinyalizasyon yapısı korunmuş, özellikle ortak yol kullanımında ikinci kavşaktaki sinyal durumlarının etkisi de dikkate alınarak, araç yönlendirme kararları modellenmiştir. Sabah (07:00–09:00) ve akşam (17:00–19:00) zirve saatleri için özel olarak oluşturulan iki ayrı benzetim modelinde, zirve saatlere özgü araç geliş süreleri, dönüş oranları ve sinyal fazları tanımlanmıştır. Böylece trafik dinamiklerindeki zamansal değişkenlik modellere yansıtılmıştır.

Ayrıca, sinyal fazları arasındaki kayıp süreler (lost time), araçların kavşak içi manevralarının gerçekliğini artırmak amacıyla dikkate alınmış ve böylelikle faz geçişlerinden kaynaklanan gecikmeler modele doğrudan entegre edilmiştir.

Benzetim modelinin işleyiş yapısı, akış diyagramı ile Şekil 4.9.'da gösterilmiştir. Diyagram, modelin tüm mantıksal adımlarını —kavşağa geliş, yönlendirme, sinyal kontrolü ve kavşaktan çıkış— aşamalarıyla birlikte göstermektedir.



Şekil 4.10. ARENA Modeli Akış Diyagramı

4.3.1. Araç türlerinin gruplandırılması

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı'ndan temin edilen sayımlardan elde edinilen bilgiye göre, ilgili kavşaklardan otomobil, minibüs, kamyonet, otobüs, tır/treyler, motosiklet, bisiklet ve scooter olmak üzere toplamda sekiz farklı taşıt türü geçmektedir.

Sayımlar incelendiğinde motosiklet, scooter ve bisiklet sayılarının düşük düzeyde kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, alanyazında benzer örneklerin bulunup bulunmadığının incelenmesini gerekli kılmıştır. Alanyazında benzer şekilde düşük sayıda gözlemlenen motosiklet, scooter ve bisiklet gibi araçların “iki tekerlekli araçlar (single-track vehicles)” başlığı altında toplandığı görülmüştür [65]. Bu doğrultuda, çalışmamızda da söz konusu araç türleri, analizin tutarlılığını sağlamak amacıyla bu kategori altında birleştirilmiştir. Benzer şekilde otobüs, kamyon ve tır/trailer araçlarının benzer boyut, hızlanma ve manevra karakteristikleri sebebiyle mikroskobik modelleme çalışmalarında tek bir “ağır taşıtlar (heavy vehicle)” grubu altında toplanmasının yaygın bir yaklaşım olduğu görülmüştür [66]. Sayımlar incelendiğinde tır sayısının da çok düşük olması ve alanyazında ağır taşıt alt tiplerinin ayrı modellenmesinin küçük ve orta ölçekli kavşaklarda anlamlı fark yaratmadığının belirtilmiş olması da dikkate alınarak, çalışmamızda, tır ve otobüs araç türleri “ağır taşıt” kategorisinde birleştirilmiştir [67].

4.3.2. Araç gelişlerinin modellenmesi

Benzetim modelinin gerçek hayattaki durumu doğru şekilde yansıtabilmesi için kavşaklara yaklaşan taşıtların geliş sürelerinin doğru biçimde tanımlanması kritik öneme sahiptir. Veri setinde, 15 dakikalık zaman diliminde kavşağa gelen her faz için araç sayıları ve tipleri verilmektedir. Fakat her bir araç için varış zamanı bilinmemektedir. Bu yüzden, 15 dakikalık aralıktaki varış zamanının, gerçek trafiğin iyi bir tahmini olan bir poisson dağılımına uygun olduğu varsayılmıştır [14],[68]. Alanyazında da kullanıldığı üzere, araçların kavşağa giriş zamanlarının poisson dağılıma uygun olduğu varsayımı sayesinde araçların varışları arası zaman aralıklarının da üstel dağılıma uygun olacağı bilinmektedir [69].

Bu çalışmada, her bir kavşak kolu için araçların varışlar arası zaman aralıkları üstel dağılım kullanılarak temsil edilmiştir. Saha gözlemleri temel alınarak sabah (07:00–09:00)

ve akşam (17:00–19:00) zirve saat dilimlerine ait taşıt sayıları üzerinden ortalama geliş süreleri elde edilmiştir ve Tablo 4.7.’te sunulmuştur.

Toplamda 6 yaklaşım kolu için bu işlem yapılmış olup her iki kavşakta ortak olarak yer alan 82017 Caddesinin trafik akışı diğer kollara bağlı olduğundan bu kollar için hesaplama yapılmamıştır. Bu uygulama hem modelde tekrarların önlenmesi hem de gerçek sistemin daha doğru temsil edilmesi açısından tercih edilmiştir.

Tablo 4.7. Çevik Kuvvet-1/2 Kavşakları için Kullanılan Üstel Dağılım Parametreleri

		Gözlem Zamanı	Araç Sayısı (adet)	Gözlem Süresi (saniye)	araç/ saniye	Ortalama Geliş Süresi (toplam süre/araç sayısı)
ÇEVİK KUVVET-1 KAVŞAĞI	56060. Cd. (1)	7:00- 9:00	1300	7200	0,18	5,54
	Üniversite Blv. Güneybatı Yönü (2)		1190	7200	0,17	6,05
	82017 Cd. (3)		ORTAK CADDE DİĞER YOLLARA BAĞLIDIR.			
	Üniversite Blv. Kuzeydoğu Yönü (4)		1678	7200	0,23	4,29
	56060. Cd. (1)	17:00- 19:00	2370	7200	0,33	3,04
	Üniversite Blv. Güneybatı Yönü (2)		1388	7200	0,19	5,19
	82017 Cd. (3)		ORTAK CADDE DİĞER YOLLARA BAĞLIDIR.			
	Üniversite Blv. Kuzeydoğu Yönü (4)		1824	7200	0,25	3,95
ÇEVİK KUVVET-2 KAVŞAĞI	82017 Cd. Kuzey Yönü (1)	7:00- 9:00	ORTAK CADDE DİĞER YOLLARA BAĞLIDIR.			
	Yavuz Sultan Selim Cd. Batı Yönü (2)		635	7200	0,09	11,34
	82017 Cd. Güney Yönü (3)		1401	7200	0,19	5,14
	Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu Yönü (4)		742	7200	0,10	9,70
	82017 Cd. Kuzey Yönü (1)	17:00- 19:00	ORTAK CADDE DİĞER YOLLARA BAĞLIDIR.			
	Yavuz Sultan Selim Cd. Batı Yönü (2)		649	7200	0,09	11,09
	82017 Cd. Güney Yönü (3)		992	7200	0,14	7,26
	Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu Yönü (4)		987	7200	0,14	7,29

4.3.3. Araç dönüş oranlarının belirlenmesi

Araç geliş sürelerinin yanı sıra, kavşak içi yönsel hareketlerin doğru modellenenebilmesi amacıyla her yaklaşım kolu için dönüş oranları hesaplanmıştır. Bu oranlar; belirli bir yaklaşım kolundan çıkan taşıtların sağa dönüş, sola dönüş ve düz geçiş hareketlerinin, aynı koldan çıkan toplam taşıt sayısına oranlanması ile elde edilmiştir.

Hesaplamalar, her iki kavşak için sabah (07:00–09:00) ve akşam (17:00–19:00) zirve saatlerinde ayrı ayrı yapılmıştır. Böylece modelde, günün farklı zaman dilimlerine ait trafik yönelme farklılıkları da dikkate alınmıştır.

Tablo 4.8, Çevik Kuvvet-1 Kavşağı'nın; Tablo 4.9. ise Çevik Kuvvet-2 Kavşağı'nın sabah ve akşam zaman dilimlerine ait genel dönüş oranlarını göstermektedir. Örneğin, 56060 Caddesi (1) yaklaşım kolundan çıkan taşıtların %68'inin 82017 Caddesi (3) yönüne, %30'unun ise Üniversite Bulvarı Kuzeydoğu yönüne (4) ilerlediği belirlenmiştir.

Buna ek olarak, dönüş hareketleri araç tipi bazında ayrı ayrı da incelenmiştir. Bu kapsamda, belirli bir yaklaşım kolundan çıkan otomobil, minibüs, otobüs vb. araçların sağa dönüş, sola dönüş ve düz geçiş hareketleri, aynı koldan çıkan toplam araç sayısına oranlanmıştır. Elde edilen araç tipi bazlı ham sayım verileri ve bu verilerden türetilen dönüş yüzdeleri, Tablo 4.10–4.13'te sunulmaktadır. Bu tablolar, her yaklaşım kolundan çıkan araçların farklı yönlere olan hareketlerini araç türlerine göre hem sayı hem de yüzde olarak göstermektedir. Tablolarda sarı ile gösterilen sütunlar, krokilerde dönüşlerin yasak olduğu alanları ifade etmekte olup, bu alanlara dönüş yapan araçlar değerlendirmeye alınmamıştır.

Elde edilen bu oranlar sayesinde, her araç, geliş yönüne göre saha verileri kullanılarak belirlenmiş olasılıklarla kavşak içinde manevra yapacak şekilde yönlendirilmiştir. Bu yöntem yalnızca kavşak giriş akışlarını değil, iki kavşak arasındaki etkileşimleri ve kavşak içi dağılımları da gerçekçi biçimde temsil etmiştir.

Tablo 4.8. Çevik Kuvvet-1 Kavşağı için araç dönüş oranları

SABAH 07.00-09.00				
	56060. Cd. (1)	Üniversite Blv. Güneybatı Yönü (2)	82017 Cd. (3)	Üniversite Blv. Kuzeydoğu Yönü (4)
56060. Cd. (1)	0,00%	0,46%	68,69%	30,85%
Üniversite Blv. Güneybatı Yönü (2)	0,00%	0,00%	11,60%	88,40%
82017 Cd. (3)	58,02%	36,75%	0,00%	5,22%
Üniversite Blv. Kuzeydoğu Yönü (4)	33,95%	66,05%	0,00%	0,00%
AKŞAM 17.00-19.00				
	56060. Cd. (1)	Üniversite Blv. Güneybatı Yönü (2)	82017 Cd. (3)	Üniversite Blv. Kuzeydoğu Yönü (4)
56060. Cd. (1)	0,00%	0,93%	86,92%	12,15%
Üniversite Blv. Güneybatı Yönü (2)	0,00%	0,00%	19,81%	80,19%
82017 Cd. (3)	53,72%	37,71%	0,00%	8,57%
Üniversite Blv. Kuzeydoğu Yönü (4)	16,26%	83,74%	0,00%	0,00%

Tablo 4.9. Çevik Kuvvet-2 Kavşağı için araç dönüş oranları

SABAH 07.00-09.00				
	82017 Cd. Kuzey Yönü (1)	Yavuz Sultan Selim Cd. Batı Yönü (2)	82017 Cd. Güney Yönü (3)	Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu Yönü (4)
82017 Cd. Kuzey Yönü (1)	0,00%	15,51%	66,24%	18,25%
Yavuz Sultan Selim Cd. Batı Yönü (2)	30,08%	0,00%	18,90%	51,02%
82017 Cd. Güney Yönü (3)	93,78%	3,51%	0,00%	2,72%
Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu Yönü (4)	72,91%	20,22%	6,87%	0,00%
AKŞAM 17.00-19.00				
	82017 Cd. Kuzey Yönü (1)	Yavuz Sultan Selim Cd. Batı Yönü (2)	82017 Cd. Güney Yönü (3)	Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu Yönü (4)
82017 Cd. Kuzey Yönü (1)	0,00%	19,83%	66,42%	13,75%
Yavuz Sultan Selim Cd. Batı Yönü (2)	21,48%	0,00%	36,91%	41,61%
82017 Cd. Güney Yönü (3)	86,59%	8,60%	0,00%	4,81%
Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu Yönü (4)	40,53%	41,13%	18,24%	0,10%

Tablo 4.10. Çevik Kuvvet-1 Kavşağı Sabah için araç tipi bazlı dönüş oranları

KAVŞAK 1- 7:00-9:00		Araç Sayıları				Araç Dönüş Oranları			
		1	2	3	4	1	2	3	4
56060. Cd. (1)	Otomobil	0	6	622	224	0%	1%	73%	26%
	Minibüs	0	0	165	55	0%	0%	75%	25%
	Kamyonet	0	0	32	7	0%	0%	82%	18%
	Otobüs	0	0	9	3	0%	0%	75%	25%
	Tır/Treyler	0	0	5	1	0%	0%	83%	17%
	Motosiklet	0	0	59	11	0%	0%	84%	16%
	Bisiklet	0	0	1	100	0%	0%	1%	99%
	Scooter	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%
	Toplam	0	6	893	401				
Üniversite Blv. Güneybatı Yönü (2)	Otomobil			48	843	0%	0%	5%	95%
	Minibüs			64	99	0%	0%	39%	61%
	Kamyonet			1	18	0%	0%	5%	95%
	Otobüs			16	16	0%	0%	50%	50%
	Tır/Treyler			0	2	0%	0%	0%	100%
	Motosiklet			9	73	0%	0%	11%	89%
	Bisiklet			0	1	0%	0%	0%	100%
	Scooter			0	0	0%	0%	0%	0%
	Toplam	0	0	138	1052				
82017 Cd. (3)	Otomobil	959	602	0	91	58%	36%	0%	6%
	Minibüs	113	42	0	5	71%	26%	0%	3%
	Kamyonet	53	30	0	3	62%	35%	0%	3%
	Otobüs	8	13	0	4	32%	52%	0%	16%
	Tır/Treyler	14	2	0	0	88%	13%	0%	0%
	Motosiklet	95	97	0	9	47%	48%	0%	4%
	Bisiklet	1	1	0	0	50%	50%	0%	0%
	Scooter	1	1	0	0	50%	50%	0%	0%
	Toplam	1244	788	0	112				
Üniversite Blv. Kuzeydoğu Yönü (4)	Otomobil	454	864			34%	66%	0%	0%
	Minibüs	70	102			41%	59%	0%	0%
	Kamyonet	9	22			29%	71%	0%	0%
	Otobüs	2	24			8%	92%	0%	0%
	Tır/Treyler	1	1			50%	50%	0%	0%
	Motosiklet	33	84			28%	72%	0%	0%
	Bisiklet	0	9			0%	100%	0%	0%
	Scooter	0	1			0%	100%	0%	0%
	Toplam	569	1107	0	0				

Tablo 4.11. Çevik Kuvvet-1 Kavşağı Akşam için araç tipi bazlı dönüş oranları

KAVŞAK 1- 17:00-19:00		Araç Sayıları				Araç Dönüş Oranları			
		1	2	3	4	1	2	3	4
56060. Cd. (1)	Otomobil	0	19	1716	194	0%	1%	89%	10%
	Minibüs	0	0	99	26	0%	0%	79%	21%
	Kamyonet	0	3	31	2	0%	8%	86%	6%
	Otobüs	0	0	26	15	0%	0%	63%	37%
	Tır/Treyler	0	0	1	1	0%	0%	50%	50%
	Motosiklet	0	0	185	50	0%	0%	79%	21%
	Bisiklet	0	0	2	0	0%	0%	100%	0%
	Scooter	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%
	Toplam	0	22	2060	288				
Üniversite Blv. Güneybatı Yönü (2)	Otomobil			175	864	0%	0%	17%	83%
	Minibüs			37	61	0%	0%	38%	62%
	Kamyonet			3	13	0%	0%	19%	81%
	Otobüs			13	39	0%	0%	25%	75%
	Tır/Treyler			0	0	0%	0%	0%	0%
	Motosiklet			44	130	0%	0%	25%	75%
	Bisiklet			1	5	0%	0%	17%	83%
	Scooter			2	1	0%	0%	67%	33%
	Toplam			275	1113				
82017 Cd. (3)	Otomobil	732	508	0	117	54%	37%	0%	9%
	Minibüs	66	52	0	7	53%	42%	0%	6%
	Kamyonet	8	11	0	2	38%	52%	0%	10%
	Otobüs	31	24	0	2	54%	42%	0%	4%
	Tır/Treyler	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%
	Motosiklet	114	73	0	24	54%	35%	0%	11%
	Bisiklet	2	1	0	0	67%	33%	0%	0%
	Scooter	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%
	Toplam	953	669	0	152				
Üniversite Blv. Kuzeydoğu Yönü (4)	Otomobil	225	1245			15%	85%	0%	0%
	Minibüs	26	95			21%	79%	0%	0%
	Kamyonet	6	19			24%	76%	0%	0%
	Otobüs	7	28			20%	80%	0%	0%
	Tır/Treyler	0	0			0%	0%	0%	0%
	Motosiklet	32	134			19%	81%	0%	0%
	Bisiklet	0	3			0%	100%	0%	0%
	Scooter	0	0			0%	0%	0%	0%
	Toplam	296	1524	0	0				

Tablo 4.12. Çevik Kuvvet-2 Kavşağı Sabah için araç tipi bazlı dönüş oranları

KAVŞAK 2- 7:00-9:00		Araç Sayıları				Araç Dönüş Oranları			
		1	2	3	4	1	2	3	4
82017 Cd. Kuzey Yönü (1)	Otomobil		127	431	81	0%	20%	67%	13%
	Minibüs		9	117	9	0%	7%	87%	7%
	Kamyonet		6	44	9	0%	10%	75%	15%
	Otobüs		0	41	71	0%	0%	37%	63%
	Tır/Treyler		0	1	1	0%	0%	50%	50%
	Motosiklet		16	40	15	0%	23%	56%	21%
	Bisiklet		0	1	0	0%	0%	100%	0%
	Scooter		0	0	0	0%	0%	0%	0%
	Toplam	0	158	675	186				
Yavuz Sultan Selim Cd. Batı Yönü (2)	Otomobil	155	0	87	243	32%	0%	18%	50%
	Minibüs	8	0	1	9	44%	0%	6%	50%
	Kamyonet	12	0	16	33	20%	0%	26%	54%
	Otobüs	0	0	0	2	0%	0%	0%	100%
	Tır/Treyler	0	0	2	0	0%	0%	100%	0%
	Motosiklet	15	0	14	36	23%	0%	22%	55%
	Bisiklet	0	0	0	1	0%	0%	0%	100%
	Scooter	1	0	0	0	100%	0%	0%	0%
	Toplam	191	0	120	324				
82017 Cd. Güney Yönü (3)	Otomobil	991	41		28	93%	4%	0%	3%
	Minibüs	30	1		0	97%	3%	0%	0%
	Kamyonet	135	4		4	94%	3%	0%	3%
	Otobüs	24	0		0	100%	0%	0%	0%
	Tır/Treyler	7	0		0	100%	0%	0%	0%
	Motosiklet	122	2		6	94%	2%	0%	5%
	Bisiklet	0	0		0	0%	0%	0%	0%
	Scooter	2	1		0	67%	33%	0%	0%
	Toplam	1311	49	0	38				
Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu Yönü (4)	Otomobil	366	104	32	0	73%	21%	6%	0%
	Minibüs	15	7	3	0	60%	28%	12%	0%
	Kamyonet	54	13	6	0	74%	18%	8%	0%
	Otobüs	49	6	3	0	84%	10%	5%	0%
	Tır/Treyler	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%
	Motosiklet	56	18	7	0	69%	22%	9%	0%
	Bisiklet	1	2	0	0	33%	67%	0%	0%
	Scooter	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%
	Toplam	541	150	51	0				

Tablo 4.13. Çevik Kuvvet-2 Kavşağı Akşam için araç tipi bazlı dönüş oranları

KAVŞAK 2- 17:00-19:00		Araç Sayıları				Araç Dönüş Oranları			
		1	2	3	4	1	2	3	4
82017 Cd. Kuzey Yönü (1)	Otomobil		374	1202	197	0%	21%	68%	11%
	Minibüs		10	75	10	0%	11%	79%	11%
	Kamyonet		9	50	10	0%	13%	72%	14%
	Otobüs		2	35	56	0%	2%	38%	60%
	Tır/Treyler		0	2	0	0%	0%	100%	0%
	Motosiklet		59	159	43	0%	23%	61%	16%
	Bisiklet		1	2	0	0%	33%	67%	0%
	Scooter		1	2	0	0%	33%	67%	0%
	Toplam	0	456	1527	316				
Yavuz Sultan Selim Cd. Batı Yönü (2)	Otomobil	113	0	167	220	23%	0%	33%	44%
	Minibüs	2	0	6	11	11%	0%	32%	58%
	Kamyonet	5	0	17	12	15%	0%	50%	35%
	Otobüs	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%
	Tır/Treyler	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%
	Motosiklet	23	0	29	38	26%	0%	32%	42%
	Bisiklet	1	0	2	0	33%	0%	67%	0%
	Scooter	1	0	1	1	33%	0%	33%	33%
	Toplam	32	0	55	62				
82017 Cd. Güney Yönü (3)	Otomobil	678	61		29	88%	8%	0%	4%
	Minibüs	31	1		3	89%	3%	0%	9%
	Kamyonet	20	3		3	77%	12%	0%	12%
	Otobüs	29	0		0	100%	0%	0%	0%
	Tır/Treyler	1	0		0	100%	0%	0%	0%
	Motosiklet	85	17		12	75%	15%	0%	11%
	Bisiklet	2	2		0	50%	50%	0%	0%
	Scooter	0	0		0	0%	0%	0%	0%
	Toplam	846	84	0	47				
Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu Yönü (4)	Otomobil	261	288	133	0	38%	42%	20%	0%
	Minibüs	20	9	5	0	59%	26%	15%	0%
	Kamyonet	14	10	5	1	47%	33%	17%	3%
	Otobüs	67	4	4	0	89%	5%	5%	0%
	Tır/Treyler	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%
	Motosiklet	38	92	32	0	23%	57%	20%	0%
	Bisiklet	0	1	1	0	0%	50%	50%	0%
	Scooter	0	2	0	0	0%	100%	0%	0%
	Toplam	400	406	180	1				

4.3.4. Modelde kullanılan ARENA modülleri

Bu çalışmada, ARENA benzetim yazılımında iki kavşaktan oluşan bir trafik modeli oluşturulmuştur. Model, kavşaklardaki trafik akışını gerçeğe en yakın şekilde yansıtmak amacıyla araç geliş süreleri, araç tipleri, dönüş oranları ve sinyalizasyon faz süreleri dikkate alınarak, sabah (07:00–09:00) ve akşam (17:00–19:00) zirve saatlerine ait veriler kullanılarak oluşturulmuştur.

Bu amaçla ARENA içerisindeki kullanılan modüller ve kullanım amaçları aşağıda özetlenmiştir:

Create (Araç Oluşturma): Kavşaklardaki yaklaşım kolları için ayrı Create modülleri tanımlanmıştır. Önceki bölümde hesaplaması açıklanan varışlar arası zaman aralıkları, Create modüllerine bilgi olarak girilmiştir.

Assign (Araç Tipinin Belirlenmesi): Saha verilerine göre araç tipleri (otomobil, minibüs, kamyonet, iki tekerlekli araçlar, ağır araçlar) yüzde değerleriyle atanmıştır.

Decide (Yön ve Dönüş Kararları): Araç türüne ve geliş yönüne göre sağa dönüş, sola dönüş veya düz geçiş olasılıkları yani Tablo 4.10–4.13'te elde edilen dönüş oranları bu modüller kullanılarak tanımlanmıştır. Yetersiz veri bulunan yönler için dönüş oranları eşit olarak dağıtılmıştır. Ortak yola giriş kararı ve ikinci kavşak ışık kontrolüne yönlendirilip yönlendirilmemesi de bu modüller üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Variables + Hold (Işık Durumu Kontrolü): Işık durumunu taşıyan light adlı değişken üzerinden Hold bloklarında test edilmiştir. Kodda her yaklaşım için karşılık gelen bir kontrol değeri kullanılmıştır (örneğin, southwest için == 1, north için == 6). Koşul sağlandığında araç kuyruktan çıkar ve bir sonraki Process aşamasına ilerler.

Route (Manevra ve Geçiş Süreleri): Araçların kavşak içi manevra ve geçiş sürelerini temsil eden modüller oluşturulmuştur.

Process (Işık Döngüsü): Kavşak sinyalizasyonunun modelde gerçekçi biçimde temsil edilebilmesi için her bir yön ve faz kombinasyonu için ayrı Process modülleri oluşturulmuştur. Bu modüller, *Seize–Delay–Release* mantığı ile tanımlanmış ve her biri ilgili trafik ışığını temsil eden Resource ile ilişkilendirilmiştir

Resource (Kaynak Tanımı): Işıkların yönetimi için gerekli olan kaynaklar Data Definition sekmesinde tanımlanmış ve Process modüllerinde bu kaynaklar kullanılarak araçların sinyal kontrolü gerçekleştirilmiştir.

Variables (Işık Sürelerinin Tanımı): Sinyal fazlarına ait süre parametreleri Attributes bölümünde tanımlanmıştır.

Dispose (Sistemden Ayrılma): Manevrasını tamamlayan araçların modelden çıkışı Dispose modülleri ile sağlanmıştır.

4.3.5. Tekrar (Replication) sayısının belirlenmesi

Bu çalışmada temel performans ölçütü olarak *sistemden çıkan araç sayısı* kullanılmıştır. Sabah (07:00–09:00) ve akşam (17:00–19:00) zaman dilimleri farklı parametre setlerine sahip olduğundan, her biri için tekrar gereksinimi ayrı araştırılmıştır. Sabah ve akşam modelleri aynı koşullar altında 5 bağımsız tekrar ile çalıştırılmıştır. Yapılması gereken tekrar sayısı, trafik benzetim modelleri için alanyazında yaygın olarak kullanılan tekrar sayısı hesaplama formülasyonu ile belirlenmiştir [6], [70],[71], [72].

$$N_m = \left(\frac{S_m * t_{m-1,1-\alpha/2}}{\bar{x}_m * \varepsilon} \right)^2 \quad (4.1)$$

4.1 numaralı eşitlikte;

- m : Başlangıç tekrar sayısı (5)
- $t_{m-1,1-\alpha/2}$: t-tablosu değeri ($m=5$, %95 güven düzeyi için 2,776)
- ε : Göreli hata (%5)
- $\bar{x}_m$: Ortalama
- S_m : Standart sapma

Sabah ve Akşam zirve saatleri için hazırlanan modellerin sonuçları Tablo 4.14. 'da verilmiş olup yapılan hesaplamalar Eşitlik 4.2. ve Eşitlik 4.3. 'te gösterilmiştir. Gerekli tekrar sayısı iki model içinde 1 değerinin altında çıkmıştır. Ancak alanyazındaki uygulamalara paralel olarak güvenilirliği artırmak için ve karşılaştırılabilirlik açısından 5 tekrar yapılmıştır.

Tablo 3.14. Mevcut Durum Modeli Replikasyon Sonuçları

MODEL	REPLİKASYON SONUÇLARI	$(\bar{x}_m)$	(S_m)	(N_m)
SABAH	[6783, 6973, 6917, 6822, 6885]	6876.0	75.39	0.37
AKŞAM	[8136, 8111, 8146, 8106, 8241]	8148.0	54.61	0.14

Sabah modeli için;

$$N_m = \left(\frac{75,39 * 2,776}{6908 * 0,05} \right)^2 \approx 0,37 \quad (4.2)$$

Akşam modeli için;

$$N_m = \left(\frac{54,61 * 2,776}{8148 * 0,05} \right)^2 \approx 0,14 \quad (4.3)$$

4.3.6. Model sonuçlarının değerlendirilmesi

Benzetim çalışmalarında modelin güvenilir sonuçlar üretip üretmediğinin test edilmesi kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda *doğrulama* (verification), modelin kavramsal çerçeveden bilgisayar ortamına aktarımında hata bulunup bulunmadığını inceleyerek, modelin doğru şekilde kurulmasını sağlar. *Geçerleme* (validation) ise, doğrulanan modelin gerçek sistemi temsil etme derecesini ölçer ve üretilen sonuçların gerçek hayattaki sistem davranışlarıyla ne ölçüde örtüştüğünü ortaya koyar. Ancak benzetim deneyleri örnekleme hatalarına açık olduğundan, istatistiksel yöntemler kullanılarak gerekli tekrar (replication) sayısının belirlenmesi, güven aralıklarının hesaplanması ve hata toleransının (ϵ) kabul edilebilir seviyede tutulması gerekir [73].

Bu amaçla, giren araç sayıları (entity input) esas alınarak, benzetim modeli çıktıları ile sahadan alınan gerçek hayat verileri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada alanyazında yer alan önceki çalışmalarda kullanılan geçerleme düzeyi esas alınmış olup, model çıktılarının gerçek verilerin %10'u içerisinde yer alması geçerleme açısından yeterli kabul edilmiştir [74][75].

Kullanılan ölçüt ve formül Eşitlik 4.4.'de verilmiştir [74], [75].

$$Yüzde\ Fark = \frac{Gerçek\ Veri - Simülasyon\ Çıktısı}{Gerçek\ Veri} \times 100$$

(4.4)

Çalışmada, sabah ve akşam zirve saatleri için aynı süre içinde ölçülen toplam giren araç sayıları, benzetim koşumunun başında Create modüllerinden sonra kaydedilen giriş sayaçları ile karşılaştırılmıştır. İncelenen çalışmada da benzer biçimde, her yaklaşım kolu için giren araçların gerçek/simülasyon değerleri tablo halinde karşılaştırılmış ve tüm kolların %10 eşiği içinde kaldığı gösterilmiştir; bu da giriş verisine dayalı doğrulamanın model güvenilirliğini artırdığını ortaya koymaktadır. Sabah ve akşam zirve saatleri için yapılan doğrulama sonuçları Tablo 4.15. ve Tablo 4.16.'da verilmiştir.

Tablo 4.15. Sabah Zirve Saatleri için Araç Giriş Sonuçları

		Yaklaşım Kolu	Gerçek (araç)	Simülasyon (araç)	Yüzde Fark (%)
Sabah (07:00–09:00)	KAVŞAK-1	56060. Cd. (1)	1300	1314	-1,08
		Üniversite Blv. Güneybatı Yönü (2)	1190	1188	0,17
		Üniversite Blv. Kuzeydoğu Yönü (4)	1678	1639	2,32
	KAVŞAK-2	Yavuz Sultan Selim Cd. Batı Yönü (2)	635	617	2,83
		82017 Cd. Güney Yönü (3)	1401	1315	6,13
		Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu Yönü (4)	742	731	1,48
	TOPLAM		6946	6895,2	(6946–6895,2) /6946×100=0,73

Tablo 4.16. Akşam Zirve Saatleri için Araç Giriş Sonuçları

		Yaklaşım Kolu	Gerçek (araç)	Simülasyon (araç)	Yüzde Fark (%)
Akşam (17:00–19:00)	KAVŞAK-1	56060. Cd. (1)	2370	2382,4	-0,52
		Üniversite Blv. Güneybatı Yönü (2)	1388	1370	1,30
		Üniversite Blv. Kuzeydoğu Yönü (4)	1824	1830,8	-0,37
	KAVŞAK-2	Yavuz Sultan Selim Cd. Batı Yönü (2)	649	631	2,77
		82017 Cd. Güney Yönü (3)	992	990,4	0,13
		Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu Yönü (4)	987	975,4	1,18
	TOPLAM		8210	8173,6	(8210–8173,6) /8210×100=0,44

4.4. OptQuest ile Eniyileme Süreci

Bu çalışmada, trafik akış performansını iyileştirmek amacıyla ARENA yazılımının eniyileme modülü olan OptQuest kullanılmıştır. OptQuest, modelde tanımlanan kontrol değişkenlerini belirli bir amaç fonksiyonuna göre eniyilemeyi amaçlayan, sezgisel tabanlı bir çözümleme aracıdır. Bu bağlamda, kavşaklardaki trafik ışığı sürelerinin en uygun şekilde belirlenerek sistem performansının artırılması hedeflenmiştir.

Trafik yoğunluğu günün saatlerine göre önemli farklılıklar gösterdiğinden, her senaryo için hem sabah (07:00–09:00) hem de akşam (17:00–19:00) zaman dilimlerine özgü iki ayrı ARENA benzetim modeli oluşturulmuştur. Bu modellerde, taşıt geliş oranları, dönüş oranları ve sinyal süreleri gözlem verilerine dayalı olarak zaman dilimine uygun biçimde

tanımlanmıştır. Buna bağlı olarak, her zaman dilimi için ayrı bir OptQuest eniyileme süreci yürütülmüştür.

Eniyileme sürecinde, performans ölçütü olarak yani amaç fonksiyonu olarak sistemden çıkan araç sayısının (Entity Output) en büyüklenmesi seçilmiştir. Bu seçim, öncelikle alanyazındaki benzetim tabanlı trafik çalışmalarıyla uyumludur. Alanyazın taramasında, kavşak performansının en temel ölçütü olarak birim zamanda kavşaktan geçen araç sayısının öne çıktığı görülmektedir. ARENA, VISSIM ve SUMO gibi simülasyon yazılımlarını kullanan birçok çalışmada da sinyal sürelerinin eniyilenmesi sonucunda en çok vurgulanan çıktının araç çıkış hacmindeki artış olduğu belirtilmiştir. Nitekim Özkan vd. [6] tarafından yürütülen çalışmada da, sistemden çıkan toplam araç sayısı temel alınarak yapılmış ve bu çıktının artırılması en önemli iyileştirme hedefi olarak belirlenmiştir. Bu nedenle araç çıkışı, çalışmada birincil performans göstergesi olarak seçilmiştir.

Bununla birlikte, yalnızca çıkış sayısının değerlendirilmesi kavşak performansını tam olarak yansıtmayabilir. Bu sebeple, kuyruk uzunluğu ve bekleme süresi gibi yan performans göstergeleri de incelenmiştir. Çünkü alanyazın taramasında da belirtildiği üzere, araç çıkışının artması sistemde bekleyen araç sayısını ve ortalama kuyruk uzunluklarını dolaylı biçimde azaltmaktadır. Dolayısıyla kuyruklar ve bekleme süreleri, seçilen amaç fonksiyonunun trafik akışı üzerindeki etkilerini destekleyici ölçütler olarak modele dâhil edilmiştir.

Sonuç olarak, bu tezde amaç fonksiyonu olarak araç çıkışının en büyüklenmesi, hem alanyazın taramasında kabul görmüş yaklaşımlarla tutarlıdır hem de kuyruk uzunluğu ve bekleme süresi gibi yan göstergeler üzerinden dolaylı etkileriyle birlikte kavşak performansını kapsamlı biçimde değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşım, kavşaklardan mümkün olan en yüksek taşıt hacminin geçirilmesini sağlayarak trafik akışında iyileşme sağlamayı, dolaylı olarak kavşaklardaki bekleme süreleri azaltmayı hedeflemektedir. Bu amaçla, her iki kavşakta da sinyal faz süreleri kontrol değişkeni olarak tanımlanmıştır.

Toplam sinyal döngüsü sabit tutulmuş, faz geçişlerindeki kayıp süreler (lost time) hesaplamanın dışında bırakılmış ve yalnızca etkin yeşil sürelerin toplamı dikkate alınmıştır. Böylece sadece kontrol edilebilir (yeşil faz) süreler üzerinden eniyileme çalışması yürütülmüştür. Kayıp süreler, yeşil ışık süresi kapsamında değerlendirilmediği ve trafik güvenliği açısından sabit bırakılması gereken, operatör müdahalesiyle değiştirilemeyen süreler olduğundan dolayı eniyilemeye dahil edilmemiştir.

Tablo 4.5 ve Tablo 4.6 da belirtilen faz sürelerinden incelediğimiz saate uygun olan sinyaller alınarak, kayıp süreler çıkartılmıştır. OptQuest'te kullanılan toplam döngü süresi kısıtları aşağıdaki gibidir:

- Çevik Kuvvet-1 Kavşağı – Sabah: $80-15=65$ s
- Çevik Kuvvet-2 Kavşağı – Sabah: $75-16=59$ s
- Çevik Kuvvet-1 Kavşağı – Akşam: $90-15=75$ s
- Çevik Kuvvet-2 Kavşağı – Akşam: $80-16=64$ s

5. BULGULAR VE ANALİZ

Çalışma kapsamında üç farklı senaryo üzerinde çalışılmış olup sabah ve akşam zirve saatleri için ayrı ayrı uygulanmıştır. Böylece, zirve saatlerde ortaya çıkan yoğunluk koşullarının kavşak performansı üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak incelenebilmiştir. Ayrıca, senaryoların ayrı ayrı değerlendirilmesi, farklı zaman dilimlerinde uygulanabilecek eniyileme stratejilerinin etkinliğini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Her senaryo, trafik yoğunluğu, sinyal süreleri ve taşıt yönlendirmeleri bakımından farklı varsayımlar içerecek şekilde tasarlanmıştır.

- **Senaryo 1 – Mevcut Durum Eniyilemesi :** Kavşak yapıları ve sinyal fazları mevcut sistemdeki haliyle korunarak incelenmiş, sonrasında OptQuest ile elde edilen optimal ışık süreleriyle karşılaştırılmıştır. Bu çözümlerden yola çıkılarak 5 yeşil ışık faz kombinasyonu manuel denenmiştir.
- **Senaryo 2 – Bağımsız Faz Uygulaması:** Gerçek sistemde aynı anda çalışan iki faz birbirinden ayrılmış; ancak toplam döngü süresi korunmuştur. Bu yapı, faz geçişlerinde daha esnek bir sinyal kontrolünün etkilerini analiz etmeye olanak tanımıştır.
- **Senaryo 3 – Alt Geçit Önerisi:** Kavşaklar arası etkileşimi azaltmak amacıyla belirli bir taşıt yönüne alt geçit önerisi sunulmuş, bu yön benzetim modeli içinde yeniden yapılandırılmıştır.

Tanımlar ve Notasyon: Aşağıda analiz boyunca kullanılan yol yönleri ve bu yönlere ait kısaltmalar verilmiştir. Bu notasyonlar, tablo ve grafiklerde sadeleştirme amacıyla kullanılmıştır:

K = 82017 Cd. Kuzey, G = 82017 Cd. Güney, KD = Üniversite Blv. Kuzeydoğu

GB = Üniversite Blv. Güneybatı, D = Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu

B = Yavuz Sultan Selim Cd. Batı, Cd3 = 82017 Cd. (3), Cd1 = 56060 Cd. (1)

5.1. Senaryo 1- Mevcut Durum Eniyilemesi

Bu bölümde, incelenen kavşak sisteminin mevcut sinyal süreleriyle elde ettiği performans, OptQuest eniyilemesi sonrasında ortaya çıkan iyileştirme potansiyeli ile karşılaştırılmıştır. Çalışmalarda, sinyal faz süreleri karar değişkeni olarak ele alınmış; minimum–maksimum yeşil süre sınırları ve toplam çevrim süresi kısıtları dikkate alınmıştır. Benzetim modelleri her zirve saat dönemi için 2 saatlik süre için çalıştırılmış ve 5 tekrar sonucunda ortalama değerler elde edilmiştir. OptQuest çalışmaları ise 500 iterasyon üzerinden gerçekleştirilmiş, saha uygulamasına uyarlama amacıyla ondalıklı çıkan yeşil süreler toplam süre kısıtını sağlayacak şekilde yuvarlanarak senaryolar oluşturulmuştur. Performans ölçütleri olarak sisteme giren–çıkan araç sayıları ile kavşak kollarındaki ortalama bekleme süreleri ve kuyrukta bekleyen ortalama taşıt sayısı esas alınmıştır.

5.1.1 Mevcut durum sonuçları

Sabah zirve saat diliminde (07:00–09:00) elde edilen mevcut model çıktıları Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de özetlenmiştir. Tablo 5.1, sisteme giren ve çıkan toplam araç sayısını; Tablo 5.2 ise her bir yaklaşım kolundaki ortalama bekleme süreleri ile kuyrukta bekleyen ortalama taşıt sayısı göstermektedir. Sonuçlara göre, ortalama bekleme süreleri açısından en yüksek değerler Üniv. Blv. Kuzeydoğu (12,6 sn), Üniv. Blv. Güneybatı (12,6 sn), 82017 Cd. (3) (12,4 sn) ve 56060. Cd. (1) (12,5 sn) kollarında kaydedilmiştir.

Kuyrukta bekleyen ortalama taşıt sayısı bakımından ise 82017 Cd. (3) (3,50 araç) ve Üniv. Blv. Kuzeydoğu (2,90 araç) öne çıkmaktadır. Bu kolların tamamı Çevik Kuvvet-1 Kavşağı’na ait olup, Çevik Kuvvet-1’in Çevik Kuvvet-2’ye kıyasla daha yoğun trafik yükü taşıdığı anlaşılmaktadır. En düşük bekleme süresi ve kuyruk uzunluğu Y.S. Selim Cd. Doğu kolunda (0,04 sn – 0,004 araç) gözlenmiştir.

Tablo 5.1. Mevcut Durum Modeli (Sabah Dönemi) – Sistem Giriş/Çıkış

<i>Gösterge</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maksimum</i>	<i>Standart Sapma</i>
<i>Sisteme giren toplam araç</i>	6 895,2	6 804	6 985	72,45
<i>Sistemden çıkan toplam araç</i>	6 876,0	6 783	6 973	75,39

Tablo 5.17. Mevcut Durum Modeli (Sabah Dönemi) – Bekleme Kuyrukları

<i>Yaklaşım Kolu</i>	<i>Ortalama Bekleme Süresi (s)</i>	<i>Kuyrukta bekleyen ortalama taşıt sayısı (araç)</i>	<i>Minimum Kuyrukta bekleyen ortalama taşıt sayısı (araç)</i>	<i>Maksimum Kuyrukta bekleyen ortalama taşıt sayısı (araç)</i>
82017 Cd. Kuzey	6,37	0,92	0	10
82017 Cd. Güney	8,96	1,73	0	18
Üniv. Blv. Kuzeydoğu	12,60	2,90	0	21
Üniv. Blv. Güneybatı	12,60	2,08	0	20
Y.S. Selim Cd. Doğu	0,04	0,004	0	3
Y.S. Selim Cd. Batı	6,34	0,58	0	6
82017 Cd. (3)	12,40	3,50	0	21
56060. Cd. (1)	12,50	2,21	0	15

Akşam zirve saat diliminde (17:00–19:00) elde edilen mevcut durum sonuçları ise Tablo 5.3. ve Tablo 5.4.’de sunulmuştur. Bu sonuçlara göre, sabah döneminde olduğu gibi en yüksek ortalama bekleme süreleri Üniv. Blv. Kuzeydoğu (19,4 sn), Üniv. Blv. Güneybatı (19,1 sn), 82017 Cd. (3) (10,5 sn) ve 56060. Cd. (1) (9,9 sn) kollarında kaydedilmiştir. Kuyrukta bekleyen ortalama taşıt sayısı açısından da Üniv. Blv. Kuzeydoğu (4,93 araç), 56060. Cd. (1) (3,26 araç) ve Üniv. Blv. Güneybatı (3,63 araç) kritik noktalar olarak öne çıkmaktadır. Özellikle kuzeydoğu kolunun akşam saatlerinde sabaha göre daha yoğun bir trafik yükü taşıdığı belirlenmiştir. En düşük ortalama bekleme süresi ve Kuyrukta bekleyen ortalama taşıt sayısı ise yine Y.S. Selim Cd. Doğu kolunda gözlenmiş (0,04 sn – 0,01 araç) ve bu yön, her iki dönemde de sistemin en az yoğunluk taşıyan yaklaşımı olmuştur.

Tablo 5.18. Mevcut Durum Modeli (Akşam Dönemi) – Sistem Giriş/Çıkış

<i>Gösterge</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maksimum</i>	<i>Standart Sapma</i>
<i>Sisteme giren toplam araç</i>	8173,6	8127,0	8268,0	53,64
<i>Sistemden çıkan toplam araç</i>	8148,0	8106,0	8241,0	53,01

Tablo 5.19. Mevcut Durum Modeli (Akşam Dönemi) – Bekleme Kuyrukları

<i>Yaklaşım Kolu</i>	<i>Ortalama Bekleme Süresi (s)</i>	<i>Kuyrukta bekleyen ortalama taşıt sayısı (araç)</i>	<i>Minimum Kuyrukta bekleyen ortalama taşıt sayısı (araç)</i>	<i>Maksimum Kuyrukta bekleyen ortalama taşıt sayısı (araç)</i>
<i>82017 Cd. Kuzey</i>	7,99	2,57	0	19
<i>82017 Cd. Güney</i>	11,66	1,61	0	12
<i>Üniv. Blv. Kuzeydoğu</i>	19,4	4,93	0	27
<i>Üniv. Blv. Güneybatı</i>	19,12	3,63	0	22
<i>Y.S. Selim Cd. Doğu</i>	0,04	0,01	0	3
<i>Y.S. Selim Cd. Batı</i>	7,81	0,68	0	8
<i>82017 Cd. (3)</i>	10,51	2,05	0	15
<i>56060. Cd. (1)</i>	9,9	3,26	0	21

5.1.2. OptQuest ve senaryo analizi

Sabah zirve saatleri için gerçekleştirilen OptQuest çalışmaları sonucunda elde edilen en iyi 10 çözüm Tablo 5.5'te sunulmuştur.

Tablo 5.20. Sabah Zirve Saatler için OptQuest Sonuçları

Benzetim Numarası	Sistemden Çıkan Araç Sayısı	Sinyal Süresi 1-2	Sinyal Süresi 3	Sinyal Süresi 4	Sinyal Süresi 1_K2	Sinyal Süresi 2_K2	Sinyal Süresi 3_K2	Sinyal Süresi 4_K2
281	6992,6	24,5	22,8	17,7	13,5	11,7	17,6	16,2
243	6992,4	27,5	20,7	16,8	14,1	10,8	17,3	16,8
292	6991,8	27,5	20,7	16,8	14,1	10,8	17,3	16,8
192	6991	26,5	21,3	17,2	14,0	11,5	17,2	16,4
421	6990,6	25,1	22,8	17,1	13,5	13,1	16,3	16,2
184	6990	22,5	25,3	17,2	14,0	10,8	19,8	14,4
314	6986,6	27,5	20,7	16,8	12,0	13,2	16,2	17,6
20	6983,2	25,2	21,3	18,5	12,6	11,5	18,6	16,4
248	6980,2	24,4	25,3	15,3	14,2	10,8	17,1	16,9
427	6979,2	24,7	23,4	16,8	12,0	12,7	18,8	15,5

Ondalıkli süreler saha koşullarına uygun hale getirilerek beş tane yeşil ışık faz kombinasyonu oluşturulmuş (Tablo 5.6) ve ARENA modelinde test edilmiştir. Elde edilen performans çıktıları Tablo 5.7'te özetlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, en yüksek araç çıkışı (6 959 araç) Kombinasyon 5'te elde edilmiştir. Ancak bu kombinasyonda Üniv. Blv. Kuzeydoğu (17,46 sn) ve Üniv. Blv. Güneybatı (17,21 sn) kollarındaki ortalama kuyruk süreleri belirgin şekilde yükselmiştir. Bekleme süresi ve kuyrukta bekleyen ortalama taşıt sayısı bakımından en dengeli sonuçların Kombinasyon 1 ve 4'te olduğu görülmüştür.

Tablo 5.6. Sabah Zirve Saatler için Seçilen Yeşil Işık Faz Kombinasyonları

S	Yeşil Işık Faz Kombinasyonları						
	Sinyal Süresi 1-2	Sinyal Süresi 3	Sinyal Süresi 4	Sinyal Süresi 1_K2	Sinyal Süresi 2_K2	Sinyal Süresi 3_K2	Sinyal Süresi 4_K2
1	24	23	18	13	12	18	16
2	27	21	17	14	11	17	17
3	27	21	17	14	12	17	16
4	25	23	17	14	13	16	16
5	23	25	17	14	11	20	14

Tablo 5.21. Sabah Zirve Saatler için Uygulanan Faz Kombinasyonlarının Sonuçları

No	Ort. Çıkan Araç Sayısı	Min	Maks	K	G	KD	GB	D	B	Cd3	Cd1
1	6903,2	6833	6955	7,04	8,56	12,57	12,53	0,037	6,83	12,41	12,45
2	6944,4	6871	7022	7,09	8,63	13,59	13,79	0,034	6,88	13,79	13,43
3	6918,6	6818	7108	7,15	8,49	13,69	13,72	0,037	6,77	13,86	13,75
4	6876,4	6752	7043	6,92	8,09	12,67	12,46	0,037	6,84	12,74	12,62
5	6959,0	6917	7025	6,77	10,26	17,46	17,21	0,032	7,09	11,20	12,30

Akşam zirve saatleri için yapılan OptQuest çalışmalarında elde edilen en iyi 10 çözüm Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8. Akşam Zirve Saatler için OptQuest Sonuçları

Benzetim Numarası	Sistemden Çıkan Araç Sayısı	Sinyal Süresi 1-2	Sinyal Süresi 3	Sinyal Süresi 4	Sinyal Süresi 1_K2	Sinyal Süresi 2_K2	Sinyal Süresi 3_K2	Sinyal Süresi 4_K2
444	8289,2	21,0	18,3	35,7	14,8	11,1	24,0	14,1
417	8281	22,0	18,7	34,3	14,4	12,1	23,4	14,1
226	8273,4	22,0	18,7	34,3	14,4	12,1	23,2	14,3
9	8262,2	21,6	18,6	34,8	14,7	11,7	23,5	14,2
380	8251,4	22,0	17,5	35,5	14,4	9,9	24,9	14,8
67	8249,4	21,7	18,6	34,8	14,7	11,6	23,6	14,1
65	8248	21,6	18,6	34,8	14,7	11,7	23,4	14,2
126	8246	19,5	18,2	37,3	17,3	11,8	20,7	14,2
350	8245,4	21,4	17,3	36,3	14,9	10,4	24,4	14,3
156	8243,2	18,2	17,4	39,3	16,6	11,2	23,3	12,9

Ondalıklı süreler saha koşullarına uygun hale getirilerek Yeşil süreler saha uygulamasına uyarlanarak beş tane yeşil ışık faz kombinasyonu oluşturulmuş (Tablo 5.9) ve sonuçları Tablo 5.10’da sunulmuştur. Analizler sonucunda en yüksek araç çıkışı (8 172,8 araç) 1. Kombinasyonda elde edilmiştir. Ancak bu senaryoda Üniv. Blv. Kuzeydoğu (18,22 sn) ve Üniv. Blv. Güneybatı (18,14 sn) kollarında bekleme süreleri yüksektir. Daha dengeli sonuçlar 2. ve 4. kombinasyonda görülmüş. 3. ve 5. Kombinasyonlar ise benzer araç çıkış değerleri sunmasına karşın bazı kollarda bekleme sürelerini artırmıştır.

Tablo 5.9. Akşam Zirve Saatler için Seçilen Yeşil Işık Faz Kombinasyonları

S	Yeşil Işık Faz Kombinasyonları						
	Sinyal Süresi1-2	Sinyal Süresi 3	Sinyal Süresi 4	Sinyal Süresi 1_K2	Sinyal Süresi 2_K2	Sinyal Süresi 3_K2	Sinyal Süresi 4_K2
1	21	18	36	15	11	24	14
2	22	19	34	14	12	24	14
3	22	18	35	15	12	23	14
4	22	18	35	14	10	25	15
5	22	18	35	15	12	23	14

Tablo 5.10. Akşam Zirve Saatler için Uygulanan Faz Kombinasyonlarının Sonuçları

No	Ort. Çıkan Araç Sayısı	Min	Maks	K	G	KD	GB	D	B	Cd3	Cd1
1	8172,8	8108	8319	8,03	11,95	18,22	18,14	0,03	7,38	10,18	10,62
2	8144,2	8043	8197	7,06	12,1	17,06	16,96	0,04	6,99	11,12	10,8
3	8101,8	7900	8321	7,84	11,26	17,7	17,76	0,04	7,55	11,38	10,98
4	8146,2	8026	8245	7,34	12,33	17,6	17,57	0,03	6,91	11,02	10,96
5	8101,8	7900	8321	7,84	11,26	17,7	17,53	0,04	7,55	11,38	11,01

5.1.3 Dönemler arası karşılaştırma ve nihai öneri

Sabah ve akşam analizleri karşılaştırıldığında, Üniv. Blv. Kuzeydoğu ve Üniv. Blv. Güneybatı kollarının her iki zaman diliminde de sistemin en kritik darboğazları olduğu görülmektedir. Sabah saatlerinde Kombinasyon 5 en yüksek araç çıkışını sunarken, Kombinasyon 1 ve 4 daha dengeli sonuçlar ortaya koymuştur. Akşam saatlerinde ise Kombinasyon 1 en yüksek araç çıkışına ulaşmış, Kombinasyon 2 ve 4 ise daha dengeli performans sergilemiştir.

Sonuç olarak, araç çıkış sayısının en büyüklenmesini önceliklendiren bir yaklaşım için sabah saatlerinde Kombinasyon 5, akşam saatlerinde Kombinasyon 1 önerilmektedir. Bekleme süreleri açısından daha dengeli bir performans elde etmek amacıyla ise sabah için Kombinasyon 1 veya 4, akşam için Kombinasyon 2 veya 4 uygun seçeneklerdir. Böylece

saha uygulamalarında hem toplam trafik akışı artırılabilir hem de yön bazlı dengesizlikler azaltılabilir.

5.2. Senaryo 2- KD ve GB Kolları için Bağımsız Faz Uygulaması

Bu senaryoda, sabah ve akşam dönemlerinde bekleme süreleri açısından en sorunlu kollar olarak belirlenen Üniv. Blv. Kuzeydoğu ve Üniv. Blv. Güneybatı kollarına yönelik özel bir sinyalizasyon düzenlemesi uygulanmıştır. Mevcut durumda bu iki kol aynı fazda ve eşit sürelerde yeşil ışık almaktadır. Senaryo kapsamında fazlar birbirinden ayrılmış ve her kol için bağımsız yeşil süreler tanımlanmıştır. Böylece iki yön arasındaki karşılıklı bağımlılığın azaltılması, yoğunluk seviyelerine göre daha esnek ve dengeli bir süre yönetimi sağlanması hedeflenmiştir.

Sabah yoğun saat diliminde mevcut durumda her iki kol aynı anda 25 saniye yeşil ışık almaktadır. Senaryo kapsamında ise önce Üniv. Blv. Güneybatı kolu için 12 saniye, Üniv. Blv. Kuzeydoğu için 13 saniye yeşil süre verilmiştir.

Tablo 5.11. Mevcut Durum vs. Senaryo 2 (Sabah Zirve Saatleri)

<i>Gösterge</i>	<i>Mevcut Durum</i>	<i>Senaryo 2</i>	<i>Değişim</i>
<i>Ortalama Çıkan Araç Sayısı</i>	6876,0	6917,6	<i>%+0,61</i>
<i>Ortalama Bekleme Süreleri (s)</i>			
<i>Işık Konumu</i>	<i>Mevcut Durum (s)</i>	<i>Senaryo 2 (s)</i>	<i>Değişim</i>
<i>82017 Cd. Kuzey</i>	6,37	18,29	<i>187,10%</i>
<i>82017 Cd. Güney</i>	8,96	8,82	<i>-1,60%</i>
<i>Üniv. Blv. Kuzeydoğu</i>	12,6	5,87	<i>-53,50%</i>
<i>Üniv. Blv. Güneybatı</i>	12,6	11,63	<i>-7,70%</i>
<i>Y.S. Selim Cd. Doğu</i>	0,0385	0,047	<i>22,10%</i>
<i>Y.S. Selim Cd. Batı</i>	6,44	6,48	<i>0,60%</i>
<i>82017 Cd. (3)</i>	12,42	13,75	<i>10,70%</i>
<i>56060. Cd. (1)</i>	12,42	11,74	<i>-5,50%</i>

Tablo 5.11’de sabah yoğun saat dilimi için mevcut durum ile Senaryo 2 karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, Senaryo 2’de sistemden çıkan ortalama araç sayısı %0,61 artış göstererek 6876 araçtan 6917,6 araca yükselmiş ve toplamda +41,6 araçlık bir artış sağlanmıştır.

Bekleme süreleri incelendiğinde, Üniv. Blv. Kuzeydoğu kolunda bekleme süresi 12,6 saniyeden 5,87 saniyeye düşerek %53,5 oranında belirgin bir iyileşme sağlamıştır. Üniv. Blv. Güneybatı kolunda ise %7,7 oranında kısmi bir azalma elde edilmiştir. 82017 Cd. Kuzey kolunda %187,1 oranında bir artış gözlenmiş, ancak bu artış sistemin toplam araç çıkışı üzerindeki pozitif etkiyi baskılayacak düzeyde olmamıştır. Y.S. Selim Cd. Doğu, Y.S. Selim Cd. Batı ve 82017 Cd. kollarında küçük ölçekli yüzdesel değişimler meydana gelirken, 56060. Cd. (1) kolunda %5,5 oranında bir iyileşme sağlanmıştır.

Bu sonuçlar, Senaryo 2'nin özellikle Üniv. Blv. Kuzeydoğu kolunda kayda değer bir iyileşme (%53,5) sağladığını, Üniv. Blv. Güneybatı kolunda ise mevcut duruma göre %7,7'lik küçük ölçekli bir fayda oluşturduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, 82017 Cd. Kuzey kolunda yaşanan %187,1 oranındaki bekleme süresi artışı, eniyileme sürecinde yönler arası dengenin göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sunulan bağımsız faz düzenlemesi sonrasında, model OptQuest ile tekrar çalıştırılmıştır. OptQuest, 5 replikasyon ve 500 iterasyon üzerinden yürütülmüş ve elde edilen çözümler arasından 261. senaryo en iyi sonuç olarak belirlenmiştir. Bu çözümde, sistemden çıkan toplam araç sayısı 7048,6 araç olarak gerçekleşmiş ve bağımsız faz senaryosuna kıyasla daha yüksek bir performans elde edilmiştir. OptQuest tarafından önerilen bu çözümde tanımlanan süreler, trafik sinyal fazlarının yeşil ışık sürelerini ifade etmekte olup, her bir faz için eniyilenen değerler Tablo 5.12'de sunulmuştur.

Tablo 5.12. OptQuest En İyi Çözüm Senaryo 2– Yeşil Işık Süreleri (Sabah Zirve Saatler)

Simülasyon No	Ortalama Çıkan Araç Sayısı	Faz (Işık) Konumu	Faz (Işık) Süresi
261	7048,6	1. Kavşak Faz 1	12,17
		1. Kavşak Faz 2	14,22
		1. Kavşak Faz 3	21,66
		1. Kavşak Faz 4	16,95
		2. Kavşak Faz 1	13,15
		2. Kavşak Faz 2	11,84
		2. Kavşak Faz 3	19,00
		2. Kavşak Faz 4	15,01

Akşam zirve saat diliminde ise mevcut durumda her iki kol 20 saniye boyunca eşzamanlı yeşil ışık almaktadır. Senaryoda bu düzenleme değiştirilmiş; Üniv. Blv. Güneybatı koluna 10 saniye, Üniv. Blv. Kuzeydoğu koluna 10 saniye yeşil süre tanımlanmıştır.

Tablo 5.13. Mevcut Durum vs. Senaryo 2 (Akşam Zirve Saatler)

<i>Gösterge</i>	<i>Mevcut Durum</i>	<i>Senaryo 2</i>	<i>Değişim</i>
<i>Ortalama Çıkan Araç Sayısı</i>	8148	8163,8	%+0,19
<i>Ortalama Bekleme Süreleri</i>			
<i>Işık Konumu</i>	<i>Mevcut Durum (s)</i>	<i>Senaryo 2 (s)</i>	<i>Değişim</i>
<i>82017 Cd. Kuzey</i>	8	7,88	-1,50%
<i>82017 Cd. Güney</i>	11,66	11,63	-0,30%
<i>Üniv. Blv. Kuzeydoğu</i>	19,4	5	-74,20%
<i>Üniv. Blv. Güneybatı</i>	19,12	19,3	0,90%
<i>Y.S. Selim Cd. Doğu</i>	0,035	0,04	14,30%
<i>Y.S. Selim Cd. Batı</i>	7,81	7,88	0,90%
<i>82017 Cd. (3)</i>	10,51	10,8	2,80%
<i>56060. Cd. (1)</i>	9,91	8,53	-13,90%

Tablo 5.13'te görüldüğü üzere, Senaryo 2'in akşam dönemi sonuçları sistem performansında genel olarak sınırlı bir iyileşme sağlamıştır. Sistemden çıkan ortalama araç sayısı %0,19 artış göstererek mevcut durumda 8148 araçtan Senaryo 2'de 8163,8 araca yükselmiş ve toplamda +15,8 araçlık bir artış sağlanmıştır.

Bekleme süreleri açısından incelendiğinde, özellikle Üniv. Blv. Kuzeydoğu kolunda %74,2 oranında belirgin bir iyileşme kaydedilmiştir (19,4 sn → 5,0 sn). Buna karşılık, 82017 Cd. (3) kolunda %2,8'lik bir artış, Üniv. Blv. Güneybatı kolunda %0,9'luk küçük bir artış ve batı kolunda %0,9'luk sınırlı bir yükselme gözlenmiştir. 82017 Cd. Kuzey (%-1,5) ve 82017 Cd. Güney (%-0,3) kollarında ise çok düşük seviyelerde iyileşme sağlanmıştır. Y.S. Selim Cd. Doğu kolundaki %14,3'lük artış ise başlangıç değerinin çok düşük olması sebebiyle ihmal edilebilir düzeydedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Senaryo 2'in en dikkat çekici katkısı Üniv. Blv. Kuzeydoğu yönündeki yoğun bekleme süresini önemli ölçüde (%74,2) azaltmasıdır. Ancak diğer kollar üzerinde gözlenen değişimler oldukça sınırlı kalmıştır. bu nedenle, toplam araç

çıkışında sınırlı bir artış sağlanmış, senaryonun sistemin bütününe yayılmış belirgin bir performans iyileştirmesi getirmediği görülmüştür

Akşam yoğun saat diliminde uygulanan bağımsız faz düzenlemesi OptQuest eniyilemesi ile yeniden değerlendirildiğinde farklı bir sonuç ortaya çıkmıştır. OptQuest çalışması 5 replikasyon ve 500 iterasyon üzerinden yürütülmüş ve elde edilen çözümler arasından 306. senaryo en iyi sonuç olarak belirlenmiştir. Bu senaryoda, sistemden çıkan toplam araç sayısı 8276,6 araç olarak gerçekleşmiş ve hem mevcut duruma hem de bağımsız faz senaryosuna kıyasla daha yüksek bir performans elde edilmiştir. Böylece başlangıçta olumsuz görünen bağımsız faz uygulaması, OptQuest tarafından belirlenen optimum yeşil ışık süreleri ile birlikte akşam saatlerinde de sistem verimliliğini artıran bir çözüme dönüşmüştür. OptQuest tarafından önerilen bu çözümde verilen değerler trafik sinyal fazlarının yeşil ışık sürelerini ifade etmekte olup, her bir faz için eniyilenen sonuçlar Tablo 5.14’te sunulmuştur.

Tablo 5.14. OptQuest En İyi Çözüm Senaryo 2–Yeşil Işık Süreleri (Akşam Zirve Saatler)

Simülasyon No	Ortalama Number Out (araç)	Faz Konumu	Faz Süresi
306	8276,6	1. Kavşak Faz 1	9,15
		1. Kavşak Faz 2	9,74
		1. Kavşak Faz 3	17,43
		1. Kavşak Faz 4	38,68
		2. Kavşak Faz 1	16,64
		2. Kavşak Faz 2	11,56
		2. Kavşak Faz 3	21,17
		2. Kavşak Faz 4	14,63

5.3. Senaryo 3- Alt Geçit Uygulaması

Bu senaryoda, mevcut durumda yoğunluk açısından en sorunlu kollar olan Üniv. Blv. Kuzeydoğu ve Üniv. Blv. Güneybatı yönlerine yönelik bir altyapı düzenlemesi yapılmıştır. Söz konusu iki kol arasındaki trafik akışı, sinyalizasyon sistemin dışına çıkarılarak alt geçit üzerinden doğrudan bağlanmıştır. Böylece KD-GB hareketlerinin sinyal fazlarına getirdiği ek yük ortadan kaldırılmış, kavşak içindeki faz sürelerinin daha dengeli kullanılabilmesi hedeflenmiştir.

Alt geçit senaryosu, hem sabah (07:00–09:00) hem de akşam (17:00–19:00) yoğun saat dilimlerinde uygulanmış ve mevcut durum modeli ile karşılaştırılmıştır. Analizlerde, sisteme giren–ıkan toplam araç sayıları (NumberIn / NumberOut), her bir yaklaşım kolundaki ortalama kuyruk süreleri ve kuyruk uzunlukları esas alınmıştır.

Tablo 5.15. Mevcut Durum vs. Senaryo 3 (Sabah Zirve Saatler)

<i>Gsterge</i>	<i>Mevcut Durum</i>	<i>Senaryo 3</i>	<i>Değişim</i>
<i>Ortalama ıkan Ara Sayısı</i>	6876,0	6968,2	<i>%+1,34</i>
	<i>Ortalama Bekleme Sreleri</i>		
<i>Işık Konumu</i>	<i>Mevcut Durum (s)</i>	<i>Senaryo 3 (s)</i>	<i>Değişim</i>
<i>82017 Cd. Kuzey</i>	6,37	6,6	3,60%
<i>82017 Cd. Gney</i>	8,96	8,93	-0,30%
<i>niv. Blv. Kuzeydoğu</i>	12,6	0	-100,00%
<i>niv. Blv. Güneybatı</i>	12,6	0	-100,00%
<i>Y.S. Selim Cd. Doğu</i>	0,0385	0,032	-16,90%
<i>Y.S. Selim Cd. Batı</i>	6,44	6,36	-1,20%
<i>82017 Cd. (3)</i>	12,42	11,64	-6,30%
<i>56060. Cd. (1)</i>	12,42	11,28	-9,20%

Tablo 5.15’te sabah yoğun saat dilimi için mevcut durum ile alt geçit senaryosu karşılaştırılmaktadır. Sonuçlara göre, Senaryo 3’te sistemden çıkan ortalama araç sayısı %1,34 artış göstererek 6876 araçtan 6968,2 araca yükselmiş ve toplamda +92,2 araçlık bir artış sağlanmıştır.

Bekleme süreleri açısından en belirgin iyileşme, alt geçit uygulamasıyla sinyal fazı dışına çıkarılan Üniv. Blv. Kuzeydoğu ve Üniv. Blv. Güneybatı kollarında gerçekleşmiştir. Bu kollarda bekleme süreleri %100 oranında azalmış ve kavşak içi yük önemli lde azalmıştır.

Diğer kollar açısından bakıldığında, 82017 Cd. Kuzey kolunda %3,6 oranında kk bir artış gözlenmiş, Y.S. Selim Cd. Doğu (%-16,9), Y.S. Selim Cd. Batı (%-1,2), 82017 Cd. (3) (%-6,3) ve 56060. Cd. (1) (%-9,2) kollarında ise bekleme süreleri sınırlı düzeyde azalmıştır. Bu sonuçlar, alt geçit uygulamasının özellikle Üniv. Blv. Kuzeydoğu ve Üniv.

Blv. Güneybatı yönlerinde biriken yoğunluğu ortadan kaldırarak genel sistem performansına pozitif katkı sağladığını göstermektedir.

Alt geçit senaryosunun ardından model, OptQuest eniyilemesi ile tekrar çalıştırılmıştır. Çalışma 5 replikasyon ve 500 iterasyon üzerinden yürütülmüş ve elde edilen çözümler arasından 487. senaryo en iyi sonuç olarak belirlenmiştir. Bu senaryoda, sistemden çıkan ortalama araç sayısı 7032,8 araç olarak gerçekleşmiş ve yalnızca alt geçit uygulamasına kıyasla daha yüksek bir performans elde edilmiştir. OptQuest tarafından önerilen süreler trafik sinyal fazlarının yeşil ışık sürelerini göstermekte olup, her bir faz için eniyilenen değerler Tablo 5.16’da sunulmaktadır.

Tablo 5.16. OptQuest En İyi Çözüm Senaryo 3–Yeşil Işık Süreleri (Sabah Zirve Saatler)

Simülasyon No	Ortalama Number Out (araç)	Faz Konumu	Faz Süresi
487	7032,8	1. Kavşak Faz 1	23,61
		1. Kavşak Faz 2	16,39
		1. Kavşak Faz 3	12,82
		1. Kavşak Faz 4	12,19
		2. Kavşak Faz 1	16,92
		2. Kavşak Faz 2	17,06
		2. Kavşak Faz 3	23,61
		2. Kavşak Faz 4	16,39

Tablo 5.17. Mevcut Durum vs. Senaryo 3 (Akşam Zirve Saatler)

<i>Gösterge</i>	<i>Mevcut Durum</i>	<i>Senaryo 3</i>	<i>Değişim</i>
<i>Ortalama Number Out</i>	8148	8138,4	%-0,12
	<i>Ortalama Bekleme Süreleri</i>		
<i>Işık Konumu</i>	Mevcut Durum (s)	Senaryo 3 (s)	Değişim
<i>82017 Cd. Kuzey</i>	8	8	0,00%
<i>82017 Cd. Güney</i>	11,66	11,55	-0,90%
<i>Üniv. Blv. Kuzeydoğu</i>	19,4	0	-100,00%
<i>Üniv. Blv. Güneybatı</i>	19,12	0	-100,00%
<i>Y.S. Selim Cd. Doğu</i>	0,035	0,03	-14,30%
<i>Y.S. Selim Cd. Batı</i>	7,81	7,77	-0,50%
<i>82017 Cd. (3)</i>	10,51	19,31	83,80%
<i>56060. Cd. (1)</i>	9,91	8,46	-14,60%

Tablo 5.17’de akşam yoğun saat dilimi için mevcut durum ile alt geçit senaryosu karşılaştırılmaktadır. Sonuçlara göre, Senaryo 3’te sistemden çıkan ortalama araç sayısı %0,12 azalış göstererek 8148 araçtan 8138,4 araca gerilemiş ve toplamda -9,6 araçlık küçük bir azalma gerçekleşmiştir.

Bekleme süreleri açısından en dikkat çekici iyileşme, sinyal fazı dışına alınan Üniv. Blv. Kuzeydoğu ve Üniv. Blv. Güneybatı kollarında gerçekleşmiştir; her iki yönde de bekleme süreleri %100 oranında azalarak sıfıra inmiştir. Bununla birlikte, 82017 Cd. (3) kolunda önemli bir artış gözlenmiş (%83,8) ve bu yön sistemde yeni bir darboğaz oluşturmuştur. 82017 Cd. Kuzey (%0,0), 82017 Cd. Güney (%-0,9), Y.S. Selim Cd. Doğu (%-14,3), Y.S. Selim Cd. Batı (%-0,5) ve 56060. Cd. (1) (%-14,6) kollarında ise görece küçük ölçekli değişimler meydana gelmiştir.

Bu sonuçlar, alt geçit uygulamasının akşam saatlerinde Üniv. Blv. Kuzeydoğu ve Üniv. Blv. Güneybatı kollarındaki yoğunluğu tamamen ortadan kaldırdığını ancak 82017 Cd. (3) yönünde yeni bir tıkanıklık oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, akşam döneminde alt geçit düzenlemesinin sistemin toplam performansı açısından sabah dönemine göre daha sınırlı bir fayda sunduğu değerlendirilmektedir.

Alt geçit senaryosu akşam yoğun saat diliminde OptQuest eniyilemesi ile yeniden çalıştırılmıştır. Çalışma 5 replikasyon ve 500 iterasyon üzerinden yürütülmüş ve elde edilen çözümler arasından 208. senaryo en iyi sonuç olarak belirlenmiştir. Bu senaryoda sistemden çıkan ortalama araç sayısı 8294,6 araç olarak gerçekleşmiş ve hem mevcut durum modeline (8148 araç) hem de yalnızca alt geçit senaryosuna (8138,4 araç) kıyasla daha yüksek bir performans elde edilmiştir. OptQuest tarafından önerilen süreler trafik sinyal fazlarının yeşil ışık sürelerini göstermekte olup, eniyilenen değerler Tablo 5.18’de sunulmaktadır.

Tablo 5.18. OptQuest En İyi zm Senaryo 3–Yeşil Işık Süreleri (Akşam Zirve Saatler)

Simülasyon No	Ortalama Number Out (araç)	Faz Konumu	Faz Süresi
208	8294,6	1. Kavşak Faz 1	15,30
		1. Kavşak Faz 2	39,70
		1. Kavşak Faz 3	16,08
		1. Kavşak Faz 4	12,10
		2. Kavşak Faz 1	22,45
		2. Kavşak Faz 2	13,37
		2. Kavşak Faz 3	15,30
		2. Kavşak Faz 4	39,70

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Mevcut Durumun Değerlendirilmesi ve Eniyileme Sonuçları

Mevcut durum analizinde, sistemin en kritik darboğazlarının Üniv. Blv. Kuzeydoğu ve Üniv. Blv. Güneybatı kollarında olduğu görülmüştür. Bu kollar, özellikle akşam döneminde yüksek yoğunluk ve uzun bekleme süreleriyle öne çıkmıştır. Sabah saatlerinde ise yine Üniv. Blv. Kuzeydoğu kolu en büyük darboğaz olarak belirlenmiştir.

Mevcut durum öncelikle OptQuest ile iyileştirilmiş, ardından bu sonuçlara dayanılarak 5 adet manuel çözüm geliştirilmiştir.

Sabah Zirve Saatleri: Yapılan eniyileme çalışması sonucunda araç çıkışı +116,6 artış göstermiştir. Manuel çözümler içinde en iyi performans 5. Senaryo olup, araç çıkışı +83 artışla sistem verimliliğini belirgin şekilde artırmıştır. Fakat KD (17,46 sn) ve GB (17,21 sn) kollarında bekleme sürelerini ciddi şekilde artırmıştır. Bu nedenle sistemin toplam performansı artsa da kritik kollar üzerindeki kuyruk yükü daha da ağırlaşmıştır.

- Senaryo 1 ve 4, daha düşük araç çıkışı vermelerine rağmen, KD ve GB’de bekleme sürelerini 12–13 saniye seviyesinde tutarak daha dengeli bir çözüm sağlamıştır.

Akşam Zirve Saatleri: Yapılan eniyileme çalışması sonucunda araç çıkışını +141,2 artırmıştır. Manuel çözümler içinde ise en başarılı olan 1. Senaryo olmuş, araç çıkışı +24,2 yükselmiştir. Fakat KD (18,22 sn) ve GB (18,14 sn) kollarında bekleme sürelerini artırarak bu yönleri zorlamıştır.

- Senaryo 2 ve 4, toplam araç çıkışı bakımından daha düşük performans sunsa da KD ve GB’deki kuyruk sürelerini 17 saniye civarında tutarak daha dengeli çözümler üretmiştir. Özellikle Senaryo 4, Y.S. Selim Cd. Batı kolunda bekleme süresini 0,03 saniyeye indirerek dikkate değer bir iyileşme sağlamıştır.

Bu sonuçlar, OptQuest’in sistem performansını maksimum seviyeye taşıırken, manuel çözümlerin daha çok denge ve uygulanabilirlik açısından katkı sağladığını göstermektedir.

6.2. Senaryo 2- KD ve GB Kolları için Bağımsız Faz Uygulaması Sonuçları

KD ve GB kollarının bağımsız fazlara ayrılması sabah saatlerinde sistem performansını artırmış, özellikle KD kolunda belirgin iyileşmeler sağlamıştır. Ancak akşam saatlerinde bu düzenleme tek başına sistem verimliliğinde yalnızca sınırlı bir artış sağlamıştır. Buna rağmen OptQuest eniyilemesi ile elde edilen optimum süreler sayesinde, bağımsız faz uygulaması akşam döneminde de performans artışı sağlamıştır.

- Sabah Zirve Saatleri: Yapılan eniyileme çalışması sonucunda mevcut duruma göre sistemden çıkan araç sayısını +41,6 (%+0,61) artırmıştır. Bekleme süreleri incelendiğinde, özellikle Üniv. Blv. Kuzeydoğu (KD) kolunda -6,73 sn (%-53,5) ile belirgin bir iyileşme görülmüştür. Üniv. Blv. Güneybatı (GB) kolunda -0,97 sn (%-7,7) ile küçük bir azalma elde edilirken, 82017 Cd. Kuzey kolunda +11,92 sn (%+187,1) artış yaşanmıştır. Diğer kollarda ise yalnızca küçük ölçekli değişimler olmuştur. OptQuest eniyilemesi ile elde edilen sonuç ise +172 (%+2,50) araç olarak kaydedilmiştir.
- Akşam Zirve Saatleri: Yapılan eniyileme çalışması sonucunda mevcut duruma göre sistemden çıkan araç sayısını +15,8 (%+0,19) artırmıştır. Bekleme sürelerinde en büyük iyileşme Üniv. Blv. KD kolunda -14,4 sn (%-74,2) olmuştur. Ancak, OptQuest eniyilemesi ile aynı düzenleme araç çıkışında +128,6 (%+1,58) artış sağlamış ve manuel çözümün sınırlı etkilerini aşarak daha yüksek bir performans ortaya koymuştur.

6.3. Senaryo 3- Alt Geçit Uygulaması Sonuçları

KD-GB hareketlerinin alt geçit ile sinyal sisteminden ayrılması, sabah döneminde araç çıkışını artırmış ve bekleme sürelerini önemli ölçüde azaltmıştır.

- Sabah Zirve Saatleri: Yapılan eniyileme çalışması sonucunda mevcut duruma göre sistemden çıkan araç sayısını +92,2 (%+1,34) artırmış, Bekleme süreleri incelendiğinde, KD ve GB kollarındaki kuyruklar tamamen ortadan kalkmış, diğer kollarda ise yalnızca küçük çaplı değişimler (K'da +%3,6 artış, Cd.3'de %-6,3 ve Cd.1'de %-9,2 azalma) gözlenmiştir. Bu durum, alt geçidin kavşak üzerindeki en büyük yükü hafiflettiğini göstermektedir. OptQuest eniyilemesi ile elde edilen sonuç ise +156,8 (%+2,28) artış olarak kaydedilmiştir.
- Akşam Zirve Saatleri: Yapılan eniyileme çalışması sonucunda mevcut duruma göre sistemden çıkan araç sayısını -9,6 (%-0,12) azaltmıştır. Bekleme süreleri incelendiğinde, KD ve GB kollarındaki kuyruklar tamamen ortadan kalkmış, buna karşılık Cd.3 yönünde belirgin bir artış (+8,8 sn, +%83,8) oluşmuştur. Diğer kollarda ise yalnızca küçük çaplı değişimler (G %-0,9, D %-14,3, B %-0,5 ve Cd.1 %-14,6 ile sınırlı azalma) görülmüştür. Bu sonuç, alt

geçidin akşam yoğun saatlerinde belirli kollarda yükü hafifletse de yeni bir darboğaz yarattığını göstermektedir. OptQuest eniyilemesi ile elde edilen sonuç ise +146,6 (%+1,80) artış olarak kaydedilmiştir.

6.4. Öneriler

Bu çalışmada geliştirilen farklı senaryolar arasında, trafik sinyal sürelerinin değiştirilmesine dayalı olanlar (mevcut durum ve bağımsız faz senaryosu) uygulamaya en yakın ve maliyet açısından en uygun çözümler olarak öne çıkmaktadır. Mevcut sistemde yalnızca ışık sürelerinin yeniden düzenlenmesi yoluyla araç çıkış sayısında anlamlı bir artış sağlanabildiği ve bekleme sürelerinin azaltılabildiği görülmüştür. Bu yöntem, düşük maliyetli olması ve kısa vadede uygulanabilirliği nedeniyle öncelikli bir çözüm alternatifi olarak değerlendirilebilir.

Kuzeydoğu ve Güneybatı kolları için uygulanan bağımsız faz düzenlemesinde, sabah zirve saatlerinde önemli ölçüde performans artışı sağlanmıştır. Akşam saatlerinde tek başına sınırlı fayda sunmasına rağmen, bu senaryo da düşük maliyetle uygulanabilecek başka bir gerçekçi seçenek olarak değerlendirilebilir.

Alt geçit senaryosu ise farklı bir perspektiften ele alınmalıdır. KD-GB hareketlerinin alt geçit aracılığıyla sinyal sisteminden ayrılması, sabah saatlerinde araç çıkışını artırmış ve kritik kollardaki kuyrukları azaltmıştır. Ancak akşam döneminde Cd.3 kolunda yeni bir yoğunluğa yol açarak sistemin dengeli işleyişini sınırlamıştır. Ayrıca, bu uygulama yüksek altyapı maliyeti gerektirdiğinden kısa vadede uygulanabilir bir senaryo olarak değerlendirilmemelidir. Bu nedenle alt geçit yapımı, yalnızca uzun vadeli kentsel ulaşım stratejileri kapsamında ele alınması gereken bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada yalnızca iki saatlik gözlem verileri kullanılmış olup, senaryolar bu sınırlı veri setine dayalı olarak değerlendirilmiştir. Daha uzun süreli ve farklı günlere yayılmış veri toplama süreçleri, elde edilen sonuçların genellenebilirliğini ve doğruluğunu artıracaktır. Ayrıca, gelecekteki çalışmalarda emisyon, yakıt tüketimi ve çevresel etkiler gibi ölçütlerin de benzetim modeline entegre edilmesi, önerilen çözümlerin sürdürülebilirlik boyutunun değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

Sürücü davranışlarının (örneğin agresif sürüş, hatalı U dönüşleri veya kavşak içi ihlaller) modele dahil edilmesi, farklı kavşak türlerinin (örneğin dönel kavşak gibi) performanslarının karşılaştırılması, kent geneline yönelik daha stratejik yol haritalarının geliştirilmesine katkı sunacaktır. Ayrıca yapay zekâ ve makine öğrenmesi tabanlı

yöntemlerin kullanılması, gerçek zamanlı trafik yönetimi açısından önemli katkılar sağlayabilir.

Gelecekte, kent içi trafik akışı yalnızca tekil kavşak düzeyinde değil, tüm şehir ölçeğinde Dijital İkiz Şehir Sistemleri yaklaşımı ile modellenebilir. Bu yöntem, sensörler ve gerçek zamanlı verilerle entegre edilerek şehir genelinde dinamik trafik yönetimi ve karar destek mekanizmalarının oluşturulmasına olanak tanıyacaktır. Böylece daha adaptif, veriye dayalı ve proaktif trafik yönetim sistemleri geliştirilebilir.

Engelli bireylere yönelik trafik çözümleri kapsamında ise, kavşak sinyalizasyon sistemlerine engelli butonları ve erişilebilirlik unsurlarının entegre edilmesiyle yaya geçişlerinin optimizasyonu sağlanabilir. Bu tür uygulamalar yalnızca trafik verimliliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda toplumsal kapsayıcılığa da katkı sağlayacaktır.

Bu tezde araç odaklı bir yaklaşım benimsenmiş olmakla birlikte, ilerleyen çalışmalarda yaya yoğunluğu ve yaya geçiş senaryolarının da modele entegre edilmesi önerilmektedir. Özellikle kent merkezlerinde araç ve yaya etkileşimlerinin birlikte modellenmesi, kavşak performansını daha gerçekçi biçimde yansıtacaktır.

Mevcut çalışmada sabah ve akşam zirve saatleri için ayrı senaryolar geliştirilmiştir. Ancak gelecekte günün farklı dönemlerindeki değişken trafik koşullarını tek bir model ve tek bir karar mekanizması altında ele alan bütünlük bir yaklaşımın geliştirilmesi, daha sürdürülebilir ve dinamik çözümler sunulmasına olanak sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- [1] İnternet: “Gaziantep Nüfusu 2024.” Nufusu.com. <http://www.nufusu.com/il/gaziantep-nufusu> (Erişim: Temmuz 20, 2025).
- [2] İnternet: “TÜİK açıkladı: Gaziantep’te araç sayısı artıyor, her 3 kişiye 1 araç.” Referans Gazetesi. <http://www.referansgazetesi.com.tr/tuik-acikladi-gaziantep-te-arac-sayisi-artiyor-her-3-kisiye-1-arac> (Erişim: Temmuz 20, 2025).
- [3] İnternet: “UNESCO Creative Cities Network – Gaziantep City of Gastronomy.” UNESCO. <http://www.unesco.org/en/creative-cities/gaziantep> (Erişim: Temmuz 20, 2025).
- [4] İnternet: “2024 yılı ihracat rakamları.” Güneydoğu Anadolu İhracatçı Birlikleri (GAİB). <http://www.gaib.org.tr/tr/haberler/2024-yili-ihracat-rakamlari-607.html> (Erişim: Temmuz 20, 2025).
- [5] M. Kamrani, S. M. Hashemi Esmaeil Abadi, ve S. Rahimpour Golroudbary, “Traffic simulation of two adjacent unsignalized T-junctions during rush hours using Arena software”, *Simul. Model Pract. Theory*, c. 49, ss. 167-179, 2014, doi: 10.1016/j.simpat.2014.09.006.
- [6] S. Özkan, M. Paldrak, ve E. Öner, “Traffic Simulation of a Signalized Intersection During Rush Hours: A Case Study”, *Endüstri Mühendisliği*, c. 35, sy 2, ss. 136-166, Eyl. 2024, doi: 10.46465/endustrimuhendisligi.1398935.
- [7] R. Sancar Edis ve P. Mızrak Özfiat, “Optimization of signal controlled urban traffic flow using simulation modeling and an experimental design”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 24, sy 1, ss. 101-107, 2018, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue//400825>
- [8] A. Bilgin ve C. Pense, “Analysis of Signalized Roundabouts with Intelligent Transportation Systems - The Case of Gaziantep Junction 40 (Shell)”, *Akıllı Ulaşım*

- Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, c. 7, sy 2, ss. 166-192, Eki. 2024, doi: 10.51513/jitsa.1481148.
- [9] T. Nagatani, “The physics of traffic jams”, *Reports on Progress in Physics*, c. 65, sy 9, s. 1331, 2002, doi: 10.1088/0034-4885/65/9/203.
- [10] J. Wang, X. Guo, ve X. Yang, “Efficient and Safe Strategies for Intersection Management: A Review”, *Sensors*, c. 21, sy 9, 2021, doi: 10.3390/s21093096.
- [11] W. Qu *vd.*, “Short-term intersection traffic flow forecasting”, *Sustainability (Switzerland)*, c. 12, sy 19, Eki. 2020, doi: 10.3390/su12198158.
- [12] V. M. Starozhilets ve Y. V. Chekhovich, “An Approach to Statistical Simulation of Traffic Flows”, *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, c. 61, sy 7, ss. 1207-1218, Tem. 2021, doi: 10.1134/S0965542521070150.
- [13] A. P. Akgüngör, “Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Tahmininin Matematiksel Modellenmesi I: Farklı Çözümleme Süreleri İçin Zamana Bağlı Yeni Bir Gecikme Modeli”, *TEKNOLOJİ*, c. 7, sy 3, ss. 369-379, 2004.
- [14] T. İnağ, “Sinyalize Kavşaklarda Trafik Işık Sürelerinin Belirlenmesi İçin Uyarlamalı Etkin Dinamik Bir Işık Kontrol Yöntem (Algoritma) Önerileri”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, 2024.
- [15] A. R. Kotwal, S. J. Lee, ve Y. J. Kim, “Traffic Signal Systems: A Review of Current Technology in the United States”, *Science and Technology*, c. 3, sy 1, ss. 33-41, 2013, doi: 10.5923/j.scit.20130301.04.
- [16] D. Bullock ve T. Urbanik, “Traffic Signal Systems Addressing Diverse Technologies and Complex User Needs”, Oca. 1999.
- [17] R. Roy, S. K. Ghosh, N. Zoha, ve M. Arif-UL-islam, “ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF TRAFFIC CONGESTION AT SINGLE INTERSECTION USING MATLAB AND ARENA SIMULATION”, *Journal of Engineering and*

- Technology for Industrial Applications*, c. 6, sy 23, ss. 34-40, Haz. 2020, doi: 10.5935/2447-0228.20200020.
- [18] İ. F. Ceyhan ve E. B. Ceyhan, “TRAFİK SİNYALİZASYON SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU: BARTIN İLİ ÖRNEĞİ”, *Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 3, sy 1, ss. 1-17, 2021.
- [19] T. İnağ ve M. Arıkan, “Kavşaklarda Trafik Işık Optimizasyonu: Ankara İli’nde Bir Uygulama”, *Politeknik Dergisi*, c. 28, sy 1, ss. 45-58, 2025, doi: 10.2339/politeknik.1369924.
- [20] C.-L. Yang ve W. Wen, “Solving the Traffic Problem by Using A Simulation Model”, içinde *CONF-IRM 2008 Proceedings*, 2008. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://aisel.aisnet.org/confirm2008/46>
- [21] A. Antit, A. Jaoua, S. B. Layeb, ve C. Triki, “A Simulation-based Optimization Model for the Vehicle Routing Problem with Bimodal Stochastic Travel Time Distribution”, içinde *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier B.V., 2022, ss. 133-138. doi: 10.1016/j.ifacol.2022.09.380.
- [22] Y. Zhao ve P. Ioannou, “A Traffic Light Signal Control System with Truck Priority”, içinde *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier B.V., 2016, ss. 377-382. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.063.
- [23] A. Albagul, M. Hrairi, ve W. Hidayathullah, “Design and Development of Sensor Based Traffic Light System”, *Am J Appl Sci*, c. 3, Mar. 2006, doi: 10.3844/ajassp.2006.1745.1749.
- [24] S. Sayyed, P. Date, R. Gautam, ve G. Bhandari, “Design of Dynamic Traffic Signal Control System”, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, c. 3, sy 1, s. —, Oca. 2014, doi: 10.17577/IJERTV3IS10366.
- [25] H. J. Payne, “FREFLO: A macroscopic simulation model of freeway traffic”, *Transp Res Rec*, sy 722, 1979, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://trid.trb.org/view/148132>

- [26] N. N. Nor Azlan ve M. Md Rohani, “Overview of Application of Traffic Simulation Model”, içinde *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, Şub. 2018. doi: 10.1051/matecconf/201815003006.
- [27] S. Dorokhin, A. Artemov, D. Likhachev, A. Novikov, ve E. Starkov, “Traffic simulation: an analytical review”, *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, c. 918, sy 1, s. 12058, Eyl. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/918/1/012058.
- [28] J. I. Latorre-Biel, J. Faulin, E. Jiménez, ve A. A. Juan, “Simulation model of traffic in smart cities for decision-making support: Case study in tudela (Navarre, Spain)”, içinde *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Springer Verlag, 2017, ss. 144-153. doi: 10.1007/978-3-319-59513-9_15.
- [29] K. Nagel, M. Rickert, ve C. L. Barrett, “Large scale traffic simulations”, içinde *Vector and Parallel Processing — VECPAR’96*, J. M. L. M. Palma ve J. Dongarra, Ed., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1997, ss. 380-402.
- [30] J. Archer ve I. Kosonen, “The Potential of Micro-Simulation Modeling in Relation to Traffic Safety Assessment”, *Proc., ESS Conference*, c. 45, Oca. 2000.
- [31] H. LAZAR, “Comparison of Microscopic Car following Models”, içinde *2019 International Conference on Systems of Collaboration Big Data, Internet of Things & Security (SysCoBIoTS)*, 2019, ss. 1-6. doi: 10.1109/SysCoBIoTS48768.2019.9028040.
- [32] P. Jaworski, T. Edwards, K. Burnham, ve O. Haas, “Microscopic traffic simulation tool for Intelligent Transportation Systems”, içinde *2012 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2012, ss. 552-557. doi: 10.1109/ITSC.2012.6338659.
- [33] S. Fakharian, “Evaluation of Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC) Vehicles on Managed Lanes Utilizing Macroscopic and Mesoscopic Simulation”,

Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, Oca. 2016.

- [34] J. C. Vilaró, A. Torday, ve A. Gerodimos, “Combining mesoscopic and microscopic simulation in an integrated environment as a hybrid solution”, *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, c. 2, sy 3, ss. 25-33, Eyl. 2010, doi: 10.1109/MITS.2010.939217.
- [35] W. Burghout, H. N. Koutsopoulos, ve I. Andréasson, “Hybrid mesoscopic-microscopic traffic simulation”, *Transp Res Rec*, sy 1934, ss. 218-225, 2005, doi: 10.3141/1934-23.
- [36] M. Joueiai, H. van Lint, ve S. P. Hoogendoorn, “Multiscale Traffic Flow Modeling in Mixed Networks”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, c. 2421, sy 1, ss. 142-150, Oca. 2014, doi: 10.3141/2421-16.
- [37] D. A. Takus ve D. M. Profozich, “Arena Software Tutorial”, içinde *Winter Simulation Conference Proceedings*, 1997, ss. 541-544. doi: 10.1145/268437.268564.
- [38] N. A. Markovitch ve D. M. Profozich, “Arena software tutorial”, içinde *Proceedings Winter Simulation Conference*, 1996, ss. 437-440. doi: 10.1145/256562.256708.
- [39] M. J. Drevna ve C. J. Kasales, “Introduction to Arena”, içinde *Proceedings of Winter Simulation Conference*, 1994, ss. 431-436. doi: 10.1109/WSC.1994.717225.
- [40] J. P. C. Kleijnen ve J. Wan, “Optimization of simulated systems: OptQuest and alternatives”, *Simul Model Pract Theory*, c. 15, sy 3, ss. 354-362, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2006.11.001>.
- [41] H. Schwetman, “Optimizing simulations with CSIM18/OptQuest: finding the best configuration”, içinde *2000 Winter Simulation Conference Proceedings (Cat. No.00CH37165)*, 2000, ss. 268-273 c.1. doi: 10.1109/WSC.2000.899728.

- [42] S. Bodily, M. Palacios, ve B. Brohl, “Using Optquest”, *SSRN Electronic Journal*, Ağu. 2006, doi: 10.2139/ssrn.912022.
- [43] S. Li ve C. Wang, “Analysis for quick response strategy using OptQuest simulation”, içinde *Applied Mechanics and Materials*, 2012, ss. 263-267. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.220-223.263.
- [44] D. Sadowski, V. Bapat, ve G. Drake, “The Arena product family: enterprise modeling solutions”, içinde *1998 Winter Simulation Conference. Proceedings (Cat. No.98CH36274)*, 1998, ss. 205-212 c.1. doi: 10.1109/WSC.1998.744920.
- [45] N. Rasoli ve M. Sheikhalishahi, “Modeling and simulation to improve patient admission process: a case study in an educational and treatment hospital”, *Simulation*, c. 101, sy 2, ss. 103-116, Şub. 2025, doi: 10.1177/00375497241267304.
- [46] S. Aka, “Modelling and improvements of production processes using OptQuest and process analyser”, *International Journal of Internet Manufacturing and Services*, c. 6, ss. 32-47, Ağu. 2019, doi: 10.1504/IJIMS.2019.096647.
- [47] S. AKKAYA ve T. ENGİN, “Trafik Simülasyon Yazılımlarına Genel Bakış”, *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, c. 5, sy 2, ss. 157-168, Eki. 2022, doi: 10.51513/jitsa.1090209.
- [48] F. Qiao, T. Liu, H. Sun, L. Guo, ve Y. Chen, “Modelling and simulation of urban traffic systems: present and future”, *International Journal of Cybernetics and Cyber-Physical Systems*, c. 1, sy 1, s. 1, 2021, doi: 10.1504/ijccps.2021.113100.
- [49] D. Yuniawan, P. P. Aang Fajar, S. Hariyanto, ve R. Setiawan, “Traffic queue modeling using arena simulation software (a case study of Mergan 4-Way intersection in Malang City)”, içinde *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, Eyl. 2018. doi: 10.1051/mateconf/201820402009.

- [50] C. Stirzaker ve H. Dia, “Evaluation of Transportation Infrastructure Management Strategies Using Microscopic Traffic Simulation”, *Journal of Infrastructure Systems*, c. 13, sy 2, ss. 168-174, 2007, doi: 10.1061/(ASCE)1076-0342(2007)13:2(168).
- [51] G. Kotusevski ve K. Hawick, “A Review of Traffic Simulation Software”, *Res. Lett. Inf. Math. Sci.*, c. 13, Ağu. 2009.
- [52] Y. Liu ve Y. Song, “Research on simulation and optimization of road traffic flow based on Anylogic”, *E3S Web of Conferences*, c. 360, Ağu. 2022, doi: 10.1051/e3sconf/202236001070.
- [53] W. Krautter, H. Mackamul, B. Manga, ve D. Manstetten, “Traffic scenarios in driving simulation: implementation and application”, *Advances in Transportation Studies*, c. Special Issue 2004, ss. 9-18, 2004, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://www.atsinternationaljournal.com/2004-issues/traffic-scenarios-in-driving-simulation-implementation-and-application/>
- [54] B. Liu, A. Mehrara Molan, A. Pande, J. Howard, S. Alexander, ve Z. Lou, “Microscopic traffic simulation as a decision support system for road diet and tactical urbanism strategies”, *Sustainability (Switzerland)*, c. 13, sy 14, Tem. 2021, doi: 10.3390/su13148076.
- [55] K. Singh, R. K. Bhushan, ve A. Khajuria, “A Review on Simulation of Traffic Control”, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, c. 3, sy Special Issue 2, ss. 87-90, 2013.
- [56] F. Vasconcelos Pais, B. Nogueira, ve R. Pinheiro, “Performance Evaluation of Urban Traffic Using Simulation: A Case Study in Brazil”, *IEEE Latin America Transactions*, c. 21, ss. 1275-1281, Ağu. 2023, doi: 10.1109/TLA.2023.10305238.
- [57] M. Becerikli, B. Gürsel, G. Sarısoy, ve Y. Delice, “Eşdüzey Kavşak Düzenleme Projelerinde Bir Algoritma Önerisi: Yalova İli Örneği”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 25, sy 3, ss. 665-678, 2021, doi: 10.19113/sdufenbed.939158.

- [58] E. Ayyıldız, M. Murat, ve E. Demirci, “Intersection Signaling Simulation”, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, c. 8, sy 4, ss. 357-364, 2017, [Çevrimiçi].
Erişim adresi: <http://sigma.yildiz.edu.tr/storage/upload/pdfs/1635949863-en.pdf>
- [59] C. Cav, A. Çolak, ve N. F. Ünver, “Adaptive Traffic Signal Control to Reduce Delay Time at a Single Intersection Point”, içinde *2021 International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA)*, 2021, ss. 1-6. doi: 10.1109/INISTA52262.2021.9548610.
- [60] A. Y. Abd-Fatah, R. M. Yusuff, F. A. Aziz, ve N. Zulkifli, “Simulation of ‘time-based’ versus ‘sensor-based’ traffic light system”, içinde *2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks, ICCSN 2011*, 2011, ss. 789-792. doi: 10.1109/ICCSN.2011.6015007.
- [61] M. J. Henchey, R. Batta, A. Blatt, M. Flanigan, ve K. Majka, “A simulation approach to study emergency response”, *Journal of Simulation*, c. 8, sy 2, ss. 115-128, 2014, doi: 10.1057/jos.2013.20.
- [62] M. A. Ghaleb, U. S. Suryahatmaja, ve I. M. Alharkan, “Modeling and simulation of Queuing Systems using arena software: A case study”, içinde *IEOM 2015 - 5th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Proceeding*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Nis. 2015. doi: 10.1109/IEOM.2015.7093945.
- [63] C. Kim, D. Akinbodunse, ve C. Nwakamma, *Modeling Arrival Flight Traffic Using Arena®*. 2005.
- [64] K. Özbay ve B. Bartın, “Incident Management Simulation”, *Simulation*, c. 79, ss. 69-82, Ağu. 2003, doi: 10.1177/0037549703253494.
- [65] P. K. Leszczyński, J. Kalinowska, K. Mitura, ve D. Sholokhova, “Injuries to Users of Single-Track Vehicles”, *Int J Environ Res Public Health*, c. 19, sy 19, Eki. 2022, doi: 10.3390/ijerph191912112.

- [66] S. Tanyel, S. P. Çalışkanelli, M. M. Aydın, ve S. B. Utku, “An Investigation of Heavy Vehicle Effect on Traffic Circles”, *Teknik Dergi*, c. 24, sy 120, 2013, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://dergipark.org.tr/en/pub/tekderg/issue//155119>
- [67] R. Pajecki, F. Ahmed, X. Qu, X. Zheng, Y. Yang, ve S. Easa, “Estimating passenger car equivalent of heavy vehicles at roundabout entry using micro-traffic simulation”, *Front Built Environ*, c. 5, May. 2019, doi: 10.3389/fbuil.2019.00077.
- [68] C. Oyala ve E. Otumba, “Modelling of distribution of the ‘Matatu’ traffic flow using Poisson distribution in a highway in Kenya”, *International Mathematical Forum*, c. 13, ss. 385-392, Ağu. 2018, doi: 10.12988/imf.2018.8636.
- [69] I. K. Vong, “Theory of Poisson Point Process and its Application to Traffic Modelling”, May. 2013. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: http://vrs.amsi.org.au/wp-content/uploads/sites/6/2014/09/AMSI_final_Io_Kuan_Vong.pdf
- [70] W. Burghout, “A note on the number of replication runs in stochastic traffic simulation models”, Oca. 2004.
- [71] T. Toledo vd., “Calibration and Validation of Microscopic Traffic Simulation Tools: Stockholm Case Study”, *Transp Res Rec*, c. 1831, ss. 65-75, Ağu. 2003, doi: 10.3141/1831-08.
- [72] K. Ahmed, “Modeling Drivers’ Acceleration and Lane Changing Behavior”, Ağu. 2005.
- [73] S. Ocakdan, “Arterlerin Yeniden Yapılandırılmasında Simülasyon Tekniği ile Karar Verme ve Bir Kavşak Uygulaması”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Mühendislik Yönetimi Programı, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [74] M. Z. H. Abd Jalal, M. K. Mohd Nawawi, W. L. H. Mat Desa, M. Y. Yusri, ve N. F. Shaari, “Traffic Flow Optimization: Modeling the Inter-Arrival Times for Simulation

Model”, *International Journal of Academic Research in Economics and Management Sciences*, c. 11, sy 3, Eyl. 2022, doi: 10.6007/ijarems/v11-i3/14631.

- [75] S. Hashim, R. Tahar, ve E. Bakar, “Simulation Study For Improving Patient Treatment Services”, *Journal of ICT*, c. 2, ss. 87-104, Oca. 2004.



EKLER

EK 1: TRAFİK SAYIM ÇİZELGESİ

KAVŞAK-1

Gidiş	Geliş	Sabah Zivce Saat 2 Saatlik Trafik Sayım Sonuçları																				TOPLAM													
		56060. Cd. (1)					Univeste Biv. Güneybatı Yolu (2)					82017 Cd. (3)					Univeste Biv. Kuzeydoğu Yolu (4)																		
t/sa	t/sa	Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs	Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter	Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs	Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter	Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs	Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter										
	56060. Cd. (1)	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	622	165	32	9	5	59	1	0	224	55	7	3	1	11	100	0	1.300
	Univeste Biv. Güneybatı Yolu (2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	64	1	16	0	9	0	0	843	99	18	16	2	73	1	0	1.190
	82017 Cd. (3)	959	113	53	8	14	95	1	1	602	42	30	13	2	97	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	5	3	4	0	9	0	0	2.144
	Univeste Biv. Kuzeydoğu Yolu (4)	454	70	9	2	1	33	0	0	864	102	22	24	1	84	9	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1.678
	TOPLAM	1.413	183	62	10	15	128	1	1	1.472	144	52	37	3	181	10	2	670	229	33	25	5	69	1	-	1.159	159	28	23	3	93	101	-	6.312	

Akşam zivce saat 2 saatlik trafik sayım sonuçları

Gidiş	Geliş	56060. Cd. (1)														82017 Cd. (3)														Univerte Biv. Kuzeydoğu Yolu (4)														TOPLAM
		Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs	Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter	Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs	Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter	Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs	Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter	Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs	Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter											
	56060. Cd. (1)	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	3	0	0	0	0	0	1716	99	31	26	1	185	2	0	104	26	2	15	1	50	0	0	2.370										
	Univerte Biv. Güneybatı Yolu (2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	175	37	3	13	0	44	1	2	864	61	13	39	0	130	5	1	1.388										
	82017 Cd. (3)	732	66	8	31	0	114	2	0	508	52	11	24	0	73	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	7	2	0	24	0	0	0	1.774										
	Univerte Biv. Kuzeydoğu Yolu (4)	225	26	6	7	0	32	0	0	1245	95	19	28	0	134	3	0	1	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1.824										
	TOPLAM	957	92	14	38	-	146	2	-	1.772	147	33	52	-	207	4	-	1.892	136	34	39	1	231	3	2	1.176	94	17	56	1	204	5	1	7.356										

KAVŞAK-2

Akşam zivce saat 2 saatlik trafik sayım sonuçları

t/sa	82017 Cd. Kuzey Yolu (1)							Yavuz Sultan Selim Cd. Batı Yolu (2)							82017 Cd. Güney Yolu (3)							Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu Yolu (4)							TOP AM					
	Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs	Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter	Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs	Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter	Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs	Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter	Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs		Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter	
Gidiş	6	0	1	0	0	1	0	0	127	9	6	0	0	16	0	0	431	117	44	41	1	40	1	0	81	9	9	71	1	15	0	0	1.027	
	155	8	12	0	0	15	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	87	1	16	0	2	14	0	0	243	9	33	2	0	36	1	0	635	
	991	30	135	24	7	122	0	2	41	1	4	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	28	0	4	0	0	6	0	0	1.401	
	366	15	54	49	0	56	1	0	104	7	13	6	0	18	2	0	32	3	6	3	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	742	
	1.518	53	202	73	7	194	1	3	272	17	23	6	-	36	2	1	551	121	67	44	3	62	1	-	352	18	46	73	1	57	1	-	3.805	
Geliş																																		

Akşam zivce saat 2 saatlik trafik sayım sonuçları

Gidiş	Geliş	82017 Cd. Kuzey Yolu (1)							Yavuz Sultan Selim Cd. Batı Yolu (2)							82017 Cd. Güney Yolu (3)							Yavuz Sultan Selim Cd. Doğu Yolu (4)							TOPLAM						
		Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs	Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter	Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs	Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter	Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs	Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter	Otomobil	Minibüs	Kamyonet	Otobüs		Tır/Treyler	Motosiklet	Bisiklet	Scoter		
		40	0	0	0	0	3	0	0	374	10	9	2	0	59	1	1	1202	75	50	35	2	159	2	2	197	10	10	56	0	43	0	0	2.342		
		678	2	5	0	0	23	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	167	6	17	0	0	29	2	1	220	11	12	0	0	38	0	1	649		
		113	31	20	29	1	85	2	0	61	1	3	0	0	12	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	29	3	3	0	0	12	0	0	992		
		261	20	14	67	0	38	0	0	288	9	10	4	0	17	2	1	0	5	5	4	0	32	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	987		
		1.092	53	39	96	1	149	3	1	723	20	22	6	-	168	4	3	1.514	86	73	39	2	222	5	3	446	24	26	56	-	93	-	1	4.970		
		TOPLAM																																		