



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ŞEHİRİÇİ ÖRÜLME ALANLARINDAKİ GEOMETRİ PROBLEMLERİ İÇİN
OPTİMİZASYON TABANLI ÇÖZÜM ÖNERİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eren DAĞLI

**Temmuz 2020
GÜMÜŞHANE**

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞEHİRİÇİ ÖRÜLME ALANLARINDAKİ GEOMETRİ PROBLEMLERİ İÇİN
OPTİMİZASYON TABANLI ÇÖZÜM ÖNERİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Eren DAĞLI

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
”İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.07.2020

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 29.07.2020

TEMMUZ 2020

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum **“Şehiriçi Örülme Alanlarındaki Geometri Problemleri İçin Optimizasyon Tabanlı Çözüm Önerilerinin Geliştirilmesi”** isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 06/07/2020


Eren DAĞLI

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEHİRİÇİ ÖRÜLME ALANLARINDAKİ GEOMETRİ PROBLEMLERİ İÇİN
OPTİMİZASYON TABANLI ÇÖZÜM ÖNERİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Eren DAĞLI

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Metin Mutlu AYDIN
2020, 102 sayfa

Katılma veya ayrılma ceplerinin olduğu örülme alanlarındaki trafik karmaşası tüm Dünya’da karşılaşılan genel bir problemdir. Literatürde bu probleme çözüm bulmak ve sorunu açıklayan hesap yöntemleri geliştirmek amacıyla yapılmış çalışmalar mevcuttur. Türkiye ve Dünya’da örülme problemleriyle ilgili mevcut çalışmalar incelendiğinde, örülme alanındaki tüm parametreleri birlikte değerlendiren bir çalışmaya ne yazık ki rastlanmamıştır. Özellikle bu tür bir değerlendirme ile örülme alanlarında ortalama hız, araç başına ortalama gecikme ve araç başına ortalama şerit değiştirme sayısı hesabına yönelik bağıntılar geliştiren ve problemin çözümü için yeni geometriler öneren bir çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada şehir içi yollarda örülme karmaşasının çözümüne yönelik olarak tanısız bazlı bir yaklaşımla ve birçok farklı parametre etkisi ile iki büyükşehirdeki yedi farklı alandaki örülme karmaşası detaylı olarak incelenmiştir. Örülme alanlarındaki yol,

sürücü karakteristiği, hava koşulları vb. durumlar tanısallık bazlı incelenerek, hesap yöntemleri üç farklı optimizasyon yöntemi (yapay arı kolonisi, biyocoğrafya tabanlı optimizasyon ve ateş böceği algoritması) kullanılarak geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca, incelenen örölme alanları için yeni geometrik çözümler önerilmiş, eski ve yeni geometrik durum Vissim mikro-simölasyon programında simöl edilerek incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hız, gecikme ve şerit değiştirme sayısı hesap yöntemleri için kullanılan optimizasyon yöntemlerinin önerdiği ve gerçek değerlerin karşılaştırılmasından, en düşük MAPE değeri sırasıyla %11.91, %12.25 ve %6.25 olarak hesaplanmıştır. Üç optimizasyon yöntemi ile önerilen üç farklı hesap bağıntısı için en az hata değeri, genellikle yapay arı kolonisi optimizasyon yöntemi kullanılarak geliştirilen bağıntılar için hesaplanmıştır. Sonuçlardan ayrıca, trafik akımında meydana gelen iyileşmelere bağlı olarak yakıt tüketimlerinde de önemli bir düşüş (ortalama %37.6) olduğu ve bunun sonucunda CO, NOx, VOC emisyonu salınımında %5.2 ila %58.3 arasında değişen bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar göstermektedir ki, incelenen yedi farklı örölme alanında yapılan düzenlemeler ile trafik akımındaki iyileşmelere bağlı olarak hem trafik güvenliği artacak hem de yakıt tüketiminin azalmasına bağlı olarak zararlı egzoz gazı emisyonlarında azalmalar meydana gelecektir. Böylece, çalışmanın bir diğer önemli sonucu olarak hava kirliliğinde azalmalar görölebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Örölme alanı, trafik karmaşası, optimizasyon, gecikme, şerit değiştirme.

ABSTRACT

MS THESIS

DEVELOPMENT OF OPTIMIZATION BASED SOLUTION SUGGESTIONS FOR GEOMETRY PROBLEMS IN URBAN WEAVING AREAS

Eren DAĞLI

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Metin Mutlu AYDIN

2020, 102 pages

Traffic chaos in weaving areas with merging or diverging bay is a general problem encountered across the world. There are studies in the literature to find solutions to this problem and to develop calculation methods which explain the mentioned problem. When studies on weaving problems are examined in Turkey and World, no study has been found to evaluate all parameters in the weaving areas. Especially, a study is needed to develop correlations for calculating average speed, average delay per vehicle and average number of lane changes per vehicle and to suggest new geometries for the solution of the problem with such an evaluation, In this study, weaving confusion in seven different areas in two metropolitan areas and the effect of many different parameters for the solution of weaving confusion were examined in detail with a diagnostic-based approach in urban roads.

Calculation methods have been developed for urban roads in weaving areas by using three different optimization methods (artificial bee colony, biogeography based optimization and firefly algorithm) analyzing driver characteristics, weather conditions, etc. with a diagnostic-based approach. In the scope of the study, new geometric solutions were proposed for the examined weaving areas. For this purpose, old and new geometrical conditions were simulated in Vissim micro-simulation program. According to obtained results from the comparison of the real and proposed values which are obtained by the optimization methods, the lowest MAPE value was calculated as 11.91%, 12.25%, and 6.25% for speed, delay, and lane changing number calculation methods, respectively. The minimum error value for the proposed three different calculation methods was calculated by using the artificial bee colony optimization method. Also from the results, a significant decrease in fuel consumption (37.6% on average) depending on the improvements in traffic flow and a reduction in CO, NO_x, VOC emission varying between 5.2% and 58.3% was determined. As a result, depending on the improvements in the traffic flow with the help of new arrangements in seven different weaving areas, traffic safety will increase and harmful exhaust gas emissions will decrease depending on the decrease in fuel consumption. Thus, reductions in air pollution can be seen as another important result of the study.

Keywords: Weaving area, traffic chaos, optimization, delay, lane changing.

TEŞEKKÜR

“Şehiriçi Örülme Alanlarındaki Geometri Problemleri İçin Optimizasyon Tabanlı Çözüm Önerilerinin Geliştirilmesi” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Hayatımın her anında olduğu gibi yüksek lisans dönemim ve tez süresince desteklerini her zaman hissettiğim, hayattaki şansım olan aileme tüm emekleri ve katkıları için teşekkür ederim.

Tezimin analizleri konusunda başından sonuna büyük emekleri olan değerli hocalarım Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU ve Arş. Gör. Dr. Ziya ÇAKICI’ya tezimdeki katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tezimin saha çalışmaları ve veri toplama aşamalarındaki yardımlarından dolayı kıymetli meslektaşlarım Tolga YAMAN, Elif KEKEÇ, Mustafa SARİMEŞİNLİ ve İsmail Furkan ÇOLAKOĞLU ile öncesinde olduğu gibi bu süreçte de desteklerini hissettiğim arkadaşlarım aynı zamanda meslektaşlarım Enver Can BİNGÖL ve Alptekin KELEŞ’e teşekkür ederim.

Yüksek lisans ve Gümüşhane serüveni boyunca her zaman yanımda olan değerli hocalarım ve kıymetli abilerim Arş. Gör. Dr. Halil ANAÇ, Arş. Gör. Özhan BİNGÖL, Arş. Gör. Murat ŞAN, Arş. Gör. Kaşif Furkan ÖZTÜRK, Arş. Gör. Halil İbrahim YÜKSEK, Öğr. Gör. Salih TÜRK, Arş. Gör. İlker ERKAN, Arş. Gör. Şener ALİYAZICIOĞLU ve Arş. Gör. Dr. Hasan EKER’e ayrıca Arş. Gör. Yasemin Seval BEKER, Dr. Öğr. Üyesi Nihan GÜNGÖR ve Dr. Öğr. Üyesi Emine ÇORUH’a tüm samimiyetleri ve bana kattıkları her şey için teşekkür ederim.

Ulaştırma anabilim dalını ve akademik hayatı sayesinde tanıdığım, akademinin yanında hayata dair kendisinden çok şey öğrendiğim, tüm adımlarımda varlığını hissettiren, başarıları ve çalışkanlığı ile her zaman örnek olan, benim için bir danışmandan çok daha fazlası değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Metin Mutlu AYDIN’a ve kıymetli eşi Ruveyde AYDIN’a tezime aynı zamanda da bana katkıları için teşekkür ederim.

Eren DAĞLI
Gümüşhane, 2020

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| ÖZET | IV |
| ABSTRACT | VI |
| TEŞEKKÜR | VIII |
| İÇİNDEKİLER..... | IX |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | XI |
| TABLolar DİZİNİ..... | XV |
| SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ..... | XVII |
| 1. GENEL BİLGİLER..... | 1 |
| 1.1. Örölme Probleminin Tanımlanması ve Çalışmanın Kapsamı | 1 |
| 1.2. Çalışmanın Amacı | 5 |
| 1.3. Literatür Taraması | 6 |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR..... | 11 |
| 2.1. Analizlerde Kullanılacak Verilerin Elde Edilmesi | 11 |
| 2.1.1 Örölme Problemi Gözlenen Pilot Bölgelerin Belirlenmesi | 11 |
| 2.1.2 Saha Verilerinin Toplanması | 20 |
| 2.1.3 Verilerinin Sayısallaştırılması | 24 |
| 2.2. Örölme Bölgesindeki Tüm Araç Hareket Tiplerinin Belirlenmesi | 25 |
| 2.2.1. Hareket Tipleri..... | 25 |
| 2.3. Örölme Alanlarındaki Gecikme, Ortalama Araç Hızları ve Şerit Değiştirme Sayılarının Belirlenmesi | 32 |
| 2.4. Mevcut Şerit Değiştirme Sayısı ve Ortalama Araç Hızı Hesap Yöntemleri | 33 |
| 2.4.1. Örölme Alanındaki Minimum Şerit Değiştirme Oranının Hesaplanması | 34 |
| 2.4.2. Örölme Alanında Şerit Değiştiren ya da Değiştirmeyen Araçların Ortalama Hızlarının Hesaplanması | 35 |
| 2.5. Analizlerde Kullanılan Optimizasyon Yöntemleri | 35 |
| 2.5.1. Yapay Arı Kolonisi (YAK) Optimizasyon Yöntemi..... | 36 |
| 2.5.2. Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BTO) Yöntemi | 40 |
| 2.5.3. Ateş Böceği Algoritması (ABA) Optimizasyon Yöntemi..... | 42 |
| 2.6. Analizlerde Kullanılan Hata Yöntemleri | 46 |
| 3. BULGULAR | 48 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.1. | Örölme Bölgeleri ve Trafik Akım Karakteristikleri | 48 |
| 3.2. | Örölmeye Sebep Olan Hareket Tipleri | 56 |
| 3.3. | Örölme Bölgelerine Ait Ortalama Hız, Gecikme ve Şerit Değişirme Sayıları..... | 59 |
| 3.3.1. | Ortalama Hızların İncelenmesi | 59 |
| 3.3.2. | Ortalama Gecikmelerin İncelenmesi | 61 |
| 3.3.3. | Ortalama Şerit Değişirme Sayılarının İncelenmesi | 64 |
| 3.4. | Optimizasyon Analizi ile Hesap Yöntemlerinin Önerilmesi | 69 |
| 3.4.1. | Optimizasyon Analizlerinde Kullanılan Parametreler..... | 70 |
| 3.4.2. | Ortalama Hız Hesabı Yöntemi | 71 |
| 3.4.3. | Araç Başına Ortalama Gecikme Hesabı Yöntemi | 71 |
| 3.4.4. | Araç Başına Ortalama Şerit Değişirme Sayısı Yöntemi..... | 71 |
| 3.5. | Yeni Geometriler Önerilmesi | 71 |
| 3.6. | Vissim Analizleri..... | 80 |
| 3.6.1. | Vissim Programında Saha Verilerinin Benzetilmesi İşlemi | 81 |
| 3.6.2. | Mevcut Duruma ve Önerilen Geometriye Göre Vissim Analizleri | 81 |
| 4. | TARTIŞMA..... | 94 |
| 5. | SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 97 |
| 6. | KAYNAKLAR..... | 99 |
| | ÖZGEÇMİŞ..... | 103 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 1.1. | Şehiriçi yollarda örülme kavramına ait örnek şematik görseller..... | 1 |
| Şekil 1.2. | Ayrılma/Katılma olan yol kesimlerine ait ve trafik akımı üzerindeki olumsuz etkisine ait görseller | 4 |
| Şekil 2.1. | Çalışma kapsamında Antalya şehir merkezinde seçilen bölgeler ve bu bölgelerin harita üzerindeki konumları | 12 |
| Şekil 2.2. | a) Seçilen 1.A numaralı bölgenin konumu ve b) bölgeye ait örnek bir görsel | 13 |
| Şekil 2.3. | a) Seçilen 1.B numaralı bölgenin konumu ve b) bölgeye ait örnek bir görsel | 14 |
| Şekil 2.4. | a) Seçilen 2 numaralı bölgenin konumu ve b) bölgeye ait örnek bir görsel.... | 15 |
| Şekil 2.5. | a) Seçilen 3 numaralı bölgenin konumu ve b) bölgeye ait örnek bir görsel.... | 16 |
| Şekil 2.6. | Trabzon şehir merkezince incelenen örülme bölgelerinin harita üzerindeki konumları | 17 |
| Şekil 2.7. | a) Seçilen 4.A numaralı bölgenin konumu ve b) bölgeye ait örnek bir görsel | 18 |
| Şekil 2.8. | a) Seçilen 4.B numaralı bölgenin konumu ve b) bölgeye ait örnek bir görsel | 19 |
| Şekil 2.9. | a) Seçilen 5 numaralı bölgenin konumu ve b) bölgeye ait örnek bir görsel.... | 20 |
| Şekil 2.10. | İncelenen yol kesimlerinin geometrik ölçümlerinin yapılması | 21 |
| Şekil 2.11. | Farklı video kamera aparatları ile incelenen bölgelerden video çekim yardımıyla verilerin toplanması | 23 |
| Şekil 2.12. | Tip-1 harekete ait şematik görsel | 26 |
| Şekil 2.13. | Tip-2 harekete ait şematik görsel | 26 |
| Şekil 2.14. | Veri toplama esnasında Bölge 4.A'da Tip-2 hareket nedeniyle meydana gelen bir trafik kazası | 27 |
| Şekil 2.15. | Veri toplama esnasında Bölge 1.A'da Tip-2 hareket nedeniyle meydana gelen bir trafik kazası | 28 |
| Şekil 2.16. | Tip-3 harekete ait şematik görsel | 28 |
| Şekil 2.17. | Tip-4 harekete ait şematik görsel | 29 |
| Şekil 2.18. | Tip-5 harekete ait şematik görsel | 29 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 2.19. | Tip-6 harekete ait şematik görsel | 29 |
| Şekil 2.20. | Tip-7 harekete ait şematik görsel | 30 |
| Şekil 2.21. | Tip-8 harekete ait şematik görsel | 30 |
| Şekil 2.22. | Tip-9 harekete ait şematik görsel | 31 |
| Şekil 2.23. | Tip-10 harekete ait şematik görsel | 31 |
| Şekil 2.24. | Tip-11 harekete ait şematik görsel | 32 |
| Şekil 2.25. | Tip-12 harekete ait şematik görsel | 32 |
| Şekil 2.26. | Gecikme ve ortalama hızların (a) GPS özelliği bulunan araç içi kamerası ve (b) video kamera yardımıyla elde edilen görsellerin analizi ile belirlenmesi. | 33 |
| Şekil 2.27. | YAK optimizasyon yöntemine göre arıların (a) çalışma prensibi ve (b) akış şeması | 37 |
| Şekil 2.28. | BTO optimizasyon yöntemine ait çalışma prensibi ve akış şeması | 40 |
| Şekil 2.29. | ABA optimizasyon yöntemine göre ateş böceklerinin çalışma prensibi ve akış şeması..... | 43 |
| Şekil 3.1. | Seçilen 1.A numaralı örülme alanının bulunduğu yol kesimine ait şematik görsel..... | 48 |
| Şekil 3.2. | Seçilen 1.B numaralı örülme alanının bulunduğu yol kesimine ait şematik görsel..... | 49 |
| Şekil 3.3. | Seçilen 2 numaralı örülme alanının bulunduğu yol kesimine ait şematik görsel..... | 49 |
| Şekil 3.4. | Seçilen 3 numaralı örülme alanının bulunduğu yol kesimine ait şematik görsel..... | 50 |
| Şekil 3.5. | Seçilen 4.A numaralı örülme alanının bulunduğu yol kesimine ait şematik görsel..... | 51 |
| Şekil 3.6. | Seçilen 4.B numaralı örülme alanının bulunduğu yol kesimine ait şematik görsel..... | 51 |
| Şekil 3.7. | Seçilen 5 numaralı örülme alanının bulunduğu yol kesimine ait şematik görsel..... | 52 |
| Şekil 3.8. | 1.A numaralı örülme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi | 53 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 3.9. | 1.B numaralı örölme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi..... | 53 |
| Şekil 3.10. | 2 numaralı örölme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi..... | 54 |
| Şekil 3.11. | 3 numaralı örölme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi..... | 54 |
| Şekil 3.12. | 4.A numaralı örölme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi..... | 55 |
| Şekil 3.13. | 4.B numaralı örölme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi..... | 55 |
| Şekil 3.14. | 5 numaralı örölme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi..... | 56 |
| Şekil 3.15. | Araç türlerine göre gözlemlenen ortalama hızlar (km/sa)..... | 59 |
| Şekil 3.16. | Araç türlerine göre gözlemlenen ortalama gecikmeler (sn) | 62 |
| Şekil 3.17. | Araç türlerine göre gözlemlenen ortalama şerit değiştirme sayısı | 65 |
| Şekil 3.18. | Şerit bazlı gözlemlenen şerit değiştirmelerin sayısı | 67 |
| Şekil 3.19. | Bölgesel olarak gözlemlenen şerit değiştirmeler..... | 67 |
| Şekil 3.20. | 1.A numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi..... | 77 |
| Şekil 3.21. | 1.B numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi..... | 77 |
| Şekil 3.22. | 2 numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi ... | 78 |
| Şekil 3.23. | 3 numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi ... | 78 |
| Şekil 3.24. | 4.A numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi..... | 79 |
| Şekil 3.25. | 4.B numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi..... | 79 |
| Şekil 3.26. | 5 numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi ... | 80 |
| Şekil 3.27. | Vissim programı simülasyon ekranı..... | 81 |
| Şekil 3.28. | Vissim programı sürüş davranışı parametreleri ekranı..... | 81 |
| Şekil 3.29. | Vissim programı analiz ekranı | 83 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 3.30. | Bölge 1 Nokta 1.A a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel..... | 84 |
| Şekil 3.31. | Bölge 1 Nokta 1.B a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel..... | 85 |
| Şekil 3.32. | Bölge 2 Nokta 2 a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel..... | 87 |
| Şekil 3.33. | Bölge 3 Nokta 3 a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel..... | 88 |
| Şekil 3.34. | Bölge 4 Nokta 4.A a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel..... | 90 |
| Şekil 3.35. | Bölge 4 Nokta 4.B a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel..... | 91 |
| Şekil 3.36. | Bölge 5 Nokta 5 a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel..... | 92 |

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

| | | |
|-------------|--|----|
| Tablo 2.1. | Çalışma kapsamında incelenecek bölgelerin belirlenmesi amacıyla hazırlanan kriterler | 12 |
| Tablo 2.2. | İncelenen bölgelere ait saha ölçümlerinden elde edilen veriler | 21 |
| Tablo 3.1. | 1.A numaralı bölgeye ait trafik akım karakteristikleri | 48 |
| Tablo 3.2. | 1.B numaralı bölgeye ait trafik akım karakteristikleri | 49 |
| Tablo 3.3. | 2 numaralı bölgeye ait trafik akım karakteristikleri | 50 |
| Tablo 3.4. | 3 numaralı bölgeye ait trafik akım karakteristikleri | 50 |
| Tablo 3.5. | 4.A numaralı bölgeye ait trafik akım karakteristikleri | 51 |
| Tablo 3.6. | 4.B numaralı bölgeye ait trafik akım karakteristikleri | 52 |
| Tablo 3.7. | 5 numaralı bölgeye ait trafik akım karakteristikleri | 52 |
| Tablo 3.8. | İncelenen örölme alanlarında gözlemlenen araç hareket türleri..... | 57 |
| Tablo 3.9. | İncelenen örölme alanlarında gözlemlenen araç hareket türlerine ait sayısal bilgiler | 57 |
| Tablo 3.10. | 5 farklı bölgedeki 7 farklı noktaya ait ortalama hız değerleri (km/sa)..... | 59 |
| Tablo 3.11. | 5 farklı bölgedeki 7 farklı noktada örölme kaynaklı meydana gelen ortalama gecikme değerleri (sn)..... | 61 |
| Tablo 3.12. | 5 farklı bölgedeki 7 farklı noktada örölme kaynaklı meydana gelen ortalama şerit değiştirme sayısı..... | 64 |
| Tablo 3.13. | Trafik durumlarına göre örölme kaynaklı meydana gelen şerit değiştirme sayısı, ortalama gecikme ve ortalama hız değerlerine ait istatistiksel bilgiler | 68 |
| Tablo 3.14. | Hesap yöntemleri için kullanılan üç farklı optimizasyon yönteminde kullanılan sabit parametre değerleri..... | 69 |
| Tablo 3.15. | Hız tahmini eşitlikleri parametre değerleri..... | 73 |
| Tablo 3.16. | Gecikme tahmini eşitlikleri parametre değerleri..... | 74 |
| Tablo 3.17. | Şerit değiştirme sayısı tahmini eşitlikleri parametre değerleri..... | 76 |
| Tablo 3.18. | 1.A numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar..... | 77 |
| Tablo 3.19. | 1.B numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar..... | 78 |
| Tablo 3.20. | 2 numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar | 78 |
| Tablo 3.21. | 3 numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar | 79 |

| | | |
|--------------|--|----|
| Tablo 3.22. | 4.A numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar..... | 79 |
| Tablo 3.23. | 4.B numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar..... | 80 |
| Tablo 3.24. | 5 numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar | 80 |
| Tablo 3.25. | Bölge 1 Nokta 1.A için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları | 84 |
| Tablo 3.26 . | Bölge 1 Nokta 1.B için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları | 86 |
| Tablo 3.27. | Bölge 2 Nokta 2 için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları | 87 |
| Tablo 3.28. | Bölge 3 Nokta 3 için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları | 89 |
| Tablo 3.29. | Bölge 4 Nokta 4.A için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları | 90 |
| Tablo 3.30. | Bölge 4 Nokta 4.B için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları | 92 |
| Tablo 3.31. | Bölge 5 Nokta 5 için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları | 93 |

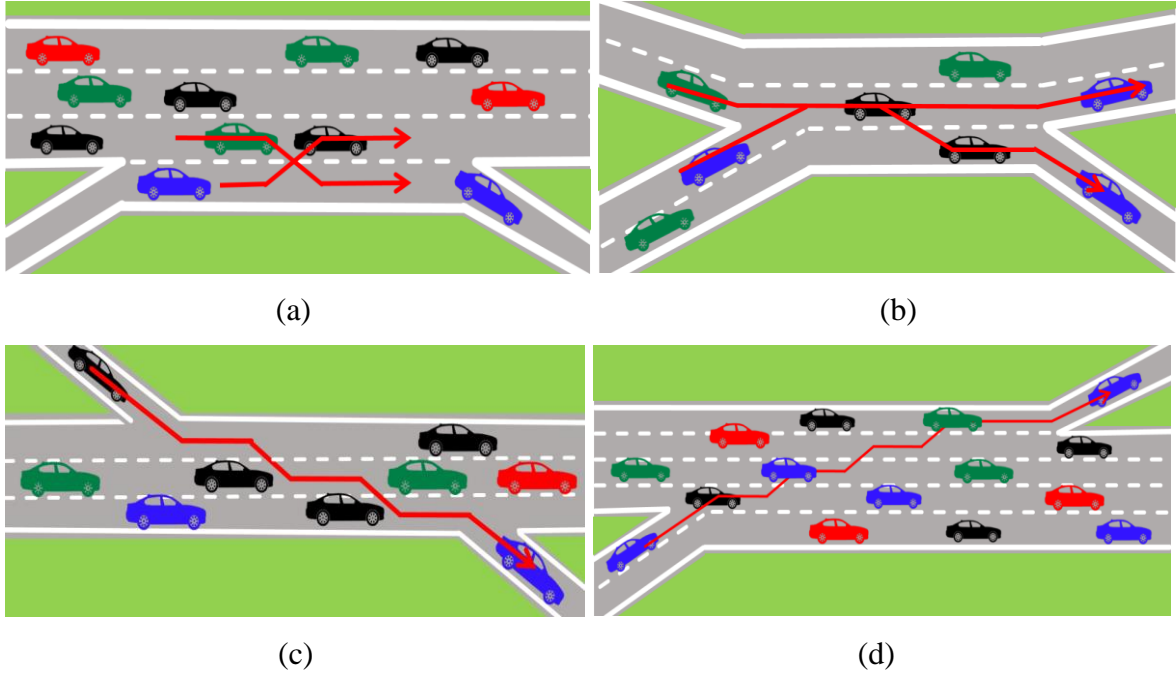
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|-----------------|--|
| AAE | : Average Absolute Error (Ortalama Mutlak Hata) |
| ABA | : Ateş Böceği Algoritması |
| BTO | : Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon |
| CO | : Karbon monoksit |
| HCM | : Highway Capacity Manual |
| LOS | : Level of Service (Hizmet Seviyesi) |
| MAPE | : Mean Absolute Percentage Error (Ortalama Mutlak Yüzdesel Hata) |
| MSE | : Mean Square Error (Karesel Ortalama Hata) |
| NO _x | : Nitrik oksit |
| RMSE | : Root Mean Square Error (Ortalama Karesel Hatanın Karekökü) |
| VOC | : Uçucu organik bileşik |
| YAK | : Yapay Arı Kolonisi |

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Örülme Probleminin Tanımlanması ve Çalışmanın Kapsamı

Highway Capacity Manual (2010)'a göre örülme genel olarak, karayolunun belirli bir kesimi boyunca aynı doğrultuda hareket eden iki veya daha fazla trafik akımının katılma ya da ayrılma yollarının olduğu yol kesimlerinde meydana gelen şerit değiştirmeler sebebiyle kesişmesi ya da çakışması olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1.1). Bu çakışmaların yaşandığı bölgeler mevcut literatürde “örülme bölgesi”, “örülme sahası”, “örülme kesimi” gibi farklı şekillerde isimlendirilirken “örülme bölgesi” veya “örülme alanı” en çok kullanılan terminolojidir. Literatüre göre örülme problemi daha çok kesintisiz akım bulunan yol kesimlerinde birbirine yakın katılma ve ayrılma yolları veya kavşak vs. olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Özellikle katılma ve ayrılma yolları arasındaki mesafenin kısa olması, araçların katılma ve/veya ayrılma amacıyla şerit değişikliği yapması durumunda birbirini etkilememesi için gereken mesafenin sağlanamayarak trafik kazalarının meydana gelmesine neden olabilmektedir.



Şekil 1.1. Şehir içi yollarda örülme kavramına ait örnek şematik görseller

Son yıllarda artan dünya nüfusuna paralel olarak, araç sahipliği ve kullanımına olan talepte de ciddi bir artış görülmektedir (WHO, 2018). Bu sebeple, Dünya genelinde birçok ülkede artan nüfus ve araç sayısına bağlı olarak, şehiriçi ya da şehir merkezlerine giriş/çıkıştaki ana arterlerde ciddi trafik problemleriyle (uzun yolculuk süresi, sabırsız davranma eğilimi sonrasında kurallara uymama, trafik kazaları vb.) sıklıkla karşılaşmaktadır. Bu durum üzerindeki etmenler detaylı olarak incelendiğinde gelişmemiş, gelişmekte olan ya da gelişmiş ülkelerde farklı birçok karakteristiğin etkili olduğu görülmektedir (Aydın ve Topal, 2016). Örneğin, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde ne yazık ki şehiriçi yolların planlanma ve inşa aşamalarında gerek planlıların bilgi eksikliği ve tecrübesizliği gerekse karar vericilerin politik davranması sonucu plansız, düzensiz ve işlevsiz yollar inşa edilebilmektedir. Belirli bir standarda göre inşa edilmeyen bu yollar her geçen gün artan araç sayısı nedeniyle gerekli hizmeti verememektedir. Bu sebeple şehiriçi ve şehirlerarası kavşak ve arterlerde uzun kuyruklar, kural ihlalleri, trafik kazaları, agresif sürücü davranışları vb. işletim ve güvenlik problemleri gözlemlenmektedir. Bu problemler, sürücüleri trafikte agresif davranma ve kurallara uymama konusunda daha fazla teşvik etmekte ve bunun sonucunda da her gün onlarca trafik kazası meydana gelmektedir. Örneğin, Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2019 yılı için şehiriçi yollarda meydana gelen trafik kazalarına ait istatistikleri incelendiğinde, kazaların yaklaşık olarak %58'inin yolların geometrik tasarımı ile ilişkili olduğu ve bu durumun sürücüleri kuralları ihlal etmeye teşvik etmesinden kaynaklandığı görülmektedir (TÜİK, 2019). Bu yüksek kaza oranı, Türkiye'de yollardaki geometrik disiplinsizliğin ne kadar büyük sonuçlara sebep olduğunu açıkça göstermektedir. Yukarıda da değinildiği üzere trafik problemleri sadece gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerin değil gelişmiş ülkelerin de çözüm üzerine uzun soluklu araştırmalar yürüttüğü önemli bir konudur. Örneğin yapılan bilimsel araştırmalardan, işletim ve güvenlik problemi bulunan kavşakları kullanan sürücülerin, karmaşıklık karşısında heyecan, panik vb. ideal sürüş davranışını engelleyici psikolojik reaksiyonlar gösterdiği ve bu durumun sürücüleri kaza yapmaya teşvik ettiği gözlemlenmiştir (Devin vd., 2011; Elvik, 2017). Ayrıca yapılan bilimsel araştırmalardan, sürücülerin sakin ve rahat bir sürüş gerçekleştirerek ulaşımını sağlamalarının, trafikte hem sürücülerin hem de yayaların ruh sağlığını olumlu yönde etkileyerek kazaların sayısında düşüşe neden olacağı sonucuna ulaşılmıştır (Vrieling vd., 2014; Wood vd., 2015). Elde edilen bu bulgular nedeniyle batılı ülkelerdeki ulaşım planlıları ve yetkililer, şehiriçi yol ağlarının tasarımında güvenliği ön planda tutan ve maksimum performans sağlayan tasarım standartları hazırlamıştır. Mevcut

yollarını bu standartlara uygun olarak inşa etmişler ve etmeye de devam etmektedirler. Fakat bu ülkelerde yaşanan trafik problemleri üzerinde etkili en büyük sorunlardan bir tanesi, insanların Downtown (kent merkezi) denilen genellikle iş merkezlerinin etrafında geniş bir alanda bulunan yerleşim yerlerinde oturmaları ve kent merkezine kendi araçları ile gidip gelme eğiliminde olmalarıdır. Batılı ülkelerde kent merkezlerinde yeterli otopark ve ana arter imkânı olması sebebiyle trafik problemleri kent merkezlerinde değil daha çok işe gidiş ve geliş saatlerinde kent merkezlerine giriş ve çıkışta kullanılan ana arterlerdeki katılma ve ayrılma noktalarında meydana gelen örölme alanlarında gözlemlenmektedir. Ne yazık ki tasarım ve inşa esnasında öngörülemeyen bu yüksek trafik hacmi, birçok ulaştırma standartları hazırlanması ve uygulanması konusunda gelişmiş olan bu ülkelerde, tıkanıklık ve karmaşa problemlerinin gözlemlenmesine sebep olabilmektedir. Dolayısıyla bu soruna, insanların toplu taşıma kullanmasının teşvik edilerek (en çok arzu edilen) ya da problemler bölgeler için tanısız bazlı incelemeler yapılarak çözüm aranmasına araştırmacılar ve yetkililer büyük önem vermektedir. Bu amaçla trafik projeksiyonuna göre yeni geometrik düzenlemeler yaparak çözüm geliştirilmesi önemli ana hedeflerden birisi olarak belirlenmiş olup araştırmacılar bu doğrultuda araştırmalarını hızlandırmışlardır.

Türkiye’de ise daha çok büyükşehirlerde belirli bir standarda ya da bilimsel çalışmaya uygun olarak yapılmayan yollarda örölme karmaşası ve buna bağlı olarak birçok probleme rastlanmaktadır. Özellikle katılma/ayrılma yollarının olduğu örölme alanlarında problemlerin görülmesinde şehiriçi yol geometrilerinin belirli bir standarda ya da gözlemler sonucu elde edilen bilimsel bulgulara göre değil daha çok mevcut arazi koşullarının (kamulaştırma olanaklarının) elverdiği şekilde planlanması ve inşası etkilidir. Şehiriçi arterlerde en çok gözlemlenen sorunların başında, şerit genişliklerinde ve sayılarındaki süreksizlik, şerit sayılarındaki eksiklik ya da fazlalık, ayrılma ve katılma yollarında gereğinden fazla uzunluk ya da kısalık vb. birçok hatalı geometrik tasarım uygulamaları gelmektedir. Mevcut bu problemler sürücülerde, şerit kullanımında disiplinsizlik, tıkanıklık durumunda kuyruğun olabildiğince önüne geçme eğilimi, hızlı araç kullanma, hatalı şerit değiştirme, güvenli olmayan sollama, kurallara itaatsizlik alışkanlığı, agresif davranma gibi durumlara sebebiyet vermekte ve dolayısıyla da kazalara neden olmaktadır (Şekil 1.2).



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 1.2. Ayrılma/Katılma olan yol kesimlerine ait ve trafik akımı üzerindeki olumsuz etkisine ait görseller

Şehiriçi ya da şehir merkezine giriş/çıkışta ana arterler üzerinde yer alan ve katılma/ayrılma yollarının etkisi ile bir şeride girme ya da şerit değiştirme sebebiyle meydana gelen örülme karmaşası, iyi bir geometri ve talep planlaması yapılmasını sorunun çözümü açısından gerekli kılmaktadır. Çünkü örülme olan yol kesimlerinde, taşıtların gidecekleri yöne doğru hareket etmek amacıyla yapacakları şerit değiştirmeler, karmaşaya ve bunun sonucunda da kapasite kaybı ve kazalara dolayısıyla da maddi ve manevi kayıplara neden olabilmektedir. Bu tür örülme problemlerinin gözlemlendiği yol kesimlerinde araştırmanın limitleri ve amacı iyi belirlenerek; geometrik ve işletimsel tabanlı çözüm önerileri geliştirilmesi oldukça önemlidir. Tanısal (incelenen yol kesimine özgü) bazlı olarak yapılacak optimizasyon tabanlı analizlerle çözüm önerilerinin geliştirilmesi, trafik tıkanıklık problemini çözerek seyahat süresinin, kazaların, harcanan yakıt miktarı ve hava kirliliğinin azalması, yol güvenliğinin artması, sürücülerde şerit değiştirme esnasında stresi azaltarak agresif davranışların önüne geçme vb. birçok konuda maddi ve manevi kazanım sağlayarak

belirtilen sorunları giderecektir. Yapılacak tanısal bazlı inceleme ile geliştirilecek yeni bir yöntem; birçok ülke yollarında ortak bir problem olan örölme alanlarındaki karmaşayı geometri ve yol karakteristikleri açısından inceleyerek, problemin çözümüne yönelik farklı bir bakış açısı geliştirme açısından izleyeceği yöntem adımları ile metodolojik olarak özgün bir çalışma olacak ve önemli katkılar sağlayacaktır.

Ülkemizde son yıllarda hatalı geometriden kaynaklı çok sayıda trafik kazasının meydana geldiği ayrılma ve katılma noktaları da dâhil olmak üzere şehiriçi yollarda sıklıkla düzenlemeler yapılmaktadır. Ne yazık ki şehiriçi yol tasarımı için ülkemize özgü bir standart bulunmaması nedeniyle yapılan iyileştirmeler daha çok tecrübe ve diğer örnek uygulamalar ile sınırlı kalmakta ve geçici çözümden ileriye gidememektedir. Yapılan bu iyileştirmeler standarda uygun olarak tasarımdan ziyade, gecikme ve kuyruk uzunluğunu azaltarak anlık hizmet seviyesinde artış sağlamayı amaçladığı için sorunlara kalıcı çözüm getirememektedir. Özellikle ülkemizdeki ayrılma ve katılma yollarının olduğu kesimlerde gözlemlenen örölme probleminin oluşumunda standart veya tecrübeye göre değil, mevcut imar ve arazi durumlarına göre yapılan geometrik tasarımlar en önemli etken olarak gösterilebilmektedir. Bu tür yol kesimlerinde şerit sayıları ve genişliklerindeki düzensizlik, ayrılma ve katılma yollarının standartlarca belirlenen gerekli uzunluktan kısa veya uzun olması gibi hatalı tasarımlar gözlemlenmektedir. Bu hatalı uygulamalar ise sürücülerini kural ihlallerine sevk ederek yol güvenliğini ve trafik kapasitesini olumsuz etkileyebilmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Dünya genelinde birçok ülkede şehiriçi ve şehirlerarası yollarda özellikle katılma/ayrılma şeritlerinin olduğu ana arterlerde trafiğin yoğun olduğu saatlerde sürücü ve yol karakteristikleri, trafik akım talebi, hava durumu vb. birçok farklı sebepten dolayı örölme problemlerinin neden olduğu trafik karmaşası görülmektedir. Oluşan bu karmaşa şişe boynu ve örölme alanları oluşturarak uzun kuyruklar, gereksiz şerit değiştirmeler, gecikmeler ve trafik kazalarına neden olabilmektedir.

Dolayısıyla bu araştırmanın ana amacı, şehiriçi yollarda örölme probleminin sıklıkla görüldüğü Türkiye’de seçilen pilot iki kentteki karmaşaya bağlı olarak oluşan örölme problemlerini, etkili tüm parametreleri hesaba katarak tanısal bazlı ve optimizasyon tabanlı olarak incelemek; yeni gecikme, hız ve şerit değiştirme sayısı modelleri ile yeni geometri

önerileri geliştirmektedir. Bu doğrultuda çalışma kapsamında aşağıda verilen hedeflere ulaşılması planlanmaktadır:

- Örülme problemini, pilot kentler olarak seçilen Trabzon ve Antalya'daki toplam 5 farklı bölgedeki 7 farklı nokta için inceleyerek ve analiz ederek mevcut durumu (karmaşanın karakteristik özellikleri, şerit kullanım disiplinsizliği, kurallara riayet etmeme sayısı, yol kesimi performansı vb.) nicel olarak ifade etmek,
- İncelenen örülme alanlarında etkili olan parametrelere göre değişkenlik gösteren (sürücü karakteristikleri, araç karakteristikleri, yol geometrisi, trafik akım karakteristikleri, hava durumu ve güneş ışığı süresi vb.) parametreleri hesaba katarak ve meta-sezgisel optimizasyon tekniklerinden Yapay Arı Kolonisi (YAK), Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BTO) Yöntemi ve Ateş Böceği Algoritması (ABA) Optimizasyon yöntemlerini kullanarak örülme olan yol kesimleri için Türkiye'deki şehiriçi yol karakteristiklerine göre gecikme, ortalama hız ve şerit değiştirme sayısı için bir tahmin yöntemi önermek,
- Geometri problemi olan bu örülme bölgeleri için yeni geometriler önermek (Türkiye'deki yol kesimlerinde geometrik tasarım hataları mevcuttur),
- Önerilecek yeni geometri ya da geometrilerin incelenen yol kesiminin performansı üzerinde nasıl bir etki yapacağını bir mikro simülasyon programı yardımıyla test etmek; test sonucu oluşacak pozitif ve negatif sonuçları nicel olarak ortaya koymaktır.

1.3. Literatür Taraması

Mevcut literatür incelendiğinde örülmenin akımın kesintisiz olduğu bir yol güzergâhında bir katılma şeridine yakın bir ayrılma şeridinin, bir ana yola bağlanan katılma şeridinin ya da dönüşü sağlayacak bir kavşak vb. olması durumunda gözlemlendiği belirlenmiştir. Burada yakın kavramı, katılma şeridi ile ayrılma şeridi arasında birbirlerini etkilemeden araçların şerit değiştirme hareketlerini gerçekleştirmek için yeterli mesafenin olmadığını ifade etmektedir. Yapılan çalışmalar ile elde edilen bulgulara göre örülme alanının işletim karakteristikleri üzerinde etkili 3 önemli parametre (örülme alanının uzunluğu, genişliği ve tipi) bulunmaktadır ve bunlar doğrudan araçların kritik şerit değiştirme davranışlarını etkilemektedirler (HCM, 2000; HCM, 2010).

Kesintisiz akımın olduğu yollarda örülme alanları en çok zirve saatlerde oluşmakta ve bu durum mevcut akım üzerinde şok dalgasına neden olmaktadır (HCM, 2000; Wang vd.,

2014; HCM, 2010). Yoğun şerit değiştirme davranışları ile oluşan örülme alanları, ne yazık ki tıkanıklık problemlerine neden olduğu için kapasiteyi düşürmektedir (Kwon vd., 2000; Lertworawanich ve Elefteriadou, 2001; Skabardonis ve Mauch, 2015). Bu yüzden son yıllarda araştırmacılar, ulaştırma plancıları ve yetkililer bu sorunun çözümüne yönelik çalışmalara büyük önem vermektedir. Örülme alanlarının görüldüğü yol kesimlerindeki trafik problemlerini ve bunun performans üzerindeki etkisini inceleyerek modellemek ve çözüm önerileri geliştirmek amacıyla günümüze kadar birçok çalışma yapılmış ve halen yapılmaya devam etmektedir. Örneğin bu konudaki ilk çalışma HCM (1950)'nin hazırlanması kapsamında yapılmıştır. Bu tarihten sonra HCM (1950) tarafından önerilen modeli geliştirmek amacıyla daha birçok çalışma yapılmış ve halen yapılmaya da devam etmektedir. Örneğin HCM (1965)'te örülme uzunluğu, toplam örülme hacmi ve hizmet seviyesi ile ilişkili yeni bir model önerilmiştir. HCM (2000)'de ise mevcut ya da beklenen hizmet seviyesini (LOS) belirlemek amacıyla tahmin edilen, hızı genel yoğunluğa dönüştüren ve bunu yapabilmek için örülme alanı türüne ve işletme özelliklerine ihtiyaç duyan yeni bir model önerilmiştir. Roess ve Ulerio (2009) ise yaptıkları çalışma ile HCM (2000) tarafından önerilen modele göre saha testlerinde daha iyi sonuçlar veren yeni bir model geliştirmişlerdir. Roess ve Ulerio (2009) tarafından önerilen model ise daha sonra HCM (2010)'da hizmet seviyesini tahmin eden ve örülme alanının yoğunluğuna dayanan yeni bir yöntem olarak daha da geliştirilmiştir. HCM (2010) tarafından önerilen bu en yeni yönteme göre ise yoğunluk, örülme alanında gözlenen şerit değiştiren ve değiştirmeyen araçların ortalama hızlarını ve mevcut trafik hacimlerini birlikte değerlendirerek belirlenmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda ise örülme alanlarındaki kapasite tahmini araştırmacıların en çok yoğunlaştığı diğer önemli bir konu olmuştur. Bu amaçla ya deneysel ya da teorik olarak örülme alanlarındaki kapasiteyi tahmin etmek amacıyla birçok yeni kapasite tahmin yöntemleri geliştirilmiştir (Lertworawanich ve Elefteriadou, 2001; Wang vd., 2014; Skabardonis ve Mauch, 2015). Deneysel araştırmalara örnek olarak, HCM (2000) tarafından detaylı işlem adımları içeren çok adımlı kapasite tahmin tabloları önerilmiştir. HCM (2010)'da ise bu yöntem daha da geliştirilerek regresyon tabanlı bir tahmin eşitliği önerilmiştir. Bu son HCM modeli kapsamında akım oranı, kısa uzunluk ve örülme hareketlerinin görüldüğü şerit sayısı parametreleri detaylı olarak irdelenerek istatistiksel olarak anlamlı yeni bir model geliştirilmiştir. Skabardonis ve Mauch (2015) yaptıkları çalışma ile önerilen bu HCM (2010) örülme alanı kapasite hesap formülünü detaylı olarak

incelemiştir. Çalışma kapsamında HCM (2010) tarafından önerilen kapasite hesap yöntemi kullanılarak yapılan tahminler ve sahadan ölçülen gerçek veriler karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan HCM (2010) tarafından önerilen kapasite hesap yönteminin örölme alanlarındaki mevcut yoğunluğu %13.4 daha fazla tahmin ettiği sonucuna ulaşmışlardır. Elde edilen bu sonuçla incelenen yol kesimlerine göre önerilen bu yöntemin modifiye edilmesinin gerekli olduğunu ortaya koymuşlardır ki bu durum bu araştırmanın da amaçlarından birisi olarak belirlenmiştir. Fang vd. (2012) ise yaptıkları çalışmada, HCM (2010) tarafından önerilen bu kapasite tahmin modelinin sahadan yapılan gözlemlerden oldukça farklı sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Bu amaçla örölme alanları için aralık kabul ve doğrusal programlama tekniklerine dayanan yeni bir genelleştirilmiş kapasite tahmin modeli geliştirmişlerdir. Bu yöntem ile elde edilen sonuçlar saha verileri ile karşılaştırıldığında birbirlerine yakın sonuçların olduğu görülmüş ve böylece modelin uygulanabilir olduğu ortaya konulmuştur. Başka bir çalışmada ise Kwon vd. (2000) tarafından kapasite tahmin yaklaşımı yapan ve kalman filtresine dayalı yeni bir model tasarımı yapılmıştır. Bu yeni model ise örölme alanı öncesinde ve katılım şeridinden (rampası) toplanan verilere bağlı olarak örölme alanında başlangıç-hedef (O-D) akımlarını tahmin etmektedir.

Deneyisel olarak örölme alanlarındaki kapasitenin tahmin edilmesi kadar olmasa da kapasitenin teorik modellenmesi ile ilgili literatürde yapılmış bazı çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Lertworawanich ve Elefteriadou (2001) çalışmasında örölme alanlarında aralık kabul teorisine dayanan doğrusal bir optimizasyon analizi ile yeni bir kapasite tahmin modeli önermişlerdir. Bir başka çalışma da ise Laval ve Daganzo (2006) örölme alanlarında yaptıkları şerit değiştirme analizlerinde, karmaşık örölme manevralarının kapasite üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu belirlemişlerdir. Bu amaçla örölme alanında görülen ve şerit değiştirme amacıyla yapılan manevralar analiz edilerek; kapasite hesabında aralık kabul teorisinin yerine şerit değiştirme bazlı bir model önermişlerdir. Benzer bir çalışmada Wang vd. (2014), bir doğrusal optimizasyon ile örölme alanlarındaki kapasiteyi hesaplamak amacıyla örölme akımlarının zorunlu şerit değiştirme hareketini tanımlayan yeni bir model önermişlerdir. Önerilen bu yeni model kullanılarak gerçek zamanlı maksimum akımın geçişi tahmin edilmeye çalışılmış ve iyi tahmin sonuçlarına ulaşılmıştır.

Örölme alanı hakkında sadece kapasite tahmini ya da hizmet seviyesinin belirlemek üzerine değil bu alanlardaki farklı durumları da incelemek amacıyla literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin Marczak ve Buisson (2014), gezici araçların konum

verilerini kullanarak yaptıkları çalışma sonucunda toplam örölme uzunluğunun yalnız %60'ının şerit değiştirme amacıyla kullanıldığını; kalan kısmının ise aktif olarak kullanılmadığını belirlemişlerdir. Yine aynı çalışma kapsamında katılma/ayrılma yollarına geçmek için kullanılan ilave şeritlerdeki araçların aralık kabulünün ana şeritlerdekine göre daha az bir mesafe olduğu belirlenmiştir. Yapılan tüm bu analizlerden çalışma kapsamında örölme alanının uzunluğunun kapasite üzerinde doğrudan bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Benzer bir çalışmada ise Kusuma vd. (2015), İngiltere'de video kameralar ve loop dedektörler ile elde ettikleri hız-konum verilerini kullanarak yaptıkları analizlerden, örölme alanına gelen araçların %91'inin ayrılan ya da katılan trafik ile işbirliği içerisinde hareket ederek hızını azalttığını hesaplamıştır. Yine yapılan hesaplamalardan başka yöne doğru hareket etmek amacıyla hızını azaltan araçların %48'inin örölme alanının ilk çeyrek kısmında bu amaçla şerit değiştirdiğini belirlemişlerdir. Bir diğer çalışmada Molokozi ve Teng (2015) elde ettikleri sonuçlara göre mevcut trafik akım talebine göre daha kısa uzunluğa sahip örölme alanlarının trafik kazalarını arttırdığını hesaplamışlardır. Özellikle ayrılma ve katılma arasındaki ilave şeridin uzunluğunun yetersiz olması durumunda bu bölgede karmaşanın daha çok artarak kazaların daha da artacağına dikkat çekmişlerdir. Van Beinum vd. (2018) ise çalışmasında elde ettikleri sonuçlardan Marczak ve Buisson (2014) ve Kusuma vd. (2015)'in çalışmalarına benzer şekilde örölme alanlarındaki şerit değiştirmelerin büyük çoğunluğunun örölme alanının ilk çeyrek kısmında gerçekleştiğini hesaplamışlardır. Van Beinum vd. (2018) çalışmasında diğer çalışmalardan farklı olarak kısa örölme alanı olan yol kesimlerindeki ortalama aralık kabulünün düşük ve yüksek trafik akımlarına göre değişiklik gösterdiği sonucuna da ulaşmışlardır. Örölme alanının uzunluğu arttıkça katılma için daha fazla bir yol uzunluğunun kullanıldığı, yol tasarımı ve trafik akımının bu aralık kabulü üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda örölme probleminin olduğu yol kesimlerinin farklı ülkelerdeki trafik, sürücü vb. farklı parametreler irdelenerek birlikte ve ayrı ayrı incelenmesinin farklı özelliklere göre farklı yol tasarımlarının yapılarak sorunların çözümüne önemli bir katkı sağlayacağına dikkat çekmişlerdir.

Türkiye ve Dünya'da katılma/ayrılma olan yollarda örölme alanı problemleriyle ilgili çalışmalar incelendiğinde, örölme alanındaki tüm parametreleri (yol geometrisi ve karakteristikleri, şerit değiştirme davranışı, anlık/ortalama hız, trafik akımı, sürücü/araç karakteristikleri vb.) birlikte değerlendiren bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Özellikle bu tür bir değerlendirme ile kapasite ve/veya hizmet seviyesi hesabı yapan bir model önermek ya

da örölme alanlarındaki problemin çözümü için yeni öneriler geliştirmek yukarıda belirtilen sorunların çözümü için gereklidir ve literatürde böyle bir çalışmaya ihtiyaç olduğu görölmektedir. Türkiye’deki mevcut literatür incelendiğinde çalışmaların daha çok kavşak içerisindeki dönüşlerden kaynaklı olarak oluşan örölme alanlarını (Aydemir, 2006; Tanyel ve Yayla, 2010; Saphoğlu ve Karasahin, 2010; Alçelik, 2010; Kaygısız ve Şenbil, 2011) ya da katılma/ayrılma bölgelerindeki tıkanıklığı, şok dalgası sonucu oluşan kuyruğu, gecikmeyi ve kapasiteyi modellediği ve mevcut şerit değiştirme ya da kullanım disiplinsizliğini incelemek üzerine yoğunlaştığı görölmektedir (Ceyhan, 2011; Yaslan, 2012; Demir vd., 2014; Abuamer vd., 2016).

Örölme oluşumu ile ilgili önceki çalışmalar incelendiğinde, örölme oluşumunu açıklamak, çeşitli hesap yöntemleri geliştirmek ve bu soruna çözüm bulmak için yapılan birçok araştırma mevcuttur. Ancak bu çalışmalar detaylı olarak irdelendiğinde trafik akımı, yol geometrisi, hız ve şerit değiştirme davranışı başta olmak üzere birçok parametreyi birlikte değerlendirerek optimizasyon tabanlı bir model geliştiren ve çözüm öneren bir çalışma bulunmadığı belirlenmiştir. Özellikle bu tür bir değerlendirme ile gecikme, şerit değiştirme sayısı ve ortalama hız hesabı yapan bir model önermek ya da örölme alanlarındaki problemin çözümü için yeni öneriler geliştirmek yukarıda belirtilen sorunların çözümü için gerekli olduğu ve literatürde böyle bir çalışmaya ihtiyaç bulunduğu belirlenmiştir. Bu tez kapsamında mevcut literatürdeki eksikliklerden yola çıkarak örölme alanlarındaki problemler tanısal bazlı ve optimizasyon tabanlı olarak incelenmiştir. Bu doğrultuda yol geometrisi, trafik akım özellikleri ve sürücü karakteristikleri ve bunlar ile ilişkili birçok alt parametre hesaba katılarak örölme oluşumuna etkileri incelenmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda geometrik düzenlemeler ve işletimsel iyileştirmeler yapılmaya çalışılmıştır. Bu geometrik ve işletimsel düzenlemeler bir mikro simülasyon programında incelenerek önerilen düzenlemelerin getirdiği tüm kazanımlar sayısal olarak ortaya konulmuştur.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Analizlerde Kullanılacak Verilerin Elde Edilmesi

Örülme bölgelerinde önceki bölümlerde detaylı olarak anlatılan problemlerin görülmesindeki ana etkenler sürücü davranışları ve geometrik düzensizlikler ile ifade edilebilmektedir. Gelişmemiş ve Türkiye gibi gelişmekte olan birçok ülkede özellikle şehiriçi yollarda geometrik problemler sıklıkla gözlenmektedir. Bu durum üzerindeki ana etken şehiriçi yolların herhangi bir standarda göre değil, genellikle mevcut arazi koşullarına göre planlanması ve inşa edilmesidir. Bu durum üzerinde kamulaştırma olanakları önemli bir parametredir. Sorun sürücüler açısından irdelendiğinde ise sürücülerin agresif olması ve ehliyet alma esnasında yetersiz eğitim almaları, kurallara riayet etmeme eğiliminde olmaları ve özellikle yine geometriden kaynaklı düzensizlik durumları sürücülerin kurallara uymadan hareket etmeleri üzerindeki önemli etkenler olarak gösterilebilmektedir. Çalışma kapsamında Türkiye’deki şehiriçi yollarda sıklıkla gözlemlenen örülme alanlarına ait mevcut durumu detaylı olarak irdelemek amacıyla farklı bölgelerde yer alan iki büyükşehir (Antalya ve Trabzon) pilot şehirler olarak seçilmiştir. Böylece şehiriçi yollarda görülen örülme alanları irdelenirken farklı bölgelerdeki sürücü karakteristikleri de dikkate alınmaya çalışılmıştır. Bölgeler arası sürücü karakteristiklerindeki farklılığın yanı sıra birbirinden tamamen farklı hava koşullarına sahip bu iki bölgede veriler yağışlı ve yağışsız günlerde toplanarak, hava koşullarının da örülmeye etkisi incelenmiştir. Çalışma için gerekli tüm veriler iki pilot şehirde belirlenen bölgelerden saha gözlemleri ile toplanmıştır.

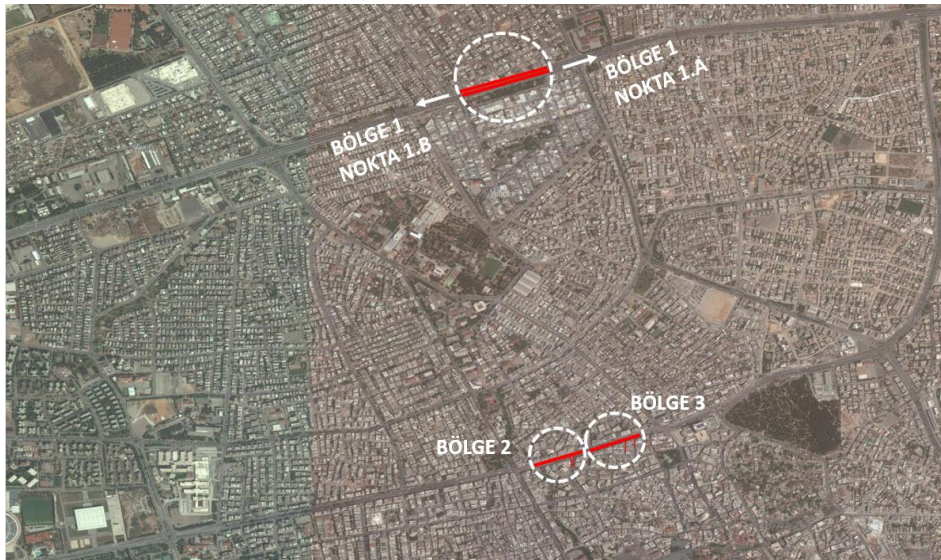
2.1.1. Örülme Problemi Gözlenen Pilot Bölgelerin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında incelenecek bölgelerin tespiti amacıyla Tablo 2.1’de verilen kriterler belirlenmiş ve çalışma kapsamında bölgelerin belirlenmesinde temel alınmıştır. Bu kriterlerin birlikte görüldüğü ve birbirinden farklı olmak koşulu ile Antalya’dan üç (dört nokta), Trabzon’dan ise iki (üç nokta) bölge olmak üzere toplam 5 ayrı bölge belirlenmiştir. Bu beş farklı bölgenin konumları ve örnek görselleri Şekil 2.1-2.9’da, ayrıca bölgelerde gözlemlenen belli başlı problemlere ait bilgiler ise Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Çalışma kapsamında incelenecek bölgelerin belirlenmesi amacıyla hazırlanan kriterler

| Kriter No | Seçim Kriterleri |
|-----------|--|
| 1 | Ana arterler üzerinde yer alması, |
| 2 | Bölünmüş ve en az 2 şeritli olması, |
| 3 | Katılma ve / veya ayrılma yolları bulunması, |
| 4 | Şerit genişliklerinin düzensiz olması, |
| 5 | Belirli standartlara uygun olarak tasarlanmamış olması, |
| 6 | Örülmenin yoğun gözlenmesi ve buna bağlı gecikmeler yaşanması. |

Çalışma kapsamında Antalya şehiriçi yollarında örülme probleminin yoğun olarak görüldüğü üç farklı bölge içerisinde yer alan toplam dört farklı nokta belirlenmiştir ve bu bölgelerin konumları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışma kapsamında Antalya şehir merkezinde seçilen bölgeler ve bu bölgelerin harita üzerindeki konumları (URL-1, 2020)

1 numaralı bölgede yer alan Nokta No 1.A, Antalya şehir merkezi Gazi Bulvarı (D400 karayolu) Çallı kavşağı ile Kepez Belediyesi arasında kalan BATI-DOĞU yönü üzerinde yer almaktadır (Şekil 2.2). İncelenen bu yolda giriş bölgesinde yol üç şeritli olup yol kenarında ayrı bir otobüs cebi ve şeridi yer almaktadır. Çıkış bölgesinde ise batıdan gelen mevcut araç

trafiği (üç şerit) üst geçide yönelmektedir. Bunun yanı sıra şerit genişliği normal şerit genişliğinden çok fazla olan bir şerit üstgeçit altında yer alan kavşağa doğru ayrılmaktadır. Mevcut kesimde otobüs cebine ayrılma ve katılma ayrıca üstgeçite yaklaşımdan güneye doğru ciddi bir ayrılma durumu söz konusudur.



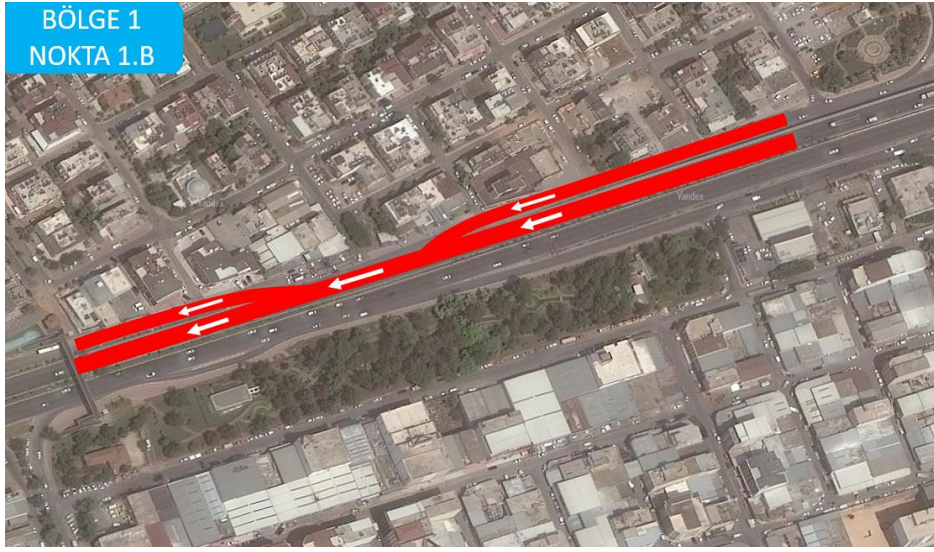
(a)



(b)

Şekil 2.2. a) Seçilen 1.A numaralı bölgenin konumu (URL-2, 2020) ve b) bölgeye ait örnek bir görsel

Yine 1 numaralı bölge de yer alan Nokta No 1.B, Antalya ili Gazi Bulvarı (D400 karayolu) Kepez Belediye'si ile Çallı kavşağı arasında kalan DOĞU-BATI yönü üzerinde yer almaktadır (Şekil 2.3). İncelenen bu yolda, giriş bölgesinde kavşaktan gelen bir şerit ile üst geçitten gelen üç şeridin birleşmesi ile toplam dört şerit bulunmaktadır. Çıkış bölgesinde ise üç şerit Gazi Bulvarı üzerinde yer alırken bir şerit yan yola ayrılmaktadır. Mevcut kesimde üst geçit bitişinde katılma, yan yol başlangıcında da ayrılma bölgesi oluşumu görülmektedir.



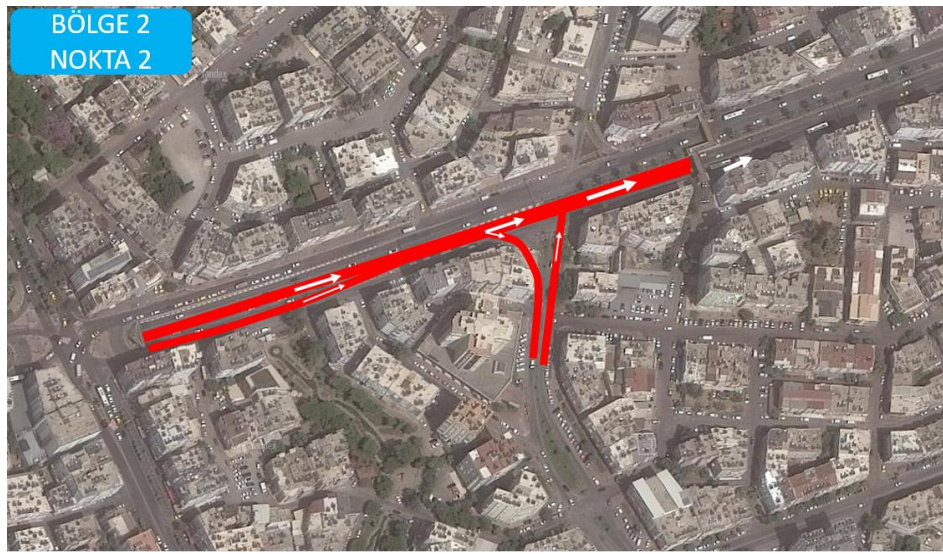
(a)



(b)

Şekil 2.3. a) Seçilen 1.B numaralı bölgenin konumu (URL-2, 2020) ve b) bölgeye ait örnek bir görsel

Çalışma kapsamında seçilen 2 numaralı bölgede bulunan Nokta No 2 ise Yener Ulusoy Bulvarı üzerinde Güllük Cadde'si alt geçidi çıkış bölümünde yer almaktadır (Şekil 2.4). Bu bölgenin girişi, alt geçitten gelen iki şerit ve üst yoldan gelen şerit genişliği normal şerit genişliğinden çok fazla olan bir şeridin eklenmesi ile toplam üç şeritlidir. Bunun yanı sıra 88 numaralı sokaktan bir katılım şeridi bulunmaktadır. Çıkıştaki yol kesiminde ise üç şerit bulunmakta olup yine 88 numaralı sokağa bir şerit ayrılmaktadır. Altgeçit ve üst yol birleşimi ile 88. sokak kesişiminde çok sayıda ayrılma ve katılma görülmekte ve bu durum örülme oluşumuna sebep olmaktadır.



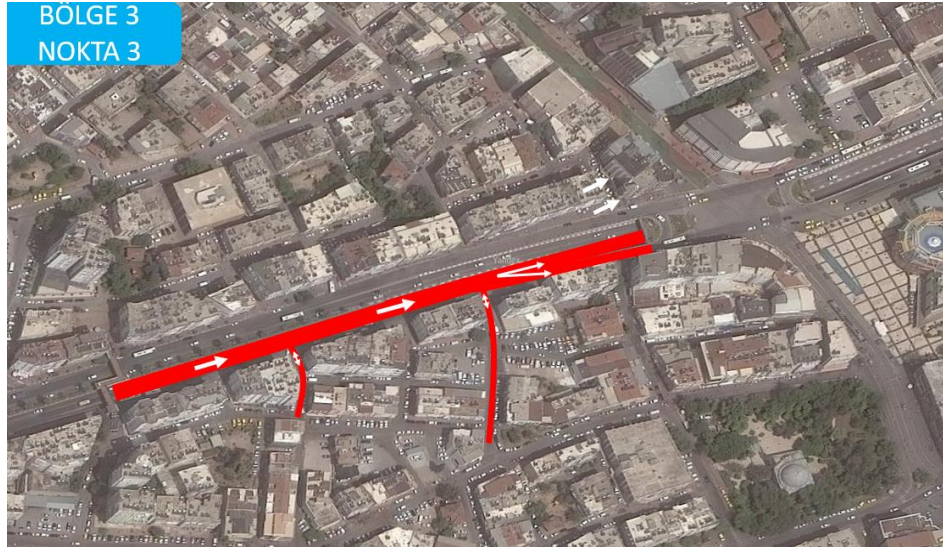
(a)



(b)

Şekil 2.4. a) Seçilen 2 numaralı bölgenin konumu (URL-3, 2020) ve b) bölgeye ait örnek bir görsel

Bölge 3’te yar alan 3 numaralı nokta, yine Yener Ulusoy Bulvarı üzerinde Markantalya alt geçidi giriş bölümünde yer almaktadır (Şekil 2.5). Bu bölge, ikisi normal biri otobüs cebi için ayrılmış olan toplam 3 şeritli bir yoldur. Bunun yanı sıra 63. ve 64. sokaklar için sırasıyla bir katılım bir ayrılma yolu bulunmaktadır. Bölgenin çıkış kesimi yine üç şeritten oluşmaktadır. Çıkış kesiminde iki şerit alt geçide devam etmekte olup kalan bir şerit ise üst yoldan ayrılmaktadır. Alt geçit başlangıcında ayrılma, ayrıca sokakların kesişiminde ayrılma ve katılma durumları görülmektedir.



(a)



(b)

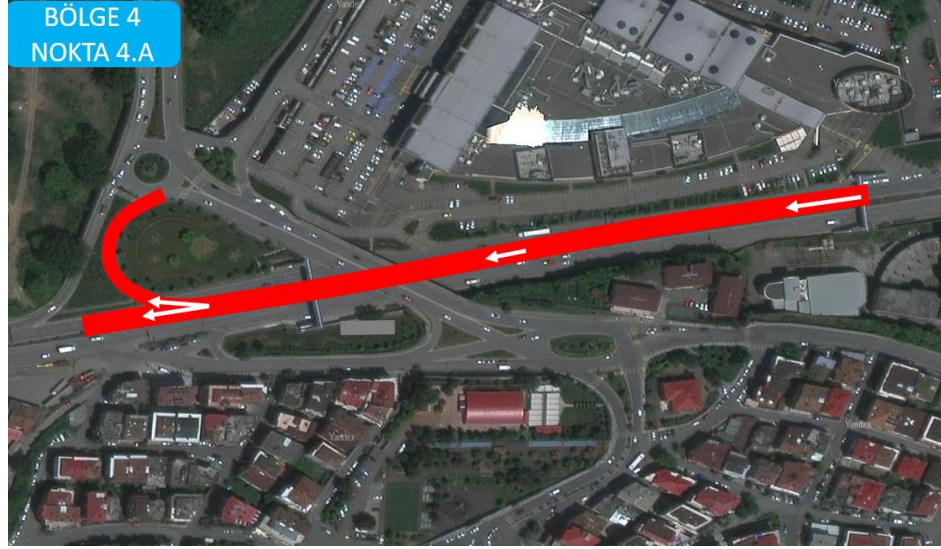
Şekil 2.5. a) Seçilen 3 numaralı bölgenin konumu (URL-4, 2020) ve b) bölgeye ait örnek bir görsel

Çalışma kapsamında incelenen bir diğer pilot şehir olan Trabzon şehir merkezinde, örülme probleminin yoğun olarak görüldüğü 2 ayrı bölgede yer alan toplam 3 farklı yol kesimi belirlenmiştir. Belirlenen bu bölgelerde yer alan noktaların konumları Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Trabzon şehir merkezince incelenen örülme bölgelerinin harita üzerindeki konumları (URL-5, 2020)

4 numaralı bölgede yer alan Nokta No 4.A, Trabzon şehir merkezi (D885 karayolu) Devlet Karayolu caddesi üzerinde Forum Trabzon AVM önünde bulunmaktadır (Şekil 2.7). Bu örülme bölgesine girişteki yol üç şeritlidir. Örülme bölgesinden çıkışta ise iki şerit düz devam etmekte olup bir şerit sağa ayrılmaktadır. Bölgenin girişinde yer alan otobüs durağı nedeniyle giriş kesiminde yoğun şekilde katılma gözlemlenmektedir. Yine örülme bölgesinde yer alan ayrılma cebi başlangıcında da çok sayıda ayrılma hareketinden kaynaklı örülme karmaşası meydana gelmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.7. a) Seçilen 4.A numaralı bölgenin konumu (URL-6, 2020) ve b) bölgeye ait örnek bir görsel

4 numaralı bölgede yer alan ikinci nokta ise (Nokta 4.B) D885 karayolu, Gümüşhane yol ayrımında bulunmaktadır. (Şekil 2.8). Bu örülme bölgesine girişte düz giden iki şerit ile sağdan bir katılma yolu bulunmaktadır. Çıkış bölgesinde ise en yakın kavşağa doğru düz giden toplam üç şerit bulunmaktadır. Bölgenin girişinde yer alan katılma yolu ve katılanların büyük bir kısmının kavşaktan Gümüşhane yoluna doğru ayrılmak istemesi nedeniyle giriş kesiminde yoğun şekilde örülme karmaşası oluşmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 2.8. a) Seçilen 4.B numaralı bölgenin konumu (URL-7, 2020) ve b) bölgeye ait örnek bir görsel

Bölge 5 üzerinde yer alan Nokta No 5, Trabzon ili (D010 karayolu) Devlet Sahil Yolu caddesi üzerinde Trabzon tüneli Ganita girişindeki katılım noktasıdır. Bu yol kesimine girişte, Şekil 3.9'dan da görüldüğü üzere üç farklı yoldan katılım gözlemlenmektedir. Bu bölgede ana yol iki şeritten oluşan devlet sahil yoludur. İki şeritten oluşan bu ana yola birer şeritten oluşan iki ayrı katılım yolu bağlanmakta ve bu yol tünel öncesinde (çıkış bölgesi) 3 şeritli olarak devam etmektedir. Bu bölgenin girişinde yoğun şekilde katılma ve sürücülerin tünel öncesinde daha hızlı hareket etmeye olanak sağlayan banket şeridine geçme arzuları

ayrıca en sağ şeride doğru y6nelmeleri sebebiyle çok ciddi 6r6lme problemleri g6r6lmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.9. a) Seçilen 5 numaralı b6lgenin konumu (URL-8, 2020) ve b) b6lgeye ait 6rnek bir g6rsel

2.1.2. Saha Verilerinin Toplanması

Çalışma kapsamında pilot kentlerde 6r6lme problemi olan şehiriçi yol kesimleri belirlendikten sonra 6r6lme b6lgesi olan yol kesimlerinin geometrik 6zellikleri (şerit genişliği, platform genişliği, yanal açıklık ve çizgi kalınlıkları) ile karakteristik 6zellikleri

(şerit sayıları ve ayrılma/katılma durumuna göre gözlemlenen problemler) detaylı olarak belirlenmiştir. Belirlenen yol kesimlerine ait geometrik uzunluklar aynı noktadan yapılan 5 farklı ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir (Şekil 2.10). Yapılan saha ölçümlerinden şeritlerin çizgi kalınlıkları ortalama 15 cm olarak ölçülmüştür. İncelenen yol kesimlerine ait geometrik özelliklere ait elde edilen veriler Tablo 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.10. İncelenen yol kesimlerinin geometrik ölçümlerinin yapılması

Tablo 2.2. İncelenen bölgelere ait saha ölçümlerinden elde edilen veriler

| Bölge Numarası | Şerit No | Şerit Genişliği (metre) | Yanal Açıklık (Sağ – Sol) (metre) | Platform Genişliği (metre) | Giriş-Çıkış Arası Uzunluk |
|----------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Bölge 1.A | 1 | 3.00 | 0.25 – 0.25 | 14.50 | 300 |
| | 2 | 3.60 | | | |
| | 3 | 3.60 | | | |
| | 4 | 3.80 | | | |
| Bölge 1.B | 1 | 4.30 | 0.25 – 0.25 | 14.70 | 130 |
| | 2 | 3.30 | | | |
| | 3 | 3.30 | | | |
| | 4 | 3.30 | | | |
| Bölge 2 | 1 | 4.00 | 1.00 – 0.30 | 12.00 | 85 |
| | 2 | 3.40 | | | |
| | 3 | 3.30 | | | |
| Bölge 3 | 1 | 4.40 | 0.10 – 0.30 | 11.20 | 390 |
| | 2 | 3.20 | | | |
| | 3 | 3.20 | | | |
| Bölge 4.A | 1 | 3.50 | 0.15 – 1.10 | 11.55 | 420 |
| | 2 | 3.40 | | | |
| | 3 | 3.40 | | | |

Tablo 2.2. (devamı)

| | | | | | |
|-----------|---|------|-------------|-------|-----|
| Bölge 4.B | 1 | 3.60 | 1.20 – 0.90 | 11.40 | 190 |
| | 2 | 2.70 | | | |
| | 3 | 3.00 | | | |
| Bölge 5 | 1 | 6.00 | 0.20 – 0.20 | 16.10 | 240 |
| | 2 | 3.80 | 0.10 – 0.20 | | |
| | 3 | 2.40 | 0.40 – 0.40 | | |
| | 4 | 2.40 | | | |

Not: Araçların gidiş yönüne göre en sağ şerit 1. şerit olarak ifade edilerek sola doğru şerit numaraları arttırılmıştır.

Tez kapsamında iki farklı pilot şehirdeki toplam beş farklı bölgede yer alan yedi noktaya ait veriler, trafik akım özelliği (çok akıcıdan tıkalıya kadar 5 farklı durum için) ve hava koşulları (yağmurlu ve yağmursuz) göz önünde bulundurularak toplanmıştır. Bu amaçla incelenen bölgelerdeki taşıt hareketleri hafta içi ve havanın aydınlık olduğu zirve saatlerde (08:00-09:30 ve 17:00-18:30) video kameralar ile kayıt altına alınmıştır. Bölüm 1’de bahsedildiği üzere sürücü psikolojisine ek olarak hava durumunun örölme oluşumuna etkisini irdeleyebilmek amacıyla veriler toplanırken havanın yağışlı ve yağışsız olduğu günler özellikle dikkate alınmış ve veriler bu doğrultuda toplanmıştır. Böylece farklı bölgelerdeki sürücü karakteristiği, trafik akım özellikleri ve hava koşulları dikkate alınarak geniş kapsamlı bir veri seti elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu tür çalışmalarda veri toplama esnasında karşılaşılan en önemli problemlerden birisi incelenen yol kesimlerindeki tüm taşıt hareketliliğini kesintisiz şekilde kayıt altına alabilmektir. Bu amaçla araştırmacılar bina çatıları, tepe noktalar vb. yerlerde uygun bir yükseklik ve açı bulma yoluna gidebilmektedirler. Çatılarda ya da uygun noktalarda çekim yapabilmek amacıyla sıklıkla izin sorunu yaşanabilmektedir. Bu çalışma kapsamında, uygun yükseklik bulunan noktalarda ayaklı ve el tripodu, bulunmayan noktalarda ise sürücülerin fark edemeyeceği yüksek bir noktadan geniş bir açı ile çekim yapabilme olanağı sağlayan ve doktora tez çalışmasında kullanılmak üzere Aydın (2017) tarafından imalatı yapılan video çekim aparatları kullanılmıştır (Şekil 2.11)



(a)



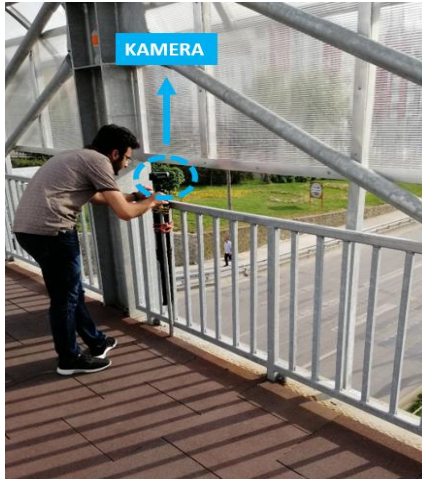
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 2.11. Farklı video kamera aparatları ile incelenen bölgelerden video çekim yardımıyla verilerin toplanması



(g)

Şekil 2.11. (devamı)

2.1.3. Verilerin Sayısallaştırılması

Tez çalışmasında kullanılan veriler, video kamera ile yapılan kayıtlar tamamlandıktan sonra kaydedilen görüntülerin bilgisayara aktarılması ve sonrasında sayaç programı yardımıyla yapılan sayımlardan elde edilmiştir. Verilerin sayısallaştırılması aşamasında seçilen örölme bölgelerindeki tüm hareketliliğin ve meydana gelen problemlerin detaylı analizi için tüm şeritler ayrı ayrı şerit bazlı olarak incelenmiştir. Video kayıtların sayısallaştırılması ve saha gözlemleri ile analizlerde kullanmak için aşağıdaki listelenen veriler sayısal olarak elde edilmiştir.

- Toplam araç sayısı ve türü,
- Ağır araç oranı (P_{HV}),
- Giriş ve çıkış bölgeleri için trafik hacmi (taşıt/saat),
- Şerit sayıları ve genişlikleri,
- Araçların hareket tipleri,
- Örölme bölgesindeki ortalama hızlar (km/sa),
- Örölmeye bağlı gecikmeler (sn),
- Şerit değiştiren araçların engel yaşayıp yaşamadığı,
- Tüm bölgeler için toplam analiz süresi (saat),

- Örölmeye bağlı gecikmeler (sn),
- Örölmeye Şerit değiştirme sayıları.

Tez alışması kapsamında yapılan video çekimlerden özetle:

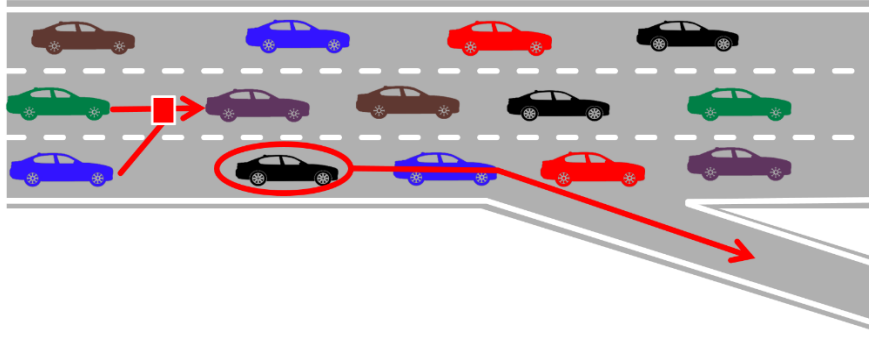
- Antalya'dan üç, Trabzon'dan iki bölgede yer alan toplam 7 farklı noktadan,
- Bu noktalara ait Antalya'dan 14, Trabzon'dan 10 toplam 24 şeritten,
- Yaklaşık olarak 21 saatlik video kaydı ile,
- Toplam 1547 örölme hareketi gözlemlenmiş ve ortalama 15 bin taşıt teker teker incelenerek örölme analizlerinde kullanılmıştır.

2.2. Örölme Bölgesindeki Tüm Araç Hareket Tiplerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında incelenen iki şehirdeki toplam yedi farklı noktada oluşan örölme alanlarında gözlemlenen araç hareket türleri detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan incelemeler ile tüm noktalarda örölmeye veya karmaşaya sebep olan tüm hareket tipleri karakteristik özellikleri ile birlikte belirlenerek irdelenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda incelenen noktalarda gözlemlenen tüm (12 farklı) hareket tipleri optimizasyon analizlerinde kullanılmak üzere numaralandırılmış ve hareketler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

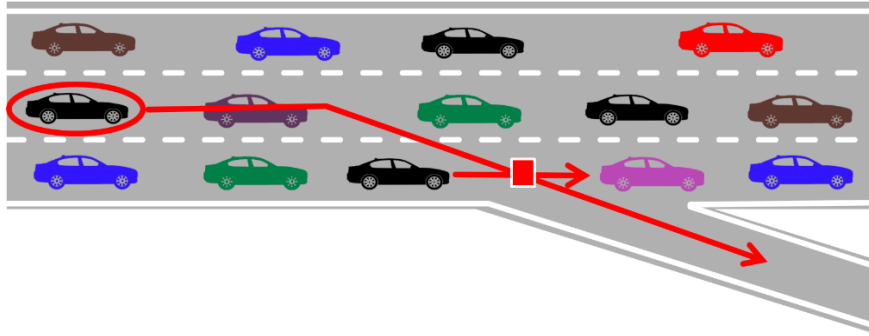
2.2.1. Hareket Tipleri

Tip-1: Aracın ayrılma cebinden ayrıldığı hareket tipidir (Şekil 2.12). Bu esnada ayrılma yoluna en yakın şeritteki araçlardan ayrılmak isteyenlerin yavaşlaması, düz devam etmek isteyenlerin de şerit değişikliği yapma eğilimleri nedeniyle karmaşa meydana gelebilmektedir.



Şekil 2.12. Tip-1 harekete ait şematik görsel

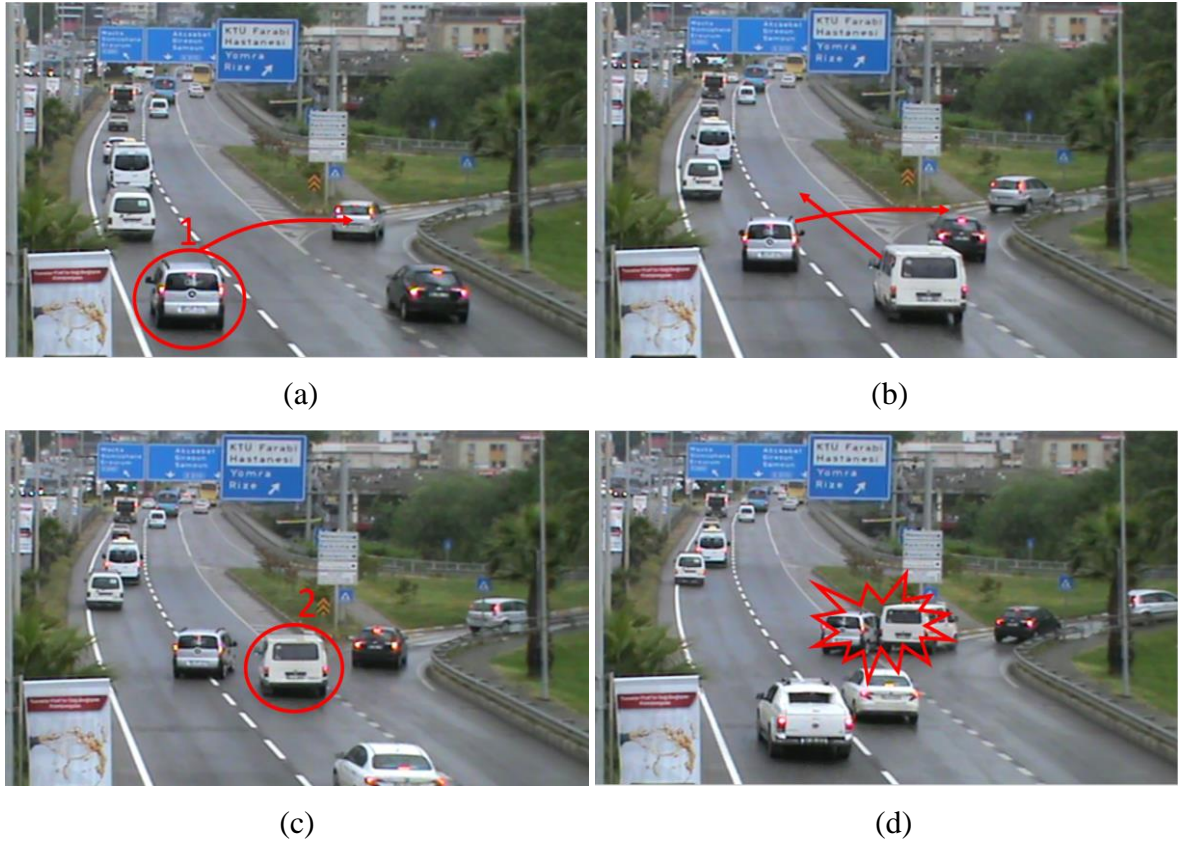
Tip-2: Aracın en sağ şerit olan banket şeridi haricinde diğer şeritlerden bir ve/veya birden fazla şerit değişikliği yaparak ayrılma cebinden ayrıldığı hareket tipidir (Şekil 2.13). Bu durumda ayrılma yoluna yakın şeritteki araçların düz devam etmek için sola şerit değişikliği yapma eğiliminin yanında aksi yöndeki şeritlerden ayrılma şeridine yönelmek isteyen araçların ani şerit değişikliği ve yavaşlama hareketleri karmaşa meydana getirmektedir.



Şekil 2.13. Tip-2 harekete ait şematik görsel

Yapılan gözlemlerden 2 numaralı hareket tipinin çalışma kapsamında en çok görülen ve en tehlikeli hareket tiplerinden birisi olduğu belirlenmiştir. Video kamera kayıtları esnasında bu tür bir hareket tipinin bir trafik kazasına sebep olduğu da görülmüştür (Şekil 2.14). Kaza oluşumunun hikâyesine bakıldığında, Şekil 2.14a’da görülen 1 numaralı araç üç numaralı (en sol) şeritte hareket ederken, ayrılma kesimine çok kısa bir mesafe kala karar değiştirerek ayrılma yönüne doğru ani şekilde yavaşlayarak şerit değişikliği yapmıştır (Şekil 2.14b). 1 numaralı aracın bu ani şerit değişikliği ve yavaşlaması esnasında iki numaralı (orta) şeritten gelen 2 numaralı araç da ani fren yapmak zorunda kalmıştır. 2 numaralı araç için

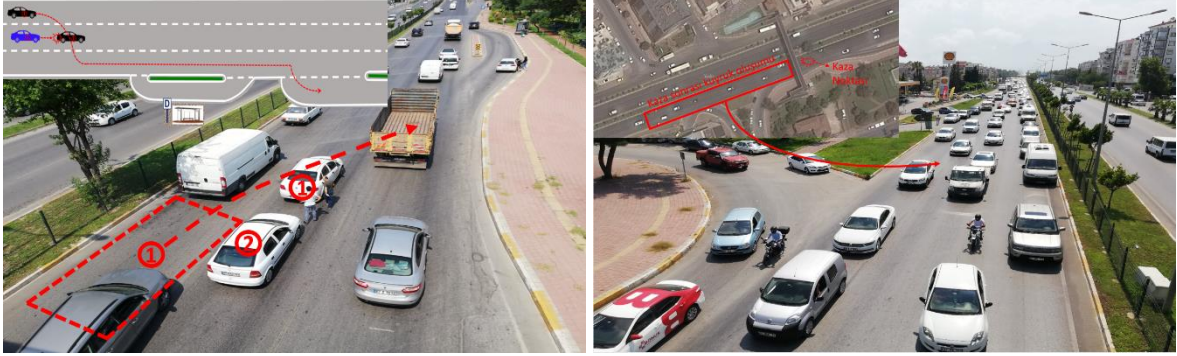
gerekli olan yeterli duruş-görüş mesafesi olmadığından sürücü kazadan kaçınmak amacıyla şerit değişikliği yapmaya çalışmıştır (Şekil 2.14c). 2 numaralı aracın durma ve şerit değiştirme çabasına rağmen 1 numaralı araç ayrılma yolu yönündeki hareketine devam ettiği için 2 numaralı araç duramayarak soldan kural ihlali yaparak gelen 1 numaralı araca çarpmıştır. (Şekil 2.14d). Tip-2 harekete ve karmaşaya örnek olan bu durumda 1 numaralı aracın ayrılma yoluna çok az bir mesafe kalmasına rağmen ayrılmaya çalışması ve bunun yanı sıra ayrılma yolunun da bu tip sürücü hatalarından kaynaklı kazalara sebebiyet verebilecek geometriye sahip olması nedeniyle 2 aracın karıştığı bir trafik kazası meydana gelmiştir.



Şekil 2.14. Veri toplama esnasında Bölge 4.A’da Tip-2 hareket nedeniyle meydana gelen bir trafik kazası

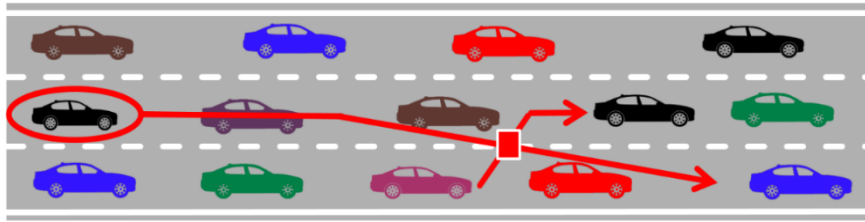
Yine video çekimler esnasında benzer bir Tip-2 harekette, Şekil 2.15’te verilen görselde 1 numaralı aracın ayrılma cebinden ayrılma amacı ile kontrolsüz şekilde sağında bulunan bir şeride geçmek istemesi nedeniyle Bölge 1.A’da bir trafik kazası meydana

gelmiştir. Kaza sonucunda arkadaki yol kesiminde kuyruklanma sebebi ile uzun süren gecikmeler meydana gelmiştir.



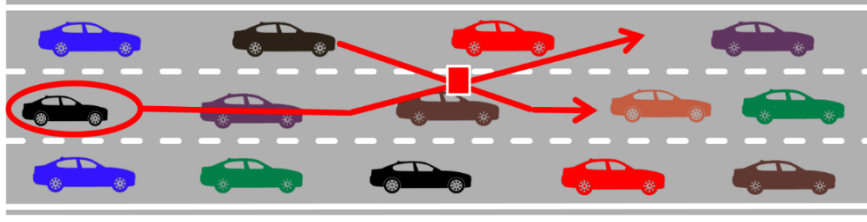
Şekil 2.15. Veri toplama esnasında Bölge 1.A'da Tip-2 hareket nedeniyle meydana gelen bir trafik kazası

Tip-3: Bir aracın bulunduğu şeridin daha sağında bulunan bir şeride geçmek amacıyla yaptığı tehlikeli şerit değiştirme hareketidir (Şekil 2.16). Sağ şeride yönelen bu aracın sağında yer alan bir şeritte bulunan diğer bir aracın da daha soldaki bir şeride geçmeye çalışması nedeniyle araçların aynı anda çapraz yönlü hareket etmesi sonucu kazalar meydana gelebilmektedir.



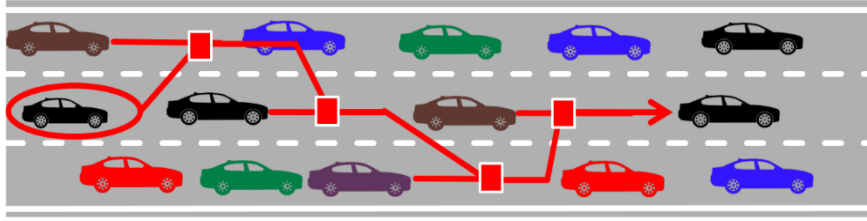
Şekil 2.16. Tip-3 harekete ait şematik görsel

Tip-4: Bir aracın bulunduğu şeridin daha solunda yer alan bir şeride geçmek amacıyla yaptığı tehlikeli şerit değiştirme hareketidir (Şekil 2.17). Sol şeride yönelen bu aracın solunda yer alan bir şeritte bulunan diğer bir aracın da daha sağdaki bir şeride geçmeye çalışması nedeniyle araçların aynı anda çapraz yönlü hareket etmesi sonucu kazalar meydana gelebilmektedir.



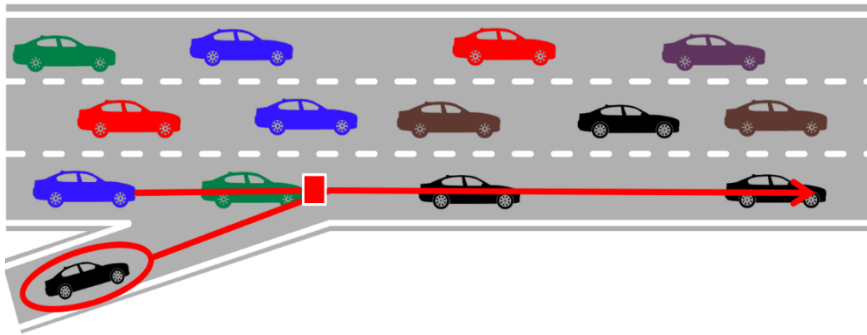
Şekil 2.17. Tip-4 harekete ait şematik görsel

Tip-5: Bir aracın herhangi çok şeritli bir yolda daha hızlı hareket etmek ya da diğer araçlar arasındaki boşluktan tehlikeli şekilde geçerek tatmin olmak amacıyla yaptığı birden fazla şerit değişikliği hareketidir (Şekil 2.18). Bu şerit değişiklikleri diğer araçları da şerit değişikliği yapmaya yönlendirmenin yanı sıra bazı durumlarda grup olarak yavaşlama ve karmaşaya neden olarak trafik kazalarının oluşumunu tetikleyebilmektedir.



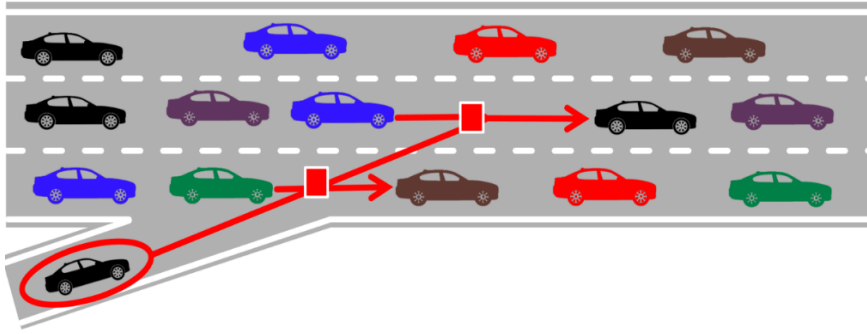
Şekil 2.18. Tip-5 harekete ait şematik görsel

Tip-6: Bir aracın sağ taraftan gelen bir katılma şeridinden en sağ şeritten ana yola katıldığı hareket tipidir (Şekil 2.19). Ana yola katılan aracın ana yoldan gelen diğer araçları kontrol etmeden aniden katılması durumunda ana yoldaki araçlarda frenleme veya şerit değişikliği gözlenerek hem gecikmeler hem de trafik kazaları meydana gelebilmektedir.



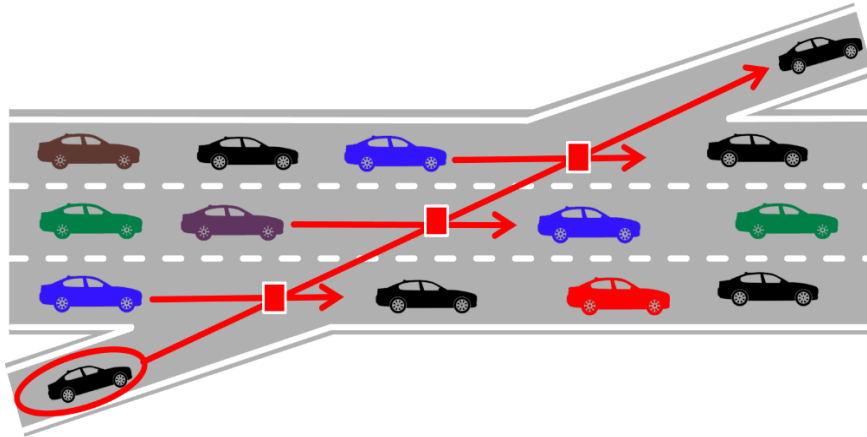
Şekil 2.19. Tip-6 harekete ait şematik görsel

Tip-7: Bir aracın sağı taraftan gelen bir katılma yolundan katılıp ardından ani şerit değişikliği yaparak orta şeritlere geçtiği hareket tipidir (Şekil 2.20). Ana yola katılan bu aracın ana yoldan gelen araçları kontrol etmeden kontrolsüz şekilde katılımı ve ardından ani şerit değişikliği yapması ile ana yolda hareketine devam eden araçlarda bu tehlikeli durumdan kaçınmak için ani frenleme ya da şerit değişikliği hareketleri gözlenebilmektedir. Bu tehlikeli durum karmaşaya ve dolayısı ile kazalara neden olabilmektedir.



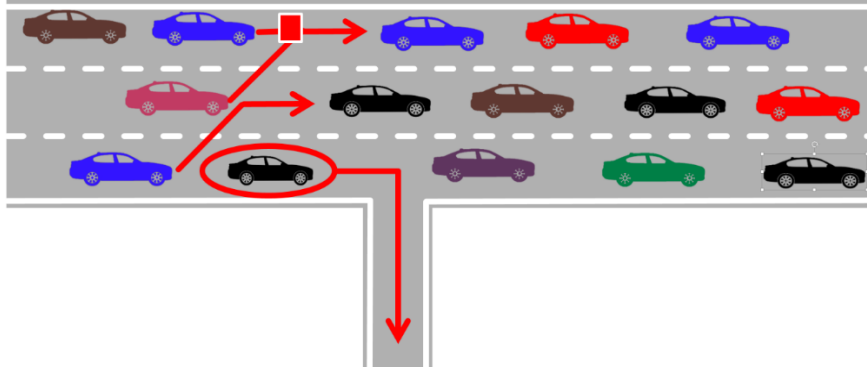
Şekil 2.20. Tip-7 harekete ait şematik görsel

Tip-8: Bir aracın sağı taraftan gelen bir katılma yolundan katılıp kısa sürede çok sayıda şerit değişiklikleri yaparak sol taraftaki ayrılma yolundan ayrıldığı hareket tipidir (Şekil 2.21). Katılma ve ayrılma yolları arası mesafenin yeterli olmadığı durumlarda aracın hızlı bir şekilde ana yola katılması, ivmelenmesi ve şerit değişikliği yaparak ayrılması gerekmektedir. Bu esnada ana yoldaki araçlar ile tehlikeli yakınlaşmalar gözlemlenebilmektedir.



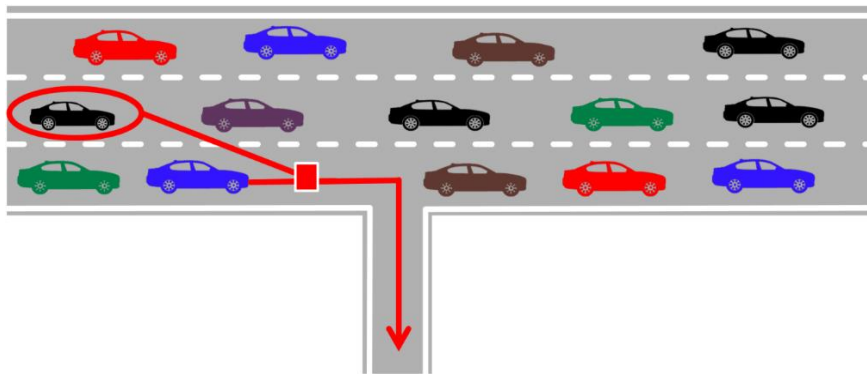
Şekil 2.21. Tip-8 harekete ait şematik görsel

Tip-9: Bir aracın herhangi bir şerit değişimi yapmadan yan yola ayrıldığı hareket tipidir (Şekil 2.22). Ayrılacak aracın yavaşlaması ve bu aracı takip eden diğer araçların beklemek istememesi nedeniyle soldaki diğer şeritlere geçmek için şerit değişikliği yapma eğiliminde olmaları nedeniyle şerit değiştirme karmaşası meydana gelebilmektedir.



Şekil 2.22. Tip-9 harekete ait şematik görsel

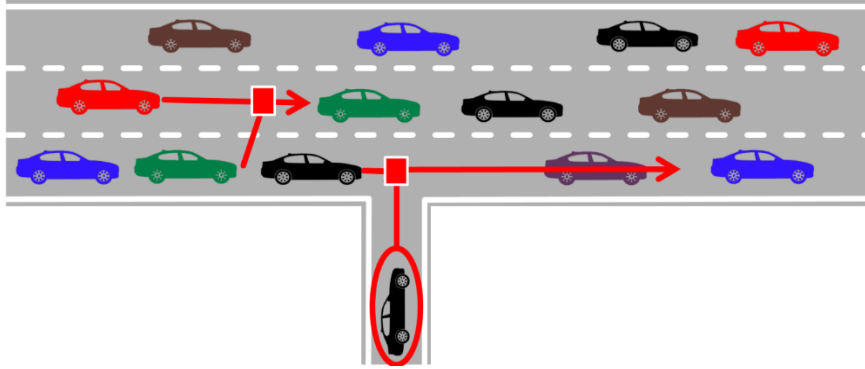
Tip-10: Bir aracın bir yan yola girmek amacıyla kısa bir mesafede çok sayıda şerit değişikliği yaptığı hareket tipidir (Şekil 2.23). Ayrılacak aracın yavaşlama ve şerit değiştirme isteği ilk bulunduğu şeritte arkasında bulunan araçlarda yavaşlama ve şerit değişikliği eğilimi oluşturacaktır. Bunun yanı sıra ilgili aracın şerit değişikliği sağında kalan şeritteki araçların önüne geçmesi anlamına gelip bir karmaşa doğuracaktır.



Şekil 2.23. Tip-10 harekete ait şematik görsel

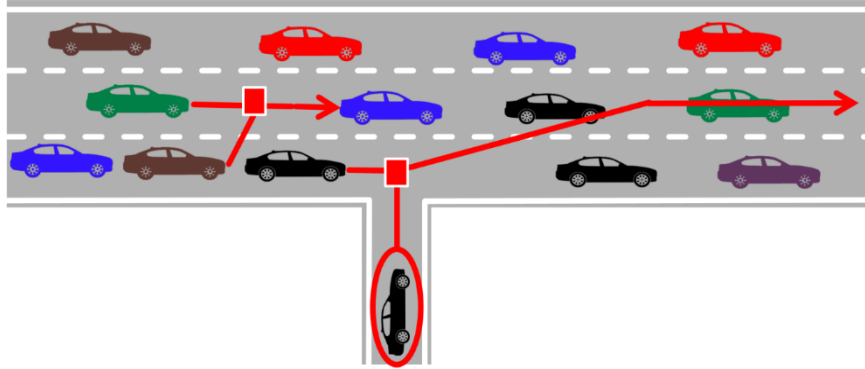
Tip-11: Bir aracın yan yoldan kontrolsüz ve gelen akımı kesecek şekilde ana yola katılıp şerit değiştirmeden devam ettiği hareket tipidir (2.24). Bu esnada ana yoldaki

araçlarda yavaşlama veya şerit değişikliği gerekliliği ortaya çıkabilmekte ve bu durum diğer şeritlerdeki araç hareketlerini olumsuz şekilde etkileyebilmektedir.



Şekil 2.24. Tip-11 harekete ait şematik görsel

Tip-12: Bir aracın yan yoldan ana yola kontrolsüz ve gelen akımı kesecek şekilde katılması ve sonrasında hızlı şekilde çok sayıda şerit değişikliği yaptığı hareket tipidir (2.25). Bu hareket tipinde yan yoldan katılan aracın hızlanması ve şerit değiştirmesi sırasında geçtiği şeritlerde arkasında kalan araçlarda yavaşlama ve şerit değişikliği eğilimi nedeniyle çok sayıda karmaşa meydana gelebilmektedir.

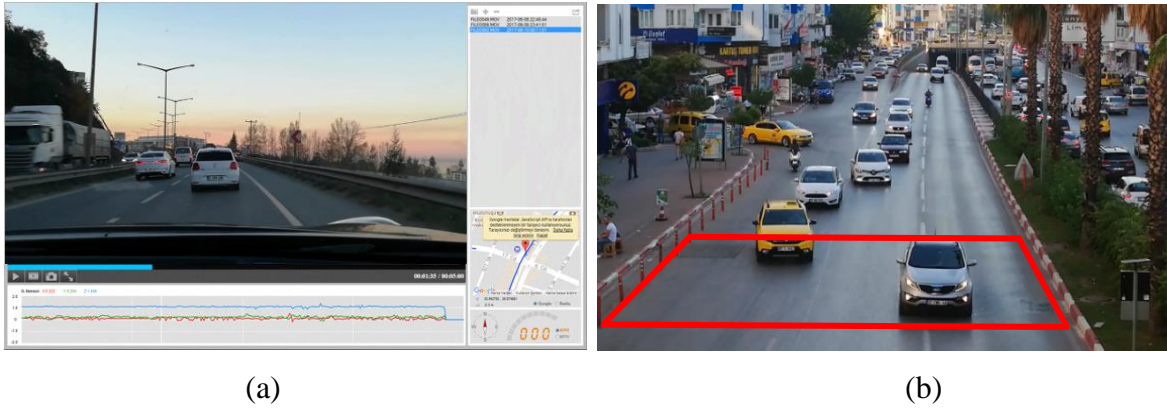


Şekil 2.25. Tip-12 harekete ait şematik görsel

2.3. Örülme Alanlarındaki Gecikme, Ortalama Araç Hızları ve Şerit Değiştirme Sayılarının Belirlenmesi

Saha gözlemleri ve video kayıtları ile toplanarak bilgisayar ortamına aktarılarak sayısal formata dönüştürülen veriler ve saha uygulamaları ile her bir örülme alanı için gecikme, ortalama araç hızları ve şerit değiştirme sayıları belirlenmiştir.

Bu kapsamda örülmeye bağlı gecikme değerleri ve örülme alanındaki araç hızları hem video kamera kayıtları detaylı olarak incelenerek hem de gezgin araç tekniği kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 2.26). Bu amaçla tüm örülme alanlarındaki ortalama gecikme ve hız değerleri en az 2 aracın 25 geçişi ve sahadan rastgele seçilen ve görüntüleri detaylı olarak izlenen minimum 100 aracın hızlarının ve gecikme değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Gezgin araç yönteminde araca GPS özelliği bulunan araç içi kameralar yerleştirilmiş ve kamera takılan gözlem araçlarının belirlenen örülme bölgelerinden rastgele geçişlerine ait yolculuk süreleri, araçların hızları ve gecikmelerine ait veriler elde edilmiştir. Hem gezgin araç yöntemi hem de kameralar aracılığı ile hesaplanan veriler ile trafik akım farklılığının sebep olacağı sapmaların önüne geçilmiş ve iki yöntem birlikte kullanılarak değer farklılıklarının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Analizler kapsamında şerit değiştirme sayıları, verilerin kolay şekilde hesaplanabilir olması sebebiyle video kamera kayıtlarının detaylı olarak incelenmesinden elde edilmiştir.



Şekil 2.26. Gecikme ve ortalama hızların (a) GPS özelliği bulunan araç içi kamerası ve (b) video kamera yardımıyla elde edilen görsellerin analizi ile belirlenmesi

2.4. Mevcut Şerit Değiştirme Sayısı ve Ortalama Araç Hızı Hesap Yöntemleri

Tez çalışması kapsamında incelenen örülme alanlarından elde edilen veriler ışığında gecikme, ortalama araç hızları ve şerit değiştirme sayılarının belirlenebilmesi amacıyla hesap metotları önerilmesi amaçlanmaktadır. Mevcut literatür incelendiğinde HCM (2010)'un örülme alanındaki minimum şerit değiştirme oranı ve örülme alanında şerit değiştiren ya da değiştirmeyen araçların ortalama hızlarının hesaplanmasına yönelik yaygın şekilde kullanılan hesap yöntemleri önerdiği görülmektedir. Çalışma kapsamında önerilen ortalama hız ve şerit değiştirme sayıları HCM (2010) tarafından önerilen bu iki hesap

yöntemi temel olarak Türkiye’deki duruma özgü olarak önerilmiştir. Çalışmada ayrıca HCM (2010) tarafından örülme alanlarındaki gecikmeleri hesaplamak için önerilen bir gecikme hesap yöntemi olmadığından örülmeden kaynaklı araç başına düşen ortalama gecikmeyi hesaplamak için yeni bir hesap yöntemi de geliştirilmiştir.

2.4.1. Örülme Alanındaki Minimum Şerit Değiştirme Oranının Hesaplanması

Belirlenen örülme bölgelerindeki şerit değiştirmeler hem video çekimlerin incelenmesi ile belirlenecek hem de HCM (2010) tarafından önerilen tek kenarlı ve çift kenarlı örülme alanları için Eşitlik 2.1 ve 2.2 kullanılarak hesaplanacaktır. Hesaplanan bu değerler karşılaştırılarak HCM (2010) tarafından önerilen eşitliğin incelenen alanlardaki durumu yansıtıp yansıtamama durumu belirlenecektir. Minimum şerit değiştirme oranları, tek kenarlı olması durumu için Eşitlik 2.1, iki kenarlı olması durumu içinse Eşitlik 2.2 yardımıyla hesaplanacaktır.

$$LC_{min} = (LC_{RF} \times v_{RF}) + (LC_{FR} \times v_{FR}) \quad (2.1)$$

$$LC_{min} = LC_{RR} \times v_{RR} \quad (2.2)$$

Bu eşitlikte;

LC_{min} : Örülme alanında başarılı şekilde tamamlanan min. şerit değiştirme oranı (şerit değiştirme/sa),

LC_{RF} : Katılım şeridinden ana yola başarılı şekilde yapılan min. şerit değiştirme sayısı,

LC_{FR} : Ana yoldan ayrılma şeridine başarılı şekilde yapılan min. şerit değiştirme sayısı,

LC_{RR} : Katılım şeridinden ayrılma şeridine başarılı şekilde yapılan min. şerit değiştirme sayısı,

v_{RF} : Örülme alanında katılım şeridinden ana yola olan akım oranı talebi (taşıt/sa),

v_{FR} : Örülme alanında ana yoldan ayrılma şeridine olan akım oranı talebi (taşıt/sa),

v_{RR} : Örülme alanında katılım şeridinden ayrılma şeridine olan akım oranı talebidir (taşıt/sa).

2.4.2. Örölme Alanında Şerit Değiştiren ya da Değiştirmeyen Araçların Ortalama Hızlarının Hesaplanması

Örölme alanında şerit değiştiren ve değiştirmeyen araçların ortalama hızları araçların farklı parametrelerden etkilenmesi nedeniyle ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Örölme davranışı gerçekleştiren araçların ortalama hızı Eşitlik 2.3, gerçekleştirmeyerek hareketlerine düz devam eden araçların ortalama hızı Eşitlik 2.4 ile hesaplanmaktadır.

$$S_w = 15 + \frac{S_{max} - S_{min}}{1 + W} \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte;

S_w : Örölme alanındaki şerit değiştiren araçların ortalama hızı (mi/sa),

S_{max} : Örölme alanındaki araçların beklenen maksimum ortalama hızı (mi/sa),

S_{min} : Örölme alanındaki araçların beklenen minimum ortalama hızı (mi/sa),

W : Örölme yoğunluk faktörü (HCM Denklem 12-19).

$$S_{NW} = FFS - (0.0072 \times LC_{min} - (0.0048 \times \frac{v}{N})) \quad (2.4)$$

Bu eşitlikte;

S_{NW} : Örölme alanındaki şerit değiştirmeyen araçların ortalama hızı (mi/sa),

FFS : Serbest akım hızı (mi/sa),

LC_{min} : Örölme alanında başarılı şekilde tamamlanan minimum şerit değiştirme oranı (şerit değiştirme/sa),

v : Örölme alanındaki trafik hacmi (araç/sa),

N : Şerit sayısı.

2.5. Analizlerde Kullanılan Optimizasyon Yöntemleri

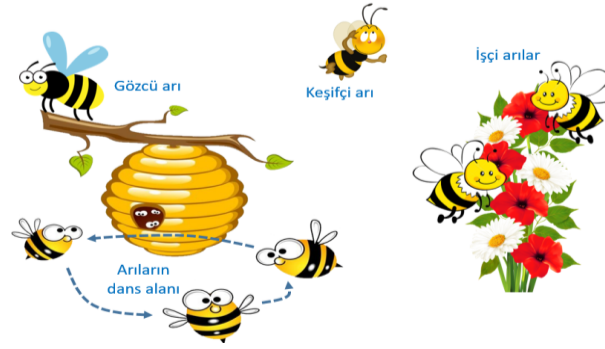
Bu tez kapsamında önceki bölümlerde detaylı olarak anlatılan örölme problemlerinin çözümüne yönelik pilot şehirler olarak seçilen Antalya ve Trabzon'daki şehiriçi yollarda örölme problemleri incelenmiştir. Örölme problemi olan yol kesimlerindeki şerit değiştirme oranını (LC_{min}) ve şerit değiştiren (S_w) ve değiştirmeyen araçlarda ortalama hızları (S_{NW})

hesaplamak için literatürde yaygın olarak HCM (2010) tarafından önerilen Eşitlik 2.2, Eşitlik 2.3 ve Eşitlik 2.4’de verilen hesap yöntemleri kullanılmaktadır. HCM (2010) tarafından önerilen şerit değiştirme oranı ve ortalama hız hesap yöntemlerinin efektif birçok parametreyi hesaba katmadığı ve dolayısıyla da önerdiği değerlerin Türkiye’deki örülme problemi olan bölgelerde şerit değiştirme sayısı ve ortalama hızları hesaplamada yetersiz kalacağı görülmüştür. Bu tez çalışması kapsamında ayrıca HCM (2010) tarafından örülme bölgelerinde gecikme hesabı için önerilmeyen bir gecikme (d) hesap yöntemi de önerilmiştir. Bu amaçla örülme bölgelerindeki saha verilerinden elde edilen parametreler kullanılarak Türkiye’ye özgü örülme bölgelerinde ortalama hız, şerit değiştirme sayısı ve gecikme hesabı için üç farklı (Yapay Arı Kolonisi, Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon ve Ateş Böceği Algoritması) optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu üç farklı optimizasyon yöntemi ile analizler yapılarak her bir hesap yöntemi için en küçük hata değerine sahip yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece optimizasyon yöntemlerinin önerilen hesap yöntemleri için performansları karşılaştırılmış ve her bir hesap yöntemi için en uygun optimizasyon algoritması belirlenmeye çalışılmıştır.

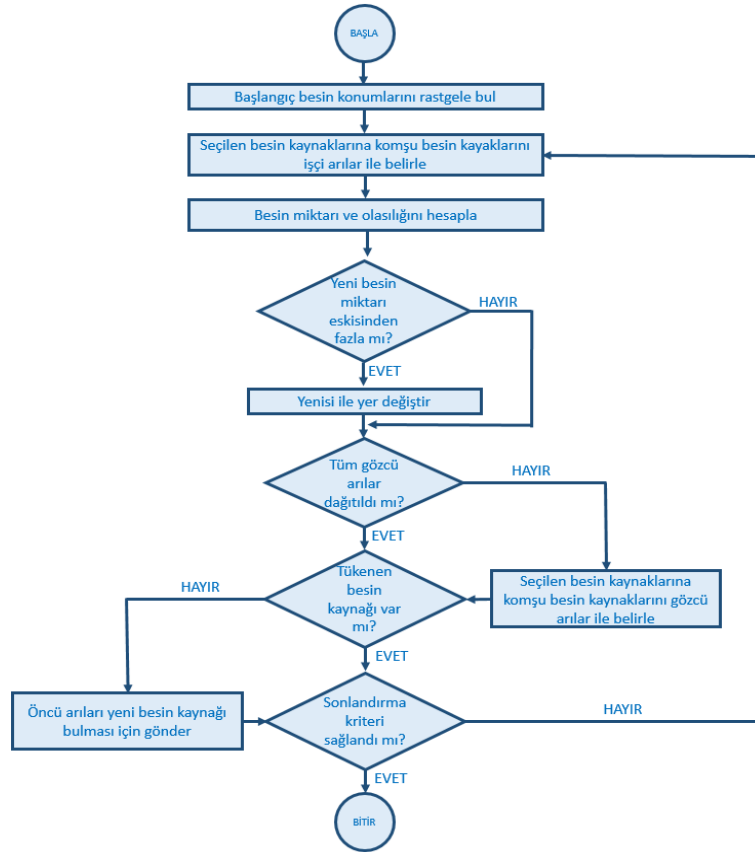
2.5.1. Yapay Arı Kolonisi (YAK) Optimizasyon Yöntemi

Yapay arı kolonisi (YAK) optimizasyon yöntemi 2005 yılında geliştirilmiş bir meta-sezgisel optimizasyon yöntemidir (Karaboğa, 2005; Karaboğa ve Baştürk, 2007). Yöntem temel olarak bal arısı topluluklarının karakteristik davranışlarını esas almaktadır. YAK optimizasyon yöntemine göre arılar işçi, gözcü ve keşifçi arılar olmak üzere üç farklı grupta sınıflandırılmıştır (Aydoğdu vd., 2016; Gökkuş vd., 2017). Bu üç tip arı grubundan ilki olan “işçi arılar” yiyecek kaynaklarına gidip yiyecekleri toplayarak yuvaya dönmektedir. Yuvaya dönen işçi arılar yuvadaki “gözcü arılara” waggle dansı olarak isimlendirilen hareketler yaparak, yiyecek kaynaklarının yeri ve mevcut yiyecek miktarları hakkında bilgi vermektedir. İkinci aşamada işçi arılardan almış oldukları bilgiler doğrultusunda gözcü arılar gidilecek yiyecek kaynağı konusunda karar vermektedir. Son gruptaki “keşifçi arılar” ise mevcut yiyecek kaynaklarından tükenenler yerine yeni kaynakları bulmak için çevreyi tarayarak yeni kaynak bulma arayışına girmektedir (Şekil 2.27). YAK optimizasyon yönteminin temel çalışma prensibi aşağıda maddeler halinde verilmektedir (Karaboğa ve Baştürk, 2007):

- i) Her bir arı tek bir yiyecek kaynağından besin aldığı için yiyecek kaynağı sayısı, işçi arı sayısı ve gözcü arı sayısı birbirine eşittir.
- ii) Yiyecek kaynağı tükendiğinde işçi arının keşifçi arıya dönüştüğü; keşifçi arının ise yeni bir yiyecek kaynağı bulduğu zaman ise işçi arıya dönüştüğü kabul edilir.
- iii) Başlangıçta yiyecek konumları rastgele arama ile belirlenmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.27. YAK optimizasyon yöntemine göre arıların (a) çalışma prensibi ve (b) akış şeması

YAK optimizasyon yönteminin temelinde dört faz bulunmaktadır (Aydoğdu vd., 2016). Bu aşamalar sırasıyla: Başlangıç fazı, işçi arılar fazı, gözcü arılar fazı ve keşifçi arılar fazıdır. Bu aşamaların ana amacı hesaplanan hataların minimize edilmesidir ve Eşitlik 2.5 ile ifade edilebilmektedir.

$$\text{Minimize ; } f(\vec{x}) = \sum_{i=1}^{V_s} ((R_t)_i - (P_t)_i)^2, \quad \vec{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n] \quad (2.5)$$

Bu eşitlikte;

- \vec{x} : Kullanılan ağırlık katsayıları vektörü (tasarım değişkenleri),
- D_s : Hata analizinde kullanılan veri sayısı,
- R_t : Gerçek değer,
- P_t : Tahmin edilen değer,
- n : Toplam ağırlık katsayısıdır.

İlk faz olan başlangıç fazında rastgele nesil kullanarak popülasyonun, x_p , $p = 1, \dots, np$ besin kaynaklarının tüm vektörlerinin başlatılmasıdır (Baştürk ve Karaboğa, 2006). Burada, np toplam popülasyon büyüklüğüdür yani yapay arıların toplam sayısıdır. Her bir besin kaynağı n değişken için bir çözüm vektörüdür. $(x_{pi}, i = 1, \dots, n)$ ve optimizasyon probleminin potansiyel bir çözümüdür (Eşitlik 2.6).

$$x_{pi} = x_{ij} + r(0, 1) \times (x_{ui} - x_{li}) \quad (2.6)$$

Bu eşitlikte;

- x_{li} ve x_{ui} : x_i ve r üzerindeki üst ve alt sınırlar,
- $r(0, 1)$: 0 ile 1 arasında üretilen rastgele değerlerdir.

İkinci faz olan işçi arılar fazında ise işçi arılar yeni besin kaynaklarını aşağıda verilen şekilde aramaktadır.

$$x_{pi} = x_{pi} + \varphi_{pi} (x_{pi} - x_{ki}) \quad (2.7)$$

Bu eşitlikte:

$k \neq i$: Rastgele seçilen besin kaynağı,

φ_{pi} : $[-1, 1]$ arasında üretilen rastgele bir sayıdır.

Yeni besin kaynağı (çözüm vektörü) üretildikten sonra uygunluğu hesaplanmaktadır. Eğer uygunluğu x_{pi} 'den daha iyiye yeni besin kaynağı eskisi ile yer değiştirmektedir. Besin kaynaklarının uygunluk değeri aşağıda verilen şekilde hesaplanmaktadır:

$$Uygunluk(x_p) = \begin{cases} \frac{1}{1 + f(x_p)} & \text{Eğer } f(x_p) \geq 0 \\ 1 + |(f(x_{pi}))| & \text{Eğer } f(x_p) < 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

Bu eşitlikte:

$f(x_p)$: Besin kaynağı x_p 'nin amaç fonksiyonudur.

Üç numaralı gözcü arılar fazında, işçi olmayan arılar gözcü ve keşifçi arılar olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. İşçi arılar besin kaynağı bilgisini gözcü arılara iletmektedir. Gözcü arılar popülasyondaki her bir besin kaynağının uygunluk değerleri kullanılarak hesaplanan Eşitlik 2.9'da verilen olasılık değerine (P_p) göre en uygun besin kaynağını seçmektedirler.

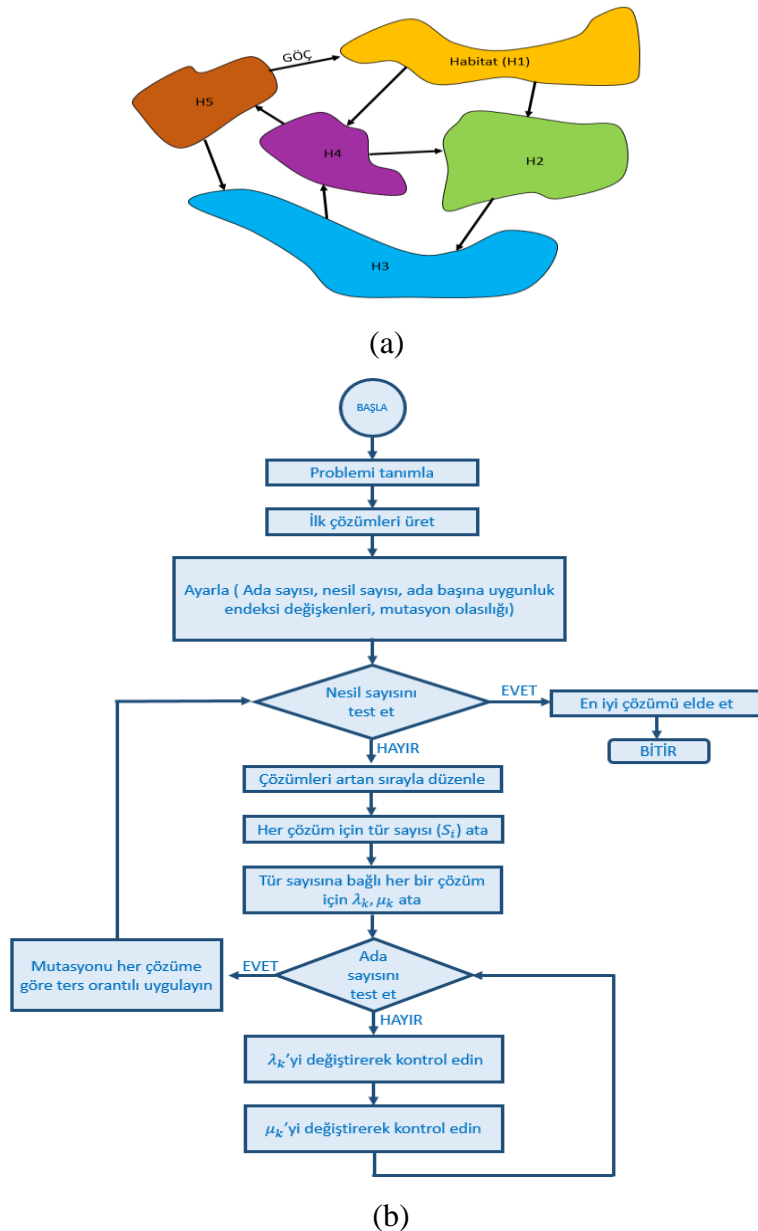
$$P_p = \frac{Uygunluk(x_p)}{\sum_{p=1}^{np} Uygunluk(x_p)} \quad (2.9)$$

Gözcü arı tarafından bir besin kaynağı x_{pi} seçildikten sonra, komşu besin kaynağı Eşitlik 2.7 ile belirlenerek besin kaynağının uygunluğu da Eşitlik 2.8 ile hesaplanmaktadır.

Son olarak keşifçi arılar fazında ise kendi besin kaynağını seçen ve işçi olmayan arılar keşifçi arılar olarak tanımlanmaktadır. Keşifçi arılar ve çözümlemelerinin ihmal edilmesi durumunda işçi arıların besin kaynağı çözümlemeleri belirli bir deneme sayısından sonra iyileşme görülmemektedir. Bu durum sonucu keşifçi arılar yeni çözümler için rastgele araştırmalara başlamaktadırlar.

2.5.2. Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BTO) Yöntemi

Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BTO) yöntemi, Dan Simon tarafından 2008’de doğadaki türlerin dağılımından yola çıkılarak geliştirilen yeni bir biyolojik çeşitlilik ve popülasyon tabanlı sezgisel optimizasyon tekniğidir (Simon, 2008). Algoritmada her muhtemel çözüm bir ada olarak tanımlanır. Her bir ada (çözüm) için, doğadaki türlerin dağılımı ve bu türlerin olası göç ve göçmen olan tutumları irdelenerek optimum sonuca ulaşılması amaçlanmaktadır (İnanç ve Karkuzu, 2014). BTO optimizasyon yönteminin temel çalışma prensibi ve akış şeması Şekil 2.28’de verilmiştir.



Şekil 2.28. BTO optimizasyon yöntemine ait çalışma prensibi ve akış şeması

BTO yönteminde her olası çözüm bir adadır ve uygunluk endeksi değişkenleri (U.E.D.) adı verilen yaşanabilirliği ifade eden özelliklere sahiptir. Her çözümün özüne de kendi yaşam uygunluğu endeksi (Y.U.E.) denir. BTO’da, bir yaşam ortamı (H), rastgele başlatılan habitattaki canlı sayısı N ’nin bir vektörüdür. Hedefe ulaşmak için asgari göç ve mutasyon adımı takip edilmektedir (Simon D. 2008; İnanç ve Karakuzu, 2014). Göç hareketi sergileyen canlılar dış etkilere maruz kalarak değişim geçirirler. Göç ederek değişen popülasyon değişen çözüm, göç alan habitat ise referans çözüm olarak adlandırılmaktadır. Her çözümün referans çözüm olma ihtimali habitatın göç alma olasılık oranına bağlı olarak Eşitlik 2.10’da verilen formül ile hesaplanır.

$$P(x_j) = \frac{\mu_j}{\sum_{i=1}^N \mu_i}; \quad j=1,..., PS \quad (2.10)$$

Bu eşitlikte;

- N : Habitattaki canlı sayısı,
- μ_j : Göç verme katsayısı,
- P : Popülasyon,
- PS : Popülasyon sayısı.

Bireyler göç hareketiyle birlikte çevresel etkilerle mutasyona uğrarlar. Mutasyon ile üretilen rastgele sayısının daha önce belirlenen mutasyon oranından küçük olması durumunda gerçekleşmektedir. Bireyin mutasyona uğraması durumunda değişen çözümün tasarım değişkeni Eşitlik 2.11 ile belirlenmektedir.

$$x_i = x_{li} + rand(0,1) (x_{ui} - x_{li}); \quad i = 1,..., PS \quad (2.11)$$

Bu eşitlikte;

- $rand(0,1)$:0 ile 1 arasında rastgele bir değer atayan fonksiyon,
- x_i : Mutasyona uğrayan çözümün tasarım değişkeni,
- x_{ui} : Değişken alt dizayn limiti,
- x_{li} : Değişken üst dizayn limiti,
- PS : Popülasyon sayısı.

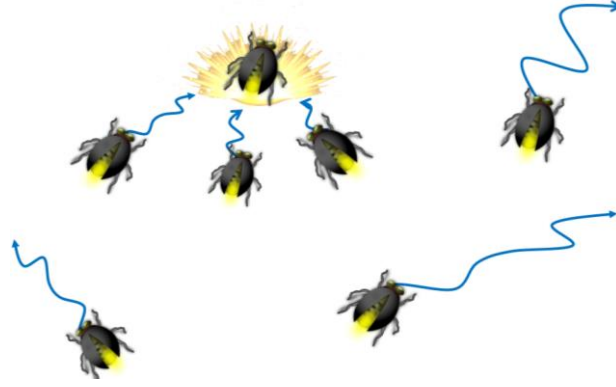
Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon yönteminin algoritması ise aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir. Bu yöntemle göre:

- İlk olarak olası her bir yaşam türünün sayısı ve rastgele bir başlangıç popülasyonu sayısı belirlenerek popülasyondaki her bir birey için uygunluğu denetlenir.
- Sonraki adımda sonlandırma kriterinin sağlanmaması durumunda en iyi birey kaydedilir.
- Üçüncü adımda göçmenlik ve göç oranlarına bağlı olarak popülasyondaki bireyler belirlenerek göç ettirilir.
- En son adımda ise mutasyon ile popülasyon güncellenerek uygunluklar denetlenir ve en iyi birey ve uygunluk kaydedilerek en düşük hataya ulaşılmaya çalışılır.

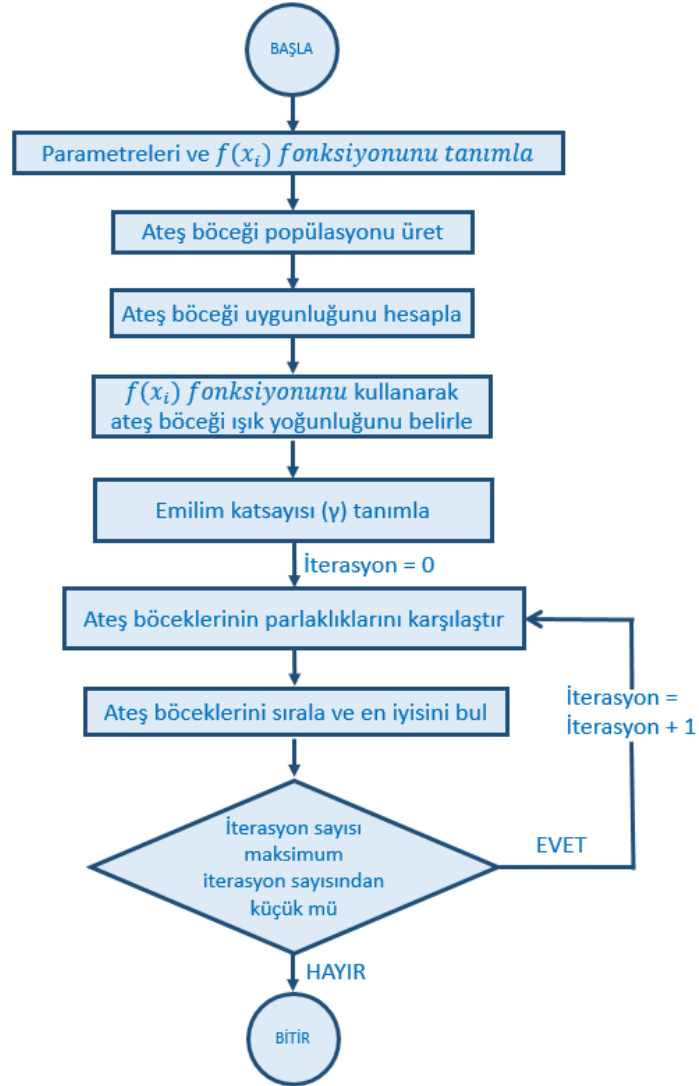
2.5.3. Ateş Böceği Algoritması (ABA) Optimizasyon Yöntemi

Ateş Böceği Algoritması, Xin-She Yang tarafından 2008 yılında geliştirilen bir sürü tabanlı sezgisel optimizasyon yöntemidir (Yang, 2010; Apostolopoulos ve Vlachos, 2011). Bu yöntem ateş böceklerinin parlaklığa duyarlı sosyal davranışlarından yola çıkarak geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ateş böceklerinin cinsiyetini göz ardı ederek çalışmakta olup algoritmaya göre tüm ateş böcekleri birbirine yönelebilmekte ve burada da parlaklık durumu belirleyici etken olmaktadır. Böylece daha az parlak olan ateş böcekleri daha çok parlak olan ateş böceklerine yönelmektedir.

Uzaklık durumu da bu yöntemde belirleyici parametre olup uzaklık arttıkça parlaklık azalacak bu durumda da etkileşim azalacaktır. Ayrıca bir ateş böceği kendinden daha parlak bir ateş böceği bularak ona yönelmezse Şekil 2.29'da de görüldüğü üzere rastgele bir hareket sergileyecektir. ABA optimizasyon yönteminin temel çalışma prensibi ve akış şeması Şekil 2.29'da verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.29. ABA optimizasyon yöntemine göre ateş böceklerinin çalışma prensibi ve akış şeması

Ateş Böceği Algoritması yönteminde öncelikli olarak rastgele çözüm kümeleri oluşturulur. Burada çözüm kümeleri parametre sayısı kadar eleman içermektedir. Ardından tüm çözüm kümelerinin uygunluk değerleri bulunup sırayla iyileştirme formülü uygulanarak maksimum iterasyona ulaşınca kadar bu işlem devam eder (Yang, 2010; Apostolopoulos ve Vlachos, 2011). Uygunluk değeri bulunduktan sonra her çözüm kümesi için parametre boyutu kadar rastgele çözüm kümeleri oluşturulur. Oluşturulan kümelere sırayla geliştirme formülü uygulanarak ateş böceklerinin birbirlerini kontrolü sağlanır. Bu adımda hareket eden ateş böceği kontrol ettiği ateş böceği kendinden daha parlak ise ona doğru, eğer değilse rastgele hareket gerçekleştirir. Bu işleme ait uzunluk hesabı formülü Eşitlik 2.12’de verilmektedir.

$$r_{ij} = ||x_i - x_j|| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (2.12)$$

Bu eşitlikte;

- r_{ij} : i ve j ateşböceği arasındaki uzaklık,
- d : Parametre boyutu,
- k : Parametre indeksi,
- $x_{i,k}$: i. Ateş böceğinin çözüm kümesinin k. parametresi,
- $x_{j,k}$: j. Ateş böceğinin çözüm kümesinin k. parametresidir.

Işık yoğunluğunun belirlenmesine ait eşitlik ise aşağıda verilmektedir.

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (2.13)$$

Bu eşitlikte;

- r : Uzaklık değeri,
- I_0 : Işık yoğunluğu,
- γ : Sabit emilim katsayısıdır.

Ateş böceğinin çekiciliği ise Eşitlik 2.14 ile hesaplanmaktadır.

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (2.14)$$

Bu eşitlikte;

- β : Ateş böceği çekiciliği,
- β_0 : Ateş böceğinin parlaklığı yani uygunluk değeridir,
- r : Uzaklık değeri,
- γ : Sabit emilim katsayısıdır.

Ateş böceğinin daha parlak ateş böceğine doğru hareketi ait eşitlik ise aşağıdaki gibidir.

$$x_{i,k} = x_{i,k} + \beta (x_{j,k} - x_{i,k}) + \alpha \epsilon_{i,k} \quad (2.15)$$

Bu eşitlikte;

- β : Ateş böceğinin çekiciliği,
- i : Seçilen ateş böceğinin indeksi,
- j : Parlaklığı kontrol edilecek ateş böceğinin indeksi,
- k : Seçilen parametre indeksi,
- $x_{i,k}$: i. Ateş böceğinin k. parametre değeri,
- $x_{j,k}$: j. Ateş böceğinin k. parametre değeri,
- α : Rastlantı değişkeni,
- ϵ_i : [-0.5,0.5] aralığında rastgele bir sayı.

Ateş böceğinin hareketi ise Eşitlik 2.16 ile hesaplanmaktadır.

$$x_{i,k} = x_{i,k} + \alpha \epsilon_{i,k} \quad (2.16)$$

Bu eşitlikte;

- β : Ateş böceğinin çekiciliği,
- i : Seçilen ateş böceğinin indeksi,

- k : Seçilen parametre indeksi,
 $x_{i,k}$: i. Ateş böceğinin k. Parametre değeri,
 α : Rastlantı değişkeni,
 ε_i : [-0.5,0.5] aralığında rastgele bir sayıdır.

Bu bölümde sadece analizlerde kullanılan üç farklı optimizasyon yönteminin temel özellikleri anlatılmıştır. Bu yöntemlere ait hesaplamalarda kullanılan değerler Bölüm 3.4.'de detaylı olarak verilmektedir.

2.6. Analizlerde Kullanılan Hata Yöntemleri

Optimizasyon analizleri ile ortalama hız, araç başına ortalama gecikme ve araç başına ortalama şerit değiştirme sayısı hesap yöntemlerinin geliştirilmesi amacıyla yukarıda da detaylı olarak anlatıldığı gibi 3 farklı meta-sezgisel optimizasyon yöntemi (Yapay Arı Kolonisi, Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon ve Ateş Böceği Algoritması) kullanılacaktır. Her bir hesap yöntemi için en doğru eşitliğin belirlenebilmesi amacıyla kullanılan üç farklı optimizasyon yöntemine ait hata verileri incelenecektir.

Bu kapsamda optimizasyon yöntemlerinin önerdiği sonuçlar ile gerçek saha verileri kıyaslanarak en düşük hata değerine sahip optimizasyon yönteminin önerdiği hesap yöntemi çalışmada önerilecektir. Gerçek değerler ile optimizasyon yöntemlerinin önerdiği değerler arasındaki farklılıklar aşağıda verilen dört farklı hata yöntemi (MAE, MSE, RMSE, MAPE) ile ölçülmüştür. Seçilen bu ölçüm yöntemlerine ait Eşitlikler (Eşitlik 2.17-2.20) aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

a-) Ortalama Mutlak Yüzdesel Hata (Mean Absolute Percentage Error – MAPE)

$$MAPE (\%) = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|}{n} \times 100 \quad (2.17)$$

b-) Ortalama Mutlak Hata (Average Absolute Error – AAE)

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (2.18)$$

c-) Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (Root Mean Square Error – RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (2.19)$$

d-) Karesel Ortalama Hata (Mean Square Error – MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (2.20)$$

Bu eşitlikte;

A_t : Gerçek değer,

F_t : Tahmin edilen değer,

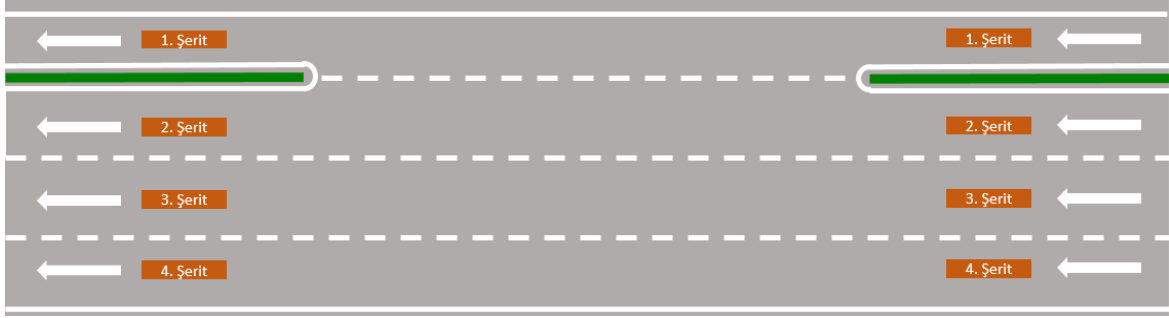
n : Gözlem sayısı,

\bar{A}_t : Gerçek değerlerin ortalaması,

\bar{F}_t : Tahmin edilen değerlerin ortalamasıdır.

| Konum | Şerit No | Araç Tip No | | | | | | | Genel Toplam (Araç) | Hacim (araç/sa) |
|--------------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|-----------------|
| | | Tip-1 | Tip-2 | Tip-3 | Tip-4 | Tip-5 | Tip-6 | Tip-7 | | |
| Bölge Girişi | 1 | 895 | 65 | 30 | 4 | 64 | 50 | 8 | 4605 | 1116 |
| | 2 | 1208 | 116 | 32 | 13 | 47 | 83 | 11 | | 1511 |
| | 3 | 1652 | 176 | 32 | 18 | 41 | 35 | 1 | | 1955 |
| Bölge Çıkışı | 1 | 1054 | 77 | 24 | 22 | 44 | 35 | 1 | 4632 | 1257 |
| | 2 | 179 | 26 | 14 | 1 | 34 | 44 | 16 | | 313 |
| | 3 | 989 | 103 | 30 | 13 | 46 | 63 | 3 | | 1246 |
| | 4 | 1556 | 156 | 28 | 18 | 32 | 24 | 1 | | 1815 |

Bölge 1: Örülme Alanı 1.B

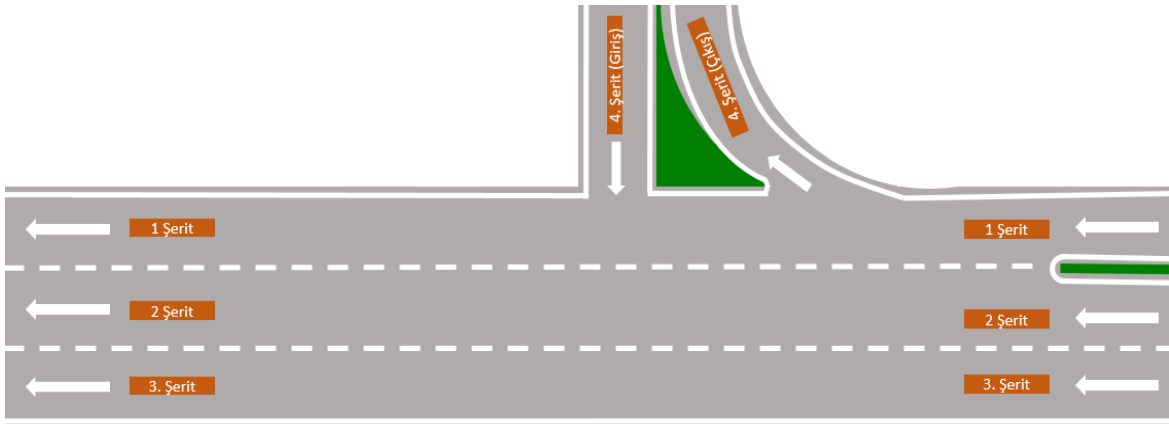


Şekil 3.2. Seçilen 1.B numaralı örülme alanının bulunduğu yol kesimine ait şematik görsel

Tablo 3.2. 1.B numaralı bölgeye ait trafik akım karakteristikleri

| Konumu | Şerit No | Araç Tip No | | | | | | | Genel Toplam (Araç) | Hacim (araç/saat) |
|--------------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|-------------------|
| | | Tip-1 | Tip-2 | Tip-3 | Tip-4 | Tip-5 | Tip-6 | Tip-7 | | |
| Giriş Şeridi | 1 | 1077 | 71 | 13 | 19 | 38 | 27 | 0 | 4255 | 1051 |
| | 2 | 269 | 41 | 17 | 5 | 24 | 43 | 11 | | 410 |
| | 3 | 921 | 110 | 26 | 19 | 35 | 57 | 3 | | 865 |
| | 4 | 1251 | 104 | 24 | 14 | 21 | 13 | 1 | | 1173 |
| Çıkış Şeridi | 1 | 489 | 37 | 17 | 21 | 14 | 18 | 0 | 4289 | 497 |
| | 2 | 599 | 63 | 10 | 5 | 47 | 40 | 9 | | 595 |
| | 3 | 1103 | 118 | 24 | 18 | 37 | 66 | 5 | | 773 |
| | 4 | 1355 | 118 | 26 | 14 | 24 | 13 | 1 | | 1370 |

Bölge 2: Örülme Alanı 2

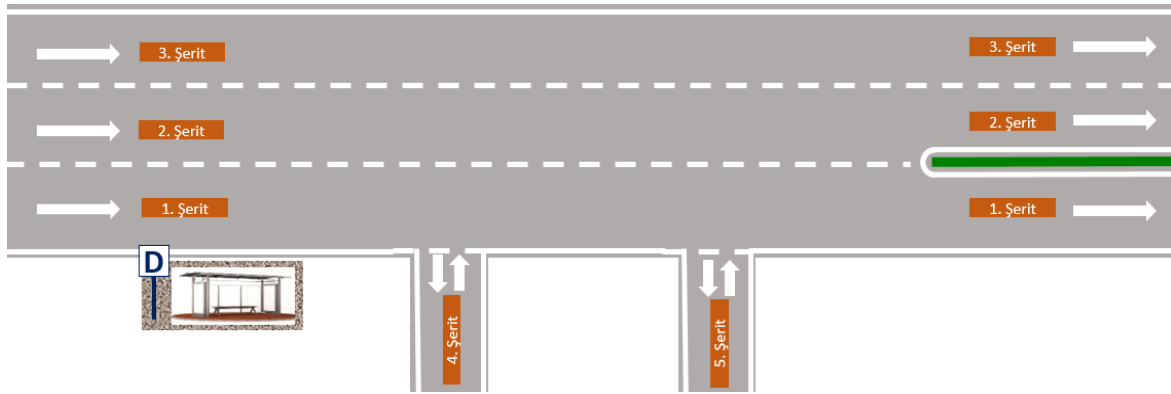


Şekil 3.3. Seçilen 2 numaralı örülme alanının bulunduğu yol kesimine ait şematik görsel

Tablo 3.3. 2 numaralı bölgeye ait trafik akım karakteristikleri

| Konumu | Şerit No | Araç Tip No | | | | | | | Toplam (araç) | Hacim (araç/saat) |
|--------------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------------------|
| | | Tip-1 | Tip-2 | Tip-3 | Tip-4 | Tip-5 | Tip-6 | Tip-7 | | |
| Giriş Şeridi | 1 | 613 | 49 | 5 | 20 | 16 | 0 | 0 | 3607 | 704 |
| | 2 | 887 | 84 | 10 | 57 | 26 | 0 | 0 | | 1064 |
| | 3 | 1389 | 82 | 12 | 0 | 19 | 0 | 0 | | 1502 |
| | 4 | 307 | 19 | 0 | 1 | 13 | 0 | 0 | | 340 |
| Çıkış Şeridi | 1 | 72 | 12 | 4 | 76 | 3 | 0 | 0 | 3632 | 167 |
| | 2 | 1370 | 123 | 10 | 2 | 45 | 0 | 0 | | 1552 |
| | 3 | 1521 | 96 | 13 | 0 | 20 | 0 | 0 | | 1651 |
| | 4 | 238 | 18 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | | 264 |

Bölge 3: Örülme Alanı 3

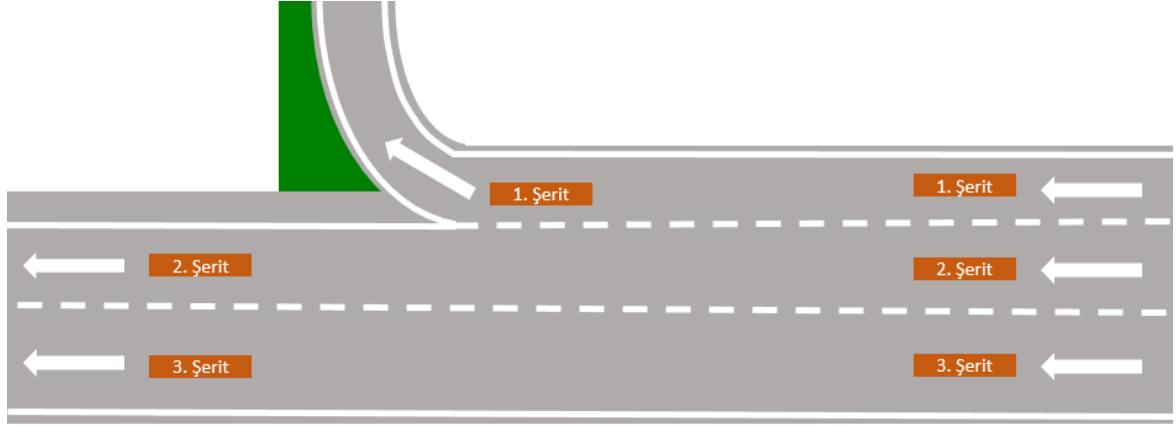


Şekil 3.4. Seçilen 3 numaralı örülme alanının bulunduğu yol kesimine ait şematik görsel

Tablo 3.4. 3 numaralı bölgeye ait trafik akım karakteristikleri

| Konum | Şerit No | Araç Tip No | | | | | | | Toplam (araç/saat) | Hacim (araç/saat) |
|--------------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------------------|
| | | Tip-1 | Tip-2 | Tip-3 | Tip-4 | Tip-5 | Tip-6 | Tip-7 | | |
| Giriş Şeridi | 1 | 50 | 7 | 3 | 81 | 1 | 0 | 0 | 3647 | 142 |
| | 2 | 1398 | 132 | 16 | 4 | 42 | 0 | 0 | | 1597 |
| | 3 | 1703 | 122 | 17 | 2 | 30 | 0 | 0 | | 1876 |
| | 4 | 33 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | | 38 |
| | 5 | 23 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | | 29 |
| Çıkış Şeridi | 1 | 866 | 42 | 2 | 44 | 13 | 0 | 0 | 3625 | 970 |
| | 2 | 774 | 109 | 16 | 28 | 32 | 0 | 0 | | 963 |
| | 3 | 1503 | 103 | 13 | 14 | 23 | 0 | 0 | | 1658 |
| | 4 | 34 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | | 40 |
| | 5 | 30 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | | 37 |

Bölge 4: Örülme Alanı 4.A

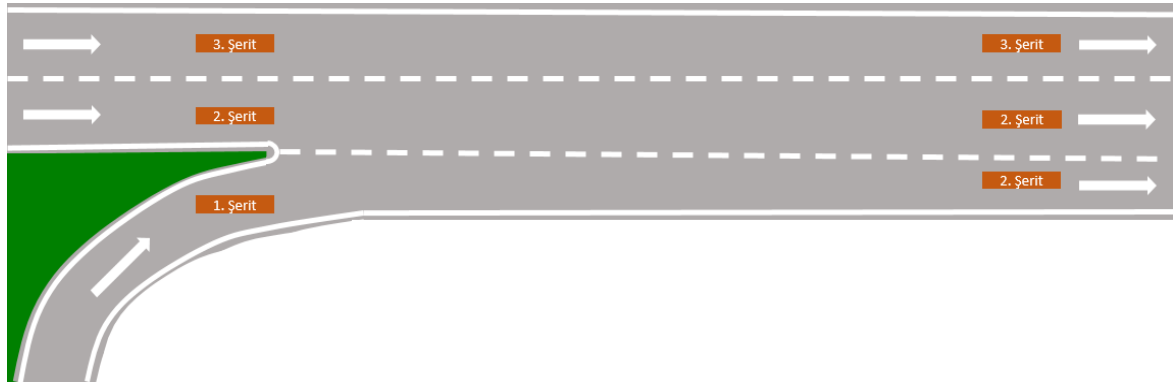


Şekil 3.5. Seçilen 4.A numaralı örülme alanının bulunduğu yol kesimine ait şematik görsel

Tablo 3.5. 4.A numaralı bölgeye ait trafik akım karakteristikleri

| Konumu | Şerit No | Araç Tip No | | | | | | | Toplam (araç) | Hacim (araç/saat) |
|--------------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------------------|
| | | Tip-1 | Tip-2 | Tip-3 | Tip-4 | Tip-5 | Tip-6 | Tip-7 | | |
| Giriş Şeridi | 1 | 203 | 53 | 2 | 2 | 15 | 1 | 0 | 1221 | 276 |
| | 2 | 265 | 130 | 12 | 12 | 29 | 7 | 2 | | 457 |
| | 3 | 350 | 64 | 2 | 8 | 41 | 22 | 1 | | 488 |
| Çıkış Şeridi | 1 | 258 | 40 | 1 | 1 | 19 | 1 | 0 | 1206 | 319 |
| | 2 | 208 | 139 | 13 | 13 | 22 | 6 | 2 | | 403 |
| | 3 | 347 | 66 | 3 | 2 | 44 | 20 | 2 | | 484 |

Bölge 4: Örülme Alanı 4.B

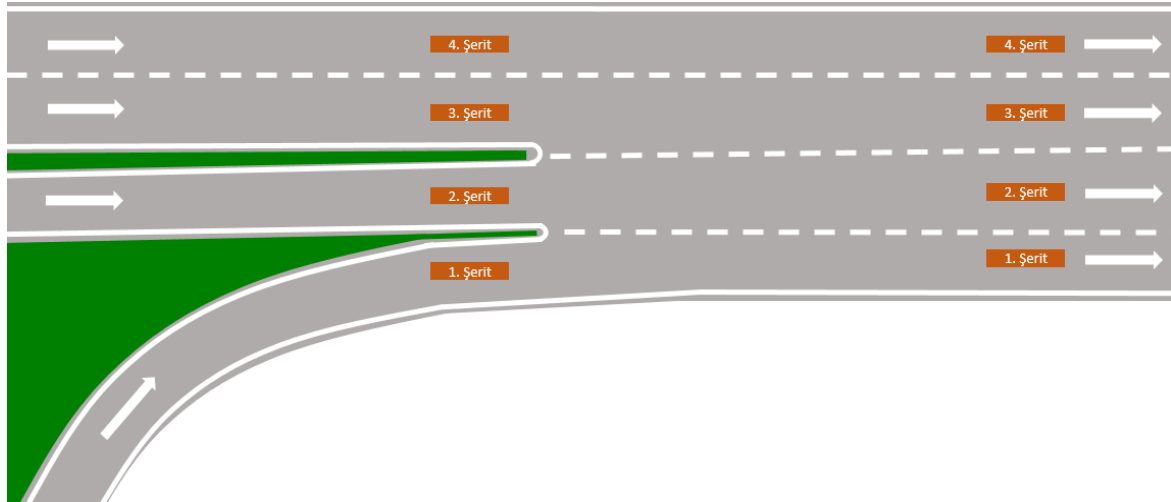


Şekil 3.6. Seçilen 4.B numaralı örülme alanının bulunduğu yol kesimine ait şematik görsel

Tablo 3.6. 4.B numaralı bölgeye ait trafik akım karakteristikleri

| Konumu | Şerit No | Araç Tip No | | | | | | | Toplam (araç) | Hacim (araç/saat) |
|--------------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------------------|
| | | Tip-1 | Tip-2 | Tip-3 | Tip-4 | Tip-5 | Tip-6 | Tip-7 | | |
| Giriş Şeridi | 1 | 423 | 121 | 4 | 10 | 24 | 5 | 0 | 1449 | 587 |
| | 2 | 234 | 143 | 11 | 14 | 24 | 6 | 2 | | 434 |
| | 3 | 300 | 61 | 2 | 2 | 38 | 21 | 2 | | 427 |
| Çıkış Şeridi | 1 | 316 | 172 | 6 | 15 | 19 | 2 | 0 | 1437 | 532 |
| | 2 | 378 | 91 | 5 | 10 | 31 | 10 | 2 | | 527 |
| | 3 | 260 | 58 | 4 | 2 | 32 | 19 | 3 | | 378 |

Bölge 5: Örülme Alanı 5

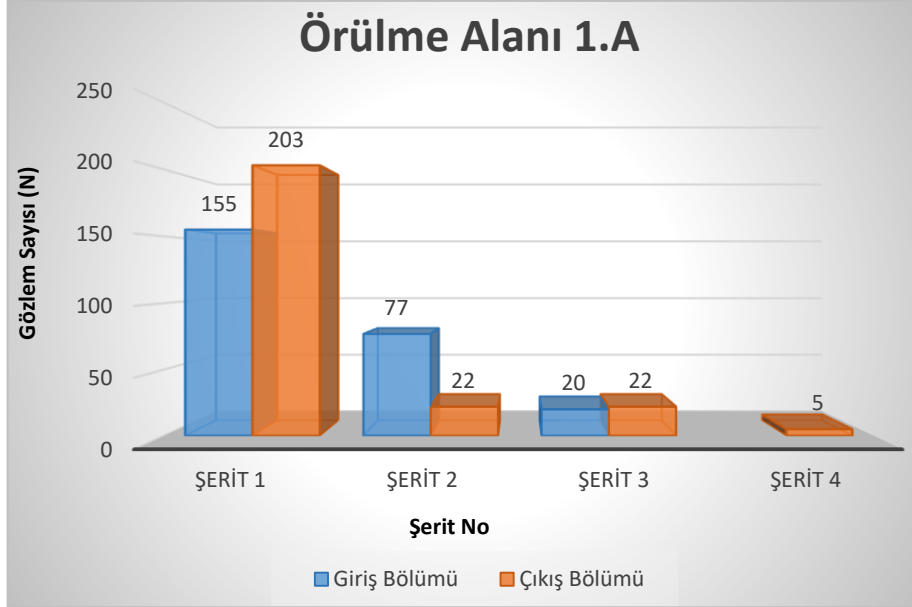


Şekil 3.7. Seçilen 5 numaralı örülme alanının bulunduğu yol kesimine ait şematik görsel

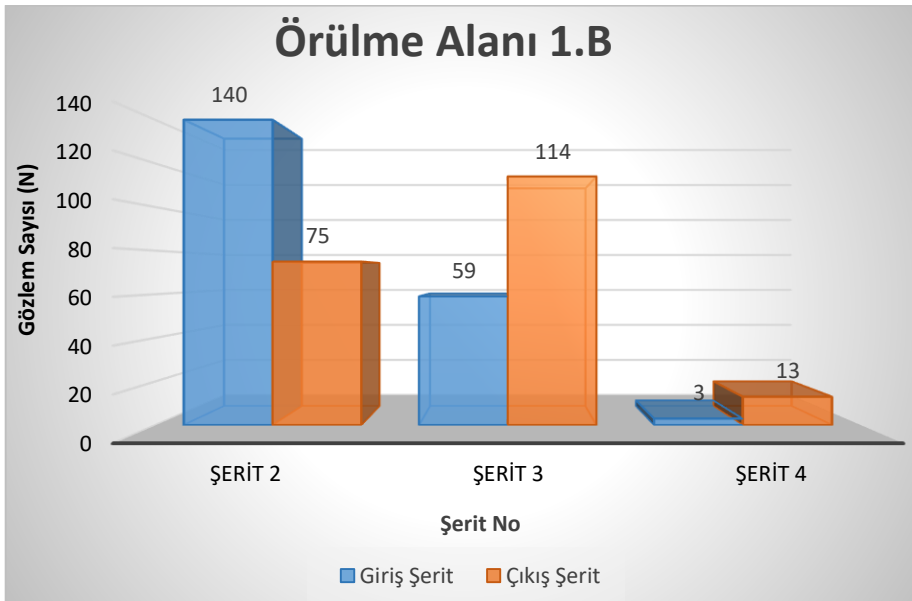
Tablo 3.7. 5 numaralı bölgeye ait trafik akım karakteristikleri

| Konumu | Şerit No | Araç Tip No | | | | | | | Toplam (araç/saat) | Hacim (araç/saat) |
|--------------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------------------|
| | | Tip-1 | Tip-2 | Tip-3 | Tip-4 | Tip-5 | Tip-6 | Tip-7 | | |
| Giriş Şeridi | 1 | 283 | 123 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 2905 | 412 |
| | 2 | 400 | 98 | 1 | 5 | 24 | 1 | 0 | | 520 |
| | 3 | 543 | 54 | 9 | 9 | 74 | 44 | 61 | | 795 |
| | 4 | 1037 | 86 | 1 | 4 | 29 | 5 | 5 | | 1168 |
| Çıkış Şeridi | 1 | 301 | 128 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 2902 | 433 |
| | 2 | 419 | 98 | 3 | 5 | 28 | 3 | 0 | | 555 |
| | 3 | 536 | 57 | 11 | 11 | 78 | 40 | 61 | | 793 |
| | 4 | 1009 | 77 | 0 | 3 | 24 | 4 | 4 | | 1121 |

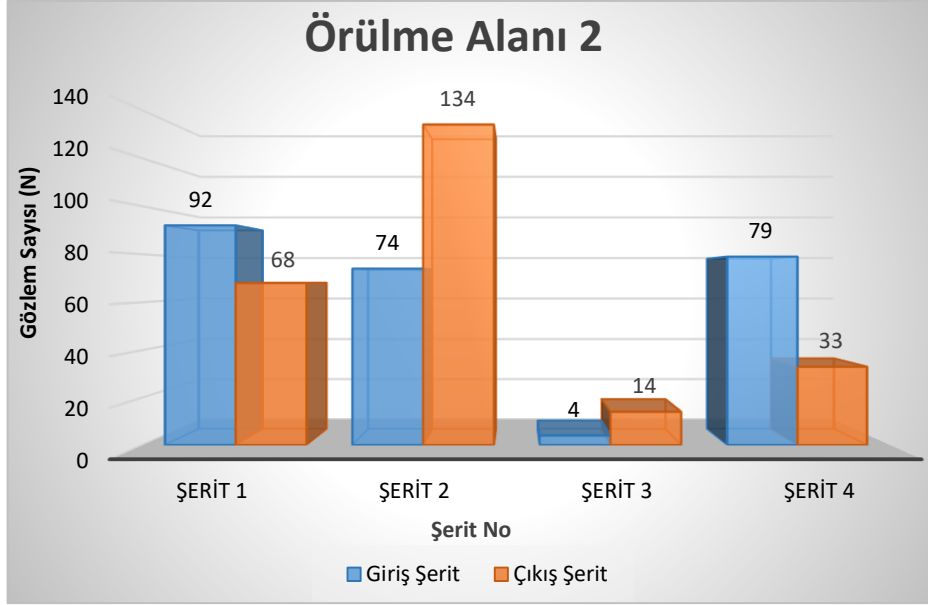
Çalışma kapsamında yapılan analizlerden örülme karmaşası yaşayan araçların örülme alanı girişinde ve çıkışında şerit bazlı dağılımları detaylı olarak incelenmiştir. Örülme karmaşası içerisinde yer alan ve incelenen araçların örülme alanı giriş ve çıkışındaki şerit bazlı dağılımları Şekil 3.8-Şekil 3.14’teki grafiklerde verilmektedir.



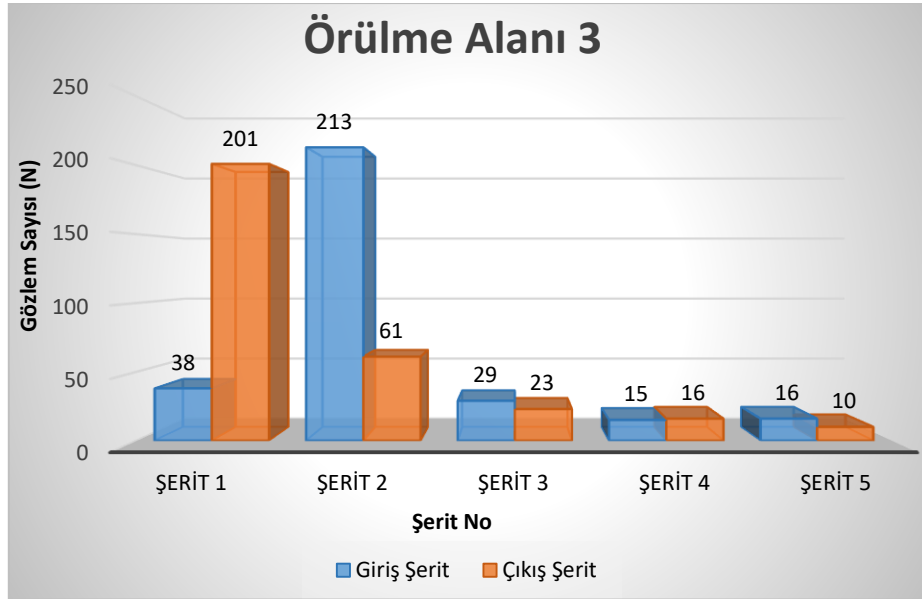
Şekil 3.8. 1.A numaralı örülme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi



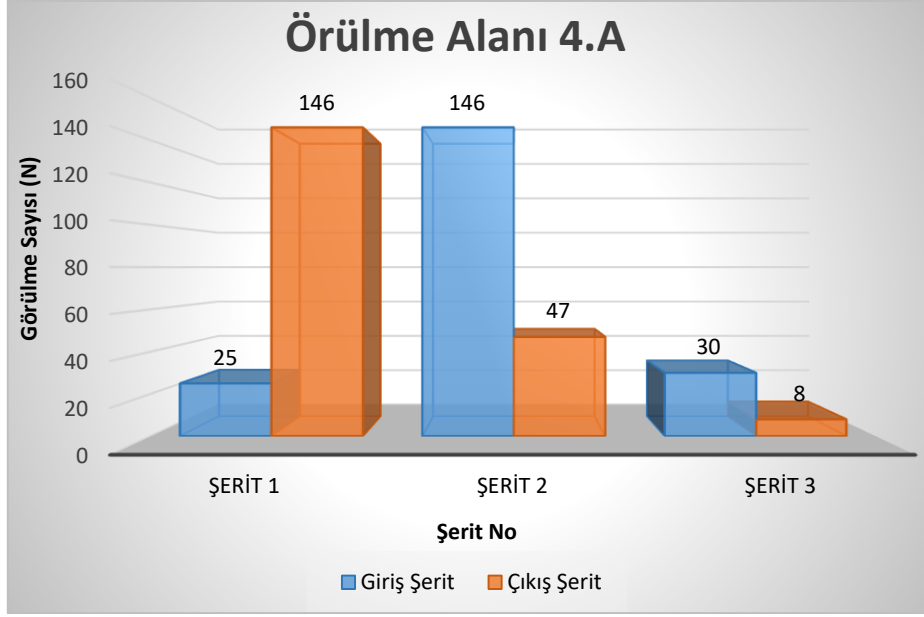
Şekil 3.9. 1.B numaralı örülme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi



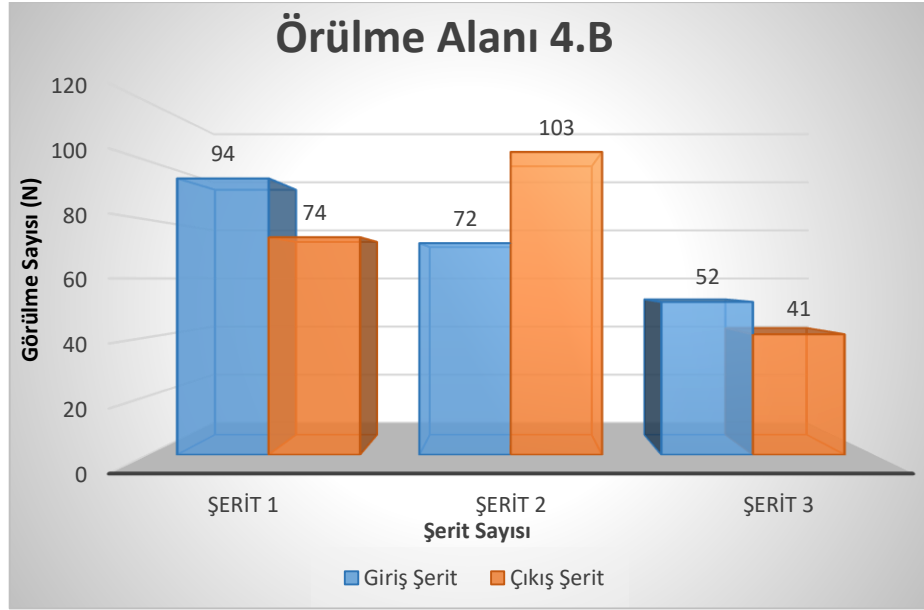
Şekil 3.10. 2 numaralı örölme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi



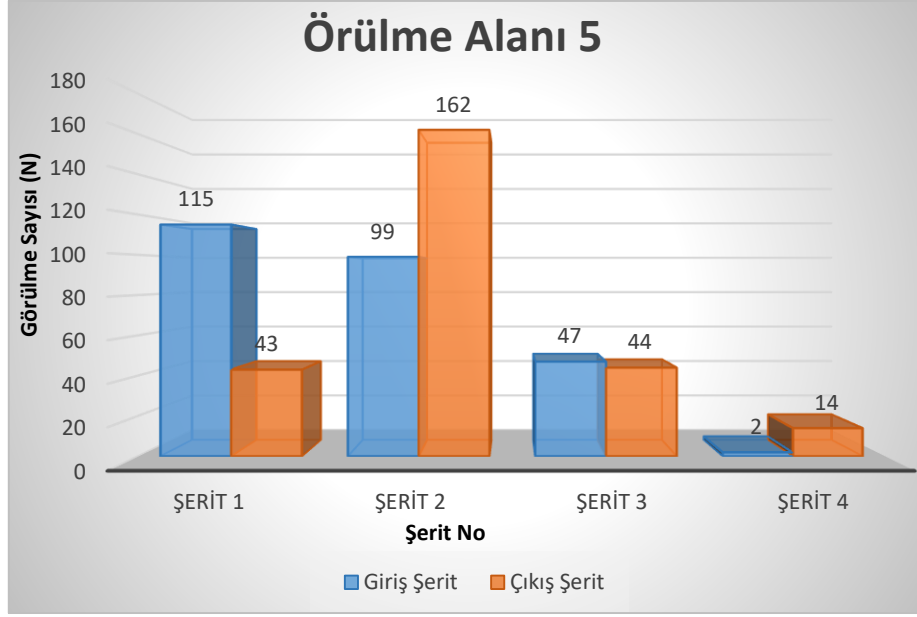
Şekil 3.11. 3 numaralı örölme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi



Şekil 3.12. 4.A numaralı örölme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi



Şekil 3.13. 4.B numaralı örölme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi



Şekil 3.14. 5 numaralı örülme alanına giriş-çıkış yapan araçların şerit bazlı incelenmesi

Örülme alanlarına giriş ve çıkış bölümleri incelendiğinde şerit değiştirme sayısının araçların bulunduğu şeritlere göre değişiklik gösterdiği görülmektedir. Fakat incelenen 5 farklı bölgedeki 7 farklı nokta için ortak sonuç olarak ayrılma ve katılma kesimlerine yakın olan şeritlerde, şerit değiştirmelerin sayısının daha fazla olduğu söylenebilir. Bu sonuç araçların büyük bir çoğunluğunun yolun önceki kesimlerinde ayrılma veya katılma hareketi için en uygun şeride geçtiğini göstermektedir. Her ne kadar büyük bir çoğunluğu örülme alanı öncesinde ayrılma veya katılma hareketi için en uygun şeride geçmiş olsa da mevcut akımı olumsuz derecede etkileyebilecek önemli bir araç sayısının halen son dakika şerit değiştirdiği ve örülme karmaşasına neden olduğu Şekil 3.8-Şekil 3.14'ten net bir şekilde görülebilmektedir.

3.2. Örölmeye Sebep Olan Hareket Tipleri

Çalışma kapsamında incelenen 7 farklı örülme alanında örölmeye sebep olan 12 farklı araç hareketi belirlenmiş ve hareket tipleri Tablo 3.8'de özet olarak açıklanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen yol kesimlerinde toplam yedi farklı araç türü (Otomobil, Minibüs, Midibüs, Otobüs, Kamyonet, Kamyon ve Tır) gözlemlenmiştir. İncelemelerde ve hesap yöntemlerinin önerilmesi aşamasında kolaylık sağlaması amacıyla bu araçlar,

boyutları ve karakteristik özelliklerine göre araç türleri 4 farklı ana kategoriye (1-Otomobil, 2-Minibüs & Kamyonet, 3-Midibüs & Otobüs, 4-Kamyon & Tır) indirgenmiş ve bu şekilde incelenmiştir.

Tablo 3.8. İncelenen örülme alanlarında gözlemlenen araç hareket türleri

| Hareket No | Hareket Özelliği |
|------------|---|
| 1 | Bir aracın ayrılma şeridinden ayrılması |
| 2 | Bir aracın diğer şeritlerin herhangi birinden şerit değiştirerek ayrılma şeridinden ayrılması |
| 3 | Ayrılma amacı veya etkisi ile sağa şerit değiştirme |
| 4 | Katılma amacı veya etkisi ile sola şerit değiştirme |
| 5 | Ayrılma/katılma hareketlerden etkilenecek şerit değiştirme |
| 6 | Katılma şeridinden katılarak katılma şeridinden devam etme |
| 7 | Katılma şeridinden katılarak diğer şeritlere doğru hareket etme |
| 8 | Katılma şeridinden katılarak en yakın ayrılma şeridinden ayrılma |
| 9 | Bir aracın herhangi bir şerit değişimi yapmadan yan yola doğru ayrılması |
| 10 | Bir aracın bir yan yola girmek amacıyla kısa bir mesafede çok sayıda şerit değişikliği yapması |
| 11 | Bir aracın yan yoldan kontrolsüz ve gelen akımı kesecek şekilde ana yola katılıp şerit değiştirmeden devam etmesi |
| 12 | Bir aracın yan yoldan ana yola kontrolsüz ve gelen akımı kesecek şekilde katılması ve sonrasında hızlı şekilde çok sayıda şerit değişikliği yapması |

Analizler kapsamında video kamera ile yapılan kayıtların bilgisayar ortamında detaylı olarak incelenmesinden belirlenen ve örülmeye sebep olan 12 farklı hareket tipinin araç türüne göre dağılımı Tablo 3.9’da verilen şekilde özetlenmektedir.

Tablo 3.9. İncelenen örülme alanlarında gözlemlenen araç hareket türlerine ait sayısal bilgiler

| No | Araç Türü | Hareket Tipi | | | | | | | | | | | | Toplam Araç Sayısı |
|----|--------------------|--------------|----|---|----|----|---|---|---|---|----|----|----|--------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 1A | Otomobil | 99 | 73 | 3 | 21 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 211 |
| | Minibüs & Kamyonet | 17 | 8 | 1 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33 |
| | Midibüs & Otobüs | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| | Kamyon & Tır | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |

Tablo 3.9. (devamı)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|-----|----|-----|-----|----|----|-----|----|----|----|----|----|-------------|
| 1B | Otomobil | 0 | 2 | 41 | 0 | 2 | 17 | 106 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 168 |
| | Minibüs & Kamyonet | 0 | 1 | 7 | 0 | 3 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 |
| | Midibüs & Otobüs | 0 | 0 | 4 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| | Kamyon & Tır | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 2 | Otomobil | 0 | 0 | 15 | 72 | 17 | 0 | 0 | 0 | 11 | 19 | 35 | 37 | 206 |
| | Minibüs & Kamyonet | 0 | 0 | 5 | 11 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 6 | 28 |
| | Midibüs & Otobüs | 0 | 0 | 13 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| | Kamyon & Tır | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | Otomobil | 163 | 9 | 3 | 30 | 12 | 0 | 0 | 0 | 1 | 19 | 12 | 16 | 265 |
| | Minibüs & Kamyonet | 8 | 1 | 0 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 1 | 2 | 28 |
| | Midibüs & Otobüs | 0 | 0 | 0 | 11 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 |
| | Kamyon & Tır | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4A | Otomobil | 121 | 1 | 15 | 9 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 155 |
| | Minibüs & Kamyonet | 14 | 0 | 14 | 11 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44 |
| | Midibüs & Otobüs | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | Kamyon & Tır | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4B | Otomobil | 0 | 0 | 70 | 7 | 2 | 3 | 55 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 162 |
| | Minibüs & Kamyonet | 0 | 0 | 29 | 2 | 2 | 0 | 6 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42 |
| | Midibüs & Otobüs | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | Kamyon & Tır | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 5 | Otomobil | 0 | 0 | 35 | 1 | 0 | 18 | 142 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 196 |
| | Minibüs & Kamyonet | 0 | 0 | 7 | 2 | 0 | 10 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 62 |
| | Midibüs & Otobüs | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | Kamyon & Tır | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Toplam (Σ) | | 428 | 96 | 276 | 189 | 89 | 51 | 367 | 30 | 14 | 46 | 49 | 61 | 1696 |

Tablo 3.9 detaylı olarak incelendiğinde toplam 1696 aracın örölme oluşumuna neden olduğu ya da içerisinde olduğu belirlenmiştir. En çok görülen hareket türünün 1 numaralı (428 kez), en az görülen hareket türünün ise 9 numaralı (14 kez) hareket türü olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

3.3. Örölme Bölgelerine Ait Ortalama Hız, Gecikme ve Şerit Değiştirme Sayıları

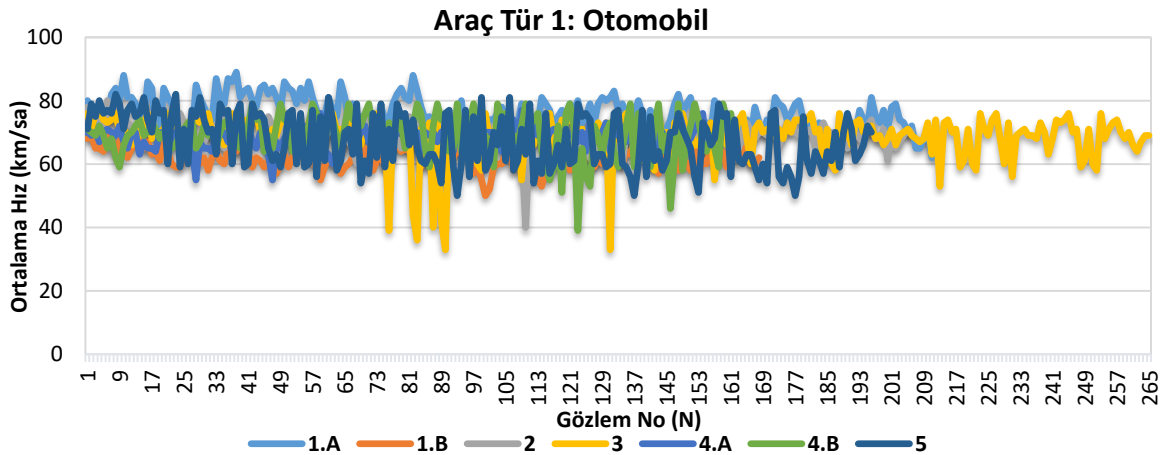
3.3.1. Ortalama Hızların İncelenmesi

Video kayıtlar ile elde edilen saha verilerinin incelenmesi araçların örölme alanı içerisindeki ortalama hızları, araç türüne ve araç yoğunluğuna göre bölgesel bazlı olarak Tablo 3.10’da verilen şekilde elde edilmiştir.

Tablo 3.10. 5 farklı bölgedeki 7 farklı noktaya ait ortalama hız değerleri (km/sa)

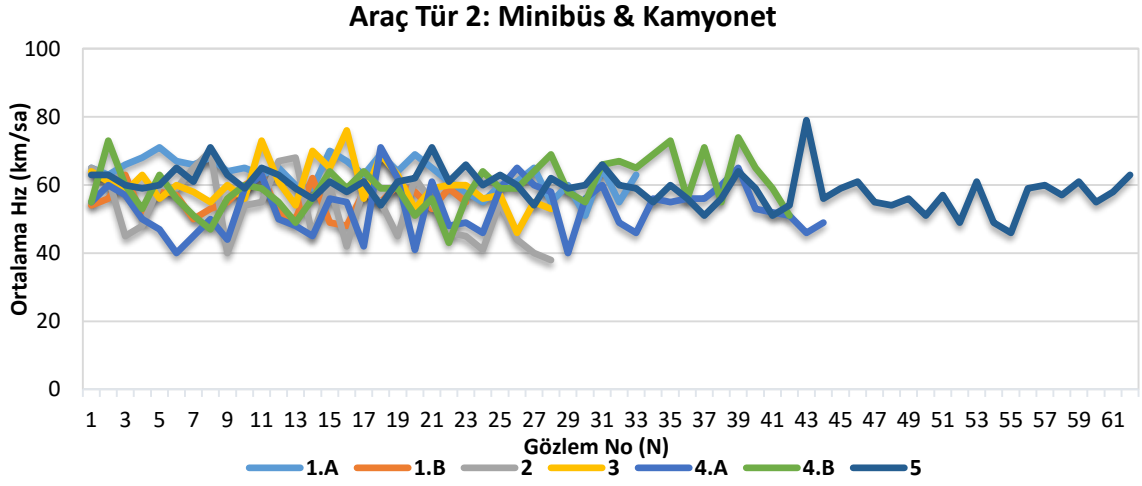
| Ortalama Hız (km/sa) | | Bölge 1.A | Bölge 1.B | Bölge 2 | Bölge 3 | Bölge 4.A | Bölge 4.B | Bölge 5 |
|-------------------------|--------------------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|-----------|---------|
| Araç Türüne Göre | Otomobil | 75 | 52 | 59 | 59 | 55 | 52 | 58 |
| | Minibüs & Kamyonet | 65 | 55 | 41 | 54 | 51 | 49 | 53 |
| | Midibüs & Otobüs | 75 | 53 | 34 | 48 | 42 | 42 | 60 |
| | Kamyon & Tır | 56 | 48 | 0 | 0 | 39 | 36 | 56 |
| Trafik Yoğunluğuna Göre | Akıcı | 80 | 58 | 70 | 65 | 56 | 54 | 74 |
| | Normal | 69 | 60 | 52 | 56 | 52 | 50 | 53 |
| | Yoğun | 64 | 38 | 31 | 47 | 42 | 41 | 41 |
| Ort. (Σ) | | 72 | 52 | 52 | 55 | 51 | 49 | 57 |
| Std Sap. (σ) | | 13.48 | 14.21 | 20.18 | 11.67 | 13.51 | 13.17 | 15.89 |

İncelen bölgelerde gözlemlenen 7 farklı araç türü, incelemelerde kolaylık sağlaması amacıyla boyutları ve karakteristik özelliklerine göre 4 farklı ana kategoriye indirgenmiş ve incelenmiştir. Belirlenen bu 4 farklı araç türü için gözlem sayısına göre elde edilen bölgesel bazlı ortalama hızlar (km/sa) sırasıyla her bir araç türü için Şekil 3.15’te gösterilmiştir.

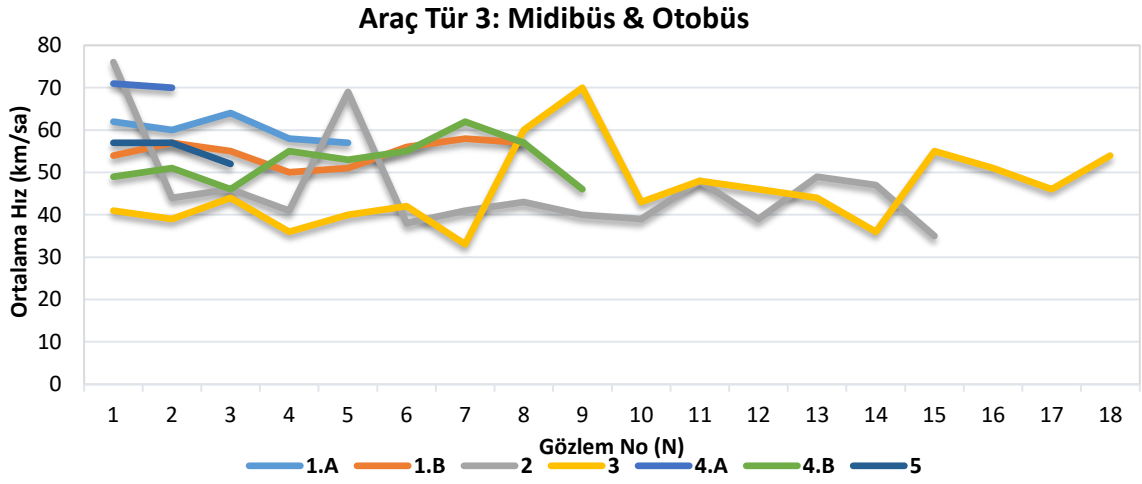


(a)

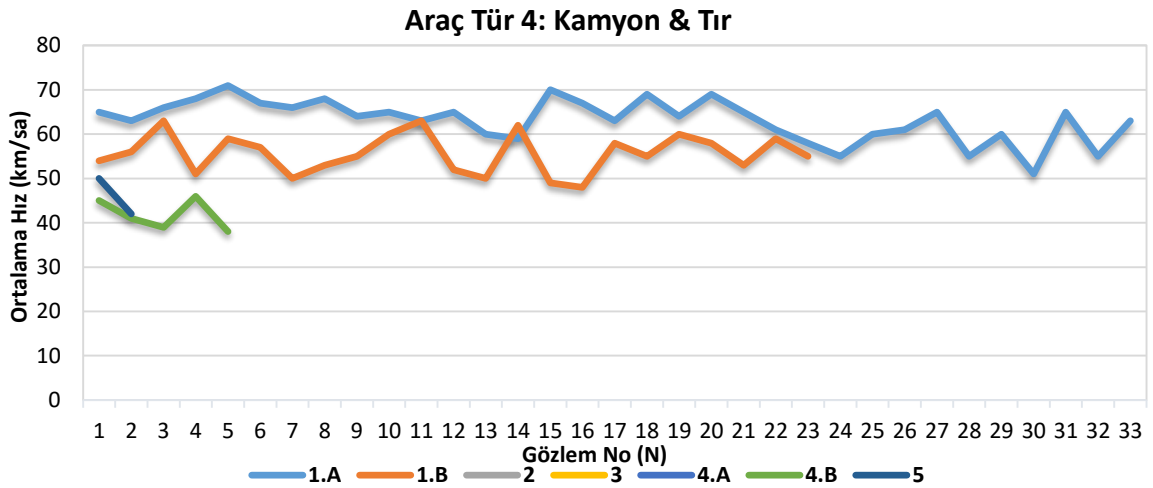
Şekil 3.15. Araç türlerine göre gözlemlenen ortalama hızlar (km/sa)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.15. (devamı)

Araç türlerine göre ortalama hızlar incelendiğinde 1 numaralı araç tipi olan otomobillerin şehir içi yollardaki örülme alanlarında genellikle hız limiti olarak tanımlanan 70 km/sa ve üzerinde olduğu ve daha çok 60-90 km/sa aralığında bir ortalama hız dağılımına sahip oldukları belirlenmiştir (Şekil 15a). 2 numaralı araç tiplerinin (Minibüs & Kamyonet) ise ortalama 60 km/sa ve etrafında hıza sahip olduğu ve çoğunlukla 40-70 km/sa aralığında bir dağılıma sahip oldukları görülmüştür (Şekil 15b). 3 numaralı araç tiplerinin (Midibüs & Otobüs) örülme alanındaki ortalama hızlarının tam bir değer etrafında dağılmadığı 40 km/sa ile 70 km/sa aralığında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 15c). Şehir içi yollar olduğu için 4 numaralı araç türü olan ağır araçlar hakkında kesin bir yorum yapılamamıştır. Fakat az sayıdaki gözlem değerine göre örülme alanlarında ağır araçların ortalama hız limitinin altında hareket ettikleri söylenebilmektedir (Şekil 15d).

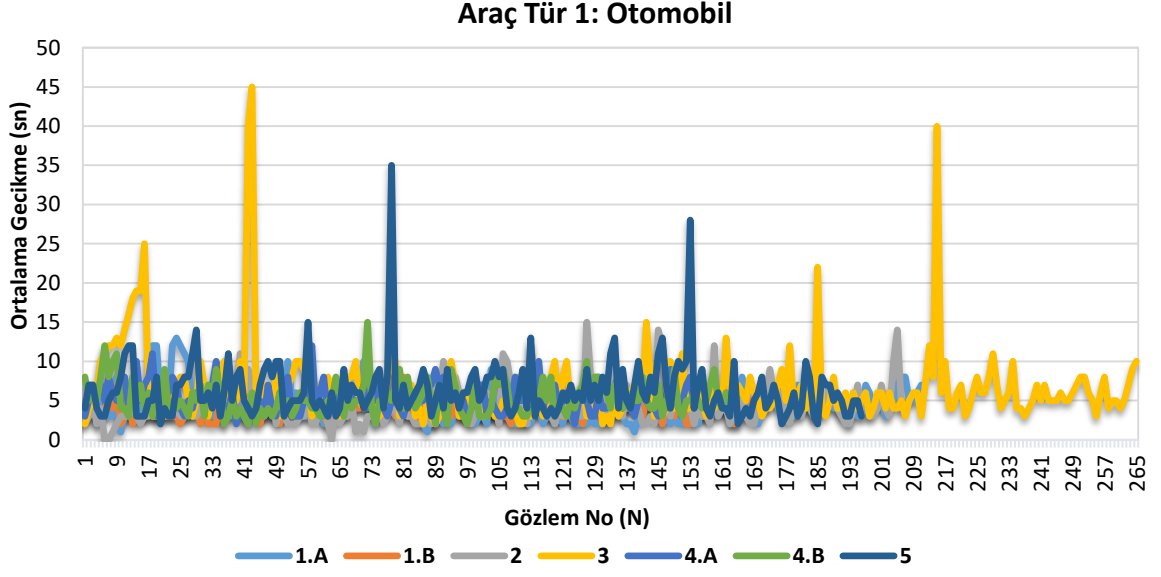
3.3.2. Ortalama Gecikmelerin İncelenmesi

Örülme oluşumunun araçlar üzerindeki en olumsuz etkilerinden birisi de şerit değiştirmeye ya da karmaşaya bağlı olarak gecikmelere sebep olmasıdır. Video kayıtların detaylı olarak incelenmesi ile araçların örülme alanı içerisindeki ortalama gecikmeleri araç türüne ve araç yoğunluğuna göre bölgesel bazlı olarak Tablo 3.11’de verilen şekilde elde edilmiştir.

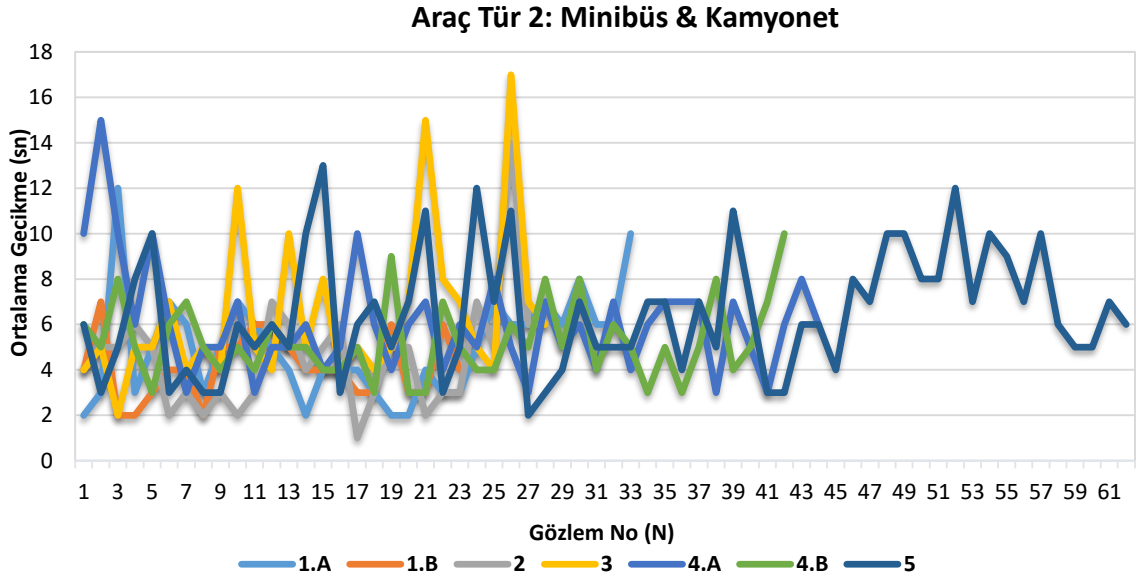
Tablo 3.11. 5 farklı bölgedeki 7 farklı noktada örülme kaynaklı meydana gelen ortalama gecikme değerleri (sn)

| Ortalama Gecikme (sn) | | Bölge 1.A | Bölge 1.B | Bölge 2 | Bölge 3 | Bölge 4.A | Bölge 4.B | Bölge 5 |
|-------------------------|--------------------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|-----------|---------|
| Araç Türüne Göre | Otomobil | 4.4 | 4.0 | 4.3 | 6.4 | 5.4 | 5.2 | 6.3 |
| | Minibüs & Kamyonet | 5 | 4.1 | 4.6 | 6.4 | 6.1 | 5.3 | 6.5 |
| | Midibüs & Otobüs | 8 | 5.2 | 6 | 7.2 | 6.2 | 6.1 | 5.7 |
| | Kamyon & Tır | 6 | 2 | 0 | 0 | 6.5 | 7.0 | 5.5 |
| Trafik Yoğunluğuna Göre | Akıcı | 4.1 | 3.5 | 4.0 | 5.2 | 5.4 | 4.8 | 6.4 |
| | Normal | 4.8 | 4.3 | 4.6 | 6.2 | 7.2 | 5.3 | 6.2 |
| | Yoğun | 5.0 | 4.5 | 4.9 | 8.3 | 8.2 | 5.8 | 6.5 |
| Ort. (Σ) | | 4.58 | 4.05 | 4.45 | 6.48 | 5.55 | 5.32 | 6.33 |
| Std Sap. (σ) | | 2.29 | 1.35 | 2.5 | 4.72 | 1.98 | 2.07 | 3.41 |

İncelen bölgelerde 4 farklı araç türü için gözlem sayısına göre elde edilen bölgesel bazlı ortalama gecikmeler (sn) sırasıyla her bir araç türü için Şekil 3.16’da gösterilmiştir.

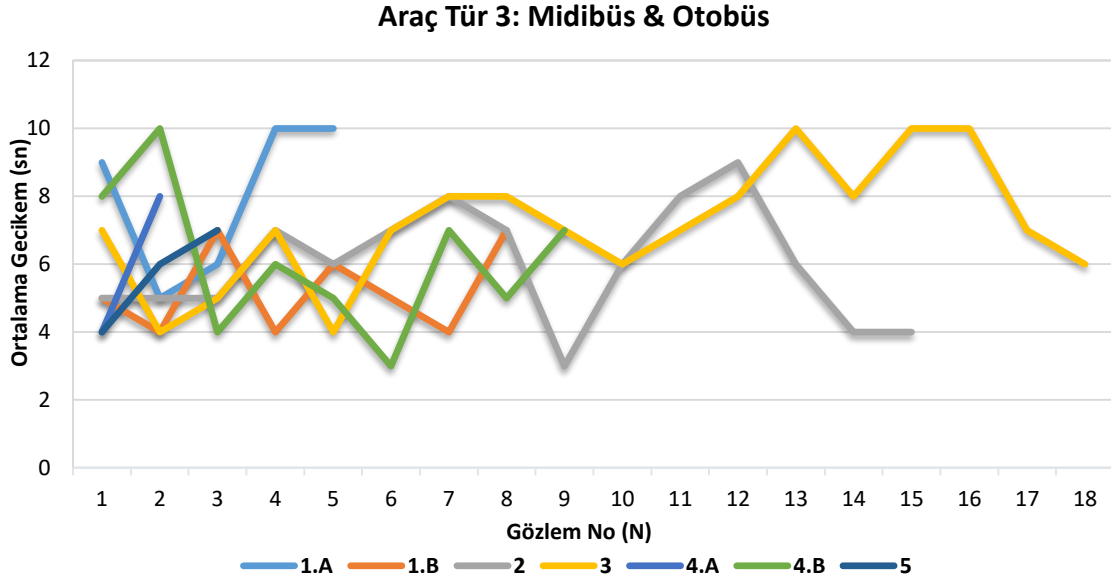


(a)

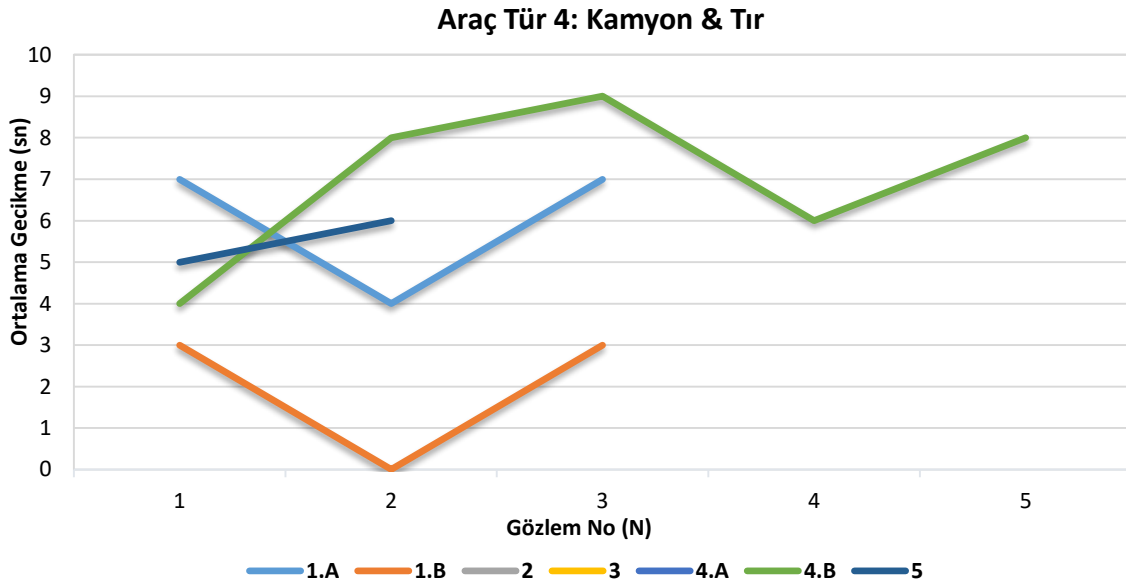


(b)

Şekil 3.16. Araç türlerine göre gözlemlenen ortalama gecikmeler (sn)



(c)



(d)

Şekil 3.16. (devamı)

Araç türlerine göre örülme alanlarındaki araç başına gecikmeler incelendiğinde 1 numaralı araç türü olan otomobiller için gecikme değerlerinin en fazla 3 numaralı örülme bölgesinde olduğu görülmektedir (Şekil 3.16a). 2 numaralı tür içerisinde değerlendirilen Minibüs & Kamyonetler içinse en fazla araç başına gecikme yine 3 numaralı bölgededir (Şekil 3.16b). Bu sonuç hafif araç kategorisinde yer alan otomobil, minibüs ve kamyonetlerin örülme bölgelerinde benzer davranışlar gösterdikleri sonucunu doğrulayabilmektedir. Fakat 1 numaralı araç türünün 2 numaralı türe göre daha uzun

gecikmelere maruz kaldığı yadsınamaz bir gerçektir. 3 numaralı araç türü olarak tanımlanan Otobüs ve Midibüslerin ise 1.A, 3 ve 4.B numaralı bölgelerde maksimum araç başına gecikmeye sahip oldukları görülmektedir (Şekil 3.16c). 4 numaralı araç türü olan ağır araçlarda ise şehiriçi yollardaki örülme bölgelerinde görölme sayısının az olması sebebiyle kesin bir kaniya varmak doğru değildir.

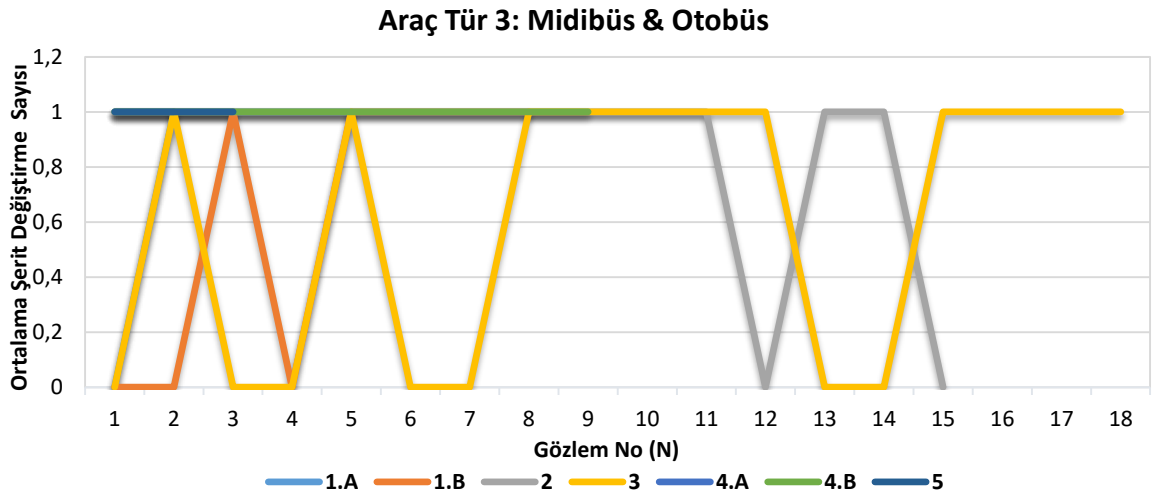
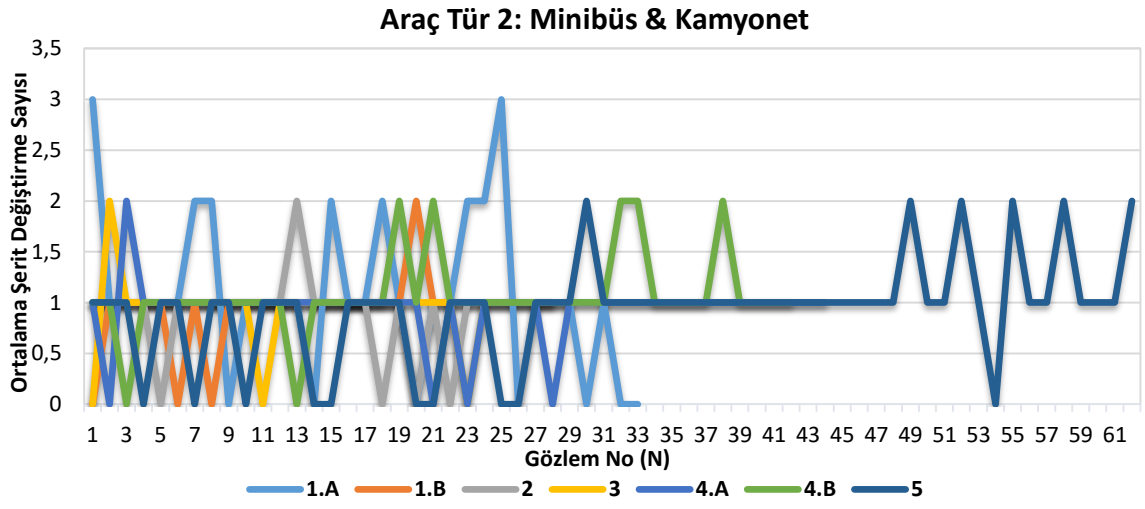
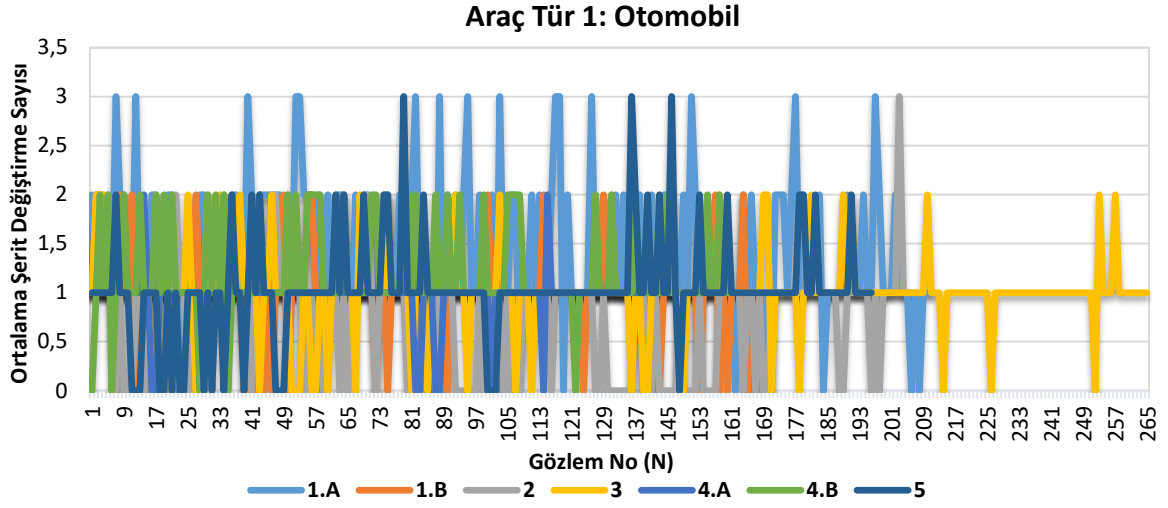
3.3.3. Ortalama Şerit Değişirme Sayılarının İncelenmesi

Örölme oluşumunun araçlar üzerindeki olumsuz etkilerinden bir diğeri ise örölme oluşumunu tetikleyen en önemli faktör olan şerit değiştirmedir. Bu şerit değiştirmeler hem şerit değiştiren hem de değiştirme sebebiyle etkilenen araçlarda gecikmelere sebep olmaktadır. Video kayıtların detaylı olarak incelenmesi ile araçların örölme alanı içerisinde yaşadıkları ortalama şerit değiştirme sayısı araç türüne ve araç yoğunluğuna göre bölgesel bazlı olarak Tablo 3.12’de verilen şekilde elde edilmiştir.

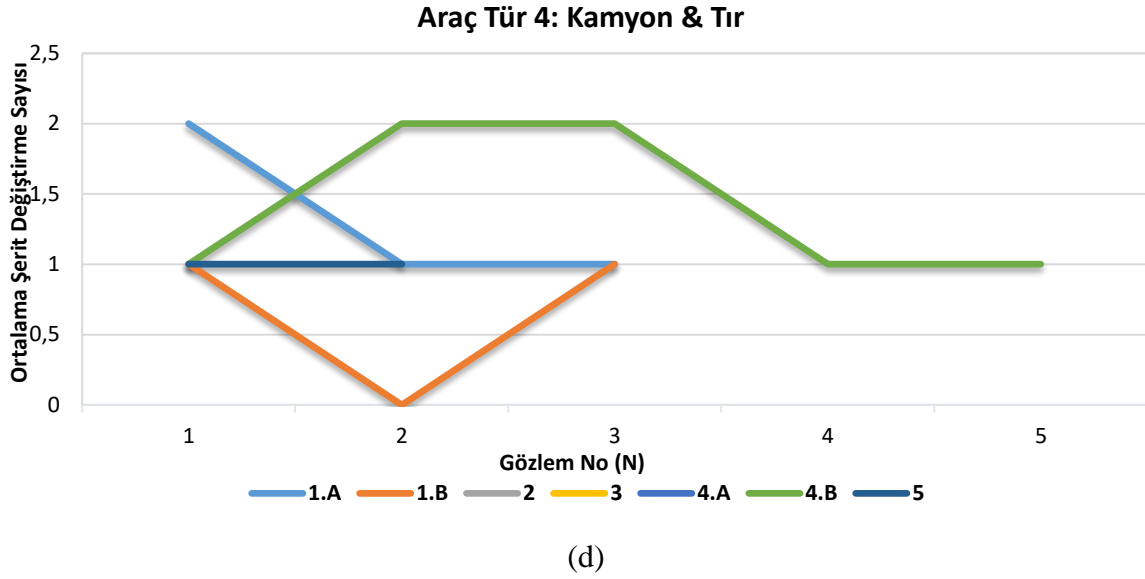
Tablo 3.12. 5 farklı bölgedeki 7 farklı noktada örölme kaynaklı meydana gelen ortalama şerit değiştirme sayısı

| Ortalama Şerit Değişirme Sayısı | | Bölge 1.A | Bölge 1.B | Bölge 2 | Bölge 3 | Bölge 4.A | Bölge 4.B | Bölge 5 |
|---------------------------------|--------------------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|-----------|---------|
| Araç Türüne Göre | Otomobil | 1.39 | 0.97 | 0.74 | 0.99 | 0.96 | 1.20 | 1.03 |
| | Minibüs & Kamyonet | 1.09 | 0.91 | 0.89 | 0.93 | 0.92 | 1.07 | 0.94 |
| | Midibüs & Otobüs | 0.80 | 0.63 | 0.87 | 0.61 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | Kamyon & Tır | 1.34 | 0.67 | 0 | 0 | 1.10 | 1.40 | 1.00 |
| Trafik Yoğunluğuna Göre | Akıcı | 1.52 | 0.95 | 0.88 | 1.04 | 0.96 | 1.34 | 1.10 |
| | Normal | 1.25 | 0.95 | 0.72 | 0.97 | 0.86 | 1.17 | 0.92 |
| | Yoğun | 1.05 | 0.87 | 0.65 | 0.86 | 0.81 | 1.06 | 0.86 |
| Ort. (Σ) | | 1.33 | 0.94 | 0.76 | 0.96 | 0.95 | 1.17 | 1.00 |
| Std Sap. (σ) | | 0.73 | 0.44 | 0.51 | 0.43 | 0.27 | 0.45 | 0.50 |

İncelen bölgelerde 4 farklı araç türü için gözlem sayısına göre elde edilen bölgesel bazlı ortalama şerit değiştirme sayıları sırasıyla her bir araç türü için Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



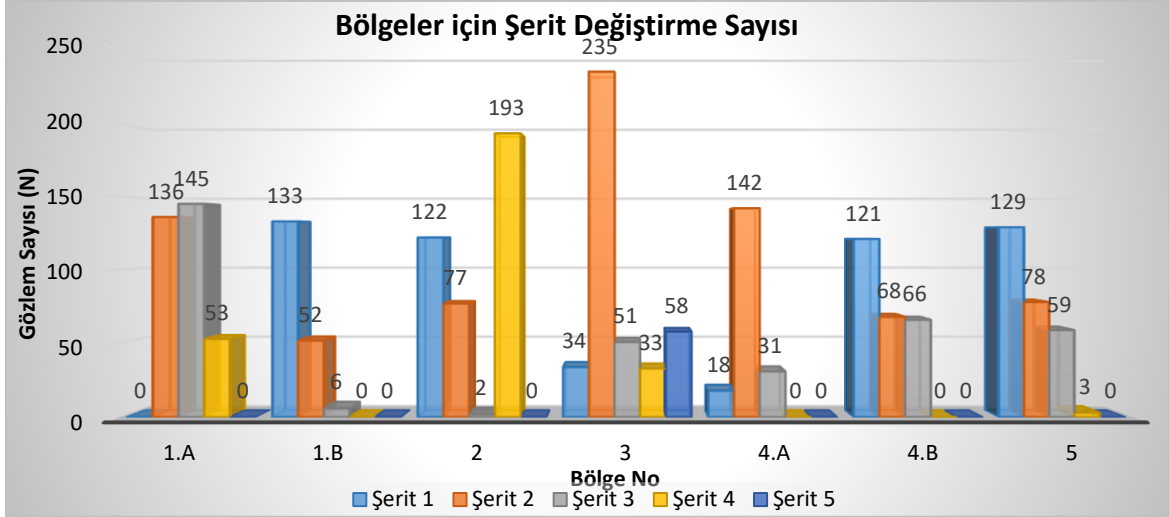
Şekil 3.17. Araç türlerine göre gözlemlenen ortalama şerit değişirme sayısı



Şekil 3.17. (devamı)

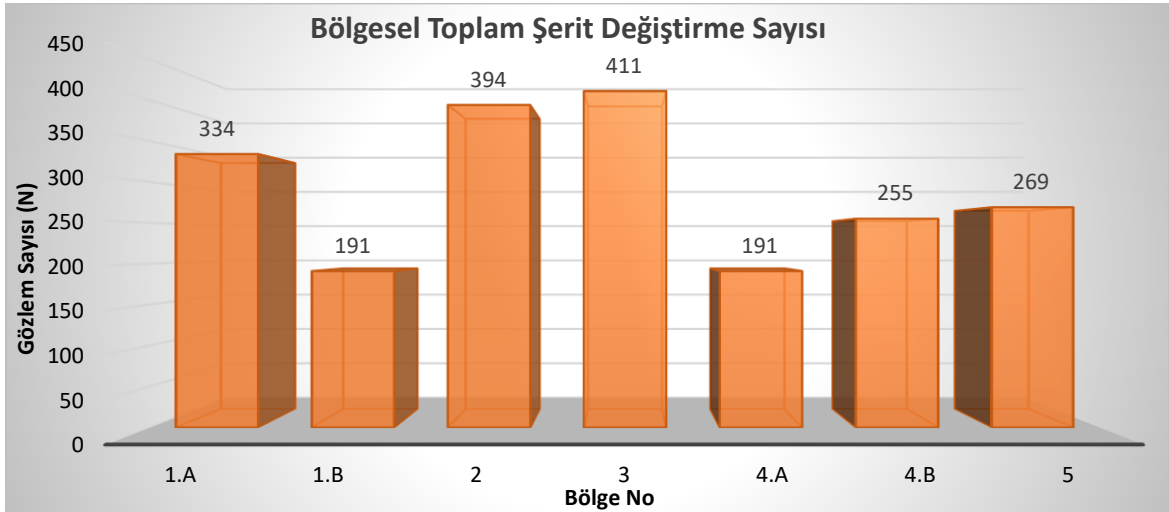
Araç türlerine göre örülme alanlarındaki araç başına ortalama şerit değiştirme sayıları incelendiğinde yine 1 numaralı araç türü olan otomobillerin en fazla araç başına ortalama şerit değiştirme sayısına sahip olduğu belirlenmiştir. Şerit değiştirme sayılarının zirve değere sahip olduğu bölgelerin ise 1.A ve 5 numaralı bölgeler oldukları görülmüştür (Şekil 3.17a). 2 numaralı araç türü için ise ortalama araç başına düşen şerit değiştirme sayılarının 1 numaralı türe göre azaldığı ve en fazla şerit değiştirme görülen bölgenin ise 1A numaralı bölge olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 3.17b). 3 numaralı araç türü için araç başına düşen şerit değiştirme sayısının daha da azaldığı ve hemen hemen her bölgede birbirine yakın ve düşük değerler olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.17c). Yine 4 numaralı araç türü olan ağır araçlarda ise şehiriçi yollardaki örülme bölgelerinde gözlem sayısının az olması sebebiyle kesin bir kanıya varmak doğru bulunmamıştır.

Şerit numaralarına göre şerit değiştirme sayılarındaki bölgesel değişim ise Şekil 3.18’te verilmiştir.



Şekil 3.18. Şerit bazlı gözlemlenen şerit değiştirmelerin sayısı

Şerit numaralarına göre şerit değiştirmeler incelendiğinde araçların en fazla 1 veya 2 numaralı şeritlerden şerit değişikliği yaptıkları görülmektedir. Bu sonuç örülme alanlarındaki araçların yolun sağında yer alan katılma ve ayrılma ceplerini kullanmak amacıyla bu ceplere en yakın şeritleri kullandıklarını ve buradan şerit değiştirerek ayrılma ya da katılma hareketi gerçekleştirdiklerini göstermektedir. Bölgelere göre toplam şerit değiştirme sayıları ise Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.19. Bölgesel olarak gözlemlenen şerit değiştirmeler

Şekil 3.19 incelendiğinde ayrılma/katılma amacıyla araçların örülme bölgelerinde en fazla 3 numaralı bölgede şerit değiştirdikleri belirlenmiştir. Yine 2 numaralı bölgede de oldukça yoğun bir şerit değiştirme hareketliliği gözlemlenmiştir.

İncelenen 5 farklı bölgede yer alan 7 farklı noktadaki örülme alanlarının trafik akımının durumuna göre (1-Çok Akıcı 2-Akıcı 3- Normal 4-Tıkalı 5-Çok Tıkalı) şerit değiştirme sayısı, ortalama gecikme ve ortalama hız değerlerine ait istatistiksel bilgiler ise Tablo 3.13’de özetlenmiştir.

Tablo 3.13. Trafik durumlarına göre örülme kaynaklı meydana gelen şerit değiştirme sayısı, ortalama gecikme ve ortalama hız değerlerine ait istatistiksel bilgiler

| Trafik Durumu | Parametre | | Bölge No | | | | | | |
|---------------|----------------|---------|----------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 1.A | 1.B | 2 | 3 | 4.A | 4.B | 5 |
| 1-Çok Akıcı | Şerit Değ. Say | Ort. | 1.5 | — | 1.1 | — | 0.9 | — | — |
| | | Std. S. | 0.5 | — | 0.6 | — | 0.3 | — | — |
| | Ort. Gecikme | Ort. | 4.5 | — | 4.1 | — | 5.6 | — | — |
| | | Std. S. | 0.5 | — | 1.1 | — | 1.8 | — | — |
| | Ort. Hız | Ort. | 75.5 | — | 70.0 | — | 65.8 | — | — |
| | | Std. S. | 3.5 | — | 4.9 | — | 7.5 | — | — |
| 2-Akıcı | Şerit Değ. Say | Ort. | 1.5 | 1.0 | 0.8 | — | 1.0 | 1.3 | 1.1 |
| | | Std. S. | 0.7 | 0.4 | 0.5 | — | 0.2 | 0.5 | 0.5 |
| | Ort. Gecikme | Ort. | 4.1 | 3.5 | 4.0 | — | 5.4 | 4.8 | 6.4 |
| | | Std. S. | 2.2 | 1.2 | 2.0 | — | 1.8 | 2.0 | 3.4 |
| | Ort. Hız | Ort. | 76.4 | 60.3 | 67.0 | — | 65.4 | 69.3 | 64.4 |
| | | Std. S. | 7.5 | 5.5 | 8.1 | — | 7.6 | 2.5 | 8.4 |
| 3-Normal | Şerit Değ. Say | Ort. | 1.4 | 1.0 | 0.8 | 1.0 | 0.9 | 1.2 | 0.9 |
| | | Std. S. | 0.8 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | Ort. Gecikme | Ort. | 4.6 | 4.2 | 4.8 | 7.0 | 7.2 | 5.4 | 5.7 |
| | | Std. S. | 2.4 | 1.4 | 2.6 | 4.6 | 3.1 | 2.2 | 2.9 |
| | Ort. Hız | Ort. | 74.9 | 61.2 | 64.9 | 67.5 | 60.0 | 65.9 | 69.2 |
| | | Std. S. | 6.0 | 4.5 | 10.2 | 9.3 | 7.9 | 8.9 | 8.8 |
| 4-Tıkalı | Şerit Değ. Say | Ort. | 1.1 | 0.9 | 0.6 | 1.0 | — | 1.2 | 1.0 |
| | | Std. S. | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | — | 0.4 | 0.5 |
| | Ort. Gecikme | Ort. | 5.0 | 4.5 | 4.4 | 6.0 | — | 5.2 | 6.7 |
| | | Std. S. | 2.1 | 1.2 | 2.6 | 3.5 | — | 1.9 | 3.7 |
| | Ort. Hız | Ort. | 70.1 | 61.3 | 67.0 | 68.4 | — | 65.9 | 63.2 |
| | | Std. S. | 6.7 | 3.9 | 7.3 | 25.3 | — | 9.1 | 8.3 |
| 5-Çok Tıkalı | Şerit Değ. Say | Ort. | — | — | — | 0.8 | — | — | — |
| | | Std. S. | — | — | — | 0.4 | — | — | — |
| | Ort. Gecikme | Ort. | — | — | — | 18.7 | — | — | — |
| | | Std. S. | — | — | — | 17.0 | — | — | — |
| | Ort. Hız | Ort. | — | — | — | 71.2 | — | — | — |
| | | Std. S. | — | — | — | 5.3 | — | — | — |

Tablo 3.13’te verilen sonuçlara göre, incelenen örölme bölgelerinde çok tıkalı bir durum 3 numaralı bölge haricinde gözlemlenmemiştir. Yine benzer şekilde 1, 3, 4.B ve 5 numaralı bölgelerde de çok akıcı bir trafik görülmemiştir. Gözlemlenen durumlar birlikte değerlendirildiğinde trafik akımındaki araç sayısı arttıkça ortalama araç başına şerit değiştirme sayısı ve ortalama hızların azalma eğiliminde olduğu, gecikmelerin ise tam aksine yüksek trafik hacmi nedeniyle artma eğiliminde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

3.4. Optimizasyon Analizi ile Hesap Yöntemlerinin Önerilmesi

Optimizasyon analizi ile hesap gecikme, hız ve şerit değiştirme sayılarının hesaplanması amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan 3 farklı meta-sezgisel optimizasyon yöntemi (Yapay Arı Kolonisi, Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon ve Ateş Böceği Algoritması) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan analizlerden üç farklı hesap yöntemi için aynı anda kullanılan üç farklı sezgisel optimizasyon yöntemi için deneme yanılma yöntemi ile en uygun tasarım değerleri belirlenmiştir. Elde edilen optimum değerler Tablo 3.14’te verilmiştir.

Tablo 3.14. Hesap yöntemleri için kullanılan üç farklı optimizasyon yönteminde kullanılan sabit parametre değerleri

| Optimizasyon Yöntemi | Parametre | Önerilen Hesap Yöntemi | | |
|---|---------------------------|------------------------|-------------------------------------|---|
| | | Ortalama Hız Hesabı | Araç Başına Ortalama Gecikme Hesabı | Araç Başına Ortalama Şerit Değiştirme Sayısı Hesabı |
| Yapay Arı Kolonisi (YAK) | Maksimum İterasyon Sayısı | 10000 | 1000 | 1000 |
| | Yiyecek Sayısı | 40 | 40 | 40 |
| | Yiyecek Limiti | 10 | 10 | 10 |
| | Greedy Seçim | 1 | 1 | 1 |
| Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BTO) | Maksimum İterasyon Sayısı | 1000 | 1000 | 1000 |
| | Habitat Sayısı | 40 | 40 | 40 |
| | Mutasyon Oranı | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| Ateş Böceği Algoritması (ABA) | Maksimum İterasyon Sayısı | 10000 | 1000 | 1000 |
| | Ateş Böceği Sayısı | 40 | 40 | 40 |
| | Alfa | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| | Beta0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | Gamma | 5 | 5 | 5 |

3.4.1 Optimizasyon Analizlerinde Kullanılan Parametreler

Çalışmada kapsamında önerilmesi hedeflenen üç farklı hesap yönteminde etkili olan parametreler belirlenmiştir. Bu kapsamda ortalama hız, araç başına gecikme ve araç başına ortalama şerit değiştirme sayısı hesap denklemlerinin önerilmesinde aşağıda detaylı olarak açıklanan 22 parametre analizlerde kullanılmıştır.

1-) Toplanılan Bölge (T_B): Saha verilerinin toplandığı bölgelerdir. Veriler 5 farklı bölgedeki 7 farklı noktadan toplanmıştır (1.A; 1.B; 2; 3; 4.A; 4.B ve 5).

2-) Araç Türü (A_T): İncelenen bölgelerde gözlemlenen 4 farklı araç türüdür (Otomobil; Minibüs & Kamyonet; Midibüs & Otobüs; Kamyon & Tır).

3-) Araç Hareket Özelliği (A_{HO}): Örülme bölgesinde karmaşaya sebebiyet veren ve diğer araçları etkileyen ilk araç Tip-1, Tip-1'in hareketinden etkilenen ve aynı karmaşa içerisindeki diğer araçların tümü ise Tip-2 olarak tanımlanmıştır.

4-) Giriş Şerit Numarası (GS_N): Örülme bölgesine gelen aracın örülme etkisine girdiği şerit numarasıdır.

5-) Çıkış Şerit Numarası (CS_N): Örülme bölgesinden çıkan aracın örülme etkisinden çıktığı şerit numarasıdır.

6-) Araç Hareket Türü (A_{HT}): Örülme alanında görülen tüm hareket türleridir. Materyal ve Metot bölümünde detaylı olarak anlatılan toplam 12 farklı araç hareketidir.

7-) Giriş Şeridi Trafik Hacmi (GS_{TH}): Örülme bölgesine girişte tüm şeritlerdeki şerit bazlı trafik hacmidir.

8-) Giriş Şeridi Ağır Araç Oranı (GS_{AAO}): Örülme bölgesine girişte tüm şeritlerdeki şerit bazlı ağır araç oranıdır (%).

9-) Çıkış Şeridi Trafik Hacmi (CS_{TH}): Örülme bölgesinden çıkışta tüm şeritlerdeki şerit bazlı trafik hacmidir.

10-) Çıkış Şeridi Ağır Araç Oranı (CS_{AAO}): Örülme bölgesinden çıkışta tüm şeritlerdeki şerit bazlı ağır araç oranıdır (%).

11-) Trafik Durumu (T_D): Örülme bölgesindeki trafik akımının karakteristik özelliğidir (1-Çok Akıcı; 2-Akıcı; 3-Normal; 4-Tıkalı; 5-Çok Tıkalı).

12-) Örülme Nedeniyle Engel Yaşama Durumu (O_E): İncelenen örülme bölgesindeki bir araç şerit değiştirirken diğer araçların engeli ile karşılaşmadan sistematik bir şekilde hareketini tamamlıyorsa "engel yaşamadı", şerit değiştirirken diğer araçların engeli ile

yavaşlıyor veya şerit değiştirmeyi sistematik bir şekilde hareketini yapamıyorsa "engel yaşadı" olarak tanımlanmıştır.

13-) Giriş Şerit Genişliği (G_{SG}): Örülme bölgesine girişteki şeritlerin genişliği (metre).

14-) Giriş Yanal Açıklığı (G_{YA}): Örülme bölgesine girişte sağ ve sol yanal açıklıklar (metre).

15-) Giriş Yanal Etki (G_{YE}): Örülme bölgesine girişteki yanal açıklıkların örülme oluşumuna veya şerit disiplinsizliğine olan etkisi (1-Hiç Yok; 2-Biraz Var; 3-Var; 4-Çok Var).

16-) Giriş Katılım Mesafesi (GC_M): Örülme bölgesindeki giriş-çıkış cepleri arasındaki mesafe (metre).

17-) Çıkış Şerit Genişliği (C_{SG}): Örülme bölgesinden çıkıştaki şeritlerin genişliği (metre).

18-) Çıkış Yanal Açıklığı (C_{YA}): Örülme bölgesinden çıkışta sağ ve sol yanal açıklıklar (metre).

19-) Çıkış Yanal Etki (C_{YE}): Örülme bölgesinden çıkıştaki yanal açıklıkların örülme oluşumuna veya şerit disiplinsizliğine olan etkisi (1-Hiç Yok; 2-Biraz Var; 3-Var; 4-Çok Var).

20-) Ortalama Hız (\bar{v}): Örülme oluşumu nedeniyle örülmeye sebep olan ya da etkilenen araçların ortalama hızı (km/sa).

21-) Gecikme (d): Örülme oluşumu nedeniyle örülmeye sebep olan ya da etkilenen araçların yaşadığı gecikme (sn).

22-) Şerit Değiştirme Sayısı (S_{DS}): Örülme alanında araçların yaptığı şerit değiştirme sayısıdır.

3.4.2. Ortalama Hız Hesabı Yöntemi

Analizlerde kullanılan üç farklı sezgisel optimizasyon yöntemi (YAK, BTO ve ABA) yardımıyla ortalama hız hesabı için önerilen bağıntılar sırasıyla Eşitlik 3.1, Eşitlik 3.2 ve Eşitlik 3.3'te verilmektedir.

1-) Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu ile Tahmin

$$\begin{aligned}\bar{v} = & \frac{T_B^{x(1,2)}}{x(1,1)} + 1027.1 \times A_T^{x(2,1)} \times A_{HO}^{x(3,1)} + x(4,1) \times \\ & GS_N^{x(4,2)} - 2.55 \times GS_{TH} - GS_{AAO}^{x(6,1)} + x(7,1) \times CS_{AAO} + \\ & x(8,1) \times O_E + \frac{x(9,1) + G_{YE}^{x(9,2) \times 0.5}}{GC_M^{x(10,1)}} + 0.6 \times C_{YE}^{x(11,1)} \times d^{x(12,1)}\end{aligned}\quad (3.1)$$

2-) Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon ile Tahmin

$$\begin{aligned}\bar{v} = & \frac{T_B^{x(1,2)}}{x(1,1)} + 1165.5 \times A_T^{x(2,1)} \times A_{HO}^{x(3,1)} + GS_N^{x(4,1)} - 3 \times \\ & GS_{TH} \times x(5,1) - GS_{AAO} \times x(6,1) + CS_{AAO} \times x(7,1) + \\ & O_E^{x(8,1)} + G_{YE}^{x(9,1) \times 0.5} + x(9,2) + 3.27 \times C_{YE}^{x(11,1)} \times \\ & d^{x(12,1)}\end{aligned}\quad (3.2)$$

3-) Ateş Böceği Algoritması ile Tahmin

$$\begin{aligned}\bar{v} = & \frac{T_B^{x(1,2)}}{x(1,1)} + 2499 \times A_T^{x(2,1)} \times A_{HO}^{x(3,1)} - 5.83 \times GS_{TH}^{x(5,1)} \times \\ & GS_{AAO}^{x(6,1)} \times CS_{AAO} + 2.66 \times \frac{G_{YE}^{x(9,2) \times 1.5} + x(9,1)}{(GC_M \times 0.15)} \times C_{YE}^{x(11,1)} \times \\ & d^{x(12,1)}\end{aligned}\quad (3.3)$$

Önerilen eşitliklerdeki değişkenlere ait hesaplanan katsayılar ise Tablo 3.15’de verilmektedir. Ayrıca kullanılan yöntemler yardımıyla önerilen bağıntılara ait hata miktarları tabloda verilmiştir.

Özellikle Ortalama Mutlak Yüzdesel Hata (MAPE%) değerleri incelendiğinde en düşük hata hata değerine (%11.91) sahip olan yapay arı kolonisi ile geliştirilen Eşitlik 3.1’in daha düşük doğru tahminler yaptığı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma kapsamında ortalama hız için önerilen bağıntı Eşitlik 3.1’dir.

Tablo 3.15. Hız tahmini eşitlikleri parametre değerleri

| Ortalama Hız Hesabı | Parametre No | Optimizasyon Yöntemi | | | | | |
|---------------------|--------------|----------------------|---------|-----------------------------------|---------|-------------------------|---------|
| | | Yapay Arı Kolonisi | | Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon | | Ateş Böceği Algoritması | |
| | | X(n, 1) | X(n, 2) | X(n, 1) | X(n, 2) | X(n, 1) | X(n, 2) |
| Değişken No | X(1, m) | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | X(2, m) | 0.03 | — | 1 | — | 0.94 | — |
| | X(3, m) | 10.15 | — | 10.52 | — | 11.01 | — |
| | X(4, m) | 0.87 | 0.20 | 0.73 | — | — | — |
| | X(5, m) | — | — | 0.51 | — | 0.51 | — |
| | X(6, m) | 0.11 | — | 0.02 | — | 0.74 | — |
| | X(7, m) | 1.23 | — | 0.10 | — | — | — |
| | X(8, m) | 0.98 | — | 1.47 | — | — | — |
| | X(9, m) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.08 | 2.07 |
| | X(10, m) | 0.70 | — | — | — | — | — |
| | X(11, m) | 0.72 | — | 0.11 | — | 0.77 | — |
| | X(12, m) | 0.71 | — | 1.24 | — | 1.16 | — |
| Hata Hesap Yöntemi | MAPE (%) | 11.91 | | 18.80 | | 18.24 | |
| | AAE | 7.27 | | 10.97 | | 10.67 | |
| | RMSE | 9.55 | | 13.67 | | 13.27 | |
| | MSE | 91.22 | | 186.98 | | 176.20 | |

3.4.3 Araç Başına Ortalama Gecikme Hesabı Yöntemi

Analizlerde kullanılan üç farklı sezgisel optimizasyon yöntemi (YAK, BTO ve ABA) yardımıyla araç başına ortalama gecikme hesabı için önerilen bağıntılar sırasıyla Eşitlik 3.4, Eşitlik 3.5 ve Eşitlik 3.6’da verilmektedir.

1-) Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu ile Tahmin

$$\begin{aligned}
 d = & x(1,1)^2 + \left(\frac{T_B^{x(2,2)}}{x(2,1)^3}\right)^3 + 0.5 \times (A_T^{x(3,2)} \times x(3,1))^2 - \\
 & \frac{GS_N^{x(4,2)}}{CS_N^{x(5,1)}} + \frac{A_{HT}^{x(6,2)} \times x(6,1)}{10} + (1.58 + (GS_{AAO} \times x(7,2))^{x(7,1)}) + \\
 & \sqrt{CS_{TH}^{x(8,2)} \times x(8,1)} - \frac{CS_{AAO}^{x(9,2)} - x(9,1)}{100} + \frac{\frac{0.05 \times T_D^{x(10,2)}}{x(10,1)}}{10 + O_E - x(11,2)^{x(11,1)}} - \\
 & 0.05 \times S_{DS}^{x(12,2)} + x(12,1)
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

2-) Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon ile Tahmin

$$\begin{aligned}
d = & x(1,1)^2 + \left(\frac{T_B^{x(2,2)}}{x(2,1)^3}\right)^3 + 0.5 \times (A_T^{x(3,2)} \times x(3,1))^2 - \frac{GS_N^{x(4,2)}}{CS_N^{x(5,1)}} + \\
& \frac{A_{HT}^{x(6,2)} \times x(6,1)}{10} + GS_{AAO} \times x(7,2) + \\
& \sqrt{0.01 \times CS_{TH}^{x(8,2)} \times x(8,1)} - \frac{CS_{AAO}^{x(9,2)} - x(9,1)}{100} + \\
& \frac{0.05 \times T_D^{x(10,2)}}{10 + O_E - x(11,2)x(11,1)} - 0.05 \times S_{DS}^{x(12,2)} + x(12,1)
\end{aligned} \quad (3.5)$$

3-) Ateş Böceği Algoritması ile Tahmin

$$\begin{aligned}
d = & x(1,1)^2 + \left(\frac{T_B^{x(2,2)}}{x(2,1)^3}\right)^3 + 0,5 \times (A_T^{x(3,2)} \times x(3,1))^2 - \frac{GS_N^{x(4,2)}}{CS_N^{x(5,1)}} + \\
& (GS_{AAO} \times x(7,2))^{x(7,1)} + x(7,1) + \sqrt{0,01 \times CS_{TH}^{x(8,2)}} - \\
& \frac{CS_{AAO}^{x(9,2)} - x(9,1)}{100} + \frac{0.05 \times T_D^{x(10,2)}}{10 + O_E - x(11,2)x(11,1)} - 0.05 \times S_{DS}^{x(12,2)} + \\
& x(12,1)
\end{aligned} \quad (3.6)$$

Önerilen eşitliklerdeki değişkenlere ait hesaplanan katsayılar ise Tablo 3.16’da verilmektedir. Ayrıca kullanılan yöntemler yardımıyla önerilen bağıntılara ait hata miktarları da tabloda verilmiştir. Özellikle Ortalama Mutlak Yüzdesel Hata (MAPE %) değerleri incelendiğinde en düşük hata değerinin yine yapay arı kolonisi ile geliştirilen Eşitlik 3.4’ün daha düşük yani daha doğru tahminler yaptığı sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 3.16. Gecikme tahmini eşitlikleri parametre değerleri

| Ortalama Gecikme Hesabı | Parametre No | Optimizasyon Yöntemi | | | | | |
|-------------------------|--------------|----------------------|---------|-----------------------------------|---------|-------------------------|---------|
| | | Yapay Arı Kolonisi | | Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon | | Ateş Böceği Algoritması | |
| | | X(n, 1) | X(n, 2) | X(n, 1) | X(n, 2) | X(n, 1) | X(n, 2) |
| Değişken No | X(1, m) | 2.48 | — | 2.15 | — | 2 | — |
| | X(2, m) | -1.89 | -4.11 | -5.25 | -1.21 | -2.48 | -5 |
| | X(3, m) | -0.02 | -0.72 | -1.31 | -1.29 | -0.99 | -0.29 |
| | X(4, m) | -3.44 | -1.30 | -1.08 | -0.74 | -2.86 | -1.70 |
| | X(5, m) | 1.57 | — | 1.48 | — | 0.03 | — |

Tablo 3.16. (devamı)

| | | | | | | | |
|--------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Değişken No | X(6, m) | 0.33 | 1.57 | 0.51 | 0.49 | — | — |
| | X(7, m) | 1.58 | 0.32 | 0 | 0.90 | 1.92 | 0.65 |
| | X(8, m) | 0.03 | 0.35 | 0.48 | 0.49 | 0.11 | 0 |
| | X(9, m) | 2.66 | 2.85 | 2.17 | 1.35 | 5 | 2.21 |
| | X(10, m) | -6.91 | -1.46 | -4.57 | -1.89 | -5.34 | -5.17 |
| | X(11, m) | 1.15 | 1.85 | 0.35 | 0.65 | 0.75 | 1.27 |
| | X(12, m) | 0.13 | 0.90 | 0.04 | 1.46 | 1.04 | 0.17 |
| Hata Hesap Yöntemi | MAPE (%) | 12.25 | | 12.83 | | 12.30 | |
| | AAE | 0.84 | | 0.89 | | 0.86 | |
| | RMSE | 1.17 | | 1.24 | | 1.22 | |
| | MSE | 1.37 | | 1.55 | | 1.49 | |

3.4.4 Araç Başına Ortalama Şerit Değiştirme Sayısı Hesabı Yöntemi

Analizlerde kullanılan üç farklı sezgisel optimizasyon yöntemi (YAK, BTO ve ABA.) yardımıyla araç başına ortalama şerit değiştirme sayısı hesabı için önerilen bağıntılar sırasıyla Eşitlik 3.7, Eşitlik 3.8 ve Eşitlik 3.9'da verilmektedir.

1-) Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu ile Tahmin

$$\begin{aligned}
 S_{DS} = & x(1,1) - x(2,1) \times T_B^{x(2,2)} \times A_T^{x(3,1)} + A_{HO}^{x(4,2) \times 0.85} \times \\
 & x(4,1) + GS_N \times x(5,1) + GS_{TH} \times (6,1) - T_D^{x(7,2)} \times \\
 & x(7,1) \times O_E^{1.2} \times x(8,1)^5 + C_{SG}^{x(9,2)} \times x(9,1) \times C_{YA}
 \end{aligned} \quad (3.7)$$

2-) Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon ile Tahmin

$$\begin{aligned}
 S_{DS} = & x(1,1) - T_B^{x(2,2)} \times x(2,1) \times A_T^{x(3,1)} + A_{HO}^{x(4,2)} \times x(4,1) + \\
 & GS_N \times x(5,1) + CS_N^{x(6,2)} \times x(6,1) + GS_{TH} \times x(7,1) - \\
 & T_D^{x(8,2)} \times x(8,1) \times O_E^3 + C_{YA} \times x(10,1)
 \end{aligned} \quad (3.8)$$

3-) Ateş Böceği Algoritması ile Tahmin

$$\begin{aligned}
 S_{DS} = & x(1,1) - T_B^{x(2,2)} \times x(2,1) \times A_T^{x(3,1)} + A_{HO}^{x(4,2)} \times x(4,1) + \\
 & GS_N \times x(5,1) + CS_N^{x(6,2)} \times x(6,1) + GS_{TH} \times \\
 & x(7,1) - CS_{TH}^{x(8,2)} \times x(8,1) + T_D^{x(9,2)} \times x(9,1) \times O_E^5 + \\
 & C_{SG}^{x(10,1)} \times C_{YA} \times x(11,1)
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

Önerilen eşitliklerdeki değişkenlere ait hesaplanan katsayılar ise Tablo 3.17’de verilmektedir. Ayrıca kullanılan yöntemler yardımıyla önerilen bağıntılara ait hata miktarları da tabloda verilmiştir. Özellikle Ortalama Mutlak Yüzdesel Hata (MAPE %) değerleri incelendiğinde en düşük hata değerine sahip olan ateş böceği algoritması ile geliştirilen Eşitlik 3.9’un daha düşük yani doğru tahminler yaptığı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma kapsamında ortalama şerit değiştirme sayısı kapsamında önerilen bağıntı Eşitlik 3.9’dur.

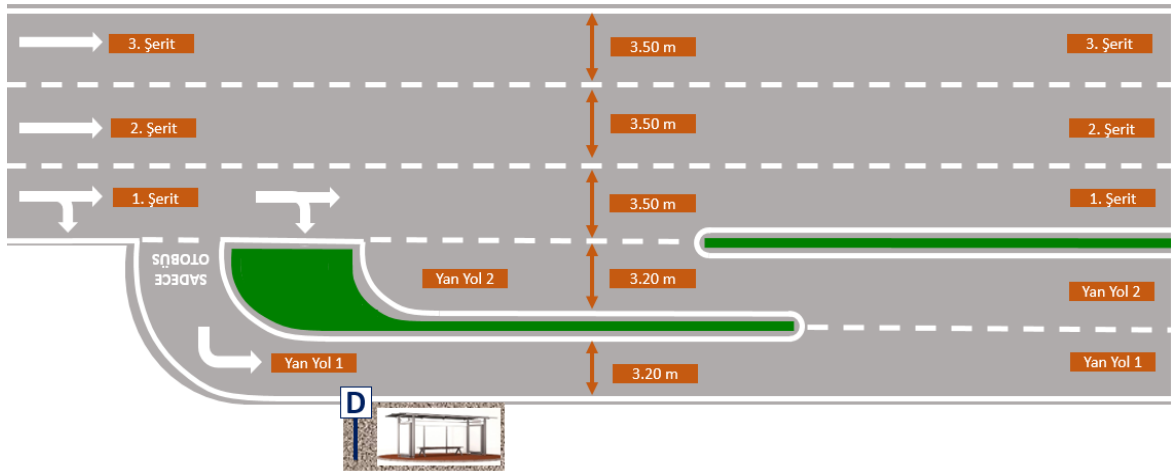
Tablo 3.17. Şerit değiştirme sayısı tahmini eşitlikleri parametre değerleri

| Ortalama Şerit Değiştirme Sayısı Hesabı | Parametre No | Optimizasyon Yöntemi | | | | | |
|---|-----------------|-----------------------|---------|--------------------------------------|---------|----------------------------|---------|
| | | Yapay Arı Kolonisi | | Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon | | Ateş Böceği Algoritması | |
| | | X(n, 1) | X(n, 2) | X(n, 1) | X(n, 2) | X(n, 1) | X(n, 2) |
| Değişken No | X(1, m) | 0.94 | — | 0.75 | — | -0.12 | — |
| | X(2, m) | 1.02 | -0.10 | 0.12 | -0.66 | 0.20 | -0.21 |
| | X(3, m) | -0.31 | — | -0.36 | — | -0.04 | — |
| | X(4, m) | -0.04 | -1.5 | -0.35 | 1.03 | 0.69 | -0.74 |
| | X(5, m) | 0.25 | — | 0.25 | — | 0.05 | — |
| | X(6, m) | 0.01 | — | 0.02 | 0.05 | 0.04 | 0.04 |
| | X(7, m) | 0.03 | 0.45 | 0.04 | — | 0.03 | — |
| | X(8, m) | 0.09 | — | 0.01 | -0.10 | -0.1 | 0.02 |
| | X(9, m) | 0.44 | 0.02 | — | — | 0.01 | 0.11 |
| | X(10, m) | — | — | 0.79 | — | 0.27 | — |
| | X(11, m) | — | — | — | — | 0.62 | — |
| Hata Hesap Yöntemi | MAPE (%) | 7.92 | | 16.91 | | 6.25 | |
| | AAE | 0.25 | | 0.35 | | 0.25 | |
| | RMSE | 0.52 | | 0.64 | | 0.50 | |
| | MSE | 0.27 | | 0.41 | | 0.25 | |

3.5. Yeni Geometrilere Önerilmesi

Çalışmanın amaçlarında da belirtildiği üzere bu tez çalışması kapsamında incelenen örülme bölgelerinde hatalı olan yol geometrileri yerine örülme oluşumunu engelleyecek yeni

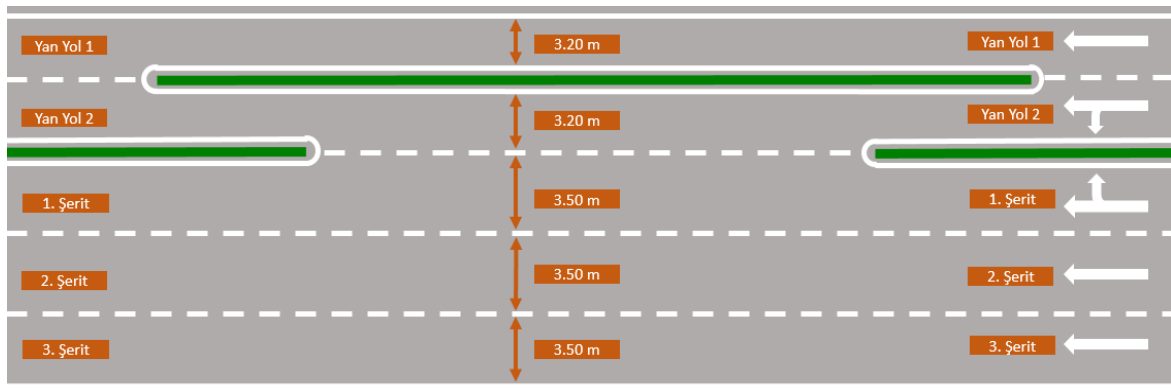
geometrik düzenlemeler önerilmiştir. Mevcut yol geometrileri şehiriçi yol ağları üzerinde yer aldığı ve geometri olarak mevcut sınırlar dışına çıkma imkânı olmadığı için öneriler mevcut geometrik sınırlar, şerit sayısı ve şerit genişlikleri dikkate alınarak yapılmıştır. Her bir örölme bölgesine ait yeni geometrik özellikler Şekil 3.20-Şekil 3.26’da şematik olarak görselleştirilmiştir. Önerilen yeni yol tasarımına ait geometrik özellikler ise Tablo 3.18-Tablo 3.24’te verilmiştir.



Şekil 3.20. 1.A numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi

Tablo 3.18. 1.A numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar

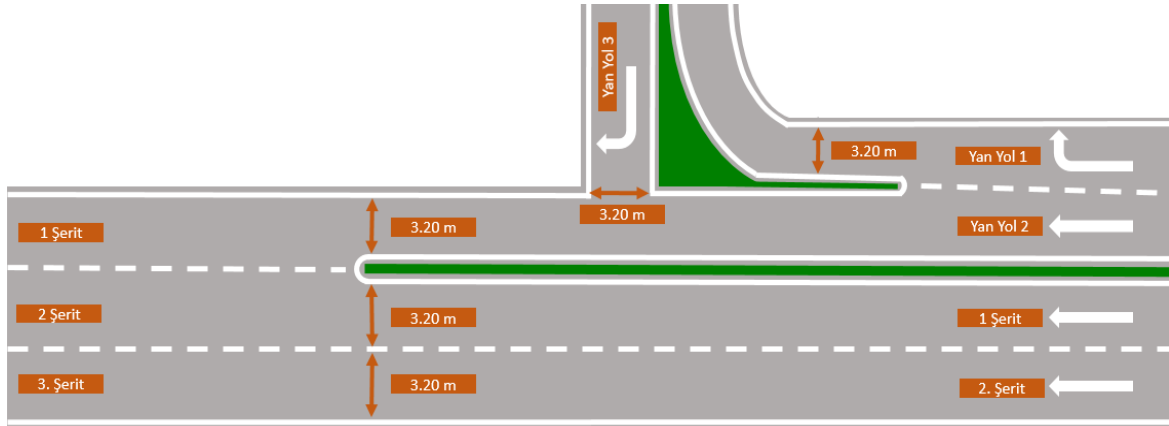
| Bölge No | Giriş Şerit No | Çıkış Şerit No | Şerit Genişliği (m) | Sağ Yanal Açıklık (cm) | Sol Yanal Açıklık (cm) |
|-----------|----------------|----------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Bölge 1.A | 1 | 1 | 3.50 | 30 | — |
| | 2 | 2 | 3.50 | — | — |
| | 3 | 3 | 3.50 | — | 30 |
| | — | Yan Yol 1 | 3.20 | 10 | 10 |
| | — | Yan Yol 2 | 3.20 | 10 | 10 |



Şekil 3.21. 1.B numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi

Tablo 3.19. 1.B numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar

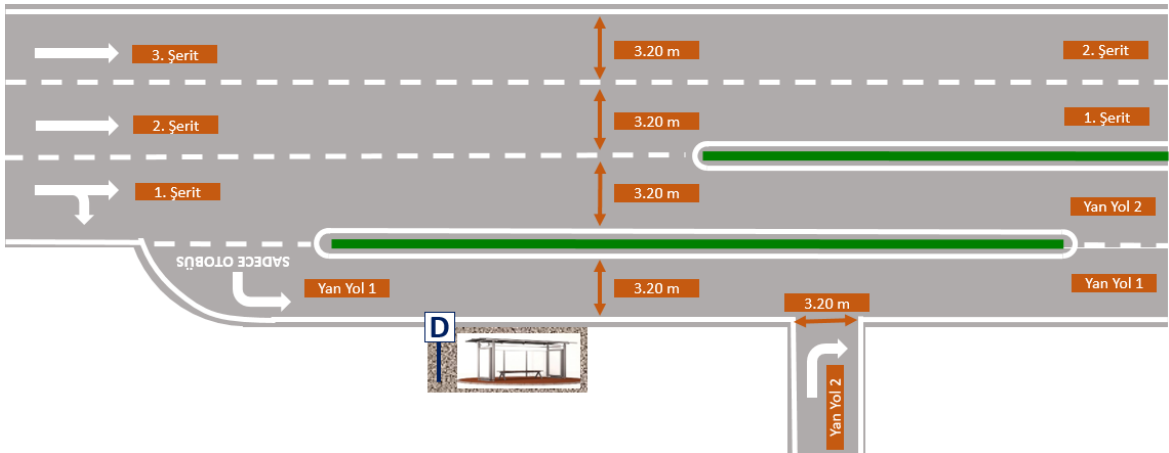
| Bölge No | Giriş Şerit No | Çıkış Şerit No | Şerit Genişliği (m) | Sağ Yanal Açıklık (cm) | Sol Yanal Açıklık (cm) |
|-----------|----------------|----------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Bölge 1.B | 1 | 1 | 3.50 | 30 | — |
| | 2 | 2 | 3.50 | — | — |
| | 3 | 3 | 3.50 | — | 30 |
| | Yan Yol 1 | Yan Yol 1 | 3.20 | 10 | 10 |
| | Yan Yol 2 | Yan Yol 2 | 3.20 | 10 | 10 |



Şekil 3.22. 2 numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi

Tablo 3.20. 2 numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar

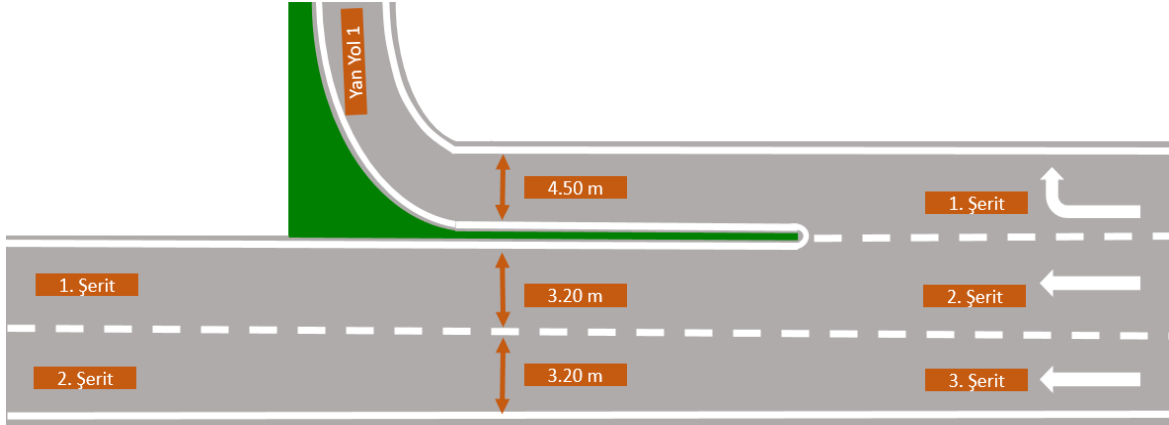
| Bölge No | Giriş Şerit No | Çıkış Şerit No | Şerit Genişliği (m) | Sağ Yanal Açıklık (cm) | Sol Yanal Açıklık (cm) |
|----------|----------------|----------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Bölge 2 | 1 | 2 | 3.50 | 30 | — |
| | 2 | 3 | 3.50 | — | 30 |
| | Yan Yol 1 | — | 3.50 | 30 | 30 |
| | Yan Yol 2 | 1 | 3.20 | 30 | 30 |
| | Yan Yol 3 | — | 3.20 | 30 | 30 |



Şekil 3.23. 3 numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi

Tablo3.21. 3 numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar

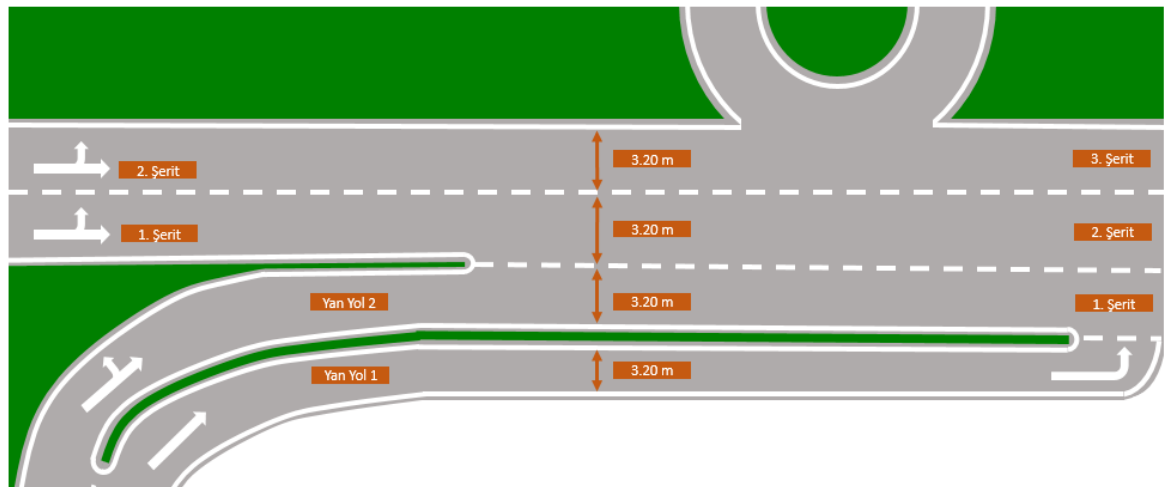
| Bölge No | Giriş Şerit No | Çıkış Şerit No | Şerit Genişliği (m) | Sağ Yanal Açıklık (cm) | Sol Yanal Açıklık (cm) |
|----------|----------------|----------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Bölge 3 | 1 | Yan Yol 2 | 3.20 | 10 | 10 |
| | 2 | 1 | 3.20 | 30 | — |
| | 3 | 2 | 3.20 | — | 30 |
| | Yan Yol 1 | Yan Yol 1 | 3.20 | 10 | 10 |
| | Yan Yol 2 | — | 3.20 | 30 | 30 |



Şekil 3.24. 4.A numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi

Tablo 3.22. 4.A numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar

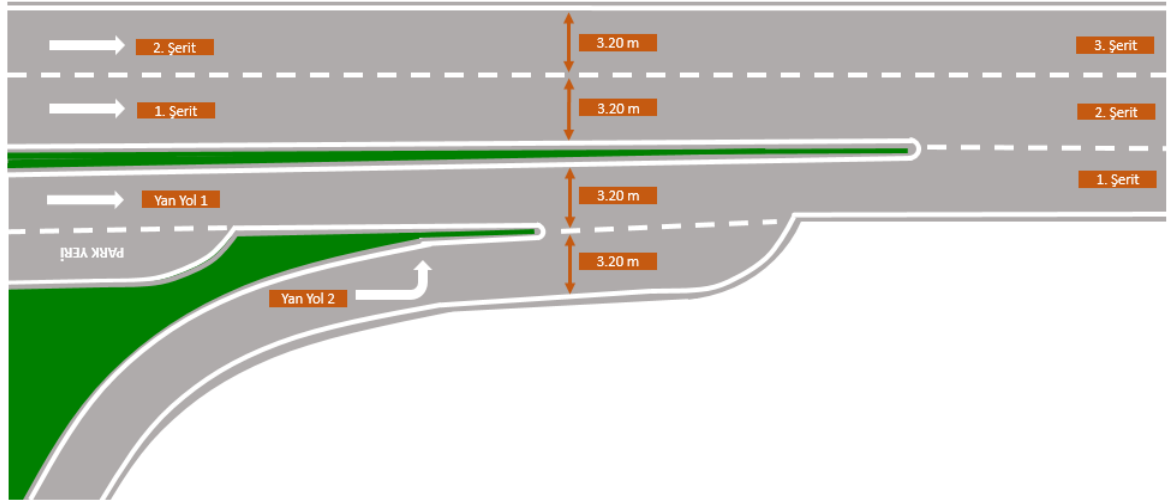
| Bölge No | Giriş Şerit No | Çıkış Şerit No | Şerit Genişliği (m) | Sağ Yanal Açıklık (cm) | Sol Yanal Açıklık (cm) |
|-----------|----------------|----------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Bölge 4.A | 1 | Yan Yol 1 | 4.50 | 50 | 50 |
| | 2 | 1 | 3.20 | 30 | — |
| | 3 | 2 | 3.20 | — | 30 |



Şekil 3.25. 4.B numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi

Tablo 3.23. 4.B numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar

| Bölge No | Giriş Şerit No | Çıkış Şerit No | Şerit Genişliği (m) | Sağ Yanal Açıklık (cm) | Sol Yanal Açıklık (cm) |
|-----------|----------------|----------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Bölge 4.B | 1 | 2 | 3.20 | 30 | — |
| | 2 | 3 | 3.20 | — | 30 |
| | Yan Yol 1 | — | 3.20 | 10 | 10 |
| | Yan Yol 2 | 1 | 3.20 | 10 | 10 |



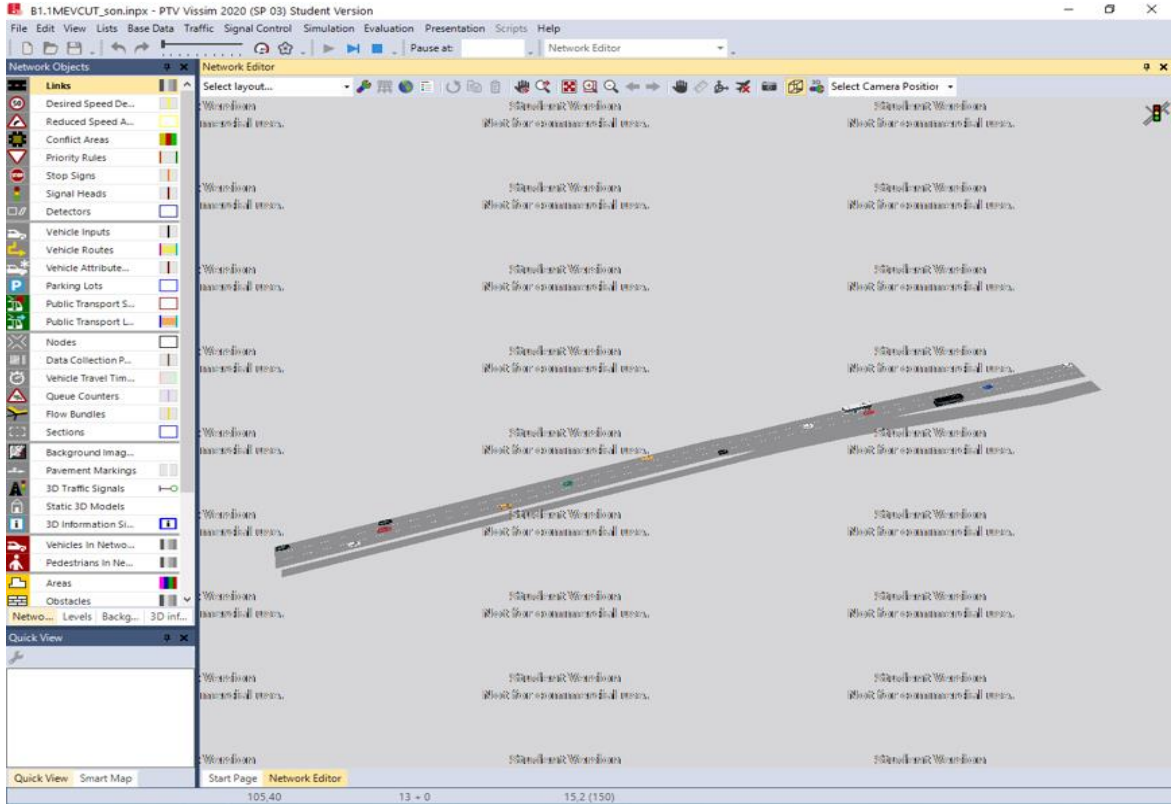
Şekil 3.26. 5 numaralı bölge için önerilen yeni geometrinin şematik olarak gösterimi

Tablo 3.24. 5 numaralı bölge için önerilen yeni geometrik uzunluklar

| Bölge No | Giriş Şerit No | Çıkış Şerit No | Şerit Genişliği (m) | Sağ Yanal Açıklık (cm) | Sol Yanal Açıklık (cm) |
|----------|----------------|----------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Bölge 5 | 1 | 2 | 3.20 | 30 | — |
| | 2 | 3 | 3.20 | — | 30 |
| | Yan Yol 1 | 1 | 3.20 | 30 | 30 |
| | Yan Yol 2 | — | 3.20 | 30 | 30 |

3.6. Vissim Analizleri

Analizler kapsamında örülme bölgelerinin eski ve yeni hali (geometrik özelliklere göre) arasındaki performans farklılıkları PTV Vissim mikro-simülasyon programı ile yapılmıştır. Bu amaçla ilk olarak 5 farklı bölgede yer alan 7 farklı örülme alanına ait mevcut geometriler Vissim programında çizilmiş ve mevcut tüm trafik akım karakteristikleri programa girilmiştir. Şekil 3.27’de, Bölge 1.A numaralı örülme bölgesinin geometrik özelliklerine göre program içerisinde çizimi ve trafik akım karakteristiklerinin programa girilmesi sonrası yapılan simülasyona ait örnek görsel verilmiştir.



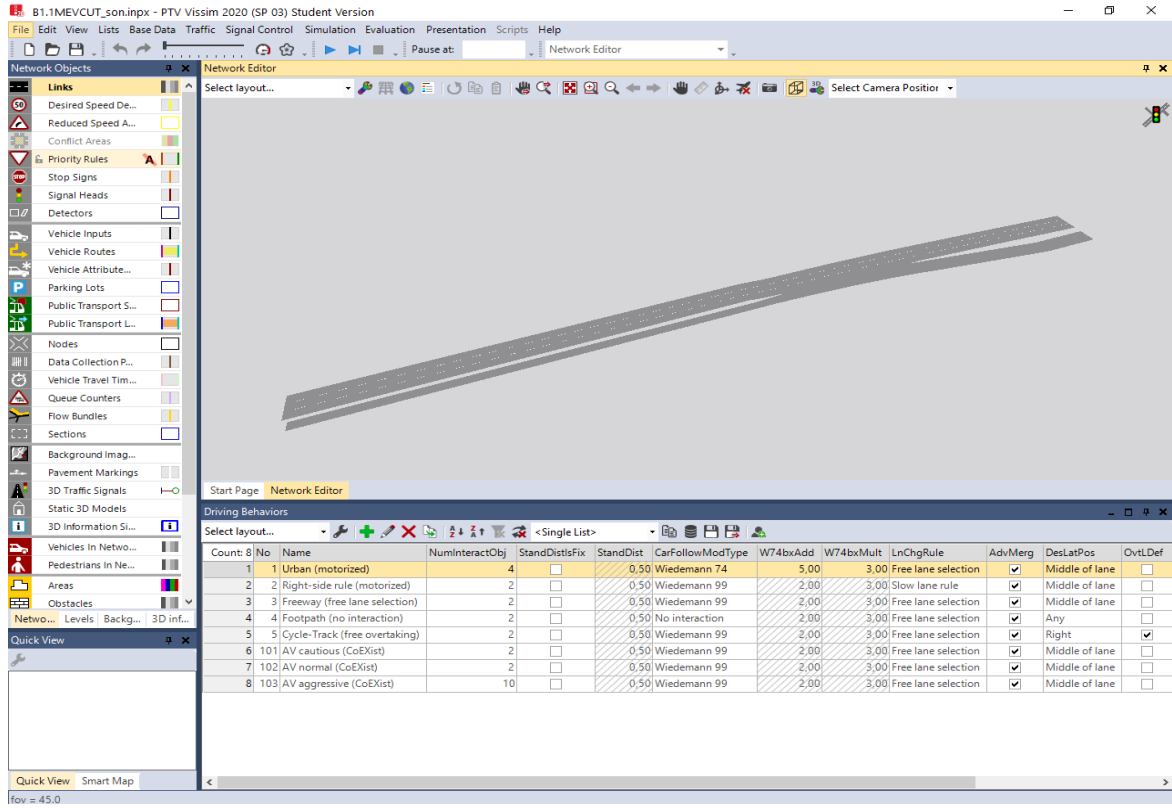
Şekil 3.27. Vissim programı simülasyon ekranı

3.6.1 Vissim Programında Saha Verilerinin Benzetiilmesi İşlemi

Vissim programı tasarım özelliği nedeniyle kullanıcıların programa girdiği geometrik özellikler ve parametreleri analiz ederken bazı kabuller ve katsayılar kullanılmaktadır. Sabit koşullarda sürücüler farklı tip reaksiyonlar sergilemektedir. Bu davranış cinsiyete ve sürücülerin tüm karakteristik özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Aydın, 2017; Aydın vd. 2019). Yapılan bilimsel çalışmalarda, simülasyon programının analizlerde kullanılabilmesi için bazı katsayılar hesaplanmıştır (Çakıcı, 2020). Ne yazık ki hesaplanan bu değerler ya da yapılan kabuller sürücü psikolojisinin değişken koşullara ya da bölgesel farklılığa göre çok fazla değişkenlik göstermesini analiz sonuçlarına tam olarak yansıtamamaktadır. Aynı geometrik özellikler ve saha verileri girildiğinde, sahadaki gerçek değerler ile Vissim programı ile yapılan analiz sonuçları farklılıklar gösterebilmektedir.

Bu nedenle çalışma kapsamında saha verileri ile Vissim programının verdiği değerler arasında farklılıkların olduğu Bölge 1.A, Bölge 1.B, Bölge 2 ve Bölge 4.B için verilen Vissim sürüş davranışı karakteristiklerinin benzetimi yapılması ile benzetim işlemi tamamlanmıştır. Yapılan benzetim işlemi ile saha verilerini tam yansıtmayan bölgelerde

Vissim sonuçları saha sonuçlarına benzetilmiştir. Benzetimi sağlayan güvenlik mesafesi faktörlerinin o bölgenin sürücü davranış özelliklerini yansıtan katsayılar olduğu kabul edilerek ilgili bölgenin önerilen geometriye göre analizlerinde de aynı değerler kullanılmıştır.



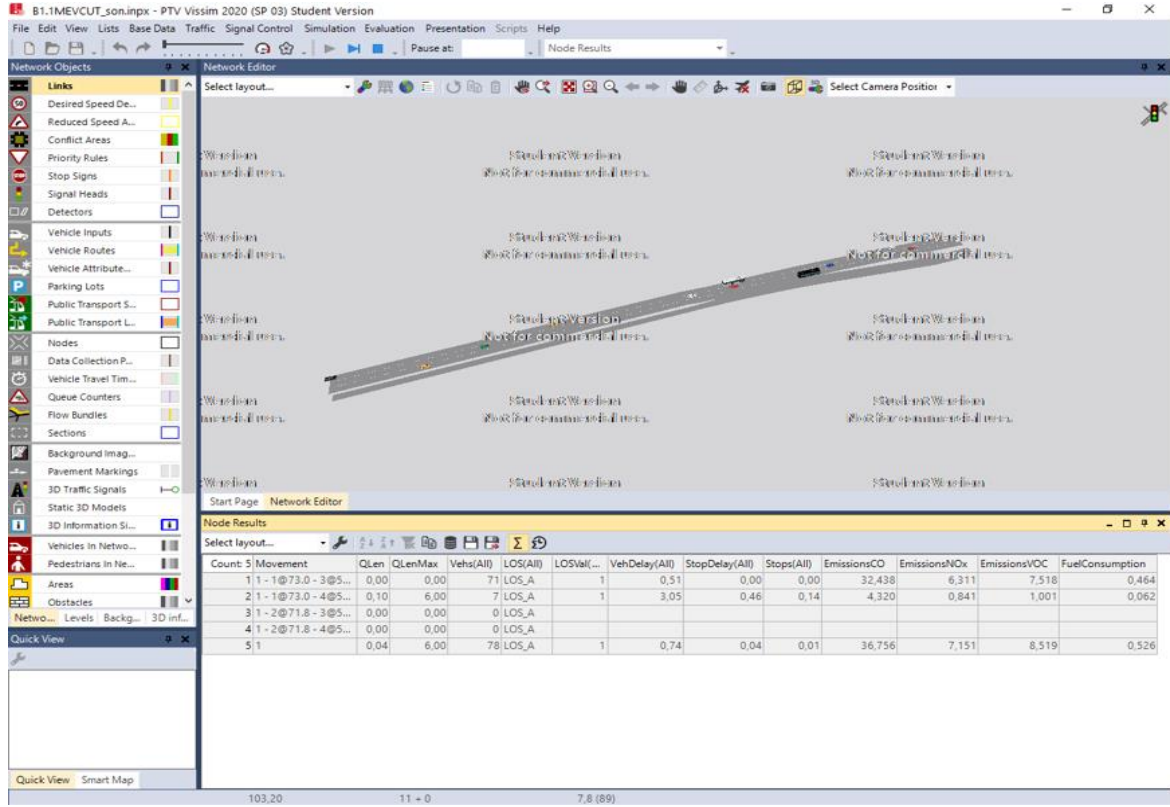
Şekil 3.28. Vissim programı sürüş davranışı parametreleri ekranı

Belirtilen bölgelerde yapılan benzetme çalışmasının aksine Bölge 3, Bölge 4.A ve Bölge 5'te Vissim sonuçları ile saha sonuçları birbiri ile örtüştüğü için herhangi bir benzetme çalışması yapılmamıştır. Bu bölgelerde programın yaptığı değerlerin sürücü davranış özelliklerini yansıttığı kabulü ile aynı değerler önerilen geometri içinde kullanılarak önerilen yeni geometri için analizler yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

3.6.2 Mevcut Duruma ve Önerilen Geometriye Göre Vissim Analizleri

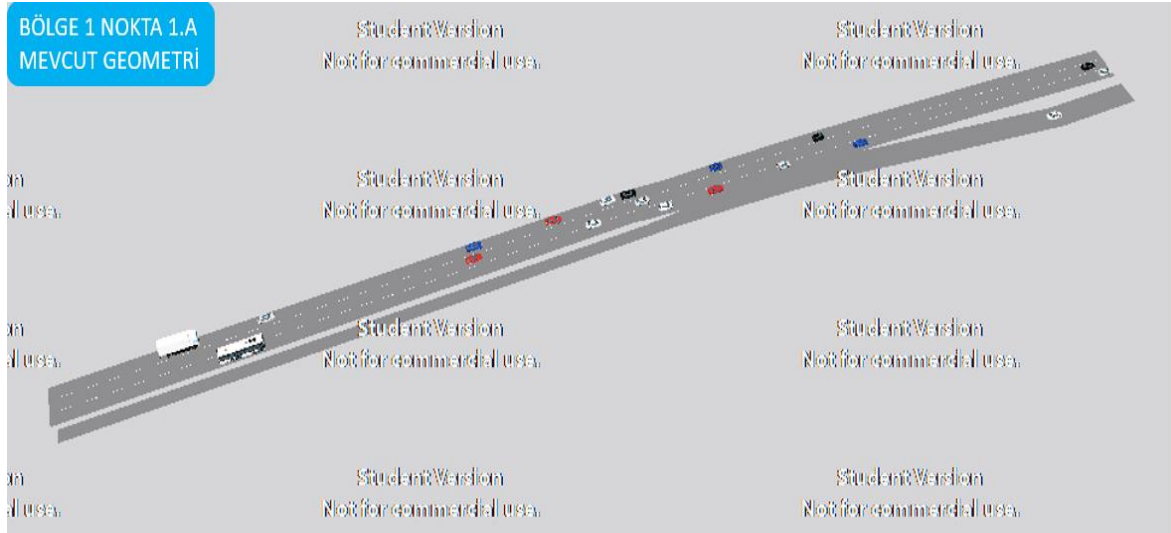
Örülme bölgelerinde yaşanan sorunlara geometrik açıdan çözüm getirebilmek amacıyla tez çalışması ile önerilen yeni geometriler Vissim mikro-simülasyon programına girilmiştir. Sonraki adımda ise bir önceki bölümde yapılan benzetim ile elde edilen tüm trafik

akım karakteristikleri, programa analiz verileri olarak işlenmiştir ve analizler yapılmıştır (Şekil 3.29).

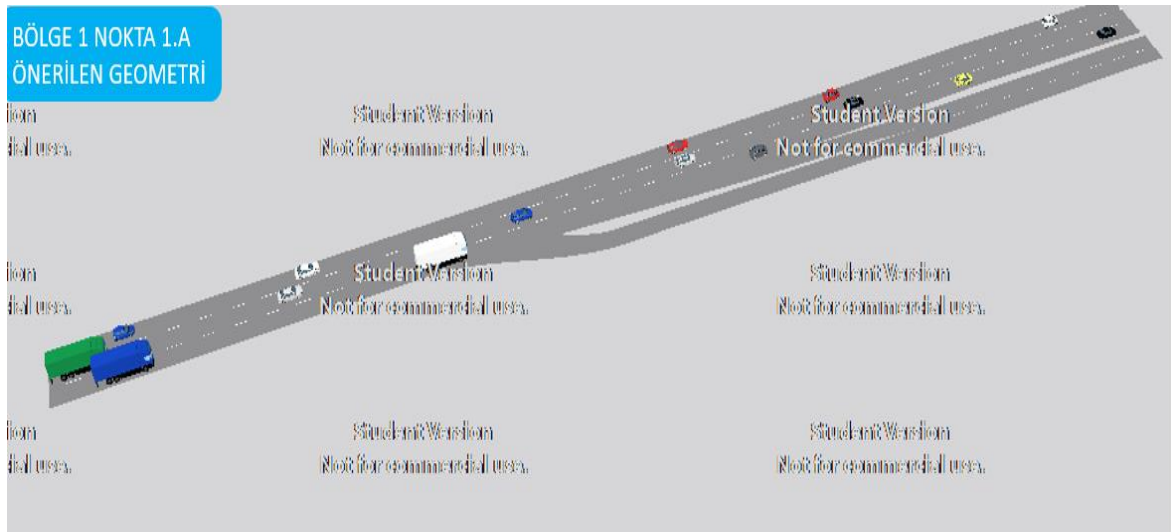


Şekil 3.29. Vissim programı analiz ekranı

Programın yaptığı analiz sonucu yeni geometrilere ait sonuçlar da elde edilmiştir. Vissim programı ile beş farklı bölgede yer alan toplam yedi farklı örülme alanı için eski ve önerilen yeni geometrilere göre yapılan analizler sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 3.25- Tablo 3.31’de verilmiştir. Programda her bir örülme alanı için eski ve yeni geometrilere göre yapılan benzetim analizlerine ait görüntüler ise Şekil 3.30- Şekil 3.36’da verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.30. Bölge 1 Nokta 1.A a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel

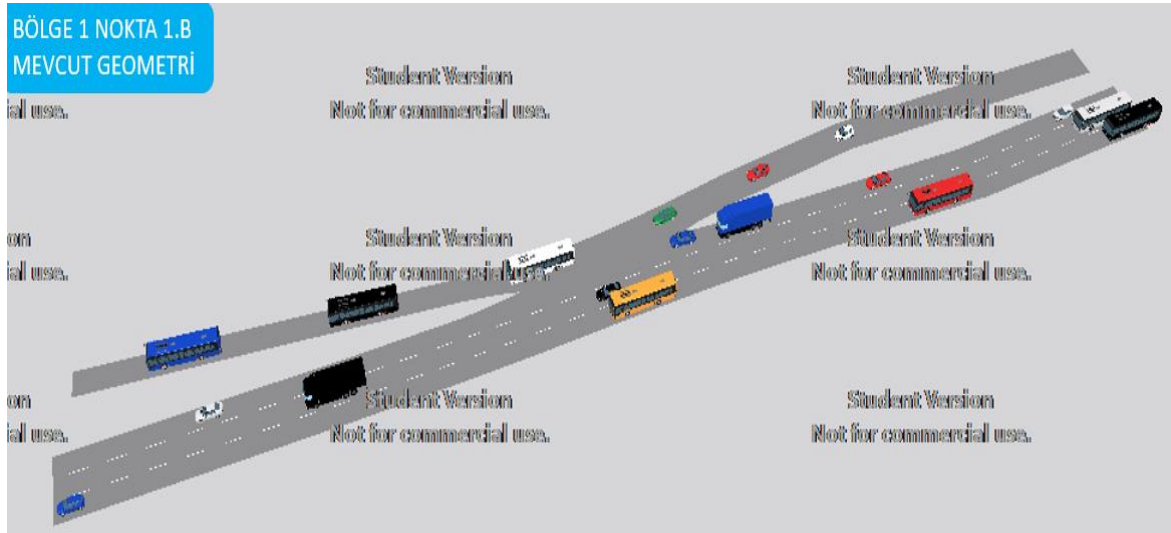
Tablo 3.25. Bölge 1 Nokta 1.A için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları

| No | Analiz Parametreleri | Mevcut Geometriye Göre | Önerilen Geometriye Göre | Değişim (%) | Değişim Türü |
|----|------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| 1 | Ortalama Kuyruk Uzunluğu (m) | 2.42 | 0.03 | 98.8 | Azalma |
| 2 | Maksimum Kuyruk Uzunluğu (m) | 49.54 | 18.06 | 63.6 | Azalma |
| 3 | Hizmet Seviyesi (LOS) | A | A | — | — |
| 4 | Ortalama Araç Gecikmesi (sn) | 4.80 | 0.53 | 88.9 | Azalma |
| 5 | Durma Gecikmesi (sn) | 0.55 | 0.00 | 100 | Azalma |
| 6 | Durma Sayısı | 0.10 | 0.00 | 100 | Azalma |

Tablo 3.25. (devamı)

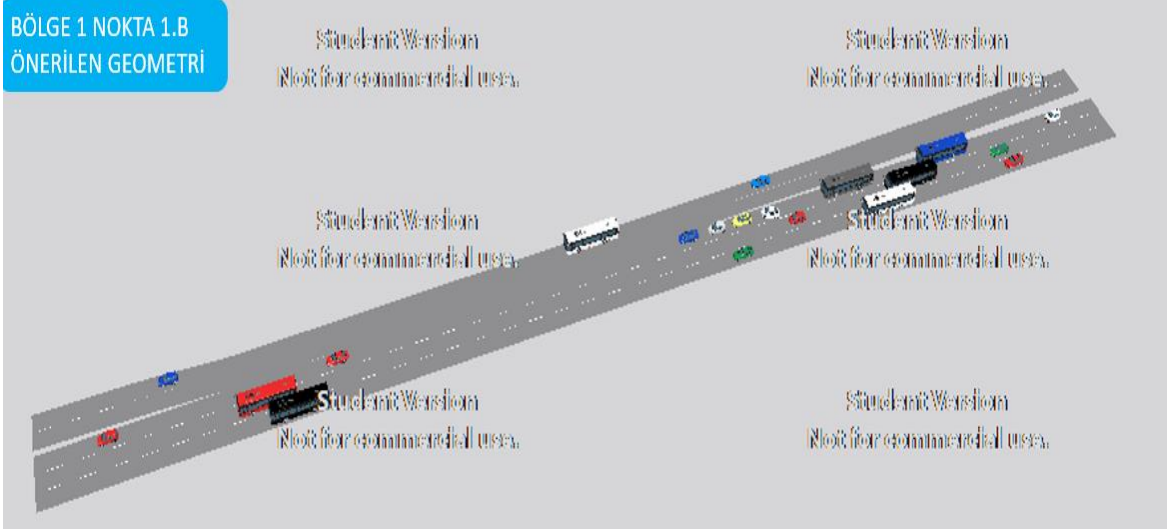
| | | | | | |
|----|--|--------|--------|------|--------|
| 7 | CO Emisyonu (g) | 265.42 | 152.08 | 42.7 | Azalma |
| 8 | NOx Emisyonu (g) | 51.64 | 29.59 | 42.7 | Azalma |
| 9 | Uçucu Organik Bileşik (VOC) Emisyonu (g) | 61.51 | 35.25 | 42.7 | Azalma |
| 10 | Bölgesel Yakıt Tüketimi (L) | 14.37 | 8.24 | 42.7 | Azalma |

Bölge 1.A için yapılan saha gözlemlerinden ortalama araç gecikme değeri 4.58 saniye olarak ölçülmüştür. Vissim’de yapılan benzetme çalışması ile elde edilen sürücü davranış parametreleri kullanılarak mevcut geometrik şartlarda 4.8 saniyelik gecikme değeriyle benzetme sağlanmıştır. Belirlenen sürücü davranış parametreleri, mevcut trafik karakteristikleri ve önerilen geometri ile ortalama araç gecikme değerinin 0.53 saniyeye düştüğü görülmüştür. Gecikme ve diğer tüm incelenen parametrelere ait mevcut durumdaki değerlerin yeni geometriye göre azalma gösterdikleri görülmüştür.



(a)

Şekil 3.31. Bölge 1 Nokta 1.B a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel



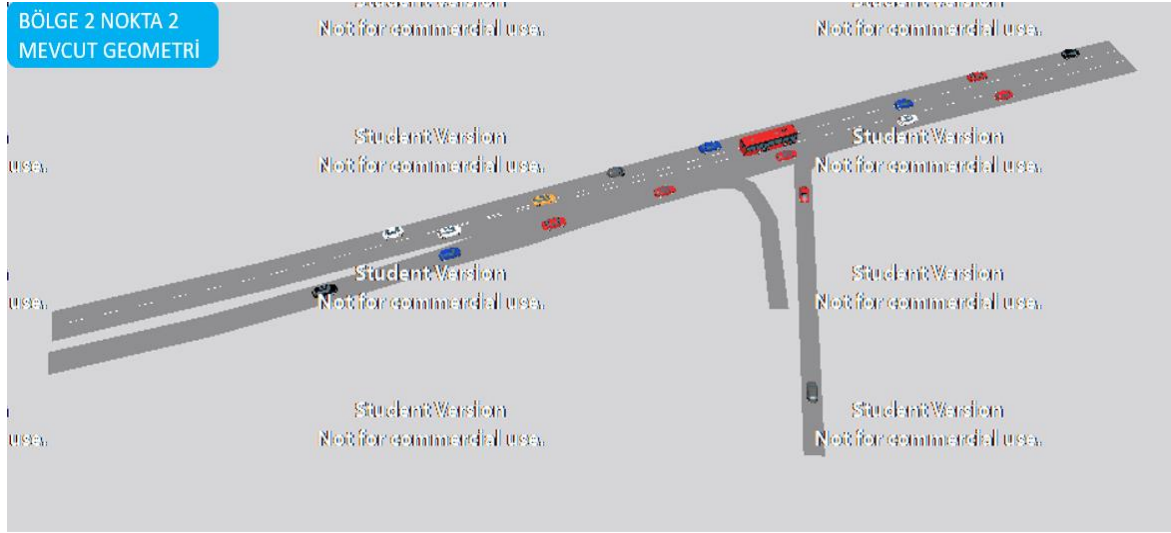
(b)

Şekil 3.31. (devamı)

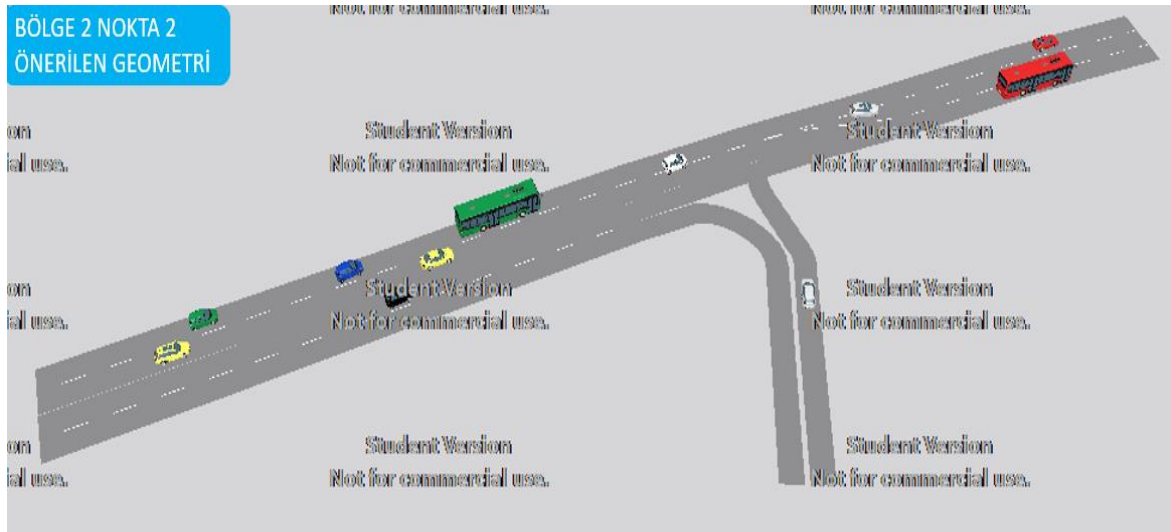
Tablo 3.26. Bölge 1 NOKTA 1.B için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları

| No | Parametreler | Mevcut Geometriye Göre | Önerilen Geometriye Göre | Değişim (%) | Değişim Türü |
|----|--|------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| 1 | Ortalama Kuyruk Uzunluğu (m) | 3.88 | 0.64 | 83.5 | Azalma |
| 2 | Maksimum Kuyruk Uzunluğu (m) | 107.16 | 60.83 | 43.2 | Azalma |
| 3 | Hizmet Seviyesi (LOS) | A | A | — | — |
| 4 | Ortalama Araç Gecikmesi (sn) | 4.05 | 2.64 | 34.8 | Azalma |
| 5 | Durma Gecikmesi (sn) | 1.11 | 0.34 | 69.4 | Azalma |
| 6 | Durma Sayısı | 0.14 | 0.07 | 50.0 | Azalma |
| 7 | CO Emisyonu (g) | 212.52 | 201.39 | 5.2 | Azalma |
| 8 | NOx Emisyonu (g) | 41.35 | 39.18 | 5.2 | Azalma |
| 9 | Uçucu Organik Bileşik (VOC) Emisyonu (g) | 49.25 | 46.67 | 5.2 | Azalma |
| 10 | Bölgesel Yakıt Tüketimi (L) | 11.51 | 10.91 | 5.2 | Azalma |

Bölge 1.B için yapılan saha gözlemlerinden ortalama araç gecikme değeri 4.05 saniye olarak hesaplanmıştır. Vissim’de yapılan benzetme çalışması ile elde edilen sürücü davranış parametreleri kullanılarak mevcut geometrik özelliklere göre 4.05 saniyelik gecikme değeriyle tam bir benzetme sağlanmıştır. Yapılan yeni geometri önerisi ile en önemli parametrelerden birisi olan gecikme değerinin 2.64 saniyeye indiği görülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 3.32. Bölge 2 Nokta 2 a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel

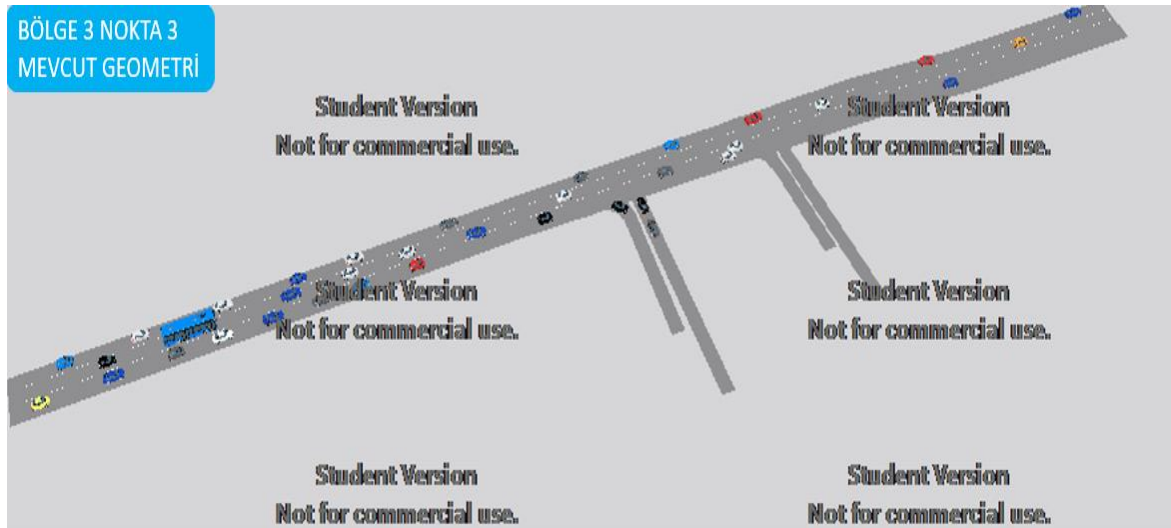
Tablo 3.27. Bölge 2 Nokta 2 için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları

| No | Parametreler | Mevcut Geometriye Göre | Önerilen Geometriye Göre | Değişim (%) | Değişim Türü |
|----|------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| 1 | Ortalama Kuyruk Uzunluğu (m) | 4.54 | 0.03 | 99.3 | Azalma |
| 2 | Maksimum Kuyruk Uzunluğu (m) | 121.59 | 17.1 | 85.9 | Azalma |
| 3 | Hizmet Seviyesi (LOS) | A | A | — | — |
| 4 | Ortalama Araç Gecikmesi (sn) | 4.61 | 0.67 | 85.5 | Azalma |
| 5 | Durma Gecikmesi (sn) | 1.67 | 0 | 100 | Azalma |
| 6 | Durma Sayısı | 0.21 | 0 | 100 | Azalma |

Tablo 3.27. (devamı)

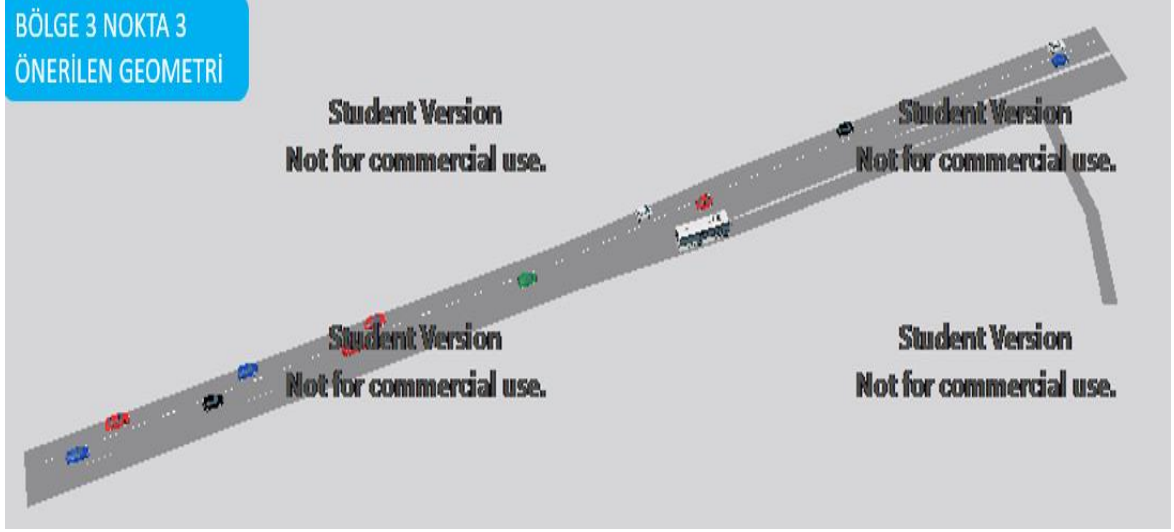
| | | | | | |
|----|---|--------|--------|------|--------|
| 7 | CO Emisyonu (g) | 292.09 | 121.90 | 58.3 | Azalma |
| 8 | NOx Emisyonu (g) | 56.83 | 23.72 | 58.3 | Azalma |
| 9 | Uçucu Organik Bileşik (VOC) Emisyonu(g) | 67.70 | 28.25 | 58.3 | Azalma |
| 10 | Bölgesel Yakıt Tüketimi (L) | 15.82 | 6.60 | 58.3 | Azalma |

Bölge 2 için yapılan saha gözlemlerinden elde edilen ortalama araç gecikme değeri 4.45 saniyedir. Vissim’de yapılan benzetme çalışması ile elde edilen sürücü davranış parametreleri kullanılarak mevcut geometriye göre 4.61 saniyelik gecikme değeriyle benzetme sağlanmıştır. Belirlenen sürücü davranış parametreleri, mevcut trafik karakteristikleri ve önerilen geometri ile ortalama araç gecikme değerinin 0.67 saniyeye gerilediği görülmüştür.



(a)

Şekil 3.33. Bölge 3 Nokta 3 a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel



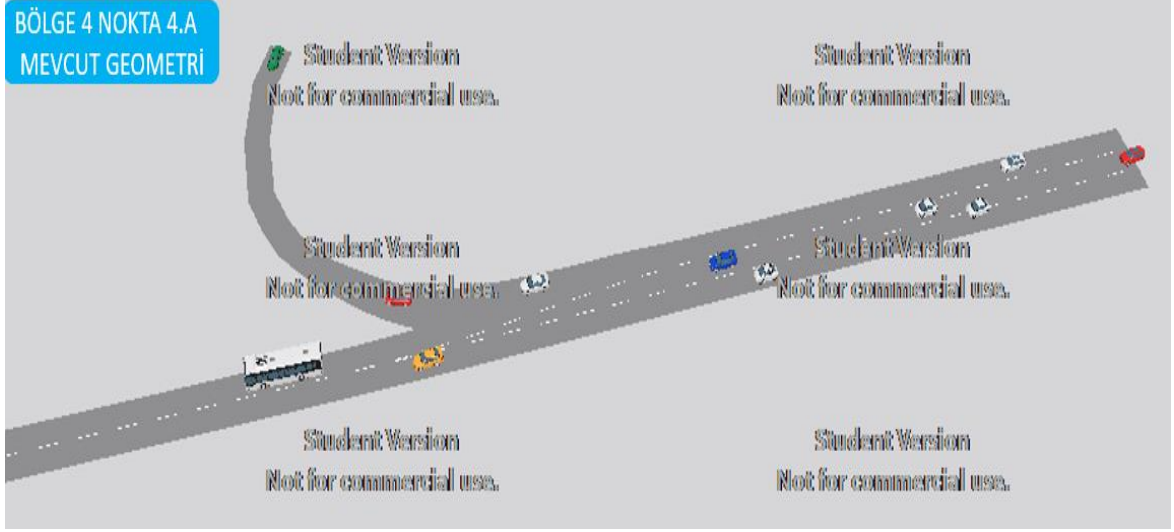
(b)

Şekil 3.33. (devamı)

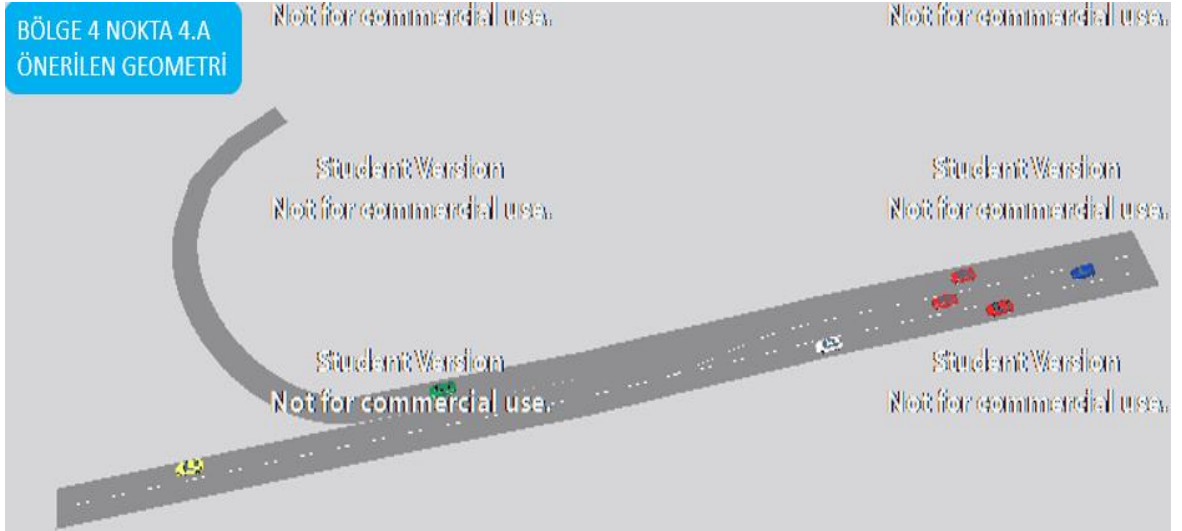
Tablo 3.28. Bölge 3 Nokta 3 için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları

| No | Parametreler | Mevcut Geometriye Göre | Önerilen Geometriye Göre | Değişim (%) | Değişim Türü |
|----|---|------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| 1 | Ortalama Kuyruk Uzunluğu (m) | 2.71 | 0.38 | 86.0 | Azalma |
| 2 | Maksimum Kuyruk Uzunluğu (m) | 112.88 | 50.21 | 55.5 | Azalma |
| 3 | Hizmet Seviyesi (LOS) | A | A | — | — |
| 4 | Ortalama Araç Gecikmesi (sn) | 6.25 | 0.67 | 89.3 | Azalma |
| 5 | Durma Gecikmesi (sn) | 1.14 | 0.05 | 95.6 | Azalma |
| 6 | Durma Sayısı | 0.12 | 0.01 | 91.7 | Azalma |
| 7 | CO Emisyonu (g) | 331.84 | 190.00 | 42.8 | Azalma |
| 8 | NOx Emisyonu (g) | 64.56 | 36.97 | 42.8 | Azalma |
| 9 | Uçucu Organik Bileşik (VOC) Emisyonu(g) | 76.91 | 44.03 | 42.8 | Azalma |
| 10 | Bölgesel Yakıt Tüketimi (L) | 17.97 | 10.29 | 42.7 | Azalma |

Bölge 3 için yapılan saha çalışmaları 6.48 saniye ve Vissim analizlerinde ise 6.25 saniye ortalama araç gecikmesi bulunduğu için herhangi bir benzetme çalışması yapılmamıştır. Bu bölgede de mevcut trafik karakteristikleri ve önerilen geometri ile ortalama araç gecikme değerinin 0.67 saniyeye düştüğü sonucuna ulaşılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.34. Bölge 4 Nokta 4.A a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel

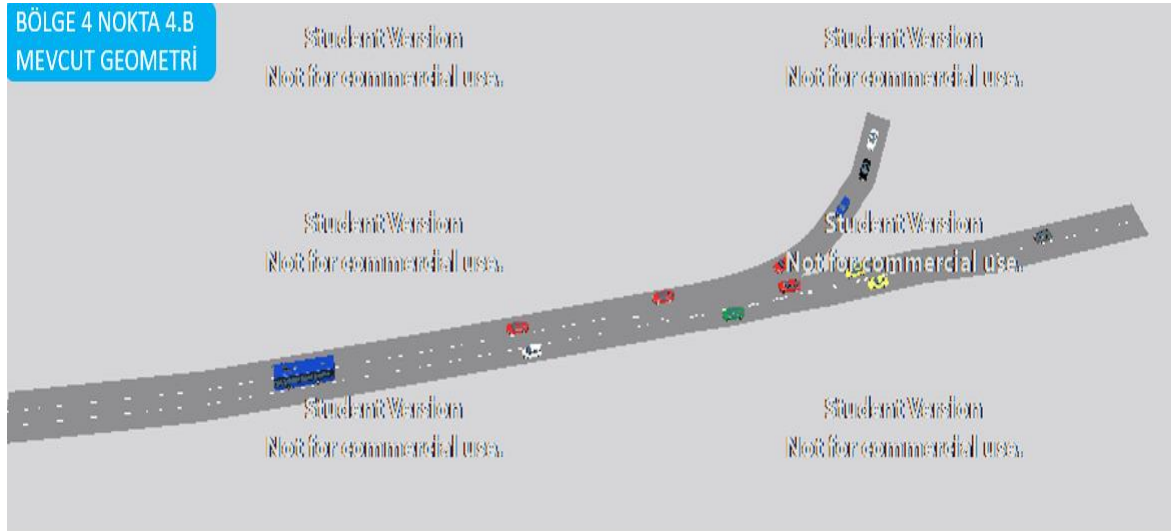
Tablo 3.29. Bölge 4 Nokta 4.A için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları

| No | Parametreler | Mevcut Geometriye Göre | Önerilen Geometriye Göre | Değişim (%) | Değişim Türü |
|----|------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| 1 | Ortalama Kuyruk Uzunluğu (m) | 4.16 | 0.29 | 93.0 | Azalma |
| 2 | Maksimum Kuyruk Uzunluğu (m) | 58.45 | 24.71 | 57.7 | Azalma |
| 3 | Hizmet Seviyesi (LOS) | A | A | — | — |
| 4 | Ortalama Araç Gecikmesi (sn) | 5.71 | 1.28 | 77.6 | Azalma |
| 5 | Durma Gecikmesi (sn) | 1.21 | 0.13 | 89.3 | Azalma |
| 6 | Durma Sayısı | 0.27 | 0.06 | 77.8 | Azalma |

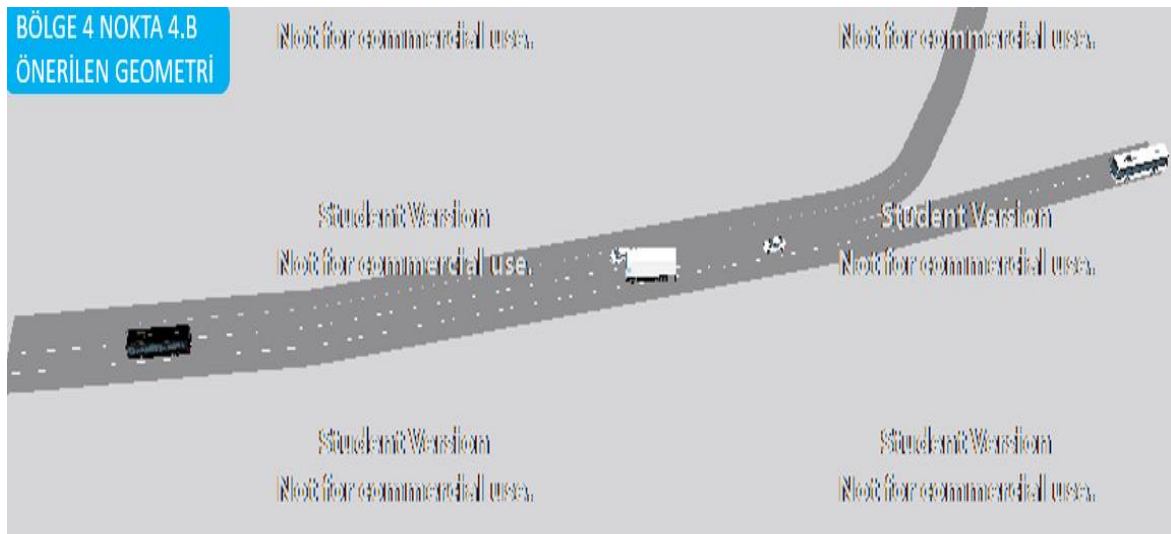
Tablo 3.29. (devamı)

| | | | | | |
|----|---|---------|-------|------|--------|
| 7 | CO Emisyonu (g) | 116.461 | 80.50 | 30.9 | Azalma |
| 8 | NOx Emisyonu (g) | 22.659 | 15.66 | 30.9 | Azalma |
| 9 | Uçucu Organik Bileşik (VOC) Emisyonu(g) | 26.991 | 18.66 | 30.9 | Azalma |
| 10 | Bölgesel Yakıt Tüketimi (L) | 6.30581 | 4.36 | 30.9 | Azalma |

Bölge 4.A için yapılan saha çalışmaları 5.55 saniye ve Vissim programı ile yapılan analizlerinde ise 5.71 saniye ortalama araç gecikmesi bulunduğu için herhangi bir benzetme çalışması yapılmamıştır. Bu bölgede de mevcut trafik karakteristikleri ve önerilen geometri ile ortalama araç gecikme değerinin 1.28 saniyeye düştüğü belirlenmiştir.



(a)



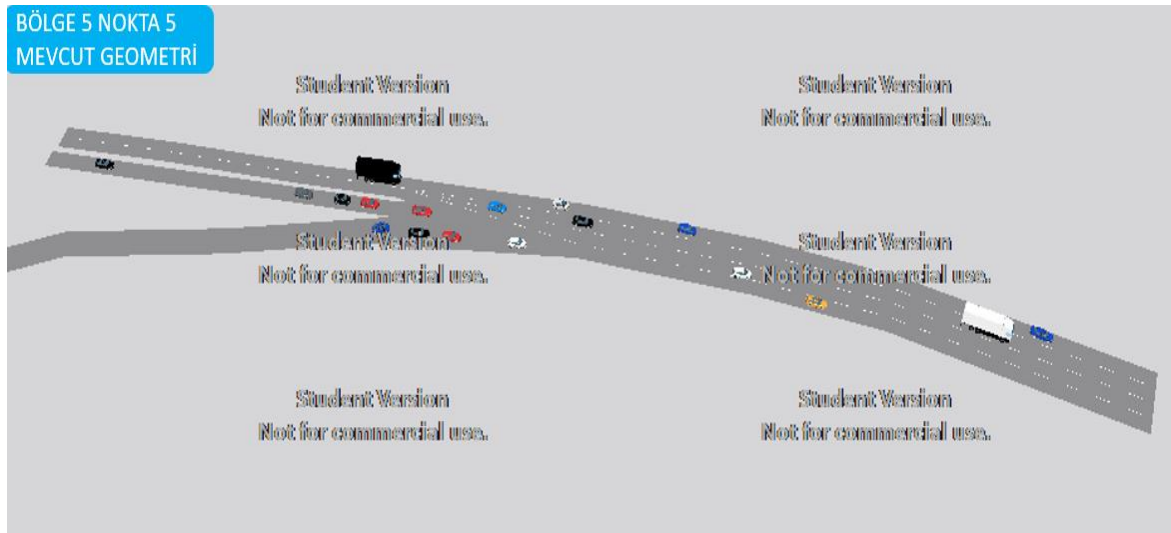
(b)

Şekil 3.35. Bölge 4 Nokta 4.B a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel

Tablo 3.30. Bölge 4 Nokta 4.B için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları

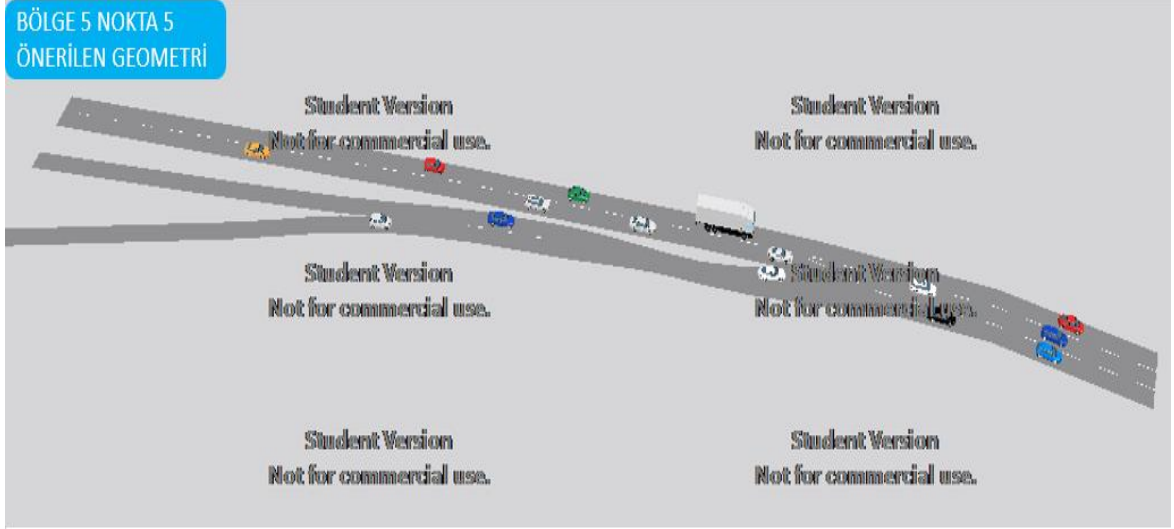
| No | Parametreler | Mevcut Geometriye Göre | Önerilen Geometriye Göre | Değişim (%) | Değişim Türü |
|----|---|------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| 1 | Ortalama Kuyruk Uzunluğu (m) | 1.44 | 0 | 100 | Azalma |
| 2 | Maksimum Kuyruk Uzunluğu (m) | 34.99 | 0 | 100 | Azalma |
| 3 | Hizmet Seviyesi (LOS) | A | A | — | — |
| 4 | Ortalama Araç Gecikmesi (sn) | 5.11 | 0.17 | 96.7 | Azalma |
| 5 | Durma Gecikmesi (sn) | 1.87 | 0 | 100 | Azalma |
| 6 | Durma Sayısı | 0.23 | 0 | 100 | Azalma |
| 7 | CO Emisyonu (g) | 111.88 | 67.79 | 39.4 | Azalma |
| 8 | NOx Emisyonu (g) | 21.77 | 13.19 | 39.4 | Azalma |
| 9 | Uçucu Organik Bileşik (VOC) Emisyonu(g) | 25.93 | 15.71 | 39.4 | Azalma |
| 10 | Bölgesel Yakıt Tüketimi (L) | 6.06 | 3.67 | 39.4 | Azalma |

Bölge 4.B için yapılan saha gözlemlerinden ortalama araç gecikme değeri 5.32 saniyedir. Vissim’de yapılan benzetme çalışması ile elde edilen sürücü davranış parametreleri kullanılarak mevcut geometrik şartlarda 5.11 saniyelik gecikme değeriyle benzetme sağlanmıştır. Belirlenen sürücü davranış parametreleri, mevcut trafik karakteristikleri ve önerilen yeni geometri ile ortalama araç gecikme değerinin 0.17 saniye gibi çok düşük bir değere indiği görülmüştür.



(a)

Şekil 3.36. Bölge 5 Nokta 5 a) mevcut geometri ve b) önerilen yeni geometriye göre benzetim anına ait görsel



(b)

Şekil 3.36. (devamı)

Tablo 3.31. Bölge 5 Nokta 5 için mevcut ve önerilen yeni geometriye göre analiz sonuçları

| No | Parametreler | Mevcut Geometriye Göre | Önerilen Geometriye Göre | Değişim (%) | Değişim Türü |
|----|---|------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| 1 | Ortalama Kuyruk Uzunluğu (m) | 9.88 | 0.31 | 96.9 | Azalma |
| 2 | Maksimum Kuyruk Uzunluğu (m) | 102.22 | 22.89 | 77.6 | Azalma |
| 3 | Hizmet Seviyesi (LOS) | A | A | — | — |
| 4 | Ortalama Araç Gecikmesi (sn) | 7.04 | 2.14 | 69.6 | Azalma |
| 5 | Durma Gecikmesi (sn) | 3.83 | 0.28 | 92.7 | Azalma |
| 6 | Durma Sayısı | 0.25 | 0.06 | 76.0 | Azalma |
| 7 | CO Emisyonu (g) | 317.70 | 178.45 | 43.8 | Azalma |
| 8 | NOx Emisyonu (g) | 61.81 | 34.72 | 43.8 | Azalma |
| 9 | Uçucu Organik Bileşik (VOC) Emisyonu(g) | 73.63 | 41.36 | 43.8 | Azalma |
| 10 | Bölgesel Yakıt Tüketimi (L) | 17.20 | 9.66 | 43.8 | Azalma |

Bölge 5 için yapılan saha çalışmalarına göre ortalama araç gecikmesi 6.33 saniyedir. Vissim analizlerinde ise 7,04 saniye ortalama araç gecikmesi bulunmuş bu nedenle bir benzetme çalışması yapılmamıştır. 5 numaralı örölme bölgesinde mevcut trafik karakteristikleri ve önerilen geometri ile ortalama araç gecikme değerinin 2.14 saniyeye azaldığı tespit edilmiştir.

4. TARTIŞMA

Örölme bölgelerinde karmaşanın azaltılarak trafik güvenliğinin ve akım performansının artırılması, yetkililer ve araştırmacılar için oldukça önemli bir konudur. Bu kapsamda, bu tez çalışması ile Türkiye'nin farklı iki coğrafi bölgesinde yer alan ve birbirinden farklı sürücü karakteristiğine sahip iki büyükşehirdeki şehiriçi yollarda örölme problemi olan yol kesimleri incelenmiştir. Bu amaçla iki büyükşehirdeki beş farklı bölgede bulunan toplam yedi farklı nokta, örölme karmaşası açısından incelenmiştir.

Bu amaçla ilk olarak bu bölgelerdeki trafik akım özellikleri irdelenmiştir. Sürücülerin bir yol kesiminden ayrılmak veya katılmak amacıyla yaptıkları şerit değiştirmeler incelendiğinde, sürücülerin istisnalar dışında çoğunlukla ayrılma ya da katılma ceplerine yakın şeritlerde hareket ettikleri görülmüştür. Dolayısıyla, sürücülerin ayrılma veya katılma amacıyla yaptıkları şerit değiştirmeleri daha çok bu şeritlerden yaptıkları belirlenmiştir. Yine video kamera ile yapılan kayıtlardan elde edilen veriler nicel olarak irdelendiğinde, ayrılacak ya da katılacak araçların büyük çoğunluğunun örölme bölgesinin hemen öncesinde en uygun şeride geçtikleri görülmüştür. Her ne kadar birçok örölme alanı öncesi doğru şeritte bulunsa ya da geçmiş olsa da mevcut akımı olumsuz olarak etkileyerek trafik kazasına sebep olabilecek önemli bir araç sayısının halen son dakika şerit değiştirdiği yadsınamaz bir gerçek olarak tespit edilmiştir. Verilerin toplanması esnasında her iki şehirde de görülen ve Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'de görselleri verilen iki farklı trafik kazası bu tez çalışması kapsamında incelenen bu sorunu net şekilde göstermektedir.

Analizler kapsamında örölme analizi için seçilen bölgelerdeki araç hareketleri detaylı olarak incelenerek numaralandırılmıştır. Bu kapsamda 12 farklı araç hareket tipi belirlenerek örölme alanlarındaki karmaşaya sebebiyet veren hareket tiplerinin dağılımının ne kadar büyük olduğu ortaya konulmaya çalışılmıştır. 12 farklı hareket tipinin görölme sayısı sayısal olarak incelendiğinde en fazla görülen hareket tipinin %25.2 ile Tip-1, en az görülen hareket tipinin ise % 0.8 ile 9 numaralı hareket tipi olduğu belirlenmiştir. Diğer 10 farklı hareket

tipine ait yüzdelik dağılımın bu iki hareket tipine ait yüzdelik değerler arasında dağıldığı tespit edilmiştir.

Örülme bölgelerindeki ortalama araç hızları incelendiğinde, araçların örülme karmaşasının olduğu zamanlarda hız limiti (70 km/sa) etrafında ve altında bir hız ile hareket ettikleri ölçülmüştür. Özellikle otomobil ve hafif ticari araç türlerinin az bir kısmının limit üstünde hareket ettikleri tespit edilmiş olsa da genel eğilimin hız limiti etrafında ve altında hızlarla hareket etme şeklinde olduğu söylenebilmektedir. Fakat araçların hız limitlerinin altında hareket etmesinin örülme karmaşasının oluşumunu ve ne yazık ki trafik kazalarının meydana gelmesini engellemediği, çalışma kapsamında veriler toplanırken meydana gelen kazalardan net bir şekilde görülmektedir. Araçların hız limitleri içerisindeyken kazaların meydana gelmesinin en önemli nedenleri arasında sürücülerin ayrılma veya katılma için gerekli şerit değişikliğini yapmak için son anı beklemleri ve bu amaçla kontrolsüz şekilde ani şerit değişikliği yapması gösterilebilir. Örülme bölgelerindeki ortalama gecikmeler irdelendiğinde karmaşanın fazla olduğu bölgelerden geçen araçların hemen hemen hepsinin kontrolsüzce şerit değiştiren ve şerit kullanım disiplini riayet etmeyen araçlardan kaynaklı olarak gereksiz gecikmeler yaşadığı belirlenmiştir. Zaten çalışma kapsamında önerilen yeni geometriler ile yapılan analizlerden gecikme değerlerinin sıfıra yaklaşması mevcut geometrilerdeki karmaşanın gecikmelere neden olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde de değinildiği gibi literatürde örülme bölgelerinde ortalama hız ve şerit değiştirme sayısının hesaplanması için en çok kullanılan hesap yöntemi olarak HCM (2010) tarafından önerilen yöntem gösterilebilmektedir. HCM tarafından önerilmiş olan bu yöntemler, şehiriçi yol geometrileri iyi olan yollar ve kurallara riayet etmeyen sürücü karakteristiklerini kısıtlı sayıda verilerle irdelendiğinden gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde efektif sonuçlar vermeyebilmektedir. Bu amaçla bu tez çalışması kapsamında HCM (2010) tarafından hız ve şerit değiştirme sayısı hesap yöntemlerine ilaveten bir de örülme alanlarında araç başına düşen gecikmeyi hesaplayan bir denklem de önerilmiştir. Denklemlerin geliştirilmesinde, literatürde yaygın olarak kullanılan üç farklı optimizasyon tekniğinden (yapay arı kolonisi, biyocoğrafya tabanlı optimizasyon ve ateş böceği algoritması) yararlanılmıştır. Ortalama hız, araç başına ortalama gecikme ve araç başına şerit değiştirme sayısı hesap yöntemleri için optimizasyon analizlerinden en düşük ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE %) değeri sırasıyla %11.91, %12.25 ve %6.25 olarak hesaplanmıştır. İki analizde yapay arı kolonisi (YAK) tarafından önerilen denklem en az hatayı verirken bir analizde de en iyi sonuca çok yakın değer elde edilmiştir. Bu sonuç, yapay

arı kolonisi optimizasyon yönteminin örölme bölgesi analizlerinde diğer yöntemlere göre daha efektif sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. YAK yönteminin trafik problemlerinde kullanılabilirliği Aydın (2017), Gökkuş vd. (2017)'nin yaptığı çalışmalarda da ortaya konulmuştur. Bu tez çalışması ile elde edilen bu sonuçlar ile de bu durum desteklenmiştir.

Çalışmada incelenen örölme bölgelerindeki geometrik özellikler incelenerek beş bölgede yer alan toplam yedi farklı örölme alanı için yeni geometri çözümleri geliştirilmiş ve önerilmiştir. Mevcut ve önerilen yeni geometri için yolların trafik akım performansları Vissim mikro-simülasyon programı yardımıyla simüle edilerek incelenmiştir. Mevcut ve yeni geometrik durumun trafik akım özelliklerine bağlı olarak araçların yakıt tüketimi ve oluşturduğu hava kirlilik değerleri birbirleriyle karşılaştırarak, eski ve yeni durum arasındaki değişim irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, beş bölgedeki yedi farklı noktanın tamamında ortalama kuyruk uzunluğu, maksimum kuyruk uzunluğu, ortalama araç gecikmesi, durma gecikmesi ve durma sayılarında yüzdesel olarak önemli ölçüde azalmalar meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır. Trafik akımında meydana gelen iyileşmeye bağlı olarak yakıt tüketimlerinde de önemli bir düşüş (ortalama %37.6) ve bunun sonucunda CO, NOx, VOC emisyonu salınımında (%5.2 ila %58.3) arasında değişen bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar göstermektedir ki, incelenen yedi farklı örölme alanında yapılan düzenlemeler ile trafik akımındaki iyileşmelere bağlı olarak hem trafik güvenliği artacak hem de yakıt tüketiminin azalmasına bağlı olarak zararlı egzoz gazı emisyonlarında azalmalar meydana gelerek hava kirliliğinin azaltılmasına pozitif katkı sağlanacaktır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında Türkiye’deki şehiriçi yol ağlarında yaygın şekilde görülen örölme karmaşası ve bu karmaşaya sebep olan en önemli etmenlerden birisi olan örölme alanlarındaki geometrik özellikler incelenmiştir. Çalışmada ayrıca, Türkiye’ye özgü olarak örölme karmaşası olan yol kesimlerinde ortalama hız, araç başına ortalama gecikme ve araç başına ortalama şerit değiştirme sayısının hesaplanması için üç farklı optimizasyon yöntemi kullanılarak (yapay arı kolonisi, biyocoğrafya tabanlı optimizasyon ve ateş böceği algoritması) yeni hesap bağıntıları önerilmiştir. Çalışmada yapılan gözlem ve analizlerden özetle aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir:

- Türkiye’deki örölme karmaşası olan yol kesimlerinde ne yazık ki karmaşa üzerinde etkisi olan geometrik problemler bulunmaktadır. İki büyükşehir için elde edilen sonuçlar beş farklı bölgedeki yedi farklı alan için bu yargıyı doğrulamaktadır.
- Örölme bölgelerine giriş ve çıkışta sürücülerin büyük bir çoğunluğunun ayrılma/katılma hareketi için doğru şeritte bulunduğu, buna rağmen önemli bir sürücü sayısının ayrılma/katılma hareketi esnasında uygun şeritte değilken ani şerit değişikli yaparak kazaları tetiklediği görülmüştür. Bu durum, sürücülerini hem yol geometrisinde yapılacak sınırlayıcı düzenlemeler hem de şerit kullanımında disiplinsiz davranış sergileyenlere cezai yaptırım uygulamanın (trafik cezası, ehliyetine ceza puanı işleme vb.) gerekli olduğunu göstermiştir.
- Çalışma kapsamında önerilen ortalama hız, araç başına ortalama gecikme ve araç başına ortalama şerit değiştirme sayısının hesaplanması ile elde edilen sonuçlar yardımıyla, örölme alanlarındaki trafik akımına ait detaylı hesaplamalar yapılabilecektir. Önerilen denklemler ile yapılacak hesaplamalar ile elde edilecek değerlerin yüksek çıkması durumunda, bu çalışmada olduğu gibi yeni geometri düzenlemeleri yapılarak daha düşük hız, gecikme ve şerit değiştirme sayılarına ulaşılabilecektir. Çalışma bu yönü ile hem yetkililere hem de araştırmacılara örölme alanında karmaşanın nasıl belirleneceği, inceleneceği ve çözüme kavuşturulabileceği konusunda yol gösterici bir kaynak olma özelliğine sahiptir.

- Çalışma kapsamında kullanılan optimizasyon yöntemleri ile elde edilen sonuçlar farklı optimizasyon tekniklerinin aynı trafik problemi için farklı sonuçlar gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Çalışma elde edilen sonuçlar ile örölme karmaşasını modellemede en uygun yöntemin yapay arı kolonisi olduğunu göstermiş ve trafik problemleri incelenirken yapay arı kolonisi yönteminin kullanılabileceğini destekleyici sonuca ulaşmıştır.
- Beş farklı bölgedeki yedi farklı nokta için elde edilen sonuçlar, her bir bölgenin karakteristik özelliğine göre geliştirilen geometrik düzenlemelerin, örölme alanlarındaki gecikmelerin, hızların ve gereksiz şerit değiştirmelerin sayısını azaltarak, trafik akım performansı ve yol güvenliğini arttırdığını göstermiştir. Trafik akımında meydana gelecek iyileşmeler ile bu çalışma özelindeki yedi farklı örölme alanı için yakıt tüketimlerinde (ortalama %37,6) ve bunun sonucunda CO, NOx, VOC emisyonu salınımında (%5,2 ile %58,3) arasında değişen bir azalmaya sebep olduğu hesaplanmıştır. Şehiriçi yollarda örölme karmaşası olan kesimlerde çalışmada olduğu gibi yapılacak düzenlemeler ile benzer sonuçların gözlemleneceği beklenmektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan analizler iki farklı coğrafik bölgede yer alan iki büyükşehirde örölme karmaşası olan şehiriçi yol kesimlerinde yapılan sınırlı gözlemlerden elde edilen veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca literatürde etkin olarak kullanılan yöntemler temel alınarak örölme alanları için Türkiye'ye özgü ortalama hız, araç başına ortalama gecikme ve araç başına ortalama şerit değiştirme sayısı hesap yöntemleri önerilmiştir. Türkiye'deki farklı şehirlerde daha çok şehiriçi yolda yapılacak gözlemler ile elde edilen veriler kullanılarak Türkiye'deki genel durumu daha kapsayıcı hesap yöntemlerinin geliştirilmesi mümkün olacaktır. Bu yönde yapılacak araştırmaların şehiriçi yollarda örölme alanlarındaki karmaşayı azaltarak, sürücülerdeki stresi azaltması ve yol güvenliğine önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir. Ayrıca yapılacak bu tür çalışmalar ile yol planlaması ve inşası konusundaki yetkililer, geometrik disiplinsizlik bulunmayan ve standartlara uygun olan yollar tasarlama ve inşa etme konusunda teşvik edilebilecektir.

6. KAYNAKLAR

- Abuamer, I.M., Silgu, M.A. ve Celikoglu, H.B., 2016. Micro-simulation based ramp metering on Istanbul freeways: an evaluation adopting ALINEA, IEEE 19th International Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2-5 Oct 2016, Rio De Janerio, Brazil, p.695-700.
- Alçelik, N., 2010. Kentiçi Sinyalize ve Dönel Kavşakların Kapasite Açısından Karşılaştırılması Ümraniye İlçesi Örneğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 319s.
- Apostolopoulos, T. ve Vlachos, A., 2011. Application of the Firefly Algorithm for Solving the Economic Emissions Load Dispatch Problem, Hindawi Publishing Corporation International Conference Journal of Combinatorics, 2011, 1-24.
- Aydemir, T., 2006. Başlangıç-Son Matrisinin İzmir'deki Dönel Kavşak Giriş Kapasitesi Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 168s.
- Aydın, M.M. ve Topal, A., 2016. Effect of Road Surface Deformations on Lateral Lane Utilization and Longitudinal Driving, Behaviors, Journal of Transport, 31, 2, 192-201.
- Aydın, M.M., 2017. Şehiriçi Kavşaklardaki Geometrik Disiplinsizliğin Optimize Edilerek İrdelenmesi. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 201s.
- Aydın, M.M., Günay, B., ve Akgöl, K., 2019. Performance Comparison of Various Chicane Types: A Driving Simulator Study, International Journal of Civil Engineering, 17, 11, 1753-1765.
- Aydoğdu, İ., Akın, A. ve Saka, M.P., 2016. Design Optimization of Real World Steel Space Frames Using Artificial Bee Colony Algorithm with Levy Flight Distribution, Advances in Engineering Software, 92, 2016, 1-14.
- Baştürk, B. ve Karaboğa, D., 2006. An Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm for Numeric Function Optimization, In Proceedings of the IEEE Swarm Intelligence Symposium, 12-14 Mayıs 2006, Indianapolis, ABD, p.12-14.
- Ceyhan, Ö., 2011. Modelling of Traffic Flow Interactions at Uninterrupted Flow Facilities. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 65s.
- Çakıcı, Z., 2020. Sinyalize Kavşaklar İçin Optimizasyon Tabanlı Trafik Yönetim Modeli. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 153s.

- Demir, H.G., Gedizlioğlu, E. ve Demir, Y.K. 2014. Otoyolda Trafik Akımının Modellenmesi ve Model Kalibrasyonu: İstanbul O1 Örneği, Teknik Dergi, 25, 124, 6909-6923.
- Devin, A., Candappa, N., Corben, B. ve Logan, D., 2011. Designing Safer Roads to Accommodate Driver Error, Project 09-006RSC, Curtin–Monash Accident Research Center, Curtin University, Bentley, Perth, Australia, 68p.
- Elvik, R., 2017. Road Safety Effects of Roundabouts: A Meta-Analysis, Accident Analysis & Prevention, 99, 2017, 364-371.
- Fang, F.C., Elefteriadou, L. ve Elias, A., 2012. Field Data for Evaluating 2010 Highway Capacity Manual Operational Analysis Methodology for Interchange Ramp Terminals, Transportation Research Record, 2286, 1, 1-11.
- Gökkuş, Ü., Yıldırım, M.S. ve Aydın, M.M., 2017. Estimation of Container Traffic At Seaports by Using Several Soft Computing Methods: A Case of Turkish Seaports, Discrete Dynamics in Nature and Society, 2017, 2017, 1-15.
- Highway Capacity Manual (HCM) 2010. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1650p.
- Highway Capacity Manual (HCM) 2000. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1207p.
- Highway Capacity Manual (HCM) 1965. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 411p.
- Highway Capacity Manual (HCM) 1950. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 147p.
- İnanç, T. ve Karakuzu, C., 2014. BBO Algoritmasının Optimizasyon Başarımının İncelenmesi, Eleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27 – 29 Kasım 2014, Bursa, s.780-784.
- Karaboğa, D., 2005. An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization, Technical Report-TR06, Erciyes University, Kayseri, 10p.
- Karaboğa, D. ve Baştürk, B., 2007. A Powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, Journal of Global Optimization, 39, 3, 459-471.
- Kaygısız, Ö. ve Şenbil, M., 2011. Şehir Planlamada Yol Ağı ve Kavşaklar Sorunu: Kazalar ve Kaza Çeşitlerinden Bir Bakış, Eskişehir Örneği, 2. Kentsel ve Bölgesel Araştırmalar Sempozyumu, 8-9 Aralık 2011, Ankara, s.133-144.

- Laval, J.A. ve Dangazo, C.F., 2006. Lane-Changing in Traffic Streams, Transportation Research Part B: Methodological, 40, 3, 251–264.
- Marczak, F. ve Buisson, C., 2014. Analytical Derivation of Capacity at Diverging Junctions, Transp. Res. Record: J. Transp. Res. Board, 2422, 2014, 88–95.
- Kusuma, A., Liu, R., Choudhury, C. ve Montgomery, F., 2015. Lane-Changing Characteristics at Weaving Section, Transportation Research Board 94th Annual Meeting, 94, 49-55.
- Kwon, E., Lau, R. ve Aswegan, J., 2000. Maximum Possible Weaving Volume or Effective Operations of Ramp-Weave Areas: Online Estimation, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1727, 2000, 132–141.
- Lertworawanich, P. ve Elefteriadou, L., 2001. Capacity Estimations for Type B Weaving Areas Based on Gap Acceptance, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1776, 2001, 24–34.
- Mulokozi, E. ve Teng, H., 2015. Safety Analysis of Freeway Segments with Random Parameters, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2515, 2015, 78-85.
- Roess, R.P. ve Ulerio, J.M., 2009. Level of Service Analysis of Freeway Weaving Segments. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2130, 2009, 25–33.
- Saplıoğlu, M. ve Karaşahin, M., 2010. Şehiriçi Kontrolsüz Eşdüzey Kavşak Kazalarını Etkileyen Unsurların Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 2, 2, 26-49.
- Simon, D., 2008. Biogeography-Based Optimization, IEEE Trans. On Evol. Comput., 12, 6, 712-713.
- Skabardonis, A. ve Mauch, M., 2015. Evaluation of Methodologies for Analyzing Freeway Ramp Weaving, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2483, 2015, 130-139.
- Tanyel, S. ve Yayla, N., 2010. Yuvarlakada Kavşakların Kapasiteleri Üzerine Bir Tartışma, Teknik Dergi, 21, 101, 4935-4958.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2019. Trafik Kaza İstatistikleri. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do;jsessionid=QJL1cpQRXkT7dRP718QyqR17hvCsYITlrg1hQqKC8Ckp6JnSgF6G!-2089209963?id=27668>. 20 Eylül 2019.

- URL-1, yandex.com.tr/kullan/panorama-live/1/?short_url=CBUiNVf12A. 03 Temmuz 2020.
- URL-2, yandex.com.tr/harita/11511/antalya/?l=sat&ll=30.695608%2C36.909909&z=18. 03 Temmuz 2020.
- URL-3, yandex.com.tr/harita/11511/antalya/?l=sat&ll=30.697751%2C36.891512&z=18. 03 Temmuz 2020.
- URL-4, yandex.com.tr/harita/11511/antalya/?l=sat&ll=30.701661%2C36.892624&z=18. 03 Temmuz 2020.
- URL-5, yandex.com.tr/kullan/panorama-live/1/?short_url=CBUiNVf12A. 03 Temmuz 2020.
- URL-6, yandex.com.tr/kullan/panorama-live/1/?short_url=CBUiNVf12A. 03 Temmuz 2020.
- URL-7, yandex.com.tr/kullan/panorama-live/1/?short_url=CBUiNVf12A. 03 Temmuz 2020.
- URL-8, yandex.com.tr/harita/103830/trabzon/?l=sat&ll=39.732969%2C41.007875&z=18. 03 Temmuz 2020.
- Van Beinum, A., Farah, H., Wegman, F. ve Hoogendoorn, S., 2018. Driving Behaviour at Motorway Ramps and Weaving Segments Based on Empirical Trajectory Data, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 92, 426-441.
- Vrieling, J.H., De Waard, D. ve Brookhuis, K.A., 2014. Driving Behaviour While Driving Through Two Types of Road Works, International Journal of Traffic and Transportation Engineering, 3, 3, 141-148.
- Yang, X.S., 2010. Firefly Algorithm, Stochastic Test Functions And Design Optimisation, International journal of bio-inspired computation, 2, 2, 78-84.
- Yaslan, G., 2012. Otoyol ve Ekspres Yollarda Katılım Denetimi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 62s.
- Wang, X., Luo, Y., Qiu, T. ve Yan, X., 2014. Capacity Estimation for Weaving Segments Using a Lane-Changing Model, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2461, 2014, 94-102.
- Wood, J.S., Gooch, J.P. ve Donnell, E.T., 2015. Estimating the Safety Effects of Lane Widths on Urban Streets in Nebraska Using The Propensity Scores-Potential Outcomes Framework, Accident Analysis & Prevention, 82, 2015, 180-191.
- World Health Organization (WHO), 2015. Registered Vehicles Data by Country, <http://apps.who.int/gho/data/node.main.A995>. 20 Eylül 2019.

ÖZGEÇMİŞ

Eren DAĞLI 1996'da Kayseri'de doğmuştur. Yozgat ili Yenifakılı ilçesi nüfusuna kayıtlıdır. İlköğrenimini 2010 yılında Yenifakılı Cumhuriyet İlköğretim Okulu'nda, Ortaöğrenimini ise 2014 yılında Nevşehir H. Avni İNCEKARA Fen Lisesi'nde tamamlamıştır. 2014 yılında mezuniyetinin ardından Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanmış ve lisans öğrenimine başlamıştır.

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde almış olduğu dersler doğrultusunda bilgisayar programlama ve karayolu alanlarında araştırmalar yapmış TÜBİTAK 2209-b Sanayi Destekli Lisans Bitirme Tezi Programı kapsamında “Tasarım Hatası Bulunan Şehir İçi Kavşaklar İçin Optimum Geometri Tasarımı Yapan Bir Program Geliştirilmesi” konulu proje gerçekleştirmiştir. 2018 yılında Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur.

Lisans mezuniyetinin ardından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı'nda ulaştırma ana bilim dalında Dr. Öğr. Üyesi Metin Mutlu AYDIN'ın danışmanlığında “Şehir İçi Örülme Alanlarındaki Geometri Problemleri için Optimizasyon Tabanlı Çözüm Önerilerinin Geliştirilmesi” tez konusu üzerine çalışmıştır.

MEB Yükseköğretim ve Yurt Dışı Eğitim Genel Müdürlüğü tarafından koordine edilen MEB YLSY bursunu 2019 yılı itibari ile Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı adına “Ulaştırma Yönetimi” alanında kazanmıştır.