

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**SİNYALİZE KAVŞAK KOLLARINDAKİ KUYRUKLARDA
ORTALAMA EFEKTİF ARAÇ UZUNLUĞUNUN
BELİRLENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ayşenur GÜLAY

Danışman
Doç. Dr. Metin Mutlu AYDIN

SAMSUN
2025

TEZ KABUL VE ONAYI

Ayşenur GÜLAY tarafından, Doç. Dr. Metin Mutlu AYDIN danışmanlığında hazırlanan “SİNYALİZE KAVŞAK KOLLARINDAKİ KUYRUKLARDA ORTALAMA EFEKTİF ARAÇ UZUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 29.7.2025 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Doç. Dr. Metin Mutlu AYDIN Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Erhan Burak PANCAR Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Jülide ÖNER Uşak Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Faik Ahmet SESLİ
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

13/06/2025
Ayşenur GÜLAY

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : SİNYALİZE KAVŞAK KOLLARINDAKİ KUYRUKLARDA
ORTALAMA EFEKTİF ARAÇ UZUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 01.08.2025 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 7

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

01/08/2025
Doç. Dr. Metin Mutlu AYDIN

ÖZET

SİNYALİZE KAVŞAK KOLLARINDAKİ KUYRUKLARDA ORTALAMA EFEKTİF ARAÇ UZUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ

Ayşenur GÜLAY

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Yüksek Lisans, Temmuz/2025

Danışman: Unvanı Doç. Dr. Metin Mutlu AYDIN

Günümüzde artan şehirleşme ve motorlu taşıt sayısı, şehir içi trafik akışında önemli problemlere yol açmış ve sinyalizasyon kavşaklarında uzun kuyruklar oluşmasına neden olmuştur. Bu kuyruklar, kavşak performansını olumsuz etkilemekte, mevcut trafik simülasyon programlarının sunduğu analizlerin doğruluğu sorgulanmaktadır. Özellikle VISSIM gibi simülasyon programları, kuyruk uzunluğunu yalnızca uzunluk birimiyle ifade etmekte ve farklı araç türleri arasındaki uzunluk farklılıklarını dikkate almamaktadır. Bu çalışma, sinyalizasyon kavşak kollarında oluşan kuyruklarda ortalama efektif araç uzunluğunu belirleyerek trafik simülasyonlarında daha gerçekçi ve duyarlı modellere zemin hazırlamayı amaçlamaktadır. Artan araç sayısı ve yetersiz sinyal yönetimi nedeniyle kavşaklarda oluşan yoğunluk, mevcut simülasyon programlarının (örneğin VISSIM) sadece metre cinsinden kuyruk uzunluğu raporlaması gibi yetersiz yaklaşımlarla değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, araç türleri, şehre özgü trafik davranışları ve şerit yapıları dikkate alınarak daha duyarlı analizler yapılması hedeflenmiştir. Çalışmanın yöntem bölümünde, İzmir, Antalya ve Samsun illerindeki üç farklı kavşakta saha gözlemleri ve yüksek çözünürlüklü kamera kayıtlarıyla veri toplanmıştır. Araçların fiziksel uzunlukları, öndeki ve arkadaki araçlarla olan mesafeler dikkatlice ölçülmüş; geometrik ölçekleme, perspektif düzeltme ve kalibrasyon yöntemleri uygulanarak güvenilir veri setleri oluşturulmuştur. Görsel veriler, referans noktalarla ölçümlendirilmiş ve her bir kavşakta toplam kuyruk uzunlukları hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, ön ve arka boşluk, araç uzunluğu gibi değişkenlerin toplam kuyruk uzunluğunu belirlemede yüksek derecede anlamlı olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, şehir, şerit sayısı ve koldaki sıra gibi değişkenler de etkili bulunmuştur. Elde edilen bulgular, trafik mühendisliği uygulamalarında efektif araç uzunluğunun dikkate alınmasının, simülasyonların doğruluğunu artıracığına işaret etmektedir.

Anahtar Sözcükler: Trafik simülasyonu, Kuyruk uzunluğu, VISSIM, Etkin araç uzunluğu, Sinyalizasyon kavşakları.

ABSTRACT

DETERMINATION OF AVERAGE EFFECTIVE VEHICLE LENGTH IN QUEUES ON SIGNALIZED INTERSECTION LEGS

Ayşenur GÜLAY

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Master, July/2025

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Metin Mutlu AYDIN

Nowadays, increasing urbanization and the number of motor vehicles have caused significant problems in urban traffic flow, resulting in long queues at signalized intersections. These queues have a negative impact on intersection performance and the accuracy of the analysis provided by existing traffic simulation programs is questioned. In particular, simulation programs such as VISSIM only express queue length in units of length and do not take into account the length differences between different vehicle types. This study aims to prepare the ground for more realistic and sensitive models in traffic simulations by determining the average effective vehicle length in queues formed at signalized intersection arms. The congestion at intersections due to increasing number of vehicles and inadequate signal management is evaluated with inadequate approaches, such as existing simulation programs (e.g. VISSIM) only reporting queue length in meters. In this context, it is aimed to perform more sensitive analyses by considering vehicle types, city-specific traffic behaviors and lane structures. In the methodology part of the study, data were collected through field observations and high-resolution camera recordings at three different intersections in Izmir, Antalya and Samsun. The physical lengths of the vehicles and the distances to the vehicles in front and behind were carefully measured, and reliable data sets were created by applying geometric scaling, perspective correction and calibration methods. The visual data were dimensioned with reference points and total queue lengths were calculated at each intersection. The results of the analysis revealed that variables such as front and rear spacing and vehicle length were highly significant in determining the total queue length. In addition, variables such as city, number of lanes and order in the arm were also found to be influential. The findings indicate that considering the effective vehicle length in traffic engineering applications will improve the accuracy of simulations.

Keywords: Traffic simulation, Queue length, VISSIM, Effective vehicle length, Signalized intersections.

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

“Sinyalize Kavşak Kollarındaki Kuyruklarda Ortalama Efektif Araç Uzunluğunun Belirlenmesi” adlı bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Özellikle yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışması süresince bilgilerini, zamanını ve desteğini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Metin Mutlu AYDIN’a teşekkürlerimi borç bilirim.

Hayatımın her anında yanımda olan, hiçbir desteğini benden esirgemeyen ve bugünlere gelmeme vesile olan kıymetli aileme sonsuz sevgilerimi sunuyor ve teşekkür ediyorum.

Ayşenur GÜLAY

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel	1
1.2. Sinyalize Kavşaklar	3
1.2.1. Sabit Zamanlı (Pre-Timed) Sinyalizasyon:	4
1.2.2. Yarı Akıllı (Semi-Actuated) Sinyalizasyon:	4
1.2.3. Tam Akıllı (Fully-Actuated) Sinyalizasyon:	4
1.3. Simülasyon Programları	5
1.4. Kavşaklarda Eşdeğer Otomobil Birimi (EBO)	9
1.5. Çalışmanın Amacı	11
1.6. Çalışmanın İçeriği	12
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	14
2.1. Trafik Ölçümü ve Analizi	14
2.2. Trafik Simülasyonları	19
3. YÖNTEM	22
3.1. Kavşak Seçimi ve Seçim Kriterleri	22
3.2. Kavşakların Özellikleri, Konumları ve Tipleri	22
3.2.1. İzmir İncelenen Kavşak	22
3.2.2. Antalya İncelenen Kavşak	23
3.2.3. Samsun İncelenen Kavşak	24
3.2.4. Kavşak Fotoğraflarının Analizi ve Görsel Belgeleme	25
3.3. Görsel Veri Toplama ve Kuyruk Uzunluğu Ölçümleri	25
3.4. Görsel Ölçekleme, Kalibrasyon ve Ölçüm Yöntemi	26
3.4.1. Geometrik Ölçekleme ve Perspektif Düzeltmesi	26
3.4.2. Kalibrasyon ve Doğrulama Süreci	26
3.4.3. Referans Noktaların Etkin Kullanımı ve Seri Ölçüm	27
3.4.4. Araçlar Arası Mesafe ve Toplam Kuyruk Uzunluğu Hesaplaması	27
4. ANALİZ VE BULGULAR	31
4.1. Ölçümlerle İlgili Betimsel İstatistikler	31
4.1.1. Şehre Göre Betimsel İstatistiklerin Karşılaştırması	33
4.1.2. Araç Türüne Göre Betimsel İstatistiklerin Karşılaştırması	34
4.2. Araç Uzunluğuna İlişkin Betimsel İstatistikler	36
4.3. Korelasyon Analizi	36
4.4. Toplam Araç Uzunluğunu Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi	38
4.5. Araç Toplam Uzunlukları ve Araç Türü İlişkisi	39
4.6. Ön Boşluk ve Arka Boşluk ile Diğer Parametre İlişkisi	40
4.7. Araç Boşlukların (Ön-Arka) En Küçük Kareler Regresyonu ile Modellenmesi	44
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	54
ÖZ GEÇMİŞ	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

ALEDA	: Gelişmiş Döngü Olay Verileri Analiz Cihazı
AVL	: Ortalama Araç Uzunluğu
AVC	: Otomatik Araç Sınıflandırıcılar
BHL	: Berkeley Highway Laboratory
DLR	: Alman Havacılık ve Uzay Merkezi
EBO	: Eşdeğer Otomobil Birimi
EVL	: Etkin Araç Uzunluğunu
LEFF	: Etkin Araç Uzunluğunu
LT	: Büyük Kamyon
LV	: Uzun Araç
MEVL	: Ortalama Etkin Araç Uzunluğu
ODOT	: Ohio Ulaştırma Bakanlığı
PEMS	: Performance Measurement System
RC	: Gerçek araç
SCF	: Araç takip
SUMO	: Simulation of Urban Mobility
SUT	: Tek üniteli kamyonların
SV	: Kısa Araç
SVP	: Tek Araç Geçişi
TRACI	: Trafik Kontrol Arayüzü
VISSIM	: Şehirlerdeki Trafik Simülasyon Modeli
VISUM	: Ulaşım Planlama Yazılımı
WSDOT	: Washington Eyaleti Ulaştırma Bakanlığı
EKK	: En Küçük Kareler
VIF	: Varyans Enflasyon Faktörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. SUMO örnek bir kavşak görseli	8
Şekil 1.2. SUMO programında kuyruk uzunluğu karayolları raporu örneği	8
Şekil 3.1. İzmir incelenen kavşak	23
Şekil 3.2. Antalya incelenen kavşak	24
Şekil 3.3. Samsun incelenen kavşak	24
Şekil 3.4. Geometrik ölçekleme ve perspektif düzeltmesi	26
Şekil 3.5. Kalibrasyon ve doğrulama süreci	26
Şekil 3.6. Ölçümü tamamlanan örnek bir kuyruk	27
Şekil 3.7. Sabit referanslar ile seri ölçülendirme	27
Şekil 4.1. Şerit sayısı ve boşluk dağılımları ilişkisi	40
Şekil 4.2. Araç sırası ve ön-arka boşluk ilişkisi	42
Şekil 4.3. Ön ve arka boşlukların araç uzunluğuna göre dağılımı	43

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Antalya için elde edilen ölçümler ve uzunluk hesabı	28
Tablo 3.2. İzmir için elde edilen ölçümler ve uzunluk hesabı	29
Tablo 3.3. Samsun için elde edilen ölçümler ve uzunluk hesabı	30
Tablo 4.1. Betimsel istatistikler	31
Tablo 4.2. Şehre göre betimsel istatistiklerin karşılaştırması	33
Tablo 4.3. Araç türüne göre betimsel istatistiklerin karşılaştırması.....	35
Tablo 4.4. Araç uzunluğuna ilişkin betimsel istatistikler.....	36
Tablo 4.5. Korelasyon analizi	37
Tablo 4.6. Şerit sayısı, şerit genişliği, ölçüm sırası, bulunan şerit ve bulunan sıra faktörlerinin araç uzunluğu üzerindeki etkileri.....	38
Tablo 4.7. Araçların toplam uzunlukları (ön-arka boşluk ve kendi uzunluğu) değerleri.....	40
Tablo 4.8. Kullanılan değişkenler	44
Tablo 4.9. Toplam ön boşluk için EKK regresyonu model tahmin sonuçları.....	45
Tablo 4.10. Toplam arka boşluk için EKK regresyonu model tahmin sonuçları.....	47

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki sürekli artış ve buna paralel olarak kamu yollarındaki araç sayısının yükselmesi, trafik yönetimi ve kentsel planlama açısından derin etkiler doğurmaktadır (Aydın ve Aydoğdu, 2025). Artan nüfus, daha fazla insanın iş, eğitim ve günlük faaliyetler için hareketliliğe ihtiyaç duymasıyla birlikte, verimli ulaşım ağlarına duyulan talebi yoğunlaştırmaktadır. Bununla birlikte, artan araç sahipliği, yol tıkanıklığı ve çevre kirliliğini daha da kötüleştirerek stratejik ve operasyonel zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda, özellikle trafik sinyalleriyle kontrol edilen kavşaklar, ulaşım ağlarında kritik düğüm noktaları hâline gelmektedir. Eğer bu kavşaklar etkin bir şekilde tasarlanıp yönetilmezse, yoğunlaşma, kazalar ve karmaşık işletme sorunlarıyla karşı karşıya kalabilirler. Bu zorluklarla başa çıkmak için trafik simülasyonu, politika yapıcılarının ve mühendislerin çeşitli senaryoları değerlendirmesine, sinyal zamanlamalarını optimize etmesine ve uzun vadeli etkileri maliyet-etkin ve güvenli bir sanal ortamda öngörmesine imkân tanıyan güçlü bir analitik araç olarak ortaya çıkmıştır. Bu giriş bölümünde, artan nüfus ve araç sayısının trafik sorunları üzerindeki etkisi incelenmekte, sinyalli kavşaklarda yaşanan zorluklara dikkat çekilmekte ve trafik simülasyonlarının sunduğu geniş kapsamlı faydalar vurgulanmaktadır.

1.1. Genel

Küresel nüfus istikrarlı bir şekilde artmaya devam ettikçe, kent merkezleri daha yoğun hâle gelmekte ve ulaşım hizmetlerine olan talep önemli ölçüde yükselmektedir. Birçok şehirde mevcut altyapı, artan ulaşım ihtiyacını karşılamakta zorlanmakta ve bu durum, daha fazla tıkanıklık ve seyahat sürelerinin uzamasıyla sonuçlanmaktadır. Ayrıca, genel ekonomik ve sosyal gelişmeler, özel araç satın alımını teşvik ederek araç bağımlılığını artırmakta ve yolların daha da doymuş hâle gelmesine yol açmaktadır (Aydın, 2022).

Bu baskıların sonuçları, tıkanıklıktan da öteye uzanmaktadır. Artan araç emisyonları, hava kalitesini düşürmekte; iklim değişikliği ve kent sakinlerinin sağlığı için risk teşkil edecek çevresel tehditlere katkıda bulunmaktadır. Buna ek olarak, aşırı trafik hacmi yol yüzeyinin bozulmasına yol açarak, daha sık bakım ihtiyacı ve artan altyapı maliyetleri doğurmaktadır. Hızlı gelişim gösteren kentler, yol yapımı ve trafik yönetimi çözümlerinin araç talebine ayak uyduramadığı durumlarda, verimlilik, yaşam

kalitesi ve uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından olumsuz sonuçlarla karşı karşıya kalmaktadır. Dolayısıyla, nüfus artışı eğilimlerini dikkate alan stratejik kentsel ve ulaşım planlaması, tıkanıklığı azaltmak ve daha büyük toplumsal ve çevresel etkileri hafifletmek için kritik önem taşımaktadır.

Sinyalli kavşaklar, kentsel ulaşım sistemlerinde hayati kontrol noktaları oluşturarak araçların ve yayaların düzenli akışını sağlamaktadır. Ancak trafik hacmi kapasiteyi aştığında veya sinyal parametreleri optimize edilmediğinde, bu kavşaklar darboğaz hâline gelebilmektedir. Sıkışık kuyruklar, uzun bekleme süreleri, beklenmedik duruşlar ve toplam yol kapasitesinin azalması en yaygın sorunlardır. Zamanlanmış sinyal planlarının güncel olmaması ya da gerçek zamanlı trafik dalgalanmalarına yanıt vermemesi, verimsizlikleri daha da artırabilmektedir.

Diğer bir zorluk, otomobil, otobüs, bisiklet ve yaya gibi farklı ulaşım türlerinin dinamik etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Bu ulaşım türlerinin kavşaklarda düzgün yönetilmemesi, güvenlik sorunlarına, kaza olasılığında artışa ve yol kullanıcıları için memnuniyetsizliğe yol açabilmektedir. Ayrıca, yoğun dönüş trafiği de kavşak tasarımında uygun dönüş şeritleri veya sinyal fazları sağlanmadığı takdirde sıkışıklığı şiddetlendirebilir. Sinyalize kavşaklardaki verimsizliklerin zaman kaybından, kirlilik artışına ve kazalardan kaynaklanan maliyetlere kadar uzanan geniş etkileri, kapsamlı ve veriye dayalı çözümlerin aciliyetini ortaya koymaktadır. Sorun göstergelerinin (örneğin, bekleme süresi, kaza oranları) sistematik şekilde belirlenmesi ve modern analitik ve teknolojik yaklaşımların uygulanması sayesinde trafik mühendisleri, kavşak performansını ve genel ağ güvenilirliğini iyileştirebilmektedir.

Trafik simülasyon modelleri, mevcut koşulların ve gelecekteki senaryoların hem kontrol edilebilir hem de maliyet açısından verimli bir ortamda analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Gerçek dünya trafik dinamiklerinin simülasyonu sayesinde mühendisler ve araştırmacılar, tıkanıklığın nedenlerini teşhis edebilir, farklı kontrol stratejilerinin etkinliğini test edebilir ve büyük ölçekli projelere yatırımlar yapılmadan veya halk güvenliği riske atılmadan altyapı iyileştirmelerinin uzun vadeli etkilerini öngörebilirler.

Simülasyon araçlarının önemli bir avantajı, senaryo analizi konusundaki esnekliğidir. Planlama uzmanları, trafik akış özelliklerini, sinyal zamanlamalarını, altyapı düzenlemelerini veya ulaşım türlerinin payını (örneğin, özel araçlar, toplu

taşıma, motorsuz ulaşım) değiştirebilir ve geniş bir yelpazede sonuçları değerlendirebilirler. Bu düzeydeki uyarlanabilirlik, karar vericilerin farklı politika veya mühendislik müdahaleleri arasında verilere dayalı seçim yapmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, simülasyona dayalı değerlendirmelerde seyahat süresi, ortalama gecikmeler, kirlilik emisyonları ve kavşak kapasiteleri gibi çeşitli performans göstergeleri dikkate alınarak, uygulanması düşünülen stratejiler çok yönlü şekilde analiz edilebilir.

Gelişmiş yazılım özellikleri ile sensörler ve bağlantılı araçlardan elde edilen gerçek zamanlı verilerin entegrasyonu, simülasyonların uyarlanabilir sinyal kontrolünü destekleyerek anlık koşullara hızlıca yanıt verilebilen neredeyse optimal trafik düzenlemeleri sunmasına imkân tanımaktadır. Bu yönüyle simülasyon modelleri, yalnızca planlama sürecinin bir parçası olmaktan öte, kentsel ulaşım ağlarının dirençliliğini ve sürdürülebilirliğini artıran dinamik bir operasyonel araç işlevi de görmektedir.

Sonuç olarak, trafik simülasyonlarının uygulamaları ve yararları, modern trafik yönetimindeki önemini bir kez daha öne çıkarmaktadır. Yeni fikirlerin test edilmesi, kavşak operasyonlarının iyileştirilmesi ve farklı hareketlilik ihtiyaçlarının dengelenmesi konusundaki yetkinliği, kentlerin artan nüfus ve araç sayısına uyum sağlamasına yardımcı olmaktadır. Trafik mühendisliğinde devam eden yenilikler ve simülasyon araçlarının stratejik şekilde uygulanması sayesinde, kentler daha güvenli, daha verimli ve çevreye daha duyarlı ulaşım sistemlerine kavuşma yolunda önemli adımlar atabilmektedir.

1.2. Sinyalize Kavşaklar

Sinyalize kavşaklar, trafik akışını düzenlemek ve yol kullanıcılarının güvenliğini sağlamak amacıyla trafik ışıklarıyla kontrol edilen yol kesişim noktalarıdır (Aydın, 2017). Bu kavşaklar, belirli zaman aralıklarında farklı yönlerde yeşil ışık vererek araç ve yaya hareketlerini sıralı bir şekilde yönetir. Bu sayede, farklı yönlerden gelen trafik akışlarının çakışması önlenir ve trafik akışı daha düzenli hale getirilir.

Sinyalize kavşaklar, trafik akışını düzenlemek ve yol kullanıcılarının güvenliğini sağlamak amacıyla trafik ışıklarıyla kontrol edilen yol kesişim noktalarıdır. Bu kavşaklar, kontrol yöntemlerine göre genellikle üç ana tipe ayrılır: sabit zamanlı (pre-timed), yarı akıllı (semi-actuated) ve tam akıllı (fully-actuated) sistemler.

1.2.1. Sabit Zamanlı (Pre-Timed) Sinyalizasyon:

Sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinde, sinyal süreleri önceden belirlenmiş ve sabittir. Bu sistemler, trafik akışının öngörülebilir ve düzenli olduğu bölgelerde, özellikle şehir merkezlerinde veya yoğun trafik hacmine sahip arterlerde yaygın olarak kullanılır. Sabit zamanlı sinyalizasyonun avantajları arasında basitlik ve düşük bakım maliyetleri bulunurken, trafik akışındaki dalgalanmalara uyum sağlayamaması dezavantaj olarak değerlendirilebilir (FHWA, 2025; NACTO, 2025).

1.2.2. Yarı Akıllı (Semi-Actuated) Sinyalizasyon:

Yarı akıllı sinyalizasyon sistemlerinde, dedektörler genellikle tali yolların yaklaşımlarına yerleştirilir. Ana yol üzerindeki sinyal süreleri sabitken, tali yoldan gelen araçlar dedektörler aracılığıyla algılandığında, sinyal sistemi bu talebe yanıt vererek yeşil ışık süresini ayarlar. Bu sistemler, ana yol trafiğinin kesintisiz akışını sağlarken, tali yoldan gelen araçların da verimli bir şekilde geçişine olanak tanır (FHWA, 2025).

1.2.3. Tam Akıllı (Fully-Actuated) Sinyalizasyon:

Tam akıllı sinyalizasyon sistemlerinde, dedektörler tüm yaklaşımlara yerleştirilir ve sinyal süreleri tamamen trafik talebine göre ayarlanır. Bu sistemler, trafik hacminin gün boyunca değişkenlik gösterdiği izole kavşaklarda veya trafik akışının öngörülemez olduğu bölgelerde idealdir. Tam akıllı sistemler, tüm yönlerden gelen trafik taleplerine yanıt vererek, her bir fazın süresini optimize eder ve böylece toplam gecikmeleri minimize eder (FHWA, 2025).

Bu üç tip sinyalizasyon sistemi, trafik akışının düzenlenmesi ve güvenliğin sağlanması açısından farklı avantajlar sunar. Kavşakların tasarımı ve işletimi sırasında, bölgenin trafik hacmi, akış düzeni ve diğer çevresel faktörler dikkate alınarak en uygun sinyalizasyon tipi seçilmelidir.

Sinyalize kavşakların önemi, trafik akışını düzenleyerek yol kapasitesini artırmaları ve kazaları azaltmalarıyla ortaya çıkar. Doğru tasarlanmış ve işletilen sinyalize kavşaklar, trafik yoğunluğunu azaltarak yol kullanıcılarının seyahat sürelerini kısaltır ve yakıt tüketimini düşürür. Ayrıca, yaya geçişlerini güvenli hale getirerek yaya güvenliğini artırır.

Sinyalize kavşaklarda kırmızı ışıktaki bekleyen araçların oluşturduğu kuyruklar, trafik akışını olumsuz etkileyebilir. Bu kuyrukların uzunluğu ve oluşma süresi, trafik

hacmi, sinyal süreleri ve sürücü davranışları gibi faktörlere bağlıdır. Kuyrukların yönetimi için kuyruk teorisi gibi analitik yöntemler kullanılarak, kuyruk uzunlukları ve bekleme süreleri hesaplanabilir. Bu hesaplamalar, sinyal sürelerinin optimize edilmesi ve kavşak kapasitesinin artırılması için önemlidir. Örneğin, İstanbul'da yapılan bir çalışmada, sinyalize kavşaklardaki trafik akımının kuyruk teorisi ile analiz edilerek performans ölçütleri ortaya konulmuştur (Güneş vd., 2020).

Sinyalize kavşakların etkinliği, sürücü davranışlarıyla da yakından ilişkilidir. Sürücülerin tepki süreleri, hızlanma ve yavaşlama alışkanlıkları, kavşak performansını doğrudan etkiler. İzmir'de yapılan bir araştırmada, sürücülerin yaş ve deneyimlerinin artmasıyla güvenlik algılarının da arttığı, bu durumun başlangıç tepki sürelerini uzatarak ortalama taşıt gecikmelerini yaklaşık %20 oranında artırdığı bulunmuştur (Tanyel vd., 2018).

Sonuç olarak, sinyalize kavşaklar, trafik akışını düzenlemek ve güvenliği sağlamak için kritik öneme sahiptir. Bu kavşakların tasarımı ve işletimi sırasında, trafik hacmi, sürücü davranışları ve kuyruk oluşumları gibi faktörlerin dikkate alınması, trafik yönetiminin etkinliğini artıracaktır.

1.3. Simülasyon Programları

Trafik mühendisliği ve ulaşım planlaması alanlarında, trafik akışlarını analiz etmek, farklı senaryoları değerlendirmek ve altyapı projelerinin etkilerini öngörmek amacıyla çeşitli simülasyon programları kullanılmaktadır. Bu programlar, gerçek dünya koşullarını sanal ortamda modelleyerek, karar vericilere değerli bilgiler sunar. Günümüzde, yaygın olarak kullanılan iki önemli trafik simülasyon yazılımı vardır; PTV Vissim ve SUMO (Simulation of Urban Mobility).

PTV Vissim, PTV Planung Transport Verkehr AG tarafından geliştirilen, mikroskobik ve çok modlu bir trafik akışı simülasyon yazılımıdır. İlk olarak 1992 yılında piyasaya sürülen bu yazılım, şehir içi ve şehirlerarası trafik akışlarını, toplu taşıma sistemlerini ve yaya hareketlerini detaylı bir şekilde modellemek için kullanılmaktadır. Vissim, "Verkehr In Städten - SIMulationsmodell" (Almanca'da "Şehirlerde Trafik - Simülasyon Modeli") ifadesinin kısaltmasıdır (PTV Group, 2025).

Vissim, her bir aracı ve yayayı bireysel olarak simüle eden mikroskobik bir modelleme yaklaşımına sahiptir. Bu sayede, sürücü ve yaya davranışları, şerit değiştirme, hızlanma ve yavaşlama gibi dinamikler detaylı bir şekilde analiz edilebilir.

Yazılım, Rainer Wiedemann tarafından 1974 yılında geliştirilen ve sürücülerin fiziksel ve psikolojik özelliklerini dikkate alan bir takip modeline dayanmaktadır.

Vissim, farklı ulaşım modlarını entegre bir şekilde modelleyebilir:

- Özel Araçlar: Otomobil, kamyon ve motosiklet gibi motorlu taşıtların hareketleri.
- Toplu Taşıma: Otobüs, tramvay ve metro gibi toplu taşıma araçlarının operasyonları.
- Yayalar ve Bisikletliler: Yaya geçitleri, kaldırımlar ve bisiklet yollarındaki hareketler.

Bu çok modlu yaklaşım, farklı ulaşım türlerinin birbirleriyle olan etkileşimlerini gerçekçi bir şekilde simüle etmeye olanak tanır (PTV Group, 2025). PTV Vissim, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir:

- Kavşak ve Yol Geometrisi Analizi: Farklı kavşak tasarımlarının ve yol düzenlemelerinin trafik akışı üzerindeki etkilerini değerlendirmek.
- Trafik Kontrol Sistemleri: Sabit zamanlı ve araç talebine duyarlı sinyalizasyon sistemlerinin performansını test etmek ve optimize etmek.
- Toplu Taşıma Planlaması: Otobüs ve tramvay hatlarının güzergahlarını, durak yerleşimlerini ve hizmet sıklıklarını analiz etmek.
- Yaya Hareketleri ve Güvenliği: Yaya geçitleri, kaldırımlar ve yaya bölgelerindeki hareketleri modelleyerek güvenlik önlemlerini değerlendirmek.
- Acil Durum ve Tahliye Senaryoları: Binaların veya açık alanların tahliye süreçlerini simüle ederek acil durum planlaması yapmak.

Örneğin, Çek Cumhuriyeti'nde Pardubice şehrindeki önemli bir kavşakta yapılan bir çalışmada, PTV Vissim kullanılarak kavşak yeniden yapılandırmasının trafik akışı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir (Kučera ve Chocholáč, 2021).

Vissim, trafik akışının önemli bir göstergesi olan kuyruk uzunluğunu metre cinsinden raporlar. Kuyruk uzunluğu, belirli bir noktada veya kesitte biriken araçların toplam uzunluğunu ifade eder ve trafik sıkışıklığının derecesini belirlemek için kritik bir metriktir. Vissim, simülasyon sırasında kuyruk uzunluklarını hesaplayarak,

kullanıcıların trafik yoğunluğunu ve tıkanıklık noktalarını analiz etmelerine olanak tanır. Bu veriler, trafik yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve mevcut altyapının iyileştirilmesi için temel teşkil eder. PTV Vissim, detaylı ve gerçekçi trafik simülasyonları oluşturmak isteyen mühendisler ve planlamacılar için güçlü bir araçtır. Mikroskobik modelleme yaklaşımı ve çok modlu simülasyon yetenekleri sayesinde, karmaşık trafik sistemlerinin analizini ve optimizasyonunu mümkün kılar. Kuyruk uzunluğu gibi kritik trafik metriklerini metre cinsinden raporlayarak, trafik yönetimi ve planlaması süreçlerinde değerli bilgiler sağlar.

SUMO, Alman Havacılık ve Uzay Merkezi (DLR) tarafından geliştirilen, açık kaynaklı, mikroskobik ve çok modlu bir trafik simülasyon paketidir. 2001 yılında ilk sürümü yayımlanan SUMO, büyük ölçekli yol ağlarını işleyebilen ve farklı ulaşım modlarını entegre bir şekilde simüle edebilen bir platformdur (SUMO, 2025). SUMO, her bir aracı ve yayayı bireysel olarak modelleyen mikroskobik bir simülasyon yaklaşımına sahiptir. Bu sayede, sürücü ve yaya davranışları, şerit değiştirme, hızlanma ve yavaşlama gibi dinamikler detaylı bir şekilde analiz edilebilir. SUMO'nun temel özellikleri şunlardır:

Çok Modlu Trafik Simülasyonu: SUMO, otomobil, otobüs, tramvay, bisiklet ve yaya gibi farklı ulaşım modlarını entegre bir şekilde simüle edebilir. Bu özellik, farklı ulaşım türlerinin birbirleriyle olan etkileşimlerini gerçekçi bir şekilde modellemeye olanak tanır (SUMO, 2025).

Ağ İçer Aktarma: SUMO, OpenStreetMap, VISUM, VISSIM, MATsim ve OpenDRIVE gibi çeşitli ağ formatlarını içe aktarabilir. Bu sayede, mevcut yol ağları kolaylıkla simülasyon ortamına entegre edilebilir (SUMO, 2025).

Trafik Yönetimi ve Kontrolü: SUMO, trafik ışıkları, hız sınırları ve araç davranışlarını kontrol etmek için video dedektörleri ve indüksiyon döngüleri gibi trafik yönetim araçlarını modelleyebilir. Bu özellik, farklı trafik yönetimi stratejilerinin değerlendirilmesine olanak tanır (SUMO, 2025).

Çevrimiçi Etkileşim: SUMO, simülasyon sırasında tüm nesnelerin davranışlarını canlı olarak kontrol etmeye olanak tanıyan Trafik Kontrol Arayüzü (TraCI) sağlar. Bu özellik, simülasyonun gerçek zamanlı olarak yönetilmesini ve analiz edilmesini mümkün kılar (SUMO, 2025).

SUMO, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir:

- Trafik Yönetimi ve Kontrol Sistemleri: Farklı trafik kontrol stratejilerinin ve sinyalizasyon sistemlerinin performansını test etmek ve optimize etmek için kullanılır.
- Toplu Taşıma Planlaması: Otobüs ve tramvay hatlarının güzergahlarını, durak yerleşimlerini ve hizmet sıklıklarını analiz etmek amacıyla kullanılır.
- Yaya Hareketleri ve Güvenliği: Yaya geçitleri, kaldırımlar ve yaya bölgelerindeki hareketleri modelleyerek güvenlik önlemlerini değerlendirmek için kullanılır.
- Acil Durum ve Tahliye Senaryoları: Binaların veya açık alanların tahliye süreçlerini simüle ederek acil durum planlaması yapmak için kullanılır.



Şekil 1.1. SUMO örnek bir kavşak görseli (SUMO, 2025).

Ortalama Hız	Ortalama Seyahat Süresi	Toplam Gecikme	Toplam Durma Gecikmesi	Aralık Başlangıç	Aralık Başlangıç Saati	Seyahat Süresi	Aralık Bitiş Saati	Simülasyon Süresi	Aralık Bitiş	Saniyede İnsan Yenileme Sayısı	Gerçeklik Faktörü
7,91	169,96	126,36	93,23	0	1102832,32	131,1	1102963,42	239,83	239,83	0	182,94
Sayım	Kalkış Gecikme	Kalkış Gecikme Bekleme	Araç Rota Uzunluğu	Toplam Kalkış Gecikme	Araç Toplam Seyahat Süresi	Süre	Sayı	Yaya Rota Uzunluğu	Süre Kaybı	Sürüş İstatistikleri	Ulaşım İstatistikleri
21073	3943,29	0	855,44	83097024,8	3581532	0	0	0	0	0	0
İşin Toplam	Teleports Yanlış Şerit	İşin İzi	GüvenÇatış	Ani Fren Sayısı	Güven Acil Durma	YolcuSıkış	YolcuYük	YolcuÇalış	Yolcu Bekleme Toplam	Yolcu İşin Toplam	Yolcu İşin Yanlış Yön
39	36	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Traci Süresi	Saniyede Araç Yenileme Sayısı	Araç Ek	Araç Yük	Araç Çalış	Araç Bekleme	İşin Sıkış	Kuyruk Uzunluğu BAF	Kuyruk Uzunluğu KAR	Kuyruk Uzunluğu DEN	Kuyruk Uzunluğu CAR	
312,33	27319,5	21073	21073	0	0	2	35,23	27,35	18,20	29,60	

Şekil 1. 2. SUMO programında kuyruk uzunluğu karayolları raporu örneği (SUMO, 2025).

SUMO programında, kavşaklar ve yol kesitlerinde biriken araçların oluşturduğu kuyruklar detaylı şekilde ölçülmekte ve bu değerler metre cinsinden kullanıcıya sunulmaktadır. Simülasyon çıktıları arasında yer alan kuyruk uzunlukları hem anlık trafik yoğunluğu hem de belirli zaman dilimlerinde sistemde oluşan tıkanıklıkların mekânsal boyutunu açıkça ortaya koyar. Böylece, analistler SUMO ile hangi kavşak veya yol kesiminin kuyruk kaynaklı kapasite sorunları yaşadığını kolayca belirleyebilir ve bu bilgileri kullanarak alternatif yönetim ve iyileştirme stratejileri geliştirebilir. Ölçülen kuyruk uzunlukları, özellikle trafik sinyalizasyon sürelerinin optimizasyonu ve yol ağının verimliliğinin artırılması açısından önemli bir karar desteği sağlar.

1.4. Kavşaklarda Eşdeğer Otomobil Birimi (EBO)

Kavşaklarda trafik akışının analizi ve kapasite değerlendirmelerinde, farklı araç türlerinin yarattığı etkiyi karşılaştırmak ve standart birim üzerinden analiz yapmak amacıyla "Eşdeğer Otomobil Birimi" (EBO – Passenger Car Equivalence, PCE) kavramı kullanılmaktadır (Partha et al., 2009). EBO, farklı tipteki araçların trafik üzerindeki etkilerini, bir otomobilin trafik akışına yaptığı etki ile kıyaslayarak bir dönüşüm oranı tanımlar. Özellikle ağır araçlar (kamyon, otobüs vb.), otomobillere göre kavşaklarda daha büyük boyutlara ve daha düşük hızlanma yeteneğine sahip olduklarından, birden fazla otomobilin etkisine denk kabul edilirler. Bu durum, kavşak kapasitesinin ve performansının doğru analiz edilmesi açısından kritik bir rol oynar (Tanyel vd., 2013).

EBO değerinin saptanmasında; araçların boyutları, ivmelenme-decelarasyon karakteristikleri ve trafik akışındaki davranış farklılıkları temel alınır. Türkiye’de “Kentsel alanlarda otomobil eşdeğerliği” (TS 6407) standardı kapsamında da kavşak analizlerinde çeşitli araç türleri için farklı EBO değerleri önerilmektedir. Örneğin, şehir içi yollarda bir kamyonun EBO değeri 2,00, sinyalize kavşakta ise 1,75 olarak belirtilirken, otobüsler için bu değerler şehir içi yolda 3,00, dönel kavşakta 2,80 ve sinyalize kavşakta 2,25 olarak verilmiştir (Türk Standartları Enstitüsü, 1989). Aynı şekilde minibüs ve dolmuşlar için de şehir içi yolda EBO değeri 1,15, sinyalize kavşakta ise 1,27’dir. (Türk Standartları Enstitüsü, 1989).

Literatürde ise, farklı yöntem ve hız koşullarında elde edilen verilerle EBO değerlerinin değişkenlik gösterebildiği vurgulanmıştır. Tanyel vd., (2013) İzmir’de yaptığı kapsamlı bir çalışma sonucunda yan yol akımında körüksüz otobüsler için

EBO'nun 1,67-1,98, körüklü otobüsler için ise 1,76-2,09 aralığında değiştiği, ana akımda ise körüksüz otobüslerde 1,22-1,67, körüklü otobüslerde 1,41-2,25 arasında olduğu saptanmıştır. Minibüslerin yan yol akımındaki EBO değeri ise 1,18-1,26 (ortalama 1,22) gibi bulunurken ana akımda 1,04-1,12 aralığında (ortalama 1,08) yer almaktadır. Bu sonuçlar göstermektedir ki, her iki akım için aynı EBO değeri kullanılması halinde analizlerde ciddi sapmalar olabilmektedir; optimal kapasite ve güvenliğin tesisi için yan yol ve ana yol akımlarında ayrı ayrı EBO değerlerinin kullanılması gerekmektedir.

Ağır araçların kavşak performansına etkisi temel olarak iki yolla görülmektedir: Birincisi, araç boyutunun büyük olması nedeniyle işgal ettiği alanın fazla olması ve dolayısıyla kuyruk uzunluklarının artması; ikincisi ise ağır araçların zayıf ivmelenme ve yavaşlama yetenekleri sebebiyle, kavşağa giriş-çıkış sürelerinin otomobillere göre daha uzun olmasıdır. Bu durum, yan yol ve ana akımdaki ağır araç oranı arttıkça kavşağın kapasitesinin önemli oranda azalmasına sebep olur. Örneğin, otobüslerin kritik aralık değerinin otomobillere oranla %20-70 daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Gedizlioğlu, 1979; Tanyel vd., 2013). Dolayısıyla geçiş akımında ağır araç yüzdesinin yüksek olduğu durumlarda, EBO düzeltmesi yapılmadan gerçekleştirilen analizlerde kapasite ya da bekleme sürelerinin yanlış hesaplanma riski doğar.

Simülasyon Programlarında (Vissim ve SUMO) EBO ve araç sayısına dönüşümün büyük bir önemi vardır. Günümüzde ayrıntılı trafik akışı analizlerinde yaygın olarak kullanılan mikroskobik simülasyon programları (ör. PTV Vissim ve SUMO), kavşaklardaki kuyruk uzunluğunu doğrudan metre (ya da feet) cinsinden hesaplar ve raporlar. Oysa çoğu trafik mühendisliği uygulamasında, kavşaktaki bekleyen araç sayısının bilinmesi ve buna göre akım, kapasite, gecikme ve sıklık analizlerinin EBO üzerinden yapılması gerekir. Metre cinsinden raporlanan kuyruk uzunluğunu doğrudan araç sayısına dönüştürmek yanıltıcı olabilir; çünkü kuyruğu oluşturan araç türleri çeşitlilik gösterebilir ve her birinin boyutları ile trafiğe olan etkileri birbirinden farklıdır. Örneğin, 20 metrelik bir kuyruk uzunluğu 4 otomobil anlamına gelirken, aynı mesafede 2 kamyon bulunabilir. Bunu doğru şekilde analiz etmek için, kuyruk içerisindeki her bir araç kendi EBO değeriyle otomobile dönüştürülmelidir. Ayrıca, Vissim ve SUMO gibi yazılımlarda EBO değeri sıklıkla modelcinin manuel olarak tanımlamasına bağlıdır; aksi halde çıktılar gerçek trafik kompozisyonunu yansıtmayabilir ve mühendislik analizlerinde aldatıcı sonuçlar

doğurabilir. Gerçekten, özellikle yüksek ağır araç oranına sahip kavşaklarda, simülasyon programında gözlemlenen metre cinsinden kuyruk uzunluklarının EBO kullanımıyla düzeltilmesi kapasite ve performans tahminlerinde hataları minimize eder.

Çalışmalar göstermiştir ki, ağır araçlar; kavşak performansını, yoğunluk ve gecikme değerlerini önemli ölçüde etkiler (Akçelik, 2004; Troutbeck, 1998). Akçelik (2004) göre; örneğin kamyonlar ve otobüsler için dönel kavşak EBO değeri 2,0 alınırken, Türkiye'deki standart TS 6407'ye göre bu değer 2,80'e çıkarılabilmektedir. Bu farklılıklar hem ulusal standartların hem de gerçek saha gözlemlerinin dikkate alınmasını zorunlu kılar. Bu nedenle hem Vissim hem de SUMO ile yapılan simülasyon analizlerinde, kilometre cinsinden elde edilen kuyruk uzunluklarının, trafik kompozisyonunu (özellikle ağır araç oranı) dikkate alarak, EBO çarpanları ile düzeltilmesi; mühendislik hesaplamalarının doğruluğu ve ulusal/uluslararası standartlarla uyumluluğu açısından büyük bir gerekliliktir. Doğru EBO değerlerinin kullanılması, kavşak kapasitesinin hassas biçimde hesaplanmasını, bekleme ve gecikme analizlerinin gerçekçi olmasını ve tasarım/işletme uygulamalarında optimizasyonu garanti eder.

1.5. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinde ve kentsel dinamiklerinde yer alan üç büyük şehirde (İzmir, Antalya ve Samsun) konumlanmış olan seçili sinyalize kavşaklarda, kırmızı ışık fazında oluşan araç kuyruklarını tüm boyutlarıyla kapsamlı bir şekilde incelemektir. Çalışmada, gerçek şehir içi trafik ortamında meydana gelen bu kuyrukların uzunlukları, araç bileşimi, araç türlerine göre dizilimleri ve araçlar arası mesafe dağılımları hem niceliksel hem de niteliksel olarak ele alınmıştır. Bu amaç doğrultusunda, klasik saha gözlemleriyle birlikte yüksek çözünürlüklü görüntü işleme tekniklerinden de yararlanılarak, kavşaklardaki trafik yoğunluğunun ve kuyruk karakteristiklerinin zamana ve mekâna göre değişimi detaylı biçimde saptanmıştır.

Çalışmanın dayandığı metodolojik yaklaşımda, farklı trafik koşulları ve sürücü davranışlarının kavşak performansına olan etkileri bütünsel bir bakış açısıyla ele alınmaktadır. Özellikle kavşaklarda bekleyen araçların hem tür hem de boyut açısından oluşturduğu çeşitlilik, toplam kuyruk uzunluğunun ve kavşak hizmet düzeyinin belirlenmesinde doğrudan rol oynamaktadır. Dolayısıyla, sadece genel

kuyruk uzunluğunu değil, bu uzunluğun ardındaki bileşenleri ortaya çıkarmak; örneğin ağır taşıtların, toplu taşıma araçlarının ve otomobillerin kuyruk yapısında nasıl bir etki yarattığını analiz etmek bu çalışmanın merkezinde yer alır. Ayrıca her kavşakta uygulanan sinyal fazlarının, trafik akışını ve araç birikimini nasıl yönlendirdiği istatistiksel ve yerinde gözlemle desteklenmektedir. Çalışmada bu tür bir mikro düzeyde gözden geçirme, şehirlerarası trafik davranış profillerinin karşılaştırılmasına, kent kimliğinin trafik alışkanlıklarına yansımalarının analizine ve planlama süreçlerinde daha hassas optimizasyon önerilerinin geliştirilmesine imkân tanır.

Bunun yanı sıra, bu araştırma ile üç farklı şehirdeki kavşaklardan elde edilen özgün verilerin sistematik bir veri seti haline dönüştürülerek, Türkiye’de şehir içi kavşak tasarımı, trafik mühendisliği uygulamaları, sinyalizasyon optimizasyonu ve kapasite analizlerinde kullanılabilecek sağlam bir referans oluşturması hedeflenmektedir. Çalışmada ortaya çıkan sayısal ve betimsel bulgular, hem mevcut sinyalize kavşakların performansının daha gerçekçi şekilde değerlendirilmesinde hem de ileride yapılacak akademik ve uygulamalı araştırmalara altyapı teşkil edebilecek nitelikte olup, ülkemizde kavşak analizine ilişkin literatürde önemli bir boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

Özetle, bu çalışmanın amacı yalnızca yüzeysel bir kuyruk uzunluğu değerlendirmesinin ötesine geçerek; kavşaklarda kuyruk oluşumunu belirleyen çok katmanlı dinamikleri, örneklem büyüklüğü yüksek saha gözlemleri ve güncel analiz yöntemleriyle aydınlatmak hem bilimsel hem de pratik trafik yönetimi açısından yüksek katma değerli ve genellenebilir sonuçlar üretmektir.

1.6. Çalışmanın İçeriği

Bu çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde artan nüfus ve araç sayısının trafik sorunları üzerindeki etkisi ele alınmış olup ortaya çıkan zorluklar ve bu zorluklarla nasıl başa çıkılmaya çalışıldığı anlatılmıştır. Bunun için sinyalize kavşaklar, tipleri ve işlevlerinden, simülasyon programlarından ve kavşaklarda eşdeğer otomobil birimi olan EBO açıklanmıştır. İkinci bölümde geniş bir literatür taraması yapılmış olup, trafik ölçümü ve analizi, trafik simülasyonları, VISSIM Simülasyonu ile ilgili derin bir araştırma yapıp literatürde uygulanan çalışmalar incelenmiş ve yorumlanmıştır. Üçüncü bölümde bu çalışmaya konu olan Antalya, İzmir ve Samsun illerine ait seçilen kavşaklarda yapılan ölçümlerin nasıl yapıldığını, ölçekleme ve kalibrasyon işlemlerini, verilerin nasıl derlendiği açıklanmıştır. Elde

edilen ölçüm değerleri ve hesapları tablo halinde verilmiştir. Dördüncü bölümde elde edilen verilerin istatistiki analizleri ve elde edilen bulguları verilmiştir. Beşinci bölümde yapılan çalışmaya ait elde edilen çıkarımlar ve sonuçlar verilmiştir. İleriki çalışmalarda yapılabilecek öneriler sunulmuştur.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Trafik Ölçümü ve Analizi

Literatürde trafik ölçümü ve analizi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin Maghrour Zefreh vd. (2017) çalışmasında Macaristan'ın Budapeşte kentindeki iki şeritli kentsel yollarda ortalama araç uzunluğu (AVL) ve etkin araç uzunluğu (EVL) değerlerini ölçerek tek halkalı detektör verilerine dayalı trafik akışı modellemesini iyileştirmeyi amaçlamıştır. Araştırmada, gün boyunca sabit bir EVL değeri kullanılmasının önemli hatalara yol açtığı vurgulanarak, saatlik zaman dilimlerine göre değişen EVL değerlerinin kalibrasyonu önerilmiştir. Video kayıtlarıyla desteklenen manuel gözlem yöntemiyle toplanan veriler sayesinde sağ ve sol şeritlerdeki trafik akışı ayrı ayrı analiz edilmiş, trafik bileşiminin zaman ve şerit bazında büyük farklılıklar gösterdiği ortaya konmuştur. Örneğin, öğle saatlerinde iki şerit arasında 73 cm'lik ortalama araç uzunluğu farkı saptanmış, ayrıca öğleden sonra büyük araçların etkisiyle sağ şeritte EVL'nin yükseldiği görülmüştür. Sonuçlar, heterojen trafik koşullarında zaman temelli EVL düzenlemesinin, hız, yoğunluk ve araç sınıflandırması gibi analizlerin doğruluğunu artırdığı ve kentsel trafik yönetimi açısından önemli katkılar sağladığını göstermiştir.

Bir başka çalışmada Cheeverunothai vd. (2007), Washington Eyaleti otoyollarındaki çift döngülü algılama sistemlerinden elde edilen kamyon verilerinin doğruluğunu artırmak amacıyla yazılım temelli bir düzeltme algoritması geliştirmiştir. Araştırma; çok üniteli kamyonların sinyal bölünmesi, şeritler arası etkileşim (cross talk), algılayıcı hassasiyet sınırlamaları ve döngüler arası zamanlama farkları gibi dört temel soruna odaklanmıştır. Geliştirilen algoritma, bu hataları dört aşamalı bir işlemle düzelterek kamyon sınıflandırmasını ve sayım doğruluğunu önemli ölçüde artırmıştır. ES-168R test sahasında yapılan ampirik doğrulamalar, hata oranlarının %50'ye varan seviyelerden neredeyse sıfıra indirilebildiğini göstermiştir. Yöntem, M-loop ve S-loop arasında sabit hız varsayımıyla çalışmakta ve kısa araç uzunluk dağılımlarını referans alarak hassasiyet ayarı yapmaktadır. Çalışma, mevcut donanım altyapısına yazılımsal bir çözüm sunarak düşük maliyetli ama yüksek etkili bir yaklaşım önermekte; böylece Washington Eyaleti'nde yük taşımacılığı planlaması, altyapı yatırımları ve karar destek süreçlerine güvenilir veri sağlamaktadır.

Coifman ve Kim (2009), tek halkalı dedektörlerin tarihsel olarak düşük

doğrulukla ilişkilendirilen hız verilerini iyileştirerek uzunluk temelli taşıt sınıflandırmasını mümkün kılmayı hedeflemiş ve bu sistemleri çift halkalı dedektörlerle karşılaştırılabilir hale getirmiştir. Araştırma, üç yenilikçi hız tahmin yöntemi —hareketli medyan, sıra ve dağılım yöntemleri— geliştirerek, özellikle kamyon gibi büyük araçların doğru şekilde izlenmesini sağlamıştır. Çalışmada Ohio'daki I-71 otoyolundan alınan gerçek ve sentetik veriler ile video analizleri birlikte kullanılarak 25.000'den fazla araç için doğrulama yapılmış, en başarılı sonuçlar %97'nin üzerinde sınıflandırma doğruluğu ve %6'dan az hız hatası ile dağılım yönteminden elde edilmiştir. Araçları uzunluklarına göre sınıflandıran bu model, özellikle serbest akış koşullarında etkili olurken, trafik sıkışıklığında performansı azalmış, ayrıca pulse breakup gibi hatalar uzun araçlarda sorun yaratmıştır. Yöntem, tek halkalı dedektör altyapısını koruyarak maliyet etkin çözümler sunmakta ve donanım arızalarının etkisini azaltmaktadır. Ancak hız homojenliği gibi varsayımların tüm koşullarda geçerli olmaması, doğruluğu sınırlayan unsurlar arasında yer almıştır. Gelecekte, sıkışıklığa duyarlı ve otomatik hata tespit sistemleriyle bu sınırlılıkların aşılması hedeflenmektedir.

Davies ve Salter'in (1983) çalışması, karayolu planlaması ve trafik yönetimi süreçlerinde kullanılan sınıflandırılmış trafik sayım verilerinin doğruluğunu ve sınırlılıklarını analiz ederek, manuel ve otomatik veri toplama yöntemlerini karşılaştırmıştır. Geleneksel manuel sayımların, personel kaynaklı hatalar ve yoğun trafik saatlerinde artan gözlem zorlukları nedeniyle güvenilirliğinin düşük olduğu saptanmıştır. Otomatik sistemler, özellikle indüktif loop temelli teknolojilerle orta düzeyde doğruluk (%80–90) sağlarken, triboelektrik aks dedektörleri ile birleştirilen gelişmiş sistemler %90'ın üzerinde doğruluk ve 25+ araç sınıfı ayırt etme kapasitesine ulaşmıştır. Ancak bu sistemlerin de yanal konum farklılıkları, zayıf şerit disiplini ve sensör kalibrasyon sorunları gibi teknik sınırlamaları olduğu belirlenmiştir. Veri doğruluğunu artırmak için radar ölçümleri ve teknik verilerle yapılan çapraz kontroller kullanılmış, laboratuvar deneyleri ise sensör tasarımlarındaki gelişmeleri desteklemiştir. Çalışma, otomatik sistemlerin ölçeklenebilirlik ve doğruluk açısından manuel yöntemlere kıyasla üstün olduğunu savunmakta; otomasyonun artan işgücü maliyetleri ve düşen mikroişlemci fiyatlarıyla birlikte kaçınılmaz hale geleceğini vurgulamaktadır.

Hazelton (2004) çalışmasında, yalnızca trafik sayımı ve işgal oranı sağlayan tek

indüktif döngü dedektörlerinden elde edilen verilerle araç hızlarının doğrulukla tahmin edilmesine odaklanmıştır. Trafik yönetimi ve seyahat süresi tahminleri gibi uygulamalar için gerekli olan bu hız tahminlerinde mevcut yöntemlerin toplulaştırma yanlılığı ve ölçüm hatalarını göz ardı ettiği belirtilmiş, bu sorunları aşmak üzere Bayesçi Markov Zinciri Monte Carlo (MCMC) yaklaşımı geliştirilmiştir. Metropolis-Hastings algoritmasıyla, eksik araç boyu verileri Seattle I-5 otoyolundaki 17.528 gerçek araç uzunluğu örnekleminden tamamlanmış, hızlar ise zaman boyunca rastgele yürüyüş modeliyle tahmin edilmiştir. Model, işgal oranı ölçüm hatalarını da dikkate almış ve bilgilendirici öncüllerle sensör hatalarını entegre etmiştir. Elde edilen sonuçlar, geleneksel yöntemlere kıyasla kök ortalama kare hatayı (RMSE) 10,2 mph'den 4,3 mph'ye düşürerek önemli iyileşmeler sunmuş ve %95 güven aralıkları gerçek hızları büyük ölçüde kapsayacak şekilde dar kalmıştır. Yöntem, hassasiyet analizlerinde de istikrarlı sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak çalışma, tek döngü dedektörlerinden güvenilir hız tahmini için Bayesçi çerçevenin güçlü bir çözüm sunduğunu ve bu yaklaşımın trafik dinamiklerinin daha hassas modellenmesini mümkün kıldığını ortaya koymuştur.

Kwon vd., (2003) ise yüksek maliyetli otomatik araç sınıflandırıcılar ve manuel sayımlara alternatif olarak, çok şeritli otoyollarda kamyon trafiğini tek ilmek dedektör verileriyle gerçek zamanlı tahmin etmeye yönelik yenilikçi bir algoritma sunmaktadır. Bu yöntem, kamyonlu şeritlerin varlığı ve şeritler arası yüksek hız korelasyonundan yararlanarak doğrudan araç uzunluğu ölçümüne gerek kalmadan ortalama etkin araç uzunluğunu (MEVL) kullanmakta ve kamyon hacmini tahmin etmektedir. Temel denklemler akış, doluluk, hız ve MEVL ilişkisine dayalıdır; araç uzunluklarının iki modlu dağılımı sayesinde otomobil ve kamyon oranları ayrıştırılabilmektedir. Algoritma, Interstate 80, 91 ve 710 otoyollarındaki tek ve çift ilmekli verilerle ve tartım-hareket hâlindeki kamyon verileriyle test edilmiştir. Sonuçlar %3–6 arasında düşük hata oranlarıyla yöntemin doğruluğunu kanıtlamış; örneğin liman grevi sırasında kamyon hacmindeki %32'lik düşüş başarıyla tespit edilmiştir. G-faktörü tahminlerinde de yüksek doğruluk sağlanmıştır. Ancak yöntem; hız-doluluk ilişkilerinin tıkanıklık başında kararsızlaşması ve kamyonların kamyonlu şeritlere sızması gibi sınırlamalara sahiptir. Çalışma, saha koşullarına uyarlanabilirliği ve düşük maliyetli uygulama potansiyeliyle, şehir içi otoyollarda kamyon trafiğini izlemek için etkili bir çözüm sunmaktadır.

Kim ve Coifman (2013), otoyollarda aks temelli ve uzunluk temelli araç sınıflandırma sistemlerinin doğruluğunu, özellikle kamyonların sınıflandırılmasındaki zorluklara odaklanarak değerlendirmiştir. Üç otoyol istasyonunda 18.000'den fazla araç incelenmiş, veriler çift döngü dedektörler ve piezoelektrik sensörlerle toplanmıştır. Genel sınıflandırma doğruluğu yüksek olsa da, özellikle tek üniteli kamyonlarda (SUT) doğruluk yalnızca %60 bulunmuştur. Yolcu araçlarıyla SUT'ler arasında aks aralığı ve uzunluk benzerlikleri bu hataların temel nedenidir. Algoritmadaki ayarlamalar (ör. sınıflandırılmaz kategori eklenmesi) bazı iyileştirmeler sağlasa da yapısal belirsizlikler devam etmiştir. Aks temelli verilerin uzunluk temelli sınıflandırma için referans olarak kullanılması ilave hatalara yol açabilmektedir. Çalışma, bu tür verilerin yük modelleme ve yol tasarımı gibi uygulamalarda dikkatle kullanılmasını önermekte, daha gelişmiş sensörlerin ve kayıt bazlı doğrulamanın gerekliliğine dikkat çekmektedir.

Liu ve Sun (2014) ise tekli ILD verilerinden yararlanarak araçları uzun ve normal olmak üzere iki sınıfa ayıran bir yöntem geliştirmiştir. Hedef, pahalı altyapı sistemlerine gerek kalmadan sınıflandırma doğruluğunu artırmaktır. Metodoloji, araçlar arasında zaman aralıkları tanımlayarak bunları plato yapılarında gruplar ve Newell takip modelini kullanarak hızları tahmin eder. Ölçülen işgal süresi, normalden büyükse araç “uzun” olarak sınıflandırılır. Saha verisi Minnesota'daki bir ILD istasyonundan toplanmış, 2.547 araç incelenmiştir. 1.5625 ve 2.4 oranları eşik değeri olarak kullanılmış, F-ölçütü sırasıyla 0.815 ve 0.865 bulunmuştur. Yöntem düşük maliyetli, teori temelli ve ölçeklenebilir bir yaklaşım sunmakta; hız tahmini ve emisyon modellemesi gibi alanlarda kullanıma uygundur. Ancak, ani hız değişiklikleri ve duran araçlar sınırlayıcı etkenlerdir.

Wang ve Nihan (2003) çalışmasında tek döngülü dedektörlerle araç hızı tahmini ve SV–LV sınıflandırması yapılmıştır. Motivasyon, çift döngü sistemlerin maliyetinin yüksekliği ve az yaygın olmasıdır. Üç aşamalı algorithmada önce SV–LV içeren aralıklar ayrılır, ardından SV verileriyle hız tahmini yapılır. Son olarak NN kararı ile LV hacmi belirlenir. Kalibrasyon için gece hızları kullanılmıştır. Seattle I-5 verileri ile test edilen yöntem, hız tahmininde düşük hata ve yüksek tutarlılık göstermiştir. Ancak yoğun saatlerde sabit hız varsayımı ihlali performansı düşürmüştür. Yöntem, düşük maliyetle tek döngülü sistemlerin yeteneklerini artırmak için uygulanabilir olup, periyodik kalibrasyon gerektirir.

Wang ve Nihan (2004), büyük kamyon (LT) hacmini tek döngülü dedektör verileriyle tahmin etmeye odaklanmaktadır. Çift döngülü sistemlerin sınırlılığına karşı düşük maliyetli çözüm sunmaktadır. İki aşamalı algoritmada önce desen ayrımı yapılır, sonra NN algoritması ile araçlar SV ve LT olarak sınıflandırılır. Veri seti 14 günlük WSDOT verilerinden oluşmaktadır. Tahmin doğruluğu yüksek bulunmuş, LT hacmi ile referans veriler arasında 0,83 korelasyon elde edilmiştir. Ortalama bağıl hata %5,2'dir. Ancak sabit hız varsayımı ve yoğun trafikteki kararsızlıklar sınırlayıcıdır. Yöntem, sahaya özgü kalibrasyonla birlikte uygulanabilirliği yüksek, maliyet etkin bir çözüm sunmaktadır.

Wu ve Coifman (2014b)'ın çalışmasında yoğun trafikte araç uzunluğunun doğru ölçülmesi için sabit ivme varsayımıyla geliştirilen yeni bir yöntem (NM) test edilmiştir. CM varyantlarıyla karşılaştırılmıştır. NM yöntemi, çift döngü dedektör verileriyle araçların hız, ivme ve uzunluğunu kinematik denklemlerle hesaplamaktadır. Testler sentetik NGSIM ve gerçek BHL verileriyle yapılmıştır. NM ve CM+ yöntemleri tıkanıklık koşullarında yüksek doğruluk sergilemiş, göreceli hata %5'in altında kalmıştır. Araçların durduğu senaryolarda hata artmıştır; bu senaryolar nadir olduğu için genel etki düşüktür. Detektör kalibrasyonu kritik olup, bu tür yöntemler iyi bakım koşullarında oldukça işlevsel bulunmuştur.

Wu ve Coifman (2014a) çalışmasında araç ivmesinin sınıflandırmadaki etkisi incelenmiş ve hız-uzunluk düzleminde "belirsizlik bölgeleri" tanımlanmıştır. Amaç, düşük hızlarda sınıflandırma hatalarını azaltmaktır. Analitik modelleme ile ivmeye bağlı uzunluk hataları haritalanmış, belirsizlik bölgeleri belirlenmiştir. Bu bölgelerde araçlar çoklu sınıflara atanarak hata azaltılmıştır. NGSIM ve BHL verileriyle test edilen yöntem, CM+ yaklaşımına kıyasla 4 kat daha düşük hata oranı sağlamış, sınıflandırma doğruluğu %98'e ulaşmıştır. Yoğun trafik koşullarında bile yüksek doğruluk sağlayan bu yöntem, idareler için maliyet etkin ve uygulanabilir bir sınıflandırma stratejisi sunmaktadır.

Jia vd. (2001) çalışmasında sabit g-faktörü varsayımının neden olduğu hız tahmin hatalarını düzeltmek için uyarlamalı bir yaklaşım önermiştir. g-faktörü, tek döngülü verilerden hesaplanmaktadır. PeMS algoritması, serbest akış dönemlerinde gerçek hızı kullanarak $g(t)$ hesaplamakta ve IIR filtresiyle gürültü azaltılmaktadır. Sıkışık trafikte son geçerli $g(t)$ değeri korunmaktadır. Veriler Kaliforniya PeMS ve I-80 çift döngülü dedektörlerinden alınmıştır. g-faktörünün zaman ve şerit bazında

%50'ye varan değişkenlik gösterdiği bulunmuştur. Algoritma, hız tahmin hatalarını azaltmış; özellikle kamyon trafiğinin yoğun olduğu durumlarda etkili olmuştur. Dinamik g-faktörü kullanımı, trafik izleme doğruluğunu artırmıştır.

Aydin (2012) çalışmasında yol yüzeyi bozukluklarının sürücülerin şerit değiştirme davranışı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Amaç, bu etkileşimi trafik akımı modellemesine entegre etmektir. Veriler GPS cihazları, video kayıtları ve saha ölçümleri ile toplanmış, kritik aralık kabul teorisi ve probit modellerle analiz edilmiştir. Sürücüler bozuk zeminli şeritlerden kaçınma eğilimi göstermiş, bu durum trafik akışını etkilemiştir. GPS gecikmesi sınırlı etki göstermiştir. Sonuç olarak, yol yüzeyi kalitesinin sürücü davranışı üzerindeki etkisi belirgin bulunmuş; bu durum yol tasarımı ve bakım politikaları açısından önemli çıkarımlar sunmuştur.

Orhan (2021) çalışmasında, Türkiye'de yol şerit çizgilerinin kalitesi ve görünürlüğünün sürücü davranışları üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Özellikle trafik güvenliği ve şerit disiplini üzerine odaklanılmıştır. Çalışmada video analizleri, saha ölçümleri ve 390 kişilik anket kullanılmış; araçların yanal konumları ve sürücü algıları ölçülmüştür. Şerit çizgisi kalitesi kentler arası yollarda daha iyi bulunmuş, sürücüler düşük görünürlüğün kurlsız davranışlara yol açtığını belirtmiştir. Sonuçlar, kaliteli ve dayanıklı işaretlemelere olan ihtiyacı ve denetimin artırılmasının önemini ortaya koymuştur.

Aydin ve Orhan (2024) araştırmasında, şerit çizgisi kalitesinin Türkiye'de sürücü davranışı üzerindeki etkisini incelemektedir. Kentsel ve şehirlerarası yollar karşılaştırılmıştır. 17 noktada 4.090 araç video ile analiz edilmiş, 390 sürücüye anket uygulanmıştır. İstatistiksel testlerle kalite-algı ilişkisi değerlendirilmiştir. Kentsel yollarda çizgi kalitesi daha düşük çıkmış, sürücüler çizgilerin hızlı bozulduğunu ve ortalama 250 günde yenilenmesi gerektiğini belirtmiştir. Yüksek görünürlük ihtiyacı, otonom araçlar için de kritik bulunmuş; sonuçlar yol bakımının önceliklendirilmesi ve sürücü eğitimlerinin güçlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

2.2. Trafik Simülasyonları

Coifman (2015) çalışmasında araç boyunun hem makroskobik trafik akışı ilişkileri ($q-k$) hem de mikroskobik takip davranışı ($v-x$) üzerindeki etkilerini incelemiştir. Geleneksel sabit zaman aralıklı veri birleştirme yöntemlerinin, araç boyuna bağlılık gibi kritik dinamikleri gizlediğini vurgulanmıştır. Çalışmada, sabit

zaman dilimlerine bağı kalmadan “tek araç geçişı” (SVP) yaklaşımı uygulanmıştır. Araçlar, boyut ve hız aralıklarına göre homojen gruplara ayrılmış; doluluk ve etkin uzunluk değerlerinden yola çıkarak yoğunluk ve aralık hesaplanmıştır. Elde edilen $q-k$ ve $v-x$ eğrileri, hem döngü dedektörlerinden hem de NGSIM verilerinden türetilmiş ve karşılaştırmalı analizle tutarlılık sağlanmıştır. Daha uzun araçlar daha yüksek tıkanıklık yoğunluğu ve dalga yayılım hızı sergilemiş, bu durum klasik modellerle çelişmiştir. Sonuçlar, hem mikro hem de makro modellerin heterojen araç boylarını açıkça içermesi gerektiğini, aksi halde önemli dinamiklerin kaçırıldığını göstermektedir.

Zefreh vd. (2016), deterministik modellerin yetersizliğini ve stokastik modellerin uygulamadaki karmaşıklığını aşmak için yarı-stokastik bir hız-yoğunluk modeli önermiştir. Monte Carlo benzetimi ile hız dağılımları türetilmiş ve yoğunluk ile ilişkilendirilmiştir. Farklı dağılım türleri (Normal, Beta, Poisson, Gamma) analiz edilmiş, her birinin trafik senaryolarına uygunluk derecesi test edilmiştir. Özellikle geçiş ve sıkışık durumlar için karmaşık hız dağılımlarının daha açıklayıcı olduğu bulunmuştur. Sonuçlar, deterministik yoğunluk parametrelerini olasılıksal hız çıktılarıyla ilişkilendirebilecek bir çerçevenin mümkün olduğunu göstermiştir. Bu model, hız varyansının kritik olduğu emisyon, güvenlik ve simülasyon alanlarında önem taşımaktadır. Önerilen yarı-stokastik çerçeve, basitlik ve doğruluk arasında denge kurarak trafik modelleme için esnek bir alternatif sunmaktadır.

Newell (2002), araç takip modellerine sade bir yaklaşım getirerek, sürücülerin önündeki aracın yörüngesini sabit zaman ve mekân gecikmesiyle takip ettiğini varsayan bir model geliştirmiştir. Bu model, karmaşık ivme ve tepki süresi hesaplarına gerek duymadan doğruluğu korur. Modelin temel parametreleri zaman gecikmesi ve sabit takip mesafesidir. Bu parametreler akış ve yoğunluk gibi makroskobik özelliklerle doğrudan ilişkilendirilmiştir. Model, sabit hızda ilerleyen araç dizileri, plato çalışmaları ve şok dalgası yayılımı gibi ampirik verilerle uyum göstermektedir. Doğrusal akış-yoğunluk eğrilerinin yeterli olabileceğini savunarak klasik modellerle farklılaşır. Sonuç olarak, model homojen, sabit hızlı otoyol senaryoları için güçlü, yalın ve deneysel olarak geçerli bir çerçeve sunmaktadır.

Ye (2007) tek döngülü dedektörlerle doğrudan hız ölçümünün mümkün olmaması nedeniyle ortaya çıkan tahmin hatalarını ele almış ve gelişmiş tahmin yöntemleri olarak UKF ve UPF algoritmalarını önermiştir. UKF, doğrusal olmayan

sistem dinamiklerini sigma noktaları üzerinden yaklaşıklar; UPF ise UKF'nin avantajlarını parçacık filtreleme ile birleştirerek özellikle sıkışık trafik koşullarında daha yüksek doğruluk sağlar. Gerçek ve simülasyon verileriyle test edilen bu yöntemler, UKF'nin EKF'ye göre daha düşük hata verdiğini, UPF'nin ise özellikle çarpık dağılımların hâkim olduğu durumlarda üstün performans sergilediğini ortaya koymuştur. Bu yöntemler, mevcut dedektör altyapısıyla entegre edilebilecek biçimde tasarlanmış ve trafik yönetimi, kaza tespiti ve büyük araç tahmini gibi uygulamalarda önemli katkı sağlamaktadır.

Dodsworth vd. (2014), kentsel trafik ortamlarında düşük çözünürlüklü dedektör verileri (4Hz–10Hz) ile tek dedektör üzerinden gerçek zamanlı araç sınıflandırması yapmayı hedeflemektedir. Amaç, sinyal optimizasyonu ve trafik kontrol sistemleri (ör. SCOOT) için anlık araç uzunluğu ve hız bilgisini sağlamaktır. Sınıflandırma algoritması, dedektör doluluğu, akım ve araç dedektörde kalma süresi (τ) ile tahmini hız arasında kurulan $V = EVL/\tau$ bağıntısına dayanmaktadır. Uzunluğu 14 metreyi aşan araçlar "uzun araç" (LV) olarak tanımlanmakta ve bu eşik, özellikle mafsallı ağır araçları ayırt etmek için belirlenmiştir. Algoritma, hız tahmin doğruluğunu artırmak için doluluk temelli eşikler, trend filtreleme ve sınıflandırma geçmişine dayalı kontrol mekanizmaları ile desteklenmiştir. Mikro-simülasyonlar, 2 metrelik dedektörle donatılmış bir sinyal kontrollü kavşakta, PTV-Vissim yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre 10Hz veri çözünürlüğü, τ değerlerinde daha düşük yuvarlama hatası ile %85–%97 doğruluk sağlamıştır. Ancak, yüksek LV oranlarında sınıflandırma doğruluğu düşmüş, özellikle düşük hızlarda sinyal örtüşmeleri nedeniyle performans azalmıştır. Yöntem, yalnızca üç temel parametre ile kalibre edilmekte; düşük maliyetli, ölçeklenebilir ve mevcut altyapıya entegre edilebilir bir çözüm sunmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, düşük hız koşullarına özel testlerle kapsamın genişletilmesini ve algoritmanın gerçek zamanlı sistemlerle entegrasyonunu hedeflemektedir.

3. YÖNTEM

3.1. Kavşak Seçimi ve Seçim Kriterleri

Bu çalışmanın temel amacı, farklı büyüklükteki kentlerde bulunan çeşitli trafik yoğunluklarına sahip sinyalize kavşaklarda, kuyruk oluşumu ve araç yerleşiminin karakteristiklerini analiz etmektir. Kavşakların seçiminde birden fazla belirleyici kriter ortaya konmuştur:

- Coğrafi Dağılım: Türkiye'nin üç ayrı coğrafi bölgesinin temsil edilmesi (Ege, Akdeniz, Karadeniz) hem şehir altyapısındaki hem de sürücü kültüründeki farklılıkların gözlemlenmesine imkan tanımıştır.
- Trafik Yoğunluğu: Seçilen kavşaklar, düşük, orta ve yüksek trafik yoğunluğuna sahip olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Böylece, trafik hacmindeki değişkenliğin kuyruk oluşumu ve araç aralığı üzerindeki etkileri incelenebilmiştir.
- Kavşak Geometrisi ve Şerit Sayısı: Farklı şeritli kavşakların seçilmesi, sinyalize kavşak performansında şerit sayısının ve şerit genişliğinin etkilerinin analiz edilebilmesine olanak sağlamıştır.
- Kentsel Donatı Çevresi: Kavşakların kent merkezinde, ticari alan veya yoğun yaya geçişlerinin olduğu bölgelerde yer alması özellikle kozmopolit bölgelerde tipik trafik davranışlarını analiz etmek açısından gerekli görülmüştür.

Seçilen üç kavşak, Türkiye'nin ulaşım altyapısı, trafik hacmi ve sinyalize kavşak yapısının tipik örneklerini oluşturmaktadır. Her bir kavşak, yerel yönetimlerin trafik yönetim stratejileri ve kentsel planlamaları göz önünde bulundurularak seçilmiş ve tüm yıl boyunca trafik ölçümlerinin yapılmasına olanak sağlayacak şekilde erişilebilirlik bakımından değerlendirilmiştir. Bu tür bir metodolojik yaklaşım, elde edilen bulguların genellenebilirliğini ve trafik modellemeleri için referans oluşturma değerini yükseltmektedir.

3.2. Kavşakların Özellikleri, Konumları ve Tipleri

3.2.1. İzmir İncelenen Kavşak

İzmir'de incelenen kavşak, şehir içi ulaşım güzergahlarının kesişim noktasında yer almakta olup, tipik bir ticaret ve konut dokusunun içinde konuşlanmıştır. Kavşağın

iki şeritli yapısında, her bir şeridin genişliği yaklaşık 3.8 metredir; bu da ağır vasıta ve toplu taşıma araçlarının güvenli geçişi için gerekli olan minimal standartları karşılamaktadır. Kavşakta gün boyunca yaya hareketliliği oldukça yüksektir. Kavşağın çevresi, yol kenarı otoparklar, alışveriş üniteleri ve yüksek katlı konut blokları ile çevrelenmiş olup, kavşak geometrisinin zaman zaman sokak trafiği ve yaya geçişleriyle karmaşıklaştığı görülmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. İzmir incelenen kavşak

Seçilen kavşakta, özellikle sabah ve akşam pik saatlerinde sinyal fazları arasında, kırmızı ışık süresi boyunca arka arkaya biriken araçlar dikkatlice gözlemlenmiştir. Kavşaktaki sinyal döngüsü yaklaşık 90 saniye olup, kırmızı ışıktaki ortalama 7–12 araçlık kuyruk oluştuğu kaydedilmiştir. Bu bölgedeki trafik akışının istikrarı, kent merkezindeki kalıcı yoğunluğa rağmen, genel olarak sürücü disiplininin yüksekliğiyle karakterize edilmektedir.

3.2.2. Antalya İncelenen Kavşak

Antalya kavşağı, ticaret merkezi ve alışveriş noktalarına yakınlığı ile bilinen, kentin ana arterlerinden birinin parçasıdır. Şerit sayısı üç olup; şerit genişlikleri modern şehircilik standartlarına uygun şekilde 3.0 metre olarak düzenlenmiştir. Kavşağın bulunduğu bölge, yaz aylarında turistik hareketlilikle beraber ciddi ölçüde trafik yüküne maruz kalmaktadır. Özellikle otobüs ve minibüs gibi toplu taşıma araçlarının sıklıkla geçtiği bu kavşakta, gözlemler sırasında hem ağır araç hem de otomobil kompozisyonu çeşitli zamanlarda ölçülmüş, kavşak kapasitesi ile gecikme süreleri dikkate değer biçimde değişkenlik göstermiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Antalya incelenen kavşak

Gözlemler, yüksek trafik yoğunluğunun kavşak performansı ve kuyruk uzunluğu üzerindeki etkilerinin daha belirginleştiği anlarda yapılmış; farklı hava koşullarının (örn. yağmurlu günlerin) trafik yoğunluğuna ve kuyruk dizilişine olan etkileri de ayrıca not edilmiştir.

3.2.3. Samsun İncelenen Kavşak

Samsun kavşağı, düşük trafik yoğunluğu ve nispeten dar şerit genişlikleriyle öne çıkan, kent merkezi ve mahalle alanlarının kesişiminde yer alan, üç şeritli bir kavşaktır. Her bir şerit yaklaşık 2,65 metre genişliğe sahiptir ve bu geometri özellikle küçük ticari araçlar ve otomobiller için elverişli olsa da ağır araç dolaşımında zaman zaman sıralanma sorunları gözlemlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Samsun incelenen kavşak

Kavşağın çevresi, geniş kaldırımlara ve yaya güvenliğini artırmak amacıyla oluşturulmuş koronaklara sahip olup, genellikle kısa kuyruk uzunlukları, düşük hızlar ve yayaların aktif olarak geçiş sağladığı bir trafik düzeni ile tanımlanır. Bu bağlamda kavşak, düşük trafik hacminin araçlar arası mesafe ve şerit içi yerleşim üzerindeki etkilerinin analiz edilebilmesi bakımından ideal bir örnek sunmaktadır.

3.2.4. Kavşak Fotoğraflarının Analizi ve Görsel Belgeleme

Her kavşaktaki saha gözlemleri, yüksek çözünürlüklü sabit kameralar ile desteklenmiş, fotoğraflar analiz esnasında trafik dizilimlerinin, şerit kullanım alışkanlıklarının ve özel durumların (örn. yasadışı park, acil araç geçişi gibi) belirlenebilmesini sağlamıştır. Görsel belgeleme, aynı noktadan farklı zamanlarda alınan karelerle yinelenmiş, dinamik değişiklikler kontrollü olarak kayıt altına alınmıştır. Bu, verilerin hem geçerliliğini hem de bilimsel raporlama etiği açısından şeffaflığını artırmaktadır.

3.3. Görsel Veri Toplama ve Kuyruk Uzunluğu Ölçümleri

Tüm saha gözlemleri, literatürde yaygın olarak kabul edilen "gözlemsel momental analiz" tekniğiyle yürütülmüştür (*Troutbeck, 1998; Akçelik, 2004*). Her kavşakta, kuyruk oluşumunun en yoğun olduğu zaman dilimleri önceden saha gezileri ile saptanmış; bu saatlerde, kavşağın en iyi izlenebileceği yükseklikten, yaklaşım kesitlerini tam kapsayacak şekilde kayıt alınmıştır. Kullanılan kameraların konumu hem şeritlerin hem de araçların tümünün net biçimde tespit edilmesini mümkün kılmıştır.

Kaydı alınan videolardan, yeşil ışık yanmadan hemen önceki durma anına ait ekran görüntüleri elde edilmiş, böylelikle tüm araçların ve yaya geçişlerinin net olarak gözlemlenebileceği bir referans anı için ölçümlere başlanmıştır.

- İzmir Kavşağı: Toplam 20 farklı araç kuyruğu gözlemi, 167 araç
- Antalya Kavşağı: Toplam 21 kuyruk gözlemi, 327 araç
- Samsun Kavşağı: Toplam 11 kuyruk gözlemi, 104 araç

olmak üzere toplamda 598 araç için ayrıntılı ölçüm ve analizler gerçekleştirilmiştir. Veri toplama sırasında, beklenmedik durumlar (örn. trafik kazası, yol kazı çalışması), gözlem dışı tutulmuş ve veri bütünlüğünün bozulmaması için yalnızca olağan işleyiş anındaki kuyruklar dahil edilmiştir.

3.4. Görsel Ölçkleme, Kalibrasyon ve Ölçüm Yöntemi

3.4.1. Geometrik Ölçkleme ve Perspektif Düzeltmesi

Kameradan elde edilen görüntülerdeki perspektif bozulmalar, ölçümlerde ciddi hata kaynağı olabileceğinden, her ekran görüntüsünde "vanishing point" (kaybolma noktası) yöntemiyle doğrusal grid düzlemi oluşturulmuştur. Bu, iki boyutlu fotoğrafın sahadaki gerçek uzunluk ve alanlara ölçeklenebilmesini sağlar. Bu noktada, tercihen tüm resimde referans alınabilecek doğrusal bir yapı veya tekrarlayan fiziksel sabitler (örneğin kaldırım bordürleri veya yaya geçit çizgileri) baz alınmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Geometrik ölçkleme ve perspektif düzeltmesi

3.4.2. Kalibrasyon ve Doğrulama Süreci

Araçların üretici verileriyle (örneğin dingil mesafesi, tüm uzunluk ve genişlik) görüntüdeki ölçüm araçları kalibre edilmiştir. Doğrulama amacıyla, aynı görüntüde benzer başka bir araç için de aynı işlem tekrarlanmış, sonuçlar arasında sapma varsa düzlemde mikro ayarlamalar yapılmıştır. Bu çapraz kontrol, sistematik ölçüm hatalarının önüne geçilmiş ve veri güvenilirliği artırılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kalibrasyon ve doğrulama süreci

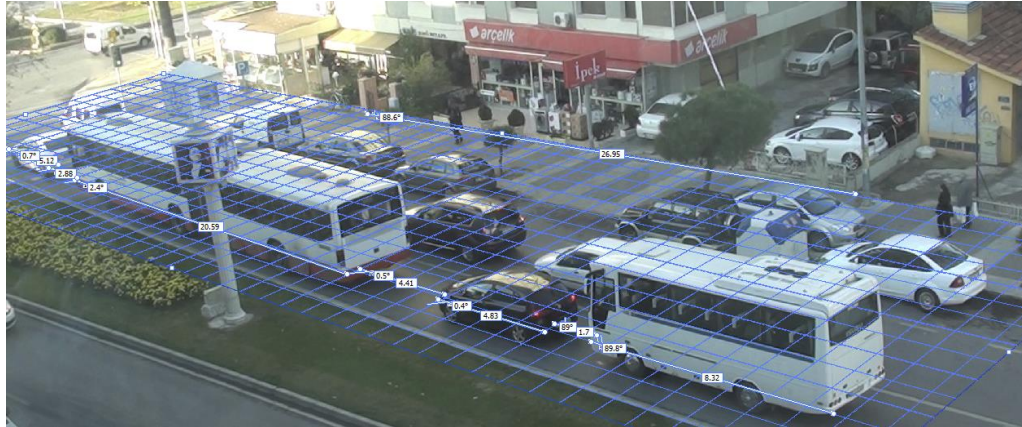
Buna ek olarak, boylamasına ve enine doğrultularda kamera açısının etkisi yazılım arayüzlerinde sağlanan açı düzeltme komutlarıyla minimuma indirgenmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Ölçümü tamamlanan örnek bir kuyruk

3.4.3. Referans Noktaların Etkin Kullanımı ve Seri Ölçüm

Her seri kuyruk ölçümü öncesinde, kavşak çevresinde sabit sayısal referanslar (örneğin yol üstü elektrik direğinin tam ortasına karşılık gelen piksel sayısı) referans noktası olarak belirlenmiş, sonraki ölçümlerde yalnızca bu sabitlere dayalı olarak grid sistem yeniden konumlandırılmıştır. Bu teknik, ölçek sapmalarının önüne geçmiş, her bir kuyruk gözlemi arasında eşleme sağlamıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Sabit referanslar ile seri ölçülendirme

3.4.4. Araçlar Arası Mesafe ve Toplam Kuyruk Uzunluğu Hesaplaması

Her araç için ön boşluk, arka boşluk ve araç uzunluğu ayrı ayrı ölçülmüş (Tablo 3.1-3.3), tüm kuyruklar için toplam uzunluklar ile araç dağılımı ayrıntılı şekilde kaydedilmiştir. Tüm sonuçlar tablo haline getirilmiş, dağılımlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3.1. Antalya için elde edilen ölçümler ve uzunluk hesabı

ŞEHİR	T. ŞERİT	ŞERİT GENİŞLİĞİ	TUR SAYISI	MEVCUT ŞERİT	KOLDAKİ SIRASI	ARAÇ TÜRÜ	ÖN BOŞLUK	ARAÇ UZUNLUĞU	ARKA BOŞLUK	ÖN PAY	ARKA PAY	TOPLAM UZUNLUK
		CM					CM	CM	CM	CM	CM	CM
ANT	3	300	1	1	1	Otomobil	0	324	140	70	70	464
ANT	3	300	1	1	2	Otomobil	140	390	164	70	82	542
ANT	3	300	1	1	3	Otomobil	164	389	146	82	73	544
ANT	3	300	1	1	4	Otomobil	146	434	164	73	82	589
ANT	3	300	1	1	5	Otomobil	164	448	188	82	94	624
ANT	3	300	1	1	6	Otomobil	188	479	0	94	94	667
ANT	3	300	1	2	1	Otomobil	0	362	149	75	75	511
ANT	3	300	1	2	2	Otomobil	149	390	95	75	48	512
ANT	3	300	1	2	3	Minibüs	95	628	150	48	75	751
ANT	3	300	1	2	4	Otomobil	150	473	245	75	123	671
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ANT	3	300	3	2	4	Otomobil	67	428	311	34	156	617
ANT	3	300	3	2	5	Otomobil	311	541	129	156	65	761
ANT	3	300	3	2	6	Otomobil	129	319	0	65	65	448
ANT	3	300	3	3	1	Otomobil	0	437	94	47	47	531
ANT	3	300	3	3	2	Otomobil	94	465	116	47	58	570
ANT	3	300	21	3	3	Otomobil	202	452	176	101	88	641
ANT	3	300	21	3	4	Otomobil	176	473	240	88	120	681
ANT	3	300	21	3	5	Otobüs	240	997	0	120	120	1,237

Tablo 3.2. İzmir için elde edilen ölçümler ve uzunluk hesabı

ŞEHİR	TOPLAM ŞERİT	ŞERİT GENİŞLİĞİ	TUR SAYISI	MEVCUT ŞERİT	KOLDAKİ SIRASI	ARAÇ TÜRÜ	ÖN BOŞLUK	ARAÇ UZUNLUĞU	ARKA BOŞLUK	ÖN PAY	ARKA PAY	TOPLAM UZUNLUK
		CM					CM	CM	CM	CM	CM	CM
İZM	2	380	18	1	2	Otomobil	210	483	614	105	307	895
İZM	2	380	18	1	3	Otomobil	614	482	226	307	113	902
İZM	2	380	18	1	4	Otomobil	226	485	92	113	46	644
İZM	2	380	18	1	5	Otomobil	92	471	274	46	137	654
İZM	2	380	18	1	6	Otomobil	274	520	206	137	103	760
İZM	2	380	18	1	7	Kamyonet	206	646	0	103	103	852
İZM	2	380	18	2	1	Otobüs	0	1,407	160	80	80	1,567
İZM	2	380	18	2	2	Otomobil	160	399	206	80	103	582
İZM	2	380	18	2	3	Otomobil	206	482	201	103	101	686
İZM	2	380	18	2	4	Otomobil	201	455	279	101	140	695
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
İZM	2	380	20	1	4	Otomobil	153	484	87	77	44	604
İZM	2	380	20	1	5	Otomobil	87	414	356	44	178	636
İZM	2	380	20	1	6	Otomobil	356	534	239	178	120	832
İZM	2	380	20	1	7	Otomobil	239	502	0	120	120	741
İZM	2	380	20	2	1	Otomobil	0	441	112	56	56	553
İZM	2	380	20	2	2	Otomobil	112	477	73	56	37	570
İZM	2	380	20	2	3	Otomobil	73	495	736	37	368	900
İZM	2	380	20	2	4	Otomobil	736	504	472	368	236	1,108
İZM	2	380	20	2	5	Otomobil	472	495	0	236	236	967

Tablo 3.3. Samsun için elde edilen ölçümler ve uzunluk hesabı

ŞEHİR	TOPLAM ŞERİT	ŞERİT GENİŞLİĞİ	TUR SAYISI	MEVCUT ŞERİT	KOLDAKİ SIRASI	ARAÇ TÜRÜ	ÖN BOŞLUK	ARAÇ UZUNLUĞU	ARKA BOŞLUK	ÖN PAY	ARKA PAY	TOPLAM UZUNLUK
		CM					CM	CM	CM	CM	CM	CM
SAM	3	265	9	1	3	OTOMOBİL	536	396	0	268	268	932
SAM	3	265	9	2	1	OTOMOBİL	0	420	297	149	149	717
SAM	3	265	9	2	2	OTOMOBİL	297	400	306	149	153	702
SAM	3	265	9	2	3	OTOMOBİL	306	442	0	153	153	748
SAM	3	265	9	3	1	OTOMOBİL	0	449	369	185	185	818
SAM	3	265	9	3	2	OTOMOBİL	369	403	0	185	185	772
SAM	3	265	10	1	1	OTOMOBİL	0	525	217	109	109	742
SAM	3	265	10	1	2	OTOMOBİL	217	525	362	109	181	815
SAM	3	265	10	1	3	OTOMOBİL	362	500	452	181	226	907
SAM	3	265	10	1	4	OTOMOBİL	452	500	0	226	226	952
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
SAM	3	265	11	1	2	OTOMOBİL	172	419	137	86	69	574
SAM	3	265	11	1	3	OTOMOBİL	137	395	470	69	235	699
SAM	3	265	11	1	4	MİNİBÜS	470	452	0	235	235	922
SAM	3	265	11	2	1	OTOMOBİL	0	531	307	154	154	838
SAM	3	265	11	2	2	OTOMOBİL	307	390	159	154	80	623
SAM	3	265	11	2	3	OTOMOBİL	159	425	0	80	80	584
SAM	3	265	11	3	1	OTOMOBİL	0	474	194	97	97	668
SAM	3	265	11	3	2	OTOMOBİL	194	438	0	97	97	632

4. ANALİZ VE BULGULAR

Araştırmanın verileri SPSS 26 programı üzerinde analiz edilmiştir. Araştırmanın değişkenlerine ait betimsel istatistikleri sunmak için minimum, maksimum, frekans, yüzde, aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri kullanılmıştır. Araştırmanın verilerinin farklı yöntemlerle analizinden elde edilen bulgular bu bölümde ayrı başlıklar altında sunulmuştur. Bulgular tablolar aracılığıyla görselleştirilmiş ve tablolar açıklanmıştır.

4.1. Ölçümlerle İlgili Betimsel İstatistikler

Aşağıda Tablo 4.1’de yapılan ölçümlere ait betimsel istatistikler gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Betimsel istatistikler

Değişkenler	Gruplar	f	%
Şehir	Antalya	327	54,2
	Samsun	104	17,2
	İzmir	172	28,5
Şerit Sayısı	2,00 (İzmir)	172	28,5
	3,00 (Antalya, Samsun)	431	71,5
Şerit Genişliği	265cm (Samsun)	104	17,2
	300cm (Antalya)	327	54,2
	380cm (İzmir)	172	28,5
Araç Türü	Otomobil	525	87,1
	Minibüs	44	7,3
	Kamyonet	14	2,3
	Otobüs	15	2,5
Aracın Bulunduğu Şerit (yan yana dizilimde)	1	245	40,6
	2	233	38,6
	3	125	20,7
Aracın Bulunduğu Sıra (arka arkaya dizilimde)	1	135	22,4
	2	129	21,4
	3	121	20,1
	4	93	15,4
	5	72	11,9
	6	44	7,3
	7	9	1,5
Ölçümün Tekrarlanma Sırası	1	44	7,3
	2	41	6,8
	3	52	8,6

Tablo 4.1. (devam)

4	24	4,0
5	32	5,3
6	33	5,5
7	36	6,0
8	35	5,8
9	35	5,8
10	34	5,6
11	29	4,8
12	25	4,1
13	25	4,1
14	21	3,5
15	28	4,6
16	32	5,3
17	26	4,3
18	25	4,1
19	14	2,3
20	12	2,0

Tablo 4.1'deki bulgulara göre Antalya, Samsun ve İzmir illerinde olmak üzere yapılan ölçümlerde 603 aracın uzunluk ölçümleri yapılmıştır. En fazla ölçümün yapıldığı il 327 araçla Antalya olmuştur. Antalya'yı 172 aracın ölçümünün yapıldığı İzmir ve 104 aracın ölçümünün yapıldığı Samsun takip etmiştir.

Ölçümler 2 şeritli ve 3 şeritli yollarda yapılmıştır. 2 şeritli ölçümlerin yapıldığı yolların İzmir ilinde bulunduğu, 3 şeritli ölçümlerin yapıldığı yolların ise Antalya ve Samsun illerinde bulunduğu görülmektedir. Ölçümlerin yapıldığı yollardaki şerit genişlikleri de ölçülmüştür. Şerit genişliklerinin ölçümün yapıldığı yollara göre değiştiği, en dar şeridin 265 cm olduğu ve bu genişlikteki şeritlere sahip yolların Samsun ilinde yer aldığı anlaşılmıştır. Antalya ilinde ölçüm yapılan yollardaki şerit genişliği ise 300 cm'dir. En geniş şerit genişliği, İzmir ilinde ölçümlerin yapıldığı yollara aittir (380 cm). Ölçüm yapılırken araçların bulundukları şeritler de belirlenmiştir. Böylece her bir şeritte toplam kaç aracın uzunluğunun ölçüldüğü hesaplanmıştır. Birinci şeritte ölçümleri yapılan toplam araç sayısı 245, ikinci şeritte ölçümleri yapılan toplam araç sayısı 233 ve üçüncü şeritte ölçümleri yapılan toplam araç sayısı da 125 olarak bulunmuştur. Birinci ve ikinci şeritte ölçümleri yapılan toplam araç sayıları birbirine oldukça yakınken üçüncü şeritte ölçümleri yapılan toplam araç sayısı oldukça düşüktür. Bunun nedeninin İzmir ilindeki ölçümlerde üçüncü şeridin olmaması olduğu öngörülmektedir.

Ölçüm yapılırken arka arkaya dizildiklerinde araçların bulundukları sıralar da belirlenmiştir. Böylece her bir sırada toplam kaç aracın uzunluğunun ölçüldüğü hesaplanmıştır. Ölçümlerde arka arkaya en fazla 7 aracın sıralandığı görülmüştür. En fazla araç birinci sırada ölçülmüştür (135). İkinci sırada 129, üçüncü sırada 121, dördüncü sırada 93, beşinci sırada 72, altıncı sırada 44 ve yedinci sırada 9 araç ölçülmüştür. Araçların bulunduğu sıra sayısı arttıkça ölçülen araç sayısının azaldığı anlaşılmaktadır.

Ölçümler ardışık olarak 20 kez tekrarlanmıştır. Kırmızı ışığın araçlar için yanması ve ışığın yeşile dönmesi arasında geçen zamanda kavşaklarda biriken tüm araçların ölçümü “1 kez ölçüm” olarak tanımlandı. Tablo 1 okunduğunda her bir ölçümde ölçüme dahil edilen araç sayılarının 12 ila 52 arasında değiştiği görülmektedir. İlk 10 ölçümdeki araç sayılarının genel olarak 30 ve üzerinde olduğu ve son 10 ölçümdeki araç sayılarının da genel olarak 29 ve altında olduğu dikkat çekmektedir.

4.1.1. Şehre Göre Betimsel İstatistiklerin Karşılaştırması

Araştırmanın araç türü, aracın bulunduğu şerit, aracın bulunduğu şeritteki sırası ve ölçümün tekrarlanma sırası verilerinin ölçümlerin yapıldığı şehirlere göre farklılaşıp farklılaşmadığı Pearson Ki-Kare testi kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçları aşağıda Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Şehre göre betimsel istatistiklerin karşılaştırması

Değişkenler	Gruplar	Antalya		Samsun		İzmir		χ^2	p
		f	%	f	%	f	%		
Araç Türü	Otomobil	288	88,1	99	95,2	138	80,2	28,89	0,00
	Minibüs	26	8,0	4	3,8	14	8,1		
	Kamyonet	8	2,4	1	1,0	5	2,9		
	Otobüs	5	1,5	0	0,0	10	5,8		
Aracın Bulunduğu Şerit (yan yana dizilimde)	1	118	36,1	40	38,5	87	50,6	63,38	0,00
	2	112	34,3	36	34,6	85	49,4		
	3	97	29,7	28	26,9	0	0,0		
Aracın Bulunduğu Sıra (arka arkaya dizilimde)	1	63	19,3	32	30,8	40	23,3	46,92	0,00
	2	62	19,0	32	30,8	35	20,3		
	3	59	18,0	28	26,9	34	19,8		
	4	54	16,5	12	11,5	27	15,7		

Tablo 4.2. (devam)

	5	51	15,6	0	0,0	21	12,2		
	6	34	10,4	0	0,0	10	5,8		
	7	4	1,2	0	0,0	5	2,9		
Ölçümün Tekrarlanma Sırası	1	22	6,7	8	7,7	14	8,1	115,34	0,00

Tablo 4.2'deki bulgulara göre bütün illerde en çok ölçümü yapılan aracın otomobil türünde olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, illerde ölçümü yapılan araç türlerinin oranları arasında anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir ($\chi^2=28,89$ ve $p<0,01$). Antalya ilinde minibüs türü araçların ve yine Antalya ile birlikte İzmir'de otobüs türü araçların diğer illerden biraz daha fazla olması dikkat çekmektedir.

Ölçümü yapılan araçların şeritlere dağılımının Antalya ve Samsun'da benzer olduğu, İzmir'de ise ölçümü yapılan yolda üçüncü şerit bulunmadığından yüzdelerin yalnızca birinci ve ikinci şeritlere ait olduğu görülmektedir. Yolların bu özellikleri nedeniyle üç ilde ölçümü yapılan araçların şeritlere dağılımları arasında anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir ($\chi^2=63,38$ ve $p<0,01$).

Ölçüm yapılan üç ilde araçların arka arkaya sıralanmaları arasında da anlamlı farklılık olduğu bulunmuştur ($\chi^2=46,92$ ve $p<0,01$). Antalya ve İzmir illerinde araçların sıralanma oranları benzerlik gösterirken, Samsun ilinin ayrıştığı ve Samsun'da ölçüm yapılan kavşaklarda araçların arka arkaya en fazla dört sıra oluşturdukları görülmektedir. Dolayısıyla Samsun ilinin ölçümleri ağırlıklı olarak birinci, ikinci ve üçüncü sıralardaki araçlardan gelmektedir.

Ölçümlerin tekrarlanma sayıları açısından da üç il arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir ($\chi^2=115,34$ ve $p<0,01$). Samsun ilinde 11 ölçüm yapılmıştır ve bu özelliğiyle bu il diğerlerinden ayrılmaktadır.

4.1.2. Araç Türüne Göre Betimsel İstatistiklerin Karşılaştırması

Araştırmanın, aracın bulunduğu şerit, aracın bulunduğu şeritteki sırası ve ölçümün tekrarlanma sırası verilerinin ölçümlerdeki araç türüne göre farklılaşıp farklılaşmadığı Pearson Ki-Kare testi kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçları aşağıda Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Araç türüne göre betimsel istatistiklerin karşılaştırması

Değişkenler	Gruplar	Otomobil		Minibüs		Kamyonet		Otobüs		χ^2	p
		f	%	f	%	f	%	f	%		
Araçın Bulunduğu Şerit (yan yana dizilimde)	1	213	40,6	19	43,2	5	35,7	6	40,0	2,83	0,95
	2	201	38,3	18	40,9	6	42,9	5	33,3		
	3	111	21,1	7	15,9	3	21,4	4	26,7		
Araçın Bulunduğu Sıra (arka arkaya dizilimde)	1	103	19,6	15	34,1	6	42,9	6	40,0	43,66	0,01
	2	118	22,5	3	6,8	3	21,4	5	33,3		
	3	108	20,6	9	20,5	3	21,4	1	6,7		
	4	84	16,0	8	18,2	0	0,0	1	6,7		
	5	63	12,0	6	13,6	1	7,1	2	13,3		
	6	42	8,0	2	4,5	0	0,0	0	0,0		
	7	7	1,3	1	2,3	1	7,1	0	0,0		
Ölçümün Tekrarlanma Sırası	1	39	7,4	4	9,1	1	7,1	0	0,0	92,90	0,09
	2	35	6,7	1	2,3	3	21,4	2	13,3		
	3	46	8,8	4	9,1	0	0,0	2	13,3		
	4	17	3,2	3	6,8	1	7,1	2	13,3		
	5	28	5,3	3	6,8	1	7,1	0	0,0		
	6	29	5,5	1	2,3	2	14,3	1	6,7		
	7	35	6,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0		
	8	32	6,1	1	2,3	3	14,3	0	0,0		
	9	34	6,5	1	2,3	0	0,0	0	0,0		
	10	28	5,3	3	6,8	0	0,0	2	13,3		
	11	25	4,8	3	6,8	0	0,0	0	0,0		
	12	23	4,4	2	4,5	0	0,0	0	0,0		
	13	22	4,2	2	4,5	1	7,1	0	0,0		
	14	14	2,7	4	9,1	0	0,0	3	20,0		
	15	25	4,8	1	2,3	0	0,0	2	13,3		
	16	31	5,9	1	2,3	0	0,0	0	0,0		
	17	21	4,0	4	9,1	1	7,1	0	0,0		
	18	20	3,8	3	6,8	1	7,1	1	6,7		
	19	9	1,7	3	6,8	1	7,1	0	0,0		
	20	12	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0		

Tablo 4.3'teki bulgulara göre otomobil, minibüs, kamyonet ve otobüs türündeki araçların farklı şeritlerdeki ölçümlenen sayıları arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($\chi^2=2,83$ ve $p>0,05$). Diğer bir deyişle, otomobil, minibüs, kamyonet ve otobüs türündeki araçların her biri birinci, ikinci ve üçüncü şeritlerde benzer sayılarda yer almışlardır.

Otomobil, minibüs, kamyonet ve otobüs türündeki araçların ölçümlendikleri şeritlerindeki sıraları açısından aralarında anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir ($\chi^2=43,66$ ve $p<0,01$). Otomobil ve minibüs türündeki araçların şeritlerde arka arkaya oluşan sıralara görece orantılı bir dağılım gösterdikleri, ancak, kamyonet ve otobüs türündeki araçların ise ağırlıklı olarak birinci, ikinci ve üçüncü sırada yer aldıkları gözlemlenmiştir.

Tekrarlanan ölçümlerde otomobil, minibüs, kamyonet ve otobüs türündeki araçların benzer sayılarda ölçümleri alındığı ve dolayısıyla her bir ölçümdeki otomobil, minibüs, kamyonet ve otobüs türündeki araçların sayıları arasında anlamlı farklılık bulunmadığı tespit edilmiştir ($\chi^2=92,90$ ve $p>0,05$).

4.2. Araç Uzunluğuna İlişkin Betimsel İstatistikler

Üç ayrı şehirde ölçüm yapılan 603 aracın uzunlukları hesaplanmış ve araçların uzunluklarına ilişkin minimum, maksimum, aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri aşağıda Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Araç uzunluğuna ilişkin betimsel istatistikler

Değişkenler	Min.	Max.	$\bar{X}$	Ss
Araç Uzunluğu	288,50 cm	2423,50 cm	715,87 cm	198,49 cm

Tablo 4.4'teki bulgulara göre, ölçümü yapılan araçların minimum uzunluğu 288,50cm iken maksimum uzunluk 2423,50 cm olarak tespit edilmiştir. Ölçümü yapılan 603 aracın uzunluğunun aritmetik ortalaması 715,87 cm'dir (standart sapma değeri 198,49 cm'dir).

4.3. Korelasyon Analizi

Nominal değişkenler arasındaki ilişkiyi görmek için Pearson Ki-Kare testi kullanılmıştır. Sürekli değişkenler arasındaki ilişkiler ise Pearson Momentler Korelasyon testi ile analiz edilmiştir. Araç uzunluğu üzerindeki diğer değişkenlerini etkilerini belirlemek için ise çoklu regresyon testi kullanılmıştır. İstatistiki anlamlılık 0,05 düzeyinde aranmıştır.

Ölçümü yapılan araçların uzunluğu ile sürekli türdeki değişkenler olan şerit sayısı, şerit genişliği, bulunulan şerit, bulunulan sıra ve ölçüm sırası değişkenleri arasındaki korelasyon Pearson momentler çarpımı korelasyon analizi testiyle analiz edilmiş ve elde edilen bulgular aşağıda Tablo 4.5'te gösterilmiştir. Şehir ve araç türü

değişkenlerini korelasyon analizine dahil edebilmek için bu değişkenlerdeki alt grup sayıları 2'ye düşürülmüştür. Şehir değişkeni; Samsun (1) ve diğer şehirler (2) ve araç türü değişkeni de; otomobil (1) ve diğer araçlar (2) olmak üzere yeniden kodlanmıştır.

Tablo 4.5. Korelasyon analizi

Değişkenler	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Araç Uzunluğu	1							
2.Şerit Sayısı	-0,25**	1						
3.Şerit Genişliği	0,20**	-0,84**	1					
4.Bulunulan Şerit	-0,03	0,26**	-	1				
5.Bulunulan Sıra	0,09*	-0,01	0,13**	-0,04	1			
6.Ölçüm Sırası	0,11**	-0,19**	0,26**	-0,08	0,10*	1		
7.Şehir	0,05	-0,29**	0,76**	0,24**	-0,05	-0,23**	1	
8.Araç Türü	0,53**	-0,10*	0,13**	0,03	-0,01	-0,08*	-0,10*	1

*. Değişkenler arasındaki ilişki 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

**. Değişkenler arasındaki ilişki 0,01 düzeyinde anlamlıdır.

Tablo 4.5'teki bulgulara göre araç uzunluğu ile şerit sayısı arasında negatif yönlü anlamlı ancak düşük düzeyde bir ilişki bulunmaktadır ($r=-0,25$ ve $p<0,01$). Diğer taraftan, araç uzunluğu ile şerit genişliği, bulunulan sıra, ölçüm sırası ve araç türü değişkenleri arasında pozitif yönlü anlamlı ancak düşük düzeyde ilişkiler tespit edilmiştir (sırasıyla; $r=0,20$ ve $p<0,01$; $r=0,09$ ve $p<0,05$; $r=0,11$ ve $p<0,01$; $r=0,53$ ve $p<0,01$). Araç uzunluğu ile bulunulan şerit ve şehir değişkenleri arasında anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir ($r=-0,03$ ve $p>0,05$; $r=-0,05$ ve $p>0,05$).

Tablo 4.5'teki bulgulara göre şerit sayısı ile şerit genişliği, ölçüm sırası, şehir ve araç türü arasında negatif yönlü anlamlı (sırasıyla; $r=-0,84$ ve $p<0,01$; $r=-0,19$ ve $p<0,01$; $r=-0,29$ ve $p<0,01$; $r=-0,10$ ve $p<0,05$), bulunulan sıra ile pozitif yönlü anlamlı ilişkiler saptanmıştır ($r=0,26$ ve $p<0,01$).

Şerit genişliği ile bulunulan sıra, ölçüm sırası, şehir ve araç türü arasında pozitif yönlü anlamlı (sırasıyla; $r=0,13$ ve $p<0,01$; $r=0,26$ ve $p<0,01$; $r=0,76$ ve $p<0,01$; $r=0,13$ ve $p<0,01$), bulunulan şerit ile negatif yönlü anlamlı ilişkiler saptanmıştır ($r=-0,20$ ve $p<0,01$).

Bulunulan şerit ile şehir değişkeni arasında pozitif yönlü anlamlı ($r=0,24$ ve $p<0,01$), bulunulan sıra ile ölçüm sırası arasında da pozitif yönlü anlamlı ilişkiler saptanmıştır ($r=0,10$ ve $p<0,01$). Ölçüm sırası ile şehir ve araç türü arasında negatif

yönlü anlamlı ilişkiler olduğu görülmüştür (sırasıyla; $r=-0,23$ ve $p<0,01$; $r=-0,08$ ve $p<0,05$). Şehir ile araç türü arasında da negatif yönlü anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir ($r=-0,10$ ve $p<0,05$).

4.4. Toplam Araç Uzunluğunu Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi

Şerit sayısı, şerit genişliği, bulunulan şerit, bulunulan sıra, ölçüm sırası, ölçüm yapılan şehir ve ölçüm yapılan araç değişkenlerinin araç uzunluğu üzerindeki etkilerini belirlemek için çoklu regresyon testi kullanılmıştır. Regresyon testinin sonuçları aşağıda Tablo 4.6’da gösterilmiştir. VIF değerlerinin 10’dan küçük olması regresyon testinin çoklu bağlantı (multicollinearity) probleminden etkilenmediğini göstermektedir.

Tablo 4.6. Şerit sayısı, şerit genişliği, ölçüm sırası, bulunulan şerit ve bulunulan sıra faktörlerinin araç uzunluğu üzerindeki etkileri

Bağımlı Değişken: Toplam Araç Uzunluğu						
Bağımsız Değişken	B	S. Hata	β	t	p	VIF
Sabit	648,24	65,89		9,84	0,00	
Şerit Sayısı	-100,28	16,00	-0,23	-6,27	0,00	1,19
Ölçüm Sırası	2,54	1,23	0,07	2,07	0,04	1,07
Bulunulan Şerit	10,88	8,99	0,04	1,21	0,23	1,08
Bulunulan Sıra	18,31	4,22	0,15	4,34	0,00	1,21
Şehir	-63,69	19,12	-0,12	-3,33	0,00	1,03
Araç Türü	319,56	20,40	0,53	15,67	0,00	
R: 0,59		F: 52,63				
Düzeltilmiş R²: 0,34		p: 0,00				

Tablo 4.6’daki bulgulara göre şerit genişliği bağımsız değişkeni diğer bağımsız değişkenlerle yüksek düzeyde ilişkili olduğundan SPSS programı tarafından modelden çıkartılmıştır. Geriye kalan şerit sayısı, bulunulan şerit, bulunulan sıra ve ölçüm sırası değişkenlerinin araç uzunluğu üzerinde istatistiki olarak anlamlı ve %34’lük oldukça yüksek bir varyans açıklamaktadır ($F=52,63$ ve $p<0,01$). Etkileri ölçülen altı değişken içerisinde sadece bulunulan şerit değişkeninin araç uzunluğu üzerinde anlamlı etkisi olmadığı ($p>0,05$), diğer beş değişkenin uzunluğu üzerindeki etkilerinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir (sırasıyla; $\beta=-0,23$ ve $p<0,01$; $\beta=0,07$ ve $p<0,05$; $\beta=0,15$ ve $p<0,01$; $\beta=-0,12$ ve $p<0,01$; $\beta=0,53$ ve $p<0,01$). Şerit sayısının ve ölçüm yapılan şehrin

araç uzunluğu üzerindeki etkisi negatif yönlü iken ölçüm sırasının, bulunulan sıranın ve araç türünün etkisi pozitif yönlüdür. Bu bulgulara dayanılarak, şerit sayısı arttığı zaman ve Antalya ve İzmir şehirlerinde değil de Samsun şehrinde bulunduğu zaman araç uzunluğunun azaldığı, tersine araçların şeritteki dizilimlerindeki sıraları arkalara doğru kaydıkça, son ölçümlerde ve otomobil değil de diğer türlerdeki araçların bulunduğu ölçümlerde araç uzunluğunun arttığı söylenebilir.

Yukarıda yapılan analizler sonucunda araçların uzunlukları açısından şerit sayısı, bulunulan sıra, ölçüm sırası, araç türü ve ölçüm yapılan şehir faktörlerinin belirleyici olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

4.5. Araç Toplam Uzunlukları ve Araç Türü İlişkisi

Çalışma kapsamında elde edilen verilerin analizinden Tablo 4.7’de verilen sonuçlara ulaşılmıştır. Tablo incelendiğinde, dört farklı araç türünün toplam uzunlukları (ön-arka boşluk ve kendi uzunluğu) arasındaki farklar belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Kamyonetlerin uzunlukları, 432 cm ile 718 cm arasında değişmektedir. Ortalama uzunluk 549,9 cm, standart sapma ise 87,6 cm olarak hesaplanmıştır. Bu, kamyonetlerin uzunluklarında orta seviyede bir çeşitlilik olduğunu göstermektedir. Medyan uzunluğu ise 541 cm olup, bu değer ortalama uzunluğa oldukça yakın olduğu için kamyonetlerin çoğunun uzunluğunun ortalama değere yakın olduğunu söylenebilmektedir. Minibüslerin uzunlukları ise 432 cm ile 878 cm arasında değişmektedir. Ortalama uzunluk 651,5 cm, standart sapma ise 122,4 cm’dir. Bu, minibüslerin uzunluklarında daha fazla çeşitlilik olduğunu ve uzunluklarının daha geniş bir aralığa yayıldığını göstermektedir. Minibüslerin medyan uzunluğu ise 646 cm, bu da yine ortalama uzunluğa oldukça yakın bir değeri işaret etmektedir. Otobüslerin uzunlukları, 976 cm ile 2059 cm arasında büyük bir fark göstermektedir. Ortalama uzunluk 1322,9 cm olup, standart sapma 282,6 cm ile oldukça yüksek bir değere sahiptir. Bu yüksek standart sapma, otobüslerin uzunluklarının çok büyük bir varyasyona sahip olduğunu göstermektedir. Otobüslerin medyan uzunluğu ise 1265 cm, bu da ortalama değerden daha büyük olmasına rağmen yine uzunlukların çoğunun ortalama değere yakın olduğunu düşündürmektedir. Otomobillerin uzunlukları ise 203 cm ile 635 cm arasında değişmektedir. Ortalama uzunluk 447,1 cm, standart sapma ise 52,9 cm ile oldukça düşüktür. Bu, otomobillerin uzunluklarının birbirine yakın olduğunu ve daha az çeşitliliğe sahip olduğunu göstermektedir. Otomobillerin medyan uzunluğu 445 cm olup, bu da ortalama değere çok yakın bir değeri yansıtmaktadır.

Tablo 4.7. Araçların toplam uzunlukları (ön-arka boşluk ve kendi uzunluğu) değerleri

Araç Türü	Minimum (cm)	Maksimum (cm)	Ortalama (cm)	Std. Sapma (cm)	Medyan (cm)
Kamyonet	432	718	549,9	87,6	541
Minibüs	432	878	651,5	122,4	646
Otobüs	976	2059	1322,9	282,6	1265
Otomobil	203	635	447,1	52,9	445

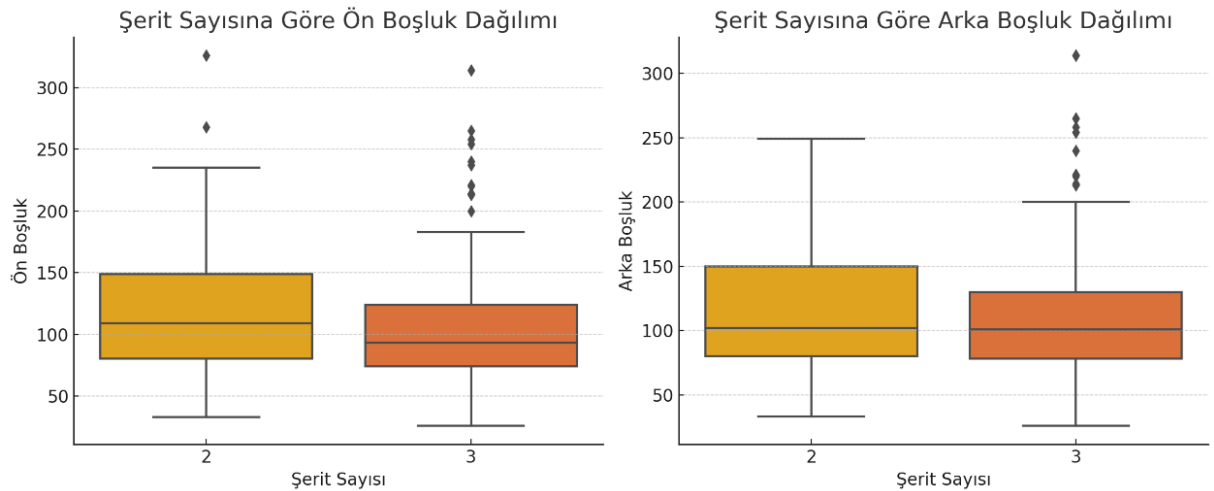
Genel olarak, kamyonet, minibüs ve otobüs türlerinde uzunluklar arasında belirgin farklar varken, otomobil türünde daha az çeşitlilik gözlemlenmektedir. Bu, her araç türünün kullanım amacına ve tasarımına bağlı olarak farklı uzunluk aralıklarına sahip olduğunu göstermektedir.

4.6. Ön Boşluk ve Arka Boşluk ile Diğer Parametre İlişkisi

Araçların sinyalize kavşak kollarındaki toplam uzunluğu, aracın tespit edilen uzunluğu, ön boşluk ve arka boşluğun toplam uzunluklarından oluşmaktadır. Bu kapsamda öncelikle ön boşluk ve arka boşluk üzerinde etkili olan parametreler ile bu boşlukların arasındaki ilişki incelenmiştir.

4.6.1. Şerit Sayısı Ön-Arka Boşluk İlişkisi

Öncelikle şerit sayısının ön-arka boşluk üzerindeki etkisi istatistiksel olarak incelenmiştir. Parametrik olmayan ve iki bağımsız grup arasındaki medyan farklarını test etmek için Mann-Whitney U testi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Şerit sayısı ve boşluk dağılımları ilişkisi

Mann-Whitney U testi sonucuna göre ön boşluklarda, şerit sayısının etkisi anlamlıdır ($p < 0,05$). Arka boşluklarda, şerit sayısına göre fark anlamsızdır ($p > 0,05$).

Diğer bir deyişle, ön boşluk dağılımlarında fark daha belirgindir ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Arka boşluk dağılımları ise daha benzerdir ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemektedir.

4.6.2. Şerit Genişliği Ön-Arka Boşluk İlişkisi

Şerit genişliğinin bu boşluklar üzerindeki etkisini incelemek için verilerin üç farklı şerit genişliği grubuna ait olması ve non-parametrik test gerekli olmasından dolayı Kruskal-Wallis H Testi yapılmıştır. Kruskal-Wallis test sonuçlarına göre Ön Boşluk ($H = 21,46$, $p = 0,000$) ve Arka Boşluk: $H = 18,63$, $p = 0,000$) sonuçları elde edilmiştir. Her iki durumda da p -değeri $< 0,001$ olduğundan, farklı şerit genişliklerinin hem ön hem de arka boşluklar üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisi vardır sonucuna ulaşılmıştır. Hangi gruplar arasında fark olduğunu görmek için pairwise post-hoc analizi yapılmıştır. Post-Hoc karşılaştırmaları sonucu (Mann-Whitney U Testi, Bonferroni düzeltmeli) $265 \leftrightarrow 300$ cm ve $265 \leftrightarrow 380$ cm arasındaki şerit genişliklerinde anlamlı farklılıklar bulunmuştur. $300 \leftrightarrow 380$ cm karşılaştırmalarında fark daha zayıf veya anlamlı değil olarak elde edilmiştir. Ortalama boşluklar dikkate alındığında 300 cm, hem ön hem arka boşluklar açısından dengeli, değişkenliği az ve güvenli bir seçenektir. 380 cm ise boşlukları artırsa da yol alanı verimliliği düşebilir. 265 cm ise boşlukları azaltarak güvenlik riskini artırabilir. Bu sonuçlara göre bu çalışmadaki incelemelere göre kentsel veya yoğun trafikli alanlar için 300 cm, hem güvenlik hem de verimlilik açısından optimum şerit genişliğidir.

Analizler kapsamında ayrıca her iki boşluk için ayrı ayrı regresyon analizleri yapılmıştır. Ön boşluk için aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

$$\text{Ön Boşluk} = 50,6 + 0,196 \times \text{Şerit Genişliği} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'deki modele göre $R^2 = 0,019$ olarak elde edilmiş yani açıklanan varyans çok düşük bulunmuştur (yalnızca %1,9). p -değeri $= 0,001$ olarak hesaplanmış ve istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre şerit genişliği arttıkça ön boşluğun anlamlı olduğu fakat çok zayıf bir artış gösterdiği sonucuna ulaşılmaktadır. Arka boşluk için yapılan regresyon analizi sonucu elde edilen bağıntı ise Denklem 4.2.'de verilmiştir.

$$\text{Arka Boşluk} = 79,5 + 0,119 \times \text{Şerit Genişliği} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2'deki modele göre $R^2 = 0,007$ elde edilmiş yani açıklanan varyans yine düşük bulunmuştur. p -değeri $= 0,038$ olarak hesaplanmış ve anlamlılık sınırında

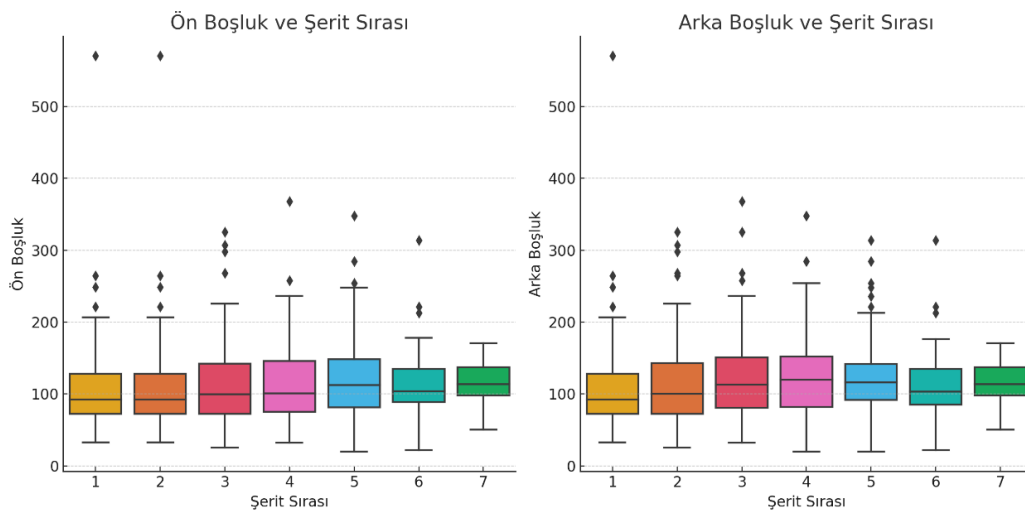
bulunmuştur. Bu sonuca göre sorit genişliği arttıkça arka boşluğunda arttığı ama etki büyüklüğünün küçük olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

4.6.3. Aracın Bulunduğu Şerit (Mevcut Şerit) Ön-Arka Boşluk İlişkisi

Mevcut şeritin boşluklar üzerinde anlamlı bir etkisi olup olmadığını belirlemek için tek yönlü bir ANOVA testi yapılmıştır. ANOVA testi sonuçlarına göre Ön Boşluk ($p = 0,153$) ve Arka Boşluk ($p = 0,245$) sonuçlarına ulaşılmıştır. Her iki p -değeri de 0.05'lik anlamlılık seviyesinden büyük olup, bu da aracın mevcut şeridinin ön ve arka boşluklar üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmadığını göstermektedir. Yani bu boşluk değerleri üzerinde aracın hangi şerit üzerinde yer aldığının istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

4.6.4. Aracın Kuyruktaki Sırası ile Ön-Arka Boşluk İlişkisi

Aracın bulunduğu koldaki kuyruktaki sırasına bağlı olarak boşluklar üzerinde anlamlı bir etkisi olup olmadığını belirlemek için yine tek yönlü bir ANOVA testi yapılmıştır. Ön Boşluk için p -değeri 0,667 bulunmuş ve bu sonuç kuyruktaki sırası değişkeninin Ön Boşluk üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını göstermektedir. Benzer şekilde Arka Boşluk için p -değeri 0,187 olarak bulunmuş; bu sonuç yine kuyruktaki sırası değişkeninin Arka Boşluk üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını göstermiştir. Sonuç olarak aracın kuyrukta hangi sırada yer aldığının, ön boşluk ve arka boşluk üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı söylenebilmektedir. Bu anlamsızlık Şekil 4.2'den de net şekilde görülebilmektedir.



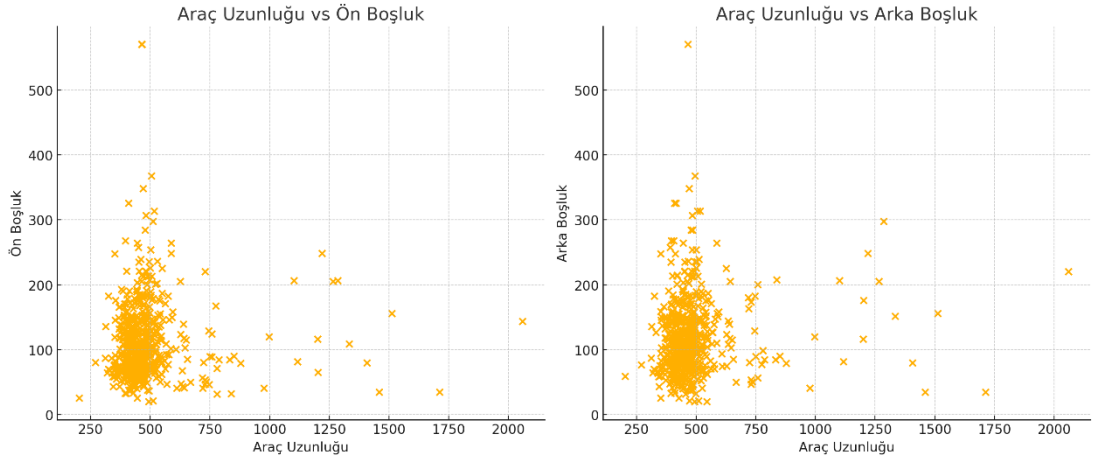
Şekil 4.2. Araç sırası ve ön-arka boşluk ilişkisi

4.6.5. Araç Türü ile Ön-Arka Boşluk İlişkisi

Araç türüne bağlı olarak boşluklar üzerinde anlamlı bir etkisi olup olmadığını belirlemek için yine tek yönlü bir ANOVA testi yapılmıştır. Yapılan analizlerden ön boşluk için F-istatistiği: 2,23 ve p-değeri: 0,109; arka boşluk içinse F-istatistiği: 0,17 ve p-değeri: 0,846 olarak hesaplanmıştır. Her iki p-değeri de genellikle kullanılan 0,05 anlamlılık seviyesinden büyük olduğu için, araç türünün ön boşluk ve arka boşluk üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı sonucuna varılmaktadır. Sonuç olarak, araç türünün ön boşluk ve arka boşluk üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi yoktur.

4.6.6. Araç Uzunluğu ile Ön-Arka Boşluk İlişkisi

Araç uzunluğu ile boşluk değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için yapılan analizden Şekil 4.3'te verilen dağılım elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Ön ve arka boşlukların araç uzunluğuna göre dağılımı

Şekil 4.3 ve analiz sonuçları incelendiğinde araç uzunluğu ile ön boşluk arasında belirgin bir ilişki göstermediği sonucuna ulaşılmaktadır. Veriler yaygın bir şekilde dağılmış ve herhangi bir belirgin doğrusal bir eğilim görülmemiştir. Pearson korelasyon katsayısı da oldukça düşük (0,0336) ve p-değeri 0,412 olduğu için, araç uzunluğu ile ön boşluk arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır. Bu sonuç, araç uzunluğu arttıkça ön boşluğun da artması ya da azalması gibi bir düzenin olmadığını göstermektedir. Bu sonuç, araçların farklı uzunluklarına rağmen, ön boşluğun çeşitli faktörlerden etkilendiğini ve araç uzunluğunun bu faktörlerden biri olmayabileceğini ifade edebilmektedir.

Araç Uzunluğu ve Arka Boşluk arasındaki ilişki incelendiğinde ise pearson korelasyon katsayısı 0,1037 ve p-değeri 0,0112'dir. Bu, araç uzunluğu ile arka boşluk

arasında zayıf bir pozitif ilişki olduğunu ve bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ($p < 0,05$) göstermektedir. Yani, araç uzunluğunun arka boşluk üzerinde küçük ama anlamlı bir etkisi vardır. Sonuç olarak araç uzunluğu ile ön boşluk arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır. Araç uzunluğu ile arka boşluk arasında ise zayıf ama anlamlı bir pozitif ilişki vardır.

4.7. Araç Boşlukların (Ön-Arka) En Küçük Kareler Regresyonu ile Modellenmesi

Analizler kapsamında incelenen araçların türü, bulunduğu şerit, kırmızı yandığı andaki koldaki sırası, araç uzunluğu parametrelerine göre ön-arka boşluk uzunluğu modellenmiştir. Belirtilen tüm parametreler (nicel ve kategorik) birlikte bağımsız değişken oldukları En Küçük Kareler (EKK) regresyon modeli tahmin edilmeye çalışılmıştır. Önerilen EKK regresyon modelinde bağımsız değişkenler hem kategorik hem de nicel değişkenlerden (covariates'ten) oluşmaktadır (Baltagi, 2008). Modelleme analizlerinde bağımlı değişken olarak yapılan inceleme analizleri sonucunda elde edilen araçlar için Model-1'de ön ve Model-2'de ise arka boşluk kullanılmıştır. Diğer parametreler ise bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. EKK regresyonunda kullanılan değişkenler Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8. Kullanılan değişkenler

Değişken Türü	Değişken Adı	Özellik
Bağımlı	Model-1: Ön Boşluk	Nicel
	Model-2: Arka Boşluk	Nicel
	Arac_Turu_2 (Minibüs ise 1; Değilse 0)	Kategorik
	Arac_Turu_3 (Otobüs ise 1; Değilse 0)	Kategorik
	Arac_Turu_4 (Otomobil ise 1; Değilse 0)	Kategorik
	Toplam_Serit_Sayısı	Nicel
	Mevcut_Serit	Nicel
	Koldaki_Sıra	Nicel
	Şerit_Genislighi	Nicel
	Arac_Uzunlugu	Nicel

4.7.1 Ön Boşluk Üzerinde Etkili Parametrelerin EKK ile Modellenmesi

Araç ön boşluğu için yapılan EKK regresyon analizi sonucunda elde edilen sonuç değerleri Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9. Toplam ön boşluk için EKK regresyonu model tahmin sonuçları

Özellik	Bağımlı Değişken: Ön Boşluk	Katsayı	Std. hata	t	P
	Arac_Turu_2 (Minibüs)	17,55	17,99	0,98	0,330
	Arac_Turu_3 (Otobüs)	21,48	33,52	0,64	0,522
	Arac_Turu_4 (Otomobil)	29,35	16,12	1,82	0,069***
	Toplam_Serit_Sayısı	-77,05	17,92	-4,30	0,000*
	Mevcut_Serit	3,885	3,220	1,21	0,228
Nicel	Koldaki_Sıra	3,133	1,588	1,97	0,049**
	Serit_Genisiği	-0,588	0,192	-3,06	0,002*
	Arac_Uzunluğu	0,013	0,033	0,41	0,685
	Sabit katsayı	457,820	111,676	4,10	0,000*

*:0,01, **:0,05, ***:0,10 yanılma düzeyinde anlamlı.

Ön Boşluk için yapılan en küçük regresyon analizinden tahmin edilen modelin istatistiksel olarak anlamlı bir model olduğu sonucuna ulaşılmıştır (F=0,01, P=0,000<0,01). Analizden:

- Otomobil hariç diğer tüm araç türlerinin katsayılarının 0,10 yanılma düzeyinde anlamsız bulunmuş (P>0,10). Bu da incelenen sinyalize kavşak kollarındaki toplam araç uzunluğu üzerinde araç türlerinin özel bir etkisinin olmadığı sonucunu göstermektedir. Otomobillerde 0,10 anlamlık düzeyinde anlamlı bulunmuş bu sonuca göre araç türünün otomobil olmasının ön boşluğun büyüklüğünü pozitif şekilde etkilediği sonucunu ortaya koymaktadır. Özetle eğer araç türü otomobil olursa ön boşluğun daha fazla olma olasılığı artmaktadır.
- Toplam şerit sayısı 0,01 anlamlık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p=0,000). Fakat katsayının negatif olması (-77,05) nedeniyle şerit sayısı arttıkça ön boşluğun daha da azalmasının bekleneceği sonucu çıkarılabilmektedir.
- Koldaki sıra (3,133, p=0,049) %5 anlamlılık düzeyinde etkili bulunmuştur. Bu durum, araçların koldaki sırası arttıkça da araçlar için beklenen ön boşluk bırakma eğiliminin daha da artacağı (pozitif katsayı nedeniyle) sonucunu işaret etmektedir..
- Yine analiz sonuçlarından şerit genişliği değerinin 0,01 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır (-0,588, p=0,002). Bu sonuca göre de katsayının negatif olması nedeniyle şerit genişliği arttıkça araçların öndeki araçlara daha yakın durdukları ve bunun sonucunda da ön boşluğun daha da az olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

- Mevcut Şerit (Bulunduğu şerit) ve araç uzunluğu değişkenlerinin katsayılarının 0,10 yanılma düzeyinde anlamsız olduğu ($P>0,10$) bulunmuştur. Bu sonuca göre araçların hangi şeritte bulunduğu ve uzunluğunun önündeki araçla olan mesafesi üzerinde etkili olmadığı sonucunu göstermektedir.
- Sabit katsayı ise (457,820, $p=0,000$) negatif ve %1 anlamlılık düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bu durum, diğer faktörler sabit tutulduğunda temel araç türünün pozitif yönde bir taban etkisine sahip olduğunu gösterir.

Elde edilen modelin güvenilir ve kullanılabilir bir model olduğunu ispatlamak için aşağıda verilen hipotez testleri yapılmıştır.

- Bu amaçla ilk olarak modelde çoklu doğrusal bağlantı sorunu (Multicollinearity) olup olmadığı araştırılmıştır. Varyans şişirme faktörleri (Variance Inflation Factors [VIF]) değeri hesaplanmıştır. Maksimum VIF değeri (max VIF) yapılan hesaplamalar sonucunda 4,63 olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre önerilen modelde çoklu bir doğrusal bağlantı sorununun olmadığı belirlenmiştir.
- İkinci adım olarak modelde Değişen Varyans (Heteroskedasticity) sorununun mevcut olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla model için bir değişen varyans testi gerçekleştirilmiştir. Test hipotezi “ H_0 = Değişen varyans yoktur” ve “ H_1 = Değişen varyans vardır” şeklinde belirlenmiştir. Gerçekleştirilen test sonucunda $P=0,565>0,10$ olduğunda varyansların homojenliğini ifade eden yokluk hipotezi kabul edilmiş olup modelde herhangi bir değişen varyans sorunu bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Üçüncü adım olarak, bağımsız değişkenlerin nicel bağımlı değişkenlerle doğrusal ilişki göstermesi durumu incelenmiştir. Yani içsel bir bağ olup olmadığına bakılmıştır. Gerçekleştirilen regresyon analizi ile doğrusal bir model tahmin edildiğinden dolayı bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenle doğrusal olmayan ilişkilerinin olması kurulan modeli geçersiz kılmaktadır. Bu kapsamda model için her bir nicel bağımsız değişkenin doğrusal olduğunu göstermek amacıyla “Augmented Component Plus Residual” grafiğine bakılmış ve çalışmadaki bağımsız değişkenle kullanılan bağımlı değişkenlerin doğrusal bir ilişkiye sahip oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

- Bir sonraki adımda ise önerilen modelin bir spesifikasyon hatasına sahip olup olmadığı araştırılmıştır. Model spesifikasyon hatasının kontrol edilmesi için Ramsey Reset (Regression Specification Error Test) testi yapılmıştır. Test hipotezine göre “ H_0 = Modelde gerekli bir değişken dışarıda kalmamıştır” ve “ H_1 =Modelde olması gereken bir değişken dışarıda bırakılmamıştır” şeklinde kurulmuştur. $P=0,0712>0,05$ olduğundan yokluk hipotezi kabul edilmiş ve modelde spesifikasyon hatası olmadığı görülmüştür.
- Son işlem adımı olarak tahmin edilen modelin kalıntılarının normal dağılımlı bir kitleden gelme koşulu incelenmiştir. Bu amaçla kalıntıların normal dağılıp dağılmadığını araştırmak için Shapiro-Wilk W testi yapılmıştır. Sonuçlardan $P=0,113>0,10$ olduğu için kalıntıların normal dağıldığı görülmüştür. Bu sonuç bağımlı değişkeninde normal dağıldığını göstermektedir.

4.7.2 Arka Boşluk Üzerinde Etkili Parametrelerin EKK ile Modellenmesi

Araç arka boşluğu için yapılan EKK regresyon analizi sonucunda elde edilen sonuç değerleri Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.10. Toplam arka boşluk için EKK regresyonu model tahmin sonuçları

Özellik	Bağımlı Değişken: Arka Boşluk	Katsayı	Std. hata	t	P
	Arac_Turu_2 (Minibüs)	-13,20	17,87	-0,74	0,460
	Arac_Turu_3 (Otobüs)	-7,27	33,29	-0,22	0,827
	Arac_Turu_4 (Otomobil)	-9,87	16,02	-0,62	0,538
	Toplam_Serit_Sayısı	-80,75	17,80	-4,54	0,000*
	Mevcut_Serit	2,05	3,19	0,64	0,521
Nicel	Koldaki_Sira	4,05	1,57	2,57	0,010 *
	Serit_Genislighi	-0,73	0,19	-3,87	0,000*
	Arac_Uzunlugu	0,02	0,03	0,88	0,379
	Sabit katsayı	550,598	110,932	4,96	0,000*

*:0,01, **:0,05, ***:0,10 yanılma düzeyinde anlamlı.

Arka boşluk için yapılan en küçük regresyon analizinden tahmin edilen modelin istatistiksel olarak anlamlı bir model olduğu sonucuna ulaşılmıştır ($F=0,01$, $P=0,000<0,01$). Analizden:

- Arka boşluk için ön boşlukta olandan farklı olarak otomobil dahil tüm araç türlerinin katsayılarının 0,10 yanılma düzeyinde anlamsız bulunmuş ($P>0,10$). Bu da incelenen sinyalizasyon kavşak kollarındaki toplam araç uzunluğu üzerinde araç türlerinin özel bir etkisinin olmadığı sonucunu

göstermektedir. Özetle arça türünün arka boşluk değeri ile istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi yoktur.

- Toplam şerit sayısı 0,01 anlamlık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,000$). Fakat katsayının negatif olması (-80,75) nedeniyle şerit sayısı arttıkça arka boşluğun daha da azalmasının bekleneceği sonucu çıkarılabilmektedir.
- Koldaki sıra (4,05, $p=0,010$) %1 anlamlılık düzeyinde etkili bulunmuştur. Bu durum, araçların koldaki sırası arttıkça da araçlar için beklenen arka boşluk bırakma eğiliminin daha da artacağı (pozitif katsayı nedeniyle) sonucunu işaret etmektedir..
- Yine analiz sonuçlarından şerit genişliği değerinin 0,01 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır (-0,73, $p=0,000$). Bu sonuca göre de katsayının negatif olması nedeniyle şerit genişliği arttıkça araçların arkadaki araçlarla mesafesinin daha yakın olduğu ve bunun sonucunda da arka boşluğun daha da az olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.
- Mevcut Şerit (Bulunduğu şerit) ve araç uzunluğu değişkenlerinin katsayılarının 0,10 yanılma düzeyinde anlamsız olduğu ($P>0,10$) bulunmuştur. Bu sonuca göre araçların hangi şeritte bulunduğu ve uzunluğunun arkasındaki araçla olan mesafesi üzerinde etkili olmadığı sonucunu göstermektedir.
- Sabit katsayı ise (550,598, $p=0,000$) negatif ve %1 anlamlılık düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Bu durum, diğer faktörler sabit tutulduğunda temel araç türünün pozitif yönde bir taban etkisine sahip olduğunu gösterir.

Elde edilen modelin güvenilir ve kullanılabilir bir model olduğunu ispatlamak için aşağıda verilen hipotez testleri yapılmıştır.

- Bu amaçla ilk olarak modelde çoklu doğrusal bağlantı sorunu (Multicollinearity) olup olmadığı araştırılmıştır. Varyans şişirme faktörleri (Variance Inflation Factors [VIF]) değeri hesaplanmıştır. Maksimum VIF değeri (max VIF) yapılan hesaplamalar sonucunda 4,64 olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre önerilen modelde çoklu bir doğrusal bağlantı sorununun olmadığı belirlenmiştir.
- İkinci adım olarak modelde Değişen Varyans (Heteroskedasticity) sorununun mevcut olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla model için bir değişen

varyans testi gerçekleştirilmiştir. Test hipotezi “ H_0 =Değişen varyans yoktur” ve “ H_1 =Değişen varyans vardır” şeklinde belirlenmiştir. Gerçekleştirilen test sonucunda $P=0,580>0,10$ olduğunda varyansların homojenliğini ifade eden yokluk hipotezi kabul edilmiş olup modelde herhangi bir değişen varyans sorunu bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

- Üçüncü adım olarak, bağımsız değişkenlerin nicel bağımlı değişkenlerle doğrusal ilişki göstermesi durumu incelenmiştir. Yani içsel bir bağ olup olmadığına bakılmıştır. Gerçekleştirilen regresyon analizi ile doğrusal bir model tahmin edildiğinden dolayı bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenle doğrusal olmayan ilişkilerinin olması kurulan modeli geçersiz kılmaktadır. Bu kapsamda model için her bir nicel bağımsız değişkenin doğrusal olduğunu göstermek amacıyla “Augmented Component Plus Residual” grafiğine bakılmış ve çalışmadaki bağımsız değişkenle kullanılan bağımlı değişkenlerin doğrusal bir ilişkiye sahip oldukları sonucuna ulaşılmıştır.
- Bir sonraki adımda ise önerilen modelin bir spesifikasyon hatasına sahip olup olmadığı araştırılmıştır. Model spesifikasyon hatasının kontrol edilmesi için Ramsey Reset (Regression Specification Error Test) testi yapılmıştır. Test hipotezine göre “ H_0 = Modelde gerekli bir değişken dışarıda kalmamıştır” ve “ H_1 =Modelde olması gereken bir değişken dışarıda bırakılmamıştır” şeklinde kurulmuştur. $P=0,0455>0,01$ olduğundan yokluk hipotezi kabul edilmiş ve modelde spesifikasyon hatası olmadığı görülmüştür.
- Son işlem adımı olarakta tahmin edilen modelin kalıntılarının normal dağılımlı bir kitleden gelme koşulu incelenmiştir. Bu amaçla kalıntıların normal dağılıp dağılmadığını araştırmak için Shapiro-Wilk W testi yapılmıştır. Sonuçlardan $P=0,108>0,10$ olduğu için kalıntıların normal dağıldığı görülmüştür. Bu sonuç bağımlı değişkeninde normal dağıldığını göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, sinyalizasyon kavşaklarında kırmızı ışık fazında oluşan araç kuyruklarında yer alan araçların ortalama efektif uzunluğunu ve bu uzunluk üzerindeki parametreleri belirlemeye yönelik gerçekleştirilmiştir. Farklı şehirlerdeki üç kavşakta yapılan gözlem ve ölçümler sonucunda, araç uzunlukları ve aralarındaki boşluklar ölçülmüş, bunlara dayalı olarak toplam araç uzunluğu ve bunun üzerinde etkili olan parametreler analiz edilmiştir. Analizler kapsamında şehir, araç türü, toplam şerit sayısı, aracın bulunduğu şerit, aracın şeritteki sırası (kuyruktaki sırası), şerit genişliği ve araç uzunluğu parametreleri; buna bağlı olarak oluşan ön-arka boşluk ve bu değerlerin araç uzunluklarına eklenmesi oluşan toplam araç uzunluğu değerleri analiz edilmiştir.

Verilerin elde edilmesi aşamasında yöntem bölümünde tanımlanan ölçekleme, kalibrasyon ve referans nokta tekniği gibi görsel ölçüm yöntemleri, gerçek trafik ortamında yüksek hassasiyetle veri toplanmasını sağlamıştır. Bu yöntem sayesinde araçların bireysel boyutları ve araçlar arası mesafeler sağlıklı şekilde belirlenmiş, kavşak bazında kuyruk profilleri oluşturulmuştur. Özellikle farklı araç türlerinin kuyruk içindeki dağılımının ölçülmesi, eşdeğer otomobil birimi (EBO) yaklaşımına alternatif olarak gerçek boyut temelli etkili bir ölçüm modeli geliştirilmesine olanak tanımıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen temel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Ölçümü yapılan araçların minimum uzunluğu 288,50 cm iken maksimum uzunluk 2423,50 cm olarak tespit edilmiştir. Ölçümü yapılan 603 aracın uzunluğunun aritmetik ortalaması 715,87cm'dir. Genel olarak, kamyonet, minibüs ve otobüs türlerinde uzunluklar arasında belirgin farklar varken, otomobil türünde daha az çeşitlilik gözlemlenmektedir. Bu, her araç türünün kullanım amacına ve tasarımına bağlı olarak farklı uzunluk aralıklarına sahip olduğunu göstermektedir.
- Çalışma sonuçlarına göre, kamyonet, minibüs, otobüs ve otomobil türleri arasında toplam (ön-arka boşluk ve araç uzunluğu dahil) araç uzunluk farkları belirgindir. Kamyonetlerin ortalama toplam uzunluğu 549,9 cm, minibüslerin 651,5 cm, otobüslerin 1322,9 cm, otomobillerin ise 447,1 cm'dir. Otobüslerde en yüksek varyasyon gözlenirken, otomobillerde uzunluklar daha homojendir.

- Toplam araç uzunluğu ile şerit sayısı arasında negatif yönlü anlamlı ancak düşük düzeyde bir ilişki bulunmaktadır. Diğer taraftan, araç uzunluğu ile şerit genişliği, bulunulan sıra, ölçüm sırası ve araç türü değişkenleri arasında pozitif yönlü anlamlı ancak düşük düzeyde ilişkiler tespit edilmiştir. Araç uzunluğu ile bulunulan şerit ve şehir değişkenleri arasında anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir.
- Şerit sayısı ile şerit genişliği, ölçüm sırası, şehir ve araç türü arasında negatif yönlü anlamlı, bulunulan sıra ile pozitif yönlü anlamlı ilişkiler saptanmıştır.
- Şerit genişliği ile bulunulan sıra, ölçüm sırası, şehir ve araç türü arasında pozitif yönlü anlamlı, bulunulan şerit ile negatif yönlü anlamlı ilişkiler saptanmıştır.
- Bulunulan şerit ile şehir değişkeni arasında pozitif yönlü anlamlı, bulunulan sıra ile ölçüm sırası arasında da pozitif yönlü anlamlı ilişkiler saptanmıştır. Ölçüm sırası ile şehir ve araç türü arasında negatif yönlü anlamlı ilişkiler olduğu görülmüştür. Şehir ile araç türü arasında da negatif yönlü anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir.
- Değişkenler içerisinde sadece bulunulan şerit değişkeninin araç uzunluğu üzerinde anlamlı etkisi olmadığı, diğer beş değişkenin uzunluğu üzerindeki etkilerinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Şerit sayısının ve ölçüm yapılan şehrin araç uzunluğu üzerindeki etkisi negatif yönlü iken ölçüm sırasının, bulunulan sıranın ve araç türünün etkisi pozitif yönlüdür. Bu bulgulara dayanılarak, şerit sayısı arttığı zaman ve Antalya ve İzmir şehirlerinde değil de Samsun şehrinde bulunduğu zaman araç uzunluğunun azaldığı, tersine araçların şeritteki dizilimlerindeki sıraları arkalara doğru kaydıkça, son ölçümlerde ve otomobil değil de diğer türlerdeki araçların bulunduğu ölçümlerde araç uzunluğunun arttığı söylenebilmektedir.

Çalışma kapsamında toplam araç uzunluğunun yanı sıra bunun üzerinde etkili olan araçların önündeki araçlarla bıraktığı ön boşluk; arkasındaki araçların kendisi ile bıraktığı boşluk olan arka boşluğun diğer değişkenlerle olan ilişkisi de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Şerit sayısı ön-arka boşluk ilişkisi incelendiğinde ön boşluklarda, şerit sayısının etkisi anlamlı olduğu, arka boşluklarda, şerit sayısına göre fark anlamsız bulunmuştur.
- Şerit genişliğinin bu boşluklar üzerindeki etkisini incelendiğinde şerit genişliklerinin hem ön hem de arka boşluklar üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlara göre bu çalışmadaki incelemelere göre kentsel veya yoğun trafikli alanlar için 300 cm, hem güvenlik hem de verimlilik açısından optimum şerit genişliği olarak önerilmektedir.
- Mevcut şeritin boşluklar üzerinde etkisi incelendiğinde, boşluk değerleri üzerinde aracın hangi şerit üzerinde yer aldığı istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır
- Aracın bulunduğu koldaki kuyruktaki sırasına bağlı olarak boşluklar üzerindeki etkisi incelendiğinde, aracın kuyrukta hangi sırada yer aldığı, ön boşluk ve arka boşluk üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür. Benzer şekilde araç türüne bağlı olarak boşluklarında anlamlı bir etkisi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Aracın kendi uzunluğu ön boşluk ilişkisinin anlamsız. Bunun aksine kendi uzunluğu ile arka boşluk ilişkisinin ise zayıf bir pozitif ilişki olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada ayrıca incelenen araçların türü, bulunduğu şerit, kırmızı yandığı andaki koldaki sırası, araç uzunluğu parametrelerine göre ön-arka boşluk uzunluğu modellenmiştir. Belirtilen tüm parametreler (nicel ve kategorik) birlikte bağımsız değişken oldukları En Küçük Kareler (EKK) regresyon modeli tahmin edilmeye çalışılmıştır. Modelleme sonuçlarından:

- Ön boşlukta otomobil hariç diğer tüm araç türlerinin katsayılarının 0,10 yanılma düzeyinde anlamsız, arka boşlukta ise hepsinin anlamsız olduğu yani bir etkisinin olmadığı sonucu elde edilmiştir.
- Toplam şerit sayısı istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,000$). Fakat hem ön boşluk hem de arka boşluk katsayılarının negatif olması nedeniyle şerit sayısı arttıkça ön ve arka boşluğun daha da azalmasının bekleneceği sonucu çıkarılabilmektedir.

- Aracın bulunduğu kol ve kuyruktaki sırasının ön ve arka boşluk için anlamlı olduğu ve araçların koldaki sırası arttıkça da araçlar için beklenen ön ve arkadaki boşlukların daha da artacağı belirlenmiştir.
- Yine her iki boşluk içinde şerit genişliği parametresinin istatistiksel olarak anlamlı (negatif etkide) olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Mevcut Şerit (Bulunduğu şerit) ve araç uzunluğu değişkenlerinin katsayılarının 0,10 yanılma düzeyinde anlamsız olduğu ($P>0,10$) bulunmuştur. Bu sonuca göre araçların hangi şeritte bulunduğu ve uzunluğunun ön ve arkasındaki araçla olan mesafesi üzerinde etkili olmadığı sonucunu göstermektedir

Çalışmada elde edilen bulgular trafik mühendisliği uygulamalarında kuyruk uzunluklarının sadece metre cinsinden değil, aynı zamanda araç türleri ve bu araçların etkin boyutlarına göre değerlendirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymuştur. Bu sayede VISSIM gibi simülasyon araçlarında daha gerçekçi modellemeler yapılması mümkün hâle gelmiştir. Bu bağlamda, trafik simülasyon programlarının kuyruk uzunluğunu sadece uzunluk birimiyle değil, aynı zamanda araç cinsinden hesaplamalara da olanak tanıyacak şekilde geliştirilmesi önerilmektedir. Özellikle ağır taşıtların kuyruk yapısındaki etkileri göz önüne alındığında, sabit EBO değerleri yerine ölçüme dayalı ortalama efektif uzunluk kullanımının kapasite analizlerinde daha güvenilir sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca, sürücü davranışları ve şerit kullanım alışkanlıklarının da hesaba katılması, sinyal optimizasyonları ve kavşak iyileştirme senaryolarında daha etkili çözümler üretmeye katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma ile sinyalize kavşaklardaki kuyrukların değerlendirilmesinde uzunluk temelli ölçümlerin ötesine geçilerek, çok sayıda parametrenin bir aracın toplam uzunluğu üzerinde hesaba katıldığı bütüncül bir analiz yaklaşımı önerilmiştir. Elde edilen bulgular, yalnızca akademik bilgiye değil, aynı zamanda pratik uygulamalara da katkı sunacak niteliktedir. Gelecekte benzer çalışmaların farklı şehirlerde ve daha fazla kavşakta gerçekleştirilmesi, genel geçer ve bölgeye özgü trafik davranış kalıplarının belirlenmesine yardımcı olacak, ulusal düzeyde trafik mühendisliği politikalarına yön verecek veri setlerinin oluşmasına katkı sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

- Akçelik, R. (2004). *SIDRA and aaSIDRA User Guide*. Akcelik and Associates Pty Ltd, Melbourne, Australia.
- Aydın, M. M., & Aydoğdu, İ. (2025). Development of new modified delay and queue length methods for urban signalized intersections: A case of Antalya city. *Ain Shams Engineering Journal*, 16(2), 103246.
- Aydın, M. (2022). Modeling of effective parameters for capacity prediction at signalized intersection lanes. *Baltic journal of road and bridge engineering*, 17(4).
- Aydın, M. M., ve Orhan, E. (2024). A driver perspective-based investigation for lane line visibility of pavements on drivers' lane utilization behaviors. *Acta Scientiarum. Technology*, 46(1), e66734. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v46i1.66734>
- Aydın, M. M. (2012). *Çok şeritli yollarda sürücü şerit seçim davranışının modellenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Aydın, M.M. (2017). Şehiriçi kavşaklardaki geometrik disiplinsizliğin optimize edilerek irdelenmesi [Doktora Tezi]. Akdeniz Üniversitesi.
- Cheevarunothai, P., Wang, Y., ve Nihan, N. L. (2007). Using Dual-Loop Event Data to Enhance Truck Data Accuracy. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1993(1), 131-137. <https://doi.org/10.3141/1993-18>
- Coifman, B. (2015). Empirical flow-density and speed-spacing relationships: Evidence of vehicle length dependency. *Transportation Research Part B: Methodological*, 78, 54-65. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.04.006>
- Coifman, B., ve Kim, S. (2009). Speed estimation and length based vehicle classification from freeway single-loop detectors. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(4), 349-364. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2009.01.004>
- Davies, P., ve Salter, D. R. (1983). *Reliability of classified traffic count data* (Nos. 0361-1981).
- Dodsworth, J., Shepherd, S., ve Liu, R. (2014). Real-time Single Detector Vehicle Classification. *Transportation Research Procedia*, 3, 942-951. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.074>
- FHWA (2025). *902.5 Traffic Control Signal Features (MUTCD Chapter 4D)—Engineering Policy Guide*. https://epg.modot.org/index.php/902.5_Traffic_Control_Signal_Features_%28MUTCD_Chapter_4D%29
- Gedizlioğlu, E. (1979). *Denetimsiz kavşaklarda yanyol sürücülerinin davranışlarına göre pratik kapasite saptanması için bir yöntem*. İ.T.Ü.
- Güneş, F., Bayraklı, S., ve Zaim, A. H. (2020). Sinyalize Bir Kavşakta Oluşan Trafik Akımının Kuyruk Teorisi ile Performansının İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 56-65. <https://doi.org/10.31590/ejosat.711094>
- Hazelton, M. L. (2004). Estimating Vehicle Speed from Traffic Count and Occupancy Data. *Journal of Data Science*, 2, 231-244.
- Kim, S., ve Coifman, B. (2013). Evaluation of Axle-Based and Length-Based Vehicle Classification Stations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2339(1), 1-12. <https://doi.org/10.3141/2339-01>
- Kučera, T., ve Chocholáč, J. (2021). Design of the City Logistics Simulation Model Using PTV VISSIM Software. *Transportation Research Procedia*, 53, 258-265. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.033>

- Kwon, J., Varaiya, P., ve Skabardonis, A. (2003). Estimation of Truck Traffic Volume from Single Loop Detectors with Lane-to-Lane Speed Correlation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1856(1), 106-117. <https://doi.org/10.3141/1856-11>
- Liu, H. X., ve Sun, J. (2014). Length-based vehicle classification using event-based loop detector data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 156-166. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.11.010>
- Maghrour Zefreh, M., Török, Á., ve Mészáros, F. (2017). Average Vehicles Length in Two-lane Urban Roads: A Case Study in Budapest. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 45(4), 218. <https://doi.org/10.3311/PPtr.10744>
- NACTO (2025). *Fixed vs. Actuated Signalization*. NACTO. <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/intersection-design-elements/traffic-signals/fixed-vs-actuated-signalization/>
- Newell, G. F. (2002). A simplified car-following theory: A lower order model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 36(3), 195-205. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(00\)00044-8](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(00)00044-8)
- Orhan, E. (2021). *Şerit çizgi görünürlüğünün sürücülerin şerit seçim ve kullanım davranışları üzerindeki etkisi*. Gümüşhane Üniversitesi.
- PTV Group (2025). *Traffic Simulation Software*. <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-vissim>
- Partha, S. A. H. A., Mahmud, H. I., Hossain, Q. S., & Islam, M. Z. (2009). Passenger car equivalent (PCE) of through vehicles at signalized intersections in Dhaka Metropolitan City, Bangladesh. *IATSS research*, 33(2), 99-104.
- SUMO (2025). *Eclipse SUMO - Simulation of Urban MObility*. Eclipse SUMO - Simulation of Urban MObility. <https://sumo.dlr.de/hugo/>
- Tanyel, S., Çalışkanelli, S. P., Aydın, M. M., ve Utku, S. B. (2013). Yuvarlakada Kavşaklardaki Ağır Araç Etkisinin İncelenmesi. *Teknik Dergi*, 24(119), Article 119.
- Tanyel, S., Koyuncu, M., ve Çalışkanelli, S. P. (2018). Sürücü Davranışlarının Sinyalize Kavşak Başarımı Üzerindeki Etkisi. *Teknik Dergi*, 29(5), 8563-8588. <https://doi.org/10.18400/tekderg.369397>
- Troutbeck, R. (1998). Background for HCM Section on Analysis of Performance of Roundabouts. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1646(1), 54. <https://doi.org/10.3141/1646-07>
- Türk Standartları Enstitüsü. (1989). *Kentsel alanlarda otomobil eşdeğerliği (Türk Standartları TS6407)*. Ankara.
- Wang, Y., ve Nihan, N. L. (2003). Can Single-Loop Detectors Do the Work of Dual-Loop Detectors? *Journal of Transportation Engineering*, 129(2), 169-176. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2003\)129:2\(169\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:2(169))
- Wang, Y., ve Nihan, N. L. (2004). Dynamic Estimation of Freeway Large-Truck Volumes Based on Single-Loop Measurements. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 8(3), 133-141. <https://doi.org/10.1080/15472450490492815>
- Wu, L., ve Coifman, B. (2014a). Improved vehicle classification from dual-loop detectors in congested traffic. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 46, 222-234. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.04.015>
- Wu, L., ve Coifman, B. (2014b). Vehicle Length Measurement and Length-Based Vehicle Classification in Congested Freeway Traffic. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2443(1), 1-11. <https://doi.org/10.3141/2443-01>

- Ye, Z. (2007). *Speed estimation using single loop detector outputs*. Texas A&M University.
- Zefreh, M. M., Baranyai, D., ve Torok, A. (2016). Assessing the Possibility of Presenting a Semi-Stochastic Speed-Density Function. *MATEC Web of Conferences*, 81, 04002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20168104002>
- Jia, Z., Chen, C., Coifman, B., & Varaiya, P. (2001). The PeMS algorithms for accurate, real-time estimates of g-factors and speeds from single-loop detectors. In ITSC 2001. 2001 *IEEE Intelligent Transportation Systems*. Proceedings (Cat. No. 01TH8585) (pp. 536-541). IEEE.



ÖZ GEÇMİŞ

Ayşenur GÜLAY, Ünye Anadolu Lisesinde üç yıl öğrenim gördükten sonra son bir yıl Uğur Okulları Ünye Lisesi'ni bitirdi. Ardından Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünden 19.06.2022 tarihinde mezun oldu. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına 26.09.2022 tarihinde başladı. Mezuniyetinden bu yana İnşaat Mühendisi olarak görev yapan Ayşenur GÜLAY, orta derecede İngilizce bilmektedir.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0009-0007-8414-3824

Yayınlar:

1. Gülay, A. ve Aydın, M. M. (2025). *Sinyalize Kavşak Kollarındaki Kuyruklarda Ortalama Efektif Araç Uzunluğunun Belirlenmesi*. 14.Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, 22-24 Mayıs 2025, Kütahya, Türkiye, p.1.