

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BALIKESİR İLİNDE PANDEMİ DÖNEMİ VE SONRASINDA TRAFİK YOĞUNLUĞU
VE ARAÇ KULLANIM ALIŞKANLIKLARININ DEĞİŞİMİ**

KENAN ERYILMAZ

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

OCAK 2025

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BALIKESİR İLİNDE PANDEMİ DÖNEMİ VE SONRASINDA TRAFİK YOĞUNLUĞU
VE ARAÇ KULLANIM ALIŞKANLIKLARININ DEĞİŞİMİ**

KENAN ERYILMAZ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Abdullah ELEN

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

OCAK 2025

ONAY

Kenan ERYILMAZ tarafından hazırlanan “**Balıkesir İlinde Pandemi Dönemi Ve Sonrasında Trafik Yoğunluğu Ve Araç Kullanım Alışkanlıklarının Değişimi**” adlı tez çalışması 17/01/2025 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından **Oybirliği** ile Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Doç. Dr. Abdullah ELEN
(Danışman)

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ
(Üye)

Doç. Dr. Emrullah SONUÇ
(Üye)

Bu tezin kabulü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Ahmet AYDIN
Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Balıkesir İlinde Pandemi Dönemi Ve Sonrasında Trafik Yoğunluğu Ve Araç Kullanım Alışkanlıklarının Değişimi**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 17/01/2025

Kenan ERYILMAZ

ÖNSÖZ

COVID-19 Pandemisi, dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de bireylerin günlük yaşamlarını ve toplumsal dinamikleri önemli ölçüde etkilemiştir. Bu tez, pandeminin özellikle Balıkesir ili özelinde şehir içi ulaşım sistemleri, bireysel araç kullanımı ve trafik yoğunluğu üzerindeki etkilerini anlamak ve bu bağlamda çözüm önerileri sunmak amacıyla hazırlanmıştır. Çalışma boyunca, pandemi sürecinin yarattığı sosyal ve ekonomik değişimlerin şehir içi ulaşım politikalarına etkisi detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu tez, pandemi döneminde edinilen verilerin ulaşım planlaması ve trafik yönetimi alanındaki önemini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Bu çalışma, yalnızca akademik bir araştırma olmakla kalmamış, aynı zamanda bu zorlu dönemin toplum üzerindeki etkilerine dair bir farkındalık yaratmayı da hedeflemiştir.

Akademik yolculuğum boyunca beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Abdullah ELEN' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecinde sabır ve destekleriyle yanımda olan annem Kıymet ERYILMAZ' a, babam Ahmet ERYILMAZ' a ve kardeşim Emre ERYILMAZ' a teşekkür ederim.

Tez çalışması kapsamında kullanılan verileri sağladıkları için Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Planlama ve Raylı Sistemler Daire Başkanlığı Trafik Hizmetleri Şube Müdürlüğü ekibi ve özellikle Sayın İbrahim ERŞEN 'e teşekkür ederim.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BALIKESİR İLİNDE PANDEMİ DÖNEMİ VE SONRASINDA TRAFİK YOĞUNLUĞU VE ARAÇ KULLANIM ALIŞKANLIKLARININ DEĞİŞİMİ

Kenan ERYILMAZ

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Abdullah ELEN

Ocak 2025, 82 sayfa

COVID-19 pandemisi, dünya genelinde bireylerin yaşam biçimlerini ve sosyal dinamiklerini derinden etkilemiştir. Bu çalışmada, pandeminin Balıkesir ili özelinde şehir içi trafik yoğunluğu ve bireylerin araç kullanım alışkanlıkları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Pandemi dönemi ve sonrasında trafik dinamiklerindeki değişimlerin analiz edilmesi, bu değişimlerin gelecekteki ulaşım politikalarına nasıl yön verebileceğini anlamak adına önemli bir çerçeve sunmaktadır.

Çalışmada, Balıkesir il merkezindeki 19 sinyalize kavşakta pandemi dönemi (2021-2022) ve pandemi sonrası dönem (2023-2024) arasındaki araç geçiş yoğunlukları analiz edilmiştir. Kavşaklarda gözlemlenen trafik yoğunluğu dalgalanmaları, doğrusal regresyon modelleri ile değerlendirilmiş ve bireysel araç kullanımındaki artış ile toplu taşıma tercihlerindeki düşüşler detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Özellikle, sanayi bölgeleri gibi ekonomik faaliyetlerin yoğun olduğu alanlardaki trafik akışlarının pandemiden daha az etkilendiği, buna karşın ticari ve sosyal merkezlerde trafik yoğunluğunun belirgin şekilde azaldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma, pandemi sürecinde elde edilen verilerin sürdürülebilir trafik yönetimi ve ulaşım planlaması açısından önemini ortaya koymaktadır. Çalışma sonunda, akıllı trafik sistemlerinin benimsenmesi, çevreci ulaşım modlarının teşvik edilmesi ve toplu taşıma sistemlerinin cazibesinin artırılmasına yönelik öneriler sunulmuştur. Elde edilen sonuçların, şehir içi trafik dinamiklerinin iyileştirilmesi ve gelecekte benzer kriz durumlarına hazırlık yapılması noktasında katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: COVID-19 Pandemisi, Trafik Yoğunluğu, Bireysel Araç Kullanımı, Toplu Taşıma, Balıkesir, Kavşak Analizi, Sinyalizasyon Sistemleri, Ulaşım Planlaması, Sürdürülebilir Ulaşım, Akıllı Trafik Yönetimi.



ABSTRACT

M.Sc. THESIS

CHANGES IN TRAFFIC DENSITY AND VEHICLE USAGE HABITS DURING AND AFTER THE PANDEMIC IN BALIKESİR PROVINCE

Kenan ERYILMAZ

Bandırma Onyedi Eylül University

Institute of Graduate Studies

Department of Intelligent Transportation Systems and Technologies

Supervisor: Doç. Dr. Abdullah ELEN

January 2025, 82 pages

The COVID-19 pandemic profoundly impacted individuals' lifestyles and social dynamics worldwide. This study examines the effects of the pandemic on urban traffic density and vehicle usage habits in Balıkesir, Turkey. Analyzing the changes in traffic dynamics during and after the pandemic provides a crucial framework for understanding how these shifts can inform future transportation policies.

The study analyzes vehicle passage data from 19 signalized intersections in the central districts of Balıkesir during the pandemic period (2021-2022) and the post-pandemic period (2023-2024). Fluctuations in traffic density observed at these intersections were evaluated using linear regression models. The findings reveal a significant increase in private vehicle use and a corresponding decline in public transportation preferences. Furthermore, traffic flows in industrial zones, which continued to support economic activities, were less affected by the pandemic compared to commercial and social hubs, where traffic density significantly decreased.

This research highlights the importance of data collected during the pandemic for sustainable traffic management and transportation planning. The study concludes by offering recommendations, such as adopting intelligent traffic systems, promoting environmentally

friendly transportation modes, and enhancing the appeal of public transportation systems. The results are expected to contribute to the improvement of urban traffic dynamics and preparation for potential future crises.

Keywords: COVID-19 Pandemic, Traffic Density, Private Vehicle Usage, Public Transportation, Balıkesir, Intersection Analysis, Signalization Systems, Transportation Planning, Sustainable Transportation, Smart Traffic Management



İÇİNDEKİLER TABLOSU

ONAY	III
ÖNSÖZ	V
ÖZET	I
ABSTRACT	III
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ.....	IX
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Önemi ve Amacı	2
1.2. Araştırmanın Kapsamı ve Sınırlılıkları.....	2
1.3. Çalışmanın Yöntemi ve Yapısı.....	2
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Pandemi Dönemi ve Şehir İçi Trafik Dinamikleri	3
2.2. Bireysel Araç Kullanımı ve Toplu Taşıma Tercihleri	3
2.3. Trafik Yoğunluğu Analizlerinde Kullanılan Yöntemler	6
2.4. Makine Öğrenimi Yöntemlerinin Trafik Analizindeki Rolü	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1. Araştırma Bölgesi: Balıkesir İli	15
3.2. Veri Toplama Süreci ve Kullanılan Veriler	18
3.2.1.1. Kavşaklar ve İşlevleri	18
3.2.2. Kavşak Türleri.....	20
3.2.3. Eş Düzey Kavşaklar	21
3.2.4. Farklı Seviyeli Kavşaklar.....	23
3.3. Sinyalize Kavşaklarda Trafik Yoğunluğu Ölçümü	25
3.4. Makine Öğrenimi Yöntemleri.....	27
3.4.1.1. Doğrusal Regresyon Modeli	27

3.4.2.	Random Forest (Rastgele Orman) Algoritması.....	30
3.5.	Model Oluşturma ve Değerlendirme Kriterleri	32
4.	BULGULAR	34
4.1.	Pandemi Dönemi Trafik Yoğunluğu Analizi (2021-2022).....	34
4.1.1.	Sanayi Bölgesi Trafik Akışları	35
4.1.2.	Ticari ve Sosyal Merkezlerdeki Trafik Değişimleri	36
4.2.	Pandemi Sonrası Normalleşme Trafik Yoğunluğu (2023-2024).....	37
4.2.1.	Trafik Akışında Toparlanma Eğilimleri	39
4.2.2.	Kavşak Bazlı Farklılıkların Değerlendirilmesi.....	40
4.3.	Bireysel Araç Kullanımındaki Değişimler.....	40
4.4.	Toplu Taşıma Tercihlerindeki Düşüş ve Etkileri.....	40
5.	TARTIşMA.....	41
5.1.	Pandemi Dönemi ve Sonrası Trafik Dinamiklerinin Karşılaştırılması	41
5.2.	Ekonomik Faaliyetlerin Trafik Yoğunluğuna Etkisi.....	43
5.3.	Kavşak Bazlı Farklılıkların Nedenleri ve Yansımaları	43
5.4.	Trafik Verilerinin Sürdürülebilir Ulaşım Planlamasındaki Rolü.....	44
6.	RO ALGORİTMASI İLE AYLIK ARAÇ GEçİş SAYILARININ TAHMİNİ	45
6.1.	Pandemi Dönemi Trafik Yoğunluğu Tahmini	45
6.1.1.	Öne Çıkan Bulgular	48
6.2.	Pandemi Dönemi Sonrası Trafik Yoğunluğu Tahmini	49
6.2.1.	Öne Çıkan Bulgular:	51
6.3.	Pandemi Dönemi ve Sonraki Dönemin Değerlendirilmesi.....	52
6.3.1.	Trafik Eğilimleri ve Kavşak Yoğunlukları	52
6.3.2.	Trafik Yoğunluğu ve Dalgalanmalar	53
6.3.3.	Model Performansı	53
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	54
7.1.	Çalışmanın Özet Bulguları.....	54

7.2.	Çözüm Önerileri	55
7.3.	Akıllı Trafik Sistemlerinin Entegrasyonu	55
7.4.	Çevreci Ulaşım Modlarının Teşviki	56
7.5.	Toplu Taşıma Sistemlerinin Geliştirilmesi	57
7.6.	Gelecekteki Araştırmalar için Öneriler	57
8.	KAYNAKLAR.....	59
9.	EKLER	62
9.1.	Veri Toplama Sürecine Ait Ek Bilgiler	62
9.1.1.	RO Algoritması MATlab Kaynak Kodu	62
ÖZGEÇMİŞ		67

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Balıkesir Tüm Sinyalize Kavşaklar	14
Şekil 2 Akıllı kavşaklar (Sayım verisi olanlar)	14
Şekil 3 Balıkesir İli [32]	15
Şekil 4 Hastane Kavşağı (Altıeylül,2023).....	19
Şekil 5 Rüzgar Caddesi Kavşağı (Altıeylül,2023)	20
Şekil 6 Zeytinli Kavşağı (Akçay,2022)	22
Şekil 7 Çayırhisar Katlı Kavşak Tasarımı (Altıeylül).....	24
Şekil 8 2021-2022 Dönemi Araç Geçiş Trendleri ve Regresyon Analizi.....	34
Şekil 9 Sanayi Kavşağı	35
Şekil 10 Hükümet Kavşağı.....	36
Şekil 11 2023-2024 Dönemi Araç Geçiş Trendleri ve Regresyon Analizi.....	37
Şekil 12 Yonca Kavşağı	38
Şekil 13 Azerbaycan Cad. Kavşağı	39
Şekil 14 Araç Geçiş Yoğunluğu (2021-2022)	41
Şekil 15 Araç Geçiş Yoğunluğu (2023-2024)	42
Şekil 16 Pandemi Döneminde Kavşaklara Göre Aylık Araç Geçiş Sayılarının Tahmini.	46
Şekil 17 Pandemi Dönemi Sonrası Kavşaklara Göre Aylık Araç Geçiş Sayılarının Tahmini.	49

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Kavşak Koordinatları.	13
Tablo 2 Balıkesir Nüfus Sayıları	16
Tablo 3 Balıkesir Nüfus Artış Hızı.....	17
Tablo 4 Balıkesir Trafik Bilgisi.....	18
Tablo 5 Pandemi Dönemi Performans Metrikleri.....	47
Tablo 6 Performans metrikleri.....	51



SİMGE LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Y	: Bağımlı değişken
β	: Bağımsız değişkenlerin katsayıları
X	: Bağımsız değişkenler
ϵ	: Hata terimi

KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
ADNKS	: Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
AI	: Yapay Zekâ
IOT	: Nesnelerin İnterneti
LOS	: Hizmet Düzeyi
MAE	: Ortalama Mutlak Hata
MSE	: Ortalama Karesel Hata
RMSE	: Kök Ortalama Karesel Hata
RO	: Random Forest (Rastgele Orman)
TÜİK	: <i>Türkiye İstatistik Kurumu</i>
TTM	: Toplu Taşıma Merkezi
V2X	: Araçtan Herşeye
YSA	: Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Koronavirüs salgını, diğer adıyla COVID-19, ilk kez 1 Aralık 2019'da Çin'de tespit edilmiştir. Daha sonraki süreçte Avrupa, Kuzey Amerika ve Asya-Pasifik ülkelerinde de vaka sayılarında artışlar gözlenmiştir. Türkiye'de ilk COVID-19 vakası ise 12 Mart 2020 tarihinde ortaya çıkmıştır. Dünya Sağlık Örgütü, Mart 2020'de COVID-19'u küresel bir salgın (pandemi) olarak tanımlamıştır. Bu salgın, insanları fiziksel, psikolojik ve sosyal açıdan ciddi şekilde etkilemiştir. En önemli etkisi, milyonlarca insanın hastalanması ve hayatını kaybetmesidir. Dünya genelinde 4 milyondan fazla insan yaşamını yitirmiştir. Türkiye'de ise bu hastalığa yakalanan 6 milyondan fazla kişiden 50 binden fazlası hayatını kaybetmiştir. [1] COVID-19'un hızlı bir şekilde yayılması, bireylerin algılarını değiştirerek normal hayat düzenlerinin alışılmadık hale gelmesine neden olmuştur. Bu durum, salgının yayılımını yavaşlatmak için birçok ülkenin geniş çaplı kısıtlama ve önlemler uygulamasını beraberinde getirmiştir. Örneğin, okulların kapatılması, seyahatlerin sınırlandırılması, toplu taşımının durdurulması, kalabalık alanlardan kaçınılması, uzaktan çalışmaya geçilmesi ve sokağa çıkma yasakları gibi ciddi tedbirler hayata geçirilmiştir. Ulaşım alanında alınan önlemler ise salgının kontrolünde önemli bir yere sahiptir, çünkü ulaşım ile salgınların yayılımı arasında doğrudan bir bağ olduğu bilinmektedir. Shahin ve Yetişkul'un araştırması, yolculuk ile salgın hastalıklar arasında pozitif bir ilişki bulunduğunu göstermiştir. Bunun yanı sıra, bu çalışmada salgının yayılmasını önlemede idari ve teknik önlemler kadar bireysel koruma önlemlerinin de etkili olduğu ve bu tedbirlerin normalleşme sürecinde devam ettirilmesi gerektiği ifade edilmiştir [2].

2021 yılı Nisan ayında Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan motorlu kara taşıtları bülteni, bir önceki yılın aynı dönemine kıyasla trafiğe kaydedilen araç sayısında %155'lik bir artış olduğunu ortaya koymuştur [3]. Bununla birlikte, pandemi döneminde vatandaşların evde kalmayı tercih etmesi ve şehir içi hareketliliği azaltan kısıtlamaların, trafik yoğunluğunun dengeli kalmasında önemli bir rol oynadığı ifade edilebilir. Pandemi sürecinde uygulanan kısıtlamalar ve evden çalışma gibi durumlar, şehir içi yollardaki trafik akışında sürekli dalgalanmalar yaratmıştır. Bu süreçte gözlemlenen değişken trafik akışlarının, yol planlama çalışmaları için doğrudan kullanılamayacağı açıktır. Bu nedenle, kısıtlamaların toplu taşımaya olan talebi düşürmesi, bireysel araç kullanımını artırması gibi faktörlerin, ana arterlerdeki trafik akımında oluşturduğu değişimlerin detaylı bir şekilde incelenmesi, ulaşım planlaması açısından büyük önem taşımaktadır. [4]

Bu tez, Balıkesir ili özelinde pandemi dönemi ve sonrasındaki trafik yoğunluğu ile bireylerin araç kullanım alışkanlıklarındaki değişimleri analiz etmektedir. Çalışma, literatürde yer alan bulguların yerel bağlamdaki yansımalarını inceleyerek, gelecekteki ulaşım politikalarına yönelik öneriler sunmayı amaçlamaktadır.

1.1. Çalışmanın Önemi ve Amacı

Pandemi sürecinin ve sonrasındaki normalleşme döneminin, şehir içi trafik yoğunluğu ve araç kullanım alışkanlıkları üzerinde önemli etkileri olmuştur. Bu süreçte, bireysel araç kullanımının artması, toplu taşıma kullanımındaki azalma ve çalışma düzenlerindeki değişimler, şehir içi ulaşım dinamiklerini yeniden şekillendirmiştir. Balıkesir ili özelinde gerçekleştirilen bu çalışma, trafik yoğunluğu ve araç geçiş verilerini analiz ederek, pandemi sürecinin getirdiği değişiklikleri anlamayı ve gelecekteki trafik yönetim politikalarına yönelik öneriler sunmayı amaçlamaktadır.

1.2. Araştırmanın Kapsamı ve Sınırlılıkları

Çalışmanın temel konusu, Balıkesir ilindeki farklı kavşaklarda araç geçiş verilerinin pandemi dönemi ve sonrası dönemler için karşılaştırılmasıdır. Bu kapsamda, trafik yoğunluğunun düşüş ve artış trendleri analiz edilerek, bireysel araç kullanımının artışı ve sanayi bölgelerindeki trafik yoğunluğunun neden olduğu dinamikler detaylı şekilde incelenmiştir. Çalışma ayrıca, trafik akışı ve yoğunluk verilerinin doğrusal regresyon modeli ile değerlendirilerek, kavşak bazında farklı dönemlerin etkilerini karşılaştırmaktadır.

1.3. Çalışmanın Yöntemi ve Yapısı

Bu araştırma, saha gözlemleri ve trafik izleme sistemlerinden elde edilen verilere dayanmaktadır. Verilerin doğru şekilde toplanması kadar, analizlerin sorunlara odaklı ve çözüm üretici olması da bu çalışmanın önemli bir hedefidir. Pandemi sonrası dönemde artan araç yoğunluğunu ve çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla sürdürülebilir trafik yönetimi çözümleri geliştirilmesi, çalışmanın temel odak noktalarından biridir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Pandemi Dönemi ve Şehir İçi Trafik Dinamikleri

Pandemi dönemi, trafik yoğunluğu ve akışında küresel ölçekte büyük değişikliklere yol açmıştır. Antalya'nın ana arterlerinde yapılan gözlemler, özellikle kısıtlama günlerinde trafik yoğunluğunun belirgin biçimde azaldığını ortaya koymaktadır. Buna karşın, kısıtlama olmayan günlerde araç sayıları pandemi öncesine yakın seviyelere çıkmıştır. Bu durum, sürücülerin toplu taşımadan kaçınarak bireysel araç kullanımına yöneldiğini göstermektedir [4].

Benzer şekilde, Çin'in Zhejiang eyaletinde trafik hacmi pandemi sırasında %95,5 oranında düşmüş, kısıtlamaların gevşetilmesiyle birlikte trafik hacmi kademeli olarak toparlanmaya başlamıştır [5]. Ancak, bireysel araç kullanımı artış göstermiştir. Portekiz'de otoyol trafiği pandemi döneminde %80 oranında azalmış, bu düşüş özellikle hafif araçlarda belirgin olmuştur. Ancak ağır ticari araç trafiği lojistik gereksinimler nedeniyle daha az etkilenmiştir [6].

Pandemi sürecinde Türkiye genelinde günlük seyahat davranışları ve trafik yoğunluğu büyük değişiklikler göstermiştir. Bu süreçte insanların şehir içi hareketliliği azalmış, zorunlu olmayan seyahatler ertelenmiş ve bireyler toplu taşıma yerine özel araçlarını tercih etmiştir [7]. Kısıtlama dönemlerinde trafik yoğunluğunun azalmasıyla birlikte toplu taşımanın kullanımı da ciddi şekilde düşmüş, bireysel araç sahipliği artmıştır. Bu eğilim, yalnızca Türkiye ile sınırlı kalmamış, Japonya, Hindistan ve ABD gibi farklı bölgelerde de gözlemlenmiştir. Örneğin, Japonya'nın Hokkaido bölgesinde pandemi döneminde trafik hacmi %65 oranında azalırken [8], Hindistan'daki Nagpur-Jabalpur otoyolunda trafik yoğunluğu Nisan 2020'de en düşük seviyelere gerilemiş, Haziran 2020 itibarıyla kademeli olarak artış göstermiştir [9].

Hafta sonları ve akşam saatlerinde uygulanan kısıtlamalarla birlikte araç yoğunluğu, kısıtlama olmayan günlere kıyasla oldukça düşük seviyelerde seyretmiştir. Ancak Mart ayındaki kısmi normalleşme döneminde, cumartesi kısıtlamalarının kaldırılması ile birlikte araç yoğunluğunda yeniden artış gözlenmiştir [4].

2.2. Bireysel Araç Kullanımı ve Toplu Taşıma Tercihleri

Pandemi döneminde küresel ölçekte seyahat talepleri ve toplu taşıma kullanımı azalmış, bireysel araç kullanımı ise yaygınlaşmıştır [10]. Örneğin, Portekiz'deki otoyollarda trafik

seviyesi %50 oranında düşmüş, ancak lojistik gereksinimlerle ağır ticari araçların trafiği daha az etkilenmiştir [6]. Yunnan Eyaleti'nde yapılan bir çalışmada, kamyon trafiğinin bireysel araçlara kıyasla daha hızlı toparlandığı görülmüştür [11].

Pandemi süresince bireylerin ulaşım tercihleri üzerinde önemli değişimler gözlemlenmiştir. Çin'de şehirlerarası seyahatlerin %75 oranında azaldığı, kamyon taşımacılığının ise ekonomik faaliyetlerin toparlanmasıyla daha hızlı bir şekilde normal seviyelerine döndüğü kaydedilmiştir [12]. Yunnan Eyaleti'nde, özellikle yüksek ekonomik gelişmişliğe sahip bölgelerde trafik azalışının daha belirgin olduğu, düşük gelişmişlik seviyesindeki bölgelerde ise bu düşüşün daha sınırlı kaldığı tespit edilmiştir [11].

Pandemi sonrası dönemde, şehirlerin trafik yönetiminde yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Ara toplu taşıma ve mikromobilité araçlarının şehir içi ulaşım entegre edilmesi, toplu taşıma kullanımını teşvik etmek ve bireysel araç bağımlılığını azaltmak için etkili bir strateji olarak öne çıkmaktadır [13]. Ayrıca, çevresel sürdürülebilirliği desteklemek amacıyla yeşil dalga sistemleri ve adaptif trafik kontrol uygulamaları, karbon emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynamaktadır [10].

Pandemi, bireysel araç kullanımındaki artış nedeniyle sinyalizasyon kavşaklarının dinamik yönetim gerekliliğini artırmıştır. Özellikle, Kaliforniya ve Portekiz'de yapılan çalışmalar, kısıtlama günlerinde trafik yoğunluğunun azalmasına rağmen trafik yönetimi stratejilerinin bu dönemde dahi önemini koruduğunu göstermiştir [6, 14]. Türkiye'de ise İstanbul ve Ankara gibi büyük şehirlerde toplu taşıma kullanımındaki azalma, bireysel araç trafiğini artırmış ve şehir içi trafiğin yeniden düzenlenmesi gerektiğini ortaya koymuştur [1, 15].

Pandemi sonrası dönemde bireysel araç kullanımındaki artış, trafik yoğunluğunun yeniden yükselmesine katkıda bulunmuştur. Çalışmalar, ara toplu taşımanın desteklenmesinin trafik yoğunluğunu azaltmak ve tıkanıklıkları önlemek için etkili bir çözüm sunduğunu göstermektedir [13]. Örneğin, Samsun Bulvarı üzerinde yapılan çalışmalarda, beş büyük kavşakta trafik yoğunluğunun analiz edilmesiyle sıkışıklıkları azaltmaya yönelik çözüm önerileri geliştirilmiştir [16].

Toplu taşıma kullanımının azalması, bireysel araç sahipliğini artırırken trafik yoğunluğunun farklı dönemlerde dalgalanmasına yol açmıştır. Örneğin, Ankara ve Mersin'de toplu taşıma araçlarına binen yolcu sayısında belirgin düşüşler yaşanmış, bu durum özellikle hafta sonları uygulanan sokağa çıkma yasaklarının etkisiyle daha da artmıştır [17]. Benzer şekilde, İstanbul ve Ankara'da toplu taşıma talebi %45 oranında azalırken, bireysel araç kullanımı artmıştır [1].

Pandemi süresince işe gidip gelme hareketliliğinin azalması, trafik yoğunluğunu belirgin şekilde etkilemiştir. Özellikle kapanma dönemlerinde özel araç kullanımının artması, normalleşme süreçlerinde trafik yoğunluğunun yeniden yükselmesine neden olmuştur. İstanbul'da işe gidiş mesafesi ile trafik yoğunluğu arasında doğrudan bir ilişki gözlemlenmiş ve bireysel araç kullanımındaki artışın bu yoğunluğu artırdığı tespit edilmiştir [15].

Trafik yoğunluğunun azalmasıyla birlikte çevreci ulaşım araçlarına, örneğin yürüme, bisiklet ve e-scooter kullanımına olan ilginin artması, şehir içi yoğunluğun azalmasına katkıda bulunmuştur. Bu değişim, sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin önemini daha fazla ön plana çıkarmıştır [7]. Pandemi sürecinde iş ve sosyal etkinliklere yönelik hareketliliğin azalması, şehir içi ulaşım akışında iyileşmelere ve kaza oranlarında düşüşlere yol açmıştır [10]

Pandemi sürecinde toplu taşıma kullanımının azalmasıyla birlikte bireysel araç sahipliğinde belirgin bir artış yaşanmıştır. Bu artış, toplu taşıma tercihinde yaşanan büyük düşüşlerle ilişkilendirilmiştir. Toplu taşıma araçlarının riskli algılanması nedeniyle bireyler özel araç kullanımına yönelmiş, bu durum kentsel trafik yoğunluğunu artırmıştır [4, 13].

Pandemi kısıtlamalarının kaldırılmasıyla birlikte trafik hacmi kademeli olarak toparlanmaya başlamıştır. Ancak bu süreçte trafik yoğunluğunun normale dönmesi, sosyal ve ekonomik faaliyetlerin kısıtlanmasından dolayı daha uzun bir zaman almıştır. Örneğin, Çin'de şehirlerarası seyahatlerin %75 oranında azaldığı pandemi sürecinde, toplu taşıma sistemleri yerini bireysel araç kullanımına bırakmıştır. Ticari taşımacılık ise ekonomik toparlanmayla birlikte pandemi öncesi seviyelerine ulaşmıştır [11]

Kısıtlamaların etkisi, yalnızca bireysel araç kullanıcılarını değil, toplu taşıma sistemlerini de doğrudan etkilemiştir. Örneğin, Shaanxi Eyaleti'nde özel araçların kullanımına sağlık acil durumları nedeniyle geçici süreyle tamamen ara verilmiş, yalnızca sağlık ekipmanları taşıyan ticari araçların trafiğe çıkmasına izin verilmiştir. Kısıtlamaların gevşetilmesiyle birlikte özel araç kullanımında kademeli bir toparlanma yaşanmış ancak trafik yoğunluğu pandemi öncesi seviyelerine tam olarak ulaşamamıştır [18].

Pandemi, bireylerin toplu taşıma alışkanlıklarını ve genel ulaşım tercihlerini önemli ölçüde değiştirmiştir. Toplu taşımanın riskli bulunması, bireysel araç sahipliği ve kullanımını artırırken, sürdürülebilir ulaşım modlarının (yaya, bisiklet ve mikromobilité araçları) teşvik edilmesi önemli bir çözüm olarak öne çıkmıştır. Ancak bu süreç, şehir içi trafik yoğunluğunun yeniden değerlendirilmesi ve toplu taşımanın cazibesini artıracak politikaların geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir [10, 19]

Pandemi sonrası trafik yoğunluğu, kısıtlama dönemlerindeki düşüşlere rağmen eski seviyelerine dönme eğilimi göstermiştir. Ancak bu süreç, trafik kontrol sistemlerinin daha etkili

hale getirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Özellikle, yoğun saatlerdeki trafik hacmini yönetmek için kavşakların dinamik sinyalizasyon sistemleriyle desteklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır [18, 20]

Pandemi, trafik yoğunluğunun dinamiklerini küresel ölçekte yeniden şekillendirmiştir. Trafik hacmindeki azalmalar, bireysel araç sahipliğindeki artış ve toplu taşıma kullanımındaki düşüş, kentsel trafik yönetiminin daha esnek ve dinamik sistemlerle yeniden yapılandırılmasını gerekli hale getirmiştir. Özellikle yeşil dalga uygulamaları ve akıllı sinyalizasyon sistemleri, pandemi sonrası dönemde trafik akışını iyileştirme ve çevresel sürdürülebilirliği destekleme açısından kritik öneme sahiptir [10]

Pandemi, toplu taşıma kullanımındaki azalmalarla birlikte bireysel araç sahipliğini artırmıştır. Örneğin, Ankara ve Mersin’de 2018-2020 yılları arasında toplu taşıma biniş sayılarında ciddi düşüşler kaydedilmiş, kısıtlamalar döneminde bu azalma daha belirgin hale gelmiştir [17]. Benzer şekilde, İstanbul’da toplu taşıma kullanımı %45’ten %31’e düşerken bireysel araç kullanımı artmış, evden çalışma oranı yüksek olsa dahi bireysel ulaşım tercihlerindeki bu artış, şehir içi trafiği önemli ölçüde etkilemiştir [15]. Bu eğilim, Kaliforniya ve Çin gibi diğer bölgelerde de gözlemlenmiştir. Kaliforniya’da araç trafiği %22 oranında düşmesine rağmen, azalan yoğunluk nedeniyle sürücülerin hız yapma eğilimleri artmış ve bu durum kaza ciddiyetinde %25’lik bir artışa yol açmıştır [21].

Pandemi döneminde trafik yoğunluğu, özellikle İpekyolu gibi ana ulaşım arterlerinde artış göstermiş ve kent merkezlerinde tıkanıklıklara yol açmıştır. Sanayi bölgeleri, üniversite kampüsleri ve alışveriş merkezleri gibi yoğunluk yaratan bölgeler, trafik sıkışıklığının başlıca nedenleri arasında yer almıştır. Bu alanlardaki trafik akışını optimize etmek için yeni kavşak yönetim sistemlerinin uygulanması gerektiği vurgulanmaktadır [22].

2.3. Trafik Yoğunluğu Analizlerinde Kullanılan Yöntemler

Pandemi döneminde, sinyalize kavşaklar ve trafik akış dinamikleri önemli değişimler göstermiştir. Antalya’nın ana arterlerinde yapılan bir çalışmada, trafik akımlarındaki dalgalanmaların pandemi kısıtlamaları ile doğrudan ilişkili olduğu ve bu süreçte sinyalize kavşakların yeniden düzenlenmesi gerekliliğinin ortaya çıktığı belirtilmiştir [4]. Benzer şekilde, toplu taşıma kullanımının azalmasıyla birlikte sinyalize kavşaklarda trafik yükünün azaldığı, bireysel araç kullanımındaki artışın ise yeni düzenlemeler gerektirdiği vurgulanmaktadır [15, 17]

Samsun Bulvarı üzerindeki sinyalize kavşaklarda yapılan analizlerde, bu kavşakların geometrik yapıları, sinyal süreleri ve trafik yükleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada,

sinyal sürelerinin düzenlenmesi ile trafik akışının iyileştirilmesi ve kaza oranlarının azaltılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu bağlamda, daha güvenli bir trafik akışı sağlamak amacıyla kavşak tasarımlarında düzenlemeler yapılması önerilmektedir [16]

Kısıtlamalar sırasında elde edilen veriler, sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin test edilmesi için bir fırsat olarak değerlendirilmiştir. Çevreci ulaşım araçlarının kullanımındaki artış ve trafik yoğunluğundaki dalgalanmalar, gelecekte daha verimli trafik yönetim sistemlerinin geliştirilmesine yönelik önemli ipuçları sunmaktadır [7, 19]

Benzer şekilde, Japonya'nın Hokkaido bölgesinde pandemi süresince otoyollarda insan hareketliliği azalmış, ancak yaban hayatı çarpışma oranlarında beklenen düzeyde bir azalma yaşanmamıştır. Bu durum, trafik yoğunluğunun azaltılmasının çevresel etkiler üzerinde doğrudan bir sonuç yaratmadığını göstermiştir [8]. Ayrıca, hız artışlarının kırsal bölgelerde kaza yoğunluğu üzerinde karmaşık etkilere neden olduğu belirtilmiştir [20].

Pandemi döneminde ticari taşımacılığın daha sınırlı şekilde etkilenmesi, lojistik faaliyetlerin sürekliliği açısından kritik bir rol oynamıştır. Ticari araçların trafikteki varlığı pandemi boyunca devam ederken, bireysel araç trafiğinin dalgalanmalar göstermesi şehir içi ulaşım sistemlerinin kırılganlığını gözler önüne sermiştir. Çalışmalar, pandemi sonrası dönemde akıllı trafik yönetimi çözümlerinin ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyen politikaların daha fazla öncelik kazanması gerektiğini ortaya koymaktadır [6, 11].

Bunun yanı sıra, ara toplu taşımanın sinyalizasyon kavşaklarda esnek bir hareketlilik sağladığı belirtilmiştir. Ara toplu taşımanın sinyalizasyon sistemlerine entegrasyonu, araç trafiği yoğunluğunu azaltmak ve kentsel trafik yönetimini daha etkili hale getirmek açısından önemli bir strateji olarak görülmektedir [13].

Pandemi dönemi, sinyalizasyon sistemleri üzerindeki gereksinimlerin yeniden değerlendirilmesini de beraberinde getirmiştir. Trafik yoğunluğundaki azalma, sinyalizasyon kavşaklardaki yükü kısmen azaltmıştır. Ancak, bireysel araç kullanımındaki artışın getirdiği yeni trafik akımları, dinamik sinyalizasyon sistemlerinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Örneğin, İstanbul ve Ankara gibi büyükşehirlerde, pandemi süresince toplu taşıma kullanımındaki düşüşün sinyalizasyon kavşaklarda yoğunluk azalmasına neden olduğu, ancak bireysel araç trafiğinin bu durumun sürdürülebilirliğini zorlaştırdığı belirtilmiştir [1, 15]

Van, Konya ve Samsun gibi şehirlerde yapılan analizler, sinyalizasyon optimizasyonunun trafik akışını iyileştirme potansiyelini göstermektedir. Bu şehirlerde sinyalizasyon sürelerinin doğru şekilde düzenlenmesiyle kaza oranlarının düşürüldüğü ve bekleme sürelerinin azaltıldığı ifade edilmektedir. Ayrıca, pandemi sürecindeki düşük trafik hacmi nedeniyle bazı bölgelerde

sinyalizasyon sistemlerinin yükünün azaldığı görülse de, normalleşme süreciyle birlikte bu yükün yeniden arttığı gözlemlenmiştir [16, 23].

Dinamik sinyalizasyon sistemlerinin akıllı trafik yönetimi açısından önemi, özellikle pandemi gibi kriz dönemlerinde daha belirgin hale gelmiştir. Örneğin, trafik yoğunluğunun düştüğü kısıtlamalar sırasında araç hızlarının arttığı ve bu durumun kaza ciddiyetini yükselttiği belirtilmiştir. Akıllı sinyalizasyon sistemlerinin trafik hızlarındaki bu tür değişikliklere uyum sağlayarak kazaların önlenmesinde kritik bir role sahip olduğu ifade edilmektedir [21]

Bu süreçte, düşük trafik yoğunluğunun sinyalizasyon gerekliliklerini nasıl etkilediği farklı çalışmalarda ele alınmıştır. Örneğin, Japonya'nın Hokkaido bölgesinde trafik hacminin %65 oranında azaldığı bir dönemde, yaban hayatı kazalarının azalmadığı görülmüştür. Bu durum, sinyalizasyon ve diğer yapısal önlemlerin çevresel etkiler üzerindeki önemini ortaya koymaktadır [8]. Benzer şekilde, Çin'in farklı bölgelerinde trafik yoğunluğunun azalmasına rağmen sinyalizasyon sistemlerinin dinamik yönetim gerekliliği vurgulanmıştır. Pandemi kısıtlamalarının gevşetilmesiyle artan bireysel araç trafiği, sinyalizasyon kavşaklarının daha hızlı uyum sağlamasını zorunlu hale getirmiştir [9].

Portekiz'deki otoyollarda yapılan bir çalışmada, kısıtlamalar nedeniyle trafik hacminde %80 oranında düşüş yaşanmış ancak bu azalmanın sinyalizasyon üzerindeki etkileri hafif araçlar ve ağır ticari araçlar arasında farklılık göstermiştir. Ticari araçların lojistik gereksinimleri nedeniyle trafik yükünü sürdürmesi, sinyal sürelerinin esnek bir şekilde yeniden değerlendirilmesini gerektirmiştir [6].

Pandemi, trafik akış dinamiklerini ve sinyalizasyon sistemlerine olan gereksinimi küresel ölçekte yeniden şekillendirmiştir. Trafik yoğunluğundaki dalgalanmalar, bireysel araç sahipliğindeki artış ve toplu taşıma kullanımındaki azalma, sinyalizasyon kavşaklarının daha dinamik ve esnek sistemlerle yönetilmesini gerekli kılmıştır. Literatürdeki çalışmalar, yeşil dalga uygulamaları ve adaptif trafik kontrol sistemlerinin, pandemi sonrası dönemde trafik akışını iyileştirme ve çevresel sürdürülebilirliği destekleme açısından etkili çözümler sunduğunu göstermektedir [10]

Kısıtlamalar döneminde Kaliforniya'da trafik yoğunluğu %49 oranında düşerken, azalan yoğunluk nedeniyle sürücülerin hız yapma eğilimlerinin arttığı ve kazaların daha ölümcül hale geldiği belirtilmiştir. Bu durum, trafik yoğunluğu azalmış olsa dahi güvenli ulaşım politikalarının önemini ortaya koymaktadır [14].

Pandemi sürecinde, seyahat etme gerekliliğinin azalmasıyla trafik hacmi en düşük seviyelere gerilemiştir. Ancak, kısıtlamaların kaldırılmasının ardından yoğunluk, eski seviyelerine dönmekte yavaş kalmış, bu durum ekonomik ve sosyal faaliyetlerdeki kısıtlamaların

sürmesiyle ilişkilendirilmiştir [5]. Örneğin, Hindistan'daki bir çalışmada, trafik yoğunluğunun Nisan 2020'de en düşük seviyelere gerilediği ancak Aralık 2020'de pandemi öncesi seviyelere ulaştığı görülmüştür. Sanayi bölgelerine yakın olan Borkhedi gişesi, en fazla trafik hacmine sahip alan olarak öne çıkmıştır [9].

Trafik yoğunluğundaki azalmalar, çevresel etkilerle ilgili çalışmalarda da önemli bulgular ortaya koymuştur. Örneğin, Çin'de yoğunluk azalmasıyla hava kalitesinin iyileştiği belirtilirken, şehir içi yolların sürdürülebilir ulaşım sistemlerine entegrasyonunun önemine dikkat çekilmiştir [12]. Ancak, trafik yoğunluğundaki düşüşlerin yaban hayatı çarpışma oranlarını beklenen ölçüde azaltmadığı, bu durumun trafik yoğunluğunun yanı sıra ekolojik faktörlerle de ilişkili olduğu ifade edilmiştir [8].

Pandemi sürecinde işe ulaşım ve günlük hareketlilikte büyük değişiklikler gözlemlenmiştir. Çalışmalar, bireylerin sağlık endişeleri nedeniyle toplu taşımayı terk ederek bireysel araç kullanımına yöneldiğini ortaya koymuştur. Bu eğilim, yüksek maliyetlere rağmen sağlık önceliği nedeniyle pandemi boyunca kalıcı bir hale gelmiştir. Ayrıca, alternatif ulaşım yöntemleri, özellikle mikromobilité çözümleri, pandemi sonrası dönemde de popülerliğini korumuştur [7, 15]

Şehirlerarası ve kırsal alanlarda araç kullanımında gözlemlenen azalmalar, ticari taşımacılığı daha sınırlı ölçüde etkilemiştir. Ticari araçlar, lojistik gereksinimler nedeniyle pandemi süresince trafiğin önemli bir parçası olmaya devam etmiştir. Örneğin, hafif araçların trafiği %75 oranında azalırken, ağır ticari araç trafiğindeki düşüş %13 seviyesinde kalmıştır. Bu durum, lojistik faaliyetlerin pandemiden görece daha az etkilendiğini göstermektedir [6, 12].

Pandemi döneminde, bireysel araç kullanımındaki artış, şehir içi hava kirliliği üzerinde belirgin bir etkiye yol açmıştır. Örneğin, Milwaukee bölgesinde bireysel araç kullanımındaki artışla hava kirliliği arasında güçlü bir ilişki gözlemlenmiştir. Çalışmalar, kapanma sürecinin sona ermesiyle birlikte bireysel araç trafiğinin daha da yoğunlaştığını ve bu eğilimin hava kirliliği oranlarını yükselttiğini göstermiştir [24].

2.4. Makine Öğrenimi Yöntemlerinin Trafik Analizindeki Rolü

Pandemi dönemi, sinyalizasyon kavşaklarının daha esnek ve dinamik yönetim sistemlerine olan ihtiyacı artırmıştır. Özellikle büyükşehirlerde, toplu taşıma kullanımının azalması ve bireysel araç sayısındaki artış, sinyal sürelerinin yeniden düzenlenmesini gerekli kılmıştır. Akıllı şehir çözümleri ile dinamik sinyalizasyon sistemlerinin geliştirilmesi, trafik yoğunluğunun değişkenlik gösterdiği durumlara uyum sağlamayı kolaylaştırmıştır [5, 19].

Sinyalizasyon sistemleri, modern trafik yönetiminde kritik bir role sahiptir. Bu sistemler, trafik akışını optimize etmek, bekleme sürelerini azaltmak ve kazaları önlemek için önemli araçlar olarak kullanılmaktadır. İlk olarak 19. yüzyılda İngiltere’de kullanılmaya başlanan sinyalizasyon sistemleri, günümüzde sabit zamanlı ve trafik uyarmalı olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Türkiye’de genellikle sabit zamanlı sinyalizasyonların tercih edildiği görülmektedir. Bununla birlikte, literatürde Webster ve bulanık mantık yöntemlerinin kavşak sinyalizasyonunda uygulanarak trafik gecikme sürelerini önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir [25].

Antalya, Van ve Konya gibi farklı şehirlerde yapılan çalışmalar, trafik yoğunluğu ve sinyalizasyon sistemleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Antalya’nın Muratpaşa ilçesindeki kavşaklarda yapılan bir araştırma, artan nüfus yoğunluğunun trafik akışını olumsuz etkilediğini ve bu durumun kaza oranları ile bekleme sürelerinde artışa yol açtığını göstermektedir [23]. Van kentinde ise trafik sıkışıklığı ve kazaların çözümü için Dinamik Kavşak Kontrol Sistemleri önerilmiş, bu sistemlerin trafik akışına olumlu etkileri tartışılmıştır [22]. Konya’da gerçekleştirilen bir başka çalışmada, belirli kavşaklarda trafik sıkışıklığını azaltmak amacıyla Sidra Intersection yazılımının kullanılması önermiştir. Bu optimizasyon çalışmaları, trafik akışında gözle görülür iyileşmeler sağlamıştır [26].

Van’da, 42 sinyalize kavşağın bulunduğu ve bunların yönetiminde çeşitli problemler yaşandığı belirtilmektedir. Kavşakların bir kısmı Van Büyükşehir Belediyesi, diğer kısmı ise Karayolları 11. Bölge Müdürlüğü sorumluluğundadır. Sinyal sürelerinin düzenlenmesi ve akıllı yönetim sistemlerinin uygulanması ile daha verimli trafik yönetimi sağlanabileceği önerilmektedir [22]. Konya’daki sinyalizasyon sistemleri ise detaylı bir şekilde ele alınmış, Kule, Nalçacı–Sille ve Kabataş kavşakları için mevcut sinyal süreleri analiz edilmiştir. Sidra Intersection yazılımı ile Avustralya ve Amerikan yöntemlerine göre optimum devre süreleri hesaplanmış ve her iki yöntemin de gecikme sürelerini azaltmada başarılı olduğu, ancak Avustralya yönteminin daha etkili olduğu belirtilmiştir [26].

Van, Konya ve Balıkesir gibi farklı şehirlerde yapılan analizler, akıllı trafik yönetimi teknolojilerinin şehir içi kavşaklarda bekleme sürelerini ve kaza oranlarını düşürmede etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle Sidra Intersection gibi yazılımlar ve bulanık mantık algoritmaları, trafik akışını optimize etme potansiyeliyle öne çıkmaktadır [25, 26]. Ayrıca, pandemi sürecinde düşük trafik yoğunluğu, bazı kavşaklarda sinyalizasyon gereksinimlerini azaltmış olsa da, bu durumun geçici olduğu ve normalleşme sürecinde sinyalize kavşak yönetiminin daha karmaşık bir hale geldiği ifade edilmektedir.

Bu bağlamda, pandemi süreci boyunca Balıkesir'deki farklı kavşaklarda trafik yoğunluğu ve araç geçiş verilerinin karşılaştırmalı analizi, bireysel araç kullanımının artışıyla birlikte sanayi bölgelerindeki trafik yoğunluğunun dinamiklerini detaylı şekilde incelemek için önemli bir veri kaynağı sunmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

2019'un sonunda Çin'de başlayan COVID-19 pandemisi, 2020'nin ilk birkaç ayından itibaren dünyanın birçok yerinde kısıtlamalara ve düzen değişikliklerine yol açmıştır. Yetkililer, salgının başlangıcından itibaren pandeminin etkilerini azaltmak için önlem arayışı içerisine girmiş aynı zamanda sağlık altyapısıyla tedavi hizmetlerini sağlamaya çalışmışlardır. İnsanların sıklıkla etkileşimde bulunduğu ulaşım sistemleri, bu arayışlardan biridir. Pandemi sürecinde toplu taşıma ağlarında sistem yoğunluğunu azaltmak ve gerekli bireysel koruma alanını oluşturmak amacıyla uygulanan bazı kısıtlamalar ve kurallar da kritik öneme sahip olmuştur. Yapılan araştırmalarda, pandemi sırasında hükümetin sosyal alanlarda uyguladığı önlemler ve sınırlamalar, uzaktan öğrenme ve çalışma yöntemleri, kentsel hareketlilikte önemli bir azalmaya neden olmuştur. [27] Pandemi, her alanda olduğu gibi ulaşım hizmetlerinde de önemli değişikliklere neden olmuştur. Ülkemizde pandeminin başlangıcından bu yana, pandeminin ilerlemesine ve etkilenen nüfus sayısındaki artışa bağlı olarak belirli zamanlarda sokağa çıkma kısıtlamaları uygulanmıştır. Bu kısıtlamalar sonucunda ulaşım ile ilgili birçok alanda değişiklikler görülmeye başlanmıştır. Bunlar arasında toplu taşıma sıklığı, şehir içi ve şehirlerarası toplu taşıma hizmetlerinden yararlanan kişi sayısı, trafikteki araç sayısı vb. yer almaktadır. Yetkililer, önlemler ve sınırlamaların yanı sıra, salgınla mücadelede etkili yollardan biri olan pandemi boyunca sokağa çıkma yasakları uygulamışlardır. Bu bağlamda, Belçika, Fransa, İtalya, İngiltere, Almanya ve diğer birçok Avrupa ülkesi, COVID-19 pandemisinin etkileri arttıkça katı düzenlemeler ve sokağa çıkma yasakları uygulamaya başlamışlardır [28]. Ancak uygulanan yasaklar pandemiye yavaşlatmaya yardımcı olsa da insanlarda ekonomik sıkıntılar ve psikolojik sorunlara da neden olmuştur [29]. Pandeminin araç kullanımını ve toplu taşımayı nasıl etkilediğini incelemek için yapılan bir araştırmaya göre, insanlar pandeminin psikolojik etkileri nedeniyle kendi arabalarını kullanmaya başlamış ve toplu taşımayı tercih etme eğilimlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Türkiye'de yapılan araştırmalara göre toplu taşımaya olan istek de önemli ölçüde azalmıştır. [30]. Pandeminin 1,5 yıllık süresi boyunca ulaşım sektörünün ve toplu taşımanın

büyük zarar gördüğü görülmektedir. Ankara ve İstanbul dâhil olmak üzere Türkiye'nin en büyük şehirlerinde toplu taşıma ile taşınan kişi sayısı neredeyse %45 oranında düşüş yaşanmıştır. Vakaların en kötü olduğu zamanlarda, hükümet girişimleri ve bireysel güvenlik önlemleri sayesinde toplu taşımayı tercih eden yolcu sayısı %80'den fazla azalmıştır. 2020 Nisan ile 2021 Nisan arasında, hükümetin aldığı önlemlerin gevşetilmesine rağmen, bireylerin kişisel tedbirler almaya devam ettikleri ve talebin pandemi öncesine göre %20 oranında azalmaya devam ettiği gözlemlenmiştir. Hükümetin aldığı tedbirlerin yanı sıra, ulaşım sektörüne dair algıların pandemi öncesi döneme göre farklılaştığı belirlenmiştir. Hem şehir içi hem de şehirlerarası ulaşımında seyahat talebinin azaldığı ve toplu taşıma araçlarına karşı bir güvensizlik oluştuğu ortaya çıkmaktadır. Zorunlu olmadıkça toplu taşıma araçları yerine özel araçları tercih ettikleri anlaşılmaktadır [1].

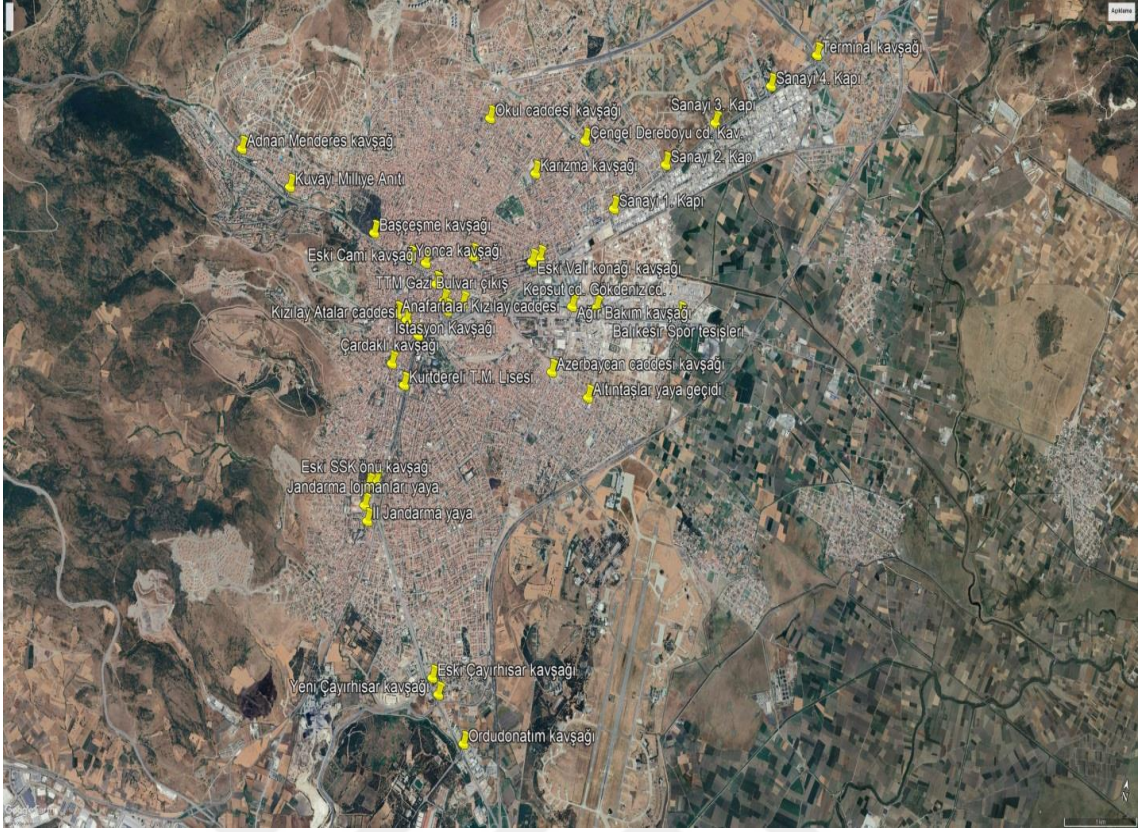
Bu çalışmada, Balıkesir ili özelinde pandemi dönemi (2021-2022) ve pandemi sonrası normalleşme dönemi (2023-2024) arasındaki trafik yoğunluğu ve araç kullanım alışkanlıklarındaki değişiklikler analiz edilmiştir. Araştırma, 19 farklı kavşakta gerçekleştirilen trafik yoğunluğu ölçümleri ve bu verilere dayalı doğrusal regresyon analizleri ile desteklenmiştir. Ayrıca, geçmiş trafik verilerini değerlendirerek trafik eğilimlerini tahmin etmek için RO algoritması gibi makine öğrenimi yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler, özellikle pandemi sürecinin yarattığı dalgalanmaları ve pandemi sonrası düzenli trafik akışına geçiş sürecini daha ayrıntılı bir şekilde anlamayı amaçlamaktadır. Çalışma, kavşak bazlı farklılıkları belirleyerek gelecekteki trafik yönetimi ve sürdürülebilir ulaşım politikalarına yönelik önemli veriler sunmayı hedeflemektedir.

Tez çalışmasında, pilot bölge olarak belirlenen Balıkesir il merkezindeki en kalabalık iki ilçe olan Karesi ve Altıeylül 'deki sinyalize kavşaklar incelenmiştir. Bu ilçelerde yer alan toplam 38 sinyalize kavşaktan, sayım verilerine sahip olan 19 tanesi seçilmiştir. Araştırma kapsamında Eylül 2021 – Eylül 2024 dönemindeki ilgili kavşaklardaki araç geçiş verileri kullanılmıştır.

Tablo 1. Kavşak Koordinatları.

No	Kavşak Adı	Enlem	Boylam
1	Sanayi 2. Kapı	39.666944	27.918056
2	Sanayi 1. Kapı	39.661389	27.911111
3	Çengel Dereboyu Cad.	39.666944	27.904722
4	Karizma	39.662500	27.897778
5	Okul caddesi	39.666389	27.889167
6	Eski Vali konağı	39.654167	27.899722
7	TTM Gazi Bulvarı çıkış	39.648333	27.890000
8	İstasyon	39.647222	27.887778
9	Hükümet	39.644167	27.883889
10	Çardaklı	39.640833	27.880556
11	Eski SSK altı Yeni İzmir y.k	39.629444	27.881389
12	Eski Çayırhisar	39.612778	27.895556
13	TTM Gazi Bulvarı çıkış	39.648056	27.886944
14	Kurtdereli T.M. Lisesi	39.649444	27.885278
15	Eski Cami	39.651111	27.883056
16	Yonca	39.651111	27.880556
17	Başçeşme	39.652500	27.874167
18	Azerbaycan Cad.	39.644444	27.905833
19	Ağır Bakım	39.651111	27.907222

Tablo 1, Balıkesir ili sınırlarında çalışmaya dahil edilen 19 farklı kavşağın coğrafi konum bilgilerini içermektedir. Tablo, her bir kavşak için isim, enlem ve boylam koordinatlarını sunarak analiz edilen bölgeleri göstermektedir. Bu veriler, kavşak bazlı trafik yoğunluğu analizleri ve modelleme çalışmaları için temel bilgi kaynağı olarak kullanılmıştır.

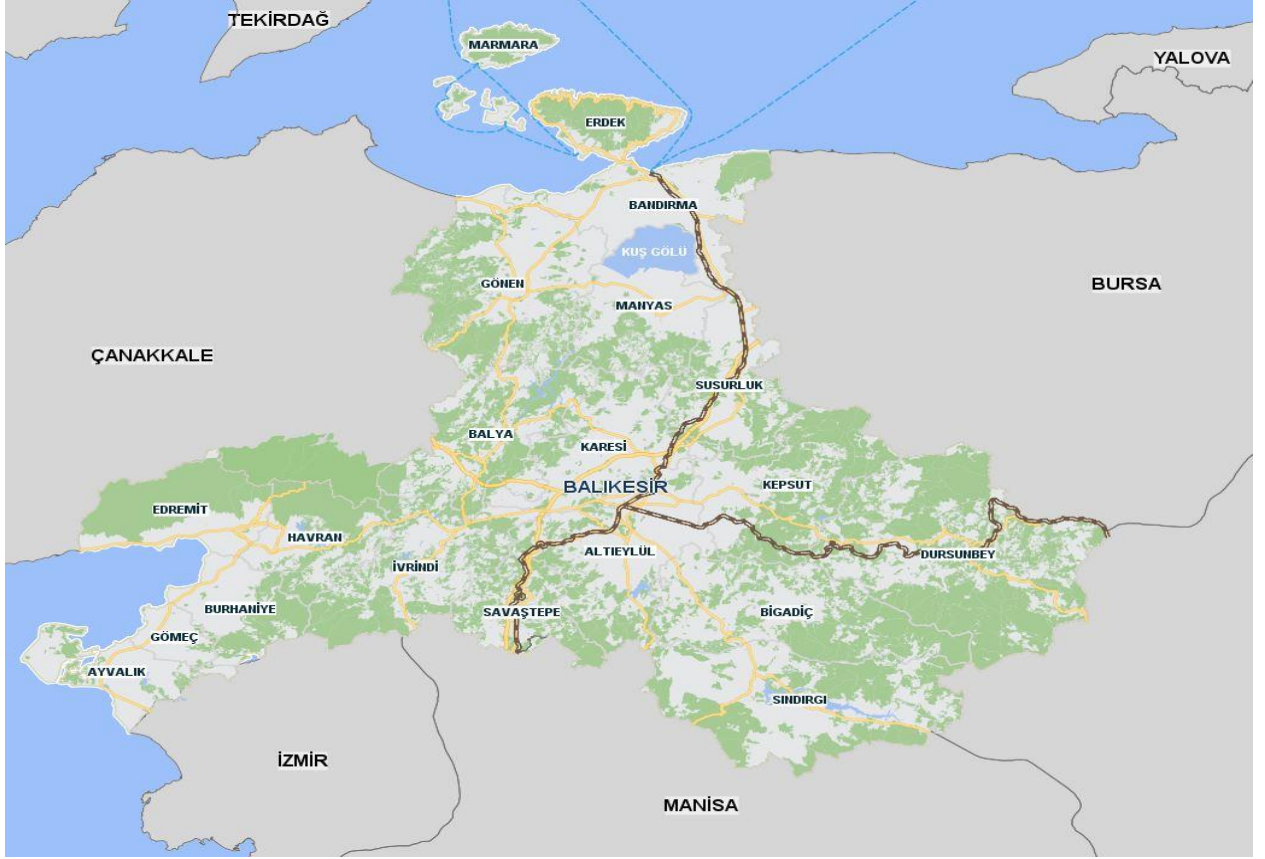


Şekil 1. Balıkesir Tüm Sinyalize Kavşaklar



Şekil 2 Akıllı kavşaklar (Sayım verisi olanlar)

3.1. Araştırma Bölgesi: Balıkesir İli



Şekil 3 Balıkesir İli [32]

Balıkesir, Türkiye'nin önemli tarım, ticaret ve sanayi şehirlerinden biri olup, göç almasıyla birlikte nüfusu her geçen gün artmaktadır. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) 2023 yılı sonuçlarına göre Balıkesir ilinin nüfusu 1.273.519'a ulaşmıştır. Bu rakam ülke nüfusunun yüzde 1,49'unu oluşturmaktadır. İlçeler arasında Karesi 188.846 nüfusu ile en kalabalık ilçe olurken, Marmara ilçesi 11.454 nüfusu ile en az kalabalık olan ilçe olmuştur. Türkiye'nin toplam nüfusu 85.372.377, nüfus yoğunluğu ise 111 kişi/ km² 'dir. Yüzölçümü 14.272 kilometrekare olan Balıkesir ilinde kilometrekareye 89 insan düşmektedir. Balıkesir nüfus yoğunluğu 89 kişi/km² ile Türkiye ortalamasının altındadır. [31] Balıkesir nüfusu yıllara yaygın olarak artan bir seyir izlese de nüfus artış oranı 2015, 2016 ve 2017 yıllarında Türkiye ortalama - sınırın altında bulunmaktadır. 2014, 2018, 2019 ve 2020 yıllarında ise nüfus artış hızı Türkiye ortalamasının üzerindedir. 2021 ve 2022 yıllarında nüfus artış hızı Türkiye ortalamasının altında kalsa da 2023 yılının da nüfus artış hızı Türkiye ortalamasının üzerinde çıkmıştır.

Sıra	İlçe	İlçe Nüfusu	Erkek Nüfusu	Kadın Nüfusu
1	Karesi	188.846	91.025	97.821
2	Altıeylül	185.458	94.119	91.339
3	Edremit	171.700	83.848	87.852
4	Bandırma	166.836	84.232	82.604
5	Gönen	75.572	37.688	37.884
6	Ayvalık	74.643	36.428	38.215
7	Burhaniye	65.790	33.070	32.720
8	Bigadiç	49.177	25.440	23.737
9	Susurluk	38.025	18.770	19.255
10	Dursunbey	33.621	16.654	16.967
11	Sındırgı	32.879	15.930	16.949
12	Erdek	32.268	16.220	16.048
13	İvrindi	31.626	15.844	15.782
14	Havran	28.287	14.090	14.197
15	Kepsut	21.804	12.076	9.728
16	Manyas	18.190	8.951	9.239
17	Gömeç	17.556	8.812	8.744
18	Savaştepe	16.787	8.434	8.353
19	Balya	13.000	6.547	6.453
20	Marmara	11.454	6.081	5.373
Toplam	Balıkesir	1.273.519	634.259	639.260

Tablo 2 Balıkesir Nüfus Sayıları

Bu hızlı nüfus artışı, şehir içi ulaşım talebini de önemli ölçüde artırmıştır. Balıkesir'in şehir içi ulaşımında talep büyük ölçüde özel taşıtlar ve toplu taşıma araçları ile karşılanmaktadır. Şehrin ana arterlerinde yoğun bir özel taşıt ve toplu taşıma trafiği görülmekte, buna ek olarak, sanayi bölgelerine yakın alanlarda ağır taşıt trafiği de dikkat çekmektedir. Bu durum özellikle organize sanayi bölgeleri çevresinde trafik akışını önemli ölçüde etkilemektedir [31]

Yıl	Nüfus	Nüfus Artış Hızı (Binde) Balıkesir	Nüfus Artış Hızı (Binde) Türkiye
2014	1189057	22.6	13.2
2015	1186688	-2	13.4
2016	1196176	8	13.5
2017	1204824	7.2	12.4
2018	1226575	18.1	14.7
2019	1228620	17	13.9
2020	1240285	9.5	5.5
2021	1250610	8.3	12.7
2022	1257590	5.6	7.1
2023	1273519	12.7	1.1

Tablo 3 Balıkesir Nüfus Artış Hızı

Balıkesir şehir içi ulaşım ağında yaygın olarak eş düzey kavşaklar kullanılmaktadır. Bununla birlikte, çevre yolu üzerinde transit trafiğin rahatlatılması ve gecikmelerin azaltılması amacıyla farklı seviyeli kavşaklar da inşa edilmiştir. Şehirde 2020 yılı verilerine göre 1000 kişi başına düşen otomobil sahipliği oranı 152 olarak kaydedilmiş ve bu oran ülke genelinde ilk 10 şehir arasında yer almıştır [33].

Gösterge Adı	Türkiye	Balıkesir
Toplam Yol Ağı (km)*	68.654	1.338,7
Otomobil Sayısı	29.987.701	613.784
Trafik Kaza Sayısı	1.314.136	18.307
Kazalarda Ölü Sayısı	6.504	136
İl ve Devlet Yolu (km)	64.297,5	1.235,5

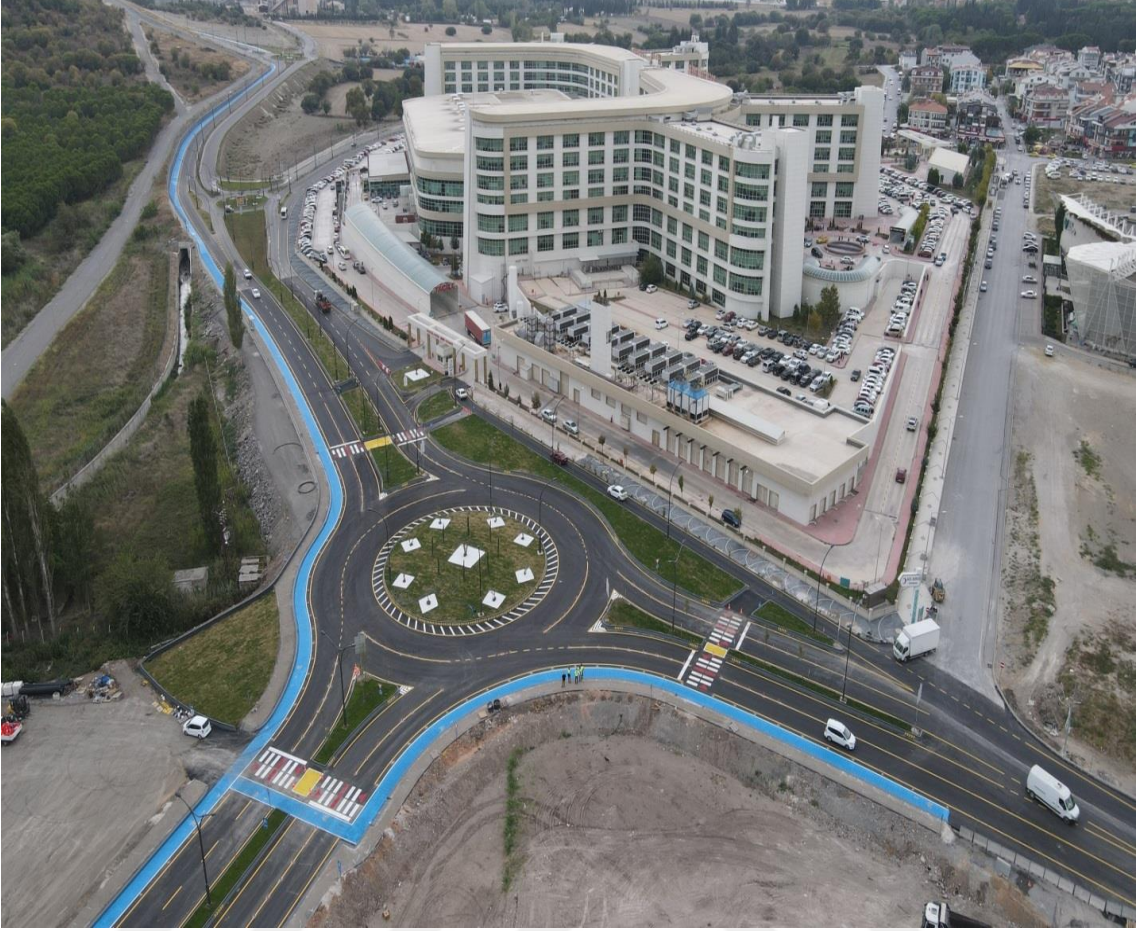
Tablo 4 Balıkesir Trafik Bilgisi

Balıkesir’de şehir içi kısa mesafelerde (0-3 km) nüfusun %47’si ulaşımını yaya olarak sağlamaktadır. 3 km’nin üzerindeki mesafelerde ise özel araç ve toplu taşıma araçları baskın ulaşım türleridir. Orta mesafeli yolculukların (5-10 km) %63’ü toplu taşıma ile gerçekleşmektedir [34] Şehirde hizmet veren kavşaklar içinde çoğunlukla ışıklı kavşaklar bulunmakla birlikte, yeni gelişim alanlarında modern dönel kavşaklar da uygulanmaya başlanmıştır [35].

3.2. Veri Toplama Süreci ve Kullanılan Veriler

3.2.1.1.Kavşaklar ve İşlevleri

Kavşaklar, iki veya daha fazla yolun kesişim noktalarıdır ve trafik akışının en kritik olduğu bölgelerden biridir. Bu alanlar, trafik yoğunluğu ve taşıt-yaya etkileşimi açısından trafik yönetiminde stratejik bir rol oynar [16]. Karayollarında farklı yönlere hareket eden araç trafiği göz önüne alındığında, bu bölgelerde trafik kazalarının meydana gelme ihtimalinin yüksek olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bu nedenle, kavşaklarda oluşabilecek maddi ve manevi zararları en aza indirmek için, kavşak tasarımının doğru bir şekilde ve ilgili standartlara uygun olarak yapılması tasarımcı açısından büyük önem taşır. Kavşakların tasarım sürecinde güvenlik, kullanıcı konforu ve kapasite gibi unsurlar mutlaka dikkate alınmalıdır. Özetle, kavşaklar çevre koşullarına en iyi şekilde uyum sağlayacak, kaza riskini, araç gecikmelerini ve bakım-onarım maliyetlerini minimuma indirecek, aynı zamanda maksimum kapasiteyi sağlayacak şekilde planlanmalıdır.



Şekil 4 Hastane Kavşağı (Altıeylül,2023)

Kavşak yaklaşım kollarında herhangi bir engelin bulunması ya da görüş açısının yetersiz olması, hem kavşak kapasitesini hem de güvenliğini olumsuz etkileyebilecek durumlar arasında yer alır. Kavşak tasarımı sırasında, bu tür olumsuzlukların önüne geçmek için dikkat edilmesi gereken bazı temel noktalar vardır. Bu noktalar şu şekilde sıralanabilir:

- Sürücüleri yanıltabilecek karmaşık düzenlemelerden kaçınılmalıdır.
- Trafik akımlarının kesişme noktaları mümkün olduğunca azaltılmalıdır.
- Yaklaşma akımlarında güvenlik unsurları ön planda tutulmalıdır.
- Kavşaktan geçen ana trafik akımı, akım yönünden en az sapma gösterecek şekilde düzenlenmelidir.
- Homojen olmayan trafik akımları ayrıştırılmalıdır.
- Kesişme noktalarında sollama ve geçiş hareketlerini engelleyecek fiziki düzenlemeler yapılmalıdır.
- Kavşaktan geçiş hızları, tasarımın fiziki yapısıyla kontrol altına alınmalıdır.

- Farklı yönlerden gelen araçların hareketleri detaylı bir şekilde incelenmelidir.
- Kazaya yol açmayacak şekilde düzenlemeler tasarlanmalıdır.
- Tüm alternatif çözüm önerileri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmelidir [36].



Şekil 5. Rüzgâr Caddesi Kavşağı (Altıeylül,2023)

Kavşakların etkin yönetimi, hem güvenlik hem de operasyonel verimlilik açısından hayati öneme sahiptir. İyi tasarlanmış bir kavşak, trafik sıkışıklığını ve kaza oranlarını önemli ölçüde azaltabilir.

3.2.2. Kavşak Türleri

Kavşaklar, sahip oldukları çeşitli özelliklere göre farklı sınıflara ayrılabilir. Ancak, kavşak yaklaşım kollarının kesişme düzlemlerinin özellikleri dikkate alındığında, bu yapıların iki temel grupta sınıflandırıldığı görülür:

1. Eşdüzey kavşaklar (Hemzemin kavşaklar)
2. Farklı düzeyli kavşaklar

Farklı düzeyli kavşaklar, kavşak yaklaşımlarındaki taşıtların birbiriyle kesişmediği yapılar olarak öne çıkar. Bu özelliklerinden dolayı, trafik güvenliği açısından son derece yüksek bir performans sunarlar. Ancak, trafik güvenliğine sağladıkları bu avantajlara rağmen, yüksek yapım maliyetleri ve geniş alan gereksinimleri nedeniyle genellikle karar vericiler tarafından ilk tercih edilmemektedir [37]. Bu sebeple, genelde eşdüzey kavşaklar tercih edilmektedir; çünkü bu kavşak türü, farklı düzeyli kavşaklara kıyasla daha düşük yapım, bakım ve onarım maliyetlerine sahip olmakla birlikte, tasarım açısından da daha az karmaşıktır.

Eş düzey kavşaklar, farklı yönlerden gelen trafik akımlarının aynı düzlem üzerinde kesiştiği yapılar olarak tanımlanır. Bu tür kavşaklar, genellikle trafik yoğunluğunun çok yüksek olmadığı şehir içi veya şehirlerarası yol ağlarında tercih edilmektedir. Trafik hacminin düşük olduğu eş düzey kavşaklarda, trafik akışının kontrolü genellikle trafik işaretleri ve/veya levhalar yardımıyla sağlanır. Ancak, kavşak yaklaşımlarındaki trafik hacmi arttıkça, bu yöntemler trafik güvenliğini sağlamak için yetersiz kalabilir. Böyle durumlarda, kavşakta trafik güvenliğini artırmak amacıyla genellikle sinyalizasyon sistemleri kullanılmaktadır.

3.2.3. Eş Düzey Kavşaklar

Trafik akımlarının aynı düzlemde kesiştiği yapılar, eşdüzey (hemzemin) kavşaklar olarak adlandırılır. Bu kavşak türü, genellikle trafik hacminin düşük olduğu şehir içi ve şehir dışı yol ağlarında tercih edilmektedir. Eşdüzey kavşakların tasarımında, güvenlik, konfor ve kapasite gibi faktörlerin öncelikli olarak göz önünde bulundurulması gereklidir. Bunun yanı sıra, hemzemin kavşakların tasarımında dikkat edilmesi gereken diğer önemli noktalar şunlardır:

- Ekonomik faktörler
- Topografik koşullar
- Kavşağa giriş-çıkış yapan tüm araçların görüş mesafesi
- Estetik ve çevre ile uyumluluk
- Araçların minimum manevra ile kavşağı terk edebilmesi [37].



Şekil 6 Zeytinli Kavşağı (Akçay,2022)

Eşdüzey kavşaklardaki trafik akımını incelediğimizde, nüfus artışı, teknolojik ilerlemelerin yoğun kullanımı ve araç sayısındaki yükselişle birlikte kavşaklarda meydana gelen kaza sayısının da arttığı görülmektedir. Sinyalizasyonlu kavşakların sayısı genellikle sinyalizasyonsuz kavşaklardan daha azdır. Dolayısıyla, sinyalizasyonsuz kavşaklarda kaza riski daha yüksek olmaktadır. Bu tür kavşakların güvenliği, büyük ölçüde yolun geometrik özelliklerine bağlıdır. [25].

Eşdüzey kavşaklar aşağıdaki alt türlere ayrılabilir:

- Basit Kavşaklar: İki yolun kesiştiği, genellikle dört yolun kontrol edildiği ve trafik ışıkları veya dur işaretleri ile yönetilen temel kavşaklardır.
- T-Kavşaklar: Bir yolun diğer iki yoldan biriyle veya iki yolun bir yol ile birleştiği üç yönlü kesişim noktalarıdır. Trafik ışıkları, geçiş önceliği işaretleri veya dur işaretleri ile kontrol edilirler.
- Yuvarlak Kavşaklar (Dönel Kavşaklar): Trafiğin dairesel bir yol üzerinde aktığı ve giriş yapan araçların belirli bir sıraya göre yuvarlak yola katıldığı kavşak türüdür. Trafik akışını daha akıcı hale getirir ve kaza riskini azaltır.
- Lüoks Kavşaklar (Box Junctions): Kavşakların ortasında oluşturulan ve trafiğin yalnızca işaretlere uygun olarak hareket etmesine izin veren alanlardır. Araçların kavşaktan geçmeden önce durması gerektiği durumlarda kullanılır.
- Kör Geçitler (Zebra Crossing): Yaya geçiş noktalarında kullanılan ve yayaların güvenli bir şekilde karşıya geçmesini sağlayan işaretlenmiş alanlardır. Genellikle yan yaya geçitleri olarak bilinir ve trafik ışıkları ile desteklenebilir.

Eşdüzey kavşaklar, trafik yoğunluğu düşük olan bölgelerde yaygın olarak tercih edilirken, yoğun trafiğin bulunduğu alanlarda daha karmaşık yönetim sistemleri gerektirebilirler.

3.2.4. Farklı Seviyeli Kavşaklar

Kavşaklarda gecikmeleri önlemenin en etkili yolu, kavşağı farklı düzeyli (katlı) bir yapıda tasarlamaktır. Ancak, katlı kavşakların bazı dezavantajları da bulunmaktadır: Bunlar arasında yüksek yatırım maliyetleri, şehir içi ve özellikle merkez bölgelerde sınırlı alan kullanımı, gereksiz hız artışlarına yol açabilme potansiyeli sayılabilir. Ayrıca, aynı güzergâh üzerindeki tüm kavşakların uyumlu bir tasarıma sahip olması gerektiği de unutulmamalıdır.



Şekil 7 Çayırhisar Katlı Kavşak Tasarımı (Altıeylül)

Trafik yoğunluğuna bağlı olarak, farklı düzeyli bir kavşağa ne zaman ihtiyaç duyulacağına dair kesin bir kriter belirlemek zor olsa da, aşağıdaki durumlarda bu tür bir kavşak yapımı hem zorunlu hem de uygundur:

- Otoyol gibi giriş kontrollü yüksek hız yollarında
- Eşdüzey kavşaklarda alınan önlemlere rağmen trafik sıkışıklığının çözülemediği durumlarda
- Topoğrafik özellikler nedeniyle eşdüzey kavşak yapımının daha zor ve maliyetli olduğu yerlerde [37]

Farklı düzeyli kavşaklar aşağıdaki alt türlere ayrılabilir:

- Üstgeçitler (Overpasses): Bir yolun diğer yolun üzerinden geçmesini sağlayan yapılardır. Bu sayede iki yol arasındaki trafik birbirini kesmeden devam edebilir.
- Altgeçitler (Underpasses): Bir yolun diğer yolun altından geçmesini sağlayan tünel yapılarıdır. Üstgeçitlere benzer şekilde, trafik akışını kesintisiz hale getirir.

- Kule Kavşaklar: Üstgeçitler ve altgeçitlerin birleştiği, genellikle üç veya daha fazla yolun farklı seviyelerde kesiştiği karmaşık kavşak türleridir. Büyük şehirlerde yoğun trafikli yollar arasında tercih edilir.
- Dönel Kavşaklar ile Kombinasyonlar: Bazı farklı düzeyli kavşaklar, yuvarlak kavşaklarla birleşerek daha karmaşık trafik akışlarını yönetebilir. Bu tür kombinasyonlar, özellikle büyük ve yoğun trafiğe sahip alanlarda kullanılır.

Farklı düzeyli kavşaklar, özellikle yüksek trafik yoğunluğunun olduğu bölgelerde trafik sıkışıklığını azaltmak ve kaza riskini minimize etmek için tercih edilir. Ancak, inşaat maliyetlerinin yüksek olması ve alan gereksinimleri nedeniyle her bölgede uygulanması mümkün olmayabilir.

Kavşak türlerinin seçimi ve tasarımı, bölgenin trafik yoğunluğu, yol yapısı, çevresel faktörler ve güvenlik gereksinimleri gibi çeşitli unsurlara bağlı olarak belirlenir. Eşdüzey kavşaklar, genellikle daha düşük trafik yoğunluğuna sahip bölgelerde tercih edilirken, farklı düzeyli kavşaklar yüksek trafik akışının olduğu alanlarda kullanılmaktadır. Etkili bir kavşak tasarımı, trafik akışını optimize ederken aynı zamanda yayaların ve araçların güvenliğini en üst düzeye çıkarır.

Kavşak türleri, trafik yönetiminin en önemli unsurlarından biridir ve doğru kavşak türünün seçimi, şehir içi ulaşımın verimliliğini ve güvenliğini doğrudan etkiler. Eşdüzey kavşaklar ve farklı düzeyli kavşaklar arasında yapılan seçim, bölgenin ihtiyaçlarına ve mevcut trafik koşullarına göre yapılmalıdır. İyi tasarlanmış kavşaklar, hem trafik akışını iyileştirir hem de kazaları önleyerek ulaşım güvenliğini artırır.

3.3. Sinyalize Kavşaklarda Trafik Yoğunluğu Ölçümü

Sinyal kontrollü (sinyalize) kavşaklarda trafik akımları, ışıklı trafik işaretleri aracılığıyla yönetilmektedir. Kavşağa yaklaşan araçlar, trafik ışıklarının rengine bağlı olarak durur ya da hareket eder. Bu tür kavşaklar, trafik akışını düzenleyerek hem kapasiteyi artırdığı hem de güvenliği sağladığı için genellikle yoğun trafik yüküne sahip kavşaklarda tercih edilmektedir. Sinyalize kavşaklar, sabit zamanlı veya trafik uyarlamalı sistemler şeklinde uygulanabilir.

Trafik sinyalleri, trafik akışını kesintiye uğratarak ve periyodik gecikmelere yol açarak kesintili bir trafik akımı oluşturur. Sinyal devresi, belirli hareketlerin yalnızca belli zaman dilimlerinde gerçekleşmesine izin verdiği için sinyal süresi, kavşağın kapasitesini doğrudan

etkileyen bir faktördür. Bunun sonucunda, trafik akışının düzeni kullanılan sinyalizasyon türüne göre şekillenmektedir [38]. Trafik akışının optimizasyonu, yalnızca taşıtların değil aynı zamanda yayaların da güvenliği açısından kritik bir rol oynar.

Sinyalize kavşaklar, taşıtlar ve yayalar arasındaki çakışmaları en aza indirgeyerek trafik güvenliğini artırır ve trafiğin düzenli bir şekilde akmasını sağlar [39]. Bununla birlikte, modern kavşak sinyalizasyon sistemleri, yalnızca temel trafik düzenlemesi sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda yoğun trafik senaryolarında araç gecikmelerini azaltma ve trafik akışını optimize etme amacı taşır. Günümüzde bu sistemler, ileri algoritmalar ve sensör tabanlı teknolojilerden yararlanarak trafik yönetiminde yeni bir standart belirlemiştir [40]

Otonom araçların sinyalize kavşaklara entegrasyonu, trafik yönetiminde devrim yaratabilecek bir potansiyele sahiptir. Otonom araçlar, kavşaklarda diğer araçlarla iletişim kurarak çakışmaları en aza indirebilir ve trafik akışını daha akıcı hale getirebilir. Ayrıca, bağlantılı araç teknolojileri sayesinde kavşaklardaki trafik yoğunluğu, araçların senkronize bir şekilde hareket etmesiyle azaltılabilir. Bu sistemler, kavşaklardaki kazaları minimize ederek hem sürücülerin hem de yayaların güvenliğini artırmayı hedefler [47]

Kavşakların etkin bir şekilde çalışmasını değerlendirmek için kullanılan ölçütlerden biri, gecikme süreleridir. Trafik yoğunluğu yüksek olan kavşaklarda gecikme sürelerinin minimize edilmesi, trafik akışının kesintisiz olmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir. Optimizasyon algoritmaları, bu gecikmeleri en aza indirmek için kullanılabilir. Bir diğer performans ölçütü ise Hizmet Düzeyi (LOS) olarak bilinir. Hizmet Düzeyi, kavşaktaki trafik akışını değerlendirmek için kullanılan yaygın bir metriktir ve yol kullanıcılarının deneyimini analiz etmekte büyük bir rol oynar. LOS, hem taşıt hem de yaya trafiğini kapsayan bir ölçüt olarak trafik mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [39]

Geleneksel sinyalizasyon sistemlerine kıyasla akıllı trafik sistemleri, çok daha karmaşık ve adaptif bir yapıya sahiptir. Bu sistemler, araçların hızını, yoğunluğunu ve trafik akışını gerçek zamanlı olarak analiz ederek sinyal sürelerini otomatik olarak ayarlar. Başarılı bir trafik sinyal kontrolü, adaptif bir karakteristikle gerçek zamanlı bir kontrol sağlayarak trafik taleplerine çevrimiçi optimum süre planları ile cevap vermelidir. Ancak, trafik kontrol sistemlerinin doğrusal olmayan yapısı geleneksel yöntemlerin başarılı çözümler üretememesine sebep olmuştur. Diğer taraftan, hızla gelişen bilgisayar teknolojileri ile yapay zekâ teknikleri kullanılarak doğrusal olmayan problemlerin çözümünde başarılı sonuçlar elde edilebilmiştir. Dolayısıyla, bulanık

mantık, yapay sinir ağı (YSA), evrimsel algoritmalar ve takviyeli öğrenme (reinforcement learning) gibi yapay zeka teknikleri trafik sinyal kontrol problemleri çözümünde de başarılı sonuçlar üretebilir.[41]

Derin öğrenme algoritmalarına dayalı kavşak optimizasyon yöntemleri, gelecekte trafik yönetiminde standart hale gelebilir. Bu sistemler, yalnızca trafik akışını iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda kaza risklerini en aza indirerek kavşakların güvenliğini artırma potansiyeline de sahiptir. Trafik yoğunluğunu gerçek zamanlı analiz eden bu teknolojiler, modern şehirlerde trafik mühendisliğinin temel bileşenlerinden biri haline gelecektir. Son yıllarda, akıllı trafik kavşakları kavramı hükümetler, ulaşım ajansları, teknoloji sağlayıcıları ve genel halk arasında önemli bir ilgi çekmektedir. Bu artan ilgi, hızlı kentsel dönüşüm, artan araç sahipliği ve değişen hareketlilik modellerinden kaynaklanan karmaşık sorunlarla başa çıkmak için geleneksel trafik yönetimi yaklaşımlarının yetersiz olduğunun fark edilmesinden kaynaklanmaktadır. Yapay zeka (AI), Nesnelerin İnterneti (IoT) ve AraçtanHerşeye (V2X) iletişim gibi son teknolojileri entegre ederek akıllı trafik kavşakları, şehir ulaşım ağlarının verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için etkili bir yol sunmaktadır. Ayrıca, paylaşımlı mobilite hizmetleri, otonom araçlar ve toplu taşıma dâhil olmak üzere çeşitli ulaşım seçeneklerinin yönetimine ve entegrasyonuna da önemli katkılar sağlamaktadırlar [42]

3.4. Makine Öğrenimi Yöntemleri

3.4.1.1. Doğrusal Regresyon Modeli

Regresyon analizi, bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi modellemek ve analiz etmek için kullanılan güçlü bir istatistiksel yöntemdir [43]. Bu yöntem, bağımlı değişkenin bağımsız değişken(ler) tarafından nasıl etkilendiğini anlamak, gelecekteki değerleri tahmin etmek veya iki değişken arasındaki ilişkiyi yorumlamak için sıklıkla tercih edilmektedir [44]. Özellikle değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisini belirlemek, veri analizinde karar alma süreçlerini kolaylaştıran önemli bir unsurdur.

Regresyon analizi, veri biliminden mühendisliğe, ekonomiden sosyal bilimlere kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Bu yöntem, hem teorik araştırmalarda hem de pratik uygulamalarda, ilişkilerin incelenmesi ve tahmin modellerinin geliştirilmesi için kritik bir araçtır.

Temel olarak, regresyon analizi şu amaçlarla uygulanır:

- Tahmin ve Öngörü: Bağımlı değişkenin, belirli bağımsız değişkenlerin etkisi altındaki beklenen değerini tahmin etmek için kullanılır. Bu, ekonomik göstergelerin öngörülmesinden ürün satışlarının tahmin edilmesine kadar birçok uygulamada kullanılabilir [45].
- Neden-Sonuç İlişkisini İnceleme: Regresyon analizi, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini ölçmek ve bu ilişkinin gücünü değerlendirmek için kullanılır. Bu süreç, karar alma mekanizmalarına yön verecek neden-sonuç bağlantılarının kurulmasına olanak tanır [46]
- Modelleme: Regresyon analizi, veriler arasındaki ilişkileri açıklayan matematiksel modeller oluşturmak için kullanılır. Bu modeller, verilerin dinamiklerini anlamak ve daha geniş çaplı çıkarımlar yapmak için temel oluşturur [43].

Regresyon analizi, analiz edilecek veri türüne ve değişkenler arasındaki ilişkiye bağlı olarak farklı türlerde uygulanabilir. Başlıca regresyon türleri şunlardır:

- Basit Doğrusal Regresyon: Bağımlı değişken ile tek bir bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ifade eder. Örneğin, bir ürünün fiyatı ile talebi arasındaki ilişki bu yöntemle analiz edilebilir [44].
- Çoklu Doğrusal Regresyon: Birden fazla bağımsız değişkenin, bağımlı değişken üzerindeki etkisini analiz etmek için kullanılır. Bu tür analiz, birden fazla faktörün birlikte değerlendirilmesini sağlar ve daha karmaşık durumlar için uygundur [45]
- Doğrusal Olmayan (Non-linear) Regresyon: Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı durumlarda kullanılır. Bu yöntem, karmaşık veri yapılarını anlamada oldukça etkilidir [43]
- Lojistik Regresyon: Bağımlı değişkenin kategorik (örneğin, evet/hayır gibi) olduğu durumlarda kullanılır. Örneğin, bir hastanın bir hastalıktan etkilenme olasılığını analiz etmek için lojistik regresyon uygulanabilir [46]

Regresyon analizinde genel matematiksel model şu şekildedir:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon$$

Burada Y, Bağımlı değişken, analiz edilen sonuç değişkenini temsil eder. β_0 , Y-intercept (sabit terim), bağımsız değişkenlerin etkisi olmaksızın bağımlı değişkenin başlangıç değerini ifade eder. $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$, Bağımsız değişkenlerin katsayıları, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken

üzerindeki etkisini ölçer. $X_1, X_2, \dots, X_k$, bağımsız değişkenler, analiz edilen faktörleri temsil eder. ϵ ise hata terimi, modelin açıklayamadığı varyansı ifade eder [44]

Bu denklem, basit modellerden karmaşık analizlere kadar her düzeyde regresyon analizinin temelini oluşturur. Modelin doğruluğu, bağımsız değişkenlerin seçimine ve modelin tahmin gücüne bağlıdır.

Regresyon analizi, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir ve çeşitli disiplinlerde kullanılmaktadır. Bu yöntem, yalnızca istatistiksel analiz için değil, aynı zamanda gelecekteki kararları desteklemek için de kritik bir araçtır.

- **Ekonomi:** Ekonomik büyüme, enflasyon oranları ve işsizlik oranları gibi göstergelerin öngörülmesinde kullanılır. Ekonomik analizlerde, bağımsız değişkenler genellikle politikalar veya piyasa koşulları gibi faktörleri içerir [45].
- **Mühendislik:** Kalite kontrol, üretim süreçlerinin optimizasyonu ve sistem modellemesi gibi mühendislik problemlerinin çözümünde regresyon analizi sıkça uygulanır.
- **Tıp:** Hasta verilerinin analiz edilmesi, hastalık risk faktörlerinin değerlendirilmesi ve tedavi sonuçlarının öngörülmesinde kullanılır. Örneğin, bir tedavinin başarısını etkileyen faktörler lojistik regresyon ile analiz edilebilir.
- **Sosyal Bilimler:** Anket verilerinin analizinde, bireylerin demografik özellikleri ile davranışları arasındaki ilişkiyi incelemek için kullanılır.
- **Pazarlama:** Satış tahminleri, müşteri davranış analizi ve reklam kampanyalarının etkinliğini değerlendirmek için regresyon analizinden faydalanılır.

Regresyon analizinin gerçek dünyadaki uygulamaları oldukça geniştir. Örneğin:

- Bir otomotiv üreticisi, yakıt tüketimini etkileyen faktörleri (motor hacmi, ağırlık, hız vb.) analiz etmek için çoklu doğrusal regresyon kullanabilir.
- Bir perakende firması, aylık satış gelirlerini etkileyen promosyon kampanyalarını değerlendirmek için regresyon analizinden yararlanabilir.
- Bir şehir planlamacısı, trafik yoğunluğunun belirli saatlerde nasıl değiştiğini analiz ederek kavşak optimizasyonu için regresyon modellemelerini uygulayabilir.

Sonuç olarak, regresyon analizi, veri analizinde ilişki ve bağıntıların anlaşılmasında vazgeçilmez bir araçtır. Bu yöntem, karmaşık veri yapılarını sadeleştirerek, hem akademik araştırmalarda hem de endüstriyel uygulamalarda karar destek süreçlerine katkıda bulunur.

3.4.2. Random Forest (Rastgele Orman) Algoritması

RO çoklu karar ağaçlarının birleştirilerek ("ensemble") kullanıldığı, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde sıkça tercih edilen bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Bu algoritma, ağaç tabanlı modellerin varyansını azaltarak ve çoklu örneklerden öğrenme yoluyla genelleştirme yeteneğini artırarak güçlü tahminler yapmayı hedefler. RO özellikle büyük veri setleri ve çok boyutlu problemlerde etkili sonuçlar sunar.

RO algoritması üç temel prensip üzerine kuruludur:

- Bagging (Bootstrap Aggregating): Verisetinden tekrarım izniyle rastgele örneklemeler yapılır. Her bir örneklem üzerinde bağımsız olarak bir karar ağacı modeli eğitilir.
- Feature Randomness: Her bir karar ağacı eğitilirken, aday özelliklerden rastgele bir alt küme seçilir. Bu işlem, karar ağaçları arasındaki korelasyonu azaltır ve algoritmanın genelleştirme yeteneğini artırır.
- Tahminlerin Birleştirilmesi: Karar ağaçlarından alınan tahminler birleştirilerek nihai sonuç elde edilir. Regresyon problemlerinde tahminler ortalama alınarak, sınıflandırma problemlerinde ise çoğunluk oylamasıyla sonuç belirlenir.

RO algoritması belirli aşamalardan oluşur:

- Bagging (Bootstrap Sampling): Orijinal verisetinden tekrarım izniyle ("with replacement") rastgele örneklemeler yapılır. Bu örneklem kümeleri üzerinde bağımsız karar ağaçları eğitilir.
- Rastgele Özellik Seçimi: Her bir düğümde, aday özellikler arasından rastgele bir alt küme seçilir. Örneğin, toplam özellik sayısı p iken, rastgele seçilen alt küme büyüklüğü m olarak belirlenir ($m < p < p$). En iyi ayırım noktası bu alt küme üzerinde aranır.
- Karar Ağaçlarının Eğitilmesi: Her bir bootstrapped dataset üzerinde bir karar ağacı eğitilir. Bu ağaçlar tam büyütülür ve genellikle budama yapılmaz.
- Tahminlerin Birleştirilmesi:

1. Regresyon problemlerinde: Nihai tahmin, TTT adet ağaçtan gelen tahminlerin ortalaması olarak hesaplanır.
2. Sınıflandırma problemlerinde: Karar ağaçlarından gelen oylamalara göre en çok tercih edilen sınıf seçilir.

RO'ın Eğitim ve Test Aşamaları

Eğitim Aşamaları: RO algoritması, eğitim verisi üzerinde şu adımlarla çalışır:

- Orijinal verisetinden rastgele tekrarım izniyle örneklem setleri ("bootstrap samples") oluşturulur.
- Her bir örneklem seti için, bir karar ağacı eğitilir.
- Her bir düğümde, rastgele seçilen özellikler içerisinde en iyi ayırım noktaları belirlenir.
- Karar ağaçları tam büyütülür ve budama yapılmaz.

Test Aşamaları: Test aşamasında her bir test verisi, RO'ı oluşturan tüm karar ağaçlarından geçer:

- Regresyon için: Ağaçlardan gelen tahminlerin ortalaması alınır.
- Sınıflandırma için: Ağaçlardan gelen sınıf tahminlerinin oylamasıyla nihai sınıf RO algoritmasının eğitimi için çeşitli parametreler belirtilmiştir:
- Method='Bag': Model, karar ağaçlarını birleştirerek bagging yöntemiyle eğitilmiştir.
- NumLearningCycles=50: Model, 50 adet karar ağacı oluşturmuş ve bu ağaçlardan elde edilen sonuçları birleştirerek tahmin yapmıştır.
- XTrain ve YTrain: Eğitim verileri, burada XTrainXTrainXTrain bağımsız değişkenleri (özellikler), YTrainYTrainYTrain ise bağımlı değişkeni (çıktıyı) temsil eder.
- Predict: Eğitilen modelin test verisi üzerinde tahmin yapması sağlanmıştır.

RO'ın Avantajları ve Dezavantajları

Avantajlar:

- Aşırı uyum ("overfitting") riski düşüktür.
- Eksik veri ve yüksek boyutlu veri setleriyle etkili bir şekilde çalışır.
- Hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerine uyarlanabilir.

Dezavantajlar:

- Hesaplama maliyeti yüksektir; çok sayıda karar ağacı oluşturulması nedeniyle işlem süresi ve bellek kullanımı artar.
- Tek bir karar ağacına kıyasla yorumu ve görselleştirilmesi daha zordur.

RO algoritması, özellikle trafik tahmini gibi karmaşık problemlerde yüksek performans ve doğruluk sağlamasıyla dikkat çeker. Bagging yöntemi, rastgele özellik seçimi ve 50 karar ağacından oluşan ensemble yapısı, modelin genelleştirme yeteneğini artırmıştır. Kodda kullanılan parametrelerle algoritma, hem sınıflandırma hem de regresyon problemleri için etkili bir çözüm sunmuş ve başarılı tahminler gerçekleştirmiştir.

3.5. Model Oluşturma ve Değerlendirme Kriterleri

Çalışma kapsamında, adrese dayalı nüfus kayıt sistemi verilerine göre 2023 yılı sonu itibarıyla 1.273.519 kişilik nüfusu ile Türkiye'nin en kalabalık 17. şehri olan ve Ağustos 2023 itibarıyla trafiğe kayıtlı 572.446 araç sayısı ile dikkat çeken Balıkesir ili, pilot bölge olarak seçilmiştir (TÜİK, 2023). Balıkesir ilindeki trafik yoğunluğunu ve araç kullanım alışkanlıklarını analiz etmek için kullanılan yöntemler, iki temel yaklaşıma dayanmaktadır. Birincisi, trafik yoğunluğunu ve geçiş verilerini geçmiş dönem verileriyle karşılaştıran sabit zamanlı analizlerdir. İkincisi, trafik akışındaki dalgalanmaları anlamak için kullanılan uyarlamalı analizlerdir. Bu analizlerde, pandemi dönemi ve sonrasındaki trafik verileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Çalışmada, kavşak bazlı araç geçiş yoğunluklarının belirlenmesi için doğrusal regresyon modelleri kullanılmıştır. Regresyon analizleri, her kavşaktaki araç geçiş eğilimlerini belirleyerek trafik yoğunluğundaki değişimleri ortaya koymuştur. Bu analizler, pandemi döneminde kısıtlamaların etkisiyle düşen araç trafiğini ve pandemi sonrasında artan bireysel araç kullanımını anlamak için kritik bir araç sağlamıştır.

Kavşaklar üzerindeki detaylı analizler, geçmişte yapılan benzer çalışmalardan ve literatür taramasından faydalanılarak geliştirilmiştir. Verilerin kategorize edilmesinde trafik akışına ve araç yoğunluğuna göre merkezi, sanayi ve karışık bölgeler olarak sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflandırma, analizlerin daha derinlemesine yapılmasına olanak sağlamıştır.

Ayrıca, pandemi dönemindeki trafik akışındaki ani değişimlerin ve pandemi sonrası artışların daha etkin bir şekilde analiz edilmesi için RO algoritması gibi makine öğrenimi yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu algoritma, geçmiş verilere dayalı olarak trafik eğilimlerini tahmin etmekte ve kavşaklar arasındaki farklı trafik dinamiklerini belirlemede güçlü bir araç

sunmaktadır. Modelleme süreci, kavşak bazlı trafik verilerini analiz ederek, pandeminin trafik yoğunluğuna etkilerini daha geniş bir perspektiften ele almıştır. Bu yöntem, pandemi sonrası normalleşme sürecinde değişen ulaşım alışkanlıklarını daha derinlemesine anlamak için kullanılmıştır.

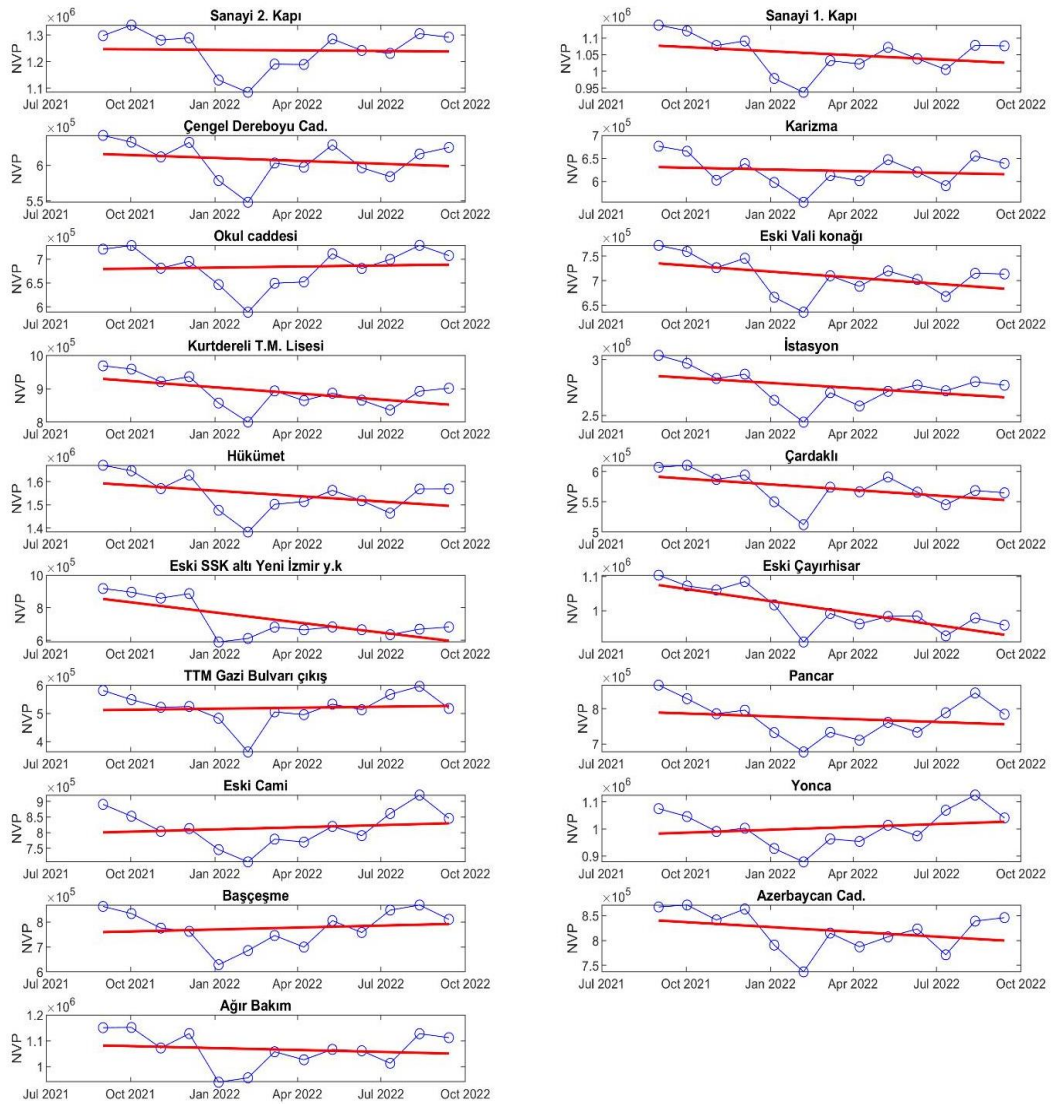
Çalışmada, trafik yoğunluğunu değerlendirmek için verilerden elde edilen araç geçiş bilgileri, doğrusal regresyon ve makine öğrenimi modelleri ile analiz edilmiştir. Bu yöntemler, araç geçiş eğilimlerini daha net bir şekilde ortaya koyarken, yoğunluk değişimlerine göre alternatif senaryolar geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Sonuç olarak, bu yöntemler, pandemi dönemindeki azalmaların ve pandemi sonrası dönemindeki artışların net bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımış, gelecekteki trafik yönetimi politikaları için önemli bilgiler sunmuştur.

4. BULGULAR

4.1. Pandemi Dönemi Trafik Yoğunluğu Analizi (2021-2022)

Grafik, Balıkesir'deki 19 farklı kavşakta araç geçiş trendlerini ve regresyon analizlerini göstermektedir. Analiz 2021-2022 yıllarını, yani pandemi sürecini kapsamakta olup, mavi noktalar gerçek araç geçiş verilerini, kırmızı çizgiler ise bu verilere uyum sağlayan regresyon eğrilerini temsil etmektedir.

Araç Geçiş Trendleri ve Regresyon Analizi (2021-2022)



Şekil 8 2021-2022 Dönemi Araç Geçiş Trendleri ve Regresyon Analizi

Grafiği detaylıca yorumlamak için görselde sunulan bilgiler şu şekilde değerlendirilebilir:

Kavşakların çoğunda araç geçiş sayıları, özellikle 2021 ortalarından itibaren dalgalı bir seyir izlemiştir. Ancak genel olarak pandemi öncesi normallerine doğru bir toparlanma eğilimi gözlemlenmektedir. 2022 ortalarına doğru bazı kavşaklarda araç geçiş hacminde artış eğilimleri görülürken, bazılarında istikrarlı ya da azalan bir seyir dikkat çekmektedir.

Kırmızı regresyon eğrileri, mavi gerçek veri noktalarına genel anlamda iyi bir uyum sağlamaktadır. Ancak bazı kavşaklarda mevsimsel veya dönemsel dalgalanmalar regresyon eğrisine tam yansımamış görünmektedir; örneğin, TTM Gazi Bulvarı çıkışı bu duruma bir örnektir. Kavşak bazında daha düzgün bir artış veya azalış trendi izleyen noktalarda regresyon eğrisi, veri trendini daha belirgin bir şekilde yansıtmaktadır.

Pandemi nedeniyle 2021 boyunca araç geçişlerinin belirli dönemlerde (örneğin sokağa çıkma yasakları) düştüğü, ancak 2022’de sosyal ve ekonomik faaliyetlerin artmasıyla birlikte trafik hacminin toparlanmaya başladığı görülmektedir.

4.1.1. Sanayi Bölgesi Trafik Akışları



Şekil 9 Sanayi Kavşağı

Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı kavşaklarında, 2021 yılından 2022 yılına doğru araç geçişlerinde genel bir artış eğilimi gözlemlenmiştir. Bu durum, sanayi bölgelerinin ekonomik hareketliliğinin pandemi etkilerine karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir.

Sanayi ve ticaret bölgelerinde, özellikle sanayi kapıları ve lojistik bağlantı noktalarında genel olarak artış eğilimleri gözlemlenmiştir. Bu durum, pandemi sonrası ekonomideki toparlanmayı ve lojistik hareketliliğin sürekliliğini işaret etmektedir.

4.1.2. Ticari ve Sosyal Merkezlerdeki Trafik Değişimleri



Şekil 10 Hükümet Kavşağı

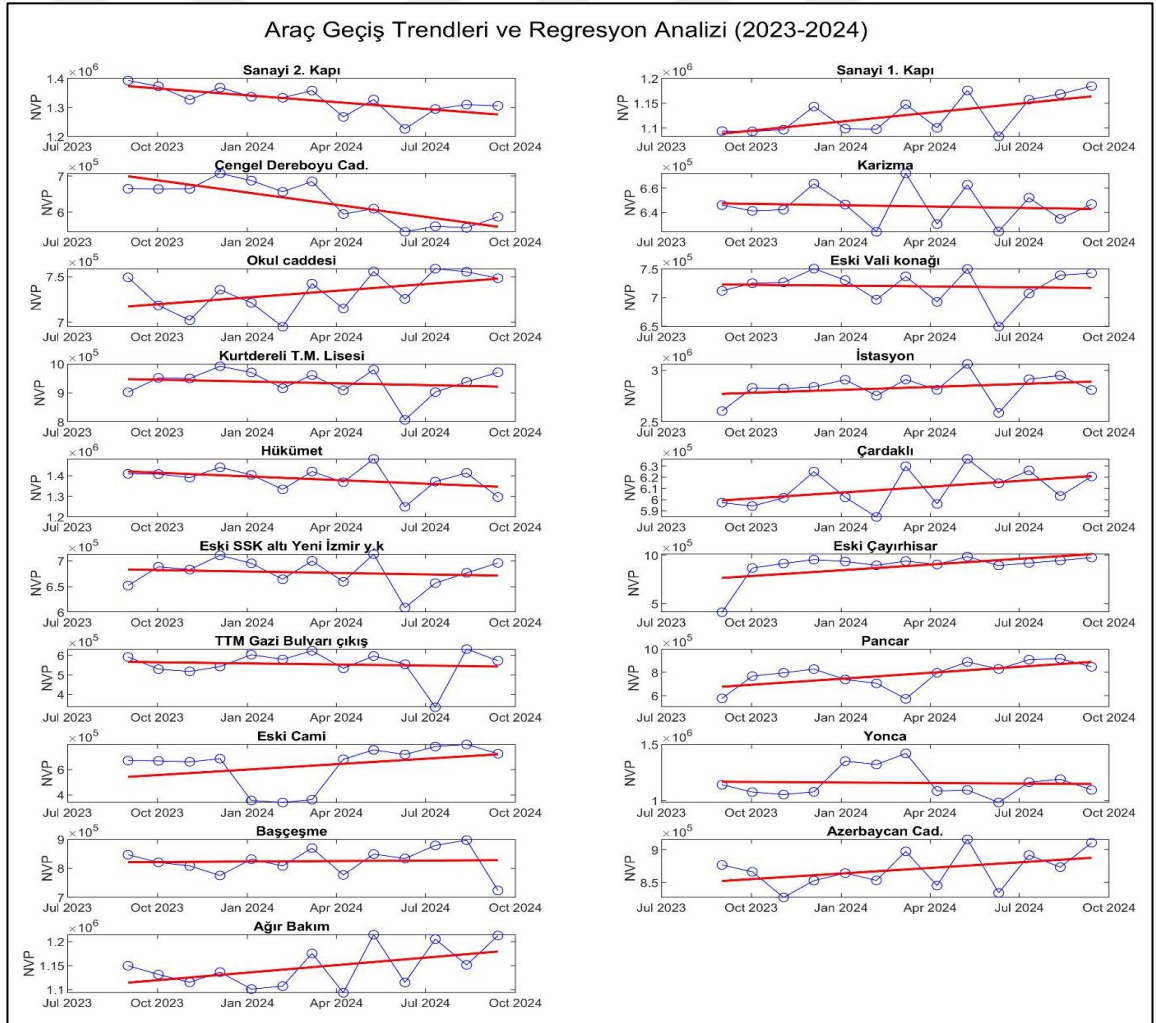
Pandemi dönemi, Balıkesir gibi şehirlerde trafik yoğunluğunu yalnızca azaltmakla kalmamış, aynı zamanda bu yoğunluğun mekânsal ve zamansal dağılımını da kökten değiştirmiştir. Grafiklerde, özellikle Hükümet Kavşağı ve Eski Valilik Konağı gibi ticari ve sosyal merkezlerde trafik yoğunluğunun %50'yi aşan azalmalar gösterdiği görülmektedir. Bu bölgelerdeki trafik düşüşü, hem günlük hareketliliğin azalması hem de bireylerin toplu taşımadan uzaklaşıp bireysel araç kullanımına yönelmesiyle ilişkilendirilebilir.

Eğitim bölgelerinde ise, özellikle okulların yeniden açılmasıyla birlikte trafiğin toparlanması dikkat çekmektedir. Bu durum, yüz yüze eğitime dönüşün trafik hacmi üzerindeki olumlu etkisini göstermektedir. Şehir merkezi ve konut alanlarında, Eski Vali Konağı ve Çardaklı gibi daha merkezi bölgelerde trafik hacimlerinde dalgalanmalar gözlenmekte olup,

pandemi dönemi hareketlilik kısıtlamalarının etkilerinin halen hissedildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, bazı kavşaklarda araç geçişlerindeki dalgalanmalar, trafik yönetimi ve sinyalizasyon sistemlerinin pandemi koşullarına uyum sağlayabilme gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Ticaret ve sosyal yaşamın durduğu bu dönemde, insanların alışveriş ve sosyalleşme ihtiyaçlarını çevrimiçi platformlara kaydırması şehir merkezinin trafik akışını önemli ölçüde etkilemiştir. Örneğin, Eski Valilik Konağı çevresindeki kavşaklarda araç geçiş yoğunluğu grafiklerde bariz bir şekilde düşmüş, koyu kırmızı alanların azalarak açık tonlara dönüştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, şehir merkezine olan talebin kaybını somut bir şekilde göstermektedir.

4.2. Pandemi Sonrası Normalleşme Trafik Yoğunluğu (2023-2024)



Şekil 11 2023-2024 Dönemi Araç Geçiş Trendleri ve Regresyon Analizi

Grafikte, 2023-2024 yılları arasında Balıkesir'in 19 kavşağı için araç geçiş trendleri ve regresyon analizleri sunulmuştur. Kırmızı çizgiler regresyon eğrilerini, mavi noktalar ise gerçek araç geçiş verilerini göstermektedir. Bu analiz, pandemi sonrası dönemde trafik akışındaki değişikliklerin ve normalleşmenin etkilerini değerlendirmek açısından önemlidir



Şekil 12 Yonca Kavşağı

Genel olarak regresyon eğrileri (kırmızı çizgiler) mavi noktalarla iyi bir uyum göstermektedir. Ancak bazı kavşaklarda, özellikle mevsimsel etkiler ve kısa dönemli dalgalanmalar nedeniyle, eğrilerin gerçek verilerle uyumu azalmaktadır. Örneğin, Karizma ve Pancar kavşaklarında bu tür dalgalanmalar dikkat çekmektedir. Bazı kavşaklarda ise regresyon eğrisi daha belirgin bir artış veya azalma trendini temsil ederken, gerçek veriler daha düzensiz bir yapı sergilemektedir.

4.2.1. Trafik Akışında Toparlanma Eğilimleri

Kavşakların büyük çoğunluğunda araç geçiş hacimleri artış eğilimi göstermiştir. Bu durum, pandemi sonrası dönemde sosyal ve ekonomik faaliyetlerin eski seviyelerine ulaşmaya başladığını göstermektedir. Özellikle Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı gibi ticaret ve lojistik odaklı kavşaklarda net bir trafik artışı gözlemlenmiştir.



Şekil 13 Azerbaycan Cad. Kavşağı

Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı kavşaklarında araç geçişlerinde sürekli bir artış eğilimi gözlemlenmekte olup, bu durum sanayi ve lojistik faaliyetlerin yoğunlaşmasının bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Regresyon eğrileri, bu kavşaklarda toplanan gerçek verilerle oldukça iyi bir uyum sağlamaktadır. Ağır Bakım kavşağında da araç geçişlerinde düzenli bir artış kaydedilmekte, bu durum sanayi bölgelerinin hareketliliğini desteklemektedir.

4.2.2. Kavşak Bazlı Farklılıkların Değerlendirilmesi

Pandemi sonrası dönem, şehir genelinde trafik yoğunluğunun yeniden şekillendiği ve belirgin farklılıkların ortaya çıktığı bir süreç olmuştur. Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı, pandemi sonrası dönemde trafik yoğunluğunun hızla toparlandığı ve pandemi öncesi seviyelerin üzerine çıktığı kavşaklar olarak öne çıkmaktadır. Grafiklerde, bu bölgelerde koyu kırmızı renklerin daha da yoğunlaşması, lojistik ve ticari faaliyetlerin pandemi sonrasında hız kazandığını ve bu bölgelerdeki trafik akışını artırdığını göstermektedir. Bu artış, ekonomik toparlanmanın bir göstergesi olmakla birlikte, altyapının kapasitesine yönelik baskıyı artırmış ve trafik yönetimi açısından yeni zorluklar yaratmıştır.

Şehir merkezindeki kavşaklarda ise trafik yoğunluğunun pandemi öncesi seviyelere dönmesi daha uzun bir süreç almıştır. Özellikle Hükümet Kavşağı ve Eski Valilik Konağı, şehir merkezindeki ticari ve sosyal aktivitelerin çevresel bölgelere kaydığını açıkça göstermektedir. Grafiklerde, bu bölgelerde renk yoğunluğunun daha düşük kalması, bireylerin pandemi sonrası dönemde daha az yoğun alanları tercih etmeye devam ettiğini ortaya koymaktadır.

4.3. Bireysel Araç Kullanımındaki Değişimler

Pandemi sonrası dönemde lojistik faaliyetlerin artışı, sanayi bölgelerindeki trafik yoğunluğunu daha karmaşık hale getirmiştir. Artan ticari araç trafiği, lojistik merkezlere yakın kavşaklarda trafik yoğunluğunun en üst seviyelere çıkmasına neden olmuştur.

Bu durum, şehir planlamasında trafik yönetimi ve altyapı planlamasının yeniden ele alınmasını zorunlu hale getirmiştir. Ayrıca, bireysel araç kullanımındaki artış, karbon emisyonlarını ve çevresel etkileri artırarak uzun vadeli riskler yaratmıştır. Bu nedenle, sürdürülebilir ulaşım politikalarının uygulanması, hem şehir içi trafik yoğunluğunu dengelemek hem de çevresel etkileri azaltmak için kritik bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

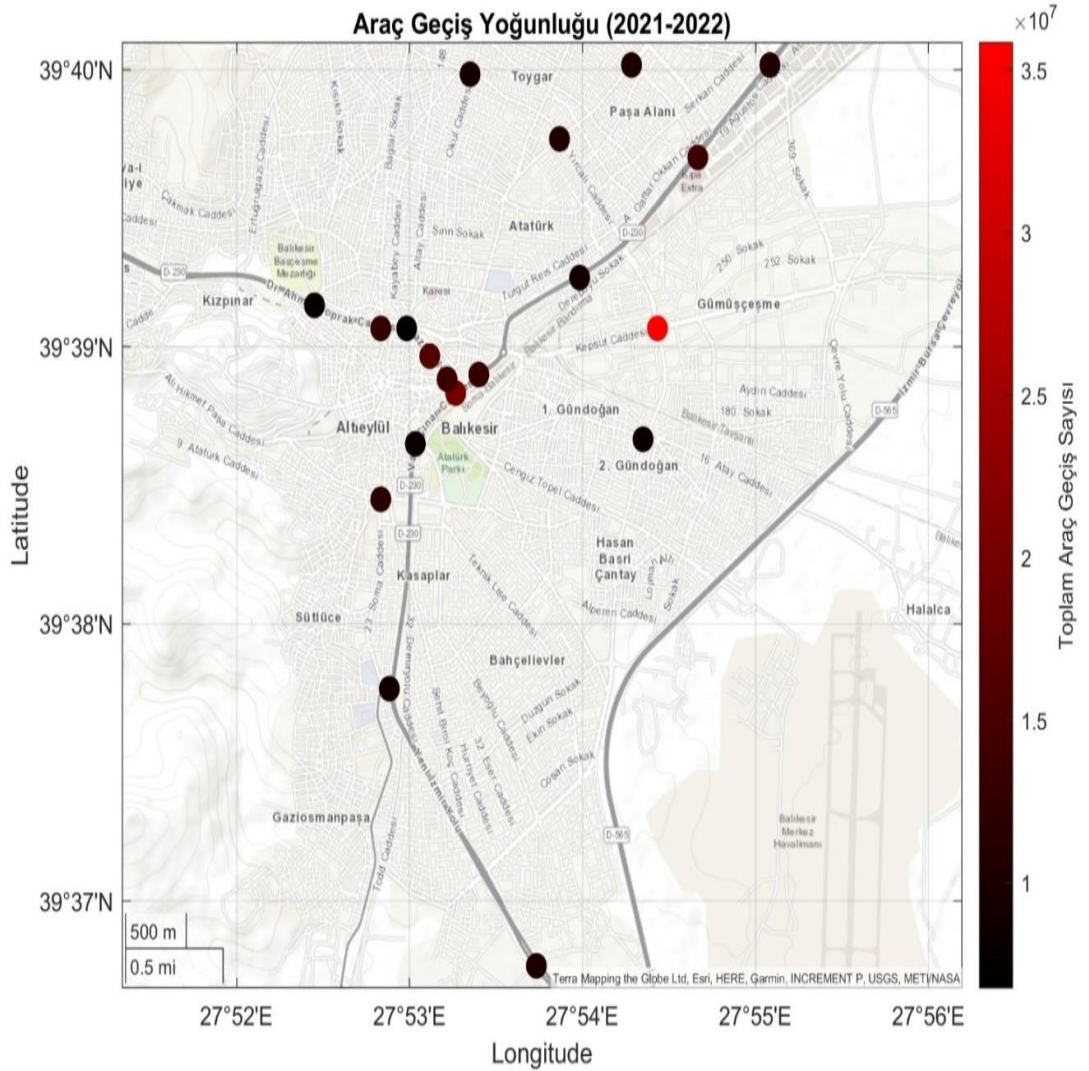
4.4. Toplu Taşıma Tercihlerindeki Düşüş ve Etkileri

Pandemi süreci ve sonrasında ortaya çıkan bu trafik dinamikleri, şehir planlaması ve ulaşım politikaları açısından önemli dersler sunmaktadır. Şehir merkezindeki ticari faaliyetlerin çevresel alanlara kayması, toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi ve sanayi bölgelerindeki lojistik trafiğin daha verimli yönetilmesi gerektiği açıktır. Grafiklerden elde edilen bu veriler, yerel yönetimlerin ulaşım politikalarını yeniden şekillendirmesi için güçlü bir temel sunmaktadır.

5. TARTIŞMA

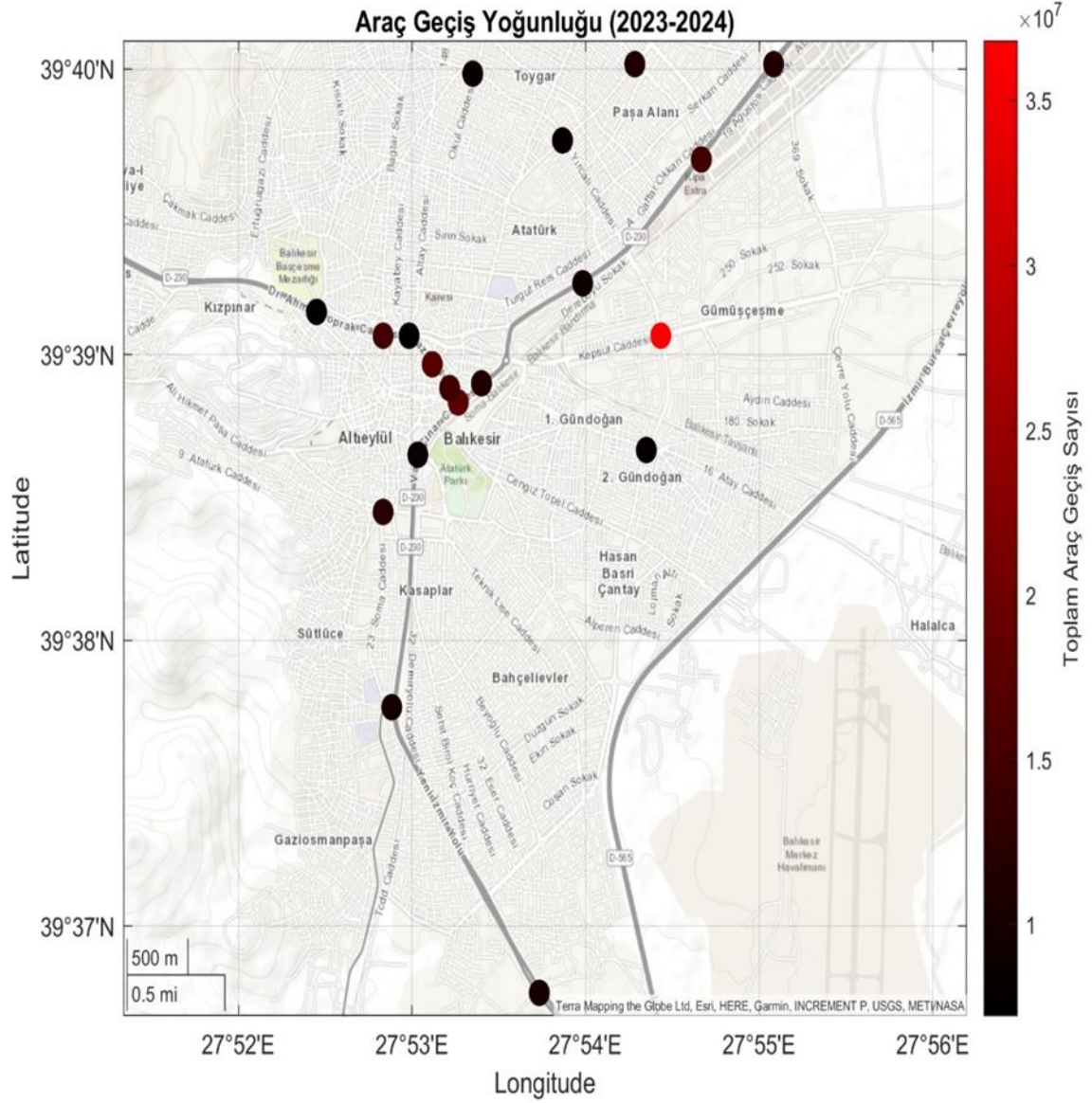
5.1. Pandemi Dönemi ve Sonrası Trafik Dinamiklerinin Karşılaştırılması

Pandemi kısıtlamaları nedeniyle araç geçiş sayılarında genel olarak daha düşük seviyeler ve dalgalanmalar görülmektedir. Bu dönemde bireysel araç kullanımındaki artış gözlemlenmekle birlikte, genel trafik hacmi kısıtlamaların etkisiyle sınırlı kalmıştır. Pandemi sonrası dönemde kısıtlamaların kalkması ve ekonomik/sosyal faaliyetlerin toparlanmasıyla birlikte araç geçiş hacimlerinde belirgin bir artış söz konusudur. Özellikle sanayi ve ticaret bölgelerinde trafik hacminin önemli ölçüde toparlandığı görülmektedir.



Şekil 14 Araç Geçiş Yoğunluğu (2021-2022)

2021-2022 döneminde trafik akışında toparlanma, kısıtlamaların gevşetildiği dönemlere bağlı olarak kademeli bir şekilde gerçekleşmiştir. Ancak genel seviyeler pandemi öncesine göre düşük kalmıştır.



Şekil 15 Araç Geçiş Yoğunluğu (2023-2024)

2023-2024 döneminde toparlanma süreci hızlanmış ve birçok kavşakta araç geçiş sayıları pandemi öncesi seviyelerine yaklaşmıştır. Özellikle sanayi kapıları ve lojistik bölgelerde bu toparlanma daha belirgindir.

5.2. Ekonomik Faaliyetlerin Trafik Yoğunluğuna Etkisi

2021-2022 döneminde ekonomik faaliyetlerin kısıtlanması, trafik hacmini sınırlamış ve toplu taşımadan bireysel araç kullanımına geçişi hızlandırmıştır. Bu durum, şehir merkezlerinde trafik yoğunluğunu azaltırken, bireysel araç kullanımının artmasına neden olmuştur. 2023-2024 döneminde ekonomik faaliyetlerin artması ve toplu taşımaya dönüşle birlikte şehir merkezlerinde trafik yoğunluğu yeniden artış göstermiştir. Ancak bireysel araç kullanımındaki artış, özellikle sanayi bölgelerindeki trafik yoğunluğuna ek bir yük getirmiştir.

5.3. Kavşak Bazlı Farklılıkların Nedenleri ve Yansımaları

Sanayi odaklı kavşaklarda, 2021-2022 döneminde Sanayi 1. Kapı, Sanayi 2. Kapı ve Ağır Bakım kavşaklarında trafik hacmi nispeten daha düşük ve dalgalı seyretmiştir. Lojistik faaliyetler pandemi kısıtlamalarından daha az etkilenmiş olsa da genel bir düşüş gözlemlenmiştir. Ancak 2023-2024 döneminde bu kavşaklarda araç geçiş sayılarında belirgin bir artış meydana gelmiş, sanayi faaliyetlerinin pandemi sonrası dönemde hızlanması bu artışın temel nedeni olarak öne çıkmıştır. Regresyon eğrileri de düzenli bir artışı yansıtmaktadır.

Eğitim ve kamu bölgelerinde, 2021-2022 yıllarında Okul Caddesi ve Kurtdereli T.M. Lisesi gibi kavşaklarda trafik hacmi, okulların kapalı olduğu veya kısıtlı faaliyet gösterdiği dönemlerde düşük seyretmiştir. 2023-2024 döneminde ise eğitim kurumlarının tam kapasiteyle çalışmaya başlamasıyla birlikte trafik hacmi artış göstermiştir. Bu durum, pandemi sonrası eğitimin yüz yüze formatına dönmesinin etkisini yansıtmaktadır.

Şehir merkezindeki kavşaklarda, 2021-2022 döneminde Çengel Dereboyu Caddesi, Karizma ve Eski Vali Konağı gibi şehir merkezine yakın kavşaklarda trafik hacmi dalgalı bir seyir göstermiştir. İnsan hareketliliğinin pandemiden etkilenmesi bu düşüşleri açıklamaktadır. 2023-2024 döneminde ise bu kavşaklarda trafik hacmi toparlanmış olsa da bazı dönemlerde dalgalanmalar devam etmiştir. Bu durum, şehir merkezlerindeki trafik yoğunluğunun pandemiden tamamen toparlanmadığını göstermektedir.

Transit ve kırsal bölgelerde ise, 2021-2022 yıllarında Pancar, Yonca ve Azerbaycan Caddesi gibi kavşaklarda trafik hacmi pandemi döneminde stabil kalmış veya küçük dalgalanmalar göstermiştir. Bu bölgelerde hareketlilik büyük ölçüde kırsal faaliyetlere bağlıdır. 2023-2024 döneminde ise bu kavşaklarda genel trafik hacminde bir artış gözlemlenmiş, ancak artış hızı şehir merkezlerine ve sanayi bölgelerine göre daha sınırlı kalmıştır.

5.4. Trafik Verilerinin Sürdürülebilir Ulaşım Planlamasındaki Rolü

2021-2022 yılları arasında, pandemi döneminde uygulanan kısıtlamalar ve mevsimsel etkiler nedeniyle birçok kavşakta trafik akışında yoğun dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Bu dönemde, trafik hacimlerinde ani değişiklikler ve öngörülemeyen dalgalanmalar, kavşakların istikrarını olumsuz etkilemiştir. Ancak, 2023-2024 döneminde trafik akışında genel olarak daha stabil bir yapı ortaya çıkmıştır. Özellikle sanayi kapıları ve şehir merkezine yakın kavşaklarda düzenli bir artış eğilimi dikkat çekmekte olup, bu bölgelerdeki trafik yoğunluğunun pandemi sonrası normalleşme süreciyle birlikte artış gösterdiği gözlenmektedir. Bu durum, ekonomik faaliyetlerin yeniden canlanması ve şehir merkezlerine olan trafik talebinin artmasıyla açıklanabilir.

Regresyon eğrilerinin uyumuna bakıldığında, 2021-2022 döneminde yaşanan yüksek dalgalanmalar nedeniyle regresyon eğrilerinin mavi gerçek veri noktalarıyla tam uyum sağlayamadığı görülmüştür. Bu dalgalanmalar, tahmin modellerinin doğruluğunu olumsuz yönde etkilemiş ve bazı kavşaklarda modelin gerçek trafik verilerini tam olarak yansıtmamasını zorlaştırmıştır. Ancak, 2023-2024 döneminde toparlanma süreciyle birlikte trafik akışındaki düzenlilik artmış ve regresyon eğrileri gerçek verilere daha iyi uyum sağlamaya başlamıştır. Bu iyileşme, trafik yönetimi stratejilerinin ve modellerin pandemi sonrası döneme daha iyi adapte olmasını sağlamış, tahmin doğruluğunu artırmıştır. Sonuç olarak, trafik akışındaki dalgalanmaların azalması ve regresyon eğrilerinin uyumunun artması, pandemi sonrası normalleşme sürecinin trafik yönetimi üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir.

6. RO ALGORİTMASI İLE AYLIK ARAÇ GEÇİŞ SAYILARININ TAHMİNİ

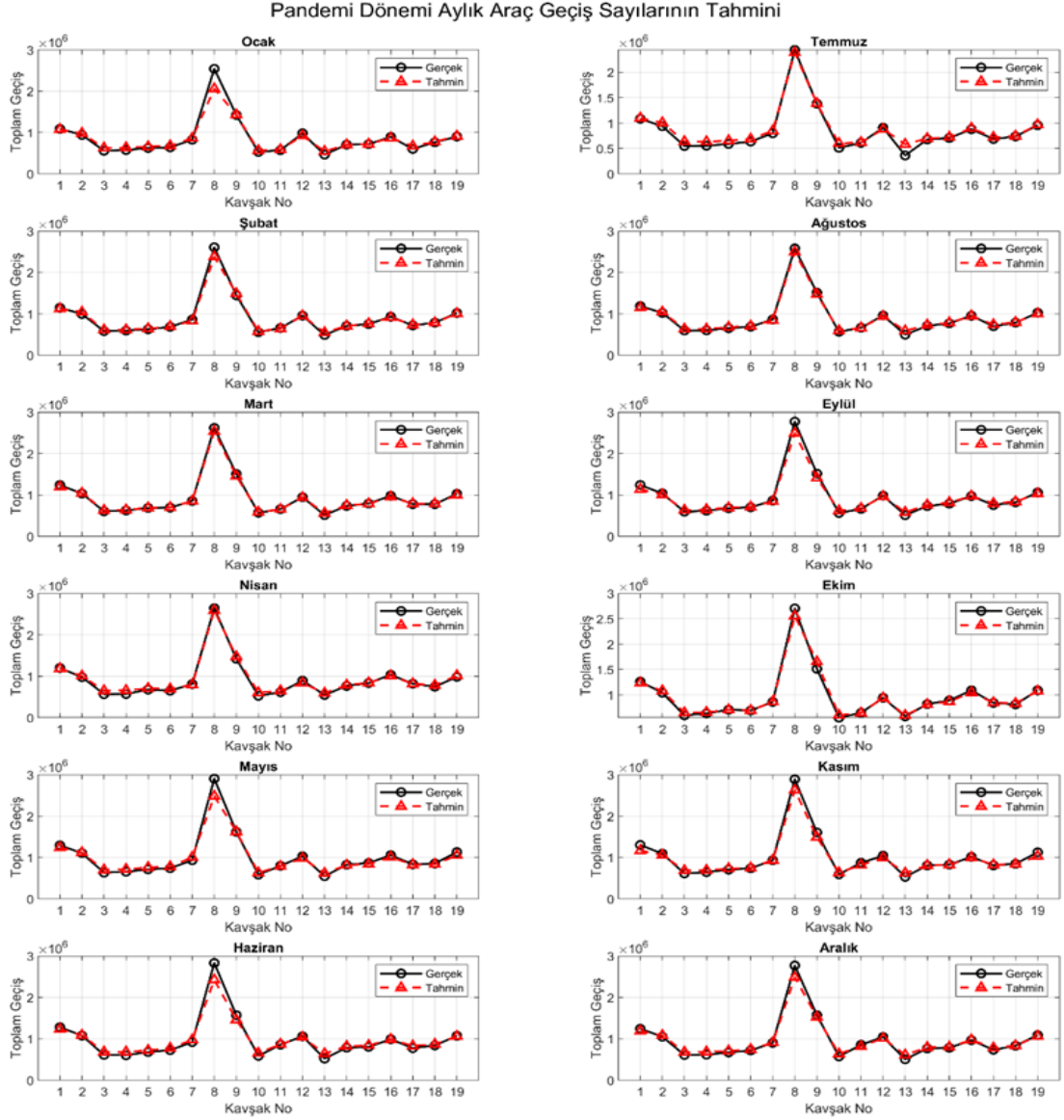
Bu bölümde, seçilen 19 kavşakta aylık araç geçiş sayılarının tahmini için kullanılan RO algoritmasının performansı ve elde edilen sonuçlar ele alınmaktadır. Model, pandemi dönemindeki dalgalanmalar ve pandemi sonrası normalleşme sürecindeki trafik düzenliliğini öngörmek üzere uygulanmıştır. RO algoritması, verisetindeki çoklu değişkenlerin etkisini analiz ederek, trafik yoğunluğundaki mevsimsel ve dönemsel eğilimleri tahmin etmede güçlü bir araç olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, modelin R^2 değerleri ve tahmin hataları değerlendirilmiş, farklı kavşaklarda ortaya çıkan doğruluk oranları karşılaştırılmıştır. Bu analiz, özellikle dalgalı trafik koşulları altında modelin performansını ölçmek ve trafik yönetiminde veri odaklı karar süreçlerini desteklemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, kullanılan RO algoritmasının tahmin doğruluğunu değerlendirmek için çeşitli performans metrikleri analiz edilmiştir. Performans metrikleri, modelin farklı yönlerden başarısını ölçerek tahmin edilen değerlerle gerçek değerler arasındaki farkları detaylı bir şekilde incelememize olanak tanımaktadır.

Ortalama karesel hata (MSE), hataların büyüklüğünü ölçerek tahminlerin genel doğruluğunu değerlendirirken, kök ortalama karesel hata (RMSE) bu hatanın ölçeğe bağımlılığını azaltarak yorumlanabilirliği artırmaktadır. Ortalama mutlak hata (MAE), tahmin ve gerçek değerler arasındaki mutlak farkı hesaplayarak hata düzeyini ölçmektedir. R^2 metriği ise modelin açıklayabildiği varyans oranını ifade ederek, tahmin edilen veri ile gerçek veri arasındaki uyumu değerlendirmektedir. Bu metrikler, modelin genel performansını ve farklı koşullar altında doğruluğunu anlamak için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır.

6.1. Pandemi Dönemi Trafik Yoğunluğu Tahmini

Grafikler, pandemi döneminde Balıkesir'deki 19 kavşakta araç geçiş trendlerini ve RO modeli tahminlerini göstermektedir. Modelin performansı, gerçek araç geçiş verileriyle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Özellikle Hükümet Kavşağı (9. Kavşak), pandemi sürecinde trafik yoğunluğunun merkezi olmuş ve modelin tahminleri bu kavşakta büyük ölçüde doğru sonuçlar vermiştir. Diğer kavşaklarda trafik yoğunluğu düşük seviyelerde seyretmiş, ancak bazı aylarda hafif artış ve azalışlarla dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Genel olarak, model gerçek verilere oldukça yakın tahminler yapmıştır.



Şekil 16 Pandemi Döneminde Kavşaklara Göre Aylık Araç Geçiş Sayılarının Tahmini.

Kavşakların çoğunda araç geçiş sayıları, özellikle 2021'in ortalarından itibaren dalgalı bir seyir izlemiştir. Ancak, genel olarak pandemi öncesi seviyelerine doğru bir toparlanma eğilimi gözlemlenmiştir. Bazı kavşaklarda mevsimsel etkiler ve sosyal dinamikler tahminlerin doğruluğunu sınırlamış; buna rağmen genel eğilimler tutarlı bir şekilde yakalanmıştır.

RO modeli, gerçek verilerle yüksek bir uyum göstermiştir. Bununla birlikte, özellikle dalgalanmaların belirgin olduğu aylarda hata oranları artmıştır. Bu durum, pandemi koşullarının yarattığı ani değişimlerin tahmin modelleri üzerinde zorluklar yarattığını işaret etmektedir. Tablo 2’de RO modeline ait performans metrikleri sunulmuştur.

NO	AY	MSE (Ortalama Karesel Hata)	RMSE (Kök Ortalama Karesel Hata)	MAE (Ortalama Mutlak Hata)	MAPE (Ortalama Mutla Yüzdesel Hata)	R ² (Tahmin Doğruluğu)
1	Ocak	5.193E+09	72064.284	54914.900	6.757	0.975
2	Şubat	5.140E+09	71694.998	44099.286	5.144	0.976
3	Mart	1.498E+09	38701.596	28383.866	3.227	0.993
4	Nisan	4.030E+09	63480.690	47531.896	6.131	0.982
5	Mayıs	7.103E+09	84278.906	47545.872	4.127	0.973
6	Haziran	1.299E+10	113962.217	76930.186	8.012	0.949
7	Temmuz	5.434E+09	73714.504	51379.565	7.812	0.972
8	Ağustos	2.533E+09	50326.740	35318.182	3.935	0.988
9	Eylül	4.374E+09	66134.810	39033.798	3.716	0.982
10	Ekim	7.253E+08	26930.780	21946.126	2.542	0.997
11	Kasım	5.672E+09	75311.424	51184.573	5.088	0.978
12	Aralık	6.273E+09	79205.094	62348.077	7.564	0.974

Tablo 5 Pandemi Dönemi Performans Metrikleri.

Bu deneyde, RO modelinin her ay için araç geçiş tahmin performansı değerlendirilmiştir. Modelin doğruluk oranı genel olarak yüksek ($R^2 > 0.94$) olmakla birlikte, özellikle Mart ,Ağustos ve Ekim aylarında tahmin doğruluğu en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Buna karşılık, Ocak, Mayıs ve Haziran aylarında model performansında düşüş gözlenmiştir. Hata oranlarındaki farklılıklar, mevsimsel etkiler ve trafik yoğunluğundaki dalgalanmalardan kaynaklanmaktadır. Genel olarak model, araç geçiş trendlerini başarıyla yakalamıştır ve trafik yönetimi için güvenilir bir veri kaynağı sunmaktadır.

6.1.1. Öne Çıkan Bulgular

RO modeli, pandemi döneminde genel olarak yüksek performans göstermiştir. Mart ve Ekim ayları, modelin en başarılı olduğu dönemlerdir. Mart ayında, R^2 değeri 0.993 ile yüksek doğruluk oranına ulaşılmış ve MAE (28383) ile RMSE (38701) değerleri oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. Bu sonuçlar, modelin gerçek verilere son derece yakın tahminler üretebildiğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, Ekim ayında da R^2 değeri 0.997 ile yüksek doğruluk oranı yakalanmış ve hata oranları diğer aylara kıyasla düşük kalmıştır. Bununla birlikte, Ocak (R^2 : 0.975), Haziran (R^2 : 0.949) ve Mayıs (R^2 : 0.973) ayları, modelin performansının görece düşük olduğu dönemlerdir. Özellikle Haziran ayında RMSE (113962) ve MAE (76930) gibi yüksek hata değerleri, modelin tahminlerinde daha fazla sapma yaşadığını göstermektedir. Genel olarak, RO algoritması, R^2 değerlerinin büyük çoğunlukla 0.94 'ün üzerinde olmasıyla başarılı bir tahmin performansı sergilemiş ve araç geçiş trendlerini anlamada etkili bir araç olarak öne çıkmıştır.

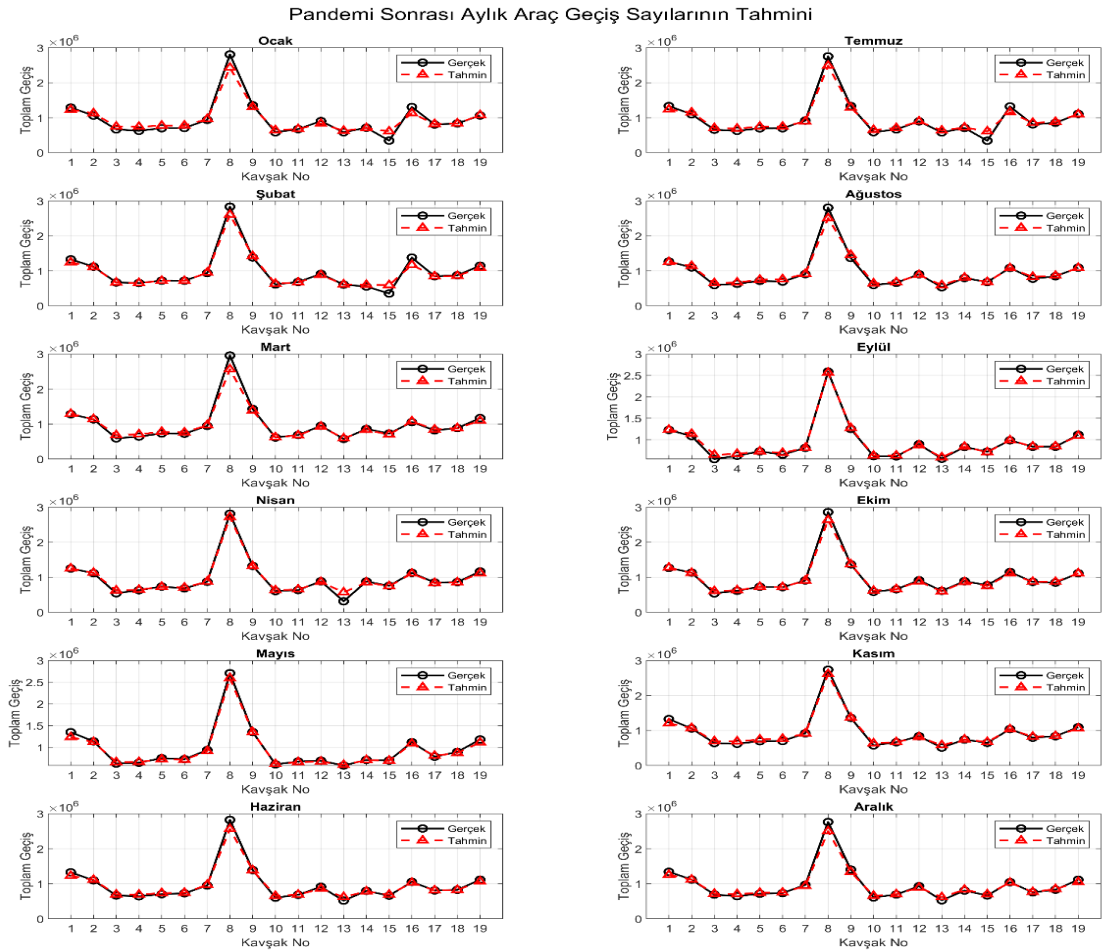
Hükümet Kavşağı, pandemi döneminde trafik yoğunluğunun merkezi haline gelmiştir. Bu kavşakta gerçekleştirilen araç geçişleri, RO modeli tarafından yüksek doğrulukla tahmin edilmiştir. Sanayi bölgelerinde bulunan 1. ve 2. Kavşaklar, pandemi sürecinde bile ekonomik hareketliliğin devam etmesi nedeniyle trafik akışında stabil bir seyir göstermiştir. Bu bölgelerdeki tahminler, genellikle gerçek verilere yakın bir uyum sergilemiştir. İstasyon ve Çardaklı Kavşakları ise daha düşük araç geçiş yoğunluğuna sahip olmasına rağmen, model bu kavşaklarda genel trendleri isabetli bir şekilde tahmin edebilmiştir.

Ocak ve Şubat aylarında trafik yoğunluğu oldukça dalgalı bir seyir izlemiş, bu durum tahmin hatalarının artmasına neden olmuştur. Şubat ayında ise tahminler daha istikrarlı bir görünüm sergilemiştir. Mart ayında modelin tahmin performansı zirveye yaklaşmış, düzenli araç geçiş trendleri modelin daha başarılı sonuçlar üretmesine olanak sağlamıştır. Nisan ayında ise hata oranları hafifçe yükselmiştir. Mayıs ve Haziran aylarında ise model performansında düşüş gözlemlenmiş, tahmin hataları artmıştır. Bu dönemde trafikteki ani dalgalanmalar, modelin uyum sağlamasını zorlaştırmıştır. Yaz aylarında trafik yoğunluğunun artmasıyla birlikte, Ağustos ayında model başarılı tahminler yaparken, Temmuz ayında sapmalar dikkat çekmiştir. Sonbahar ve kış aylarında ise model genel olarak yüksek doğruluk göstermiş, ancak yıl sonuna doğru tahmin hatalarının tekrar yükseldiği gözlenmiştir.

RO modeli, özellikle pandemi koşullarında dahi araç geçiş trendlerini isabetli bir şekilde tahmin etmiştir. Modelin doğruluk oranı birçok ayda %95'in üzerindedir ve Mart ile Ağustos aylarında gerçek verilere çok yakın sonuçlar üretmiştir. Öte yandan, Ocak, Mayıs ve Haziran aylarında tahmin hataları görece daha yüksek olmuştur. Bu durum, modelin özellikle yoğun dalgalanma dönemlerinde uyum sağlamakta zorlandığını göstermektedir.

6.2. Pandemi Dönemi Sonrası Trafik Yoğunluğu Tahmini

Grafikler, pandemi sonrası dönemde (2023-2024) 19 farklı kavşakta araç geçiş trendlerini göstermektedir. Siyah çizgiler gerçek araç geçiş sayılarını, kırmızı çizgiler ise RO modeli tahminlerini temsil etmektedir. Genel olarak, Hükümet Kavşağı (9. Kavşak) en yoğun trafiğin yaşandığı kavşak olmaya devam ederken, diğer kavşaklarda (özellikle 1-8 ve 10-19 arasında) trafik yoğunluğu düşük seviyelerde seyretmiştir. RO algoritması, genel eğilimleri ve trafik yoğunluğunu yüksek doğrulukla tahmin etmiştir.



Şekil 17 Pandemi Dönemi Sonrası Kavşaklara Göre Aylık Araç Geçiş Sayılarının Tahmini.

Pandemi sonrası dönemde genel olarak trafik hacminde bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış, ekonomik faaliyetlerin yeniden canlanması ve sosyal yaşamın normale dönmesiyle ilişkilendirilebilir. Ancak, bazı aylarda ve kavşaklarda dalgalanmalar devam etmektedir. Bu dalgalanmalar, belirli dönemlerdeki mevsimsel etkiler ve sosyal dinamiklerin trafik akışını etkilediğini göstermektedir.

RO modeli, gerçek verilerle yüksek bir uyum göstermiştir. Modelin R^2 değerleri büyük oranda %93'in üzerinde kalmış, bu da modelin tahmin başarısını ortaya koymaktadır. Yüksek doğruluk oranları, modelin trafik akışını öngörmeye etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bazı kavşaklarda mevsimsel etkiler ve sosyal dinamikler tahminlerin doğruluğunu sınırlamış; buna rağmen genel eğilimler tutarlı bir şekilde yakalanabilmiştir. Bu durum, modelin güçlü yanlarını ortaya koyarken, belirli koşullar altında iyileştirmelere ihtiyaç duyulduğunu da göstermektedir.

Genel olarak, pandemi sonrası trafik hacmindeki artış ve RO modelinin yüksek tahmin doğruluğu, trafik yönetimi ve planlaması açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Mevsimsel ve sosyal dinamiklerin etkisi altında olan kavşaklarda ek analizler ve model iyileştirmeleri yapılması, gelecekteki tahminlerin doğruluğunu daha da artırabilir. Bu bulgular, trafik akışının daha etkin yönetilmesi ve sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin geliştirilmesi için temel oluşturabilir.

No	AY	MSE (Ortalama Karesel Hata)	RMSE (Kök Ortalama Karesel Hata)	MAE (Ortalama Mutlak Hata)	MAPE (Ortalama Mutlak Yüzdesel Hata)	R^2 (Tahmin Doğruluğu)
1	Ocak	8.751E+09	93548.411	59913.450	8.062	0.967
2	Şubat	1.216E+10	110262.491	64994.676	8.309	0.956
3	Mart	8.393E+09	91614.468	41407.649	3.034	0.969
4	Nisan	1.086E+10	104200.828	59073.600	9.259	0.958
5	Mayıs	6.393E+09	79957.477	42346.895	3.461	0.972

6	Haziran	5.548E+09	74487.067	47740.373	4.812	0.978
7	Temmuz	9.592E+09	97936.857	66201.895	8.310	0.963
8	Ağustos	4.919E+09	70134.372	45012.089	5.044	0.980
9	Eylül	1.594E+09	39920.897	31468.019	4.095	0.992
10	Ekim	2.672E+09	51689.725	30411.647	3.090	0.989
11	Kasım	6.623E+09	81383.702	51969.976	5.230	0.972
12	Aralık	1.619E+10	127224.357	73254.139	7.248	0.932

Tablo 6 Performans metrikleri.

Tabloda, RO modelinin pandemi sonrası dönemde (2023-2024) aylık araç geçiş tahmin performansı değerlendirilmiştir. Model, özellikle Eylül (R^2 : 0.992) ve Ekim (R^2 : 0.989) aylarında en yüksek doğruluk oranına ulaşmıştır. Hata oranları bu aylarda oldukça düşüktür. Ancak, Şubat (R^2 : 0.956) ve Aralık (R^2 : 0.932) aylarında tahmin doğruluğu diğer aylara göre daha düşüktür; bu durum, trafik akışındaki dalgalanmaların tahmin performansını olumsuz etkilediğini göstermektedir. Genel olarak, modelin tahmin doğruluğu oldukça yüksektir ($R^2 > 0.93$), bu da modelin trafik eğilimlerini güvenilir bir şekilde yakaladığını göstermektedir.

6.2.1. Öne Çıkan Bulgular:

RO modeli, pandemi sonrası dönemde çoğunlukla yüksek performans sergilemiştir. Eylül ayı, modelin en başarılı olduğu dönemdir ve R^2 değeri 0.992 ile en yüksek doğruluk oranına ulaşmıştır. Bu ayda MAE (31468) ve RMSE (39920) gibi düşük hata değerleri, modelin araç geçiş sayılarını oldukça isabetli tahmin ettiğini göstermektedir. Benzer şekilde, Ekim ayı da R^2 değeri 0.989 ile çok başarılı bir dönemdir ve hatalar oldukça düşük seviyededir (MAE: 30411 RMSE: 51689). Ancak, Şubat ve Aralık aylarında model performansında bir miktar düşüş gözlenmiştir. Aralık ayında R^2 değeri 0.932'e düşmüş ve RMSE (127224) ile MAE (73254) değerleri yüksek seviyelere çıkmıştır. Bu durum, trafiğin dalgalı yapısının modelin tahmin gücünü zorladığını göstermektedir. Benzer şekilde, Şubat ayında da model hata oranları artmış ve dalgalanmaları tam anlamıyla yakalamakta zorlanmıştır. Genel olarak, RO modeli, pandemi

sonrası dönemde R^2 değerlerinin çoğunlukla 0.93'ün üzerinde olmasıyla başarılı bir tahmin performansı sergilemiş ve trafik eğilimlerini anlamada güvenilir bir araç olduğunu kanıtlamıştır.

Hükümet Kavşağı (9. Kavşak), tüm aylarda en yoğun trafiğin yaşandığı nokta olmuştur. Bu kavşakta gerçekleşen trafik eğilimleri, model tarafından başarıyla tahmin edilmiştir. Sanayi bölgeleri olarak bilinen Sanayi 1. Kapı ve Sanayi 2. Kapı kavşaklarında, pandemi sürecinde bile ekonomik hareketliliğin devam ettiği görülmüş ve bu bölgelerde trafik akışında istikrarlı bir seyir gözlenmiştir. RO modeli, bu kavşaklardaki trafik eğilimlerini doğru bir şekilde tahmin etmiştir. İstasyon ve Çardaklı Kavşakları (8. ve 10. Kavşaklar) ise orta yoğunlukta trafike sahip olup, model genel trendleri isabetli bir şekilde tahmin etmiştir.

RO modeli, pandemi sonrası dönemde trafik eğilimlerini tahmin etmede genel olarak başarılı bir performans sergilemiştir. Özellikle Eylül ve Ekim aylarında modelin doğruluk oranı zirve yapmış, tahmin hataları oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. Bununla birlikte, Ağustos ayı da başarılı aylar arasında yer alırken, Şubat ve Aralık aylarında modelin performansında görece bir düşüş gözlenmiştir. Bu aylarda hata oranlarının artması, trafik akışındaki ani dalgalanmaların tahmin doğruluğunu olumsuz etkilemiştir. Bu durum, modelin özellikle dalgalı trafik akışına sahip dönemlere daha iyi uyum sağlayabilmesi için geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Pandemi sonrası trafik akışının normalleşmeye başlamasıyla birlikte, RO modeli genel eğilimleri doğru bir şekilde yakalamış ve trafik tahminleri için güvenilir sonuçlar sunmuştur. Bu analiz, pandemi sonrası dönemde Balıkesir'deki trafik yoğunluğunu anlamak ve modelleme sonuçlarını değerlendirmek açısından önemli bir rehber niteliğindedir. Modelin sağladığı öngörüler, trafik yönetim stratejilerinin geliştirilmesi ve gelecekteki trafik planlamalarına ışık tutmak için değerli bir veri kaynağıdır.

6.3. Pandemi Dönemi ve Sonraki Dönemin Değerlendirilmesi

6.3.1. Trafik Eğilimleri ve Kavşak Yoğunlukları

Pandemi döneminde, sokağa çıkma kısıtlamaları ve işyerlerinin kapanması gibi faktörler nedeniyle trafik yoğunluğu genel olarak düşük seviyelerde seyretmiş ve bazı aylarda ciddi dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Bu süreçte, Hükümet Kavşağı (9. Kavşak), en yoğun trafik akışına sahip kavşak olarak öne çıkmıştır. Buna karşılık, Sanayi 1. ve 2. Kapılar ile çevre kavşaklar (8. ve 10. Kavşaklar) nispeten daha düşük trafik seviyeleri sergilemiştir. Bu

farklılıklar, pandemi sürecinin çeşitli bölgelerdeki ekonomik ve sosyal faaliyetler üzerindeki etkilerini yansıtmaktadır.

Pandemi sonrası dönemde, yani 2023-2024 yıllarında trafik yoğunluğu normalleşmeye başlamış ve araç geçiş hacimleri genel olarak artmıştır. Hükümet Kavşağı, bu dönemde de en yoğun trafiğe sahip kavşak olma özelliğini sürdürmüştür. Sanayi ve çevre kavşaklarındaki araç geçişleri ise pandemi dönemine kıyasla bir miktar artış göstermiştir. Bu artış, ekonomik faaliyetlerin yeniden canlanması ve sosyal hayatın normale dönmesiyle bağlantılı olarak değerlendirilebilir. Pandemi sonrası trafik dinamiklerindeki bu değişiklikler, bölgesel trafik yönetimi stratejilerinin gözden geçirilmesi ve adaptasyon süreçlerinin önemini vurgulamaktadır

6.3.2. Trafik Yoğunluğu ve Dalgalanmalar

Pandemi döneminde, sokağa çıkma kısıtlamaları ve diğer önlemler nedeniyle araç geçiş sayılarında ciddi düşüşler ve ani artışlar gözlemlenmiştir. Bu dalgalanmalar, özellikle kısıtlamaların kaldırıldığı veya uygulandığı dönemlerde belirginleşmiş ve modelin tahminlerini zorlaştırmıştır. Kısıtlamaların getirilmesi ve kaldırılması arasındaki geçişler, trafik akışında öngörülemeyen değişikliklere neden olmuş, bu da tahmin modellerinin doğruluğunu olumsuz etkilemiştir.

Pandemi sonrası dönemde ise, trafik akışı daha düzenli bir hale gelmiştir. 2023-2024 yıllarında, normalleşme süreciyle birlikte araç geçiş hacimleri genel olarak artmış ve trafik dinamikleri istikrarlı bir seyir izlemiştir. Özellikle Eylül ayında, model düşük hata oranlarıyla oldukça başarılı tahminler gerçekleştirmiştir. Bu başarı, pandemi sonrası trafik düzenlemelerinin ve ekonomik faaliyetlerin yeniden canlanmasının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Trafik akışındaki bu istikrar, tahmin modellerinin doğruluğunu artırmış ve gelecekteki trafik yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamıştır.

6.3.3. Model Performansı

Pandemi döneminde, RO modeli tahmin performansı açısından genel olarak başarılı bir görüntü sergilemiştir. Modelin R^2 değerleri çoğunlukla 0.94'ün üzerinde kalmış, bu da trafikteki dalgalanmaları genel olarak doğru bir şekilde yakaladığını göstermektedir. Özellikle Mart, Nisan ve Ağustos aylarında modelin tahmin hataları oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. Bununla birlikte, Ocak ve Kasım aylarında yaşanan dalgalı trafik koşulları nedeniyle modelin tahmin

performansı zayıflamış ve hata oranları artmıştır. Bu durum, pandemi sürecindeki öngörülemeyen değişikliklerin modelin doğruluğunu etkilediğini ortaya koymaktadır.

Pandemi sonrası dönemde ise RO modeli, R^2 değerleri 0.93 ile 0.99 arasında değişen başarılı tahminler yapmıştır. Eylül ve Ekim ayları, modelin en yüksek doğruluk oranına ulaştığı dönemler olarak öne çıkmaktadır. Bu dönemde trafik yoğunluğunun daha düzenli olması, modelin istikrarlı bir performans sergilemesine katkı sağlamıştır. Ancak, Şubat ve Aralık aylarında tahmin hatalarının nispeten yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu artış, bu aylarda yaşanan trafik dalgalanmalarının modelin tahmin doğruluğunu olumsuz etkilediğini göstermektedir. Pandemi sonrası normalleşme sürecinin trafik akışını daha öngörülebilir hale getirmesi, modelin genel performansını iyileştirirken, belirli dönemlerdeki dalgalanmalar hala tahmin doğruluğunu zorlamaktadır.

Bu bulgular, RO modelinin pandemi ve pandemi sonrası dönemlerde trafik tahminlerinde genel olarak güvenilir sonuçlar sunduğunu, ancak belirli koşullar altında performansının dalgalanabileceğini göstermektedir. Modelin doğruluk oranlarının yüksek olması, trafik yönetimi ve planlaması açısından önemli veriler sağlayabileceğini işaret ederken, dalgalı dönemlerde ek önlemler ve model iyileştirmeleri gerekliliğini de ortaya koymaktadır. Gelecekte, trafik dinamiklerindeki ani değişikliklere daha iyi uyum sağlayacak yöntemlerin geliştirilmesi, modelin tahmin başarısını artırabilir ve trafik yönetim stratejilerinin etkinliğini destekleyebilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Çalışmanın Özet Bulguları

COVID-19 pandemisi, yalnızca sağlık ve sosyal alanlarda değil, ulaşım dinamikleri ve trafik yönetimi üzerinde de köklü değişikliklere neden olmuştur. Bu çalışmada, Balıkesir ili özelinde trafik yoğunluğu pandemi ve pandemi sonrası dönemlerde detaylı bir şekilde analiz edilmiş, makine öğrenimi ve yapay zekâ temelli yaklaşımların trafik yönetiminde sağlayabileceği katkılar değerlendirilmiştir. Bireysel araç kullanımındaki artış ve toplu taşıma tercihlerindeki düşüş, pandeminin etkilerini açıkça ortaya koymuştur. Pandemi döneminde, şehir merkezlerinde trafik yoğunluğunun %50'nin üzerinde azalması, bireylerin sağlık endişeleri doğrultusunda bireysel araçlara yöneldiğini göstermektedir. Özellikle ticari ve sosyal merkezlerde gözlemlenen

bu azalmalar, insanların ulaşım tercihlerinin sağlık endişeleri doğrultusunda yeniden şekillendiğini göstermiştir.

7.2. Çözüm Önerileri

Çalışmada kullanılan regresyon analizleri ve RO modeli, pandemi dönemindeki trafik dalgalanmalarını ve pandemi sonrası dönemde artan trafik hacmini başarıyla analiz etmiştir. Pandemi süresince araç geçişlerinde dalgalanmalar olduğunu ve özellikle sanayi bölgeleri gibi lojistik faaliyetlerin sürdüğü alanlarda trafik yoğunluğunun pandemiden daha az etkilendiğini ortaya koymuştur. Sanayi bölgelerine yakın kavşaklarda trafik akışının pandemiye rağmen nispeten stabil kalması, bu alanlardaki ekonomik faaliyetlerin sürekliliğini göstermektedir. Ancak bireysel araç kullanımındaki artış, şehir merkezindeki kavşaklarda trafik yoğunluğunu pandemi öncesi seviyelere hatta daha üstüne taşıma riski yaratmaktadır. Toplu taşıma kullanımının azalması ve bireysel araçların tercih edilmesi, şehir içi trafiği önemli ölçüde etkilemiş ve kavşaklarda yeni düzenlemeler yapılmasını gerekli kılmıştır.

RO modeli gibi makine öğrenimi yaklaşımları, pandemi sonrası dönemdeki trafik normalleşmesini isabetli bir şekilde öngörmüştür. Mayıs ve Eylül aylarında $R^2 > 0.99$ gibi yüksek doğruluk oranlarına ulaşan model, pandemi sonrası trafik akışını doğru bir şekilde tahmin etmiştir. Bununla birlikte, Ocak ve Temmuz aylarında, trafik dalgalanmalarındaki artış nedeniyle tahmin hatalarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, modelin karmaşık ve değişken trafik akışlarına daha iyi uyum sağlayacak şekilde geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Makine öğrenimi yaklaşımlarının genel olarak trafik eğilimlerini değerlendirme ve tahmin etmede sağladığı katkılar, özellikle pandemi sonrası trafik dinamiklerinin analizinde değerli bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

7.3. Akıllı Trafik Sistemlerinin Entegrasyonu

Pandemi sonrası dönemde bireysel araç kullanımındaki artış, toplu taşıma sistemlerinin cazibesini azaltmış ve şehir içi trafik yoğunluğunun yeniden yükselmesine neden olmuştur. Bu durumun tersine çevrilebilmesi için toplu taşıma kullanımını teşvik eden çeşitli stratejiler geliştirilmelidir. Öncelikli olarak, toplu taşıma ücretlerinin düşürülmesi veya belirli dönemlerde ücretsiz ulaşım imkânlarının sağlanması gibi ekonomik teşvikler hayata geçirilebilir. Ayrıca, uygun fiyatlı abonman modelleri, kullanıcı sadakatini artırmak ve toplu taşımanın tercih edilmesini sağlamak için etkili bir çözüm sunabilir. Toplu taşıma araçlarının konfor, hijyen ve

güvenlik standartlarının iyileştirilmesi, pandemi sonrası oluşan olumsuz algıyı değiştirecek ve kullanıcı memnuniyetini artıracaktır. Bunun yanı sıra, bisiklet ve scooter gibi mikromobilité araçlarının toplu taşıma sistemine entegre edilmesi, özellikle kısa mesafelerde duraklara erişimi kolaylaştırarak toplu taşımanın tercih edilmesini destekleyecektir. Ek olarak, toplu taşıma araçlarına özel şeritlerin oluşturulması ve kavşaklarda bu araçlara sinyalizasyon önceliği verilmesi, toplu taşımanın hızını ve etkinliğini artırarak cazibesini güçlendirebilir.

Kavşakların trafik akışındaki kritik rolü göz önünde bulundurulduğunda, mevcut sinyalizasyon sistemlerinin uyarlanabilir hale getirilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Akıllı trafik yönetim sistemlerinin devreye alınması, özellikle gerçek zamanlı trafik yoğunluğuna göre sinyal sürelerini optimize ederek trafik akışını iyileştirme potansiyeline sahiptir. Yeşil dalga uygulamaları gibi yenilikçi çözümler, şehir merkezindeki trafik sıkışıklığını azaltmada etkili yöntemler arasında yer alabilir. Buna ek olarak, kavşakların fiziksel yapılarında yapılacak düzenlemeler, özellikle yoğun bölgelerdeki trafiği rahatlatılabilir. Yoğun araç trafiği olan kavşaklarda farklı seviyeli kavşakların (katlı kavşaklar) inşası, uzun vadede trafik sıkışıklığını azaltabilecek önemli bir altyapı çözümü olarak değerlendirilmektedir.

Sanayi bölgelerinde yoğunlaşan ağır taşıt trafiği, bu alanlarda altyapı üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Bu nedenle, sanayi bölgelerine yönelik lojistik merkezlerin optimizasyonu yapılmalı ve ağır vasıta trafiği, belirli saat aralıklarında yönlendirilmelidir. Trafik yoğunluğunun belirli bölgelerde ve saatlerde artış göstermesi, esnek trafik yönetim sistemlerinin gerekliliğini bir kez daha ortaya koymaktadır. Ayrıca, pandemi sürecinde elde edilen veriler, kriz dönemlerinde şehir içi trafiğin daha verimli yönetilebilmesi için önemli bir rehber niteliğindedir. Bu veriler doğrultusunda, gelecekte benzer krizlere karşı daha esnek, sürdürülebilir ve kullanıcı dostu ulaşım politikalarının geliştirilmesi gerekmektedir.

7.4. Çevreci Ulaşım Modlarının Teşviki

Pandemi döneminde yaşanan trafik yoğunluğu dalgalanmaları ve bireylerin ulaşım tercihlerindeki değişimler, Balıkesir gibi şehirlerde trafik yönetimi ve planlama açısından yeni yaklaşımlar geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, ulaştırma politikalarının uzun vadeli ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyici bir yapıya kavuşturulması gerekmektedir. Özellikle akıllı trafik sistemlerinin benimsenmesi, yeşil dalga uygulamalarının yaygınlaştırılması ve mikromobilité çözümlerinin desteklenmesi, şehir içi ulaşımın daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine olanak sağlayacaktır.

7.5. Toplu Taşıma Sistemlerinin Geliştirilmesi

Pandemi sonrası dönemde bireysel araç kullanımındaki artış, toplu taşıma sistemlerinin cazibesini azaltmış ve trafik yoğunluğunun yeniden yükselmesine yol açmıştır. Bu durumun tersine çevrilebilmesi için toplu taşıma kullanımını teşvik eden çeşitli stratejiler geliştirilmelidir. Öncelikli olarak toplu taşıma ücretlerinin düşürülmesi veya belirli dönemlerde ücretsiz ulaşım imkânlarının sağlanması gibi ekonomik teşvikler uygulanabilir. Ayrıca, uygun fiyatlı abonman modelleri, kullanıcı sadakatini artırmak için etkili bir çözüm olabilir. Toplu taşıma araçlarının konfor, hijyen ve güvenlik standartlarının iyileştirilmesi, pandemi sonrası oluşan algıyı değiştirecek ve kullanıcı memnuniyetini artıracaktır. Bisiklet ve scooter gibi mikromobilité araçlarının toplu taşıma sistemine entegre edilmesi, kısa mesafelerde duraklara erişimi kolaylaştırarak toplu taşımanın tercih edilmesini sağlayabilir. Ek olarak, toplu taşıma araçlarına özel şeritlerin oluşturulması ve kavşaklarda toplu taşıma araçlarına sinyalizasyon önceliği verilmesi, bu sistemlerin hız ve etkinlik açısından cazibesini artıracaktır.

7.6. Gelecekteki Araştırmalar için Öneriler

Bu çalışmada, COVID-19 pandemisi döneminde ve sonrasında Balıkesir ili özelindeki trafik yoğunluğu ve bireylerin araç kullanım alışkanlıklarında meydana gelen değişimler ele alınmıştır. Ancak bu konunun farklı yönlerden daha kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerektiği görülmektedir. Örneğin, pandeminin ulaşım sistemlerine etkisinin farklı şehirler ve bölgelerde nasıl değiştiğinin analiz edilmesi, kırsal ve kentsel alanlar arasındaki farkları ortaya koyabilir. Ayrıca, bireysel araç kullanımındaki artışın çevresel ve ekonomik sonuçları ile mikromobilité gibi çevre dostu ulaşım modlarının uzun vadeli etkilerinin daha derinlemesine araştırılması faydalı olacaktır.

Gelecekte yapılacak araştırmalarda, adaptif sinyalizasyon sistemlerinin şehir içi trafik dinamikleri üzerindeki etkileri ve toplu taşıma politikalarının etkinliği detaylı bir şekilde incelenebilir. Balıkesir gibi şehirlerde, adaptif sistemlerin pilot uygulamalarının gerçekleştirilmesi, bu teknolojilerin trafik sıkışıklığını azaltma ve çevresel faydalar sağlama potansiyelini değerlendirmek için önemli bir adım olacaktır. Bunun yanı sıra, mevcut toplu taşıma sistemlerinin güzergâhları, sefer sıklıkları ve kapasite kullanım oranları analiz edilerek sistemin güçlü ve zayıf yönleri belirlenebilir. Ayrıca, yerel yönetimlerin sürdürülebilir ulaşım politikalarına yönelik projeler geliştirmesi ve toplu taşıma kullanımını teşvik eden kampanyalar

düzenlemesi, bireylerin ulaşım tercihlerine olumlu katkı sağlayabilir. Bu öneriler, yalnızca mevcut sorunlara çözüm sunmakla kalmayacak, aynı zamanda gelecekte benzer krizlere hazırlık yapma kapasitesini artıracaktır.

Bunun yanı sıra, kullanılan doğrusal regresyon ve RO algoritmalarına ek olarak, daha gelişmiş makine öğrenimi ve büyük veri analitiği yöntemleriyle trafik dinamikleri daha iyi modellenebilir. Özellikle krizlere dayanıklı akıllı trafik sistemlerinin geliştirilmesi ve farklı senaryolar üzerinden test edilmesi, gelecekte benzer durumlara hazırlık açısından değerli olacaktır. Sosyal ve ekonomik etkiler açısından da, toplu taşımada yaşanan düşüşün yarattığı eşitsizlikler ile bireysel araç kullanımındaki artışın maliyetlerinin detaylandırılması gerekmektedir. Bu tür araştırmalar, sürdürülebilir ulaşım politikalarının geliştirilmesi ve trafik yönetimi stratejilerinin iyileştirilmesi için kritik veriler sunabilir.

8. KAYNAKLAR

- [1] E. Korkmaz, “COVID-19 Salgın Sürecinin Toplu Taşıma Sistemlerine Etkisinin Anket Yöntemiyle İstanbul-Ankara İçin İncelenmesi,” *Journal of Disaster and Risk*, pp. 248, 2022.
- [2] Shatin, H., Yetişkul, E. (2021). Kentsel Ulaşım, Salgınlar ve Covid-19: Ankara Toplu Taşıma Sistemi, İDEALKENT, (COVID-19 Sonrası Kentsel Kamusal Mekânların Dönüşümü), pp. 415-451. <https://doi.org/10,31198/idealkent.880890>, 2021.
- [3] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), “Motorlu kara taşıtları bülteni,” Türkiye İstatistik Kurumu Yayınları, Nisan 2021. [Online]. Available: <https://www.tuik.gov.tr>.
- [4] A. Dağlı, S. Aydın, ve O. Çoruh, “Türkiye'deki ana arterlerde COVID-19 etkisi: Antalya örneği,” *Journal of Urban Mobility*, vol. 5, no. 3, pp. 54-70, 2021.
- [5] Y. Wang, Q. Zhang, ve B. Wolshon, “Estimating long-term and short-term impact of COVID-19 activity restriction on regional highway traffic demand: A case study in Zhejiang Province, China, 2023.
- [6] C. Cruz ve M. Sarmento, “The Impact of COVID-19 on Highway Traffic and Management: The Case Study of an Operator Perspective, 2021.
- [7] Uğur Eren Uzar, Türkiye Geneline Covid-19 Salgınının Seyahat Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi, pp 2, 2023.
- [8] H. Asari, “Decreased traffic volume during COVID-19 did not reduce roadkill on fenced highway network in Japan, 2021.
- [9] S. Kawathekar ve R. Bakde, “Traffic Count Analysis during COVID-19: Case Study of Toll Plazas under Project Highway along Nagpur- Jabalpur National Highway (NH44) near Nagpur, India, 2022.
- [10] J. De Vos, he effect of COVID-19 and subsequent social distancing on travel behavior, 2020.
- [11] Qihui Li, Qiang Bai, Aihui Hu, Zhoulin Yu, and Shixiang Yan, How Does COVID-19 Affect Traffic on Highway Network: Evidence from Yunnan Province, China 2022.
- [12] M. Gu, S. Sun, F. Jian ve X. Liu, Analysis of Changes in Intercity Highway Traffic Travel Patterns under the Impact of COVID-19, 2021.
- [13] M. Akı yaman, A. E. Erbaş , ve P. Alpkökin, COVID-19 sonrası kentlerde ulaşım planlamasında ara toplu taşımının önemi, 2023.
- [14] J. Hughes, D. T. Kaffine, ve B. M. Kaffine Decline in Traffic Congestion Increased Crash Severity in the Wake of COVID-19, 2022.

- [15] G. Karahan, Pandemi Döneminde İstanbul'da İşe Ulaşma Yöntemleri | Commuting to Work in Istanbul During the Pandemic Period, 2021.
- [16] Ç. Bozkurt, “Kırıkkale Kent Merkezinde Sinyalize Kavşakların İncelenmesi; Samsun Bulvarı Örneği, 2010
- [17] Toygun Atasoy, Sevilay Bostancı, Yeşim Aliefendioğlu Tanrıvermiş, Covid-19 (Sars-Cov-2) Salgının Toplu Ulaşım Olan Etkisinin Değerlendirilmesi: Ankara ve Mersin İllerinin Analizi, 2021
- [18] Yongji Ma, Jinliang Xu, Chao Gao and Xiaohui Tong, Impacts of COVID-19 Travel Restriction Policies on the Traffic Quality of the National and Provincial Trunk Highway Network: A Case Study of Shaanxi Province, 2022
- [19] Oğuzhan Gürsoy, Pandeminin Kentsel Hareketliliğe Etkisi ve Akıllı Şehirler İçin Uygulama Fırsatları, 2021
- [20] Jiří Ambros, Lucie Vyskocilova, Jan Elgner, Robert Zůvala How did COVID-19 restrictions impact the safety on Czech roads? Exploratory study combining the traditional and novel traffic data collection Technologies, 2023
- [21] Jonathan E. Hughes, Daniel Kaffine and Leah Kaffine, Decline in Traffic Congestion Increased Crash Severity in the Wake of COVID-19, 2022
- [22] Eşref Güçlü, Van Kent İçi Ulaşımında Akıllı Kavşak Yönetimi İçin Bir Planlama Çalışması, 2016
- [23] A.C. Demiral, “Antalya İli Muratpaşa İlçesinde Sinyalize Kavşak Analizi Örnek Çalışması, 2019
- [24] Nathan Hay, Otito Onwuzurike, Somesh P. Roy, Patrick McNamara, Margaret L. McNamara, Walter McDonald, Impact of trafç on air pollution in a mid-sized urban city during COVID-19 lockdowns, 2023
- [25] Y.N. Gülgeç, Sinyalize Kavşaklarda Trafik Akim Etkileşimleri Ve Bulanık Mantık Ile Değerlendirilmesi Balıkesir Örneği, 2019.
- [26] M.M. Akmaz, “Konya’nın Önemli Sinyalize Kavşaklarının Bilgisayar Programı İle İncelenmesi 2012.
- [27] Mutlu, Ö. , Durak, Z. , ve Akyer, H. Kademeli mesai saati ile trafik sıkışıklığının azaltılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2020
- [28] Euronews (2020). Avrupa’da koronavirüs, <https://tr.euronews.com/2020/03/21/avrupa-da-hangi-ulkeler-koronavirus-sebebiyle-karantina-ve-sokaga-cikma-yasagi-uyguluyor> adresinden erişildi. (23-12-2024)

- [29] Guan, L. Prieur, C. Zhang, L. Prieur, C. Georges, D. ve Bellemain, P. Transport effect of COVID-19 pandemic in France. Annual Reviews in Control, 2020
- [30] Erbaş O. COVID-19 döneminde hareketlilik: İstanbul kent içi toplu ulaşım. Kent Akademisi, 2020.
- [31] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), “Türkiye’nin nüfus ve ulaşım istatistikleri,” Türkiye İstatistik Kurumu Yayınları, 2023. [Online]. Available: <https://www.tuik.gov.tr>.
- [32] Balıkesir Büyükşehir Belediyesi (BBB), “Kent Rehberi,” Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Yayınları, 2024.
- [33] Balıkesir Büyükşehir Belediyesi (BBB), “Balıkesir Şehir İçi Trafik Planlaması Raporu,” Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Yayınları, 2020.
- [34] Balıkesir Büyükşehir Belediyesi (BBB), “Ulaşım Master Planı (UAP),” Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Yayınları, 2018.
- [35] Balıkesir Büyükşehir Belediyesi (BBB), “Balıkesir Ulaşım Master Planı,” Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Yayınları, 2018.
- [36] Yayla, N. , Karayolu mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul,2002
- [37] Tunç, A. , Trafik mühendisliği ve uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti. Ankara, 2003
- [38] C. Turan, Sinyalize Dönel Kavşakların Trafik Mikrosimülasyon Yöntemi Ile Modellenmesi Ve İyileştirme Önerilerinin Analizi, 2019.
- [39] H.N. Jiman ve N.A. Hussein, “Traffic Assessment and Optimization at Signalized Intersections: A Review Study, 2022.
- [40] Murat, Y., Ş.,Denizli Şehiriçi Kavşaklardaki Trafik Akımlarının Bilgisayarlarla İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 6-21, (1996).
- [41] Liu, Z. A survey of intelligence methods in urban traffic signal control. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, 7(7), 105-112. (2007).
- [42] T. Özkul, 10. Yıl Arterindeki 3 Eş Düzey Sinyalize Kavşağın Akıllı Kavşak Performanslarının İncelenmesi,2023
- [43] K. Zou, K. Tuncali, S. Silverman, Correlation and simple linear regression.2003
- [44] J. Douma, J. Weedon, Analysing continuous proportions in ecology and evolution: A practical introduction to beta and Dirichlet regression, 2019
- [45] Nataliya Chukhrova, Arne Johannssen, Fuzzy regression analysis: Systematic review and bibliography,2019
- [46] R. Sundberg, Aspects of statistical regression in sensometrics, 2000
- [47] Hasan Ali Khattak, Munam Ali Shah, Fehda Malik, Intelligent Transport System: An Important Aspect of Emergency Management in Smart Cities, 2018

9. EKLER

9.1. Veri Toplama Sürecine Ait Ek Bilgiler

9.1.1. RO Algoritması MATlab Kaynak Kodu

```
clc; clear;
close all;

%% 1. Veriyi Yükleme ve Gözden Geçirme
filename = 'Dataset.xlsx'; % Veri seti dosya adı
data = readtable(filename); % Excel dosyasını tablo olarak oku

% Verileri sütunlara göre sırala.
data = sortrows(data, {'YEAR', 'MONTH', 'ID'});

Months = {'Ocak', 'Temmuz', 'Şubat', 'Ağustos', 'Mart', 'Eylül', ...
          'Nisan', 'Ekim', 'Mayıs', 'Kasım', 'Haziran', 'Aralık'};

procType = input('Pandemi dönemi için [1], sonrası için [2] giriniz: ');

if (procType == 1)
    targetYears = [2021, 2022];
    figTitle = 'Pandemi Dönemi';
else
    targetYears = [2023, 2024];
    figTitle = 'Pandemi Sonrası';
end

disp(['<strong>', figTitle, ': </strong>Aylık Araç Geçiş Sayılarının Tahmini']);

% Performans metriklerini saklamak için boş matris
performanceMetrics = zeros(12, 4); % [MSE, RMSE, MAE, R^2]
```

```

% Grafik için subplot ayarları
figure;
sgtitle([figTitle, ' Aylık Araç Geçiş Sayılarının Tahmini']); % Genel başlık

for targetMonth = 1:12 % Her ay için döngü
    % Veriyi ayıklama
    dataFiltered = data(ismember(data.YEAR, targetYears), :);
    testIndex = ismember(dataFiltered.MONTH, targetMonth);
    trainIndex = ~ismember(dataFiltered.MONTH, targetMonth);

    %% 2. Özellikleri Ayırma ve Hazırlık
    % Bağımsız değişkenler: Kavşak ID, Yıl ve Ay
    intersectionID = dataFiltered.ID; % Kavşak ID
    year = dataFiltered.YEAR; % Yıl
    month = dataFiltered.MONTH; % Ay

    % Ek bağımsız değişkenler: Günlük araç geçişleri
    dailyCounts = dataFiltered{:, 5:34}; % Günlük araç geçişleri
    % NaN değerlerini sıfırla değiştir
    dailyCounts(isnan(dailyCounts)) = 0;

    % Aylık toplam araç geçişleri (hedef değişken)
    monthlyTotal = sum(dailyCounts, 2);

    % Eğitim verisi için tam bir özellik matrisi oluşturuyoruz
    features = [intersectionID, month, sum(dailyCounts, 2)];

    %% 3. Eğitim ve Test Verilerinin Ayrılması
    % Eğitim ve test setlerini ayırma
    XTrain = features(trainIndex, :); % Eğitim için bağımsız değişkenler
    YTrain = monthlyTotal(trainIndex); % Eğitim için bağımlı değişken

```

```

% Test setini düzenleme
groupMeans = accumarray(features(testIndex, 1), features(testIndex, 3), [], @mean);
uniqueGroups = unique(features(testIndex, 1));
XTest = [uniqueGroups, targetMonth * ones(numel(uniqueGroups), 1), groupMeans];

groupMeans = accumarray(features(testIndex, 1), monthlyTotal(testIndex), [], @mean);
YTest = groupMeans;

%% 4. Random Forest Modeli ile Tahmin
% Random Forest (Bagging) modeli eğitimi
randomForestModel = fitrensemble(XTrain, YTrain, 'Method', 'Bag',
'NumLearningCycles', 50);

%% 5. Model Tahmini
% Test seti üzerinde tahmin
YPred = predict(randomForestModel, XTest);

%% 6. Performans Değerlendirme
% Mean Squared Error (MSE)
mseValue = mean((YTest - YPred).^2);
% Root Mean Squared Error (RMSE)
rmseValue = sqrt(mseValue);
% Mean Absolute Error (MAE)
maeValue = mean(abs(YTest - YPred));
% R-Squared (R^2)
sst = sum((YTest - mean(YTest)).^2); % Total Sum of Squares
ssr = sum((YTest - YPred).^2); % Residual Sum of Squares
rSquared = 1 - (ssr / sst);

% Performans metriklerini kaydet
performanceMetrics(targetMonth, :) = [mseValue, rmseValue, maeValue, rSquared];

```

```

%% 7. Sonuçların Görselleştirilmesi
% Her ay için subplot
subplot(6, 2, targetMonth); % 6 satır, 2 sütunlu subplot
plot(1:length(YTest), YTest, 'ko-', 'LineWidth', 1.5); hold on;
plot(1:length(YPred), YPred, 'r^--', 'LineWidth', 1.5);
title(Months{targetMonth});
xticks(1:length(YTest));
xlabel('Kavşak No');
ylabel('Toplam Geçiş');
legend('Gerçek', 'Tahmin');
grid on;
end

%% 8. Performans Tablosu
% Performans metriklerini tabloya dönüştür
performanceTable = array2table(performanceMetrics, ...
    'VariableNames', {'MSE', 'RMSE', 'MAE', 'R2'}, ...
    'RowNames', Months);

% Performans tablosunu görüntüleme
disp('Aylara Göre Performans Metrikleri:');
disp(performanceTable);

% Add Row Names as a new column
performanceTable.MONTH = performanceTable.Properties.RowNames;

% Reorder to place RowName as the first column
performanceTable = movevars(performanceTable, 'MONTH', 'Before', 1);

writetable(performanceTable, 'Exports\YapayZekaSonuclari\performanceTable.xlsx',
    'Sheet', figTitle);

```

Bu kaynak kod, belirli bir veri setine dayalı olarak RO algoritmasını kullanarak aylık araç geçiş sayılarının tahmin edilmesini ve tahmin performansının değeriendirilmesini sağlar.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	KENAN ERYILMAZ
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	
Telefon	
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

	Eğitim Bilgileri
	Lisans
Üniversite	BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
Fakülte	MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ
Bölümü	İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Mezuniyet Yılı	2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	Bandırma Onyedli Eylül
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	
Programı	

Makale ve Bildiriler
Changes in Traffic Density and Vehicle Usage Habits During and After the Pandemic in Balıkesir Province, 30.12.2024, https://doi.org/10.47897/bilmes.1602255