



**YAYA ULAŞIMININ ARTIRILMASI VE
GÜVENLİKLERİNİN SAĞLANMASI AMACIYLA
YAPAY ZEKÂ VE GÖRÜNTÜ İŞLEME
YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI**

Emre KUŞKAPAN

**Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Muhammed Yasin ÇODUR**

**2023
Her hakkı saklıdır.**



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZİ

YAYA ULAŞIMININ ARTIRILMASI VE GÜVENLİKLERİNİN SAĞLANMASI
AMACIYLA YAPAY ZEKÂ VE GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİNİN
KULLANILMASI

Emre KUŞKAPAN

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Muhammed Yasin ÇODUR

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2023

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

15 / 09 / 2023

İmzası

Emre KUŞKAPAN

ÖZET

DOKTORA TEZİ

YAYA ULAŞIMININ ARTIRILMASI VE GÜVENLİKLERİNİN SAĞLANMASI AMACIYLA YAPAY ZEKÂ VE GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI

Emre KUŞKAPAN

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Muhammed Yasin ÇODUR

Ulaştırmayı oluşturan temel unsurlardan bir tanesi olan yayalar, trafiğin en savunmasız kullanıcılarıdır. Öte yandan küresel enerji krizleri ve kent merkezlerinde oluşan hava kirliliklerindeki artışlar kısa mesafelerde motorlu taşıt kullanımı yerine yaya ulaşımının ve mikro hareketlilik taşıtlarının tercih edilmesi gerektiğini bir kez daha ortaya koymuştur. Yaya ulaşımının artırılması ve bu yayalara daha güvenli ulaşım imkânlarının sağlanması ise gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerin en önemli politikalarındandır. Bu tez çalışmasında; hava kirliliği, yakıt fiyatları, yaya yollarının tasarımı, yaya ölümlü veya yaralanmalı trafik kazaları yaya ulaşımı açısından ayrı ayrı ele alınmıştır. Akıllı ulaşım sistemlerinin yapısında yer alan makine öğrenmesi, coğrafi bilgi sistemleri ve yapay sinir ağları kullanılarak yapılan analizler neticesinde, ulaştırma sektörünün hava kirliliğindeki payı, yaya geçitlerindeki sorunlar, yaya ölüm veya yaralanmalı kazalarda en etkili faktörler tespit edilmiştir ve bu durumlar yaya ulaşımı açısından yorumlanmıştır. Bu analizlerden sonra tekerlekli sandalyeli yayaların en sık yaşadıkları problemlerden olan, kavşaklarda yer alan yaya yollarındaki geçişin güvenli sağlanabilmesi için derin öğrenme tabanlı model geliştirilmiştir. Modelin eğitilmesi için kullanılan veri seti görüntü işleme yöntemiyle artırılmıştır. Oluşturulan model sayesinde yaya yolundan geçmekte olan tekerlekli sandalyeli bireyler YOLO algoritması ile tespit edilmiş, Deepsort ile hibrit edilmiş model ile de nesne takip işlemi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın son kısmında ise elde edilen bulgular neticesinde yaya ulaşımının artırılması ve güvenliklerinin sağlanması ile ilgili çözüm önerileri sunulurken tez süreci tamamlanmıştır.

2023, 191 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yaya ulaşımı, yaya güvenliği, akıllı ulaşım sistemleri, yapay zekâ

ABSTRACT

Ph.D

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND IMAGE PROCESSING METHODS TO INCREASE PEDESTRIAN TRANSPORTATION AND ENSURE THEIR SAFETY

Emre KUŞKAPAN

Erzurum Technical University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Muhammed Yasin ÇODUR

Pedestrians, one of the basic elements of transportation, are the most vulnerable users of traffic. On the other hand, the global energy crisis and the increase in air pollution in urban have again demonstrated that pedestrian transportation and micro mobility vehicles should be preferred over the use of motor vehicles for short distances. Increasing pedestrian transportation and providing safer transportation opportunities to pedestrians is one of the most important policies of developing countries. In this thesis, in order to examine pedestrian transportation, air pollution, fuel prices, pedestrian crossing design, and traffic accidents involving death or injury to pedestrians are discussed. As a result of the analyses made by using machine learning, geographical information systems and artificial neural networks in the structure of intelligent transportation systems, the share of the transportation sector in air pollution, problems in pedestrian crossings, and the most effective factors in pedestrian death or injury accidents were determined. After these analyses, a deep learning-based model, which is an artificial intelligence method, was developed to ensure safe crossing of pedestrian roads at intersections, which is one of the most common problems experienced by pedestrians in wheelchairs. The data set used to train the model was increased by image processing. Thanks to the model, individuals in wheelchairs crossing the pedestrian path were detected with the YOLO, and the object tracking process was realized with the model hybridized with Deepsort. In the last part of the study, as a result of the findings obtained, the thesis process was completed by presenting solutions for increasing pedestrian transportation and ensuring their safety.

2023, 191 page

Keywords: Pedestrian transportation, pedestrian safety, intelligent transportation systems, artificial intelligence

TEŞEKKÜR

Akademik hayatıma başladığım ilk günden bu yana bana desteklerini esirgemeyen, hayat tecrübesini ve bilgi birikimini aktaran, tez çalışmalarımın yürütülmesinde ve tezin yazım aşamasında bana her türlü desteği sağlayan çok kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Muhammed Yasin ÇODUR'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tezimin hazırlanmasında ve geliştirilmesinde katkılarını esirgemeyen ve mesleki alanda fikirlerinden çokça yararlandığım tez izleme üyelerim Prof. Dr. Ahmet TORTUM ve Doç. Dr. Ahmet ATALAY hocalarıma da teşekkürü bir borç bilirim. Bununla birlikte tez sürecinde katkıda bulunan Dr. Öğr. Üyesi Merve KAYACI ÇODUR ve Öğr. Gör. Emre ÇİNTAŞ'a, savunma jürime katılan Doç. Dr. Osman Ünsal BAYRAK ve Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Ali ÇOLAK hocalarıma teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım boyunca TÜBİTAK 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Bursu ile şahsımı destekleyen TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında en büyük destekçim eşim Dr. Esra ALTINTAŞ KUŞKAPAN'a, maddi manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeye annem Ayşe KUŞKAPAN ve babam Nafiz KUŞKAPAN'a, hayatıma girmesiyle hayatımın daha da anlamlandığı sevgili oğlum Ahmet Emir'e, her zaman yanımda olan ablalarım Merve, Meryem ve kardeşim Meral'e çok teşekkür ederim.

Emre KUŞKAPAN
Eylül 2023

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Yaya Ulaşımı.....	1
1.2. Yaya Güvenliği	6
2. KAYNAK ÖZETLERİ	17
3. MATERYAL ve YÖNTEM	32
3.1. Çalışma Alanı.....	32
3.1.1. Erzurum ilinin ulaşım altyapısı	33
3.2. Çalışma Alanının Gerekçesi.....	44
3.2.1. Hava kirliliği	44
3.2.2. Yakıt fiyatları	47
3.2.3. Yaya yolu ihlalleri.....	48
3.2.4. Trafik kazaları ve hız ihlalleri	51
3.3. Çalışmada Kullanılan Yöntemler	56
3.3.1. Yapay zekâ	56
3.3.2. Makine öğrenmesi.....	58
3.3.2.1. Doğrusal regresyon algoritması	58
3.3.2.2. Lojistik regresyon algoritması.....	59
3.3.2.3. Naive bayes algoritması	60
3.3.2.4. Destek vektörü makineleri algoritması	61
3.3.2.5. Karar ağacı algoritması	62
3.3.2.6. K-en yakın komşu algoritması	63
3.3.2.7. Rastgele orman algoritması.....	65
3.3.2.8. Gradyan artırma algoritması.....	66

3.3.2.9. K-ortalamalar algoritması	66
3.3.3. Yapay sinir ağıları	67
3.3.4. Derin öğrenme.....	71
3.3.4.1. Konvolüsyonel sinir ağıları	71
3.3.4.2. Tekrarlayan sinir ağıları	73
3.3.4.3. Uzun kısa süreli hafıza ağıları	74
3.3.4.4. Sınırlı Boltzman makineleri	75
3.3.4.5. Derin oto-kodlayıcılar	75
3.3.4.6. Yapay zekâ analiz yöntemlerinde kullanılan kavramlar	76
3.3.5. Görüntü işleme	79
3.3.6. Coğrafi bilgi sistemi.....	82
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	86
4.1. Hava Kirliliğinin Ele Alınması	86
4.2. Fosil Yakıt Tüketimlerinin Ele Alınması.....	95
4.3. Yaya Yolu İhlallerinin Ele Alınması	96
4.4. Yaya Yolu Tasarımlarının Ele Alınması	103
4.5. Yaya Güvenliğinin Ele Alınması	123
4.5.1. Sinyalize kavşaklardaki yaya yollarında meydana gelen yaya ölümlü veya yaralanmalı kazaların ele alınması.....	123
4.5.2. Sinyalize kavşaklardaki yaya yolundan tekerlekli sandalyeli bireylerin geçişlerinin ele alınması.	135
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	158
KAYNAKLAR	163
EKLER.....	174
EK 1.....	174
EK 2.....	176
EK 3.....	178
EK 4.....	180

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

PM ₁₀	Partiküler madde
SO ₂	Kükürt dioksit
NO _x	Azot oksitler

Kısaltmalar

CART	Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CNG	Sıkıştırılmış Doğalgaz
CNN	Konvolüsyonel sinir ağları
DHMI	Devlet Hava Meydanları İşletmesi
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
EBB	Erzurum Büyükşehir Belediyesi
EDS	Elektronik Denetleme Sistemi
EGM	Emniyet Genel Müdürlüğü
IPMS	Akıllı Yaya Hareketlilik Sistemleri
ISTEA	Intermodal Karayolu Taşımacılığı Verimliliği Yasası
İBBS	İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması
J48	Bir Karar Ağacı Algoritması
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
KNN	En Yakın Komşuluk Algoritması
LIDAR	Lazer ile Nesne ve Uzaklık Tespiti
LSTM	Uzun Kısa Süreli Hafıza Ağları
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MAPRT	Çoklu Katkılı Poisson Regresyon Ağaçları
NCAP	Yeni Araç Değerlendirme Programı
OHKK	Kök Ortalama Kare Hatası
OMH	Ortalama Mutlak Hata

P-LPN	Yaya Konum Algılama Ağı
R^2	Korelasyon Değerinin Karesi
R-CNN	Bölgesel Tabanlı Konvolüsyonlu Sinir Ağı
RBM	Sınırlı Boltzman makineleri
ROC	Alıcı İşletim Karakteristiği
RNN	Tekrarlayan sinir ağları
SVM	Destek Vektör Makineleri
TOGG	Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNECE	Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu
UYM	Ulaşım Yönetim Merkezi
V2P	Araçtan yayaya
V2V	Araçtan Araca
VPD	Araç-Yaya Algılama
VRU	Savunmasız Yol Kullanıcıları
YOLO	Sadece Bir Kez Bak
YSA	Yapay Sinir Ağı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Otomobile dayalı ulaşım sistemindeki kısır döngü..	4
Şekil 1.2. 3,5 metre genişliğindeki bir yoldaki saatlik yolculuk kapasiteleri	5
Şekil 1.3. Araç hızına göre ortalama durma mesafesi ve çarpma hızına göre yaya can kaybı riski	9
Şekil 1.4. Taşıt hızına göre görüş açısındaki değişim, hız dilimine göre durma mesafesi ve yayalar için can kaybı riski	10
Şekil 1.5. Avrupa ülkelerinde meydana gelen yaralanmalı trafik kaza sayısı	12
Şekil 1.6. Avrupa ülkelerinde trafik kazalarında hayatını kaybeden yaya sayısı	13
Şekil 3.1. Çalışma alanı olan Erzurum'un konumu	33
Şekil 3.2. Erzurum kent içi ulaşım ağı	35
Şekil 3.3. Büyükşehir Belediyesi sorumluluğunda olan sinyalize kavşak konumları	36
Şekil 3.4. Kent merkezindeki toplu taşıma araçlarının hat güzergâhları	37
Şekil 3.5. Kent merkezindeki otobüs duraklarının konumları	38
Şekil 3.6. Kentte sadece yayalar için tanımlı olan yaya yolu ve yaya yoğunluğunun fazla olduğu bölgeler	40
Şekil 3.7. Erzurum ulaşım ana planında yayalar için ayrılmış alanlar ve yaya öncelikli bölgeler	42
Şekil 3.8. Erzurum kent merkezindeki hava kirliliğinin sektörel dağılımı	46
Şekil 3.9. Erzurum kentinde aylık olarak yapılan denetimler sonucu tespit edilen yayalara yol vermeme sayıları	48
Şekil 3.10. Elektronik denetleme sistemi ile yaya yolu ihlal tespiti	50
Şekil 3.11. Erzurum kent merkezinde son bir yılda meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı kazaların koordinatları	52
Şekil 3.12. Türkiye'de farklı taşıt türlerine göre kentlerdeki hız ihlal oranları yoğunluk haritası	54
Şekil 3.13. Erzurum kent merkezinde hız ihlallerinin en yoğun olduğu koridorlar	56
Şekil 3.14. Yapay zekâ alanının temel alt dalları	57
Şekil 3.15. Doğrusal regresyon algoritması	59
Şekil 3.16. Lojistik regresyon algoritması	60
Şekil 3.17. Naive bayes algoritması	61
Şekil 3.18. Destek vektörü makineleri	62

Şekil 3.19. Karar ağacı algoritması.....	63
Şekil 3.20. K-En yakın komşu algoritması	64
Şekil 3.21. Rastgele orman algoritması	65
Şekil 3.22. Gradyan artırma algoritması	66
Şekil 3.23. K-ortalamlar algoritması.....	67
Şekil 3.24. Yapay sinir ağlarının genel yapısı	68
Şekil 3.25. YOLO algoritmasının çalışma prensibi	72
Şekil 3.26. Tekrarlayan sinir ağlarındaki döngü sistemi.....	73
Şekil 3.27. LSTM algoritmasının çalışma prensibi	74
Şekil 3.28. RBM algoritmasının çalışma prensibi	75
Şekil 3.29. Derin oto-kodlayıcılar algoritmasının çalışma prensibi	76
Şekil 3.30. Performans kriterlerinin hesaplanmasında kullanılan karışıklık matrisi	77
Şekil 3.31. Sayısal görüntü işlemenin temel basamakları.....	80
Şekil 3.32. CBS'nin temel bileşenleri.....	83
Şekil 3.33. Şekilsel olarak vektör ve raster veri modelleri	84
Şekil 4.1. Erzurum'da bulunan yaya üst geçitlerinin yeteri kadar tercih edilmediğine dair örnekler.....	87
Şekil 4.2. Asansörlü ve yürüyen merdivenli yaya üst geçitleri.....	89
Şekil 4.3. Erzurum kent merkezinde park ihlallerinden dolayı oluşan sıkışıklık	90
Şekil 4.4. Bir yol kesiminin taşıt trafiğine kapatılmadan önceki ve kapatıldıktan sonraki durumları	91
Şekil 4.5. Araç karakteristiklerinin karşılaştırılması	93
Şekil 4.6. Erzurum'da yapılmış olan bisiklet yolunun sonradan kaldırılması	94
Şekil 4.7. Ülkemizde kullanılmakta olan çeşitli yaya geçit türlerinden bazıları	97
Şekil 4.8. Erzurum ilinde yapılan standart denetimlerle aylık olarak yazılan trafik ceza sayıları	99
Şekil 4.9. Algoritma ile elde edilen doğruluk değerleri.....	101
Şekil 4.10. Algoritma ile elde edilen hata değerleri.....	102
Şekil 4.11. Okul yaya geçidi öncesinde yerleştirilmiş olan hız kesicinin zamanla bir kısmının tahrip olması ve bu şekilde yayalar için risk oluşturmaları	105
Şekil 4.12. Yaya geçidinin yol yüzeyinden silinmesi ve sürücüler tarafından bu yaya geçidinin fark edilmesinin zorlaşması.....	105
Şekil 4.13. İlkokulun bulunduğu bölgede ne yol yüzeyinde ne de tabelada bilgilendirme yapılmaması	106

Şekil 4.14. Yaya geçidinin hemen öncesine otobüs durağı yerleştirilmesi.....	107
Şekil 4.15. Yaya üst geçidi yer almasına rağmen yol yüzeyinden geçiş yaparak trafik kaza riskini artıran yayalar	107
Şekil 4.16. Yaya yolu ile kaldırım kesişiminde engelli rampası uygulamasının olmayışı	108
Şekil 4.17. Yol yüzeyine yaya yolu işlenmesine rağmen refüjlerde yaya geçiş alanı bulunmaması	108
Şekil 4.18. Trafik akışının yüksek hızlarda seyrettiği bir yolda yaya üst veya alt geçidinin bulunmaması ve yol yüzeyine işlenmiş olan yaya geçidinin neredeyse tamamen silinmiş olması.....	109
Şekil 4.19. Taşıt yoğunluğunun fazla olabildiği bir kavşakta sinyalizasyon olmaması ve kavşak ada çapının sadece 1 metre olması	109
Şekil 4.20. Aynı güzergâhta birbiri ile çelişen iki yaya yolunun yer alması	110
Şekil 4.21. Sık aralıklarla yerleştirilmiş yaya yolları.....	111
Şekil 4.22. Makine öğrenmesi ile oluşturulan dağılım matrisi	114
Şekil 4.23. Algoritmaların doğruluk değerleri.....	115
Şekil 4.24. Algoritmaların hata ölçüt değerleri.....	116
Şekil 4.25. J48 algoritmasına göre mevcut yaya yollarının sınıfsal dağılımı	117
Şekil 4.26. Otomobil odaklı ve çok modlu sokak tasarımları arasındaki farklar.....	118
Şekil 4.27. Yaya geçidinin gerekli olup olmadığına karar verirken tavsiye edilen ortalama değerler	119
Şekil 4.28. Erzurum ilinde son yollarda meydana gelen kazalarda ölümlü veya yaralanmalı yaya kazalarının olduğu kavşak noktaları	124
Şekil 4.29. Çalışma için oluşturulan YSA modeli	129
Şekil 4.30. Trainlm fonksiyonuna göre ağır, orta ve hafif dereceli yaralanmalar için OHKK değerleri	132
Şekil 4.31. Belirlenen model için yapılan duyarlılık analizi sonuçları	134
Şekil 4.32. Yaya türlerine göre ortalama hızları	136
Şekil 4.33. Tekerlekli sandalyeli yayaların en yaygın yaşadıkları trafik kazasının görselleştirilmesi	138
Şekil 4.34. Eğitim setinde kullanılmış olan bazı tekerlekli sandalyeli görselleri	140
Şekil 4.35. Veri kümesinin kategorik olarak dağılımı	142
Şekil 4.36. 150 (a) ve 300 (b) epoch değerlerine göre Faster R-CNN algoritmasına ait sonuç grafikleri.....	144

Şekil 4.37. YOLOv5s 150 epoch (a) ve 300 epoch (b), YOLOv7 150 epoch (c) ve 300 epoch (d) değerlerine göre oluşan karışıklık matrisleri.....	145
Şekil 4.38. 150 (a) ve 300 (b) epoch değerlerine göre YOLOv5s algoritmasına ait sonuç grafikleri.....	146
Şekil 4.39. 150 (a) ve 300 (b) epoch değerlerine göre YOLOv7 algoritmasına ait sonuç grafikleri	147
Şekil 4.40. 150 ve 300 epoch değerlerine göre YOLOv5s algoritması ile elde edilen kesinlik, duyarlılık, kesinlik-duyarlılık ve F1 skor eğrileri.....	148
Şekil 4.41. 150 ve 300 epoch değerlerine göre YOLOv7 algoritması ile elde edilen kesinlik, duyarlılık, kesinlik-duyarlılık ve F1 skor eğrileri.....	149
Şekil 4.42. Modellerin mevcut veri seti ile eğitilmesi sonucu elde edilen çıktılar	150
Şekil 4.43. Farklı nokta ve açılardan çekilen test videolarında tekerlekli sandalyeli bireylerin tespiti.....	153

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Otomobile dayalı ulaşım sisteminde yaşanan ekonomik, sosyal ve çevresel sorunlar	3
Çizelge 1.2. Yıllara göre ölümlü ve yaralanmalı kazalardaki kusur sayılarının dağılımı.	7
Çizelge 1.3. Sürücü ve yaya kusurlarının içerikleri ve toplam kusurdaki payları	7
Çizelge 1.4. Taşıt, yol ve yolcu kusurlarının içerikleri ve toplam kusurdaki payları	8
Çizelge 3.1. Erzurum ilindeki karayolu taşıtlarının yakıt türlerine göre sayısal olarak dağılımları	44
Çizelge 3.2. Taşıt türlerine göre emisyon katsayıları	45
Çizelge 3.3. Taşıt ve yakıt türlerine göre bir yılda salınan toplam emisyon miktarları..	45
Çizelge 3.4. Ülkemizde aylara göre yakıt fiyatlarındaki değişim.....	47
Çizelge 3.5. Erzurum kentinde son yıllarda meydana gelen kaza, ölüm ve yaralı istatistikleri.....	52
Çizelge 3.6. YSA’da kullanılan en yaygın eğitim algoritmaları.....	70
Çizelge 3.7. CBS’nin uygulama alanları.....	85
Çizelge 4.1. Çalışmada yayalar için belirlenen risk sınıfları	100
Çizelge 4.2. Aylara göre gerçek ve tahmin edilen risk sınıfları.....	101
Çizelge 4.3. Yaya yollarında tespit edilen sorunlar için oluşturulan sınıflar.....	112
Çizelge 4.4. Yaya yolları için belirlenen değişkenler	113
Çizelge 4.5. Çalışmada kullanılan değişkenler	127
Çizelge 4.6. Oluşturulan modeller ve bağımsız değişkenler.....	128
Çizelge 4.7. Tüm eğitim fonksiyonları için performans parametreleri.....	130
Çizelge 4.8. Seçilen YSA modeli için ağırlık ve bias değerleri.....	133
Çizelge 4.9. Çalışmada kullanılan derin öğrenme modellerinin test görsellerindeki başarı performansları	152
Çizelge 4.10. Test videolarının hibrit modelde çalıştırılması sonucu oluşan çerçeve sayıları, doğruluk değerleri ve ortalama hızlar	152

1. GİRİŞ

Bu doktora tezinin giriş kısmında ilk olarak yaya ulaşımının önemi ve motorlu taşıtlar ile yapılan ulaşım türlerine göre sağlamış olduğu avantajlardan bahsedildikten sonra yaya güvenliği önce genel olarak ele alınıp daha sonra ise Avrupa Ülkelerine kıyasla Ülkemizde meydana gelen trafik kazaları ve hayatını kaybeden yaya sayılarından bahsedilmiştir.

1.1. Yaya Ulaşımı

Dünya genelinde yürümek birincil ulaşım şekli olarak tanımlanmıştır. Bir yerden başka bir yere hareket etmek isteyen insanlar ilk olarak yürüyerek bir noktaya ulaşmak zorundadırlar. Ulaşılması istenen yerin uzaklığına göre çeşitli ulaşım taşıtlarından yararlanılabilmektedir. Fakat özellikle kısa mesafelerde yürüyerek bir yerlere ulaşmak çok daha pratik olarak görülmektedir. Yürüyerek sağlanan ulaşım türüne ise yaya ulaşımı adı verilmektedir. Bu ulaşımı sağlayan yayalar ulaştırmanın temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Tüm insanlar herhangi bir noktaya ulaşımının bir kısmında yürüyerek veya tekerlekli sandalye ile yaya faaliyetleri göstermektedirler (Bloomberg et al. 2000).

İnsanlar tarafından yaya ulaşımının tercih edilmesinde etkili olan birden çok sebep yer almaktadır. Bunların arasında en yaygın olanı bir noktaya erişirken diğer ulaşım türlerine göre yaya ulaşımının daha kolay sağlanıyor olması gelmektedir. Bir diğer sebep; başlangıç ve bitiş noktası arasındaki en verimli ulaşım yönteminin yaya ulaşımı olmamasına rağmen maliyetten kaçınılması durumu söz konusu olabilmektedir.

Yaya ulaşımının tercih edilmesindeki bir diğer önemli sebep ise bu eylemin en yaygın egzersiz türü olması ve insanların sağlıklı yaşam için bu ulaşım türünü tercih etmesidir. Ayrıca insanların yaya ulaşımını daha konforlu veya güvenli olarak görebilmesi de bu ulaşım türünün tercih edilmesindeki sebepler arasında gösterilebilmektedir.

Tüm yolculukların yaklaşık yüzde 25'i 1.500 metrenin altında olmasına rağmen, bu kısa yolculukların sadece yüzde 25'i yürüyerek sağlanmaktadır. 1850'li yıllara kadar

1. GİRİŞ

kent içi ulaşımda yürüme, kentler arası ulaşımda ise gemiler ve at arabaları tercih edilmekteydi. Günümüzde ise kentler arası ulaşımda kullanılan ana modlar uçak, gemi, tren, otobüs ve kamyon gibi çeşitlilik kazanmışken kent içi ulaşımda kullanılan ana mod özel araçlardır. Kent içi ulaşımda motorlu taşıt sayısındaki artışın en önemli sebebi ise özel araç kullanımını teşvik edici şekilde politikalar uygulanmasıdır.

Dünyada teknolojinin gelişmesi ve 20. yüzyılın ikinci yarısında motorlu taşıtların insan hayatına aktif şekilde girmesi ile birlikte ulaştırma alanında yapılan yatırımların çok büyük bir kısmı motorlu taşıt ağına hizmet edecek şekilde yapılmaya başlanmıştır. Motorlu taşıt ağına hizmet eden faaliyetler; bölünmüş yollar, karayolu esnek üst yapıları, çok şeritli yollar, taşıtlar için park alanları, köprüler ve tünellerle sağlanmıştır. Motorlu taşıt ağlarına hizmet eden faaliyetlere kıyasla yaya tesisleri için yapılan uygulamalar ise asgari düzeyde tutulmuş ve engelliler için ulaşım olanakları neredeyse hiç sağlanmamıştır.

Bu süreçte dünya genelinde yürütülen politikalar doğrultusunda yaya ulaşımının tercih edilmesi giderek azalmıştır. 1994 yılında Intermodal Karayolu Taşımacılığı Verimliliği Yasası (ISTEA) tarafından yayımlanan bir bildiri ile Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Bakanlığı ulusal bir çağrıda bulunmuştur. Bu çağrıda danışmanlar ve mühendisler yayalar ve bisikletliler için ulaşım tesislerinin planlanmasını ve her düzeyde ekonomik desteğin sağlanacağı belirtilmiştir. Bu tarihten itibaren yaya ulaşımını artırmak için birçok politika yürütülmeye başlanmış olup dünya genelinde de yaya ulaşımı için daha elverişli ortamların hazırlanması amaçlanmıştır (Hoover 1994).

Yayalar için elverişli ulaşım koşullarına yönelik birtakım çalışmalar yürütülüyor olsa da motorlu kara taşıtları için yapılan yatırımlara her geçen gün yenisi eklenmektedir. Bu durum da insanların özel araçlara yönelimini artırmaktadır. Özel araç kullanımının çok büyük bir kısmını ise otomobiller oluşturmaktadır. Otomobiller kişi başına düşen emisyon, yakıt tüketimi ve kaplanan alan bakımından çok verimsiz olmasına ilaveten alternatif ulaşım kaynaklarını da olumsuz etkileyen bir yapıya sahiptir. Otomobile dayalı ulaşım sisteminde yaşanan ekonomik, sosyal ve çevresel sorunlar aşağıda Çizelge 1.1’de gösterilmektedir.

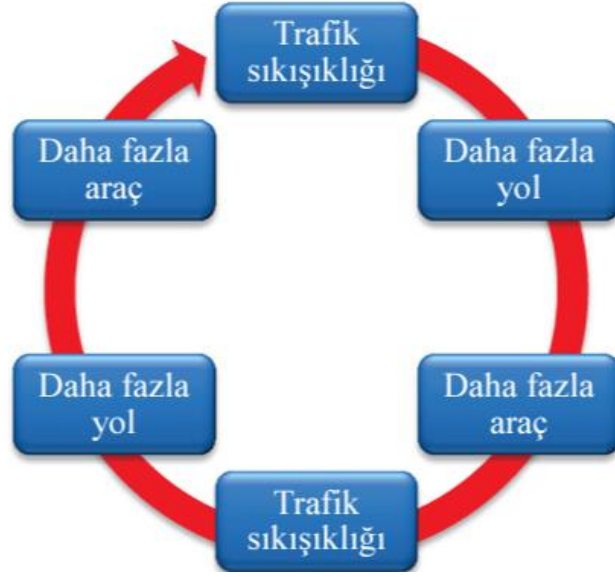
1. GİRİŞ

Çizelge 1.1. Otomobile dayalı ulaşım sisteminde yaşanan ekonomik, sosyal ve çevresel sorunlar (Schiller et al. 2010).

Ekonomik Sorunlar	Sosyal Sorunlar	Çevresel Sorunlar
Trafik sıkışıklığına bağlı ekonomik kayıplar (zaman, yakıt vs)	Sokak hayatının ve komşuluğun zarar görmesi	Petrol ürünlerinin kullanımına bağlı olarak oluşan çevresel riskler
Yol ve asfalt gibi altyapı yatırım maliyetlerinin artması	Özel araç sahibi olmayanların ve özürliülerin yaşadığı erişim sorunları	Yaşam alanlarının kentin dış bölgelerine kurulması ve kent alanının genişlemesi
Toplu taşıma sistemlerini kullanan yolcu sayısının düşük olmasından dolayı işletmenin zarar etmesi	Trafikte meydana gelen tartışma ve gerginliklerin yarattığı olumsuz etkiler	Fotokimyasal dumanlar ve asit yağmurları
Kazalar sonucu oluşan ölüm ve yaralanmaların ekonomik maliyeti	Düşük gelir düzeyindekilerin özel araç almaya zorlanmış olması.	Sera gazlarının oluşumu ve iklim değişikliği
Kirlilik kaynaklı sağlık sorunlarının ekonomik maliyeti		Trafik kaynaklı gürültü, görsel kirlilik, fiziki tehlikeler.

Otomobil kullanımının sebep olduğu en büyük problemlerden birisi olan trafik sıkışıklığını azaltmak için merkezi yönetimler veya kentlerdeki yerel yönetimler çeşitli politikalar uygulamaktadır. Bunlardan en yaygın olan politikalardan biri mevcut yol ağ yapısını genişletmek veya yol genişliklerini artırmaktır. Fakat bu uygulamalar sadece geçici çözümler sunabilmektedir. Çünkü daha fazla yol imkânının sağlanması otomobil sahipliğini artırmaktadır. Bu durum da yine trafik sıkışıklığına sebep olduğu için bir kısır döngü meydana gelmektedir.

Yaşanılan bu kısır döngüye büyükşehirler ve mega şehirlerde çok sıkça rastlanılmaktadır. Özellikle mega şehirlerde yol tasarımlarında birçok şeritten oluşan yol genişlikleri zamanla onlarca şeride ulaşmasına rağmen trafik sıkışıklığının önüne geçilememiştir. Çünkü kentte artan nüfus ve araç sahipliği sebebiyle, zamanla bu yol kesimleri de yetersiz hale gelmiştir. Bahsedilen bu kısır döngü aşağıda Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Otomobile dayalı ulaşım sistemindeki kısır döngü (Cirit 2014)

Dünya genelinde süregelen bu kısır döngü büyük kentlerde artık arazi yetersizliğine bağlı olarak yol ağlarının büyütülmesi veya yol genişliklerinin artırılmasına olanak sağlayamayacak durumu geldiğinde ise alternatif çözüm arayışlarına gidilmiştir. Özellikle sürdürülebilir kentler tasarlanabilmesi için çekme-itme (pull-push) politikaları ortaya çıkmıştır. Çekme politikaları insanları sürdürülebilir ulaşım yöntemlerine çekmeyi amaçlamaktadır. Çekme politikaları aşağıdakileri geliştirmeye odaklanmıştır:

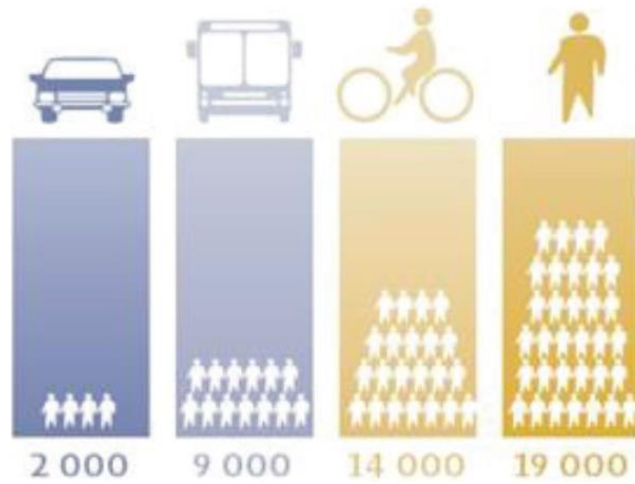
- Yaya ulaşımı
- Bisiklet ve scooter gibi mikro mobilite taşıtları ile ulaşımı
- Toplu taşıma ile ulaşım
- Araç paylaşım sistemi
- Yolculuk paylaşım sistemi

İtme politikaları ise otomobil kullanımını daha az çekici veya daha pahalı hale getirerek insanların bireysel motorlu taşıt kullanımlarını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. En yaygın itme politikaları ise şunlardır:

1. GİRİŞ

- Araç ve yakıt vergilerinin artırılması
- Yolların ve otoparkların ücretlendirilmesi
- Otopark alanlarında süre sınırlamasının uygulanması
- Merkezi alanlara taşıtların girişlerinin yasaklanması
- Taşıtlardaki yolcu sayılarının denetlenmesi
- Trafiği yavaşlatıcı uygulamalar yapılması

Kentsel bölgelerdeki nüfus yoğunluğu sebebiyle kent içerisindeki ulaşımın sağlanabilmesi için çekme politikaları zorunlu bir hale gelmeye başlamıştır. Bunlar içerisinde ise yaya ulaşımının kısa mesafelerde daha avantajlı ve çok daha yüksek yolcu kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Örneğin 3,5 kilometrelik bir yolda bir saatte yaya olarak gerçekleşen yolcu sayısı; otomobil ile gerçekleşen yolcu sayısının yaklaşık 10 katıdır. Bu durum bir görsel ile Şekil 1.2’de gösterilmektedir.



Şekil 1.2. 3,5 metre genişliğindeki bir yoldaki saatlik yolculuk kapasiteleri (Anonymous 2009).

Bu durumlar kent içinde özellikle kısa mesafelerde yaya olarak yolculuk etmenin çok daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır. Yürümek için en gerekli altyapı olan

yürüme yolları ile kaldırımların yatırım maliyeti normal bir karayolu maliyetinin yaklaşık 10'da biri ile 20'de biri civarındadır. Yayalar için yapılan uygulamalar içerisinde en yüksek maliyete sahip uygulamalar ise altgeçit veya üstgeçitlerdir. Bu uygulamalar ise kentlerde kısıtlı sayıda yapılarak yüksek maliyetlerin önüne geçilmektedir.

Yayaların yürümek için tercih edilebilir olarak gördükleri mesafeler 0,4 ile 6 kilometre mesafe arasında değişmektedir. Daha uzun mesafelerde ise yürümek tercih edilebilir olmaktan uzaklaşmaktadır. Bu durumlara ilaveten kaliteli, ferah ve güvenli bir çevrede yürüme ortamının oluşturulması da çok önemli bir unsurdur. Bu ortamın oluşturulması için ise hem yerel yönetimler hem de merkezi yönetimler tarafından sağlanabilmektedir.

1.2. Yaya Güvenliği

Yaya ulaşımının artırılması için uygulanan politikaların en önemlilerinden birisi yaya güvenliğini artıracak önlemler alınmasıdır. Çünkü yayalar güvenli ve konforlu bir yürüyüş imkânının sağlanmadığı şartların olduğu bölgelerde yaya ulaşımını tercih etmemeye gayret göstermektedir. Bu sebeple yaya ulaşımının istenildiği düzeyde artırılmasındaki en belirleyici unsurlardan olan güvenlik ilkesinin yeterince sağlanması oldukça önem arz etmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü raporuna göre Dünya'da her yıl yaklaşık 1 milyon 350 bin insan trafik kazalarında ölmekte ve 50 milyona yakın yaralanma meydana gelmektedir. Bu sayı, 24 saniyede bir kişinin ve günde yaklaşık 3 bin 700 kişinin trafik kazalarında öldüğü anlamına gelmektedir. 5-29 yaş grubundaki gençlerin bir numaralı ölüm nedeni trafik kazalarıdır. Bu rapora göre, trafik kazaları sonucu ölenlerin yüzde 54'ünü savunmasız yol kullanıcıları olan yayalar, bisiklet sürücüleri, motosiklet sürücüleri ve yolculardan oluşturmaktadır (Anonymous 2022a).

Son 10 yılda meydana gelen kazalar istatistiksel olarak incelendiğinde, ölümlü ve yaralanmalı kazaların %89,2 si sürücü, %8,8 yaya, %0,6 yolcu, %0,7 karayolu ve %0,7 araç kusurlarından meydana geldiği görülmektedir (Anonim 2022a). Aşağıda Çizelge 1.2'de son 4 yıl içerisinde meydana gelen ölümlü veya yaralanmalı kazalarda etkili olan

1. GİRİŞ

faktörlere göre kusur sayıları gösterilmektedir.

Çizelge 1.2. Yıllara göre ölümlü ve yaralanmalı kazalardaki kusur sayılarının dağılımı

Kusur Unsurları	2019		2020		2021		2022	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
Sürücü	180.042	44	157.128	44	195.382	44	203.923	43
Yaya	16.726	4	12.520	4	18.398	4	22.195	5
Araç	4.153	1	4.745	1	5.761	1	5.045	1
Yol	1.045	0	897	0	936	0	901	0
Yolcu	2.572	1	2.577	1	3.941	1	2.750	1
Toplam	204.538	50	177.867	50	224.418	50	234.814	50

Çizelgede de görüleceği üzere trafik kazalarına etki eden faktörler arasında sürücülerin payının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ölümlü veya yaralanmalı kazalara etki eden ikinci en büyük etken ise yayalardır. Üçüncü sırada araç kusurları, dördüncü sırada yolcu kusurları yer almaktadır. Kazalara en az etki eden faktör ise yol kusurları olarak görülmektedir. Aşağıda verilen Çizelge 1.3'te sürücü ve yaya kusurlarının içerikleri ve toplam kusurdaki payları, Çizelge 1.4'te ise yolcu, yol ve araç kusurlarının içerikleri ve toplam kusurdaki payları verilmiştir.

Çizelge 1.3. Sürücü ve yaya kusurlarının içerikleri ve toplam kusurdaki payları

Sürücü Kusurları	Toplam Kusurdaki Payı (%)	Yaya Kusurları	Toplam Kusurdaki Payı (%)
Alkollü araç kullanmak	0,9353	Geçit ve kavşakların bulunmadığı yerlerde geçme kurallarına uymamak	0,8752
Araç hızını yol, hava ve trafiğin gerektirdiği şartlara uydurmamak	32,5749	Trafik ışık ve işaretlerine uymamak	1,9776
Arkadan çarpmak	6,1087	Taşıt yolu üzerinde trafiği tehlikeye düşürücü hareketlerde bulunmak	2,3028

Çizelge 1.3. (devam)

1. GİRİŞ

Sürücü Kusurları	Toplam Kusurdaki Payı (%)	Yaya Kusurları	Toplam Kusurdaki Payı (%)
Aşırı hızla araç kullanmak	0,8649	Karşıdan karşıya geçişlerde trafik kurallarına uymamak	0,3141
Doğrultu değiştirme (dönüş) kurallarına uymamak	6,0227	Taşıt yoluna girmek	0,3632
Geçme yasağı olan yerlerden geçmek	0,5931	Taşıt yolunda sol kenardan gitmemek	0,1052
Kavşaklarda geçiş önceliğine uymamak	11,9487	Gece ve gündüz görüşün az olduğu hallerde çarpmayı önleyici tedbirler almamak	0,4322
Kırmızı ışık veya görevlinin dur işaretine uymamak	2,1393	Yayaya ait diğer kusurlar	1,8278
Kurallara uygun olarak park etmiş araçlara çarpmak	1,2896		
Manevraları düzenleyen genel şartlara uymamak	7,0391		
Şerit izleme ve değiştirme kuralına uymamak	1,3167		
Taşıt giremez işareti bulunan yerlere girmek	2,2926		
Sürücünün diğer kusurlu halleri	13,9360		

Çizelge 1.4. Taşıt, yol ve yolcu kusurlarının içerikleri ve toplam kusurdaki payları

Taşıt Kusurları	Toplam Kusurdaki Payı (%)	Yol Kusurları	Toplam Kusurdaki Payı (%)	Yolcu Kusurları	Toplam Kusurdaki Payı (%)
Kusurlu fren	0,1787	Tekerlek izinde oturma	0,0160	Emniyet kemeri takmamak, kask kullanmamak	0,1323
Kusurlu rot	0,0477	Şerit çökmesi	0,0294	Araçlara kontrolsüz şekilde binmek ve inmek	0,0169
Makas, şaft, şanzıman, vites arızası	0,0250	Kısmi veya münferit çökme	0,0245	Yolcuya ait diğer kusurlar	1,6068
Aks kırılması	0,0227	Düşük banket	0,0085		
Kusurlu direksiyon	0,0379	Yol sathında gevşek malzeme	0,0807		
Far kusuru	0,0682	Yolda münferit çukur	0,0695		
Arka lambalar	0,0160	Diğer yol kusurları	0,1885		

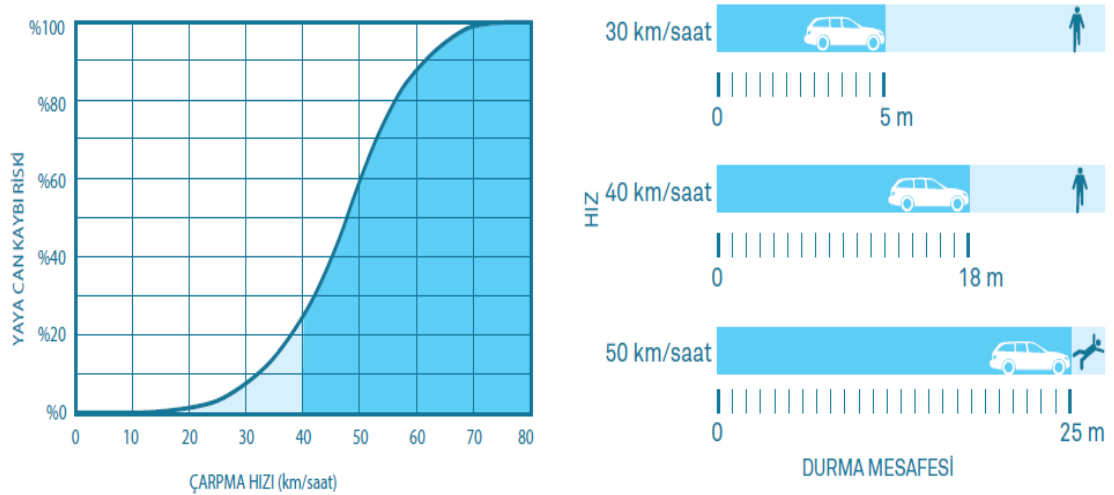
1. GİRİŞ

Çizelge 1.4. (devam)

Dönüş sinyali	0,0120				
Kapı kusuru	0,0419				
Lastik patlaması	0,0811				
Araca ait diğer kusurlar	2,0359				

Trafik kazalarına etki eden faktörler oransal olarak sıralandığında; araç hızını yol, hava ve trafiğin gerektirdiği şartlara uydurmamak (52/1-b trafik cezası) %32,57 ile kaza nedenlerinin başında meydana gelmektedir (Anonim 2022b). Aracın hızını gerektiği şartlara göre ayarlamayan sürücüler kendi canlarını tehlikeye atmasının yanı sıra özellikle savunmasız yol kullanıcılarının canlarını da tehlikeye atmaktadırlar. Bunlar arasında yayaların kaza anında direk taşıt darbesine maruz kaldıkları için ölüm ve yaralanma riskleri daha yüksektir.

Araçlar yüksek hızlara ulaştığında sürücünün durma isteğinin hemen gerçekleşmesi mümkün değildir. Çünkü frenleme etkisinde taşıt tekerleği ile yol yüzeyi arasında belirli miktarda sürtünme gerçekleşerek araç hızı zamanla azalır durma işlemi gerçekleşir. Bu zaman diliminde geçilen uzunluk ise durma mesafesi olarak adlandırılmaktadır. Aşağıda Şekil 1.3'te araç hızına göre ortalama durma mesafesi ve çarpma hızına göre yaya can kaybı riski gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Araç hızına göre ortalama durma mesafesi ve çarpma hızına göre yaya can kaybı riski (Anonim 2016).

Yukarıda verilen durum ideal koşullar için oluşturulmuştur. Havanın yağışlı

1. GİRİŞ

olması, yol yüzeyinin ıslak veya buzlu olması gibi etmenler durma mesafesini daha da artıracığı için yayanın daha şiddetli bir kaza ile karşılaşması mümkündür. Her 1 km/saatlik hız artışı, bir çarpışma durumunda %4-5 oranında artan ölüm riskiyle sonuçlanmaktadır. Bu sebeple şehir içi sokaklarda genellikle azami hız 50 km/saat ile sınırlandırılmalıdır.

50 km/saatten daha yüksek hızlara izin verilen yerlerde, araçlar ile yayalar ve bisikletliler gibi kırılgan kullanıcılar arasında fiziksel bir ayrım oluşturulması önemlidir. Park halindeki araçlar, yapılı refüjler, tamponlar veya diğer dikey elemanlar bariyer olarak kullanılabilir olsa da güvenli geçiş için daha kalıcı çözümler oldukça önemlidir. Aşağıda verilen Şekil 1.4'te ise taşıt hızına göre görüş açısındaki değişim, hız dilimine göre durma mesafesi ve yayalar için can kaybı riski başka bir şekilde ifade edilmiştir.



Şekil 1.4. Taşıt hızına göre görüş açısındaki değişim, hız dilimine göre durma mesafesi ve yayalar için can kaybı riski (Anonim 2016).

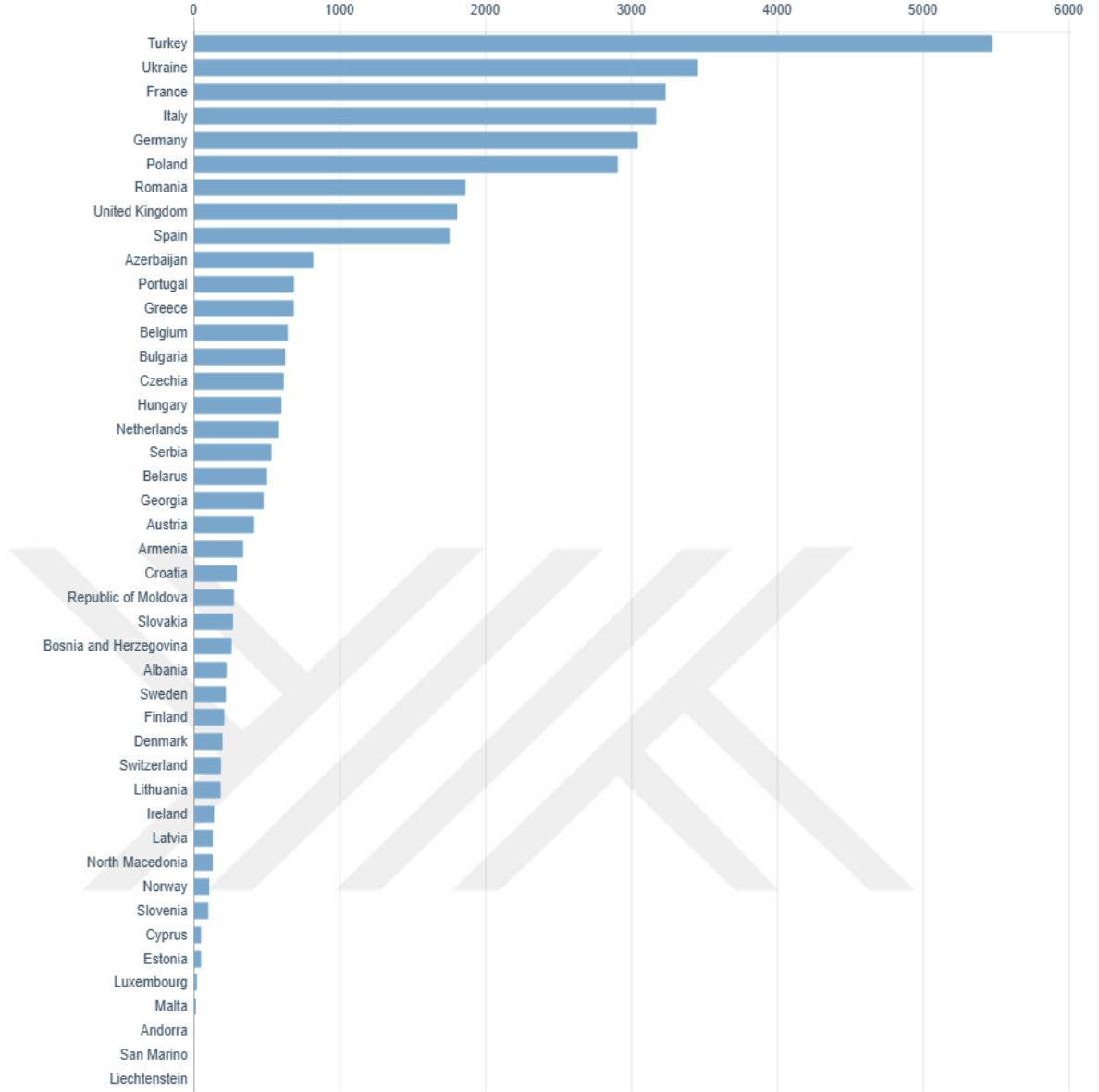
Görselde açık mavi ile gösterilen kısım durma mesafesini, koyu mavi ile gösterilen kısım ise yayalar için can kaybı riskini ifade etmektedir. Sürücünün hızını

1. GİRİŞ

artırması görüş alanını ciddi ölçüde azalttığı için çevresindeki canlı ve nesneleri daha zor fark etmektedir. Bu durum da yaya can kayıplarının en önemli sebepleri arasında gösterilmektedir.

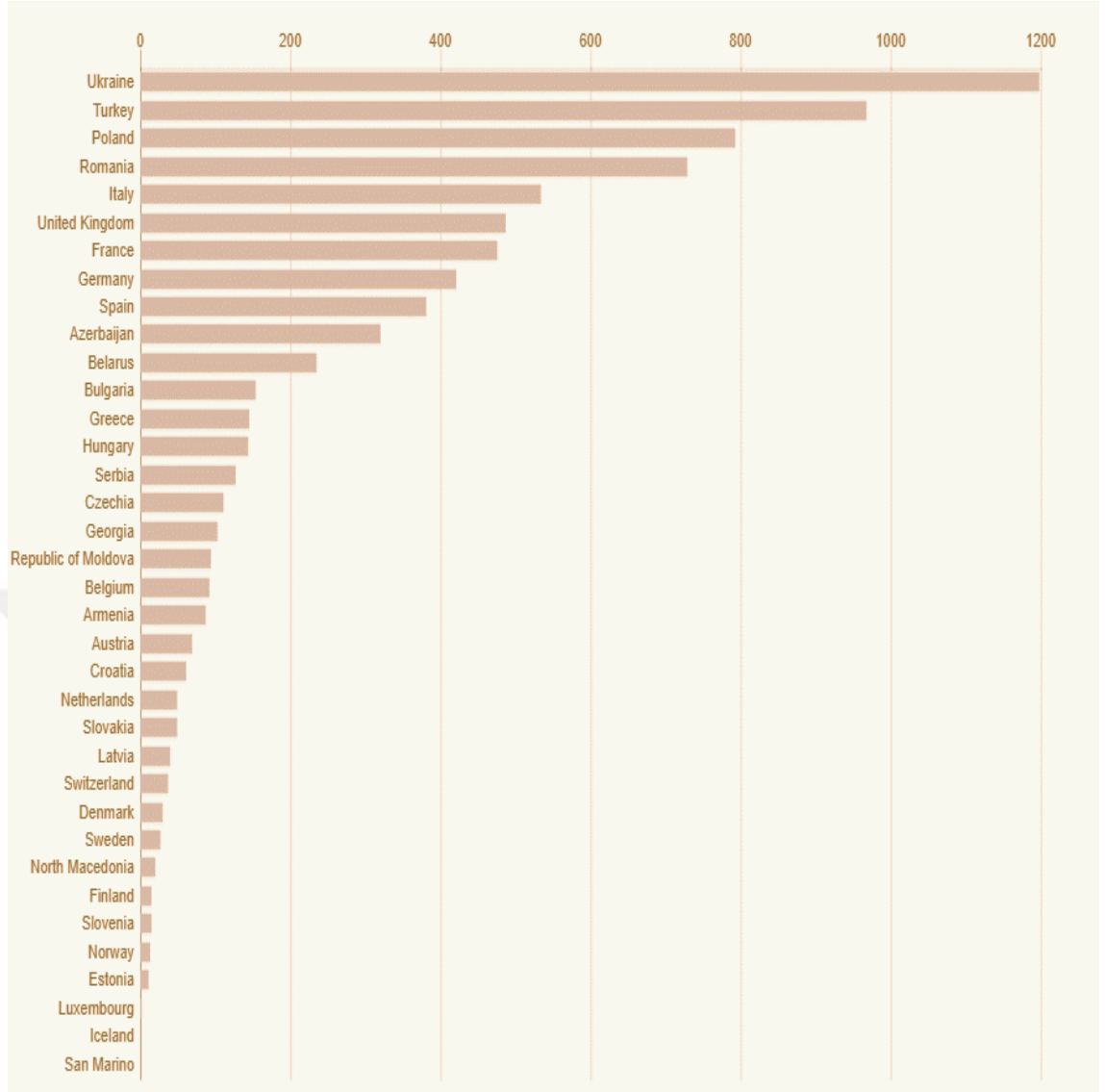
Trafik kazaları yaya özelinde incelendiğinde; Ülkemizde 2021 yılında trafik kazalarında ölenlerin %22'sini yayalar oluşturmaktadır (Anonim 2022c). Ülkemizde 2022 yılında toplam 34 bin 400 adet yayaya çarpma içeren trafik kazası yaşanmıştır. Ülkemizdeki trafik kazalarındaki yayaların kusur oranı ise yaklaşık %9'dur (Anonim 2023a).

Ülkemizdeki trafik kazası ve hayatını kaybeden yaya sayılarının fazla olduğunu ortaya koyabilmek için dünyadaki durumla kıyaslamak faydalı olacaktır. Dünya'da meydana gelen trafik kazalarının sayıları ülkelere göre çeşitlilik göstermektedir. Bu sayıya etki eden en büyük faktörler; ülkelerin nüfusları, karayolu taşıt sayıları, gelişmişlik seviyeleri ve ulaşım politikaları olarak gösterilmektedir. Aşağıda Şekil 1.5'te bir yılda Avrupa ülkelerinde meydana gelen yaralanmalı trafik kaza sayısı gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Avrupa ülkelerinde meydana gelen yaralanmalı trafik kaza sayısı (Anonymous 2022c).

Veriler incelendiğinde Türkiye’de meydana gelen yaralanmalı trafik kaza sayısı diğer ülkelere göre çok daha fazladır. Türkiye ile benzer sayıda nüfusa sahip olan Almanya ile kıyaslandığında; Almanya’da 1000 kişi başına düşen araç sayısı 572 iken Türkiye’de bu sayı 157’dir (Anonymous 2020a). Almanya’da kişi başına düşen karayolu taşıt sayısı Türkiye’den yaklaşık 3,5 çok daha fazla olmasına rağmen yaralanmalı trafik kaza sayısı Türkiye’ye göre çok daha düşüktür. Aşağıda verilen Şekil 1.6’da ise bir yılda Avrupa ülkelerinde trafik kazalarında hayatını kaybeden yaya sayısı verilmektedir.



Şekil 1.6. Avrupa ülkelerinde trafik kazalarında hayatını kaybeden yaya sayısı (Anonymous 2022c).

Avrupa ülkelerindeki trafik kazalarında hayatını kaybeden yaya sayısında ise Türkiye ikinci sırada yer almaktadır. Benzer nüfuslu veya benzer karayolu taşıt sayısına sahip ülkelere nispeten Türkiye’de çok daha fazla ölümlü veya yaralanmalı kaza olduğu görülmektedir (Anonymous 2020b).

Trafik kazaları ölüm ve yaralanmaların yanı sıra bireylere, ailelerine ve bir bütün olarak uluslara da önemli ekonomik kayıplarla sonuçlanabilmektedir. Bu ekonomik kayıplar psikolojik, sosyoekonomik ve sağlık içerikli olabilmektedir. Ayrıca bu ekonomik kayıplar kazalar nedeniyle ölen veya sakat kalanlar ve yaralılara bakmak için işten veya okuldan izin alması gereken aile üyeleri için tedavi maliyetinin yanı sıra

üretkenlik kaybından kaynaklanmaktadır.

Karayollarında meydana gelen trafik kazaları çoğu ülkeye gayri safi yurtiçi hasıllarının %3'üne mal olmaktadır. Bu amaçla Birleşmiş Milletler Genel Kurulu, karayolu trafik kazalarından kaynaklanan küresel ölüm ve yaralanma sayısını 2030 yılına kadar yarıya indirmek için iddialı bir hedef belirlemiştir (Anonymous 2021).

Ülkemizde de trafik kazalarından meydana gelen ölüm, yaralanma ve ekonomik kayıpların önüne geçilmesi için çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Örneğin 2019 yılı İçişleri Bakanlığı tarafından “Yaya Önceliği Yılı” ilan edilerek ülke genelinde birçok noktada farkındalık oluşturmak için faaliyetler düzenlemiştir. Bu etkinliklerde “Öncelik Hayatın, Öncelik Yayanın” isimli sloganlar ile hem sürücülerin hem de yayaların ilgisi çekmeye çalışılmıştır (Anonim 2019a). Bu doğrultuda kentlerde çeşitli noktalardaki yaya yolları kırmızı ile boyanarak yayalar için farkındalık oluşturulmaya çalışılmıştır.

Ülkemizde yaya güvenliği için yapılan bu etkinliğin insanların bilinçlenmesi adına önemli bir yeri olduğu düşünülmektedir. Bu uygulamaların ilkökul seviyesindeki çocuklardan başlanarak daha sık bir şekilde yapılması ve yaya yollarında yayalara öncelik tanınmasının bir sorumluluk olduğu bilinci aşılması oldukça önemlidir.

Bahsedilen durumun yanı sıra motorlu kara taşıtların kullanımının azaltılması, uzun mesafelerde toplu ulaşım imkânlarından faydalanılması, kısa mesafelerde ise yaya ulaşımı ve mikro mobilite ulaşımının tercih edilebilmesi için teşvik edici çalışmalar yürütülmesi de önemli katkılar sağlayacaktır. Yayalar için güvenli ulaşım sağlanmasında temel dört faktör benimsenmektedir:

- Çarpışma riskine maruz kalma olasılığı azaltılmalıdır.
- Trafik kazalarının sayısı ve şiddeti azaltılmalıdır.
- Hız azaltılmalıdır.

- Sokaklar savunmasız kullanıcılar için güvenli bir biçimde şekillendirilmelidir.

Yukarıda bahsedilmiş olan yaya ulaşımının daha yaygın hale getirilmesi ve daha güvenli ulaşım olanaklarının sağlanması için araştırmacılara da önemli iş düşmektedir. Bu konularda yapılacak olan çalışmalarla yaya ulaşımının sağlayacağı avantajların bilimsel verilerle ortaya konması oldukça önemlidir. Bununla birlikte yayalar için daha güvenli ulaşım olanaklarının sağlanması adına mevcut sorunlara çözüm önerilerinin sunulması ve yenilikçi fikirler ile yayalara daha iyi ulaşım olanaklarının sağlanması da bu alanda çalışan araştırmacıların sorumlulukları arasındadır.

Yapılan bu tez çalışmasında yaya ulaşımının ve güvenliğinin artırılması üzerine durulmuştur. Çalışma beş ana başlık altında ele alınmıştır. Bu ana başlıklar giriş, kaynak özetleri, materyal ve yöntem, araştırma bulguları ve tartışma, sonuçlar adı altındadır. Ana başlıkların bazıları da detaylandırılarak ara başlıklar ile adlandırılmıştır.

Çalışmanın giriş kısmında yaya ulaşımı ve güvenliği kısaca ele alınmıştır. Kaynak özetleri kısmında yaya ulaşımının artırılması ve yayalar için güvenli ulaşım olanaklarının sağlanması adına literatürde yer alan çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu kısımda geleneksel yöntemler kullanan çalışmalardan çok yenilikçi yöntemler kullanan çalışmalara yer vermeye çalışılmıştır.

Materyal ve yöntem kısmında ilk olarak çalışma alanı olan Erzurum ili hakkında genel bilgiler verildikten sonra kentin ulaşım alt yapısı ele alınmıştır. Daha sonra çalışma alanı olarak Erzurum ilinin tercih edilmesindeki gerekçelerden bahsedilmiştir. Bu gerekçeler yaya ulaşımı ile doğrudan veya dolaylı olarak ilişkilidir.

Çalışma alanının gerekçeleri de belirtildikten sonra çalışmada kullanılmış olan yöntemler açıklanmıştır. Bu yöntemler; makine öğrenmesi, derin öğrenme, yapay sinir ağları, coğrafi bilgi sistemleri ve görüntü işleme yöntemleridir.

Araştırma bulguları ve tartışma kısmında ise yaya ulaşımı ve güvenliği ile ilgili tespit edilen problemler ana başlıklar halinde tek tek ele alınarak yukarıda bahsedilen yöntemler yardımıyla çeşitli analizler yapılmış ve sorunların köklerine inilmeye

1. GİRİŞ

alışılmıştır. Elde edilen bulgular incelendikten sonra bu sonuçlar doğrultusunda tartışma gerçekleştirilmiştir. Sorunlar ele alındıktan sonra çeşitli çözüm önerileri sunularak çalışma sonuçlar ve öneriler kısmı ile tamamlanmıştır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürde yaya ulaşımının artırılmasını ve yaya güvenliğini çeşitli yönlerle inceleyen birçok çalışma yer almaktadır. Çalışmalar incelendiğinde yaya güvenliği genel olarak; sosyal açıdan, sağlık açısından, ekonomik açıdan ve ulaştırma açısından incelenmiştir. Ulaştırma açısından incelenen çalışmalar çeşitli istatistiksel yöntemlerin yanı sıra son yıllarda akıllı ulaşım sistemlerinin yaygınlaşması, yapay zekâ ve görüntü işleme tekniklerinin gelişmesi ile birçok yöntemler ile ele alınmaya başlamıştır. Literatürde yaya güvenliğini ele alan çalışmaların bir kısmı şunlardır:

Cheng et al. (2005) akıllı ulaşım sistemlerinin bir bileşeni olan araç uyarı ve kontrol sistemlerini ele almışlardır. Özellikle yaya güvenlik sistemlerinden biri olan yaya tespiti için seyrek gabor filitrelerine dayalı bir sistemle birlikte destek vektör makinelerini de ele alan yaya tespit yapısı oluşturmuşlardır. Elde edilen sonuçlar sistemin yaya tespitinde umut verici bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Yüksekol (2012) otobüs durak çevrelerinde yaya güvenliğini coğrafi bilgi sistemleri kullanarak değerlendirmiştir. Seçilmiş olan bir koridor boyunca kazaya meyilli olan otobüs duraklarının belirlenmesi sağlanarak, doğrusal regresyon analizleri neticesinde yaya güvenliği açısından önemli olan faktörler belirlenmiştir.

Gu et al. (2015) çocuklara trafik durumlarında güvenli davranış eğitimi vermek hem önemli hem de zor olduğundan bahsetmişlerdir. Çocuklar da kısıtlı olarak bulunan algısal-motor yetenekleri ve buna bağlı olarak güvenli yaya olabilmeleri için gerekli olan bazı bilişsel özelliklere sahip olmalarının gerekli olduğuna değinmişlerdir. Bu amaçla tasarlanan yapı çocukların yaya yeteneklerini geliştiren bir sanal gerçeklik eğitim ortamı sunmaktadır. Sistemin yapısını, mimarisini ve yaya güvenliğinin önemi çalışmada detaylı şekilde açıklanmıştır. Oluşturulan pilot modeldeki çalışmanın sonuçları, hedef yaş grubundaki çocukların, geliştirilmiş sanal ortamda genel yaya becerilerini başarılı bir şekilde meydana getirdikleri görülmüştür.

Ma et al. (2016) yapay zekâ teknolojisine dayalı yaya hareketi davranışını simüle etmek için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Önerdikleri yaklaşımda, çeşitli sayıda

yayaların hareket davranış çeşitleri ortaya konmuştur. Yöntemin başarısını tespit edebilmek için iki farklı simülasyon incelemesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan ilk simülasyonda, bir yayanın çarpışma ve kaçma testi gerçekleştirilmiştir. Bulgular, yaya davranışı öğretilmiş olan sanal yayaların diğer yayalara nispeten çarpışmalardan kaçabilmek için başarılı bir şekilde tepki verebildiği görülmüştür. İkinci olarak, karşıdan karşıya geçiş durumunda bir yaya karşı akışı simüle edilmiştir ve sonuçlar gerçek hayat senaryosu ile karşılaştırıldığında makul ölçüde olduğu ortaya konmuştur. Bu sebeple önerilen yaklaşımın insan benzeri mikroskobik yaya akışını simüle edebildiğini göstermiştir.

Güçlü (2016) yapmış olduğu tez çalışmasında yaya-araç çarpışmalarında yayaların almış olduğu zararları azaltmak için yeni bir ticari araç ön far gövdesi geliştirmiştir. Geliştirilen yeni far gövdesi ile çocuk kafasının çarpışma durumu incelenmiştir. Çarpışma analizleri sonucunda yeni far sisteminin yayanın almış olduğu zararları azaltabildiği ortaya konmuştur.

Shirazi and Morris (2016) araç ve yaya takibi, yol kullanıcılarının hareket ve görünüm ipuçlarını kullanabilen vizyona dayalı güvenlik analizi için önemli bir bileşen olduğunu ve bu işlem için görünüm tabanlı dedektörler kullanıldığına değinmişlerdir. Ancak trafik sinyalleri nedeniyle yayalar veya araçlar durduğunda bu dedektörlerin kötü çalıştığı belirtilerek yaptıkları çalışmada, algılama düzeyinde hareket ve görünüm ipuçlarının birleştirilmesiyle bekleyen ve hareket halindeki yol kullanıcılarını izlemek için bir sistem önerilmiştir. Gelişmiş optik akış izleyici, kısmi tıkanıklık sorununu ele alarak uzun vadeli araç ve yaya izlerini sağlamak için algılama modülüyle birlikte çalışmaktadır. Sistem değerlendirmesi, araçların ve yayaların takibinde sırasıyla iyileşme gösterdiğini ortaya koymuştur.

Papageorgiou et al. (2017) dünyadaki mevcut ulaşım yapısında, taşıtlar için akıllı ulaşım sistemlerinin gelişmesine çok fazla ağırlık verilirken, yayalar ve bisikletliler için bu durumun genellikle göz ardı edildiğine değinmişlerdir. Bu sebeple kentsel yaya ağlarının birleştirilebilirliği, görünürlüğü, konforunu, rahatlığını ve etkinliğini artırmak için kullanılabilecek mevcut teknolojileri gözden geçirmişlerdir. Sonuç olarak, bir akıllı şehir tasarımı mutlaka bulunması gereken Akıllı Yaya Hareketlilik Sistemlerinin

(IPMS) geliştirilmesi konusunda birtakım tavsiyelerde bulunmuşlardır.

Pan et al. (2017) karma trafik akışında yayalara yönelik trafik güvenliği eğitiminin yapılması, yaya trafik güvenliği bilincinin ve yaya güvenliği becerilerinin geliştirilmesi zorunluluğundan bahsetmişlerdir. Çalışmada Windows için Kinect somatosensoriyel ekipmanı ile birleştirilmiş, bir yaya trafiği güvenliği eğitim sistemi geliştirilmiştir. Sistem temel olarak katılımcıların yol bölümlerinden veya kavşaklardan geçen yayaları trafik düzenlemeleri ve güvenlik bilgilerini öğrenmelerine yardımcı olmak için kullanılmış ve yayaları trafik düzenlemelerini ihlal etmemeleri konusunda uyarmayı sağlamıştır.

Tahmasbi-Sarvestani et al. (2017) araçtan araca (V2V) güvenlik uygulamalarının geliştirilmesi, on yıldan fazla bir süredir kapsamlı bir şekilde standardizasyondan geçiyor olsa da, savunmasız yol kullanıcıları (VRU'lar) için bu tür uygulamalar son derece eksik olduğuna değinmişlerdir. Bu doğrultuda çalışmalarında sık karşılaşılan ve yaralanma ihtimali yüksek çarpışma durumlarına bağlı olarak durumsal farkındalık ve tehlikenin tespitinin sağlanması amacıyla uçtan uca bir araçtan yayaya (V2P) yapısı önermişlerdir.

Xu et al. (2018) trafik izleme için kullanılan geniş monoküler trafik kamera ağları tarafından yakalanan bilgiler, özellikle büyük veri setleri sistematik olarak analiz edilebildiğinde, ulaşım planlaması ve operasyon uygulamaları için büyük değere sahip olabildiğinden bahsetmişlerdir. Yaptıkları çalışmada ise yaya güvenliğinin riskli olduğu konumları tespit edebilmek için kameralar yardımıyla verilen elde edildiği bir yapı oluşturmuşlardır. Önerilen yaklaşımdaki uygulamalar, potansiyel güvenlik endişelerinin belirlenmesini, önerilen güvenlik stratejilerinin etkinliğinin ölçülmesinin yanı sıra mevcut çalışmanın da iyileştirmesini sağlamıştır.

Ding et al. (2018) Washington'dan toplanan yaya çarpışma verilerini kullanarak otomobil ve yaya kazaları üzerindeki doğrusal olmayan etkilerini hesaba katarak Çoklu Katkılı Poisson Regresyon Ağaçları (MAPRT) yaklaşımını benimsemişlerdir. İncelenen yaya çarpışma sıklığı üzerindeki çeşitli faktörlerin etkileri, yol ağının özelliklerini, sokak unsurlarını, arazi kullanım modellerini ve trafik talebini içermiştir. Kullanılan istatistiksel modeller mevcut çalışmalarda yaygın olarak kullanılan doğrusallık varsayımına meydan okuyarak yaya çarpışma sıklığı ile doğrusal olmayan ilişkiler ortaya koymuştur.

Shrivastava and Jathar (2019) otomobilde yer alan yolcunun ve yol kesiminden geçmekte olan yayanın güvenliğini artırmak için makine öğrenimi tabanlı, aracın önündeki yayayı algılamak için bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritmada aracın hızı ve yayaya olan mesafesi kullanılarak bir risk faktörü belirlemişlerdir. Fuzzy kontrolör ile belirlenen bu faktör sürücünün yayaya yaklaşımı sırasında uyarılmasını ve otomatik fren sisteminin devreye girmesini sağlamıştır.

Ebuchi and Yamamoto (2019) son dönemlerde oldukça yaygın hale gelen güvenli sürüş destek sistemlerinin kavşak noktalarında ve yol kesimlerinde meydana gelen can ve mal kayıplarını azalttığı, buna rağmen otopark gibi düşük hızlara sahip kesimlerde oluşan trafik kazalarındaki meydana gelen can ve mal kayıplarının önlenmediğini belirtmişlerdir. Otoparkta boş yer ararken yaya kazalarına neden olabileceğini vurgulayarak yaptıkları araştırmada, otoparktaki yuvaların mevcudiyetini ve yayaların konumunu tahmin ederek düşük hızlı temas kazalarını önleyen yeni bir akıllı park sistemi önermişlerdir. Bu sistemde, park yerlerine yerleştirilecek olan cihaz sayesinde, akıllı telefonlar tarafından ölçülen radyo dalgası yoğunluğu tespit edilerek kullanıcıların konumlarının tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Kohli and Chadha (2019) otonom araçların yaya güvenliğini tehlikeye atan yönlerini ele almışlardır. Daha önce meydana gelen otonom araç-yaya kazalarını analiz ederek meydana gelen senaryoya bilgisayarlı görme modeli uygulamışlardır. Deneysel sonuçlar, bir vaka çalışması olarak düşük ışık koşullarında yaya güvenliğini sağlamak için çeşitli görüntü iyileştirme ve nesne tanıma tekniklerinin bir değerlendirmesinin faydalı olduğunu ortaya koymuştur.

Xia et al. (2019) akıllı telefon veya müzik çalar kullanan yayaların tehlikelere karşı önemli ipuçları verebilecek işitsel duyularından yoksun olduklarından bahsetmişlerdir. Bu amaçla yayaları yaklaşan arabaların yakın tehlikeleri konusunda uarmak için bir kulaklığa gömülü çok kanallı ses sensörlerini kullanan giyilebilir bir sistem oluşturmuşlardır. Kulaklığa yerleştirilen ve ses algılayan sensörlerden, sinyal tespiti ve özellik belirleme işlemlerini yapabilen bir donanım sisteminden ve bir akıllı telefonda makine öğrenimi destekli sınıflandırmadan meydana gelen yapılardan oluşmuş bir tasarım kullanarak, gerçek zamanlı bir şekilde tehlikeyi önceden algılayabilen yapı

meydana getirmişlerdir.

Cunningham et al. (2019) demiryolu bölgelerinde olabilecek yaya varlığını tespit edebilecek bir kamera sistemi tasarlamışlardır. Bu kamera sistemi dinamik olarak, izinsiz yaya girişlerini herhangi bir demiryolu hattı boyunca gerçek zamanlı bir şekilde tespit edecek şekilde planlanmıştır. Çalışma, yapay zekâ ve nesne tespit özelliklerinden yararlanılarak oluşturulmuş ve yaya güvenliğinin sağlanması adına önemli bir adım olarak görülmüştür.

Osamu et al. (2019) dünyada meydana gelen yaya ölümlerinden bahsederek otomobil üreticileri tarafından tüm dünyada satılan birçok otomobil için yaya koruma performansını verimli bir şekilde tasarlamak için bir yöntem gerekli olduğuna değinmişlerdir. Bu amaçla yapılan çalışmada makine öğrenmesi kullanılarak yayaların korunması incelenmiştir. Öğrenme modeli için CNN'nin LeNet- kullanılmış ve modelin katman yapısı yaya korumanın öğrenilmesine uygun olacak şekilde değiştirilmiştir. Model, öğrenilen modeli kullanarak yaya yaralanma puanını Yeni Araç Değerlendirme Programı (NCAP) %5'ten daha az bir hatayla tahmin etmiştir.

Chakraborty et al. (2019) kavşaklarda meydana gelen yaya ölümlü çarpışma sıklığını içeren bir modeli geliştirmek için bir yapay sinir ağı (YSA) tekniği kullanmışlardır. YSA modellerinin farklı kombinasyonlarını oluşturmak için çeşitli öğrenme algoritmaları ve üç aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Bu kombinasyonların her birinde gizli katmandaki nöronların sayısı deneme yanılma yöntemiyle değiştirilip en iyi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

Das and Dai (2020) yayalar ve bisikletlilerin karıştığı kazaların daha karmaşık olduğunu belirterek Teksas'da meydana gelen kaza raporlarını yüksek tahmin gücüne sahip XGBoost sınıflandırıcısını kullanan bir makine öğrenmesi tekniği uygulamışlardır. Çalışma sonucunda yaya kazalarını bu algoritma ile yaklaşık %77'ye varan doğrulukta tespit edebilmişlerdir.

Zhang et al. (2020a) yaya geçitlerinden geçmekte olan yayaların güvenlik sorunlarını ele almışlardır. Yaya yollarındaki ışıklandırmanın hem araç seyahat

gecikmesine hem de yaya güvenliğine etkisi belirtilerek kentsel trafik ağları için bir trafik sinyal kontrol stratejisi geliştirmişlerdir. Oluşturulan modelde optimum verim sağlayacak bir trafik ışığı sistemi ile taşıt gecikmesini ve yaya kaza riskini azaltıcı çalışma sunulmuştur.

Gauerhof et al. (2020) otonom araçlarda her ne kadar nesne algılama sistemleri gelişmiş olsa da yaya geçidinde durmama ihtimalinin ciddi problemlere sebep olabileceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle yaya güvenliğini sağlayabilmek için somut güvenlik gereksiniminden kaynaklı olarak bir yaya algılama yaklaşımı sunmuşlardır. Otonom araçların nesne algılama sistemini makine öğrenmesi ile geliştirilerek yayaları algılayan bir model geliştirmişlerdir.

Chang et al. (2020) görme engelli bireylerin yaya geçitlerinden güvenli geçişini sağlamak amacıyla yapay zekâ tabanlı bilgisayar sistemlerinden faydalanan bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem akıllı güneş gözlüğü, bele takılan bir cihaz ve bastondan oluşmaktadır. Bu akıllı sistemleri takan bir birey yaya geçidine ulaştığında trafik ışığına sinyal iletilmektedir. Böylece hemen yaya geçidindeki mevcut sinyal durumu bireyin yaya geçidinden geçmesine uygun hale gelmektedir. Bu yapı sayesinde görme engelli bireyin yaya yolundan güvenli geçişinin sağlanması amaçlanmıştır.

Alemneh et al. (2020) yaya yol güvenliği uygulamalarının, yüksek yenileme hızında coğrafi konum verileri gerektirdiği ve bu güvenlik cihazlarından sunuculara yüksek oranda veri gönderilmesiyle sağlandığı belirtilmiştir. Ancak, bu tür uygulamalar için akıllı telefonlar gibi düşük pilli cihazlar kullanıldığında; yüksek işaret hızı, hızlı enerji tüketimi gerektirdiğinden bu durumun önemli bir problem olduğu vurgulanmıştır. Bu sebeple yapılan çalışmada yayalar üzerindeki trafik kazalarını mümkün olduğu kadar düşük tutan, enerji açısından verimli bulanık mantık tabanlı uyarlanabilir bir işaret hızı yönetim sistemi önermişlerdir. Bulanık çıkarım sisteminde, yayaların trafik kazası risk seviyelerini tahmin edilip bu tahminler karar vermek için kullanılmıştır.

Pourhomayoun (2020) yayalar ve bisikletlileri otomatik olarak tespit ve takip edebilmenin yanı sıra bunların sayımlarının da gerçekleştirilebilmesi için ileri düzeyde yapay zekâ ve makine öğrenimine dayalı etkili bir yapı tasarlamıştır. Çalışmanın amacı

yayaların/bisikletlilerin akışını izlemek ve kontrol etmek için kendi kendini algılayan ve yapay zekâ destekli sistemler uygulayarak yayaların ve bisikletlilerin güvenliğini artırmaktır. Geliştirilen sistemin yaya ve bisikletlileri algılamada yüksek doğruluk gösterdiği ortaya konmuştur.

Khanna (2020) yaya güvenliğinin yayaların refahını sağlamak, potansiyel risk alanlarını azaltmak ve kazaları azaltmak için önlemleri uygulamakla ilgili olduğuna değinmiştir. Yaptığı çalışmada Montreal şehrinde bulunan kavşaklarda yaya ve araç verilerini elde ettikten sonra analiz ederek yaya güvenliğini sağlayabilen bilgisayar görüşü destekli bir yöntem bulmuştur. Bu yöntemde kavşaklardaki yaya ve araçları tespit edebilmek için R-CNN algoritmasından yararlanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, çeşitli saat dilimlerinde, yüksek riskli kavşakların başarılı analizler gerçekleştirildiğini ortaya koymuştur.

Chen and Zhou (2020) yaya güvenliği akıllı karar verme ve tehlikeli risk tahmini yapılarak sağlanabileceğini vurgulamışlardır. Bu sebeple yaptıkları çalışmada ciddi ölümcül araç ve yaya kazaları ele alınmıştır. Bu amaçla kümeleme algoritması yöntemi ile kazaya katkıda bulunan faktörlerin tanınması için ikili bir lojistik regresyon kullanılmıştır. Sonuç olarak, çalışmanın bulguları, yaya güvenliğinin uzun vadede iyileştirilmesini sağlamak için donanım modülünün tasarlanmasına ve akıllı aracın programlanmasına yardımcı olabileceğini ortaya koymuştur.

Khalifa et al. (2020) yayaların en savunmasız yol kullanıcıları olduğundan, doğru yaya algılama yöntemleri tasarlayanın öncelikli bir görev olduğuna değinmişlerdir. Bu sebeple daha kapsamlı bir çevre algısı elde etmek için araçların girdi verilerini artık doğrudan gömülü sensörleriyle sınırlamadığı ve bunun yerine uzak sensörlerden gelen verilerden yararlandığı işbirlikçi bir algılama şeması gerekli olduğu belirtilmiştir. Bu doğrultuda yaptıkları çalışmada hem arabaya yerleştirilen bir mobil kameradan hem de yol altyapısındaki statik bir kameradan gelen senkronize görüntüleri birleştiren araç çoklu görünümü yaya algılama veritabanı çerçevesi önermişlerdir.

Meocci et al. (2021) çalışmalarında İtalya’da meydana gelen yaya kazalarını ele almışlardır. Son beş yıllık veriler ele alınarak bir kaza tahmin modeli geliştirmişlerdir.

Model oluşturulurken Gradient Boost sınıflandırma modeli tercih edilmiştir. Model sonuçlarında yaya katılımlı kaza bölgelerini yüksek, orta ve düşük sınıflarına ayırmışlardır.

Boulmakoul et al. (2021) yaya güvenliğini ele almak için araç ile yaya etkileşimi sağlayabilen bir yapay zekâ sistemi ele almışlardır. Bu yapıda yaya çarpışma uyarı sistemlerinin geliştirilmesi amacıyla yaya algılama verimliliğinden büyük ölçüde yararlanarak sürücü-yaya etkileşimini artıran akıllı bir sistemin çerçevesini oluşturmuşlardır.

Katanalp ve Eren (2021) yaya ve araç kazalarının hem mikro hem de makro düzeyde incelemesini gerçekleştirmişlerdir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı yoğunluk analizleri ile makro düzeyde bulgular elde edilerek kritik yol kesimleri belirlenmiştir. Mikro düzeyde araştırma yapılırken yaygın olarak kullanılan çok katmanlı algılayıcı ve C4.5 karar ağacının yanı sıra yenilikçi dönüştürülmüş bulanık karar modeli ve bulanık modellerde uzman yargılarını önemli ölçüde azaltan revize edilmiş bulanık karar modeli kullanılmıştır. Bulgular, en yüksek etkiye sahip olan değişkenlerin park yeri, arazi kullanımı ve yoğun saatlerdeki trafik miktarının olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte toplu taşıma, hız ve yol yapı özelliklerinin yaya güvenliğinde önemli bir etkiye sahip olduğunu tespit edilmiştir.

Kaushik et al. (2021) dünyada her gün 850 yayanın hayatını kaybettiğini belirtmişlerdir. Kaza verilerine göre, yaya ölümlerinin en yaygın nedenlerinden biri, araç ön uç yapısından birincil temastan kaynaklanan kafa travması olduğu belirtilerek mevcut araç simülasyon verileri ve yeni araç tasarım özellikleri bilgilerini kullanarak araç tasarımının erken aşamalarında kafa travması performansını tahmin etmek için rastgele orman, sinir ağları, lojistik regresyon ve destekleyici vektör regresyonu gibi farklı denetimli makine öğrenimi algoritmalarının kullanılmasına yönelik yeni bir yaklaşım sunmuşlardır.

Zhang (2021) video verileri, yedek güvenlik önlemleri ve derin öğrenme kullanarak sinyalize kavşaklarda yaya güvenliğini artırmayı hedeflemiştir. Video verilerinden yol kullanıcılarının özelliklerini oluşturmak için Bölgesel Tabanlı

Konvolüsyonlu Sinir Ağı (R-CNN) ve Sadece Bir Kez Bak (YOLO) gibi otomatik bilgisayarlı görme teknikleri kullanılmıştır. Araçlar ve yayalar arasındaki etkileşimler analiz edilerek yayaların potansiyel olarak tehlikeli durumlarını tahmin etmek için makine öğrenimi (derin öğrenme dâhil) modelleri önerilmiştir. Derin öğrenme modelleri ile zaman serilerinde yayaların çatışmalarının tahmini bireysel-arac düzeyinde gerçekleştirilmiştir.

Aledhari et al. (2021) çevreyi algılayarak yollarda güvenli bir şekilde hareket edebilen otonom araçlar tasarlamayı hedeflemişlerdir. Özellikle yayaları mümkün olduğunca hızlı ve doğru bir şekilde tespit edebilmek için bir algılama sistemlerine odaklanmışlardır. Son dönemlerde, otonom araçlardaki yaya tespit sistemlerinin, daha koyu ten rengine sahip insanları tespit etmede yetersiz performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu sorunu aşmak için cilt tonlarını da sınıflandırabilen hem YOLO v3 evrişimli sinir ağı hem de K-Means yöntemini kullanan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Kuang and Zhang (2021) yapay zekâ teknolojileri ile donatılan otonom araçların yoldan geçen yayaları doğru tespitinde önemli sorunları barındırdığını belirtmişlerdir. Bunu göz önünde bulundurarak yapılan çalışma, geliştirilmiş bir tek çekim çoklu kutu detektörü algoritması önermektedir. Algoritma, modelin özellik çıkarma kapasitesini ve sağlamlığını artırmak için tek çekim çoklu kutu detektörü algoritmasının üstüne bir alıcı alan bloğu modülü monte edilmiştir. Veri seti üzerindeki deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın geleneksel tek çekim çoklu kutu detektörü algoritması ile karşılaştırıldığında yaya tespitinin doğruluğunu ve hızını önemli ölçüde artırabildiğini göstermiştir.

Liu et al. (2021) meydana gelen araç-yaya kazalarının sıklığına değinerek yaptıkları çalışmada meydana gelen kazaların ciddiyetine katkıda bulunan faktörleri analiz etmeye çalışmışlardır. Chicago, Illinois'deki araç ve yaya kazalarının verilerinden yararlanarak, en etkin 10 faktörden oluşan bir veri seti oluşturmuşlardır. Sınıflandırma etiketi olarak kazanın ciddiyeti dikkate alınmış ve farklı etiketlere sahip numunelerin dengesiz dağılımı dikkate alınarak, kazanın ciddiyetini belirlemek için 2 sınıflandırma karar ağacı ve bir destek vektör makineleri (SVM) kullanmışlardır.

Tao et al. (2022) sürdürülebilir ulaşım hedefleriyle uygun olacak şekilde savunmasız yol kullanıcıları olan yayaların güvenliğini artırmak amacıyla Bayes teorisi ve sinir ağlarını bir arada ele alan bir makine öğrenmesi algoritması ele almışlardır. Modelde yayaların bireysel özelliklerini ele alarak farklı faktörler kullanmışlardır. Bu doğrultuda oluşturulan makine öğrenmesi yaklaşımının yaya ölümlerini azaltmakta etkili olacağı öne sürülmüştür.

Effati and Saheli (2022) kırsal alanlardaki arazi kullanımları ile yaya kazaları arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için bir araştırma yapmışlardır. Bu doğrultuda incelenen yolun güvenli olmayan bölümlerinin korelasyonlarına göre farklı değişken kombinasyonlarına dayalı olarak tahmin edilmesi için parametrik olarak lojistik regresyon ve parametrik olmayan bir yöntem olarak sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART'lar) kullanılmıştır. Elde edilen bulgular neticesinde lojistik regresyon metodunun yayalar için güvenli olmayan alan tahmini bakımından CART'a nispeten daha başarılı sonuçlar elde ettiği ortaya konmuştur.

Kuşkapan et al. (2022) Erzurum ilinde sinyalizasyon kavşaklarında meydana gelen yaya kazalarını ele almışlardır. Çalışmada son 4 yılda toplam 57 kavşakta meydana gelen 197 kazanın sürücü, yol ve araç özelliklerine göre karakteristikleri yapay sinir ağları ile incelenmiştir. Bununla birlikte bağımsız değişkenlerin etkisini de inceleyebilmek için duyarlılık analizleri de gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda yaya yoğunluğu, eğitim düzeyi, trafik sıkışıklığı, araç türü, otobüs durağının varlığı, yaş ve cinsiyeti içeren ilk modelin en düşük hata kareler ortalamasının karekökü (OHKK) ve ortalama mutlak hata (OMH) değerlerine ve en büyük R^2 değerine sahip olduğu ortaya konmuştur.

Elallid et al. (2022) gerçek zamanlı olarak yayanın algılanması ve hareket tanımlaması, otonom araç tasarımcısı için hala zorlu görev olduğuna değinmişlerdir. Derin ve pekiştirmeli öğrenme gibi son yapay zeka tekniklerinin henüz yeteri kadar yaya güvenliğinde etkili çözüm sunmadığı için Yaya Konum Algılama Ağı (P-LPN) tekniğini kullanarak sığınak adalarındaki yayaları tespit etmek ve sayımlarını yapmak için bir model önermişlerdir. Oluşturdukları modelde yaya sayısını zamana bağlı olarak değiştirmek ve beklenen sonucu tahmin etmek için Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) kullanılmıştır.

Zhang and Abdel-Aty (2022) gerçek zamanlı yaya güvenliği modelini araştıran az sayıda çalışma bulunduğundan bahsetmişlerdir. Bu sebeple kapalı devre televizyon videolarından yayaların çatışmalarını belirlemek için çatışma göstergeleri, telafi sonrası zaman ve çarpışma zamanı kullanarak otomatik trafik sinyali performans ölçümleri sisteminden gelen yüksek çözünürlüklü trafik verileri ve trafik akışıyla ilgili değişkenleri türetmişlerdir. Önerilen model sayesinde bir döngü kullanılarak yayaların 2-3 dakika sürebilen çatışmalarını tahmin edebilmişlerdir.

Zadobrischi (2022) mevcut gelişmelerin güvenli iletişim sağlayan yüksek performanslı cihazlara duyulan ihtiyacı, yol ve yaya güvenliğini önemli ölçüde artırabilecek alternatif bir çözüm olduğuna değinmiştir. Fakat görünür ışık iletişim kanalı sorununun dinamik olması sebebiyle gürültü kaynaklarına maruz kalma açısından son derece öngörülemez hale geldiğini vurgulamıştır. Bu doğrultuda yapmış olduğu çalışmada kameralar arası iletişimden yararlanarak Android uygulamasına uyarlanabilir bir sistem geliştirmiştir. Bu sistem sayesinde ışıkların bağlantısı ile taşıt emisyon salınım tahmininin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Rahman et al. (2022) kamera ile yaya algılanan sistemlerde yağmur ve gece karanlığı gibi durumlar görüntü kalitesini düşürebileceğinden bahsetmişlerdir. Bu tespit ile yaptıkları çalışmada, başarılı bir şekilde yaya algılamasını sağlayabilmek için çeşitli dış koşullarla ilişkili olacak şekilde video sıkıştırma seviyesinin dinamik olarak değiştirilmesi amaçlanmıştır. Bu işlem için ise gerçek zamanlı bir hataya bağlı kayıplı sıkıştırma (EBLC) yöntemi geliştirmişlerdir. Çevresel koşulların istenmeyen durumlar altında bile gerçek zamanlı yaya tespiti için dinamik EBLC stratejisi sayesinde yaya algılama sistemini başarılı bir şekilde gerçekleştirmişlerdir.

Zhu et al. (2022) derin öğrenme yöntemlerinin yayalar ile otonom araçlar arasındaki etkileşimdeki güvenlik problemlerinin nasıl çözülebileceği üzerinde araştırma yapmışlardır. Geleneksel araç-yaya etkileşimi algoritmalarının öznetelik çıkarımı sırasında çok büyük miktarlardaki parametrelerle ilgili olarak Evrişimsel Sinir Ağına (CNN) dayalı bir Araç-Yaya Algılama (VPD) algoritması önermişlerdir. Ayrıca, trafik karakteristiklerini daha az parametre ile çıkarmak için SqueezeNet algoritması uygulayarak önerilen algoritmanın performansı simülasyon deneyleri ile analiz

etmişlerdir. Analizler neticesinde yöntemin minimum veri gecikmesi ve maksimum veri aktarımı sayesinde gerçek değere çok yakın sonuçlar sağlayabildiği ortaya konmuştur.

Kao and Chan (2022) yaptıkları çalışmada makine öğrenimi destekli yaya güzergâhının tahminini içeren bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma, akıllı ulaşım sistemleri ve otonom araçlar gibi yaya güvenliğinin önemli olduğu işlevsel yetenekleri geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular, yayaların sosyal davranış özelliklerinin dikkate alınmasının yaya güzergâh tahmininin doğruluğunu artırabileceğini ortaya koymuştur.

Mistarehi et al. (2022) makine öğrenimine dair yöntemlerden yararlanarak trafik kazaların yaya güvenliği üzerindeki etkilerini önemli ölçüde etkileyen risk faktörlerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Kazalarda meydana gelen kazaların şiddet dereceleri de sürücülerinin davranışlarını anlamak için kullanılmıştır. Ölüm ve yaralanmalar mekânsal istatistik analizi ile incelendikten sonra kazanın şiddetini en çok etkileyen değişkenler belirlenmiştir. Çalışmadaki bulgular trafik kazalarında sürücülerin, araçların ve yol özelliklerinin etkisi ortaya koyan rastgele orman algoritma modeli, kaza şiddetlerini tahmin etmek için en başarılı algoritma olarak bulunmuştur.

Forrest et al. (2023) yaya güvenliği ile ilişkili faktörlerin tanımlanabilmesi ve güvenliği iyileştirmeye yönelik müdahalelerin daha uygun bir şekilde hedeflenebilmesi için Büyük Londra'nın ilçelerini ve semtlerini kapsayan hiyerarşik bir yapıya sahip çok düzeyli rastgele parametreler negatif binom regresyon modeli kullanmışlardır. Sonuçlar, bulunan okul sayısı, iş yoğunluğu ve alkol kullanımının yaya kazalarındaki artışla doğrudan ilişkili olduğu ortaya konmuştur. Bununla birlikte, hane başına düşen ortalama araba sayısı, yeşil alan oranı ve yürüyerek işe giden yetişkinlerin yüzdesi, yayaların karıştığı kazaların frekansını azaltıcı bir etkiye sahip olduğu da belirlenmiştir.

Telima et al. (2023) yaya-araç etkileşimlerini gözlemleyerek sıcak nokta konumlarını belirlemek için kitle kaynaklı verileri kullanma potansiyelini araştırmışlardır. Kazaların kümelenmiş olup olmadığı ve dağılımın rastgele mi dağıldığını tespit edebilmek amacıyla mekânsal otokorelasyon analizi yapmışlardır. Elde edilen bulgular, çalışma alanındaki kazaların genel olarak rastgele dağılıma sahip olduğunu

göstermiştir. Ayrıca, yerel uzamsal otokorelasyon, dört ana koridordaki bazı alanların %99 güven düzeyiyle sıcak kaza noktaları olarak tanımlandığını göstermiştir.

Alagbé et al. (2023) kavşaklarda güvenli geçiş için görevler tasarlamış ve video kameralar kullanarak yayaların performansını araştırmışlardır. Akıllı telefonlar dikkat dağıtma kaynağı olarak alınarak, dikkati dağılan ve dikkati dağılmayan yayalar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Her iki cinsiyet için de, bir cep telefonu ile görsel-manuel etkileşimde bulunma durumları incelendiğinde kadın yayaların olaylara tepki verme sürelerinin daha uzun sürdüğü ortaya konmuştur.

Hussain et al. (2023) farklı yenilikçi yaya geçidi uygulamalarını karşılaştırmayı ve bunların yerleşim alanlarındaki sürüş davranışı üzerindeki etkilerini bir sürüş simülatörü kullanarak araştırmayı amaçlamışlardır. Çalışmanın sonuçlarında, sürücülerin manevra yapma özgürlüğünü önemli ölçüde sınırlayarak onları yavaşlamaya ve karşıdan karşıya geçen yayalara öncelik vermeye zorlayarak, fiziksel daraltma yönteminin çalışılan diğer yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Li et al. (2023) yaptıkları çalışmada bir XGBoost modeli kullanılarak yaya güvenliğini iyileştirmek için yaya-araç kazalarının nedenlerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Analiz neticesinde; kent içi yolların kaza riskini artırdığı, yaya veya sürücünün alkollü olmasının ve yol yüzeyinin virajlı olmasının da kazalarda etkili olan faktörler arasında olduğu belirtilmiştir.

Laković et al. (2023) yaşlı yayaların güvenlik düzeyine ilişkin daha derin bir kavrayış sağlama ve bunları içeren kazalara yol açan tekrarlayan faktörleri belirleyebilmeyi amaçlamışlardır. 10 yıllık bir yaya kazası veri tabanını analiz ederek esas sorunları tahmin edebilmek bir model geliştirmişlerdir. Ayrıca çarpışma şiddet seviyesi ile çarpışmaları karakterize eden faktörler arasındaki ilişkiyi belirlemek için bir sıralı lojistik regresyon modeli kullanmışlardır. Bu model sayesinde, istatistiksel olarak etkileyen faktörler vurgulanmış ve önceki analize dayalı olarak, bazı teknik ve eğitimsel önlemler belirlemişlerdir.

Ali et al. (2023) çalışmalarında sinyalizasyon kavşakları için gerçek zamanlı araç ve

yaya kaza riskini modelleyen yapı önermişlerdir. Trafik uç noktalarının zamanla değişimini tespit edebilmek için çeşitli sinyal seviyesine ait değişkenler kullanılmışlardır. Farklı sinyal döngülerindeki kaza riskleri Bayes yöntemiyle ele alınmıştır. Çalışmanın bulguları, güvenlik yönetimine ve yayalar için gerçek zamanlı risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesine izin vererek, sinyal döngüsü seviyesinde araç-yaya çarpma riskini tahmin etmede önerilen gerçek zamanlı çerçevenin potansiyelini göstermiştir.

Ghomi and Hussein (2023) yaptıkları çalışmada hem toplam yaya-arac çarpışmalarının hem de yaya ihlali içeren çarpışmaların sıklığına etkisi olan faktörleri anlamayı ve çarpışmaya eğilimli alanları Bayes yöntemi kullanarak belirlemeyi amaçlamışlardır. Bulgular kısmında kavşak yoğunluğunun çarpışmaya eğilimli ve çarpışmaya eğilimli olmayan bölgeleri tespit etmede çok belirleyici bir faktör olduğunu ve yaya ağı ile arazi kullanım oranının da etkili olduğu ortaya koyulmuştur. Yaya ihlallerini içeren çarpışmalarda da kavşak yoğunluğunun en önemli faktör olduğu, ardından bisiklet paylaşım istasyonları ve otoparkların yoğunluğunun geldiği belirtilmiştir.

Soloiu et al. (2023) ultrasonik sensörler, kızılötesi sensörleri ve Lazer ile Nesne ve Uzaklık Tespiti (LiDAR) teknolojisi yoluyla trafik ortamında araç ile yayalar arasında bir mesafe eşiği tutan mesafe sensörlerine dayalı bir araç güvenlik sistemi sağlamaya çalışmışlardır. Yalnızca sürücüyü değil aynı zamanda yoldaki yayaları da koruyan sensörlerin kalibrasyonu ile engellerden kaçınma ve çarpma önleme için yüksek doğrulukta bir makine öğrenim sistemi geliştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlarda, olası bir çarpışma algılandığında güvenlik yanıtının etkinleştirildiği zamana kadar sensörlerin çıktılarının kesinliğini ve doğruluğunu ortaya koymuşlardır.

Haddad et al. (2023) yaptıkları çalışmada çok değişkenli analiz yaklaşımı kullanarak yaya kazalarındaki belirleyici faktörlerin etkilerini araştırmışlardır. Teksas kasabasındaki yaya kazalarına ait veriler incelenerek kazalar için dört dışsal faktör belirlenmiştir. Bunlar; kaza riskine maruz kalma özellikleri, kültürel değişkenler, çevre yapısı özellikleri ve sosyodemografik özelliklerdir. Yapılan analizler sonucunda toplumda yer alan azınlıkların yaya kazalarına daha çok maruz kaldığı ve ırksal eşitsizliklerin bu duruma sebep olduğu belirtilmiştir.

Mohanty et al. (2023) kaza mahallindeki ortalama yüzde 85'lik hızın yaya kaza ölümleri üzerindeki etkisini incelemeye çalışmışlardır. Çalışmada ikili lojistik regresyon ve güçlendirilmiş ağaçlar tekniğini kullanarak yaya çarpışma şiddet modelleri geliştirmiştir. Çalışma için kaza mahallindeki video kayıt tekniği ile birlikte tarihsel kaza verileri kullanılmıştır. Regresyon denklemlerinden, ağır vasıtanın yayaya çarptığında normal araçlara göre ölüm oranı ortalama iki buçuk kat arttığı ortaya konmuştur.

Yapılan bu tez çalışmasında; literatürdeki çalışmalar da dikkate alınarak yaya ulaşımı ve güvenliği kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Tezin analiz kısmında akıllı ulaşım sistemlerinin yaya güvenliği ile entegre edildiği kısımlardan olan tekerlekli sandalyeli yayaların kavşaklardaki yaya geçitlerinden güvenli bir şekilde geçişini sağlayan model tasarlanması, çalışmanın özgünlüğünde önemli bir yere sahiptir. Öte yandan yaya yolu tasarımlarındaki hataların makine öğrenmesi ile analizi ve yaya ölümlü veya yaralanmalı trafik kazalarındaki yaya, çevre, taşıt ve sürücü karakteristiklerinin yapay sinir ağları ile ele alınması da bu çalışmayı mevcut çalışmalardan farklı kılmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmanın materyal ve yöntem kısmında ilk olarak çalışma alanı ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Daha sonra çalışma alanının gerekçesi hava kirliliği, yakıt fiyatları, yaya yolu ihlalleri, yaya yolu tasarım hataları, trafik kazaları ve hız ihlalleri başlıkları altında ele alınmıştır. Çalışmada yapay zekânın alt başlıkları olan, makine öğrenimi, derin öğrenme, yapay sinir ağları gibi yöntemlerden yararlanılmıştır. Buna ilaveten çalışma içeriğinde görüntü işleme ve coğrafi bilgi sistemlerinden de yararlanılmıştır.

3.1. Çalışma Alanı

Bu tez konusunda çalışma alanı olarak kullanılan Erzurum ilinin nüfusu 756 bin 52'dir. Kentte 2022 yılı itibariyle trafiğe kaydı bulunan motorlu kara taşıtı sayısı ise 123 bin 460'dır (Anonim 2022ç). Kent genel olarak Palandöken dağı eteğine konumlanmış olup çevresindeki bölgeler arasında önemli bir geçiş noktası görevi üstlenmektedir. Türkiye Cumhuriyetinde yer alan Erzurum ili, bir kısmı Karadeniz Bölgesi, bir kısmı ise Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan bir kenttir.

İlin kuzey kısmında Rize ve Artvin, kuzeydoğusunda Ardahan, kuzeybatısında Bayburt, batısında Erzincan, doğusunda Kars ve Ağrı, güney kesiminde ise Bingöl ve Muş illeri bulunmaktadır. Erzurum'un 20 ilçesi vardır. Bunlar; Yakutiye, Palandöken, Aziziye, Aşkale, Çat, Hınıs, Horasan, İspir, Karaçoban, Karayazı, Narman, Oltu, Olur, Pazaryolu, Köprüköy, Uzundere, Tortum, Pasinler, Şenkaya ve Tekman ilçeleridir. İl arazi büyüklüğü temel alındığında Türkiye'de 4. sırada, Doğu Anadolu Bölgesi'nde ise 1. Sıradadır.

Erzurum deniz seviyesinden 1959 metre rakıma sahip olup yüksek bir yaylanın güneybatı kesiminde bulunmaktadır. Hanelerin yerleşim alanı 2000 metreyi bulan kesimlerde de yer alabilmektedir. Kentin kuzeyinde Dumlu Dağı, güneyinde ise Palandöken Dağları yer almaktadır. Kentin bulunduğu yerden geçen İpek Yolu ve kentin verimli ovaları bölgenin tarih boyunca yerleşme alanı olarak tercih edilmesinde ciddi rol oynamıştır. Kentin konumu ve arazi yapısı sebebiyle çevre iller ile arasındaki karayolu ulaşım ağı oldukça gelişmiştir. Erzurum İlinin Dünya ve Türkiye haritası üzerindeki

Kentin bir diğer şehirlerarası bağlantıyı sağlayan ulaşım türü ise raylı sistemlerdir. Erzurum İl merkezinde 3 adet istasyon bulunmaktadır. Bunlar Ilıca Tren İstasyonu, Palandöken Tren İstasyonu ve Erzurum Tren Garıdır. Erzurum'un Ankara'ya demiryolu mesafesi 1.150 km, İstanbul'a demiryolu mesafesi ise 1.716 km'dir. Doğu Ekspresi Ankara ile Kars illeri arasında günlük olarak çalışan ana hat trenlerinden birisidir. Trende pulman, örtülü kuşetli, yataklı ve yemekli vagon bulunmaktadır. Ana hat trenleri içerisinde en sık seyahat düzenleyen ve talep gören trendir. Doğu Ekspresi Ankara Tren Garı'ndan hareket ederek Kars Tren Garı'na ulaşmaktadır. Doğu Ekspresi ara durakları, Kırıkkale, Kayseri, Sivas, Erzincan ve Erzurum'dur. Tren bir seferini yaklaşık olarak 24 saat içerisinde tamamlamaktadır.

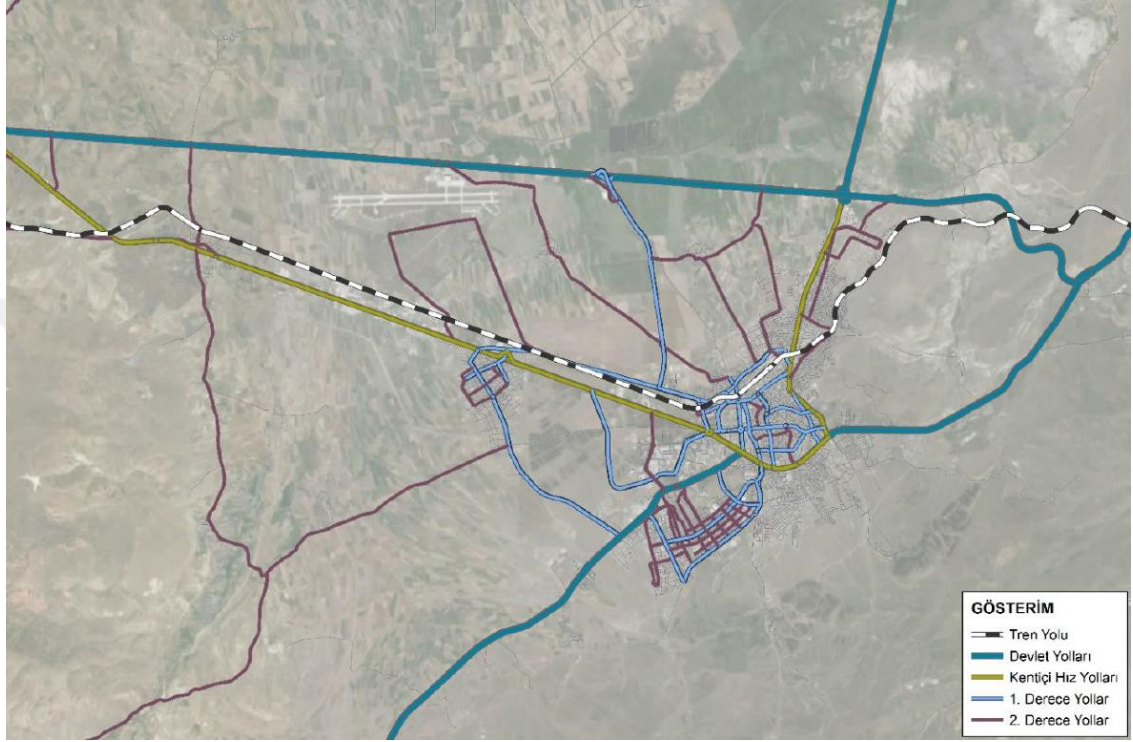
Şehirlerarası bağlantıyı sağlayan bir diğer ulaşım noktası ise şehirlerarası otobüs terminalidir. Havaalanı yolu üzerinde 67.000 metrekarelik alanda, araçların aynı anda giriş ve çıkış yapılabileceği 29 adet perona, araç yıkama ve bakım istasyonlarının yanı sıra yolcuların tüm ihtiyaçlarına karşılayabilecek özellikte sosyal donatılara sahip terminal alanı yer almaktadır. Terminal alanı ve kent merkezi arasında toplu ulaşım sağlayan 2 hat bulunmaktadır. Bunlar G4-A ve K-4 otobüs hatlarıdır.

Erzurum'un kent içi ulaşım yapısında, trafik yoğunluğu bakımından, doğu ve batı istikametinde uzanan ve yaklaşık olarak birbirine paralel olan üç ana aks (devlet yolu) yer almaktadır. Bu akslar;

- Kars-Erzincan Yolu ve Erzurum-Ağrı Yolu,
- Kent merkezinden geçen Ömer Nasuhi Bilmen-Cumhuriyet Caddesi,
- Erzincan-Erzurum Yolu ve Erzurum-Kars Yoludur.

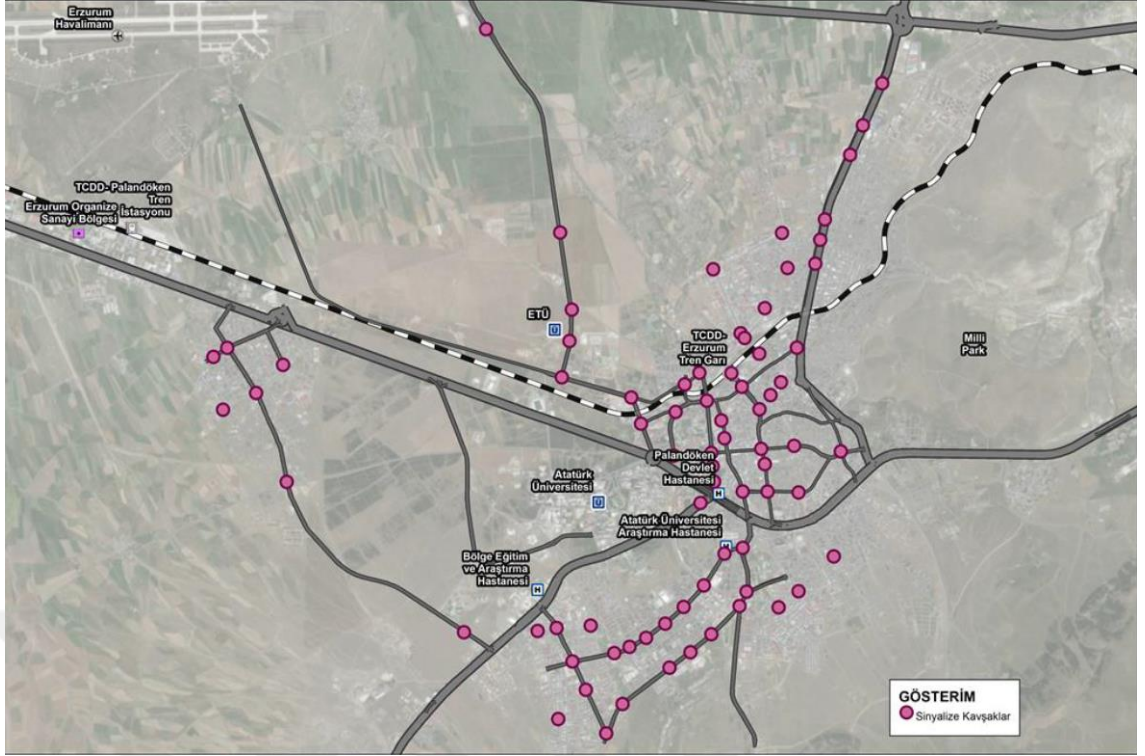
Ömer Nasuhi Bilmen ile Cumhuriyet Caddesi doğrultusunun batısında Atatürk Üniversitesi kavşağı, doğusunda ise Tebriz Kapı meydanı yer almaktadır. Kent merkezinin ana ulaşım bağlantılarından birini oluşturan Ömer Nasuhi Bilmen-Cumhuriyet Caddesi eksenini yoğun bir trafiğe sahiptir. Cumhuriyet caddesi üzerinde çeşitli önemli alanlar yer almaktadır. Şehrin en yoğun caddesi olup ana aks görevini üstlenerek her yönde birçok

cadde veya sokağa bağlanmaktadır. Havuzbaşı kent meydanı ise kent içi ulaşımında yoğunluğun olduğu önemli noktalardan bir tanesidir. Havuzbaşı meydanının kuzeyinde Hastaneler, güneyde Yenişehir Caddesi, batıda Ömer Nasuhi Bilmen, doğuda Cumhuriyet Caddeleri bulunmaktadır. Aşağıda Şekil 3.2’de Erzurum kent içi ulaşım ağı gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Erzurum kent içi ulaşım ağı (Anonim 2020b)

Kent içi ulaşım ağında çeşitli bağlantı noktalarında daha güvenli ulaşım sağlanması için sinyalize kavşaklar mevcuttur. Merkez ilçelerde yer alan bu sinyalize kavşakların çok büyük bir kısmı Büyükşehir Belediyesi sorumluluğunda iken bir kısmı ise Karayolları Bölge Müdürlüğü sorumluluğundadır. Bu sinyalize kavşaklar günümüz itibariyle dinamik akıllı sinyalizasyon sistemine sahip olmamakla birlikte kent için trafik ve akıllı şehir master planı içerisinde akıllı kavşak sistemine yönelik çalışmalar yapılmıştır (Anonim 2020a). Aşağıda verilen Şekil 3.3'te Büyükşehir Belediye sorumluluğunda olan sinyalize kavşak konumları gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Büyükşehir Belediyesi sorumluluğunda olan sinyalize kavşak konumları (Anonim 2020b).

Kentin ulaşım altyapısı unsurlarından bir diğeri ise otopark alanlarıdır. Merkezde yol kenarı, kapalı ve açık otoparklar bulunmaktadır. Kentte Menderes Yeraltı Otoparkı, Cedit Kapalı Otoparkı, Havuzbaşı Otoparkı ve Numune Otoparkı olmak üzere dört adet kapalı otopark bulunmaktadır. Kent merkezinde ayrıca Aziziye Otopark, Erzincankapı Otopark, Mumcu Otopark gibi açık otopark işletmeleri de mevcuttur. Yol cepleri ve açık otoparkların yanı sıra boş araziler ve trafiğin yoğun olmadığı ara sokaklar da park amaçlı kullanılmaktadır.

Erzurum kentinde toplu ulaşım altyapısı karayolu taşıtları ile sağlanmaktadır. Erzurum kentindeki lastik tekerlekli toplu taşıma sistemi;

- Belediye otobüsleri,
- Özel halk otobüsleri,
- Minibüslerden oluşmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

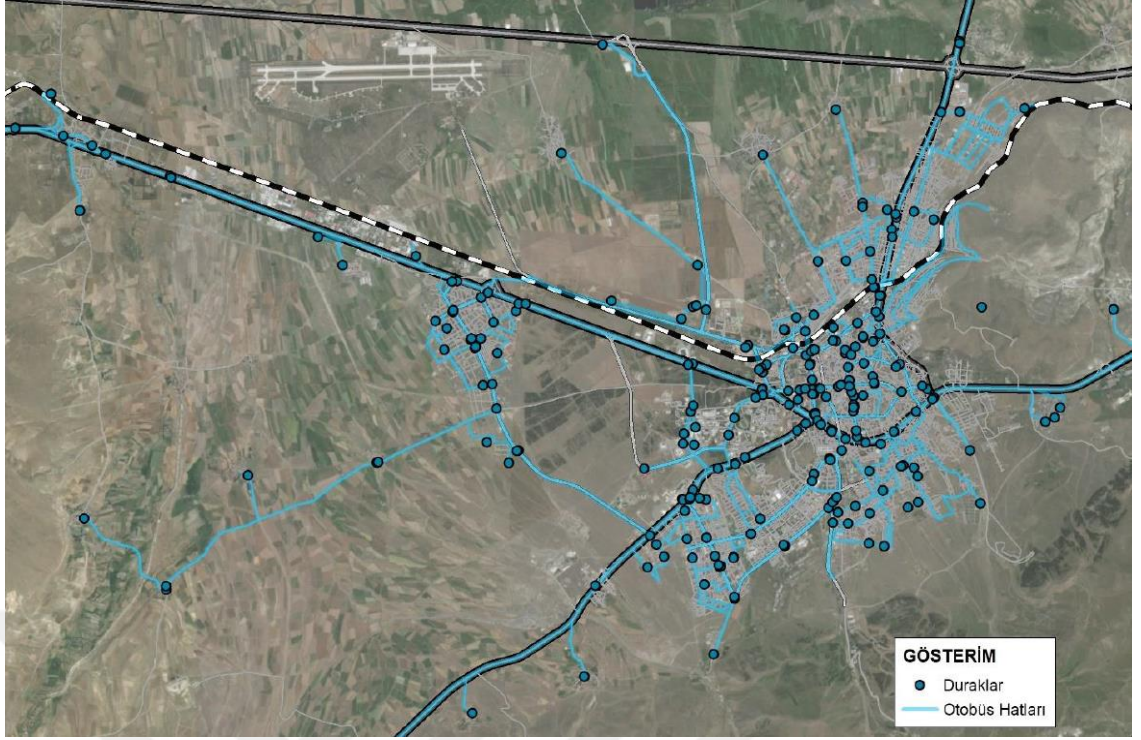
Toplu taşıma sistemi 41 güzergâhta 68 büyükşehir, 139 özel halk otobüsü aracıyla, 7 Enerji A.Ş. ve 95 Minibüs ile hizmet verilmektedir. Merkezde minibüs hatları ve otobüsler çalışırken, merkezden uzaktaki alanlara sadece otobüsler ile erişim sağlanmaktadır. Minibüsler kent içi ulaşımında 6 hatta taşımacılık yaparken otobüsler ise 35 hatta taşımacılık yapmaktadır.

Erzurum Büyükşehir Belediyesi yolcu verileri doğrultusunda toplu taşıma araçlarından belediye ve özel halk otobüsleri kullananların aylara ve türe göre dağılımları incelendiğinde, taşınan yıllık yolcu sayısının yaklaşık 35 milyon kişi olduğu bilinmektedir (Anonim 2020b). Aşağıda verilen Şekil 3.4'te kent merkezindeki toplu taşıma hatlarının güzergâhları yer almaktadır.



Şekil 3.4. Kent merkezindeki toplu taşıma araçlarının hat güzergâhları (Anonim 2020b)

Kentte toplu taşıma araçları için oluşturulmuş 260 adet durak yer almaktadır. Bu duraklar yolcuların toplu taşıma araçlarına güvenli bir şekilde biniş ve inişlerini sağlayacakları şekilde tasarlanmıştır. Kent merkezinde yer alan otobüs duraklarının konumları aşağıda verilen Şekil 3.5'te yer almaktadır.



Şekil 3.5. Kent merkezindeki otobüs duraklarının konumları (Anonim 2020b)

Kentte kötü hava koşullarının etkilerini azaltmak için özel tasarlanmış kapalı otobüs durak yerleri bulunmaktadır. Kış mevsimindeki soğuklardan korunmak amacıyla ısıtma özelliğine sahip olan duraklar, yaz mevsiminde ise sıcaklarda serinlemek amacıyla içerisinde klima olması sayesinde yolcuların serin ortamda toplu taşıma aracını beklemesi sağlamaktadır. Isı kaybını önlemek için butonla açılır kapılara sahip ısıtmalı duraklar ayrıca akıllı durak olarak tasarlanmıştır. Akıllı durakların yaygınlaşması toplu taşımaya kolaylık sağlamaktadır. Duraklar sayesinde yolcular beklediği hattın aracının geliş saatini durak içerisindeki monitörden görebilmektedir.

Kentin ulaşım altyapısını oluşturan bir diğer unsur ise semt garajlarıdır. Semt garajları ilçeler arası yolcu taşıyan araçların indirme, bindirme, yükleme, aktarma yaptıkları ve ayrıca bilet satışı ile bekleme, haberleşme vb. hizmetlerin sağlandığı yerlerdir. Erzurum kent merkezinde iki adet semt garajı bulunmaktadır. Bu semt garajları Şükrüpaşa ve Mahallebaşı bölgelerinde yer almaktadır.

Kentin ulaşım altyapısında önemli yere sahip bir diğer unsur ise sevk idare merkezleridir. Sevk idare merkezleri otobüs hatlarının bekleme yapabildikleri, taşıtların ve sürücülerin çeşitli denetim ve bilgilendirmelerin yapılabildiği alanlardır. Kentte

toplam 6 adet sevk idare merkezi yer almaktadır. Bu sisteme benzer yapının minibüsler için sağlandığı minibüs garajları ise kentte 2 adettir.

Kentteki ulaşım olanağı sağlayan ve en az zararlı ulaşım türlerinden biri bisiklet ulaşımıdır. Dünyada birçok kentte bisiklet kullanımı oldukça yaygındır. Ülkemiz bisiklet yollarına ilkim ve çevresel koşullar açısından uygun olmasına rağmen genellikle bisiklet ulaşımı tercih edilmemektedir. Erzurum, iklim özellikleri ve topografik olarak bisiklet kullanımı için tercih durumu düşüktür. Buna rağmen kent merkezinde bazı bölgelerde, kampüslerde ve yeşil alanlarda bisiklet kullanımı potansiyeli bulunmaktadır. Mevcut durumda, üniversite kavşağında başlayıp Erzincan- Erzurum Yolu'ndan (E-80) devam ederek stadyuma ulaşan 1,4 km uzunluğunda, Azerbaycan Bulvarı üzerinde, Erzurum Teknik Üniversitesi ve Atatürk Üniversitesi kampüslerinde de bisiklet yolu bulunmaktadır. Bunların haricinde kısa mesafelerde bisiklet yollarının olduğu kesimler de mevcuttur.

Kentteki ulaşım altyapısındaki bir diğer unsur ise yaya ulaşımıdır. Günümüzde kentlerde güvenli ve rahat dolaşım sağlamak amacıyla, yaya yolları ve yaya yollarıyla bütünlük içerisinde olan yeşil alan sistemleri çok önemlidir. Birçok kentte imar çalışmaları nedeniyle yeşil alan bölgeleri azalmaktadır. İnsanların kentte sağlıklı ve mutlu şekilde yaşamaları için yeşil alanlar ile entegre edilmiş yaya bölgesi uygulamaları artırılmalıdır.

Erzurum merkezinde yayaların yoğun olarak kullandıkları alanlar ve yollar incelendiğinde; yayaların daha çok merkez alanı içerisinde Cumhuriyet Caddesi, Taş Mağazalar Caddesi, Gürcü Kapı Caddesi ve çevresinde yoğunlaştığı gözlenmektedir. Şekil 3.6'da yaya hareketinin yoğun olduğu alanların kentteki konumları gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kentte sadece yayalar için tanımlı olan yaya yolu ve yaya yoğunluğunun fazla olduğu bölgeler (Anonim 2020b).

Cumhuriyet Caddesi yaya yoğunluğunun fazla olduğu bir alan olup çevresinde de benzer şekilde yaya yoğunluğu fazladır. Ayrıca batısında Atatürk Üniversitesi Kavşağı doğusunda Tebriz Kapı Meydanı bulunmaktadır. Kentin hem araç hem yaya bakımından en yoğun caddesidir. Şehri merkezinden iki aks olarak dört alana ayıran caddelere bağlanmaktadır. Alanda yaşayan ya da ziyaret eden insanların ihtiyaçlarına cevap verebilecek alış-veriş, yeme içme, idari, banka, iş merkezi, cami gibi kullanımlar cadde üzerinde yer almaktadır.

Taşmağazalar Caddesinde tek katlı taş dükkânlar bulunmaktadır. Kentin doğusunda bulunan cadde eski kent dokusunun bir parçasıdır. Güney-Kuzeybatı doğrultusunda uzanmaktadır. 300 m uzunluğunda olup genişliği 11 m-13 m arasında değişkenlik göstermektedir. Taşmağazalar Caddesi şehrin önemli ticaret merkezlerinden biridir. Bu bölge için motorlu taşıtların girişi yasaklanmıştır.

Çifte Minareler bölgesi; uzunluğu 115 m olan cadde Çifte Minareli Medrese ve Ulucami arasında yer almaktadır. Genişliği 7,5-14 m genişliğindedir. İki tarihi eser arasında yer almaktadır. Tarihi Çifteler Konağı ana cadde üzerinde yer almaktadır. Ayrıca

cadde üzerinde birkaç dükkân hariç ticaret fonksiyonu bulunmamaktadır. Cadde trafik bakımından çok yoğun olmamasına rağmen park eden araçlar oldukça yoğundur. Duraklardan alana ulaşım kolaydır.

Ebu İshak Sokak; Çift Minareler Sokağı'nın karşısında yer almaktadır. Cumhuriyet Caddesine bağlanmaktadır. Sokağın genişliği 3-7,5 metredir. Uzunluğu 180 m civarındadır. Tarihi kent dokusunda yer almaktadır. Araç yoğunluğu açısından sakin bir sokaktır. Tarihi yapıda devamlılığı sağlamak ve kentsel kaliteyi arttırabilmek için önemli bir bölgedir.

Polis Evinin Güney Kısmı; polis evinin güneyinde yer alan bu kısım, mevcut durumda taşıt trafiğine kapalı haldedir. Duraklardan bu bölgeye yaklaşık 3 dakika içerisinde ulaşım sağlanabilmektedir.

Çaykara İşhanı Doğu Kısmı; Cumhuriyet Caddesi ve Çaykara Caddesi yoğun bir ticaret bölgesidir. Bu yoğunluk yayalarında alanda yoğun olarak bulunmasına sebep olmaktadır. Bu alanın iki tarafı da işyerleriyle çevrilidir. Çaykara İşhanı içinde çeşitli iş yerleri ve dersaneler bulunmaktadır. Bundan dolayı alanın genel kullanıcı kitlesi gençlerdir. Toplu taşımayla alana ulaşım rahattır ve duraklar alana 1-2 dakika uzaklıktadır.

Erzurum kenti için yapılmış olan ulaşım ana planında yayalar için daha verimli ulaşım olanaklarının sağlanması amacıyla kent merkezinde özellikle tarihi alanların yoğunlaştığı bölgelere yayalaştırma önerisinde bulunulmuştur. Bazı bölgelerde ise yaya öncelikli alan ilan edilmesi belirtilmiştir. Aşağıda verilmiş olan Şekil 3.7'de ulaşım ana planında yayalar için ayrılmış alanlar gösterilmektedir.

- Seyahat konforunu arttırma
- Gelişmiş ulaşım sistemlerini hizmete sunma
- Gürültü kirliliğini önleme
- Mobilitayı arttırma ve ulaşımında harcanan süreyi kısaltma
- Yakıt tasarrufu sağlama
- Stres ve buna bağlantılı diğer sağlık sorunların azaltma
- Kaza ve sigorta maliyetlerini düşürme

Erzurum'da akıllı ulaşım sistemleri çözümleri için Erzurum Büyükşehir Belediyesi, ASİS Elektronik ve Bilişim Sistemleri A.Ş. firması ile çalışmalar yapmaktadır. Firmanın toplu taşıma araçlarında sağladığı hizmetler arasında elektronik ücret toplama sistemi, araç takibi, araç iç ve dış kamera uygulaması ve araç içi wifi uygulamaları yer almaktadır.

Elektronik ücret toplama sistemi akıllı şehir konseptinin en önemli uygulamalarındandır. Bu sistem zamanın verimli bir şekilde kullanımını sağlamaktadır. Ön ödemeli ve akıllı okut ve geç kartlar ile şehir içi ulaşımında toplu taşıma hizmet kalitesini bir üst sınıfa taşımaktadır.

Erzurum'da kullanılan akıllı bilet uygulaması ile mobil telefon uygulaması kent içi toplu taşıma sistemlerindeki otobüsler için kullanılmaktadır. İklim şartlarının ulaşım sistemlerine kötü etkileri, bilgi paylaşımıyla azaltılmaktadır. Kullanılan mobil uygulamada kart yükleme noktaları, ücret tarifesi, bakiye yükleme ve sorgulama, otobüs hat ve hareket bilgileri ve akıllı durak hizmetlerini sağlamaktadır.

3.2. Çalışma Alanının Gerekçesi

Bu kısımda çalışma alanı olarak belirlenen Erzurum ilinin tercih edilmesinin gerekçeleri ele alınmıştır. Bu başlıkların bir kısmı yaya ulaşımı ile doğrudan ilişkili iken bir kısmı ise dolaylı olarak ilişkilidir. Her bir konu başlığı kendi içerisinde çeşitli veriler sunularak bir ön inceleme gerçekleştirilmiştir. Konu başlıklarının detaylı analizi ise araştırma bulguları ve tartışma kısmında yapılmıştır.

3.2.1. Hava kirliliği

Erzurum ili yaklaşık 1900 metrelik rakımda konumlanması ve karasal yapısı sebebiyle kış aylarının şiddetli geçtiği bir kenttir. Kış aylarında ısınma ile hava kirliliği artıyor olsa da son yıllarda doğalgaz kullanımı sayesinde odun ve kömür kullanılan yıllara göre ısınma kaynaklı hava kirliliği daha da azalmıştır. Öte yandan irili ufaklı bazı sanayi tesisleri de kent içerisinde yer almaktadır. Bu sanayi tesisleri de kentteki hava kirliliğini artıran sebepler arasındadır. Kentte hava kirliliğine sebep olan bir diğer önemli sektör ise ulaştırma. Özellikle kent merkezinde trafik sıkışıklığının fazla olduğu bölgelerde taşıtların gaz emisyonlarından kaynaklı hava kirliliği ciddi seviyede yüksektir. Bu sebeple yaya ulaşımı için çalışma alanı gerekçelerinden ilk olarak hava kirliliği ele alınmıştır.

Erzurum ili için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü tarafından yapılan 2020-2024 yılları temiz hava eylem planında hava kirliliğinde sektörlerin dağılımı detaylı olarak ortaya konmuştur. Rapora göre Erzurum ilindeki motorlu kara taşıtlarının taşıt türü ve yakıt cinsine göre dağılımları aşağıda Çizelge 3.1 verilmektedir.

Çizelge 3.1. Erzurum ilindeki karayolu taşıtlarının yakıt türlerine göre sayısal olarak dağılımları.

Cinsi	Benzinli	Dizel	LPG	Toplam
Kamyon		5.878		5.878
Kamyonet		26.645		26.645
Minibüs		2.990		2.990
Motosiklet	2.662			2.662
Otobüs		1.159		1.159
Otomobil	15.031	20.917	22.318	58.266
Traktör		19.663		19.663
Toplam	17.693	77.252	22.318	117.263

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Her bir taşıt türünden kaynaklı emisyon miktarını tespit edebilmek için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca emisyon faktörleri belirlenmiştir. Bu faktörler partiküler madde (PM₁₀), kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x) değerleri için ayrı ayrı olarak ortaya konmuştur. Her bir taşıt türü için belirlenen emisyon faktörleri aşağıda Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Taşıt türlerine göre emisyon katsayıları

Taşıt Türü	Yakıt Türü	Emisyon Faktörü (NO _x)	Emisyon Faktörü (PM ₁₀)	Emisyon Faktörü (SO ₂)
Otomobil	Benzin	14,5	0,03	0,02
Otomobil	Dizel	11	1,1	0,02
Otomobil	LPG	15,5	0	0,1
Hafif Taşıt	Benzin	24	0,02	0,02
Hafif Taşıt	Dizel	15	1,52	0,02
Hafif Taşıt	LPG	16	0	0,1
Ağır Taşıt	Benzin	6,6	0	0,02
Ağır Taşıt	Dizel	37	0,94	0,02
Ağır Taşıt	CNG (Otobüs)	13	0,02	0,1
Motosiklet	Benzin	9,5	2,2	0,02

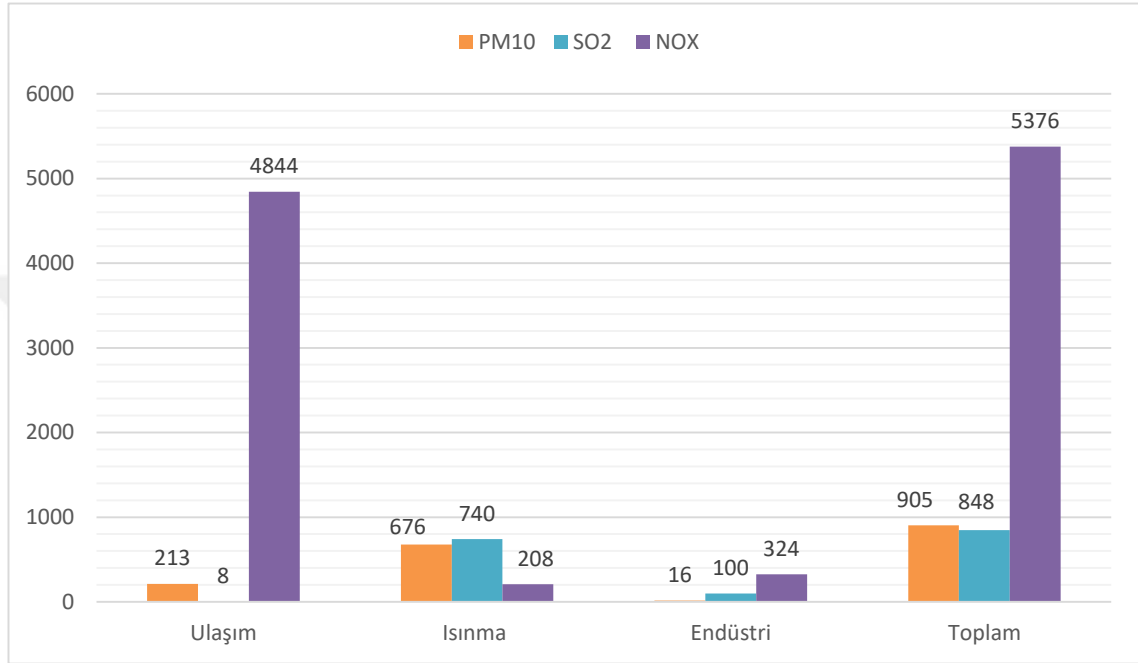
Her bir taşıt türü için belirlenen emisyon faktörleri ele alındığında kentte PM₁₀, SO₂, NO_x emisyonlarından bir yılda oluşan toplam emisyon miktarları Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Taşıt ve yakıt türlerine göre bir yılda salınan toplam emisyon miktarları

Taşıt Türü	Yakıt Türü	Toplam Emisyon ton/yıl (NO _x)	Toplam Emisyon ton/yıl (PM ₁₀)	Toplam Emisyon ton/yıl (SO ₂)
Otomobil	Benzin	196,15	0,41	Tüm taşıt türleri için: Benzin: 0,28 Dizel: 3,40 LPG: 4,02
Otomobil	Dizel	161,06	16,11	
Otomobil	Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG)	622,67	0,00	
Hafif Taşıt	Benzin	0,00	0,00	
Hafif Taşıt	Dizel	1.281,74	129,88	
Hafif Taşıt	LPG	0,00	0,00	
Ağır Taşıt	Benzin	0,00	0,00	
Ağır Taşıt	Dizel	2.581,93	65,59	
Ağır Taşıt	Sıkıştırılmış Doğalgaz (CNG) (Otobüs)	0,00	0,00	
Motosiklet	Benzin	0,40	0,88	
Toplam		4.843,95	212,87	7,7

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü raporuna göre Erzurum ili için 1 yılda PM₁₀, SO₂, NO_x emisyon miktarlarının 1.624 tonu ısınma sektöründen, 440 tonu ise endüstri sektöründen kaynaklanmaktadır. Ulaşım sektörünün toplam zararlı gaz emisyonundaki payı ise yaklaşık %70'tir (Anonim 2020c). Aşağıda Şekil 3.8'de Erzurum'daki hava kirliliğinin sektörel dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Erzurum kent merkezindeki hava kirliliğinin sektörel dağılımı

Bu durum kentteki hava kirliliğinde ulaşım sektörünün çok büyük bir payı olduğunu ortaya koymaktadır. Kentin yüksek rakımda yer alması sebebiyle insanların nefes alıp vermekte daha da zorlandığı ve yeteri kadar ormanlık alanın yer almaması sebebiyle de kenti daha yaşanabilir bir hale getirebilmek için ulaşım kaynaklı hava kirliliğini önemli ölçüde azaltmak gereklidir (Kuşkapan ve Çodur 2022).

Günümüzde kentlerde ulaşım kaynaklı hava kirliliğini azaltabilmek için çeşitli politikalar yürütülmektedir. Bu politikalar içerisinde yaya ulaşımının yaygınlaştırılması amacıyla bazı yol kesimlerinin motorlu taşıtlar tarafından kullanıma kapatılması, bisiklet yollarının yapılması, yaya ulaşımının daha güvenli hale getirilmesi ve yaya yollarının kullanışlı hale getirilmesi uygulanabilmektedir.

3.2.2. Yakıt fiyatları

Karayolu taşıtlarının çok büyük bir kısmı tükenbilir enerji kaynaklarından olan petrol ve türevlerini yakıt olarak kullanmaktadır. Bu akaryakıtlar dünyada belli başlı ülkelerde çok sınırlı alanlarda yeraltından çıkarılarak çeşitli işlemlerden geçtikten sonra dağıtılmaktadır. Akaryakıtların belli başlı kesimlerde yer alması sebebiyle ülkeler arasında bu kaynaklara sahip olmak amacıyla çeşitli mücadeleler yaşanmaktadır. Bu mücadelelerin bir kısmı da savaşa dönüşerek tüm dünyayı etkileyen olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Tükenbilir bu enerji kaynakları savaş, ekonomik ve sosyal koşullardan çok fazla etkilendiği için akaryakıt fiyatları da zaman içerisinde değişmektedir. Özellikle Ülkemizde son yıllarda döviz fiyatlarının artması ve dünyada brent petrol fiyatlarının artışta olması sebebiyle akaryakıt fiyatları çok ciddi seviyede artış yaşamıştır. Aşağıda Çizelge 3.4'te son aylarda Ülkemizde yakıt fiyatlarının değişimi verilmektedir.

Çizelge 3.4. Ülkemizde aylara göre yakıt fiyatlarındaki değişim (Anonim 2023c)

Tarih	Kurşunsuz Benzin (TL/LT)	Motorin (TL/LT)	LPG (TL/LT)
Ekim-2021	7,99	7,51	6,14
Kasım-2021	8,63	8,40	6,37
Aralık-2021	9,89	9,55	8,43
Ocak-2022	13,16	12,98	9,26
Şubat-2022	14,72	14,87	9,56
Mart-2022	16,82	16,34	10,29
Nisan-2022	19,97	22,33	11,36
Mayıs-2022	21,41	22,33	11,39
Haziran-2022	27,81	30,28	12,53
Temmuz-2022	25,61	26,97	10,77
Ağustos-2022	22,54	24,83	11,08
Eylül-2022	20,43	27,21	12,06
Ekim-2022	19,59	23,49	11,66
Kasım-2022	21,76	26,81	10,91
Aralık-2022	20,57	24,10	11,41
Ocak-2023	19,93	22,60	11,51
Şubat-2023	21,66	22,49	12,58
Mart-2023	21,15	21,46	12,58
Nisan-2023	22,10	21,40	12,58
Mayıs-2023	21,97	20,20	11,00
Haziran-2023	24,90	24,84	11,85
Temmuz-2023	36,95	36,94	14,49
Ağustos-2023	38,69	37,94	16,79

Çizelge incelendiğinde akaryakıt fiyatlarında 2022 yılı itibariyle çok ciddi artışlar olduğu, daha sonra kısa bir dönem daha dengeli bir fiyat seyrettiği ve 2023 ağustos ayı itibariyle en yüksek seviyelere ulaştığı görülmektedir. Özellikle kurşunsuz benzin ve motorin fiyatlarının 1-1.5 yılda yaklaşık 4-5 kat arttığı dönemler görülmektedir. Fiyat artışlarındaki bu durum bireylerin motorlu taşıtları tercih etme sıklığını azaltmakta, toplu taşıma araçlarının kullanımının artırmalarına ve kısa mesafelerde alternatif ulaşım kaynaklarının tercih etmelerine yönlendirmiştir. Yılın bazı dönemlerinde yakıt fiyatlarında bazı azalışlar gözlemlense de önceki yıllara göre çok yüksek seyrettiği ve dalgalanmaların devam ettiği söylenebilmektedir. Ayrıca yakıt fiyatlarındaki bu durum sadece Erzurum özelinde değil Ülkemiz ve dünya genelinde önemli bir problemdir.

Hızla tükenen bu enerji kaynaklarını kullanan ve ciddi maddi götürüsü olan motorlu taşıtların kullanımının azaltılması, mikro mobilite taşıtların kullanımının yaygınlaşması, yaya ulaşımının teşvik edilmesi hususunda birçok ülke ciddi adımlar atmaktadır. Ülkemizde de son yıllarda mikro mobilite taşıtlarının kullanılması ve günde en az 5.000 adım yürünmesi hususunda birçok kampanya düzenlenmektedir. Fakat Erzurum ilinde henüz mikro mobilite taşıtlarının sağlandığı bir altyapı sistemi yeteri kadar bulunmaması ve bununla birlikte bisiklet yolları da oldukça yetersizdir. Ayrıca kent genelinde hem sürücü hem de yayaların yaya yollarına riayetinin çok düşük olması, yayalar için avantaj sağlayacak olan uygulamaların çok kısıtlı olması da insanları motorlu taşıtların daha fazla kullanmaya yöneltmektedir.

3.2.3. Yaya yolu ihlalleri

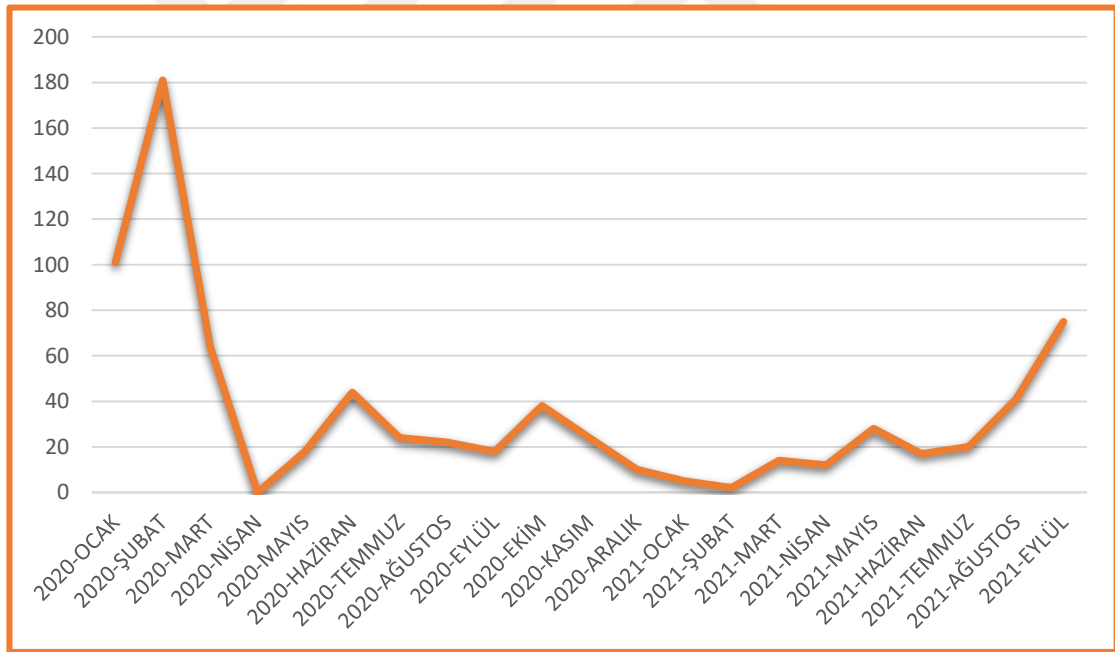
2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu'nda belirtildiğine göre araç sürücüleri, yaya geçidi bulunan her alanda ilk geçiş hakkını daima yayaya tanımalıdır. Karayolları Trafik Kanunundaki 74. Maddede "Sürücüler, görevli bir kişi veya ışıklı trafik işareti bulunmayan ancak trafik işareti veya levhaları ile belirlenmiş kavşak giriş ve çıkışları ile yaya ve okul geçitlerine yaklaşırken yavaşlamak, varsa buralardan geçen veya geçmek üzere bulunan yayalara durarak ilk geçiş hakkını vermek zorundadırlar" şeklinde yayanın öncelik hakkının olduğu açıklanmıştır (Anonim 2018b).

Yayalara yol vermemek hem bir hak ihhalidir hem de cezai işleme tabii tutulan bir

kural ihlalidir. 2022 yılı itibariyle ödenecek ceza bedeli, 2021 yılına göre %36,2 oranında artarak 888 TL olarak belirlenmiş ve ceza puanına ise 20 puan eklenmektedir. 2023 yılında ise bu rakam 1.917 TL olarak belirlenmiştir ve %122,93 zam gelmiştir (Anonim 2023d).

Yaya geçidi ihlalinin cezasındaki bu ciddi artış oldukça dikkat çekmiştir. Yaya geçidi cezaları ise ihlalin kameralar ile tespit edilmesi, vatandaş şikâyetleri ya da bir trafik polisinin denetlemesi ile belirlenebilmektedir.

Erzurum ilinde aylık olarak yapılan rutin denetimler neticesinde belirli yaya yollarında yapılan ihlaller tespit edilerek cezalandırma işlemi uygulanmaktadır. Son iki yıla ait denetim yapılan yaya yollarında sürücüler tarafından yayalara yol verilmeme sayıları aşağıda Şekil 3.9’da verilen grafikte gösterilmektedir.

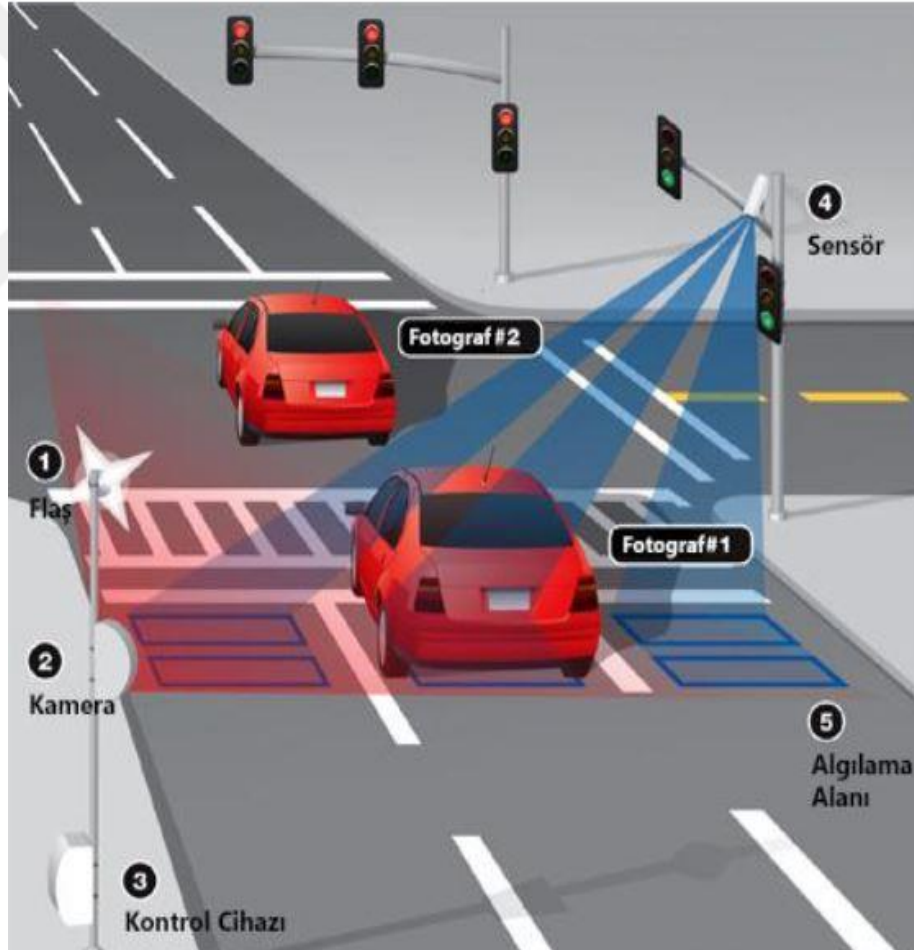


Şekil 3.9. Erzurum kentinde aylık olarak yapılan denetimler sonucu tespit edilen yayalara yol vermeme sayıları.

Şekilde görüldüğü üzere yapılan denetimlerde belirli dönemlerde sürücüler tarafından yayalara yol vermeme sayılarında azalma görülmüştür. Fakat bu durum büyük oranda pandemi dönemindeki kapanmalardan kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. 11 Mart 2020 tarihinde Türkiye’de ilk Covid-19 vakasına rastlanmıştır. Bu tarihten itibaren çeşitli karantina uygulamaları yapılmaya başlanmıştır. 3 Nisan 2020’den itibaren ise belirli yaş

aralıklarına sokağa çıkma yasağı getirilerek 31 kent için ise giriş çıkışlar yasaklanmıştır. Bu ve benzeri birçok kısıtlama 2020 ve 2021 yıllarında uygulanmıştır. Bu sebeplerden ötürü trafikteki taşıt sayısında ve yaya sayılarında ciddi azalmalar meydana gelmiştir.

Öte yandan 2021 yılının sonlarına doğru bazı kısıtlamaların kaldırılması ile yaya ve taşıt trafiğinde artış olduğu tespit edilmiştir. Bu artışın tüm kısıtlamaların kaldırıldığı 2022 yılında çok daha fazla olduğu şüphesizdir. Artışın olması da yaya yolu denetimlerinin ve ceza uygulamalarının Erzurum ilinde sürücülerini caydırıcı etkisinin pek olmadığını ortaya koymuştur. Çeşitli gelişmiş ülkelerde yaya yolu ihlalleri de elektronik denetleme sistemi ile yapılarak sürücüler için caydırıcı cezalar uygulanmaktadır. Bu sistemin bir görsel örneği aşağıda verilen Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Elektronik denetleme sistemi ile yaya yolu ihlal tespiti (Anonim 2018c)

Bir kentteki tüm yaya yollarının elektronik olarak denetlenmesi çok maliyetli olacağı gerçeği de göz önüne alınmalıdır. Fakat yaya yolları için elektronik denetleme

sisteminin özellikle kazaların çok sık yaşandığı yaya geçit noktalarında sağlanması ile yaya ölüm ve yaralanmalarının önüne geçilebilir.

Sürücülerin yaya yollarına riayet etmemelerinin birçok sebebi olabilmektedir. Bunlardan en önemlisi eğitim ve kültürel yapıya bağlı olarak insanlarda böyle bir bilincin oluşmamasıdır. Bu durumun önüne geçebilmek için insanlara ilkokul seviyesinden belirli bir bilinç oluşturulması ve trafikte insanların birbirlerine karşı hoşgörülü davranması aşılabilir. Bir diğer sebep ise yaya yollarının sürücüler tarafından görülemeyecek düzeyde olması olabilmektedir. Bunun önüne geçilebilmesi için ise yerel yönetimler tarafından yol bakımlarının sıkça yapılması gereklidir. Yaya yolu ihlallerindeki sayının fazla olmasındaki bir başka gerekçe ise yaya yollarının çok sık tasarlanmış olması ve trafiği çok fazla aksatıyor olmasıdır. Bu durum sürücülerin sabır konusunda zorlamaya sebebiyet verebilmektedir. Bunun önüne geçilebilmesi için ise uluslararası yaya yolu standartlarının dikkate alınarak yaya yollarının tasarlanması gereklidir.

3.2.4. Trafik kazaları ve hız ihlalleri

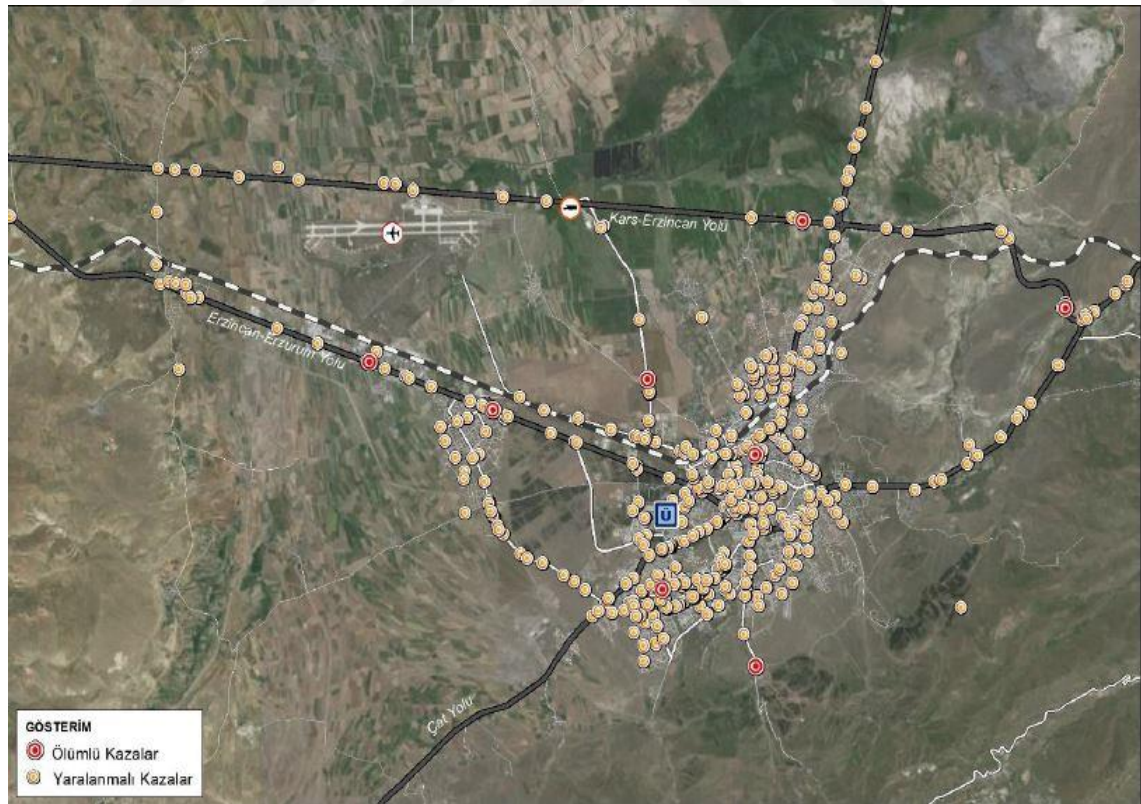
Çalışma alanı olan Erzurum ili Türkiye İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırmasında (İBBS) TRA kodu ile Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi illeri içinde 2021 istatistiklerine göre ölümlü yaralanmalı kaza sayısı, maddi hasarlı kaza sayısı, ölüm sayısı ve yaralanmayla sonuçlanan trafik kazası sayısında birinci sırada yer almıştır (Anonim 2022d). 2022 yılı istatistiklerinde ise ölü sayısında ikinci sırada diğer istatistiklerde ise birinci sırada yer almıştır (Anonim 2023e).

Kentte son yıllarda genel olarak kaza sayısının ve buna bağlı olarak da ölüm veya yaralanma durumlarının azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu duruma daha yüksek kaliteli yol kaplamalarının yapılması, ulaşım ağının genişlemesi, iller arası yol genişliklerinin artırılması, denetimlerin sıklaştırılması, taşıt teknolojilerinin giderek gelişmesi ve insanların trafikte daha bilinçli hale gelmesi gibi etmenler etkili olabilmektedir. Aşağıda verilen Çizelge 3.5'te Erzurum kentine ait trafik kaza istatistikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5. Erzurum kentinde son yıllarda meydana gelen kaza, ölüm ve yaralı istatistikleri (Anonim 2022e).

Yıl	Toplam kaza sayısı	Ölümlü yaralanmalı kaza sayısı	Maddi hasarlı kaza sayısı	Ölü sayısı	Yaralı sayısı
2015	8.835	1.522	7.313	104	2.957
2016	8.096	1.460	6.636	84	2.916
2017	8.532	1.599	6.933	88	3.196
2018	8.248	1.459	6.789	65	2.989
2019	7.761	1.407	6.354	62	2.706
2020	6.514	1.086	5.428	49	1.911
2021	7.277	1.224	6.053	59	2.069

Meydana gelen kazalarda ölümlü ve yaralanmalı kazaların büyük bir kısmı kırsal yollarda meydana gelmektedir. Çünkü bu yol kesimlerinde taşıtlar daha yüksek hızlara ulaşabilmektedir. Kentsel yollardaki kazaların büyük bir kısmı ise maddi hasarlı olmakla birlikte ölüm veya yaralanmalı kazalara da rastlanılmaktadır. Aşağıda verilen Şekil 3.11’de Erzurum kent merkezinde bir yılda meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı kazaların koordinatları gösterilmektedir.

**Şekil 3.11.** Erzurum kent merkezinde son bir yılda meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı kazaların koordinatları (Anonim 2020b).

Trafik kazalarına sebep olan faktörlerin başında aşırı hızlanma ve yol kesimindeki hız kurallarına uymama yer almaktadır. Araç hızı ne kadar fazla ise çarpışma esnasında iletileceği mekanik enerji de o kadar artmaktadır. Kaza esnasında bu enerjinin iletileceği araç, yolcu ve yaya ciddi seviyede zarar görmektedir. Saatte 80 km hızla giden bir araçta bulunan bir kişinin ölme ihtimali, saatte 30 km hızla giden bir araçta bulunan bir kişiye göre 20 kat daha fazla olduğu bilinmektedir.

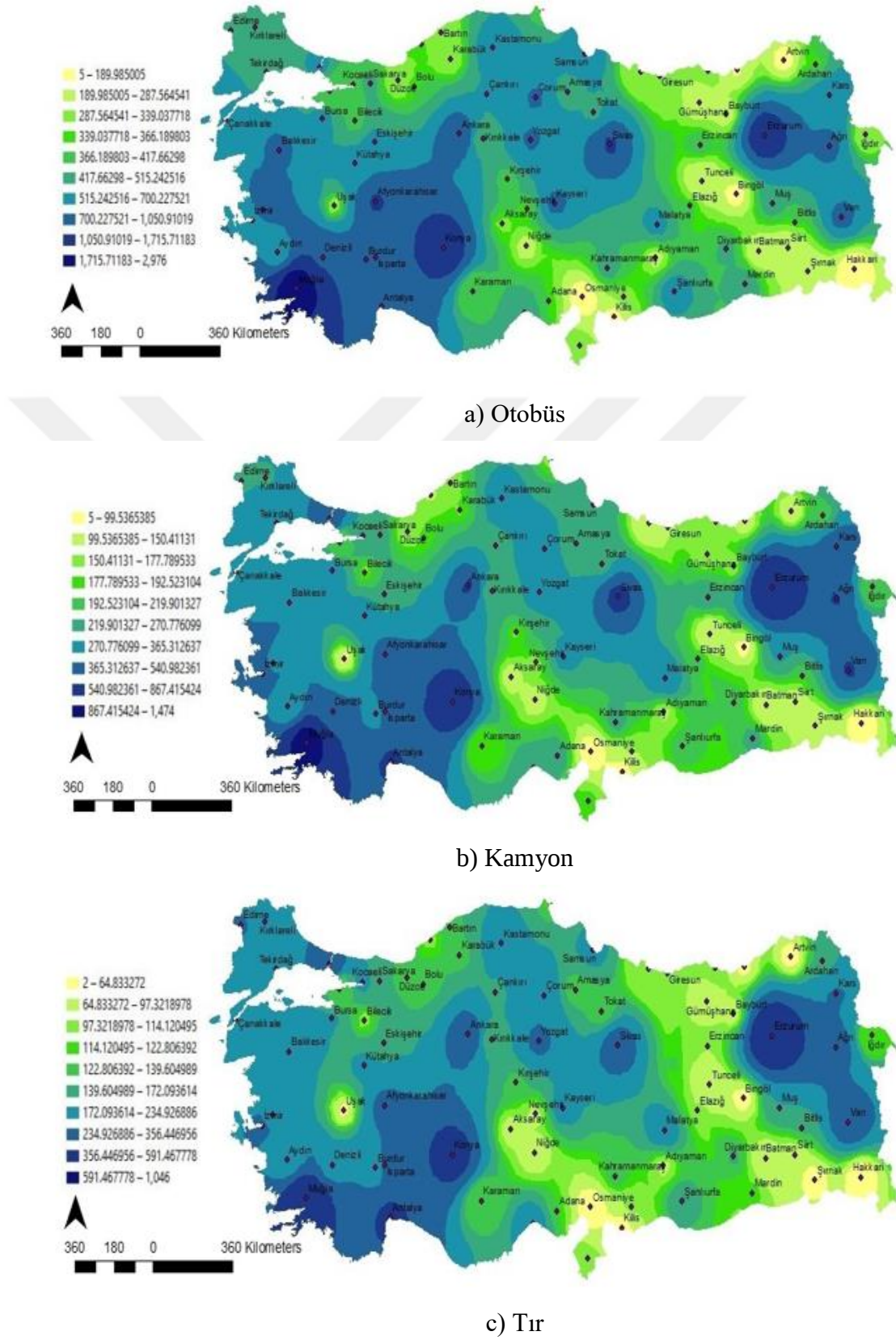
Bisikletliler ve yayalar gibi, savunmasız yol kullanıcılarının karıştığı kazalarda sonuçlar çok daha ciddi olabilmektedir. Yayaların kendilerine 30 km/saat ya da daha düşük hızda giden bir taşıt çarptığı durumda hayatta kalma ihtimali yaklaşık %90 iken, taşıtın 45 km/saat hızda olması halinde hayatta kalma ihtimali %50'ye düşmektedir. Saatte 80 km hızda giden bir taşıtın çarpması halinde ise yayanın hayatta kalma ihtimali hemen hemen yok gibidir. Ülkemizde her yıl meydana gelen trafik kazalarının ortalama %37'si aşırı hızdan ve bu hız kurallarını ihlalden kaynaklanmaktadır. (Anonim 2022f). Bu oran ülkemiz ile benzer gelişmişlik seviyesine sahip diğer ülkelere göre oldukça yüksektir. Bu durum çeşitli sebeplere bağlı olarak meydana gelebilir. Fakat en çok dikkat çeken husus özellikle Avrupa ülkelerinin birçoğunda kentlerde hız denetimi yapan elektronik sistemlerin çok sık şekilde kullanılıyor olmasıdır.

Ülkemizde ise bu denetimlerin yapıldığı kentler sınırlı sayıdadır. Bu durum sebebiyle hız ihlaline daha çok rastlanılmaktadır. Örneğin çalışma alanı olan Erzurum'da sürekli olarak kullanımı sağlanan herhangi bir Elektronik Denetleme Sisteminin bulunmaması hız ihlallerinin sıkça yapılmasına sebebiyet vermektedir. Kentte hâlihazırda 2022 yılı itibariyle çalışmaları tamamlanan bir elektronik denetleme sistemi mevcuttur. Fakat bu sistem henüz aktif şekilde kullanılmamaktadır.

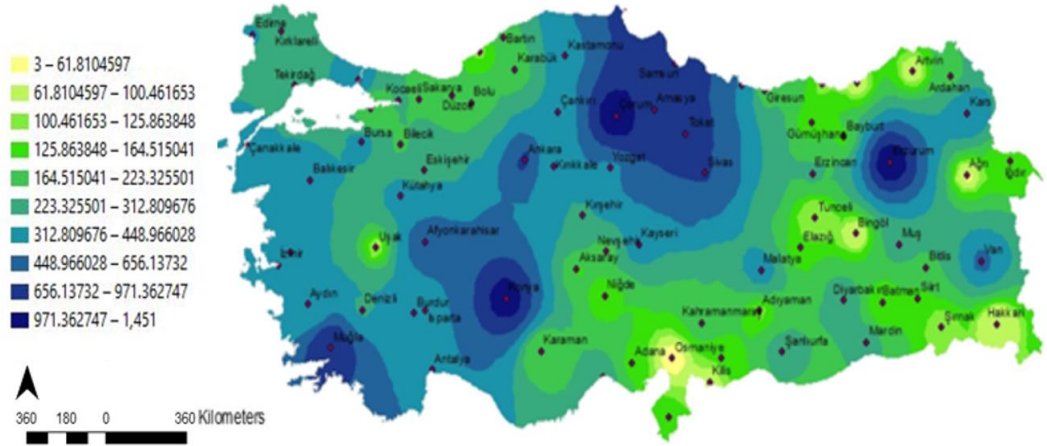
Kentlerdeki devlet yolu veya otoyol kesimlerinde yer alan taşıt sayımı ve hız tespiti yapabilen çeşitli kamera ve yol sayım hortumları yer almaktadır. Bu cihazlar sayesinde yol kesimleri arasından geçen taşıt sayısı ve hız ihlal sayıları tespit edilebilmektedir. Bu bilgiler raporlanarak insanların erişimine açılmaktadır. Kentlerdeki yol kesimlerine göre hız ihlal oranları kullanılarak bir yapay zekâ yöntemi olan makine öğrenmesi algoritmaları ile sınıflandırarak oluşturulan yoğunluk analizinin yapılmış olduğu bir çalışmada kentlerdeki hız ihlal oranlarının yoğunluk haritaları aşağıda Şekil

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.12’de verilmektedir.



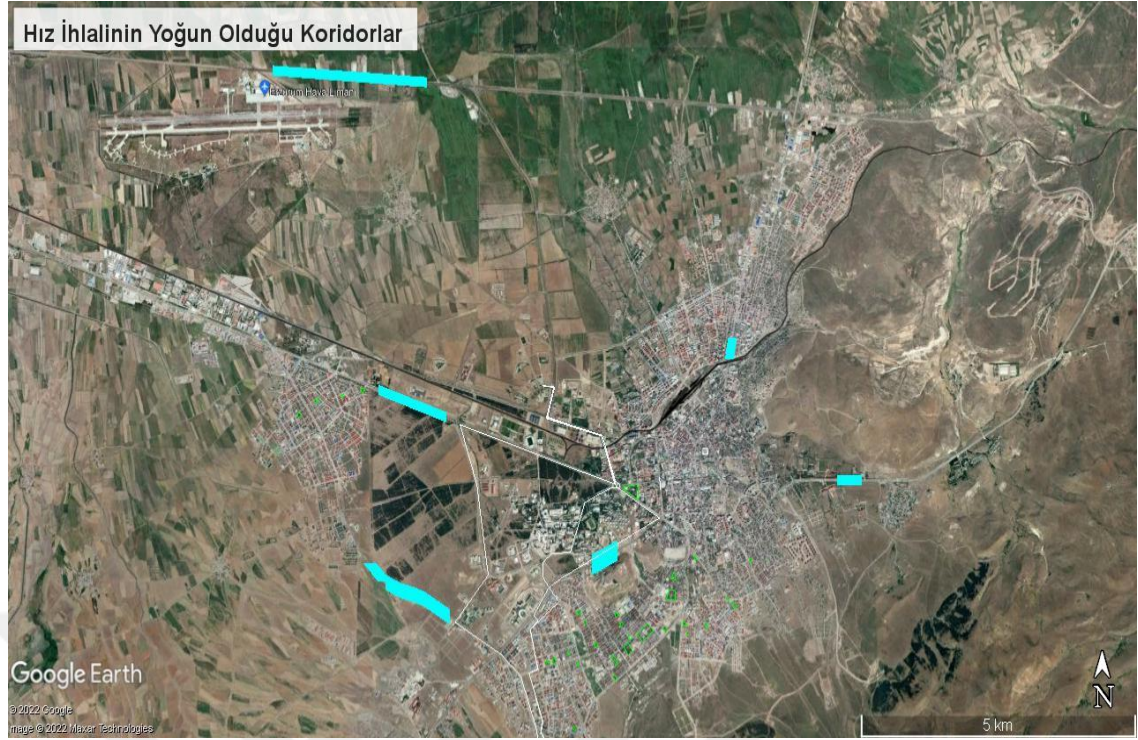
Şekil 3.12. Türkiye’de farklı taşıt türlerine göre kentlerdeki hız ihlal oranları yoğunluk haritası.



d) Hafif taşıt

Şekil 3.12. (devam)

Şekiller incelendiğinde hem ağır taşıt türlerinde hem de otomobil sınıfında Erzurum ili hız ihlal oranları en yoğun olan kentler arasında görülmektedir. Taşıt türlerine göre hız ihlal oranları kentlere göre çeşitlilik göstermiş olsa da Erzurum, Konya ve Muğla illeri tüm taşıt türlerinde de hız ihlalinin en yoğun yaşandığı kentler olduğu görülmektedir (Kuşkan et al. 2021a). Erzurum kent merkezinde ise Erzurum Büyükşehir Belediyesi (EBB) Ulaşım Daire Başkanlığının yapmış olduğu çalışma neticesinde hız ihlalinin fazla olduğu koridorlar aşağıda verilen Şekil 3.13'te gösterilmektedir (Anonim 2022g).



Şekil 3.13. Erzurum kent merkezinde hız ihlallerinin en yoğun olduğu koridorlar(Anonim 2022g).

Kent merkezinde hız ihlalinin fazla olduğu koridorlardan dört tanesi kentin ilçelere bağlantı yolları üzerinde kalmaktadır. Diğer iki yol kesimi ise nüfus yoğunluğunun fazla olduğu iki semt arasında kalan ve kent içi yollara göre daha fazla yol genişliğine sahip olan yollarda yer almaktadır. Özellikle kent merkezlerinde hız ihlallerinin önlenmesi savunmasız yol kullanıcılarının can güvenliği açısından çok önemlidir. Bu amaçla kent merkezlerinde hız kesiciler, yükseltilmiş yaya geçitleri, yaya yolları kullanılarak savunmasız yol kullanıcılarının güvenliği sağlanabilmektedir. Ancak bu uygulamaların sıkça yapılması ise trafik akışını önemli ölçüde azaltabilir. Bu sebeple yapılacak uygulamaların verimli şekilde tasarlanması gereklidir.

3.3. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

3.3.1. Yapay zekâ

Yapay zekâ insana özgü olduğu bilinen; düşünme, öğrenme, algılama, yorumlama, analiz yapma ve karar verme gibi zihinsel süreçleri makinenin de yapabilme durumudur. Yapay zekâ insanın yaşam kalitesini yükselttiği gibi çok zaman alıcı veya

yorucu işleri makine yardımıyla yapılmasının sağladığı için pratik çözümler sunmaktadır. Yapay zekâ insanın özelliklerini taklit ederek kendisini kademeli olarak geliştirdiği için günlük hayatta kullanım alanları giderek artmaktadır. Bu durum insan gücüne olan ihtiyacı azalttığı için çeşitli iş gruplarında insanların yaptıkları işleri artık makineler yardımıyla daha kolay ve pratik olarak yapma olanağı elde edilmiştir (Yılmaz 2022). Her ne kadar bu durum bazı meslek gruplarında insanların iş imkânlarını kısıtlasa da yapay zekâ sistemlerinin uygulandığı yeni alanlarda da iş imkânları sunmaktadır.

Yapay zekâ genel yapısı itibariyle çeşitli alt dallara ayrılmaktadır. Bu alt dallar ise birçok farklı kaynakta çeşitlilik göstermektedir. Fakat genel olarak birçok kaynakta yapay zekâ; makine öğrenmesi, derin öğrenme ve yapay sinir ağları alt dallarına ayrılmaktadır. Aşağıda verilen Şekil 3.14'te bu alanların birbirleri ile ilişkisi grafiksel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.14. Yapay zekâ alanının temel alt dalları

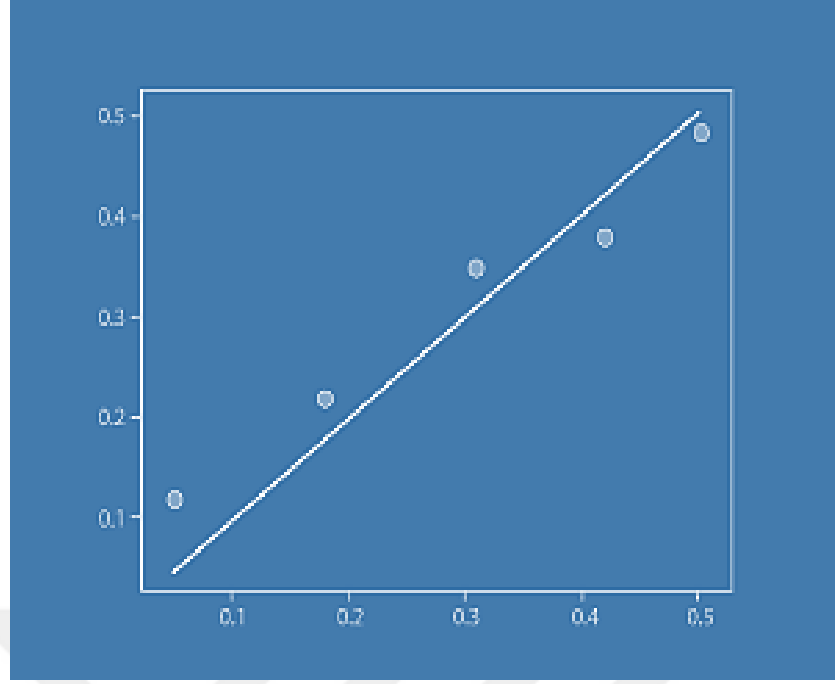
3.3.2. Makine öğrenmesi

Makine öğrenmesi; bilgisayarların çeşitli verilere uygun olarak yaptığı işlemlerden öğrenmesini olanaklı hale getiren algoritmaların tasarım ve geliştirme süreçlerini kapsamaktadır. Makine öğrenmesi insanı taklit ederek olayların veya nesnelerin sınıflandırmasını sağlar ve bunlar arasındaki benzerlik derecesini gözlemlemektedir. Bu yöntem tıpkı insanların geçmişte yaşadıklarından tecrübelenmesi gibi geçmiş verileri girdi olarak kullanıp yeni çıktı değerlerini tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Bu özelliği sayesinde ise günümüzde birçok sektörde makine öğrenmesi çok sık şekilde kullanılmaktadır.

Makine öğrenmesi çeşitli veri türleri için farklı analiz yöntemleri barındırmaktadır. Bu yöntemlerin her biri bir algoritma ile sağlanmaktadır. Herhangi bir veri kümesi için bir algoritma daha yüksek doğrulukta sonuçlar verebilirken başka bir algoritma daha düşük doğrulukta sonuçlar verebilmektedir. Bu sebeple mevcut veri kümesine en uygun algoritmayı tercih etmek daha başarılı sonuçlar almaya olanak sağlamaktadır. Makine öğrenmesinde en sık kullanılan algoritmalar ile genel özellikleri ve genel yapılarına ait görseller aşağıda verilmiştir (Anonim 2020d).

3.3.2.1. Doğrusal regresyon algoritması

Bu algoritma, verilere sürekli devam eden düz bir çizgi ekleyerek iki değişken veya faktör arasındaki ilişkiyi göstermekte ya da tahmin etmektedir. Bu sayede bağımsız değişkenlerin bir kısmı değiştiğinde, bağımlı değişkenin nasıl etkileneceğini anlamaya yardımcı olmaktadır. Lineer regresyon, en popüler regresyon analizi türlerinden birisidir. Fakat genellikle az veri çeşitliliğine sahip ve birbiri ile doğrudan ilişkili veri türlerinin analizinde tercih edilmektedir (Kılıç 2013). Değişkenler arasındaki neden sonuç ilişkisini tahmin etmek için uygun bir algoritmadır. Doğrusal regresyon algoritmasının yapısı Şekil 3.15’de gösterilmektedir.



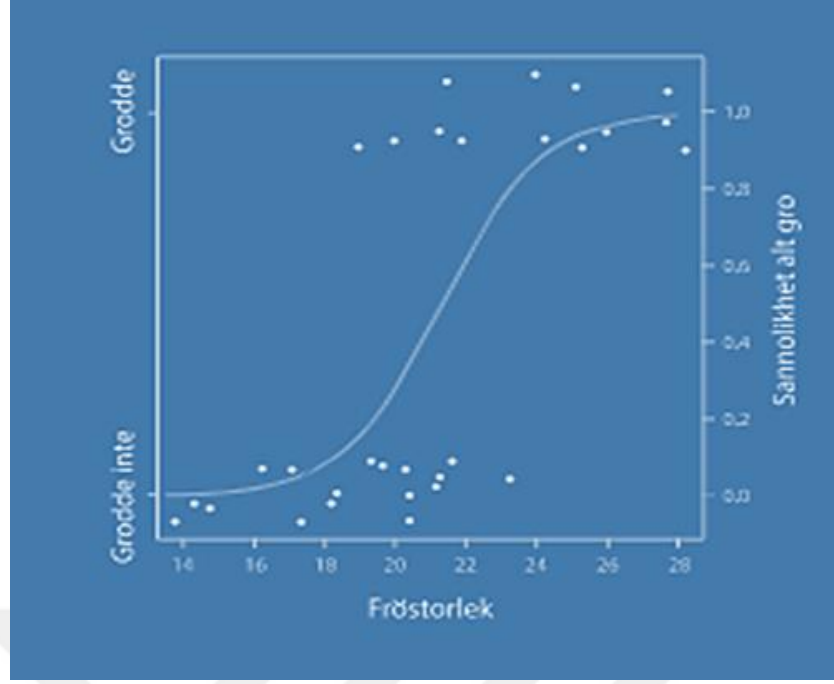
Şekil 3.15. Doğrusal regresyon algoritması (Anonim 2020d)

Doğrusal regresyonun genel formülasyonu aşağıda Eşitlik 3.1’de verilmektedir. Burada; a çizginin eğimini, x bağımsız değişkeni, b denklemdeki sabiti, y ise bağımlı değişkeni ifade etmektedir.

$$y=ax+b \quad (3.1)$$

3.3.2.2. Lojistik regresyon algoritması

Bu algoritma sınıflama ve atama işlemi yapmaya yardımcı olan bir yöntemdir. Bağımlı değişkenin tahmini değerlerini istatistiksel olarak hesaplayarak olasılık kurallarına uygun sınıflandırma yapmaktadır (LaValley 2008). Verilere Şekil 3.16’da da verildiği gibi sürekli devam eden S şeklinde bir eğri uydurmaktadır.



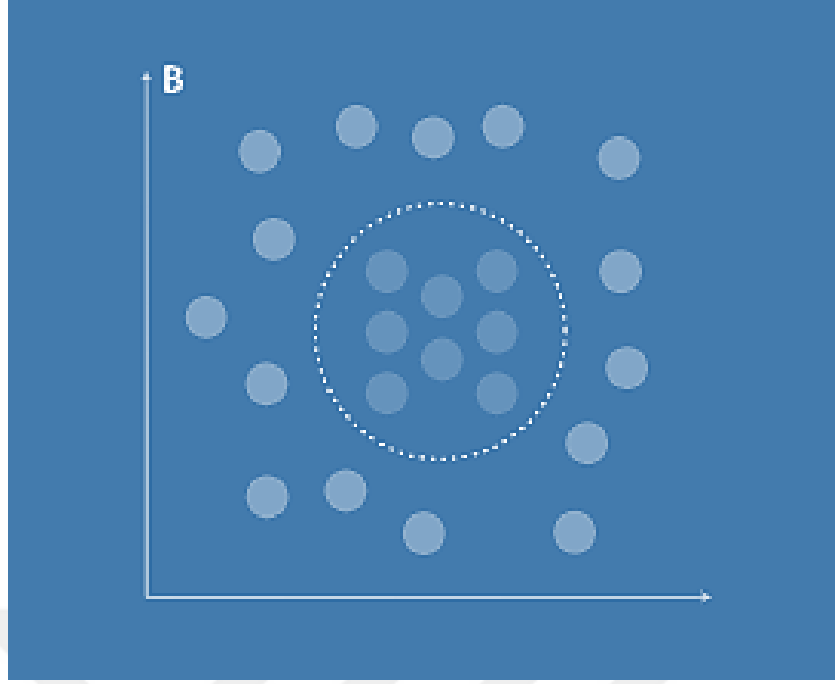
Şekil 3.16. Lojistik regresyon algoritması (Anonim 2020d)

Bu algoritma formülasyon olarak Eşitlik 3.2’de verildiği gibi ifade edilmektedir.

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3.2)$$

3.3.2.3. Naive bayes algoritması

Bu algoritma tanımlanmış veri kümesindeki veriyi bir dizi işleme sokarak sınıfını ya da kategorisini tespit eden bir sınıflandırma algoritmasıdır. Algoritma bir eleman için her durumun olasılığını hesaplayıp daha sonra olasılık değeri en yüksek olan duruma göre sınıflandırma yapmaktadır. Algoritmaya öğretilmek için sunulan tüm verilerin bir sınıfı olmalıdır. Öğretilmiş verilerin çokluğu yeni test verilerinin sınıflarının doğru olarak belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir (Şeker 2015). Bu algoritma temel olarak Şekil 3.17’de verilen görsel ile ifade edilmektedir.



Şekil 3.17. Naive Bayes algoritması (Anonim 2020d)

Bu algoritmada kullanılan formül ise aşağıda verilen Eşitlik 3.3'te gösterilmektedir. Burada;

$P(A/B)$ = B olayı meydana geldiğinde A olayının da meydana gelme olasılığı

$P(A)$ = A olayının meydana gelme olasılığı

$P(B/A)$ = A olayı meydana geldiğinde B olayının meydana gelme olasılığı

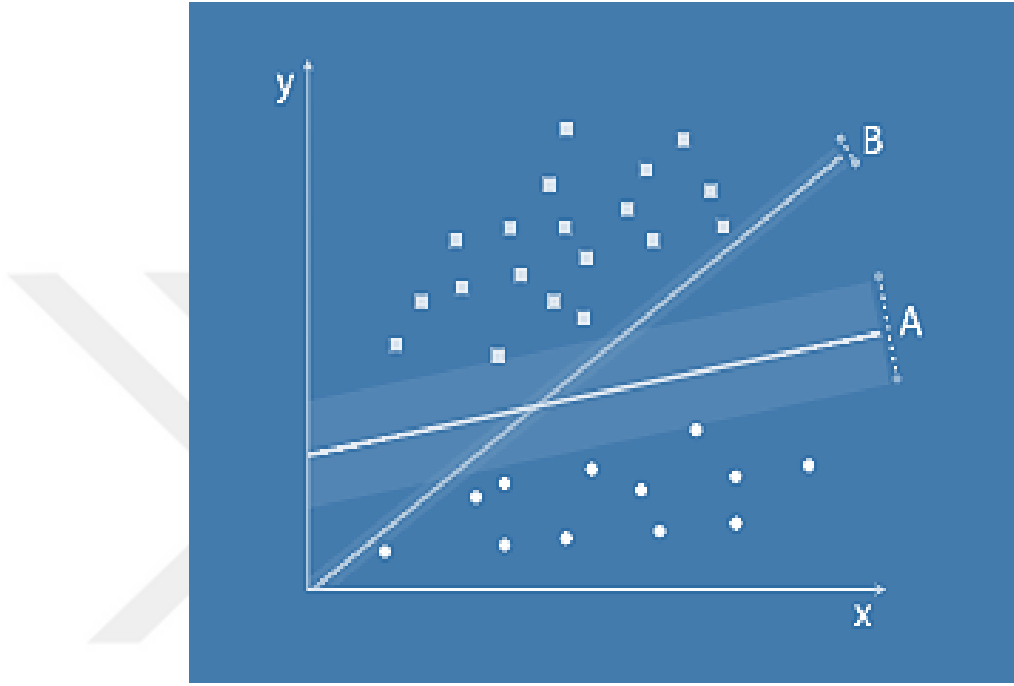
$P(B)$ = B olayının meydana gelme olasılığıdır.

$$P(A/B) = \frac{P(B/A) P(A)}{P(B)} \quad (3.3)$$

3.3.2.4. Destek vektörü makineleri

Bu yöntem çoğunlukla sınıflandırma problemlerinde kullanılan gözetimli öğrenme yöntemlerinden birisidir. Bir düzlem üzerinde yer alan verileri ayırmak için bir doğru çizmektedir. Bu doğrunun iki sınıfının noktaları için de maksimum uzaklıkta

olmasını hedeflemektedir. Bu durumu ifade eden görsel Şekil 3.18’de gösterilmektedir. Daha çok karmaşık ama orta veya küçük ölçekteki veri setleri için uygundur (Suthaharan 2016). Destek vektör makinelerinin geliştirilmiş modelleri sayesinde çekirdek fonksiyonları kullanarak iç içe geçmiş çok sayıda sınıfı da başarılı bi şekilde ayırt edebilmektedir.



Şekil 3.18. Destek vektörü makineleri (Anonim 2020d)

Bu algoritmada kullanılan formül ise aşağıda verilen Eşitlik 3.4’te gösterilmektedir.

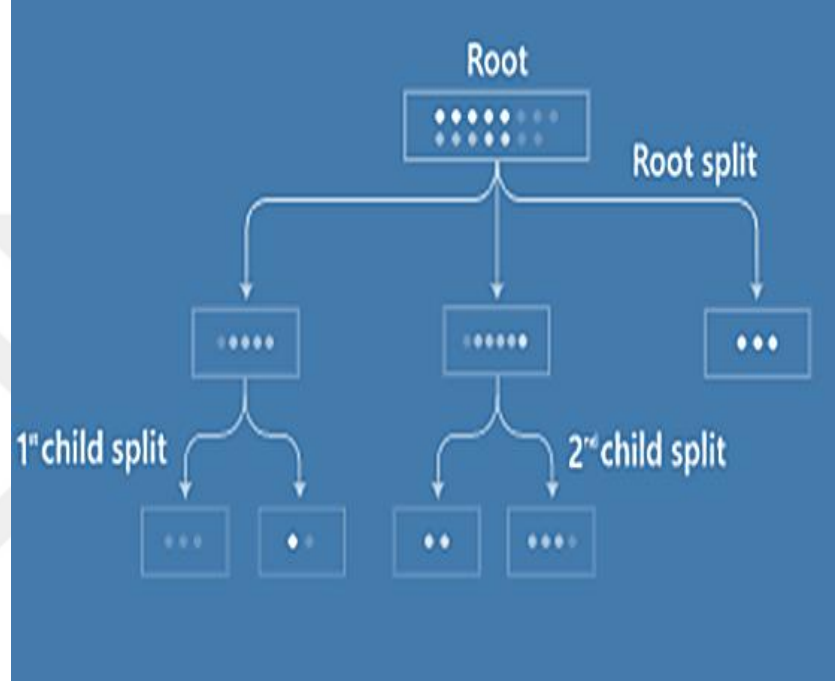
$$\hat{y} = \begin{cases} 0 & \text{if } w^T \cdot x + b < 0, \\ 1 & \text{if } w^T \cdot x + b \geq 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

Burada w ; ağırlık vektörü, x ; girdi vektörü, b ; sapmadır. Yeni bir değer için çıkan sonuç 0’dan küçükse, alttaki eğriye daha yakın olacaktır. Tam tersi olması halinde, çıkan sonuç 0’a eşit veya büyükse, bu durumda üstteki eğriye daha yakın olacaktır.

3.3.2.5. Karar ağacı algoritması

Bu algoritma verileri iki veya daha fazla homojen kümeye ayırmaktadır. Verileri

ve veri noktalarını oluşturan ögeyi ayırmak için if-then kurallarını kullanır. Bir karar ağacı, çok sayıda kayıt içeren bir veri kümesini, bir dizi karar kuralları daha küçük kümelere bölmek için de kullanılmaktadır. Hem sayısal hem de kategorik verileri işlediği için önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu sebeple anlaşılması, yorumlanması ve görselleştirilmesi kolay olan bir algoritmadır (Bhargava et al. 2013). Bu algoritmanın görselleştirilmiş hali aşağıda Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.19. Karar ağacı algoritması (Anonim 2020d)

Karar ağacı algoritmasında kullanılan formülasyon Eşitlik 3.5’te verilmiştir.

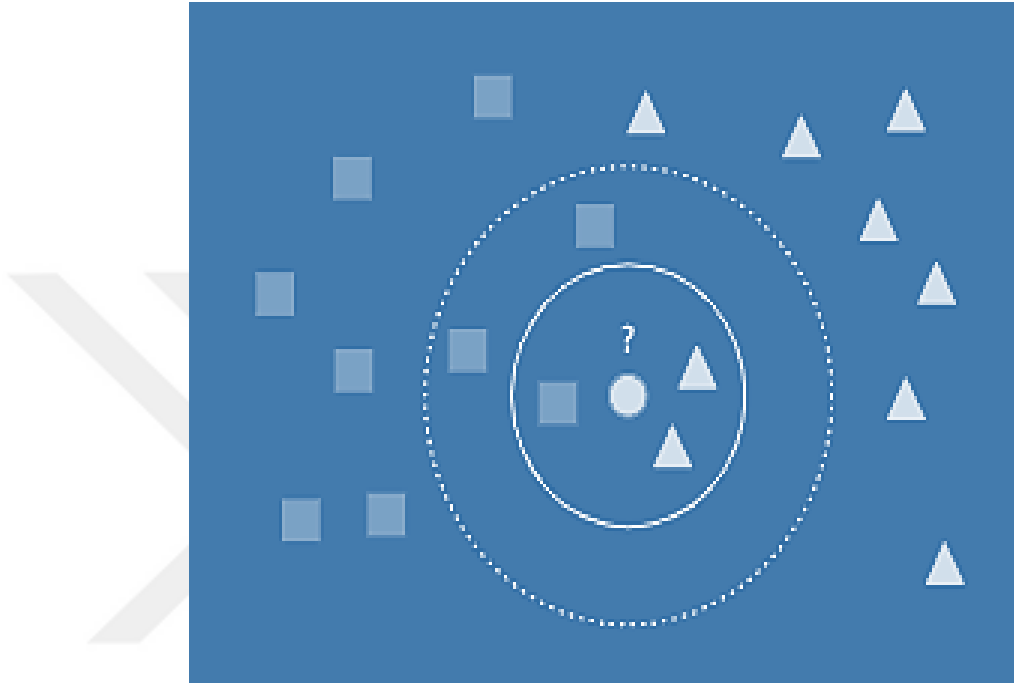
$$Gain(S, D) = H(S) - \sum_{V \in D} \frac{|V|}{|S|} H(V) \quad (3.5)$$

Burada; S orijinal veri kümesini, D ise kümenin bölünmüş bir parçasını ifade etmektedir. Her V, S’nin bir alt kümesidir. H ise entropiyi ifade etmektedir.

3.3.2.6. K-en yakın komşu algoritması

Bu algoritma hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde tercih edilebilen, basit ve kullanışlı bir denetim algoritmasıdır. Mevcut veri kümesindeki

verilerin sınıflarını inceleyerek bu veri kümesine yeni bir veri gelmesi durumunda hangi sınıfa dâhil olmasına karar vermektedir. Burada yeni verinin en yakın olduğu komşular incelenir ve k değerine sınıflandırmayı yapar. K değeri tek sayı olarak seçildiği için iki sınıf arasında eşitlik olması söz konusu olmamaktadır (Kataria and Singh 2013) . Bu durum aşağıda verilen Şekil 3.20’deki görselde ifade edilmiştir.



Şekil 3.20. K-En yakın komşu algoritması (Anonim 2020d)

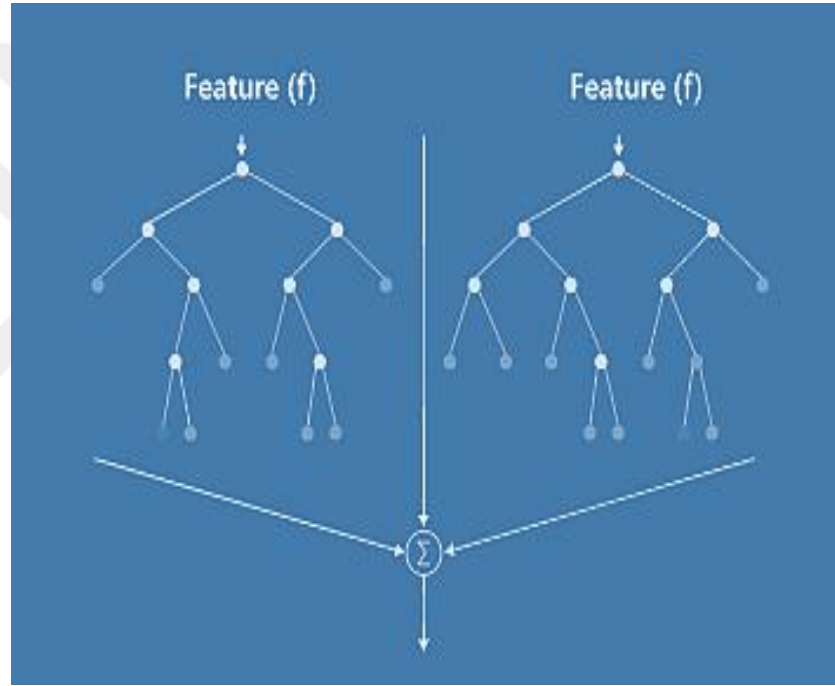
Bu algoritmada yeni verinin diğer noktalara uzaklığı hesaplanırken; Öklid, Manhattan ve Minkowski uzaklıkları sıkça kullanılmaktadır. Fakat en yaygın olarak tercih edilen Öklid uzaklığıdır. Bu uzaklığın hesaplanmasında kullanılan formülasyon aşağıda verilen Eşitlik 3.6’da gösterilmektedir.

$$d(A, B) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (3.6)$$

Burada yer alan x değerleri A ve B noktalarının yatay koordinatlarını, y değerleri ise A ve B noktalarının dikey koordinatlarını ifade etmektedir.

3.3.2.7. Rastgele orman algoritması

Bu algoritma çok sayıdaki karar ağacından her bir karar ağacını başka bir gözlem örneği üzerinde eğitir, farklı modeller üretir ve sınıflandırmanın oluşturulmasını sağlar. Kullanım pratikliği sayesinde hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerini inceleyebilmektedir. Veri kümesi üzerinde çeşitli modeller oluşturması itibariyle veri kümesinin daha derin incelenebilmesine olanak sağlamaktadır. Karar ağacındaki gibi bir ağaç oluşturmak yerine bir orman oluşturup bu ormandaki ağaçları rastgele düzenler (Liu et al. 2012). Bu durumu ifade eden görsel aşağıda Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.21. Rastgele Orman Algoritması (Anonim 2020d)

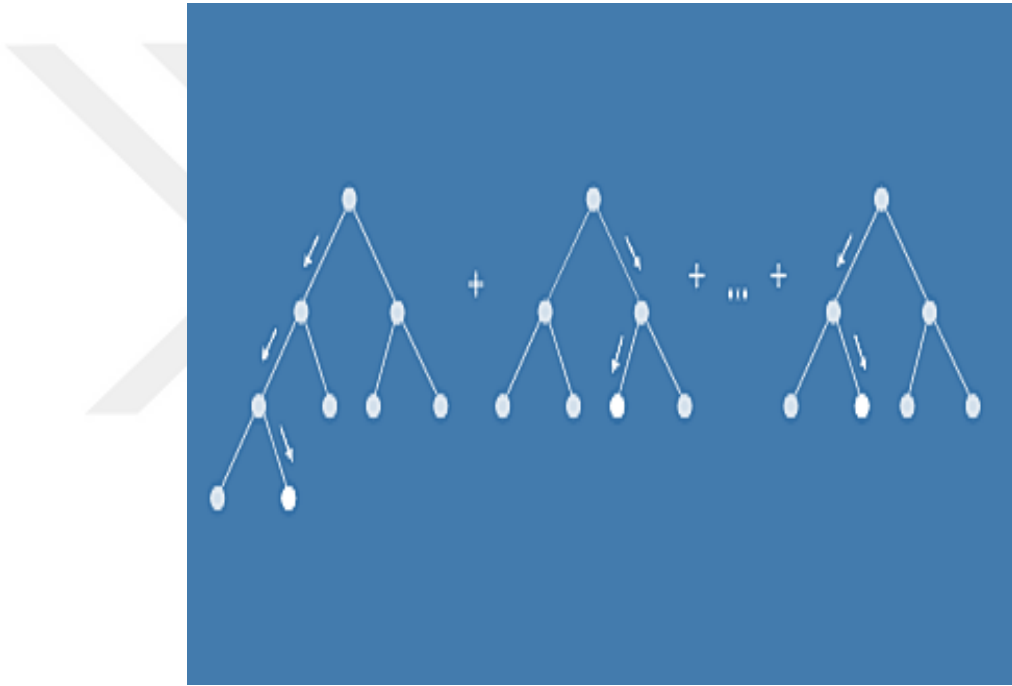
Bu algoritmada kullanılan formülasyon aşağıda verilen Eşitlik 3.7’de gösterilmektedir. Bu algoritmada sınıfların homojenliğini ölçmek için GINI indeksi kullanılır. GINI indeksinin düşük olması sınıfın homojen olduğunu ortaya koymaktadır.

$$GINI(T) = 1 - \sum_{j=1}^n (p_j)^2 \quad (3.7)$$

Burada; T tüm veri setini, p_j veri setindeki her bir verinin, kendisinden küçük ve kendisinden büyük eleman sayılarına bölüm karesini, n ise seçilen veriyi ifade etmektedir.

3.3.2.8. Gradyan artırma algoritması

Bu algoritma regresyon ve sınıflandırma problemleri için karar ağaçlarına benzer bir tahmin modeli oluşturur. Zayıf tahmin modellerinin bir araya gelmesiyle yeni bir model oluşturmaktadır. Denetlenen bir öğrenme algoritmasının hedefi bir kayıp fonksiyonu ortaya çıkarmak ve bu fonksiyonu minimize etmektir. Bu sebeple, genel olarak tahminleri, fazlalıkların toplamının 0'a yakın olduğu ve tahmin edilen değerlerin gerçek değerlere yeteri kadar yakın olacağı şekilde güncellemek gerekir (Friedman 2002). Bu algoritma kısaca Şekil 3.22'de verilen görseldeki gibi ifade edilmektedir.



Şekil 3.22. Gradyan Artırma Algoritması (Anonim 2020d)

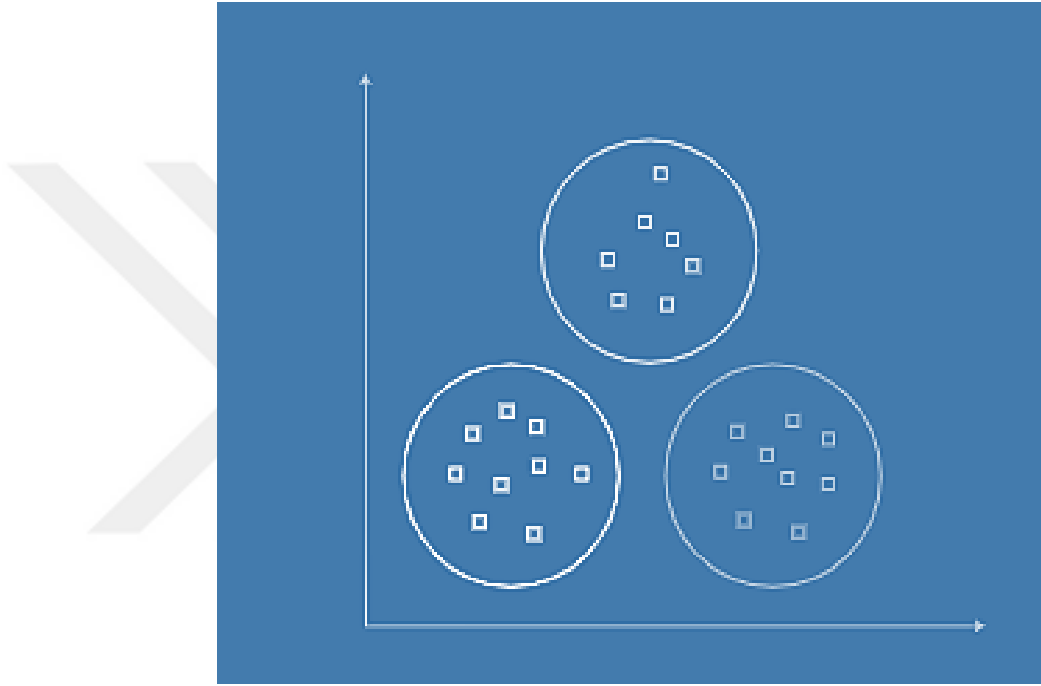
Bu algoritma Eşitlik 3.8'de verildiği gibi formülize edilmektedir. Burada y_i hedef değerini, y_i^p ise tahmin edilen değeri ifade etmektedir.

$$Loss = \sum (y_i - y_i^p)^2 \quad (3.8)$$

3.3.2.9. K-ortalamlar algoritması

Bu algoritma kümeleme işlemlerinde kullanılmaktadır. Özellikleri belirlenmiş bir

grup verinin birden fazla küme içerisinde hangi kümeye ait olduğunu tespit etmeye yaramaktadır. Her küme içinde yer alan veriler homojendir. Bu her kümedeki veriler, diğer kümelerdeki verilere karşı heterojendir. Algoritmada küme merkezlerinin belirlenmesi önemlidir. Merkez dışındaki örnekler mesafelerine göre sınıflandırılmaktadır. Yapılan sınıflandırmaya göre ise yeni merkezler belirlenmektedir (Ahmed et al. 2020). Bu algoritmanın görsel olarak ifade edilmesi aşağıda verilen Şekil 3.23'te belirtilmiştir.



Şekil 3.23. K-Ortalamalar Algoritması (Anonim 2020d)

Bu algoritmada da en yakın komşuluk algoritmasında olduğu gibi Öklid uzaklığı esas alınmaktadır. Algoritmanın formülasyonu Eşitlik 3.9'da gösterilmiştir.

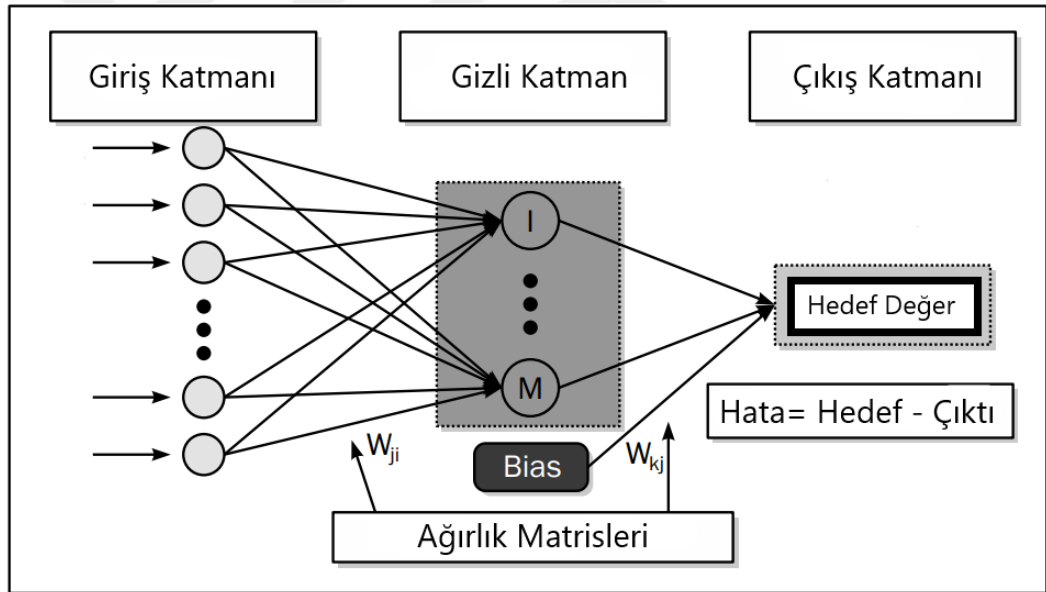
$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2} \quad (3.9)$$

3.3.3. Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları insan beyinde bulunan yapıyı örnek alarak öğrenme yolu ile yeni bilgiler üretebilme yeteneğini herhangi bir destek almadan gerçekleştirebilmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Beyinde yer alan sinir ağlarındaki gibi

öğrenme, genelleme ve hatırlama kabiliyetlerini taklit eder. Öğrenme işlemi için giriş ve çıkış bilgileri verilerek yapıya uygun kurallar koyulmaktadır. Bilgiler yapay sinir ağlarında girdi katmanından iletilir. Ara veya gizli katman olarak adlandırılan katmanlarda işlenerek çıktı katmanına gönderilirler. Burada bilgilerin ağırlık değerleri de önemli rol oynamaktadır (Hopfield 1988).

Yapay sinir ağları sahip olduğu özellikler sayesinde birçok avantaj sunmaktadır. En önemli avantajlarından bir tanesi karmaşık işleri pratik ve hızlı şekilde yapabilmektedir. Öğrenme kabiliyetinin olması sebebiyle görülmemiş çıktılar için sonuç üretebilir. Eksik verileri tamamlayabilir ve mevcut verileri sınıflandırabilir. Gerçek zamanlı olarak bilgiyi işleyebilmektedir. Yapay sinir ağları; veri ilişkilendirme, veri filtreleme, tahmin, sınıflandırma, teşhis ve yorumlama gibi alanlarda kullanılabilir. Yapay sinir ağlarının genel yapısı Şekil 3.24'te gösterilmektedir.



Şekil 3.24. Yapay sinir ağlarının genel yapısı (Çodur 2012)

Yapay sinir ağları bazen sadece sinir ağları veya bağlantıcı modeller olarak da adlandırılmaktadır. YSA hem kategorizasyon hem de zaman serisi (trend analizi) türlerindeki karmaşık örüntü odaklı problemlerle başa çıkmak için bir araç sağlamaktadır (Atalay vd 2012; Tortum vd 2009). Sinir ağlarının parametrik olmayan doğası, yaygın olarak kullanılan parametrik istatistiksel yöntemlerin gerektirdiği gibi, veri popülasyonunun dağılımı veya değişkenler arasındaki olası etkileşimleri hakkında

önceden bilgi sahibi olmadan modellerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

YSA uygulamalarının başarısı, geleneksel doğrusal modellerin yanı sıra doğrusal olmayan modeller oluşturma yeteneklerinden meydana gelmektedir. Bu nedenle yapay sinir ağı çözümleri, daha geniş bir sorun türü yelpazesinde (hem doğrusal hem de doğrusal olmayan) durumlarda uygulanabilmektedir (Çodur ve Tortum 2015).

YSA tasarımı, kullanıcının; girdi değerleri, eğitim ve test veri seti boyutları, öğrenme algoritması, ağ mimarisi veya topolojisi ve dönüşüm işlevi gibi birçok kararı vermesini gerektirmektedir. Bu kararların birçoğu birbirine bağlıdır. Örneğin, YSA mimarisi ve öğrenme algoritması, girdi değerinin türünü (yani, ikili veya sürekli) belirleyecektir. Bu nedenle, YSA'ları tasarlarırken bir metodolojiyi veya iyi tanımlanmış bir adım dizisini takip etmek esastır. Bu adımlar aşağıda listelenmiştir:

- Kullanılacak verilerin belirlenmesi
- Giriş değişkenlerinin belirlenmesi
- Verileri eğitim ve test kümelerine ayrılması
- Ağ mimarisini tanımlanması
- Bir öğrenme algoritmasının seçilmesi
- Değişkenleri ağ girişlerine dönüştürülmesi
- Eğitim (YSA hatası kabul edilebilir değerin altına düşene kadar tekrarlanması)
- Test (YSA'nın genelleştirilmesinin doğrulanması)

Herhangi bir YSA tasarlanırken optimum tasarım kriterlerinin belirlenmesi oldukça fayda sağlamaktadır. Optimum tasarım kriterleri belirlenirken uygun girdi ve

bağımsız değişkenler belirlendikten sonra, öğrenme yöntemi seçilmektedir. Öğrenme yöntemleri, denetimli veya denetimsiz öğrenme yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu öğrenme yöntemleri içinde, her biri farklı veri dağılımları veya türleri için uygun olan birçok alternatif bulunmaktadır (Anonim 2020e).

Bir sonraki aşamada seçilen öğrenme yöntemine bağlı olarak gizli katman sayısı, gizli katman başına işleme öğelerinin (düğümlerin) miktarının belirlendiği YSA mimarisi oluşturulur. Bir diğer tasarım kriteri ise uygun miktarda eğitim veri setinin temin edilmesidir. Eğitim verileri zaman serileri veya sınıflandırma verilerinden olabilmektedir.

Analiz yapan kişi bu tasarım kriterleri için yaptığı seçimler, elde edilen YSA'nın örneklem dışı veriler üzerindeki performansını etkilemektedir. Bu tasarım faktörleri için değerlerin uygun olmayan şekilde seçilmesi, bir çıktı (bağımlı) değerinin rastgele seçilmesinden daha kötü performans gösteren YSA uygulamaları üretebilmektedir. Aşağıda verilen Çizelge 3.5'te YSA'da kullanılan en yaygın eğitim algoritmalarının kısaltılmış isimleri ve açıklamaları yer almaktadır.

Çizelge 3.6. YSA'da kullanılan en yaygın eğitim algoritmaları

Algoritma fonksiyonu	Açıklaması
trainlm	Levenberg-Marquardt Eğitim Algoritması
trainbfg	BFGS Algoritması
trainrp	Esnek Geri Yayılım Algoritması
trainscg	Ölçeklenmiş Konjuge Gradyant Algoritması
traincgf	Fletcher-Reeves Güncellemesi Algoritması
traincgp	Polak-Ribiere Güncellemesi Algoritması
trainoss	Tek Adım Algoritması
traingdx	Momentumlu ve Değişken Öğrenme Oranlı Eğitim Algoritması
trainbr	Bayesian Düzenleme Algoritması
traincgb	Powell-Beale Tekrar Başlamaları Algoritması
traingdm	Momentumlu Dereceli Azalma Algoritması
traingd	Temel Gradyant Düşürme Algoritması

3.3.4. Derin öğrenme

Yapay sinir ağlarının bir alt alanı olarak bilinen derin öğrenme, bir veri kümesiyle çıktıları tahmin edecek şekilde yapay zekâyı eğitmeye olanak sağlamaktadır. Yapay zekânın eğitilmesi ise hem denetimli hem de denetimsiz öğrenme ile sağlanabilmektedir. Girdiler ve beklenen çıktılara sahip etiketli veri setlerini kullanan yapıya denetimli öğrenme denirken, belirli bir yapıya sahip olmayan veri kümelerini kullanan yapıya ise denetimsiz öğrenme denmektedir (Bengio et al. 2017).

Derin öğrenmedeki “derin” ifadesi yapay sinir ağlarında yer alan gizli katman sayısının birden fazla olmasını ifade etmektedir. Derin öğrenmede birden fazla veri kaynağından veri almaktadır. Bu veriler insan müdahalesine ihtiyaç duymadan gerçek zamanlı olarak analiz edilir. Derin öğrenme algoritmaları büyük veri kümeleriyle eğitilmelidir. Çünkü yapay sinir ağlarına nazaran daha karmaşık yapıya sahip olduğu için doğru sonuçlar elde edebilmek için veri sayısının fazla olması gereklidir. Derin öğrenmede de makine öğrenmesinde olduğu gibi çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır. Bu algoritmalarından en yaygın olanları aşağıda verilmiştir.

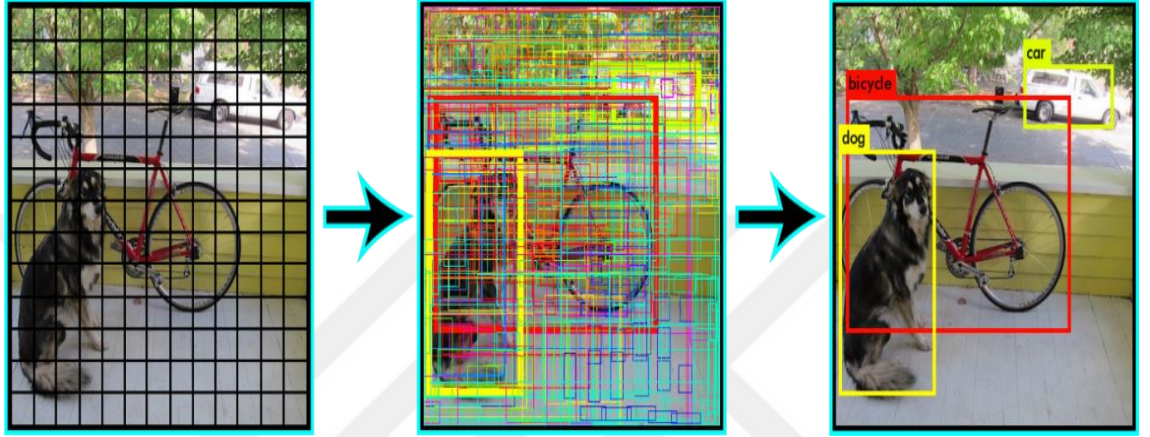
3.3.4.1. Konvolüsyonel sinir ağları

İnsanlar bir görüntü üzerinden nesneleri, renkleri ve şekilleri kolaylıkla tespit edebilmekle birlikte aynı tipteki nesnelerin sayıları, biçimleri gibi özelliklerini de kolaylıkla tespit edebilmektedir. Bilgisayar ise benzer görüntüyü, bir sayı matrisi olarak algılamaktadır. Konvolüsyonel sinir ağları, görüntüyü birçok gizli katmandan geçirerek kullanıcıya görüntü hakkında bilgi vermeyi sağlamaktadır.

Konvolüsyonel sinir ağları çok sayıda gizli katmandan yararlanarak görüntülerdeki çeşitli bilgilerin anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu sebeple görüntülerdeki nesnelerin nitelikleri basit bir şekilde fark edilebilmektedir. YOLO algoritması CNN kullanılarak elde edilen bir algoritmadır.

YOLO algoritması; konvolüsyonel sinir ağlarından yararlanarak nesne tespiti yapabilen bir algoritmadır. Açılımı “You Only Look Once” şeklindedir. Bu şekilde ifade

edilmesinin nedeni algoritmanın nesne tespitini oldukça başarılı bir şekilde ve tek seferde yapabiliyor olmasıdır. YOLO algoritmasının diğer algoritmalarından daha hızlı olmasının sebebi görüntünün tamamını tek seferde nöral bir ağdan geçiriyor olmasıdır. YOLO algoritması görüntüler üzerinde tespit ettiği nesnelerin çevresini bounding box adı verilen kutucuklar ile çevrelemektedir. Bu durumu ifade eden bir örnek aşağıda Şekil 3.25'te verilmiştir.



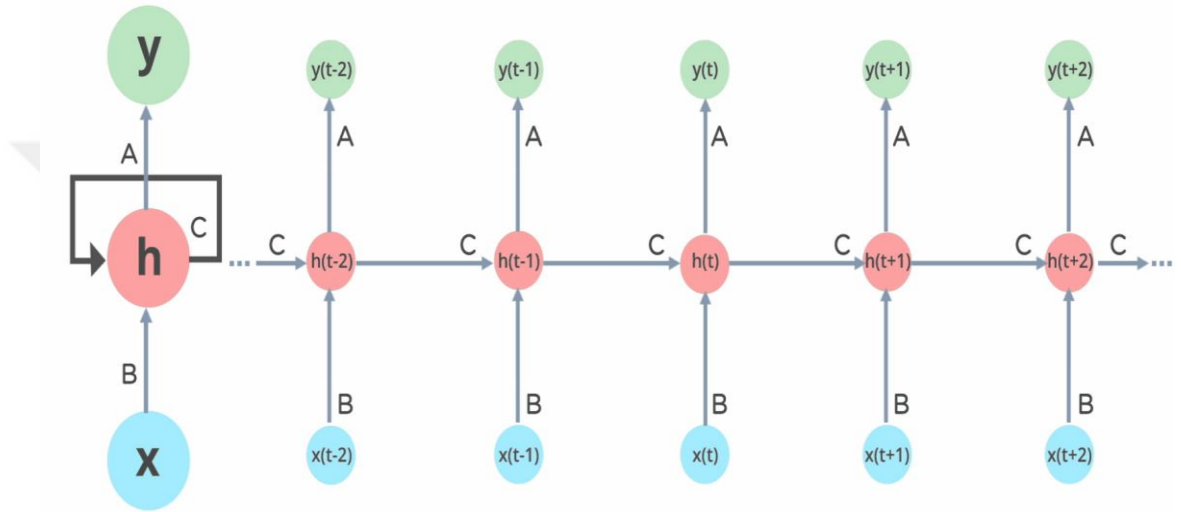
Şekil 3.25. YOLO algoritmasının çalışma prensibi (Anonim 2019c)

CNN Uygulamaları daha çok şu şekilde yapılmaktadır:

- Yüz Tanımlama
- Nesne tanıma
- Belgeleri Analiz Etme
- İklimi Tanımlama
- Reklamlar
- Tarihi Eserlerin Ayırıştırılması

3.3.4.2. Tekrarlayan sinir ağıları

Tekrarlayan sinir ağıları ardışık bilgilerden yararlanan, gizli katman çıkışını tekrar aynı katmana giriş olarak gönderebilen bir derin öğrenme algoritmasıdır. RNN algoritmasının en önemli özelliği bir döngü oluşturabilmesi ve sıralı bir şekilde gelişen olayların birbiriyle anlamlandırılabilmesidir (Ye et al. 2020). Bu algoritmanın çalışma prensibi Şekil 3.26’da gösterilmektedir.



Şekil 3.26. Tekrarlayan sinir ağılarındaki döngü sistemi (Anonymous 2020d)

Bu algoritma;

- Çeviri yapılırken
- Resimde altyazı oluştururken
- Kredi kartı hırsızlığını tespit ederken
- Gürültülü verilerden gürültüsüz verilerin elde edilmesinde
- Metinlerin özetlerinin çıkarılmasında

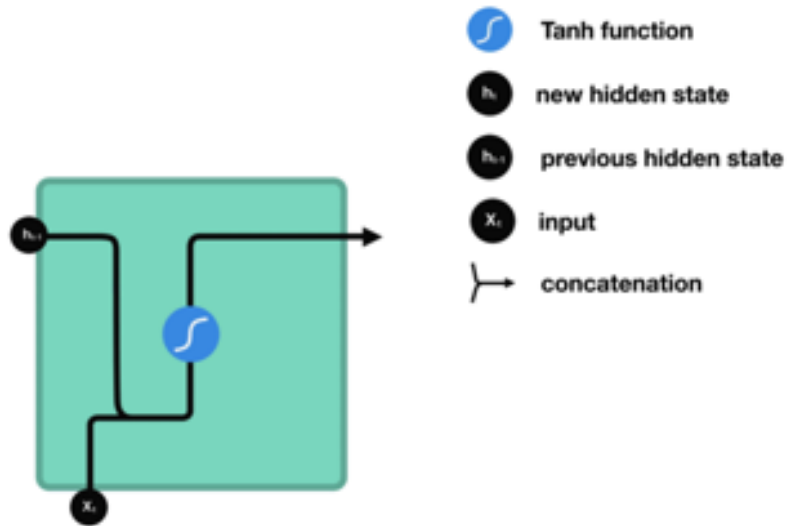
- El yazısı tanınmasında
- Konuşmanın tanınmasında

gibi birçok alanda kullanılabilmektedir.

Ayrıca bir algoritmanın yetersiz olduğu durumlarda iki algoritmanın hibrit kullanılması da mümkündür. Bu duruma örnek olarak Google Translate (CNN+RNN), sürücüsüz otomobillerde (CNN+RNN) birden fazla yöntemin kullanılması verilebilir.

3.3.4.3. Uzun kısa süreli hafıza ağları

Bu algoritma RNN algoritmasının gelişmiş bir türüdür. RNN algoritmasının tahmin edemediği şeyleri daha kolay şekilde tahmin ederek başarılı sonuçlar ortaya koyar. Çünkü veri kümesine aynı anda birden fazla veri girmesi RNN algoritmasının çıktı kalitesini olumsuz etkileyebilirken bu durumu LSTM algoritması başarı ile yürütebilmektedir. Bu algoritmanın çalışma prensibi Şekil 3.27’de gösterilmektedir.



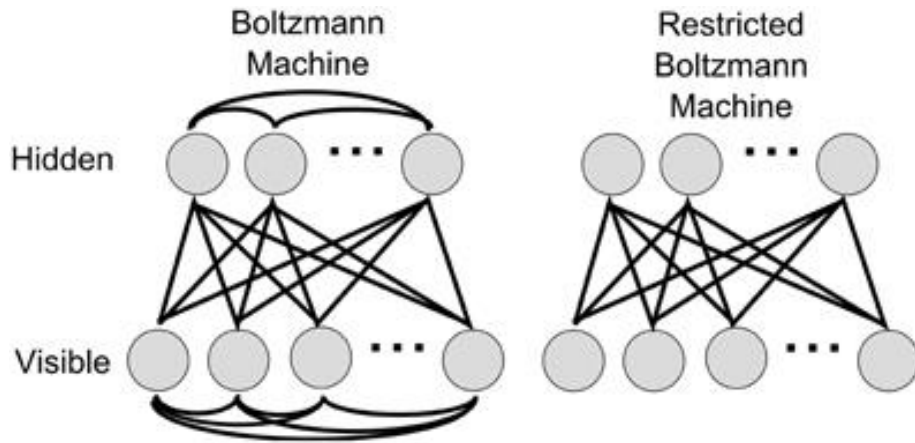
Şekil 3.27. LSTM algoritmasının çalışma prensibi (Anonymous 2018)

LSTM algoritmasının sıklıkla kullanım alanları şunlardır:

- Resimlerden otomatik olarak başlık çıkarma
- Sessiz videolara otomatik ses ekleme
- İlişkili metinlerden kelime üretme
- Çevrimdışı el yazısının tespit edilmesi

3.3.4.4. Sınırlı Boltzman makineleri

Sınırlı Boltzmann Makinesi girdi seti üzerinde olasılık dağılımlarını öğrenebilen bir yapay sinir ağıdır. Yani, katman içi iletişim söz konusu değildir. Sınırlı Boltzmann Makinesindeki kısıtlama bu şekildedir. Her bir düğüm, girdiyi işleyen ve bu girişi iletip iletmeyeceği konusunda rastgele kararlar alan bir hesaplama odağıdır. RBM'ler kümeleme, özellik öğrenimi, boyut indirgeme ve modelleme gibi yapılarda kullanılır. RBM algoritması kısaca Şekil 3.28'deki görsel ile ifade edilmektedir.

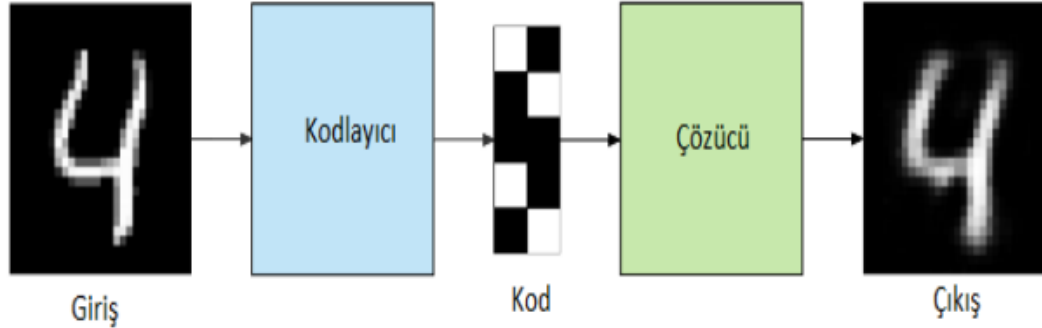


Şekil 3.28. RBM algoritmasının çalışma prensibi (O'Connor et al. 2013)

3.3.4.5. Derin oto-kodlayıcılar

Derin Oto kodlayıcılar, girdi olarak aldıkları veriyi çıktı olarak kullanmaya çalışan, birden fazla katmandan oluşan derin öğrenme algoritmasıdır. Amacı verilen girdiye en yakın çıktıyı üretecek olan veriye ait önemli yapısal bilgileri barındıran

fonksiyonun bulunmasıdır. Bu algoritmanın örnek bir çalışma sistemi Şekil 3.29’da gösterilmektedir.



Şekil 3.29. Derin Oto-Kodlayıcılar algoritmasının çalışma prensibi (Kayaalp ve Süzen 2018).

3.3.4.5. Yapay zekâ analiz yöntemlerinde kullanılan kavramlar

Yapay zekânın alt başlıkları olan makine öğrenmesi, derin öğrenme ve yapay sinir ağlarında yapılan analizlerde çeşitli kavramlar hesaplanmaktadır. Bu kavramlardan bazıları doğruluk değerlerini bazıları da hata ölçütlerini ifade ederken analizlerin başarısı bu faktörler sayesinde belirlenmektedir. Bunlardan kesinlik, duyarlılık, doğruluk, ROC (Alıcı İşletim Karakteristiği) alanı, F1 skor gibi kavramlar performans kriterleri olarak ifade edilirken, OHKK, OMH, R^2 ve kappa istatistik gibi kavramlar ise hata ölçütleri olarak ifade edilmektedir. Kesinlik, duyarlılık, doğruluk ve F1 skorlarının hesaplanmasında bir karışıklık matrisi kullanılmaktadır. Bu matris aşağıda Şekil 3.30’da verilmiştir.

		Öngörülen Sınıf	
		Sınıf=1	Sınıf=0
Gerçek Sınıf	Sınıf=1	DP	YN
	Sınıf=0	YP	DN

Şekil 3.30. Performans kriterlerinin hesaplanmasında kullanılan karışıklık matrisi

Karışıklık matrisinde DP; doğru pozitif, YP; yanlış pozitif, DN; doğru negatif, YN; yanlış negatif kavramlarını ifade etmektedir. Bu kavramlar aşağıda verilen Eşitlik 3.10, 3.11, 3.12 ve 3.13’de kullanılarak doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve F1 skor kavramları hesaplanabilmektedir.

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (3.10)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (3.11)$$

$$F1 \text{ skor} = 2 \times \frac{\text{kesinlik} \times \text{duyarlılık}}{\text{kesinlik} + \text{duyarlılık}} \quad (3.12)$$

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+YP+DN+YN} \quad (3.13)$$

Doğruluk, bir modelin başarısını belirleyebilmek amacıyla kullanılan fakat tek başına yeterli olmayan bir kavramdır. Doğruluk kavramı tüm doğru cevapların tüm cevaplara oranı olarak ifade edilmektedir. Diğer bir deyişle gerçekte tespit edilen tüm nesnelerin doğru bir şekilde tespit edilme oranıdır. Dengesiz dağılıma sahip veri gruplarında başarılı sonuçlar vermeyebilmektedir. Başarılı bir algoritmada bu kavramın

yüksek çıkması beklenmektedir.

Duyarlılık kavramı ise hassasiyet olarak da ifade edilebilmektedir. Bu kavram ise doğru tespit edilen pozitif sınıfların tüm pozitif sınıflara oranı olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle gerçekteki nesnelerin tümünün tespit edilmelerinin oranıdır. Bu kavramın artması bazen kesinlik değerinin azalmasına sebep olabiliyor olsa da başarılı algoritmalarda duyarlılık değerinin yüksek çıkması beklenmektedir.

Kesinlik, pozitif olarak tahmin ettiğimiz değerlerin gerçekte ne kadarının pozitif olduğunu ortaya koyan bir kavramdır. Yani gerçekteki nesnelerin tümünü doğru bir şekilde tespit etme oranı olarak da bilinmektedir. Doğruluk ve duyarlılık kavramları gibi başarılı bir algoritmada yüksek çıkması beklenirken sadece bu kavramın değerlerine bakılarak analizin yorumlanması yeterli olmamaktadır.

F1 skor kavramı ise bize kesinlik ve duyarlılık değerlerinin harmonik ortalamasını ifade etmektedir. Makine öğrenmesinde F1 skor ifadesi F measure olarak da kullanılmaktadır. Nesne tespiti gibi durumlarda özellikle dengeli veriler için önemli bir unsurdur. Doğruluk değerine göre daha kapsamlı bir kavram olduğu için veri setinin dengesiz dağılmış olması da F1 skoru diğer kriterlere göre daha az etkilemektedir. Bu sebeple çalışmalarda en belirleyici unsur olarak F1 skoru kullanılmaktadır.

Bu kavramlara ek olarak performans kriterlerinde kullanılan bir diğer kavram ise ROC alanıdır. Bu kavram iki metriğin grafiksel olarak ifadesiyle ortaya çıkıyor. Doğru pozitif oranı ve yanlış pozitif oranlarının x ve y eksenlerine yerleştirilmesi durumunda ortaya çıkan eğrinin altında kalan alanı ifade etmektedir. Bir çalışmada F1 skor değeri ne kadar yüksek ise eğrinin altında kalan alan yani ROC alan değeri de o kadar yüksektir.

Çalışmalarda kullanılmakta olan hata ölçütleri olan OHKK, OMH, R^2 ve kappa istatistik değerleri ise aşağıda verilen Eşitlik 3.14, 3.15, 3.16 ve 3.17 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$OHKK = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (3.14)$$

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t| \quad (3.15)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{err}}{SS_{tot}} \quad (3.16)$$

$$K = \frac{\Pr(a) - \Pr(e)}{1 - \Pr(e)} \quad (3.17)$$

Burada OHKK ve OMH formülleri içerisindeki e_t ifadesi gözlemlenen ve tahmin edilen zaman serilerinin farkını belirtmektedir. R^2 hesaplanmasında kullanılan SS_{err} ; toplam hataların karesini, SS_{tot} ise tüm toplam kareleri ifade etmektedir. Kappa istatistik formülünde ise $\Pr(a)$; iki değerleyici için gözlemlenen uyuşmaların toplama orantısını, $\Pr(e)$ ise bu uyuşmanın rastgele ortaya çıkma olasılığını ifade etmektedir.

R^2 modelde yer alan bağımsız değişkenlere göre bağımlı değişkenin değişim durumunu diğer bir deyişle bağımlı değişkendeki değişkenliğin ne kadarının model tarafından ifade edilebileceğini ölçmektedir. Korelasyon katsayısının karesidir. R^2 bir modelin karar verme katsayısıdır. Bu katsayı değerinin yüksek olması tahmin ilişkisinin başarılı olduğunu göstermektedir.

OMH, mutlak hata değerinin toplamını almaktadır. Hata terimlerinin toplamının doğrudan bir temsidir. OHKK ise tahmin edilen sonuçların gerçekten ne kadar farklı olduğuna dair bilgi vermektedir. Bu sebeple çalışmalarda OHKK değerini çoğu kez esas alınmaktadır.

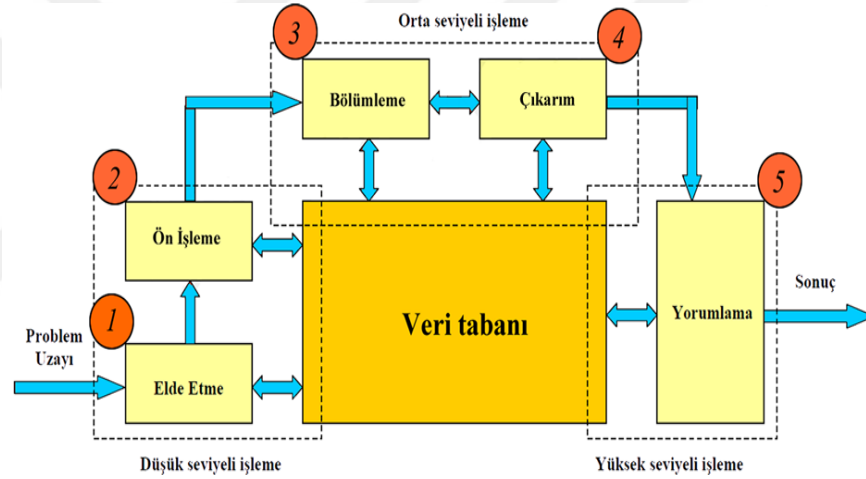
Kappa istatistik değeri ise iki değerleyici arasındaki karşılaştırmalı uyuşmanın güvenilirliğini ölçen bir istatistik yöntemidir. Bu değer 1 e yakın olması değerleyicilerin birbiriyle uyuştüğünü, 0 a yakın olması ise uyuşmanın olmadığını ifade etmektedir. Bu sebeple çalışmalarda kappa istatistik değerinin 1 e yakın olması beklenmektedir.

3.3.5. Görüntü işleme

Görüntü işleme, görüntüyü dijital bir yapıya çevirme ve bundan çeşitli faydalı

bilgiler elde etmek amacıyla birtakım işlemler yürütülmesidir. Görüntü işleme, önceden belirlenmiş sinyal işleme yöntemlerini uygularken genellikle tüm görüntüleri 2B sinyaller olarak ele almaktadır. Görüntü işleme sayesinde görüntü üzerindeki bulanıklıklar giderilebilir, görüntü kalitesi artırılabilir, insan gözüyle görülmesi zor nesneler tespit edilebilir ve bu nesneler birbirlerinden ayırt edilebilmektedir.

Görüntü işlemede sayısal görüntü işleme ifadesi sıkça kullanılır. Bu ifade bir görüntünün sayısal biçime dönüştürülmesi ve daha sonra çeşitli amaçlar (iyileştirme, onarma, sınıflandırma, sıkıştırma, anlama ve yorumlama, vb.) için sayısal bilgisayarlarla işlenmesi ile ilgilidir. Sayısal görüntü işlemenin temel basamakları aşağıdaki Şekil 3.31’de özetlenmiştir.



Şekil 3.31. Sayısal görüntü işlemenin temel basamakları (Anonim 2021)

Modern görüntü işleme yöntemleri, görüntüleri analiz etmek için istatistiksel yöntemlerden uzaklaşırken gittikçe yapay zekânın derin öğrenme olarak bilinen yönetime yaklaşmaktadır. Derin öğrenme ile bir görüntü işleme uygulaması, görüntülerin daha doğru analizlerini sunmasını sağlayan sinir ağı adlı bir algoritma türü üzerinde çalışmaktadır. Ayrıca derin öğrenme, bir görüntü işleme uygulamasının analiz ettiği her görüntüdeki bilgilerin korumasını sağlamaktadır. Yapay zekâ ile görüntü işlemenin birlikte uygulanmasına; yapay görme, bilgisayar görmesi ve bilgisayarlı görü gibi ifadeler kullanılmaktadır. Temel görüntü işleme adımları şunlardır:

- Görüntü edinme; görüntü işlemede ilk adımdır. Bu adım, görüntü işlemede ön işleme

olarak da bilinmektedir. Görüntünün çoğunlukla donanım tabanlı bir kaynaktan alınmasını içermektedir.

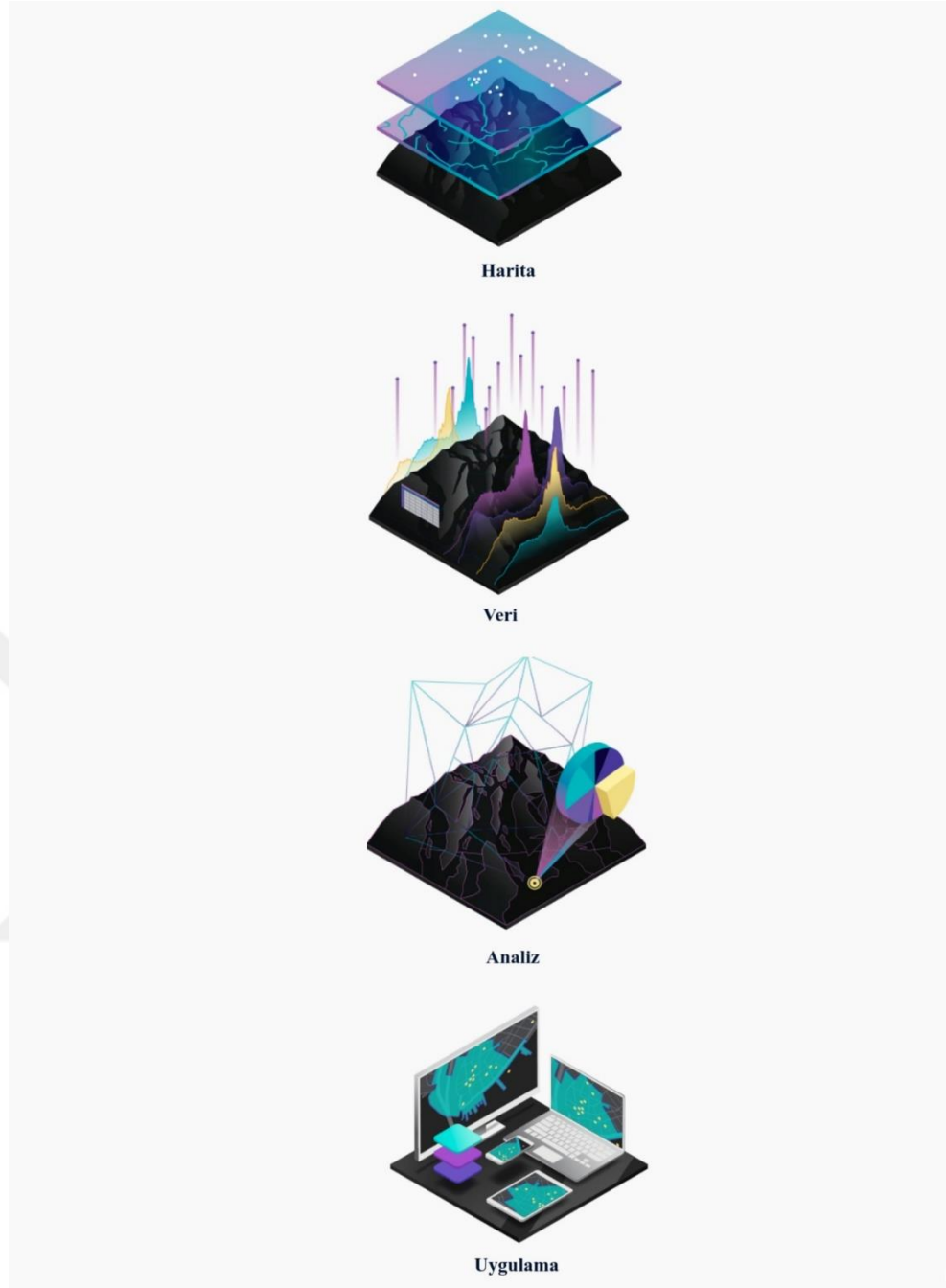
- Görüntü geliştirme; gizlenmiş bir görüntüdeki belirli ilgi çekici özellikleri ortaya çıkarma ve vurgulama işlemidir. Bu, parlaklığı, kontrastı vb. değiştirmeyi içerebilmektedir.
- Görüntü restorasyonu; bir görüntünün görünümünü iyileştirmesidir. Fakat görüntü iyileştirmeden farklı olarak, görüntü restorasyonu belirli matematiksel modeller kullanılarak yapılır.
- Renkli görüntü işleme; dijital alanda bir dizi renk modelleme tekniğini içermektedir. Bu adım, dijital görüntülerin internet üzerinden önemli ölçüde kullanılması sebebiyle popüler hale gelmiştir.
- Dalgacıklar ve çoklu çözünürlüklü işleme; dalgacıklar, görüntüleri çeşitli çözünürlük derecelerinde ifade etmek için kullanılır. Görüntüler, veri sıkıştırma ve piramidal gösterim için dalgacıklara veya daha küçük alanlara bölünmektedir.
- Sıkıştırma; bir görüntüyü kaydedebilmek amacıyla ihtiyaç duyulan depolamayı veya onu iletmek için gereken bant genişliğini azaltmak için kullanılan bir işlemidir. Bu durum, görüntünün internette kullanımı için oldukça uygundur.
- Morfolojik işleme; görüntüleri yapısına göre dönüştürmek için bir dizi faaliyet işlemidir.
- Segmentasyon; görüntü işlemenin en zor adımlarından biri olarak ifade edilmektedir. Bir görüntünün kendisini oluşturan parçalara bölünmesini içermektedir.
- Temsil ve açıklama; bölütleme işleminde bir görüntü bölgelere bölündükten sonra, her bölge daha sonraki bilgisayar işlemleri için uygun bir biçimde temsil edilerek tanımlanır. Temsil, görüntünün özellikleriyle ilgilenmektedir. Açıklama, bir nesne

sınıfını diğerinden ayırt etmeye yardımcı olan nicel bilgilerin çıkarılmasıyla ilgilenmektedir.

- Tanıma; açıklamasına dayalı olarak bir nesneye bir etiket atamaktadır.

3.3.5. Coğrafi bilgi sistemi

Coğrafi bilgi sistemi (CBS), her türlü veriyi oluşturan, yöneten, inceleyen ve haritalandıran bir sistemdir. CBS, konum verilerini her çeşit açıklayıcı bilgiyle bütünleştirerek verileri bir haritaya bağlamaktadır. Bu, bilimde ve neredeyse her endüstride kullanılan haritalama ve analiz için bir temel sağlamaktadır. CBS, kullanıcıların yapıları, ilişkileri ve coğrafi bağlamı anlamalarına yardımcı olmaktadır. CBS, gelişmiş iletişim ve verimliliğin yanı sıra daha iyi yönetim ve karar vermeyi içermektedir. CBS teknolojisi dört ana yapıdan oluşmaktadır. Bunlar; harita, veri analiz ve uygulamadır. CBS'nin temel bileşenleri aşağıda verilen Şekil 3.32'de gösterilmektedir.

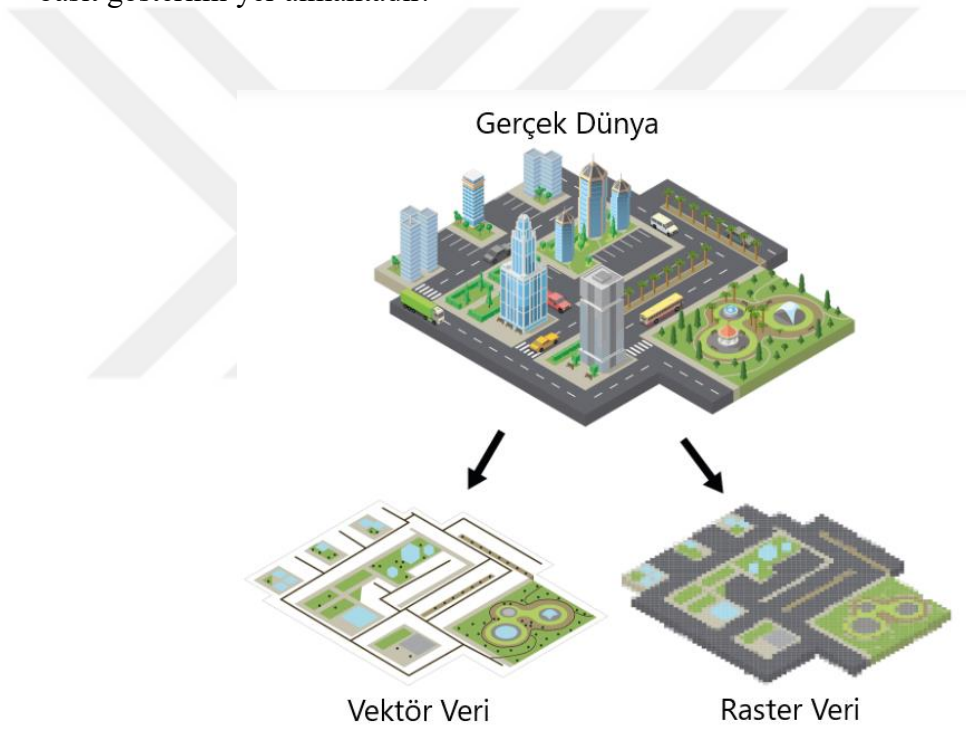


Şekil 3.32. CBS'nin temel bileşenleri (Anonim 2022h)

- Haritalar; çalışmak istenilen veri katmanları ve analitikler için coğrafi kapsayıcılardır. CBS haritaları kolayca paylaşılabilmektedir ve uygulamalara gömülü olduğu için istenilen kişi tarafından her yerden erişilebilmektedir.
- Veri; CBS'nin uzamsal konumu kullanarak birçok farklı çeşitte veri katmanını bütünleştirir. Çoğu verinin coğrafi bir bileşeni bulunmaktadır. CBS verileri, elektronik tablolara bağlı görüntüleri, özellikleri ve temel haritaları içermektedir.

- Analiz; uygunluğu ve yeteneği değerlendirmeye, tahminde bulunmaya, yorumlamaya ve çok daha fazlasını sağlayarak karar vermeye yeni bakış açıları kazandırmaktadır.
- Uygulamalar; CBS'yi herkes tarafından hayata geçirmek için odaklanmış kullanıcı deneyimleri sağlamaktadır. CBS uygulamaları telefonlarda, tabletlerde, web tarayıcılarında ve masaüstleri gibi birçok teknolojik cihazda çalışabilmektedir.

CBS'de üç tür veri vardır. Bunlar vektör verileri, raster veriler ve coğrafi olmayan özellik verileridir. Aşağıda verilen Şekil 3.33'de vektör veri ve raster veri modellerinin basit gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.33. Şekilsel olarak vektör ve raster veri modelleri (Anonim 20221)

Vektör veri modeli; nokta, çizgi ve alanlardan oluşan nesneleri belirli bir koordinat sistemine göre x ve y değerleriyle saklamaktadır. Koordinat bilgilerini bularak uzamsal nesneleri bulmak son derece kolaydır.

Raster veri modeli; görüntüler küçük parçalara bölündüğünde ve bitişik hücreler birlikte gruplandığında oluşur. Her bir hücreye piksel denmektedir. Hücre boyutu çözünürlüğü belirler. Hücre boyutunun küçük olması harita çözünürlüğünü artırmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Coğrafi olmayan öznitelik verileri, haritası olmayan herhangi bir nesnenin özelliklerini ortaya çıkaran bilgilerdir.

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte CBS birçok meslek ve iş kolunda takip, planlama ve analiz amacıyla kullanılmaktadır. Bilgisayar ortamına alınan tüm veriler birbirleri ve coğrafi konumları ile ilişkilendirilmekte ve bu veriler ile mekânsal analizler yapılabilmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri, daha etkin planlama ve yönetim uygulamaları geliştirmek, hızlı ve yerinde kararlar almak, maliyetleri düşürerek daha iyi hizmet verebilmek için konumsal veri, haritacılık, altyapı/üst yapı sistemleri ve çözümlerinin analizinde önemli rol oynamaktadır. Kamu ve özel sektörde adres, koordinat, parsel veya envanter içeren tüm projelerde CBS kullanılmaktadır. CBS'nin uygulama alanlarından bazıları aşağıdaki Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.7. CBS'nin uygulama alanları

Haritacılık	Ekonomi
Telekom Ağ Yönetimi	Bankacılık ve Sigorta Sektörü
Elektrik Dağıtım Şebekesi Yönetimi	Kargo Endüstrisi
Doğal Gaz Dağıtım Şebekesi Yönetimi	Arazi Ölçümü ve Değerlendirmesi
Su ve Kanalizasyon Dağıtım Şebekesi Yönetimi	Yer Bilimleri
Trafik Yönetimi	Varlık Yönetimi ve Bakımı
Şehir Planlama ve Yönetimi	Planlama ve Sosyal Gelişim
Ulaşım Planlaması	Belediye
Çevresel Etki Analizi	Sağlık
Tarım ve Orman Uygulamaları	Eğitim
Afet Yönetimi ve Önleme	Kömür
Doğal Kaynakların Yönetimi	Sanayi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışmanın bu kısmında çalışma alanı olarak belirtilen Erzurum ilinde yaya ulaşımının incelenmesinin gerekçeleri analiz edilecektir. Analiz sürecinde; bu gerekçeler için materyal ve yöntem kısmında belirtilen yöntemler kullanılarak çözüm önerileri sunulacaktır. Daha önce belirtildiği gibi kentteki hava kirliliğinin önemli bir kısmını ulaşım sektörü oluşturmaktadır. Hava kirliliği ele alındıktan sonra bir diğer problem olan yakıt fiyatlarındaki artış da ele alınacaktır. Kentteki bir diğer önemli problem trafik kazalarının fazla olması ve bu kazalarda meydana gelen ölüm ve yaralanma sayılarıdır. Bu kısım en önemli başlık olması sebebiyle en son incelenecektir. Yine ölüm ve yaralanmalarla doğrudan ilişkili olan bir diğer faktör ise yaya yollarının ihlal edilmesidir. Yaya yollarının ihlalinin yanı sıra yaya yollarının tasarımındaki hatalar ciddi problemlere yol açtığı için bu durum da incelenecektir. Son olarak ise tekerlekli sandalyeli yayalar için tasarlanan bir sistemden bahsedilerek araştırma bulguları tamamlanmış olacaktır. Tartışma kısmında ise tüm analiz çalışmaları birlikte değerlendirilerek yaya ulaşımının artırılması ve güvenliklerinin sağlanması amacıyla yapılan çalışma sonuçları tartışılıp mevcut sorunlara çözüm önerileri sunulacaktır.

4.1. Hava Kirliliğinin Ele Alınması

Daha önce de bahsedildiği üzere kentteki hava kirliliğinin önemli bir kısmına karayolu taşıtları sebep olmaktadır. Ulaşımdan kaynaklı hava kirliliğini azaltmak için taşıtların trafikte geçirdikleri süreleri en aza indirmek, taşıtlardaki doluluk oranını artırmak, toplu taşıma hizmetlerini cazip hale getirmek, bisiklet ve yaya ulaşımının artırılması ile mümkündür. Tüm bunları maddeler halinde incelemek gerekirse hava kirliliğinin azaltmak için;

Yaya-taşıt ve taşıt-taşıt çakışmalarını minimum hale getirmek gereklidir. Bunun mümkün olması için ise yolların daha çok bölünmüş yol olması, eş düzey kavşaklar yerine çok katlı kavşakların tercih edilmesi ve trafik akışının hızlı olabildiği kesimlerde yaya geçişlerinin daha çok alt veya üst geçitler ile sağlanması gereklidir.

Bu konu Erzurum ili özelinde değerlendirildiğinde, kentin yerleştiği alanın dağ eteği

olması ve kent yapısı çok eskiye dayandığı için birçok alanda çok katlı kavşakların yapılabilmesi oldukça zor olduğu görülmektedir. Bununla birlikte kent içerisinde doğu-batı istikametinde demiryolu hattının geçmesi karayolu taşıtlarının kuzey-güney istikametindeki hareketlerini kısıtlamaktadır. Yaya geçitlerinin genellikle hemzemin şekilde olması, üst ve alt geçitlerin kullanışsız olması sebebiyle tercih edilme durumları düşüktür.

Alt ve üst geçitlerde gelişmiş kentlerde olduğu gibi asansör veya yürüyen merdivenlerin bulunmaması, bu geçitlerin olduğu bazı bölgelerde orta refüjde yayanın karayolu üzerinden geçişini engelleyici yapıların bulunmaması ve bu geçitlerde yaya yolunun çok uzatılması gibi durumlar sebebiyle yayaların bu bölgelerde bile karayolu üzerinden geçişlerini sağladıkları tespit edilmiştir. Bu durum hem yaya güvenliğini riske etmektedir hem de taşıtların geçiş durumunu etkiledikleri için trafikte harcadıkları zamanı artırarak hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Bahsedilen durumu anlatan görseller aşağıda Şekil 4.1’de verilmiştir.



(a)

Şekil 4.1. Erzurum’da bulunan yaya üst geçitlerinin yeteri kadar tercih edilmediğine dair örnekler.



(b)



(c)

Şekil 4.1. (devam)

Bu maddede bahsedilen durumun önüne geçmek için kentin yeni planlanan ve imara açılan bölgelerinde geleceğe dönük olarak katlı kavşak yapmaya müsait şekilde tasarlanması gereklidir. Mevcut katlı kavşakların da daha verimli kullanılabilmesi için buralara yakın bölgelerde bilgilendirme tabelalarının yeterli ve anlaşılır seviyede olması gereklidir.

Yaya alt ve üst geçitlerinde asansör veya yürüyen merdiven bulunması gereklidir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu sayede insanlar merdiven çıkma veya inmeden kaynaklı tercih etmedikleri alt ve üst geçitleri daha çok tercih edebileceklerdir. Bununla birlikte bu yapılar tekerlekli sandalyeli bireylerinde kullanılabileceği şekilde tasarlanması bu bireyler için de önemli avantaj sağlamış olacaktır. Bu duruma örnek olarak aşağıda verilen Şekil 4.2’de Samsun ve Manisa kentlerinde yer alan asansörlü ve yürüyen merdivenli yaya üst geçitleri gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.2. Asansörlü ve yürüyen merdivenli yaya üst geçitleri (Anonim 2019b)

Yol genişliklerinin yeterli düzeyde olması ve yol kenarı parklanmalarının minimum düzeyde olması gereklidir. Erzurum özelinde bu madde incelendiğinde;

yukarıda da bahsedildiği üzere kent yapısı sebebiyle eski yerleşim bölgelerinde yolların genişletilmesi oldukça zor olmaktadır. Öte yandan yol kenarı parklanmaların yasak olduğu bölgelerde bu yasağa riayet edilmediği, önemli merkezi bölgelerde yol kenarı parklanmaların iki hatta üçüncü sıralara kadar olduğu tespit edilmiştir. Bu durumlar yolun geçiş kapasitesini ciddi oranda düşürdüğü için kuyruklanmalara ve gecikmelere sebep olup taşıtların trafikte geçirdikleri süreyi artırmaktadır. Bu duruma örnek olarak aşağıda Şekil 4.3'te Erzurum'un iki farklı bölgesinde iki ve üç sıra parklanmadan dolayı oluşan trafik sıkışıklığı görülmektedir.



(a)

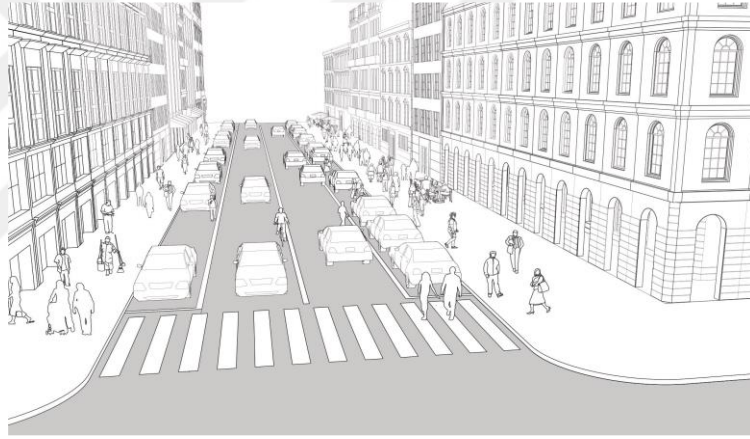


(b)

Şekil 4.3. Erzurum kent merkezinde park ihlallerinden dolayı oluşan sıkışıklık

Bu problemin önüne geçmek amacıyla kentin özellikle merkezi bölgelerinde otopark alanlarının artırılması sağlanmalıdır. Bununla birlikte yol kenarı parklanmanın yasak olduğu bölgelerde ve birden fazla taşıtın yan yana park edildiği bölgelerde denetimlerin artırılarak caydırıcı cezalar uygulanması gereklidir. Ayrıca Avrupa'nın çeşitli büyük kentlerinde uygulandığı üzere bazı bölgelere taşıtların girmesi ücretlendirilerek bu problemin önüne geçilebilmesi mümkündür.

Çeşitli kentlerde uygulandığı üzere insan hareketliliğinin olduğu bazı kesimler tamamen taşıt trafiğine kapatılabilir. Bu işlemin yapıldığı yol kesimlerinde yayalar daha güvenli ve rahat hareket edebildikleri için zaman içerisinde o bölgede yaya yoğunluğunun arttığı ve mevcut işletmelerin daha hareketli hale geldiği gözlemlenebilmektedir. Şekil 4.4'te taşıt trafiğine kapatılmış bir yol kesiminin modellenmiş hali gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.4. Bir yol kesiminin taşıt trafiğine kapatılmadan önceki ve kapatıldıktan sonraki durumları (Anonim 2016).

Toplu taşıma kullanımının yaygınlaştırılması gereklidir. Erzurum ilinde toplu taşıma olarak otobüs ve minibüs hatları yer almaktadır. Kentin büyük bir kısmında ulaşım tek bir toplu taşıma aracı ile sağlanabilmektedir. Fakat bazı bölgelere ulaşım da aktarma yapmak gerekebilmektedir. Aktarma ihtiyacının düşük olması toplu taşımayı cazip hale getiren unsurlardandır. Çünkü bireyler gitmek istedikleri yere tek vasıta ile gitmeyi daha çok tercih etmektedir.

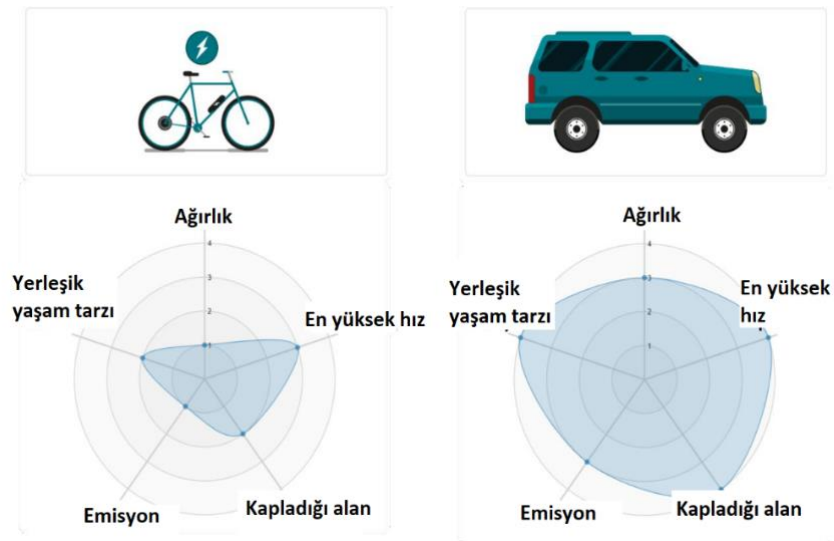
Aktarma ihtiyacı az olmasına rağmen toplu taşıma araçlarının beklenenden az tercih edilmesinin gerekçesi daha önceki çalışmalarda da araştırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde, toplu taşıma araçlarında çok sık dur-kalk yaşandığı tespit edilmiştir. Mevcut durakların bazılarının çok sık yerleştirildiği, bazı durakların kriterlere uygun olmayarak kavşak giriş ve çıkışlarına yerleştirildiği, bunlara ilaveten toplu taşıma sürücülerinin de durak harici yolcu indirip bindirdikleri gözlemlenmiştir. Çalışmada otobüs duraklarının yerleştirilmesine ait hem ulusal hem de evrensel kriterler incelenerek bir optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu optimizasyon neticesinde uzun otobüs hatlarında yaklaşık %25'lere varan iyileştirmeler sağlanmış ve bu iyileştirmeler sayesinde; sefer sayıları kısaltılmış, yolcu memnuniyeti artırılmış, trafik sıkışıklığı azaltılmış ve yakıt tasarrufu elde edilmiştir (Kuşkapan et al. 2021b).

Araç paylaşım sisteminin yaygınlaştırılması gereklidir. Günümüzde araç paylaşım sistemi çeşitli türleri kapsamaktadır. En yaygın olarak bilineni araç kiralama sistemine benzer şekilde araçların mobil uygulamalar vasıtasıyla belirli noktalardan alınarak gitmek istenen noktalara gidilip araçların orada bırakılmasıdır. İkinci türde ise aynı yere gitme amacı olan insanların bilgisayar veya mobil uygulamalar vasıtasıyla aynı aracı kiralayıp yolculuklarını beraber yapmasıdır. Bu sistem genellikle şehirlerarası yolculuklarda kullanılmaktadır.

Bir diğer araç paylaşım sisteminde ise aynı bölgelerde oturup günlük olarak aynı işyerlerine gidip gelen insanların kendi araçlarını başkaları ile paylaşmasıdır. Bu sistem esasında insanlar arasında yıllardır amatör bir şekilde uygulanmaktadır. Örneğin aynı yerde oturan komşu bireyler birbirlerine yakın işyerlerinde ise ve çalışma saatleri birbirleri uyumlu ise günlük ulaşımını birlikte yapabilmektedirler. Fakat bu sistemin daha profesyonel şekilde tasarlanarak uygulanması mümkündür.

Oluşturulan mobil uygulamalar sayesinde bireyler başkaları ile araç paylaşımı yapmayı teklif edebilmektedir. Ayrıca aylık harcamalar da hesaplanıp bireyler arasında paylaştırılabilmektedir. Bu sistemin oluşturulduğu bir çalışmada, Erzurum Büyükşehir Belediyesi çalışanları için araç paylaşım sistemi tasarlanmıştır. Erzurum Büyükşehir Belediyesi 100 bireyden 76 tanesi bu paylaşım sistemine katılmak istemiştir. Geriye kalanların büyük bir kısmı iş-ev arası yolculuklarında yürüme, bisiklet ve toplu taşımayı tercih etmektedir. Ayrıca araç paylaşım sistemi öncesi bu 76 birey için toplam 44 araç ile ulaşım sağlanırken, araç paylaşım sistemi sonrası ulaşım 20 araç ile saptanmıştır (Kuşkapan and Çodur 2022). Bu günlük ulaşım da çok ciddi bir sayıdır. Bu sayının azaltılması hem bireyler için ekonomik tasarruf hem de kent içi ulaşım da rahatlatma sağlamaktadır. Bu sistemin diğer kurum ve kuruluşlarda da uygulanarak kentlerdeki ulaşım problemleri önemli ölçüde azaltılabilir.

Mikro mobilitenin teşvik edilmesi ve alt yapısının sağlanması gereklidir. Mikro mobiliteler genellikle şehir içi ulaşım da 10 kilometreye kadar olan mesafelerde en fazla 25 km/sa hızlarla giden bisiklet, scooter, kayak türü araçlarla sağlanan ulaşım türü olarak ifade edilmektedir (Anonim 2022i). Bu taşıtlar insan gücüyle veya elektrikli olarak kullanılabilir. Kısa mesafelerde motorlu taşıtlara kıyasla önemli avantajlar sağlamaktadırlar. Aşağıda Şekil 4.5'te mikro mobiliteler ve motorlu taşıt karakteristiklerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 4.5. Araç karakteristiklerinin karşılaştırılması (Anonymous 2020c)

Günümüzde mikro mobilitenin paylaşımlı olarak sağlandığı kentler her geçen gün artmaktadır. Bu kentlerde mikro mobilitate taşıtları ulaşım kartı veya mobil uygulama ile kiralanıp istenilen noktalara ulaşım sağlanabilmektedir. Fakat Erzurum özelinde değerlendirildiğinde henüz bu sistem uygulanmamaktadır. Bununla birlikte bireysel olarak mikro mobilitate ulaşımı için yapılmış olan bisiklet yolları oldukça az sayıdadır.

2020 itibariyle Erzurum kent merkezinde üniversiteler içerisindeki bisiklet yolları hariç toplam 6 farklı bölgede 6737 metre bisiklet yolu yer almaktaydı. Fakat o dönemden itibaren bazı park alanları hariç bisiklet yollarına hiçbir ekleme yapılmamakla birlikte Şekil 4.6’da da verildiği üzere, Aziziye ilçesi Dadaşkent bölgesinde yer alan İhsan Doğramacı Bulvarı üzerinde yapılmış olan bisiklet yolu da kaldırılmıştır. Bu da bisiklet yollarına gerekli önemin verilmediğini açıkça ortaya koymaktadır. Erzurum İli için yapılmış olan ulaşım master planında yer alan bisiklet yollarının hızlı bir şekilde yapılarak mikro mobilitate sistemlerini uygulayan firmaların da faaliyetlere başlaması kent için oldukça gereklidir.

Yukarıda bahsedilen maddeler doğrudan veya dolaylı olarak Erzurum ilinde ulaşım kaynaklı oluşan hava kirliliğini incelemiştir. Yapılan araştırmalar sonucu bahsedilen öneriler dikkate alındığı takdirde ulaşım kaynaklı hava kirliliği önemli ölçüde azalacaktır.



(a)

Şekil 4.6. Erzurum’da yapılmış olan bisiklet yolunun sonradan kaldırılması (Anonim 2018a).



(b)

Şekil 4.6. (devam)

4.2. Fosil Yakıt Tüketimlerinin Ele Alınması

Dünya’da enerji ihtiyacı her geçen gün artmasına rağmen enerji kaynakları da her geçen gün tükenmektedir. Özellikle tükenebilen enerji kaynaklarından olan fosil yakıtlar ulaşım sektöründe en çok kullanılan enerji kaynaklarıdır. Petrol ve türevlerinden elde edilen benzin ve dizel yakıtları kullanan karayolu taşıt sayısı yaklaşık %90 civarındadır. Son yıllarda elektrikli otomobil teknolojisindeki ciddi atılımlar sebebiyle hibrit ve elektrikli otomobil üretiminde artışlar gözlemlenmiştir. 2020 yılından itibaren birçok otomobil firması elektrikli otomobil üretimine geçiş yaptıklarını belirtmesinin yanı sıra direk elektrikli otomobil üreterek sektöre katılan firmalarda da artışlar olmuştur.

Dünya genelindeki bu atılımların yanı sıra ülkemizde de elektrikli otomobil üretimi adına önemli girişimler olmuştur. Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG) adı altında tamamen elektrikli olarak tasarlanan ve üretime başlanan otomobillerin 2023 yılı itibarıyla satışa sunulmaya başlanmıştır. Benzinli ve dizel otomobiller yerine hibrit ve elektrikli otomobillerin yaygınlaşması fosil yakıt tüketiminin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır.

Öte yandan bir önceki başlıkta hava kirliliğinin azaltılması için belirtilen tüm etmenler de fosil yakıt tüketiminin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Özellikle yaya ulaşımının yaygınlaştırılması ve mikro mobilitenin teşvik edilmesi ulaşım sektöründe enerji kaynaklarına bağlılığı ciddi miktarda azaltabilmektedir.

Ülkemizde yakıt fiyatlarındaki ciddi artışlar da bireyleri kısa mesafelerde yürümeye veya mikro mobilite araçlarının kullanımına yöneltirken uzun mesafelerde toplu taşıma araçlarının tercih edilmesine yöneltmiştir. Her ne kadar yakıt fiyatlarındaki artış olumsuz bir durum olarak ortaya çıkmış olsa da fosil yakıtlarının daha az tüketilmesine sebep olduğu için olumlu sonuçları da yer almaktadır.

4.3. Yaya Yolu İhlallerinin Ele Alınması

Bilindiği üzere yayaların bir kaza anında otomobillere kıyasla zarar görmeden kurtulma olasılıkları oldukça düşüktür. Bu sebeple yayaların kendilerine ait yollarda ve kurallara uygun olarak hareket etmeleri kendi güvenlikleri açısından oldukça önemlidir. Karayolu üzerinde yer alan yaya geçitleri sinyalizasyonlu ve sinyalizasyonsuz olarak ikiye ayrılmaktadır. Sinyalizasyonlu yaya geçitlerinde hem yayalar hem de araç sürücüleri ışıklara uymak zorundadır. Ancak yaya geçidinde sinyalizasyon bulunmuyorsa taşıt sürücüleri durarak ya da yavaşlayarak yayaya geçiş hakkı vermelidir. Ülkemizde 2019 yılı yaya öncelikli yıl ilan edilerek yaya güvenliğine vurgu yapılmıştır. Bu sayede önemli bir farkındalık oluşturularak yaya önceliği adına olumlu adımlar atılmıştır.

Her ne kadar yolda yaya önceliği olsa da yayalar savunmasız yol kullanıcıları olduğu için tam anlamıyla yolun yayaya ait olduğunu varsayıp temkinsiz hareket etmemelidirler. Çünkü taşıt sürücüsü yayayı fark etmeyebilir, yeteri kadar durma mesafesi olmayabilir veya taşıtın durma aksamalarında problemler söz konusu olabilir. Bu sebeple yayalar tedbirli şekilde karşıya geçiş sağlamalıdır (Anonim 2023a).

Herhangi bir sürücü yaya geçidi ihlali yaparsa 2918 sayılı karayolları trafik kanununun 74/B maddesinde yer alan trafik cezası ile cezalandırılabilir. Bu madde yayalara ilk geçiş hakkı olarak ifade edilmekte olup şu şekilde tanımlanmaktadır: “Görevli bir kişi veya ışıklı trafik işareti bulunmayan ancak trafik işareti veya levhalarıyla

belirlenmiş yaya veya okul geçitlerine yaklaşırken yavaşlamamak, varsa buralardan geçen veya geçmek üzere bulunan yayalara durarak ilk geçiş hakkını vermemek, yasaktır.” (Anonim 2018b). Bu kuralın ihlal edilmesi durumunda 2022 yılında ödenecek ceza bedeli 888 TL iken 2023 yılında çok ciddi bir zam yapılarak bu ceza bedeli 1.979 TL olarak belirlenmiştir. Ayrıca sürücünün ceza puanına 20 puan eklenmektedir.

Sürücüler tarafından yayaların daha iyi fark edilebilmeleri için yaya yollarının tasarımında bir takım yenilikler yapılmaktadır. Yaya yollarında çeşitli renklendirmeler ve yaya önceliğine dikkat edilmesi amacıyla kısa bilgilendirmeler yol yüzeyine işlenmiştir. Bununla birlikte taşıtlarının hızlarının azaltılması amacıyla yükseltilmiş yaya geçitlerinin kullanımı da her geçen gün artmaktadır. Aşağıda Şekil 4.7’de Erzurum kentinde kullanılan yaya geçit türleri verilmiştir (Anonim 2022g).



(a)



(b)

Şekil 4.7. Ülkemizde kullanılmakta olan çeşitli yaya geçit türlerinden bazıları



(c)



(d)

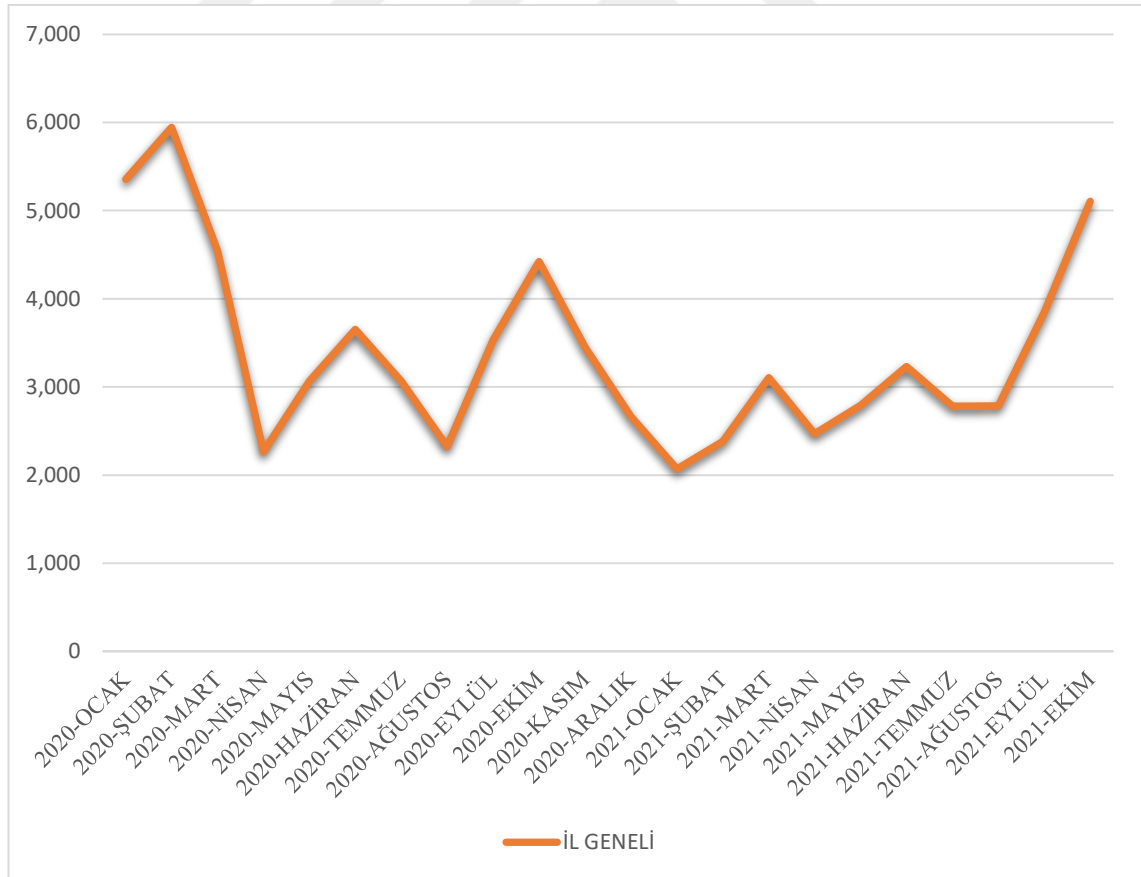
Şekil 4.7. (devam)

Ülkemizde yayalara verilen önemin artması ile birlikte yaya yolu ihlallerinin denetimi de giderek artmıştır. Gelişmiş bazı kentlerde yaya yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde yaya yolu tespit sistemi altında elektronik denetimler yapılmaktadır. Yaya EDS olarak da adlandırılan bu sistemde yaya yolunu görecektir şekilde yerleştirilen kameralar vasıtasıyla yaya yolu ihlali yapan taşıtlar tespit edilerek sürücülere trafik cezaları yazılabilmektedir.

Erzurum ili özelinde 2019 yılından itibaren yaya yollarının bakımına önem verilmeye başlanmıştır. Çeşitli bölgelerde yaya yollarının daha dikkat çekici olması için yol yüzeyine bilgilendirme yazıları yazılmaya başlanmıştır. Öte yandan yükseltilmiş yaya

geçitleri de Atatürk Üniversitesi Hastanesinin olduğu bölgede uygulanmaya başlamıştır. Fakat 2022 yılının sonlarına doğru bu yükseltilmiş yaya geçitleri bir tanesi hariç diğerleri kaldırılmıştır. Son olarak Yakutiye İlçesinde yer alan Dadaşköy Caddesi üzerinde her iki yönde de yükseltilmiş yaya geçidi uygulanmaya başlamıştır.

Kentte yaya ulaşımına önem verilmeye başlanması ile birlikte yaya yollarına taşıtların park edilmesi durumunda ceza uygulamaları artırılmıştır. Son yıllarda yaya geçitlerinin olduğu kısımlarda parklanmanın ciddi ölçüde azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte haftanın belirli günlerinde trafik denetçileri tarafından çeşitli bölgelerde denetimler yapılarak yaya önceliğine uymayan sürücüler için trafik cezası uygulanmaktadır. Bu uygulamalar sürücülerini cezalandırmayı değil insanlarda davranış değişikliği oluşturmayı hedeflemektedir. Yapılan rutin denetimler sonucunda yayalara yol vermeme sayıları daha önce Şekil 3.3’de gösterilmişti. Buna ilaveten aynı dönemde sürücülere yazılan trafik cezaları aşağıda Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Erzurum ilinde yapılan standart denetimlerle aylık olarak yazılan trafik ceza sayıları.

Kentte denetimler standart aralıklarla yapılıyor olmasına rağmen bazı dönemlerde önemli artışlar olduğu görülmektedir. Özellikle bireylerin bilinçlendirilmesine yönelik çalışmalarda ciddi artışlar olmasından kaynaklı olarak işlenen kusurlarda azalma olması beklenirken son dönemlerde trafik ceza sayılarında önemli artışlar olduğu görülmüştür. Çalışmanın bu aşamasında; bir ay içerisinde yazılan trafik cezalarıyla yaya yolları ihlalleri arasındaki ilişkinin tespit edilmesi amacıyla bir analiz yapılmıştır. Analizde yaya yolu ihlalleri ile yazılan trafik cezaları arasındaki oran sınıflandırılmış ve çok katmanlı algılayıcı ile tahmin yapılmıştır. Tahmin ve gerçek değerler kıyaslanarak algoritmanın mevcut veri kümesi için uygunluğu incelenmiştir. Aşağıda verilen Çizelge 4.1’de yaya yolu ihlali için risk sınıfları verilmiştir. Risk sınıfı yükseldikçe o ay içerisinde yazılan cezalarda yaya yoluna ihlal oranının yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

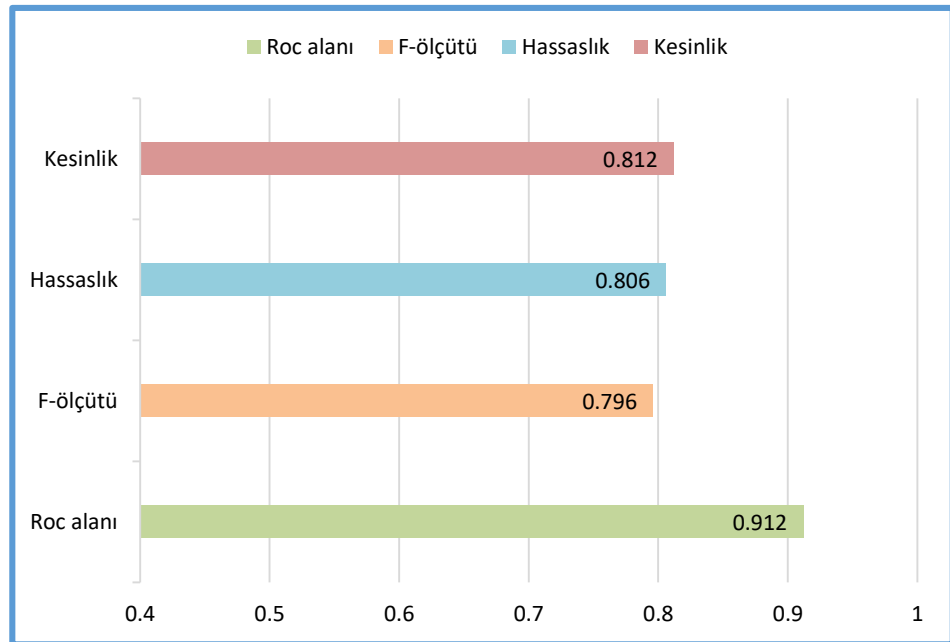
Çizelge 4.1. Çalışmada yayalar için belirlenen risk sınıfları

Renk	Risk Sınıfı	Aralık
	Çok düşük	$0 < 0,00279$
	Düşük	$0,00279 - 0,00745$
	Orta	$0,00745 - 0,01098$
	Yüksek	$0,01098 - 0,01252$
	Çok yüksek	$> 0,01252$

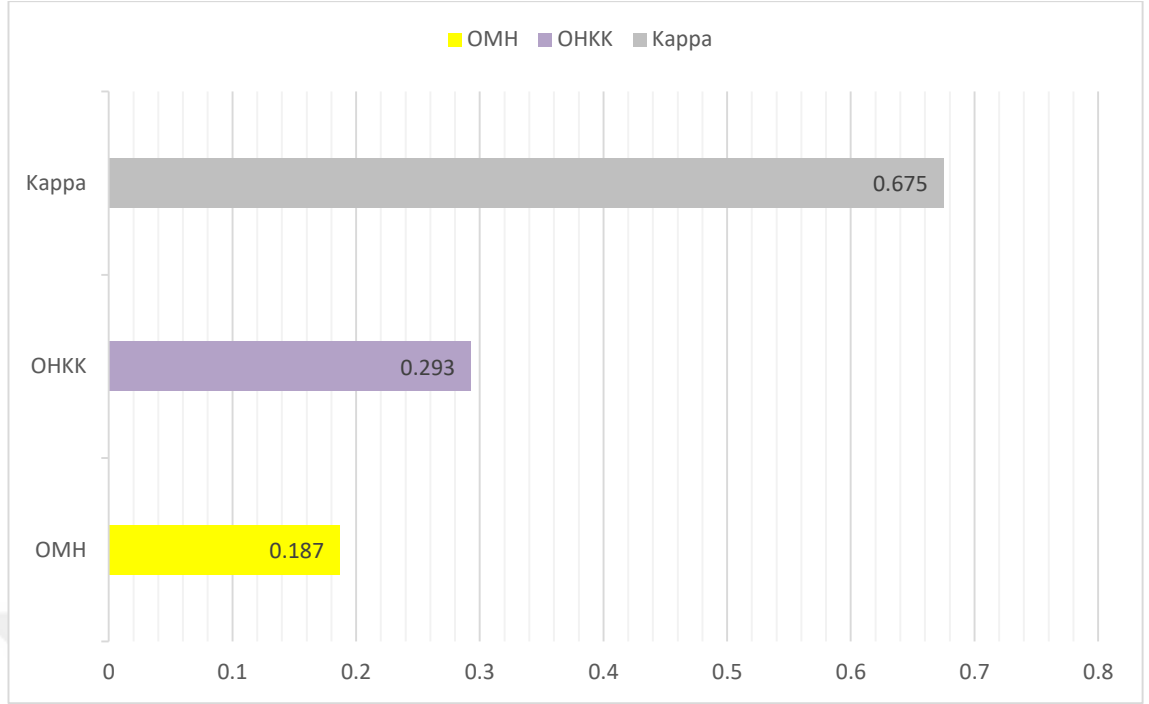
Oluşturulan bu beş sınıf içerisinde yüksek ve çok yüksek durumu trafik denetlemeleri olduğu halde sürücülerin yayalara yol vermediği ayları ifade etmektedir. Düşük ve çok düşük durumu ise yapılan denetimlerin sürücülerin yayalara yol verme sayılarını artırdığını ifade etmektedir. Yapılan sınıflandırma için her bir aydaki risk durumu belirlenmiştir. Bu renklendirmede kırmızı ve turuncu renkte olan aylarda risk durumunun yüksek olduğu görülmektedir. Veriler neticesinde ayların bulunmuş olduğu sınıflar ve çok katmanlı algılayıcı ile tahmin edildiği sınıflar aşağıdaki Çizelge 4.2’de gösterilmektedir. Algoritmanın doğruluk ve hata değerleri ise Şekil 4.9 ve 4.10’da yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Aylara göre gerçek ve tahmin edilen risk sınıfları

Aylar	Gerçek Sınıf	Tahmin Edilen Sınıf
2020-Ocak		
2020-Şubat		
2020-Mart		
2020-Nisan		
2020-Mayıs		
2020-Haziran		
2020-Temmuz		
2020-Ağustos		
2020-Eylül		
2020-Ekim		
2020-Kasım		
2020-Aralık		
2021-Ocak		
2021-Şubat		
2021-Mart		
2021-Nisan		
2021-Mayıs		
2021-Haziran		
2021-Temmuz		
2021-Ağustos		
2021-Eylül		
2021-Ekim		



Şekil 4.9. Algoritma ile elde edilen doğruluk değerleri



Şekil 4.10. Algoritma ile elde edilen hata değerleri

Çalışmada kullanılan algoritma 22 aylık sınıflandırmanın 18 tanesini doğru tahmin ederek başarılı sonuçlar elde etmiştir. 2021 yılının ortalarına kadar genellikle risk durumunda iyileşmelerin olması yaya yolları için yapılan denetimlerin ve farkındalık çalışmalarının olumlu sonuçlar verdiğini ortaya koyarken özellikle son 4 aylık periyotta yine risk durumunda artışlar gözlemlenmiştir. Bu durum yapılan denetimlerin veya farkındalık çalışmalarının zamanla unutulduğunu veya eski alışkanlıklara geri dönüldüğünü ortaya koymaktadır.

Algoritmanın performans değerleri incelendiğinde mevcut veri kümesinde başarılı performans sergilediği görülmektedir. Hata değerleri olan OMH ve OHKK ise düşük çıkmıştır. Bu algoritma benzer veri kümelerinin sınıflandırılmasında tercih edilmesi önerilmektedir (Kuşkapan ve Çodur 2022a).

Bu duruma ilaveten veri kümesi incelendiğinde yapılan trafik denetimlerinin ve trafik cezalarının sürücülerin davranışı üzerindeki etkisinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Trafik denetimlerinin ve trafik cezalarının artmış olduğu birçok ayda yayalara yol vermeme durumunda önemli bir azalma görülmemiştir. Buna göre yapılan trafik denetimlerinin anlık ve geçici çözümler olduğu ortaya konmuştur. Kalıcı çözümler olması

için denetimlerin daha sık yapılması veya cezaların daha caydırıcı seviyede olması gerekmektedir. Öte yandan insanların bilinçlendirilmesi ve daha hoşgörülü olması da yapılan ihlallerin azalmasında önemli etmenlerdir. Bunun için de politika yapıcılar ilkokul döneminden itibaren insanların trafik konusunda bilinçlenip daha hoşgörülü davranış sergilemeleri hususunda verilen eğitime ağırlık göstermesi faydalı olacaktır.

4.4. Yaya Yolu Tasarımlarının Ele Alınması

Erzurum kent merkezinde 2022 yılı itibarıyla 719 adet yaya yolu belirlenmiştir. Bu sayı karayolu üst yapısına yaya yolu olarak işlenmiş olanları içermektedir. Bu yaya yolları incelendiğinde bazı yol kesimlerinde yaya yollarının çok sık işlendiği bazı yol kesimlerindeki yaya yollarının yaya güvenliğini tehlikeye attığı, bazı bölgelerde ise yaya yollarının eksikliği net bir şekilde gözlemlenmektedir. Küresel Sokak Tasarım Rehberine göre yaya yolları tasarlanırken şu hususlara dikkat edilmelidir:

- Yaya yolları 80-100 metre mesafelerle uygulanmalıdır.
- 200 metreden veya 3 dakikadan uzun mesafedeki yaya yolları riayet ve yolcu güvenliğini tehlikeye atabilmektedir.
- Yaya geçitleri en az 3 metre genişliğinde olmalıdır.
- Taşıt hızının 30 km/sa değerini geçtiği ve yaya yoğunluğunun orta ile yüksek olduğu bölgelerde sinyalizasyonlu geçitler uygulanmalıdır.
- Yaya yolu eğimi %7'yi aşmamalıdır.
- Trafiği yavaşlatıcı tedbirler uygulanmalıdır.
- Yol genişliği fazla olan ve yaya geçidi yol yüzeyinde olan kesimlerde şişe boynu daralan yollar uygulanarak yol geçidinin boyu kısaltılmalıdır.

- Yaya geçidinin her iki tarafında da tekerlekli sandalyeli, bebek arabalı ve görme engelliler için rampa yer almalıdır.
- Hız kesiciler yaya geçidinden en az 5-10 metre (taşıt hızına göre) uzak olmalıdır.
- Tekerlekli sandalyeli bireyler için rampa genişliği en az 1,8 metre olmalıdır.
- Yaya yoğunluğunun fazla olduğu ve taşıt hızlarında önemli azalma ihtiyacı olan durumlarda yükseltilmiş yaya geçidi kullanılmalıdır.
- Yaya geçitleri iyi işaretlenmiş olmalı ve sürücüler tarafından kolay fark edilmelidir.
- Taşıtların hızlanmasına müsait veya hız sınırının yüksek olduğu yollarda üst veya alt geçitler yer almalıdır.
- İki yönlü yollarda 900 araç/saat, bölünmüş yollarda 1500 araç/saat ve 500 yaya/saat üzerindeki araç ve yaya yoğunluklarında yaya alt veya üst geçidi yapılabilir.
- Yerleşim yerleri dışındaki yollarda ve işletme hızının 70 km/s'nin üzerinde olduğu yerleşim yerleri içindeki yollarda hemzemin okul geçidi olmamalıdır.
- Genişliği 10 metreden daha fazla olan yollarda hemzemin yaya geçidi tesis edilmemeli veya yaya güvenliği bakımından adalar yapılarak yaya geçidi uygulaması yapılmalıdır.

Erzurum ilinde yer alan tüm yaya yolları yukarıda belirtilen kriterlere göre incelenerek problemler tespit edilmiştir. Aşağıda kentin çeşitli bölgelerinde yapılan çekimlerden bazıları yer verilmiştir. Her bir görselin altında tespit edilen problem yazılmıştır.



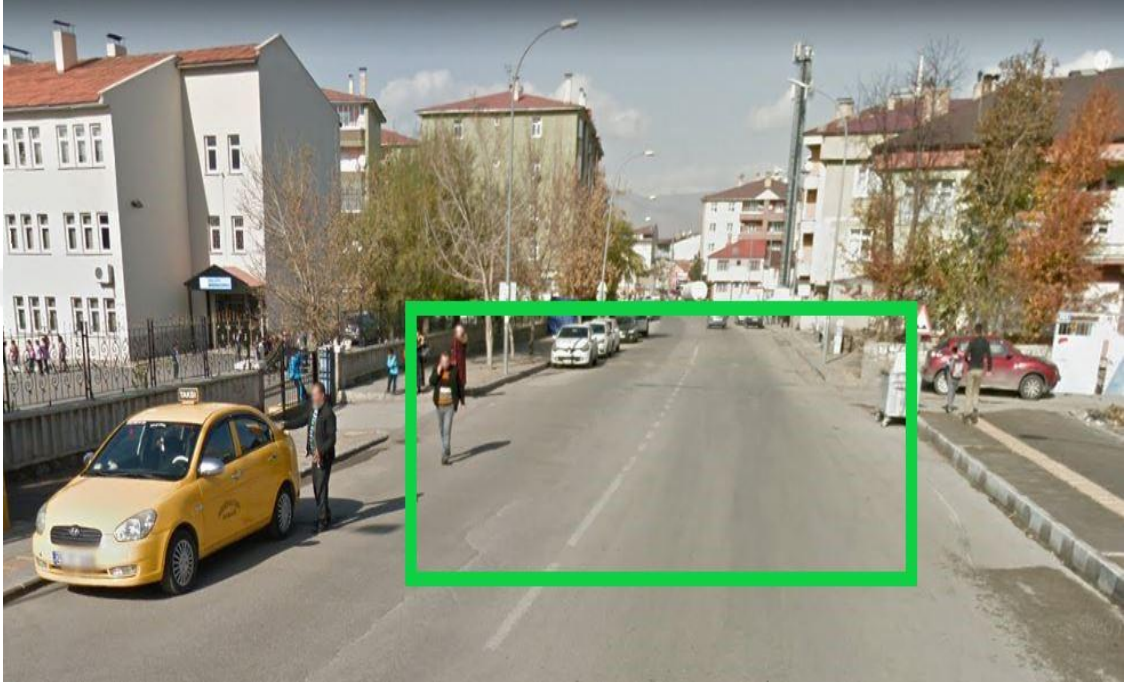
Şekil 4.11. Okul yaya geçidi öncesinde yerleştirilmiş olan hız kesicinin zamanla bir kısmının tahrip olması ve bu şekilde yayalar için risk oluşturmaması.

Şekil 4.11’de görüldüğü üzere okul geçidi olan bölgede yaya yolu işlenmiştir. Yıldızkent’te yer alan bu yaya yolunun yaklaşık 1 metre ilerisinde hız kesici yerleştirilmiş. Bu hız kesici hem yaya yoluna çok yakın olduğu için yeteri kadar güvenli değildir hem de hız kesicinin bir kısmı yoktur. Sürücülerde hız kesiciye girmemek için bu kısmı sıkça tercih etmektedir. Öte yandan hız kesici yokuş yukarı olan kesimde yerleştirilmiştir. Bu yönden gelen taşıtların hızı daha düşük seyretmektedir.



Şekil 4.12. Yaya geçidinin yol yüzeyinden silinmesi ve sürücüler tarafından bu yaya geçidinin fark edilmesinin zorlaşması.

Şekil 4.12'deki görsel ise Yakutiye İlçesinde yer alan Terminal Caddesinde çekilmiştir. Erzurum İlinde yaya yollarında en sık görülen problem yaya yollarının görünmeyecek derecede silinmiş olmasıdır. Yeni yapılan yol kesimleri haricinde kentin çok büyük bir kısmındaki yaya yolları 15-20 metre mesafeden görülemeyecek durumdadır. Bu durum hem sürücüler hem de yayalar için ciddi bir risk oluşturmaktadır.



Şekil 4.13. İlkokulun bulunduğu bölgede ne yol yüzeyinde ne de tabelada bilgilendirme yapılmaması.

Şekil 4.13 ise Şükrüpaşa Mahallesi Şih Köyü Caddesi üzerinde yer alan Şükrüpaşa İlkokulunun olduğu bölgeyi göstermektedir. Bu güzergâhta otomobil yoğunluğunun yanı sıra minibüs ve otobüs hatlarının da geçiş güzergâhında olduğu için bu taşıtların da yoğunluğu fazladır. Okul giriş ve çıkış saatlerinde çok ciddi seviyede yaya yoğunluğu oluşmaktadır. Fakat yol yüzeyinde okul geçidi olduğuna dair bir ibare yoktur. Yaya yolu da büyük oranda silinmiş durumdadır. Bu kesimde yaya güvenliğini artırıcı ekstra tedbirler alınmalıdır. Bu tedbirler arasında ışıklı tabelalar, hız kesici tümsekler, yükseltilmiş yaya geçitleri veya yol yüzeyine işlenmiş olan okul geçidi ibareleri bulunabilir.

Okul geçitlerinde bu tedbirlerin alınması çocukların güvenliği için oldukça önemlidir. Özellikle ilkokul ve anaokulu seviyesindeki çocuklarda trafikte davranış

bilinci henüz yeteri seviyede olmadığı için bu okulların bulunduğu yol kesimlerinde sürücülere ekstra görev ve sorumluluklar düşmektedir. Bunun sağlanabilmesi için ise sürücülerin dikkatini çeken bilgilendirmelerin yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.14. Yaya geçidinin hemen öncesine otobüs durağı yerleştirilmesi

Şekil 4.14'teki yaya geçidi Atatürk Üniversitesi Kavşağı'ndan Terminal Caddesine inen kısımda yer almaktadır. Kavşaktan Terminal Caddesi'ne gelen taşıtlar genellikle yüksek hızla seyretmektedir. Yaya yolunun hemen üzerinde yer alan otobüs durağında duran otobüsler yayaların yolu gözlemlemesine engel olmaktadır. Duran otobüsün önünden karşıya geçmeye çalışan yayaların can güvenliği riske atılmaktadır.



Şekil 4.15. Yaya üst geçidi yer almasına rağmen yol yüzeyinden geçiş yaparak trafik kaza riskini artıran yayalar.

Şekil 4.15 ise Atatürk Üniversite Kavşağı'nda çekilmiştir. Bu bölgede yaya üst geçidi yer almasına rağmen, yapılan gözlemlerde yayaların yaklaşık %90'ı karayolu üzerinden geçiş yapmaktadır. Bu hem sürücüler hem de yayalar için ciddi problemler oluşturmaktadır. Kentteki yaya kazalarının da önemli bir kısmı burada gerçekleşmektedir. Yayalar ise üst geçidi kullanmamalarına gerekçe olarak üst geçidin çok dönemeçli olduğu ve yolu fazla uzattığını belirtmektedir.



Şekil 4.16. Yaya yolu ile kaldırım kesişiminde engelli rampası uygulamasının olmayışı

Şekil 4.16 ise Yakutiye İlçesi, Şükrüpaşa Mahallesi sınırlarında yer alan Necip Fazıl Kısakürek Caddesinden çekilmiştir. Yaya yolunun devamında herhangi bir engelli rampası yer almamaktadır. Bu durum tekerlekli sandalyeli yayalar için ciddi bir sorundur. Bu probleme kentteki birçok yaya yolunda rastlamak mümkündür. Ayrıca yaya yolu üzerine çöp konteyneri konmuştur.



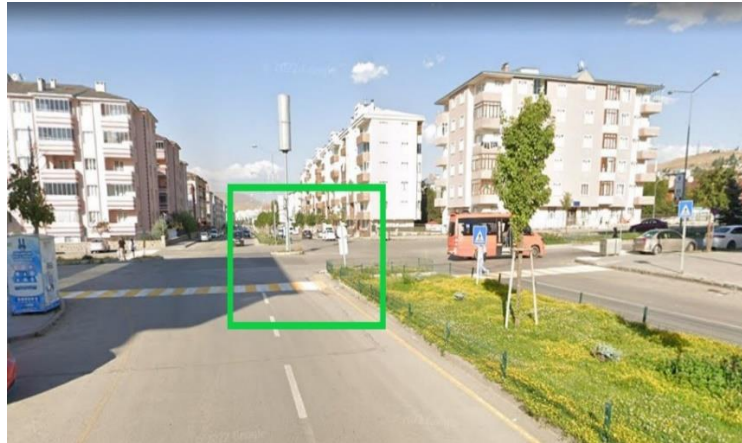
Şekil 4.17. Yol yüzeyine yaya yolu işlenmesine rağmen refüjlerde yaya geçiş alanı bulunmaması.

Şekil 4.17’de yer alan görsel Palandöken İlçesi, Yenişehir Semtinde bulunan Alparslan Türkeş Bulvarından çekilmiştir. Yol yüzeyine yaya yolu işlenmiş olmasına rağmen orta ve yan refüjlerde yaya için geçiş alanı bırakılmadığı için yayalar tarafından yaya yoluna erişilebilmesi mümkün değildir. Kullanılmayan bu yaya yolunun varlığı ise trafik akışının bozulmasına sebep olabilmektedir.



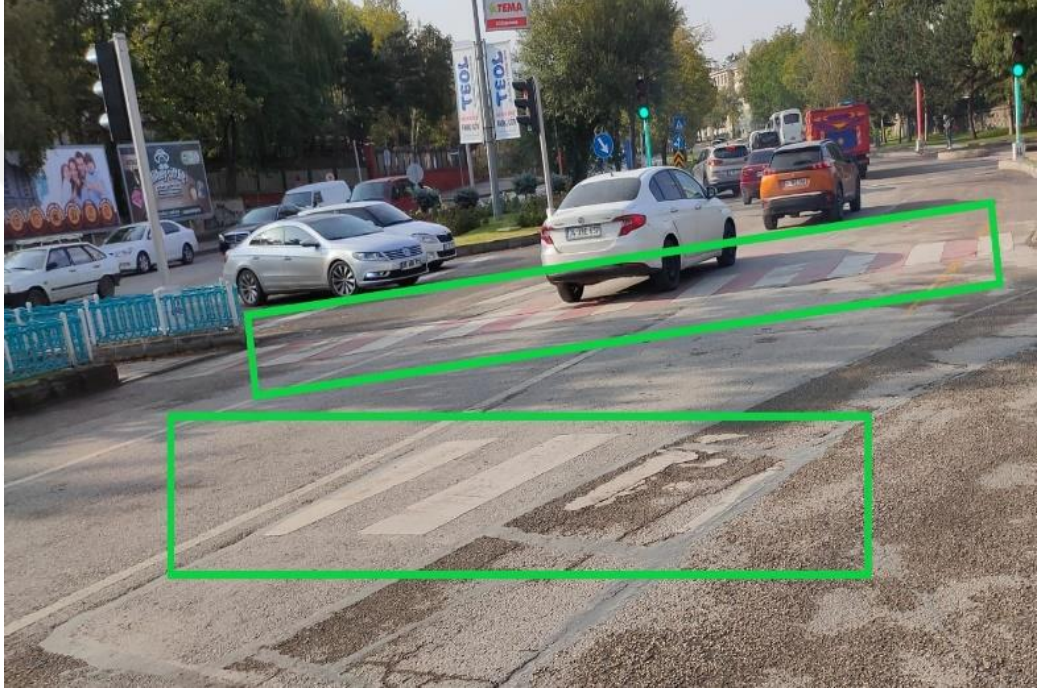
Şekil 4.18. Trafik akışının yüksek hızlarda seyrettiği bir yolda yaya üst veya alt geçidinin bulunmaması ve yol yüzeyine işlenmiş olan yaya geçidinin neredeyse tamamen silinmiş olması.

Şekil 4.18 ise Erzurum-Artvin yolu güzergâhında yer alan Tortum yolu olarak adlandırılan yolda yer almaktadır. Bu yol trafik akışının sık ve hızlı olduğu bir kesimdir. Yol üzerinde yer alan yaya yolları görülemeyecek derecede silinmiştir. Yaya yoluna yaklaşım noktasında uyarıcı herhangi bir levha yoktur. Güzergâh boyunca da herhangi bir üst geçit veya alt geçit yer almamaktadır. Ayrıca mevcut yaya yolunun bulunduğu yerde herhangi bir sinyalizasyon veya hız kesici de yoktur.



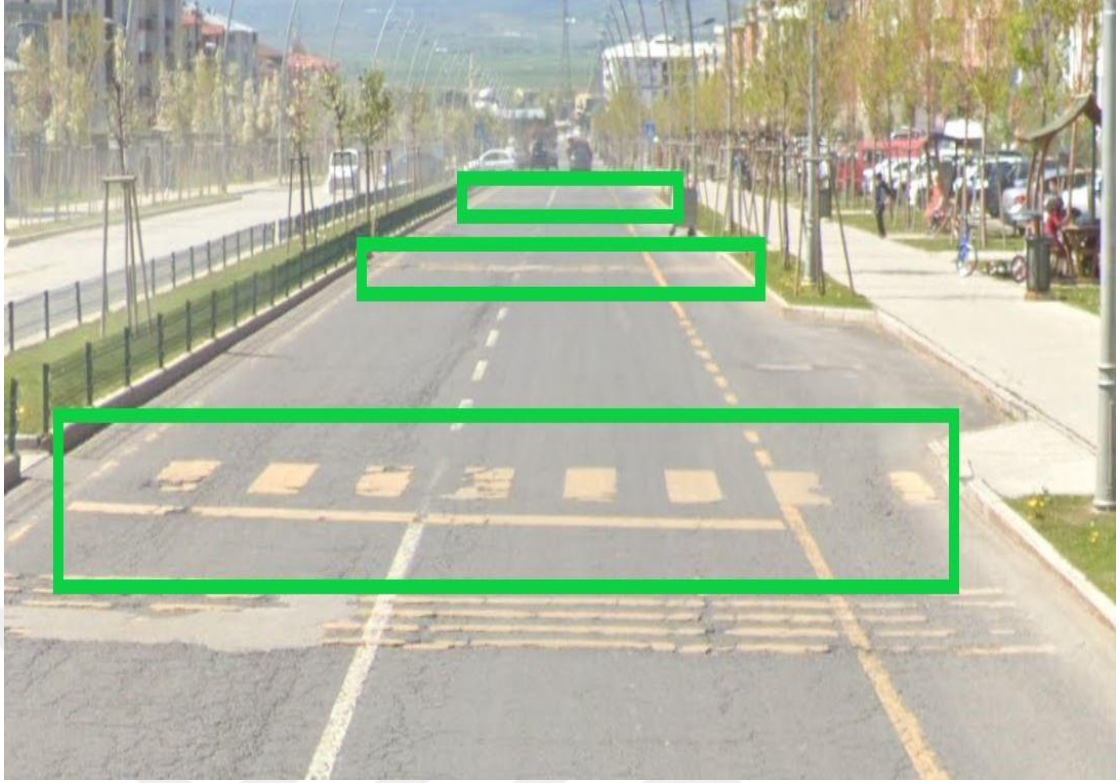
Şekil 4.19. Taşıt yoğunluğunun fazla olabildiği bir kavşakta sinyalizasyon olmaması ve kavşak ada çapının sadece 1 metre olması.

Şekil 4.19’teki görsel Şükrüpaşa Mahallesinde yer alan Çaykur Caddesi üzerinde yer alan bir kavşaktan çekilmiştir. Bu kavşak otomobil, minibüs ve otobüslerin geçiş güzergâhı üzerinde yer aldığı için oldukça yoğun bir kavşaktır. Kavşak göbeğinde ise 1 metre yarıçapında bir baz istasyonu yer almaktadır. Yani taşıtların hızlarını kesebilecek bir kavşak göbeği yoktur. Kavşak çapının bu derece küçük olması sürücülerin kavşağa riayetini azaltmaktadır. Bu durum hem sürücü hem de yaya güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Bununla birlikte kavşakta sinyalizasyon sistemi de kullanılmamaktadır. Bu durum yaya güvenliğini olumsuz etkilemektedir.



Şekil 4.20. Aynı güzergâhta birbiri ile çelişen iki yaya yolunun yer alması

Şekil 4.20 Yakutiye İlçesi, Lalapaşa mahallesinde yer alan Tavşanlı Park önünde çekilmiştir. Görselde birbiri ile çelişen 2 farklı yaya yolu yer almaktadır. Kavşakta yapılan yeni düzenleme ile yaya yolunun konumu değiştirilmiştir. Fakat eski yaya yolu kaldırılmadığı için hem görsel açıdan hem de uygulama açısından karışıklığa neden olmaktadır.



Şekil 4.21. Sık aralıklarla yerleştirilmiş yaya yolları

Şekil 4.21 ise Yakutiye İlçesi, Ömer Nasuhi Bilmen Mahallesinde bulunan Azerbaycan Bulvarı üzerinde yer almaktadır. Bulvar üzerinde çeşitli sosyal olanaklar yer aldığı için yaya yoğunluğu fazladır. Öte yandan otomobil, minibüs ve otobüs yoğunluğunun da fazla olduğu bir bulvardır. Fakat bulvar üzerinde çok sık şekilde yerleştirilmiş yaya yolları hem trafik akışını olumsuz şekilde etkilemekte hem de yayalar için güvenlik problemleri teşkil etmektedir.

Yukarıda verilen görsellerde Erzurum kent merkezinde yer alan yaya yolları ile ilgili belirlenen problemlerin bazılarına değinilmiştir. Kentte bu ve benzeri sorunlara ait çok sayıda görsel elde edilmiştir. Bu problemleri derinlemesine incelemek ve bazı çözümler sunmak kentin daha yaşanılabilir hale gelmesi adına önemlidir. Tespit edilen problemlerin daha iyi incelenebilmesi için problemlerin sınıflandırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Sınıflandırma sayesinde problemlerin daha iyi kategorize edilebilmesi mümkündür. Mevcut yaya yollarındaki sorunlar toplam 8 sınıfa ayrılmıştır. Bir sınıf ise herhangi bir sorun içermeyen yaya yoluna ayrılmış olup toplam 9 farklı sınıf oluşturulmuştur. Oluşturulan sınıflar aşağıda Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Yaya yollarında tespit edilen sorunlar için oluşturulan sınıflar

Sınıf	Yaya Yolunda Tespit Edilen Problem
Sınıf-1	Sık yerleştirilmiş yaya yolu
Sınıf-2	Sinyalizasyon gerekli olan yaya yolu
Sınıf-3	Üst veya alt geçit yapılması gereken yaya yolu
Sınıf-4	Öncesinde hız kesici uygulanması gereken yaya yolu
Sınıf-5	Daralan yola ihtiyaç duyan yaya yolu
Sınıf-6	Engelli rampası uygulaması gereken yaya yolu
Sınıf-7	Yükseltilmiş yaya geçidi uygulaması gereken yaya yolu
Sınıf-8	İşaretlemelerin tekrar yapılması gereken yaya yolu
Sınıf-9	Herhangi bir sorun bulunmayan yaya yolu

Sınıflandırmada toplam 9 ana sınıf belirlenmiş olsa da bu sınıf sayıları gözlemlere göre artırılıp azaltılabilir. Bununla birlikte bir yaya yolu birden fazla sınıfa ait olabilir. Bunlar da sınıfların ortak kümeleridir. Örneğin bir yaya yolunda hem işaretlemeler eksik olabilir hem de rampa uygulamasına ihtiyaç duyulabilir. Bu durumda toplam belirlenen yaya yolu 719 tane olmasına rağmen sınıflardaki yaya yollarının toplamı bu sayıdan daha fazla olacaktır.

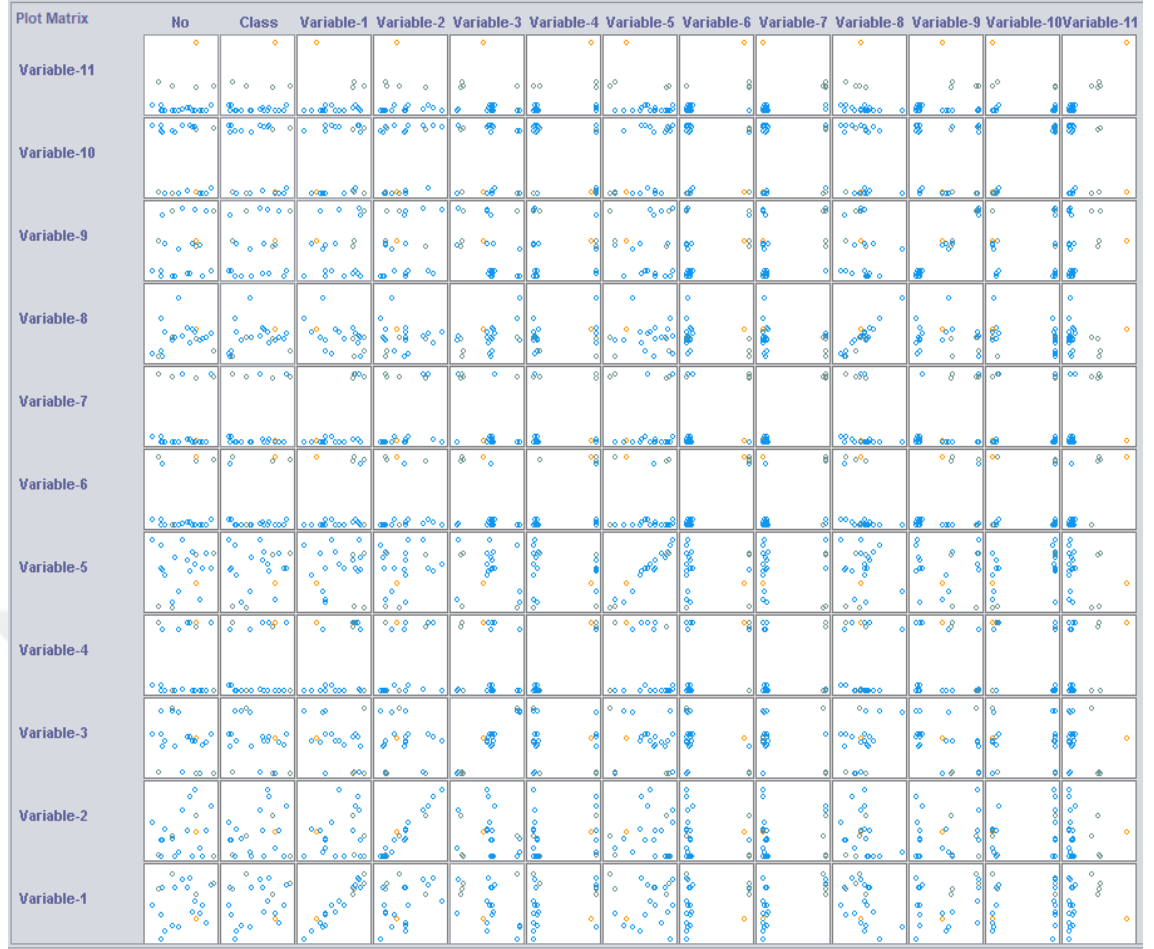
Aşağıda Çizelge 4.4’te yaya yolları için belirlenen değişkenler yer almaktadır. Bu değişkenler ve yaya yolunun genel yapısı kullanılarak her bir yaya yolunun sınıfı tespit edilecektir. Bu değişkenlerden yaya yoğunluğu ve yaya yolu görünürlüğü için 0 ile 10 arasında bir değer belirlenecektir. 10 yaya yoğunluğunun fazla olduğu kesimleri 0 ise yaya yoğunluğunun hiç olmadığı kesimleri ifade etmektedir. Yaya yolu görünürlüğünde ise 15 metre mesafede yaya yolunun sürücü tarafından ayırt edilebilme durumu değerlendirilmiştir. Bununla birlikte; sinyalizasyon, hız kesici, okul geçidi ve engelli rampası değişkenlerinde verilen 0 değeri “yok”, 1 değeri ise “var” anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.4. Yaya yolları için belirlenen değişkenler

Değişken Numarası	Değişkenin içeriği	Ortalama	Standart sapma	En düşük	Medyan	En yüksek
Değişken-1	Yaya yoğunluğu	5,47	2,37	1	6	10
Değişken-2	Yol genişliği (metre)	24,56	5,06	18	24	34
Değişken-3	Hız Sınırlaması (km/sa)	46	14,76	20	50	70
Değişken-4	Sinyalizasyon olup olmaması	0,2	0,41	0	0	1
Değişken-5	Yaya yolu görünürlüğü	3,84	1,43	1	4	10
Değişken-6	Hız kesici olup olmaması	0,3	0,48	0	0	1
Değişken-7	Okul geçidi olup olmaması	0,2	0,42	0	0	1
Değişken-8	En yakın yaya geçidi mesafesi (metre)	68,1	65,4	9	35	350
Değişken-9	Yaya geçidi genişliği (metre)	3,61	1,55	2	3	7
Değişken-10	Engelli rampası olup olmaması	0,73	0,76	0	1	1
Değişken-11	Hız kesici var ise yaya yoluna mesafesi (metre)	5,77	3,7	0	4	15

Belirtilen değişkenler ve yaya yolunun yapısı kullanılarak kentteki her bir yaya yolu için sınıflandırma yapılmasında makine öğrenimi algoritmalarına ihtiyaç duyulmuştur. Eğitim setinde her bir yaya yoluna ait değişkenler kullanılarak sınıfının modele öğretilmesinden sonra test veri setiyle de makine öğrenmesi algoritmalarının performansları ortaya konarak mevcut veri setinde en doğru sınıflandırma yapan algoritmanın belirlenmesi gerekmektedir.

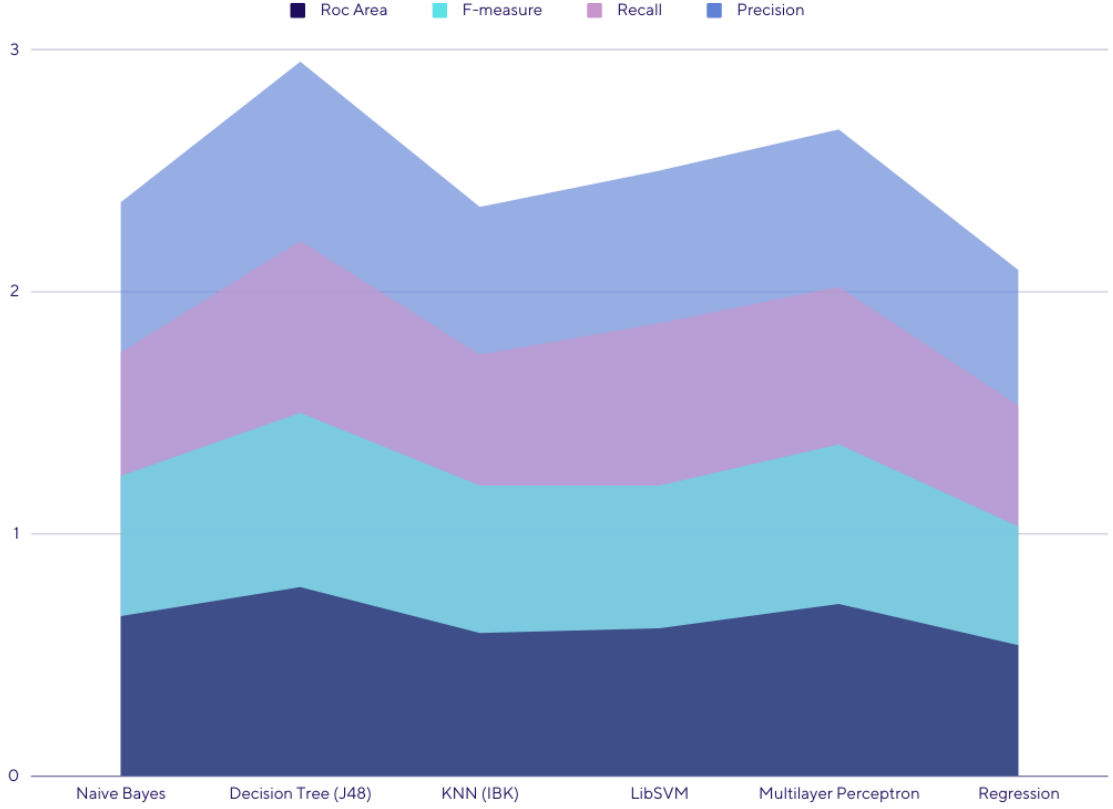
Aşağıda verilen Şekil 4.22’de her bir değişkenin sınıflara göre dağılımını ortaya koyan bir matris yer almaktadır. Dağılım matrisi olarak da adlandırılan bu matriste her bir verinin dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 4.22. Makine öğrenmesi ile oluşturulan dağılım matrisi

Çalışmada makine öğrenmesi için Naive Bayes, bir karar ağacı algoritması olan J48, K en yakın komşuluk algoritması olan ve IBK olarak da adlandırılan KNN, destek vektör makineleri algoritması olan LibSVM, çok katmanlı algılayıcı algoritması olan Multilayer Perceptron ve regresyon algoritmaları kullanılmıştır.

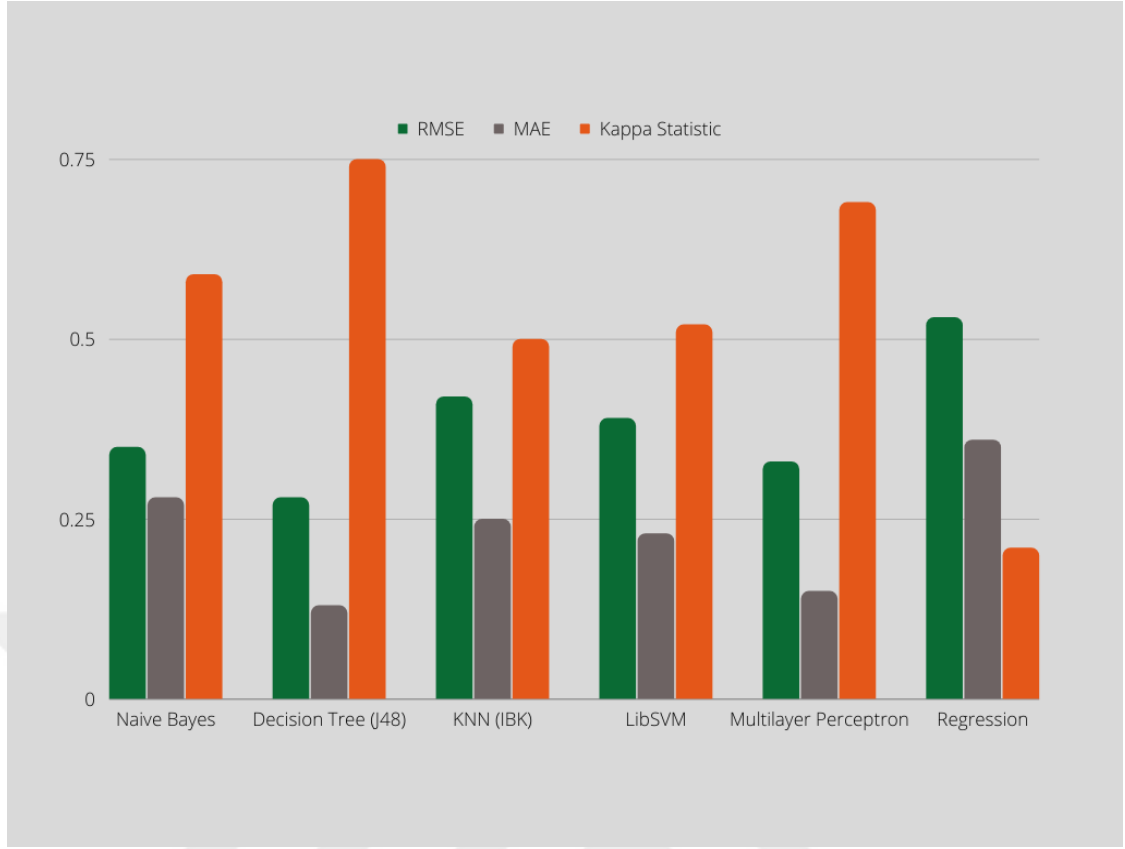
Bu 6 farklı algoritmadan mevcut veri setinde en yüksek doğruluk ve en düşük hata değerlerine sahip olan algoritma belirlenmiştir. Her bir algoritma için doğruluk değeri olarak Roc area, F-measure, Recall (duyarlılık) ve Precision (kesinlik) değerleri elde edilmiştir. Algoritmaların doğruluk değerleri aşağıda verilen Şekil 4.23'te gösterilmektedir.



Şekil 4.23. Algoritmaların doğruluk değerleri

Doğruluk değerleri incelendiğinde J48 algoritmasının en yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmektedir. İkinci sırada en yüksek doğruluğa sahip olan algoritma ise Multilayer Perceptron algoritmasıdır. En yüksek üçüncü doğruluk değerine sahip olan algoritma LibSVM olurken, Naive Bayes ve KNN algoritmalarının doğruluk değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Doğruluk değeri en düşük olan algoritma ise regresyon algoritmasıdır.

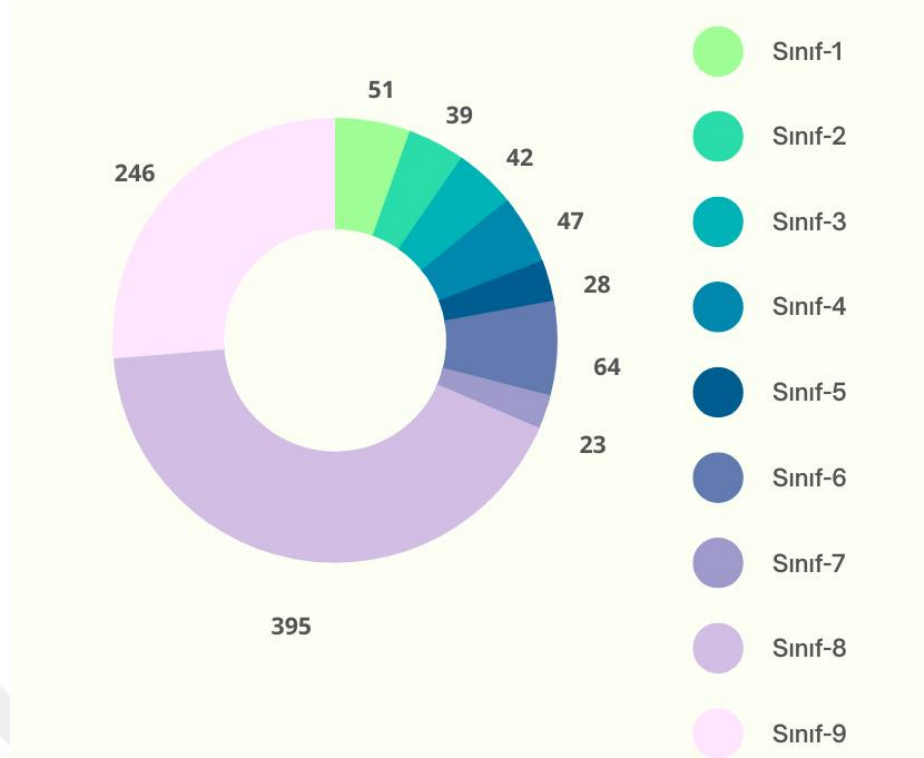
Algoritmaların doğruluk değerlerinin yanı sıra hata ölçütlerini de incelemek gerekmektedir. Makine öğrenmesinde temel olarak 3 farklı hata ölçütü kullanılırken bunlardan Kappa İstatistik değerinin yüksek olması algoritmanın başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Öte yandan OHKK ve OMH değerlerinin de düşük olması algoritmanın başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Algoritmaların hata ölçütleri aşağıda Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.24. Algoritmaların hata ölçüt değerleri

Algoritmaların hata ölçüt değerleri incelendiğinde doğruluk değerleri ile uyumlu olacak şekilde J48 algoritmasının Kappa İstatistik değeri yüksek OHKK ve OMH değerlerinin de diğer algoritmalara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre mevcut veri kümesi için en iyi performansa sahip olan algoritmanın J48 algoritması olduğu söylenebilmektedir. Bu algoritmanın tüm yaya yollarını sınıflandırması ise aşağıda verilen Şekil 4.25'te yer almaktadır.

Bu algoritmaya en yakın sonuçlar veren algoritmalar sırasıyla çok katmanlı algılayıcı ve naive bayes algoritmaları olurken regresyon algoritmasına ait başarısız sonuçlar bu algoritmanın mevcut veri kümesi için uygun olmadığını ortaya koymaktadır. Makine öğrenmesinde bir veri kümesinin analiz sürecinde herhangi bir algoritma çok başarılı sonuçlar verebilirken başka bir algoritma çok başarısız sonuçlar verebilmektedir. Bu sebeple mevcut veri kümesine uygun algoritmaların tercih edilmesi başarılı sonuçlar elde edebilmek adına oldukça önemlidir.



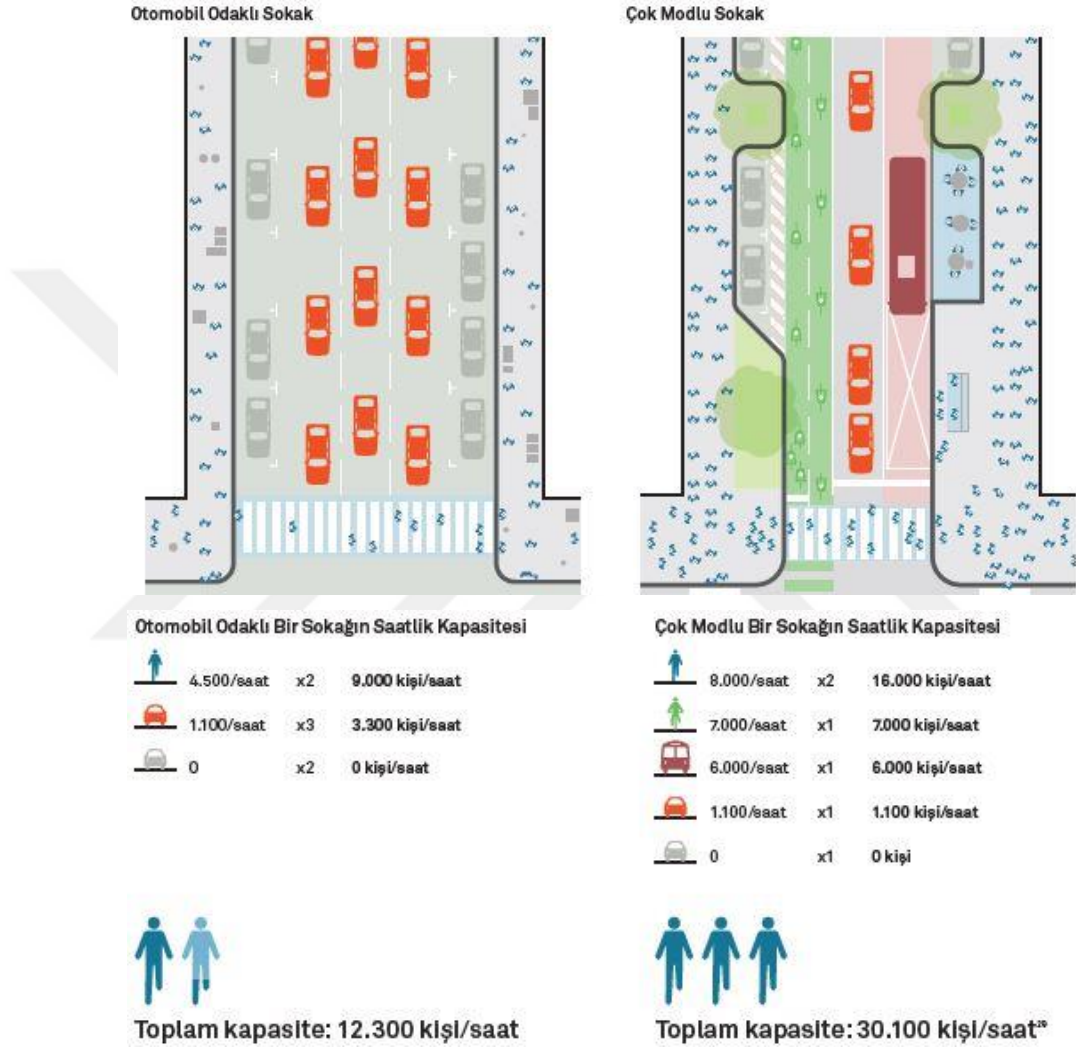
Şekil 4.25. J48 algoritmasına göre mevcut yaya yollarının sınıfsal dağılımı

Algoritmadan elde edilen sonuçlara göre toplam 246 yaya yolunda herhangi bir sorun yer almamaktadır. 395 yaya yolunda işaretlemenin tekrar yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. 64 adet yaya yolunda ise engelli rampasına ihtiyaç duyulmaktadır. En az değere sahip olan sınıf ise (23 adet) yükseltilmiş yaya geçidine ihtiyaç duyulan yaya yoludur. Toplamda 719 yaya yolu olmasına rağmen sınıflandırmada 935 adet yaya yolunun belirtilmiş olmasının sebebi ise bazı yaya yollarının aynı anda birden fazla sınıfta yer almasından kaynaklanmaktadır.

Yaya yollarının büyük bir kısmında herhangi bir sorun bulunması hem yaya güvenliğini tehlikeye atmakta hem de trafik akışını bozmaktadır. Bu durumlar beraberinde toplumsal huzursuzluk, insanlarda endişe ve gerilim hali gibi birçok faktöre dolaylı olarak sebep olmaktadır. Yerel yönetimlerin yaya yollarını belirli aralıklarla inceleyerek gerekli bakım ve onarım çalışmalarını yapmaları bu problemlerin önüne geçilmesi adına oldukça önemlidir.

Erzurum İli özelinde bu çalışma kapsamında belirlenen sorunlar için çeşitli çözüm önerileri bu aşamada sunulacaktır. Bunun için hem ülke geneli hem de evrensel standartlar dikkate alınacaktır.

İlk olarak değinilmesi gereken husus sokaklar tasarlanırken sadece otomobil odaklı olarak tasarlanması uzun vadede önemli problemleri beraberinde getirmektedir. Bu sebeple sokaklar tasarlanırken sürdürülebilir ulaşım planlamalarına uygun olarak çok modlu şekilde tasarlanmalıdır. Aşağıda Şekil 4.26’da otomobil odaklı ve çok modlu sokak arasındaki farklar görsel olarak ifade edilmiştir.

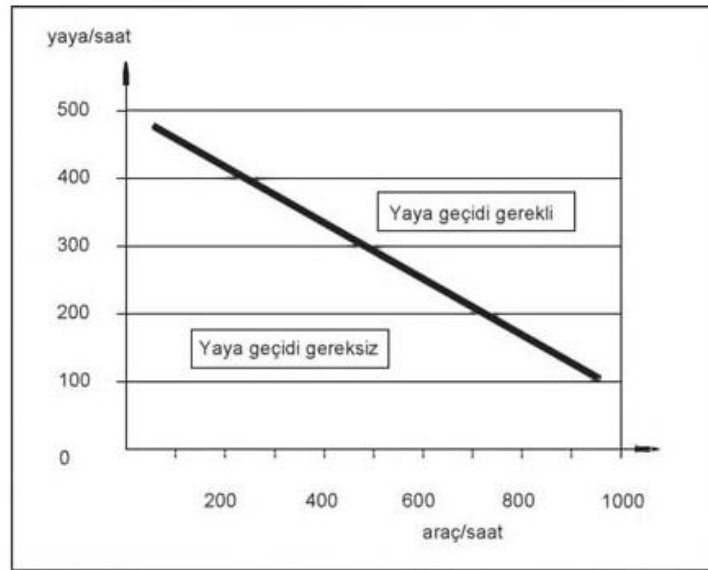


Şekil 4.26. Otomobil odaklı ve çok modlu sokak tasarımları arasındaki farklar

Şekilde de görüldüğü üzere otomobil odaklı tasarımlarda alternatif ulaşım kaynaklarına gerekli önem verilmemektedir. Bununla birlikte insanlar için sadece yaya yolları vardır ve bu yaya yolları sadece yaya geçişi için kullanılmaktadır. Fakat çok modlu sokak tasarımlarında kaldırımlar için ayrılan alanlarda peyzajlarla güçlendirilmiş yeşil alanların yanı sıra insanların oturması için tasarlanmış alanlar da yer almaktadır. Bununla birlikte mikro mobilité kullanıcılarının da güvenle yolculuk yapabilmesine olanak

sağlayan yollar tasarlanmıştır. Çok modlu sokak tasarımlarındaki bir diğer avantaj ise yayalar için daha fazla önem verildiğinden yaya taşıt çakışmaları azaltılmaktadır. Bu durum yaya ulaşımını artıran etmenler arasında yer almaktadır. Herhangi bir bölgede yayalar için daha güvenli ulaşım imkânı sağlanırsa insanların da yaya ulaşımını tercih etme oranı artar.

Yayalar için verimli ulaşım imkânlarının yanı sıra trafiğin mevcut akışının da göz önüne alınarak yaya yolları ile trafik akışının sürekli aksamaması da önlenmelidir. Erzurum İli özelinde düşünüldüğünde bazı bölgelerde yaya yoluna ihtiyaç varken yaya yolu yapılmadığı bazı bölgelerde ise yaya yollarının çok sık uygulandığı tespit edilmiştir. Bir bölgede yaya geçidinin gerekli olup olmadığına karar verirken tavsiye edilen yaya ve araç yoğunluğunu dikkate almak gerekmektedir. Aşağıda verilen Şekil 4.27’de bu ilişkiyi ortaya koyan grafik yer almaktadır.



Şekil 4.27. Yaya geçidinin gerekli olup olmadığına karar verirken tavsiye edilen ortalama değerler (Anonim 2020f).

Bu grafikteki durum ile birlikte görüş uzaklığı, hız limiti, yayalar içindeki yaşlı ve çocuk oranı vb. unsurların dikkate alınması gereklidir. Ayrıca,

- Hastane bölgesi içinden geçen bir yolda,
- Okul bölgelerinde,

- Taşıt yoğunluğunun en yoğun olduğu saatlerde yapılan 4 saatlik sayımlarda ağır taşıt adedinin 300'ü geçmesi durumunda,
- Yıl içindeki yaya ve araç sayısındaki değişmelerde 4 aylık değerler yaya geçidi yapılmasını gerektiriyorsa,
- 100 metrelik bir yol kesiminde 3 yıl içinde yaya kazalarının fazla olması durumunda (Kaza kara noktası olarak belirlenmişse), grafikte verilen araç ve yaya sayısal değerleri sağlanmasa dahi yaya geçidi yapılmalıdır (Anonim 2020f).

Erzurum ili genelinde yaya yollarında en sık rastlanan problemlerden biri de engelli rampalarına gereken önemin verilmemesidir. Engelli rampasının bulunmadığı yaya geçitlerinde hem engelliler hem de bebek arabası ile yolculuk yapan yayalar ciddi sorunlar yaşamaktadır. Yapılmış olan bazı engelli rampalarının da deformasyona uğradığı ve bu rampadan konforlu geçişin mümkün olmadığı da tespit edilmiştir. Bu sorun için yerel yönetimlerin tüm yaya yollarını gözden geçirerek engelli rampasının olmadığı kesimlere engelli rampası yapması, deformasyona uğrayan rampaları da onarması yaya ulaşımının verimli sağlanması adına oldukça önemlidir.

Kentte yaya yollarında tespit edilen bir diğer problem ise yaya yollarının çok sık yerleştirilmesidir. Her ne kadar bu durum yayalar için bir avantaj olarak gözüксе de kentlerin tasarlanmasında sadece bir kesimin avantajlarının gözetilmesi anlamlı olmamaktadır. Yaya yollarının sık yerleştirilmesi trafik akışının da sürekli bölünmesi anlamına gelmektedir. Bu açıdan hem yayaların hem de sürücülerin faydası gözetilerek 80 metreden daha yakın olan yaya yollarının gözden geçilmesi gereklidir. Kentte sık yerleştirilmiş olan yaya yollarında yayaların yaya yollarına riayet konusunda problem yaşadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde sürücüler de bu yol kesimlerinde sürekli dur-kalk yaptıkları için zamanla yaya yollarındaki yayalara yol verme konusundaki hassasiyetlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Yukarıda bahsedilen problemler kadar sık gözlemlenmese de yaya yolları için tespit edilen bir diğer önemli problem ise yaya yolu öncesinde hız kesici ihtiyacı olmasına rağmen bu uygulamanın yapılmamış olduğu yaya yollarıdır. Özellikle okul bölgelerindeki

yaya geçitlerinde sürücülerin hızlarını düşürmeleri için çeşitli önlemler alınmaktadır. Bu önlemler arasında tabelalar, yol yüzeyine işlenmiş olan okul geçidi ibareleri veya hız kesiciler yer almaktadır. Bunlardan en az birinin uygulanması okul geçidinden geçen yayaların güvenliği için oldukça gereklidir. Ayrıca yol boyuna eğiminin fazla olduğu ve yol genişliğinin yüksek hız yapmaya müsait olduğu yollarda yer alan bazı yaya yollarında da yaya güvenliğin temin edilebilmesi için hız kesicilerin uygulanabilmesi faydalı olmaktadır.

Taşıt hızlarının yüksek olduğu yol kesimlerinde uygulanmakta olan hemzemin yaya geçitleri yayaların can güvenliği için ciddi bir tehdit oluşturabilmektedir. Özellikle bu yol kesimlerinde ağır tonajlı taşıt hareketliliğinin olması ve trafik denetimlerinin yetersiz olması yaya can güvenliğini tehlikeye atan diğer önemli faktörlerdir. Bu yol kesimlerine genelde kentin giriş-çıkış bölgelerinde, sanayi bölgelerinde ve ekspres yol hizmetinin sunulduğu bölgelerde rastlanmaktadır.

Erzurum ili özelinde belirtilen bu yol kesimlerinden bazılarında yaya üst geçit uygulaması yapılırken bazılarında hemzemin geçit uygulaması yapılmaktadır. Nitekim son yıllarda kentte meydana gelen yaya ölümlerinin büyük bir kısmı bu yol kesimlerinde meydana gelmektedir. Öte yandan yaya üst geçidinin olduğu kesimlerde orta refüjden yaya geçişini önlemek amacıyla engelleyici yapılar kullanılmalıdır. Bu engeller uygulanmadığı takdirde de yayaların üst geçit kullanımına riayet oranı azalmaktadır.

Bahsedilen duruma örnek olarak; Erzurum ilinde Çat yolu olarak ifade edilen yol güzergâhında çeşitli noktalarda üst geçit uygulaması mevcuttur. Fakat orta refüjde herhangi bir engel bulunmadığı için yayalar yol yüzeyinden karşıya geçmeye daha meyilli oldukları gözlemlenmektedir. Benzer durumlarla Atatürk Üniversitesi kavşağında da karşılaşılmaktadır. Bu kavşakta yer alan üst geçit ise çok dolambaçlı olduğu için yayaların çok büyük bir kısmı üst geçidi kullanmayarak ana yol üzerinden geçiş sağlamaktadır. Bu da yaya içerikil kazaların sıkça yaşanmasına neden olmaktadır. Bu sebeple yapılan üst geçit uygulamalarında da üst geçitlerin kullanışlı olması, tekerlekli veya bebek arabalı yayaların da varlığı göz önünde bulundurularak asansör veya yürüyen merdiven özelliğine sahip üst geçitler uygulanmalıdır.

Kentte yer alan Tortum yolu ve Pasinler yolu olarak adlandırılan yol kesimleri de taşıt hızlarının yüksek olduğu ve ağır taşıt yoğunluğunun da fazla olduğu yol kesimlerinde ise üst geçit uygulaması neredeyse yok denecek kadar azdır. Bu yol kesimlerinde de yaya yaralanma ve ölümlerine sıkça rastlanmaktadır. Bu yol kesimlerinde de hemzemin geçit yerine belirli aralıklarla üst geçit uygulanması yayaların can güvenliği açısından oldukça önemlidir.

Erzurum İlinde yaya yolları için tespit edilen bir diğer problem ise özellikle taşıt hareketliliğinin fazla olduğu kavşak noktalarında yer alan yaya yollarından yaya geçişlerinin oldukça zor olmasıdır. Bazı kavşakların ilk tasarlandıkları dönemlerde taşıt yoğunluğu düşük iken zamanla o bölgede oluşan hareketlilik sebebiyle kavşağın oldukça aktif olduğu ve yaya yollarından geçişin ise güvenli bir şekilde sağlanmadığı bölgelerde sinyalizasyon sistemlerinin kullanılması yaya güvenliği açısından faydalı olacaktır.

Kentin bazı kesimlerinde yol genişliğinin fazla olduğu, yol kenarı parklanmanın nizami şekilde yapılmadığı ve yaya hareketliliğinin de fazla olduğu bölgeler yer almaktadır. Bu bölgelerde belirli aralıklarla yaya geçişleri için daralan yol uygulaması kullanılması yaya güvenliği için önemli avantajlar sağlayacağı ön görülmektedir. Bu uygulama için örnek olarak Aziziye İlçesinde yer alan İhsan Doğramacı Bulvarı Üzerinde bu uygulamanın yapılması hem taşıt parklanmalarının daha nizami şekilde yapılmasına hem de yayaların güvenli geçişine olanak sağlayacaktır.

Kentte yaya yolları için tespit edilen başka bir problem ise yükseltilmiş yaya geçidine ihtiyaç duyulan kesimlerin olmasıdır. Bu uygulamaya son yıllarda özellikle üniversitelerin içlerinde sıkça rastlanmaktadır. Erzurum İlinde de daha önce Atatürk Üniversitesinde kullanılan yükseltilmiş yaya geçitlerinin sayısı 2022 yılı içerisinde azaltılmıştır. Daha sonra bu uygulama Yakutiye İlçesinde yer alan Azerbaycan Bulvarı üzerinde çeşitli noktalarda yapılmış ve yayalar tarafından memnuniyet ile karşılanmıştır. Kentte yükseltilmiş yaya geçidi uygulamasına ihtiyaç duyulan yol kesimlerinde bu uygulamanın artırılması yayalar için oldukça faydalı olacaktır. Bu çalışmada da özellikle Yakutiye İlçesinde yer alan Hilalkent bölgesinde yükseltilmiş yaya geçidi uygulamasına ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir.

Erzurum İli için tespit edilen yaya yolları ile ilgili problemler ve sunulan çözüm önerileri genel hataları ile ifade edilmiştir. Yukarıda bahsedilen problemler tüm kentlerde görülebileceği gibi bunlara ilave edilebilecek başka problemler de söz konusu olabilmektedir. Tüm bu problemlerin üstesinden gelebilmek için öncelikle yerel yönetimlerin yaya güvenliği için mevzuatlarda yer alan kriterleri de göz önünde bulundurarak yaya yolu tasarımlarını verimli şekilde yapması oldukça önemlidir. Öte yandan gerek sürücülerin gerek ise yayaların yaya yolları konusunda bilinçli davranması da yukarıda bahsedilen problemlerin azaltılabilmesi adına faydalı olacaktır.

4.5. Yaya Güvenliğinin Ele Alınması

Bu başlık altında yaya içerikli trafik kazaları ele alınırken birden fazla türde inceleme yapılmıştır. Bir önceki başlıkta herhangi bir sinyalizasyon bulunmayan yaya yollarını kullanan yayalar için güvenliği artırıcı tedbirlerden bahsedilmişti. Bu aşamada ise ilk olarak sinyalize kavşaklarda meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı yaya kazaları ele alınmıştır. Özellikle kaza sebepleri birçok faktör ile ele alınarak yapay sinir ağları ile inceleme yapılmıştır. Daha sonra ise yine sinyalize kavşaklarda tekerlekli sandalyeli bireylerin güvenli geçişi için tasarlanmış olan sistem ifade edilmiştir. Bu kısımda ise derin öğrenme ve görüntü işleme yöntemlerinden yararlanılmıştır.

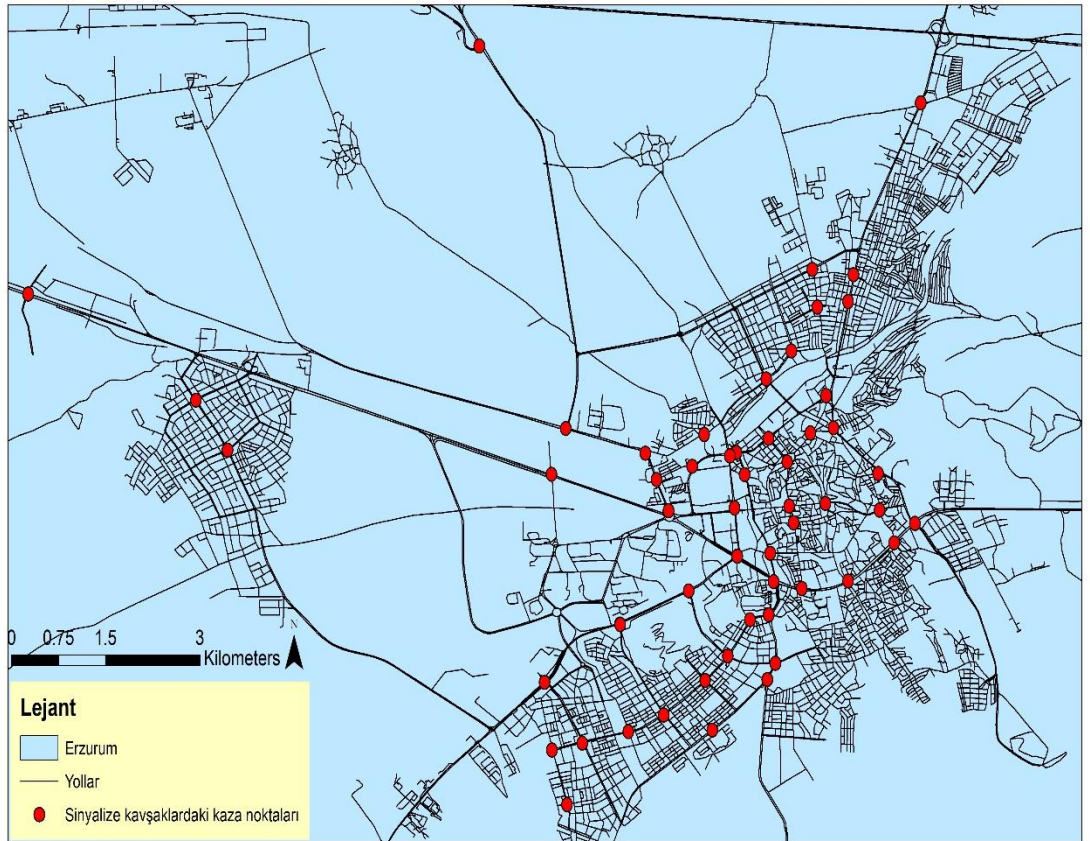
4.5.1. Sinyalize kavşaklardaki yaya yollarında meydana gelen yaya ölümlü veya yaralanmalı kazaların ele alınması

Erzurum İlinde son yıllarda meydana gelen kazalar istatistiksel olarak ele alındığında sinyalize kavşak noktalarında meydana gelen yaya ölüm ve yaralanmalarının diğer yerlere kıyasla çok daha fazla olduğu görülmektedir. Erzurum iline benzer şekilde dünyada birçok bölgede bu ilişkinin ortaya konduğu yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu tür kazalar; sürücü ile yaya arasındaki etkileşim, aşırı yaya sayısı, yetersiz yaya tesisleri, kural dışı geçiş davranışı gibi faktörlerle ifade edilmiştir (Mukherjee and Mitra 2019).

Sinyalize kavşaklarda meydana gelen yaya ölüm ve yaralanmalarını inceleyen çalışmalarda yapay sinir ağlarının başarılı sonuçlar elde ettiği ortaya konmuştur. Çünkü

bu kazalara etki eden birçok içsel ve dışsal faktör yer almaktadır. Bu faktörler arasındaki bağlantıyı kurmak ve kazaları değerlendirmek için geniş çapta hesaplama özelliğine sahip bir yönteme ihtiyaç duyulmaktadır (Pande and Abdel-Aty 2006; Blinova 2007; Akgüngör ve Doğan 2009; Toran Pour et al. 2017; Mokhtarimousavi et al. 2020; Zhang et al. 2019; Zhang et al. 2020b; Kamboozia et al. 2020).

Çalışmada son 4 yılda Erzurum ilindeki sinyalize kavşak noktalarında meydana gelen, yaya ölüm veya yaralanması ile sonuçlanan toplam 197 kaza incelenmiştir. Bu kazaların ArcGIS ile noktasal analizi yapıldığında 57 farklı kavşak noktasında meydana gelmiş olduğu ve bazı kavşak noktalarında sadece 1 kaza meydana gelmişken bazı kavşak noktalarında ise 12 ye varan kaza sayısı meydana gelmiştir. Meydana gelen kazaların olduğu kavşak noktaları aşağıda verilen Şekil 4.28’de gösterilmektedir.



Şekil 4.28. Erzurum İlinde son yollarda meydana gelen ölümlü veya yaralanmalı yaya kazalarının olduğu kavşak noktaları.

Bu kazalarda yayalarda oluşan hasar şiddetine göre 3 sınıf oluşturulmuştur. İlk sınıfta ağır dereceli yaralanma ve ölüm, ikinci sınıfta orta dereceli yaralanma ve üçüncü

sınıfta ise hafif dereceli yaralanmalı kazalar ele alınmıştır. Hafif dereceli yaralanmada herhangi bir hastane hizmeti gerektirmeyen kazaları ifade etmektedir. Orta dereceli yaralanmada ise herhangi önemli bir cerrahi müdahale gerektirmeyen küçük kesik, morluk, burkulma ve kısa süreli şok etkisi gibi durumları içeren kazaları ifade etmektedir. Ağır dereceli yaralanmada ise ciddi cerrahi müdahaleye ihtiyaç duyulan veya ölümle sonuçlanan kazaları ifade etmektedir.

Her bir kaza raporunda; kazanın yeri, yayanın yaşı, yayanın cinsiyeti, yaya yoğunluğu, kavşak türü, sosyo-demografik özellikler, trafik sıkışıklığı düzeyi, hız sınırı, hava durumu, kazanın saati, hafta içi/hafta sonu durumu, yol yüzeyinin yapısı, araç yoğunluğu, sürücü veya yayanın alkol durumu, otobüs durağının varlığı, çarpışma şiddeti, yaralı sayısı, şerit sayısı, alt/üst geçit varlığı gibi ayrıntılı bilgiler yer almaktadır. Çalışmada belirlenen temel değişkenler şunlardır:

- Yayanın yaşı; genç yaya ($0 \leq \text{yaş} \leq 19$), orta yaşlı yaya ($20 \leq \text{yaş} \leq 64$) ve yaşlı yaya ($\text{yaş} \geq 65$) olarak ifade edilmiştir.
- Yayanın cinsiyeti; erkek ve kadın olarak ifade edilmiştir.
- Yayanın sosyo-demografik özellikleri; bu değişken eğitim seviyesine göre 4 kategoriye ayrılmıştır. Herhangi bir eğitim almayan, ilkokul eğitimi alan, lise eğitimi alan, lisans veya üzeri eğitim alan yayalar olarak belirlenmiştir.
- Çarpan taşıt ise; otomobil/motosiklet/kamyonet, otobüs ve minibüs/kamyon olarak 3 farklı sınıfa ayrılmıştır.
- Haftanın günleri olarak; hafta içi ve hafta sonu olarak ikiye ayrılmıştır.
- Günün saatleri olarak ise; 6.00-12.00 (sabah), 12.00-18.00 (öğleden sonra), 18.00-24.00 (akşam) olarak üçe ayrılmış olup 24.00-6.00 arasında sadece 2 kaza olduğu için sabah verileriyle birleştirilmiştir.

- Hava koşulları; normal, yağmurlu ve karlı olarak 3 kategoriye ayrılmıştır.
- Yol yüzey durumu ise; kuru, ıslak ve buzlu olarak 3 kategoriye ayrılmıştır.
- Kazanın meydana geldiği bölgede otobüs durağının bulunması ve bulunmaması durumu diye ikiye ayrılmıştır.
- Trafik ve yaya yoğunlukları 4 kategoriye ayrılmıştır: çok düşük, düşük, orta ve yüksek.
- Yoldaki şerit sayısı; 2, 3, 4 ve 5 şerit olarak ayrılmış olup, yolun bölünmüş veya bölünmemiş olarak olması 2 ye ayrılmıştır.
- Kazalar şehir içinde meydana geldiği için hız sınırının genellikle 50 km/sa olması sebebiyle bu durum dikkate alınmamıştır.
- Kazalarda yaya ve sürücü için alkol olması sadece 2 vakada bulunduğu için bu durum dikkate alınmamıştır.

Trafik kaza raporlarından elde edilen verilerin bir kısmı kategorik bir kısmı ise numeriktir. Kategorik verilerin yapay sinir ağlarında analiz edilebilmesi için istatistiksel büyüklüğe dönüştürülmeleri gerekmektedir. Bunun için kategorik veriler sayısal kodlama yöntemiyle dönüştürülmüştür. Örnek olarak hava durumu parametresi için belirlenen üç farklı değişken normal, yağmurlu ve karlı olması kategorik verilerdir. Bu veriler sırasıyla [1 0 0], [0 1 0] ve [0 0 1] olacak şekilde sayısal ifadelerle dönüştürülmüştür.

Meydana gelen yaya kazalarındaki bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi değerlendirebilmek için Spearman Rank Korelasyonu kullanılmıştır. Bu korelasyon sonuçlarına göre yaya yoğunluğu, sosyo-demografik özellikler, trafik sıklık düzeyi, taşıt türü ve otobüs durağının varlığı olmak üzere beş değişkenin yüksek korelasyona sahip olduğu görülmüştür. Çalışmada kullanılan özellikler ve buna bağlı parametreler aşağıda Çizelge 4.5'te verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.5. Çalışmada kullanılan değişkenler

Özellik	Parametreler	Örnek sayısı	Veri türü	Min.	Mak.	Ort.	Std. sapma
Yaya karakteristikleri	Yaş	197	Kategorik	0	1	0,143	0,350
	Cinsiyet	197	Kategorik	0	1	0,500	0,501
	Eğitim seviyesi	197	Kategorik	0	1	0,250	0,433
Trafik karakteristikleri	Yaya yoğunluğu	197	Kategorik	0	1	0,250	0,433
	Trafik sıklığı	197	Kategorik	0	1	0,333	0,472
	Taşıt türü	197	Kategorik	0	1	0,250	0,433
Yol özellikleri ve tesisleri	Otobüs durağı varlığı	197	Kategorik	0	1	0,500	0,501
	Yol yüzeyinin durumu	197	Kategorik	0	1	0,333	0,472
	Yol genişliği	197	Nümerik	7	30	11,075	2,768
	Şerit sayısı	197	Nümerik	2	7	3,378	0,870
Diğer	Günün zaman dilimi	197	Kategorik	0	1	0,333	0,472
	Hafta içi / hafta sonu durumu	197	Kategorik	0	1	0,500	0,501
	Hava koşulları	197	Kategorik	0	1	0,333	0,472
Güvenlik performansı	Kaza	197	Kategorik	0	1	0,250	0,433

Yüksek korelasyona sahip beş değişken ile diğer değişkenler sırasıyla eklenerek dört bağımsız değişken grubu elde edilmiştir. Elde edilen her bir değişken grubu birer model olarak ifade edilmektedir. Oluşturulan bu dört farklı model aşağıda Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Oluşturulan modeller ve bağımsız değişkenler

Modeller	Bağımsız değişkenler
----------	----------------------

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

M ₁	1) Yaya yoğunluğu, 2) sosyo-demografik özellikler, 3) trafik sıkışıklık düzeyi, 4) taşıt türü, 5) otobüs durağı varlığı, 6) yaya yaşı, 7) yaya cinsiyeti
M ₂	1) Yaya yoğunluğu, 2) sosyo-demografik özellikler, 3) trafik sıkışıklık düzeyi, 4) taşıt türü, 5) otobüs durağı varlığı, 6) hava durumu, 7) yol koşulları
M ₃	1) Yaya yoğunluğu, 2) sosyo-demografik özellikler, 3) trafik sıkışıklık düzeyi, 4) taşıt türü, 5) otobüs durağı varlığı, 6) şerit sayısı, 7) yol genişliği
M ₄	1) Yaya yoğunluğu, 2) sosyo-demografik özellikler, 3) trafik sıkışıklık düzeyi, 4) taşıt türü, 5) otobüs durağı varlığı, 6) kazanın meydana geldiği saat aralığı, 7) hafta içi/hafta sonu durumu

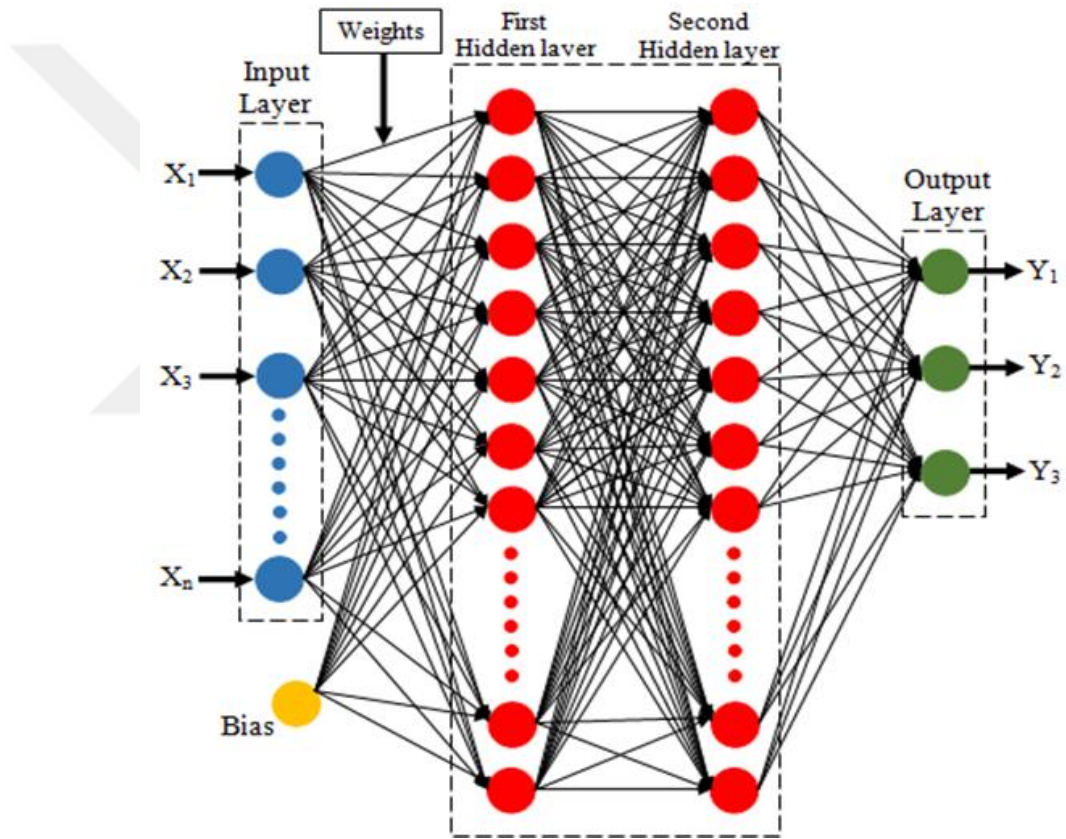
Sinyalize kavşaklarda meydana gelen yaya-taşıtlı kazalarının değerlendirilebilmesine yönelik oluşturulan bu dört farklı modelde; giriş katmanında yedi nöron yer almaktadır. Çıkış katmanında ise yaya yaralanma durumları için daha önce belirlenen hafif, orta ve ağır yaralanmalar olarak 3 nöron yer almaktadır. MATLAB'ın YSA araç kutusunda bu giriş ve çıkış katmanları ile birlikte iki gizli katman içeren bir ağ yapısı oluşturulmuştur.

Kapsamlı bir ağ oluşturmak için trainlm, trainbr, trainbfg, trainrp, trainscg, traincgb, traincgf, traincgp, trainoss, traingdx, traingdm ve traingd dâhil olmak üzere ileri beslemeli sinir ağı boyunca tüm eğitim fonksiyonları kullanılmıştır. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında, tek yönlü sinyal akışı mevcuttur. Bu ağ yapısında hücreler katmanlar halinde düzenlenmekte olup bir katmandaki hücre çıkışı bir sonraki katmana giriş olarak katılmaktadır. Çalışmada aktivasyon fonksiyonu olarak gizli katmanlarda tanjant hiperbolik ve tansig, çıkış katmanı için linear ve purelin aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır.

En yüksek performanslı ağı elde etmek için en iyi nöron sayısını belirlemek gerekmektedir. En iyi nöron sayısını belirlemek için bir döngü oluşturulmuştur. Bu döngüde 4 ile 15 nöronluk aralıklar seçilmiştir. Yapay sinir ağlarında, bias (sapma) terimi, nöronların çıktı değerlerini etkileyen bir parametredir. Bias, bir nöronun çıktı değerine eklenen sabit bir değerdir. Bu değer, nöronun uyarılması veya uyarılmaması konusunda

etkili olabilmektedir.

Bias değeri doğru bir şekilde ayarlanmazsa, ağırlık çıktısı hatalı olabilir ve eğitim verileri üzerinde iyi sonuçlar elde edilemeyebilir. Bu nedenle, bias değerleri genellikle öğrenme sürecinde optimize edilir. Bu değer aktivasyon fonksiyonunun sağa veya sola ötelenmesini sağlamaktadır. Çıktı değerini kontrol ederek sürecin devam etmesini sağlamaktadır. Sabit bir değer olduğu için girdiler sıfır olsa bile süreç devam edebilmektedir. Çalışma için oluşturulan iki gizli katman içeren YSA model yapısı aşağıda Şekil 4.29’da verilmiştir.



Şekil 4.29. Çalışma için oluşturulan YSA modeli

Nöronların her birinden geçen çıktılar genellikle bir aktivasyon fonksiyonu aracılığıyla aktarılmaktadır. Daha sonra, büyüklük belirli ağırlıklarla çarpılır ve çıkış katmanını nöronuna aktarılır. Sonuçta, model çıktıları ile gerçek değerler değerlendirilerek hatalar belirlenir. Bias ve ağırlıklar, yinelemeye ilişkin verilen öğrenme algoritmasına göre güncellenir. Yineleme prosedürü, model istenen dereceye yakınsayana veya hedeflenen yineleme miktarına ulaşılan kadar devam eder. Kaza verileri eğitim (%70),

test (%15) ve doğrulama (%15) olarak rastgele üç kategoriye ayrılmıştır. Belirlenen dört bağımsız modelden ilki olan yaya yoğunluğu (X1), eğitim düzeyi (X2), trafik sıkışıklığı (X3), araç türü (X4), otobüs durağının varlığı (X5), yaş (X6), cinsiyet (X7) en iyi performansa ulaşmıştır.

Ayrıca 12 eğitim fonksiyonu içinden gizli katmanlarda 8 ve 10 nöronlu trainlm fonksiyonuna sahip YSA'nın en iyi performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Üç çıkış katmanı olduğundan her bir çıkış katmanı için (hafif, orta ve ağır yaralanma) ayrı ayrı OHKK, OMH ve R^2 değeri hesaplanmıştır. Ağır yaralanmalar için en düşük OHKK ve OMH değerleri sırasıyla 0,18 ve 0,03 civarında çıkmıştır. Orta ve hafif yaralanmalar için ise OHKK ve OMH değerleri sırasıyla yaklaşık olarak 0,26 ve 0,11 olarak hesaplanmıştır. Bu model için ağır, orta ve hafif yaralanmalar için R^2 değeri sırasıyla 0,846, 0,689 ve 0,723 olarak hesaplanmıştır. Her eğitim fonksiyonunun en iyi iki sonucu aşağıda Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Tüm eğitim fonksiyonları için performans parametreleri

Eğitim fonk.	Gizli katm. nöronlar		OMH	R^2	R	OMH	R^2	R	OMH	R^2	R
	İlk gizli katm.	İkinci gizli katm.									
trainlm	4	8	0,110	0,563	0,750	0,230	0,270	0,520	0,280	0,270	0,520
	8	10	0,030	0,846	0,920	0,110	0,689	0,830	0,110	0,723	0,850
trainbr	10	12	0,232	0,152	0,390	0,350	0,009	0,092	0,386	0,013	0,114
	11	13	0,254	0,114	0,337	0,322	0,077	0,278	0,360	0,053	0,230
trainbfg	5	10	0,110	0,548	0,740	0,180	0,476	0,690	0,250	0,314	0,560
	6	9	0,190	0,073	0,270	0,340	0,048	0,220	0,390	0,000	0,090
trainrp	4	7	0,200	0,372	0,610	0,310	0,137	0,370	0,500	0,096	0,310
	12	15	0,190	0,336	0,580	0,300	0,137	0,370	0,380	0,023	0,150
trainscg	11	13	0,170	0,384	0,620	0,250	0,240	0,490	0,320	0,194	0,440
	13	15	0,148	0,462	0,680	0,229	0,329	0,574	0,311	0,258	0,508

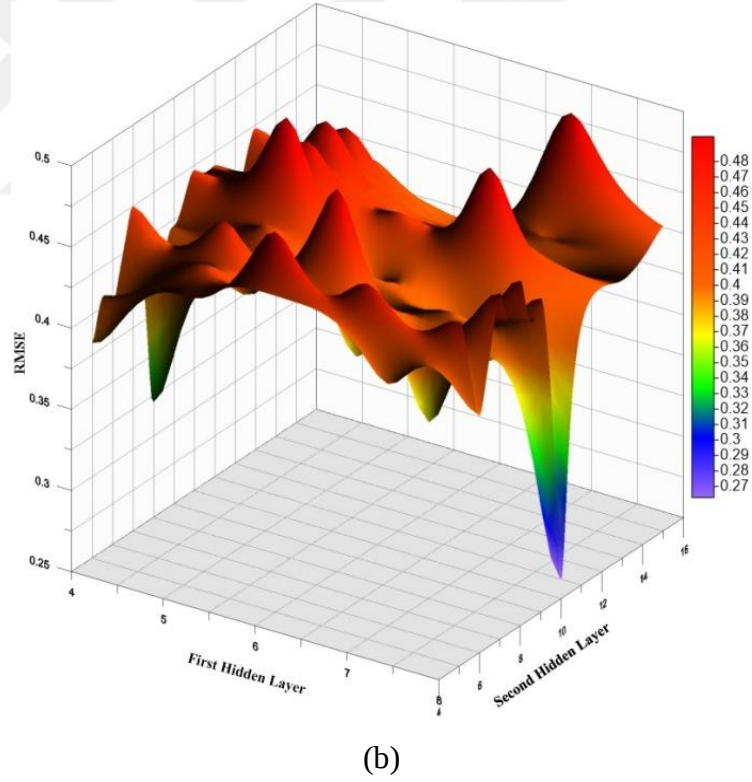
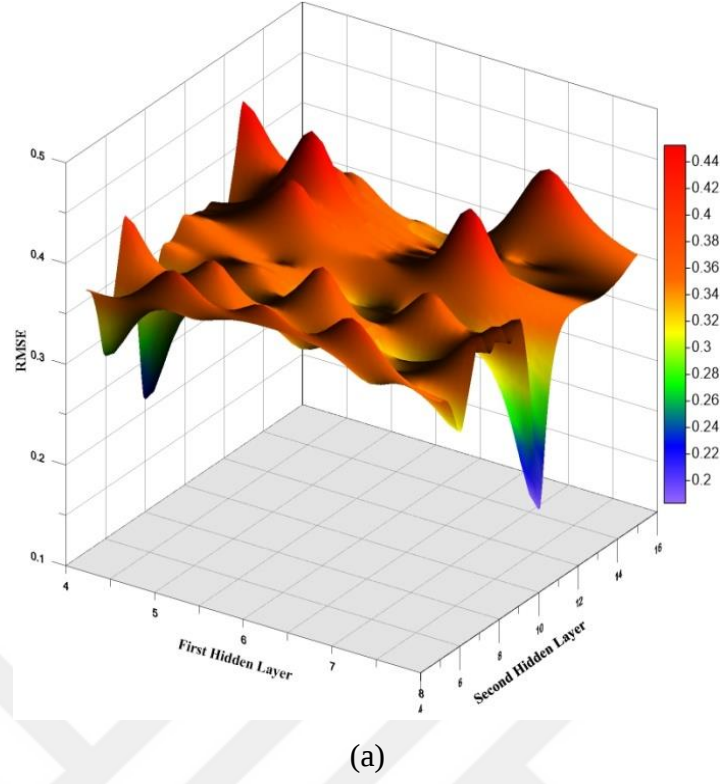
Çizelge 4.7. (devam)

traincgb	8	11	0,148	0,540	0,735	0,266	0,273	0,522	0,322	0,228	0,477
----------	---	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

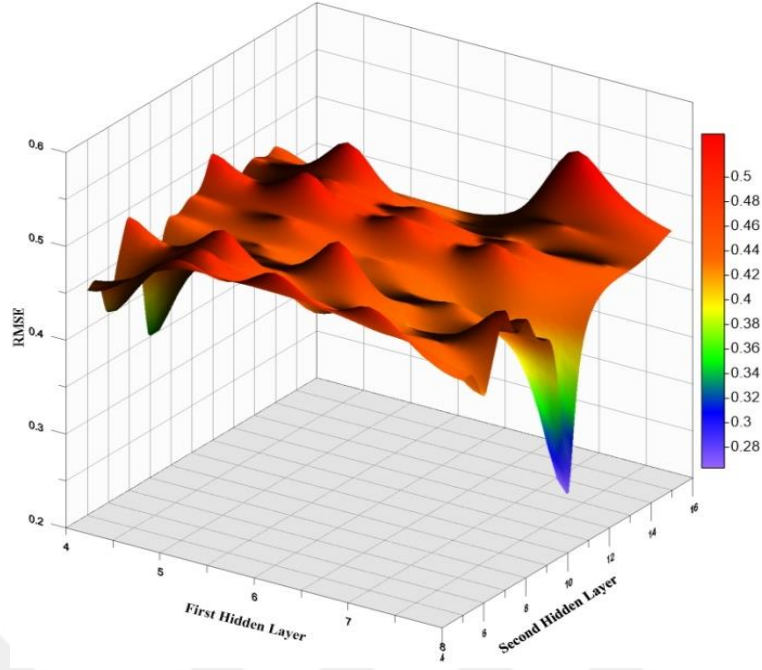
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

	10	12	0,180	0,386	0,621	0,278	0,223	0,472	0,346	0,158	0,398
	12	14	0,177	0,442	0,665	0,263	0,258	0,508	0,351	0,076	0,275
traincgf	7	9	0,248	0,135	0,367	0,315	0,064	0,254	0,366	0,056	0,236
	9	12	0,233	0,199	0,446	0,311	0,104	0,322	0,348	0,096	0,310
traincgp	9	12	0,149	0,467	0,683	0,278	0,206	0,454	0,364	0,139	0,373
	13	15	0,194	0,356	0,596	0,246	0,253	0,503	0,348	0,128	0,357
trainoss	4	8	0,236	0,239	0,489	0,301	0,118	0,344	0,320	0,215	0,464
	5	9	0,190	0,368	0,607	0,235	0,248	0,498	0,370	0,162	0,403
traingdx	9	14	0,157	0,415	0,644	0,272	0,172	0,414	0,352	0,093	0,306
	11	13	0,153	0,459	0,678	0,231	0,335	0,579	0,305	0,291	0,539
traingdm	10	12	0,226	0,084	0,289	0,339	0,017	0,131	0,365	0,054	0,233
	13	15	0,240	0,148	0,385	0,302	0,098	0,313	0,353	0,071	0,266
traingd	5	9	0,264	0,106	0,325	0,318	0,037	0,194	0,376	0,018	0,135
	7	11	0,228	0,175	0,418	0,333	0,064	0,253	0,376	0,018	0,134

Sonuçlardan da görüldüğü üzere en iyi OHKK değerlerinin gizli katmanında 8 ve 10 nörona sahip ağda olduğu belirlenmiştir. En iyi sonuç veren eğitim fonksiyonu trainlm olduğu için bu fonksiyona göre ağır, orta ve hafif yaralanmalar için tüm OHKK değerleri Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Bu YSA modeli içim ağırlık ve bias değerleri ise Çizelge 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.30. Trainlm fonksiyonuna göre (a) ağır, (b) orta ve (c) hafif dereceli yaralanmalar için OHKK değerleri.



(c)

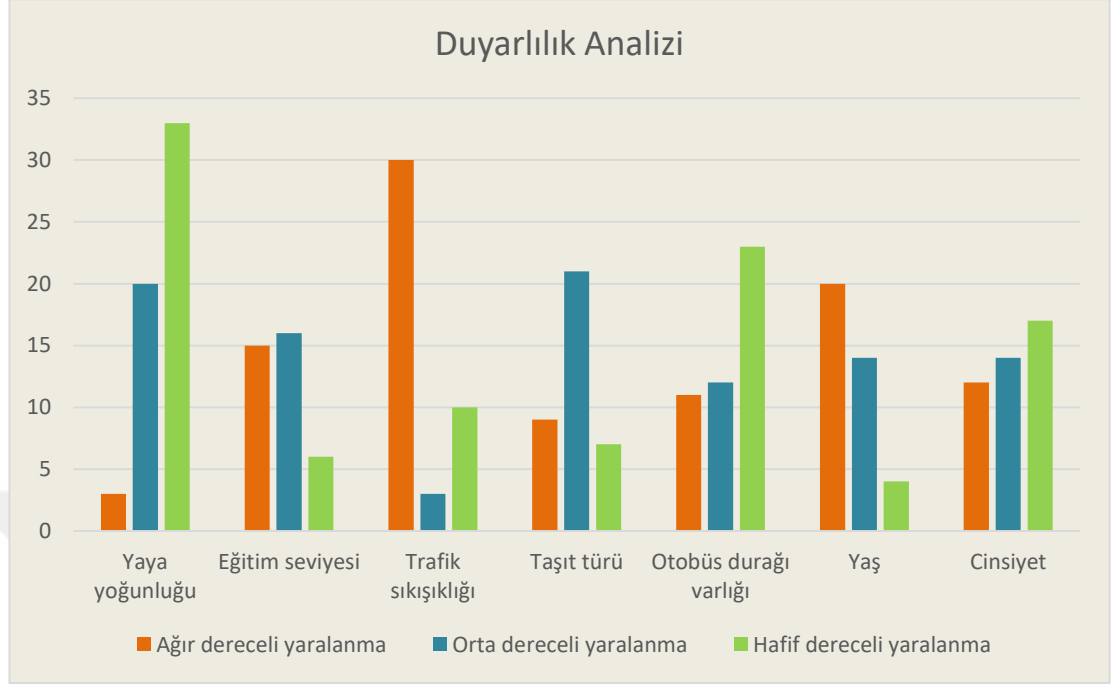
Şekil 4.30. (devam)

Çizelge 4.8. Seçilen YSA modeli için ağırlık ve bias değerleri

Çıktı	Ağırlıklar							Bias değeri
	Yaya Yoğunluğu	Eğitim Seviyesi	Trafik Sıkışıklığı	Taşıt Durumu	Otobüs Durağı Varlığı	Yaş	Cinsiyet	
Ağır yaralı	-0,267	0,047	0,357	-0,066	-0,023	0,156	0,0004	-0,261
Orta yaralı	0,103	0,033	-0,318	0,140	-0,050	-0,018	-0,021	0,671
Hafif yaralı	0,165	-0,080	-0,044	-0,073	0,072	-0,140	0,021	0,598

Model çıktısının girdi parametrelerindeki varyasyonlardan ne kadar önemli ölçüde etkilenebileceğini görebilmek için duyarlılık analizlerinden yararlanılmaktadır. Mevcut model için duyarlılık analizi yapıldığında yedi parametrenin de yaya-araç kazalarının sıklığı ile önemli bir bağlantısı olduğu ortaya konmuştur. Ağır yaralanmalarda; trafik sıkışıklığının en fazla etkiye sahip olduğu ancak yaya yoğunluğunun en düşük etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Yaya yaşının ikinci en önemli parametre olduğu ortaya çıkmıştır. Hafif yaralanmalarda ise yaya yoğunluğunun en fazla etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Mevcut model için duyarlılık analizi

sonuçları aşağıda Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.31. Belirlenen model için yapılan duyarlılık analizi sonuçları

Sonuçların yorumlanması gerekirse ağır dereceli yaralanmalarda en etkili faktör olan trafik sıkışıklığında, sürücülerin stres seviyelerinin arttığı ve tahammül seviyelerinin azaldığı bilinmektedir. Bu durum sürücülerin sinirli tavırlar sergilemesine ve trafik kurallarını ihlaline neden olabilmektedir. Böylece taşıtlar için kırmızı ışık yanan bir kavşak bölgesinde sürücünün kurallara uymayarak sürüşe devam etmesi; yayalar için yeşil ışık yanması sebebiyle karşıya geçmeye çalışan bir yayaya çarpma durumuna sebep olabilmektedir. Bu tür kazalara sıkça rastlanılması ağır dereceli yaralanmalar ile trafik sıkışıklığının ilişkisini açıklamaktadır. Ayrıca kural ihlali yapan sürücüler genellikle trafik sıkışıklığının sebep olduğu olumsuz psikolojik durumlardan ötürü kavşak noktalarında durmak veya hızını azaltmak yerine trafik sıkışıklığından bir an önce kurtulmak amacıyla hızını artırdığı da görülmektedir. Bu da yüksek hızla yayaya çarpma ve neticesinde ölüm veya ağır dereceli yaralanmalara sebep olabilmektedir.

Yine ağır dereceli yaralanmalarda yaya yoğunluğunun çok etkili bir faktör olmadığı ortaya konmuştur. Bu durum için ise; yaya yoğunluğunun fazla olduğu kavşaklar genellikle şehrin en merkezi alanları olduğu ve önemli yaya potansiyeline sahip hizmet alanlarının bulunduğu yerler olması sebebiyle bu bölgelerde denetimler daha sık

olması sebebiyle sürücülerin taşıtlarını daha yavaş kullandıkları ve kurallara daha çok riayet ettikleri yorumu yapılabilir.

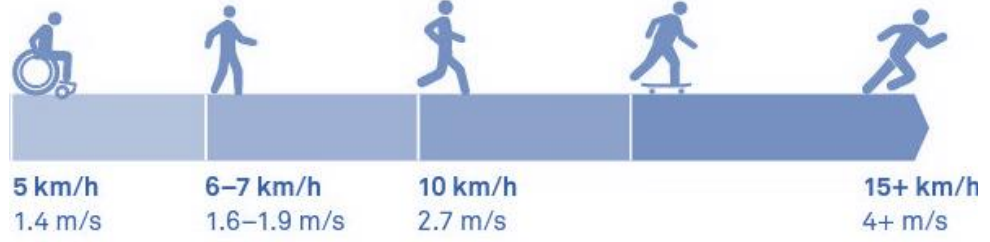
Orta dereceli yaralanmalarda değişkenler arasında çok ciddi şekilde fark ortaya koyup öne çıkan bir değişkenin olmadığı gözlemlenmektedir. Hafif dereceli yaralanmalarda yaya yoğunluğu değişkeninin etkin bir faktör olduğu görülmektedir. Bu tür kazalarda yukarıda da bahsedildiği üzere sürücülerin yaya yoğunluğunun fazla olduğu kavşak bölgelerinde kurallara daha çok riayet ettiği ve düşük hızlarda sürüş yaptıkları gözlemlenmektedir. Fakat bu bölgelerde ise yayaların rahat tavırlar sergilemesi, yayalar için kırmızı yanmasına rağmen yaya geçidinden geçmeye çalışması kavşaktan yeni hareketlenen otomobil sürücüsünün yayayı fark etmeyerek kazaya neden olduğu durumlara sıkça rastlanmaktadır. Bu tür kazalarda taşıt yeni hareketlenmeye başladığı için düşük hız ile yaya çarpmasından kaynaklı olarak hafif şiddetli kazalar meydana gelmektedir.

Çalışmanın genel olarak bu aşaması yorumlandığında ise Erzurum ili özelinde daha önce de bahsedildiği üzere bölge illeri arasında trafik kazalarının, yaralanma ve ölümlerin en fazla olduğu illerden biri olması sebebiyle sinyalize kavşaklardaki yaya ölüm ve yaralanmalarını etkileyen faktörler ele alınmıştır. Bu faktörlerin doğrudan veya dolaylı olarak trafik kazalarına etki ettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca trafik kazalarında etkili olan faktörler ortaya konmuştur. Mevcut çalışmadaki sonuçlar ve karşılaştırmalar neticesinde, yaya yoğunluğunun, eğitim düzeyinin, trafik sıkışıklığının, araç tipinin, otobüs durağının varlığının, yaşın, cinsiyetin yaya-arac kazasında önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

4.5.2. Sinyalize kavşaklardaki yaya yolundan tekerlekli sandalyeli bireylerin geçişlerinin ele alınması

Tekerlekli sandalyeli bireylerin günlük ulaşımında en sık rastladıkları problemlerden birisi kavşak noktalarındaki yaya yollarından güvenli geçiş imkânlarının olmamasıdır. Tekerlekli sandalyeli bireylerin ortalama hızları normal bir bireye göre yaklaşık 1.3 kat daha düşük olduğu için yaya yolundan karşıya geçiş süreleri çok daha uzundur (Şekil 4.32). Bu sebeple tekerlekli sandalyeli bireyler, yayalar için tanınan yeşil

ışık süresinin zaman zaman yetersiz olabildiğini vurgulamaktadırlar. Nitekim dünya genelinde, tekerlekli sandalyeli bireyin kavşak noktasından karşıya geçerken yayalar için yeşil ışık süresinin dolduğu ve bu esnada tekerlekli sandalyeli bireyi fark etmeyen taşıt kullanıcısının tekerlekli sandalyeli yayaya çarpıp ölümüne veya yaralanmasına sebep olduğuna dair birçok kaza meydana gelmektedir.



Şekil 4.32. Yaya türlerine göre ortalama hızları (Anonim 2016)

Tekerlekli sandalyeli yayaların kavşak noktalarındaki yaya yollarından geçişinde kaza ile karşı karşıya kalmalarındaki bir diğer sebep ise tekerlekli sandalyede oturur vaziyette oldukları için özellikle kamyon, otobüs ve minibüs gibi yüksek taşıtların sürücülerini tarafından fark edilememeleridir.

Sinyalize kavşaklardaki yaya yollarından güvenli geçiş için önceki dönemlerde butonlu yaya geçiş sistemleri tasarlanmıştır. Fakat bu sistemler tüm yayalar için tasarlanmış bir sistem olduğu için tekerlekli sandalyeli yayalar için bahsedilen bu problemler için kalıcı bir çözüm sunmamaktadır. Ayrıca butonlu bu sistemin kullanıldığı kavşaklarda bazı yayaların (özellikle çocukların) sürekli butona basması sebebiyle trafik akışının aksaması söz konusu olmuştur. Bu sebeple butonlu sistemlerinde bazı kentlerde pasifize edilerek kullanılmadığına dair birçok örnek yer almaktadır.

Sinyalize kavşaklardaki yaya yolları için yapılan bir diğer uygulama ise kartlı sistemlerdir. Bu uygulamada özellikle yaşlı veya tekerlekli sandalyeli bireylere tanımlanan kartlar sayesinde yaya yolundan geçmek için bekleyen bu bireyler kart okutarak yaya için yeşil ışık yanması sağlanmaktadır. Fakat bu sistemde de yukarıda bahsedilen olumsuz durumlar sebebiyle beklenen verim alınamamıştır.

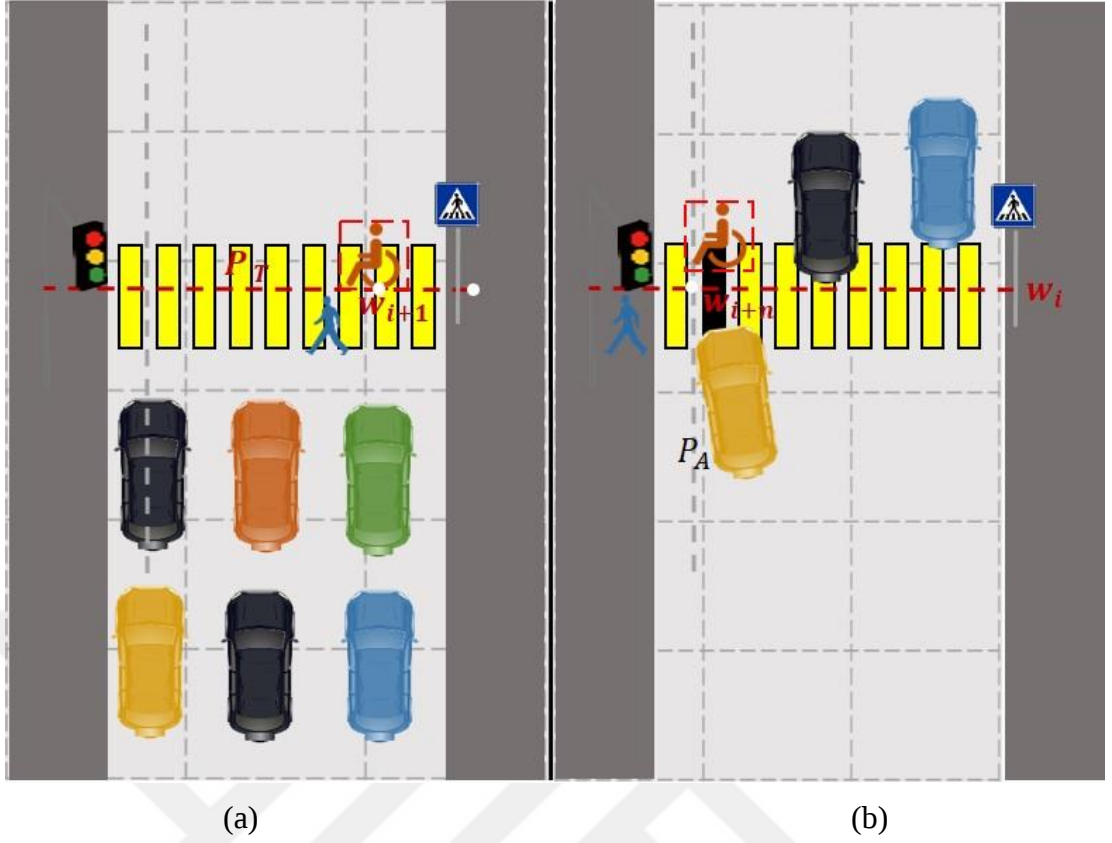
Bahsedilen bu olumsuz duruma çözüm önerisi sunulması amacıyla ilk olarak

Erzurum ilindeki tekerlekli sandalyeli bireyler hakkında fizibilite çalışması yapılmıştır. Bu bireyler ile Türkiye Sakatlar Derneği Erzurum Şubesi ve Engelli Koordinasyon Merkezinde çeşitli toplantılar düzenlenerek birtakım bilgiler alınmıştır. Özellikle bu bireylerin kavşak noktalarındaki yaya yollarından geçerken sinyalizasyon süresinin yetersiz olabilmesi sebebiyle trafik kazaları ile karşı karşıya kalmalarından ve bununla birlikte sürücülerin sabırsız tavırları sebebiyle endişe duyduklarından bahsetmişlerdir.

Öte yandan bu bireylerden bir kısmının herhangi bir kamu kurum ve kuruluşunda çalışması, bir kısmının özel sektörde çalışması, bir kısmının öğrenci olarak eğitim alması ve bir kısmının da engelli koordinasyon merkezinde çeşitli kurslara katılması sebebiyle günlük olarak hareketliliği olan çok sayıda tekerlekli sandalyeli bireyin olduğu tespit edilmiştir. Günlük olarak hareketlilik sağlayan bireylerin çok az bir kısmı belediyelerin engelli ulaşım aracı ile ulaşımını sağlamasının yanı sıra birçoğu kendi imkânları ile ulaşım sağlamaktadır. Bu sebeple bireylerin büyük bir kısmının günlük olarak yer değiştirmesi de bu çalışmanın önemli bir gerekçesi haline gelmiştir.

Bu duruma ilaveten daha önce yapılan çalışmalar, tekerlekli sandalyeli yayaların meydana gelen kazalarda diğer insanlara göre yaklaşık yüzde 36 daha fazla ölme olasılığının bulunduğunu ortaya koyulmuştur (Anonymous 2015). Ayrıca tekerlekli sandalyeli yayaların yaklaşık üçte biri hayatı boyunca en az bir kez trafik kazası yaşadıkları da çalışmalarda ortaya konmuştur. Yine bu çalışmalarda tekerlekli sandalyeli yayaların karşılaştığı trafik kazalarının büyük çoğunluğunun sinyalize kavşak noktalarında meydana geldiği belirtilmiştir. Meydana gelen bu kazaların yaklaşık dörtte üçünde, sürücüler tekerlekli sandalyeli yayayı fark etmediği ve manevra yapıp kaçmadığı veya durmaya çalışmadığı raporlanmıştır. Bu, sürücülerin yükseklik, hız ve konum nedeniyle tekerlekli sandalye kullanıcılarını görmediği şeklinde yorumlanmaktadır (Anonymous 2022b).

Tekerlekli sandalyeli yayaların sinyalize kavşaklardaki en sık yaşadıkları trafik kazalarından bir örnek aşağıda Şekil 4.33'de görsel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4.33. Tekerlekli sandalyeli yayaların en yaygın yaşadıkları trafik kazasının görselleştirilmesi.

Şekil 63 (a)'da gösterildiği gibi hem tekerlekli sandalyeli ve hem de normal birer yaya w_i noktasından P_T doğrultusunda hareket etmektedir. Bu esnada taşıtlar için kırmızı ışık yandığından araçlar beklemektedir. Şekil 63 (b)'de ise taşıtlar için yeşil ışık yanmaktadır. Bu süreçte normal yaya yoldan geçişini tamamlamışken tekerlekli sandalyeli yaya, yaya yolundan endişeli bir biçimde karşıya geçmeye devam etmektedir. Diğer taşıtların hareket ettiğini gören sarı renkli araç da P_A doğrultusunda hareket ederek tekerlekli sandalyeli bireyi fark edemeyip w_{i+n} kör noktasında tekerlekli sandalyeli bireye çarpmıştır.

Yukarıda bahsedilen sorun için kalıcı ve başarılı çözümler sunacak ve günümüz teknolojisinden yararlanıp akıllı ulaşım sistemlerine katkıda bulunacak bir uygulamaya ihtiyaç olduğu görülmektedir. Çalışmanın bu aşamasında tekerlekli sandalyeli yayaların sinyalizasyon sistemine sahip kavşaklarda yer alan yaya yollarından güvenli geçişi için yapay zekâ sistemlerinden yararlanılmasına karar verilmiştir.

Bu sistemde yaya yolunu görecek şekilde sinyalizasyon direklerine yerleştirilmesi planlanan kameralar vasıtasıyla, yayalar için yeşil ışık yanmasından itibaren tespit edilen tekerlekli sandalyeli birey yapay zekâ algoritmaları ile tespit edilecektir. Tespit işlemi gerçekleşikten sonra nesne takibi yapılarak tekerlekli sandalyeli yayanın yaya yolundan güvenli geçişi sağlanana kadar kavşak kontrol ünitesine anlık uyarı gönderilecektir. Bu sayede kavşak kontrol ünitesi o yaya yolu için yeşil ışık süresini uzatarak tekerlekli sandalyeli bireyin yaya yolundan güvenli geçişi sağlanmış olacaktır.

Çalışmada yöntemin uygulanabilirliğini ele almak amacıyla bir prototip sistem yapılması planlanmıştır. Bunun için ise çeşitli algoritmalar hazırlanması ve bu algoritmalara tekerlekli sandalyeli bireylere ait görsellerin öğretilmesi ile nesne tespit işlemi sağlanmış olacaktır. Algoritmaların tekerlekli sandalyeli bireyi yüksek doğrulukta tespit edebilmesi amacıyla çok sayıda eğitim veri setine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmada kullanılacak olan yapay zekâ algoritmaları için tekerlekli sandalyeli bireylerin çeşitli hava koşullarında ve farklı açılardan çekilmiş görsellerinin sağlanması amacıyla ilk olarak literatürde araştırmalar yapılmıştır. Tekerlekli sandalyeli bireylerin otomatik kapı sistemlerinden geçerken sensör tarafından fark edilmesini amaçlayan bir çalışmada kullanılan veri kümesinden yararlanılmıştır (Kollmitz et al. 2019). Fakat bu veri kümesi kapalı ortamlarda çekilen görselleri içerdiği için yeterli olmadığı düşünülmüştür. Bu doğrultuda yapay zekâ çalışmalarında çeşitli veri seti sağlayan Roboflow veri tabanından da tekerlekli sandalyeli bireylerin görsellerini içeren veri kümesi elde edilmiştir (Anonymous 2023a). Çalışmada eğitim setinde çok sayıda görsel kullanılması amaçlandığı için google görsellerden de yararlanılmıştır (Anonymous 2023b).

Çalışmada eğitim seti için kullanılan bazı görseller aşağıda Şekil 4.34'te gösterilmiştir. Görüntülerde tekerlekli sandalyeli bireylerin etiketleme işlemi için Labellmg programından ve Roboflow sitesinden yararlanılmıştır. Bu uygulamalarda etiketleme işlemi oldukça hızlı ve pratik şekilde yapılabilmektedir.



Şekil 4.34. Eğitim setinde kullanılmış olan bazı tekerlekli sandalyeli görselleri

Eğitim setindeki görsel sayısını artırmak için görüntü işleme yöntemine

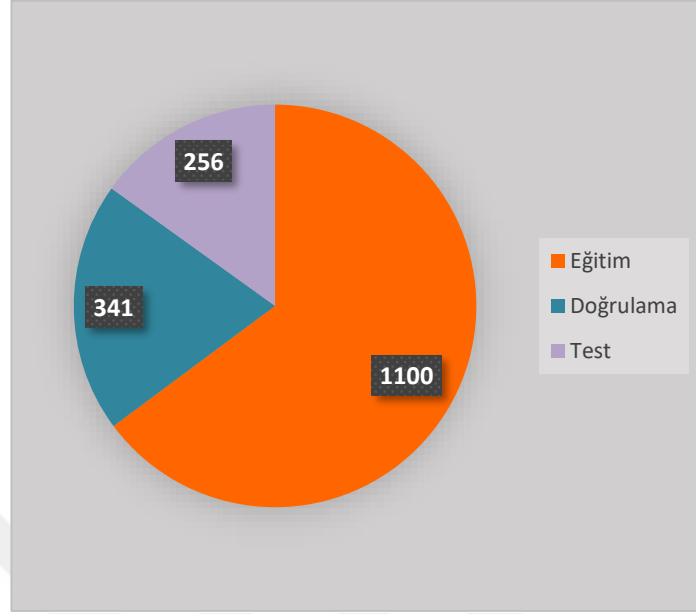
başvurulmuştur. Görüntü işlemenin amacı genel olarak şunlardır:

- Görünmesi zor nesneleri gözlemleme
- Gürültülü görüntüleri iyileştirme
- Yüksek çözünürlükte görüntü alma
- Bir görüntüdeki nesneleri tanıma
- Bir görüntüdeki nesneleri ayırt etme.

Çalışmanın bu kısmında mevcut eğitim veri setinin artırılması amacıyla bazı görsellerde aç, renk, kontrast ve parlaklık gibi değişiklikler görüntü işleme yöntemiyle yapılmıştır. Ayrıca bazı görsellerde ise tekerlekli sandalyenin daha iyi fark edilebilmesi amacıyla görüntü iyileştirme ve görsellerdeki şahısların yüzlerinin belli olmaması için mozaikleme işlemi yapılmıştır. Bununla birlikte yapay zekâ algoritmasına öğretilen model sayesinde görüntülerdeki tekerlekli sandalyeli bireylerin tespit edilmesi işlemi de bu görüntü işleme ile sağlanmış olacaktır. Mevcut veri setinin görüntü işleme yöntemleri ile artırılabilmesinin bir diğer yöntemi ise augmentation işlemidir. Roboflow gibi yapay zekânın uygulandığı programlarda; mevcut veri setinde augmentation işlemi ile görseller üzerinde çeşitli görüntü işleme teknikleri ile mevcut veri seti kolaylıklar artırılabilir.

Yapay zekâ ile görüntü işleme yöntemlerinin bir arada kullanılarak görüntüler üzerinden nesnelerin algılanması işlemi de kısaca bilgisayarlı görü olarak ifade edilmektedir. Çalışma için tekerlekli sandalyeli bireylerin fotoğraflarından oluşan toplam 1697 görsel elde edilmiştir. Bu görsellerden 1100 tanesi eğitim, 341 tanesi doğrulama ve 256 tanesi ise test amacıyla kullanılmıştır. Bu veri sayısı tek bir nesnenin tespitinin başarılı bir şekilde gerçekleşebilmesi için yeterli düzeydedir. Çalışmada hem farklı sınıf olmaması hem de tekerlekli sandalyelerin şekilsel olarak benzerliği sebebiyle veri sayısının daha fazla artırılmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Fakat nesne tespitindeki başarı

oranı düşük olması durumunda bu sayı artırılabilir. Mevcut veri kümesinin yüzdelik olarak dağılımı aşağıda verilen Şekil 4.35'te gösterilmektedir.



Şekil 4.35. Veri kümesinin kategorik olarak dağılımı

Çalışmada tekerlekli sandalyeli yayaların tespit edilebilmesi için üç farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler; YOLOv7, YOLOv5s ve Faster R-CNN'dir. Her üç yöntemin de farklı özellikleri olduğundan en iyi sonuç veren modeli ortaya koymak için üç yöntemle de analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz işlemleri Google colab üzerinden python uygulamasının çalıştırılması ile gerçekleştirilmiştir. Colab, kullanım için kurulum gerektirmeyen ve GPU'lar gibi bilgi işlem kaynaklarına ücretsiz erişim imkânı sunan barındırılan hizmettir. Google colab çalışmanın gerçekleşmesi için Tesla T4 GPU kullanım imkânı sağlamıştır.

YOLOv7, YOLOv5s ve Faster R-CNN algoritmalarının farkları daha önceden yapılan çalışmalar üzerinden incelenmiştir. Literatürde YOLOv7'nin sınırlayıcı kutuların daha sıkı şekilde yerleştirdiği fakat bazı kareleri gözden kaçırdığına dair değerlendirmeler yer almaktadır. Bununla birlikte daha hızlı bir yöntem olduğu belirtilmektedir. YOLOv5s için ise tüm kareleri tanımlayabildiği ve doğruluk değerinin başarılı sonuçlar verdiğine değinilmiştir. Faster R-CNN algoritmasının ise uzakta yer alan veya küçük olan nesnelerin tespitinde daha başarısız olduğuna dair incelemeler mevcuttur (Anonymous 2022d).

Çalışmada kullanılan YOLOv7, YOLOv5s ve Faster R-CNN'den oluşan 3 farklı yöntem için 2 farklı durum (150 veya 300 epoch olmaları) incelenmiştir. Bu sebeple toplam 6 farklı model elde edilmiştir. Epoch değeri modelin eğitilmesi sırasında tüm eğitim verilerinin ağı gösterilme sayısı olarak ifade edilmektedir. Çeşitli kaynaklarda eğitim tur sayısı, iterasyon sayısı veya döngü sayısı olarak da adlandırılabilir. Doğruluğun en iyi sonuçlara sahip olduğu andaki epoch değeri idealdir.

YOLO ve Faster R-CNN algoritmaları farklı içeriklere sahip algoritmalar olduğu için çıktılarda verdikleri grafikler de birbirinden farklıdır. Fakat her bir algoritmada kıyaslamaların mümkün olabilmesi için sonuç raporlarında benzer kriterlere ait sonuçlar da sunulmaktadır. Aşağıda verilen Şekil 4.36'da 150 (a) ve 300 (b) epoch değerlerine göre Faster R-CNN algoritmasına ait sonuç grafikleri verilmiştir. Şekil 4.37'de ise YOLOv5s ve YOLOv7 algoritmalarının 150 epoch ve 300 epoch değerlerine göre oluşan karışıklık matrisleri verilmiştir. Şekil 4.38'de, YOLOv5s algoritmasının 150 (a) ve 300 (b) epoch değerlerine ait sonuçlar, Şekil 4.39'de ise YOLOv7 algoritmasının 150 (a) ve 300 (b) epoch değerlerine ait sonuçlar verilmiştir.

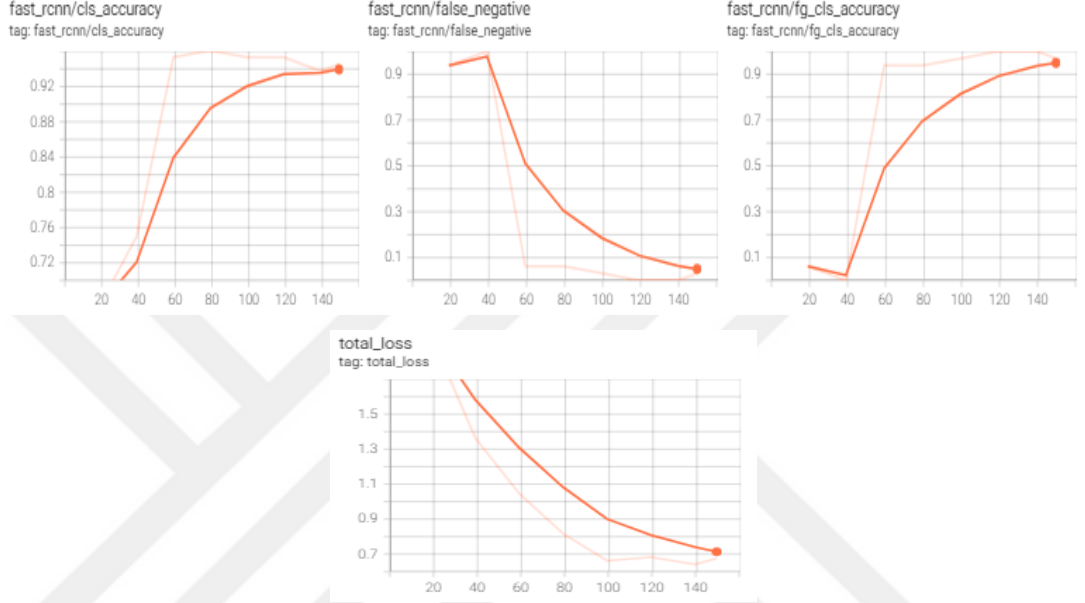
YOLO algoritmasında ayrıca R (recall) eğrisi, P (precision) eğrisi, PR (precision-recall) eğrisi ve F1 (F1 skor) eğrisi kullanılmaktadır. Bu eğriler de algoritmanın performansını ölçmek için kullanılan metriklerdir. R eğrisi, gerçek pozitif oranının (true positive rate) farklı kesme noktalarına (threshold) karşı değişimini gösteren eğridir. Bu eğri, algoritmanın tespit ettiği tüm nesnelerin gerçek nesnelerin yüzdesini göstermektedir.

P eğrisi ise kesme noktalarına karşı doğru pozitif oranının (positive predictive value) değişimini gösteren eğridir. Bu eğri, algoritmanın tespit ettiği nesnelerin ne kadarının gerçek nesne olduğunu göstermektedir. PR eğrisi, P eğrisi ve R eğrisinin birleşimidir. Bu eğri, algoritmanın tespit ettiği nesnelerin doğruluğu ve eksik tespitlerin yüzdesini göstermektedir. F1 eğrisi, F1 skorunun farklı kesme noktalarına karşı değişimini gösteren eğridir. F1 skoru, P ve R skorlarının harmonik ortalamasıdır. Bu eğri, algoritmanın doğruluğunu ve eksik tespitlerin yüzdesini bir arada gösterir. YOLOv5s algoritmasına göre 150 ve 300 epoch değerlerinde P, R, P-R ve F1 eğrileri aşağıda Şekil 4.40'ta ve YOLOv7 algoritmasına göre 150 ve 300 epoch değerlerinde P, R, P-R ve F1 eğrileri aşağıda Şekil 4.41'de gösterilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

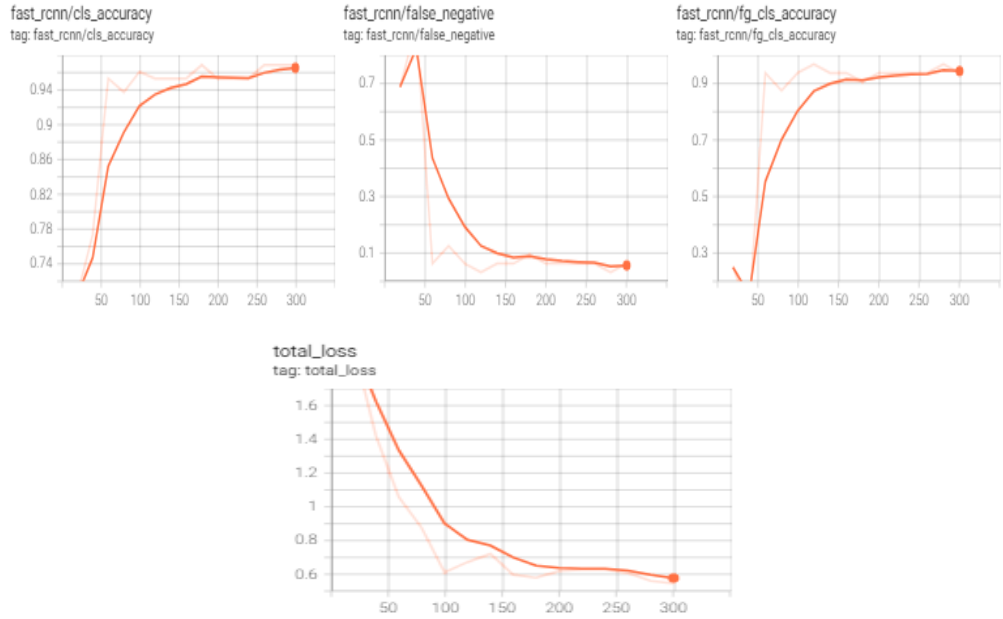
Bu grafiklere ilaveten oluşturulan 6 farklı model için elde edilen kesinlik (precision), duyarlılık (recall), F1-skor, mAP 0.5 ve mAP 0.95 değerleri aşağıda verilen Şekil 4.42’de gösterilmektedir. Bu algoritmalara ait çeşitli sonuçlar da tezin Ekler kısmında yer almaktadır.

fast_rcnn



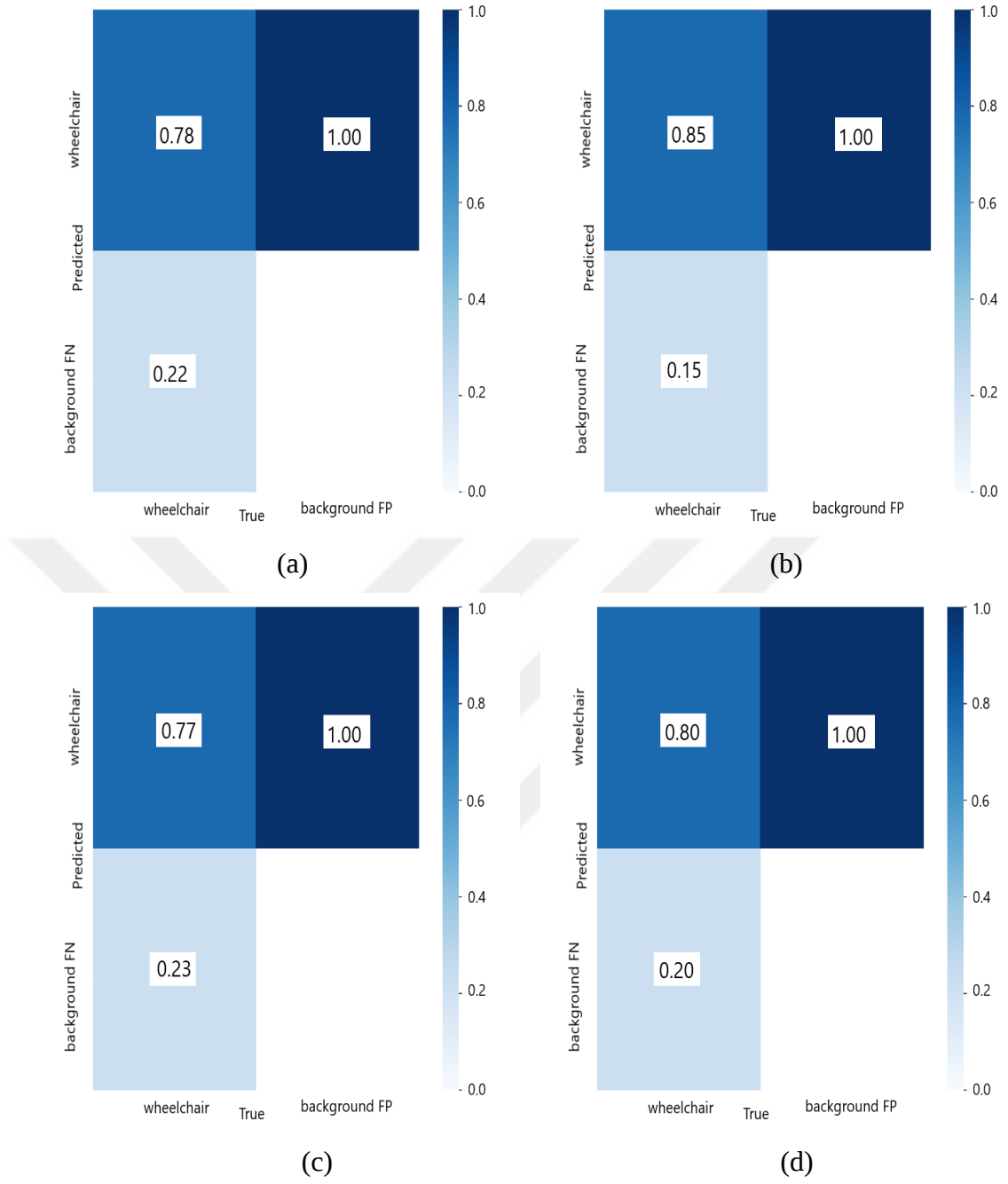
(a)

fast_rcnn

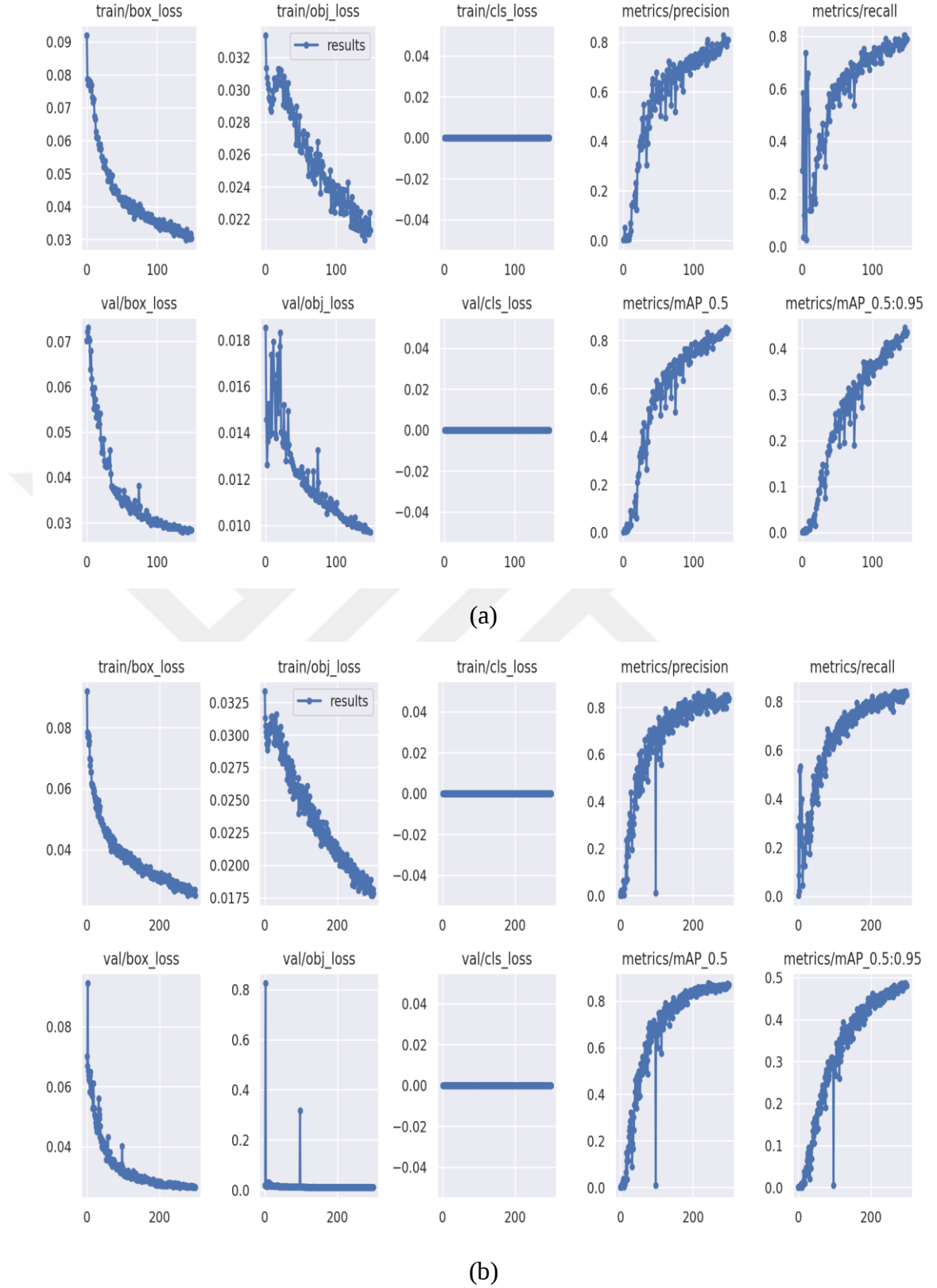


(b)

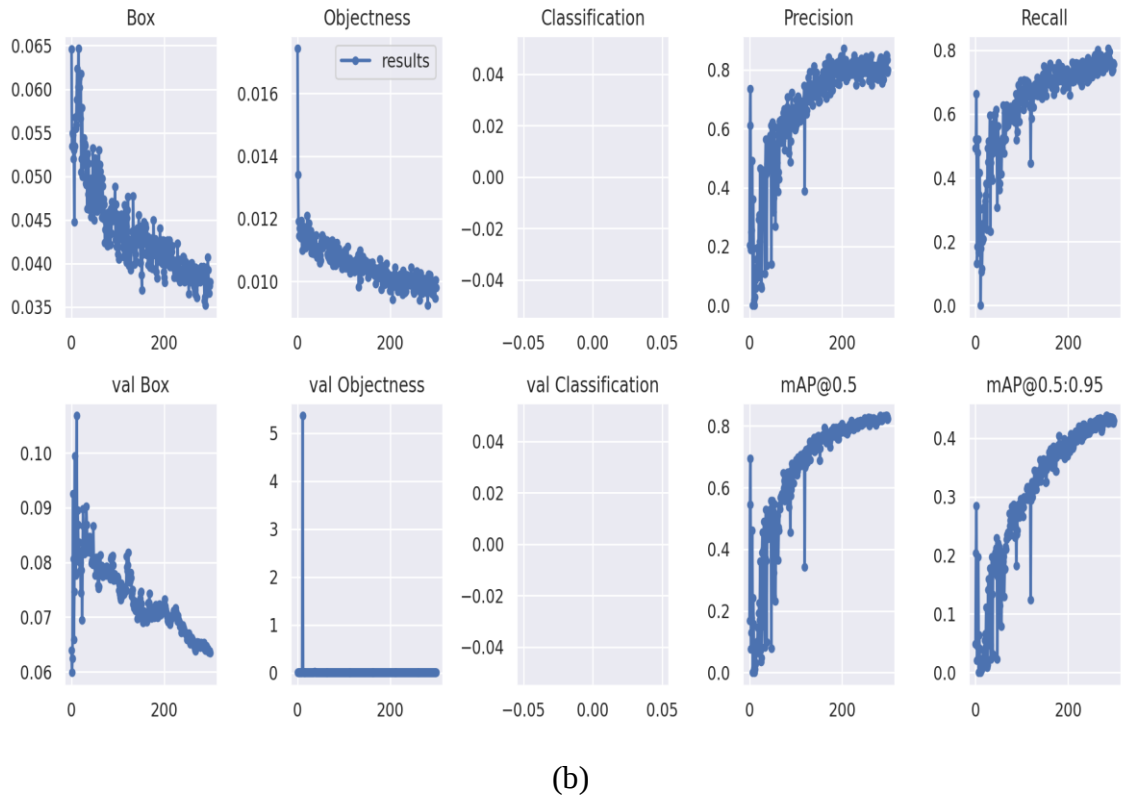
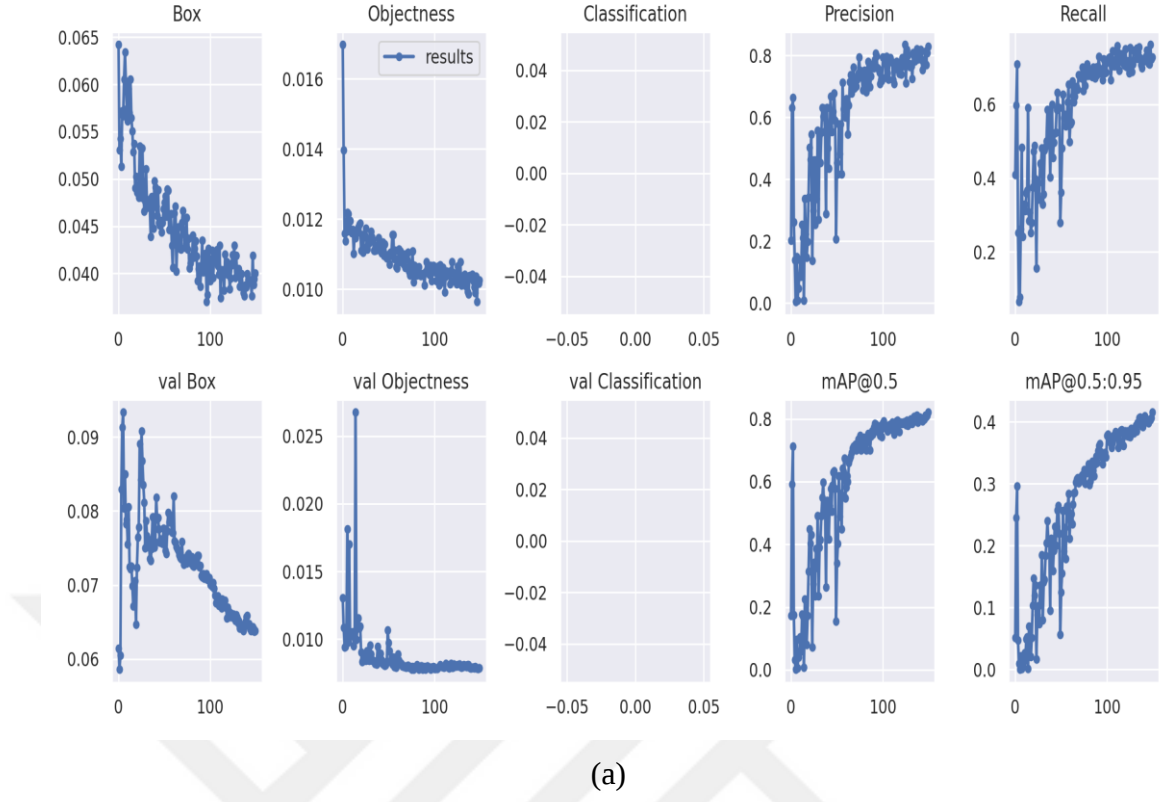
Şekil 4.36. 150 (a) ve 300 (b) epoch değerlerine göre Faster R-CNN algoritmasına ait sonuç grafikleri.



Şekil 4.37. YOLOv5s 150 epoch (a) ve 300 epoch (b), YOLOv7 150 epoch (c) ve 300 epoch (d) değerlerine göre oluşan karışıklık matrisleri.

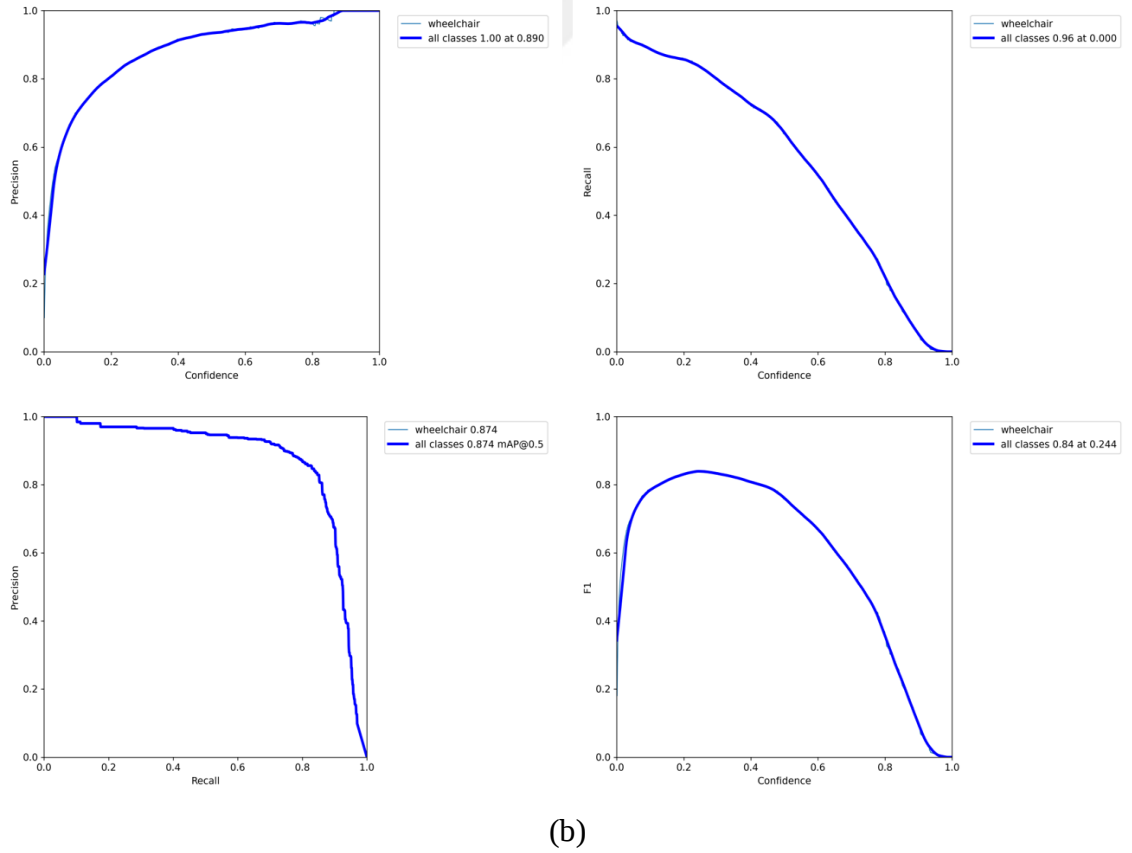
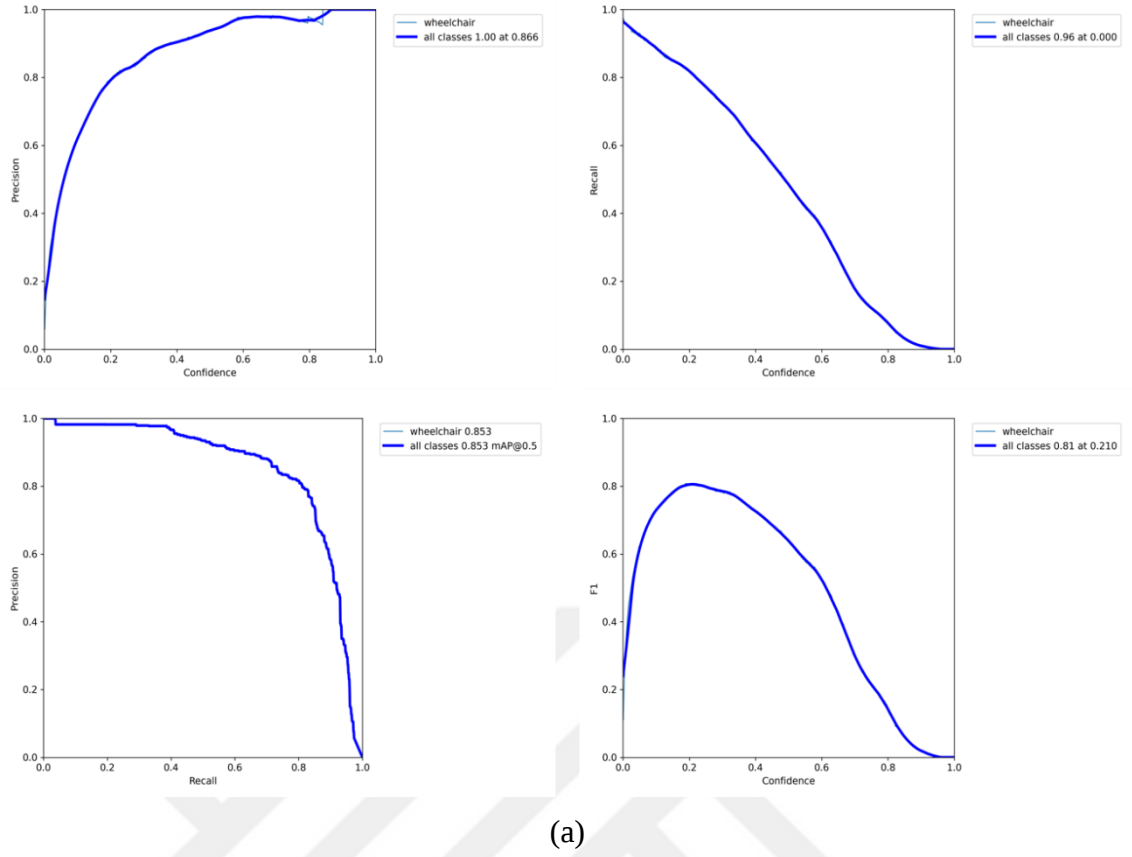


Şekil 4.38. 150 (a) ve 300 (b) epoch değerlerine göre YOLOv5s algoritmasına ait sonuç grafikleri.

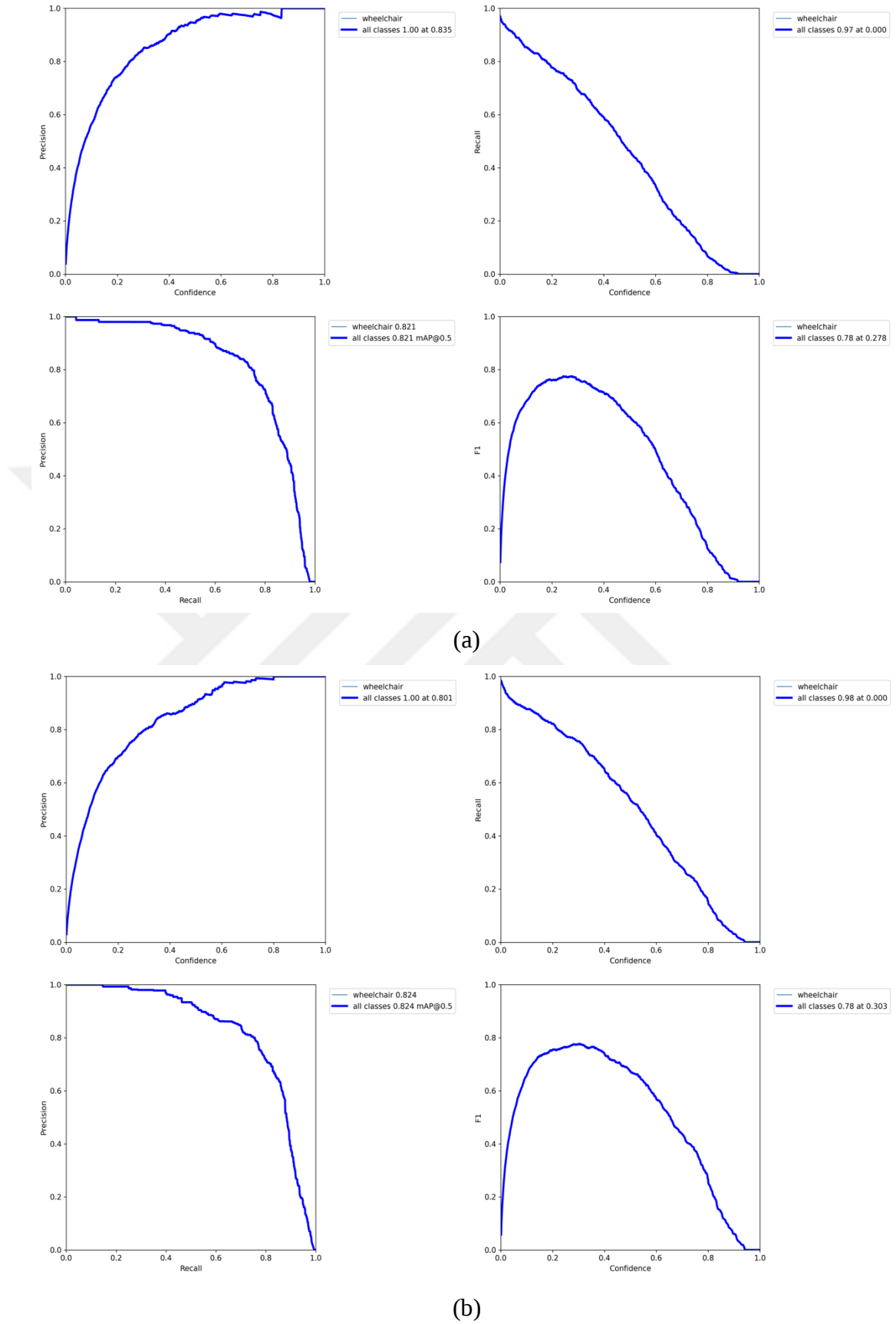


Şekil 4.39. 150 (a) ve 300 (b) epoch değerlerine göre YOLOv7 algoritmasına ait sonuç grafikleri.

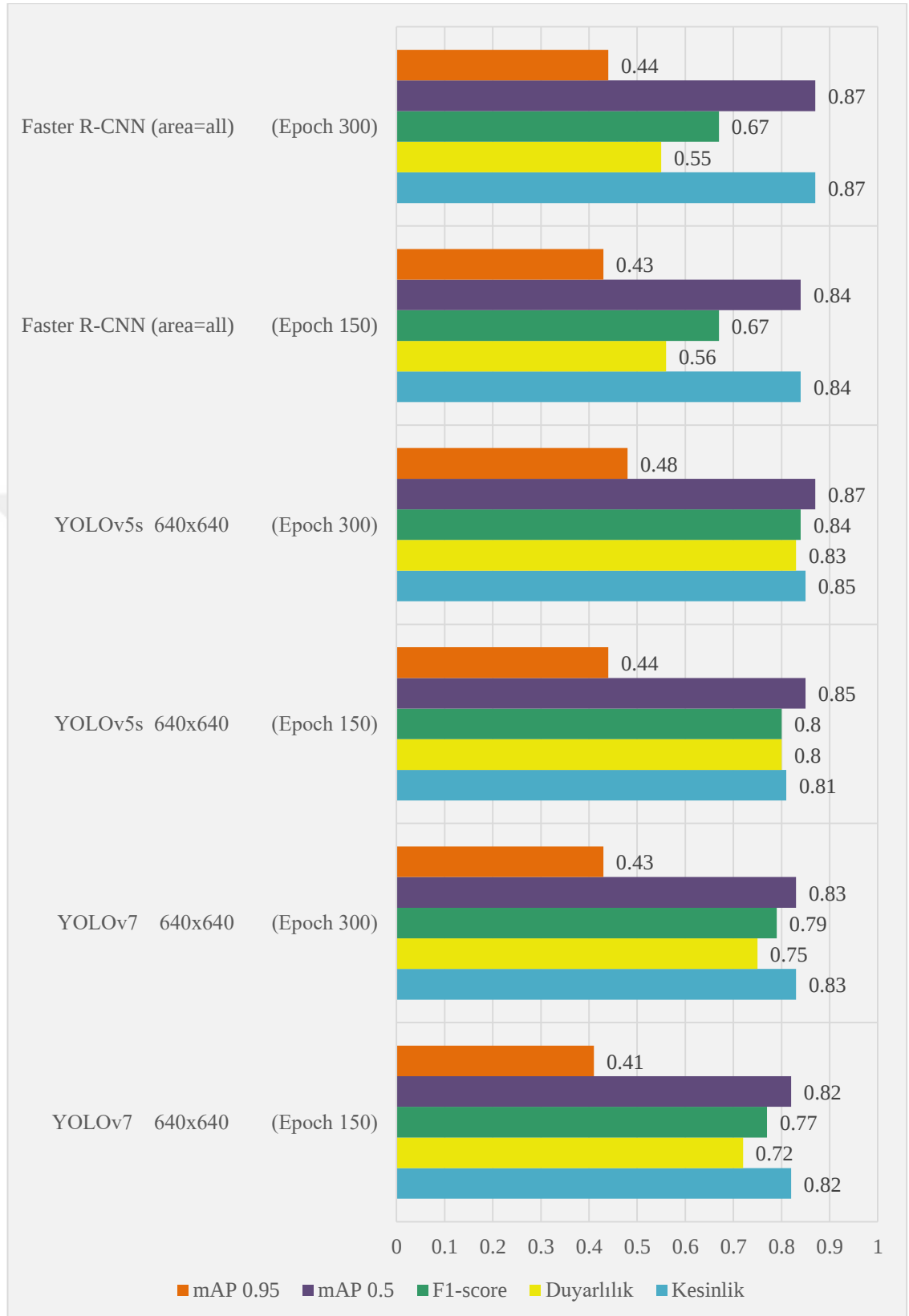
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.40. 150 (a) ve 300 (b) epoch değerlerine göre YOLOv5s algoritması ile elde edilen kesinlik, duyarlılık, kesinlik-duyarlılık ve F1 skor eğrileri.



Şekil 4.41. 150 (a) ve 300 (b) epoch değerlerine göre YOLOv7 algoritması ile elde edilen kesinlik, duyarlılık, kesinlik-duyarlılık ve F1 skor eğrileri.



Şekil 4.42. Modellerin mevcut veri seti ile eğitilmesi sonucu elde edilen çıktılar

Sonuçlar incelendiğinde YOLOv5s modelinin 300 epochdaki duyarlılık, mAP 0.5, mAP 0.95 ve F1 skor değerleri diğer modellere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

mAP (ortalama hassasiyet puanı), nesne algılama problemlerinde kullanılan bir performans metriğidir ve bir modelin doğruluğunu değerlendirmek için kullanılır. Bu mAP değeri, modelin farklı nesneleri tespit etme yeteneği hakkında genel bir fikir vermektedir. mAP, farklı eşik değerleri (thresholds) kullanarak hesaplanabilir. Bu eşik değerleri, bir nesne tespitinin doğru sayılması için gerekli olan minimum görüntü örtüşmesini (intersection-over-union - IoU) belirtir. İki sık kullanılan eşik değeri mAP 0.5 ve mAP 0.95'tir.

mAP 0.5: Bu, nesne tespitleri için minimum IoU değerinin 0.5 olarak ayarlandığı durumda hesaplanan mAP'dir. Bu eşik değeri, genellikle nesne tespitleri için kabul edilebilir bir eşik olarak kabul edilir. mAP 0.5 değeri ne kadar yüksek olursa, modelin nesne tespitinde o kadar başarılı olduğu anlamına gelir.

mAP 0.95: Bu, nesne tespitleri için minimum IoU değerinin 0.95 olarak ayarlandığı durumda hesaplanan mAP'dir. Bu eşik değeri, daha yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda kullanılır. mAP 0.95 değeri ne kadar yüksek olursa, modelin daha kesin bir şekilde nesne tespiti yapabildiği anlamına gelir.

Bahsedilen bu mAP 0.5 veya mAP 0.95 değeri ne kadar yüksek olursa, modelin o kadar başarılı olduğu anlamına gelir. Ayrıca, mAP 0.5 ve mAP 0.95 değerleri arasındaki fark, modelin nesne tespitinde ne kadar tutarlı olduğunu gösterir. İdeal olarak, bu fark mümkün olduğunca küçük olmalıdır.

Buradaki mAP 0.5 değeri ortalama hassasiyetin ilk beş noktasında elde edilen sonuçların ortalaması olarak da ifade edilebilmektedir. Yani tüm nesnelerin tespit edilip doğru bir şekilde sınıflandırması için gerçek sınıflandırmalar ile tahmini sınıflandırmalar arasındaki doğruluğu değerlendirmektedir. Bununla birlikte mAP0.95 ise benzer şekilde ortalama hassasiyetin ilk 95 noktasında elde edilen sonuçların ortalamasıdır. Ayrıca test veri seti için ayrılmış olan 256 adet görsel üzerinde de modellerin performansları incelenmiştir. Çalışmadaki test görselleri için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9'da yer almaktadır.

Çizelge 4.9. Çalışmada kullanılan derin öğrenme modellerinin test görsellerindeki başarı performansları.

Model	Kesinlik	Duyarlılık	F1 skor	mAP 0.5	mAP 0.95	Doğruluk	Epoch
YOLOv7 640x640	0,83	0,73	0,77	0,80	0,48	0,89	150
YOLOv7 640x640	0,84	0,75	0,79	0,82	0,50	0,91	300
YOLOv5s 640x640	0,81	0,74	0,77	0,78	0,46	0,90	150
YOLOv5s 640x640	0,86	0,81	0,83	0,85	0,54	0,92	300
Faster R-CNN	0,83	0,58	0,68	0,83	0,43	0,94	150
Faster R-CNN	0,85	0,55	0,66	0,84	0,41	0,97	300

Test görsellerinde de YOLOv5s algoritmasının 300 epoch değerindeki modelinin en iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Burda Faster R-CNN algoritması yüksek doğruluk değerine sahip olsa da özellikle F1 skor değerinin çok düşük olduğu modelin daha az başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Derin öğrenmede başarı kriterleri arasında F1 skor değerinin en belirleyici kriter olması bilinmektedir.

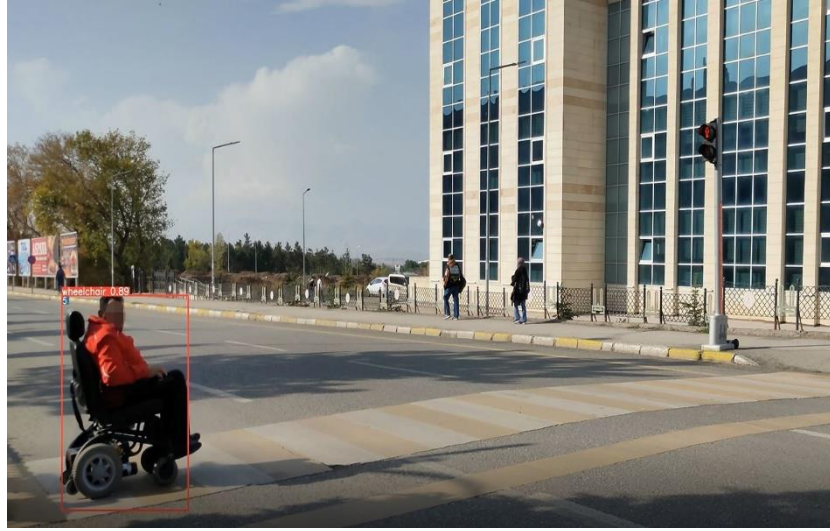
Çalışmada nihai olarak belirlenen YOLOv5s modelinin Deepsort ile birleştirilmesi ile elde edilmiş hibrit model sayesinde hem nesne tespiti hem de nesne takibi sağlanmıştır. Deepsort nesne takibinde sıkça kullanılan bir algoritmadır. Nesne takibinin sağlanması için ilk olarak nesne tespiti yapılmalıdır. Tespit edilen bir nesnenin sonraki imgede nerede olacağını Kalman Filter yöntemi kullanılarak tahmin edilmektedir. Deepsort algoritmasında tespit edilen her nesne sinir ağından geçirilerek bir vektör elde edilir ve bu vektörler kullanılarak iki nesnenin ilişkilendirilmesi yapılır. YOLOv5s ve Deepsort'un birleştirilmiş olduğu hibrit modelde farklı test videoları için elde edilen sonuçlar aşağıda Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Test videolarının hibrit modelde çalıştırılması sonucu oluşan

Test Videoları	Oluşan Çerçeve Sayısı	Doğruluk	Ortalama Hız
1.mp4	199	0,93	~50-58 fps
2.mp4	621	0,84	
3.mp4	330	0,79	
4.mp4	499	0,77	
5.mp4	414	0,86	

Çizelgede her bir test videosu için oluşan çerçeve sayısı, modelin doğruluk değeri ve ortalama hız olarak ifade edilen saniye başına kare sayısı gösterilmektedir. Test videosunun analizi sonucu oluşan çerçeve sayısı, videonun uzunluğu ve kaydedildiği kameranın çözünürlüğü gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Ancak genel olarak, çerçeve sayısı, videonun kaç saniyede kaç kare kaydettiğini ifade etmektedir. Bu sayı, algoritmanın doğruluğunun ve hızının değerlendirilmesinde önemli bir faktördür. Benzer şekilde ortalama hız değeri de algoritmanın doğruluk değerinin yani başarısının ortaya konmasında etkili bir faktördür. Bu ortalama hız değeri genellikle videonun akıcılığına bağlı olarak değişebilmektedir.

Nesne tespiti ve takibi işlemlerinde yapılan çalışmalarda %70 üzerinde doğruluk ile yapılan çalışmaların yeterli başarıda olduğu kabul edilmektedir. Yapılan bu çalışmada da beş farklı test videosu için doğruluk değerlerinin %77 ile %93 arasında olduğu gözlemlenmektedir. Bu sonuçlar da oluşturulmuş olan modelin ne kadar başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmada kullanılan test videolarından alınan anlık doğruluk değerleri aşağıdaki Şekil 4.43'te verilen görsellerde yer almaktadır.



(a)

Şekil 4.43. Farklı nokta ve açılardan çekilen test videolarında tekerlekli sandalyeli bireylerin tespiti.



(b)

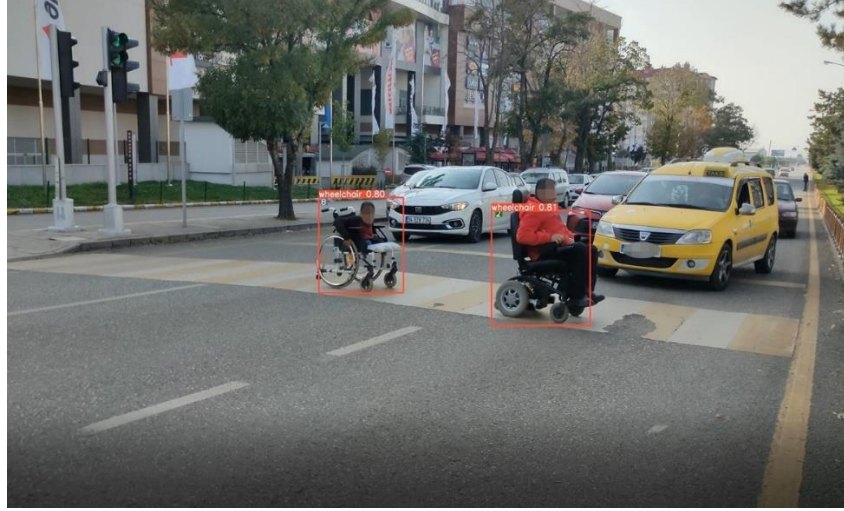


(c)



(d)

Şekil 4.43. (devam)



(e)



(f)

Şekil 4.43. (devam)

Yukarıda verilen görsellerde de yer aldığı üzere farklı cinslerdeki tekerlekli sandalyeler de aynı anda yüksek doğrulukta tespit edilebilmektedir. Test videolarından alınan her bir görselin içindeki kutucuklarda doğruluk değerleri yazmaktadır. Görüntü ister yakın ister uzakta olsun, ister tekerlekli sandalyeli önden ister arkadan isterse de yandan gözüksün oluşturulmuş olan hibrit model sayesinde tekerlekli sandalyeli bireyler başarılı bir şekilde tespit edilebilmiştir. Videolardaki görseller ideal koşullarda olmuş olsa da çalışmada verilmiş olan eğitim görsellerinde farklı hava koşullarında kalabalık ortamlarda yer alan tekerlekli sandalyeli bireylere ait görseller de yer almaktadır.

Sinyalize kavşaklar, şehir içi ulaşımında yaya güvenliğini sağlamak için çok dikkat edilmesi gereken hayati noktalardır. Özellikle karşıdan karşıya geçmeye çalışan tekerlekli

sandalye kullanıcıları, birçok alanda uygun altyapı eksikliği nedeniyle önemli zorluklarla karşılaşmaktadır. Ancak bu çalışmadaki gibi ulaşım sistemlerine yapay zekânın entegrasyonu ile artık tekerlekli sandalye kullanan kişilerin güvenli geçişlerini sağlamak için tespit ve takip etmek mümkün hale gelebilmektedir.

Çalışmada ortaya konan, tekerlekli sandalyeli kullanıcıları doğru bir şekilde tespit ederek takip edebilmek güvenli ulaşım açısından önemli avantajlar sağlayabilmektedir. Bu sistem gerçek zamanlı izleme sağladığı için kavşak kontrol ünitesine gönderilen anlık sinyaller ile tekerlekli sandalyeli bireyin güvenli geçiş işlemi sağlanana kadar yayalar için yeşil ışık süresi uzatılabilmektedir.

Bu çalışmada yapılmış olan sistemin uygulanmasının birkaç önemli faydası mevcuttur. Birincisi, tekerlekli sandalye kullanıcılarının güvenliğini ve hareket kabiliyetini artırır, sinyalize kavşaklarda daha kolay gezinmelerini sağlar ve günlük olarak karşılaştıkları riskleri azaltır. Bu da tekerlekli sandalyeli bireylerin genel yaşam kalitelerini artıracaktır.

İkincisi, bu sistem akıllı ulaşım sistemlerinin geliştirilmesine önemli bir katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Akıllı ulaşım sistemlerinin çalışma alanlarının en önemlilerinden birisi ulaşım güvenliğini artırmaktır. Yapılan bu çalışma da yaya ulaşım güvenliği adına önemli avantajlar sağlayacağı için gelecekte akıllı ulaşım sistemlerinin bu alanda yeni fikirler sunmasına olanak sağlaması beklenmektedir.

Diğer bir taraftan, bu teknoloji yapay zekâ alanında önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Nesne algılama ve izleme algoritmalarını derin öğrenme modelleriyle başarılı bir şekilde entegre ederek, yapay zekanın gerçek dünyadaki sorunları ele alma ve engelli bireylerin yaşamlarını iyileştirme potansiyelinin olduğu bir kez daha ortaya konulmuştur. Bu durum yapay zekânın çok kapsamlı ve yeniliklere açık olduğunu ispatlamıştır.

Sonuç olarak, sinyalize kavşaklarda nesne algılama ve izleme teknolojisinin uygulanması, tekerlekli sandalye kullanıcıları, ulaşım sistemleri ve yapay zekâ alanı için önemli faydalar sağlama potansiyeline sahip olduğu bu çalışma ile bir kez daha ortaya konmuştur. Bu çalışma daha güvenli, daha verimli ve kapsayıcı bir ulaşım sistemine

doğru önemli bir adımı temsil ettiği düşünülmektedir.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılmış olan bu çalışmada; hava kirliliği, fosil yakıt tüketimi, trafik kazaları, yaya yollarının ihlal edilmesi, yaya yollarının tasarımındaki hatalar ve tekerlekli sandalyeli yayaların yaya yollarından geçiş durumları yaya ulaşımı açısından ele alınmıştır. Çünkü bu konu başlıklarının her biri doğrudan veya dolaylı olarak yaya ulaşımını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple sonuçlar ve öneriler kısmında her bir konu başlığı ayrı ayrı yorumlanmıştır.

- Analiz çalışmasında ilk olarak yaya ulaşımı ile hava kirliliği arasındaki ilişki incelenmiştir. Erzurum kenti özelinde şehir merkezindeki hava kirliliğinin yaklaşık %70'inin ulaşım sektöründen kaynaklı olduğu ortaya konmuştur. Ulaşımdan kaynaklı hava kirliliğini azaltmak için taşıtların trafikte geçirdikleri süreleri en aza indirmek, taşıtlardaki doluluk oranını artırmak, toplu taşıma hizmetlerini cazip hale getirmek, bisiklet ve yaya ulaşımının artırılması ile mümkün olabileceğinden bahsedilmiştir. Konu yaya özelinde incelendiğinde ise yaya-taşıt çakışmalarının azaltılması amacıyla taşıt trafik akışının hızlı olduğu kesimlerde mümkün olduğunca yaya geçitlerinin alt ve üstgeçitler ile sağlanması gerekmektedir. Yapılmış olan alt ve üst geçitlerin ise yaya yolunu aşırı derece uzatması ve herhangi bir yürüyen merdiven veya asansör olmaması da önemli bir problem olarak gözlemlenmiştir.
- Öte yandan sık aralıklarla yerleştirilmiş yaya geçitleri, taşıt trafik akışını aksattığı için trafikte geçen sürenin artmasına ve hava kirliliğine neden olduğu için bu geçitlerinin sık yerleştirilmemesi oldukça önemlidir.
- Sokak tasarımında otomobil odaklı tasarımların yapılıyor olması, insanların yaya ulaşımı yerine motorlu taşıtlar ile ulaşımı tercih etmelerine ve dolayısıyla hava kirliliğinin giderek artmasına sebep olduğu görülmektedir. Sokak tasarımlarının çok modlu şekilde yapılması alternatif ulaşım kaynaklarına yönelmeyi artıracığı için yaya ulaşımı artacak ve dolayısıyla hava kirliliğinde de azalmalar gözlemlenecektir.
- Çalışmada ikinci analiz kısmında ise fosil yakıt tüketimi ile yaya ulaşımı arasındaki ilişki ele alınmıştır. Karayolu taşıtlarının yaklaşık %90'ının petrol ve türevi yakıtları

kullanması ve bu enerji kaynaklarının sürdürülebilir enerji kaynağı olmaması büyük bir problemdir. Ülkemiz bu yakıt türlerinin büyük bir kısmını ithal ettiği için dövize bağlı alım söz konusu olması yakıt fiyatlarının artmasına sebep olmaktadır. Bu iki durum insanların uzun mesafelerde toplu taşımaya yönelmesine ve kısa mesafelerde de yaya ulaşımının artırılmasına sebep olabilmektedir. Bu yüzden yerel yönetimlere, insanların kısa mesafelerde yaya ulaşımını tercih etmesi için bir takım politikalar yürütmesi önerilmektedir.

- Çalışmanın bir diğer analiz kısmında ise yaya yolu tasarımları ele alınmıştır. Erzurum kent merkezinde yapılan saha çalışması neticesinde 719 adet yaya yolu tespit edilip bu yaya yolları tek tek incelenerek yaya yolları için toplam 9 farklı sınıf oluşturulmuştur. Yaya yolları için belirlenen 11 farklı değişkene göre tüm yaya yollarının hangi sınıflara dâhil olduğunu belirlemek için ise makine öğrenmesi kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işleminde 6 farklı algoritma kullanılmıştır (Naive bayes, J48, KNN, LibSVM, çok katmanlı algılayıcı ve regresyon). Bu algoritmalar ile yapılan analizler sonucunda hata ölçütleri ve doğruluk değerleri açısından en başarılı algoritmanın J48 algoritması olduğu tespit edilmiştir. Bu algoritma kullanılarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise yaya yollarında en sık rastlanılan problemlerin yaya yollarındaki işaretleme eksikliğinin ve engelli rampası olmayışının olduğu görülmüştür. Kentteki yer alan 719 yaya yolunun büyük bir kısmında problemlerin olma durumu ise hem yaya güvenliğini tehlikeye atmakta hem de trafik akışını bozmaktadır. Bu durumlar beraberinde toplumsal huzursuzluk, insanlarda endişe ve gerilim hali gibi birçok faktöre dolaylı olarak sebep olmaktadır. Yerel yönetimlerin yaya yollarını belirli aralıklarla inceleyerek gerekli bakım ve onarım çalışmalarını yapmaları bu problemlerin önüne geçilmesi adına oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır.
- Yaya ulaşımını artırmaya yönelik incelemelerden sonra yaya güvenliğini incelemeye yönelik analizler yapılmıştır. Yaya ulaşımının artırıldığı bir ortamda yayalar için güvenli ulaşım olanağı sağlanmaz ise yaya ölüm ve yaralanmalarının artmasına sebep olabilmektedir. Bu sebeple çalışmada üçüncü analiz konusu olarak yaya yolları ihlalleri ele alınmıştır. Karayolu üzerinde yer alan yaya geçitleri sinyalizasyonlu ve sinyalizasyonsuz olarak ikiye ayrılmaktadır. Sinyalizasyonlu yaya geçitlerinde hem

yayalar hem de araç sürücüleri trafik ışıklarına uymak zorundadır. Ancak yaya geçidinde sinyalizasyon bulunmuyorsa taşıt sürücüleri durarak ya da yavaşlayarak yayaya ilk geçiş hakkı vermelidir. Kentte yaya yolları belirli aralıklarla denetlenerek sürücülerin yayalara yol verip vermeme durumlarına göre cezai işlem uygulanmaktadır. Yapılan bu analiz kısmında yapılan denetleme durumlarına göre sürücülerin yayalara yol verme konusunda bir iyileşme söz konusu olup olmadığı bir makine öğrenmesi algoritması olan çok katmanlı algılayıcı algoritma ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda yapılan trafik denetimlerinin ve trafik cezalarının sürücülerin davranışı üzerindeki etkisinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Trafik denetimlerinin ve trafik cezalarının artmış olduğu birçok ayda yayalara yol vermeme durumunda önemli bir azalma görülmemiştir. Buna göre yapılan trafik denetimlerinin anlık ve geçici çözümler olduğu tespit edilmiştir. Kalıcı çözümler olması için gelişmiş birçok ülkede olduğu gibi cezaların caydırıcı seviyede olması oldukça önemlidir. Nitekim bu duruma ülkemizde son yıllarda trafik cezalarına yapılan çok ciddi zamlar da örnek olarak gösterilebilir. Bu cezaların artırılmasının son yıllarda trafik güvenliği açısından olumlu etkilerinin olacağı beklenmektedir. Bir diğer husus ise insanların bilinçlendirilmesinin önemli bir yere sahip olduğudur. Bunun için de ilkokul döneminden itibaren insanların trafik konusunda daha fazla bilinçlendirilip, insanların ulaşımında hoşgörülü davranış sergilemeleri hususunda verilen eğitimlere ağırlık gösterilmesi önerilmiştir.

- Sinyalize olmayan yaya yollarındaki ihlaller ve bu yaya yollarındaki tasarımsal hatalar ele alındıktan sonra ise bir diğer analiz kısmında sinyalize kavşaklardaki yaya yollarında meydana gelen ve yaya ölüm ya da yaralanması ile sonuçlanan kazalar yaya, sürücü, taşıt ve çevre karakteristiklerine göre analiz edilmiştir. Bu aşamada Erzurum kent merkezinde son 4 yılda meydana gelen kazalar incelendiğinde toplam 197 kazada yaya ölüm veya yaralanması olduğu tespit edilmiştir. Bu kazaların ArcGIS ile noktasal analizi yapıldığında toplam 57 farklı kavşak noktasında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Meydana gelen kazaların incelenmesi için; yaya, taşıt, çevre ve yol karakteristikleri beraber incelenmiştir. Bu faktörler içerisinde yüksek korelasyona sahip olan beş değişkene (yaya yoğunluğu, sosyo demografik özellikler, trafik sıklık düzeyi, taşıt türü ve otobüs durağı varlığı) sırasıyla diğer değişkenler eklenerek dört farklı model oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller YSA kullanılarak

analiz edilmiştir. Analiz neticesinde; yaya yoğunluğu, yayanın eğitim düzeyi, trafik sıkışıklığı, araç türü, otobüs durağının varlığı, yayanın yaşı ve cinsiyetini içeren model en iyi performansa ulaşmıştır. Bu sonuçlara göre yaya-taşıt kazalarında modeldeki değişkenlerin önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu model ile yayaların hafif, orta ve ağır dereceli yaralanmalarında belirtilen değişkenlerin ne kadar ilişkili olduğunu gözlemlemek için ise duyarlılık analizi yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde ağır dereceli yaralanmalarda trafik sıkışıklığının çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Orta dereceli yaralanmalarda değişkenlerden herhangi birisinin önemli ölçüde ön plana çıkmadığı, hafif dereceli yaralanmalarda ise yaya yoğunluğunun etkin bir faktör olduğu ortaya konmuştur.

- Çalışmanın son analiz kısmında ise sinyalizasyon kavşaklarında tekerlekli sandalyeli bireylerin yaya yolundan güvenli geçişini sağlamak için bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemde sinyalizasyon kavşaklarında yaya yolunu görecek şekilde yerleştirilen kamera vasıtasıyla yaya yolunda yer alan tekerlekli sandalyeli bireyin yapay zekâ yöntemleri kullanılarak tespit edilmesi ve nesne takibi ile yaya yolundan güvenli geçiş sağlanması amaçlanmıştır. Bu yöntemin uygulanması için yaklaşık 1700 adet tekerlekli sandalyeli bireyleri içeren görsel toplanarak etiketleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu görsellerde yaklaşık %65'i eğitim seti kullanılarak YOLOv7, YOLOv5s ve Faster R-CNN algoritmaları ile analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda 300 epoch değerine sahip YOLOv5s modelinin daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Bu modelin Deepsort ile birleştirilmesi ile elde edilmiş hibrit model sayesinde hem nesne tespiti hem de nesne takibi sağlanmıştır. Nesne tespiti ve takibi için Erzurum kent merkezinde çeşitli kavşak noktalarında çekilmiş olan tekerlekli sandalyeli bireylerin yaya yolundan geçiş videoları ile test işlemi gerçekleştirilmiştir. Hibrit modelin test videolarında %77 ile %93 arasında doğruluk değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Çalışmadan elde edilen bu sonuçların tekerlekli sandalyeli bireyler için çok faydalı bir sistemin ön adımı olarak öngörülmektedir. Bu yöntemde oluşturulan model ile kavşak kontrol ünitesine iletilen anlık bildirimler ile yaya yolundan geçmekte olan tekerlekli sandalyeli bireyin geçiş tamamlanana kadar yayalar için tanımlanan yeşil ışık süresinin uzatılması ile güvenli geçiş işlemi kolaylıkla sağlanabilecektir. Bu yöntem kavşakta dinamik bir sinyalizasyon sistemi de oluşturmuş olacaktır. Çalışmanın

özellikle bu kısmı önemli bir özgünlük ve avantaj sağlaması sebebiyle akıllı ulaşım sistemleri konusunda dünyada önemli bir yere sahip olacağı düşünülmektedir.

Yapılan tüm çalışma genel olarak değerlendirildiğinde ise yaya ulaşımının artırılması ve yayaların güvenli ulaşımalarının sağlanabilmesi özetle dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

Fosil yakıt tüketimini ve hava kirliliğini azaltmayı hedefleyen yaya ulaşımını artırıcı uygulamalar yapılmalıdır. Yaya geçitleri tasarlanırken standartlara uygun olacak şekilde tasarımlar yapılmalıdır. Yaya yolu ihlali ile ilgili yapılan denetimler ve cezalar caydırıcı olmalıdır. Bu çalışmada uygulanan yenilikler gibi yaya güvenliğini artırıcı teknolojik gelişmelere ayak uydurulmalıdır. Son ve en önemlisi olarak da insanların ulaşımında birbirlerine saygılı olabilmesi için eğitim hayatının ilk döneminden itibaren bilinçlendirme çalışmaları yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ahmed, M., Seraj, R. and Islam, S. M. S. 2020. The k-means algorithm: A comprehensive survey and performance evaluation. *Electronics*, 9(8), 1295.
- Akgüngör, A.P. and Doğan, E. 2009. An artificial intelligent approach to traffic accident estimation: model development and application. *Transport*, 24, 135–142.
- Alagbé, J. A., Han, H. and Jin, S. 2023. Effect of technological distractions on pedestrian safe-crossing performance during mixed pedestrian–bicycle flow overlapping with turning vehicles: a case study of Hangzhou, China. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 149(1), 05022007.
- Aledhari, M., Razzak, R., Parizi, R. M. and Srivastava, G. 2021. Multimodal Machine Learning for Pedestrian Detection, 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring), 19-25 April, Book of Abstracts, 1-7, Helsinki, Finland.
- Alemneh, E., Senouci, S. M. and Messous, M. A. 2020. An energy-efficient adaptive beaconing rate management for pedestrian safety: A fuzzy logic-based approach. *Pervasive and Mobile Computing*, 69, 101285.
- Ali, Y., Haque, M. M. and Mannering, F. 2023. A Bayesian generalised extreme value model to estimate real-time pedestrian crash risks at signalised intersections using artificial intelligence-based video analytics. *Analytic Methods in Accident Research*, 38, 100264.
- Al-Mistarehi, B. W., Alomari, A. H., Imam, R. and Mashaqba, M. 2022. Using machine learning models to forecast severity level of traffic crashes by R Studio and ArcGIS. *Frontiers in Built Environment*, 8, 54.
- Anonim, 2016. Küresel Sokak Tasarım Rehberi. Web Sitesi: <https://l24.im/x3LqC>, Erişim Tarihi: 14.11.2023.
- Anonim, 2018a. Web Sitesi: <https://www.erkurumdanhaberler.com/dubali-bisiklet-yolu-buhar-oldu/>, Erişim Tarihi: 14.08.2022.
- Anonim, 2018b. Web Sitesi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.2918.pdf>, Erişim Tarihi: 28.04.2022.
- Anonim, 2018c. Yaya Elektronik Denetleme Sistemi, Web Sitesi: <https://uym.ibb.gov.tr/kurumsal/haberler-ve-duyurular/kirmizi-isik-elektronik-denetleme-sistemi>, Erişim Tarihi: 27.11.2022.
- Anonim, 2019a. 81 İlde Eş zamanlı "Öncelik Hayatın, Öncelik Yayanın" Eylemi, Web Sitesi: <https://www.icisleri.gov.tr/81-ilde-es-zamanli-oncelik-hayatin-oncelik-yayanin-eylemi>, Erişim Tarihi: 07.10.2022.
- Anonim, 2019b. Web Sitesi: <https://rayhaber.com/2019/09/manisada-ust-gecitler-iste-boyle-bozuluyor/>, Erişim Tarihi: 14.02.2022.

- Anonim, 2019c. YOLO Algoritmasını Anlamak, Web Sitesi: <https://124.im/Fi7uIGb>, Erişim Tarihi: 16.01.2023.
- Anonim, 2020a. Web Sitesi: <https://www.bogaziciproje.com.tr/projelerimiz/erzurum-trafik-ve-akilli-sehir-master-plani>, Erişim Tarihi: 18.12.2022.
- Anonim, 2020b. Toplu Taşıma Yıllık Yolcu Sayıları, Web Sitesi: https://www.erzurum.bel.tr/IcerikDetay-faaliyet_raporlari/16/D.html, Erişim Tarihi: 03.10.2022.
- Anonim, 2020c. Erzurum İli Temiz Hava Eylem Planı, Web Sitesi: https://webdosya.csb.gov.tr/db/erzurum/menu/theep-2020-2024_20201019103133.pdf, Erişim Tarihi: 15.04.2021.
- Anonim, 2020d. Makine Öğrenmesi Algoritmaları, Web Sitesi: <https://medium.com/search?q=makine+%C3%B6%C4%9Frenmesi>, Erişim Tarihi: 12.10.2022.
- Anonim, 2020e. Yapay Sinir Ağı(Artificial Neural Network) Nedir? Web Sitesi: <https://www.veribilimiokulu.com/yapay-sinir-agiartificial-neural-network-nedir/>, Erişim Tarihi: 14.01.2022.
- Anonim, 2020f. Web Sitesi: <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/IsaretlerElKitabi/KarayoluTrafikIsaretlemeStandartlari1.pdf>, Erişim Tarihi: 19.01.2022.
- Anonim, 2021. Görüntü İşleme, Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Ders Notları, Web Sitesi: <http://www.ibrahimcayiroglu.com/>, Erişim Tarihi: 22.10.2022.
- Anonim, 2022a. Web Sitesi: <https://www.guvenlitrafik.gov.tr/asiri-hiz>, Erişim Tarihi: 19.10.2022.
- Anonim, 2022b. Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri. Web Sitesi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Road-Traffic-Accident-Statistics-2021-45658>, Erişim Tarihi: 07.10.2022.
- Anonim, 2022c. Trafikte Seferberlik, Web Sitesi: <https://www.icisleri.gov.tr/trafikte-seferberlik-olumler-yuzdeyirmiyedi-oraninda-azaltilti>, Erişim Tarihi: 09.10.2022.
- Anonim, 2022ç. Trafiğe Kayıtlı Taşıt Sayıları, Web Sitesi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Ocak-2022-45704>, Erişim Tarihi: 07.10.2022.
- Anonim, 2022d. 2022 Yılı Trafik Kaza İstatistikleri, Web Sitesi: <http://trafik.gov.tr/kurumlar/trafik.gov.tr/04-Istatistik/Aylik/aralik22.pdf>, Erişim Tarihi: 04.10.2022.

- Anonim, 2022e. TÜİK 2021 dönemi Erzurum Trafik istatistikleri, Web Sitesi: <http://trafik.gov.tr/kurumlar/trafik.gov.tr/04-Istatistik/Aylik/Mayis21.pdf>, Erişim Tarihi: 07.10.2022.
- Anonim, 2022f. Trafik Kazalarındaki Kural İhlalleri Oranı, Web Sitesi: <http://trafik.gov.tr/istatistikler37>, Erişim Tarihi: 03.10.2022.
- Anonim, 2022g. Erzurum Kent Merkezindeki Yaya Yolları, Web Sitesi: <https://ulasim.erkurum.bel.tr/Default.aspx>, Erişim Tarihi: 07.10.2022.
- Anonim, 2022h. What is GIS? Web Sitesi: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>, Erişim Tarihi: 10.10.2022.
- Anonim, 2022ı. What is Geographic Information System (GIS)? Web Sitesi: <https://www.basarsoft.com.tr/en/geographic-information-system-gis/>, Erişim Tarihi: 06.11.2022.
- Anonim, 2022i. Mikromobiliteye Giriş, Web Sitesi: <https://www.issd.com.tr/tr/41473/Mikromobiliteye-Giris>, Erişim Tarihi: 17.11.2022.
- Anonim, 2023a. Yaya Geçitlerinde Güvenlik. Web Sitesi: <https://www.egm.gov.tr/yaya-gecitleri>, Erişim Tarihi: 03.10.2022.
- Anonim, 2023b. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü. Web Sitesi: <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Havalimani/Erzurum/SehirTarihcesi.aspx>, Erişim Tarihi: 14.11.2022.
- Anonim, 2023c. Yakıt fiyatlarının tarihsel değişimi, Web Sitesi: <https://www.tppd.com.tr/tr/gecmis-akaryakit-fiyatlari>, Erişim Tarihi: 24.07.2023.
- Anonim, 2023d. Web Sitesi: <http://www.tsof.org.tr/index.php/ceza-rehberii>, Erişim Tarihi: 07.02.2023.
- Anonim, 2023e. Türkiye İllere Göre Kaza İstatistikleri, Web Sitesi: <https://www.tuik.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 10.01.2022.
- Anonymous, 2009. Web Sitesi: http://germany-wuf.de/upload/Cycling-Inclusive_Policy_Development.pdf, Erişim Tarihi: 04.05.2021.
- Anonymous, 2015. Web Sitesi: <https://www.reuters.com/article/us-health-wheelchairs-traffic-safety-idUSKBN0TE2R320151125>, Erişim Tarihi: 24.12.2021.
- Anonymous, 2018. Illustrated Guide to LSTM's and GRU's: A step by step explanation, Web Sitesi: <https://l24.im/e5GSm>, Erişim Tarihi: 22.12.2022.
- Anonymous, 2020a. Web Sitesi: <https://l24.im/8YxSG>, Erişim Tarihi: 07.10.2022.
- Anonymous, 2020b. Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu, Web Sitesi: <https://l24.im/q9Vxz>, Erişim Tarihi: 25.08.2022.

- Anonymous, 2020c. Safe Micromobility. Web Sitesi: <https://l24.im/qDCgBH5>, Erişim Tarihi: 11.11.2022.
- Anonymous, 2020d. Introduction to RNN and LSTM, Web Sitesi: <https://www.theaidream.com/post/introduction-to-rnn-and-lstm>, Erişim Tarihi: 14.10.2022.
- Anonymous, 2021. Decade of Action for Road Safety 2021-2030. Web Sitesi: <https://www.who.int/teams/social-determinants-of-health/safety-and-mobility/decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>, Erişim Tarihi: 08.11.2022.
- Anonymous, 2022a. Dünya Sağlık Örgütü Trafik Kaza İstatistikleri, Web Sitesi: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>, Erişim Tarihi: 02.09.2022.
- Anonymous, 2022b. Web Sitesi: <https://www.oal-law.com/blog/new-study-reveals-wheelchair-pedestrians-have-higher-death-rate-in-accidents/>, Erişim Tarihi: 24.09.2021.
- Anonymous, 2022c. Number of road deaths in selected European countries between 2020 and 2021, Web Sitesi: <https://l24.im/G5Sjvl>, Erişim Tarihi: 04.07.2021.
- Anonymous, 2022d. YOLOv5 vs YOLOv6 vs YOLOv7 Which YOLO version will help Anki Vector the most? Web Sitesi: <https://www.learnwitharobot.com/p/yolov5-vs-yolov6-vs-yolov7>, Erişim Tarihi: 11.01.2023.
- Anonymous, 2023a. Web Sitesi: <https://universe.roboflow.com/search?q=wheelchair>, Erişim Tarihi: 17.02.2022.
- Anonymous, 2023b. Web Sitesi: <https://l24.im/f4bh>, Erişim Tarihi: 14.02.2022.
- Atalay, A., Tortum, A. ve Gökdağ, M. 2012. Türkiye'de 1977-2006 yılları arasında meydana gelen aylık trafik kazalarının zamansal analizi. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 18(3), 221-229.
- Bengio, Y., Goodfellow, I. and Courville, A. 2017. Deep Learning, MIT press, 705, London.
- Bhargava, N., Sharma, G., Bhargava, R. and Mathuria, M. 2013. Decision tree analysis on j48 algorithm for data mining. Proceedings of International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 3(6), 1114-1119.
- Blinova, T.O. 2007. Analysis of possibility of using neural network to forecast passenger traffic flows in Russia. Aviation, 11, 28-34.
- Bloomberg, R., Jordan, G., Killingsworth, R. and Konheim, C. 2000. Pedestrian Transportation: A Look Forward. Transportation in the New Millennium press, 6, Washington.

- Boulmakoul, A., Karim, L. and Lbath, A. 2021. Vehicle-Pedestrian Interaction: Distributed intelligence framework. *Procedia Computer Science*, 184, 68-75.
- Chakraborty, A., Mukherjee, D. and Mitra, S. 2019. Development of pedestrian crash prediction model for a developing country using artificial neural network. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 26(3), 283-293.
- Chang, W. J., Chen, L. B., Sie, C. Y. and Yang, C. H. 2020. An artificial intelligence edge computing-based assistive system for visually impaired pedestrian safety at zebra crossings. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 67(1), 3-11.
- Chen, Y., and Zhou, Y. 2020. Factor Recognition of Regional Serious Pedestrian-vehicle Crash Using Big Data for Intelligent Vehicles. 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE), 11-13 September, Book of Abstracts, 361-365, Beijing, China.
- Cheng, H., Zheng, N. and Qin, J. 2005. Pedestrian Detection Using Sparse Gabor Filter And Support Vector Machine. *Intelligent Vehicles Symposium*, 6-8 June, Book of Abstracts, 583-587, Las Vegas, USA.
- Cirit, F. 2014. Sürdürülebilir kentiçi ulaşım politikaları ve toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırılması, Kalkınma Bakanlığı Uzmanlık Tezi, 227, Ankara.
- Cunningham, C., Avr, A., Searcy, S., Vaughan, C. and Coble, D. 2019. Pedestrian incident detection in the rail right-of-way using artificial intelligence, Project No. FHWA/NC/2019-50, North Carolina Department of Transportation, USA.
- Çodur, M.Y. 2012. Trafik kaza tahmin modelleri: Erzurum ili çevre karayolları için uygulamalar, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 141, Erzurum.
- Çodur, M.Y. and Tortum, A. 2015. An artificial neural network model for highway accident prediction: a case study of Erzurum, Turkey. *Promet-Traffic & Transportation*, 27(3), 217-225.
- Das, S., Le, M. and Dai, B. 2020. Application of machine learning tools in classifying pedestrian crash types: A case study. *Transportation Safety and Environment*, 2(2), 106-119.
- Ding, C., Chen, P. ve Jiao, J. 2018. Non-linear effects of the built environment on automobile-involved pedestrian crash frequency: a machine learning approach. *Accident Analysis & Prevention*, 112, 116-126.
- Ebuchi, T. and Yamamoto, H. 2019. Vehicle/Pedestrian Localization System Using Multiple Radio Beacons and Machine Learning for Smart Parking. *International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIIC)*, 11-13 February, Book of Abstracts, 86-91, Okinawa, Japan.

- Effati, M. and Saheli, M. V. 2022. Examining the influence of rural land uses and accessibility-related factors to estimate pedestrian safety: The use of GIS and machine learning techniques. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 11(1), 144-157.
- Elallid, B. B., Hamdani, S. E., Benamar, N. and Mrani, N. 2022. Deep learning-based modeling of pedestrian perception and decision-making in refuge island for autonomous driving. In: *Computational Intelligence in Recent Communication Networks*, Ouaisa, M., Boulouard, Z. ve Guermah, B. (eds), 135-146, Morocco.
- Forrest, M., Heydari, S. and Cherrett, T. 2023. Examining the impact of exposure, built environment and socio-demographics on pedestrian safety: A case study of Greater London. *Safety Science*, 159, 106015.
- Friedman, J. H. 2002. Stochastic gradient boosting. *Computational Statistics & Data Analysis*, 38(4), 367-378.
- Gauerhof, L., Hawkins, R., Picardi, C., Paterson, C., Hagiwara, Y. and Habli, I. 2020. Assuring The Safety of Machine Learning for Pedestrian Detection at Crossings. *International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security*, 16-18 September, Book of Abstracts, 197-212, Lisbon, Portugal.
- Ghomi, H. and Hussein, M. 2023. Investigating the application of deep learning to identify pedestrian collision-prone zones. *Journal of Transportation Safety & Security*, 1-31.
- Gu, Y., Sosnovsky, S. and Ullrich, C. 2015. Safechild: An Intelligent Virtual Reality Environment for Training Pedestrian Safety Skills. In *European Conference on Technology Enhanced Learning*, 15-18 September, Book of Abstracts, 141-154, Toledo, Spain.
- Güçlü H. 2016. Hafif ticari araçlarda yaya güvenliğine uygun araç ön farı geliştirilmesi ve sonlu elemanlar yöntemi ile benzeşimi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 77, Bursa.
- Haddad, A. J., Mondal, A., Bhat, C. R., Zhang, A., Liao, M. C., Macias, L. J. and Watkins, S. C. 2023. Pedestrian crash frequency: unpacking the effects of contributing factors and racial disparities. *Accident Analysis & Prevention*, 182, 106954.
- Hoover, J. 1994. Post-intermodal surface transportation efficiency act public involvement. *Transportation Research Record*, 48-71.
- Hopfield, J. J. 1988. Artificial neural networks. *IEEE Circuits and Devices Magazine*, 4(5), 3-10.
- Hussain, Q., Alhajyaseen, W. K., Kharbeche, M. and Almallah, M. 2023. Safer pedestrian crossing facilities on low-speed roads: comparison of innovative treatments. *Accident Analysis & Prevention*, 180, 106908.

- Kamboozia, N., Ameri, M. and Hosseinian, S.M. 2020. Statistical analysis and accident prediction models leading to pedestrian injuries and deaths on rural roads in Iran. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 27, 493–509.
- Kao, I. H. and Chan, C. Y. 2022. Impact of posture and social features on pedestrian road-crossing trajectory prediction. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*.
- Katanalp, B. Y. and Eren, E. 2021. GIS-based assessment of pedestrian-vehicle accidents in terms of safety with four different ML models. *Journal of Transportation Safety & Security*, 1-35.
- Kataria, A. and Singh, M. D. 2013. A review of data classification using k-nearest neighbour algorithm. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(6), 354-360.
- Kaushik, B., Daphal, P., Khare, P., Koralla, S. and Bera, S. 2021. Pedestrian Safety Performance Prediction using Machine Learning Techniques, Symposium on International Automotive Technology, 29 September-1 October, Book of Abstracts 26-33, Pune, India.
- Kayaalp, K. ve Süzen, A.A. 2018. Derin Öğrenme ve Türkiye’deki Uygulamaları, Iksad Yayınevi, 92, Adıyaman.
- Khalifa, A. B., Alouani, I., Mahjoub, M. A. and Rivenq, A. 2020. A novel multi-view pedestrian detection database for collaborative intelligent transportation systems. *Future Generation Computer Systems*, 113, 506-527.
- Khanna, U. 2020. Computer vision and internet of things application to enhance pedestrian safety. Doctoral Thesis, Concordia University, Concordia Institute for Information Systems Engineering, 169, Montreal, Canada.
- Kılıç, S. 2013. Doğrusal regresyon analizi. *Journal of Mood Disorders*, 3(2), 90-92.
- Kohli, P. and Chadha, A. 2019. Enabling Pedestrian Safety Using Computer Vision Techniques: A Case Study of the 2018 Uber Self-Driving Car Crash. *Future of Information and Communication Conference*, 14-15 March 2019, Book of Abstracts, 261-279, San Francisco.
- Kollmitz, M., Eitel, A., Vasquez, A. and Burgard, W. 2019. Deep 3D perception of people and their mobility aids. *Robotics and Autonomous Systems*, 114, 29-40.
- Kuang, X. and Zhang, J. 2021. Research on Pedestrian Detection Method Based on Receptive Field Module. *International Conference on Artificial Intelligence, Big Data and Algorithms*, 28-30 May, Book of Abstracts, 107-112, Xi'an, China.
- Kuşkapan, E. and Çodur, M. Y. 2022. Examining the carsharing system in terms of urban transportation. *European Journal of Technique*, 12(1), 57-61.

- Kuşkapan, E. ve Çodur, M. Y. 2022. Trafik cezalarının yaya güvenliğine etkisinin yapay zekâ algoritması ile incelenmesi. *Mühendislik Alanında Teori ve Araştırmalar*, 105-115.
- Kuşkapan, E., Çodur, M. Y. and Atalay, A. 2021a. Speed violation analysis of heavy vehicles on highways using spatial analysis and machine learning algorithms. *Accident Analysis & Prevention*, 155, 106098.
- Kuşkapan, E., Kaya, Ö., Alemdar, K.D. and Çodur, M. Y. 2021b. Optimization of Urban Bus Stops for Increasing the Use of Public Transportation. 1st International Conference on Advances in Engineering, Architecture, Science and Technology, Erzurum Technical University, 15-17 December, Book of Abstracts, 405-414, Erzurum/Turkey.
- Kuşkapan, E., Sahraei, M. A., Çodur, M. K. and Çodur, M. Y. 2022. Pedestrian safety at signalized intersections: Spatial and machine learning approaches. *Journal of Transport & Health*, 24, 101322.
- Kuşkapan, E. and Çodur, M. Y. 2022a. Promoting pedestrian transportation for reducing air pollution from urban transport. *Journal of Environmental & Earth Sciences*, 4(1), 47-53.
- Laković, S., Tollazzi, T. and Gruden, C. 2023. Elderly pedestrians and road safety: findings from the Slovenian accident database and measures for improving their safety. *Sustainability*, 15(2), 1631.
- LaValley, M. P. 2008. Logistic regression. *Circulation*, 117(18), 2395-2399.
- Li, Y., Fan, W., Song, L. and Liu, S. 2023. Combining emerging hotspots analysis with XGBoost for modeling pedestrian injuries in pedestrian-vehicle crashes: a case study of North Carolina. *Journal of Transportation Safety & Security*, 1-23.
- Liu, J., Wang, Y. and Zhou, B. 2021. Analysis of Factors Contributing to Vehicle-Pedestrian Crash Severity Incorporating Data Imbalance Treatment. 21st COTA International Conference of Transportation, 17-20 December, Book of Abstracts, 110-120, Xi'an, China.
- Liu, Y., Wang, Y. and Zhang, J. 2012. New Machine Learning Algorithm: Random Forest. International Conference on Information Computing and Applications, 14-16 September, Book of Abstracts, 246-252, Berlin, Germany.
- Ma, Y., Lee, E. W. M. and Yuen, R. K. K. 2016. An artificial intelligence-based approach for simulating pedestrian movement. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(11), 3159-3170.
- Meocci, M., Branzi, V., Martini, G., Arrighi, R. and Petrizzo, I. 2021. A predictive pedestrian crash model based on artificial intelligence techniques. *Applied Sciences*, 11(23), 11364.

- Mohanty, M., Sarkar, B., Gorzelańczyk, P., Panda, R., Gandupalli, S. R. and Ankunda, A. 2023. Developing pedestrian fatality prediction models using historical crash data: application of binary logistic regression and boosted tree mechanism. *Communications*, 25(2), D45-D53.
- Mokhtarimousavi, S., Anderson, J.C., Azizinamini, A. and Hadi, M., 2020. Factors affecting injury severity in vehicle-pedestrian crashes: a day-of-week analysis using random parameter ordered response models and artificial neural networks. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 9, 100–115.
- Mukherjee, D. and Mitra, S., 2019. A comparative study of safe and unsafe signalized intersections from the view point of pedestrian behavior and perception. *Accident Analysis & Prevention*, 132, 105218.
- O'Connor, P., Neil, D., Liu, S. C., Delbruck, T. and Pfeiffer, M. 2013. Real-time classification and sensor fusion with a spiking deep belief network. *Frontiers in Neuroscience*, 7, 178.
- Osamu, I., Jun, S., Kazuo, I., Takeshi, Y. and Yasuhiro, K. 2019. Prediction of Pedestrian Protection Performance Using Machine Learning. 26th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, 10-13 June, Book of Abstracts, 1-10, Eindhoven, Netherlands.
- Pan, T., Zhang, Y. and Wang, Y. 2017. Research on pedestrian traffic safety education based on somatosensory technology. *International Journal of Artificial Intelligence and Mechatronics*, 6(2), 46-50.
- Pande, A. and Abdel-Aty, M. 2006. Assessment of freeway traffic parameters leading to lane-change related collisions. *Accident Analysis & Prevention*, 38, 936–948.
- Papageorgiou, G. and Maimaris, A. 2017. Towards the Development of Intelligent Pedestrian Mobility Systems. *International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, 18-20 October, Book of Abstracts, 251-256, Banda Aceh, Indonesia.
- Pourhomayoun, M. 2020. Automatic traffic monitoring and management for pedestrian and cyclist safety using deep learning and artificial intelligence. *Mineta Transportation Institute Publications*, (9), 1-19.
- Rahman, M., Islam, M., Holt, C., Calhoun, J. and Chowdhury, M. 2022. Dynamic error-bounded lossy compression to reduce the bandwidth requirement for real-time vision-based pedestrian safety applications. *Journal of Real-Time Image Processing*, 19(1), 117-131.
- Schiller, P. L., Bruun, E. C. and Kenworthy, J. R. 2010. An introduction to sustainable transportation: Policy, planning and implementation. *Cromwell Press*, 86, Washington, USA.

- Shirazi, M. S. and Morris, B. T. 2016. Vision-based vehicle and pedestrian tracking of intersection videos. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 25(05), 1640004.
- Shrivastava, K. and Jathar, S. 2019. Implication of machine learning in automobile for enhancing passenger and pedestrian safety. *International Journal of Management, IT and Engineering*, 9(6), 106-117.
- Soloiu, V., Mehrzed, S., Pierce, K., Willis, J. and Rowell, A. 2023. Enhancing Traffic Safety by Developing Vehicle Safety Envelope with Real Time Data Interface and Machine Learning Based Sensor Fusion Platform, *SAE World Congress Experience*, 18-20 April, Book of Abstracts, 1-11, Georgia.
- Suthaharan, S. 2016. Support Vector Machine. *Machine Learning Models and Algorithms for Big Data Classification*, 365, Boston.
- Şeker, S. E. 2015. Metin madenciliği. *YBS Ansiklopedi*, 2(3), 30-32.
- Tahmasbi-Sarvestani, A., Mahjoub, H. N., Fallah, Y. P., Moradi-Pari, E. and Abuchaar, O. 2017. Implementation and evaluation of a cooperative vehicle-to-pedestrian safety application. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 9(4), 62-75.
- Tao, W., Aghaabbasi, M., Ali, M., Almaliki, A. H., Zainol, R., Almaliki, A. A. and Hussein, E. E. 2022. An advanced machine learning approach to predicting pedestrian fatality caused by road crashes: a step toward sustainable pedestrian safety. *Sustainability*, 14(4), 2436.
- Telima, M., El Esawey, M., El-Basyouny, K. and Osama, A. 2023. The use of crowdsourcing data for analyzing pedestrian safety in urban areas. *Ain Shams Engineering Journal*, 102140.
- Toran Pour, A., Moridpour, S., Tay, R. and Rajabifard, A. 2017. Modelling pedestrian crash severity at mid-blocks. *Transportmetrica A: Transport Science*. 13, 273–297.
- Tortum, A., Yayla, N. and Gökdağ, M. 2009. The modeling of mode choices of intercity freight transportation with the artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 6199-6217.
- Xia, S., de Godoy Peixoto, D., Islam, B., Islam, M. T., Nirjon, S., Kinget, P. R. and Jiang, X. 2019. Improving pedestrian safety in cities using intelligent wearable systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), 7497-7514.
- Xu, W., Ruiz-Juri, N., Huang, R., Duthie, J. and Clary, J. 2018. Automated Pedestrian Safety Analysis Using Data From Traffic Monitoring Cameras. *Proceedings of the 1st ACM/EIGSCC Symposium on Smart Cities and Communities*, 20-22 June, Book of Abstracts, 1-8, Portland, USA.

- Ye, J., Zhao, J., Ye, K. and Xu, C. 2020. How to build a graph-based deep learning architecture in traffic domain: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(5), 3904-3924.
- Yılmaz A. 2022. *Yapay Zekâ*. Kodlab Yayın Evi, 384, İstanbul.
- Yüksekol, İ. 2012. Yaya güvenliğinin otobüs durakları çevresinde coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 195, Ankara.
- Zadobrischi, E. 2022. Analysis and experiment of wireless optical communications in applications dedicated to mobile devices with applicability in the field of road and pedestrian safety. *Sensors*, 22(3), 1023.
- Zhang, S. 2021. Improving pedestrian safety using video data, surrogate safety measures and deep learning. Doctoral Thesis, University of Central Florida, Department of Civil, Environmental and Construction Engineering, 593, Florida.
- Zhang, S. and Abdel-Aty, M. 2022. Real-time pedestrian conflict prediction model at the signal cycle level using machine learning models. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 3, 176-186.
- Zhang, S., Abdel-Aty, M., Cai, Q., Li, P. and Ugan, J., 2020a. Prediction of pedestrian-vehicle conflicts at signalized intersections based on long short-term memory neural network. *Accident Analysis & Prevention*. 148, 105799.
- Zhang, S., Abdel-Aty, M., Wu, Y. and Zheng, O., 2020b. Modeling pedestrians' near-accident events at signalized intersections using gated recurrent unit (GRU). *Accident Analysis & Prevention*. 148, 105844.
- Zhang, Y., Zhang, Y. and Su, R. 2019. Pedestrian-safety-aware traffic light control strategy for urban traffic congestion alleviation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(1), 178-193.
- Zhu, Z., Hu, Z., Dai, W., Chen, H. and Lv, Z. 2022. Deep learning for autonomous vehicle and pedestrian interaction safety. *Safety Science*, 145, 105479.

EKLER

EK-1

Yayaların karışmış olduğu kazalardan çevre ve yol değişkenleri ile sürücü ve araç değişkenleri

SIRA NO	KONUM	İLÇE	Y KOOR.	X KOOR.	YOL BİLGİSİ	DL GÜVENLİK EKP. İLE ÇEVRE VE DİĞER ÖZELLİKLER	YOL GEOMETRİK ÖZ.										YAYA BİLGİSİ																					
							YOLUN TİPİ	KAPLAMA CİNSİ	YOLUN SINIFI	OTO KORKULUK	YAYA YOLU(KAÇIRIM)	EMN.ŞERİDİ/BANKET	YOL ŞERİT ÇİZİSİ	TFF.İŞR.LEVHASI	TFF.LAMBASI	AYDINLATMA	TFF.GÖREVİSİ	GÖRÜŞE ENGEL CİSİM	HASAR GÖREN DİĞER...	GÜN DURUMU	YOLUN YÜZEYİ	LİKAYRIM DURUMU	YATAY GÜZ.	DÜŞEY GÜZ.	KAVŞAK	GEÇİT DURUMU	DİĞER ÖZELLİKLER	OLUŞ ŞEKLİ-1	ARAÇ SAVIŞIMA GÖRE	YOL SORUNU	İLK ÇARPİŞMA YERİ	DOĞUM YILI	Ölü Erkek	Yaralı Erkek	Ölü Kadın	KAZA SONUCU	KUSUR-1	KUSUR-2
3	Y	41.25158	39.88002	16:30	Palandöken	3	1	1	2	1	2	1	2	3	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	3	1	3	1	3	
5	Y	41.15864	39.84960	13:40	Yakutiye	1	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3
26	Y	41.27192	39.90989	17:50	Yakutiye	2	1	1	2	1	2	1	2	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3
38	Y	41.16356	39.53949	10:40	Yakutiye	3	1	2	3	2	2	3	1	2	2	3	1	2	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3
45	Y	41.26827	39.90035	10:45	Palandöken	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
47	Y	39.87351	41.24808	08:05	Palandöken	1	1	1	2	1	2	2	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
65	Y	41.27784	39.91733	08:30	Yakutiye	1	1	1	2	1	2	1	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
71	Y	41.26345	39.90021	09:00	Palandöken	1	1	1	2	1	1	1	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
73	Y	41.27344	39.27344	16:20	Yakutiye	2	1	1	2	1	2	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
92	Y	41.24668	39.892234	09:35	Yakutiye	1	1	1	2	1	2	2	3	1	2	2	2	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
100	Y	41.23860	39.89616	15:45	Yakutiye	3	1	3	1	2	2	2	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
102	Y	41.16448	39.55164	14:25	Yakutiye	1	1	1	2	1	2	1	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
103	Y	41.27201	39.89621	16:45	Aziye	1	1	1	1	2	2	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
105	Y	41.27625	39.91259	14:25	Yakutiye	3	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
113	Y	41.26495	39.91172	18:30	Yakutiye	1	1	1	2	2	2	2	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
114	Y	41.15483	39.53562	17:25	Yakutiye	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
121	Y	41.24566	39.87770	11:45	Palandöken	1	1	1	2	1	2	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
123	Y	41.18174	39.91474	17:05	Yakutiye	3	1	2	1	2	2	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
125	Y	41.28833	39.90586	14:20	Yakutiye	1	1	1	2	2	1	2	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
126	Y	41.22674	39.89120	14:35	Aziye	1	1	1	2	1	2	1	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
138	Y	41.27619	39.88690	07:30	Palandöken	3	1	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
141	Y	41.27431	39.90954	13:00	Yakutiye	3	1	1	2	1	2	2	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
143	Y	41.24203	39.94100	17:30	Palandöken	3	1	2	2	2	2	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
146	Y	41.23750	39.90248	14:00	Yakutiye	2	1	1	2	1	2	2	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
149	Y	41.26431	39.91954	11:50	Yakutiye	1	1	1	2	1	2	3	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
150	Y	41.27158	39.89984	19:40	Yakutiye	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
163	Y	41.27445	39.91737	19:21	Yakutiye	1	1	1	1	1	2	3	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
167	Y	41.26841	39.90525	17:10	Yakutiye	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	
174	Y	41.26153	39.91352	20:20	Yakutiye	3	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	68/1-B-3	1	2	68/1-B-3	1	3	1	3	

KONUM		SÜRÜCÜ VE ARAÇ																			YAYA BİLGİSİ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
SIRA NO	KAZANIN CİNSİ	X KOOR.	Y KOOR.	SAAT	İLÇE	DOĞUM YILI	Kaza Sonucu	Ölü Erkek	Varalı Erkek	Ölü Kadın	Varalı Kadın	PLAKA	ARAÇ CİNSİ	KAZA SONRASI KONUM(MT.)	ARAÇIN KULLANIM AMACI	DARBE ALINAN İLK BÖLÜM	KAZAYA ETKİ EDEN AKSAMLAR	MÜYENE DURUMU	HASAR DURUMU	YANMA DURUMU	YAKIT CİNSİ	ÖĞRENİM DURUMU	ALKOL SONUCU	PSİKO-FİZİKSEL DURUMU	EMNİYET KEMERİ/KASK	KUSUR-1	KUSUR-2	ARAÇ NO	ADI SOYADI	DOĞUM YILI	Ölü Erkek	Varalı Erkek	Ölü Kadın	Varalı Kadın	KAZA SONUCU	KUSUR-1	KUSUR-2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
3	Y	41.25158	39.88002	16:30	Palandöken	1985	3						5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	5	1	5	7					2002	1		1		2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			

EK-2

Faster R-CNN algoritması ile yapılan eğitim sonuçları

```
Loading and preparing results...
DONE (t=0.18s)
creating index...
index created!
Running per image evaluation...
Evaluate annotation type *bbox*
DONE (t=0.50s).
Accumulating evaluation results...
DONE (t=0.08s).
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50:0.95 | area= all | maxDets=100 ] = 0.432
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50 | area= all | maxDets=100 ] = 0.836
Average Precision (AP) @[ IoU=0.75 | area= all | maxDets=100 ] = 0.400
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50:0.95 | area= small | maxDets=100 ] = 0.300
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50:0.95 | area=medium | maxDets=100 ] = 0.179
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50:0.95 | area= large | maxDets=100 ] = 0.497
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= all | maxDets= 1 ] = 0.356
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= all | maxDets= 10 ] = 0.538
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= all | maxDets=100 ] = 0.581
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= small | maxDets=100 ] = 0.380
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area=medium | maxDets=100 ] = 0.380
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= large | maxDets=100 ] = 0.639
[10/23 09:00:28 d2.evaluation.coco_evaluation]: Evaluation results for bbox:
| AP | AP50 | AP75 | APs | APm | AP1 |
|:-----:|:-----:|:-----:|:-----:|:-----:|:-----:|
| 43.215 | 83.587 | 40.016 | 30.033 | 17.939 | 49.710 |
[10/23 09:00:28 d2.evaluation.coco_evaluation]: Per-category bbox AP:
| category | AP | category | AP |
|:-----:|:-----:|:-----:|:-----:|
| EngelliTest | nan | 0 | 43.215 |
OrderedDict([('bbox',
  {'AP': 43.21475860606244,
   'AP50': 83.58704745676405,
   'AP75': 40.016230537507305,
   'APs': 30.03300330033003,
   'APm': 17.939111997248204,
   'AP1': 49.710102730351466,
   'AP-EngelliTest': nan,
   'AP-0': 43.21475860606244})])
```

150 epoch değerinde elde edilen sonuçlar

```

Loading and preparing results...
DONE (t=0.01s)
creating index...
index created!
Running per image evaluation...
Evaluate annotation type *bbox*
DONE (t=0.40s).
Accumulating evaluation results...
DONE (t=0.06s).
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50:0.95 | area= all | maxDets=100 ] = 0.415
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50 | area= all | maxDets=100 ] = 0.848
Average Precision (AP) @[ IoU=0.75 | area= all | maxDets=100 ] = 0.317
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50:0.95 | area= small | maxDets=100 ] = 0.266
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50:0.95 | area=medium | maxDets=100 ] = 0.207
Average Precision (AP) @[ IoU=0.50:0.95 | area= large | maxDets=100 ] = 0.472
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= all | maxDets= 1 ] = 0.349
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= all | maxDets= 10 ] = 0.513
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= all | maxDets=100 ] = 0.555
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= small | maxDets=100 ] = 0.400
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area=medium | maxDets=100 ] = 0.386
Average Recall (AR) @[ IoU=0.50:0.95 | area= large | maxDets=100 ] = 0.604
[10/23 09:39:12 d2.evaluation.coco_evaluation]: Evaluation results for bbox:
| AP | AP50 | AP75 | APs | APm | AP1 |
|:-----:|:-----:|:-----:|:-----:|:-----:|:-----:|
| 41.533 | 84.810 | 31.730 | 26.562 | 20.681 | 47.232 |
[10/23 09:39:12 d2.evaluation.coco_evaluation]: Per-category bbox AP:
| category | AP | category | AP |
|:-----:|:-----:|:-----:|:-----:|
| EngelliTest | nan | 0 | 41.533 |
OrderedDict([('bbox',
  {'AP': 41.53349695722734,
   'AP50': 84.80953887587093,
   'AP75': 31.730497300965784,
   'APs': 26.561656165616558,
   'APm': 20.680688992058577,
   'AP1': 47.23187092834317,
   'AP-EngelliTest': nan,
   'AP-0': 41.53349695722734}}]))

```

300 epoch değerinde elde edilen sonuçlar

EK-3

YOLOv7 algoritması ile yapılan eğitim sonuçları

```
Epoch 146/149  gpu_mem  box      obj      cls  total  labels  img_size
                10.8G  0.0419  0.009635  0  0.05154  19  640: 100% 70/70 [00:56<00:00, 1.24it/s]
                Class  Images  Labels      P      R  mAP@.5  mAP@.5:.95: 100% 11/11 [00:06<00:00, 1.82it/s]
                all    341    561    0.812    0.709    0.811    0.403

Epoch 147/149  gpu_mem  box      obj      cls  total  labels  img_size
                10.8G  0.0388  0.01022  0  0.04903  25  640: 100% 70/70 [00:56<00:00, 1.23it/s]
                Class  Images  Labels      P      R  mAP@.5  mAP@.5:.95: 100% 11/11 [00:06<00:00, 1.79it/s]
                all    341    561    0.769    0.763    0.806    0.403

Epoch 148/149  gpu_mem  box      obj      cls  total  labels  img_size
                10.8G  0.03944  0.01016  0  0.0496  11  640: 100% 70/70 [00:56<00:00, 1.24it/s]
                Class  Images  Labels      P      R  mAP@.5  mAP@.5:.95: 100% 11/11 [00:06<00:00, 1.81it/s]
                all    341    561    0.808    0.724    0.812    0.407

Epoch 149/149  gpu_mem  box      obj      cls  total  labels  img_size
                10.8G  0.04005  0.01026  0  0.05031  26  640: 100% 70/70 [00:56<00:00, 1.23it/s]
                Class  Images  Labels      P      R  mAP@.5  mAP@.5:.95: 100% 11/11 [00:07<00:00, 1.47it/s]
                all    341    561    0.828    0.729    0.821    0.415

150 epochs completed in 2.671 hours.

Optimizer stripped from runs/train/exp2/weights/last.pt, 74.8MB
Optimizer stripped from runs/train/exp2/weights/best.pt, 74.8MB

test: Scanning 'EngelliTest-1/test/labels.cache' images and labels... 256 found, 0 missing, 0 empty, 0 corrupted: 100% 256/256 [00:00<?, ?it/s]
Testing with YOLOv5 AP metric...
                Class  Images  Labels      P      R  mAP@.5  mAP@.5:.95: 100% 8/8 [00:03<00:00, 2.36it/s]
                all    256    422    0.834    0.739    0.799    0.48

Speed: 3.8/1.2/5.0 ms inference/NMS/total per 640x640 image at batch-size 32

Evaluating pycocotools mAP... saving runs/test/exp/best_predictions.json...
loading annotations into memory...
pycocotools unable to run: [Errno 2] No such file or directory: './coco/annotations/instances_val2017.json'
Results saved to runs/test/exp
242 labels saved to runs/test/exp/labels
```

150 epoch değerinde elde edilen sonuçlar

Epoch	gpu_mem	box	obj	cls	total	labels	img_size
146/149	10.8G	0.0419	0.009635	0	0.05154	19	640: 100% 70/70 [00:56<00:00, 1.24it/s]
	Class	Images	Labels		P	R	mAP@.5 mAP@.5:.95: 100% 11/11 [00:06<00:00, 1.82it/s]
	all	341	561		0.812	0.709	0.811 0.403

Epoch	gpu_mem	box	obj	cls	total	labels	img_size
147/149	10.8G	0.0388	0.01022	0	0.04903	25	640: 100% 70/70 [00:56<00:00, 1.23it/s]
	Class	Images	Labels		P	R	mAP@.5 mAP@.5:.95: 100% 11/11 [00:06<00:00, 1.79it/s]
	all	341	561		0.769	0.763	0.806 0.403

Epoch	gpu_mem	box	obj	cls	total	labels	img_size
148/149	10.8G	0.03944	0.01016	0	0.0496	11	640: 100% 70/70 [00:56<00:00, 1.24it/s]
	Class	Images	Labels		P	R	mAP@.5 mAP@.5:.95: 100% 11/11 [00:06<00:00, 1.81it/s]
	all	341	561		0.808	0.724	0.812 0.407

Epoch	gpu_mem	box	obj	cls	total	labels	img_size
149/149	10.8G	0.04005	0.01026	0	0.05031	26	640: 100% 70/70 [00:56<00:00, 1.23it/s]
	Class	Images	Labels		P	R	mAP@.5 mAP@.5:.95: 100% 11/11 [00:07<00:00, 1.47it/s]
	all	341	561		0.828	0.729	0.821 0.415

150 epochs completed in 2.671 hours.

Optimizer stripped from runs/train/exp2/weights/last.pt, 74.8MB
Optimizer stripped from runs/train/exp2/weights/best.pt, 74.8MB

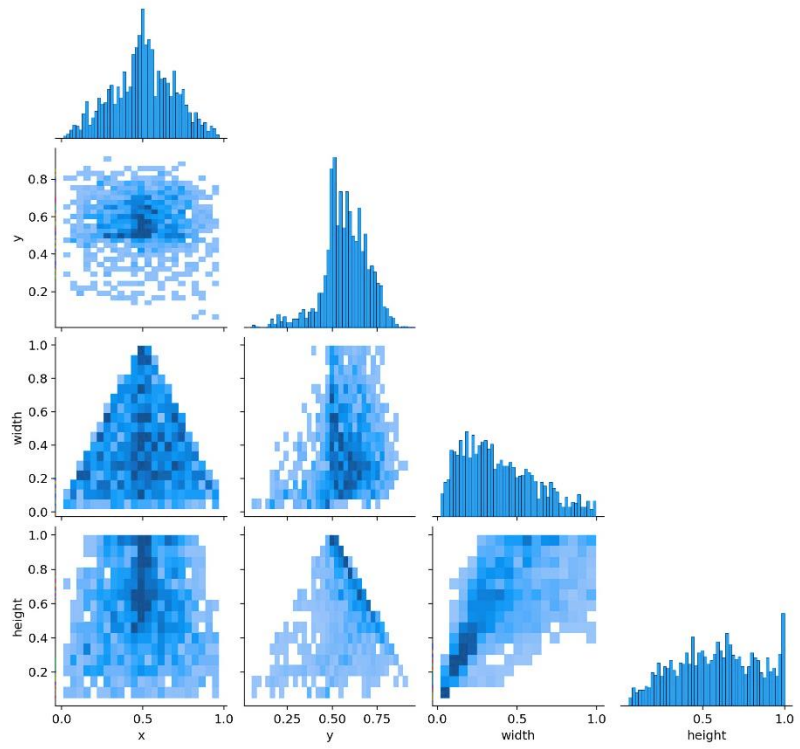
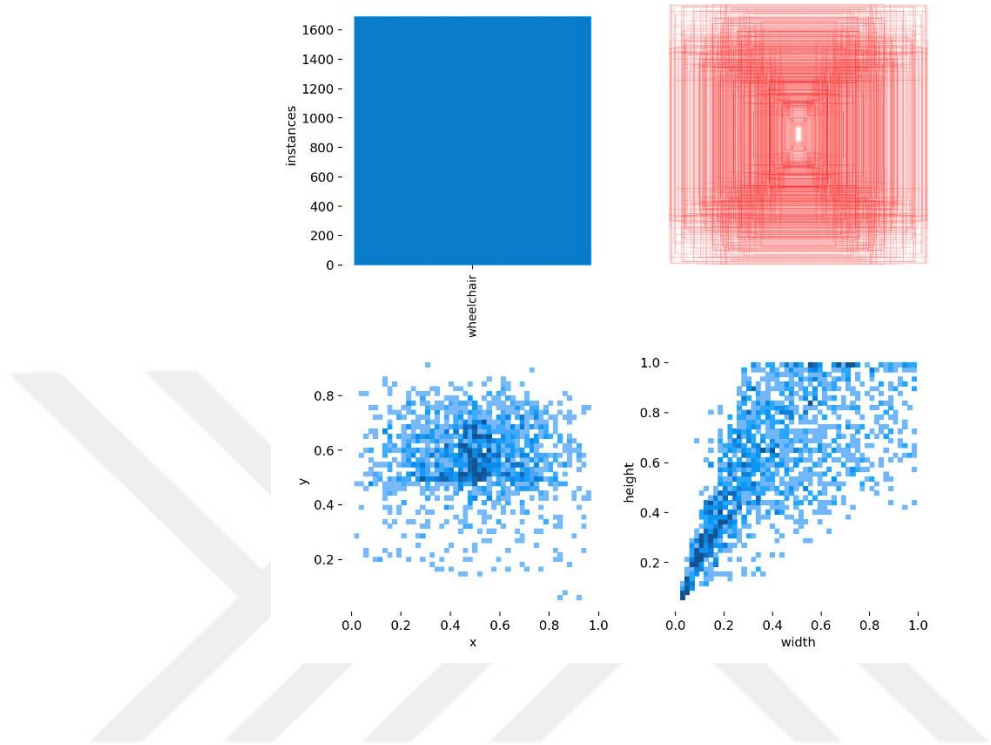
```
test: Scanning 'EngelliTest-1/test/labels.cache' images and labels... 256 found, 0 missing, 0 empty, 0 corrupted: 100% 256/256 [00:00<?, ?it/s]
Testing with YOLOV5 AP metric...
      Class      Images      Labels        P        R      mAP@.5      mAP@.5:.95: 100% 8/8 [00:03<00:00, 2.36it/s]
      all        256        422      0.834      0.739      0.799      0.48
Speed: 3.8/1.2/5.0 ms inference/NMS/total per 640x640 image at batch-size 32

Evaluating pycocotools mAP... saving runs/test/exp/best_predictions.json...
loading annotations into memory...
pycocotools unable to run: [Errno 2] No such file or directory: './coco/annotations/instances_val2017.json'
Results saved to runs/test/exp
242 labels saved to runs/test/exp/labels
```

300 epoch değerde elde edilen sonuçlar

EK-4

Verilerin YOLOv5 algoritmasına göre korelogramları ve algoritma ile yapılan eğitim sonuçları



```

Epoch  gpu_mem  box  obj  cls  labels  img_size
147/149  4.44G  0.03159  0.02109  0  5  640: 100% 70/70 [00:06<00:00, 10.09it/s]
      Class  Images  Labels  P  R  mAP@.5  mAP@.5:.95: 100% 11/11 [00:02<00:00, 5.19it/s]
      all    341    561  0.786  0.781  0.833  0.429

Epoch  gpu_mem  box  obj  cls  labels  img_size
148/149  4.44G  0.03169  0.02241  0  39  640: 100% 70/70 [00:06<00:00, 10.24it/s]
      Class  Images  Labels  P  R  mAP@.5  mAP@.5:.95: 100% 11/11 [00:02<00:00, 5.20it/s]
      all    341    561  0.807  0.79  0.844  0.431

Epoch  gpu_mem  box  obj  cls  labels  img_size
149/149  4.44G  0.03036  0.0213  0  13  640: 100% 70/70 [00:06<00:00, 10.19it/s]
      Class  Images  Labels  P  R  mAP@.5  mAP@.5:.95: 100% 11/11 [00:02<00:00, 5.19it/s]
      all    341    561  0.81  0.79  0.846  0.435

150 epochs completed in 0.400 hours.
Optimizer stripped from runs/train/yolov5s_results/weights/last.pt, 14.9MB
Optimizer stripped from runs/train/yolov5s_results/weights/best.pt, 14.9MB

Validating runs/train/yolov5s_results/weights/best.pt...
Fusing layers...
custom_YOLOv5s summary: 232 layers, 7246518 parameters, 0 gradients, 16.7 GFLOPs
      Class  Images  Labels  P  R  mAP@.5  mAP@.5:.95: 100% 11/11 [00:03<00:00, 2.85it/s]
      all    341    561  0.812  0.802  0.853  0.445

Results saved to runs/train/yolov5s_results
CPU times: user 22.5 s, sys: 3.93 s, total: 26.4 s
Wall time: 24min 41s

```

```

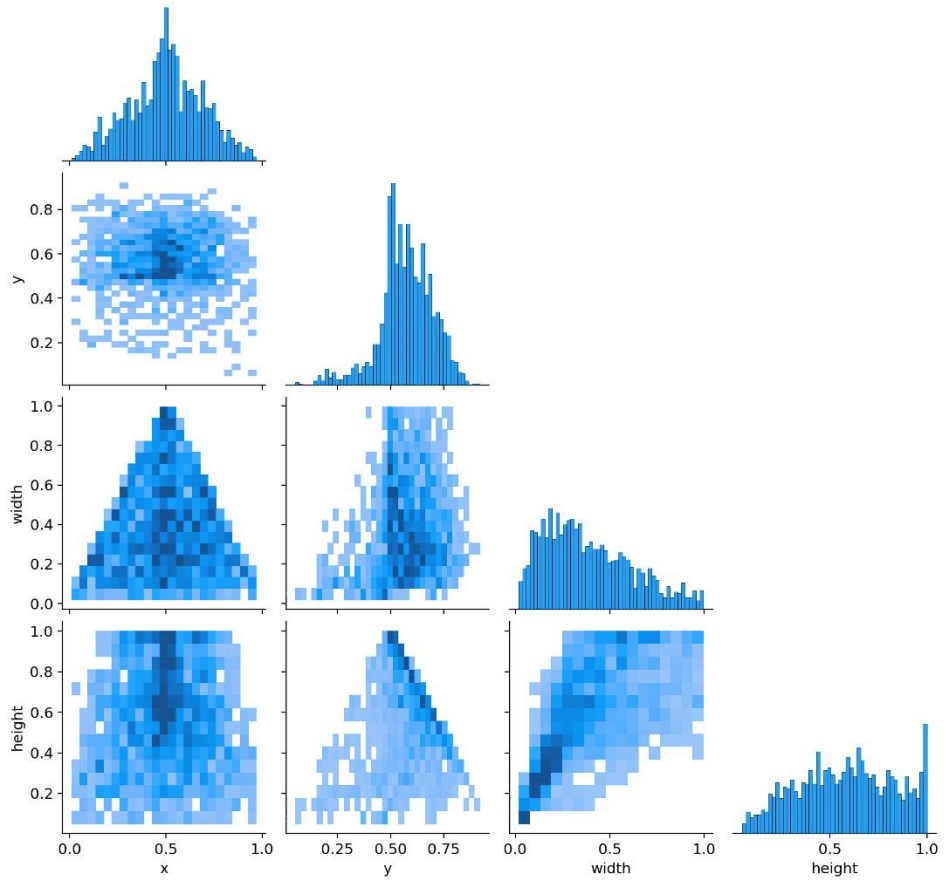
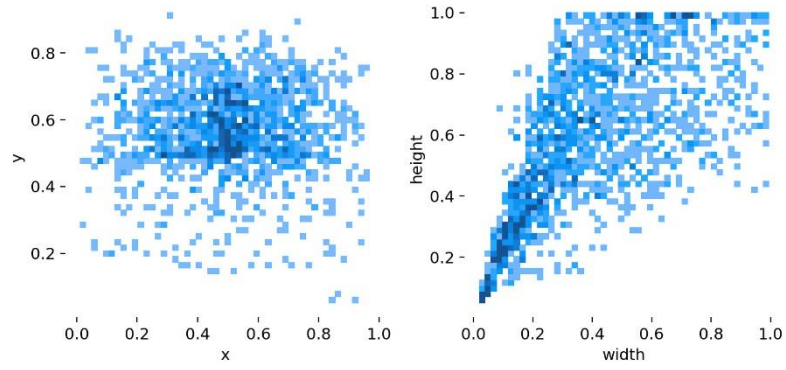
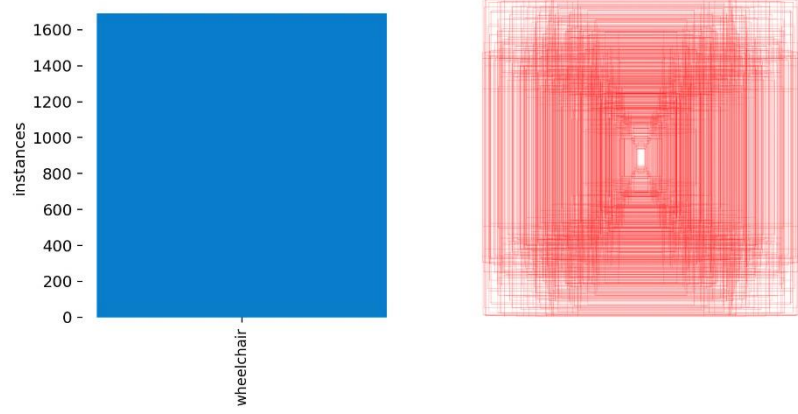
test: Scanning '/content/yolov5/EngelliTest-1/test/labels.cache' images and labels... 256 found, 0 missing, 0 empty, 0 corrupt: 100% 256/256 [00:00<?, ?it/s]
      Class  Images  Labels  P  R  mAP@.5  mAP@.5:.95: 100% 8/8 [00:04<00:00, 1.93it/s]
      all    256    422  0.818  0.744  0.781  0.461

Speed: 0.3ms pre-process, 1.5ms inference, 0.9ms NMS per image at shape (32, 3, 640, 640)

Evaluating pycocotools mAP... saving runs/val/exp/best_predictions.json...
loading annotations into memory...
pycocotools unable to run: [Errno 2] No such file or directory: '../coco/annotations/instances_val2017.json'
Results saved to runs/val/exp
232 labels saved to runs/val/exp/labels

```

Yolo v5 150 epoch değerinde elde edilen korelogramlar ve eğitim sonuçları



En başarılı algoritma olan Yolo v5 300 epoch değerinde elde edilen korelogramlar

En başarılı algoritma olan Yolov5 algoritması için 300 epoch değerinde elde edilen sonuçlar

```
Fusing layers...
custom_YOLOv5s summary: 232 layers, 7246518 parameters, 0 gradients, 16.7 GFLOPs
Downloading https://ultralytics.com/assets/Arial.ttf to /root/.config/Ultralytics/Arial.ttf...
100% 755k/755k [00:00<00:00, 16.7MB/s]
test: Scanning '/content/yolov5/EngelliTest-1/test/labels' images and labels...256 found, 0 missing, 0 empty, 0 corrupt: 100% 256/256 [00:00<00:00, 6841.65it/s]
test: New cache created: /content/yolov5/EngelliTest-1/test/labels.cache
Class Images Labels P R mAP@0.5 mAP@0.5:0.95: 100% 8/8 [00:05<00:00, 1.49it/s]
all 256 422 0.859 0.81 0.857 0.541
Speed: 0.1ms pre-process, 1.2ms inference, 1.3ms NMS per image at shape (32, 3, 640, 640)

Evaluating pycocotools mAP... saving runs/val/exp/best_predictions.json...
loading annotations into memory...
pycocotools unable to run: [Errno 2] No such file or directory: '../coco/annotations/instances_val2017.json'
Results saved to runs/val/exp
238 labels saved to runs/val/exp/labels
```

Tez içeriğinde belirtilen epoch, duyarlılık, kesinlik ve mAP değerlerine ilaveten aşağıda verilen tablodaki kavramlar nesne algılama ve nesne tanıma gibi derin öğrenme tabanlı görsel işleme problemlerinde kullanılan performans ölçütleri olan kayıp fonksiyonları (loss functions) tarafından hesaplanan değerlerdir.

Train/box_loss (eğitim/koordinat kaybı): Bu, eğitim sırasında kullanılan ölçüt fonksiyonu tarafından hesaplanan, modelin nesne kutularının koordinatlarını tahmin etmesindeki başarısızlığı gösteren bir değerdir.

Train/obj_loss (eğitim/nesne kaybı): Bu, eğitim sırasında kullanılan ölçüt fonksiyonu tarafından hesaplanan, modelin nesne varlığını tespit etmedeki başarısızlığı gösteren bir değerdir.

Val/box_loss (doğrulama/koordinat kaybı): Bu, doğrulama (validation) veri seti üzerindeki performansı ölçmek için kullanılan ölçüt fonksiyonu tarafından hesaplanan, modelin nesne kutularının koordinatlarını tahmin etmesindeki başarısızlığı gösteren bir değerdir.

Val/obj_loss (doğrulama/nesne kaybı): Bu, doğrulama veri seti üzerindeki performansı ölçmek için kullanılan ölçüt fonksiyonu tarafından hesaplanan, modelin nesne varlığını tespit etmedeki başarısızlığı gösteren bir değerdir.

Bu değerler, modelin eğitim ve doğrulama sırasındaki performansını ölçmek ve modelin nesne tespiti yapabilme yeteneği hakkında bilgi vermek için kullanılır. Optimize edilen ölçüt fonksiyonlarının değeri ne kadar düşük olursa, modelin performansı da o kadar iyi olmaktadır.

epoch	train/ box_loss	train/ obj_loss	Kesinlik	Duyarlılık	mAP 0.5	mAP 0.5:0.95	val/ box_loss	val/ obj_loss
0	0.092	0.033	0.002	0.289	0.001	0.000	0.070	0.019
1	0.078	0.031	0.017	0.004	0.004	0.001	0.067	0.016
2	0.077	0.031	0.000	0.086	0.000	0.000	0.094	0.826
3	0.078	0.030	0.022	0.023	0.007	0.002	0.065	0.015
4	0.077	0.030	0.003	0.517	0.012	0.003	0.064	0.015

5	0.077	0.029	0.018	0.324	0.016	0.003	0.063	0.015
6	0.075	0.029	0.003	0.533	0.022	0.004	0.062	0.015
7	0.075	0.029	0.022	0.380	0.029	0.007	0.062	0.015
8	0.070	0.029	0.062	0.225	0.038	0.009	0.058	0.015
9	0.068	0.030	0.005	0.292	0.003	0.001	0.064	0.030
10	0.069	0.031	0.002	0.399	0.002	0.001	0.065	0.024
11	0.066	0.030	0.031	0.209	0.019	0.004	0.060	0.019
12	0.065	0.031	0.056	0.045	0.014	0.003	0.061	0.022
13	0.062	0.031	0.057	0.123	0.026	0.006	0.061	0.029
14	0.061	0.030	0.058	0.130	0.029	0.008	0.057	0.015
15	0.061	0.030	0.124	0.185	0.066	0.017	0.057	0.018
16	0.061	0.031	0.235	0.182	0.150	0.038	0.053	0.016
17	0.060	0.031	0.169	0.201	0.114	0.028	0.053	0.015
18	0.059	0.031	0.070	0.125	0.036	0.010	0.061	0.021
19	0.060	0.030	0.205	0.182	0.113	0.029	0.053	0.016
20	0.059	0.031	0.243	0.241	0.155	0.037	0.053	0.014
21	0.057	0.031	0.241	0.285	0.174	0.047	0.051	0.017
22	0.057	0.031	0.170	0.232	0.115	0.033	0.050	0.015
23	0.056	0.031	0.250	0.226	0.166	0.045	0.050	0.016
24	0.054	0.031	0.274	0.292	0.219	0.063	0.048	0.014
25	0.054	0.029	0.305	0.335	0.244	0.067	0.047	0.016
26	0.057	0.031	0.349	0.319	0.258	0.075	0.046	0.015
27	0.054	0.031	0.342	0.337	0.284	0.083	0.045	0.014
28	0.054	0.029	0.265	0.228	0.169	0.047	0.047	0.014
29	0.052	0.031	0.439	0.326	0.321	0.095	0.047	0.014
30	0.051	0.030	0.282	0.262	0.160	0.043	0.049	0.017
31	0.053	0.030	0.284	0.228	0.194	0.053	0.046	0.014
32	0.056	0.032	0.195	0.175	0.088	0.021	0.056	0.015
33	0.052	0.030	0.276	0.231	0.187	0.048	0.052	0.014
34	0.053	0.030	0.257	0.246	0.169	0.047	0.051	0.014
35	0.050	0.029	0.259	0.321	0.166	0.046	0.049	0.017
36	0.054	0.030	0.335	0.344	0.301	0.098	0.043	0.014
37	0.050	0.030	0.307	0.278	0.246	0.068	0.047	0.013
38	0.049	0.030	0.404	0.396	0.354	0.107	0.043	0.013
39	0.049	0.030	0.379	0.380	0.359	0.107	0.042	0.014
40	0.050	0.030	0.501	0.415	0.409	0.135	0.042	0.013
41	0.049	0.029	0.509	0.491	0.462	0.153	0.040	0.013
42	0.048	0.030	0.435	0.401	0.365	0.122	0.042	0.013
43	0.048	0.028	0.442	0.458	0.409	0.139	0.039	0.013

44	0.048	0.031	0.374	0.389	0.342	0.105	0.041	0.014
45	0.048	0.028	0.538	0.465	0.475	0.164	0.040	0.013
46	0.047	0.029	0.474	0.472	0.442	0.147	0.041	0.013
47	0.046	0.028	0.542	0.478	0.483	0.161	0.040	0.013
48	0.047	0.030	0.461	0.440	0.432	0.154	0.041	0.013
49	0.046	0.028	0.428	0.430	0.386	0.134	0.039	0.013
50	0.045	0.028	0.534	0.521	0.498	0.171	0.038	0.013
51	0.044	0.028	0.521	0.490	0.467	0.172	0.040	0.013
52	0.045	0.028	0.601	0.406	0.489	0.183	0.039	0.013
53	0.046	0.029	0.433	0.503	0.461	0.179	0.036	0.013
54	0.045	0.029	0.456	0.381	0.393	0.141	0.039	0.013
55	0.047	0.028	0.515	0.537	0.482	0.184	0.036	0.013
56	0.045	0.028	0.575	0.523	0.531	0.199	0.036	0.013
57	0.044	0.028	0.493	0.568	0.498	0.178	0.038	0.013
58	0.045	0.028	0.613	0.472	0.509	0.191	0.043	0.012
59	0.046	0.029	0.522	0.496	0.492	0.180	0.036	0.012
60	0.046	0.027	0.450	0.556	0.488	0.178	0.035	0.012
61	0.043	0.027	0.568	0.536	0.560	0.219	0.036	0.013
62	0.043	0.028	0.537	0.537	0.551	0.202	0.035	0.012
63	0.043	0.028	0.544	0.458	0.495	0.188	0.038	0.012
64	0.043	0.028	0.502	0.501	0.526	0.212	0.035	0.013
65	0.041	0.027	0.538	0.547	0.530	0.203	0.035	0.012
66	0.045	0.027	0.535	0.528	0.542	0.230	0.036	0.012
67	0.040	0.026	0.661	0.540	0.615	0.243	0.035	0.012
68	0.040	0.027	0.567	0.531	0.557	0.237	0.034	0.012
69	0.042	0.027	0.528	0.537	0.511	0.215	0.035	0.012
70	0.042	0.026	0.606	0.583	0.611	0.242	0.033	0.012
71	0.044	0.028	0.608	0.571	0.599	0.234	0.034	0.012
72	0.041	0.026	0.627	0.554	0.613	0.227	0.036	0.012
73	0.042	0.027	0.608	0.606	0.621	0.263	0.034	0.012
74	0.041	0.028	0.559	0.522	0.545	0.220	0.035	0.012
75	0.043	0.026	0.487	0.496	0.486	0.190	0.035	0.012
76	0.043	0.027	0.677	0.587	0.648	0.271	0.035	0.012
77	0.040	0.028	0.673	0.631	0.686	0.280	0.034	0.012
78	0.039	0.025	0.615	0.620	0.606	0.260	0.034	0.012
79	0.041	0.027	0.586	0.594	0.584	0.246	0.034	0.012
80	0.041	0.027	0.610	0.685	0.658	0.272	0.033	0.012
81	0.040	0.027	0.703	0.656	0.705	0.298	0.032	0.012
82	0.040	0.026	0.619	0.633	0.628	0.256	0.034	0.012

83	0.038	0.026	0.618	0.668	0.625	0.258	0.033	0.011
84	0.040	0.026	0.680	0.631	0.688	0.293	0.033	0.011
85	0.040	0.026	0.613	0.587	0.629	0.267	0.033	0.012
86	0.039	0.025	0.669	0.631	0.668	0.280	0.033	0.012
87	0.041	0.026	0.692	0.638	0.686	0.292	0.033	0.012
88	0.039	0.026	0.657	0.656	0.660	0.287	0.034	0.012
89	0.039	0.026	0.612	0.660	0.652	0.284	0.032	0.011
90	0.039	0.025	0.676	0.659	0.701	0.301	0.032	0.011
91	0.039	0.026	0.663	0.637	0.684	0.308	0.031	0.011
92	0.040	0.027	0.711	0.649	0.714	0.310	0.031	0.012
93	0.038	0.024	0.675	0.620	0.664	0.293	0.033	0.012
94	0.039	0.026	0.700	0.656	0.696	0.293	0.033	0.011
95	0.038	0.026	0.650	0.610	0.653	0.292	0.032	0.011
96	0.039	0.025	0.707	0.608	0.686	0.307	0.034	0.012
97	0.039	0.025	0.012	0.654	0.010	0.005	0.040	0.317
98	0.038	0.024	0.653	0.621	0.669	0.284	0.031	0.012
99	0.039	0.026	0.695	0.647	0.697	0.302	0.033	0.011
100	0.039	0.025	0.643	0.640	0.648	0.273	0.032	0.011
101	0.038	0.025	0.646	0.675	0.686	0.294	0.032	0.011
102	0.037	0.025	0.620	0.663	0.680	0.301	0.030	0.011
103	0.039	0.026	0.584	0.637	0.600	0.267	0.032	0.012
104	0.036	0.025	0.658	0.676	0.662	0.302	0.031	0.011
105	0.037	0.025	0.755	0.670	0.748	0.344	0.031	0.011
106	0.036	0.024	0.639	0.693	0.675	0.295	0.032	0.011
107	0.038	0.026	0.713	0.668	0.731	0.328	0.030	0.011
108	0.039	0.024	0.714	0.681	0.721	0.328	0.031	0.011
109	0.039	0.026	0.737	0.705	0.750	0.337	0.030	0.011
110	0.038	0.025	0.659	0.651	0.674	0.304	0.031	0.011
111	0.036	0.024	0.698	0.674	0.715	0.322	0.031	0.011
112	0.037	0.026	0.700	0.709	0.701	0.311	0.031	0.011
113	0.037	0.025	0.556	0.635	0.575	0.260	0.032	0.011
114	0.037	0.025	0.741	0.717	0.749	0.353	0.030	0.011
115	0.036	0.024	0.694	0.700	0.713	0.320	0.031	0.011
116	0.038	0.025	0.715	0.692	0.730	0.347	0.030	0.011
117	0.038	0.026	0.680	0.692	0.702	0.301	0.031	0.011
118	0.037	0.025	0.656	0.704	0.682	0.314	0.031	0.011
119	0.039	0.025	0.737	0.671	0.731	0.327	0.030	0.011
120	0.036	0.024	0.733	0.730	0.759	0.365	0.031	0.011
121	0.038	0.023	0.753	0.701	0.769	0.378	0.029	0.011

122	0.035	0.025	0.700	0.684	0.706	0.329	0.030	0.011
123	0.037	0.025	0.721	0.718	0.746	0.350	0.030	0.011
124	0.035	0.023	0.792	0.718	0.790	0.394	0.031	0.011
125	0.037	0.025	0.744	0.695	0.731	0.349	0.030	0.011
126	0.036	0.024	0.781	0.713	0.778	0.375	0.029	0.011
127	0.037	0.024	0.727	0.752	0.771	0.372	0.030	0.011
128	0.037	0.023	0.771	0.668	0.749	0.348	0.032	0.011
129	0.036	0.023	0.757	0.678	0.758	0.376	0.031	0.011
130	0.037	0.025	0.731	0.725	0.751	0.365	0.030	0.010
131	0.035	0.024	0.719	0.729	0.749	0.360	0.030	0.011
132	0.034	0.023	0.692	0.736	0.745	0.363	0.030	0.011
133	0.035	0.023	0.744	0.736	0.780	0.381	0.029	0.010
134	0.035	0.023	0.733	0.697	0.749	0.368	0.030	0.011
135	0.036	0.024	0.703	0.662	0.695	0.337	0.031	0.011
136	0.035	0.024	0.731	0.727	0.756	0.372	0.029	0.011
137	0.035	0.023	0.775	0.707	0.757	0.377	0.029	0.011
138	0.034	0.024	0.728	0.717	0.752	0.364	0.029	0.011
139	0.034	0.023	0.710	0.715	0.753	0.357	0.029	0.011
140	0.035	0.023	0.754	0.703	0.762	0.369	0.029	0.011
141	0.033	0.022	0.749	0.745	0.777	0.385	0.030	0.011
142	0.036	0.024	0.732	0.733	0.750	0.365	0.029	0.010
143	0.034	0.023	0.783	0.715	0.790	0.387	0.029	0.010
144	0.035	0.024	0.696	0.725	0.727	0.349	0.030	0.011
145	0.033	0.023	0.737	0.733	0.779	0.372	0.030	0.010
146	0.033	0.023	0.775	0.749	0.813	0.401	0.029	0.010
147	0.035	0.023	0.731	0.756	0.761	0.384	0.029	0.010
148	0.035	0.024	0.743	0.701	0.761	0.385	0.029	0.010
149	0.034	0.023	0.777	0.709	0.786	0.397	0.030	0.010
150	0.034	0.022	0.772	0.719	0.790	0.393	0.029	0.010
151	0.035	0.023	0.730	0.724	0.758	0.355	0.030	0.011
152	0.033	0.022	0.731	0.758	0.785	0.390	0.028	0.010
153	0.032	0.023	0.775	0.754	0.794	0.408	0.029	0.010
154	0.033	0.022	0.768	0.724	0.774	0.396	0.029	0.010
155	0.034	0.022	0.758	0.738	0.763	0.385	0.029	0.010
156	0.033	0.022	0.728	0.758	0.759	0.390	0.029	0.011
157	0.034	0.022	0.733	0.737	0.771	0.387	0.030	0.010
158	0.034	0.023	0.793	0.711	0.797	0.409	0.029	0.010
159	0.033	0.023	0.767	0.752	0.775	0.382	0.030	0.010
160	0.032	0.022	0.812	0.749	0.803	0.398	0.029	0.010

161	0.033	0.023	0.752	0.793	0.795	0.401	0.029	0.010
162	0.034	0.022	0.784	0.772	0.816	0.425	0.029	0.010
163	0.034	0.023	0.801	0.768	0.807	0.409	0.029	0.010
164	0.034	0.022	0.744	0.736	0.774	0.389	0.029	0.010
165	0.033	0.023	0.804	0.777	0.821	0.417	0.029	0.010
166	0.033	0.022	0.764	0.765	0.805	0.395	0.029	0.010
167	0.033	0.022	0.772	0.768	0.790	0.381	0.029	0.010
168	0.032	0.022	0.767	0.770	0.812	0.407	0.029	0.010
169	0.032	0.023	0.777	0.747	0.797	0.400	0.029	0.010
170	0.033	0.022	0.818	0.766	0.825	0.421	0.029	0.010
171	0.034	0.022	0.736	0.763	0.779	0.394	0.029	0.010
172	0.032	0.023	0.772	0.766	0.791	0.402	0.029	0.010
173	0.032	0.023	0.795	0.766	0.830	0.429	0.028	0.010
174	0.034	0.022	0.783	0.749	0.806	0.416	0.028	0.010
175	0.032	0.022	0.777	0.775	0.793	0.407	0.028	0.010
176	0.031	0.021	0.778	0.775	0.808	0.403	0.028	0.010
177	0.032	0.022	0.779	0.749	0.810	0.408	0.028	0.010
178	0.032	0.022	0.831	0.745	0.831	0.420	0.028	0.010
179	0.031	0.022	0.812	0.788	0.842	0.431	0.028	0.010
180	0.031	0.022	0.743	0.779	0.811	0.418	0.028	0.010
181	0.031	0.022	0.729	0.788	0.791	0.390	0.029	0.010
182	0.032	0.022	0.793	0.775	0.810	0.407	0.029	0.010
183	0.031	0.021	0.787	0.768	0.819	0.413	0.029	0.010
184	0.030	0.022	0.765	0.756	0.788	0.402	0.028	0.010
185	0.032	0.022	0.799	0.793	0.831	0.423	0.029	0.010
186	0.032	0.022	0.811	0.755	0.833	0.430	0.028	0.010
187	0.031	0.021	0.783	0.799	0.831	0.427	0.028	0.010
188	0.032	0.022	0.759	0.766	0.824	0.428	0.028	0.010
189	0.031	0.021	0.807	0.767	0.823	0.426	0.027	0.010
190	0.031	0.021	0.808	0.777	0.825	0.428	0.028	0.010
191	0.032	0.021	0.786	0.788	0.820	0.438	0.027	0.010
192	0.031	0.022	0.819	0.781	0.845	0.449	0.027	0.010
193	0.031	0.022	0.797	0.777	0.826	0.415	0.028	0.010
194	0.032	0.021	0.799	0.791	0.834	0.439	0.027	0.010
195	0.030	0.020	0.790	0.787	0.822	0.430	0.027	0.010
196	0.032	0.022	0.792	0.781	0.824	0.418	0.028	0.010
197	0.031	0.021	0.756	0.790	0.829	0.437	0.027	0.010
198	0.032	0.022	0.787	0.799	0.831	0.442	0.027	0.010
199	0.032	0.021	0.811	0.789	0.839	0.441	0.028	0.010

200	0.032	0.021	0.798	0.790	0.847	0.446	0.028	0.010
201	0.031	0.021	0.798	0.796	0.847	0.450	0.027	0.010
202	0.030	0.021	0.813	0.761	0.836	0.447	0.027	0.010
203	0.029	0.021	0.844	0.774	0.838	0.446	0.028	0.010
204	0.032	0.021	0.791	0.818	0.847	0.456	0.027	0.010
205	0.030	0.020	0.840	0.777	0.854	0.462	0.027	0.010
206	0.031	0.020	0.813	0.799	0.848	0.454	0.027	0.010
207	0.032	0.021	0.812	0.795	0.839	0.452	0.027	0.010
208	0.031	0.020	0.813	0.779	0.844	0.456	0.027	0.010
209	0.031	0.021	0.797	0.783	0.820	0.432	0.028	0.010
210	0.031	0.021	0.779	0.788	0.846	0.440	0.027	0.010
211	0.030	0.020	0.800	0.769	0.838	0.430	0.027	0.010
212	0.031	0.020	0.805	0.787	0.838	0.440	0.027	0.010
213	0.030	0.020	0.806	0.777	0.837	0.449	0.027	0.010
214	0.032	0.021	0.859	0.781	0.859	0.450	0.027	0.010
215	0.030	0.020	0.825	0.800	0.856	0.455	0.027	0.010
216	0.030	0.020	0.832	0.790	0.849	0.456	0.027	0.010
217	0.030	0.020	0.804	0.770	0.843	0.447	0.027	0.010
218	0.030	0.020	0.776	0.803	0.833	0.437	0.027	0.010
219	0.030	0.020	0.812	0.763	0.843	0.451	0.027	0.010
220	0.030	0.020	0.812	0.813	0.847	0.445	0.027	0.010
221	0.030	0.020	0.806	0.801	0.839	0.437	0.027	0.010
222	0.030	0.020	0.786	0.806	0.835	0.450	0.027	0.010
223	0.030	0.021	0.808	0.808	0.852	0.454	0.028	0.010
224	0.030	0.020	0.845	0.793	0.859	0.454	0.027	0.010
225	0.029	0.020	0.808	0.785	0.840	0.437	0.027	0.010
226	0.031	0.021	0.800	0.822	0.855	0.460	0.027	0.010
227	0.030	0.020	0.808	0.797	0.842	0.459	0.028	0.010
228	0.028	0.020	0.817	0.820	0.850	0.460	0.027	0.010
229	0.028	0.020	0.814	0.797	0.854	0.459	0.027	0.010
230	0.029	0.020	0.805	0.780	0.844	0.450	0.028	0.010
231	0.029	0.020	0.827	0.797	0.852	0.456	0.027	0.010
232	0.029	0.020	0.829	0.797	0.859	0.460	0.027	0.010
233	0.030	0.020	0.802	0.802	0.839	0.442	0.028	0.010
234	0.028	0.020	0.835	0.794	0.852	0.455	0.027	0.010
235	0.030	0.020	0.842	0.786	0.856	0.463	0.027	0.010
236	0.029	0.020	0.847	0.800	0.854	0.458	0.027	0.010
237	0.027	0.019	0.812	0.811	0.849	0.462	0.027	0.010
238	0.028	0.019	0.777	0.822	0.839	0.449	0.027	0.010

239	0.028	0.020	0.776	0.829	0.842	0.453	0.027	0.010
240	0.029	0.020	0.820	0.809	0.860	0.466	0.027	0.010
241	0.026	0.018	0.834	0.808	0.855	0.462	0.027	0.010
242	0.028	0.019	0.869	0.812	0.877	0.468	0.027	0.010
243	0.029	0.020	0.838	0.800	0.857	0.462	0.028	0.010
244	0.029	0.019	0.841	0.794	0.859	0.467	0.027	0.010
245	0.029	0.019	0.812	0.793	0.856	0.466	0.027	0.010
246	0.029	0.020	0.840	0.804	0.860	0.462	0.027	0.010
247	0.027	0.018	0.836	0.820	0.872	0.469	0.027	0.010
248	0.029	0.020	0.838	0.811	0.869	0.463	0.027	0.010
249	0.028	0.019	0.808	0.816	0.859	0.467	0.027	0.010
250	0.028	0.019	0.805	0.804	0.847	0.454	0.027	0.010
251	0.028	0.019	0.854	0.800	0.863	0.468	0.027	0.010
252	0.028	0.019	0.854	0.781	0.852	0.466	0.028	0.010
253	0.029	0.020	0.805	0.801	0.848	0.455	0.027	0.010
254	0.028	0.019	0.848	0.774	0.859	0.465	0.027	0.010
255	0.028	0.019	0.815	0.800	0.850	0.464	0.026	0.010
256	0.028	0.019	0.825	0.824	0.866	0.475	0.026	0.010
257	0.028	0.019	0.848	0.774	0.852	0.460	0.027	0.010
258	0.027	0.018	0.811	0.796	0.860	0.471	0.027	0.010
259	0.028	0.019	0.827	0.788	0.864	0.466	0.027	0.010
260	0.027	0.019	0.786	0.829	0.854	0.475	0.027	0.010
261	0.027	0.019	0.811	0.807	0.860	0.477	0.027	0.010
262	0.028	0.019	0.822	0.759	0.840	0.455	0.027	0.010
263	0.028	0.019	0.791	0.820	0.843	0.465	0.027	0.010
264	0.027	0.019	0.822	0.820	0.862	0.481	0.027	0.010
265	0.027	0.019	0.802	0.840	0.863	0.473	0.027	0.010
266	0.027	0.019	0.798	0.829	0.858	0.476	0.027	0.010
267	0.028	0.019	0.797	0.831	0.854	0.466	0.027	0.010
268	0.027	0.018	0.826	0.812	0.859	0.474	0.027	0.010
269	0.028	0.019	0.802	0.836	0.853	0.463	0.027	0.010
270	0.027	0.019	0.814	0.826	0.865	0.472	0.027	0.010
271	0.026	0.019	0.827	0.818	0.864	0.474	0.027	0.010
272	0.027	0.018	0.832	0.822	0.865	0.470	0.027	0.010
273	0.027	0.019	0.827	0.815	0.861	0.472	0.027	0.010
274	0.027	0.019	0.821	0.804	0.847	0.464	0.027	0.010
275	0.027	0.018	0.823	0.814	0.862	0.476	0.027	0.010
276	0.026	0.019	0.824	0.811	0.866	0.478	0.027	0.010
277	0.027	0.019	0.816	0.834	0.866	0.478	0.026	0.010

278	0.025	0.018	0.840	0.803	0.862	0.482	0.027	0.010
279	0.027	0.018	0.832	0.803	0.855	0.474	0.027	0.010
280	0.028	0.019	0.822	0.807	0.861	0.473	0.026	0.010
281	0.028	0.018	0.819	0.827	0.869	0.479	0.027	0.010
282	0.027	0.018	0.795	0.837	0.861	0.473	0.027	0.010
283	0.027	0.019	0.820	0.838	0.868	0.485	0.027	0.010
284	0.027	0.018	0.838	0.820	0.860	0.484	0.026	0.010
285	0.027	0.018	0.834	0.824	0.868	0.481	0.027	0.010
286	0.026	0.019	0.826	0.825	0.867	0.482	0.027	0.010
287	0.025	0.018	0.853	0.800	0.859	0.470	0.027	0.010
288	0.026	0.018	0.822	0.818	0.852	0.472	0.027	0.010
289	0.026	0.018	0.821	0.822	0.868	0.486	0.027	0.010
290	0.026	0.018	0.838	0.811	0.863	0.483	0.027	0.010
291	0.027	0.018	0.798	0.839	0.864	0.482	0.026	0.010
292	0.026	0.019	0.798	0.838	0.855	0.477	0.026	0.010
293	0.026	0.018	0.852	0.822	0.869	0.482	0.027	0.010
294	0.025	0.018	0.835	0.836	0.868	0.484	0.027	0.010
295	0.026	0.018	0.851	0.829	0.874	0.487	0.026	0.010
296	0.026	0.018	0.838	0.831	0.873	0.486	0.026	0.010
297	0.027	0.018	0.833	0.841	0.870	0.485	0.026	0.010
298	0.027	0.018	0.833	0.827	0.867	0.481	0.026	0.010
299	0.025	0.018	0.839	0.827	0.870	0.481	0.026	0.010