



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KENT İÇİ YOL SEGMENTLERİNDE YAYA-ARAÇ KAZALARINA
ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
TABANLI ANALİZİ: ADANA ÖRNEĞİ

BURAK YİĞİT KATANALP
YÜKSEK LİSANS



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKEŞ BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KENT İÇİ YOL SEGMENTLERİNDE YAYA-ARAÇ KAZALARINA
ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
TABANLI ANALİZİ: ADANA ÖRNEĞİ

BURAK YİĞİT KATANALP
YÜKSEK LİSANS

DANIŞMAN
PROF.DR. FARUK FIRAT ÇALIM

ADANA 2020

Bu tezde yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışa uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde bu çalışmaya özgün olmayan tüm bilgiler için atıf verdiğimi ve kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

[İmza]
Burak Yiğit KATANALP

ÖZET

KENT İÇİ YOL SEGMENTLERİNDE YAYA-ARAÇ KAZALARINA ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI ANALİZİ: ADANA ÖRNEĞİ

Burak Yiğit KATANALP

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM

Haziran 2020, 100 sayfa

Bu çalışmada kent içi yol segmentleri üzerinde, yaya güvenliğinin arttırılmasına yönelik, yaya-araç kazalarının oluşumuna etki eden faktörlerin tespit edilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımı ile tespit edilen kritik yol segmentleri üzerinde gerçekleştirilen risk analizinde farklı makine öğrenmesi tekniklerinin model performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda Emniyet Genel Müdürlüğü'nden alınan Adana ili 2013-2017 yılları trafik kaza verileri detaylı analiz edilerek yol segmentleri üzerinde gerçekleşmiş tek araç-tek yaya kazaları pik saatlere göre ayrılmıştır. 4 pik saat türü için tek araç-tek yaya kazaları Coğrafi Bilgi Sistemleri platformunda haritalanmış ve Düzlemsel Kernel Yoğunluk Analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda kritik olarak tespit edilen yol segmentlerinde; yol geometrisi ve yol özellikleri, trafik karakteristikleri, yapılı çevre ve arazi kullanımı başlıkları altında 13 farklı faktöre ait veriler yerinde gözlemler ve ölçümler ile elde edilmiş ve bu faktörlerin yaya güvenliğine etkisi C4.5 Karar Ağacı Algoritması, Çok Katmanlı Algılayıcı ve Çevrilmiş Bulanık-Karar modeli ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda toplu taşıma yüzdesi, yol tipi, hız, arazi kullanım, parklanma ve pik saat tipi faktörlerinin kent içi yol segmentlerinde yaya güvenliği açısından yüksek etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Modellerin performansları karşılaştırıldığında en yüksek performansı %61.42 doğruluk ve %58.31 ağırlıklı ortalama F1-Skoru değerleri ile hibrit Çevrilmiş Bulanık-Karar modelinin gösterdiği görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar ışığında hibrit modellerin kaza analizlerinde kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çok katmanlı algılayıcı, Coğrafi bilgi sistemi, Bulanık mantık, C4.5

ABSTRACT

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM-BASED ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING PEDESTRIAN-VEHICLE ACCIDENTS IN URBAN ROAD SEGMENTS: ADANA CASE

Burak Yiğit KATANALP

M.Sc., Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM

June 2020, 100 pages

In this study, to improve the pedestrian safety, it was aimed to determine the factors that affect the occurrence of pedestrian-vehicle accidents on urban road segments and to evaluate the model performances of different machine learning techniques in risk analysis performed on critical road segments which were determined with the help of Geographic Information Systems. For this purpose, the traffic accident data of Adana province taken from the General Directorate of Police in 2013-2017 were analyzed in detail and the single vehicle-single pedestrian accidents that occurred on the road segments were separated according to peak hours. Single vehicle-single pedestrian accidents were mapped in the Geographic Information Systems for 4 peak hour types and Planar Kernel Density Analysis was performed. In the road segments that are critically identified as a result of the analyses; data including 13 different parameters on road geometry and road characteristics, traffic characteristics, the built environment, and land use were obtained through on-site observations and measurements. The effect of the parameters on pedestrian safety was evaluated with the C4.5 Decision Tree model, Multilayer Perceptron and Converted Fuzzy-Decision model. As a result of the study, it was determined that the percentage of public transport, road type, speed, land use, parking and peak hour type parameters have a high impact in terms of pedestrian safety in urban road segments. When the performances of the models were compared, it was seen that the hybrid Converted Fuzzy-Decision model showed the highest performance with 61.42% accuracy and 58.31% weighted average F1-Score. In light of these results, it is recommended to use hybrid models in accident analysis.

Keywords: Multilayer perceptron, Geographic Information Systems, Fuzzy Logic, C4.5



TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı gerçekleştirdiğim süre boyunca beni her zaman destekleyen, cesaretlendiren ve bilgilerini esirgemeyen değerli hocam ve İnşaat Mühendisliği bölüm başkanımız sayın Prof. Dr. Faruk Fırat ÇALIM'a şükranlarımı ve saygılarımı sunarım.

Bugünlere gelmemde en büyük emeğin sahipleri olan, beni sürekli destekleyen ve hayatta karşılaştığım tüm problemlere göğüs germeme yardımcı olan başta annem Fatma KATANALP'e, babam Haluk KATANALP'e ve kız kardeşim Tuğçe KATANALP'e, tez yazım aşamasında ve tez çalışmam boyunca gerçekleştirdiğim analizlerde bana destek olan çalışma arkadaşım Arş. Gör. Ezgi EREN'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın motivasyonu	2
1.2. Çalışmanın amacı.....	3
1.3. Çalışmanın organizasyonu	5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
2.1. Yaya-araç kazalarında yaralanma şiddetine etki eden faktörler	6
2.2. Yaya-araç kazalarında kaza oluşumuna etki eden faktörler	10
3. KAZA VERİLERİNİN ANALİZİ.....	17
4. MATERİYAL VE METOT	25
4.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri	25
4.2. Düzlemsel Kernel Yoğunluk Analizi	29
4.3. Karar Ağacı Algoritması.....	31
4.4. K-Katlamalı Çapraz Doğrulama	34
4.5. Faktörlerin etkisinin belirlenmesi	35
4.6. Kuralların çıkartılması.....	35
4.7. Yapay Sinir Ağları	36
4.8. Bulanık mantık.....	40
4.9. Çevrilmiş Bulanık-Karar modeli.....	43
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	44
5.1. Düzlemsel Kernel Yoğunluk Analizi ile yol segmentlerinin belirlenmesi ve verilerin hazırlanması.....	44
5.2. Karar Ağacı Bulguları.....	62
5.3. Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli Bulguları	68
5.4. Çevrilmiş Bulanık-Karar Modeli Bulguları	71
5.5. Model performanslarının karşılaştırılması	76
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	80
KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ	101

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yaya öncelikli trafik yılı kapsamında düzenlenen yaya geçidi işaretlemeleri	3
Şekil 2.1. Tez konusunun kaza literatüründeki yeri	11
Şekil 3.1. Kazaların oluş türlerine göre dağılımı	17
Şekil 3.2. Yaya-aracı kazalarının yıllara göre oluş yerlerinin dağılımı.....	18
Şekil 3.3. Yaya-aracı kazalarının pik ve pik dışı saatlerdeki dağılımı	19
Şekil 3.4. Tek araç-tek yaya kazalarının pik saatlere göre dağılımı.....	20
Şekil 3.5. Tek araç-tek yaya kazalarının pik saatlere göre haftanın günleri içerisindeki dağılımı.....	21
Şekil 3.6. Yaya-aracı kazalarının yol şerit çizgisi olması durumuna göre dağılımı	22
Şekil 3.7. Yaya-aracı kazalarının yaya yolu olması durumuna göre dağılımı.....	22
Şekil 3.8. Yaya-aracı kazalarının yol tipine göre dağılımı	22
Şekil 3.9. Yaya-aracı kazalarının trafik işaret levhası olması durumuna göre dağılımı.....	23
Şekil 4.1. CBS yardımı ile mekansal veri analizi süreci	25
Şekil 4.2. Sokak haritası üzerine eklenmiş noktasal kaza verileri.....	27
Şekil 4.3. Sokak haritası üzerine eklenmiş çizgisel kent içi karayolu ağı verileri	27
Şekil 4.4. Mekansal vektör verinin raster veri olarak ifade edilmesi	28
Şekil 4.5. Kernel Fonksiyonlarının aynı koordinat düzlemi üzerinde gösterilmesi	31
Şekil 4.6. Karar Ağacı yapısı	32
Şekil 4.7. K-5 katlamalı çapraz doğrulamada veri dağılımı.....	34
Şekil 4.8. Yapay sinir ağı yapısı.....	37
Şekil 4.9. Bulanık mantık yapısı	41
Şekil 4.10. Sık kullanılan üyelik fonksiyonları	42
Şekil 4.11. ÇBKM uygulama adımları.....	43
Şekil 5.1. Sabah pik saatlerinde (07.00-09.00) meydana gelmiş tek araç- tek yaya kazalarının kernel yoğunluk haritası	45
Şekil 5.2. Öğlen pik saatlerinde (11.00-13.00) meydana gelmiş tek araç-tek yaya kazalarının kernel yoğunluk haritası	45
Şekil 5.3. Akşam pik saatlerinde (16.00-18.00) meydana gelmiş tek araç-tek yaya kazalarının kernel yoğunluk haritası	46
Şekil 5.4. Gece pik saatlerinde (21.00-23.00) meydana gelmiş tek araç-tek yaya kazalarının kernel yoğunluk haritası	46
Şekil 5.5. Sabah pik saatlerinde (07.00-09.00) detaylı incelenen yol segmentleri.....	49
Şekil 5.6. Öğlen pik saatlerinde (11.00-13.00) detaylı incelenen yol segmentleri.....	50
Şekil 5.7. Akşam pik saatlerinde (16.00-18.00) detaylı incelenen yol segmentleri	50
Şekil 5.8. Gece pik saatlerinde (21.00-23.00) detaylı incelenen yol segmentleri	51
Şekil 5.9. Belirlenen yol segmentleri üzerinde 2013-2017 yılları arasında gerçekleşmiş toplam tek araç-tek yaya kaza sayısının yol tipi faktörüne göre dağılımı	52
Şekil 5.10. Tek araç-tek yaya kaza sayısının segment uzunluğuna göre dağılımı	52
Şekil 5.11. Tek araç-tek yaya kaza sayısının şerit sayısına göre dağılımı	53
Şekil 5.12. Tek araç-tek yaya kaza sayısının bağlantı yolu sayısına göre dağılımı	53
Şekil 5.13. Tek araç-tek yaya kaza sayısının toplu taşıma durağı sayısına göre dağılımı	54
Şekil 5.14. Tek araç – tek yaya kaza sayısının pik saat hacmine göre dağılımı.....	55
Şekil 5.15. Toplam tek araç-tek yaya kaza sayısının ortalama hıza göre dağılımı	56
Şekil 5.16. Kaza sayısının toplu taşıma yüzdesine göre dağılımı	57

Şekil 5.17. Toplam kaza sayısının arazi kullanım türüne göre dağılımı	57
Şekil 5.18. Kaza sayısının banket genişliğine göre dağılımı.....	58
Şekil 5.19. Toplam kaza sayısının yatay kurp varlığına göre dağılımı	59
Şekil 5.20. Toplam kaza sayısının parklanma durumuna göre dağılımı	60
Şekil 5.21. Toplam kaza sayısının pik saat tipine göre dağılımı	60
Şekil 5.22. C4.5 Algoritması kullanılarak oluşturulan Karar Ağacı	64
Şekil 5.23. MLP modelinin yapısı.....	69
Şekil 5.24. ÇBKM genel yapısı.....	72
Şekil 5.25. ÇBKM detaylı yapısı	75
Şekil 5.26. Karar Ağacı, MLP ve ÇBKM modellerine ait karmaşıklık matrisleri	76



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Geçmişten günümüze CBS uygulamaları.....	26
Tablo 4.2. En sık tercih edilen aktivasyon fonksiyonları ve fonksiyonların özellikleri	38
Tablo 5.1. Değişkenlere ve veri setindeki dağılımlarına ait detaylı istatistikler.....	61
Tablo 5.2. $K = 2, 5$ ve 10 değerleri için C4.5 algoritması model performans kriterleri	64
Tablo 5.3. IGR'ye göre faktörlerin Karar Ağacı modelinin sınıflandırma performansı üzerindeki etkileri.....	65
Tablo 5.4. S , ve P_o eşik değerlerine göre çıkartılan anlamlı kurallar	66
Tablo 5.5. Farklı momentum katsayıları ve öğrenme algoritmaları seçilerek oluşturulmuş MLP modelleri.....	69
Tablo 5.6. ÇBKM oluşturulurken kullanılan kurallar dizini.....	73
Tablo 5.7. Model faktörlerine ilişkin detaylı bilgiler.....	74
Tablo 5.8. Model sonuçlarına ilişkin performans ölçütleri.....	78

KISALTMALAR

KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
EGM	: Emniyet Genel Müdürlüğü
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
YOGT	: Yıllık Ortalama Günlük Trafik
RNN	: Tekrarlayan Yapay Sinir Ağı
MLP	: Çok Katmanlı Algılayıcı
ÇBKM	: Çevrilmiş Bulanık Karar Modeli
IG	: Bilgi Kazanımı
IGR	: Bilgi Kazanım Oranı
S	: Destek
Po	: Popülasyon
P	: Probabilite
YSA	: Yapay Sinir Ağı
HCM	: Karayolu Kapasite El Kitabı
OMH	: Ortalama Mutlak Hata
KOKH	: Kök Ortalama Karesel Hata

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun en temel ihtiyaçlarından biri olan kent içi ulaşım geçmişten günümüze her geçen gün önemini arttırmaya devam etmektedir. İçerisinde birçok bileşeni barındıran bu ihtiyacın karşılanabilmesi ise toplu taşıma, bireysel araçlar, bisikletli ulaşım, raylı sistemler gibi çeşitli ulaştırma seçenekleri ile gerçekleştirilebilmektedir. Ulaştırma türleri ele alındığında belki de öncelikli olarak akıllara gelmeyen yaya olarak ulaşım, aslında hepimizin gündelik hayatta sıkça başvurduğu ulaşım türlerinden bir tanesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yayaların tanımı karayolu trafik yönetmeliğinde “Araçlarda yer almadan, trafikte hareketli veya hareketsiz olarak bulunan insanlar” şeklinde yapılmıştır (KGM, 1997). Yaya ulaşımının ekonomik ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için yaya kaldırımları, düşey işaretlemeler, kaplama işaretlemeleri, yaya geçitleri, gibi çeşitli düzenlemeler yapılıyor olsa da yetersiz trafik bilinci, hızla artan nüfus yoğunluğu, trafik kurallarının uygulanmasında ve işletilmesindeki birtakım aksaklıklardan ötürü, yaya-aracı kazalarının önüne geçilememektedir.

Trafikte yayalar yüksek hız ve kütleyle sahip olan diğer trafik unsurları ile sık sık etkileşim içerisinde bulunmaktadır. Bu etkileşimler kimi zaman istenmeyen kazalar ile sonuçlanmaktadır. Olası bir kaza durumunda kendisini karşı tarafın hızı ve/veya kütlesine karşı koruma şansına sahip olmadıklarından dolayı yayalar en savunmasız yol kullanıcıları olarak değerlendirilmektedir (Li ve diğ., 2017; Pyrialakou ve diğ., 2020; Shinar, 2012). Yaya-aracı kazaları sıklıkla araç ve yaya yollarının kesiştiği noktalarda meydana gelmektedir. Kaza oluşumunu engellemek için yaya-aracı yollarının kesişim noktalarında trafik unsurlarını birbirlerinden ayırmak için zamansal ve mekânsal düzenlemelerin yapılması sık kullanılan yöntemlerdendir.

Yaya ve araçları mekânsal olarak ayırmak için üst geçitler, yaya kaldırımları, yaya alanları gibi yapılardan faydalanılmaktadır. Bu iki unsuru zamansal olarak ayırmak için en sık kullanılan yöntemler ise trafik sinyalizasyonları ve yaya geçitleridir. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı’nın yayımladığı Trafik İşaretleri El Kitabında yaya geçitleri “Taşıt yollarında yayaların güvenli bir şekilde geçişlerini

sağlayabilmeleri için trafik işaretleri ile belirlenmiş alanlar” şeklinde tanımlanmıştır (KGM, 2015).

Yaya geçitlerinde geçiş hakkı her ne koşulda olursa olsun yayalara aittir. Bu hak, Karayolları Trafik Yönetmeliği’nde “Görevli kişi veya ışıklı trafik işareti bulunmayan, ancak başka bir trafik işareti ile belirlenmiş olan yaya ve okul geçitlerine yaklaşan bütün sürücülerin araçlarını yavaşlatmaları, bu geçitlerden geçen veya geçmek üzere bulunun yayalara ilk geçiş hakkını vermeleri ve varsa okul geçidi görevlilerinin verecekleri işaret ve talimata uymaları mecburidir” şeklinde açıkça belirtilmiştir (KGM, 1997). Ancak uygulamada bu yönetmelik çoğu zaman etkinliğini kaybetmektedir. Yetersiz trafik eğitimi, yol ve geçit düzenlemelerinin uygunsuzluğu, hız limitlerinin aşılması gibi birtakım etkenler trafikte yaya geçiş önceliğinin kaybolmasına, yaya geçitlerinde uzun bekleme sürelerine, meydana gelen kazalar can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır.

1.1. Çalışmanın motivasyonu

Bu tez çalışmasının yürütülmeye başlandığı 2019 yılı İçişleri bakanlığı tarafından “Yaya Öncelikli Trafik Yılı” olarak ilan edilmiştir. Bu kapsamda Emniyet Genel Müdürlüğü (EGM) ile beraber çeşitli sivil toplum kuruluşlarının da içerisinde yer aldığı proje ve faaliyetler uygulamaya geçirilmiştir.

Bu projeler ve faaliyetler genel itibari ile yaya geçitlerinde bekleyen yayalara durarak yol verilmesi konusunda sürücü bilinçlerinin arttırılmasına yönelik olmakla beraber trafikte yaya önceliğinin arttırılmasına yönelik fiziksel düzenlemeler ve yeni tip kaplama işaretlemelerini de içermektedir. Ayrıca 2018 yılı Ekim ayında 2918 sayılı Trafik Kanunun 74. maddesinde düzenlemeye gidilerek yaya geçitlerinde yayaya yol vermeyen sürücüye kesilen para cezası arttırılmış ve sürücü davranışlarını cezai yaptırımlar ile kontrol etme yöntemine gidilmiştir. Şekil 1.1’de yaya öncelikli trafik yılı içerisinde kaplama işaretlerinin yeniden düzenlendiği bir yaya geçidi verilmiştir.



Şekil 1.1. Yaya öncelikli trafik yılı kapsamında düzenlenen yaya geçidi işaretlemeleri

Bu düzenlemelerin genel anlamda kavşaklarda ve yol segmentlerinde yayaları karşıdan karşıya geçerken yaya geçitlerini kullanmaları doğrultusunda özendirmeye, sürücülerini yayalarında trafikte yer alan ve çeşitli üstünlüklere sahip olan kullanıcılar olduğu noktasında bilgilendirmeye yönelik olduğundan bahsetmek mümkündür.

Yaya-araç kazalarının oluşumuna en büyük etken sürücü ve yaya kusurları olarak kabul edilse de bu çalışmanın ön hazırlık aşamasında yapılan geniş çaplı literatür incelemesi neticesinde yaya-araç kazalarına sürücü ve yayaların sosyo-demografik özellikleri (yaş, cinsiyet, eğitim durumu, vb.), arazi kullanımı ve yapısal çevre faktörleri (yaya geçidinin hastane, okul ve çeşitli kurum veya kuruluşa yakınlığı, yaya geçidi çevresindeki peyzaj durumu), yol segmentinin ve yaya geçidinin fiziksel özellikleri (görülebilirlik, kaplama işaretleri, düşey işaretlemeler, geometrik özellikler vb.), hava koşulları (sıcaklık, nem, yağış), ışık durumu (sokak aydınlatmaları, gündüz, gece, alacakaranlık vb.) faktörlerinin etkisinin olduğu ve bu faktörlerin detaylı incelenmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır.

1.2. Çalışmanın amacı

Araç-yaya kazalarının oluşumuna etki eden faktörlerin belirlenmesi noktasında daha gerçekçi bir yaklaşımın ortaya koyulması için çalışma alanının daraltılması gerekli görülmüştür. Yaya araç kazalarının engellenmesine yönelik gerçekleştirilen fiziksel düzenlemeler, örneğin; yaya geçitleri, yaya sinyalizasyonu, sinyalizasyon kavşaklar faktörlerinin mevcudiyeti bu çalışma

odağının dışında tutulmuştur. Öte yandan kazaya karışan birden fazla araç olması ve yaya sayısının birden fazla olması durumları da çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Bunun sebebi, araç-arac ve yaya-yaya etkileşimlerinin kaza oluşumu üzerinde etkisinin araştırılmasının başlı başına bir araştırma konusu olarak ele alınmasının gerektiği düşüncesidir. Sonuç olarak çalışma odağı yol kesitleri üzerinde meydana gelen tek araç - tek yaya kazalarını etkileyen faktörlerin incelenmesi olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmanın amacını:

1. Adana ilinde yaya-arac kazalarının yoğunlukla gerçekleştiği bölgelerin yerlerinin tespit edilmesi,
2. Yaya-arac kazalarının sıklıkla meydana geldiği bu bölgeleri içeren yol segmentlerinin belirlenmesi,
3. Yol altyapısı, yol geometrisi, çevresel faktörler, trafik hacmi ve ortalama hızın tek araç-tek yaya kazaların oluşumuna etkilerinin hangi seviyede olduğunun saptanması,
4. Tek araç- tek yaya kazalarının oluşmasına etkisi yüksek seviyede olan faktörlere yönelik önerilerin sunulması için gerekli bulguların elde edilmesi,
5. Kritik yol segmentleri üzerinde yaya güvenliğinin iyileştirilmesi amacı ile analizlerde kullanılan model performanslarının değerlendirilmesi olarak ifade etmek mümkündür.

Bu doğrultuda EGM veri tabanından 2013-2017 yılları arası Adana ili genelinde meydana gelmiş trafik kazalarına ait veriler temin edilmiştir. Veriler tüm kaza tiplerini (araç-arac, çok araçlı, yaya-arac, bisiklet arac vb.) içerdiğinden ve çok geniş kapsamlı olduğundan dolayı çalışmada ön hazırlık aşaması olarak adlandırılan kaza verilerinin çalışmanın odağına uygun olarak ayıklanması için detaylı analizi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan ön hazırlık neticesinde Adana ili genelinde 2013-2017 yılları yol segmentleri üzerinde meydana gelmiş tek araç-tek yaya kazalarına ait 1179 adet kaza bilgisi elde edilmiştir. Çalışma kapsamında bu kazaların meydana geldiği andaki koşulların (kaza yeri, kaza sayısı, kazanın meydana geldiği saat, kaza günü, kaza sonucu, yol geometrik koşulları, hava durumu, gün durumu) birbirleri ile ilişkileri detaylı analizler ve çizdirilen grafiklerden faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaza verileri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) platformuna aktarılarak kazaların pik saatlere göre yoğunluk analizleri gerçekleştirilmiş ve yoğunluk haritaları elde edilmiştir. Elde edilen yoğunluk haritalarına bağlı kalınarak ve uzman

görüşlerinden faydalanılarak Adana ilindeki cadde ve bulvarlar üzerinde tek araç-tek yaya kazalarının oluşumun açısından kritik yol segmentleri belirlenmiştir.

Belirlenen segmentler üzerinde kaza oluşumuna etki ettiği düşünülen faktörlere ait veri seti ölçümler ve yerinde gözlemler ile oluşturularak Çok Katmanlı Algılayıcı, C4.5 Karar Ağacı Algoritması ve Çevrilmiş Bulanık – Karar Modeli kullanılarak incelemeye alınmıştır.

1.3. Çalışmanın organizasyonu

Çalışmanın ileriki bölümleri şu şekildedir. Bölüm 2’de araştırma sorularının ve tez çalışmasının temelini oluşturan literatür çalışması verilmiştir. Bölüm 3, çalışmanın ön hazırlık aşaması yani EGM’den alınan kaza verilerinin incelenerek kazaların gerçekleştiği dönemdeki koşullarının birbirleri ile ilişkileri hakkındaki detayları içermektedir. Bölüm 4’de çalışmada kullanılan yöntem ve modeller sunulmuştur. Bölüm 5 kaza verilerinin CBS ortamında haritalanarak yoğunluk haritalarının elde edilmesi, cadde ve bulvarlar üzerindeki kritik segmentlerin belirlenmesi, kritik segmentler üzerinde incelenen faktörlerin özellikleri, model bulgularının sunulması ve literatür ışığında tartışılması ile model performanslarının karşılaştırılması aşamalarını içermektedir. Bölüm 6’da tez çalışmasında elde edilen bulgulardan, bu çalışmanın gerçekleştirilmesi süresince edinilen tecrübeden faydalanılarak ve çalışma sonuçları baz alınarak tek araç-tek yaya kazalarının oluşumuna yüksek etkisi olan faktörlere ve model performanslarına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Trafik güvenliğinin sağlanması ve kaza oluşumunun incelenmesi konuları geçmişten günümüze birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir (Aziz ve diğ., 2013; Ismail ve diğ., 2009; Miranda-Moreno ve diğ., 2011; Mokhtarimousavi ve diğ., 2020; Ukkusuri ve diğ., 2012). Yayaların motorlu taşıtlar ile beraber trafiği paylaşan bir unsur olduğu gerçeğinin kabulünün dünya genelinde yaygınlaşması ve buna bağlı olarak bu konudaki toplum bilincinin artması ile beraber, özellikle son yıllarda trafikte yaya güvenliğinin sağlanmasına yönelik çalışmalar trafik mühendisliği alanında popüler bir trend halini almıştır. Güncel literatür incelendiğinde bu çalışmaların genellikle yaya-araç kazalarında yaralanma seviyesine (maddi hasarlı, hafif yaralı, şiddetli yaralı, ölümlü vb.) etki eden faktörlerin belirlenmesi ile yaya araç kazalarının oluşumuna etki eden faktörlerin tespit edilmesi olarak iki ana başlıkta toplandığından bahsetmek mümkündür. Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen literatür çalışması ikiye ayrılmıştır. İlk kısımda yaya-araç kazalarında yaralanma şiddetine etki eden faktörlerin analizini konu alan çalışmalar metodolojik açıdan ve seçilen faktörler açısından incelenmiştir. İkinci kısımda ise bu çalışmanın konusu ile doğrudan ilgili olan yaya-araç kazalarının oluşumuna etki eden faktörleri tespit edilmesine yönelik çalışmalar ele alınmıştır.

2.1. Yaya-araç kazalarında yaralanma şiddetine etki eden faktörler

Literatürde yaya-araç kazalarında yaralanma şiddetine etki eden faktörler genel olarak sürücü ve yayaların davranışsal özellikleri, yol tasarımı ve yol geometrisi ile ilgili özellikler, çevresel faktörler ve atmosferik olaylar olarak değerlendirilmektedir. Çalışmaların çok büyük bir bölümünde geçmiş dönem kaza verilerinden (kaza tutanakları, kaza veri tabanları, hastane kayıtları vb.) faydalanılarak bu veriler çeşitli istatistiksel modeller veya makine öğrenmesi modelleri ile incelenmiş ve girdi olarak seçilen faktörler ile çıkış faktörü arasındaki ilişkiye bakılarak sonuçlar yorumlanmıştır (Bhat ve diğ., 2017; Li ve diğ., 2017; Sze ve Wong, 2007; Wang ve diğ., 2020).

Sze ve Wong (2007) yaptıkları çalışmada İkili Lojistik Regresyon Modeli kullanmış ve yayaların karıştıkları kazalarda ölüm oranını etkileyen faktörleri belirlemek için demografik özellikleri, çevresel özellikleri, kaza karakteristiklerini, yol geometrisini, trafik karakteristiklerini dikkate almışlardır. Çalışmalarının neticesinde ciddi yaralanma/ölüm ile

sonuçlanan kazaların gerçekleşme ihtimalini, kazaya karışan 65 yaş üzeri yayaların, yoldaki hız limitinin 50km/s'den fazla olması durumunun, yaralanmanın kafadan olması durumunun ve kazanın yaya geçitlerine yakın meskenlerde gerçekleşmesi durumunun etkilediğini ifade etmişlerdir.

Eluru ve diğ. (2008) çalışmalarında Sıralı Lojistik Regresyon Modeli'ni ve bu modelin geliştirilmesi ile tasarladıkları Karmaşık Genelleştirilmiş Sıralı Lojistik Regresyon Modeli'ni birlikte kullanmış ve motorlu taşıtların bisikletliler ile ve motorlu taşıtların yayalar ile karıştıkları kazaları inceleyerek yaralanma şiddetini belirlemişlerdir. 2004 yılına ait verilerin kullanıldığı çalışmada yaralanma şiddetini beş seviyeli bağımlı değişken olarak tanımlamışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda bisiklet ve yayaların karıştığı kazaların şiddetini etkileyen en önemli faktörlerin yaş (yüksek yaşlı bireylerde kazanın şiddeti artış göstermekte), hız limiti, kazanın meydana geldiği lokasyon (kontrollü bölge veya değil), günün saati (karanlık saatlerde gerçekleşen kazalar kazanın şiddetini arttırmakta) olduğunu belirtmişlerdir.

Clifton ve diğ. (2009) Genelleştirilmiş Logit Model kullanarak yaptıkları çalışmada araç-yaya kazalarında yaralanma şiddetini etkileyen faktörleri incelerken bu faktörler arasına yapısal çevre faktörlerini de dâhil etmişlerdir. İnceledikleri değişkenler ile yaya-arac kazalarına karışan yüksek yaş grubu içerisinde yer alan yayaların ölüm riskinin daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca transit geçiş ile yol ağı bağlantılarının da ölümcül olmayan yaralanmalar ile sonuçlanan kazalar üzerinde etkili olduğunu ifade etmiş ve trafik planlaması yapılırken yapısal çevre faktörlerinin de göz önünde bulundurulması gerektiğini önermişlerdir.

Moudon ve diğ. (2011) Washington'daki şehir içi (1999-2004) ve şehirlerarası (2000-2004) yollardaki yaya-arac kazalarının incelendiği çalışmada yaya ve sürücülerin sosyo-demografik özelliklerinin, yaya ve sürücülerin davranışsal özelliklerinin, yol altyapısı ve yol geometrisi özelliklerinin, trafik karakteristiklerinin ve yol kesitinin mekânsal özelliklerinin (yaya yürüyüşüne uygunluk, yoğunluk, rekreasyon alanlarına yakınlık vb.) kazada yaralanma şiddetine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada iki farklı analiz yöntemi kullanılmıştır. İlk durumda bağımlı değişken olarak tanımlanan yaralanma şiddeti iki sınıfa ayrılarak İkili Lojistik Regresyon uygulanmış, ikinci durumda iste yaralanma şiddeti 5 sınıfa ayrılarak Sıralı

Lojistik Regresyon Modeli uygulanmıştır. Model çıktılarına göre 45 yaş üzeri yayalar, sinyalize olmayan kavşaklar, alkol kullanımı ve Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT) faktörlerinin yaralanma şiddetini arttırdığı gün durumunun aydınlık olmasının, sürücü davranışlarından sağa dönüşlerin, sabah pik saatlerinin ise yaralanma şiddeti ile negatif korelasyon içerisinde olduğu vurgulanmıştır.

Ukkusuri ve diğ. (2012) yaya-araç kazalarını yaralanma şiddetine göre sınıflandırarak kazaların oluş sıklığı, yol arazisinin kullanım şekli, yaya ve sürücülerin demografik özellikleri, yol ağı karakteristikleri gibi faktörler arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmalarında Negatif Binomial Model, heterojen dağılımlı Negatif Binomial Model ve Sıfır Değer Ağırlıklı Negatif Binomial Model tercih etmişlerdir. New York şehrinde meydana gelen kazaları içeren veri setini kullandıkları çalışmada şerit sayısı, meskenin yerleşim yeri olması durumu gibi yapısal çevre faktörlerinin yaya güvenliği üzerinde etkili olduğunu vurgulamışlardır.

Mohamed ve diğ. (2013) New York, ABD ve Montreal, Kanada kaza istatistiklerini kullanarak araç-yaya kazalarındaki ölüm oranını etkileyen faktörleri belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında verilerini kümeleme analizi yöntemiyle ayırarak birbirleri ile ilişkili olan faktörleri birlikte incelemişlerdir. Sıralı Probit Modeli ve Multinomial Lojistik Model kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmanın sonucunda trafik verilerini homojen alt veri gruplarına ayırmanın veriyi incelerken kolaylık sağladığını, ağır taşıtların, aydınlık koşullarının ve ana arterlerin ölümcül kaza ihtimalini attırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca yayaların kavşaklarda karşıdan karşıya geçmelerinin ölümlü kaza oranını azalttığına dikkat çekmişlerdir.

Obeng ve Rokonuzzaman (2013) Kuzey Carolina bölgesi kaza verilerini kullanarak yaptıkları çalışmada sinyalize kavşaklarda meydana gelen 69 adet kazayı Sıralı Logit Model ile inceleyerek yaralanma şiddetine etkiyen en önemli faktörleri araç tipi, yaya cinsiyeti, arazi kullanımı ve yol ile kavşak karakteristikleri olarak belirlemiştir. Ayrıca kadın sürücülerin ve kadın yayaların karıştıkları sinyalize kavşaklarda meydana gelen kazalarda yaranma şiddetinin düşük olduğunu vurgulamışlardır.

Olszewski ve diğ. (2015) gerçekleştirdikleri çalışmada Polonya’da 2007-2012 yılları arasında, sinyalizasyon olmayan yaya geçitlerindeki ölümlü kaza ihtimalini etkileyen faktörleri İkili Lojistik Regresyon Modeli ile tayin etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda ölüm ihtimalini en çok etkileyen faktörleri bölünmüş yollar, hız limitinin 70km/s’den yüksek olduğu yollar, aydınlatma koşullarının yetersiz olduğu yollar ve yerleşim yerleri dışında kalan alanlar şeklinde belirlemişlerdir.

Pour-Rouholamin ve Zhou (2016) çalışmalarında 2010-2013 yılları arası tek araç-tek yaya kazalarını 3 farklı sıralı model (Sıralı Logit Model, Genelleştirilmiş Sıralı Logit Model ve Kısmi Oransal Risk Oranı Modeli) ile incelemişlerdir. Bağımlı değişken olarak kazada yaralanma şiddetinin üç sınıfa (hafif, orta ve şiddetli) ayrılarak tanımlandığı ve toplamda 14538 kazanın analiz edildiği çalışmanın sonuçlarında yaya ile ilgili faktörlerden yaya yaşı ve yayanın parlak kıyafetler giymemesi durumunun yaralanma şiddetini arttırdığı, yaya cinsiyetinin ise yaralanma şiddetine önemli bir etkisinin bulunmadığı belirtilmiştir. Sürücü ile ilgili olarak 24 yaş altı ve 65 yaş üzeri sürücülerin kazada yaralanma şiddetine çok yüksek etkisi olduğu, sürücünün alkol/uyuşturucu kullanımı durumunun yaralanma şiddetine önemli etkisi bulunduğu vurgulanmıştır. Ayrıca yaz aylarının, gece gerçekleşen kazaların yaralanma şiddetini arttırdığı nüfusun fazlalığının ise kazada yaralanma şiddetini azalttığı çalışma yer alan önemli bulgular arasındadır.

Ma ve diğ. (2018) çalışmalarında veri setini sürücü yaşına göre (yaş <25, 25<yaş<65, yaş>65) 3 parçaya bölerek sürücü cinsiyeti, yaya yaşı, yaya cinsiyeti, yol koşulları, bölünmüş yol, trafik özellikleri, hava koşulları, kazanın oluş şekli ve araç çeşidi faktörlerinin yaya-arac kazalarında yaralanma şiddetini etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Sürücü yaşına göre 3 parçaya ayrılan veri setinin her bir parçasına ayrı ayrı Sıralı Probit Model kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmanın sonucunda her 3 yaş grubu içinde kazada yaralanma şiddetine önemli derecede etki eden faktörlerin yaya yaşı, araç tipi, kazada ilk temas bölgesi ve hava koşulları olduğuna dikkat çekmişlerdir. Araç sayısı ve trafik özellikleri faktörlerinin orta yaş ve genç yaş grubu üyeleri için kazada yaralanma şiddetini etkilediğini, bölünmüş yol ve kaza oluş şekillerinden çarpıp kaçma faktörlerinin ise orta yaş ve yüksek yaş grubu üyeleri için kazada yaralanma şiddetine etki ettiği vurgulanmıştır.

Casado-Sanz ve diğ. (2019) ölümlü ve ağır yaralanmalı kazaların oluşumuna etki eden faktörlerin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada kaza verileri K-Ortalama Kümeleme Metodu ile 4 adet kümelenmiş ve her bir küme ile tüm veri setine ayrı ayrı Multinomial Lojistik Regresyon Modeli uygulanarak faktör analizi gerçekleştirilmiştir. 2006-2017 yılları arası kaza istatistikleri kullanılan çalışmada 1535 veri incelemeye alınmıştır. Çalışmanın sonucunda görüşü kısıtlayan hava koşulları, yaya kusurları, sürücü kusurları, yüksek hız değerleri faktörlerinin yaralanma şiddetini arttırdığı belirtilmiştir. Yaş faktörünün yaralanma şiddetine önemli etkisinin olduğu, 65 yaş grubunun 18-30 yaş grubu ile kıyaslandığında ağır yaralanmalı ve ölümlü kaza oluşumuna yüksek etkisinin olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca 2,5 m'den daha düşük banket genişliğinin kazada yaralanma şiddetini azalttığı çalışmanın önemli bulguları arasında yer almaktadır.

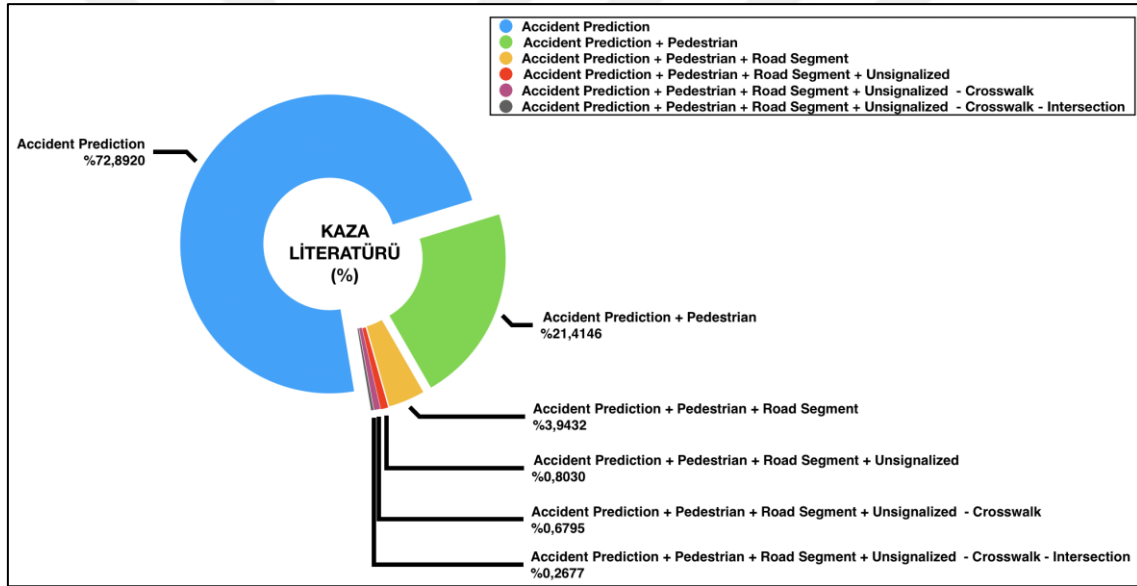
Sun ve diğ. (2019) 2006-2015 yılları arası kaza verilerini kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada yaralanma şiddetine etki eden faktörleri belirlerken Örtülü Sınıf Kümeleme Yönteminden ve Multinomial Lojistik Model'den faydalanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda yaya alkol kullanımı, 65 yaş üzeri yaya yaşı, kadın bireylerin ve kötü hava koşullarının ölümlü kaza ihtimalini arttırdığı gibi önemli bulgulara yer verilmiştir.

Casado-Sanz ve Guirao (2018) İspanya kırsal yollarındaki araç-yaya kazalarının analizini Lojistik Regresyon Modeli ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmadaki amaç yüksek yaş grubunda ölümlü kaza oluşumunun koşulsal olasılığını etkileyen faktörlerin araştırılmasıdır. 2006-2015 yılları arası meydana gelen kazaların incelendiği çalışmada veri setinde yer almayan YOGT, sosyoekonomik faktörler, karayolu faktörleri ve bölgesel faktörler yerinde ölçümler ile elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarında ölümlü kaza ihtimalini arttıran bağımsız değişkenler; 30-45 yaş aralığı ile 55- 65 yaş aralığındaki sürücüler, YOGT'nin 5000-1000 arasında olması, görüşün doğal veya peyzajdan kaynaklı olarak kısıtlanması olarak sunulmuştur. Öte yandan önceki çalışmaların aksine, daha geniş yolların ölümlü kaza ihtimali ile negatif korelasyona sahip olduğu bulgusu çalışmanın sonuçlarında vurgulanmıştır.

2.2. Yaya-araç kazalarında kaza oluşumuna etki eden faktörler

Tez konusu ile doğrudan alakalı çalışmaların tespit edilebilmesi ve çalışmanın güncel kaza literatüründeki yerinin net olarak ortaya koyulması amacı ile yaya-araç kazalarında kaza oluşumuna etki eden faktörlerin araştırıldığı çalışmalara odaklı literatür taraması sistematik

bir şekilde yürütülmüştür. Bu noktada, çalışmanın amacına uygun doğru anahtar kelimelerin seçilmesine özen gösterilmiştir. Güncel kaza literatürünü oldukça geniş olup Google Akademik platformunda yalnızca “road traffic accident” anahtar kelimesi kullanılarak ulaşılan çalışma sayısı 47200 adettir. Tez çalışmasının konusunun güncel kaza literatüründeki yerinin tam olarak belirlenmesi için Şekil 2.1’de verildiği üzere arama detaylandırılmış ve “accident prediction” anahtar kelimesinin eklenmesi ile 7140 çalışmaya ulaşılmıştır. Ardından aramalara sırası ile “pedestrian”, “road segment”, “unsignalized” anahtar kelimeleri dahil edilmiş ve “crosswalk”, “intersection” anahtar kelimeleri arama sonuçlarından çıkartılarak 26 adet makaleye ulaşılmış ve bu çalışmalardan tez konusu ile ilgili olanlar detaylı incelenerek aşağıda sunulmuştur.



Şekil 2.1. Tez konusunun kaza literatüründeki yeri

Long ve diğ. (2011) trafik akımının ve yol karakteristiklerinin hafif kazalar üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada birbirini takip eden iki kavşak arasında kalan kesiti yol segmenti olarak tanımlamış ve toplamda 33 adet yol segmentini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında Genelleştirilmiş Lineer Model kullanılarak segment uzunluğu, şerit sayısı, yol çizgileri, taşıt yolunun diğer trafik unsurlarından izole edilmesi durumu, hız limitleri ve arazi kullanımı faktörlerinin (bağımsız değişkenler) kaza sayısı (bağımlı değişken) üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada iki adet Genelleştirilmiş Lineer Model kullanılmıştır. Kurulan ilk modelde araç kazalarının ve ağır taşıt kazaları kullanılmış ikinci modelde ise bu kazalara ek olarak motosiklet kazaları da modele dâhil edilmiştir. Çalışmanın sonucunda

trafik akımının, şerit sayısının ve yol segmenti uzunluğunun artmasının kaza oluşumunu arttırdığı, arazi kullanımının ticari olmamasının ve trafik izolasyonunun kaza oluşumunu azalttığı hız limitlerinin ve yol çizgilerinin ise kaza oluşumunda önemli bir etkisinin olmadığı vurgulanmıştır.

Ackaah ve Salifu (2011) 2005-2007 yılları arası kırsal yollarda gerçekleşen yaya-araç kazalarının oluşumunu inceledikleri çalışmada 0,8 km ile 6,7 km arasında değişken uzunluklara sahip 76 yol segmentini incelemişlerdir. Trafik karakteristikleri, yol karakteristikleri ve yol geometrisi başlıkları altında yer alan bağımsız değişkenlerin kaza oluşumu üzerindeki etkisini belirlemede Genelleştirilmiş Lineer Modelden faydalanmışlardır. İncelenen yol segmentleri iki kavşak arası, yerleşim yeri girişi-kavşak arası olacak şekilde seçilmiştir. Çalışmanın sonucunda trafik hacmi, yol segmentinin uzunluğu, kavşak sayısı, yerleşim yeri mevcudiyeti ve arazi tipi faktörlerinin incelenen yol segmentleri üzerinde yaya-araç kazalarının oluşmasında önemli etkiye sahip oldukları tespit edilmiştir. Öte yandan yatay ve düşey kurp, hız, banket yüzdesi, banket genişliği, kaplama işaretleri banket tipi faktörleri seçilen yol segmentleri için kaza oluşumunda önemsiz bulunmuştur. Seçilen yol segmentlerinde trafik hacminin %50 arttırılmasının kaza oluşumunu %11, trafik hacminin iki katına çıkarılmasının kaza oluşumunu %19 arttırdığı çalışmanın önemli bulguları arasında yer almaktadır.

Wang ve diğ. (2011) Londra yol ağı üzerinde çeşitli yol segmentlerini inceledikleri çalışmada seçilen yol segmentleri üzerinde kaza oluşumunu ve kazada yaralanma şiddetini Multinomial Logit Model ve Bayesian Mekânsal Model kullanarak tahmin etmişlerdir. İki aşamalı çalışmada hem kazada yaralanma şiddeti hem de kaza oluşumu modellerinin sonuçları kombine edilerek seçilen yol segmentleri için bir risk sıralaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarında kaza oluşumu ile pozitif korelasyon içerisinde bulunan faktörler segment uzunluğu, şerit sayısı ve hız limitleri olarak paylaşılırken eğim ve kurp yarıçapı faktörlerinin kaza oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı vurgulanmıştır. Yaralanma şiddetinin tahmin edilmesine yönelik kullanılan multinomial logit model sonuçlarına göre ise yüksek trafik hacminin ve olumsuz hava koşullarının yaralanma şiddetini azalttığı, tek araçlı kazaların ise yaralanma şiddetini arttırdığı belirtilmiştir.

Şenk ve diğ. (2012) Çekya'daki ikinci dereceden kırsal yollarda kaza oluşumunu Negatif Binomial Model ile incelemişlerdir. Çalışmalarında 2009-2011 yılları arası 1408 kaza verisinin incelendiği çalışmada kazaların meydana geldiği yollar geometrik özelliklerine ve trafik karakteristiklerine göre alt sınıflara ayrılmıştır. Tahmin modeli kurulmadan önce kaza verilerinden kavşak noktalarında meydana gelmiş kazalar elenerek yalnızca yol ağı üzerinde gerçekleşmiş kazalara ait veriler çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Alt sınıfların oluşturulmasında kullanılan faktörler kaza tahmini için faydalanan Negatif Binomial Model'de bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır. Çalışmada kullanılan bağımsız değişkenler sırası ile kaza yeri (şehir içi, şehir dışı), kaza tipi (yayaya çarpma, araç ile çarpışma vb.), kaza sonucu (ölümlü veya yaralanmalı, maddi hasarlı), kazaya sebep unsur (sürücü, yaya vb.), yol tipi, yol kesiti tipi(düz, kurp içerisinde, kurp çıkışında vb.) şeklindedir. Yol segmentlerinin güvenliğinin beklenen kaza sayısı ile gerçekleşen kaza sayısı arasındaki farka göre değerlendirildiği çalışma sonucunda 83 tane yol kesiti kritik olarak belirlenmiştir.

Zeng ve diğ. (2017) 2005-2007 yılları arası Hillsborough / Florida kaza verilerinin analizini gerçekleştirmişlerdir. Kaza verilerini CBS yardımı ile haritaladıkları çalışmada kaza oranı bağımlı değişkenine YOGT, hız limitleri, şerit sayısı, kaplama durumu, bağlantı yolu sayısı ve yol tipi bağımsız değişkenlerinin etkisini analizini Tobit Model, Mekânsal Tobit Model ve Rastgele Faktörler Mekânsal Tobit Model olmak üzere üç farklı model kullanarak belirlemişlerdir. Model sonuçlarının karşılaştırmasında Sapma Bilgi Ölçütü yönteminden faydalanmışlardır. Çalışmanın sonuçlarında yüksek YOGT'nin ve bağlantı yolu sayısının fazla olmasının kaza oranını azalttığı, yüksek hız limitlerinin ve kaplama yüzey kalitesinin artmasının kaza oluşumunu arttırdığı vurgulanmıştır. Ayrıca Mekânsal Tobit Modelin Tobit Model ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Sameen ve Pradhan (2017) çalışmalarında 2009-2015 yılları arası yol segmentlerinde lokasyon, kaza nedeni, aydınlatma, zemin yüzey durumu, kaza şekli, kaza gerçekleşme zamanı ve araç tipi faktörlerinin kaza şiddeti üzerine etkisini incelemişlerdir. Tekrarlayan Yapay Sinir Ağı (Recurrent Neural Network- RNN) kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada en iyi ağ performansı %71.79 eğitim, %71.77 doğrulama olarak kaydedilmiştir. Ayrıca çalışmada veri setine geleneksel İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı modeli ve Çok Katmanlı Algılayıcı modeli de uygulanarak bu modellerin RNN ile karşılaştırılması yapılmış ve RNN uygulamalarının trafik kazalarının analizinde kullanılmasının uygun olduğu önerilmiştir.

Çalışmada gerçekleştirilen faktör analizi sonucunda kaza yerinin, kazanın gündüz, zemin yüzeyinin ıslak olması durumlarının kaza şiddetini arttırdığı, gece aydınlatmasının ise kaza şiddetini azalttığı belirtilmiştir.

Shah ve diğ. (2017) çalışmalarında Veri Zarflama Analizi ve Yapay Sinir Ağı modelini kombine ederek kaza 2010-2012 yılları arası kaza verilerinin analizini iki aşamalı olarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın ilk aşamasında ulaştırma mühendisliğinin direk olarak değiştiremeyeceği faktörlerin (hacim/kapasite, yol segmenti üzerinde toplam alınan yol, segment içi toplam seyahat süresi) analizini veri zarflama yöntemi ile gerçekleştirerek 67 yol segmenti için risk belirlemişlerdir. Çalışmanın ikinci aşamasında veri zarflama analizi ile belirlenen her bir segment için risk değerlerini yapay sinir ağı modeli için çıkış olarak tanımlamış ve hız, akım, yatay kurp (var, yok) ve düşey kurp (dere, tepe, düz) faktörlerini kullanarak segmentler için risk tahmini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda Yapay Sinir Ağı modeli için $R^2 = 0.775$ olarak elde edilmiş ve model sonuçlarının tutarlı olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada yol segmentleri için kaza riskini etkileyen en önemli faktörü akım olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca veri setine Çoklu Lineer Regresyon Modeli de uygulanarak yapay sinir ağı sonuçları karşılaştırılmış ve yapay sinir ağının çoklu lineer regresyona göre daha tutarlı sonuçlar verdiği savunulmuştur.

Odhiambo ve Orwa (2017) Kenya'daki 2013-2015 yılları arası gerçekleşmiş kazaları Yarı Olasılıksal Karışım Modeli ile incelemişlerdir. Bir kilometre uzunluğundaki yol segmentleri üzerinde banket genişliği, hacim, kurp etkisi, şerit sayısı, şerit genişliği ve hız faktörlerinin kaza oluşumu ile ilgisi araştırılan çalışmanın sonucunda kurp etkisi ve hız faktörlerinin kaza oluşumu ile pozitif ilişki içerisinde olduğu belirtilmiştir.

Amoh-Gyimah ve diğ. (2017) Melbourne şehrini altı farklı özelliğe göre mekânsal olarak ayırarak 2010-2012 yılları arası meydana gelen kazaların analizini her bir mekânsal ayırım için Rastgele Parametreler Negatif Binomial Regresyon Modeli ve Coğrafi Ağırlıklandırılmış Poisson Regresyon modeli ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan bağımsız değişkenler trafik karakteristiklerini, sosyo-demografi özellikleri, arazi kullanımı özelliklerini içeren faktörlerden oluşmaktadır. Bağımlı değişken olarak toplam kaza sayısı, toplam şiddetli kaza sayısı ve toplam hafif kaza sayısı kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında genç nüfus yüzdesi kaza oluşumu ile negatif korelasyon içerisinde iken, düşük gelirli bireyler, nüfus

fazlalığı, bisiklet kullanım yüzdesi, otobüs durağı sayısı ve kavşak sayısı faktörlerinin kaza oluşumu ile pozitif korelasyon gösterdiği belirtilmiştir.

Chen ve diğ. (2017) 1524 yol segmentinde Uluslararası Yüzey Pürüzlülük İndeksi (International Roughness Index) kriterlerine göre kaplama durumunun ve yol geometrik özellikleri ve trafik karakteristiklerinin kaza oluşumu üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Çok Değişkenli Rastgele Parametreler Negatif Binomial Model kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonucunda uzun segment ve kötü kaplama koşullarının beraber, yalnız uzun segment veya yalnız kötü kaplama durumuna göre kaza sıklığını çok daha fazla etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca kırsal yollar için iyi kaplama koşullarının kaza şiddetini azalttığı bulgusu çalışmanın sonuçlarında yer almaktadır.

Ravishankar ve Nair (2018) sinyalizasyon olmayan orta-blok yol kesitlerinde yayaların karşıdan karşıya geçişlerini inceleyerek video kayıtlarından ve anketlerden elde ettikleri verilere Varyans Analizi uygulamışlardır. Kaza oluşumunu etkileyen risk faktörlerinin tanımlanmasında göreceli olasılıklar oranı (Odds Ratio-OR) kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda erkek bireylerin, yol ortasından geçişlerin ve yüksek yaşın kaza oluşumunu arttırdığını belirtmişlerdir.

Mukherjee ve Mitra (2019) yaptıkları çalışmada Hindistan'ın Kolkata kentindeki 2011-2016 yılları arası kaza verileri kullanılarak orta-blok yol kesitlerinde ölümlü kaza oluşumuna etkisi olan faktörlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda şehir genelinde 9 adet ana arter seçilmiş ve bu arterler üzerinde 221 noktada analizler gerçekleştirilmiştir. Veri setinin analizinde Spearman Korelasyon Testi ve İkili Lojistik Regresyon Modelleri uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda; Ticari alanların varlığı, ortalama günlük trafiğin yüksek oluşu, ortalama yaya hacminin yüksek oluşu ve şerit genişliği faktörleri ölümlü kaza oluşumu ile pozitif korelasyon gösterirken, okul bölgelerinin kaza oluşumuna negatif etki ettiği vurgulanmıştır. Ayrıca otobüs duraklarının varlığının ölümlü kaza oluşumuna önemli etki ettiği ve uygun görüş mesafesinin kaza oluşumu ihtimalini düşürdüğü çalışmanın önemli bulguları arasında yer almaktadır.

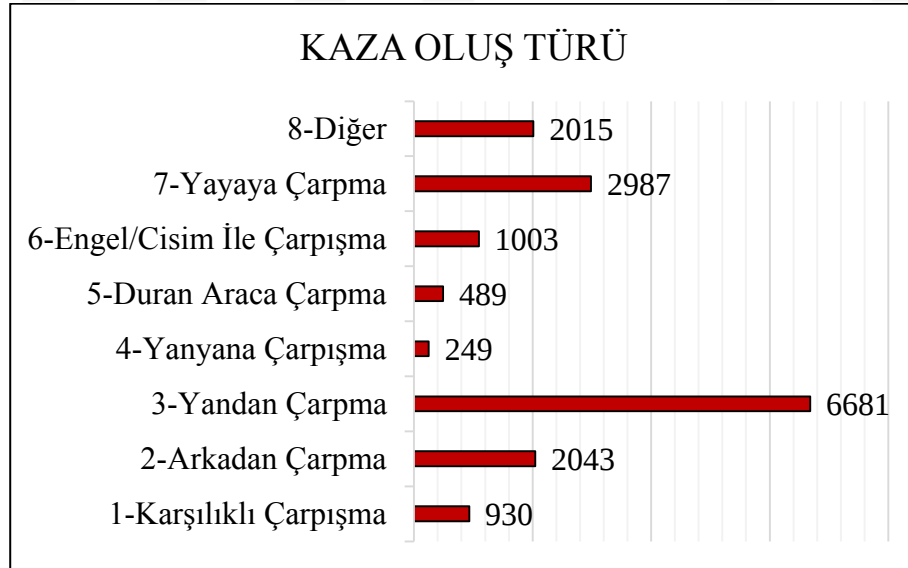
Kumfer ve diğ. (2019) gerçekleştirdikleri çalışmada 2007-2014 yılları arası Seattle şehri kaza verilerini kullanılmışlardır. Çalışmada 2 farklı kaza tipi Negatif Binomial Regresyon analizi

ile incelenerek bu kazaların oluşumuna etki eden faktörler ve etki seviyeleri belirlenmiştir. Ele alınan kazalar; araç yol boyunca ilerlerken yayanın karşıdan karşıya geçişi sırasında gerçekleşen kazalar ve gece gerçekleşen tüm kaza tipleri şeklindedir. Çalışmada belirlenen 21 bağımsız değişkenin, bağımlı değişken ile ilişkisinin anlamlılık seviyesi Rastgele Orman Algoritması kullanılarak belirlenmiş ve istatistiksel olarak anlamsız bulunan bağımsız değişkenler ayıklanmıştır. Çalışmanın sonucunda araç düz giderken yayanın karşıdan karşıya geçişi sırasında gerçekleşen kazalar için toplu taşıma durakları, aydınlatma levhalarının bulunması, şerit sayısı, yatay park ve yaya hacmi faktörlerinin kaza oluşumu ile pozitif korelasyon içerisinde olduğu belirtilmiştir. Gece gerçekleşen kazalar için ise benzer olarak yaya hacmi, otobüs durakları, hız limitlerine aydınlatma direklerinin varlığı kaza oluşumu ile ilişkilendirilmiştir.

Mukherjee ve Mitra (2020) Hindistan'ın Kolkata kentinde yürüttükleri araştırmada polis tutanaklarına göre 2011-2016 yılları arasındaki ölümlü yaya-arac kazalarını temel alarak 9 yol koridoru üzerindeki 110 kavşak noktasında ölümlü yaya-arac kazalarının sıklığını etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Kavşak noktalarının seçiminde kaza sayısı, ölümlü kaza sayısı ve arazi kullanım tipi faktörlerini dikkate almışlardır. Video kamera kayıtları ve yerinde ölçümler aracılığı ile elde edilen ve trafik özellikleri, yol özellikleri, arazi özellikleri ve trafik operasyonel faktörlerini içeren veri setinin negatif binomial model ile incelendiği çalışmada faktörlerin çıkış faktörü olan kaza sayısı ile arasındaki korelasyon Spearman Korelasyon Testi ile ölçülmüştür. Spearman Korelasyon Testi sonuçlarına göre YOGT, hız, trafik polisinin varlığı faktörleri ile ölümlü kaza sayısı pozitif korelasyon göstermiştir. Çalışmada faktörlerin türlerine göre ayrı ayrı 3 farklı Negatif Binomial Model ve tüm faktörleri kombine olarak içeren bir Negatif Binomial Model kurulmuştur. Negatif Binomial Model sonuçları YOGT, hız, aşırı yüklü araçlar, ticari alanlar faktörlerinin ölümlü kaza sıklığını arttırdığını, sinyalizasyon kavşaklardaki yaya ve trafik ışıklarının, polis varlığının ölümlü kaza sıklığını azalttığını göstermiştir.

3. KAZA VERİLERİNİN ANALİZİ

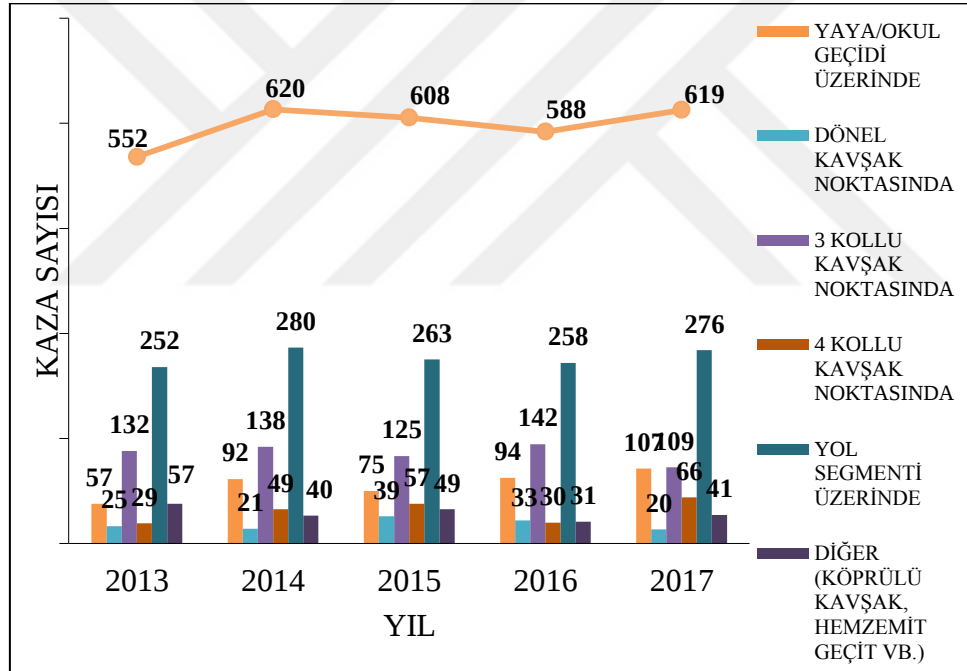
Tez çalışması kapsamında tek araç-tek yaya kazalarına etki eden faktörlerin belirlenmesi ve çalışma kapsamında incelemeye alınacak yol segmentlerinin seçilmesi sırasında amacı ile öncelikle EGM veri tabanında yer alan Adana ili trafik kaza verileri detaylı analiz edilmiştir. EGM verileri kaza tutanaklarının olay yeri ekipleri tarafından doldurulmasının ardından yerel birimlerce raporlanarak genel merkezde toplanması ile düzenli olarak güncellenmektedir. Bu çalışma kapsamında 2013-2017 yılları arası 5 yıllık kaza verisi kullanılmıştır. Veriler her bir kaza için kaza türü, kaza oluş yeri, kaza koordinatları, hava koşulları, yol durumu, yaralı sayısı, ölü sayısı, gün durumu, kaza saati, kaza günü gibi çeşitli faktörleri barındırmaktadır. Tez konusuna ait kaza verilerinin ayıklanabilmesi amacı ile verilere filtreler uygulanmıştır. Örneğin; kaza oluş türüne göre karşılıklı çarpışma, arkadan çarpma, yandan çarpma, yayaya çarpma, hayvan ile çarpışma vb. gibi çeşitli alt kategorileri ayrılan veri setinde toplamda 16397 kaza bilgisi yer almaktadır. Kaza oluş türüne göre Adana ili kent içi yollarında gerçekleşmiş trafik kazalarının dağılımı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kazaların oluş türlerine göre dağılımı

2013-2017 yılları arasında Adana kent içi yollarında gerçekleşen tüm kazalar arasından gerçekleşme sıklığı en fazla olan kaza türünün %40.74 oranı ile araç-arac kazalarından yandan çarpmalı kazalar olduğu görülmektedir. En sık ikinci sırada gerçekleşen kaza türünün

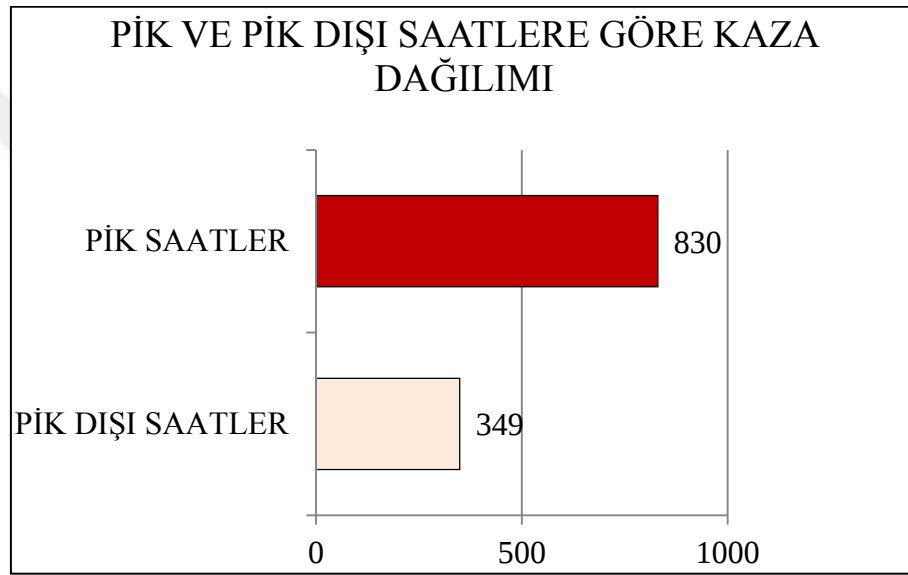
ise tüm kazaların %18.21'sini oluşturan yayaya çarpmalı kazalar olduğu anlaşılmaktadır. Bu kazaları sırası ile arkadan çarpmalı kazalar %12.45, diğer kazalar %12.29, engel/cisim ile çarpışmalı kazalar %6.15, karşılıklı çarpışmalı kazalar %5.67, duran araca çarpmalı kazalar %2.98 ve yan yana çarpışmalı kazalar %1.51 oranları ile takip etmektedir. Adana ili için 2013-2017 yılları arasında gerçekleşmiş tüm kazalardan en sık gerçekleşen ikinci sırada kaza türünün yaya-arac kazaları olması, konunun önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Çalışma kapsamında incelenmek üzere kaza veri setinde ilk filtre uygulaması yaya-arac kazalarının seçilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Yaya-arac kazalarının seçilmesinin ardından bu kazaların gerçekleşme yerlerinin analizi yapılmıştır. Veri setinde yer alan yaya-arac kazalarının gerçekleştiği yerlere göre 2013-2017 yılları içerisindeki dağılımı Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Yaya-arac kazalarının yıllara göre oluş yerlerinin dağılımı

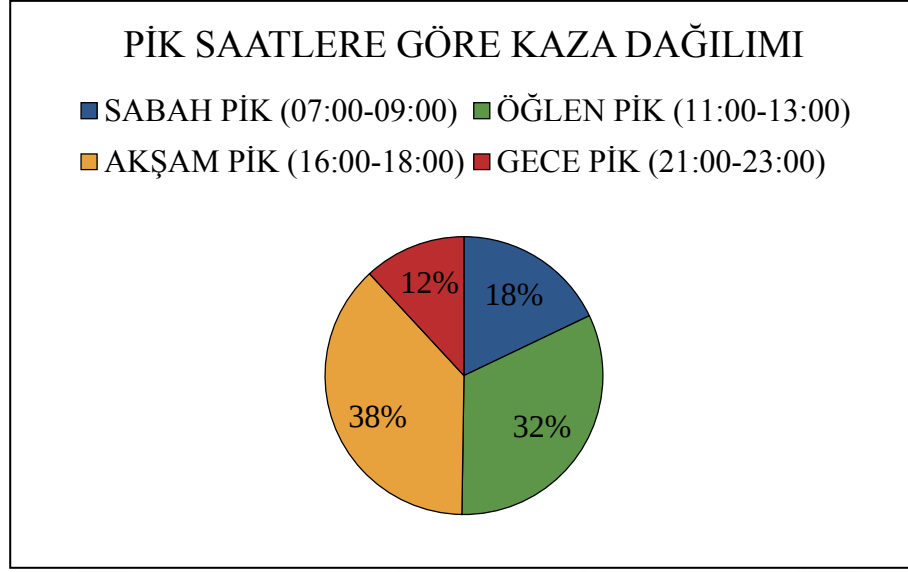
Veri setinde yer alan yaya-arac kazaları yaya geçitleri ile okul geçitlerinde, dönel kavşak noktalarında, üç ve dört kollu kavşak noktalarında, yol segmenti üzerinde ve diğer noktalarda gerçekleşmiş kazalar olarak alt gruplara ayrılmaktadır. 5 yıl içerisinde gerçekleşmiş yaya-arac kazalarının her yıl için yüksek sayıda kazanın yol segmentleri üzerinde gerçekleştiği Şekil 3.2'de görülmektedir. Toplamda 2987 yaya araç kazasının %44.49'sinin yol segmentleri üzerinde gerçekleşmiş olması bu noktaların, yaya güvenliği açısından kritik olduğunun bir

göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yol segmentleri üzerinde gerçekleşmiş kazaları üç kollu kavşaklarda gerçekleşmiş kazalar %21.63, yaya/okul geçitleri üzerinde gerçekleşmiş kazalar %14.23, dört kollu kavşak noktasında gerçekleşmiş kazalar %7.73, diğer noktalarda gerçekleşmiş kazalar %7.30 ve dönel kavşaklar üzerinde gerçekleşmiş kazalar %4.62 oranları ile takip etmektedir. Yapılan değerlendirme sonucunda yol segmentleri üzerinde gerçekleşmiş olan 1179 adet tek-araç tek yaya kazasının pik ve pik dışı saatlere göre dağılımı tespit edilmiştir. Şekil 3.3’de yol segmentleri üzerinde gerçekleşen tek-araç tek yaya kazalarının pik ve pik dışı saatlere göre dağılımı verilmiştir.



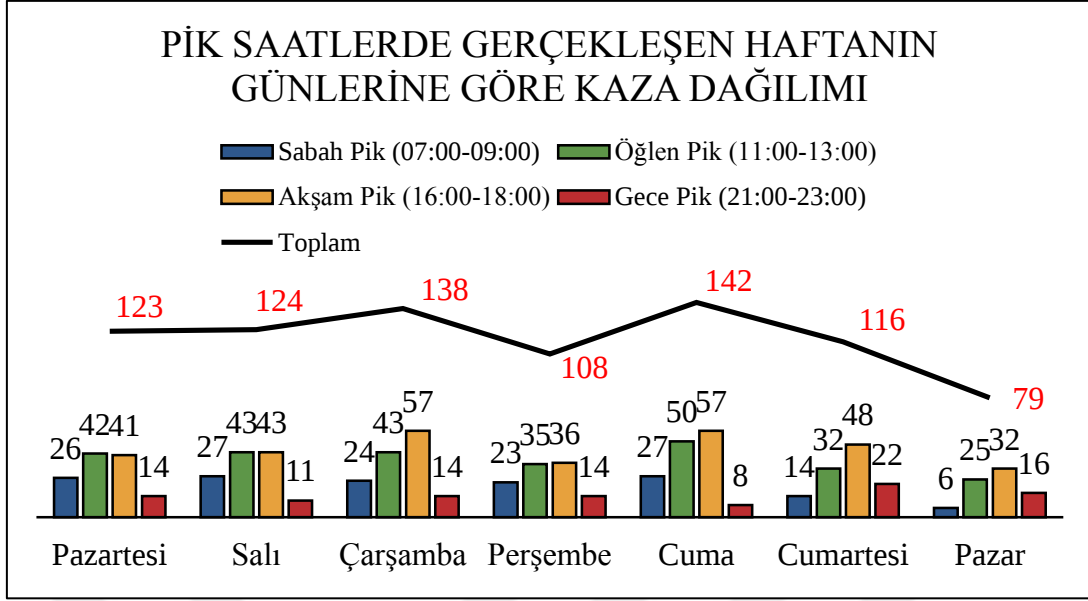
Şekil 3.3. Yaya-araç kazalarının pik ve pik dışı saatlerdeki dağılımı

2013-2017 yılları arasında Adana ilinde gerçekleşen tek araç-tek yaya kazalarının 349 tanesi pik dışı saatlerde ve 830 tanesi ise pik saatler arasında gerçekleşmiştir. Bu durumda, toplam kazaların %70.39’unun yaya ve araç hacminin yüksek olduğu ve yaya-araç etkileşimlerinin sıklıkla meydana geldiği pik saatlerde gerçekleştiği öne çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında pik saatlerde gerçekleşmiş kazalar incelendiğinden dolayı pik saatlerdeki kazaların detaylı analizinin yapılması için pik saatler sabah pik 07:00- 09:00, öğlen pik 11:00-13:00, akşam pik 16:00-18:00 ve gece pik 21:00-23:00 olarak dört gruba ayrılmıştır. Sabah, öğlen, akşam ve gece pik saatlerinde gerçekleşmiş kazaların dağılımı Şekil 3.4’de verilmiştir.



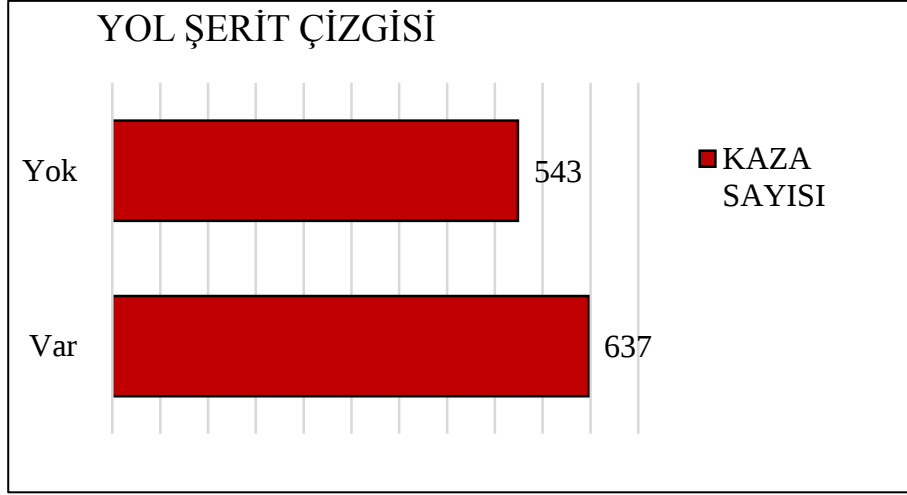
Şekil 3.4. Tek araç-tek yaya kazalarının pik saatlere göre dağılımı

Kazaların yoğunlukla akşam pik saatlerinde gerçekleşmiş olduğu görülmektedir. Trafik hacminin yüksek olduğu, özellikle iş çıkışlarına denk gelen 16:00-18:00 saatleri arasında gerçekleşen kaza sayısı 316 olarak yol segmentleri üzerinde gerçekleşen tüm tek araç-tek yaya kazalarının %38'ini oluşturmaktadır. Yine benzer şekilde öğlen pik saatlerde gerçekleşmiş kaza sayısının da 266 kaza ile tüm kazaların %32'sini oluşturduğu görülmektedir. Özellikle hafta içi iş günlerinde öğlen arasına denk gelen bu saatlerde yaya-arac etkileşimlerinin fazla olmasının bu orana sebebiyet verebileceği düşünülmektedir. En yüksek üçüncü sıradaki kaza gerçekleşme oranı %18 ile sabah pik saatlerindedir. Gece pik saatlerinde gerçekleşmiş kazalar ise tüm kazaların %12'sini oluşturmaktadır. Özellikle eğlence kullanım amacına sahip arazilerdeki alkol kullanımı ve yüksek hızların gece pik saatlerinde gerçekleşmiş kazaların temel sebebini oluşturduğu düşünülmektedir. Tek araç - tek yaya kazalarının pik saatlere göre haftanın günleri içerisindeki dağılım Şekil 3.5'de verilmiştir. Şekil 3.5 incelendiğinde tek araç-tek yaya kazalarının hem hafta içi ve hem de hafta sonu için en yüksek olarak akşam pik ve öğlen pik saatlerinde gerçekleşmiş olduğu görülmektedir. Sabah pik saatlerinde gerçekleşmiş kazaların hafta sonuna doğru azaldığı görülürken, gece pik saatlerinde gerçekleşmiş kazaların hafta içine nazaran cumartesi ve pazar günlerinde daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. Bunun sebebi olarak insanların hafta sonu tatil günlerinde, sabahları daha geç saatlere kadar uyumaları dolayısı ile kent içi yollarda hem yaya hem de taşıt hacminin düşük olması sebebi ile yaya-arac etkileşimlerinin azalması olarak gösterilebilir.

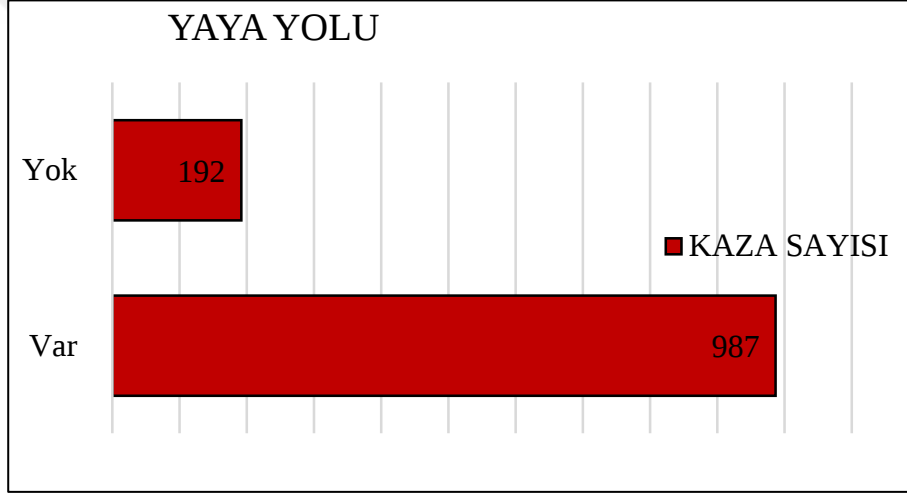


Şekil 3.5. Tek araç-tek yaya kazalarının pik saatlere göre haftanın günleri içerisindeki dağılımı

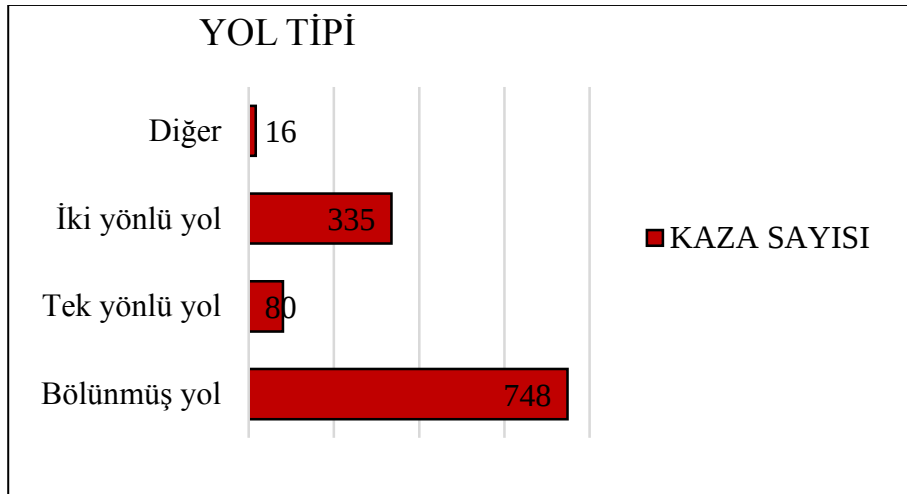
İnsanların hafta sonu tatil günlerini eğlence amaçlı değerlendirmesinin, özellikle eğlence amaçlı kullanılan bölgelerde, geç saatlerdeki yaya-arac etkileşimlerini arttırmasına ve böylece kaza sayısının artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Pik saatlerde gerçekleşen kazaların en fazla hafta ortası yani çarşamba günü ve iş haftasının bitimi olan cuma günü gerçekleştiği görülmektedir. Yaya-arac etkileşimlerinin fazla olduğu bu günlerin ileriki çalışmalarda özellikle incelenmesi gerektiği düşünülmektedir. 2013-2017 yılları arası Adana ilinde gerçekleşmiş yaya-arac kazalarının yol şerit çizgisi, yol tipi, yol segmenti üzerinde yaya yolunun bulunması, yol segmenti üzerinde uyarıcı trafik işaret levhasının bulunması faktörlerine göre dağılımı Şekil 3.6 - 3.9'da verilmiştir.



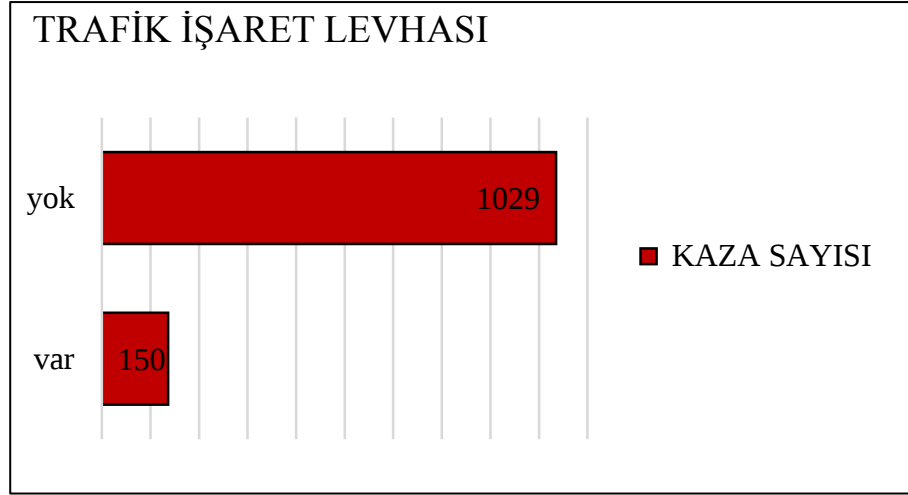
Şekil 3.6. Yaya-araç kazalarının yol şerit çizgisi olması durumuna göre dağılımı



Şekil 3.7. Yaya-araç kazalarının yaya yolu olması durumuna göre dağılımı



Şekil 3.8. Yaya-araç kazalarının yol tipine göre dağılımı



Şekil 3.9. Yaya-araç kazalarının trafik işaret levhası olması durumuna göre dağılımı

Verilen şekillere bakıldığında tek araç-tek yaya kazalarının gerçekleştiği durumlarda yol segmenti üzerinde yol şerit çizgisinin bulunması durumu kazaların %54.02'sinde, yol segmenti üzerinde yol şerit çizgisinin bulunmaması durumu ise kazaların %46.05'inde görülmektedir.

Bu veriler göz önüne alındığında yol şerit çizgisi işaretlemesinin tek araç- tek yaya kazalarının oluşumunda önemli bir etkisinin olmadığından bahsetmek mümkündür. Kazaların %83.71'i yol segmenti üzerinde yaya yolunun mevcut olduğu durumda gerçekleşirken, %16.28'i yaya yolunun bulunmadığı bölgelerde gerçekleşmiştir. Bu sonuç göz önüne alındığında yaya yolu olmasının, yaya hareketliliğini arttırdığından ve dolayısı ile yaya-araç etkileşiminin buna bağlı olarak arttığından söz etmek mümkün olsa da bu dağılımın Adana ili kent içi yollarındaki yaya yollarının mevcudiyetinin fazlalığından kaynaklı olduğunu da göz önünde bulundurmanın gerekliliği düşünülmüştür.

Bir diğer faktör olan yol tipi faktörü incelendiğinde yol segmentleri üzerinde meydana gelmiş tek araç-tek yaya kazalarının %63.44'ünün bölünmüş yollar üzerinde meydana geldiği ön plana çıkmaktadır. Bölünmüş yolları en yüksek ikinci sırada %28.41 ile kaza oranına sahip olan iki yönlü yollar takip etmektedir. Kazaların %6.78'i tek yönlü yollarda gerçekleşirken, %1.36'sı ise diğer yollarda gerçekleşmiştir. En yüksek gerçekleşme oranının bölünmüş yollarda olmasına ve en yüksek ikinci gerçekleşme oranının ise iki yönlü yollarda olmasına dikkat edilerek, yol şerit sayısının artmasının ve yol kalitesinin artmasının sürücülerini yüksek

hızda seyahat etmeye teşvik ettiğini ve bu durumun kaza oluşumunu tetiklediğini söylemek mümkündür. Yol segmentleri üzerindeki kaza yerinde uyarıcı trafik işaret levhasının bulunduğu durumlarda kazaların %82.27'sinin gerçekleştiği görülürken, kazaların %12.79'unun ise yol segmenti üzerindeki kaza yerinde uyarıcı trafik işaret levhasının bulunmadığı durumlarda gerçekleştiği görülmektedir.

Kaza verileri üzerinden yapılan detaylı incelemeler sonucunda, 2013-2017 yılları arası gerçekleşmiş toplam kazaların %18.21'ini oluşturan tek araç-tek yaya kazalarının %50.17'sinin yol segmentleri üzerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yol segmentleri üzerinde gerçekleşen 1179 tek araç-tek yaya kazasının %70.39'unun pik saatte gerçekleştiği ve pik saatlerde gerçekleşmiş kaza sayısının 830 olduğu belirlenmiştir. Yoğunluk analizlerinin daha detaylı yapılabilmesi için bu 830 kaza verisi günün pik saatlerine göre sabah, öğlen, akşam ve gece olmak üzere 4 pik saate ayrılarak incelenmiştir.

4. MATERİYAL VE METOT

Kaza verilerinin çalışma kapsamında incelenmesi düşünülen bölümünün filtrelenerek elde edilmesi sonucunda 2013-2017 yılları arası kazalar CBS ortamında mekansal dağılımlarına göre haritalandırılmıştır. Haritalama aşaması kısım 3’de bahsedilen sabah, öğlen, akşam ve gece pik saatleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Ardından her bir harita üzerinden mekansal değerlendirmelerin gerçekleştirilmesi ve kritik yol segmentlerinin belirlenmesi amacı ile Düzlemsel Kernel Yoğunluk Analizi uygulanmıştır. Yoğunluk analizlerine göre kritik görülen yol segmentleri için trafik sayımlarından, yerinde ölçümlerden ve uzman görüşlerinden faydalanılarak veri seti oluşturulmuş ve C4.5 Karar Ağacı Algoritması, Çok Katlımanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron-MLP) ve hibrit Çevilmiş Bulanık Karar Modeli (ÇBKM) ile incelenmiştir.

4.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) herhangi bir konuya ait verilerin toplanarak işlenmesine, depolanmasına ve mekansal analizler yapılmasına olanak tanıyan sistemler olarak değerlendirilmektedir (Delaney ve Van Niel, 1999; Nath ve diğ., 2000). CBS ile mekansal analizler gerçekleştirilirken çalışılmak istenilen amaç ve mekana göre altık haritalardan faydalanılır. Bu altlıklar yol ağları, nüfus yoğunluğu, yapıli çevre, hava olayları gibi çeşitli katmanlardan oluşabilmektedir (Burrough ve diğ., 2015; Church, 2002). Toplanan mekansal veriler bu altlık haritaları ile birleştirilir ve analizler gerçekleştirilir. CBS destekli veri analiz sürecinin ilerleyişi Şekil 4.1’de verilmiştir.



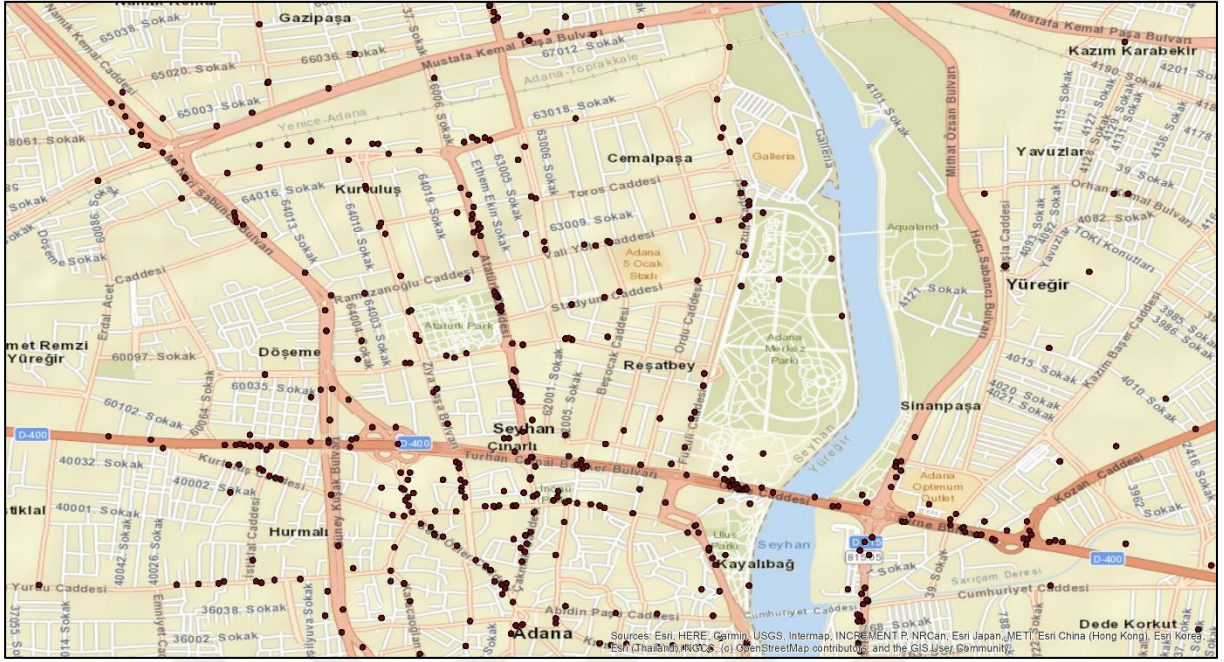
Şekil 4.1. CBS yardımı ile mekansal veri analizi süreci

CBS meteorolojik analizler, yol planlamaları, kapasite analizleri, askeri uygulamalar, risk yönetimleri, afet yönetimleri, su kaynakları yönetimleri gibi çeşitli alanlarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. CBS uygulama alanının bu denli fazla olmasının nedeni, CBS'nin kolay kullanılabilir, hızlı ve etkili bir analiz yöntemi olmasıdır. İstatistiksel ve görsel verilerin birlikte işlenerek sayısallaştırılabilmesini sağlayan CBS'nin tarihsel gelişimi ve geçmişten günümüze kadar olan süreçte geliştirilen CBS uygulamaları Tablo 4.1'de verilmiştir. CBS'nin ilk uygulamaları Kanada CBS topluluğunun oluşturulması ile başlamıştır. 1960'lardan günümüze gelen bu süreçte birçok CBS yazılımı geliştirilmiştir özellikle son dönemlerde kullanıcıların mobil platformda CBS analizlerini gerçekleştirmelerine olanak sağlayan mobil CBS yazılımları büyük bir trend halini almıştır. Günümüzde mekânsal analizlerin kolaylıkla gerçekleştirmeye olanak sağlayan çok çeşitli CBS platformları (ArcGIS, QGIS, SAGA GIS vb.) bulunmaktadır. CBS'de mekânsal analizler gerçekleştirilirken haritalardan ve coğrafi koşullara ve gerçekleştirilmek istenen analizin amacına uygun istatistiksel verilerden faydalanılmaktadır. Bu verilerin beraber işlenmesi için öncelikle CBS platformunda sayısallaştırılması gerekmektedir. Mekânsal koşulların bilgisayar ortamında CBS ile işlenmesi kolay bir süreç değildir. Bu süreçte, Raster ve Vektör verilerden faydalanılmaktadır.

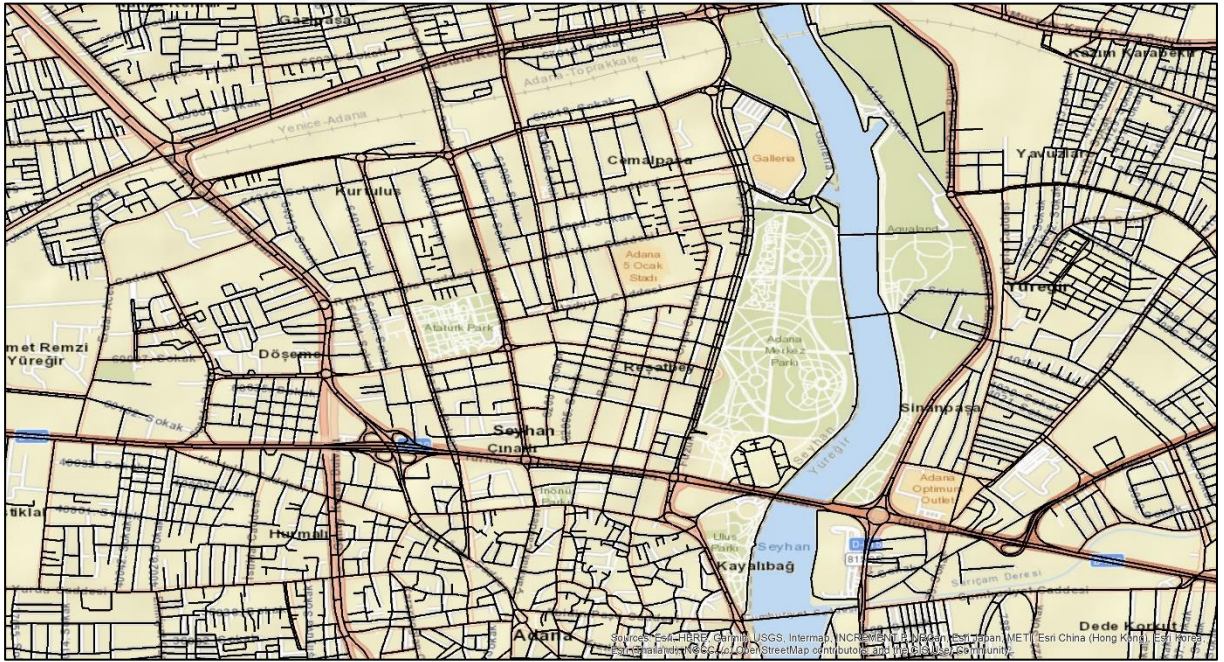
Tablo 4.1. Geçmişten günümüze CBS uygulamaları.

1960 – 1980 yılları arası	1980 – 1990 yılları arası	2000'li yıllar ve sonrası
CBS Kanada Esri ve Integrgraph kurulumu ERDAS kurulumu	Esri (Arc/Info) Grass Software MapInfo TransCAD EGHAS Türkiye NetCAD ArcCAD OpenGIS	ArcGIS Online ArcGIS 8.1 – 10.6 QGIS 3.10 ArcPAD mobil CBS

Haritalar ve istatistiksel veriler CBS platformunda sayısallaştırılırken vektör veri ve raster veri dönüşümleri yapılır. Vektör verilerin harita üzerinde x ve y koordinatları bellidir. Tek bir x, y koordinat çiftinden oluşan veriye noktasal birbirini takip eden noktaların birleştirilmesi ile elde edilen veriye ise çizgisel adı verilir. Noktasal verilere örnek olarak kaza yeri, otobüs durağı vb. verilebilir. Çizgisel verilere örnek olarak karayolu ağları ve demiryolu ağlarından bahsedilebilir. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de sırası ile noktasal ve çizgisel verilere örnekler gösterilmiştir.



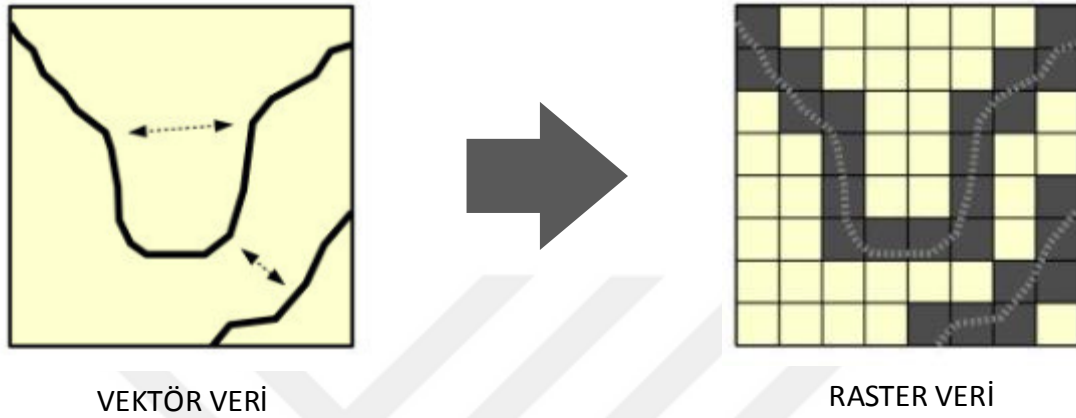
Şekil 4.2. Sokak haritası üzerine eklenmiş noktasal kaza verileri



Şekil 4.3. Sokak haritası üzerine eklenmiş çizgisel kent içi karayolu ağı verileri

Harita üzerinde minimum üç noktanın birleştirilmesi ile kapalı bir alan oluşturabilen verilere alansal veri adı verilmektedir. Alan veriye örnek olarak göller, binalar, parseller vb. verilebilir. Mekansal verilerin hücreler ile ifade edilmesi ile oluşan veri türüne raster veri denilmektedir. Raster veri, raster hücrelerinden oluşur ve bu hücreler eşit ölçülerde sütun ve

satırdan meydana gelmektedir. Mekansal veriler raster hücreler ile ifade edilirken her bir hücre temsil ettiği coğrafi koşulun rengini alarak o koşulu tanımlar. Hücrelerin bir araya gelmesi ile ızgara yapısı oluşur ve verinin görsellenmesi gerçekleşir. Mekansal vektör verinin, raster veri olarak ifade edilmesi Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Mekansal vektör verinin raster veri olarak ifade edilmesi

Raster veriler, vektör verilere göre daha fazla depolama alanına sahiptir ve raster veriler üzerinden mekânsal analizlerin gerçekleştirilmesi vektör verilere nazaran daha pratik olmaktadır. CBS’nin avantajları aşağıda verilen şekilde sıralanabilir.

- Büyük ölçekli çalışma imkanı,
- Kolay ve pratik uygulama,
- Sonuçların görsellenerek, rahat yorumlanması,
- Açık kaynak kodlu yazılımlar,
- Analiz seçeneklerinin fazlalığı,
- Depolama alanı fazlalığı.

CBS, bir çok mühendislik alanında sıkça kullanılan bir bilgisayar destekli sistem olmasının yanında özellikle son yıllarda ulaştırma mühendisliği alanındaki önemli araştırmalarda kullanılan popüler yöntemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Thill, 2000). Ulaştırma mühendisliği alanında CBS’den faydalanılan güncel konular kaza analizleri (Hasseea, 2003; Pleerux, 2020; Prasannakumar ve diğ., 2011), trafik yönetimi (Khalesian ve diğ., 2009; Scaini ve diğ., 2014), rota ve güzergah planlaması (Ghose ve diğ., 2006; Liu ve diğ., 2003), duraklar

ve istasyonlar ve mekanlar için optimum yer belirleme (Kaya ve diğ., 2020; Unal ve diğ., 2019), trafik monitörleme (Khalesian ve diğ., 2009), metro ve raylı sistemlerin yönetimi (Horner ve Grubestic, 2001), araç takibi ve ulaşım planlaması (Arampatzis ve diğ., 2004; Zhong ve Hanson, 2009) olarak sıralanabilir. Bu çalışmada CBS yardımı ile mekânsal analizlerin gerçekleştirilmesi için ArcGIS yazılımından faydalanılmıştır.

4.2. Düzlemsel Kernel Yoğunluk Analizi

Düzlemsel Kernel Yoğunluk Analizi metodu, yoğunluk tahminini mekansal verinin bir alandaki dağılımına göre yapmaktadır. Kernel Yoğunluk Analizi noktasal ve çizgisel veriler üzerinden gerçekleştirilebilmektedir. Kernel Yoğunluk Analizi'nde verilerin yer aldığı çalışma alanında Kernel fonksiyonu için seçilen yarıçap içerisinde kalan veriler değerlendirilerek birim alan başına düşen bir değer hesaplanır ve bu sayede düz bir konik yüzey oluşturulur. Yüzey değeri, yüzey merkezine yaklaştıkça yani yarıçap sıfıra yaklaştıkça artar. Literatürde Uniform, Triangle, Gaussian, Quartic, Epanechnikov gibi bir çok Kernel fonksiyonu bulunmaktadır. Denklem 1 yardımı ile Kernel yoğunluğu hesaplanmaktadır (Xie ve Yan, 2008).

$$\varphi(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\pi r^2} k\left(\frac{d_{is}}{r}\right) \quad (1)$$

Burada, k herhangi bir i noktasının ağırlığı, r bant genişliği veya arama çapı, d_{is} herhangi bir i noktasının s lokasyonuna uzaklığı ve $\varphi(s)$ ise s lokasyonunun Kernel yoğunluk değeridir. k değeri Kernel fonksiyonu olarak değerlendirilmektedir. En sık kullanılan Gaussian, Quartic, fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

Gaussian fonksiyonu;

$$k\left(\frac{d_{is}}{r}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{d_{is}^2}{2r^2}\right) \quad (2)$$

Quartic fonksiyonu;

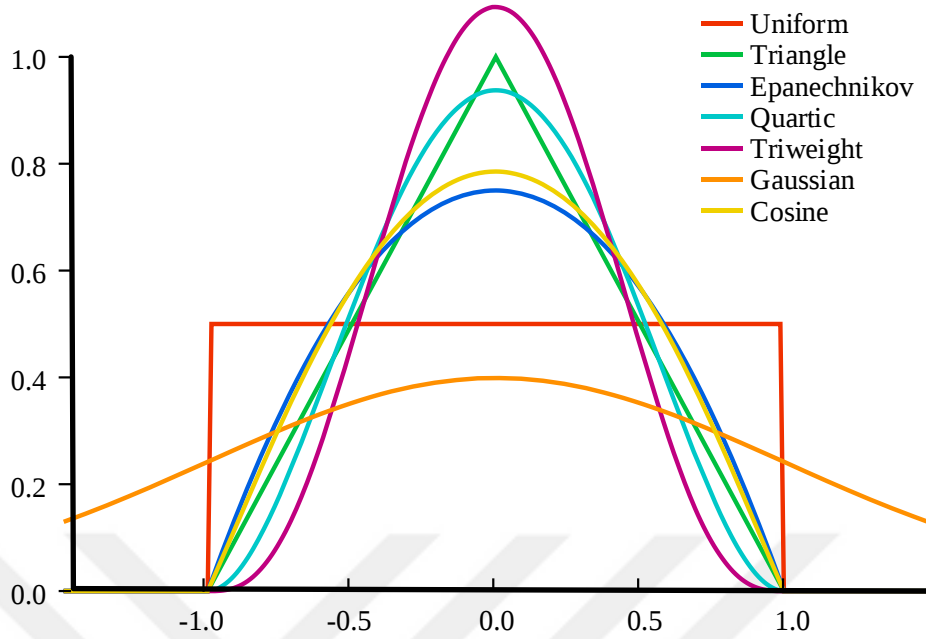
$$k\left(\frac{d_{is}}{r}\right) = K\left(1 - \frac{d_{is}^2}{r^2}\right)^2, \quad \left|\frac{d_{is}}{r}\right| \leq 1 \quad (3)$$

Burada K ölçeklendirme faktörü olarak tanımlanır ve Quatric eğrinin altında kalan alanın 1'e eşit olmasını sağlar. Genel olarak kullanılan K değerleri $3/\pi$ ve $3/4$ olarak değerlendirilmektedir. ArcGIS yazılımı Kernel fonksiyonu olarak aşağıda verilen Epanechnikov (1969) çalışmasında tanımladığı fonksiyonu kullanmaktadır.

Epanechnikov fonksiyonu;

$$k\left(\frac{d_{is}}{r}\right) = \frac{3}{4}\left(1 - \frac{d_{is}^2}{r^2}\right), \quad \left|\frac{d_{is}}{r}\right| \leq 1 \quad (4)$$

Düzlemsel Kernel Yoğunluk Analizi gerçekleştirilirken, arama çapı ve hücre boyutu parametrelerinin seçilmesinde dikkatli olunması gerekmektedir (Sheather ve Jones, 1991). Şekil 4.5'de çeşitli kernel fonksiyonlarına ait eğrilerin aynı koordinat düzlemi üzerinde gösterimi yapılmıştır.



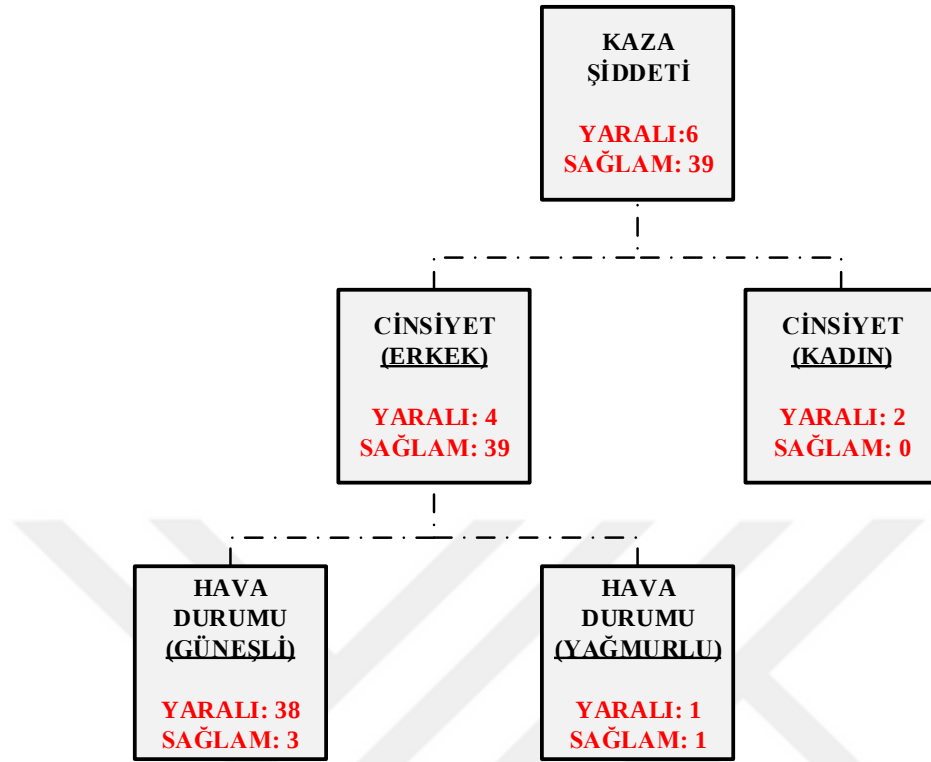
Şekil 4.5. Kernel Fonksiyonlarının aynı koordinat düzlemi üzerinde gösterilmesi

Şekil 4.5 incelendiğinde arama çapı içerisinde kalan her noktanın eş yoğunluğa sahip olması esasına dayanan Uniform Kernel fonksiyonu dışında tüm fonksiyonların düzlem merkezine doğru en yüksek değerlerine yaklaştığı görülmektedir. Bu çalışmada ArcGIS yazılımı kullanıldığından, kernel fonksiyonu olarak yazılımın içerisinde yer alan Epanechnikov fonksiyonu tercih edilmiştir. Yoğunluk Analizleri trafik kazalarına ait verilerin mekansal olarak haritalanması ve yoğunluk değerlerinin elde edilmesi için literatürde sıklıkla kullanılmaktadır (Anderson, 2007; Anderson, 2009; Hashimoto ve diğ., 2016; Xie ve Yan, 2013).

Bu çalışmada sonuçlarının kolaylıkla görsellenebilmesi ve bundan dolayı daha rahat yorumlanabilir olması nedeniyle Düzlemsel Kernel Yoğunluk Analizi yöntemi kullanılmıştır.

4.3. Karar Ağacı Algoritması

Karar ağaçları sınıflandırma ve tahmin problemlerinde başarılı sonuçlar veren makine öğrenmesi algoritmalarından biri olarak kabul edilmektedir (Quinlan, 1987). Bu algoritmalarda probleme ait kriterler tıpkı bir ağacın yapısı gibi dal, yaprak ve düğümler şeklinde ilerlediği için bu algoritmalar Karar Ağacı Algoritmaları olarak anılmaktadır (Quinlan, 1988).



Şekil 4.6. Karar Ağacı yapısı

Karar ağaçları ile oluşturulan modeller rahat anlaşılabilir bir yapıya sahiptir. Böylece sonuçların yorumlanması ve ağaç yapısının oluşmasında etkili kriterlerin tespit edilmesi mümkün olmaktadır. Bir Karar Ağacı Algoritmasında her bir bağımsız değişken bir düğüm ile temsil edilir. Bu düğümler, ilk düğüm olan kök düğümünden itibaren çeşitli dallanma kriterlerine göre iki veya daha fazla alt düğüme ayrılarak ağaç yapısını oluşturur (Abellán ve diğ., 2013). Şekil 4.6’da cinsiyet ve hava durumu bağımsız değişkenlerine göre kaza sonucunun yaralanmalı veya sağlam olarak değişimini gösteren örnek bir Karar Ağacı Algoritmasının yapısı verilmiştir.

Literatürde kaza oluşum sıklığının tahmininde ve kaza sonucunun sınıflandırmasında kullanılan ID3, C4.5, C5.0 gibi entropiye dayalı Karar Ağacı Algoritmaları bulunmaktadır (Chong ve diğ., 2004; de Oña ve diğ., 2012; Pradhan ve Sameen, 2020). Bunun yanında CART, Gini algoritması gibi Karar Ağacı tabanlı sınıflandırma ve regresyon algoritmalarının da kullanımı yaygın olarak görülmektedir (de Oña ve diğ., 2013; Rovšek ve diğ., 2017; Tavakoli Kashani ve diğ., 2011).

Karar Ağacında düğümlerin dallanma kriteri, seçilen Karar Ağacı Algoritmasına göre değişmektedir. Bu çalışmada incelenen probleme uygun olarak Quinlan (1986) tarafından geliştirilen C4.5 Karar Ağacı Algoritması kullanılmıştır. C4.5 Karar Ağacı Algoritması yine Quinlan tarafından sunulmuş olan ID3 algoritmasının gelişmiş bir versiyonudur (Quinlan, 1996). ID3 algoritmasında dallanma kriteri olarak Bilgi Kazanımı (Information Gain – IG) kullanılır. IG, bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken hakkında verdiği bilgiler ışığında herhangi bir mevcut düğümdeki entropi farkı olarak değerlendirilebilir. C4.5 algoritmasında ise dallanma kriteri Bilgi Kazanım Oranına (Information Gain Ratio – IGR) göre belirlenmektedir. IGR, kullanıcıya dallanma öncesi süreçte ağacı düzenleme etme şansı verir. Ayrıca veri setinde yer alan sürekli değişkenler ve bazı kayıp değerler ile bu kriter sayesinde başa çıkılabilmektedir. C4.5 algoritmasına ait entropi hesabı, bilgi kazanımı ve bilgi kazanım oranı aşağıda verilen denklemler ile ifade edilmektedir.

$$IG(Y, A) = H(Y) - H(Y|A) \quad (5)$$

$$IGR(Y, A) = \frac{IG(Y, A)}{H(A)} \quad (6)$$

$$H(Y) = - \sum_j p(y_j) \log_2 p(y_j) \quad (7)$$

$$H(Y|A) = - \sum_i \sum_j p(y_j|a_i) \log_2 p(y_j|a_i) \quad (8)$$

Burada $H(Y)$, Y çıkış parametresi için entropi değeridir ve $p(y_j) = p(Y = y_j)$ koşulunun çıkış parametresinin her bir değeri için gerçekleşme durumudur. $H(Y|A)$ ise Y çıkış parametresinin A bağımsız değişkenine göre hesaplanan entropi değeridir. IG, Y çıkış parametresinin entropi değerinden Y çıkış parametresinin A bağımsız değişkenine göre hesaplanan entropi değerinin çıkartılması ile elde edilmektedir. IGR ise IG'nin A özelliğinin entropi değerine bölünmesi ile hesaplanmaktadır (Hssina ve diğ., 2014). Karar ağaçları eğitmenli makine öğrenmesi algoritmaları arasında yer almaktadır. Tüm makine algoritmalarında olduğu gibi karar ağaçlarında da kurulan modelin veri setini ezberlemesinin (overfitting) ve tutarsız sonuçlar vermesinin önüne geçmek adına veri setinin eğitim, doğrulama ve test olarak bölümlere ayrılması gerekmektedir (Polat ve Güneş, 2009). Bu

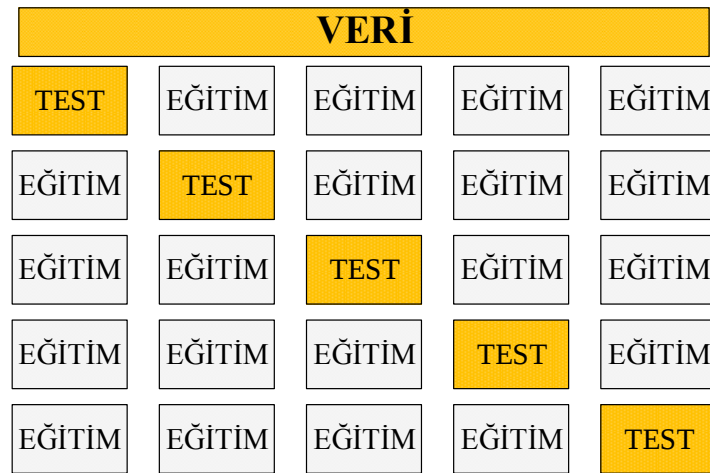
çalışmada modelin veri setini ezberlemesinin önüne geçilmesi için K-Katlamalı Çapraz Doğrulama metodu kullanılmıştır.

4.4. K-Katlamalı Çapraz Doğrulama

Veri madenciliği ve makine öğrenmesi tekniklerinde veri setine uygulanan yöntemin tutarsızlığının engellenmesi ve yöntemin veri setini ezberlemesinin önüne geçilmesi önemlidir. Bu durumlardan kaçınmak için literatürde veri setinin bir bölümü eğitim bir bölümü ise test aşamasında kullanılmak üzere parçalara ayrılmasına yönelik çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanımı tercih edilen K-Katlamalı Çapraz Doğrulama yönteminde veri seti rastgele K eşit parçaya bölünür ve her bir iterasyonda verinin 1/K kadarı test, kalan verinin tamamı ise eğitim için kullanılır. Yöntemin görsel olarak ifadesi Şekil 4.7’de verilmiştir. K adet iterasyon sonucunda her bir iterasyondan elde edilen hata değerinin aritmetik ortalaması alınarak yöntemin genel hatası hesaplanır. K-Katlamalı Çapraz Doğrulama yönteminin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$AE(x) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K E_k(x) \quad (9)$$

İfadede AE tüm iterasyonlar sonucundaki ortalama hatayı, E_k , $i = 1 \dots K$ kadar olan her iterasyondaki hatayı temsil etmektedir.



Şekil 4.7. K-5 katlamalı çapraz doğrulamada veri dağılımı

Bu çalışmada sunulan, K-Katlamalı Çapraz Doğrulama ile desteklenen C4.5 Karar Ağacı Algoritmasında faktörlerin önemini yani model çıktıları üzerindeki etkisini değerlendirmek amacı ile C4.5'in dallanma kriterlerini oluşturan IGR'den faydalanılmıştır. Model çıktılarının değerlendirilmesinde IGR'nin yanı sıra Agrawal ve diğ. (1993), Pande ve Abdel-Aty (2009), Montella ve diğ. (2012) ve de Oña ve diğ. (2013) çalışmalarında kullandıkları Kural Çıkartma Yöntemi de kullanılmıştır.

4.5. Faktörlerin etkisinin belirlenmesi

Veri setinde yer alan bağımsız değişken faktörlerinin çalışmada yapılan sınıflandırmaya etkisinin belirlenebilmesi için Abellán ve diğ. (2013) kullandıkları matematiksel modelden yararlanılmıştır. Model ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$IOV(A) = \sum_{i=1}^h \frac{na_i}{n} I((Y|A) = a_i) - (Y) \quad (10)$$

Burada IOV faktörlerin önemini ifade ederken, Y çıkış faktörü, na_i , $A = a_i$ olan durumların sayısı ve n tüm durumların sayısıdır. C4.5 algoritması dallanma kriteri olarak IGR kullandığı için I , IGR'yi temsil etmektedir.

4.6. Kuralların çıkartılması

Karar Ağaçları mantıksal-koşullu bir yapı içerisinde oluşturulur. Bu yapıda bir dizi X bağımsız koşulunun birlikte gerçekleşmesi durumunda sonuç Y bağımlı çıktısını vermektedir. Mantıksal-koşullu yapılarda koşullar IF, kuralların birleştirilmesi AND veya OR, sonuç ise THEN olarak verilmektedir. Bir Karar Ağacı Algoritmasında tüm bu IF koşullarına öncül (antecedent) ve THEN ise sonuç (consequent) olarak değerlendirilir. Örneğin:

IF ((CİNSİYET(ERKEK)
AND KAZATİPİ(ARKADANÇARPMALI),
AND SURUCUEĞİTİMDURUMU(YUKSEK)),
THEN (KAZASONUCU(YARALANMALI)).

Şeklinde bir mantıksal-koşullu yapıda cinsiyetin erkek olması, kaza tipinin arkadan çarpma olması ve kazaya karışan sürücünün eğitim durumunun yüksek olması koşulları birlikte işlendiğinde kaza sonucu çıkış faktörünün yaralanmalı olduğu görülmektedir. Karar Ağacı yapısında, ağacın dallanması sırasında oluşan tüm bu kurallardan en anlamlı olanların seçilmesi ve analiz edilmesi için üç kriterden faydalanılmıştır. Bu kriterler:

Destek (Support - S) : Bir X-Y mantıksal-koşullu durumunda X koşulları ve Y sonucunun birlikte gerçekleştiği durumların yüzdesi.

Popülasyon (Population - Po) : Bir X-Y mantıksal-koşullu durumunda X koşullarının gerçekleşme yüzdesi.

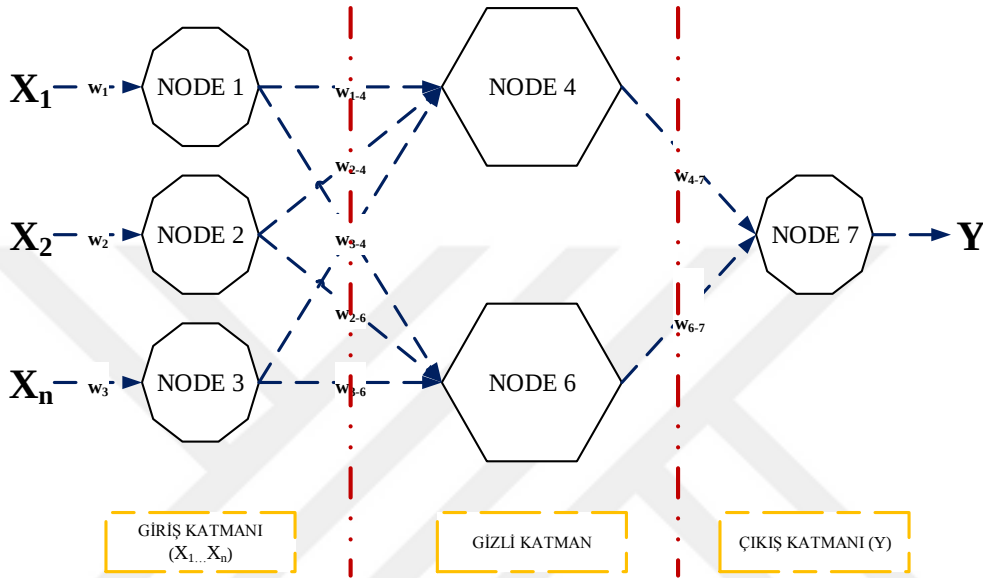
Probabilite (Probability - P) : Bir X-Y mantıksal-koşullu durumunda X koşullarının doğru olması durumunun gerçekleşme yüzdesi olarak açıklanabilir.

Model sonuçlarından anlamlı kuralların çıkartılması işleminde yukarıda verilen kriterler her bir kural için hesaplanır. S, Po ve P değerleri için seçilen eşik değeri karşılayıp karşılamaması durumuna bakılarak anlamlı kurallar çıkartılır ve analiz edilir. S, Po ve P değerleri için eşik değer seçimi veri setinin dengeli olup olmadığına, örnek sayısının fazlalığına bağlı olarak değişmektedir. Literatürde anlamlı kuralların çıkartılması için çeşitli eşik değer seçimleri gerçekleştirilmiştir. Abellán ve diğ. (2013) ve de Oña ve diğ. (2013) çalışmalarındaki örnek sayısı az ve örnek dağılımı dengeli olduğundan dolayı $S \geq \%0.6$, $Po \geq \%1$, $P \geq \%60$ olmak üzere, yüksek eşik değerleri tercih etmiştir. Pande ve Abdel-Aty (2009) $S \geq \%0.9$ ve $P \geq \%10$ değerlerini eşik değer olarak alırken, Montella ve diğ. (2012) kullandıkları veri setinin dengesiz dağılıma sahip olmasından ve veri setindeki nadir gerçekleşen IF-THEN mantıksal koşullarını incelemeyi amaçladıklarından dolayı $S \geq \%0.1$, $P \geq \%1$ olmak üzere çok daha küçük eşik değerler belirlemiştir. Bu çalışmada Abellán ve diğ. (2013) ve de Oña ve diğ. (2013) çalışmalarında olduğu gibi örnek sayısının az olması ve dağılımın dengeli olmasından dolayı eşik değerler $D = \%5.0$, $Po = \%5.0$ ve $P = \%75$ olarak seçilmiştir.

4.7. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin gerçekleştirebildiği öğrenme, ilişki kurma, optimize etme ve genelleme gibi görevleri başarılı bir şekilde gerçekleştiren sezgisel makine

öğrenmesi yöntemlerindendir (Haykin, 1994). YSA, biyolojik sinir ağı yapısına benzer olarak hücreleri ve hücreler arası bağlantıları içermektedir. YSA hücreleri nöron ve nöronlardan oluşan tabakalar katman olarak isimlendirilmektedir. Tipik bir YSA yapısında giriş katmanı, gizli katman veya katmanlar ve çıkış katmanı görülmektedir (Çelik ve diğ., 2016; Haykin, 2010). Şekil 4.8’de YSA yapısı örneklendirilmiştir.

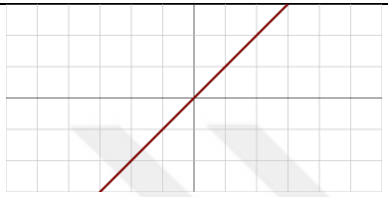
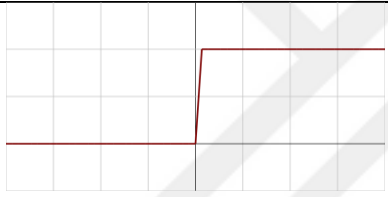
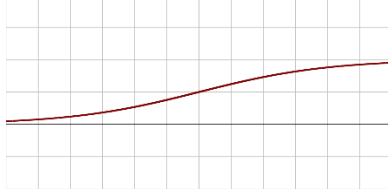


Şekil 4.8. Yapay sinir ağı yapısı

YSA, bir veya birden fazla gizli katmandan oluşabilir. Çıkış katmanı YSA’dan çözüm getirmesi beklenen problemin çeşidine göre tek veya çok çıkışlı olabilir. YSA yapısı X_i girişler, W_i ağırlıklar, $\sum$ toplam fonksiyonu, f(.) aktivasyon fonksiyonu, b bias değeri ve Y_i çıkış değerlerinden meydana gelir. YSA modelinin çalışması her X_i girişinin W_i ağırlığı ile çarpılması ve bir sonraki nöron içerisine aktarılmasına dayanır (Yıldırım ve diğ., 2018). Her hangi bir iterasyonda nöron içerisine bir önceki nöron tarafından iletilen tüm X_i W_i değerleri toplanarak o nöron için yeni değer elde edilir. Ardından önceden tanımlanmış f(.) aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıkış katmanına iletilir. Gerçek sonuç ile ağ çıktısı karşılaştırılır ve hata hesaplanır. Hata ağ için seçilen öğrenme modeline göre ağ içerisinde paylaştırılarak ağırlıklar ve bias değerleri güncellenir ve yeni iterasyona geçilir (Gevrey ve diğ., 2003). Literatürde pek çok aktivasyon fonksiyonu ve YSA öğrenme modeli bulunmaktadır (Karlık ve Olgac, 2011; Sibi ve diğ., 2013). En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları için birim fonksiyon, adım fonksiyonu ve sigmoid fonksiyonu olarak bahsedilmesi mümkündür. Tablo 4.2’de literatürde kullanımı yaygın olan birim, adım ve sigmoid fonksiyonları ve bu

fonksiyonların özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.2. En sık tercih edilen aktivasyon fonksiyonları ve fonksiyonların özellikleri

FONKSİYON ADI	DENKLEM	ARALIK
 BİRİM FONKSİYON	$f(x) = x$	$(-\infty, +\infty)$
 ADIM FONKSİYONU	$f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}$	$[0,1]$
 SİGMOİD FONKSİYONU	$f(x) = \sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	$(0,1)$

Literatürde eğitmenli ve eğitmensiz YSA modelleri mevcut olup problemin çeşidine göre (sınıflandırma, optimizasyon, tahmin vb.) kullanılacak model, nöron sayısı, katman sayısı ve öğrenme algoritması belirlenmektedir (Sathya ve Abraham, 2013). Bu tez çalışmasında kaza sıklığının sınıflandırılması problemi için MLP kullanılmıştır. MLP ileri beslemeli bir YSA modelidir. Öğrenme algoritması en küçük kareler yöntemi tabanlı genelleştirilmiş delta öğrenme algoritmasıdır. Genelleştirilmiş delta algoritması ileri besleme ve geri yayılım aşamalarından oluşmaktadır (Gardner ve Dorling, 1998). İleri besleme aşamasında ağa verilen girişler herhangi bir değişikliğe uğramadan bir sonraki ara katmana iletilir. Ara katmandaki her bir girdi nöronlar arası ağırlıklar ile çarpılarak toplam fonksiyonundan ve aktivasyon

fonksiyonundan geçirilerek bir sonraki katmana veya çıkış katmanına iletilir. Aktivasyon fonksiyonunun Sigmoid olarak seçilmesi durumu için toplam ve aktivasyon fonksiyonları aşağıda verilen eşitlikler ile ifade edilmektedir.

$$NET_j = \sum_{i=1}^n W_{ij}X_i \quad (11)$$

$$Y_j = \frac{1}{1 + e^{-(NET_j + \beta_j)}} \quad (12)$$

Burada NET_j j nöronu için toplam fonksiyonunun çıktısı, W_{ij} i ve j nöronları arasındaki ağırlık, Y_j j nöronundaki aktivasyon fonksiyonu çıktısı, β_j ise j nöronu için eşik değeri ağırlığıdır. Ağ içerisindeki tüm nöronlarda bu hesaplamaların ardı ardına yapılmasından sonra son çıktı olan ağ çıktısı beklenen çıktı ile karşılaştırılır ve hata hesaplanır. Hata hesaplaması aşağıda verilen bağıntı ile sağlanmaktadır.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n E_j^2 \quad (13)$$

$$E_j = B_j - Y_j \quad (14)$$

Burada E toplam hata, E_j j nöronu için hata terimi, B_j ağın beklenen çıktısı ve Y_j ağın ürettiği çıktıdır. Toplam hatanın hesaplanmasının ardından geri yayılım aşamasına geçilir. Geri yayılımda amaç bir sonraki iterasyon için toplam hatanın minimize edilmesidir. Bu doğrultuda toplam hata çıkış katmanındaki nöronlardan başlayarak geriye doğru her bir nöronun ağırlıklarına dağıtılır ve ağırlıklar güncellenir. Ağırlıkların güncellenmesi aşağıda verilen denklemler yardımı ile gerçekleştirilmektedir.

$$W_{ij}(t) = W_{ij}(t - 1) + \Delta W_{ij}(t) \quad (15)$$

$$\Delta W_{ij}(t) = \lambda \delta_i Y_j + \alpha \Delta W_{ij}(t - 1) \quad (16)$$

$$\delta_i = f'(NET_j) E_j \quad (17)$$

Burada, $\Delta W_{ij}(t)$ t iterasyonunda W_{ij} ağırlığı için güncelleme değerini, λ ağırlık öğrenme katsayısını ve α ağırlık momentum katsayısını ifade etmektedir (Hamid ve diğ., 2011). Bu çalışma kapsamında farklı öğrenme katsayıları ve momentum katsayıları kullanılarak üç farklı MLP modeli oluşturularak veri setine uygulanmıştır.

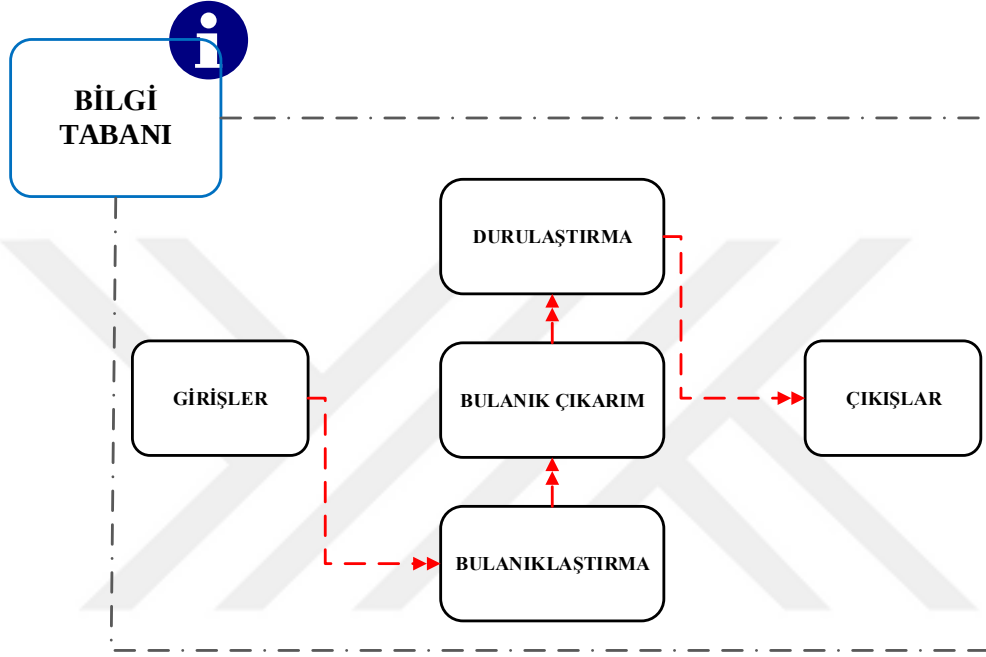
4.8. Bulanık mantık

Literatürde ilk defa Zadeh (1965) bulanık mantık modellerinin gerçek hayatta karşılaşılan karmaşık problemlerin çözümünde kullanılabileceğinden bahsetmiştir. Bulanık mantık modelleri sonucu net olmayan ve giriş ile çıkış faktörleri arasında lineer olmayan bir ilişki bulunan veri setleri üzerinde başarılı sonuçlar vermektedir (Al-Mousa ve Faza, 2019; Klir ve Yuan, 1995; Sivanandam ve diğ., 2007).

Genellikle kavramlar arasındaki mantıksal ilişkiler kesin değerler ile ifade edilirken bulanık mantık modellerinde ise kavramlar arasındaki ilişki niceliksel değerler ile ifade edilmektedir (Larimian ve diğ., 2013). Örneğin, klasik mantıksal yaklaşımda bir eleman bir kümeye ya aittir ya da ait değildir. Dolayısı ile elemanın kümeye ait olması 1 veya ait olmaması 0 olacak şekilde yalnızca iki durum söz konusudur. Ancak bulanık mantık modellerinde bir elemanın o kümeye aitlik derecesi yani üyelik seviyesi 0.75 iken ait olmama derecesi 0.25 olabilir. Bulanık kümelerde her bir elemanın sonuçla olan ilişkisi aitlik dereceleri yani üyelik seviyeleri ile incelenir. Bu durum sonucu kesin olmayan problemlerin bulanık mantık modelleri ile incelenmesini mümkün kılmaktadır. Bulanık mantık sistemleri temelde 3 evreden oluşmaktadır. Bunlar; bulanıklaştırma evresi, bulanık çıkarım evresi ve durulaştırma evresi olarak ifade edilmektedir (Mehran, 2008). Bulanık mantık sisteminin temel yapısı Şekil 4.9'da verilmiştir.

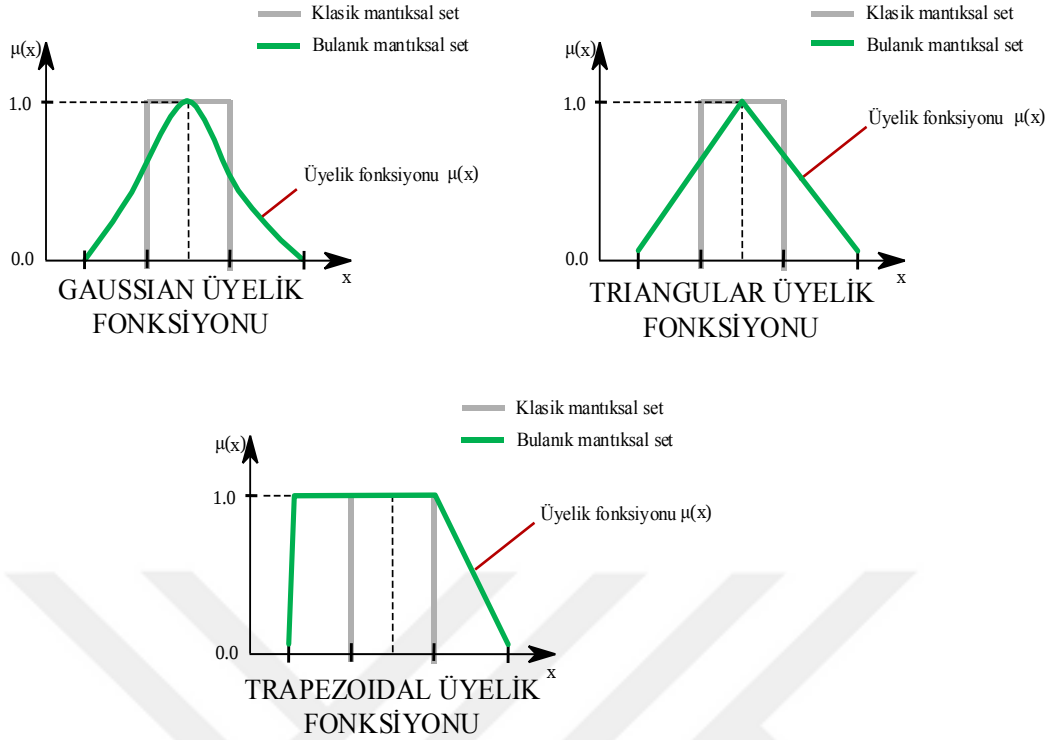
Bulanıklaştırma olan ilk evrede gerçek veriler dilsel terimler veya sayısal değerler ile ifade edilir. Ayrıca bu aşamada bulanık küme sayısı ve bulanık kümelere ait üyelik fonksiyonları ve üyelik seviyeleri belirlenir. Bulanık mantık modellerinde gaussian, trapezoidal, triangular gibi

çeşitli üyelik fonksiyonları bulunmaktadır (Ali ve diğ., 2015; Arslan ve Kaya, 2001). Üyelik fonksiyonu seçimi problemin tipine ve değişkene ait özelliklere göre seçilmektedir. Şekil 4.10'da sık kullanılan üyelik fonksiyonlarının koordinat sistemi üzerinde gösterimi verilmiştir. Bu çalışmada literatürde yaygın olarak kullanılan trapezoidal ve triangular üyelik fonksiyonlarının kullanılması tercih edilmiştir.



Şekil 4.9. Bulanık mantık yapısı

İkinci aşama olan bulanık çıkarımda girişler ve çıkışlar arasındaki bulanık ilişkinin tüm olasılıkları IF-THEN kurallar dizini ile ifade edilir. Literatürde Mamdani Tipi ve Sugeno Tipi olmak üzere iki tip bulanık mantık modeli bulunmaktadır (Blej ve Azizi, 2016; Kaur ve Kaur, 2012).



Şekil 4.10. Sık kullanılan üyelik fonksiyonları

Bulanık mantık modelinin son evresi olan durulaştırma aşaması, bulanıklaştırma evresinden sonra bulanık çıkarımları gerçekleştirilen verilerin net çıktılara dönüştürülmesi işlemidir. Bu çalışmada kaza verilerinin bulanık mantık modelleri ile incelenmesinin sebebi kaza sayısının kaza oluşumunu etkileyen aynı kombinasyonların gerçekleşme durumunda dahi net olarak ifade edilememesidir. Örneğin:

IF ((CİNSİYET(ERKEK)
AND KAZATİPİ(ARKADANÇARPMALI),
AND SURUCUEĞİTİMDURUMU(YUKSEK)),
THEN (KAZARİSKİ (YUKSEKRİSKLİ)).

Şeklindeki bir mantıksal-koşullu yapı ele alındığında, aynı koşulların aynı anda gerçekleştiği pek çok durumda kaza sayısı sonuç değişkeninin her zaman için yüksek riskli olarak değerlendirilmesi mümkün değildir. Bu görüşü destekleyen Hosseinpour ve diğ. (2013) çalışmalarında kaza oluşumunu ve kaza oluşumunu etkileyen faktörler arasındaki ilişkinin karmaşık olduğunu belirtmiş ve çalışmada kullanılan bulanık-sinir ağının lineer olmayan regresyon modelleri ve negatif binomial model ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuç verdiğini

savunmuştur. Bir diğer çalışmada Meng ve diğ. (2009) veri setine 41 bulanık kural kullanılarak uygulanan model ile trafik kazalarının tahminini gerçekleştirmiş ve bulanık mantık modellerinin kaza tahmini üzerindeki başarılı performansını savunmuştur. Bu çalışma kapsamında C4.5 Algoritması ve Mamdani Tip Bulanık Mantık Modeli kullanılarak oluşturulmuş hibrit Çevrilmiş Bulanık-Karar Modeli kullanılarak yol segmentleri üzerinde kaza oluşumu değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

4.9. Çevrilmiş Bulanık-Karar modeli

Çevrilmiş Bulanık-Karar Modeli (ÇBKM) gibi karar ağaçları ve bulanık modellerin kombine edilerek kullanıldığı çalışmalar literatürde yer almaktadır. Omid (2011) açık ve kapalı Antep fıstıklarının sınıflandırılmasında ÇBKM kullanmıştır. Modelin temeli C4.5 algoritması ile bulanık mantık modelinin kombine edilerek uzman bir hibrit model oluşturulmasına dayanmaktadır. Omid (2011) yaptığı çalışmanın sonucunda ÇBKM'nin diğer sınıflandırıcılara göre daha iyi performans gösterdiğine değinmiştir. Ek olarak bir diğer çalışmada Sakthivel ve diğ. (2010) Karar Ağacından elde edilen kuralları bulanık modelin kuralları olarak tanımlamış ve modelin toplam doğruluğunun diğer modellere göre yüksek olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada kullanılan hibrit bulanık-karar modeli ÇBKM'nin uygulama adımları Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. ÇBKM uygulama adımları

Şekil 4.11'de görüldüğü üzere ÇBKM'de C4.5 Algoritması ile oluşturulan Karar Ağacı yapısında dallanmaları sağlayan kurallar çıkartılarak, bulanık çıkarım evresinde tanımlanan IF-THEN kurallarına çevrilmiş ve modele dahil edilmiştir. Bu doğrultuda C4.5 Algoritmasının dallanma kriterlerindeki mantıksal koşullar analiz edilmiş ve bulanık modelde girdi olarak kullanılan faktörlere ait üyelik fonksiyonlarının sınırları bu analizler ışığında

belirlenmiştir. Ardından oluşturulan modelin çıktıları durulaştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

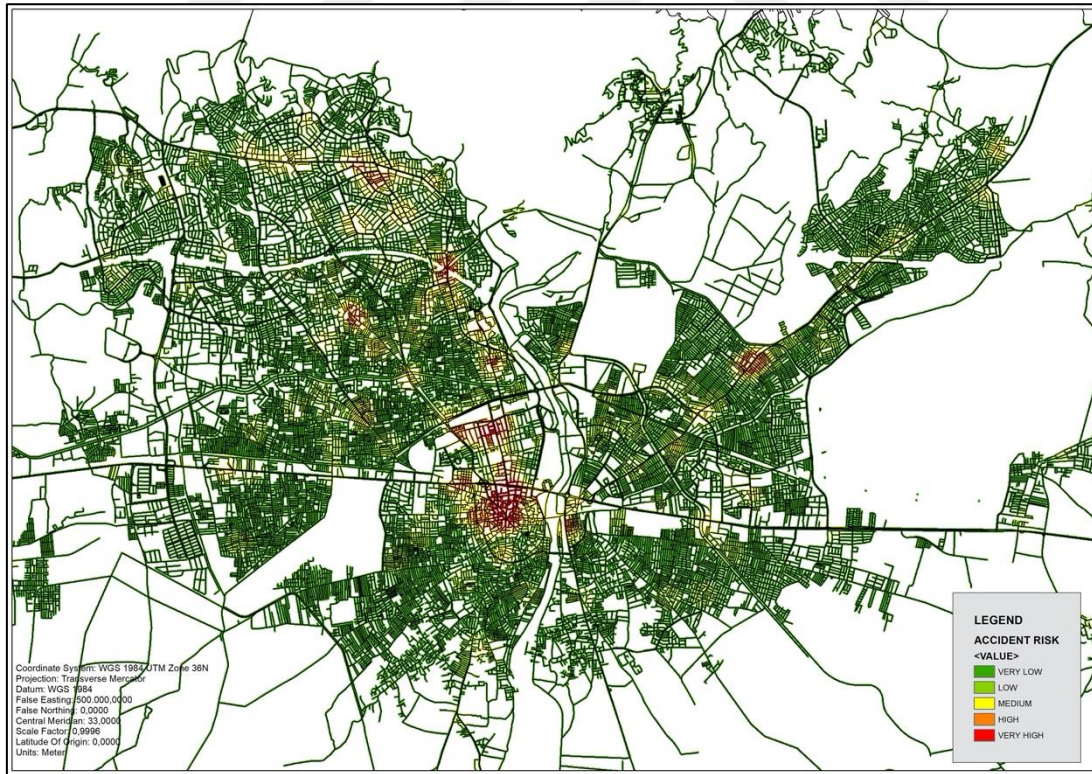
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Düzlemsel Kernel Yoğunluk Analizi ile yol segmentlerinin belirlenmesi ve verilerin hazırlanması

Tez çalışması kapsamında, 2013-2017 arası gerçekleşmiş tek araç-tek yaya kaza kazalarına ait polis raporlarına göre Adana ili için kritik yol segmentlerinin tespit edilmesi amacı ile CBS ortamında pik saatlere göre ayrı ayrı haritalanan noktasal kaza verilerine düzlemsel kernel yoğunluk analizi gerçekleştirilmiştir. Kısım 3'te bahsedildiği üzere 2013-2017 yılları arasında yol segmentleri üzerinde gerçekleşmiş tek araç-tek yaya kazalarının sabah, öğlen, akşam ve gece pik saatlerine göre dağılımı sırası ile 149, 266, 316 ve 99 şeklindedir. Düzlemsel Kernel Yoğunluk Analizi gerçekleştirilirken yoğunluk değerlerinin her pik değer için birbirleri ile bağlantılı olması açısından alan birimi m^2 , arama yarıçapı 1000 raster hücre boyutu 50 m olarak seçilmiştir. Bunun sebebi Adana ilinde genellikle çok şeritli yolların bulunması ve toplam platrom genişliğinin 40-50 m aralığında olmasıdır. Şekil 5.1-5.4'de sırası ile sabah, öğlen, akşam ve gece meydana gelmiş tek araç-tek yaya kazalarının düzlemsel kernel yoğunluk analizlerinin sonuç haritaları paylaşılmıştır.



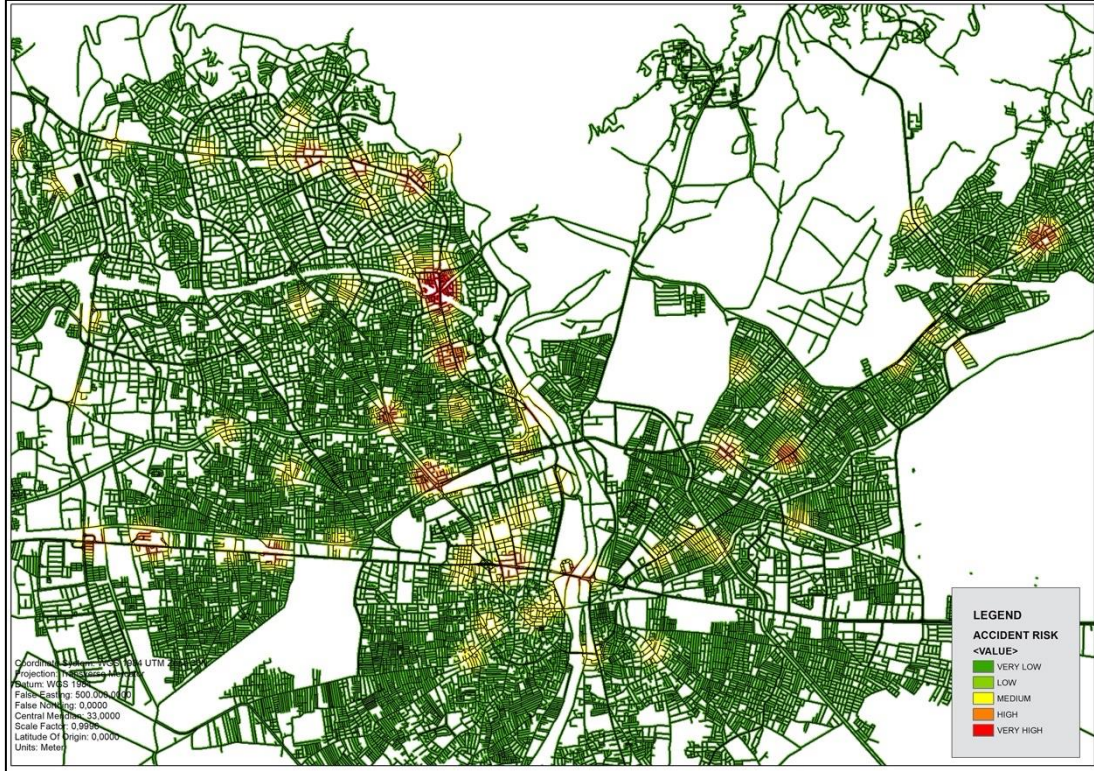
Şekil 5.1. Sabah pik saatlerinde (07.00-09.00) meydana gelmiş tek araç- tek yaya kazalarının kernel yoğunluk haritası



Şekil 5.2. Öğlen pik saatlerinde (11.00-13.00) meydana gelmiş tek araç-tek yaya kazalarının kernel yoğunluk haritası



Şekil 5.3. Akşam pik saatlerinde (16.00-18.00) meydana gelmiş tek araç-tek yaya kazalarının kernel yoğunluk haritası



Şekil 5.4. Gece pik saatlerinde (21.00-23.00) meydana gelmiş tek araç-tek yaya kazalarının kernel yoğunluk haritası

Düzlemsel kernel yoğunluk analizi sonucunda elde edilen yoğunluk haritaları incelendiğinde kaza riskinin yüksek olduğu bölgelerin pik saatlere göre değişiklik gösterdiği görülmektedir. Adana ili Kuzey ve Güney Adana olarak iki bölgeye ayrılmaktadır. Kuzey Adana eğitim alanlarının, eğlence alanlarının fazla olduğu bir bölge iken Güney Adana bölgesi ticari faaliyetlerin yüksek olduğu ve genellikle iş merkezlerinin fazla olduğu bir bölge olarak değerlendirilmektedir (Alphan, 2003). Ayrıca iki bölge arasında sosyal ve ekonomik farklılıklar da ön plandadır (Doygun, 2005).

Kent içi yollarda yaya – araç kazalarının mekansal kullanımdan ve yapıli çevre faktörlerinden etkilendiğı önceki çalışmaların sonuçlarında yer almaktadır (Clifton ve diğ., 2009; Merlin ve diğ., 2020; Stipancic ve diğ., 2020; Ukkusuri ve diğ., 2012). Adana ilinde de bu faktörlerin etkilerinin kaza yoğunluk haritalarına yansıdığı görülmektedir. Sabah, öğlen ve akşam pik saatlerinde Güney Adana bölgesinde yer alan Çakmak Caddesi ve Atatürk Caddesi gibi ticari işletmelerin ve kamu kurumlarının yoğunlukta olduğu yani yapıli çevrenin ticari olarak değerlendirilebileceğı caddeler riskli bölgeler olarak görülürken, gece pik saatlerinde ise Kuzey Adana bölgesinde yer alan Bülent Angın Bulvarı, Turgut Özal Bulvarı ve Güney Adana bölgesinde yer alan Atatürk Caddesi gibi eğlence mekanlarının ve parkların fazla olduğu, yapıli çevrenin eğlence ve rekreasyon olarak değerlendirilebileceğı caddeler riskli bölgeler olarak görülmektedir.

Trafik hacminin ve yaya hareketliliğinin yüksekliğı iki ulaşım modu arasındaki etkileşimi arttıracğından dolayı kaza oluşum sıklığını arttırdığı bilinmektedir (Raford ve Ragland, 2006; Santhosh ve diğ., 2020). Bu doğrultuda Hastaneler bölgesi olarak bilinen ve yaya hareketliliğinin yüksek olduğu Baraj Caddesi, Turgut Özal Bulvarı ve trafik hacminin yüksek olduğu bulvarlardan biri olan Turhan Cemal Beriker Bulvarı ise her pik saat için riskli bölgeler olarak görülmektedir.

Öte yandan araç hızlarının ve yüksek hız limitlerinin yaya-arac kazalarının oluşumuna doğrudan etkisinin olduğu literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır (Fridman ve diğ., 2018; Gårder, 2004; Pasanen, 1990). Bu çalışmada gerçekleştirilen düzlemsel kernel yoğunluk analizi sonuçlarıda bu durumu destekler niteliktedir. Örneğın, hız limitlerinin ve ortalama araç hızlarının nispeten daha yüksek olduğu Turhan Cemal Beriker Bulvarı trafik sıklıklığının düşük olduğu sabah pik ve gece pik saatlerinde riskli bölge olarak

görülmektedir. Yine benzer olarak Bülent Angın Bulvarı ile Turgut Özal Bulvarı kesişim noktası özellikle gece pik saatlerde sürücülerin yüksek hız ile seyahat ettiği bölgelerdendir. Bu durum yoğunluk haritasında da açıkça görülebilmekte olup bu bölge Düzlemsel Kernel Yoğunluk Analizine göre riskli olarak değerlendirilmiştir.

Hess ve diğ. (2004) toplu taşıma hatlarının yüksek olduğu transit koridor bölgelerinin kaza oluşumu ve yaya güvenliği üzerinde doğrudan etkisinin olduğunu belirtmiştir. Bir diğer çalışmada Diogenes ve Lindau (2010) otobüs duraklarının ve toplu taşıma hatlarının kaza oluşumunu etkilediğini savunmuştur. Bu çalışmada gerçekleştirilen düzlemsel kernel yoğunluk analizinde bu sonuçları desteklemektedir. Gece pik saatleri haricinde diğer tüm pik saatler için riskli olarak görülen Çakmak Caddesi ve İnönü Caddesi toplu taşıma duraklarının fazla olduğu bölgelerdir ve bu caddeler Adana içi toplu taşıma hatlarının merkezi olarak değerlendirilebilir. Bu bölgelerin düzlemsel kernel yoğunluk analizine göre gece pik saatlerinde riskli bölge olarak değerlendirilmemesinin bir nedeni olarakta toplu taşımanın gece belirli bir saatten sonra azalması veya insanlar tarafından kullanımının azalması olarak değerlendirmek mümkündür.

Düzlemsel Kernel Yoğunluk Analizi çıktılarından elde edilen bulguların değerlendirilmesi ile Adana ili için tek araç-tek yaya kazalarının sıklıkla meydana geldiği, riskli bölgeler içerisinde kalan ve isimleri Ahmet Sapmaz Bulvarı, Alparslan Türkeş Bulvarı, Adnan Kahveci bulvarı, Ali Sepici Bulvarı, Atatürk Caddesi, Bülent Angın Bulvarı, Baraj Caddesi, Çakmak Caddesi, Fuzuli Caddesi, Girne Bulvarı, Hacı Ömer Sabancı Bulvarı, Hasan Şaş Caddesi, İnönü Caddesi, Kasım Gülek Bulvarı, Kenan Evren Bulvarı, Kozan Caddesi, Kurtuluş Caddesi, Nuri Sabuncu Bulvarı, PTT Caddesi, Turgut Özal Bulvarı, Turhan Cemal Beriker Bulvarı ve Ziyapaşa Bulvarı olmak üzere toplamda 22 adet cadde ve bulvar belirlenmiştir.

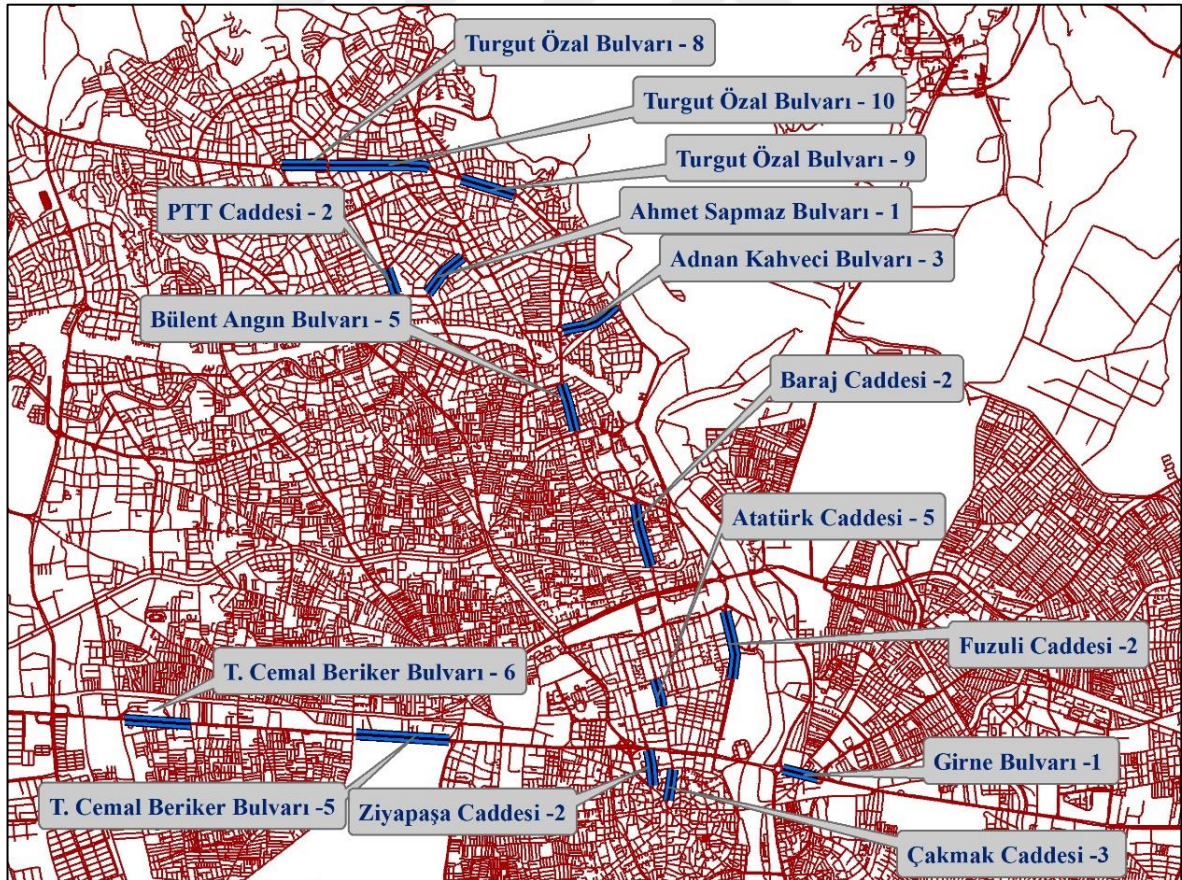
Belirlenen cadde ve bulvarlar üzerinde detaylı incelemelerin yapılması doğrultusunda yol segmentleri seçilirken;

1. Cadde/Bulvar üzerindeki en yoğun düzlemsel kernel yoğunluk değerine sahip olması
2. İki kavşak noktası arasında, iki ana arter bağlantı noktası arasında veya kavşak noktası ile ana arter bağlantı noktası arasındaki toplam mesafenin alınması
3. Pik saatlere göre üzerinde en fazla kazanın gerçekleşmiş olması

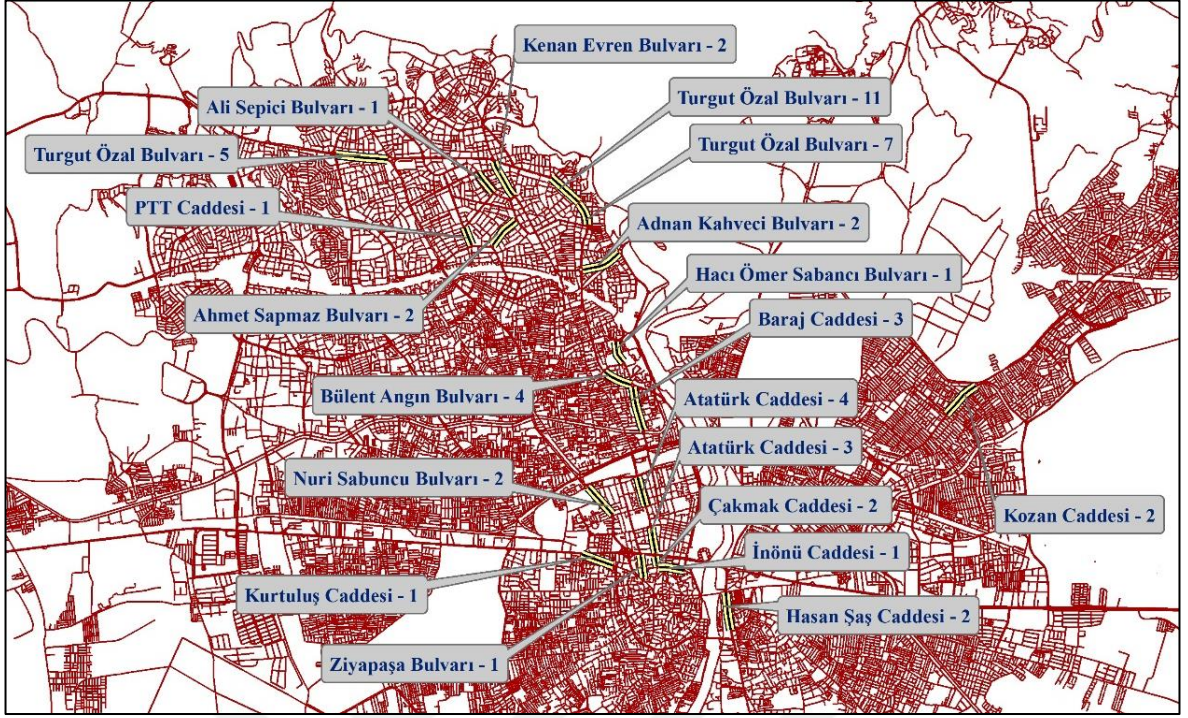
4. Toplu taşıma hatlarından en az birinin güzergahı içerisinde kalması

Kriterlerine dikkat edilmiştir.

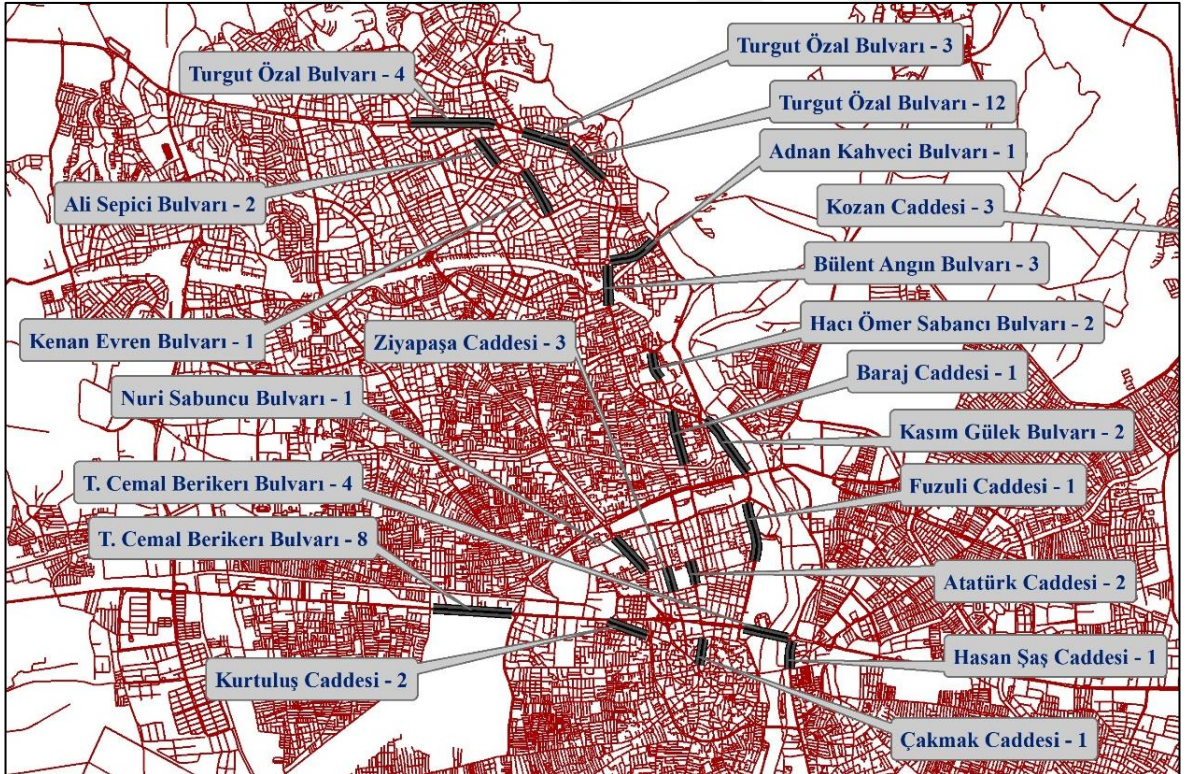
Bu doğrultuda adı geçen cadde ve bulvarlar arasından yukarıda belirtilen kriterlere uygun olarak toplamda 66 yol segmenti belirlenmiştir. Ayrıca Turgut Özal Bulvarı, Adnan Kahveci Bulvarı ve Atatürk Caddesi için yukarıdaki kriterleri karşılamasına rağmen üzerinde hiç kaza gerçekleşmemiş 4 yol segmenti daha belirlenmiş ve toplamda 70 yol segmenti bu çalışma kapsamında detaylı fiziksel ölçümler ve trafik sayımları yardımı ile incelenmek üzere seçilmiştir. Şekil 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8’de bu çalışma kapsamında detaylı incelenen yol segmentleri sırası ile sabah, öğlen, akşam ve gece pik saatlerine göre verilmiştir. Pik saatlere göre incelenen segment sayısı sabah, öğlen, akşam ve gece pik saatleri için sırası ile 15, 20, 21, 14 adettir. Bu segmentler üzerinde 2013-2017 yılları arası gerçekleşmiş tek araç-tek yaya kaza sayısı ise 195’dir.



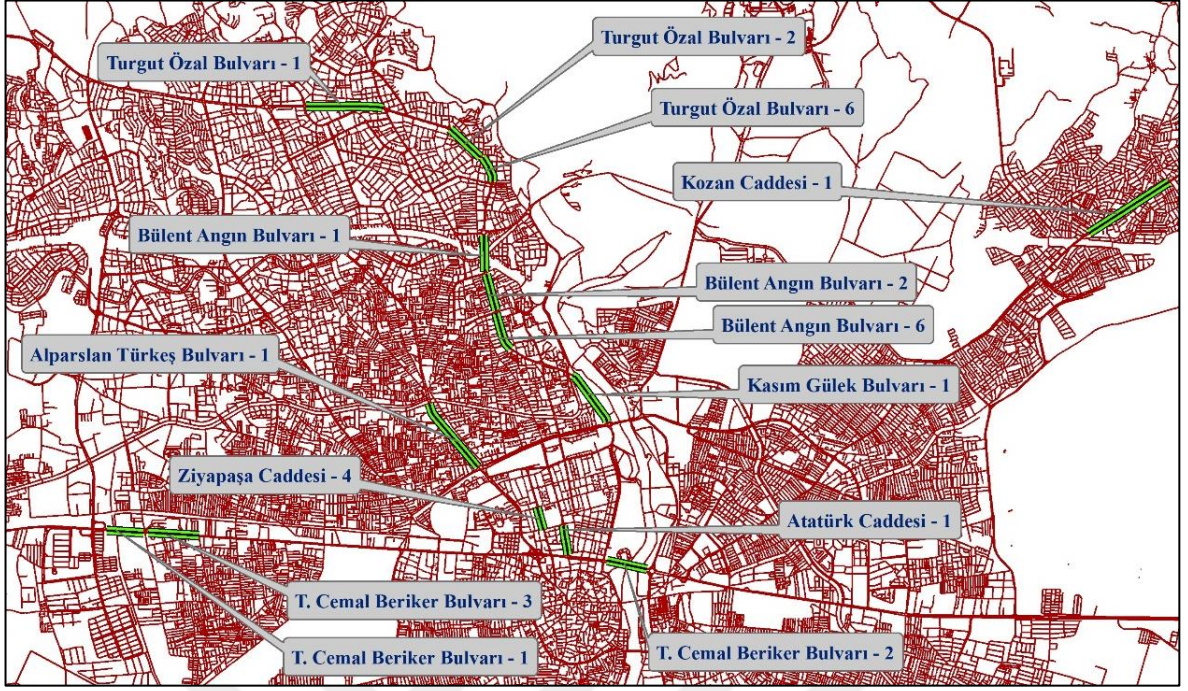
Şekil 5.5. Sabah pik saatlerinde (07.00-09.00) detaylı incelenen yol segmentleri



Şekil 5.6. Öğlen pik saatlerinde (11.00-13.00) detaylı incelenen yol segmentleri



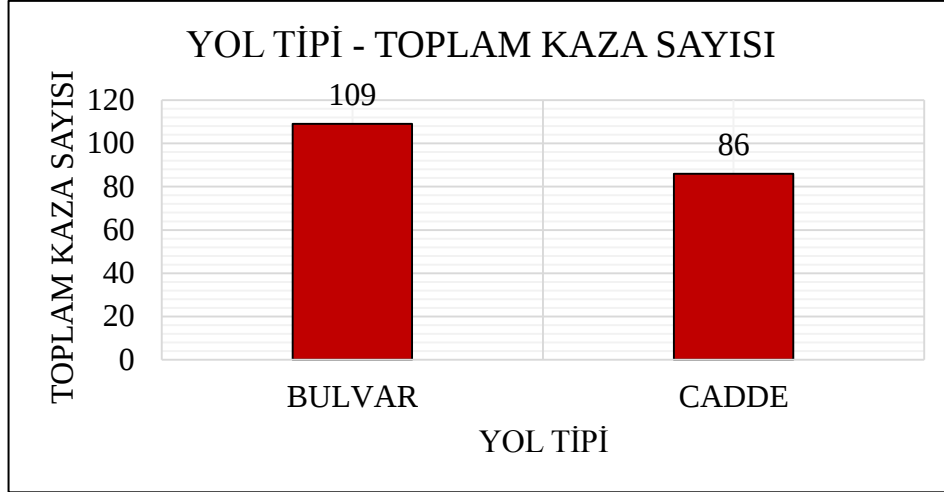
Şekil 5.7. Akşam pik saatlerinde (16.00-18.00) detaylı incelenen yol segmentleri



Şekil 5.8. Gece pik saatlerinde (21.00-23.00) detaylı incelenen yol segmentleri

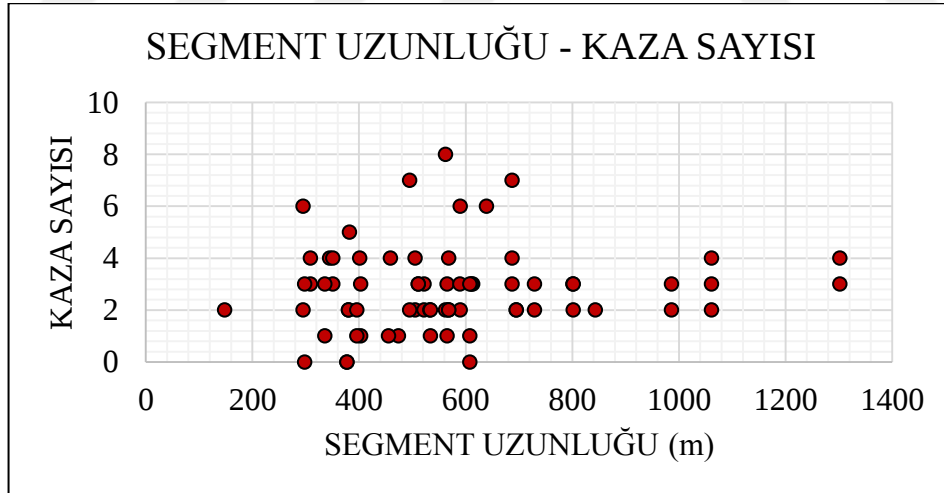
Çalışma kapsamında detaylı incelenmesi yapılan yol segmentlerinin pik saatlere göre belirlenmesinin ardından bu segmentler üzerinde aşağıda verilen yol altyapısı ve yol geometrik özellikleri, trafik karakteristikleri ve yapılı çevre ile arazi kullanım faktörlerine ilişkin faktörlerin elde edilmesi amacı ile trafik sayımları ve ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Yol tipi: Seçilen yol segmentlerinin tamamı için yol tipi faktörü cadde veya bulvar olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Bu çalışma kapsamında detaylı analizinin gerçekleştirilmesi doğrultusunda belirlenen yol segmentleri üzerinde 2013-2017 yılları arasında gerçekleşmiş olan toplam 195 tek araç-tek yaya kazasının 109 tanesi Bulvar, 86 tanesi Cadde kategorisinde gerçekleşmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Belirlenen yol segmentleri üzerinde 2013-2017 yılları arasında gerçekleşmiş toplam tek araç-tek yaya kaza sayısının yol tipi faktörüne göre dağılımı

Segment uzunluğu: Segment uzunluğu, belirlenen yol segmentleri için değişiklik göstermektedir. 70 adet yol segmentinden her birinin uzunluğunun tespit edilmesinde Google Earth programından faydalanılmıştır. Segment uzunluğu faktörünün kaza sayısına göre dağılımı Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.10. Tek araç-tek yaya kaza sayısının segment uzunluğuna göre dağılımı

Şerit sayısı: Seçilen yol segmentlerinde şerit sayısı 1, 2 ve 3 olmak üzere değişkendir. Şerit sayısına göre 2013 – 2017 yılları arasında gerçekleşmiş tek araç-tek yaya kaza sayısının dağılımı Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Tek araç-tek yaya kaza sayısının şerit sayısına göre dağılımı

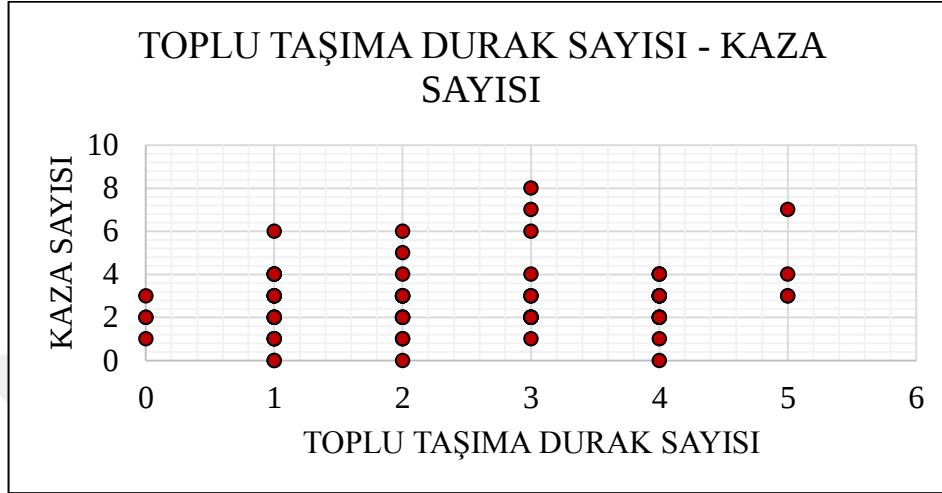
Bağlantı yolu sayısı: Yol segmentlerinde katılımların ve ayrılmaların trafik akışını bozduğu bilinmektedir (Mergia ve diğ., 2013). Bu çalışmada seçilen yol segmentleri üzerindeki katılım yollarının yani bağlantı yollarının sayısı değişkendir. Yol segmentlerindeki bağlantı yollarının sayısı her bir segment için yerinde incelemeler ile elde edilmiştir. Yol segmenti üzerindeki bağlantı yolu sayısı ile kaza sayısı arasındaki ilişki Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12. Tek araç-tek yaya kaza sayısının bağlantı yolu sayısına göre dağılımı

Toplu taşıma durak sayısı: Duraklardaki dur-kalk olaylarının trafik akımını kesintiye uğratmasından ötürü ve yaya-arac hareketliliğine etkisinden ötürü toplu taşıma duraklarının yaya güvenliğini doğrudan etkilediği literatürde vurgulanmaktadır (Clifton ve diğ., 2009; Zahabi ve diğ., 2011). Bu tez çalışmasında, düzlemsel kernel yoğunluk analizi yapılarak seçilen kritik yol segmentleri üzerindeki toplu taşıma durak sayıları, yerinde incelemeler

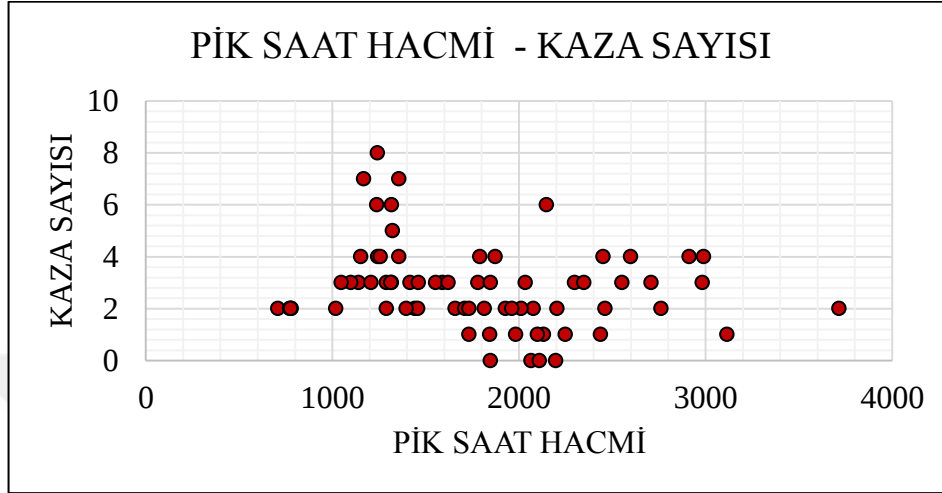
yardımı ile her bir yol segmenti için tespit edilmiştir. Yol segmentleri üzerindeki toplu taşıma durağı sayısı ile 2013-2017 yılları arasında meydana gelmiş tek araç – tek yaya kaza sayısı arasındaki ilişki Şekil 5.13’de verilmiştir.



Şekil 5.13. Tek araç-tek yaya kaza sayısının toplu taşıma durağı sayısına göre dağılımı

Pik saat hacmi: Karayolu Kapasite El Kitabı (Highway Capacity Manual – HCM) yol segmentlerini, bir karayolu ağı üzerindeki iki nokta arasında kalan mesafe olarak tanımlamıştır (Manual, 2000). HCM’ye göre trafik hacmi ve trafik karakteristikleri segment üzerinde önemli bir değişiklik göstermez. Bu sebeple bu çalışma kapsamında hacim her bir yol segmenti üzerinde tek bir nokta üzerinden ölçülmüştür. Araç hacmi, yaya güvenliğine etki eden en önemli faktörler arasında yer almaktadır (Molino ve diğ., 2009). Zegeer ve diğ. (1985) çalışmasında araç hacminin, yaya-arac kazalarının oluşumunda etkili en önemli ikinci faktör olduğunu belirtmiştir. HCM pik saat trafik hacminin pik saat süresi boyunca ölçülmesini önermektedir. Ayrıca pik saat trafik hacminin günlük, haftalık, mevsimsel değişimlerden etkilenebileceğini vurgulamaktadır (Manual, 2010). Trafik hacim çalışması yüksek iş gücü gerektiren bir çalışmadır ve sayımlar gerçekleştirilirken eğitimli personele ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde hacim çalışmalarının 15 dakika süre ile gerçekleştirilip genişletme faktörlerinden yararlanılarak 1 saatlik, 2 saatlik veya günlük hacimlere genişletildiği çalışmalar bulunsa da (Zhang ve Ye, 2008; Zheng ve diğ., 2006), bu yöntem doğruluk oranı yüksek olmadığı için önerilmemektedir (Hu ve diğ., 1998). Bu sebeple bu çalışmada trafik hacmi seçilen yol segmentinin hangi pik saatte inceleneceği dikkate alınarak hafta içi, güneşli günlerde gerçekleştirilmiştir. Trafik hacim çalışmalarında iki saatlik manuel

sayımlar gerçekleştirilmiş ve kayıtlar ofis ortamında incelenerek segmentler için pik saat hacimleri belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen yol segmentleri için elde edilen pik saat hacimleri ve kaza sayısı arasındaki ilişki Şekil 5.14’de verilmiştir.

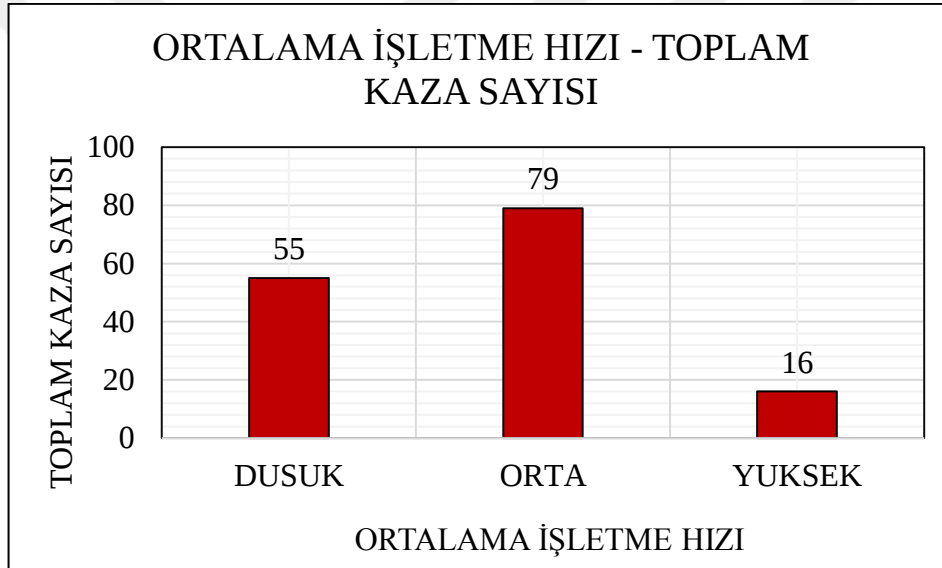


Şekil 5.14. Tek araç – tek yaya kaza sayısının pik saat hacmine göre dağılımı

Ortalama hız: Gårder (2004) hız ile kaza şiddeti arasında güçlü bir ilişki olduğuna değinmiş ve yüksek hızların yaya-arac kazalarını arttırdığını savunmuştur. Bir diğer çalışmada Rosén ve Sander (2009) 50 km/sa araç hızının 40 km/sa araç hızına göre yaya – araç kazalarında iki kattan daha fazla bir oranda ölüme sebebiyet verebileceğini, 40 km/sa araç hızının ise 30 km/sa araç hızına göre beş kat daha ölümcül olacağı bulgusunu raporlamıştır. Bu bulgular ışığında bu çalışmada yol segmentleri üzerinde pik saatlerde hız ölçümleri yapılmış ve veri setine dahil edilmiştir. Hız ölçümleri otomatik ölçüm ekipmanları, radar tabancası, lazer tabancası, sensörler ve manuel sayım teknikleri yardımı ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada manuel sayım tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte iki nokta arasında bilinen bir mesafenin aracın o mesafeyi aldığı süreye bölünmesi ile araç hızı elde edilmektedir. Hız ölçümleri her bir taşıt türü için minimum 50 farklı örnek alınarak, her bir segment için ortalama hızın bulunması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Ortalama hızın belirlenmesinde kullanılan bağıntı aşağıda verilmiştir.

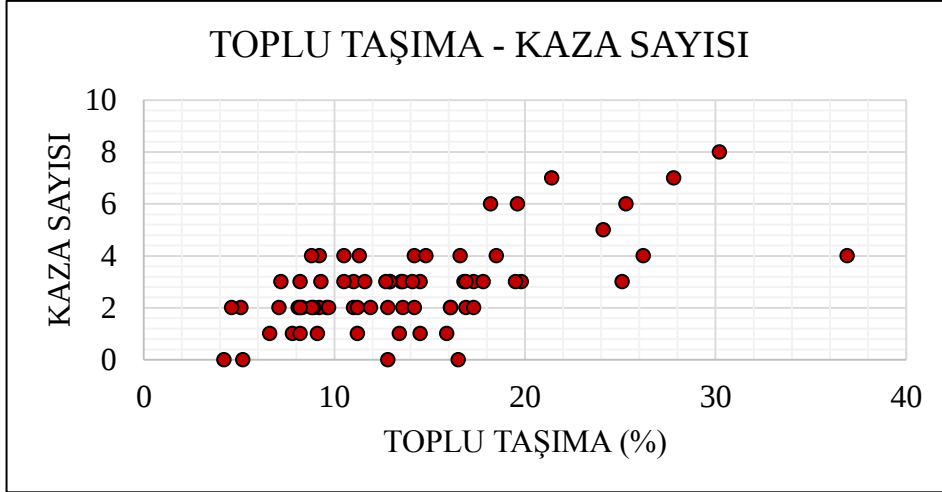
$$V_i = \frac{L}{\sum(\frac{t_i}{n})} \quad (18)$$

Burada V_i ortalama hızı, L seçilen iki nokta arası mesafeyi, t_i i aracının L mesafesini geçerken harcadığı süreyi, n ise araç sayısını temsil etmektedir. Ortalama hızı belirlendikten sonra hız faktörü Gårder (2004) çalışmasında olduğu gibi üç kategoriye ayrılmıştır. 0-40 km/sa aralığındaki hızlar düşük, 40 – 60 km/sa aralığındaki hızlar orta 60 km/sa ve fazlası ise yüksek olarak değerlendirilmiştir. İncelenen yol segmentleri için ortalama hız ile toplam kaza sayısı arasındaki ilişki Şekil 5.15’de verilmiştir.



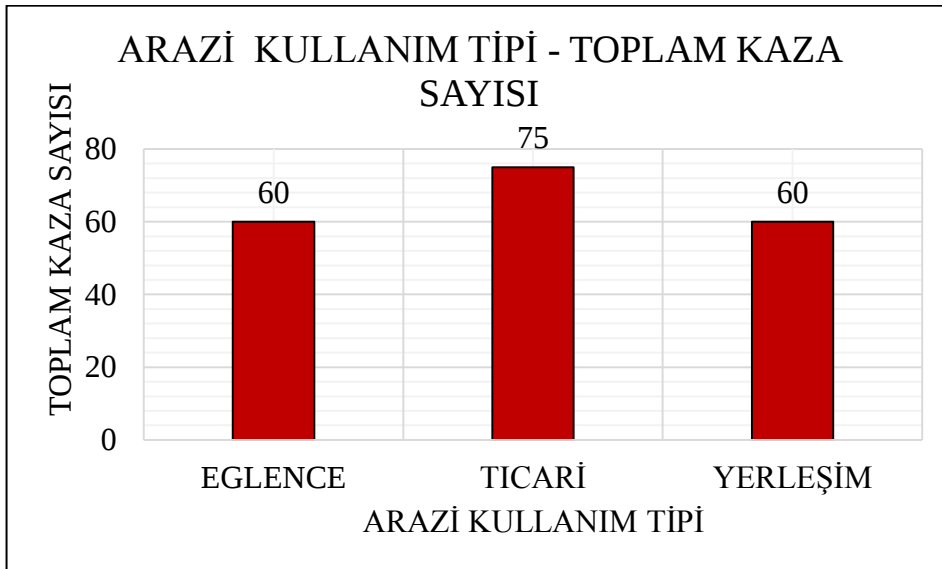
Şekil 5.15. Toplam tek araç-tek yaya kaza sayısının ortalama hıza göre dağılımı

Toplu taşıma yüzdesi: Adana ilinde toplu taşımaların trafikte ani durak yapmalarından, özellikle minibüslerin ve özel halk otobüslerinin trafikte karışıklık yaratmalarından ve bu tipteki toplu taşımaların trafik akımını kesintiye uğratmalarından dolayı bu çalışmada pik saat trafik hacmine ve toplu taşıma durak sayısı faktörlerine ek olarak pik saat içerisindeki toplu taşıma yüzdesi de dikkate alınmıştır. Toplu taşıma yüzdesi pik saatlerde trafik hacim sayımları yapılırken toplu taşıma sayısının ayrıca kaydedilmesi ve toplam pik saat hacmine oranlanarak yüzdece değerinin elde edilmesi ile belirlenmiştir. Belirlenen yol segmentleri için pik saatlerdeki toplu taşıma yüzdesi ile kaza sayısı arasındaki ilişki Şekil 5.16’da verilmiştir.



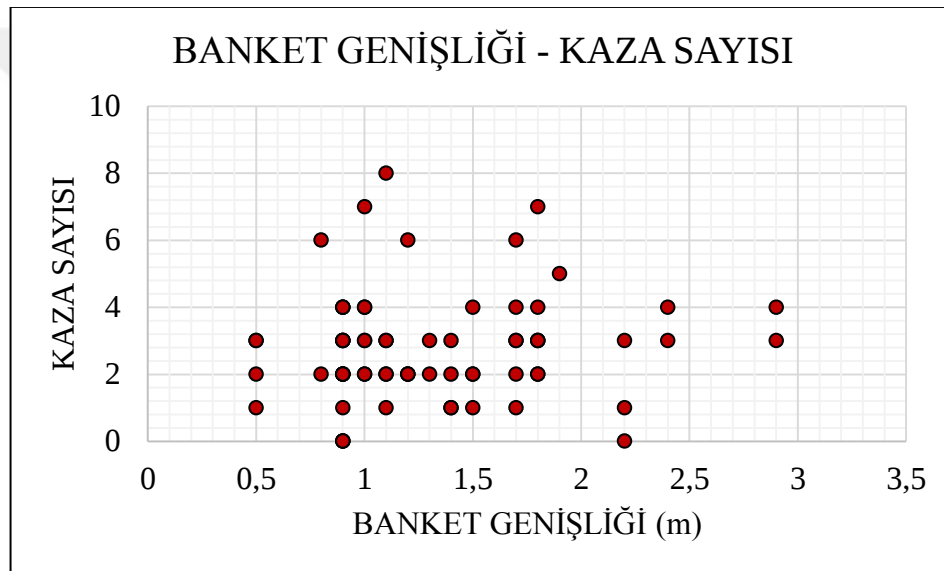
Şekil 5.16. Kaza sayısının toplu taşıma yüzdesine göre dağılımı

Arazi kullanım: Mukherjee ve Mitra (2020), Stipancic ve diğ. (2020) çalışmasında ticari alanların yaya-arac kazalarında ölümlü kaza oluşumuna etki ettiğini belirtirken, Mohamed ve diğ. (2013) arazi kullanım tipinin yerleşim olduğu bölgelerde kaza sıklığının fazla olduğunu savunmuştur. Bu çalışma kapsamında arazi kullanım tipi eğlence, yerleşim ve ticari olmak üzere üç kategoride incelenmiştir. Çalışmada seçilen her bir yol segmenti için pik saat türüne göre arazi kullanım durumu uzman görüşü ile belirlenmiştir. Arazi kullanım türü ve toplam kaza sayısı arasındaki ilişki Şekil 5.17’de verilmiştir.



Şekil 5.17. Toplam kaza sayısının arazi kullanım türüne göre dağılımı

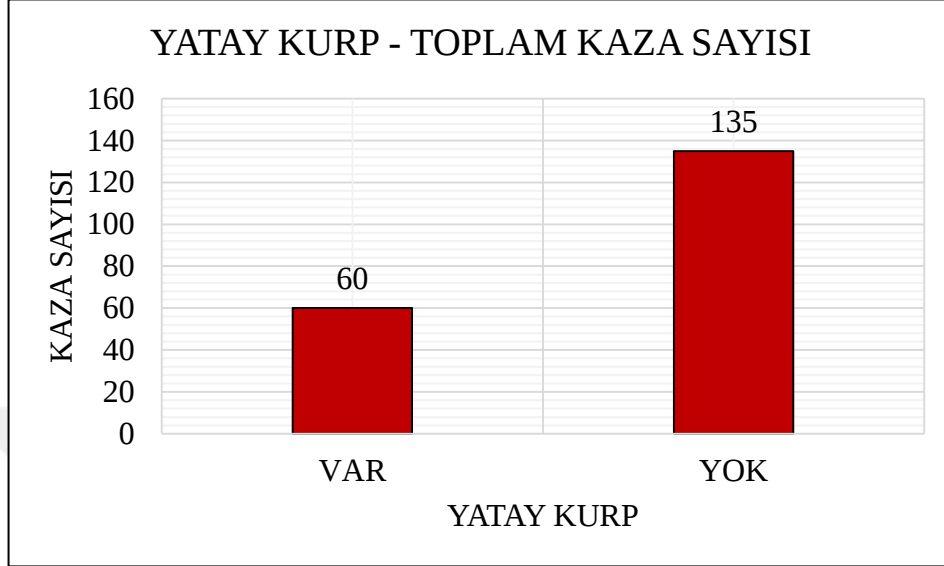
Banket genişliği: Literatürde yer alan bulgular banket genişliğinin yaya araç kazalarının oluşumunda etkili olduğunu ön plana çıkartmaktadır. Iragavarapu ve diğ. (2015) çalışmasında sağ banket genişliğinin 2,5 metreden daha az olduğu yollarda daha fazla yaya-arac kazasının gerçekleştiği sonucuna varmıştır. Yasmin ve diğ. (2016) 0,9 metreden daha dar banket genişliğinin trafik güvenliğini olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Bu çalışmada banket genişliği belirlenen yol segmentleri için 5 farklı noktada ölçülmüş ve her bir yol segmenti için ortalama banket genişliği değeri elde edilerek veri setine eklenmiştir. Yol segmentleri için ortalama banket genişliği ile segmentler üzerinde 2013-2017 yılları arasında meydana gelmiş tek araç-tek yaya kazaları arasındaki ilişki Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18. Kaza sayısının banket genişliğine göre dağılımı

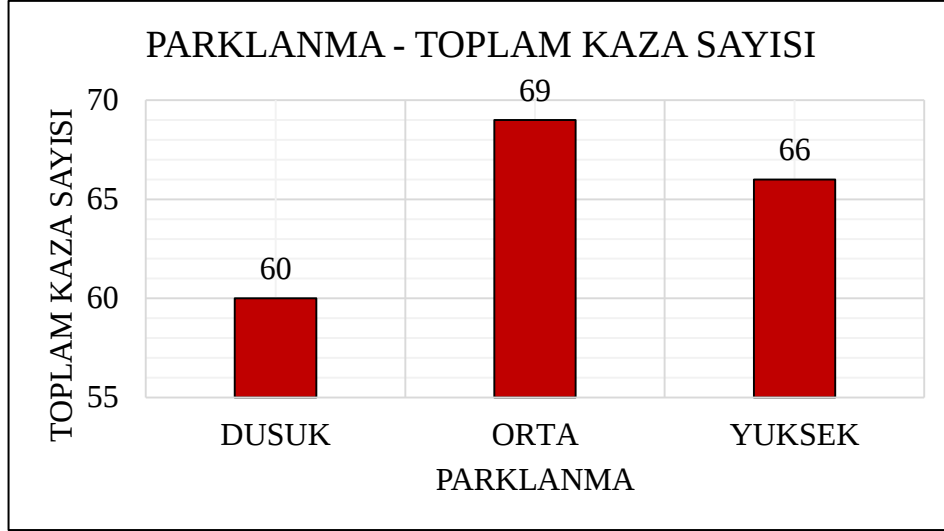
Yatay kurp: Yatay kurp yaya ve araç görüş mesafelerini azalttığından dolayı bu çalışma kapsamında incelemeye dahil edilmiştir. Yatay kurpların kaza ile ilişkisi olduğu literatürde yer alsa da kaza şiddetini ve kaza oluşumunu arttırdığına veya azalttığına yönelik net bir görüş ortaya koyulmamıştır. Kim ve diğ. (2007) yatay kurpların kaza şiddetini arttırdığını belirtmiştir. Buna karşın Shankar ve diğ. (1996) kilometre başına düşen yatay kurp sayısının kaza oluşumunu önemli derecede azalttığını savunmuştur. Başka bir çalışmada ise Zhu ve Srinivasan (2011) yatay ve düşey kurpların kaza oluşumuna yönelik herhangi önemli bir etkisinin olmadığına yer vermiştir. Bunun yanında Singh ve diğ. (2020) düşey kurpların kaza oluşumu ile pozitif korelasyon gösterdiğine ancak yatay kurpların kaza oluşumuna önemli bir etkisinin olmadığına işaret etmiştir. Bu çalışmada ilgili yol segmentleri üzerinde yatay kurp

varlığı iki kategoride ele alınmış ve toplam kaza sayısı ile olan ilişkisi Şekil 5.19’da verilmiştir.



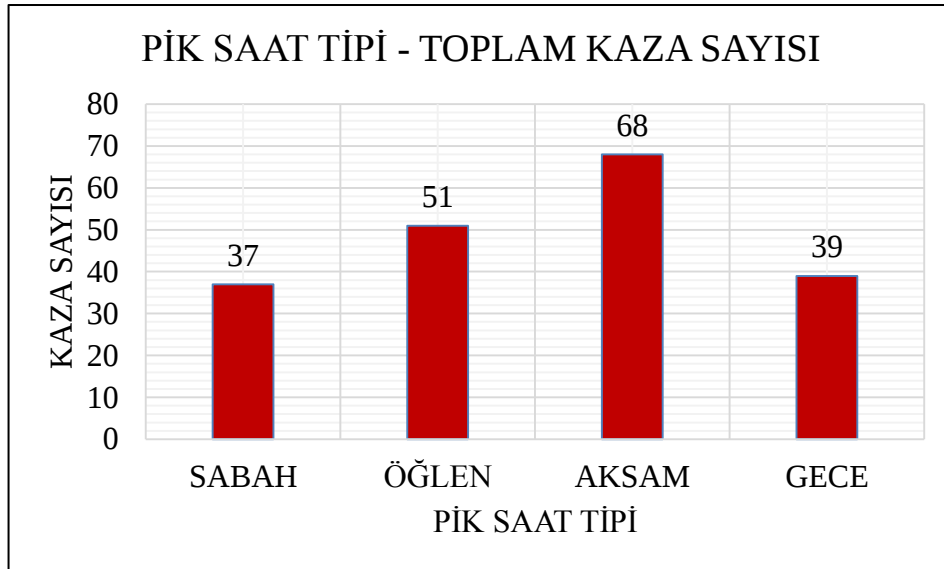
Şekil 5.19. Toplam kaza sayısının yatay kurp varlığına göre dağılımı

Parklanma: Yatay ve diyagonal parkın özellikle yol ortasından karşıdan karşıya geçişlerde görüş mesafesini azalttığı bilinmektedir. Stipancic ve diğ. (2020) parklanma dolayısı ile kısıtlanmış banketlerin yaya güvenliği üzerinde olumsuz etki ettiğini belirtmiştir. Bu çalışmada parklanma düşük, orta ve yüksek olarak 3 kategoride incelenmiştir. Belirlenen her bir yol segmentinde yerinde incelemeler ve uzman görüşleri ile pik saat durumuna göre parklanmanın durumu tespit edilmiş ve veri setine işlenmiştir. Şekil 5.20’de seçilen yol segmentlerindeki toplam kaza sayısının parklanma durumuna göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.20. Toplam kaza sayısının parklanma durumuna göre dağılımı

Pik saat tipi: Belirlenen yol segmentleri için pik saat tipine göre trafik karakteristikleri ile ilgili ölçüm yapılmıştır, ayrıca parklanma ve arazi kullanımı da yol segmentlerine göre değişmektedir. Bundan dolayı pik saat tipi de veri setine tek başına bir faktör olarak eklenmiş ve sabah, öğlen, akşam ve gece olmak üzere dört kategoride incelenmiştir. Pik saat tipine göre toplam kaza sayısının veri setindeki dağılımı Şekil 5.21’de verilmiştir.



Şekil 5.21. Toplam kaza sayısının pik saat tipine göre dağılımı

Çalışmada bağımsız değişkenler olarak tanımlanan yol tipi, segment uzunluğu, şerit sayısı, bağlantı yolu sayısı, toplu taşıma durak sayısı, pik saat hacmi, ortalama hız, toplu taşıma

yüzdesi, arazi kullanımı, banket genişliği, yatay kurp, parklanma ve pik saat tipi olmak üzere toplamda 13 faktör seçilen her bir yol segmenti için uzman görüşleri, yerinde ölçümler ve trafik sayımları yardımı ile elde edilerek veri seti oluşturulmuştur. Bağımlı değişken olarak seçilen yol segmentleri için pik saat türüne göre segment üzerinde 2013-2017 yılları arasında gerçekleşmiş tek araç-tek yaya kaza sayısına göre az riskli (2 ve daha az sayıda kaza meydana gelmiş), orta riskli (3 kaza meydana gelmiş) ve çok riskli (4 ve daha fazla sayıda kaza meydana gelmiş) olarak 3 farklı kategoride incelenmiştir. Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin veri setindeki dağılımına ilişkin betimleyici istatistikler ve detaylı bilgi Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Değişkenlere ve veri setindeki dağılımlarına ait detaylı istatistikler

DEĞİŞKEN			TÜRÜ	TANIMI	BETİMLEYİCİ İSTATİSTİKLER*
BAĞIMSIZ DEĞİŞKENLER	YOL GEOMETRİSİ VE YOL ÖZELLİKLERİ	Banket Genişliği	Nümerik	Min.: 0.5 Maks.: 2.9	1.32
		Yatay kurp	Kukla	Var 1; Diğer 0	Var %35.71; Diğer %64.28
		Şerit sayısı	Nümerik	Min.: 1 Maks.:3	2.37
		Segment uzunluğu	Nümerik	Min.: 148 Maks.: 1302	570.72
		Yol tipi	Kategorik	Cadde 2; Bulvar 1	Cadde %38.57; Bulvar %61.42
	TRAFİK KARAKTERİSTİKLERİ	Ortalama hız	Kategorik	Yüksek 3; Orta 2; Düşük 1	Orta %41.42; Düşük %37.14
		Pik saat hacmi	Nümerik	Min.: 708 Maks.: 3715	1792.21
		T. Taşıma yüzdesi	Nümerik	Min.: 4.2 Maks.: 36.9	13.89
		Parklanma	Kategorik	Yüksek 3; Orta 2; Düşük 1	Orta %38.57 Düşük %32.85
	YAPILI ÇEVRE VE ARAZİ KULLANIM	T. Taşıma durak	Nümerik	Min.: 0 Maks.: 5	2.41

		sayısı			
		Bağlantı yolu sayısı	Nümerik	Min.: 1 Maks.: 27	10.41
		Arazi kullanımı	Kategorik	Yerleşim 3; Ticari 2; Eğlence 1	Yerleşim %37.14; Ticari %37.14
		Pik saat türü	Kategorik	Gece 4; Akşam 3; Öğlen 2; Sabah 1	Akşam %30.00; Öğlen %28.57;
BAĞIMLI DEĞİŞKEN		Kaza riski	Kategorik	Yüksek 3; Orta 2; Düşük 1	Düşük %48.14; Orta %28.57
* Betimleyici istatistikler verilirken veri türü kategorik veya kukla ise en yüksek dağılıma sahip iki kategorinin yüzdece değeri, veri tipi nümerik ise ortalama değerleri kullanılmıştır.					

5.2. Karar Ağacı Bulguları

Karar Ağacı modellenirken WEKA yazılımından faydalanılmıştır (Hall ve diğ., 2009). Kullanılan C4.5 Algoritması öncesinde veri setine Kısım 4.4’de bahsedilen K-Katlamalı Çapraz Doğrulama prosedürü uygulanmıştır. Literatürde K değerinin yaygın olarak 5 veya 10 olarak seçildiği görülmüştür. Bu çalışmada sırası ile K=2, 5 ve 10 olacak şekilde değerler denenerek en yüksek model performansının K=5 olduğu durumda elde edildiği tespit edilmiştir. 5- Katlamalı çapraz doğrulama prosedüründe veri seti 5 parçaya ayrılarak $i=1...5$ olacak şekilde her bir iterasyonda 1 parça test için ayrılmış ve geri kalanlar eğitimde kullanılmıştır. C4.5 Algoritması kullanılarak oluşturulan Karar Ağacı Şekil 5.22’de görüldüğü üzere 1 kök, 27 dal ve 16 yapraktan oluşmaktadır. Burada kök ifadesi ağacın oluşumundaki IGR’si en yüksek olan faktör yani toplu taşıma yüzdesidir. Dallar kendinden sonra tekrar bir başka faktör ile ayrılan dalları veya yaprakları içeren düğümlerdir. Son olarak yapraklar ise terminal düğümü veya uç düğüm diye adlandırılan ve kendinden sonra tekrar dallanma görülmeyen düğümlerdir.

Makine öğrenmesi algoritmalarında Model performanslarının daha detaylı analiz edilebilmesi için doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve F1-Skoru performans kriterlerinden faydalanılmaktadır. Performans kriterlerinin detaylı açıklaması aşağıda verilen eşitliklerde yer almaktadır.

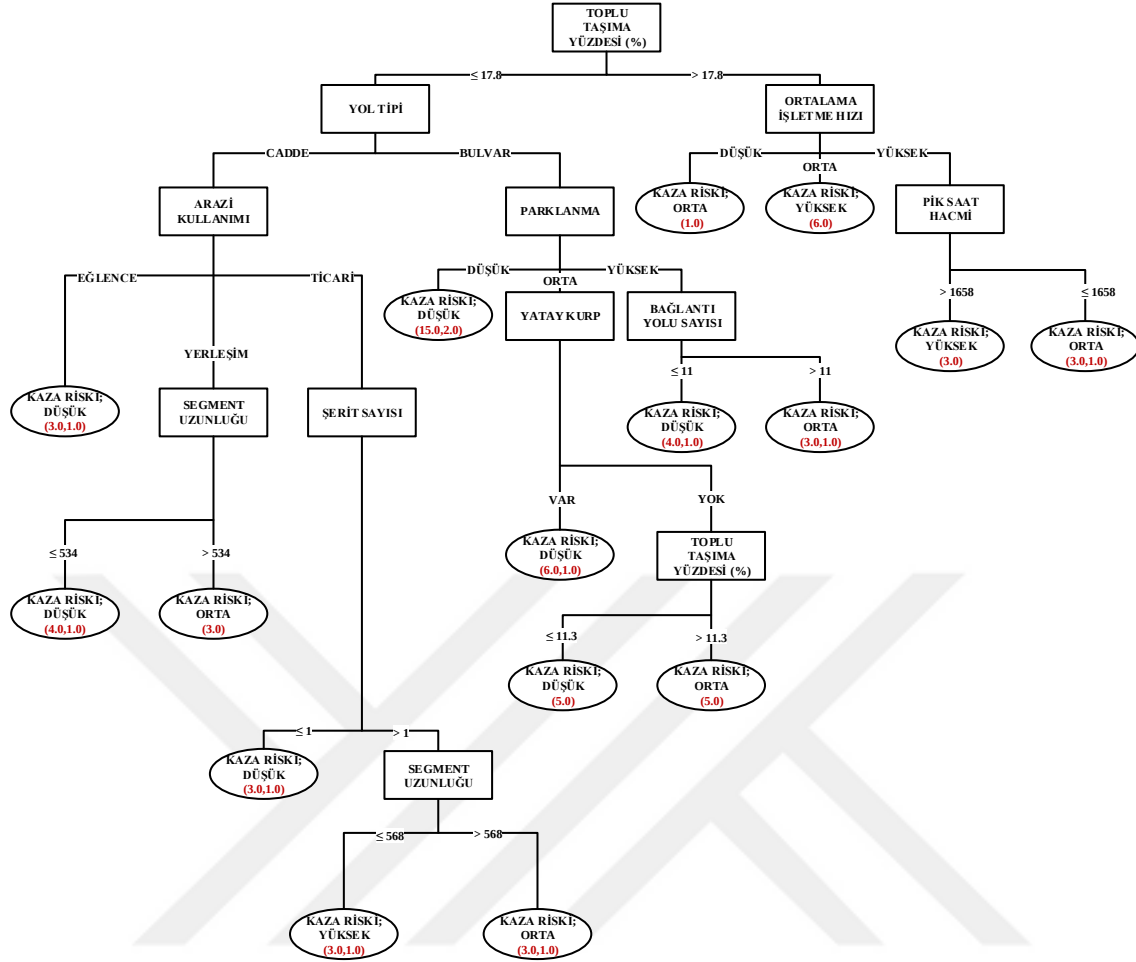
$$\text{Doğruluk (Accuracy)} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (19)$$

$$\text{Duyarlılık (Recall)} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (20)$$

$$\text{Kesinlik (Precision)} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (21)$$

$$\text{F1 Skoru (F1 Score)} = 2 \times \frac{\text{Kesinlik} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (22)$$

Burada TP X sınıfına ait olan bir örneğin X sınıfa ait olarak sınıflandırılması, TN X sınıfına ait olmayan bir örneğin X sınıfına ait olmayacak şekilde sınıflandırılması, FP X sınıfa ait olmayan bir örneğin X sınıfına ait olarak sınıflandırılması ve FN X sınıfına ait bir örneğin X sınıfına ait olmayacak şekilde sınıflandırılması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 5.22. C4.5 Algoritması kullanılarak oluşturulan Karar Ağacı

K=2, 5 ve 10 olarak ayrı ayrı denenen model performanslarını temsil eden doğruluk değeri ile ağırlıklı ortalama duyarlılık, kesinlik ve F1-Skoru değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. K = 2, 5 ve 10 değerleri için C4.5 algoritması model performans kriterleri

MODEL	DOĞRULUK	DUYARLILIK	KESİNLİK	F1-SKORU
KARAR_AĞAÇ1 (K=2)	51.42	0,514	0,482	0,492
KARAR_AĞAÇ2 (K=5)	54.28	0,543	0,533	0,532
KARAR_AĞAÇ3 (K=10)	41.42	0,414	0,401	0,405

Tablo 5.2’de verilen doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve F1-Skoru değerleri incelendiğinde K=5 olarak seçildiğinde oluşturulan C4.5 Karar Ağacı Algoritmasının K=2 ve K=10 olarak seçilerek oluşturulan modellere göre daha başarılı olduğu görülmektedir. K=5 olarak seçilerek oluşturulan C4.5 Algoritması tabanlı Karar Ağacı modelinde bağımsız değişkenlerin modelin

sınıflandırma performansına etkisi yani faktörlerin önemi, dallanma kriterlerini oluşturan IGR'ye göre elde edilmiş ve Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3. IGR'ye göre faktörlerin Karar Ağacı modelinin sınıflandırma performansı üzerindeki etkileri

P. NO	FAKTÖR ADI	IGR ETKİ KATSAYISI	NORMALİZE DEĞERİ (%)
8	T. TAŞIMA YÜZDESİ	0,3326	100
1	YOL TİPİ	0,1707	51,3229104
7	ORTALAMA İŞLETME HIZI	0,1179	35,44798557
9	ARAZİ KULLANIM	0,0431	12,95850872
12	PARKLANMA	0,0371	11,15453999
13	PİK SAAT TİPİ	0,0334	10,0420926
11	YATAY KURP	0,0229	6,885147324
6	PİK SAAT HACMİ	0,0198	5,953096813
2	SEGMENT UZUNLUĞU	0,0163	4,90078172
10	BANKET GENİŞLİĞİ	0	0
4	BAĞLANTI YOLU SAYISI	0	0
3	ŞERİT SAYISI	0	0
5	T. TAŞIMA DURAK SAYISI	0	0

IGR dallanma kriterine göre elde edilen faktörlerin etki katsayılarından etkili faktörlerin seçilmesi için en yüksek etki eşik değeri %30, yüksek etki eşik değeri %10 ve ortalama etki eşik değeri %5 olarak seçilmiştir. Tablo 5.3 incelendiğinde toplu taşıma yüzdesi, yol tipi ve ortalama hız faktörlerinin yol segmentleri üzerinde meydana gelen tek araç-tek yaya kazalarındaki risk sınıflandırmasında en yüksek etkiye sahip üç faktör olduğu anlaşılmaktadır.

Bu sonuçlar literatürdeki diğer çalışmaları desteklemektedir. Mannan (1999) toplu taşıma araçlarının yolcu talebine istinaden yol üzerinde herhangi bir noktada dur-kalk yaptığından dolayı trafik akımını bozduğunu ve bu durumun yaya-arac kazalarının oluşumunu arttırdığını savunmuştur. Bu çalışma kapsamında pik saatlerdeki toplu taşıma yüzdesi, yaya-arac kazaları temel alınarak incelenen yol segmentlerinin risk analizinde en önemli faktör olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca yol tipi ve ortalama hız faktörlerinin de yaya-arac kazalarının meydana gelmesini arttırdığı literatürde yer alan önemli bulgular arasındadır (Abay, 2013; Pitt ve diğ., 1990; Santhosh ve diğ., 2020). Bununla beraber arazi kullanım, parklanma ve pik saat

tipi faktörleri %10 eşik değerin üzerinde kalmış ve tek araç-tek yaya kazalarının oluşumunda yüksek etkili faktörler arasında değerlendirilmiştir.

IGR sonuçları değerlendirildiğinde %5 eşik değerinin üzerinde kalan yatay kurp ve pik saat hacmi faktörlerinin de kaza oluşumunda etkili faktörler olduğundan bahsedilebilir. Literatürde sıklıkla segment uzunluğu faktörünün yol segmentleri üzerinde meydana gelen araç-yaya kazalarında etkisinin olduğundan bahsedilmiş olsa da (Bennet ve Yiannakoulis, 2015) bu çalışmada segment uzunluğunun kayda değer bir etkisi görülememiştir. Ayrıca bazı çalışmaların aksine (Dai ve Jaworski, 2016; Yasmin ve diğ., 2016) banket genişliği, bağlantı yolu sayısı, şerit sayısı ve toplu taşıma durak sayısı faktörlerinin tek araç-tek yaya kazaları üzerinden risk sınıflandırmasında etkisiz olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.

Karar Ağacı sonuçlarının daha iyi anlaşılması ve yorumlanması için önceki çalışmalarda da kullanılan anlamlı kuralların çıkartımı yapılmıştır (Agrawal ve diğ., 1993; Pande ve Abdel-Aty, 2009). Bu doğrultuda Karar Ağacı yapısının oluşmasında etkili olan her bir kural için Kısım 4.6'da detaylı olarak bahsedilen Destek, Popülasyon ve Probabilite değerleri hesaplanarak $D = \%5.0$, $P_o = \%5.0$ ve $P = \%75$ eşik değerleri ile karşılaştırılmış ve Tablo 5.4'de verilen anlamlı kurallar elde edilmiştir.

Tablo 5.4. S_i ve P_o eşik değerlerine göre çıkartılan anlamlı kurallar

KURAL NO	KURAL YAPISI	DESTEK	POPÜLASYON
1	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ (>17.8) AND ORTALAMAHIZ(ORTA) THEN KAZARİSKİ (YÜKSEK)	8,571	8,571
11	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ (≤17.8) AND YOLTİPİ(BULVAR) AND PARKLANMA (DÜŞÜK) THEN KAZARİSKİ (DÜŞÜK)	18,571	21,428
12	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ (≤17.8) AND YOLTİPİ(BULVAR) AND PARKLANMA (ORTA) AND YATAYKURP (VAR) THEN KAZARİSKİ (DÜŞÜK)	7,142	8,571
13	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ (≤17.8) AND YOLTİPİ(BULVAR) AND PARKLANMA (ORTA) AND YATAYKURP (YOK) AND TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(>11.3) THEN KAZARİSKİ (ORTA)	7,142	7,142
14	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ (≤17.8) AND YOLTİPİ(BULVAR) AND PARKLANMA (ORTA) AND YATAYKURP (YOK) AND TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(≤11.3) THEN KAZARİSKİ (DÜŞÜK)	7,142	7,142

Çıkartılan kurallar incelendiğinde toplu taşıma yüzdesinin yüksek ve hızın orta (40 – 60 km/sa) olduğu yol segmentleri için tek araç-tek yaya kaza riskinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum en yüksek ikinci Destek (%8.57) değerine sahip 1 numaralı kuralda gerçekleşmiştir. Bu durumun etkisinin azaltılması için özellikle kent içi yol planlamalarında toplu taşıma hatlarının yoğunlukta olduğu veya toplu taşıma seferlerinin sık olduğu yol kesimleri için hız limiti planlamalarının bu doğrultuda hassas bir şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Öte yandan hem en yüksek Destek (%18.57) hem de en yüksek Popülasyon (%21.42) değerine sahip olan 11 numaralı kuralda toplu taşıma yüzdesinin düşük olduğu ve parklanmanın düşük olduğu bulvarlarda tek araç-tek yaya kaza riskinin düşük olduğu görülmektedir. Yaya hareketliliğini belirleyici unsurlardan olan toplu taşıma yüzdesinin ve parklanmanın kontrolünün sağlanarak belirli sınırlar içerisinde tutulmasının kent içi yollarda yaya güvenliğinin arttırılmasına yönelik önemli bir yaklaşım olacağı yorumu yapılabilir.

Tablo 5.4 incelendiğinde toplu taşıma yüzdesi ve yol tipi faktörlerinin hemen her kuralda yer aldığı anlaşılmaktadır. Buradan yola çıkarak bu iki faktörün kent içi yollarda yaya güvenliği üzerinde önemli etki sahibi olduğundan bahsetmek mümkündür. Kaza riskinin düşük olduğu kuralların tümünde parklanma faktörü orta veya düşük olarak ayrıldığı görülmektedir. Bu sonuca bakıldığında ulaştırma mühendislerinin ve planlayıcıların kent içi yolların tasarımında yatay ve diyagonal parkın yüksek seviyelere ulaşmaması için önemler almasının yaya güvenliğini olumlu etkileyeceği önerisinde bulunulabilir. 13 ve 14 numaralı kurallar incelendiğinde diğer tüm değişkenler aynı iken yalnızca toplu taşıma yüzdesinin %11.3'den fazla olması durumunun kaza riskini düşükten orta seviyeye çıkarttığı görülmektedir. Bu iki kural karşılaştırıldığında toplu taşıma yüzdesinin yaya güvenliği üzerindeki etkisi bir kez daha anlaşılmaktadır.

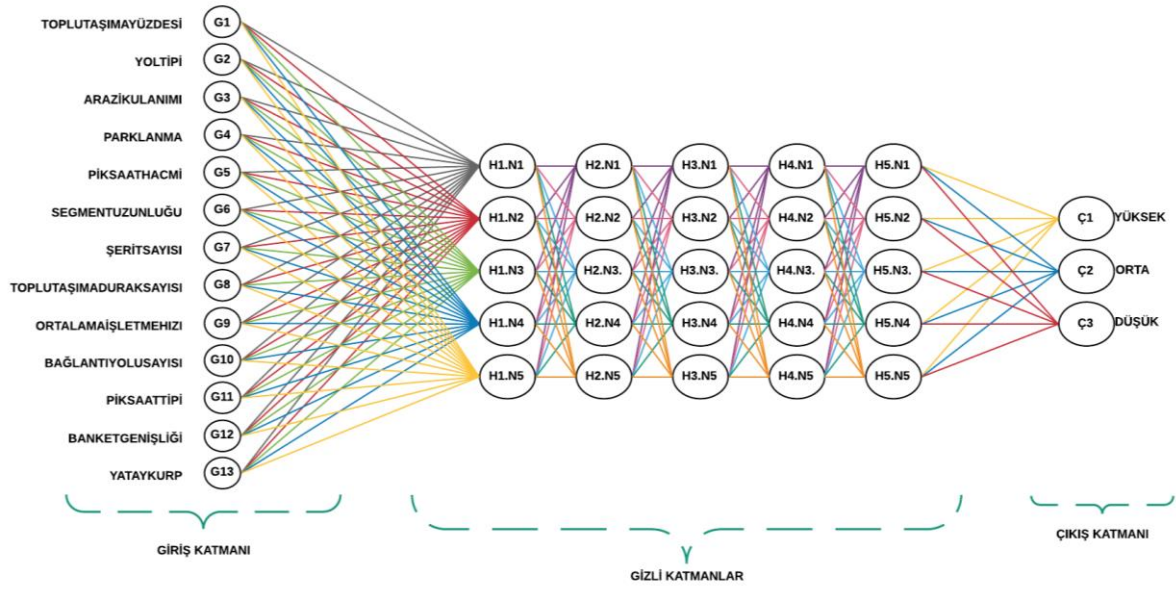
Faktörlerin öneminin belirlenmesi ve anlamlı kuralların çıkartılması işlemlerinin ardından bu çalışma kapsamında tek araç-tek yaya kazalarının oluşumuna yönelik kent içi yol segmentlerinin risk durumunu arttıran en etkili faktörlerin toplu taşıma yüzdesi, yol tipi, ortalama hız, parklanma ve arazi kullanımı olduğu değerlendirilmiştir. Pik saat tipi, yatay kurp varlığı, pik saat hacmi ve segment uzunluğu faktörlerinin yaya güvenliğinin sağlanması amacı ile yol segmentlerinin risk sınıflandırmasında etkili faktörler olduğu belirlenmiştir.

Bununla beraber bu çalışma kapsamında incelenen şerit sayısı, banket genişliği, toplu taşıma durağı sayısı ve bağlantı yolu sayısı bağımsız değişkenlerinin risk sınıflandırması üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Bu çalışma kapsamında C4.5 Karar Ağacı Algoritmasına ek olarak veri setine MLP ve ÇBKM olmak üzere iki adet makine öğrenmesi modeli daha uygulanmış ve model performansları karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

5.3. Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli Bulguları

Yol segmentlerinin tek araç-tek yaya kazalarının oluşumu açısından risk sınıflandırılması yapılırken faydalanılan MLP 13 hücreden oluşan 1 giriş katmanı, her biri 5 hücreden oluşan 5 gizli katman ve 3 hücreden oluşan 1 çıkış katmanı olmak üzere toplam yedi katman kullanılarak oluşturulmuştur. MLP ileri beslemeli ve geri yayımlı bir ağ türü olduğundan dolayı öğrenme algoritması olarak literatürde bu yapıya sahip ağlarda yaygın olarak kullanılan Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır (Talaee, 2014; Yu ve Wilamowski, 2011). Oluşturulan MLP modelinin yapısı Şekil 5.23’de verilmiştir.

Literatürde farklı momentum katsayılarının ve öğrenme katsayılarının model performansını açıkça etkilediğini konu alan çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Attoh-Okine, 1999; Sheel ve diğ., 2007). Farklı öğrenme katsayıları ve farklı momentum katsayıları kullanılarak toplamda 10 farklı MLP modeli oluşturularak veri setine uygulanmıştır. Her 10 model için aktivasyon fonksiyonu olarak Sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.



Şekil 5.23. MLP modelinin yapısı

Tüm modeller MATLAB yazılımı kullanılarak oluşturulmuş, eğitilmiş ve test edilmiştir (Beale ve diğ., 1996; Martinez ve diğ., 2010; Vedaldi ve Lenc, 2015). Her bir model için ezberlemenin önlenmesi adına Karar Ağacı Algoritması uygulaması ile benzer olarak 5-Katlamalı Çapraz Doğrulama yönteminden yararlanılmıştır. Model sonuçları Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5. Farklı momentum katsayıları ve öğrenme algoritmaları seçilerek oluşturulmuş MLP modelleri

MODEL ADI	ÖĞRENME KATSAYISI	MOMENTUM KATSAYISI	OMH	KOKH
MLP_8	0.7	0.6	0.3055	0.5150
MLP_9	0.8	0.7	0.3144	0.5159
MLP_1	0.1	0.2	0.3326	0.5173
MLP_2	0.1	0.3	0.3315	0.5177
MLP_3	0.1	0.4	0.3352	0.5263
MLP_4	0.1	0.4	0.3352	0.5263
MLP_10	0.9	0.8	0.3230	0.5317
MLP_5	0.3	0.7	0.3373	0.5402
MLP_7	0.5	0.8	0.3430	0.5469
MLP_6	0.4	0.8	0.3440	0.5506

Model performansları kendi içinde değerlendirilirken Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve Kök Ortalama Karesel Hata (KOKH) terimlerinden faydalanılmıştır. OMH her bir model tahmininin, gerçek değer ile arasındaki farkın (mesafenin) mutlak olarak ifade edilmesidir. KOKH ise model tahminlerinde oluşan hataların standart sapması olarak değerlendirilebilir. Her iki hata terimi içinde kabul sıfıra ne kadar yakın olursa model performansının o kadar başarılı olduğu yönündedir. Buradan yola çıkılarak farklı momentum ve öğrenme katsayıları ile oluşturulmuş 10 farklı MLP modelinden en küçük OMH ve KOKH değerlerini veren modelin en başarılı performansa sahip olduğu yorumlanmıştır. OMH ve KOKH terimlerine ilişkin eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |a_i - \hat{a}_i| \quad (23)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - \hat{a}_i)^2} \quad (24)$$

Burada a_i modelden beklenen çıktı değeri, $\hat{a}_i$ ise modelin ürettiği çıktı değeri ve n toplam örnek sayısı olarak tanımlanabilir.

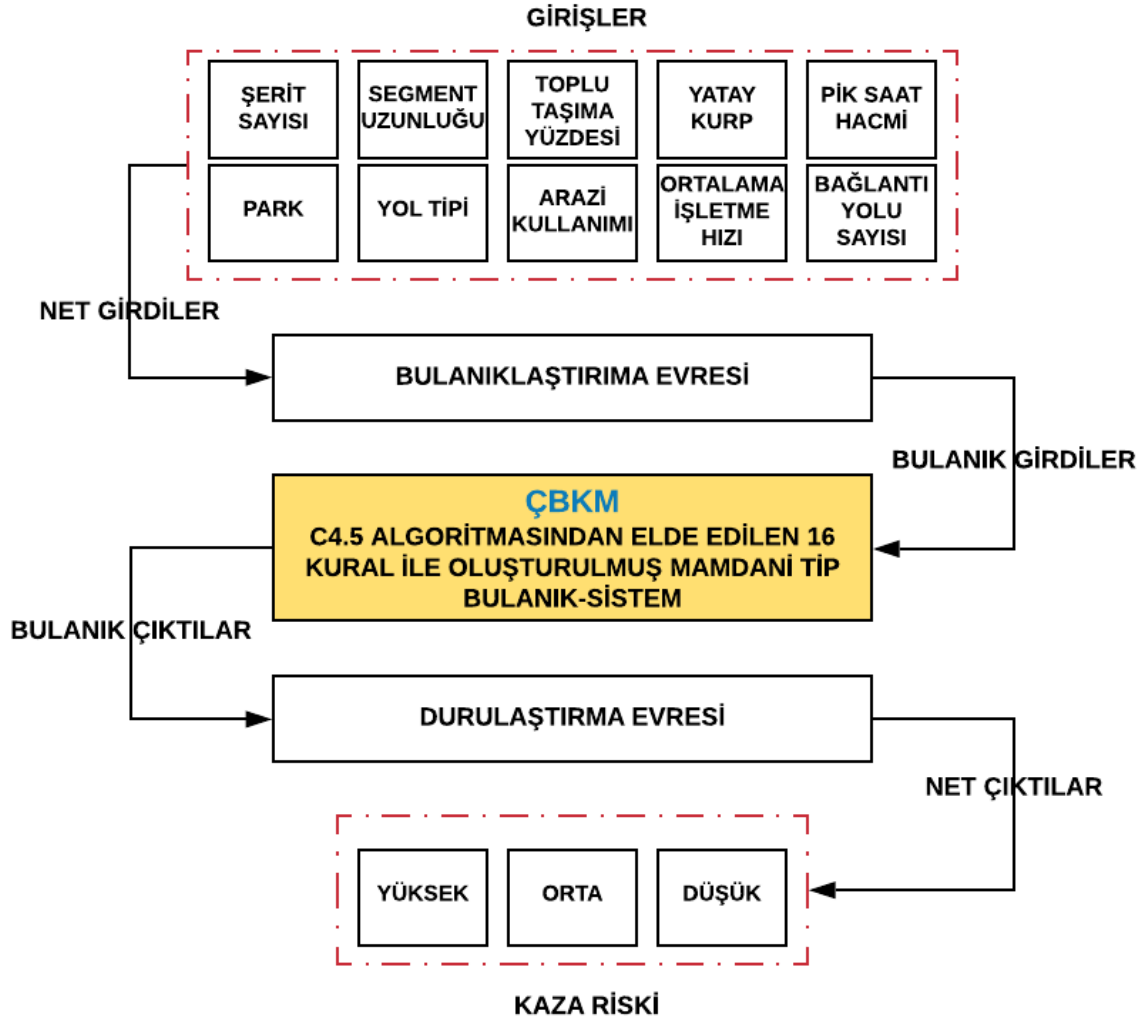
Tablo 5.5 incelendiğinde daha öğrenme katsayısı için daha büyük değerler seçildiğinde OMH hata teriminin belirli bir değere kadar düşüş gösterdiği görülmektedir. KOKH değeri ise momentum katsayısının artışı ile beraber bir süre artış göstermiş daha sonra düşmüştür. Bu doğrultuda seçilen farklı öğrenme ve momentum katsayıları arasından en düşük OMH ve KOKH değerleri öğrenme ve momentum katsayısı sırası ile 0.7, 0.6 seçilerek kurulan MLP_8 modelinde elde edilmiştir. MLP_8 modeli ile yapılan sınıflandırmada 70 örnekten 37 tanesi doğru sınıflandırılarak modelin doğruluk değeri %52.85 olarak elde edilmiştir. Modelin ağırlıklı ortalama duyarlılık, kesinlik ve F1-Skoru değerleri ise sırası ile %52.8, %51.2 ve %51.4 olarak elde edilmiştir. Bu sonuç, Delen vd. (2006) çalışmasında kullandıkları MLP modelleri arasından elde ettikleri en iyi sonuç olan %89.39 doğruluk değeri ile karşılaştırıldığında oldukça düşük olarak değerlendirilebilir. Ancak Delen vd. (2006) çalışmasında problemi ikili sınıflandırma olarak ele aldıkları ve aynı çalışmada çoklu sınıflandırmada kullandıkları model başarısının %40.73 olduğu dikkate alındığında bu

çalışmada elde edilen %52.85 doğruluk değerinin kabul edilebilir olduğu düşünülmüştür. Öte yandan Abdel-Aty ve Abdelwahab (2004) MLP modeli ile kazada yaralanma şiddetini 4 sınıflı sınıflandırma problemi olarak ele almış ve %73.5 doğruluk değeri elde etmiştir.

MLP eğitmenli öğrenme yapısına sahip bir makine öğrenmesi modeli olduğundan dolayı veri setindeki örnek sayısının fazlalığı ağıın problemi daha iyi öğrenmesine fayda sağlamakla beraber modelin doğruluk değerini yükseltmektedir. Bu doğrultuda örnek sayısının artırılması ile bu çalışma kapsamında eğitilen MLP ağıının daha iyi performans göstereceği düşünülmektedir.

5.4. Çevrilmiş Bulanık-Karar Modeli Bulguları

Bu çalışma kapsamında 13 adet bağımsız değişkenin incelenmesine karşın C4.5 algoritmasından faydalanılarak modellenen Karar Ağacında tüm kuralları oluşturan toplamda 10 bağımsız değişken bulunduğundan dolayı Toplu taşıma yüzdesi, Yol tipi, Arazi kullanımı, Segment uzunluğu, Şerit sayısı, Ortalama hız, Pik saat hacmi, Parklanma, Yatay kurp ve Bağlantı yolu sayısı faktörleri ÇBKM modeline giriş olarak tanımlanmıştır. Model için çıkış faktörü ise Karar Ağacı ve MLP modellerinde olduğu gibi yol segmentleri için kaza riski olarak belirlenmiş ve 3 kategoride incelenmiştir. ÇBKM modelinin genel yapısı Şekil 5.24’de verilmiştir.



Şekil 5.24. ÇBKM genel yapısı

ÇBKM'nin oluşturulması aşamasında, Karar Ağacı Algoritmasındaki kökten her bir yaprağa olacak şekilde tüm kurallar bölüm 5.2'de bahsedildiği üzere IF - THEN mantıksal koşullu yapısında elde edilerek bulanık sistem içerisine tanımlanmıştır. ÇBKM modeli oluşturulurken kullanılan kural sayısı 16'dır. Mantıksal koşullu yapıda oluşan tüm kuralların listesi Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6. ÇBKM oluşturulurken kullanılan kurallar dizini

KURAL NO	KURAL	SONUÇ
1	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(>17.8) AND ORTALAMAİŞLETMEHİZİ(DÜŞÜK)	THEN KAZARİSKİ (ORTA)
2	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(>17.8) AND ORTALAMAİŞLETMEHİZİ(ORTA)	THEN KAZARİSKİ (YÜKSEK)
3	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(>17.8) AND ORTALAMAİŞLETMEHİZİ (ORTA) AND PİKSAATHACMİ(>1658)	THEN KAZARİSKİ (YÜKSEK)
4	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(>17.8) AND ORTALAMAİŞLETMEHİZİ(ORTA) AND PİKSAATHACMİ(≤1658)	THEN KAZARİSKİ (ORTA)
5	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(≤17.8) AND YOLTİPİ(CADDE) AND ARAZİKULLANIMI(EĞLENCE)	THEN KAZARİSKİ (DÜŞÜK)
6	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(≤17.8) AND YOLTİPİ(CADDE) AND ARAZİKULLANIMI(YERLEŞİM) AND SEGMENTUZUNLUĞU(>534)	THEN KAZARİSKİ (ORTA)
7	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(≤17.8) AND YOLTİPİ(CADDE) AND ARAZİKULLANIMI(YERLEŞİM) AND SEGMENTUZUNLUĞU(≤534)	THEN KAZARİSKİ (DÜŞÜK)
8	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(≤17.8) AND YOLTİPİ(CADDE) AND ARAZİKULLANIMI(TİCARİ) AND ŞERİTSAYISI(>1) AND SEGMENTUZUNLUĞU(>534)	THEN KAZARİSKİ (ORTA)
9	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(≤17.8) AND YOLTİPİ(CADDE) AND ARAZİKULLANIMI(TİCARİ) AND ŞERİTSAYISI(>1) AND SEGMENTUZUNLUĞU(≤534)	THEN KAZARİSKİ (YÜKSEK)
10	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(≤17.8) AND YOLTİPİ(CADDE) AND ARAZİKULLANIMI(TİCARİ) AND ŞERİTSAYISI(≤1)	THEN KAZARİSKİ (DÜŞÜK)
11	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ (≤17.8) AND YOLTİPİ(BULVAR) AND PARKLANMA (DÜŞÜK)	THEN KAZARİSKİ (DÜŞÜK)
12	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ (≤17.8) AND YOLTİPİ(BULVAR) AND PARKLANMA (ORTA) AND YATAYKURP (VAR)	THEN KAZARİSKİ (DÜŞÜK)
13	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ (≤17.8) AND YOLTİPİ(BULVAR) AND PARKLANMA (ORTA) AND YATAYKURP (YOK) AND TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(>11.3)	THEN KAZARİSKİ (ORTA)
14	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ (≤17.8) AND YOLTİPİ(BULVAR) AND PARKLANMA (ORTA) AND YATAYKURP (YOK) AND TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ(≤11.3)	THEN KAZARİSKİ (DÜŞÜK)
15	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ (≤17.8) AND YOLTİPİ(BULVAR) AND PARKLANMA (YÜKSEK) AND BAĞLANTİYOLUSAYISI(>11)	THEN KAZARİSKİ (ORTA)
16	IF TOPLUTAŞIMAYÜZDESİ (≤17.8) AND YOLTİPİ(BULVAR) AND PARKLANMA (YÜKSEK) AND BAĞLANTİYOLUSAYISI(<11)	THEN KAZARİSKİ (DÜŞÜK)

ÇBKM'nin modellenmesinde MATLAB Fuzzy Logic uygulamasından faydalanılmıştır. Modelde kullanılan giriş ve çıkış faktörleri için üyelik fonksiyonlarının tipi, üyelik

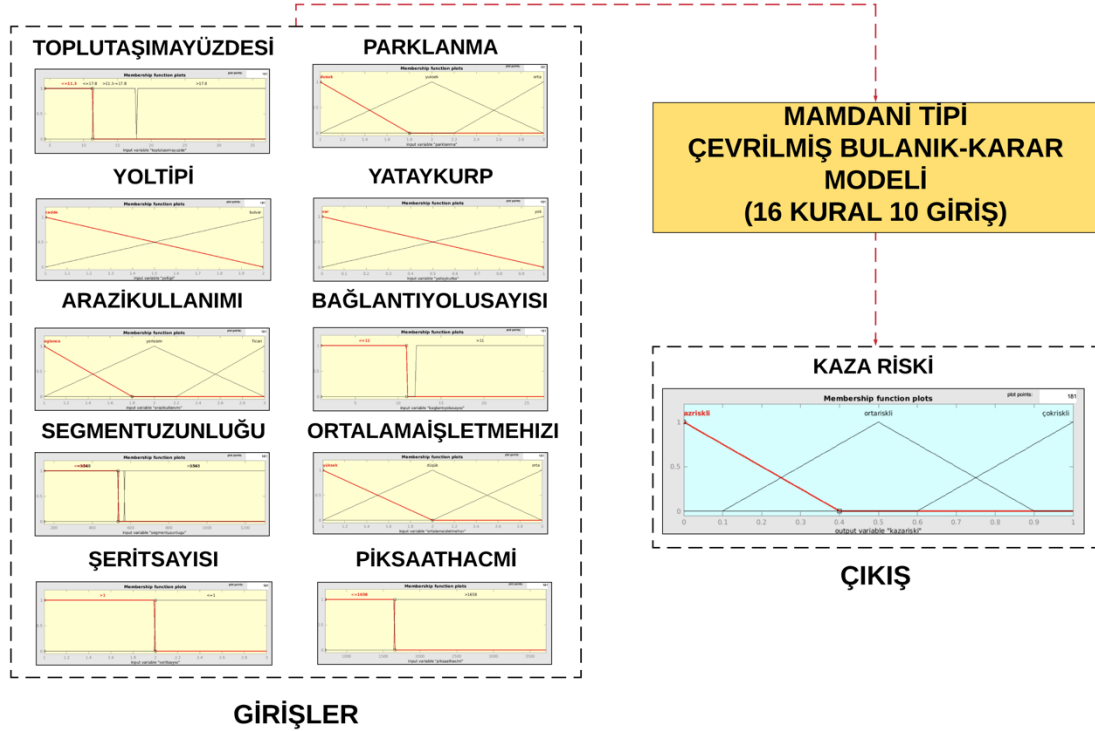
fonksiyonlarının sayısı ve faktörlerin değer aralığı ile ilgili detaylı bilgiler Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7. Model faktörlerine ilişkin detaylı bilgiler

FAKTÖR ADI	ÜYELİK FONKSİYONU TİPİ	ÜYELİK FONKSİYONU SAYISI	FAKTÖR DEĞER ARALIĞI
TOPLU TAŞIMA YÜZDESİ	TRAPEZOİDAL	4	[4.2,36.9]
YOL TİPİ	TRIANGULAR	2	[1,2]
ARAZİ KULLANIMI	TRIANGULAR	3	[1,3]
SEGMENT UZUNLUĞU	TRAPEZOİDAL	4	[148,1302]
ŞERİT SAYISI	TRAPEZOİDAL	2	[1,3]
PARKLANMA	TRIANGULAR	3	[1,3]
YATAY KURP	TRIANGULAR	2	[0,1]
BAĞLANTI YOLU SAYISI	TRAPEZOİDAL	2	[1,27]
ORTALAMA İŞLETME HIZI	TRIANGULAR	3	[1,3]
PİK SAAT HACMİ	TRAPEZOİDAL	2	[708,3715]
KAZA RİSKİ	TRIANGULAR	3	[0,1]

Çalışmada literatürde yaygın olarak kullanılmakta olan üyelik fonksiyonları arasından triangular ve trapezoidal olanlar seçilmiş ve faktörlere uyarlanmıştır. Doğru üyelik fonksiyonu seçiminde genellikle uzman görüşünden faydalanılmakta ve veri setinin dağılımı ile ve faktörün karakteristiğine (sürekli, kategorik, kukla vb.) dikkat edilmektedir.

Modelde kullanılan tüm faktörlerin üyelik fonksiyon sayıları ve dereceleri ile üyelik fonksiyonlarının tipleri veri setine bağlı kalınarak detaylı değerlendirmelerden sonra oluşturulmuştur. Örneğin çıkış faktörü olan kaza riski faktörünün düşük, orta ve yüksek seviyelerini sıralı bir yapıya sahip olduğundan dolayı üyelik derecesi olarak karşılığı sırası ile 1,2 ve 3 olarak atanırken arazi kullanımı faktörünün yerleşim, eğlence ve ticari olan kategorileri sıralı bir yapıya sahip olmadığından dolayı bu faktöre ait üyelik fonksiyonlarının dereceleri faktöre ait kategorilerin veri seti üzerindeki dağılımı ve çıkış faktörü üzerindeki etkisi dikkate alınarak atanmıştır. ÇBKM modelinin detaylı yapısı Şekil 5.25’de verilmiştir.

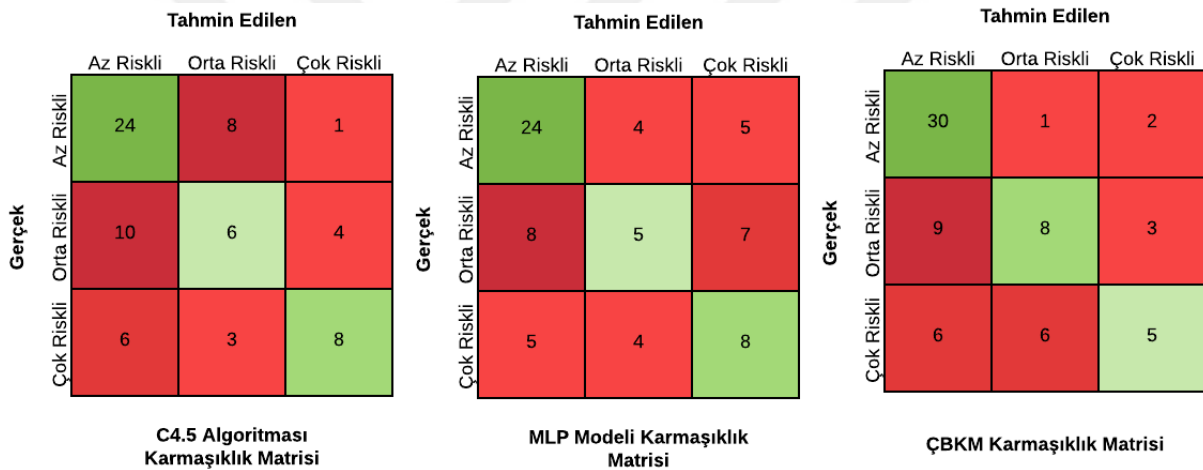


Şekil 5.25. ÇBKM detaylı yapısı

Her bir giriş faktörü ve çıkış faktörü için üyelik fonksiyonlarının ve üyelik fonksiyonlarına ait özelliklerin tanımlanmasının ardından bulanıklaştırma sürecine geçilmiştir. Bu süreçte faktörlere 70 yol segmenti için sabah, öğlen, akşam ve gece pik saatlerinde elde edilen veriler bulanıklaştırılarak, bulanık girişler elde edilmiştir. Elde edilen bulanık girişler bulanık-karar modelinden geçirilerek bulanık çıktılara dönüştürülmüştür. Çıktıların net sayısal değerlere dönüştürülmesi durulaştırma evresinde gerçekleşmektedir. Durulaştırma için literatürde sıklıkla kullanılan “Centroid” metodundan faydalanılmıştır. Bu işlem sonucunda çıkış değeri, model sonucu olan kaza riskini temsil eden sayısal bir değer olarak elde edilmiştir. Bu değer den geldiği aralığa bakılarak 0-0.25 arası düşük, 0.25-0.75 arası orta, 0.75-1.00 arası ise yüksek olacak şekilde net çıktı belirlenmiştir. ÇBKM modeli ile gerçekleştirilen kent içi yol segmentlerinde tek araç-tek yaya kazalarının oluşumu bakımından risk sınıflandırmasında 70 örneğin 43 tanesi doğru sınıflandırılarak model performans ölçütlerinden doğruluk değeri %61.42 olarak elde edilmiştir. Makine öğrenmesi modellerinin performanslarının ölçülmesi amacı ile kullanılan Duyarlılık, Kesinlik ve F1-Skoru performans ölçütlerinin ağırlıklı ortalama değerleri ÇBKM modeli için sırası ile %61.42, %59.34 ve %58.31 olarak hesaplanmıştır.

5.5. Model performanslarının karşılaştırılması

Bu çalışmada Adana ilinde 2013 - 2017 yılları arasında meydana gelmiş trafik kazalarına ait istatistiksel verilerden yola çıkılarak tek araç - tek yaya kazalarının oluşumu açısından riskli yol segmentleri CBS yardımı ile belirlenmiş ve belirlenen edilen yol segmentleri üzerinde gerçekleştirilen ölçüm ve gözlemler ile elde edilen verilere dayalı risk sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Risk sınıflandırılmasında kullanılan C4.5, MLP ve ÇBKM modellerinin performanslarının karşılaştırılması amacı ile karmaşıklık matrisi ve bu matristen çıkarılan Doğruluk, Duyarlılık, Kesinlik ve F1-skoru metrikleri detaylı incelenmiştir. C4.5 Karar Ağacı Algoritması, MLP modeli ve ÇBKM ile gerçekleştirilen sınıflandırmaya ait karmaşıklık matrisleri Şekil 5.26'da verilmiştir.



Şekil 5.26. Karar Ağacı, MLP ve ÇBKM modellerine ait karmaşıklık matrisleri

Karmaşıklık matrisleri incelenirken doğru sınıflandırılan örnek sayısına bakıldığında Karar Ağacı ve MLP modellerinin az riskli kategorisini sınıflandırma performansında farklılık olmadığı görülmektedir. Bu kategori için belirgin bir sınıflandırma performansı göstermiş model ÇBKM modelidir. ÇBKM modeli az riskli kategorisinde yer alan 33 örnekten 30 tanesini doğru sınıflandırarak %66.67 kesinlik ve %90.91 duyarlılık değerlerine ulaşmıştır. MLP modelinin ve C4.5 Karar Ağacı Algoritmasının az riskli kategorisinde duyarlılık değeri %72.72 olarak elde edilmiştir. MLP modelinin az riskli kategorisindeki kesinlik değeri %64.86 iken bu değer C4.5 algoritmasında %60.00'dır.

Bu değerlere bakılarak C4.5 algoritmasının MLP modeli ile aynı sayıda örneği az riskli kategorisinde sınıflandırdığı ancak genel model incelendiğinde C4.5 algoritmasının her üç kategoride örneklerin büyük bir çoğunluğunu az riskli olarak değerlendirdiği ve bu sebeple az riskli kategorisine ait kesinlik değerinin diğer modeller ile kıyaslandıda ciddi ölçüde düştüğü anlaşılmaktadır.

İyi çalışan bir sınıflandırma modelinden beklenen duyarlılık, doğruluk ve kesinlik ölçütlerinin yüksek değerlere sahip olmasıdır. Ancak duyarlılık ve kesinlik değerleri için çoğu zaman birinin artış göstermesi diğerinin düşmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı duyarlılık ve kesinlik değerlerinin beraber incelenmesini sağlayan ve bu değerlerin harmonik ortalamasına eşit olan F1-skoru değeri model performanslarının incelenmesinde önemli bir metrik olarak düşünölmektedir. F1-skoru değerleri Az riskli kategorisi için incelendiğinde bu kategoride en başarılı sınıflandırmanın %76.92 F1-skoru değeri ile ÇBKM tarafından gerçekleştirildiği görölmektedir. ÇBKM'yi %68.56 ve %65.80 F1-skoru değerleri ile sırası ile MLP ve C4.5 Karar Ağacı modelleri takip etmektedir.

Orta riskli kategorisi için model duyarlılıkları C4.5, MLP ve ÇBKM için sırası ile %30, %25 ve %40 olarak elde edilmiştir. Modellerin kesinlik ve F1-skoru değerlerinin sırası ile C4.5 için %35.30 ve %32.42 MLP için %38.46 ve %30.30 ÇBKM için ise %53.33 ve %45.70 olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Az riskli kategorisine benzer olarak orta riskli kategorisi için de en yüksek sınıflandırma performansını ÇBKM gösterirken bu kategorinin sınıflandırılmasında C4.5 Karar Ağacı modelinin MLP modeline göre az daha olsa daha başarılı anlaşılmıştır.

Öte yandan Orta riskli kategorisinin sınıflandırılmasında her üç modelinde önemli eksikliklere sahip olduğundan bahsetmek mümkündür. Her üç model de Orta riskli kategorisine ait örneklerin büyük çoğunluğunu Az riskli olarak değerlendirmiş ve bu durum Az riskli kategorisinde yığılma oluşturarak model performanslarını olumsuz etkilemiştir.

Çok riskli kategorisinin sınıflandırılmasında yalnızca doğru sınıflandırılan örnek sayısına bakılarak az ve orta riskli kategorilerinden farklı olarak ÇBKM'nin C4.5 ve MLP'ye göre daha düşük performansa sahip olduğu görölmektedir. Performans metrikleri incelendiğinde de bu sonuçların desteklendiği anlaşılmaktadır. F1-skoru değerlerine bakıldığında C4.5 Karar

Ağacı modelinin %53.30 değeri ile en yüksek performansı gösterdiği, MLP modelinin %43.23 ile ikinci sırada yer aldığı ve ÇBKM'nin %37.02 değeri ile en kötü performansa sahip model olarak değerlendirilmesi mümkündür. Çok riskli kategorisinin sınıflandırılmasında elde edilen kesinlik değerleri C4.5 Karar Ağacı Algoritması, ÇBKM ve MLP modelleri için sırası ile %61.53, %40 ve %50'dir. Duyarlılık değerlerine bakıldığında C4.5 Karar Ağacı Algoritması ve MLP modelleri için %47.05 değeri elde edilirken ÇBKM için bu değer %29.4 ile oldukça düştüğü bulgusuna varılmıştır. Her 3 model için de doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve F1-skoru metriklerine ilişkin detaylar Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8. Model sonuçlarına ilişkin performans ölçütleri

MODEL ADI	DOĞRULUK (%)	KATEGORİ	DUYARLILIK (%)	KESİNLİK (%)	F1-SKORU (%)
C4.5	54.28	AZ RİSKLİ	72.72	60.00	65.80
		ORTA RİSKLİ	30.00	35.30	32.42
		ÇOK RİSKLİ	47.05	61.53	37.02
AĞIRLIKLİ ORTALAMA			54.30	53.30	53.20
MLP	52.85	AZ RİSKLİ	72.72	64.86	68.56
		ORTA RİSKLİ	25.00	38.46	30.30
		ÇOK RİSKLİ	47.05	40.00	43.23
AĞIRLIKLİ ORTALAMA			52.85	51.27	51.47
ÇBKM	61.42	AZ RİSKLİ	90.91	66.67	76.92
		ORTA RİSKLİ	40.00	53.33	45.70
		ÇOK RİSKLİ	29.4	50.00	53.30
AĞIRLIKLİ ORTALAMA			61.42	59.34	58.31

Performans ölçütlerine ilişkin modellerin genel başarı durumunun değerlendirilmesi açısından ağırlıklı ortalama değerleri incelendiğinde ÇBKM'nin tüm performans metriklerinde C4.5 Karar Ağacı Algoritmasından ve MLP modelinden daha başarılı olduğu Tablo 5.8'de açıkça görülmektedir. Öte yandan ÇBKM diğer iki modele nazaran çok riskli kategorisinin sınıflandırılmasında daha az başarı gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu problemin modelde kullanılan üyelik fonksiyonlarının sınır değerlerinin belirlenmesinde literatürde yer alan farklı tekniklerden faydalanılması ile giderilebileceği düşünülmektedir. C4.5 Karar Ağacı Algoritması ve MLP modelleri karşılaştırıldığında C4.5 Karar Ağacı Algoritmasının MLP

modeline göre nispeten daha başarılı olduğu ancak iki model arasındaki performans farkının önemli bir fark oluşturmadığı anlaşılmıştır.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda gelişen teknoloji, sosyal ve ekonomik koşullar ile beraber kentleşme hızlanmış ve kent içi hareketlilik önemli ölçüde artmıştır. Bu artış ulaştırma politikalarına ve planlamalarına da yansımış ulaşım motorize taşıtların yanında yaya ve bisikletliler gibi çevre dostu ulaştırma modlarında ulaştırma sistemleri içerisindeki payı genişlemiştir.

Ulaştırmada sürdürülebilirliği sağlamak ve bireyleri çevre dostu ulaşım modlarını kullanmaya teşvik etmek elbette ki bu modların efektif bir şekilde işleyişine katkıda bulunacak güvelik iyileştirmeleri ile gerçekleştirilecektir. Özellikle büyük kentlerde hızla artan motorlu taşıt sayıları ve cazibe merkezlerinin fazlalığı yaya - araç etkileşimlerini arttırmakta, bu etkileşimler bir çok zaman maddi ve manevi kayıplara yol açan kazalarla sonuçlanmaktadır.

Olası bir kaza durumunda kendisini karşı tarafın kütlesine ve hızına karşı koruyacak kask, eldiven gibi güvenlik ekipmanlarına sahip olmadığından dolayı yayalar ulaştırma modları arasında en korunmasız yol kullanıcılarından olarak kabul edilmektedir. Kaza anında veya kaza sonrasında yaya güvenliğinin artırılmasının pek de mümkün olmadığı düşünüldüğünde kaza oluşumunu engellemek veya en aza indirmek için çalışmalar yapılmasının trafikte yaya güvenliğinin sağlanması doğrultusunda atılacak önemli adımlardan olduğu anlaşılmaktadır. Kaza oluşumunun incelenmesi ve kaza oluşumunun ardında kalan nedenlerin iyi analiz edilmesi ulaştırma mühendislerinin ve karar vericilerin mevcut yol ağlarında, kara noktlarda veya trafik planlamalarında iyileştirmelere ve gelecekte oluşabilecek koşullar için yeni önlemler almasına yönelik fayda sağlayacaktır.

Kent içi yollarda yaya güvenliğine katkıda bulunacak bugluların elde edilmesi amacı ile yola çıkılarak gerçekleştirilen bu çalışmada öncelikle Adana ilinde 2013 - 2017 yılları arası kent içi yollarda gerçekleşmiş kazaları EGM verileri üzerinden analiz edilmiştir. Böylece tez çalışmasının konusu olan yol segmentleri üzerinde gerçekleşen tek araç - tek yaya kazalarının, tüm trafik kazaları arasındaki yeri ve trafik güvenliği açısından önemi sayısallaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda 2013 - 2017 yılları arasında gerçekleşmiş 16397 kazanın %18.21'ini yaya - araç kazalarının oluşturduğu ve yayaya çarpmalı kazaların, yandan çarpmalı araç - araç kazalarından sonra en yüksek ikinci gerçekleşme yüzdesine sahip olduğu

belirlenmiştir. İncelenen yıllar arasında gerçekleşmiş olan 2987 yaya - araç kazası oluş yerlerine göre değerlendirildiğinde 1179 tanesinin yaya geçidi ve kavşak noktası içermeyen yol segmentleri üzerinde gerçekleştiği görülmüştür. Bu sayı toplam kaza sayısının %7.19'unu oluşturmaktadır. Yol segmentleri üzerinde gerçekleşmiş olan yaya - araç kaza yüzdesinin bu denli yüksek olması kent içi yollarda yaya güvenliğinin sağlanması açısından önemli eksikliklerin bulunduğunu ortaya koymuştur. 1179 tek araç - tek yaya kazası pik ve pik dışı saatlere göre incelendiğinde kazaların %70.39'unun pik saatlerde gerçekleştiği anlaşılmış ve çalışma kapsamında yalnızca pik saatlerin incelenmesi uygun görülmüştür.

Bu doğrultuda yol segmentleri üzerinde gerçekleşmiş toplamda 830 tek araç tek yaya kazası sabah, öğlen, akşam ve gece olmak üzere 4 pik saate ayrılmış, kazaların lokasyon bilgileri kullanılarak CBS ortamında haritalanmış ve pik saatler için kaza yerleri noktasal verilerini içeren katmanlar oluşturulmuştur. Oluşturulan katmanlara düzlemsel kenrel yoğunluk analizi gerçekleştirildikten sonra 4 pik saat için ayrı ayrı yoğunluk haritaları elde edilmiştir. Yoğunluk haritaları incelendiğinde Adana ilinde bazı bölgelerin pik saatlere göre yoğunluk değerlerinin değişkenlik gösterdiği bu durumun sebebi üzerinde arazi kullanımı, trafik hacmi, hız, parklanma gibi değişkenlerin etkilili olabileceği düşünülmüştür. Pik saatlerdeki kaza sayısı baz alınarak gerçekleştirilen düzlemsel kernel yoğunluk analizi dikkate alınarak toplamda 22 cadde ve bulvar üzerinde 70 yol segmenti kritik olarak değerlendirilmiş ve detaylı incelemeye alınmıştır.

Kritik olarak değerlendirilen 70 yol segmenti üzerinde yol geometrisi ve yol özellikleri, trafik karakteristikleri, yapılı çevre ve arazi kullanımı başlıkları altında 13 farklı bağımsız değişkene ait veriler toparlanarak veri seti oluşturulmuştur. Verilerin toparlanması sürecinde ortalama hız ve pik saat hacmi ölçümleri her bir yol segmenti için o segmentin inceleneceği pik saat aralığında gerçekleştirilmiştir. Ortalama hız ölçümleri gerçekleştirilirken literatürde de önerilen her taşıt tipi için minimum 50 örnek olmasına dikkat edilmiştir. Toplu taşıma yüzdesi faktörü pik saat hacmindeki toplam değer o pik saat aralığındaki toplu taşıma değerine oranlanması ile elde edilmiştir. Yol tipi, şerit sayısı, segment uzunluğu, yatay kurp, toplu taşıma durak sayısı, bağlantı yolu sayısı ve banket genişliği faktörlerine ait değerler yerinde ölçümler ile elde edilmiştir. Arazi kullanım ve parklanma faktörleri o bölgenin pik saatteki kullanım türüne ve park yoğunluğuna göre uzman görüşü ile değerlendirilmiştir. Veri setindeki bağımlı değişken olarak tanımlanan her bir yol segmenti için kaza riski az riskli, orta

riskli ve çok riskli olmak üzere üç kategoride incelenmiştir. Bağımlı değişkenin seviyelerinin değerlendirilmesinde segmentler üzerindeki kaza sayısı ve düzlemsel kernel yoğunluğu değeri dikkate alınmıştır. Böylece toplamda 70 x 13 boyutunda bağımsız değişken matrisinden ve 70 x 1 boyutunda bağımlı değişken matrisinden oluşan veri seti elde edilmiştir. Veri seti, C4.5 Algoritması kullanılarak oluşturulan Karar Ağacı, ÇBKM ve MLP modelleri ile incelenerek risk sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. C4.5 algoritmasının dallanma kriterlerini belirleyen IGR'ye göre oluşan kurallar değerlendirilmiş ve anlamlı kurallar çıkartılarak ulaştırma mühendisliği açısından kent içi yollarda yaya güvenliğine yönelik olan katkıları değerlendirilmiştir. Bununla beraber çalışmada kullanılan bağımsız değişkenlerin sınıflandırma performansına etki seviyeleri IGR kullanılarak elde edilmiş ve faktörlerin etkisi literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Son olarak modellerin sınıflandırma performansları duyarlılık, doğruluk, kesinlik ve F1-skoru performans metrikleri kullanılarak analiz edilmiştir ve modeller karşılaştırılmıştır.

Anlamlı kuralların değerlendirilmesi ile kent içi yol segmentlerinde toplu taşıma yüzdesinin artmasının yaya güvenliğini olumsuz yönde etkilediği, %11.3'den fazla toplu taşıma yüzdesine sahip yollarda kaza riskinin düşük seviyeden orta seviyeye yükseldiği görülmüştür. Ayrıca toplu taşıma yüzdesinin %17.8'den fazla olduğu ve ortalama hız yüksek veya orta olduğu yol segmentlerinde kaza riskinin yüksek riskli olarak görülmesi, ulaşım planlamalarında toplu taşıma güzergahlarının yoğun olduğu yol ağlarında hız limitlerinin dikkatli ayarlanması gerekliliğini göstermiştir. Öte yandan yaya hareketliliğini ve yaya-araç etkileşimlerini belirleyici unsurlardan olarak görülen toplu taşıma ve parklanma faktörlerinin kent içi yollarda yaya güvenliğinin sağlanması üzerinde önemli etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır.

IGR'ye göre faktörlerin sınıflandırma performansına etki seviyeleri yani kaza riski üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde toplu taşıma yüzdesi, yol tipi ve ortalama hız faktörlerinin çok yüksek etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Arazi kullanım, parklanma ve pik saat tipi faktörlerinin kaza riski üzerinde yüksek etkisi olduğu bulgusu elde edilirken yatay kurp ve pik saat hacmi faktörlerinin ise etkili olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan segment uzunluğu faktörünün kaza riski üzerinde az da olsa etkili olduğu anlaşılmış banket genişliği, bağlantı yolu sayısı, şerit sayısı ve toplu taşıma durak sayısı faktörlerinin ise kent içi yol segmentlerinin kaza riski üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı düşünülmüştür.

Model performansları değerlendirildiğinde ÇBKM'nin tüm performans metrikleri için diğer MLP modelinden ve C4.5 Karar Ağacı modelinden daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. MLP modeli ve C4.5 Karar Ağacı Algoritması arasında yol segmentlerinde kaza riskinin sınıflandırılması açısından çok belirgin bir performans farkı olmamasının yanında MLP modelinin nispeten daha başarılı olduğu anlaşılmıştır. Öte yandan risk sınıflandırılmasının kategorilere göre incelenmesi sonucunda ÇBKM modelinin çok riskli kategorisinin sınıflandırılmasında diğer iki modele göre daha düşük performans gösterdiği tespit edilmiş ve çok riskli kategorisinde en başarılı sınıflandırmanın C4.5 Karar Ağacı Algoritması tarafından gerçekleştirildiği bulgusuna ulaşılmıştır. C4.5 algoritmasının dallanma kriterlerine göre oluşan kuralların bulanık sisteme mantıksal koşullu kurallar olarak tanımlandığı ÇBKM'nin özellikle az riskli kategorisinin sınıflandırılmasında MLP ve C4.5 Karar Ağacı modellerine göre çok daha yüksek bir performans gösterdiği görülmüştür.

Tüm bu sonuçlar ışığında her üç modelinde kent içi yol segmentlerinde yaya güvenliği açısından risk sınıflandırmalarında kullanılmasının ulaştırma mühendisliğinde güvenlik iyileştirmelerine yönelik faydalı olabileceği düşünülmüştür. Literatürde sıklıkla kullanılan Karar Ağacı, YSA gibi çeşitli klasik makine öğrenmesi tekniklerinin yanısıra bu çalışmada kullanılan ÇBKM modelinin yüksek sınıflandırma performansı göz önüne alındığında özellikle başka makine öğrenmesi modelleri ile desteklenerek oluşturulan hibrit-bulanık modellerin yaya güvenliğine katkı sağlayacak çalışmalarda kullanımının desteklenmesi gerektiği düşünülmüştür. Ayrıca bu çalışmada sunulan modellerin daha kapsamlı veri setlerinde uygulanmasının model performanslarının değerlendirilmesi açısından daha net bulgular ortaya koyacağı değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmadan elde edilen bulgular ve çalışma süresince edinilen deneyim ile beraber;

1. Hibrit-Bulanık karar modellerinin kaza sınıflandırmalarında, kazada yaralanma şiddeti sınıflandırmalarında ve özellikle çıkış faktörünün çok değişkenli olduğu durumlarda kullanımının başarılı sonuçlar verdiği ve hibrit modellerin kullanımının yaygınlaşması,

2. Bu çalışma kapsamında düzlemsel kernel yoğunluk analizleri ile belirlenen kritik yol segmentlerinde gerçekleştirilmiş ölçüm ve gözlemlerin ilgili kurum ve kuruluşlar ile yapılacak işbirlikleri ile beraber düzenli olarak toplanmasının yaya güvenliği üzerinde olumlu etkiler göstereceği,
3. İleride planlanabilecek ve uygulanabilecek yaya güvenliğinin arttırılmasına yönelik iyileştirmelerin pik saatlere ve arazi kullanımına göre değerlendirilmesi,
4. Benzer veri setleri üzerinde bu çalışmada kullanılan modeller dışında hibrit modellerin ve klasik makine öğrenmesi modellerinin kullanılarak kaza literatürünün genişletilmesi,
5. Bu ve benzeri çalışmalarda sunulan bulguların karar vericiler tarafından değerlendirilmesinin kent içi yollarda yaya güvenliğinin arttırılmasına yönelik olumlu etkilerinin olacağı,
6. Benzer çalışmaların farklı trafik karakteristiklerine sahip şehirlerde uygulanmasının ve sonuçların paylaşılmasının önemli olacağı,
7. Adana ili için çalışma alanı genişletilerek daha fazla yol segmentinin incelenmesinin ve bu çalışmada kullanılan faktörlere ek olarak farklı faktörlerin kullanılmasının faydalı olacağı,

Önerilerinde

bulunulmuştur.

KAYNAKLAR

- Abay, K. A. (2013). Examining pedestrian-injury severity using alternative disaggregate models. *Research in Transportation Economics*, 43(1), 123-136.
- Abdel-Aty, M. A., & Abdelwahab, H. T. (2004). Predicting injury severity levels in traffic crashes: a modeling comparison. *Journal of transportation engineering*, 130(2), 204-210.
- Abellán, J., López, G., & De Oña, J. (2013). Analysis of traffic accident severity using decision rules via decision trees. *Expert Systems with Applications*, 40(15), 6047-6054.
- Ackaah, W., & Salifu, M. (2011). Crash prediction model for two-lane rural highways in the Ashanti region of Ghana. *IATSS research*, 35(1), 34-40.
- Agrawal, R., Imieliński, T., & Swami, A. (1993). *Mining association rules between sets of items in large databases*. Paper presented at the Proceedings of the 1993 ACM SIGMOD international conference on Management of data.
- Al-Mousa, A., & Faza, A. (2019). A fuzzy-based customer response prediction model for a day-ahead dynamic pricing system. *Sustainable Cities and Society*, 44, 265-274.
- Ali, O. A. M., Ali, A. Y., & Sumait, B. S. (2015). Comparison between the effects of different types of membership functions on fuzzy logic controller performance. *International Journal*, 76, 76-83.
- Alphan, H. (2003). Land- use change and urbanization of Adana, Turkey. *Land degradation & development*, 14(6), 575-586.

- Amoh-Gyimah, R., Saberi, M., & Sarvi, M. (2017). The effect of variations in spatial units on unobserved heterogeneity in macroscopic crash models. *Analytic methods in accident research*, 13, 28-51.
- Anderson, T. (2007). Comparison of spatial methods for measuring road accident ‘hotspots’: a case study of London. *Journal of Maps*, 3(1), 55-63.
- Anderson, T. K. (2009). Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 359-364.
- Arampatzis, G., Kiranoudis, C. T., Scaloubacas, P., & Assimacopoulos, D. (2004). A GIS-based decision support system for planning urban transportation policies. *European Journal of Operational Research*, 152(2), 465-475.
- Arslan, A., & Kaya, M. (2001). Determination of fuzzy logic membership functions using genetic algorithms. *Fuzzy sets and systems*, 118(2), 297-306.
- Attoh-Okine, N. O. (1999). Analysis of learning rate and momentum term in backpropagation neural network algorithm trained to predict pavement performance. *Advances in Engineering Software*, 30(4), 291-302.
- Aziz, H. A., Ukkusuri, S. V., & Hasan, S. (2013). Exploring the determinants of pedestrian–vehicle crash severity in New York City. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 1298-1309.
- Beale, H. D., Demuth, H. B., & Hagan, M. (1996). Neural network design. *Pws, Boston*.
- Bennet, S. A., & Yiannakoulis, N. (2015). Motor-vehicle collisions involving child pedestrians at intersection and mid-block locations. *Accident Analysis & Prevention*, 78, 94-103.
- Bhat, C. R., Astroza, S., & Lavieri, P. S. (2017). A new spatial and flexible multivariate random-coefficients model for the analysis of pedestrian injury counts by severity level. *Analytic methods in accident research*, 16, 1-22.

- Blej, M., & Azizi, M. (2016). Comparison of Mamdani-type and Sugeno-type fuzzy inference systems for fuzzy real time scheduling. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(22), 11071-11075.
- Burrough, P. A., McDonnell, R., McDonnell, R. A., & Lloyd, C. D. (2015). *Principles of geographical information systems*: Oxford university press.
- Casado-Sanz, N., & Guirao, B. (2018). Analysis of the impact of population ageing and territorial factors on crosstown roads safety: the Spanish case study. *Transportation research procedia*, 33, 283-290.
- Casado-Sanz, N., Guirao, B., Lara Galera, A., & Attard, M. (2019). Investigating the Risk Factors Associated with the Severity of the Pedestrians Injured on Spanish Crosstown Roads. *Sustainability*, 11(19), 5194.
- Chen, S., Saeed, T. U., & Labi, S. (2017). Impact of road-surface condition on rural highway safety: A multivariate random parameters negative binomial approach. *Analytic methods in accident research*, 16, 75-89.
- Chong, M. M., Abraham, A., & Paprzycki, M. (2004). Traffic accident analysis using decision trees and neural networks. *arXiv preprint cs/0405050*.
- Church, R. L. (2002). Geographical information systems and location science. *Computers & Operations Research*, 29(6), 541-562.
- Clifton, K. J., Burnier, C. V., & Akar, G. (2009). Severity of injury resulting from pedestrian–vehicle crashes: What can we learn from examining the built environment? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(6), 425-436.
- Çelik, Ö., Teke, A., & Yıldırım, H. B. (2016). The optimized artificial neural network model with Levenberg–Marquardt algorithm for global solar radiation estimation in Eastern Mediterranean Region of Turkey. *Journal of cleaner production*, 116, 1-12.

- Dai, D., & Jaworski, D. (2016). Influence of built environment on pedestrian crashes: A network-based GIS analysis. *Applied geography*, 73, 53-61.
- de Oña, J., de Oña, R., & Calvo, F. J. (2012). A classification tree approach to identify key factors of transit service quality. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 11164-11171.
- de Oña, J., López, G., & Abellán, J. (2013). Extracting decision rules from police accident reports through decision trees. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 1151-1160.
- Delaney, J., & Van Niel, K. (1999). *Geographical information systems: an introduction*: Oxford University Press Oxford, UK.
- Diogenes, M. C., & Lindau, L. A. (2010). Evaluation of pedestrian safety at midblock crossings, Porto Alegre, Brazil. *Transportation research record*, 2193(1), 37-43.
- Doygun, H. (2005). Urban development in Adana, Turkey, and its environmental consequences. *International journal of environmental studies*, 62(4), 391-401.
- Eluru, N., Bhat, C. R., & Hensher, D. A. (2008). A mixed generalized ordered response model for examining pedestrian and bicyclist injury severity level in traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 40(3), 1033-1054.
- Epanechnikov, V. A. (1969). Non-parametric estimation of a multivariate probability density. *Theory of Probability & Its Applications*, 14(1), 153-158.
- Fridman, L., Rothman, L., Hagel, B., & Howard, A. (2018). PW 0821 The effect of lowering residential speed limits to 30 km/h on child pedestrian injuries in toronto, canada. *Injury Prevention*, 24(Suppl 2), A61.
- Gårder, P. E. (2004). The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine. *Accident Analysis & Prevention*, 36(4), 533-542.

- Gardner, M. W., & Dorling, S. (1998). Artificial neural networks (the multilayer perceptron)—a review of applications in the atmospheric sciences. *Atmospheric environment*, 32(14-15), 2627-2636.
- Gevrey, M., Dimopoulos, I., & Lek, S. (2003). Review and comparison of methods to study the contribution of variables in artificial neural network models. *Ecological modelling*, 160(3), 249-264.
- Ghose, M., Dikshit, A. K., & Sharma, S. (2006). A GIS based transportation model for solid waste disposal—A case study on Asansol municipality. *Waste management*, 26(11), 1287-1293.
- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., & Witten, I. H. (2009). The WEKA data mining software: an update. *ACM SIGKDD explorations newsletter*, 11(1), 10-18.
- Hamid, N. A., Nawi, N. M., Ghazali, R., Salleh, M. N. M., & Najib, M. (2011). Improvements of back propagation algorithm performance by adaptively changing gain, momentum and learning rate. *International Journal of New Computer Architectures and their Applications (IJNCAA)*, 1(4), 866-878.
- Hashimoto, S., Yoshiki, S., Saeki, R., Mimura, Y., Ando, R., & Nanba, S. (2016). Development and application of traffic accident density estimation models using kernel density estimation. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 3(3), 262-270.
- Hasseea, R. (2003). *A GIS based accident system for reducing road accidents*. Paper presented at the PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN TRANSPORT CONFERENCE (ETC) 2003 HELD 8-10 OCTOBER 2003, STRASBOURG, FRANCE.
- Haykin, S. (1994). *Neural networks: a comprehensive foundation*: Prentice Hall PTR.
- Haykin, S. (2010). *Neural Networks and Learning Machines*, 3/E: Pearson Education India.

- Hess, P. M., Moudon, A. V., & Matlick, J. M. (2004). Pedestrian safety and transit corridors. *Journal of Public Transportation*, 7(2), 5.
- Horner, M. W., & Grubestic, T. H. (2001). A GIS-based planning approach to locating urban rail terminals. *Transportation*, 28(1), 55-77.
- Hosseinpour, M., Yahaya, A. S., Ghadiri, S. M., & Prasetijo, J. (2013). Application of Adaptive Neuro-fuzzy Inference System for road accident prediction. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17(7), 1761-1772.
- Hssina, B., Merbouha, A., Ezzikouri, H., & Erritali, M. (2014). A comparative study of decision tree ID3 and C4. 5. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 4(2), 13-19.
- Hu, P. S., Wright, T., & Esteve, T. (1998). Traffic count estimates for short-term traffic monitoring sites: Simulation study. *Transportation research record*, 1625(1), 26-34.
- Iragavarapu, V., Lord, D., & Fitzpatrick, K. (2015). *Analysis of injury severity in pedestrian crashes using classification regression trees*. Retrieved from
- Ismail, K., Sayed, T., Saunier, N., & Lim, C. (2009). Automated analysis of pedestrian–vehicle conflicts using video data. *Transportation research record*, 2140(1), 44-54.
- Karlik, B., & Olgac, A. V. (2011). Performance analysis of various activation functions in generalized MLP architectures of neural networks. *International Journal of Artificial Intelligence and Expert Systems*, 1(4), 111-122.
- Kaur, A., & Kaur, A. (2012). Comparison of mamdani-type and sugeno-type fuzzy inference systems for air conditioning system. *International journal of soft computing and engineering*, 2(2), 323-325.

- Kaya, Ö., Tortum, A., Alemdar, K. D., & Çodur, M. Y. (2020). Site selection for EVCS in Istanbul by GIS and multi-criteria decision-making. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 80, 102271.
- KGM. (1997). *Karayolu Trafik Yönetmeliği*. Ankara: İç İşleri Bakanlığı Retrieved from <https://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.8182&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=Karayollar%C4%B1%20trafik%20y%C3%B6netmeli%C4%9Fi>
- KGM. (2015). *Trafik İşaretleri El Kitabı*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü
- Khalesian, M., Pahlavani, P., & Delavar, M. R. (2009). A GIS-based traffic control strategy planning at urban intersections. *IJCSNS*, 9(1), 166.
- Kim, J.-K., Kim, S., Ulfarsson, G. F., & Porrello, L. A. (2007). Bicyclist injury severities in bicycle–motor vehicle accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 39(2), 238-251.
- Klir, G., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic* (Vol. 4): Prentice hall New Jersey.
- Kumfer, W., Thomas, L., Sandt, L., & Lan, B. (2019). Midblock pedestrian crash predictions in a systemic, risk-based pedestrian safety process. *Transportation research record*, 0361198119847976.
- Larimian, T., Zarabadi, Z. S. S., & Sadeghi, A. (2013). Developing a fuzzy AHP model to evaluate environmental sustainability from the perspective of Secured by Design scheme—A case study. *Sustainable Cities and Society*, 7, 25-36.
- Li, D., Ranjitkar, P., Zhao, Y., Yi, H., & Rashidi, S. (2017). Analyzing pedestrian crash injury severity under different weather conditions. *Traffic injury prevention*, 18(4), 427-430.
- Liu, Y., Gebremeskel, S., De Smedt, F., Hoffmann, L., & Pfister, L. (2003). A diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modeling. *Journal of Hydrology*, 283(1-4), 91-106.

- Long, X., Guan, H., & Xia, W. (2011). Minor Accidents Prediction of Urban Road Segment Based on Road Characteristics. In *ICCTP 2011: Towards Sustainable Transportation Systems* (pp. 1888-1895).
- Ma, Z., Lu, X., Chien, S. I.-J., & Hu, D. (2018). Investigating factors influencing pedestrian injury severity at intersections. *Traffic injury prevention*, 19(2), 159-164.
- Mannan, M. S. (1999). Road accidents in metropolitan Dhaka, Bangladesh. *IATSS research*, 23(2).
- Manual, H. C. (2000). Transportation research board. *National Research Council, Washington, DC*, 113(10).
- Manual, H. C. (2010). Transportation Research Board of the National Academies. *Washington, DC*, 2010.
- Martinez, W. L., Martinez, A. R., Solka, J., & Martinez, A. (2010). *Exploratory data analysis with MATLAB*: Crc Press.
- Mehran, K. (2008). Takagi-sugeno fuzzy modeling for process control. *Industrial Automation, Robotics and Artificial Intelligence (EEE8005)*, 262.
- Meng, X.-h., Zheng, L., & Qin, G.-m. (2009). Traffic Accidents Prediction and Prominent Influencing Factors Analysis Based on Fuzzy Logic [J]. *Journal of transportation systems engineering and information Technology*, 2, 015.
- Mergia, W. Y., Eustace, D., Chimba, D., & Qumsiyeh, M. (2013). Exploring factors contributing to injury severity at freeway merging and diverging locations in Ohio. *Accident Analysis & Prevention*, 55, 202-210.
- Merlin, L. A., Guerra, E., & Dumbaugh, E. (2020). Crash risk, crash exposure, and the built environment: A conceptual review. *Accident Analysis & Prevention*, 134, 105244.

- Miranda-Moreno, L. F., Morency, P., & El-Geneidy, A. M. (2011). The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian–vehicle collision occurrence at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1624-1634.
- Mohamed, M. G., Saunier, N., Miranda-Moreno, L. F., & Ukkusuri, S. V. (2013). A clustering regression approach: A comprehensive injury severity analysis of pedestrian–vehicle crashes in New York, US and Montreal, Canada. *Safety science*, 54, 27-37.
- Mokhtarimousavi, S., Anderson, J. C., Azizinamini, A., & 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*.
- Molino, J. A., Kennedy, J. F., Johnson, P. L., Beuse, P. A., Emo, A. K., & Do, A. (2009). Pedestrian and bicyclist exposure to risk: Methodology for estimation in an urban environment. *Transportation research record*, 2140(1), 145-156.
- Montella, A., Aria, M., D'Ambrosio, A., & Mauriello, F. (2012). Analysis of powered two-wheeler crashes in Italy by classification trees and rules discovery. *Accident Analysis & Prevention*, 49, 58-72.
- Moudon, A. V., Lin, L., Jiao, J., Hurvitz, P., & Reeves, P. (2011). The risk of pedestrian injury and fatality in collisions with motor vehicles, a social ecological study of state routes and city streets in King County, Washington. *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), 11-24.
- Mukherjee, D., & Mitra, S. (2019). Impact of road infrastructure land use and traffic operational characteristics on pedestrian fatality risk: a case study of Kolkata, India. *Transportation in developing economies*, 5(2), 6.
- Mukherjee, D., & Mitra, S. (2020). Identification of Pedestrian Risk Factors Using Negative Binomial Model. *Transportation in developing economies*, 6(1), 4.

- Nath, S. S., Bolte, J. P., Ross, L. G., & Aguilar-Manjarrez, J. (2000). Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 23(1-3), 233-278.
- Obeng, K., & Rokonuzzaman, M. (2013). Pedestrian injury severity in automobile crashes.
- Odhiambo, F. O., & Orwa, G. O. (2017). Semi-stochastic mixture model for predicting the rate of road carnages in Kenya. *Advances in Physics Theories and Applications*, 62.
- Olszewski, P., Szagała, P., Wolański, M., & Zielińska, A. (2015). Pedestrian fatality risk in accidents at unsignalized zebra crosswalks in Poland. *Accident Analysis & Prevention*, 84, 83-91.
- Omid, M. (2011). Design of an expert system for sorting pistachio nuts through decision tree and fuzzy logic classifier. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 4339-4347.
- Pande, A., & Abdel-Aty, M. (2009). Market basket analysis of crash data from large jurisdictions and its potential as a decision support tool. *Safety science*, 47(1), 145-154.
- Pasanen, E. (1990). Driving speeds and pedestrian safety. *Publication of: Helsinki University, Finland*.
- Pitt, R., Guyer, B., Hsieh, C.-C., & Malek, M. (1990). The severity of pedestrian injuries in children: an analysis of the Pedestrian Injury Causation Study. *Accident Analysis & Prevention*, 22(6), 549-559.
- Pleerux, N. (2020). Geographic Information System-based Analysis to Identify the Spatiotemporal Patterns of Road Accidents in Sri Racha, Chon Buri. *CURRENT APPLIED SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 20(1), 59-70.
- Polat, K., & Güneş, S. (2009). A novel hybrid intelligent method based on C4. 5 decision tree classifier and one-against-all approach for multi-class classification problems. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 1587-1592.

- Pour-Rouholamin, M., & Zhou, H. (2016). Investigating the risk factors associated with pedestrian injury severity in Illinois. *Journal of safety research*, 57, 9-17.
- Pradhan, B., & Sameen, M. I. (2020). Effect of Roadside Features on Injury Severity of Traffic Accidents. In *Laser Scanning Systems in Highway and Safety Assessment* (pp. 77-86): Springer.
- Prasannakumar, V., Vijith, H., Charutha, R., & Geetha, N. (2011). Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 21, 317-325.
- Pyrialakou, V. D., Gkartzonikas, C., Gatlin, J. D., & Gkritza, K. (2020). Perceptions of safety on a shared road: Driving, cycling, or walking near an autonomous vehicle. *Journal of Safety Research*.
- Quinlan, J. R. (1986). Induction of decision trees. *Machine learning*, 1(1), 81-106.
- Quinlan, J. R. (1987). *Decision trees as probabilistic classifiers*. Paper presented at the Proceedings of the Fourth International Workshop on Machine Learning.
- Quinlan, J. R. (1988). An empirical comparison of genetic and decision-tree classifiers. In *Machine Learning Proceedings 1988* (pp. 135-141): Elsevier.
- Quinlan, J. R. (1996). Improved use of continuous attributes in C4. 5. *Journal of artificial intelligence research*, 4, 77-90.
- Raford, N., & Ragland, D. (2006). Pedestrian volume modeling for traffic safety and exposure analysis: The case of Boston, Massachusetts.
- Ravishankar, K. V. R., & Nair, P. M. (2018). Pedestrian risk analysis at uncontrolled midblock and unsignalised intersections. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 5(2), 137-147.

- Rosén, E., & Sander, U. (2009). Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 536-542.
- Rovšek, V., Batista, M., & Bogunović, B. (2017). Identifying the key risk factors of traffic accident injury severity on Slovenian roads using a non-parametric classification tree. *Transport*, 32(3), 272-281.
- Sakthivel, N., Sugumaran, V., & Nair, B. B. (2010). Comparison of decision tree-fuzzy and rough set-fuzzy methods for fault categorization of mono-block centrifugal pump. *Mechanical systems and signal processing*, 24(6), 1887-1906.
- Sameen, M. I., & Pradhan, B. (2017). Severity prediction of traffic accidents with recurrent neural networks. *Applied Sciences*, 7(6), 476.
- Santhosh, A., Sam, E., & Bindhu, B. (2020). Pedestrian Accident Prediction Modelling—A Case Study in Thiruvananthapuram City. In *Transportation Research* (pp. 637-645): Springer.
- Sathya, R., & Abraham, A. (2013). Comparison of supervised and unsupervised learning algorithms for pattern classification. *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, 2(2), 34-38.
- Scaini, C., Folch, A., Bolić, T., & Castelli, L. (2014). A GIS-based tool to support air traffic management during explosive volcanic eruptions. *Transportation research part C: emerging technologies*, 49, 19-31.
- Šenk, P., Ambros, J., Pokorný, P., & Striegler, R. (2012). Use of accident prediction models in identifying hazardous road locations. *Transactions on Transport Sciences*, 5(4), 223-232.
- Shah, S. A. R., Brijs, T., Ahmad, N., Pirdavani, A., Shen, Y., & Basheer, M. A. (2017). Road safety risk evaluation using gis-based data envelopment analysis—artificial neural networks approach. *Applied Sciences*, 7(9), 886.

- Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1996). Statistical analysis of accident severity on rural freeways. *Accident Analysis & Prevention*, 28(3), 391-401.
- Sheather, S. J., & Jones, M. C. (1991). A reliable data- based bandwidth selection method for kernel density estimation. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 53(3), 683-690.
- Sheel, S., Varshney, T., & Varshney, R. (2007). *Accelerated learning in MLP using adaptive learning rate with momentum coefficient*. Paper presented at the 2007 International Conference on Industrial and Information Systems.
- Shinar, D. (2012). Safety and mobility of vulnerable road users: Pedestrians, bicyclists, and motorcyclists. In: Elsevier.
- Sibi, P., Jones, S. A., & Siddarth, P. (2013). Analysis of different activation functions using back propagation neural networks. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 47(3), 1264-1268.
- Singh, G., Pal, M., Yadav, Y., & Singla, T. (2020). Deep neural network-based predictive modeling of road accidents. *Neural Computing and Applications*, 1-10.
- Sivanandam, S., Sumathi, S., & Deepa, S. (2007). *Introduction to fuzzy logic using MATLAB* (Vol. 1): Springer.
- Stipancic, J., Miranda-Moreno, L., Strauss, J., & Labbe, A. (2020). Pedestrian safety at signalized intersections: modelling spatial effects of exposure, geometry and signalization on a large urban network. *Accident Analysis & Prevention*, 134, 105265.
- Sun, M., Sun, X., & Shan, D. (2019). Pedestrian crash analysis with latent class clustering method. *Accident Analysis & Prevention*, 124, 50-57.
- Sze, N.-N., & Wong, S. (2007). Diagnostic analysis of the logistic model for pedestrian injury severity in traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1267-1278.

- Talaei, P. H. (2014). Multilayer perceptron with different training algorithms for streamflow forecasting. *Neural Computing and Applications*, 24(3-4), 695-703.
- Tavakoli Kashani, A., Shariat-Mohaymany, A., & Ranjbari, A. (2011). A data mining approach to identify key factors of traffic injury severity. *PROMET-Traffic&Transportation*, 23(1), 11-17.
- Thill, J.-C. (2000). *Geographic information systems in transportation research*: Pergamon New York.
- Ukkusuri, S., Miranda-Moreno, L. F., Ramadurai, G., & Isa-Tavarez, J. (2012). The role of built environment on pedestrian crash frequency. *Safety science*, 50(4), 1141-1151.
- Unal, M., Cilek, A., & Guner, E. D. (2019). Implementation of fuzzy, Simos and strengths, weaknesses, opportunities and threats analysis for municipal solid waste landfill site selection: Adana City case study. *Waste Management & Research*, 0734242X19893111.
- Vedaldi, A., & Lenc, K. (2015). *Matconvnet: Convolutional neural networks for matlab*. Paper presented at the Proceedings of the 23rd ACM international conference on Multimedia.
- Wang, C., Quddus, M. A., & Ison, S. G. (2011). Predicting accident frequency at their severity levels and its application in site ranking using a two-stage mixed multivariate model. *Accident Analysis & Prevention*, 43(6), 1979-1990.
- Wang, J., Lu, H., Sun, Z., & Wang, T. (2020). Exploring Factors Influencing Injury Severity of Vehicle At-fault Accidents: A Comparative Analysis of Passenger and Freight Vehicles. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1146.

- Xie, Z., & Yan, J. (2008). Kernel density estimation of traffic accidents in a network space. *Computers, environment and urban systems*, 32(5), 396-406.
- Xie, Z., & Yan, J. (2013). Detecting traffic accident clusters with network kernel density estimation and local spatial statistics: an integrated approach. *Journal of transport geography*, 31, 64-71.
- Yasmin, S., Eluru, N., Lee, J., & Abdel-Aty, M. (2016). Ordered fractional split approach for aggregate injury severity modeling. *Transportation research record*, 2583(1), 119-126.
- Yıldırım, H. B., Çelik, Ö., Teke, A., & Barutçu, B. (2018). Estimating daily Global solar radiation with graphical user interface in Eastern Mediterranean region of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1528-1537.
- Yu, H., & Wilamowski, B. M. (2011). Levenberg-marquardt training. *Industrial electronics handbook*, 5(12), 1.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- Zahabi, S. A. H., Strauss, J., Manaugh, K., & Miranda-Moreno, L. F. (2011). Estimating potential effect of speed limits, built environment, and other factors on severity of pedestrian and cyclist injuries in crashes. *Transportation research record*, 2247(1), 81-90.
- Zegeer, C. V., Opiela, K. S., Cynecki, M. J., & Fegan, J. C. (1985). *Pedestrian signalization alternatives*. Retrieved from
- Zeng, Q., Wen, H., Huang, H., & Abdel-Aty, M. (2017). A Bayesian spatial random parameters Tobit model for analyzing crash rates on roadway segments. *Accident Analysis & Prevention*, 100, 37-43.
- Zhang, Y., & Ye, Z. (2008). Short-term traffic flow forecasting using fuzzy logic system methods. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(3), 102-112.

- Zheng, W., Lee, D.-H., & Shi, Q. (2006). Short-term freeway traffic flow prediction: Bayesian combined neural network approach. *Journal of transportation engineering*, 132(2), 114-121.
- Zhong, M., & Hanson, B. L. (2009). GIS-based travel demand modeling for estimating traffic on low-class roads. *Transportation Planning and Technology*, 32(5), 423-439.
- Zhu, X., & Srinivasan, S. (2011). Modeling occupant-level injury severity: An application to large-truck crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 43(4), 1427-1437.



ÖZGEÇMİŞ

Burak Yiğit KATANALP, 22.10.1990 tarihinde Diyarbakır’da doğdu. İlköğretimini Elazığ Özel Harput Koleji’nde tamamladı. Lise eğitimini Elazığ Anadolu Lisesi’nde aldı. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2015-2016 yılları arasında Elazığ İnternal İnşaat firması bünyesinde saha mühendisi olarak çalıştı. 2016-2018 yılları arasında Karayolları 3.Bölge Müdürlüğü bünyesinde yol yapım kontrol mühendisi olarak danışmanlık hizmeti gerçekleştirdi. 2018 yılından itibaren Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. İyi derecede İngilizce ve Rusça dil bilgisine sahiptir.