

Tramvay Kaza Şiddetine Etki Eden Faktörlerin Çok Terimli Lojit Model Yöntemi ile
Araştırılması

Kadir Berkhan Akalın

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Raylı Sistemler Anabilim Dalı

Kasım 2016



Investigation of Factors Affecting Tram Accident Severity with Multinomial Logit
Model

Kadir Berkhan Akalın

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Rail Systems

November 2016

Tramvay Kaza Şiddetine Etki Eden Faktörlerin Çok Terimli Lojit Model Yöntemi ile
Araştırılması

Kadir Berkhan Akalın

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Raylı Sistemler Anabilim Dalı
Raylı Sistemler Yol Mühendisliği Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Şafak Bilgiç
İkinci Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Onur Tezcan

Kasım 2016

ONAY

Raylı Sistemler Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Kadir Berkhan Akalın'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Tramvay Kaza Şiddetine Etki Eden Faktörlerin Çok Terimli Lojit Model Yöntemi ile Araştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Şafak Bilgiç

İkinci Danışman : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Onur Tezcan

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Şafak Bilgiç

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Onur Tezcan

Üye : Doç. Dr. Murat Karacasu

Üye : Doç. Dr. Derviş Volkan Okur

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Canbaz

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Yrd. Doç. Dr. Şafak Bilgiç ve Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Onur Tezcan danışmanlığında hazırlamış olduğum “Tramvay Kaza Şiddetine Etki Eden Faktörlerin Çok Terimli Lojit Model Yöntemi ile Araştırılması” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.

18/11/2016

Kadir Berkhan Akalın

İmza

ÖZET

Kent içi raylı sistemlerin lastik tekerlekli sistemlerden daha fazla trafikten ve yayalarla etkileşimden korunmuş hatlara sahip olması nedeniyle oldukça güvenli sistemler oldukları bilinmektedir. Ayrıca raylı sistemlerin diğer sistemlere göre daha hızlı, sürdürülebilir, konforlu ve düzenli olduğu herkes tarafından kabul edilmiş bir gerçektir. Bunlar göz önünde bulundurulduğunda, kent içi raylı sistemler gün geçtikçe toplu taşımadaki önemini arttırmaktadır. Ancak karayolu araçları için yapılan kaza analizlerinin raylı sistemler için nadiren yapıldığı gözlenmiş ve bunun bir ihtiyaç olduğu düşünülmüştür. Bu nedenle, bu tez çalışması kapsamında kent içi raylı sistemlerden birisi olan tramvayların kaza verileri incelenerek, bu kazalara etki eden faktörlerin tespiti ve bu faktörlerin kaza şiddeti ile olan ilişkilerinin araştırması yapılmıştır. Kaza şiddeti, literatürde yaygın olarak kullanılan sınıflandırmaya bağlı olarak maddi hasarlı, yaralanmalı ve ölümlü olmak üzere üç farklı sınıfta incelenmiştir. Çalışma kapsamında kaza şiddetine etkisi olan çeşitli faktörlerin değişken olarak yer aldığı bir çok terimli lojit model tahmin edilmiştir. Her bir kaza şiddeti sınıfının fayda fonksiyonunda yer alan, istatistiksel olarak anlamlı katsayılar belirlenmiş ve bu katsayıların ait olduğu değişkenlerin etkisi yorumlanmıştır. Ayrıca, yolların bölünmüş olması, aydınlatma sorunun olmaması ve hat genişliklerinin tamamının dar veya normal olması gibi bazı senaryo analizleri yapılarak, kazalara neden olabilecek parametreler düzenlendiğinde, kaza şiddetlerindeki değişim incelenmiştir. Model tahmin sonuçlarına göre, özellikle yolun bölünmüşlük durumu, hat genişliği, kazaya karışan kişi sayısının artmasının kaza şiddeti üzerinde oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kentsel raylı sistem, tramvay, kaza analizi, çok terimli lojit model

SUMMARY

It is known that urban railway systems are quite safer than rubber-tyred systems due to having lines preserved from traffic and pedestrian interaction. Besides, it is a fact accepted by everybody that railway systems are faster, more sustainable, comfortable and reliable than other systems. When these facts are taken into consideration, railway systems are increasing their importance in public transportation day by day. However, accident analyses which are very common for road motor vehicles are rarely conducted for railway systems. It is thought that there is a gap in the literature for such studies. Therefore, in this thesis, factors affecting accidents and accident severity are investigated by examining tramway accident data. The selection of tramway in this study is due to its ever increasing popularity around the world. Accident severity is examined in three different classes by referring to the widely used classification in literature; accident involving death, injury and property damage. In this study, a multinomial logit model which includes various variables affecting accident severity is estimated. Statistically significant coefficients in the utility functions of each accident severity classes are specified and effects of the corresponding variables are interpreted. Moreover, changes in the accident severity are examined through a number of scenario analyses by manipulating accident causative parameters. The scenarios assume all roads to be divided, all lightings to be working and all rail gauges to be narrow or normal. According to the model results, it is found that dividedness condition of roads, rail gauge width and number of people involved in the accident are highly effective on the accident severity.

Keywords: Urban railway system, tramway, accident analysis, multinomial logit model

TEŞEKKÜR

Tez çalışma konumun belirlenmesi ve diğer çalışma safhalarında bana yardım eden danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Şafak BİLGİÇ ve tez çalışmamın her aşamasında bana en olmadık zamanlarını bile ayırıp, benimle her an ilgilenen ve moralimi en üst seviyede tutan ikinci danışmanım İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. H. Onur TEZCAN'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Tez çalışmamın aksamaması için her türlü maddi ve manevi fedakarlığı benden esirgemeyen babam Fatih AKALIN ve annem Fatma AKALIN'a saygı ve sevgilerimle...



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. VERİNİN VE ELDE EDİLDİĞİ TRAMVAY SİSTEMLERİNİN TANITILMASI	11
3.1. Verinin Elde Edildiği Tramvay Sistemlerinin Tanıtılması.....	11
3.1.1. ESTRAM – Eskişehir, Türkiye	11
3.1.2. BLACKPOOL TRAM – Blackpool, İngiltere.....	13
3.1.3. TRAMLINK – Kuzey Londra, İngiltere.....	14
3.1.4. METROLINK – Manchester, İngiltere	15
3.1.5. NET – Nottingham, İngiltere.....	16
3.1.6. SUPERTRAM – Sheffield, İngiltere	18
3.1.7. EDINBURGH TRAMS – Edinburgh, İskoçya	20
3.2. Verinin Tanıtılması.....	21
4. YÖNTEM	34
4.1. Kesikli Tercih Modelleri	34
4.1.1. Fayda tabanlı tercih teorisi	35
4.1.2. İkili lojit model	38
4.1.3. Çok terimli lojit model	39
4.1.4. Katsayıların tahmin yöntemi	42
4.1.5. Model performans testleri.....	43
<u>4.1.5.1. Model parametrelerinin işaretlerinin incelenmesi</u>	43
<u>4.1.5.2. t-istatistiği</u>	43
<u>4.1.5.3. Ki-kare istatistiği</u>	43

4.1.5.4. Uyum iyiliği testi	44
4.1.6. Model tasarımı	45
5. TRAMVAY KAZALARININ ŞİDDETİNE ETKİYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ	47
5.1. Kaza Verisinin Çok Terimli Lojit Modellenmesi	47
5.2. Açıklayıcı İstatistikler	51
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	52
6.1. Model Tahmin Sonuçları	52
6.2. Senaryo Uygulaması	55
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR DİZİNİ	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Heinrich Domino Teorisi.....	3
2.2. Kim vd. (2010) tarafından oluşturulmuş kaza nedensellik modellerinden İBİKM.....	5
2.3. İBİKM şeması üzerinden gösterilen yerel faktörler ile kaza sonucu arasında bir bağlantı olarak tez kapsamında yapılan ÇTL model kaza şiddeti analizi	10
3.1. ESTRAM işletim şeması	12
3.2. ESTRAM Bombardier Flexity Outlook	12
3.3. BLACKPOOL tramvay işletim şeması	13
3.4. BLACKPOOL Bombardier Flexity 2.....	13
3.5. TRAMLINK Bombardier Flexity Swift CR4000.....	14
3.6. TRAMLINK Stadler Rail Variobahn	15
3.7. TRAMLINK işletim şeması	15
3.8. METROLINK Bombardier Flexity Swift M5000.....	16
3.9. METROLINK işletim şeması.....	16
3.10. NET Bombardier Incentro AT6/5.....	17
3.11. NET Alstom Citadis 302	17
3.12. NET işletim şeması.....	18
3.13. SUPERTRAM Siemens Duewag Supertram.....	18
3.14. SUPERTRAM Vossloh Citylink Class 399	19
3.15. SUPERTRAM işletim şeması	19
3.16. EDINBURGH TRAMS CAF Urbos 3	20
3.17. EDINBURGH TRAMS işletim şeması	20
3.18. Eskişehir’de meydana gelen kazaların yoğunluk haritası	21
3.19. Eskişehir’de meydana gelen kazaların şiddetine göre sınıflandırılmış haritası.....	22
3.20. Eskişehir’de meydana gelen yaralanmalı ve ölümlü kazaların yoğunluk haritası.....	22

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.21. Eskişehir’de meydana gelen maddi hasarlı kazaların yoğunluk haritası	23
3.22. Sheffield’da meydana gelen kazaların yoğunluk haritası.....	23
3.23. Nottingham’da meydana gelen kazaların yoğunluk haritası	24
3.24. Manchester’da meydana gelen kazaların yoğunluk haritası.....	24
3.25. Blackpool’da meydana gelen kazaların yoğunluk haritası	25
3.26. Edinburgh’da meydana gelen kazaların yoğunluk haritası.....	25
3.27. Görsel sarı çizgi ayırıcı.....	30
3.28. Fiziksel beton bordür ayırıcı.....	30
3.29. Fiziksel esnek delinatör ayırıcı	31
3.30. Fiziksel metal çit ayırıcı	31
4.1. Rassal terimlerin varyans-kovaryans matrisi.....	41
4.2. R^2 ile ρ^2 arasındaki ilişkiyi gösteren grafik	44
6.1. Mevcut durum ve senaryolar için kazaların ölümlü olma olasılıklarındaki değişim ...	56
6.2. Mevcut durum ve senaryolar için kazaların yaralanmalı olma olasılıklarındaki değişim	57
6.3. Mevcut durum ve senaryolar için kazaların maddi hasarlı olma olasılıklarındaki değişim	57
6.4. Mevcut durum ve senaryo 1’in kaza şiddeti türlerinin olasılıklarının karşılaştırılması	58
6.5. Mevcut durum ve senaryo 2’nin kaza şiddeti türlerinin olasılıklarının karşılaştırılması	59
6.6. Mevcut durum ve senaryo 3’ün kaza şiddeti türlerinin olasılıklarının karşılaştırılması	60
6.7. Mevcut durum ve senaryo 4’ün kaza şiddeti türlerinin olasılıklarının karşılaştırılması	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Sistemlerin kapasite ve sefer aralıkları bazında karşılaştırılmış tablosu	2
2.1. Kaza frekansı analiz modelleri	8
2.2. Kaza şiddeti analiz modelleri	9
3.1. Hava durumuna göre kaza sayıları	26
3.2. Gün durumuna göre kaza sayıları	27
3.3. Kazaya karışan araç sayısı	27
3.4. Kazaya karışan kişi sayısı	28
3.5. Aydınlatma durumuna göre kaza sayıları	28
3.6. Kaza şekline göre kaza sayıları	29
3.7. Yol geometrisine göre kaza sayıları	32
3.8. Yol yüzeyinin durumuna göre kaza sayıları	32
5.1. Fayda fonksiyonu için hazırlanan değişkenlerin kodu, ismi ve açıklaması	48
5.2. Değişkenlerin Korelasyon matrisi	49
5.3. Değişkenlerin Kovaryans matrisi	50
5.4. Modelde kullanılan değişkenlere göre kaza sayıları	51
6.1. Model tahmin sonuçları	53
6.2. Gerçek durumla model tahmin sonucunun karşılaştırılması	55
6.3. Senaryo uygulaması sonucu kaza şiddeti türlerinin paylarındaki değişim	56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

ρ^2

Açıklama

(Ro kare) Sanal-R²

Kısaltmalar

ARACLI

Açıklama

Kazanın herhangi bir araçla çarpışma şeklinde olması durumunda 1, değilse 0 değerini alan kukla değişken

AYD

Kazanın olduğu yerde aydınlatma olması durumunda 1, olmaması durumunda 0 değerlerini alan kukla değişken

BLN

Kazanın bölünmüş yolda olması durumunda 1, değilse 0 değerini alan kukla değişken

BLNMM

Kazanın bölünmemiş yolda olması durumunda 1, değilse 0 değerini alan kukla değişken

ÇTL

Çok terimli lojit

DKAZA

Kazanın tramvay içinde olması durumunda 1, değilse 0 değerini alan kukla değişken

DNL

Kazanın dönel kavşakta olması durumunda 1, değilse 0 değerini alan kukla değişken

GUN

Kazanın gündüz meydana gelmesi durumunda 1, gece olması durumunda 0 değerlerini alan kukla değişken

HAT

Tramvay hattının 1435 mm (normal) hat olması durumunda 1, 1000 mm (dar) hat olması durumunda 0 değerini alan kukla değişken

HAVA

Havanın açık olması durumunda 1, yağışlı olması durumunda 0 değerini alan kukla değişken

İBİKM

İnsan bilgisinin işlenmesi kaza modeli

LL

Log-likelihood (Log-olabilirlik)

ML

Maximum likelihood (En büyük olabilirlik)

NARAC

Sayısal olarak kazaya karışan araç sayısı değişkeni

NKISI

Sayısal olarak kazaya karışan kişi sayısı değişkeni

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
TRGEN	Sayısal olarak tramvay aracının genişliğini metre cinsinden ifade eden değişken
TRUZ	Sayısal olarak tramvay aracının uzunluğunu metre cinsinden ifade eden değişken
YAYA	Kazanın yayaya çarpma şeklinde olması durumunda 1, değilse 0 değerini alan kukla değişken
YOGT	Yıllık ortalama günlük trafik
YUZEY	Yol yüzeyinin kuru olması durumunda 1, aksi durumlarda 0 değerini alan kukla değişken

1. GİRİŞ

Sürekli artan otomobil sahipliği gün geçtikçe trafik tıkanıklığının önüne geçilemez bir hal almasına neden olmaktadır. Bu taşıtların fosil yakıtlar kullandığı göz önüne alındığında sorunun yalnızca trafik sıklığı değil aynı zamanda çevresel olduğunu da söylemek mümkündür. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde artan kirlilik ve tıkanıklığa çözüm olarak toplu taşıma sistemlerinin kullanımı çözüm olarak gösterilmektedir. Hem temiz enerji kaynaklarını kullanması hem de kapasitelerinin ve konforunun diğer toplu taşıma sistemlerine göre daha yüksek olması sebebiyle kent içi raylı sistemler toplu taşımadaki önemini her geçen gün arttırmaktadır. Ayrıca raylı sistemler, lastik tekerlekli sistemlere göre trafikten ve yayalarla etkileşimden arındırılmış hatlara sahip olabilmeleri nedeniyle oldukça güvenli sistemlerdir. Kent içinde yüksek kapasiteli ve tamamen bağımsız hatlara sahip olan metro ve hafif raylı sistem en güvenli ve güvenilir olan sistemler olmasına karşın, bu sistemlerin yatırım ve işletme maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca bu sistemler diğer sistemler ve yayalarla etkileşime girmediğinden kent merkezlerinde kullanımı sorunludur. Bu nedenlerden dolayı gerek çevre ile uyumu gerekse düşük yarıçaplı dönemeçlerden dönebilme yetenekleri tramvayları, kent merkezleri için oldukça uygun sistemler olarak ön plana çıkarmaktadır.

Tramvay ilk defa 1776 yılında İngiltere’de kömür taşımacılığı için kullanılmışsa da yolcu taşımacılığında atla çekilen tipleri ilk kez 1832 yılında New York şehrinde kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye’de ilk kent içi raylı sistem girişimi İstanbul ilinde 1869 yılında kurulan Dersaadet Tramvay Şirketi ve Tünel Tesisleri’nin inşası ile yapılmıştır. İlk atlı tramvay ise 1871 yılında Azapkapı-Galata, Aksaray-Yedikule, Aksaray-Topkapı ve Eminönü-Aksaray hatlarında yolcu taşımacılığına başlamıştır. 1960 yılına kadar raylı sistemlerin kullanımı ve inşaatı artış göstermiştir. Ancak 1960’lı yılların başında tramvay seferleri durdurulmuş hatta hatlar sökülüştür. Bu dönemden sonra ise karayoluna ve lastik tekerlekli taşıtların kullanımına önem verilmeye başlanmıştır. Sürekli artan trafik sebebiyle 1980’li yıllarda yeniden raylı sistemlerin kullanımına dönülmeye başlanmıştır.

Günümüzde yine eskiden olduğu gibi, devamlı artan yolculuk talebine karşılık kent içi toplu taşımaya yönelme görülmektedir. Kapasite bakımından nostaljik tramvaylar saatlik

1200, cadde tramvayları saatlik 3000, hızlı tramvaylar saatlik 10000 yolcuya kadar taşıyabilmektedir. Tramvay sistemlerinde aralıklar 3 dakikaya kadar düşebilmektedir. Tramvaylar, lastik tekerlekli sistemlere göre arındırılmış yollarının daha fazla olması ve diğer taşıtlarla etkileşime geçtikleri kavşaklarda genellikle sinyalizasyon önceliği olması bakımından daha güvenli olduğu gibi dakiklik açısından da oldukça güvenilir sistemlerdir. Araç kapasiteleri, sefer aralıkları ve saatlik kapasite bilgileri diğer sistemlerle karşılaştırmalı olarak Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Sistemlerin kapasite ve sefer aralıkları bazında karşılaştırılmış tablosu

	Sistem Adı	Araç Kapasitesi (yolcu)	Sefer Aralığı (dakika)	Saatlik Kapasite (yolcu/saat/yön)
Lastik Tekerlekli Sistem	Dolmuş	4 – 10	≥ 10	24 – 60
	Minibüs	10 – 18	≥ 10	60 – 108
	Otobüs	50 – 200	≥ 10	300 – 1200
	Özel Otobüs Yolu	50 – 200	≥ 3	2000 – 4000
	Metrobüs	150 – 400	≥ 1	9000 – 24000
Raylı Sistem	Nostaljik Tramvay	50 – 100	≥ 5	600 – 1200
	Cadde Tramvayı	150 – 250	≥ 5	1800 – 3000
	Hızlı Tramvay	300 – 500	≥ 5	3600 – 10000
	Hafif Raylı Sistem	333 – 667	≥ 2	10000 – 20000
	Hafif Metro	667 – 1000	≥ 2	20000 – 30000
	Metro	≥ 1000	≥ 2	≥ 30000

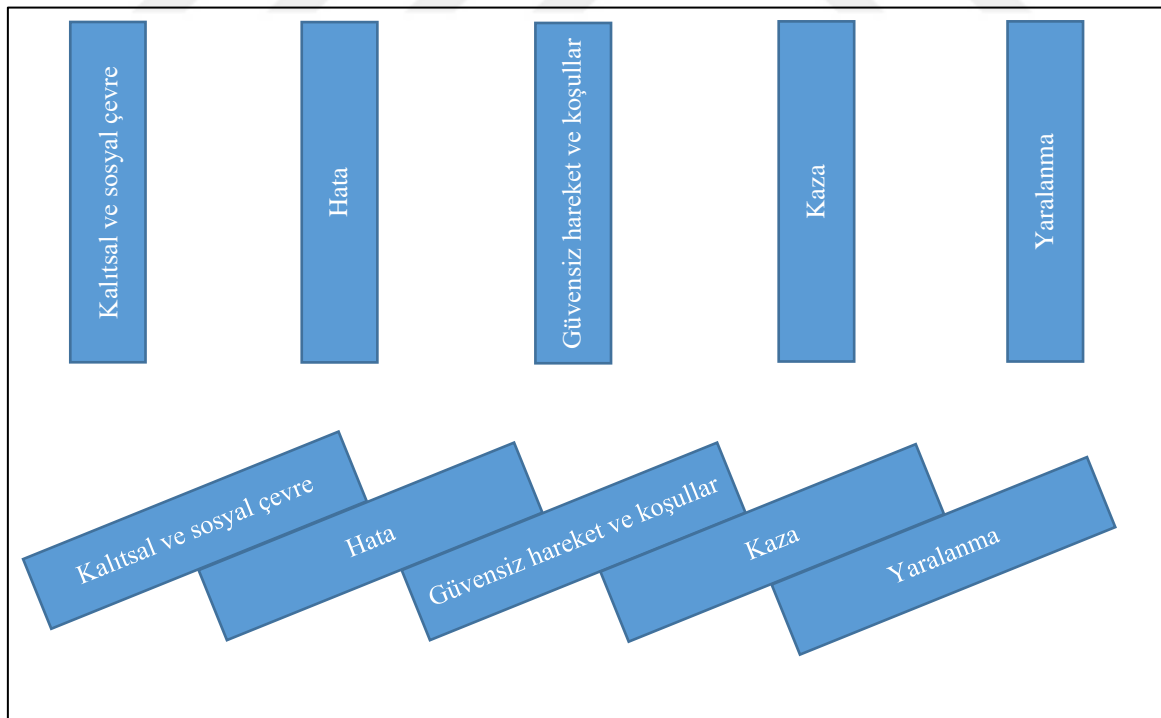
Literatüre bakıldığı zaman motorlu taşıtlar için sayısız kez yapılmış olan kaza nedensellik araştırmaları ve analizler kent içi raylı sistemlere gelindiğinde çok nadir bulunmaktadır. Bu nedenle kent içi raylı sistemlerin, düşük yarıçapları dönebilmeye yeteneği ve çevre ile uyum açısından, en esnek türü olan tramvaylar için kaza nedensellik modeline ihtiyaç olduğu düşünülmüş ve bu konu üzerine tez çalışması yapılmaya karar verilmiştir.

Bu çalışmada tramvay kazalarına etki eden faktörlerin tespiti için çok terimli lojit model (multinomial logit model) kurularak analizler yapılmıştır. Bu faktörler ile kaza şiddeti arasındaki ilişki araştırılmıştır. Yapılan analizlere ait sonuçlar altıncı bölümde anlatılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Trafik kazalarının nasıl ve neden meydana geldiği konusu, özellikle son 80 yılda çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Bunun sonucu olarak, literatürde oldukça fazla sayıda ve çeşitte kaza teorileri ve modelleri yer almaktadır (Katsakiori vd., 2009). Genel adıyla kaza neden sonuç modelleri, kazaları araştırmak ve önlemek amacıyla geliştirilmektedir.

Domino Teorisi olarak bilinen ilk kaza nedensellik modeli Heinrich (1931) tarafından geliştirilmiştir. Heinrich, kazaları beş domino taşının arka arkaya sıralanarak, birbirini düşürmesine benzeterek açıklamıştır. Buna göre, kazalar beş temel nedenin arka arkaya meydana gelmesi sonucunda oluşurlar ve buna kaza zinciri denir. Bu temel şartlardan bir tanesi gerçekleşmedikçe sıradaki de gerçekleşmeyecek ve dizi tamamlanmadığı için kaza meydana gelmeyecektir. Heinrich bu beş temel faktörün sırasıyla, kalıtsal ve sosyal çevre, kişinin hatası, güvensiz hareket ve koşullar, kaza ve sonunda yaralanma olduğunu belirtmiştir. Heinrich'in Domino Teorisine ait grafik bir gösterim Şekil 2.1'de verilmiştir.



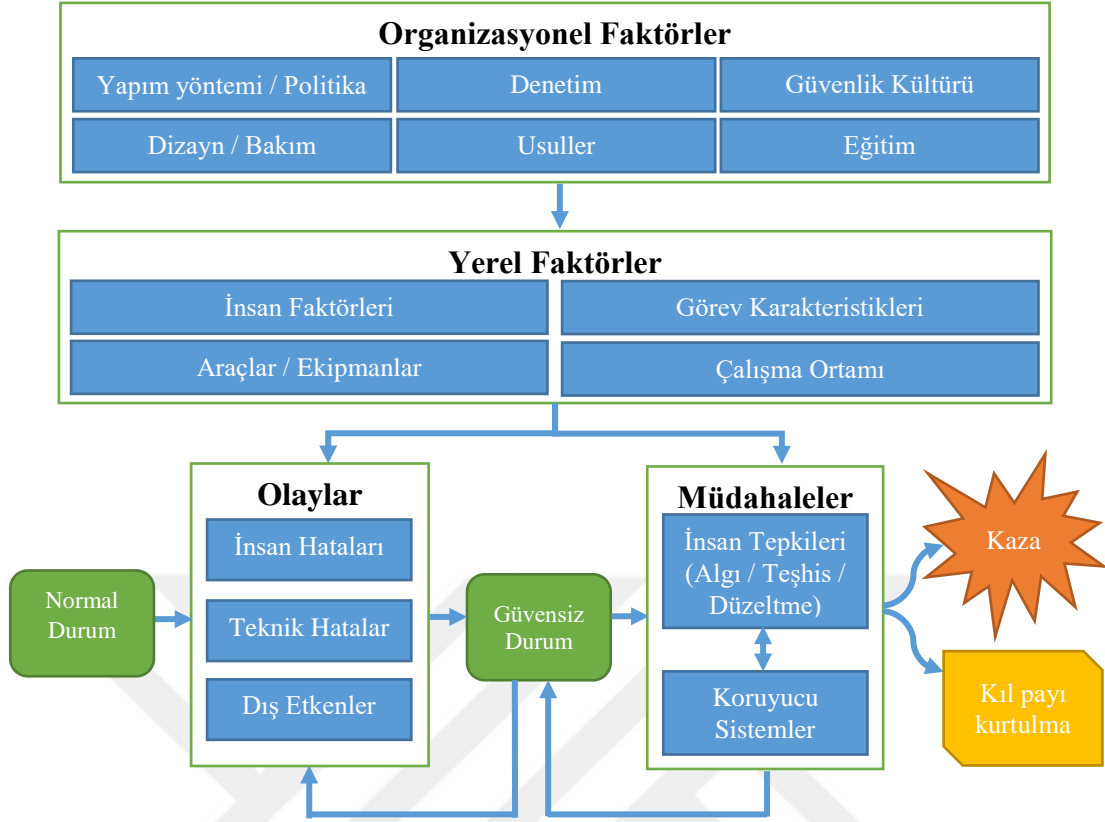
Şekil 2.1. Heinrich Domino Teorisi

Heinrich'in Domino Teorisi daha sonra bazı araştırmacılar (Weaver, 1971; Bird, 1974; Adams, 1976) tarafından geliştirilmiştir. 1990 yılında Reason tarafından daha sistematik ve etkili bir model olan Swiss Cheese modeli tanıtılmıştır. Bu model, organizasyon ve yönetim faktörlerini içermekte ve incelenen sistemin bütününe performansını açıklayabilmektedir. Bunlardan başka birçok araştırmacı tarafından oluşturulmuş kaza nedensellik modeline ulaşmak mümkündür.

Katsakiori'ye (2009) göre kaza modelleri üç ana grup halinde sınıflandırılabilir. Birincisi "ardışık kaza modelleri"dir. Bu model Heinrich'in Domino Teorisi'nde olduğu gibi kazaları, belirli bir sıra izleyen ardışık olaylar olarak ele almaktadır. İkincisi, insan davranışları ve hareketlerinin incelendiği, "insan bilgisinin işlenmesi kaza modelleri"dir. Üçüncüsü ise Reason'ın modelinde olduğu gibi sistemin bütününe ele alan "sistemik kaza modelleri"dir. Şekil 2.2.'de, Kim vd. (2010) tarafından yapılan raylı sistemlerdeki insan hatalarının bilgisayar destekli analizi çalışmasında oluşturulan insan bilgisinin işlenmesi kaza modeli (İBİKM) sınıfına giren modelin şematik görüntüsü verilmiştir.

Literatürde, bu çalışmada incelenen raylı sistem kazalarına neden olan unsurların farklı ülkelerde farklı açılardan incelendiği görülmektedir. Bunlardan Kim ve Yoon (2013) İngiltere'de 56'sı kaza, 17'si olay ve yedisi kıl payı kurtulma olarak kayda geçen 80 raylı sistem olay raporlarını kullanarak, raylı sistem kazalarına neden olan unsurları araştırdıkları çalışmalarında insan hataları, teknik arızalar ve dışarıdan gelen (üçüncü şahıs veya başka etkenler) etkilerin kazaların oluşumunda eşite yakın rol oynadığını belirtmişlerdir.

Sklet'e (2004) göre ise oluşturulan birçok kaza nedensellik modellerinin sonuçları incelendiğinde, kazaların neredeyse hiçbiri tek bir nedenden meydana gelmemektedir. Kazalar birbiriyle ilişkili olan veya olmayan birden fazla faktör sonucu meydana gelmektedir. Dolayısıyla bu karmaşıklığın kaza nedenlerinin soruşturulması sürecine yansıtılması ve araştırmacıları desteklemek için analitik tekniklerle desteklenmesi gerekmektedir.



Şekil 2.2. Kim vd. (2010) tarafından oluşturulmuş kaza nedensellik modellerinden İBİKM

Baysari vd. (2008) tarafından yapılan raylı sistem olaylarındaki insan faktörlerinin incelendiği çalışmada, meydana gelen olayların neredeyse yarısı arızalı donanımdan kaynaklandığı gösterilmiştir. Personelden kaynaklanan olaylar ise personelin fiziksel yorgunluk ve azalan dikkati nedeniyle olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak yetersiz donanım tasarımının insan hataları olarak nitelendirilen faktörlerin temel nedeni olduğu ileri sürülmektedir.

Oh vd. (2006) karayolu ve demiryolu kesişimleri için hazırladığı kaza önleme modelinde, sürücü, yol geometrisi ve işletme karakteristiklerinin de analizde yer alması gerektiğini söylemişlerdir. Buna istinaden, trafiğin tıkanıklık seviyesi ve sürücülerin yorgunluk durumunun kaza oluşumunda etkili olabileceği gibi yaş ve cinsiyetin de etkili olabileceğinden bahsedilmiştir.

Kim vd. (2013) Kaliforniya’da meydana gelen trafik kazaları için yaptığı lojit model analizinde, kazalara neden olan faktörlerden sürücü, çarpışma, araç, yol yüzeyi, çevre faktörlerini incelemişlerdir. Sürücü karakteristiklerinden yaş faktörünü inceleyen Kim vd.,

65 yaş üzeri sürücülerin ölümlü kazalara karışmalarının diğer yaş gruplarına göre daha yüksek ihtimal olduğunu söylemektedir. Çarpışma karakteristikleri için, emniyet kemeri kullanımının ölümlü kazaları %60, şiddetli kazaları %42 oranlarında azalttığı, alkol kullanımının ölümlü kazaları %73, şiddetli kazaları %32 oranında arttırdığı, cep telefonu ve hızın da yine ölümlü kaza olma olasılığının maddi hasarlı ve yaralanmalı kazalara göre daha fazla olduğu ifade edilmektedir. Araç karakteristiklerine bakıldığında, 11 yaşından daha yaşlı araçlarla yapılan kazaların diğer kazalara göre ölümlü sonuçlanma olasılığı daha yüksektir. Yol yüzeyinin durumu da kazalarda oldukça etkili bir faktördür. Yol yüzeyinin ıslak olması durumunun esas olarak kaza şiddetini arttırmaktan çok çarpışma riskinin artmasında etkili olduğu görülmüştür. Çevresel faktörler incelendiğinde, yaşlı sürücülerin yağışlı hava durumu gibi çevresel olumsuzluğun söz konusu olduğu durumlarda araç kullanmayı tercih etmediği gözlemlenmiştir. Aydınlatma durumu esas olarak kaza riskini arttıracak ancak azalan görüş mesafesi sürücülerin geç fren yapmasına ve manevra kabiliyetlerinin azalmasına neden olacağından kaza şiddetinin artmasına da neden olacaktır. Karanlıkta araç kullanmanın ölümlü veya şiddetli kaza olma olasılığını fazlaca arttırdığı görülmüştür.

Eluru vd. (2012) karayolu ve demiryolu kesişimlerinde meydana gelen kazalarla ilgili yaptıkları analizlerde, karlı ve yağmurlu hava durumunda sürücülerin daha dikkatli araç kullanmaları sebebiyle kaza şiddetinin diğer durumlara göre azaldığını söylemişlerdir. Meydana gelen kazalara bakıldığında, erkeklerin kadınlara göre daha az şiddetli kazalara karıştığı ortaya çıkmıştır. Kazaya karışan insanların yaşları arttıkça kazanın şiddetinin de arttığı gözlemlenmiştir. Gece meydana gelen kazaların, çok fazla sayıda ışıklı ve sesli uyarıcının olması ve sürücülerin gece daha yavaş araç kullanmaları sebebiyle gündüz meydana gelenlere göre daha az şiddetli olduğu ifade edilmiştir.

1996 yılında Shankar vd. tarafından Washington eyaletinin kırsal bölgesinde yapılan istatistiksel kaza şiddet analizinde, kazaların şiddetlerine etki eden faktörler araştırılmıştır. Yapılan analiz ve oluşturulan modele göre çıkan sonuçlar şu şekildedir: Güneş battıktan sonra yolda çalışan bir aydınlatma direği bulunmaması durumu maddi hasarlı kaza olma olasılığını arttırmaktadır. Islak ve buzlu yol yüzeyinin olması durumunda maddi hasarlı ve yaralanmalı kaza oluşma olasılığı artmaktadır. Hız sınırından daha yüksek hızlarda araç kullanımı yaralanmalı ve ölümlü kaza oluşma olasılığı oldukça fazla oranlarda

arttırmaktadır. Yatay dönemeçlerin sayısı ve sıklığı ile kaza oluşması ve şiddeti ile ilgili istatistiksel açıdan bir bağlantı olmadığı tespit edilmiştir. Buna neden olarak sürücülerin dönemeçlerde seyir hızlarını düşürmesi ve direksiyon hareketi yapabilmek için daha dikkatli olması gösterilmiştir.

Caliendo vd.'nin (2007) 1999 ve 2003 yılları arasında İtalya'da meydana gelen kaza verilerinden faydalanarak çok şeritli yollar için oluşturdukları kaza tahmin modelinde trafik akımı, yol geometrisi, görüş uzunluğu, yol yüzeyinin durumu ve yağış değişken olarak kullanılmıştır. Model sonuçlarına göre, yıllık ortalama günlük trafik (YOGT), aliyman (teğet) uzunluğu arttıkça kaza oluşması olasılığı artmaktadır. Yağış miktarı ve yol yüzeyinin durumunun ise kaza oluşumunda oldukça önemli faktörler olduğu tespit edilmiştir.

Yau (2004) sıralı lojit modelleme yöntemi kullanarak Hong Kong'daki trafik kazalarının şiddetine etkiyen risk faktörlerini incelediği çalışmasında, özel araç kullanıcılarının incelendiği bağımsız değişkenler olarak gün, saat, sürücü yaşı ve cinsiyeti, kaza yapan araç yaşı ve sokak aydınlatma durumunu ele almış ve bunların kaza şiddeti üzerindeki etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu tespit etmiştir. Kaza şiddetini ölümlü, ciddi yaralanma ve hafif kaza olmak üzere üç grupta incelemiş bunlara etkiyen faktörleri bulmaya çalışmıştır. Sürücü yaşı ve cinsiyetinin kaza şiddeti üzerinde oldukça güçlü bir etkisinin olduğunu, kadın ve orta yaşlı sürücülerin ölümlü ve ciddi yaralanmalı kazaya karışma olasılıklarının oldukça düşük olduğunu söylemiştir. Araçların yaşlarının artmasıyla ölümlü ve ciddi yaralanmalı kaza olma olasılığının arttığını belirtmiştir. Gün ve saatin de kaza oluşumu ve şiddeti üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu belirten Yau, hafif kazaların genellikle hafta içinde ve mesai saatlerinde meydana geldiğini söylemektedir. Araştırmacı, diğer iki önemli çevresel faktör olarak aydınlatma durumu ve hava durumunun, kaza şiddeti üzerinde oldukça büyük etkisi olduğunu belirtmiştir. Çalışmada aydınlatmanın zayıf olduğu ya da hafif yağışın olduğu yerlerde hafif kazanın olma olasılığının arttığı ifade edilmiştir.

Mannering ve Bhat (2014) tarafından yapılan kaza araştırmalarında analitik metotlar çalışmasında kaza frekans (Çizelge 2.1) ve şiddeti (Çizelge 2.2) ile ilgili oluşturulan modellerin listeleri kronolojik sırasıyla verilmiştir. Bu çalışmanın ileride yapılacak çalışmalara yol gösterici nitelikte olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 2.1. Kaza frekansını analiz modelleri*

Modelin Orijinal Adı	Modelin Türkçe Adı	Yapılan İlk Çalışma
Poisson regression model	Poisson regresyon modeli	Gustavsson ve Svensson (1976)
Negative binomial / Poisson–gamma models	Negatif iki terimli / Poisson-gamma modelleri	Maycock ve Hall (1984)
Duration models	Süre modelleri	Jovanis ve Chang (1989)
Bivariate / multivariate models	İki değişkenli / çok değişkenli modeller	Maher (1990)
Zero-inflated Poisson and negative binomial models	Sıfır değer ağırlıklı Poisson ve negatif iki terimli modelleri	Miaou (1994)
Random effects models, spatial and temporal correlation models	Rastgele etkiler modeli, mekansal ve zamansal ilişki modelleri	Johansson (1996)
Generalized estimating equation models	Genelleştirilmiş tahmin denklemi modelleri	Lord ve Persaud (2000)
Neural network, Bayesian Neural network, and Vector machine models	Sinir ağı, Bayes sinir ağı ve vektör makinesi modelleri	Abdelwahab ve Abdel-Aty (2001)
Hierarchical / multilevel models	Hiyerarşik / çok düzeyli modeller	Jones ve Jorgensen (2003)
Negative multinomial models	Negatif çok terimli modeller	Ulfarsson ve Shankar (2003)
Poisson-lognormal and Poisson–Weibull models	Poisson-lognormal ve Poisson-Weibull modelleri	Miaou vd. (2005)
Gamma model	Gamma modeli	Oh vd. (2006)
Conway–Maxwell–Poisson model	Conway–Maxwell–Poisson modeli	Lord vd. (2008)
Censored regression models	Durdurulmuş regresyon modelleri	Anastasopoulos vd. (2008)
Generalized additive models	Genelleştirilmiş toplanır model	Xie ve Zhang (2008)
Random parameters count models	Rastgele parametre sayım modelleri	Anastasopoulos ve Mannering (2009)
Finite-mixture / latent-class and Markov switching models	Sonlu birleşim / karakteristik sınıf ve Markov değiştirme modelleri	Malyshkina vd. (2009)
Negative binomial-Lindley model	Negatif iki değişkenli Lindley modeli	Lord ve Geedipally (2011)
Count model recast as a generalized ordered response system	Genelleştirilmiş sıralı tepki sistemi olarak yeniden biçimlendirilmiş sayım modeli	Castro vd. (2013)

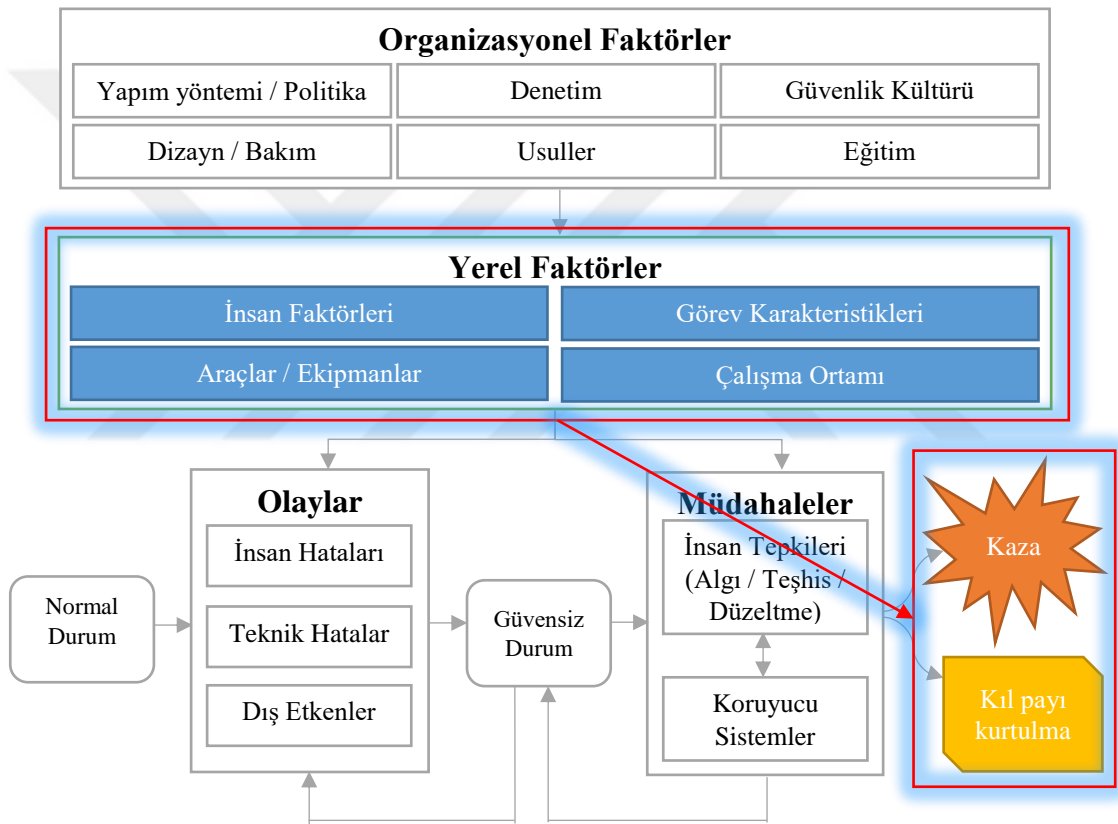
* Mannering ve Bhat'in (2014) çalışmasından düzenlenmiştir.

Çizelge 2.2. Kaza şiddeti analiz modelleri*

Modelin Orijinal Adı	Modelin Türkçe Adı	Yapılan İlk Çalışma
Binary logit / probit models	İkili lojit / probit modelleri	Shibata ve Fukuda (1994)
Multinomial logit models	Çok terimli lojit modeller	Shankar ve Mannering (1996)
Nested logit models	İçiçe lojit modeller	Shankar vd. (1996)
Sequential logit / probit models	Ardışık lojit / probit modeller	Saccomanno vd. (1996)
Heteroskedastic ordered logit / probit models	Ayrışmalı sıralı lojit / probit modelleri	O'Donnell ve Connor (1996)
Ordered logit / probit models	Sıralı lojit / probit modelleri	Khattak vd. (1998)
Log-linear models	Log-doğrusal modeller	Chen ve Jovanis (2000)
Generalized ordered outcome models	Genelleştirilmiş sıralı sonuç modelleri	Srinivasan (2002)
Simultaneous binary logit models	Eş zamanlı iki terimli lojit modeller	Ouyang vd. (2002)
Bivariate / multivariate binary probit models	İki değişkenli / çok değişkenli iki terimli probit modeller	Winston vd. (2006)
Bivariate / multivariate ordered probit models	İki değişkenli / çok değişkenli sıralı probit modeller	Yamamoto ve Shankar (2004)
Artificial neural networks	Yapay sinir ağları	Abdelwahab ve Abdel-Aty (2001)
Mixed joint binary ordered logit model	Karışık birleşik iki terimli sıralı lojit modeller	Eluru ve Bhat (2007)
Mixed logit (random parameters logit) model	Karışık lojit (rastgele parametre lojit) modeli	Milton vd. (2008)
Partial proportional odds model	Kısmi orantılı olasılık modeli	Wang ve Abdel-Aty (2008)
Finite-mixture / latent-class and Markov switching models	Sonlu birleşim / karakteristik sınıf ve Markov değiştirme modelleri	Malyshkina ve Mannering (2009)
Heterogeneous outcome model	Ayrışık sonuç modeli	Quddus vd. (2010)
Mixed ordered probit (random parameters probit) model	Karışık sıralı probit (rastgele parametre probit) modeli	Zoi vd. (2010)
Spatial and temporal correlations	Mekansal ve zamansal ilişkiler	Castro vd. (2013)

* Mannering ve Bhat'in (2014) çalışmasından düzenlenmiştir.

Bu tez çalışmasında, kentsel tramvay sistemlerinde meydana gelen kazaların şiddetine etki gösterdiği düşünülen yol geometrisi, kazaya karışan kişi sayısı, kaza tipi, hava durumu, yol aydınlatma durumu, gündüz veya geceyi ifade eden gün durumu, yol yüzeyinin durumu, kazaya karışan araç sayısı, hat (ekartman) genişliği, tramvay uzunluğu ve genişliği parametreleri kullanılarak çok terimli lojit (ÇTL) model oluşturularak analizler yapılmıştır. Yapılan bu çalışmanın kaza nedensellik modellerindeki yeri Kim vd. (2010) tarafından İBİKM şemasına göre, yerel faktörler ile kaza sonucu arasında bir bağlantı olarak ifade edilebilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. İBİKM şeması üzerinden gösterilen yerel faktörler ile kaza sonucu arasında bir bağlantı olarak tez kapsamında yapılan ÇTL model kaza şiddeti analizi.

3. VERİNİN VE ELDE EDİLDİĞİ TRAMVAY SİSTEMLERİNİN TANITILMASI

Bu tez çalışması kapsamında oluşturulan modellerde kullanılan veriler Eskişehir ESTRAM, Blackpool BLACKPOOL TRAM, Kuzey Londra TRAMLINK, Manchester METROLINK, Nottingham NET, Sheffield SUPERTRAM, Edinburgh EDINBURGH TRAMS tramvay sistemlerinde meydana gelen kazalardan rapor edilen bilgiler kullanılarak oluşturulmuştur. Türkiye’den Antalya, Bursa, Gaziantep, İstanbul, Kayseri, Konya ve Samsun illeri için de tramvay kaza verilerine ulaşılmaya çalışılmış ancak temin edilememiştir.

3.1. Verinin Elde Edildiği Tramvay Sistemlerinin Tanıtılması

3.1.1. ESTRAM – Eskişehir, Türkiye

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi’nin 1999 yılında aldığı kararlar sonucunda, şehrin merkezi olan ve Çarşı olarak nitelendirilen İki Eylül Caddesi’nin sonu ile İsmet İnönü-1 Caddesi’nin başı olan bölgenin yayalaştırılması ve yalnızca cadde tramvayı ile ulaşım sağlanması üzerinde çalışmalar başlatmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, şehrin iki büyük üniversitesi olan Eskişehir Osmangazi Üniversitesi ve Anadolu Üniversitesi’nin ana yerleşkelerini, hastaneleri, bazı okul ve kamu kuruluşları ile otogar ve büyük alışveriş merkezlerini içine alan, Eskişehir’i Kuzeybatı-Güneydoğu ve Güneybatı-Kuzeydoğu yönlerinde çapraz olarak birleştiren tramvay sistemi 24 Aralık 2004 tarihinde açılmıştır. Bu proje Uluslararası Raylı Sistemler Birliği’nin 2004 yılı için Dünya Raylı Sistemler Ödülü’ne layık görülmüştür. ESTRAM, 28 Haziran 2007 tarihinde TS-EN ISO 9001:2000 ile belgelendirilmiştir.

2014 yılının Ağustos ayına kadar 10 yıl boyunca SSK-Otogar ve Osmangazi Üniversitesi-Opera arasında toplam uzunluğu 16 km olan iki hatta çalışan tramvay sistemi, bu tarihten sonra hizmete açılan ilave hatlar ile toplam uzunluğu 37 km olan yedi hatta hizmet vermeye başlamıştır (ESTRAM, 2016). Mevcut hatlara ait işletim şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. ESTRAM işletim şeması (Anonim, 2016 a)

ESTRAM hattında kullanılan ve en büyük hızları 70 km/sa olan Bombardier marka Flexity Outlook model tramvay araçlarının 2013 yılı verilerine göre ortalama işletme hızı 18 km/sa'dır. Toplam 33 adet olan tramvay araçlarının genişlikleri 2,30 m ve uzunlukları 29,50 m'dir. Üretici firma tarafından 58 oturan, 101 (4 yolcu/m²) ayakta yolcu olarak belirlenen kapasite, ESTRAM tarafından 58 oturan, 151 (6 yolcu/m²) ayakta yolcu olacak şekilde değiştirilmiştir. ESTRAM 2014 yılında günlük ortalama 824 sefer yapmış ve toplam 37.294.241 yolcu taşınmıştır. Sistem hat açıklığı 1000 mm olan oluklu raylar üzerinde çalışmaktadır. Tramvay aracına ait görsel Şekil 3.2'de verilmiştir.

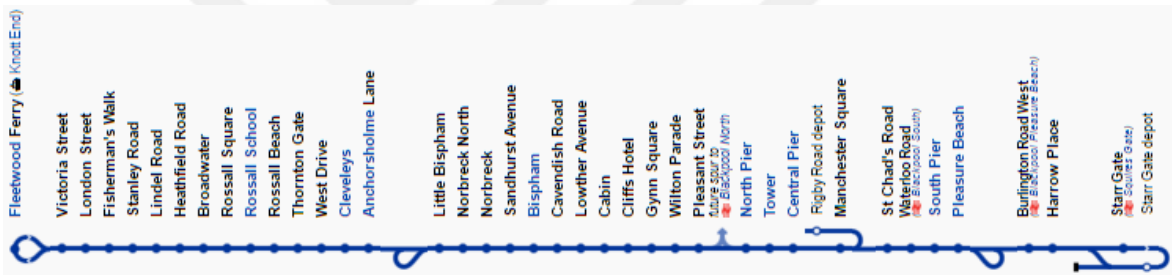


Şekil 3.2. ESTRAM Bombardier Flexity Outlook (Hadi Mousavi, 2016)

3.1.2. BLACKPOOL TRAM – Blackpool, İngiltere

Dünyadaki ilk elektrikli tramvay sistemlerinden biri olan Blackpool'un tarihi 1880'li yıllara kadar dayanmaktadır. 2012 yılında modern tramvay araçlarına geçmeden öncesine kadar nostaljik tramvaylar ile hizmet veren hattın işletim şeması Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Sistemdeki araçlar 2014 verilerine göre günlük ortalama 535 sefer yapmaktadır.

Oldukça çeşitli araç filosu olan sistemde, 2012 yılından itibaren kullanılan, uzunlukları 34,80 m ve genişlikleri 2,65 olan Bombardier marka Flexity 2 (Şekil 3.4) model araçların sayısı 16'dır. Bu araçlar en fazla 70 km/sa hızla işletilebilmektedir. Araç kapasiteleri 74 oturan, 148 ayakta olmak üzere 222 kişidir. Sistemin hat açıklığı 1435 mm ve toplam hat uzunluğu yaklaşık 18 km'dir (Anonim, 2015 a).



Şekil 3.3. Blackpool tramvay işletim şeması (Anonim, 2016 b)



Şekil 3.4. Blackpool Bombardier Flexity 2 (Chris Wharton, 2012)

3.1.3. TRAMLINK – Kuzey Londra, İngiltere

TRAMLINK sistemi 2000 yılında faaliyete başlamıştır. Ancak öncü sistemi 1959 yılında açılan Londra tramvayıdır. Mevcut dört hatta hizmet vermektedir. Filosunda 24 adet uzunlukları 30,10 m ve genişlikleri 2,65 m olan Bombardier Flexity Swift CR4000 model (Şekil 3.5), uzunlukları 32,37 m ve genişlikleri 2,65 m olan 10 adet Stadler Rail Variobahn model (Şekil 3.6) araçlar mevcuttur. Araç kapasiteleri sırasıyla, 70 oturan ve 138 ayakta olmak üzere 208, 72 oturan ve 134 ayakta olmak üzere 206 kişidir. Araçlar en fazla 80 km/sa hızlara ulaşabilmektedir. Hat açıklığı 1435 mm ve hat uzunluğu 28 km'dir. İşletim şeması Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Sistemin 2014 verilerine göre günlük ortalama sefer sayısı 1580'dir (Anonim, 2015 b).



Şekil 3.5. TRAMLINK Bombardier Flexity Swift CR4000 (Sunil060902, 2009)



Şekil 3.6. TRAMLINK Stadler Rail Variobahn (Sunil060902, 2009)



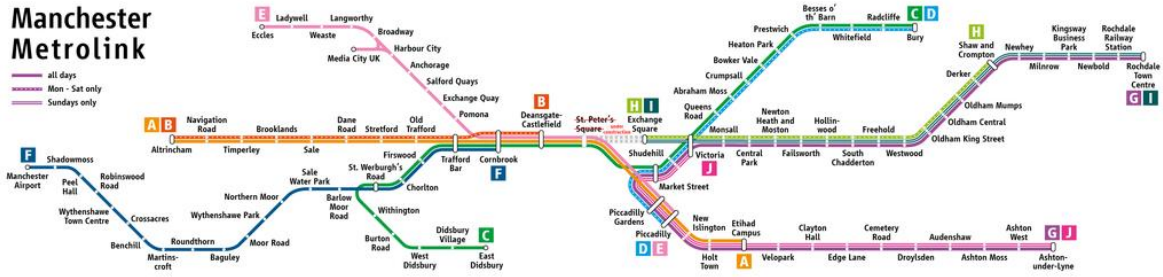
Şekil 3.7. TRAMLINK işletim şeması (Anonim, 2016 c)

3.1.4. METROLINK – Manchester, İngiltere

Manchester'da 1877 yılında başlayan atlı tramvay seferleri 1949 yılına kadar sürmüştür. Mevcut hattın temelleri ise 1966 yılında tamamlanan elektrikli tramvay sistemi ile birlikte atılmıştır. Sistem 2009 yılında hizmete sunulan 108 adet Bombardier Flexity Swift M5000 model (Şekil 3.8) modern tramvay araçları ile hizmete devam etmektedir. Araçların uzunlukları 28,4 metre, genişlikleri 2,65 m, en büyük hızları 80 km/sa'dir. Araç kapasitesi 60 oturan, 146 ayakta olmak üzere 206 kişidir. Tramvay hattı açıklığı 1435 mm ve uzunluğu 92 km'dir. İşletim şeması Şekil 3.9'da gösterilmiştir. 2014 yılına ait verilere göre sistemin günlük ortalama sefer sayısı 2374'tür (Anonim, 2015 c).



Şekil 3.8. METROLINK Bombardier Flexity Swift M5000 (Dan Sellers, 2011)



Şekil 3.9. METROLINK işletim şeması (Maximilian Dörrbecher, 2016)

3.1.5. NET – Nottingham, İngiltere

Nottingham Express Transit (NET) sistemi 9 Mart 2004 tarihinde hizmete açılmıştır. Tramvay sistemine ait filoda kapasiteleri 62 oturan, 129 ayakta olmak üzere toplam 191 kişi, en büyük hızları 80 km/sa, uzunlukları 33 m ve genişlikleri 2,40 m olan 15 adet Bombardier Incentro AT6/5 (Şekil 3.10) ile kapasiteleri 58 oturan, 144 ayakta olmak üzere toplam 202 kişi, en büyük hızları 70 km/sa, uzunlukları 32 m ve genişlikleri 2,40 m olan 22 adet Alstom Citadis 302 (Şekil 3.11) model araçlar bulunmaktadır. Sistemdeki araçlar 2014 verilerine göre günlük ortalama 653 sefer yapmaktadır. Sistemin hat açıklığı 1435 mm ve hat uzunluğu 32 km'dir (Anonim, 2015 d). İşletim şeması Şekil 3.12'dedir.



Şekil 3.10. NET Bombardier Incentro AT6/5 (Neil Clifton, 2004)



Şekil 3.11. NET Alstom Citadis 302 (Chris Wood, 2015)



Şekil 3.12. NET işletim şeması (Anonim, 2016 d)

3.1.6. SUPERTRAM – Sheffield, İngiltere

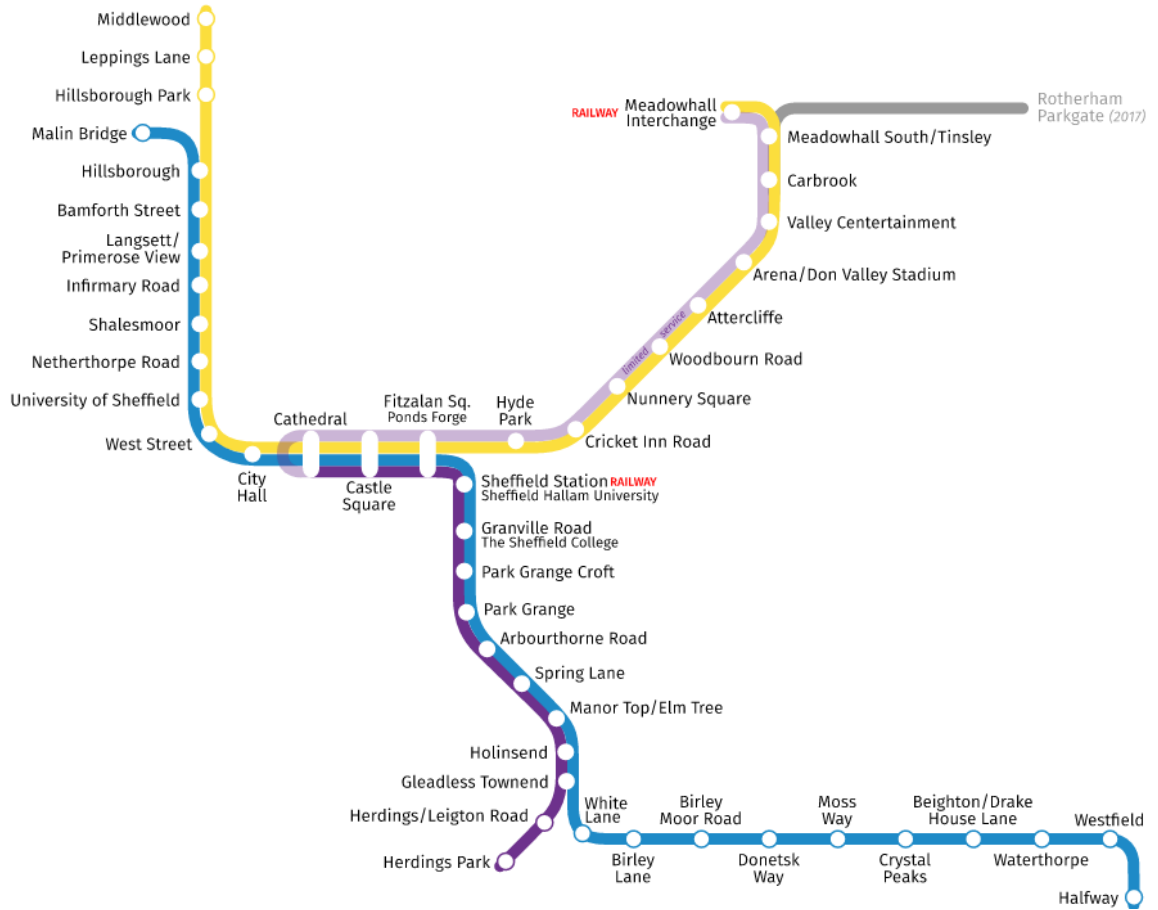
SUPERTRAM sistemi 1994 yılında Kuzey Yorkshire Supertram Limited ismiyle İngiltere'nin Sheffield bölgesinde hizmet vermeye başlamıştır. Filosunda kapasiteleri 89 oturan, 155 ayakta olmak üzere 244 kişi, uzunlukları 34,8 m ve genişlikleri 2,65 m olan 25 adet Siemens Duewag Supertram (Şekil 3.13) ile kapasiteleri 88 oturan 150 ayakta olmak üzere 238 kişi, uzunlukları 37,2 m ve genişlikleri 2,65 m olan 7 adet Vossloh Citylink Class 399 (Şekil 3.14) model araçlar bulunmaktadır. Araçların en fazla hızları sırasıyla 80 km/sa ve 110 km/sa'dır. Hat açıklığı 1435 mm ve hat uzunluğu 29 km'dir. İşletim şeması Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Sistemin 2014 verilerine göre ortalama günlük sefer sayısı 927'dir (Anonim, 2016 e).



Şekil 3.13. SUPERTRAM Siemens Duewag Supertram (Graham Hogg, 2012)



Şekil 3.14. SUPERTRAM Vossloh Citylink Class 399 (Vossloh, 2014)



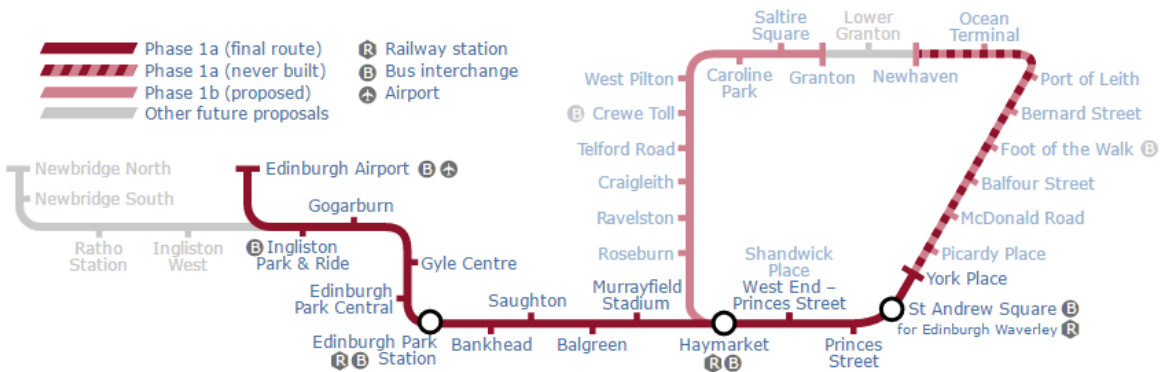
Şekil 3.15. SUPERTRAM işletim şeması (Anonim, 2016 f)

3.1.7. EDINBURGH TRAMS – Edinburgh, İskoçya

Sistem 2014 yılında hizmet vermeye başlamıştır. Filosunda 27 adet CAF Urbos 3 (Şekil 3.16) model araçlar bulunmaktadır. Araçların uzunlukları 42,8 m, genişlikleri 2,65 m ve en fazla hızları 70 km/sa'dır. Araç kapasitesi 78 oturan yolcu ve 170 ayakta yolcu olmak üzere toplam 248 kişidir. Hat açıklığı 1435 mm ve hat uzunluğu 14 km'dir (Anonim, 2016 g). İşletim şeması Şekil 3.17'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.16. EDINBURGH TRAMS CAF Urbos 3 (Kim Traynor, 2014)



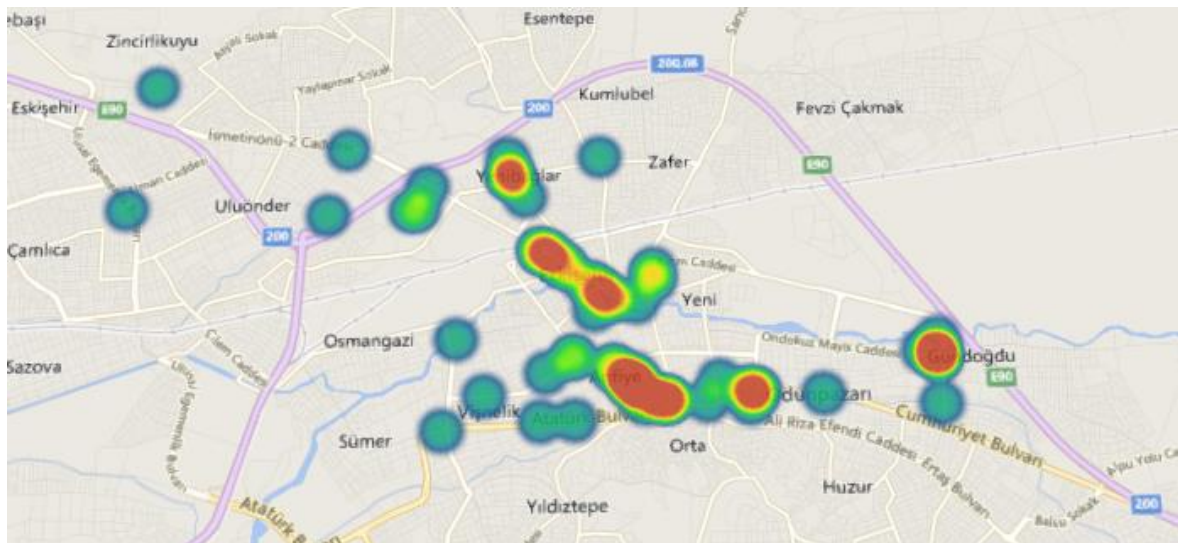
Şekil 3.17. EDINBURGH TRAMS işletim şeması (David Arthur, 2007)

3.2. Verinin Tanıtılması

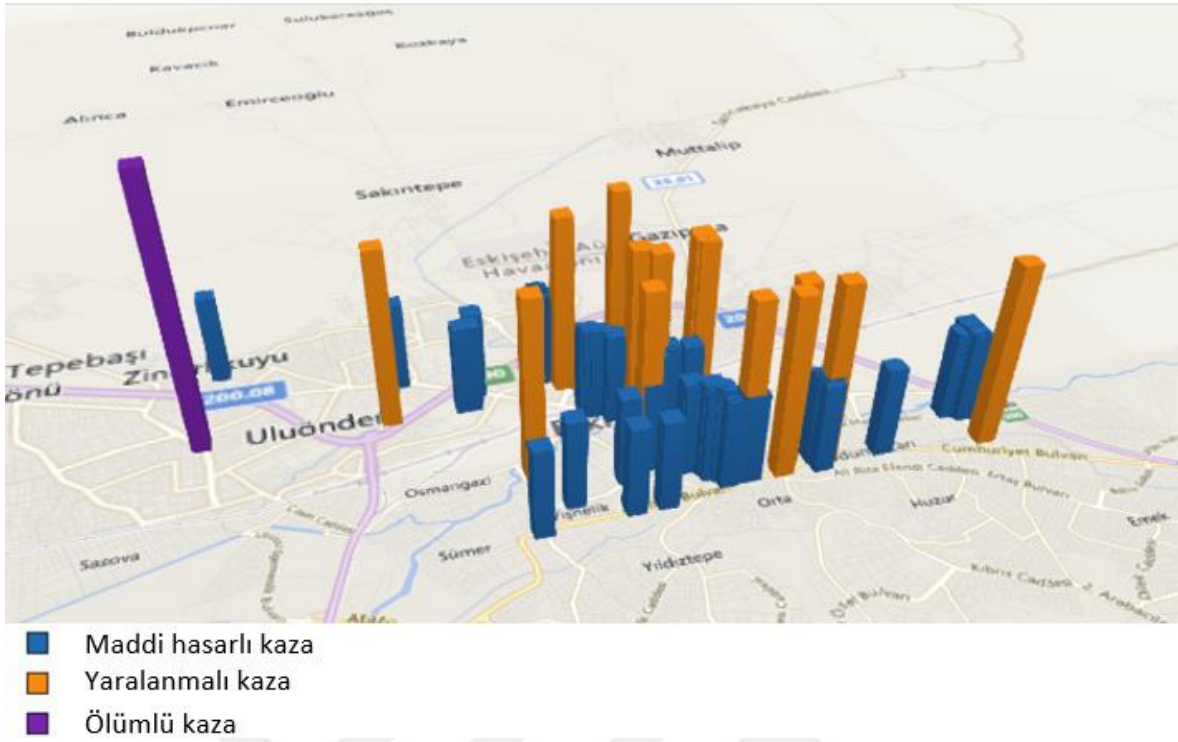
Kaza şiddetine etki eden faktörlerin araştırılması için oluşturulmak istenen modelde kullanmak amacıyla Türkiye ve Birleşik Krallık'tan tramvay kazaları ile ilgili veriler elde edilebilmiştir. Türkiye'den Eskişehir iline ait 2005 ile 2013 yılları arasında meydana gelen 264 kazaya ait veriye ulaşılabilmektedir. Birleşik Krallık ise üçüncü kişilerin kullanımına açık olarak hizmet veren, çevrimiçi kaza veri tabanını paylaşmaktadır. Bunun dışında veri paylaşımı yapmamaktadır. Paylaşılan bu verilerin tamamı incelenerek tramvay kazaları süzdürüldüğünde, 2009 ile 2014 arasındaki yıllar için ülke genelinde 138 veri elde edilebilmiştir. Eskişehir ili ve Birleşik Krallık'a ait şehirlerdeki veriler birleştirilerek 402 adet veri elde edilmiş ve bu veriler kullanılarak oluşturulan model yorumlanmıştır.

Çeşitli şehirlere ait veriler ve kaza literatürü incelendiğinde, kaza şiddetinin genellikle üç farklı sınıfta değerlendirildiği görülmektedir. Şiddetine göre ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı olarak yapılan bu sınıflandırma, tez çalışması kapsamında da benimsenmiştir.

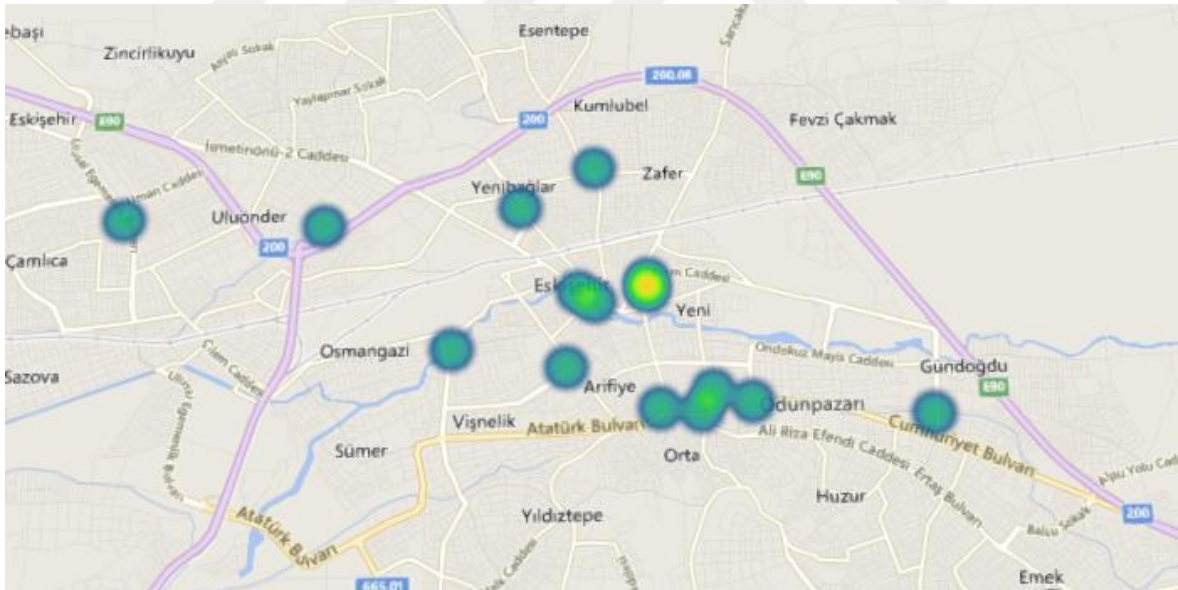
Elde edilen verilere göre oluşturulan Eskişehir iline ait tüm kazaların yoğunluk haritası Şekil 3.18'de, şiddetine göre sınıflandırılmış haritası Şekil 3.19'da, yaralanmalı ve ölümlü kazaların olduğu yoğunluk haritası Şekil 3.20'de ve yalnızca maddi hasarlı kazaların bulunduğu yoğunluk haritası ise Şekil 3.21'de verilmiştir.



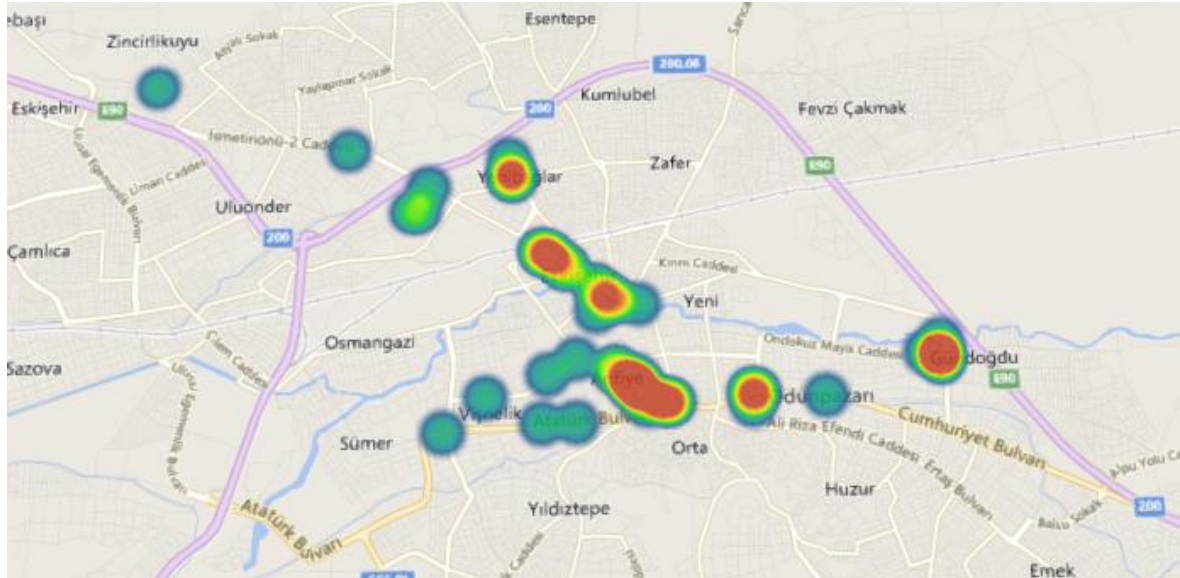
Şekil 3.18. Eskişehir'de meydana gelen kazaların yoğunluk haritası



Şekil 3.19. Eskişehir’de meydana gelen kazaların şiddetine göre sınıflandırılmış haritası

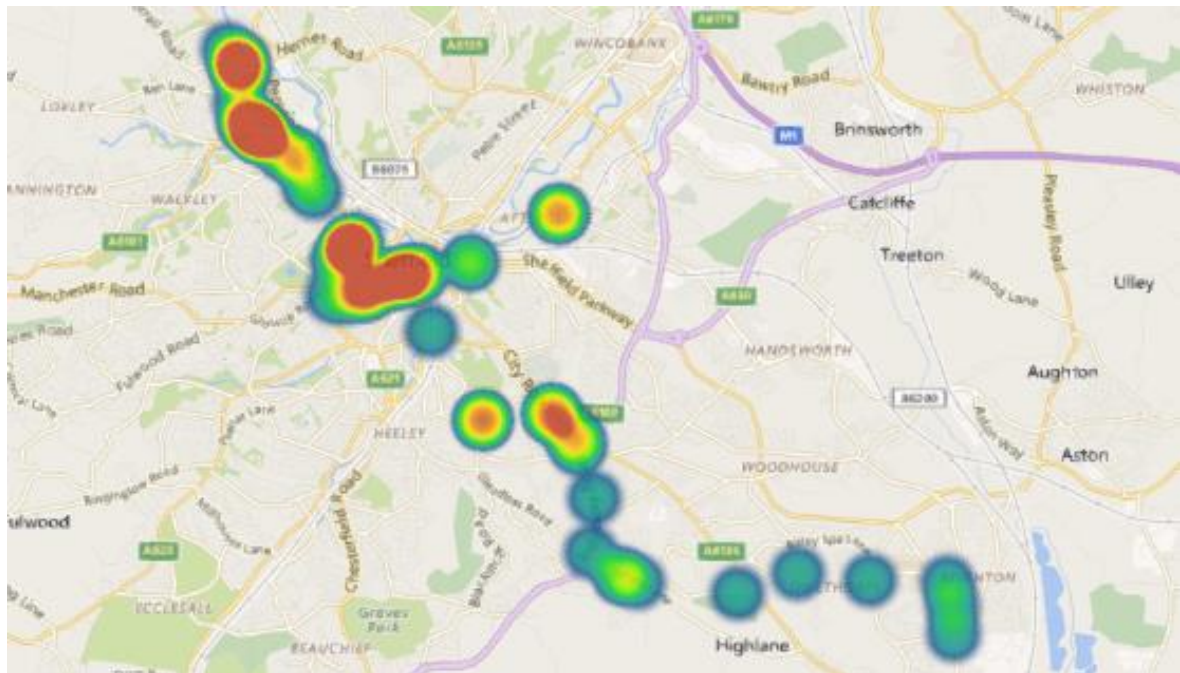


Şekil 3.20. Eskişehir’de meydana gelen yaralanmalı ve ölümlü kazaların yoğunluk haritası

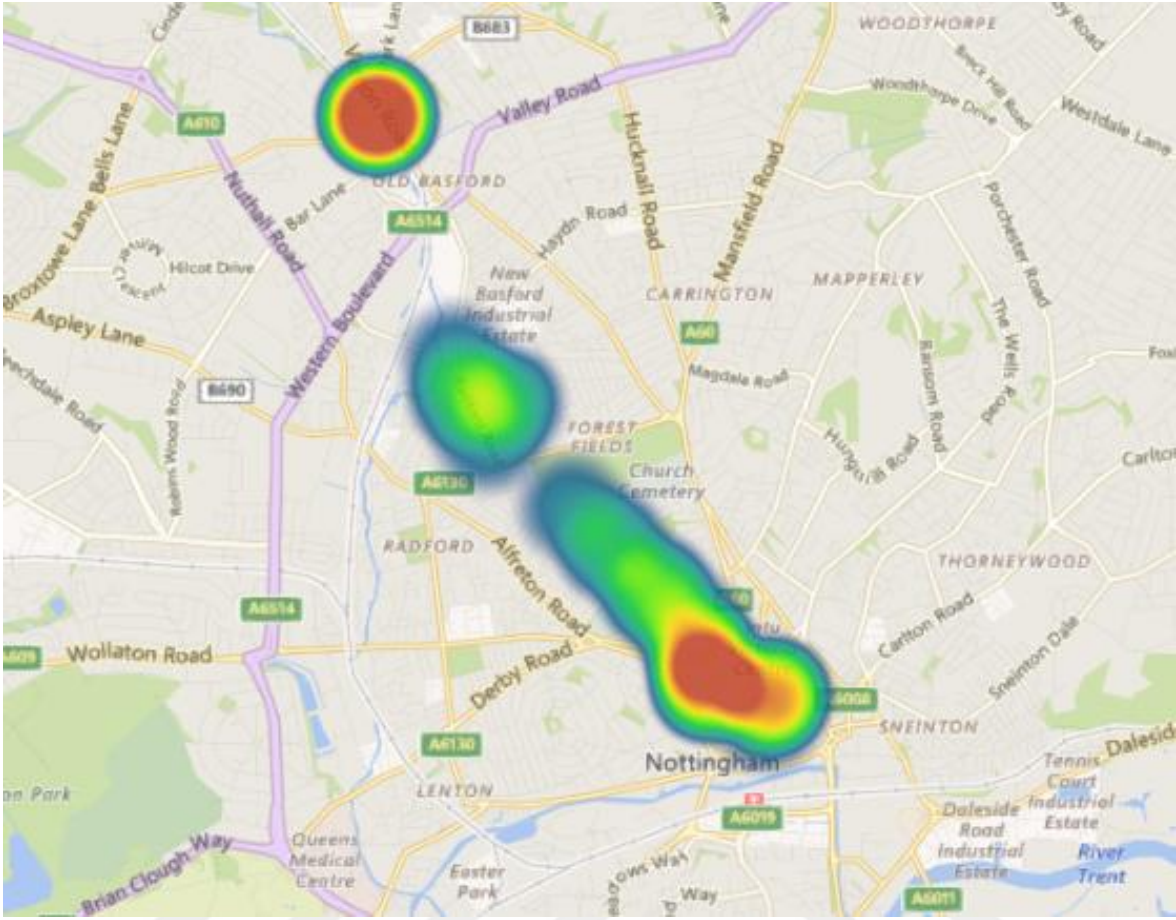


Şekil 3.21. Eskişehir’de meydana gelen maddi hasarlı kazaların yoğunluk haritası

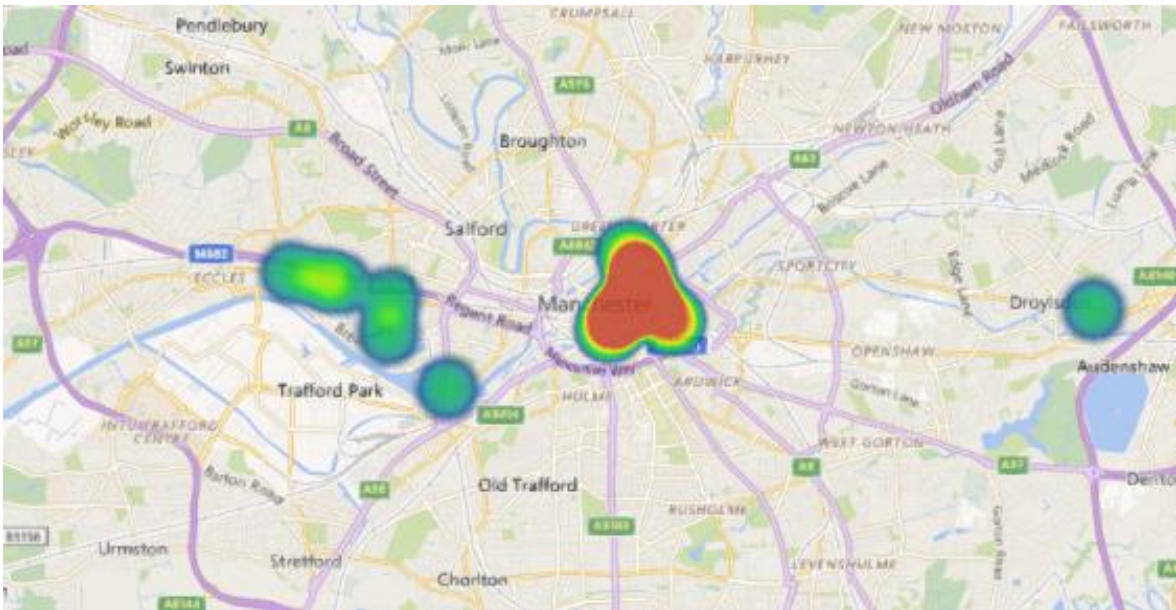
Birleşik Krallık’taki şehirlere ait kaza verilerinin bazılarında konum bilgisi paylaşılmamıştır. Yalnızca Sheffield, Nottingham, Manchester, Blackpool ve Edinburgh şehirlerinde meydana gelen kazaların konum bilgileri bulunmaktadır. Şekil 3.22’de Sheffield, Şekil 3.23’te Nottingham, Şekil 3.24’te Manchester, Şekil 3.25’te Blackpool ve Şekil 3.26’da Edinburgh için meydana gelen tüm kazaların yoğunluk haritaları verilmiştir.



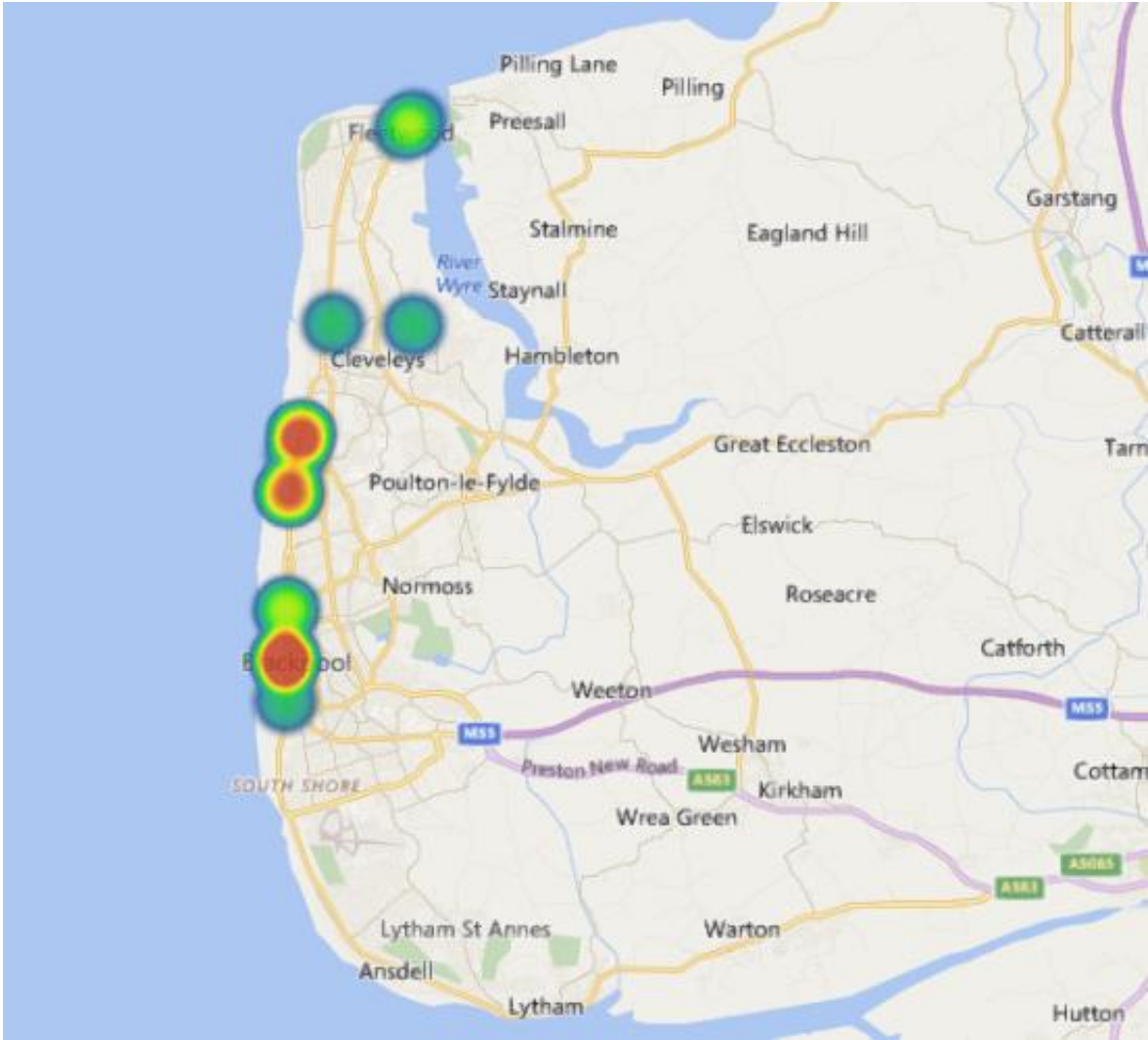
Şekil 3.22. Sheffield’da meydana gelen kazaların yoğunluk haritası



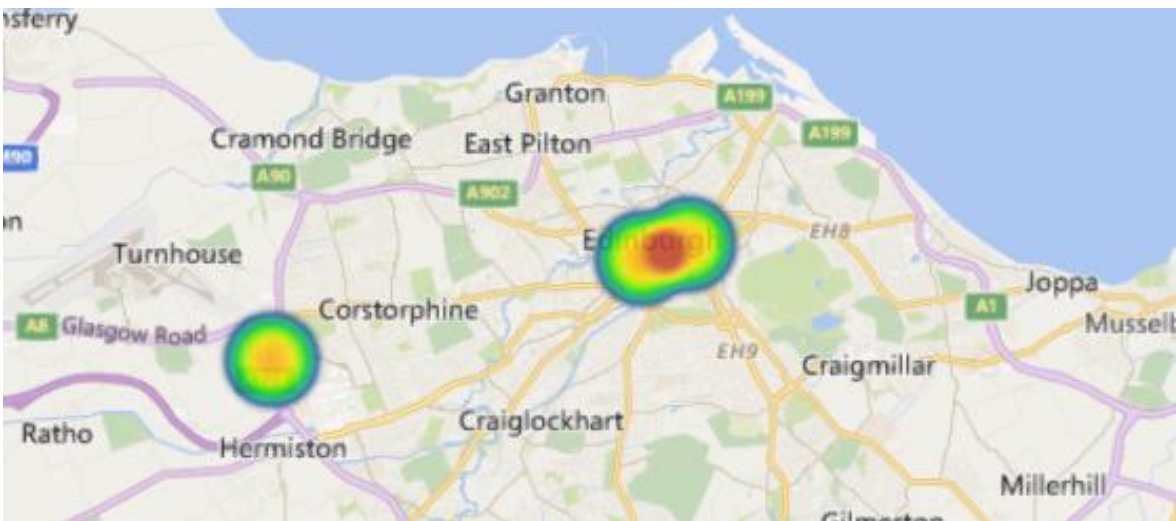
Şekil 3.23. Nottingham'da meydana gelen kazaların yoğunluk haritası



Şekil 3.24. Manchester'da meydana gelen kazaların yoğunluk haritası



Şekil 3.25. Blackpool’da meydana gelen kazaların yoğunluk haritası



Şekil 3.26. Edinburgh’da meydana gelen kazaların yoğunluk haritası

Şehirlere ait kaza yoğunluk haritaları incelendiğinde; kazaların Eskişehir, Sheffield ve Blackpool'da hat boyunca farklı noktalara yayılmış olduğu, Nottingham, Manchester ve Edinburgh'da ise görece daha az sayıda, birkaç noktada yoğunlaştığı görülmektedir.

Temin edilen verilerde, tüm şehirler için ortak olarak kaza şekli, kaza şiddeti, yol geometrisi, hava durumu, aydınlatma durumu, gün durumu, yol çalışması durumu, yol yüzeyinin durumu, kazaya karışan araç ve kişi sayıları, hat açıklığı, tramvay uzunluğu ve genişliği bilgileri bulunmaktadır.

Kazanın gerçekleştiği zamanki hava durumuna göre kaza sayıları Çizelge 3.1'de, gün durumuna göre kaza sayıları Çizelge 3.2'de, kazaya karışan araç ve kişi sayılarına göre kaza sayıları ise sırasıyla Çizelge 3.3 ve 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Hava durumuna göre kaza sayıları

TRAMVAY SİSTEMİ	HAVA DURUMU		TOPLAM
	AÇIK	YAĞIŞLI	
ESTRAM, ESKİŞEHİR	242	22	264
TRAMLINK, KUZHEY LONDRA	6	0	6
BLACKPOOL TRAM, BLACKPOOL	12	1	13
SUPERTRAM, SHEFFIELD	54	11	65
NET, NOTTHINGAM	24	0	24
METROLINK, MANCHESTER	25	2	27
EDINBURGH TRAMS, EDINBURGH	1	2	3
TOPLAM	364	38	402

Hava durumuna göre kaza sayıları incelendiğinde tüm kentlerde, kazaların ağırlıklı olarak açık havada meydana geldiği görülmektedir (Tüm kazaların %90,6'sı). Bunun sebebi olarak yağışlı havalarda sürücülerin daha dikkatli davranması gösterilebilir.

Çizelge 3.2. Gün durumuna göre kaza sayıları

TRAMVAY SİSTEMİ	GÜN DURUMU		TOPLAM
	GÜNDÜZ	GECE	
ESTRAM, ESKİŞEHİR	168	96	264
TRAMLINK, KUZEY LONDRA	5	1	6
BLACKPOOL TRAM, BLACKPOOL	8	5	13
SUPERTRAM, SHEFFIELD	53	12	65
NET, NOTTHINGAM	15	9	24
METROLINK, MANCHESTER	16	11	27
EDINBURGH TRAMS, EDINBURGH	2	1	3
TOPLAM	267	135	402

Gün durumuna göre kaza sayıları incelendiğinde, tüm şehirlerde gündüz daha fazla sayıda kaza meydana geldiği belirlenmiştir (Tüm kazaların %66,4'ü). Bu sonucun, yüksek olasılıkla, gece daha az sayıda sefer yapılması ile ilişkisi olduğu tahmin edilmektedir.

Çizelge 3.3. Kazaya karışan araç sayısı

TRAMVAY SİSTEMİ	ARAÇ SAYISI*				TOPLAM
	1	2	3	4+	
ESTRAM, ESKİŞEHİR	50	35	174	5	264
TRAMLINK, KUZEY LONDRA	0	3	3	0	6
BLACKPOOL TRAM, BLACKPOOL	4	7	2	0	13
SUPERTRAM, SHEFFIELD	11	44	10	0	65
NET, NOTTHINGAM	10	4	10	0	24
METROLINK, MANCHESTER	15	6	5	1	27
EDINBURGH TRAMS, EDINBURGH	1	2	0	0	3
TOPLAM	91	101	204	6	402

*tramvay dahil

Kazaya karışan araç sayısına göre kaza sayıları ilginç sonuçlar ortaya koymuştur. Eskişehir'deki kazaların %65,9'unda kazaya tramvay dışında iki araç daha karışırken, Birleşik Krallık kentlerinde bu oran çok daha küçüktür. Kazaya karışan araç sayısının Eskişehir'de daha yüksek olmasını, şehirdeki hattın karayolu ile diğer şehirlere göre daha fazla kesişmesine veya kentte daha fazla trafik tıkanıklığı yaşanmasına bağlamak mümkündür.

Çizelge 3.4. Kazaya karışan kişi sayısı

TRAMVAY SİSTEMİ	KİŞİ SAYISI*				TOPLAM
	1	2	3	4+	
ESTRAM, ESKİŞEHİR	244	16	2	2	264
TRAMLINK, KUZEY LONDRA	3	2	0	1	6
BLACKPOOL TRAM, BLACKPOOL	10	3	0	0	13
SUPERTRAM, SHEFFIELD	52	9	3	1	65
NET, NOTTHINGAM	20	1	1	2	24
METROLINK, MANCHESTER	22	3	1	1	27
EDINBURGH TRAMS, EDINBURGH	2	1	0	0	3
TOPLAM	353	35	7	7	402

*vatman hariç

Kazaya karışan kişi sayıları incelendiğinde, tüm şehirlerde meydana gelen kazaların %87,8'inin vatman hariç bir kişi ile gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Buna göre, araçla çarpışma şeklinde meydana gelen kazalarda, araçta genellikle bir kişinin bulunduğu söylenebilir.

Kazanın meydana geldiği bölgedeki aydınlatma durumu Çizelge 3.5'te gösterilmiştir. Burada gece aydınlatma var ve çalışıyorsa VAR, yok, çalışmıyor veya arızalı ise YOK olarak verilere işlenmiştir.

Çizelge 3.5. Aydınlatma durumuna göre kaza sayıları

TRAMVAY SİSTEMİ	AYDINLATMA DURUMU		TOPLAM
	VAR	YOK	
ESTRAM, ESKİŞEHİR	73	23	96
TRAMLINK, KUZEY LONDRA	1	0	1
BLACKPOOL TRAM, BLACKPOOL	4	1	5
SUPERTRAM, SHEFFIELD	11	1	12
NET, NOTTHINGAM	9	0	9
METROLINK, MANCHESTER	9	2	11
EDINBURGH TRAMS, EDINBURGH	1	0	1
TOPLAM	108	27	135

Aydınlatma durumuna göre kaza sayılarına bakıldığında, tüm şehirlerde, aydınlatmanın olması durumunda daha fazla kazanın meydana geldiği görülmektedir (Tüm kazanın %72,4'ü). Bu duruma, ortam karanlık olsa bile tramvayın iç ve dış aydınlatmasının

insanlar için yeterli uyarıcılar olması ve insanların karanlık ortamlarda daha dikkatli davranmaları sebep olarak sunulabilir.

Tramvay kazaları, yayaya çarpma, motorlu veya motorsuz araçla çarpışma ya da ani fren gibi nedenlerle meydana gelen tramvay içi kazalar şeklinde meydana gelmektedir. Kaza şekillerine göre kaza sayıları Çizelge 3.6'daki gibidir. Modeli oluştururken, motorsuz araçla çarpışma kazalarının sayısının oldukça az olması nedeniyle, motorlu ve motorsuz araçla çarpışmalar araçla çarpışma olarak birleştirilerek kullanılmıştır.

Çizelge 3.6. Kaza şekline göre kaza sayıları

TRAMVAY SİSTEMİ	KAZA ŞEKLİ				TOPLAM
	YAYAYA ÇARPMA	MOTORLU ARAÇLA ÇARPIŞMA	MOTORSUZ ARAÇLA ÇARPIŞMA	TRAMVAY İÇİ KAZA	
ESTRAM, ESKİŞEHİR	85	166	9	4	264
TRAMLINK, KUZEY LONDRA	0	5	1	0	6
BLACKPOOL TRAM, BLACKPOOL	4	7	2	0	13
SUPERTRAM, SHEFFIELD	11	21	0	33	65
NET, NOTTHINGAM	10	4	5	5	24
METROLINK, MANCHESTER	15	8	4	0	27
EDINBURGH TRAMS, EDINBURGH	1	0	1	1	3
TOPLAM	126	211	22	43	402

Kaza şekillerine göre kaza sayıları incelendiğinde tüm kazaların %31,3'ünün yayaya çarpma, %52,5'inin motorlu araçla çarpışma, %5,5'inin motorsuz araçla çarpışma, %10,7'sinin tramvay içi kaza şeklinde meydana geldiği görülmektedir.

Yolun geometrik özelliğine göre kaza sayıları Çizelge 3.7'de verilmiştir. Burada geometrik özellik olarak yolun bölünmüş, bölünmemiş veya dönel kavşakta olması durumu verilere işlenmiştir.

Tramvay hattı diğer yollardan sarı çizgi (Şekil 3.27) beton bordür (Şekil 3.28), esnek şerit ayırıcı delinatör (Şekil 3.29) ve metal çit (Şekil 3.30) ile ayrılmaktadır. Sarı çizgi yalnızca görsel bir uyarıcı olmaktan öteye gitmemekte ve fiziki açıdan bir ayırım söz konusu olmamaktadır. Bu açıdan sarı çizginin olduğu bölgeler bölünmemiş yol, diğer fiziki ayırıcıların olduğu bölgeler ise bölünmüş yol olarak nitelendirilmektedir.



Şekil 3.27. Görsel sarı çizgi ayırıcı



Şekil 3.28. Fiziksel beton bordür ayırıcı



Şekil 3.29. Fiziksel esnek delinatör ayırıcı



Şekil 3.30. Fiziksel metal çit ayırıcı

Çizelge 3.7. Yol geometrisine göre kaza sayıları

TRAMVAY SİSTEMİ	YOL GEOMETRİSİ			TOPLAM
	BÖLÜNÜMÜŞ YOL	BÖLÜNMEMİŞ YOL	DÖNEL KAVŞAK	
ESTRAM, ESKİŞEHİR	124	42	16	182
TRAMLINK, KUZEY LONDRA	0	5	1	6
BLACKPOOL TRAM, BLACKPOOL	3	10	0	13
SUPERTRAM, SHEFFIELD	12	52	1	65
NET, NOTTHINGAM	0	24	0	24
METROLINK, MANCHESTER	1	26	0	27
EDINBURGH TRAMS, EDINBURGH	1	2	0	3
TOPLAM	141	161	18	320

Yol geometrisine göre kaza sayıları incelendiğinde, toplam kazaların %20,4'ünün meydana geldikleri gölgenin geometrik durumuna ait verinin raporlara işlenmediği görülmektedir. Tüm kazaların %35,1'inin bölünmüş, %40,1'inin bölünmemiş yolda meydana geldiği görülürken, yalnızca %4,5'inin dönel kavşakta meydana geldiği görülmüştür.

Yol yüzeyinin durumu verileri ıslak veya kuru olarak ikiye ayrılmıştır. Burada ıslak verisinin içinde, yol yüzeyinin karlı, buzlu, çamurlu veya herhangi bir nedenle ıslanmış olma durumları da dahildir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Yol yüzeyinin durumuna göre kaza sayıları

TRAMVAY SİSTEMİ	YÜZEY DURUMU		TOPLAM
	KURU	ISLAK	
ESTRAM, ESKİŞEHİR	227	37	264
TRAMLINK, KUZEY LONDRA	6	0	6
BLACKPOOL TRAM, BLACKPOOL	12	1	13
SUPERTRAM, SHEFFIELD	45	20	65
NET, NOTTHINGAM	21	3	24
METROLINK, MANCHESTER	18	9	27
EDINBURGH TRAMS, EDINBURGH	1	2	3
TOPLAM	330	72	402

Yol yüzeyinin durumuna göre kaza sayıları incelendiğinde, tüm şehirlerde yol yüzeyinin kuru olması durumunda daha fazla kaza meydana geldiği belirlenmiştir (Tüm kazaların %82,1'i). Bu durumun, sürücülerin yolda ıslaklık gördüklerinde daha dikkatli ve yavaş araç kullanmaları ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.



4. YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, kent içi tramvay sistemlerinde meydana gelen kazalara neden olan faktörlerin incelenmesi için kesikli tercih analizi yöntemlerinden biri olan ÇTL model yaklaşımı kullanılmıştır. Kesikli tercih analizinde, bağımlı değişken sürekli değerler almamakta, iki veya daha fazla sayıda seçenek sınıfı arasından bir sınıfa düşmektedir. ÇTL modeli sınıf sayısının ikiden fazla olduğu durumda kullanılan bir modeldir. Benzeri hesaplamalarda sıkça kullanılan regresyon analizi, bağımlı değişkenin sürekli değerler alması veya sınıf sayısının yalnızca iki olması durumunda kullanılabilir. Sınıf sayısının ikiden fazla olduğu durumlarda, regresyon analizi ile sınıflar ancak ikili gruplar halinde değerlendirilebilmekte, tüm sınıfların bir arada incelenebilmesi ve yorumlanması mümkün olamamaktadır. Tez kapsamında kaza şiddetinin üç sınıfta incelendiği dikkate alındığında, ÇTL modelinin bu konu ile ilgili daha sağlıklı ve gerçekçi değerlendirmeler yapılmasına olanak tanıyacağı görülmektedir.

4.1. Kesikli Tercih Modelleri

Kesikli veya ayrık tercih, ekonomide, işgücü piyasasına girme ya da girmeme veya ulaşım yöntemleri arasında tercih gibi, iki veya daha fazla ayrık seçenekler arasındaki tercihleri içeren problemler ile ilgilidir. Tüketilen her ürünün sürekli bir değişken olduğu varsayılan standart tüketim modellerinden farklı olarak, ayrık tercihlerde seçeneklerin sürekliliği yoktur. Sürekli durumlarda, optimum değerler matematiksel yöntemler kullanılarak hesaplanabilir ve talep miktarı regresyon analizi ile modellenebilir. Diğer taraftan potansiyel sonuçları birbirinden bağımsız olan durumlar için ayrık tercih analizleri kullanılır. Regresyon analizi "ne kadar" sorusuna cevap verirken, ayrık tercih analizleri "hangisi" sorusuna cevap verir (Anonim, 2015 e).

Kesikli tercih modellerinin temel varsayımı Ortuzar (1990) tarafından, "Verilen seçeneklerden bir tanesinin bireysel olarak seçilme olasılığı, bireylerin sosyo-ekonomik özelliklerinin ve seçeneklerin özelliklerine bağlı olarak değişen bir fonksiyondur." şeklinde ifade edilmiştir.

Ulaştırma tercih modelleri ulaştırma planlamasının en önemli parçalarından birisidir. Bu modeller mevcut sistemler ve kullanıcıların davranışları ile ilgili bilgileri sağlayabilir, gelecek tahminleri ve senaryo çalışmalarında kullanılabilir.

Ulaştırma ile ilgili çalışmalarda özellikle türler arasındaki ilişkinin incelenmesi, alınacak kararların nasıl sonuç vereceğinin tahmin edilmesi, hangi durumlarda faydası en fazla olan bir yapı oluşturulabileceği gibi araştırmaları tercih modelleri kullanılarak yapmak mümkündür.

4.1.1. Fayda tabanlı tercih teorisi

Bireysel modellerin büyük bir çoğunluğu fayda en büyükleme (utility maximization) kuramına dayanmaktadır. Bu kurama göre, birey karşısındaki tercihler arasından yapacağı seçimi, kendisine olan en büyük faydayı sağlayacak olacak şekilde yapar (Ergün, 2008).

Ulaştırmada tercih modeli hazırlanırken, kullanıcının faydasını en büyükleme veya zararını en aza indirmeye çalıştığı varsayılır. Ancak seçenekler faydayı üretmezler; fayda seçeneklerin ve bireylerin sosyo-ekonomik özelliklerinden türer (Lancaster, 2006).

Kullanıcıların faydaları, fayda fonksiyonu adı verilen bir fonksiyonla tanımlanır. Fayda fonksiyonu genellikle doğrusal olarak ifade edilir (Denklem 4.1).

$$U_i = U_i(X, S) = \sum aX + bS \quad (4.1)$$

Burada,

U_i : Fayda

X : Seçeneklerin özellikleri

S : Bireylerin sosyo-ekonomik değişkenleri

a, b : Ağırlık faktörleri

Fayda tabanlı tercih teorisinde Deterministik (sabit) ve Stokastik (rastgele) olmak üzere iki tür yaklaşım vardır. Deterministik yaklaşım bireylerin, faydası en yüksek olan türü seçtikleri varsayımını yaparken (Denklem 4.2), Stokastik yaklaşım bireylerin faydası en yüksek olanı seçme olasılığının daha yüksek olduğunu söylemektedir (Denklem 4.3).

$$U_1 > U_2 \text{ ise } U_1 \text{ seçilir. (Deterministik yaklaşım)} \quad (4.2)$$

$$U_1 > U_2 \text{ ise } P_{r1} > P_{r2} \text{ (Stokastik yaklaşım)} \quad (4.3)$$

Burada,

U_i : Fayda

P_{ri} : İlgili tercihin seçilme olasılığı

Gerçek hayatta bireyler tercih yaparken her zaman rasyonel davranmamaktadır. Yani bireyler her zaman faydası en büyük olan tercihi seçmeyebilir. Bireyler çeşitli nedenlerle faydası daha düşük olan türü de tercih edebilmektedir. Bu nedenle Stokastik yaklaşım geliştirilmiştir. Stokastik yaklaşımda iki teorem mevcuttur. Birincisi artık kullanılmayan, Deterministik faydaların kullanıldığı sabit fayda teoremi, ikincisi, Stokastik faydaların kullanıldığı rastgele fayda teoremidir.

R. Duncan Luce'ye (1959) göre, bir seçeneğin seçilme olasılığı, o seçeneğin faydasının tüm tercihlerin faydalarının toplamına oranıdır (Denklem 4.4). Bu teoremden, faydalar yalnızca pozitif değer alabilirler (strict utility).

$$P(i | S) = \frac{v(i)}{\sum_{j \in S} v(j)} \quad (v > 0) \quad (4.4)$$

Burada,

v : Fayda (strict utility)

Luce'nin tercih teoremine göre, iki seçeneğin tercih edilme olasılıklarının oranı, özelliklerin varlığından veya diğer seçeneklerden bağımsızdır. Buna ilgisiz seçeneklerin bağımsızlığı (independence of irrelevant alternatives) adı verilmektedir. Diğer bir deyişle, rastgele fayda teoremindeki hata terimleri birbirinden bağımsızdır. Hata terimleri arasında herhangi bir ilişki olması durumunda, kullanılan model tahmin yaparken yanlış olasılıklar çıktısı verecektir. Bu nedenle seçenekler arasında belirgin bir fark olmalıdır. Aksi durumda seçeneklerin birbirinden bağımsız oldukları varsayımıyla modelde yanlış tahminler yapılabilir. Bu durumu Daniel L. McFadden (1974) kırmızı otobüs-mavi otobüs (red bus-blue bus) örneğiyle şu şekilde açıklamaktadır: İki tercihli bir seçim modelinde seçeneklerden biri özel otomobil diğeri ise otobüstür. İkisinin de seçilme olasılığının birbirine eşit yani 0,5 (%50) olduğu varsayalım. Mevcut otobüsler mavi renktedir. Bu tercih modeline yeni bir tür

olarak kırmızı otobüs ilave edilsin. Bu durumda üç elemanı olan bir tercih kümesi olacaktır. Her bir seçeneğin seçilme olasılığı ise 0,33 (%33) olacaktır. Sonuç olarak özel otomobilin seçilme olasılığı %33, mavi otobüsün %33 ve kırmızı otobüsün %33 olacaktır. Bu durumda özel otomobilin tercih edilme olasılığı düşerken, rengine bakılmazsa otobüslerin tercih edilme olasılığı %67'ye yükselecektir. Gerçek hayatta böyle bir durum mümkün değildir. Kimse rengi için bir otobüs yerine diğerini tercih etmeyecektir. Esas olarak sisteme kırmızı otobüsler eklenince, otobüslerin tercih edilme olasılığı %50 olarak kalmalıydı. Bu şekilde ihlaller yapılırsa tahminler yanlış sonuçlar verecektir.

Ayrık tercih modellerinde, bir tercihin faydasının sistematik ve rassal olmak üzere iki parçadan meydana geldiği kabul edilmektedir (Denklem 4.5).

$$U_i = V_i + \varepsilon_i \quad (4.5)$$

Burada,

U_i : Tercih i 'nin faydası

V_i : Faydanın sistematik bileşeni

ε_i : Faydanın rassal bileşeni (hata terimi)

Denklemden de gösterilen sistematik bileşen, tercihe etkisi olan ve ölçülebilen büyüklükleri ifade etmektedir. Rassal bileşen ise belirsiz olan durumların açıklanabilmesi amacıyla olasılık içeren bileşendir. Rassal bileşenin bir başka anlamı ise ölçülemeyen ancak tercihe etkisi olan ve ölçülemediği için de model dışında kalan etkileri (değişkenleri) ifade etmesidir. Bu terime hata terimi de denilmesinin nedeni budur.

Ayrık tercih modeli kullanılarak oluşturulan iki fayda fonksiyonu Denklem 4.6 ve 4.7'de verilmiştir.

$$U_1 = V_1 + \varepsilon_1 \quad (4.6)$$

$$U_2 = V_2 + \varepsilon_2 \quad (4.7)$$

Burada, $U_1 > U_2$ olması durumunda Denklem 4.8 ve 4.9'daki sonuca varılmaktadır.

$$V_1 + \varepsilon_1 > V_2 + \varepsilon_2 \quad (4.8)$$

$$V_1 - V_2 > \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \quad (4.9)$$

Ortuzar'a (1990) göre $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$ gibi bir çıkarma işlemi doğru değil ve hata terimlerinin varlığında deterministik bir sonuca varılamaz. Bu nedenle Denklem 4.10'da verilen seçilme olasılıklarının alınması daha doğru olacaktır.

$$\begin{aligned} P_r(1) &= P_r(U_1 > U_2) \\ P_r(1) &= P_r(V_1 + \varepsilon_1 > V_2 + \varepsilon_2) \\ P_r(1) &= P_r(V_1 - V_2 > \varepsilon_2 - \varepsilon_1) \end{aligned} \quad (4.10)$$

Burada, P_r değeri bir olasılık ifade ettiğinden dolayı 0 ile 1 arasında değer almaktadır.

Tercihlerin rassal terimlerinin (ε_i) varyanslarının bağımsız ve aynı dağılıma sahip oldukları kabul edilerek olasılık hesabı yapılır. Buna göre rassal terimlerin varyansları Tip I uç değer (Gumbel gibi) dağılımına uyuyorsa lojit model, normal dağılıma uyuyorsa probit model, rassal değerlerinin farkları ($\varepsilon_2 - \varepsilon_1$), $-L$ ve L gibi ($L > 0$ olmak üzere) iki sabit değer arasında üniform dağılıyorsa bu durumda model lineer olasılık modeli olarak adlandırılır. Eğer iki rastgele değişken (ε_1 ve ε_2) normal dağılıma uymaktaysa, farkları ($\varepsilon_2 - \varepsilon_1$) yine normal dağılıma uymaktadır. Eğer iki rastgele değişken Tip I Uç Değer dağılıma uymaktaysa, farkları Lojistik dağılıma uymaktadır.

4.1.2. İkili lojit model

İki farklı seçenek arasından bir seçim yapma durumu olduğunda kullanılan yöntem ikili lojit model olarak adlandırılmaktadır. Bu modele göre Seçenek 1'in seçilme olasılığı Denklem 4.11'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} P_r(1) &= \frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2}} \\ P_r(1) &= \frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2}} \times \frac{e^{V_1}}{e^{V_1}} \\ P_r(1) &= \frac{1}{1 + e^{V_2 - V_1}} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Burada,

$P_r(1)$: Seçenek 1'in seçilme olasılığı

V_1, V_2 : Sırasıyla Seçenek 1 ve 2'nin fayda fonksiyonlarının belirleyici bileşenleri

Denklem 4.11’de olduğu gibi Seçenek 2’nin seçilme olasılığı da benzer şekilde hesaplanmaktadır ve sonuç olarak bu olasılığın $1-P_r(1)$ olduğunu söylemek mümkündür. Doğal olarak Seçenek 2’nin seçilme olasılığının artması, Seçenek 2’nin belirleyici bileşeninin artmasına veya Seçenek 1’in belirleyici bileşeninin azalmasına bağlıdır (Horowitz vd., 1986; Ergin, 2015). Ancak V_1, V_2 ’den çok büyük bir değer olsa bile $P_r(1) = 1$ denemez. Bu durumda, Seçenek 1’in seçilme olasılığı bire çok yakındır ama asla tam olarak bir değildir. Çünkü hangi koşullar mevcut olursa olsun, gerçekte Seçenek 2’yi seçmek isteyen kişilerin olacağı kabul edilir.

4.1.3. Çok terimli lojit model

Seçenek sayısının ikiden fazla olması durumunda kullanılan yöntem ÇTL model yöntemidir. Bu modelde üç farklı seçenek olduğu varsayılarak, Seçenek 1’in seçilme olasılığının genel formülü Denklem 4.12’de verilmiştir.

$$P_r(1) = P_r(U_1 > U_2 \ \& \ U_1 > U_3) \quad (4.12)$$

Tip I uç değer dağılımının kümülatif dağılım fonksiyonu Denklem 4.13’te olasılık yoğunluk fonksiyonu 4.14’te gösterilmiştir.

$$F(x) = e^{-e^{-\mu x}} \quad (4.13)$$

$$f(x) = \mu e^{-e^{-\mu x}} e^{-\mu x} \quad (4.14)$$

Burada,

μ : Pozitif ölçek çarpanı

Denklem 4.12 matematiksel olarak genişletilerek, Denklem 4.15 elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} P_r(1) &= P_r(U_1 > U_2 \ \& \ U_1 > U_3) \\ P_r(1) &= P_r(V_1 + \varepsilon_1 > V_2 + \varepsilon_2 \ \& \ V_1 + \varepsilon_1 > V_3 + \varepsilon_3) \\ P_r(1) &= P_r(\varepsilon_2 < \varepsilon_1 + V_1 - V_2 \ \& \ \varepsilon_3 < \varepsilon_1 + V_1 - V_3) \\ P_r(1) &= P_r(\varepsilon_2 < \varepsilon_1 + V_1 - V_2) \times P_r(\varepsilon_3 < \varepsilon_1 + V_1 - V_3) \\ P_r(1) &= e^{-e^{-\mu(\varepsilon_1 + V_1 - V_2)}} \times e^{-e^{-\mu(\varepsilon_1 + V_1 - V_3)}} \\ P_r(1) &= \prod_{j=2}^3 e^{-e^{-\mu(\varepsilon_1 + V_1 - V_j)}} \end{aligned} \quad (4.15)$$

Denklem 4.15'te $\mu = 1$ alınırsa, Denklem 4.16'daki genelleştirilmiş formül elde edilmektedir.

$$P_r(i | \varepsilon_i) = \prod_{j \neq i} e^{-e^{-(\varepsilon_i + V_i - V_j)}} \quad (4.16)$$

Denklem 4.16'da elde edilen genelleştirilmiş formülün integrali alınırsa ÇTL model olasılık formülü elde edilecektir (Denklem 4.17).

$$P_r(i) = \int_{-\infty}^{\infty} P_r(i | \varepsilon_i) f(\varepsilon_i) d\varepsilon_i$$

$$P_r(i) = \int_{-\infty}^{\infty} \prod_{j \neq i} e^{-e^{-(\varepsilon_i + V_i - V_j)}} e^{-e^{-\varepsilon_i}} e^{-\varepsilon_i} d\varepsilon_i \quad (4.17)$$

$$P_r(i) = \frac{e^{V_i}}{\sum_j e^{V_j}}$$

Örneğin; üç seçeneğin olduğu bir durumda Seçenek 1'in seçilme olasılığı Denklem 4.18'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$P_r(1) = \frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2} + e^{V_3}} \quad (4.18)$$

ÇTL modelde olasılık, seçeneklerin belirleyici kısımlarının farkına bağlıdır. Bunu Denklem 4.18'de payı ve paydayı e^{V_1} ile çarparak görmek mümkündür (Denklem 4.19).

$$P_r(1) = \frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2} + e^{V_3}}$$

$$P_r(1) = \frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2} + e^{V_3}} \times \frac{e^{V_1}}{e^{V_1}} \quad (4.19)$$

$$P_r(1) = \frac{1}{1 + e^{-(V_1 - V_2)} + e^{-(V_1 - V_3)}}$$

ÇTL modelde, daha önce lojit modellerin genel özelliklerinde bahsedildiği gibi, hata terimleri ya da diğer bir deyişle rassal değişkenlerin dağılımları Tip I uç değer dağılımına, bu hata terimlerinin farkları Lojistik dağılıma uymaktadır.

ÇTL model için kabul edilen bir diğer varsayım, rassal terimlerin birbirinden bağımsız ve aynı dağılımı gösterdikleri (independent and identically distributed) şeklindedir. Yani, bir seçenek kümesi içinde $\{S_i\}$, her bir gözlem, belirli durağan olasılık modelinden bağımsızdır (Denklem 4.20).

$$P_r(S_1, S_2) = P_r(S_1) \times P_r(S_2) \quad (4.20)$$

Bu durum bir zar örneği ile açıklanabilir. Örneğin elimizde tamamen hilesiz ve adil şekilde yapılmış 2 adet 6 yüzlü zar olsun. Her bir zarın 6 yüzünün gelme olasılığı aynıdır. İki zar aynı anda da atılsa, ayrı ayrı da atılsa görünen değerler bağımsız ve aynı dağılım gösteren rassal değişkenlerdir. Yine bir zar diğerinden uzun bir süre atılsa da görünen değerler bağımsız ve aynı dağılım gösteren rassal değişkenlerdir (Ergin, 2015; Clauset, 2011).

Bu varsayıma göre, her bir seçeneğin hata terimlerinin varyansı aynıdır. Hata terimleri arasındaki ilişkiyi gösteren varyans-kovaryans matrisi Şekil 4.1'de verilmiştir.

$$\begin{array}{c} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \end{array} \begin{array}{c} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \end{array} \begin{bmatrix} \text{Var}(\varepsilon) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{Var}(\varepsilon) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \text{Var}(\varepsilon) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \text{Var}(\varepsilon) \end{bmatrix}$$

Şekil 4.1. Rassal terimlerin varyans-kovaryans matrisi

Buradan anlaşılacağı üzere, diyagonal dışındaki tüm terimlerin sıfır olması, seçeneklerin hata terimleri arasında herhangi bir bağlantı olmadığını yani sıfır korelasyon olduğunu ifade etmektedir. Ancak diyagonal üzerindeki değerler tüm seçenekler için aynıdır. Bu da ÇTL modeldeki her bir seçeneğin hata terimlerinin varyansının aynı olduğu varsayımını göstermektedir. Tip I uç değer dağılımı için bu varyans Denklem 4.21'deki gibi hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} Var(x) &= \frac{\pi^2}{6 \times \mu^2} \\ Var(x) &= \frac{\pi^2}{6 \times 1^2} = 1,645 \end{aligned} \quad (4.21)$$

Denklem 4.15 hatırlanırsa, μ değeri ÇTL model için 1 kabul edilmektedir.

Denklem 4.21'den anlaşılacağı üzere ÇTL modeldeki her bir seçeneğin rassal terimlerinin varyansının 1,645 değerini aldığı kabul edilmektedir.

4.1.4. Katsayıların tahmin yöntemi

Katsayıların tahminlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri en büyük olabilirlik (ML, maximum likelihood) yöntemidir. Bu yöntemin iki önemli bölümü vardır. Birincisi olabilirlik fonksiyonu adı verilen, gözlemlenen örneklemin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunun geliştirilmesi, ikincisi ise, log-olabilirlik (LL, log likelihood) fonksiyonunu en büyük yapacak katsayı değerlerinin tahmin edilmesidir.

Genellikle olabilirlik fonksiyonunun kendisi (L) yerine doğal logaritmasının (LL) kullanımı tercih edilmektedir. T örneklem kümesi ve J seçenekler kümesi için olabilirlik fonksiyonu Denklem 4.22'de, bu fonksiyonun doğal logaritması olan log-olabilirlik fonksiyonu Denklem 4.23'de verilmiştir.

$$L(\beta) = \prod_{t \in T} \prod_{j \in J} (P_{jt}(\beta))^{\delta_{jt}} \quad (4.22)$$

$$LL(\beta) = \text{Log}(L(\beta)) = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} \delta_{jt} \times \ln(P_{jt}(\beta)) \quad (4.23)$$

Burada,

δ_{jt} : Seçilen gösterge (j seçeneği t kişisi tarafından seçilirse 1, seçilmezse 0)

P_{jt} : t kişinin j seçeneğini seçme olasılığı

4.1.5. Model performans testleri

ÇTL modeldeki katsayıları tahmin ettikten sonra modelin performansının çeşitli ölçütlerle test edilmesi gerekmektedir. Bu ölçütler içinde katsayı tahminlerinin genel olarak değerlendirilmesinin yanında istatistiksel analizler de bulunmaktadır.

4.1.5.1. Model parametrelerinin işaretlerinin incelenmesi

Bu incelemede, katsayıların büyüklük ve işaretlerinin mantıklı olup olmaması durumu değerlendirilir. Özellikle işaret açısından yapılacak değerlendirme çok önemlidir. Çünkü fayda fonksiyonunda pozitif veya negatif değer alması beklenen katsayılar bu işaretlerin tersini alması durumunda model gerçeği yansıtmayacaktır. Örneğin; modelde konforu ifade eden değişkenin katsayısının fayda fonksiyonunda pozitif değer alması gerekirken, süre veya maliyet gibi değişkenlerin katsayıları negatif değer almalıdır. Bu durumların önüne geçebilmek için genellikle korelasyon matrisinden faydalanılarak, arasında ilişki bulunan değişkenlerin aynı fayda fonksiyonunda kullanılmadığından emin olunmalıdır.

4.1.5.2. t-istatistiği

Değişkenin geçerliliği için kullanılan ölçüt t-istatistiğidir. Tahmin istatistiği %90 güven aralığında ise -1,645 ile +1,645, %95 güven aralığında ise -1,960 ile +1,960 aralıklarının dışına düşerse yapılan tahmin istatistiksel olarak anlamlı kabul edilir.

4.1.5.3. Ki-kare istatistiği

Bu test oluşturulan lojit modeli genel olarak test etmektedir. Temelde bu testin amacı, incelenen modelin, referans model olarak ele alınan modelle bir ilişkisi olup olmadığını ve ona göre anlamlı olup olmadığını tespit etmek amacıyla yapılmaktadır. Diğer bir deyişle,

tahmin edilen modelin log-olabilirlik fonksiyonu ile referans modelin log-olabilirlik fonksiyonlarının karşılaştırıldığı bir testtir (Denklem 4.24). Burada söz edilen referans model yalnızca sabit terimlerin yer aldığı başka hiçbir değişkenin kullanılmadığı modeldir.

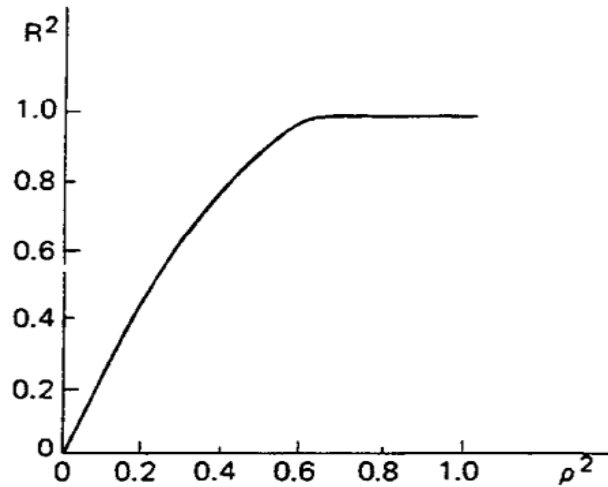
$$-2LL = -2(LL_{referans} - LL_{tahmin}) \quad (4.24)$$

Bu testte $-2LL$ istatistiği, seçilen bir anlamlılık düzeyindeki bir kritik χ^2 değeri ile karşılaştırılır. Karşılaştırılan χ^2 değeri, değişken sayısından referans modeldeki sabit terimlerin sayısı kadar eksik serbestlik derecesine sahip olan χ^2 değeridir. Burada $-2LL$ değeri χ^2 değerinden büyükse tahmin edilen modelin anlamlı olduğu kabul edilir.

4.1.5.4. Uyum iyiliği testi

ÇTL modelde bir modelin veriyi temsil etmedeki uygunluğunun araştırılmasında Denklem 4.25'te gösterilen ρ^2 (sanal- R^2) adı verilen büyüklük kullanılmaktadır. ρ^2 değeri bire yaklaştıkça modelde yer alan değişkenlerin tercih yapısını açıklayabilme yeteneğinin arttığı kabul edilmektedir (Erden, 2015). R^2 ile ρ^2 arasındaki deneysel ilişkiyi gösteren grafik Şekil 4.2'de verilmiştir.

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL_{tahmin}}{LL_{referans}} \quad (4.25)$$



Şekil 4.2. R^2 ile ρ^2 arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (Domencich ve McFadden, 1975)

4.1.6. Model tasarımı

ÇTL modelde fayda fonksiyonlarının belirleyici bileşenleri (V), sabit terim ve değişkenler olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır (Denklem 4.26). Bu belirleyici bileşenlerinin değerleri aynı olursa, her seçeneğin seçilme olasılığı da aynı olacaktır. Ancak gerçek hayatta böyle bir durum söz konusu değildir. Örneğin, bireyler bir ulaştırma türünü seçerken yalnızca süre, maliyet vb. değişkenlere göre değil, aynı zamanda, güvenlik, konfor, güvenilirlik vb. kolaylıkla ölçülemeyen değişkenlere göre de karar vermektedir. Bu nedenle, referans olarak seçilecek bir fayda fonksiyonu hariç, diğer tüm fayda fonksiyonlarına birer sabit terim eklenir. Bu sabit terimler modelin hatası değil, modelde açıklanamayanlar olarak ifade edilir. Burada referans olarak seçilen seçeneğin hangisi olduğunun, her durumda elde edilecek olasılık değerleri aynı olacağı için, bir önemi yoktur (Ergin, 2015).

$$V_1 = S_1 + \beta \times d_1 + \gamma \times d_2 \quad (4.26)$$

Burada,

V_1 : Seçenek 1'in fayda fonksiyonunun belirleyici bileşeni

S_1 : Seçenek 1'in belirleyici bileşeninin sabit terimi

d_1, d_2 : Değişken 1 ve 2

β, γ : Değişken 1 ve 2'nin katsayıları

Model oluştururken hangi fayda fonksiyonunda hangi değişkenlerin kullanılacağı tamamen analiz yapanın tasarımı ile ilgilidir. Bununla ilgili özel bir şart yoktur. Ancak katsayıların tahmin edilebilmesi için seçilecek bir referans fonksiyonu diğerlerinde bulunan değişkenler içermemelidir. Örneğin üç farklı seçeneğin olduğu bir durumda, aynı değişkenler en fazla iki farklı fonksiyonda kullanılabilir, üçünde birden aynı değişken kullanılırsa, katsayılar tahmin edilemeyecektir. Bu anlamda en iyi modelin, seçeneklerden birine hiç fayda fonksiyonu oluşturmamak, yani o türü referans olarak seçmek ve davranış analizlerini hep aynı referansa göre yapmak olduğu söylenebilir.

ÇTL modelde değişken katsayıları için, genel (generic) ve seçeneğe özel (alternative-specific) olmak üzere iki farklı tasarım mevcuttur. Genel katsayıları birden fazla fayda fonksiyonunda yer almakta ve bulunduğu tüm fayda fonksiyonlarında aynı değeri almaktadır (Denklem 4.27, 4.28 ve 4.29). Seçeneğe özel katsayılar ise her bir fayda fonksiyonunda

farklı değerler almaktadır (Denklem 4.30, 4.31 ve 4.32). Davranış analizinde seçeneğe özel katsayıların kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği söylenmektedir.

$$V_1 = S_1 + \beta \times d_1 + \gamma \times d_2 \quad (4.27)$$

$$V_2 = S_2 + \beta \times d_1 + \gamma \times d_2 \quad (4.28)$$

$$V_3 = 0 \text{ (referans olarak seçilmiştir)} \quad (4.29)$$

Burada,

V_1, V_2, V_3 : Seçenek 1, 2 ve 3'ün fayda fonksiyonunun belirleyici bileşeni

S_1, S_2 : Seçenek 1 ve 2'nin belirleyici bileşeninin sabit terimi

d_1, d_2 : Değişken 1 ve 2

β, γ : Değişken 1 ve 2'nin katsayıları

$$V_1 = S_1 + \beta_1 \times d_1 + \gamma_1 \times d_2 \quad (4.30)$$

$$V_2 = S_2 + \beta_2 \times d_1 + \gamma_2 \times d_2 \quad (4.31)$$

$$V_3 = 0 \text{ (referans olarak seçilmiştir)} \quad (4.32)$$

Burada,

β_1, γ_1 : Seçenek 1'in fayda fonksiyonunun belirleyici bileşenindeki değişken 1 ve 2'nin katsayıları

β_2, γ_2 : Seçenek 2'in fayda fonksiyonunun belirleyici bileşenindeki değişken 1 ve 2'nin katsayıları

5. TRAMVAY KAZALARININ ŞİDDETİNE ETKİYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

5.1. Kaza Verisinin Çok Terimli Lojit Modellenmesi

Bölüm 3.3'te bahsedilen 402 kaza verisi sayısal ifadelerle dönüştürülerek ve ÇTL modelleme yöntemi uygulanarak, kazaya neden olabilecek faktörler ve bu faktörlerin kaza şiddeti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kaza şiddeti yüksekten alçağa olacak şekilde, ölümlü sonuçlanan, yaralanma ile sonuçlanan ve maddi hasarla sonuçlanan kazalar olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Kaza şiddetine etkileri araştırılan faktörler ise, yol yüzeyi, hava, gün, aydınlatma durumları, kaza karışan araç ve kişi sayıları, yolun geometrik özelliği, kazanın oluş şekli, tramvay hat genişliği, tramvay araçlarının uzunluğu ve genişliğidir.

Modelde kullanılan fayda fonksiyonları için hazırlanan değişkenlerin isimleri, kısaltmaları ve açıklamaları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesi için Korelasyon (Çizelge 5.2) ve Kovaryans (Çizelge 5.3) matrislerinden faydalanılmıştır. Korelasyon matrisinde, rassal değişkenlerin birbirleri arasındaki doğrusal ilişkinin yönü (pozitif veya negatif) ve gücü (sıfırdan uzaklaştıkça artan) -1 ile +1 arasında olacak şekilde belirtilmekteyken, Kovaryans matrisinde, değişkenlerin birlikte ne kadar değiştikleri belirtilmektedir ve herhangi bir sınır değeri bulunmamaktadır. Aralarında ilişki olduğu tespit edilen değişkenler aynı anda modelde kullanılmamıştır.

Söz konusu değişkenlerle, sayısal olarak en büyük LL değerini veren ve modeli oluşturan katsayıların t-istatistikleri de dikkate alınarak büyük bir kısmının %90 veya %95 güven aralığında olduğu modelin oluşturulması için birçok kez deneme yapılmıştır. Sonuçta modelde, istatistiksel olarak %90'nın altında anlamlı olan değişkenler çıkarılmamıştır. Ancak davranış analizinde bu değişkenlerin, bütün değişkenler dikkate alındığında, diğerlerinin yanında etkilerinin çok az olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.1. Fayda fonksiyonu için hazırlanan değişkenlerin kodu, ismi ve açıklaması

DEĞİŞKEN KODU	DEĞİŞKEN ADI	AÇIKLAMA
NKISI	Kazaya karışan kişi sayısı	Sayısal olarak kazaya karışan kişi sayısı değişkeni
DNL	Dönel kavşak	Kazanın dönel kavşakta olması durumunda 1, değilse 0 değerini alan kukla değişken
BLN	Bölünmüş yol	Kazanın bölünmüş yolda olması durumunda 1, değilse 0 değerini alan kukla değişken
BLNMM	Bölünmemiş yol	Kazanın bölünmemiş yolda olması durumunda 1, değilse 0 değerini alan kukla değişken
YAYA	Yayaya çarpma	Kazanın yayaya çarpma şeklinde olması durumunda 1, değilse 0 değerini alan kukla değişken
ARACLI	Araçla çarpışma	Kazanın herhangi bir araçla çarpışma şeklinde olması durumunda 1, değilse 0 değerini alan kukla değişken
DKAZA	Tramvay içi kaza	Kazanın tramvay içinde olması durumunda 1, değilse 0 değerini alan kukla değişken
HAVA	Hava durumu	Havanın açık olması durumunda 1, yağışlı olması durumunda 0 değerini alan kukla değişken
AYD	Aydınlatma durumu	Kazanın gece olduğu yerde aydınlatma olması durumunda 1, olmaması durumunda 0 değerini alan kukla değişken
GUN	Gün durumu	Kazanın gündüz meydana gelmesi durumunda 1, gece olması durumunda 0 değerini alan kukla değişken
YUZEY	Yüzey durumu	Yol yüzeyinin kuru olması durumunda 1, aksi durumlarda 0 değerini alan kukla değişken
NARAC	Kazaya karışan araç sayısı	Sayısal olarak kazaya karışan araç sayısı değişkeni
HAT	Hat genişliği	Tramvay hattının 1435 mm (normal) hat olması durumunda 1, 1000 mm (dar) hat olması durumunda 0 değerini alan kukla değişken
TRUZ	Tramvay uzunluğu	Sayısal olarak tramvay aracının uzunluğunu metre cinsinden ifade eden değişken
TRGEN	Tramvay genişliği	Sayısal olarak tramvay aracının genişliğini metre cinsinden ifade eden değişken

Çizelge 5.2. Değişkenlerin Korelasyon matrisi

	NKISI	DNL	BLN	BLNMM	YAYA	ARACLI	DKAZA	HAVA	AYD	GUN	YUZEY	NARAC	HAT	TRUZ	TRGEN
NKISI	1,0000														
DNL	-0,0056	1,0000													
BLN	-0,0234	-0,1591	1,0000												
BLNMM	0,1202	-0,1770	-0,6008	1,0000											
YAYA	-0,1373	-0,1204	0,4585	-0,1145	1,0000										
ARACLI	0,1100	0,1357	-0,3773	-0,0238	-0,7934	1,0000									
DKAZA	0,0304	-0,0360	-0,0857	0,2099	-0,2338	-0,4064	1,0000								
HAVA	0,0132	0,0288	0,0237	-0,0136	0,0900	-0,0513	-0,0532	1,0000							
AYD	0,0617	-0,0770	0,0014	-0,0029	-0,0345	0,1069	-0,1190	-0,0919	1,0000						
GUN	-0,0407	0,1030	-0,0624	0,0330	-0,0305	-0,0507	0,1268	0,0403	-0,8524	1,0000					
YUZEY	-0,0438	0,0384	0,0578	-0,0816	0,0499	-0,0167	-0,0483	0,6696	-0,0682	0,0250	1,0000				
NARAC	0,0868	0,0880	-0,1018	-0,2816	-0,4555	0,6226	-0,3107	-0,0045	0,0171	-0,0585	0,0499	1,0000			
HAT	0,1978	-0,1059	-0,3448	0,6814	-0,0255	-0,2333	0,4109	-0,0529	-0,0245	0,0815	-0,1405	-0,5519	1,0000		
TRUZ	0,1275	-0,0794	-0,1857	0,4251	-0,1114	-0,2273	0,5302	-0,1459	-0,0565	0,1120	-0,1392	-0,4345	0,7004	1,0000	
TRGEN	0,1723	-0,0922	-0,2974	0,6098	-0,0485	-0,2092	0,4069	-0,0874	-0,0492	0,0949	-0,1634	-0,5501	0,9343	0,6529	1,0000

■ -0,5000'den küçük ve 0,5000'den büyük değerler

Çizelge 5.3. Değişkenlerin Kovaryans matrisi

	NKISI	DNL	BLN	BLNMM	YAYA	ARACLI	DKAZA	HAVA	AYD	GUN	YUZEY	NARAC	HAT	TRUZ	TRGEN
NKISI	0,3380														
DNL	-0,0007	0,0428													
BLN	-0,0065	-0,0157	0,2279												
BLNMM	0,0343	-0,0179	-0,1406	0,2403											
YAYA	-0,0370	-0,0116	0,1016	-0,0260	0,2154										
ARACLI	0,0316	0,0139	-0,0889	-0,0058	-0,1818	0,2439									
DKAZA	0,0055	-0,0023	-0,0127	0,0318	-0,0336	-0,0620	0,0956								
HAVA	0,0022	0,0017	0,0033	-0,0019	0,0122	-0,0074	-0,0048	0,0857							
AYD	0,0159	-0,0071	0,0003	-0,0006	-0,0071	0,0234	-0,0163	-0,0119	0,1966						
GUN	-0,0112	0,0101	-0,0141	0,0076	-0,0067	-0,0118	0,0185	0,0056	-0,1786	0,2232					
YUZEY	-0,0098	0,0030	0,0106	-0,0153	0,0089	-0,0032	-0,0057	0,0752	-0,0116	0,0045	0,1471				
NARAC	0,0259	0,0094	-0,0250	-0,0710	-0,1087	0,1581	-0,0494	-0,0007	0,0039	-0,0142	0,0098	0,2646			
HAT	0,0546	-0,0104	-0,0782	0,1587	-0,0056	-0,0547	0,0603	-0,0074	-0,0052	0,0183	-0,0256	-0,1348	0,2256		
TRUZ	0,1741	-0,0386	-0,2081	0,4893	-0,1213	-0,2635	0,3849	-0,1002	-0,0589	0,1242	-0,1254	-0,5247	0,7812	5,5130	
TRGEN	0,0156	-0,0030	-0,0221	0,0466	-0,0035	-0,0161	0,0196	-0,0040	-0,0034	0,0070	-0,0098	-0,0441	0,0692	0,2389	0,0243

5.2. Açıklayıcı İstatistikler

Çizelge 5.4'te modelde kullanılan değişkenlere göre kaza sayıları verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında; kazaların %4,5'inin dönel kavşaklarda, %34,1'i bölünmüş, %40,0'ı bölünmemiş yollarda meydana geldiği görülmektedir. Kaza şeklinde gelindiğinde, tramvayın yayaya çarpması toplam kazaların %31,3'ünü, araçla çarpışma %58,0'ını ve kalan %10,7 ise tramvay içi kazaları oluşturmaktadır. Kazaların büyük bir çoğunluğu vatman hariç bir kişinin karıştığı kazalar olduğu halde, tramvay hariç iki aracın karıştığı kaza sayısı oldukça fazladır. Bu durum çoğunlukla, tramvayın bir araçla çarpışmasıyla meydana gelen çarpışma etkisi sonucu, tramvayla çarpışan aracın başka bir araçta hasar meydana getirdiğinin göstergesidir.

Çizelge 5.4. Modelde kullanılan değişkenlere göre kaza sayıları

DEĞİŞKEN KATEGORİSİ	DEĞİŞKEN AÇIKLAMASI	KAZA SAYISI		
		Ö ¹	Y ²	MH ³
Kazaya karışan kişi sayısına göre (vatman hariç)	Bir kişinin karıştığı kaza sayısı	6	174	173
	İki kişinin karıştığı kaza sayısı	0	27	8
	Üç kişinin karıştığı kaza sayısı	0	7	0
	Dörtten kişinin karıştığı kaza sayısı	0	7	0
Yol geometrik özelliğine göre	Dönel kavşakta meydana gelen kaza sayısı	0	4	14
	Bölünmüş yolda meydana gelen kaza sayısı	3	100	34
	Bölünmemiş yolda meydana gelen kaza sayısı	3	107	51
Kaza şekline göre	Yayaya çarpma şeklinde meydana gelen kaza sayısı	6	119	1
	Araçla çarpışma şeklinde meydana gelen kaza sayısı	0	57	176
	Tramvay içinde meydana gelen kaza sayısı	0	39	4
Hava duruma göre	Açık havada meydana gelen kaza sayısı	6	197	161
	Yağışlı havada meydana gelen kaza sayısı	0	18	20
Aydınlatma durumuna göre	Gece aydınlatma olan yerde meydana gelen kaza sayısı	2	55	51
	Gece aydınlatma olmayan yerde meydana gelen kaza sayısı	2	14	11
Gün durumuna göre	Gündüz meydana gelen kaza sayısı	2	146	119
	Gece meydana gelen kaza sayısı	4	69	62
Yüzey durumuna göre	Kuru yol yüzeyinde meydana gelen kaza sayısı	5	176	149
	Islak yol yüzeyinde meydana gelen kaza sayısı	1	39	32
Kazaya karışan araç sayısına göre (tramvay dahil)	Bir aracın karıştığı kaza sayısı	6	84	1
	İki aracın karıştığı kaza sayısı	0	90	11
	Üç aracın karıştığı kaza sayısı	0	40	164
	Dörtten fazla aracın karıştığı kaza sayısı	0	1	5
Hat genişliklerine göre	Normal (1435 mm) hatta meydana gelen kaza sayısı	4	115	19
	Dar (1000 mm) hatta meydana gelen kaza sayısı	2	100	162

¹ Ölümlü kaza

² Yaralanmalı kaza

³ Maddi hasarlı kaza

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Model Tahmin Sonuçları

Modelde kaza şiddeti için, ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı olmak üzere üç tercih olasılığı vardır. Veri incelendiğinde ölümlü sonuçlanan 6, yaralanmalı 215 ve maddi hasarlı 181 kaza olduğu görülmektedir. Çizelge 5.1’de verilen 15 değişken farklı modellerde ÇTL modelleme yöntemi kullanılarak denenmiş ve en uygun model için bu değişkenlerin katsayıları tahmin edilmiştir.

Denemeler sonucunda, yeterli düzeyde bir model olduğu düşünülen, kaza şiddetine etki eden faktörlerin araştırıldığı modelde kullanılan değişkenlerin katsayıları ve t-istatistikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Ayrıca tablonun altında log-olabilirlik değerleri ile uyum iyiliği (ρ^2) değeri yazılmıştır. 0,634 olarak hesaplanan ρ^2 değerinin, Şekil 4.2’deki R^2 ile olan ilişki grafiğinden, 0,9’un üzerinde R^2 ’ye karşılık geldiği söylenebilir. Bu da, modelin kurulan ilişkiyi açıklamada oldukça başarılı olduğunu ifade etmektedir. Katsayı tahminlerinin istatistiksel olarak anlamlılığı t-istatistiğine bakılarak karar verilmiştir. Değişkenler için %90 güven aralığı sınır olarak kabul edilmiş ve altındaki değerler istatistiksel olarak anlamsız kabul edilmiştir.

Çizelge 6.1’de verilen model tahmin sonuç çıktısına bakıldığında, gece aydınlatma durumu değişkeni (AYD) hem ölümlü hem yaralanmalı kaza türü, yüzey durumu değişkeni (YUZEY) hem yaralanmalı hem maddi hasarlı kaza türü, yayaya çarpma (YAYA) ve dönel kavşak (DNL) değişkenleri ise yaralanmalı kaza türü tercihlerinde istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır.

Tramvay hattının genişliğini ifade eden HAT değişkeni ölümlü ve yaralanmalı kaza türlerinin fayda fonksiyonlarında yer almaktadır. Çizelge 6.1’deki katsayılar incelendiğinde bu katsayıların her iki fayda fonksiyonunda pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı değerler aldığı görülmektedir. Buradan hareketle, hattın normal (1435 mm) olmasının maddi hasarlı kaza olması olasılığını azalttığı ve buna karşılık yaralanmalı ve ölümlü kaza olasılığını arttırdığı görülmektedir. Yaralanmalı ve ölümlü kazalar karşılaştırıldığında, hat

genişliğinin ve bu genişliğin normal olmasının, kazanın ölümlü olması üzerindeki etkisinin yaralanmalı olmasına etkisine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.1. Model tahmin sonuçları

Değişken	Sonuç Model		Referans Model	
	Katsayı	t-istatistiği	Katsayı	t-istatistiği
<u>Ölümlü kaza</u>				
Bölünmüş yol (BLN)	2,802	2,274^a	-	-
Aydınlatma durumu (AYD)	-1,156	-0,943	-	-
Hat durumu (HAT)	5,311	3,940^a	-	-
Gün durumu (GUN)	-2,730	-2,387^a	-	-
Sabit terim	-7,065	-3,158^a	-3,407	-8,210^a
<u>Yaralanmalı kaza</u>				
Bölünmüş yol (BLN)	1,943	3,578^a	-	-
Aydınlatma durumu (AYD)	0,452	1,008	-	-
Hat durumu (HAT)	3,706	6,700^a	-	-
Dönel kavşak (DNL)	1,092	1,016	-	-
Yayaya çarpma (YAYA)	0,381	0,502	-	-
Yüzey durumu (YUZEY)	-0,301	-0,256	-	-
Sabit terim	-3,941	-2,681^a	0,172	1,706^b
<u>Maddi hasarlı kaza</u>				
Kazaya karışan kişi sayısı (NKISI)	-2,068	-3,806^a	-	-
Araçla çarpışma (ARACLI)	4,581	5,528^a	-	-
Yüzey durumu (YUZEY)	-1,069	-0,843	-	-
Gözlem sayısı	402		402	
LL	-111,419		-304,208	
-2LL	385,577			
ρ^2	0,634			

^a %95 güven aralığında anlamlı (-1,960 ile +1,960 aralığı dışında)

^b %90 güven aralığında anlamlı (-1,645 ile +1,645 aralığı dışında)

%90 güven aralığının üzerinde anlamlı olan değerler kalın harflerle yazılmıştır.

Ölümlü ve yaralanmalı kaza türlerinin fayda fonksiyonlarında yer alan BLN değişkeni kaza olan yerde yolun bölünmüşlük durumunu ifade etmektedir. Model sonuç tablosundaki katsayılara bakıldığında, her iki değişken için yapılan tahminler pozitif işaretli ve istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır. Katsayılar incelendiğinde, yolun bölünmüş olması maddi hasarlı kaza olma olasılığını azaltırken ölümlü ve yaralanmalı olma olasılığını arttırmaktadır. Yolun bölünmüş olması durumunda kazanın ölümlü olması üzerindeki etkisinin, yaralanmalı olması üzerindeki etkisine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Kazanın gündüz veya gece olması durumunu belirten GUN değişkeni ölümlü kaza türünün fayda fonksiyonunda bulunmakta ve model sonucu incelendiğinde negatif işaretli olarak tahmin edilen katsayısının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Katsayının işaret ve değerine bakıldığında, kazanın gündüz meydana gelmesi durumunda, ölümlü olma olasılığı diğer kaza türlerine göre daha düşük olmaktadır. Yau'ya (2004) göre de hafif kazaların meydana gelme olasılıkları kazanın gündüz meydana gelmesiyle birlikte artmaktadır.

Kazaya karışan kişi sayısını ifade eden NKISI değişkeni maddi hasarlı kaza türünün fayda fonksiyonunda yer almıştır. İstatistiksel olarak anlamlı çıkan katsayının işareti incelendiğinde, kazaya karışan kişi sayısı arttıkça kazanın maddi hasarlı olma olasılığı, ölümlü veya yaralanmalı olması olasılığına göre azalmaktadır.

ARACLI değişkeni kazaya motorlu veya motorsuz herhangi bir araç türü ile çarpışma durumunu temsil etmektedir. Bu değişken yalnızca maddi hasarlı kaza türünün fayda fonksiyonunda kullanılmıştır. Model tahmin sonuçlarına bakıldığında, bu değişken için istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif işaretli bir katsayı tahmin edildiği görülmektedir. Buna göre, kazanın araçla çarpışma şeklinde meydana gelmesi durumunda, maddi hasarlı olma olasılığı diğer kaza türlerine göre daha yüksek olmaktadır.

Fayda fonksiyonları ölümlü kaza ($U_ö$), yaralanmalı kaza (U_y) ve maddi hasarlı kaza (U_{mh}) durumları için sırasıyla Denklem 6.1, 6.2 ve 6.3'te verildiği gibidir. Oluşturulan model ile gerçeğin değerleri Çizelge 6.2'de karşılaştırılmış ve aralarında neredeyse hiçbir fark (hata) görülmemiştir. Bu da modelin gerçeği tam olarak yansıttığını ifade etmektedir.

$$U_{\bar{o}} = -7,065 + 2,802 \cdot BLN - 1,156 \cdot AYD + 5,311 \cdot HAT - 2,730 \cdot GUN \quad (6.1)$$

$$U_y = -3,941 + 0,381 \cdot YAYA + 0,452 \cdot AYD + 3,706 \cdot HAT + 1,092 \cdot DNL - 0,301 \cdot YUZEY \quad (6.2)$$

$$U_{mh} = -2,068 \cdot NKISI + 4,581 \cdot ARACLI - 1,069 \cdot YUZEY \quad (6.3)$$

Çizelge 6.2. Gerçek durumla model tahmin sonucunun karşılaştırılması

	Ölümlü kaza		Yaralanmalı kaza		Maddi hasarlı kaza	
	Sayısı	Payı	Sayısı	Payı	Sayısı	Payı
Gerçek durum	6	0,014925	215	0,534826	181	0,450249
Model sonucu	6	0,014930	215	0,534827	181	0,450244
Fark	0	-0,000005	0	0,000001	0	-0,000005

6.2. Senaryo Uygulaması

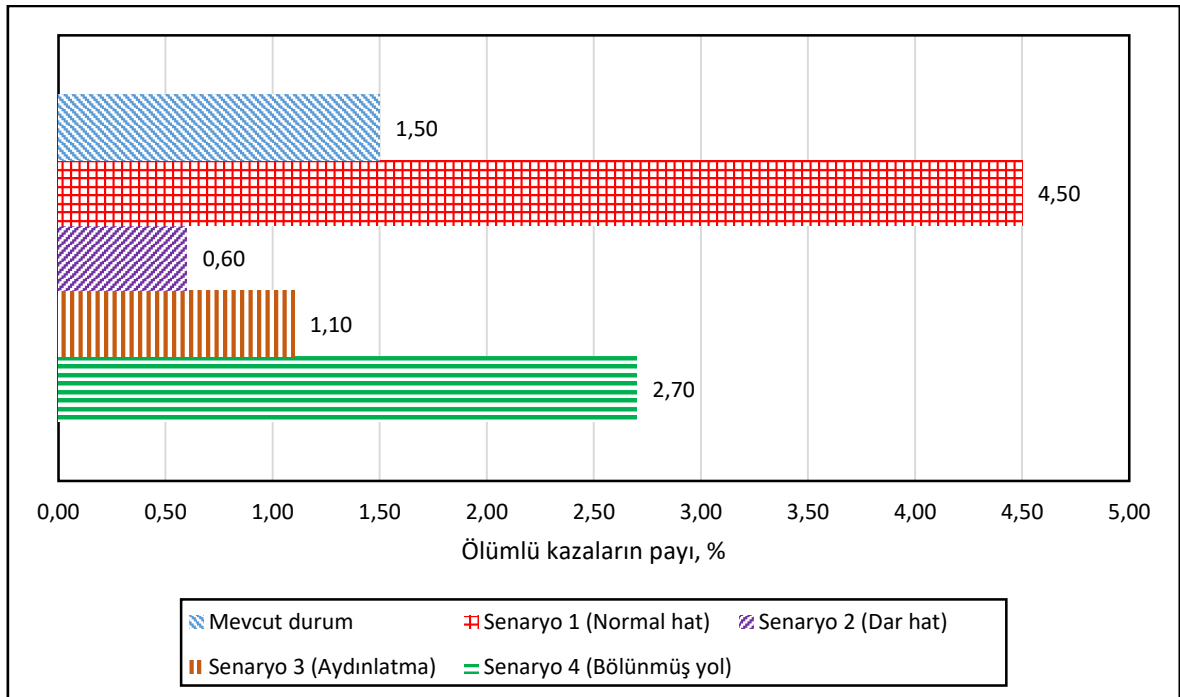
Tez kapsamında gerçekleştirilen senaryo uygulamasında; bazı değişkenlerin değerleri değiştirilerek, mevcut durumdaki olumsuzlukların ortadan kaldırılması veya hat genişliklerinin değiştirilmesi ile kaza şiddetinde ne gibi değişiklikler olacağı araştırılmıştır. Birinci senaryoda hat genişliklerinin tamamının normal hatta (1435 mm), ikincisinde hat genişliklerinin dar hatta (1000 mm) dönüştürülmesi, üçüncüsünde gece her yerde aydınlatmanın var ve çalışıyor olması, dördüncüsünde ise bölünmemiş yolların bölünmüşe dönüştürülmesi durumları incelenmiştir.

Senaryo uygulaması sonuçlarına göre ortaya çıkan kaza şiddeti türlerinin payları ve sayıları Çizelge 6.3'te verilmiştir. Mevcut durum ve senaryolar için, ölümlü kaza olma olasılığındaki değişim grafiği Şekil 6.1'de, yaralanmalı kaza olma olasılığındaki değişim grafiği Şekil 6.2'de ve maddi hasarlı olma olasılığındaki değişim grafiği ise Şekil 6.3'te gösterilmiştir.

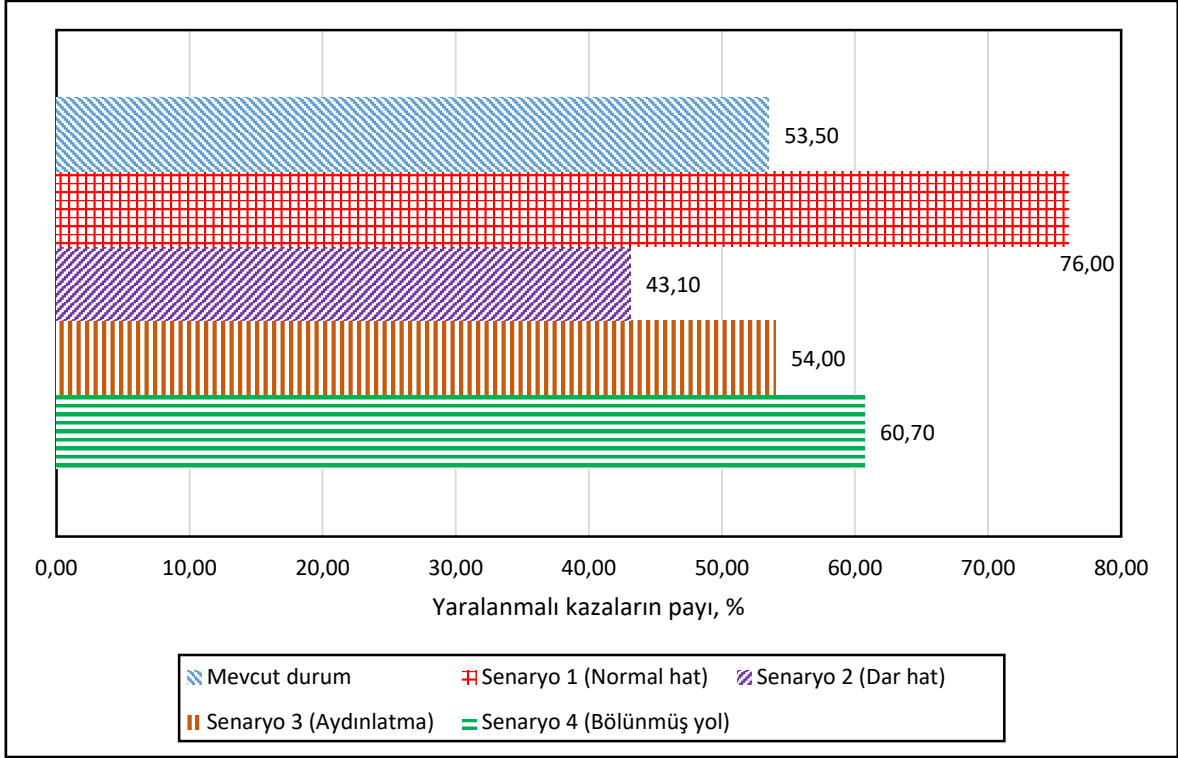
Çizelge 6.3. Senaryo uygulaması sonucu kaza şiddeti türlerinin paylarındaki değişim

Senaryo	Ölümlü kaza			Yaralanmalı kaza			Maddi hasarlı kaza		
	Sayısı	Payı	Değişim yüzdesi	Sayısı	Payı	Değişim yüzdesi	Sayısı	Payı	Değişim yüzdesi
Mevcut durum	6	%1,5	-	215	%53,5	-	181	%45,0	-
Tüm hat genişlikleri 1435 mm (normal hat) olması durumu	18	%4,5	+%3,0	305	%76,0	+%22,5	79	%19,6	-%25,5
Tüm hat genişlikleri 1000 mm (dar hat) olması durumu	3	%0,6	-%0,9	173	%43,1	-%10,4	226	%56,3	+%11,3
Gece tüm yollarda aydınlatma var ve çalışıyor olması durumu	4	%1,1	-%0,4	217	%54,0	+%0,5	181	%44,9	-%0,1
Tüm yolların bölünmüş (dönel kavşaklar hariç) olması durumu	11	%2,7	+%1,2	244	%60,7	+%7,2	147	%36,6	-%8,4

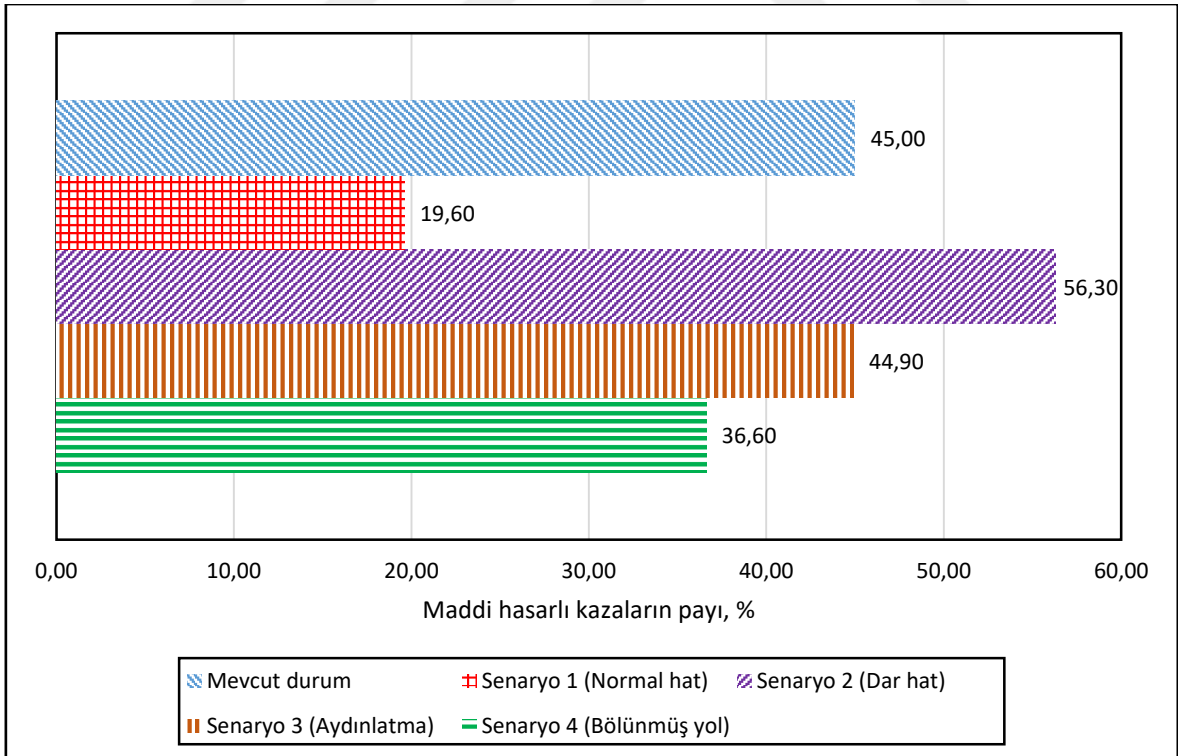
Mevcut duruma bakıldığında 402 tramvay kazasının 6'sı (%1,5) ölümlü, 215'i (%53,5) yaralanmayla ve 181'i (%45,0) maddi hasarla sonuçlanmıştır.



Şekil 6.1. Mevcut durum ve senaryolar için ölümlü kaza olasılıklarındaki değişim

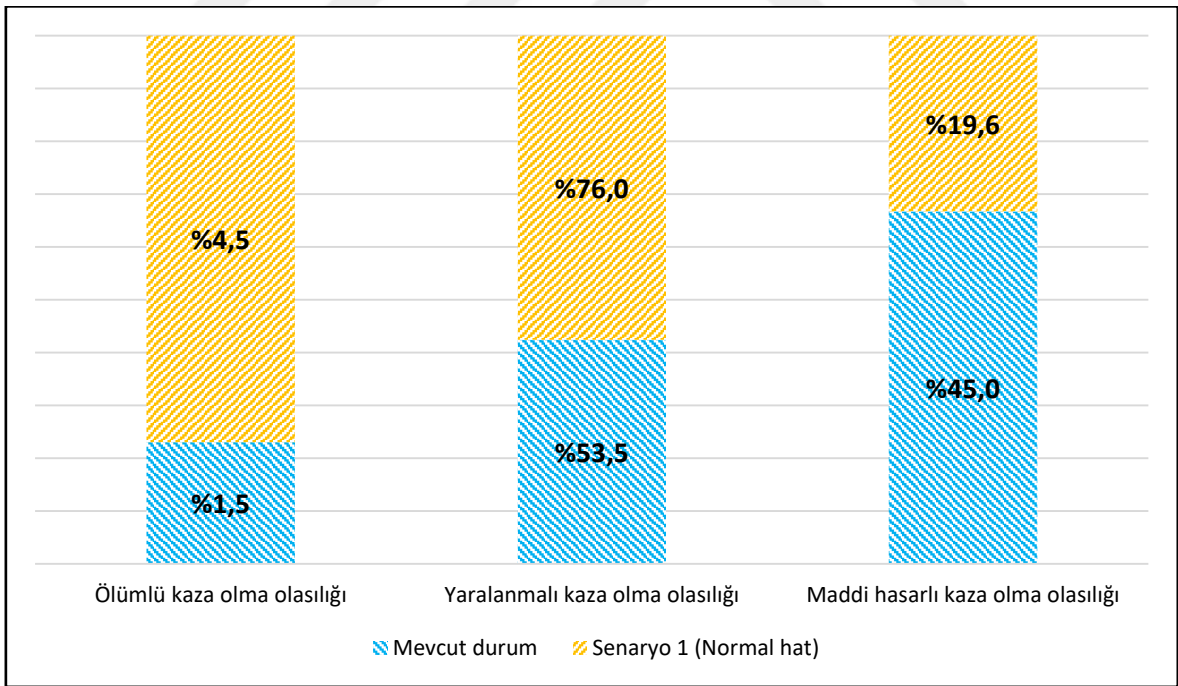


Şekil 6.2. Mevcut durum ve senaryolar için yaralanmalı kaza olasılıklarındaki değişim

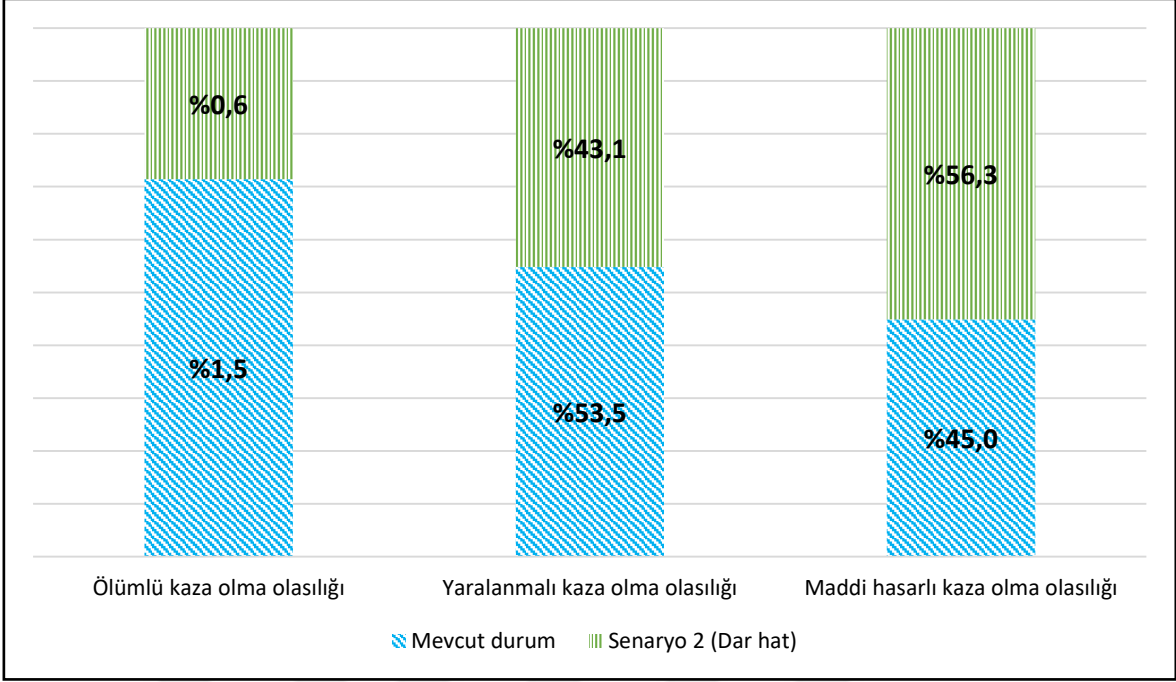


Şekil 6.3. Mevcut durum ve senaryolar için maddi hasarlı kaza olasılıklarındaki değişim

Çizelge 6.3'te verilen sonuçlara göre, hat genişliklerinin tamamının normal hat (1435 mm) olması durumunda, ölümlü kaza sayısı 3 katı artış göstermiş ve payı %3,0 oranında artarak %4,5'e çıkmıştır. Yaralanmalı kazaların payı ise %22,5 artarak %76,0'a yükselmiştir. Maddi hasarlı kazaların payı da %25,5 azalarak %19,6'ya düşmüştür. İkinci senaryoda hat genişliklerinin tamamı dar hatta (1000 mm) dönüştürülmüştür. Bu durumda, ölümlü kazaların payı %0,6'ya, yaralanmalıların payı ise %43,1'e düşmüştür. Maddi hasarlı kazaların payı da %11,3 artarak %56,3'e çıkmıştır. Buna göre, dar hatlarda, normal hatlara göre daha az ölümlü ve yaralanmalı kaza olma olasılığı varken maddi hasarlı kazaların olma olasılığının daha yüksek olduğu söylenebilir. Bu durumun dar hatların, normal hatlara göre trafikle daha fazla etkileşimde olması durumuyla ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Kaza verisini oluşturan sistemler incelendiğinde, dar hatta sahip olan Eskişehir'de bulunan ESTRAM sisteminin birçok noktada fiziksel ayırıcılarla ayrılmamış ve akan trafiğin içinde seyreden bir sistem olduğu görülmüştür. Kaza şiddet türlerinin paylarının mevcut durumla, tüm hatların normal hat olması durumu senaryosunun karşılaştırıldığı grafik Şekil 6.4'te, tüm hatların dar olması durumu senaryosunun karşılaştırıldığı grafik Şekil 6.5'te verilmiştir.

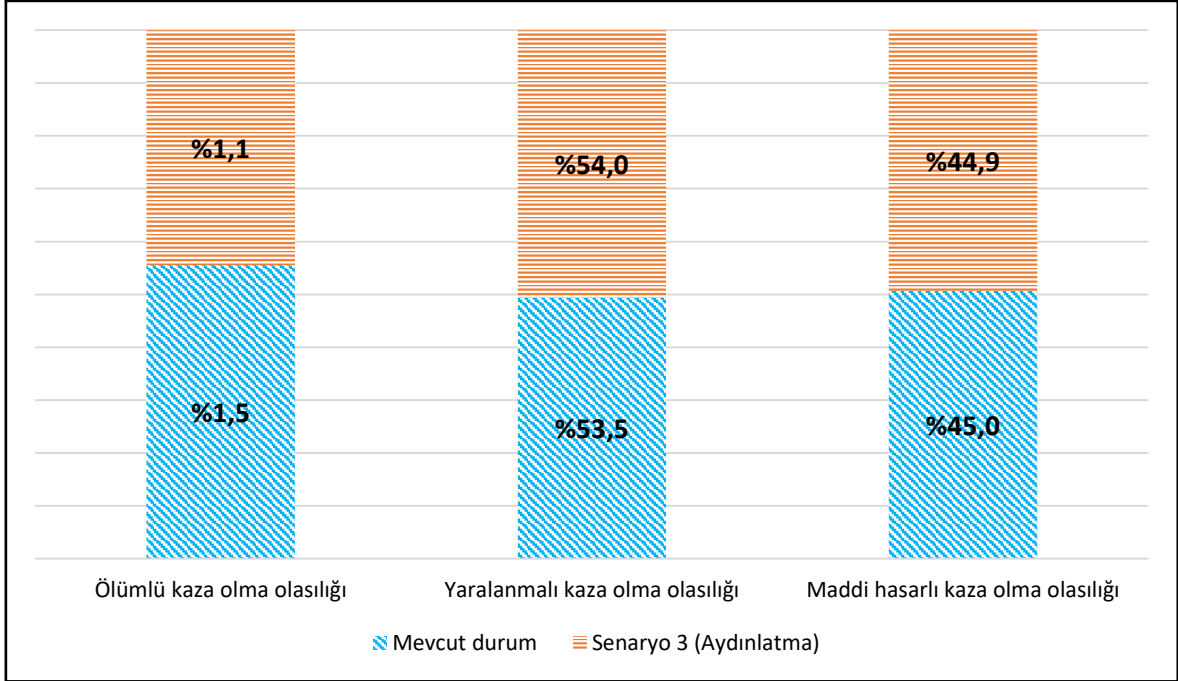


Şekil 6.4. Mevcut durum ve Senaryo 1'in kaza şiddeti türlerinin paylarının karşılaştırılması



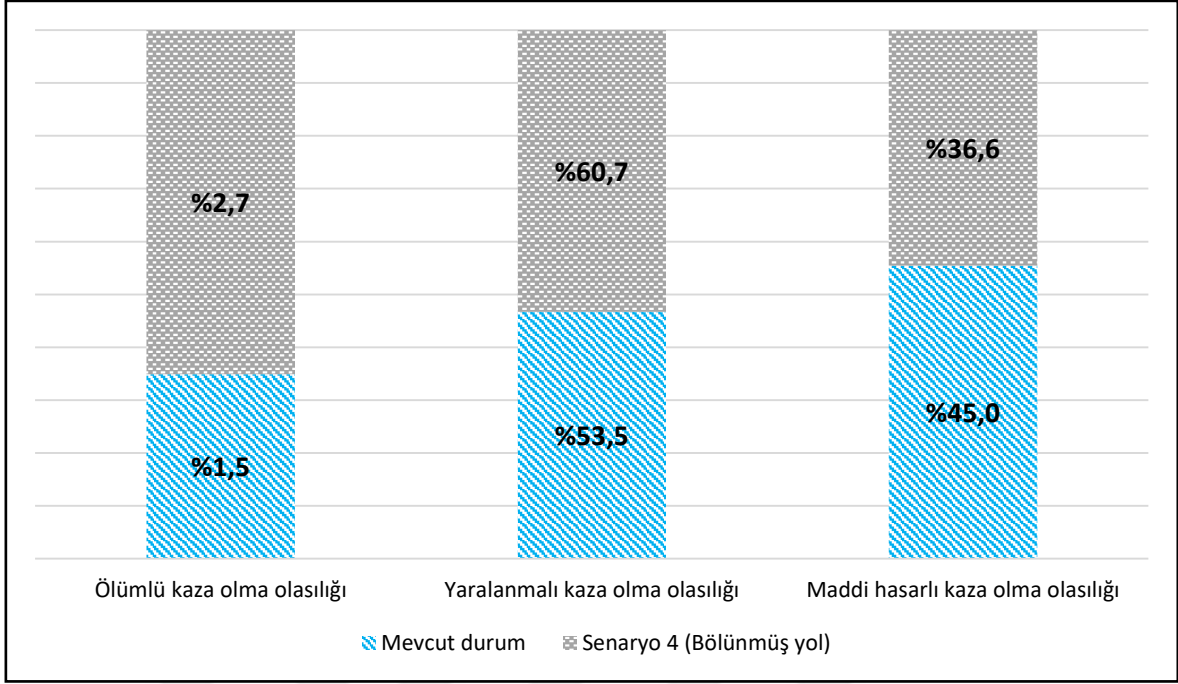
Şekil 6.5. Mevcut durum ve Senaryo 2'nin kaza şiddeti türlerinin paylarının karşılaştırılması

Tramvayın işletildiği bölgenin tamamında gece aydınlatma sisteminin var ve çalışıyor olması durumu incelendiğinde, ölümlü ve maddi hasarlı kazaların paylarının sırasıyla %0,4 ve %0,1 azaldığı, yaralanmalı kazaların paylarının ise %0,5 arttığı gözlemlenmiştir. Buna göre, gece aydınlatma durumunun iyileştirilmesinin kazaların şiddetine etkisinin diğer parametrelerin yanında çok az olduğu söylenebilir. Çizelge 6.1'deki model tahmin sonuçları tablosu incelendiğinde, gece aydınlatma durumu değişkeninin yer aldığı iki fayda fonksiyonu için tahmin edilen katsayı değerlerinin istatistiksel olarak anlamsız çıkması bunu kanıtlamaktadır. Gerçek hayat için bu durum düşünüldüğünde, tramvay aracının kendi ışık ve farlarının insanlar için yeterli bir uyarıcı olduğu ve ortam aydınlatmasının kazanın oluşumuna etkisinin çok fazla olmayacağı söylenebilir. Kaza şiddeti türlerinin paylarının mevcut durum ve her yerde aydınlatmanın olması durumunu ifade eden Senaryo 3 için karşılaştırıldığı grafik Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6. Mevcut durum ve Senaryo 3'ün kaza şiddeti türlerinin paylarının karşılaştırılması

Dönel kavşaklarda herhangi bir değişiklik yapılmamak üzere, verideki tüm bölünmemiş yollar bölünmüş yola dönüştürüldüğünde, ölümlü sonuçlanan kazaların payı yaklaşık 2 kat artarak %1,5'tan %2,7'ye, yaralanma ile sonuçlananların payı ise %7,2 artarak %60,7'ye yükselmiştir. Maddi hasarlı kazaların payı ise %8,4 azalarak %36,6'ya düşmüştür. Maddi hasarlı kazalar azalırken ölümlü ve yaralanmalı kazaların artması akla yatkındır. Çünkü yol delinatör veya bordür taşı gibi fiziksel ayırıcılarla bölündüğünde araçlar tramvay yoluna kolaylıkla giremeyeceği için kazaların maddi hasarlı olma olasılıklarında azalma, ancak yayalar yine kolaylıkla tramvay yoluna erişebileceklerinden dolayı ölümlü ve yaralanmalı kazaların oluşma olasılıklarında değişme olmaması beklenir. Şekil 6.7'de mevcut durum ile Senaryo 4 olan bölünmemiş yolların tamamının bölünmüşe dönüştürülmesi durumları için kaza şiddeti türlerinin paylarının karşılaştırıldığı grafik verilmiştir.



Şekil 6.7. Mevcut durum ve Senaryo 4'ün kaza şiddeti türlerinin paylarının karşılaştırılması

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gelişmiş ülkelerde kullanımı hızla artan kent içi raylı sistemler ülkemizde de her geçen gün daha önemli hale gelmektedir. Toplu taşımada lastik tekerli sistemlere göre daha çevreci, gürültüsüz, güvenli, konforlu ve dakik olması nedeniyle güvenilir olan kent içi raylı sistemlerin önümüzdeki yıllarda popülerliğini korumaya devam edeceği düşünülmektedir. Gerek çevre ile uyumu gerekse küçük yarıçaplı dönemeçlerden dönebilme kabiliyetiyle raylı sistemlerin en esnek türü olan tramvaylar ise sadece büyük ölçekli değil orta ve küçük ölçekli şehirlerde de kullanılmaktadır. Yapılan literatür taraması göstermektedir ki; kent içinde ulaşımı sağlayan lastik tekerli araçların kullanıldığı yollar için birçok kaza nedensellik araştırması varken kent içi raylı sistemler için bu tarz çalışmalar oldukça azdır. Bu durumda, tramvay kazalarına etki eden faktörlerin araştırılması ve bu faktörlerin kaza şiddeti üzerine etkisinin incelendiği bu tez çalışmasının yapılmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

Tez çalışması kapsamında, Eskişehir ilinde ve Birleşik Krallık'taki altı şehirde meydana gelen tramvay kazalarına ait veriler kullanılarak, ÇTL modelleme yöntemiyle, tramvay kaza şiddeti ve tramvay kazalarına neden olabilecek faktörler arasındaki ilişki araştırılmıştır. Kaza şiddeti, ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı olmak üzere üçe ayrılmıştır. Kazaya karışan kişi ve araç sayıları, yol geometrisi, kazanın şekli, hava durumu, aydınlatma durumu, gündüz veya geceyi ifade eden gün durumu, yolun yüzey durumu, hat genişliği, tramvay uzunluk ve genişlik bilgileri kazalara etkiyen faktörler olarak ele alınmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda en uygun olduğu düşünülen model için kazalara neden olan faktörleri ifade eden değişkenlerin katsayıları tahmin edilmiş ve modelde gece aydınlatma durumu hem ölümlü hem yaralanmalı kaza türü, yolun yüzey durumu değişkeni hem yaralanmalı hem maddi hasarlı kaza türü, yayaya çarpma ve dönel kavşak değişkenleri ise yaralanmalı kaza türü tercihlerinde istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. Bölünmüş yol ve hat durumu (genişliği) değişkenlerinin hem ölümlü hem yaralanmalı kaza türleri, kazaya karışan kişi sayısı ve araçla çarpışma değişkenlerinin maddi hasarlı kaza türü için tahmin edilen katsayıları ise istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır.

Sonuç modele göre elde edilen veriler için, tramvay hat genişliğinin normal (1435 mm) olması (dar hat olmaması) veya yolun bölünmüş olması durumunda maddi hasarlı kaza olma olasılığı azalmakta buna karşılık yaralanmalı ve ölümlü kaza olma olasılığı artmaktadır. Kazaların gündüz meydana gelmesi durumunda, kazanın ölümle sonuçlanma olasılığı diğer kaza türlerine göre daha düşük olmaktadır. Kazaya karışan kişi sayısı arttıkça kazanın maddi hasarlı olma olasılığı, ölümlü veya yaralanmalı olma olasılığına göre azalmaktadır. Kazanın tramvay içi veya tramvayın yayaya çarpmasıyla değil araçla çarpışma şeklinde olması durumuna bakıldığında, maddi hasarlı olma olasılığı diğer kaza türlerine göre daha yüksek olmaktadır.

Mevcut duruma bakılırsa; kazaların %1,5'i ölümlü, %53,5'i yaralanmalı ve %45,0'ı maddi hasarlı olarak sonuçlanmıştır. Yapılan senaryo analizlerine göre, hat genişliklerinin tamamı normal (1435 mm) hatlara dönüştürülürse ölümlü kazaların payı %4,5'e, yaralanmalı kazaların payı %76,0'a yükselirken maddi hasarlı kazaların payı ise %25,5'e düşmektedir. Bu durum tersine dönüştürülerek tüm hatların dar (1000 mm) olması durumu değerlendirildiğinde, ölümlü kazaların payı %0,6'ya, yaralanmalıların payı %43,1'e düşerken, maddi hasarlı kazaların payı %56,3'e yükselmektedir. Veri incelendiğinde dar hatta işletilen tramvayların geniş veya normal hatlara göre trafikle daha fazla etkileşime girmesi bu duruma neden olarak sunulabilir. Öte yandan, veride dar hat genişliğinin yalnızca Eskişehir'de meydana gelen kazalar ile temsil edilmesi nedeniyle, bu değişken ile ilgili yorumların; fiziksel olarak hat genişliğinin yanı sıra trafik kültürü ve sürücü davranışlarındaki ülkesel farkları da temsil ettiği düşünülmektedir. Hat genişliğinin etkisinin daha iyi değerlendirilebilmesi için özellikle aynı ülkede bulunan farklı hat genişliklerinin yer aldığı daha geniş bir veri ile çalışılması uygun olacaktır. Üçüncü senaryoda gece aydınlatma probleminin ortadan kaldırılması durumunda meydana gelen değişim incelenmiş ve ölümlü kazaların payı mevcut duruma göre %0,4, maddi hasarlı kazaların payı %0,1 azalırken, yaralanmalı kazaların payının %0,5 arttığı görülmüştür. Değerlerden de anlaşılacağı üzere aydınlatmanın kazanın oluşumuna ve şiddetine etkisi oldukça azdır. Buna sebep olarak, ortam karanlık olsa bile tramvayın farları ve iç-dış aydınlatmalarının insanlar için yeterli uyarıcılar olması gösterilebilir. Dördüncü senaryo için, bölünmemiş yolların tamamının bölünmüşe dönüştürülmesi durumunda kaza şiddetinde değişim gözlenmiştir. Bu durumda ölümlü kazaların payı %2,7'ye, yaralanmalı kazaların payı %60,7'ye yükselirken, maddi hasarlıların payı %36,6'ya düşmektedir. Tramvay yolunun, diğer araçların kullandığı

yoldan bordür veya delinatörle ayrılması, diğer araçların tramvay yoluna girmesini engelleyeceği için maddi hasarlı kazaların meydana gelme olasılığının azalması oldukça mantıklıdır. Aynı şekilde, insanların bordürlerin üzerinden veya yaklaşık 2 metrede bir yerleştirilen delinatörlerin arasından kolayca geçebilmesi nedeniyle ölümlü ve yaralanmalı kazalarda azalma görülmemesi çok doğaldır. Oluşturulan modelde toplam kaza sayısı değişmediğinden dolayı maddi hasarlı kazaların payının azalmasıyla ölümlü ve yaralanmalı kazaların payları artmıştır. Gerçekte kaza sayısının da azalması bekleneceğinden bu paylarda artışın olmayacağı düşünülmektedir.

Model ve senaryo uygulaması sonuçları, ölümlü ve yaralanmalı kazaları azaltabilmek için, bölünmüş yolların, yolu yalnızca araç trafiğinden ayırarak şekilde yapılması durumunda herhangi bir fayda sağlamadığını, bunun yerine daha farklı önlemler alınması gerektiğini göstermektedir. Hat genişliğine bakıldığında, dar hatlarda meydana gelen kazaların, standart hatalara göre, daha az ölümlü ve yaralanmalı olduğu, ancak maddi hasarlı kazaların daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun nedenlerinin farklı hat genişliklerine sahip aynı ülkedeki farklı şehirler için yeniden modeller kurularak araştırılması uygun olacaktır. Mevcut durumda, hat genişliğinin değişmesiyle kaza şiddetinin de değiştiği ile ilgili kesin yorumlar yapmak doğru olmayacaktır. Gece meydana gelen kazaların, ölümle sonuçlanma olasılığını arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durumda gece meydana gelen kazaların şiddetini azaltmak için gerekli ışıklı ve sesli uyarıcılar yetersizse düzeltilmeli, eğer yeterli olduğu tespit edildiyse, kazanın sık olduğu yerlere üst veya alt geçitlerin yapılması düşünülmelidir.

Tez çalışmasından elde edilen sonuçların yardımıyla, tramvay kazalarına etki eden faktörler bulunmuş ve bu faktörlerin kaza şiddetine olan etkileri araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmanın, tramvay kazalarının azaltılması için yapılacak uygulamalarda öncelikli olarak kazaya neden olan faktörlerden hangisinin veya hangilerinin iyileştirilmesi gerektiği konusunda katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca ÇTL model yönteminin tramvay kaza nedensellik modeli oluşturulması için kullanımının gösterildiği bu çalışma, daha fazla bilginin işlendiği veri setleriyle daha farklı ve yeni modellerin kurulması ve yorumlanması için yol gösterici olacaktır.

Kaza literatürü incelendiğinde, nedensellik araştırmasında en az ÇTL modeli kadar yaygın olarak kullanılan bir başka yöntemin, sıralı lojit veya probit olduğu görülmektedir. Sıralı modeller kaza şiddet seviyeleri arasındaki silsileyi daha gerçekçi olarak temsil edebilme özelliğine sahiptir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan analizlerin geliştirilmesinin yanı sıra gelecekte benzeri konularda hazırlanacak tezlerde bu yöntemin de kullanılması tavsiye edilmektedir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdelwahab, H., Abdel-Aty, M., 2001, Development of artificial neural network models to predict driver injury severity in traffic accidents at signalized intersections. *Transportation Research Record* 1746, 6–13.
- Abdelwahab, H., Abdel-Aty, M., 2001, Development of artificial neural network models to predict driver injury severity in traffic accidents at signalized intersections. *Transportation Research Record* 1746, 6–13.
- Adams, E., 1976, Accident causation and the management system, *Professional Safety* 21 (10), 26–29.
- Anastasopoulos, P., Mannering, F., 2009, A note on modeling vehicle accident frequencies with random-parameters count models. *Accident Analysis and Prevention* 41 (1), 153–159.
- Anastasopoulos, P., Tarko, A., Mannering, F., 2008, Tobit analysis of vehicle accident rates on interstate highways. *Accident Analysis and Prevention* 40 (2), 768–775.
- Anonim, 2015 a, Blackpool Tramway, https://en.wikipedia.org/wiki/Blackpool_tramway, erişim tarihi: 31.10.2016.
- Anonim, 2015 b, Tramlink, <https://en.wikipedia.org/wiki/Tramlink>, erişim tarihi: 31.10.2016.
- Anonim, 2015 c, Nottingham Express Transit, https://en.wikipedia.org/wiki/Nottingham_Express_Transit, erişim tarihi: 31.10.2016.
- Anonim, 2015 d, Manchester Metrolink, https://en.wikipedia.org/wiki/Manchester_Metrolink, erişim tarihi: 31.10.2016.
- Anonim, 2015 e, Ayrık Seçim, https://tr.wikipedia.org/wiki/Ayr%C4%B1k_se%C3%A7im, erişim tarihi: 16.08.2016.
- Anonim, 2016 a, Estram İşletim Şeması, https://tr.wikipedia.org/wiki/Eski%C5%9Fehir_tramvay_hatt%C4%B1, erişim tarihi: 10.05.2016.
- Anonim, 2016 b, Blackpool Tramvayı İşletim Şeması, https://en.wikipedia.org/wiki/Blackpool_tramway, erişim tarihi: 10.05.2016.
- Anonim, 2016 c, Tramlink İşletim Şeması, <https://en.wikipedia.org/wiki/Tramlink>, erişim tarihi: 10.05.2016.
- Anonim, 2016 d, NET İşletim Şeması, https://en.wikipedia.org/wiki/Nottingham_Express_Transit, erişim tarihi: 10.05.2016.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Anonim, 2016 e, Sheffield Supertram, https://en.wikipedia.org/wiki/Sheffield_Supertram, erişim tarihi: 31.10.2016.
- Anonim, 2016 f, Supertram İşletim Şeması, <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6c/SheffieldSupertramMap.svg>, erişim tarihi: 10.05.2016.
- Anonim, 2016 f, Edinburgh Trams, https://en.wikipedia.org/wiki/Edinburgh_Trms, erişim tarihi: 31.10.2016.
- Baysari, M.T., McIntosh, A.S., Wilson, J.R., 2008, Understanding the human factors contribution to railway accidents and incidents in Australia. *Accident Analysis and Prevention* 40, 1750–1757.
- Bird, F.E., 1974, *Management Guide to Loss Control*, Institute Press, Atlanta, GA.
- Caliendo, C., Guida, M., Parisi, A., 2007, A crash prediction model for multilane roads. *Accident Analysis and Prevention* 39 (4), 657–670.
- Castro, M., Paleti, R., Bhat, C., 2013, A spatial generalized ordered response model to examine highway crash injury severity. *Accident Analysis and Prevention* 52, 188–203.
- Castro, M., Paleti, R., Bhat, C., 2013, A spatial generalized ordered response model to examine highway crash injury severity. *Accident Analysis and Prevention* 52, 188–203.
- Chen, W., Jovanis, P., 2000 Method for identifying factors contributing to driver-injury severity in traffic crashes. *Transportation Research Record* 1707, 1–9.
- Chris Wharton, 2012, Blackpool Bombardier Flexity Swift CR4000, [https://en.wikipedia.org/wiki/Flexity_2_\(Blackpool\)#/media/File:Flexity_2_\(Blackpool\)_tram_at_Tower_tram_stop.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Flexity_2_(Blackpool)#/media/File:Flexity_2_(Blackpool)_tram_at_Tower_tram_stop.jpg), erişim tarihi: 10.05.2016.
- Chris Wood, 2015, NET Alstom Citadis 302, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9e/Nottingham_Citadis_by_chrisw_at_2015-08-02_14.09.26.jpg/1024px-Nottingham_Citadis_by_chrisw_at_2015-08-02_14.09.26.jpg, erişim tarihi: 10.05.2016.
- Clauset, A., 2011, *Inference, models and simulation for complex systems*, CSCI 7000-001.
- Dan Sellers, 2011, Metrolink Bombardier Flexity Swift M5000, https://en.wikipedia.org/wiki/M5000#/media/File:Shudehill_Metrolink.jpg, erişim tarihi: 10.05.2016.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- David Arthur, David, 2007, Edinburg Trams İşletim Şeması, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Edinburgh_tramway_map.svg, erişim tarihi: 10.05.2016.
- Domencich, T. A. Ve McFadden D., 1975, Urban Travel Demand A behavioral analysis, North-Holland Publishing Company, 124.
- Eluru, N., Bagheri, M., Miranda Moreno, L., Fu, L., 2012, A latent class modeling approach for identifying vehicle driver injury severity factors at highway– railway crossings. *Accident Analysis and Prevention* 47, 119–127.
- Eluru, N., Bhat, C., 2007, A joint econometric analysis of seat belt use and crash-related injury severity. *Accident Analysis and Prevention* 39 (5), 1037–1049.
- Erden, E., 2015, Kocaeli’de Otomobil Sahipliğinin Lojit Model ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ergin, M. E., 2015, İstanbul Toplu Taşıma Sistem Algısının Mevcut ve Sanal Tercihler Çerçevesinde Lojit Model ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ergün, G., 2008, Ulaşım Türel Seçim Modelleri El Kitabı, İMP, İstanbul.
- ESTRAM, 2016, <http://www2.estram.com.tr/Anasayfa>, erişim tarihi: 31.10.2016.
- Graham Hogg, 2012, Supertram Siemens Duewag Supertram, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ee/Halfway_tram_terminus_-_geograph.org.uk_-_3107561.jpg, erişim tarihi: 10.05.2016.
- Gustavsson, J., Svensson, A., 1976, A Poisson regression model applied to classes of road accidents with small frequencies. *Scandinavian Journal of Statistics* 3 (2), 49–60.
- Hadi Mousavi, 2016, Estram Bombardier Flexity Outlook, https://scontent-bru2-1.xx.fbcdn.net/t31.0-8/12885790_484631698394742_1177007366177479159_o.jpg, erişim tarihi: 10.05.2016.
- Heinrich, H.W., 1931, Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach, McGraw-Hill, New York.
- Horowitz, J. L., Koppelman, F. S. ve Lerman, S. R., 1986, A self – instructing course in disaggregate mode choice modelling.
- Johansson, P., 1996, Speed limitation and motorway casualties: a time series count data regression approach. *Accident Analysis and Prevention* 28 (1), 73–87.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jones, A., Jørgensen, S., 2003, The use of multilevel models for the prediction of road accident outcomes. *Accident Analysis and Prevention* 35 (1), 59–69.
- Jovanis, P., Chang, H., 1989, Disaggregate model of highway accident occurrence using survival theory. *Accident Analysis and Prevention* 21 (5), 445–458.
- Katsakiori, P., Sakellaropoulos, G., Manatakis, E., 2009, Towards an evaluation of accident investigation methods in terms of their alignment with accident causation models, *Safety Science* 47, 1007–1015.
- Khattak, A., Kantor, P., Council, F., 1998, Role of adverse weather in key crash types on limited-access: roadways implications for advanced weather systems. *Transportation Research Record* 1621, 10-19.
- Kim Traynor, 2014, EDINBURGH TRAMS CAF Urbos 3, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/Edinburgh_trams%2C_Shandwick_Place.JPG, erişim tarihi: 10.05.2016.
- Kim, D.S. ve Yoon W.C., 2013, An accident causation model for the railway industry: Application of the model to 80 rail accident investigation reports from the UK, *Safety Science* 60, 57-68.
- Kim, J. K., Ulfarsson, G., Kim, S., Shankar, V., 2013, Driver injury severity in single-vehicle crashes in California: a mixed logit analysis of heterogeneity due to age and gender. *Accident Analysis and Prevention* 50, 1751–1758.
- Lancaster, K. J., 1996, A new approach to consumer theory, *Journal of Political Economy*, 14(2), 132-57.
- Lord, D., Geedipally, S., 2011, The negative binomial-Lindley distribution as a tool for analyzing crash data characterized by a large amount of zeros. *Accident Analysis and Prevention* 43 (5), 1738–1742.
- Lord, D., Guikema, S., Geedipally, S., 2008, Application of the Conway–Maxwell–Poisson generalized linear model for analyzing motor vehicle crashes. *Accident Analysis and Prevention* 40 (3), 1123–1134.
- Lord, D., Persaud, B., 2000, Accident prediction models with and without trend: application of the generalized estimating equations procedure. *Transportation Research Record* 1717, 102–108.
- Luce, R. D., 1959, *Individual Choice Behavior: A Theoretical Analysis*. New York: Wiley.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Maher, M., Summersgill, I., 1996, A comprehensive methodology for the fitting predictive accident models. *Accident Analysis and Prevention* 28 (3), 281–296.
- Malyshkina, N., Mannering, F., 2009, Markov switching multinomial logit model: an application to accident-injury severities. *Accident Analysis and Prevention* 41 (4), 829–838.
- Malyshkina, N., Mannering, F., Tarko, A., 2009, Markov switching negative binomial models: an application to vehicle accident frequencies. *Accident Analysis and Prevention* 41 (2), 217–226.
- Mannering, F. L., Bhat, C. R., 2014, Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research* 1, 1-22.
- Maximilian Dörrbecher, 2016, Metrolink İşletim Şeması, https://en.wikipedia.org/wiki/Manchester_Metrolink#/media/File:Manchester_Metrolink_-_Schemaplan.png, erişim tarihi: 10.05.2016.
- Maycock, G., Hall, R., 1984, Accidents at 4-Arm Roundabouts. TRRL Laboratory Report 1120, Transportation and Road Research Laboratory, Crowthorne, U.K.
- McFadden, Daniel L. 1974, “Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior,” in *Frontiers in Econometrics*. Paul Zarembka, ed. New York: Academic Press, pp. 105–42.
- Miaou, S.-P., 1994, The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions. *Accident Analysis and Prevention* 26 (4), 471–482.
- Miaou, S.-P., Song, J., 2005, Bayesian ranking of sites for engineering safety improvements: decision parameter, treatability concept, statistical criterion and spatial dependence. *Accident Analysis and Prevention* 37 (4), 699–720.
- Milton, J., Shankar, V., Mannering, F., 2008, Highway accident severities and the mixed logit model: an exploratory empirical analysis. *Accident Analysis and Prevention* 40 (1), 260–266.
- Neil Clifton, 2004, NET Bombardier Incentro AT6/5, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/Tram_at_Station_Street_terminus_in_Nottingham_-_geograph.org.uk_-_133038.jpg, erişim tarihi: 10.05.2016.
- O'Donnell, C., Connor, D., 1996, Predicting the severity of motor vehicle accident injuries using models of ordered multiple choice. *Accident Analysis and Prevention* 28 (6), 739–753.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Oh, J., Washington, S.P., Nam, D., 2006, Accident prediction model for railway highway interfaces. *Accident Analysis and Prevention* 38 (2) , 346–356.
- Oh, J., Washington, S.P., Nam, D., 2006, Accident prediction model for railway–highway interfaces. *Accident Analysis and Prevention* 38 (2), 346–356.
- Ouyang, Y., Shankar, V., Yamamoto, T., 2002, Modeling the simultaneity in injury causation in multi-vehicle collisions. *Transportation Research Record* 1784, 143–152.
- Quddus, M., Wang, C., Ison, S., 2010, Road traffic congestion and crash severity: an econometric analysis using ordered response models. *Journal of Transportation Engineering* 136 (5), 424–435.
- Reason, J., 1990, *Human Error*, Cambridge University Press, New York.
- Sacomanno, F., Nassar, S., Shortreed, J., 1996, Reliability of statistical road accident injury severity models. *Transportation Research Record* 1542, 14–23.
- Shankar, V., Mannering, F., Barfield, W., 1996, Statistical analysis of accident severity on rural freeways. *Accident Analysis and Prevention* 28 (3), 391–401.
- Shankar, V., Mannering, F., 1996, An exploratory multinomial logit analysis of single-vehicle motorcycle accident severity. *Journal of Safety Research* 27 (3), 183–194.
- Shankar, V., Mannering, F., Barfield, W., 1996, Statistical analysis of accident severity on rural freeways. *Accident Analysis and Prevention* 28 (3), 391–401.
- Shibata, A., Fukuda, K., 1994, Risk factors of fatality in motor vehicle traffic accidents. *Accident Analysis and Prevention* 26 (3), 391–397.
- Sklet, S., 2004, Comparison of some selected methods for accident investigation, *Journal of Hazardous Materials* 111, 29-37.
- Srinivasan, K., 2002, Injury severity analysis with variable and correlated thresholds: ordered mixed logit formulation. *Transportation Research Record* 1784, 132–142.
- Sunil060902, 2009, Tramlink Bombardier Flexity Swift CR4000, https://en.wikipedia.org/wiki/Bombardier_CR4000#/media/File:Beckenham_Junction_tramstop_look_west_with_Tram_2543.JPG, erişim tarihi: 10.05.2016.
- Sunil060902, 2009, Tramlink Stadler Rail Variobahn, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7e/Tram_2556_at_Centrale.JPG/1024px-Tram_2556_at_Centrale.JPG, erişim tarihi: 10.05.2016.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ulfarsson, G., Shankar, V., 2003, An accident count model based on multi-year cross-sectional roadway data with serial correlation. *Transportation Research Record* 1840, 193–197.
- Vossloh, 2014, Supertram Vossloh Citylink Class 399, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/8/82/Sheffield_Supertram_tram-train_artists%27_impression.jpg, erişim tarihi: 10.05.2016.
- Wang, X., Abdel-Aty, M., 2008, Analysis of left-turn crash injury severity by conflicting pattern using partial proportional odds models. *Accident Analysis and Prevention* 40 (5), 1674–1682.
- Weaver, D., 1971, Symptoms of operational error, *Professional Safety* 104 (2), 39-42.
- Winston, C., Maheshri, V., Mannering, F., 2006, An exploration of the offset hypothesis using disaggregate data: the case of airbags and antilock brakes. *Journal of Risk and Uncertainty* 32 (2), 83–99.
- Xie, Y., Zhang, Y., 2008, Crash frequency analysis with generalized additive models. *Transportation Research Record* 2061, 39–45.
- Yamamoto, T., Shankar, V., 2004, Bivariate ordered-response probit model of driver's and passenger's injury severities in collisions with fixed objects. *Accident Analysis and Prevention* 36 (5), 869–876.
- Yau, K. K., 2004, Risk factors affecting the severity of single vehicle traffic accidents in Hong Kong. *Accident Analysis & Prevention*, 36(3), 333-340.
- Zoi, C., Cohen, S., Karlaftis, M., 2010, Vehicle occupant injury severity on highways: an empirical investigation. *Accident Analysis and Prevention* 42 (6), 1606–1620.