



Review Article

Development of Latent Class Model to Analyze the Severity of Road Accidents in Iran

Seyed Reza Shafaii Amlashi^{1*}, Reza Amin¹, Ali Khodaii²

1. Master Of Science Transportation Engineering Student, Amirkabir University Of Technology, Tehran, Iran

2. Professor Amirkabir University Of Technology, Tehran, Iran

Received: 25 January 2023; Revised: 11 April 2023; Accepted: 12 May 2023; Published: 12 May 2023

Abstract

Accidents in Iran pose a significant public health burden, requiring effective prevention and management strategies. Latent variable modelling provides a promising approach to understanding the complex factors that contribute to accidents in Iran. This paper reviews the current state of knowledge of latent variable modelling in Iran's accidents. The paper provides a synthesis of the literature on the measurement and modelling of latent variables in accidents, including human factors, environmental factors, and organizational factors, and also reviews the common statistical techniques used in the analysis of latent variables, such as structural equation modelling, latent class analysis, and factor analysis. The strengths and limitations of these approaches are discussed. The review shows that although some studies have applied latent variable modelling to accidents in Iran, the use of these techniques is still relatively limited in comparison to other countries. Overall, it has been argued that latent variable modelling can offer valuable insights into the underlying mechanisms of accidents in Iran and guide more effective strategies for prevention and management. This study used data from accidents resulting in the death or injury of passengers gathered on Iranian roadways in 2015, and the latent class model was fitted to this data using the NLOGIT6 software. And the findings have been reported in this article. The findings suggest that elements such as the season and day of the accident, as well as weather conditions, have an impact on the severity of accidents.

Keywords:

Road accident, Accident severity, Latent model class, Road safety, Regression.

Cite this article as: shafaii amlashi seyed reza, Amin R, Khodaii A. (2023). Development of Latent Class Model to Analyze the Severity of Road Accidents in Iran. *Civ Proj*; 4(12):36–48. <https://doi.org/10.22034/cpj.2023.394492.1192>

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2023 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address: reza.shafaii@aut.ac.ir



نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

توسعه مدل کلاس پنهان جهت تحلیل شدت تصادفات جاده ای در ایران

سید رضا شفائی املشی*^۱، رضا امین^۲، علی خدایی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۳. استاد تمام، عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۰۵ بهمن ۱۴۰۱؛ تاریخ بازنگری: ۲۲ فروردین ۱۴۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۲۲ اردیبهشت ۱۴۰۲؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۲۲ اردیبهشت ۱۴۰۲

چکیده

حوادث در ایران بار سلامت عمومی قابل توجهی را به همراه دارد که نیازمند راهبردهای پیشگیری و مدیریت موثر است. مدل سازی متغیرهای پنهان رویکرد امیدوارکننده ای برای درک عوامل پیچیده ای است که در بروز حوادث تصادفات ایران نقش دارند را ارائه می کند. این مقاله به بررسی مدل سازی متغیرهای پنهان برای بررسی شدت تصادفات در ایران می پردازد هم چنین در این تحقیق ترکیبی از ادبیات مربوط به اندازه گیری و مدل سازی متغیرهای پنهان در حوادث، از جمله عوامل انسانی، عوامل محیطی و عوامل سازمانی را ارائه می کند. همچنین تکنیک های آماری رایج مورد استفاده در تجزیه و تحلیل متغیرهای پنهان، مانند مدل سازی معادلات ساختاری، تحلیل کلاس پنهان و تحلیل عاملی بررسی شده است. بررسی نشان می دهد که اگرچه برخی از مطالعات مدل سازی متغیرهای پنهان را در تصادفات در ایران اعمال کرده اند، اما استفاده از این تکنیک ها در مقایسه با سایر کشورها همچنان محدود است. طور کلی، در این مقاله استدلال شده است که مدل سازی متغیر پنهان می تواند بینش های ارزشمندی را در مورد مکانیسم های اساسی حوادث در ایران ارائه دهد و راهبردهای مؤثرتری برای پیشگیری و مدیریت راهنمایی می کند. در این پژوهش با استفاده از داده های تصادفات منجر به فوت و یاجرح سرنشینان جمع آوری شده در سال ۱۳۹۵ در جاده های ایران، و با استفاده از نرم افزار ۶ NLOGIT، مدل کلاس پنهان به این داده ها برازش شده است و نتایج آن در این مقاله ارائه گردیده است، نتایج نشان می دهد عواملی همچون فصل و روز وقوع تصادفات، شرایط آب و هوایی در شدت تصادفات تاثیرگذار است.

کلمات کلیدی

تصادف جاده ای، شدت تصادفات، کلاس مدل پنهان، ایمنی راه، رگرسین.

۱. مقدمه

بنا بر گزارش سازمان بهداشت جهانی^۱ در سال ۲۰۱۸ تعداد تلفات سالانه رانندگی در جاده‌ها ۱/۳۵ میلیون نفر بوده است (سازمان جهانی بهداشت، ۲۰۱۸). همراه با آمار موجود در مورد تعداد کشته‌ها و مجروحان در تصادفات رانندگی، درد و رنج عظیم و میلیاردها دلار هزینه پزشکی همراه دارد (منرینگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). داده‌های تصادفاتی که در طول تاریخ به عنوان مبنایی برای توسعه سیاست‌های ایمنی جاده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند، جان انسان‌های زیادی را نجات داده و یا منجر به کاهش شدت آن شده است (منرینگ و همکاران، ۲۰۱۴). پیشرفت مستمر در روش‌های آماری، محققان را قادر می‌سازد تا اطلاعات بیشتری از این داده‌ها به دست آورده مدل‌های پیش‌بینی تصادفات و یا شدت آن را ارائه کنند، از آنجایی که تصادفات جاده‌ای یک دلیل چند عاملی است شناسایی دلایل و بررسی دقیق وضعیت فعلی گامی اساسی در کاهش و کنترل حوادث است که بدون آن برنامه‌ریزی و مدیریت آن‌ها میسر نمی‌شود.

تحقیقات متعددی برای بررسی ویژگی‌های تصادف یک خودرو انجام شده است به عنوان مثال چن^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۳ عوامل موثر بر تصادفات یک وسیله نقلیه شناسایی کردند که این موارد شامل سرعت بیش از حد، خستگی راننده، رانندگی تحت تاثیرالکل یا مواد مخدر، و سایر موارد هندسی، آب و هوا، مشخصات موقعیت مکانی می‌باشد (چن و همکاران، ۲۰۱۳). تحقیقات گسترده‌ای نشان می‌دهد تصادفات رودررو اغلب منجر به جراحت شدید بیشتر می‌شود، در سال ۲۰۱۵ در ایالت متحده حدود ۲/۳ درصد از کل تصادفات راه، تصادفات رودررو و همچنین حدود ۱۰/۲ درصد کل تصادفات کشنده در این کشور شامل می‌شود (فنگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۶). با این حال به دلیل ناهمگونی ناشی از عوامل موثر مشاهده نشده^۵ در داده‌های تصادف عوامل مؤثر ممکن است اثرات متفاوتی بر پیامدهای آسیب داشته باشند به این ترتیب، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای ممکن است برای جدا کردن کل مجموعه داده به چندین خوشه استفاده شود که در آن ناهمگنی بین این خوشه‌ها به حداکثر می‌رسد از این رو تکنیک خوشه‌بندی به صورت گسترده در تحلیل تصادفات به کار می‌رود.

به منظور ارتقا ایمنی ترافیکی در تصادفات جاده‌ای نیاز به تجزیه و تحلیل برای شناسایی عوامل خطر احتمالی و اثرات آنها بر سطوح شدت آسیب است. از آنجایی که داده‌های تصادفات رانندگی به طور کلی ناهمگن هستند، محققان اغلب سعی می‌کنند این ناهمگنی را کاهش دهند. تاکنون به منظور تحلیل شدت تصادفات از رگرسیون‌های^۶ آماری همانند لجیت^۷ و پروبیت^۸ استفاده می‌شود ولی به دلیل متنوع و پیچیده بودن اطلاعات ممکن است این مدل‌های سنتی برای بررسی عوامل مختلف و تاثیر آن‌ها بر شدت تصادفات مناسب نباشد، از آنجایی که مدل‌های رگرسیونی پارامتریک بوده و بسیار وابسته به فرضیه‌های تعریف شده از روابط تابعی موجود و همچنین خصوصیات متغیرهای

مورد استفاده جهت تحلیل شدت تصادفات هستند، بنابراین چنانچه به درستی تعریف نشوند یا اندکی تغییر کنند مدل برآورد نادرستی از شدت تصادفات خواهد داشت.

¹ WHO

² Mannering

³ Chen

⁴ Feng

⁵ unobserved

⁶ Regression

⁷ Logit

⁸ Probit

۲. مروری بر تحقیقات پیشین

لیم^۹ و چن در سال ۲۰۲۱، مطالعاتی را در زمینه‌ی ترافیک و ایمنی و شناسایی عوامل موثر بر تصادفات و یا شدت تصادفات انجام داده‌اند که از این‌رو ارزیابی مناسب عوامل خطر و اثر آنها بر تصادفات جاده‌ای با هدف اطمینان از یک سیستم حمل و نقل ایمن برای همه کاربران جاده ضروری است. راننده، جاده محیط زیست و وسیله نقلیه چهار عامل اصلی هستند که بر شدت تصادف تأثیر دارند (لیم و چن ۲۰۲۱).

هم‌چنین چن و همکاران در سال ۲۰۱۱ کشف کردند که در شرایط نامناسب رانندگی مانند آب و هوای بد، کامیون‌ها نقش موثرتری در تصادفات دارند (چن و همکاران، ۲۰۱۱). لویز^{۱۰} و همکاران در سال ۲۰۱۴ با هدف بررسی الگوی تصادفات و عوامل موثر در بزرگراه‌ها دو خطه نشان دادند که بیشترین میزان تصادفات در شرایط آب‌وهوایی خوب، روز، روزهای کاری، گروه سنی ۲۸-۶۰ سال، فصل تابستان، جنسیت مرد ثبت شده‌است (لویز و همکاران، ۲۰۱۴). هم‌چنین در مطالعاتی به بررسی نقش تأثیرات آب‌وهوایی بر شدت تصادفات پرداختند به عنوان نمونه یانگ^{۱۱} و همکاران در سال ۲۰۱۳ به طور مشخص تأثیر بارندگی بر شدت تصادف در شهر ویسکانسین ایلات متحده‌ی آمریکا را بررسی کردند که در این مطالعه از مدل رگرسیون لجستیک متوالی به عقب برای پیش‌بینی شدت تصادفات استفاده کردند؛ نتایج به دست‌آمده نشان داد شرایط آب‌وهوا شدت بارندگی، باد، سرعت، شرایط زمین جاده و استفاده از کمربند ایمنی تأثیرات قابل توجهی بر نتیجه شدت تصادف داشتند (یانگ و همکاران، ۲۰۱۳). در مطالعات دیگر محققان به بررسی اثرات ناشی از تغییرات آب‌وهوایی ناگهانی بر تصادفات جاده‌ای پرداختند؛ اندرسون^{۱۲} و همکاران در سال ۲۰۱۱ در پژوهشی برای بررسی اثر تغییرات آب‌وهوایی بر تصادفات جاده‌ای در کشور انگلستان به این نتیجه رسیدند که تغییرات ناگهانی آب‌وهوا باعث کاهش طول فصل زمستان در وست میدلندز^{۱۳} می‌شود این امر از نظر تئوری منجر به کاهش ۴۳ درصدی تعداد تصادفات ایجاد شده خواهد شد هم‌چنین می‌تواند منجر به کاهش مقدار نمک مورد نیاز برای تصفیه جاده‌ها شود (اندرسون و همکاران، ۲۰۱۱). برای درک بهتر از عوامل درگیر و تأثیرگذار بر تصادفات در این پژوهش سری به مطالعات پیشین در مورد عواملی که راننده بر تصادف تأثیر داشته‌اند زده شده‌است. تصمیمات رانندگی نیز به طور قابل توجهی تحت تأثیر ویژگی‌های افراد و حالات احساسی مانند استرس، خستگی و غیره قرار می‌گیرد. با تعقیب رفتار رانندگان^{۱۴} و بررسی الگوی افزایش و کاهش شتاب خوردهای رانندگان، فهرست متعددی که بر رفتار دنبال کردن خودرو تأثیر می‌گذارد مانند ویژگی‌های جمعیت شناختی، زمان واکنش، حساسیت زمینه‌ای، پرخاشگری و تمایل به ریسک‌پذیری، سرعت مطلوب، و غیره ارائه کرد. به گفته روانشناسان، خلق و خو و استرس تأثیر بسزایی بر رفتار رانندگی دارد (همدر^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۸ و کستینگ^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۳؛ سافزمن^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۴؛ وسترن^{۱۸} و همکاران، ۲۰۰۰). بلوز^{۱۹} و همکاران در سال ۲۰۰۵ نشان دادند یکی دیگر از عوامل تصادفات عادت رانندگی پرخطر می‌باشد (بلوز و همکاران، ۲۰۰۵). همانطور پیش‌تر اشاره شده جاده هم از عوامل تصادفات می‌باشد از این‌رو زیرساخت‌های جاده‌ای ناایمن می‌توانند در افزایش پتانسیل آسیب در بین کاربران جاده نقش داشته‌باشد (ژائی^{۲۰} و همکاران، ۲۰۱۹). به عنوان نمونه ژائی و همکاران در سال ۲۰۱۹ بررسی کردند که زیرساخت‌های ناایمن

⁹ Lym

¹⁰ López

¹¹ Xiong

¹² Anderson

¹³ West Midlands

¹⁴ Car Following

¹⁵ Hamdar

¹⁶ Kesting

¹⁷ Saifuzzaman

¹⁸ Westerman

¹⁹ Blows

²⁰ Zhai

در شدت تصادفات وسایل نقلیه با عابر پیاده اثر گذار است (ژائی و همکاران، ۲۰۱۹). وسایل نقلیه عامل دیگر تصادفات بودند از این جهت وسایل نقلیه ایمن و انواع و سن آنها مهمترین پارامترهایی هستند که منجر به کاهش احتمال تصادف مرگبار و آسیب جدی و جلوگیری از وقوع آن در تصادفات مرتبط با وسایل نقلیه می شود (مک کارت^{۲۱} و همکاران، ۲۰۱۵؛ بلوز و همکاران، ۲۰۰۳). با ابزار جمع‌آوری داده‌هایی که به سرعت در حال رشد هستند، بسیاری از ویژگی‌های مربوط به تصادفات جاده‌ای در ادبیات مورد بحث قرار گرفتند با این حال، مدل‌سازی و پیش‌بینی شدت آسیب تصادف با داده‌های ابعادی بالا و تعداد زیادی ویژگی‌های توضیحی ممکن است مدل‌های پیچیده‌تری را ایجاد کند که داده‌های آموزشی تمایل دارند بیش از حد برازنده شوند (ساوالها^{۲۲} و سید^{۲۳}، ۲۰۰۶؛ لی^{۲۴} و همکاران، ۲۰۱۷). تکنیک انتخاب ویژگی رایج‌ترین راه برای کاهش ابعاد و ساده‌سازی مدل‌ها برای تفسیرپذیر کردن آن‌هاست (لیو^{۲۵} و یو^{۲۶}، ۲۰۰۵). با انتخاب زیرمجموعه‌ای از متغیرهای مرتبط، معانی فیزیکی متغیرهای اصلی حفظ می‌شوند و به مدل‌ها خوانایی و تفسیرپذیری بهتری می‌دهند (گایون^{۲۷} و الیسف^{۲۸}، ۲۰۰۳). در تحقیقات پیشین اثر عوامل مختلف بر شدت تصادفات بررسی شد، هم‌چنین به وضوح از عوامل انسانی و غیر انسانی در شدت تصادفات تحقیق به عمل آمد، در این تحقیق سعی شده‌است با توسعه مدل کلاس پنهان^{۲۹}، شدت تصادفات جاده‌ای را در ایران را تحلیل کرد و هم‌چنین متغیرهای معنادار را تفسیر و نتایج به‌دست‌آمده را با موارد مشابه در تحقیقات پیشین مقایسه کرد. جدول ۱ خلاصه‌ای از مطالب گفته‌شده در تحقیقات پیشین نشان داده شده‌است.

جدول ۱. بررسی عوامل موثر بر شدت تصادفات در تحقیقات پیشین

عوامل اثر گذار بر تصادفات	علت اثر گذاری	نام نویسندگان	سال انجام تحقیق
تاثیرات آب و هوا	تاثیر شرایط آب‌وهوای بد در تصادفات کامیون	چن و همکاران	۲۰۱۱
	تاثیر بارندگی بر شدت تصادفات	یانگ و همکاران	۲۰۱۱
	تغییرات ناگهانی آب‌وهوا در شدت تصادفات	وسترمن و همکاران	۲۰۱۱
عوامل فردی در تصادفات	حالات احساسات مانند خشم، استرس، ترس بر شدت تصادفات	همدر و همکاران	۲۰۰۸
زیر ساخت‌های ناایمن	تصادفات با عابر پیاده به دلیل نبود زیر ساخت مناسب ایمن و بررسی شدت آن در تصادفات	ژائی و همکاران	۲۰۱۹
	کیفیت وسایل نقلیه و سن آن‌ها	بلوز و همکاران	۲۰۰۳
		ژائی و همکاران	۲۰۱۹

در تحقیقات پیشین عوامل اثر گذار بر شدت تصادفات دیده شد، به وضوح می‌توان در تحقیقات گذشته تاثیر یکی از عوامل محیط‌زیست، جاده، راننده، وسیله‌نقلیه را در بروز تصادفات دید، بررسی کلاس پنهان در شدت تصادفات می‌تواند به عنوان ابزاری برای ارائه راهکار به کارشناسان ایمنی کمک کند تا با بررسی متغیرهای پنهان در شدت تصادفات، اقدامات لازم را برای کاهش

²¹ McCartt

²² McCartt

²³ Sayed

²⁴ Li

²⁵ Liu

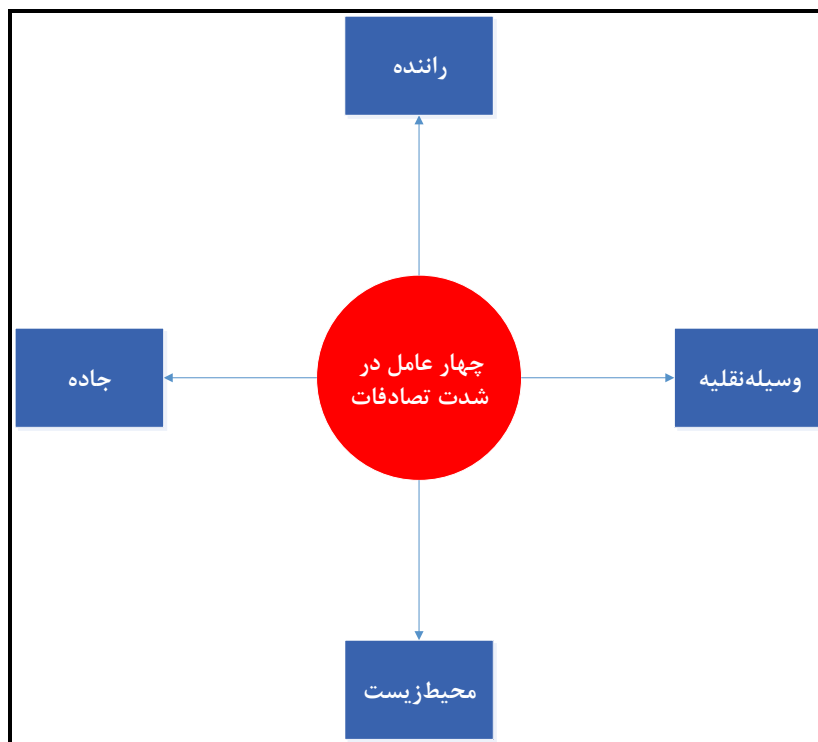
²⁶ Yu

²⁷ Guyon

²⁸ Elisseeff

²⁹ Latent Class

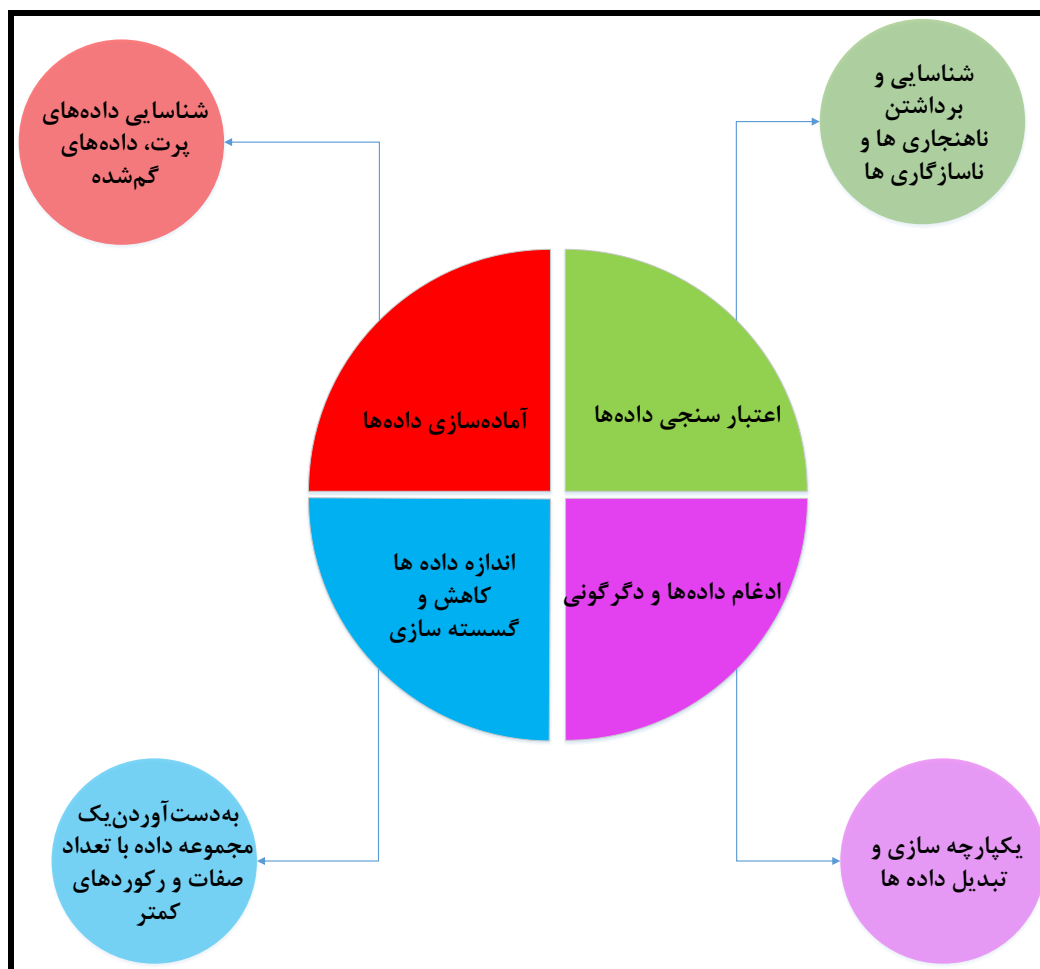
و جلوگیری از پیامدهای احتمالی آن بکنند. در ادامه شکل ۱ چهار عامل اصلی در تصادفات را نشان می‌دهد که وجه مشترک تحقیقات پیشین می‌باشد و هریک از محققین بر روی یکی از این عوامل تحقیقاتی را ارائه کرده‌اند.



شکل ۱. چهار عامل اصلی در تصادفات تحقیقات پیشین

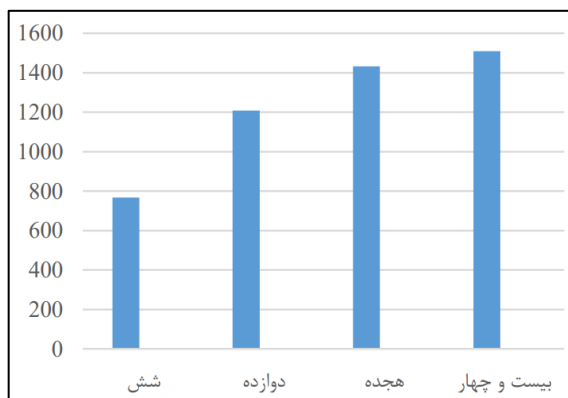
۳. روش تحقیق

با توجه به هدف این تحقیق توسعه مدل کلاس پنهان جهت تحلیل شدت تصادفات می‌باشد، در گام نخست این تحقیقات باید اطلاعات مربوط به تصادفات جمع‌آوری و پایگاه داده آماده‌ی انجام عملیات ریاضی شود در این راستا، به منظور انجام تحقیق و بهبود سیستم ایمنی جاده‌ها، اطلاعات مرتبط با تصادفات که موضوعاتی از قبیل زمان حادثه، مشخصات مربوط به عوامل انسانی، محیطی، مشخصات وسایل نقلیه، خودروهای درگیر و ... را شامل می‌شوند باید جمع‌آوری شوند. تصادفات و اتفاقات مرتبط با آن یکی از عوامل غیرقابل پیش‌بینی می‌باشد از این رو برای و جمع‌آوری اطلاعات از داده‌های جمع‌آوری شده پلیس راهور استفاده شده‌است. این اطلاعات مرتبط با تعداد ۴۹۰۰ از تصادفات منجر به فوت و جرح در جاده‌های ایران می‌باشد که در سال ۱۳۹۵ توسط مسکن و راه‌وشهرسازی گردآوری شده‌است. داده‌ها شامل شدت تصادفات، زمان تصادفات، روز تصادفات، فصل تصادفات، نوع تصادفات وسیله‌ی نقلیه، و توضیحات تصادف می‌باشد، متغیر هدف در این تحقیق، سطوح مختلف شدت تصادفات است که به دو دسته‌ی فوتی، فوتی و جرحی تقسیم شده است. و متغیر تصادف با تعداد فوتی بالا(شدت زیاد) به عنوان متغیر هدف انتخاب شده‌است. تجزیه‌ی و تحلیل اولیه‌ی داده‌ها به صورت شکل ۱ انجام شده‌است.

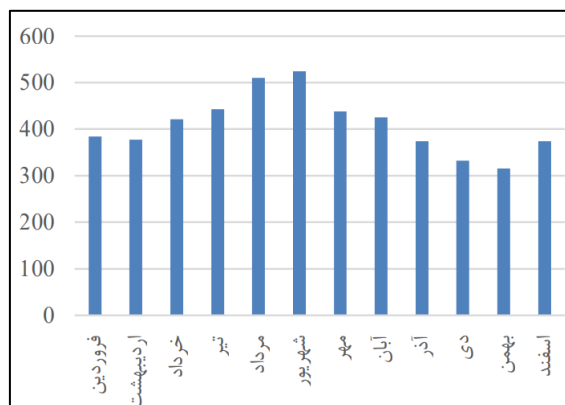


شکل ۱. خلاصه تحلیل اولیه داده ها

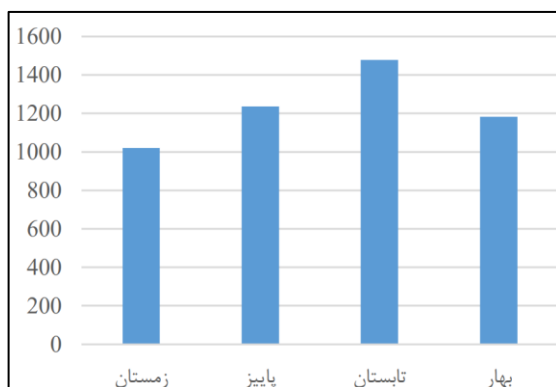
در تحلیل اولیه داده ها به منظور بررسی دقیق علت تصادفات نمودارهای مستطیلی از بررسی اولیه داده ها در مراحل جاری آورده شده است. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود بیشترین تصادفات در شهرپور و کمترین آن ها در بهمن رخ داده است، در شکل ۳ طبق بررسی های اولیه نشان می دهد بیشتر تصادفات در ساعت ۱۸ تا ۲۴ رخ داده است، و کمترین آن در ساعت ۰ تا ۶ رخ داده است، مطابق شکل ۴ بیشترین تصادفا با حدود ۴۰ درصد در وسط هفته اتفاق افتاده است و کمترین تصادفات در روز آخر کاری (چهارشنبه) اتفاق افتاده است. با توجه به شکل ۵ می توان دریافت که بیشترین میزان تصادفات با تعداد ۱۴۷۸ در فصل تابستان رخ داده است و حداقل تصادفات مربوط به فصل زمستان می باشد. شکل ۶ نشان می دهد، بیشترین نوع تصادفات در بین وسایل نقلیه مربوط به تصادفات خودروی شخصی و بعد از آن متعلق به وسایل نقلیه سنگین مانند اتوبوس و کامیون می باشد و در انتها با توجه به شکل ۷ شایع ترین نوع تصادفات در این بانک داده مربوط به عدم توجه به جلو می باشد.



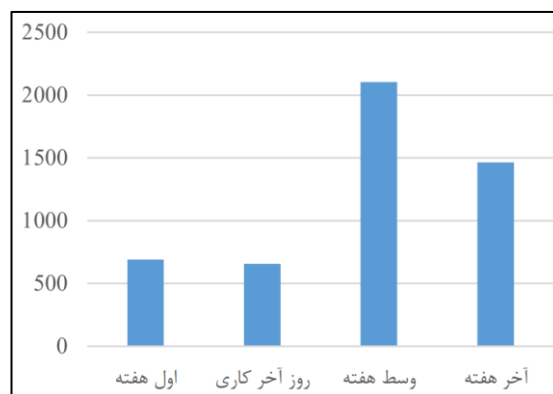
شکل ۳- تعداد تصادفات در ساعات مختلف



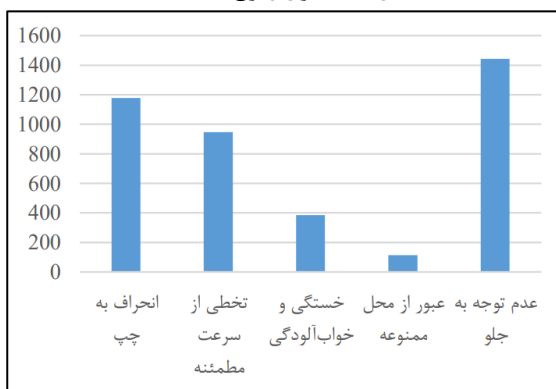
شکل ۲- ماه‌های وقوع تصادفات



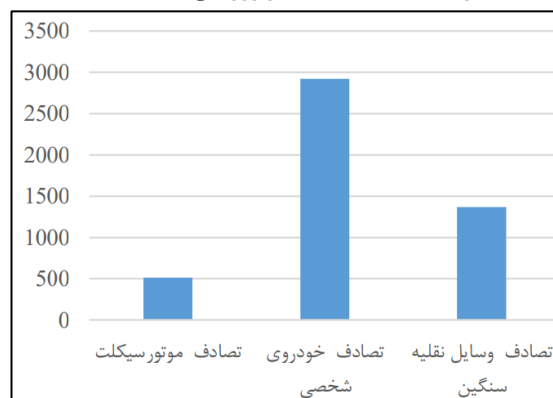
شکل ۵- فصول وقوع تصادفات



شکل ۴- تعداد تصادفات در روزهای مختلف هفته



شکل ۷- علت تصادفات



شکل ۶- نوع وسیله نقلیه درگیر در تصادفات

همگنی مشاهده نشده در تصادفات فوتی و جرحی یک نگرانی در تحقیقات ایمنی و ترافیک محسوب می‌شود و نادیده گرفتن تاثیر متغیرهای مشاهده نشده میتواند منجر به پیش‌بینی جانبدارانه و اشتباه شود. مدل‌های انتخاب گسسته (لوجیت و پروبیت) و هم‌چنین لوجیت چندگانه، به طور گسترده استفاده شده‌اند، و بسیاری از این مدل‌ها قادر به توجیه تصادفات جرحی و فوتی نبوده‌اند. رویکرد کلاس پنهان کلاس‌ها و طبقات مشاهده نشده را بدون فرضیات توزیعی شنایایی می‌کند در واقع مدل کلاس‌های پنهان فرض پیوسته متغیر تصادفی را با توزیع گسسته جایگزین می‌کند استفاده از تحلیل کلاس پنهان می‌تواند به شناسایی تمایزهای موجود کمک کند در همین رابطه مدل کلاس پنهان دیدگاه جایگزینی را برای مدل‌های متغیر تصادفی ارائه می‌دهد در این مطالعه شدت تصادفات به دو دسته تصادفات با فوتی بالا (شدید) و تصادف با شدت کم تقسیم شده‌است.

در این پژوهش از رابطه‌ی ۱ استفاده شده‌است؛ در این رابطه مدل کلاس پنهان اجازه می‌دهد که تعداد تصادف C کلاس متفاوت داشته باشد و هر کلاس پارامترهای مربوط به خود را با احتمال رابطه‌ی ۱ دارد.

$$P_n = \frac{\exp(a_c z_n)}{\sum \exp(a_c z_n)} \quad (1)$$

Z_n برداری است که احتمال تصادف C برای تصادف n نشان می‌دهد و a_c در رابطه‌ی ۱ متغیرهای قابل تخمین را نشان می‌دهد. احتمال اینکه تصادف با شدت i رخ دهد از طریق رابطه ۲ و ۳ به دست می‌آید.

$$p_n(i) = \sum p_{n(c)} * p_n(i/c) \quad (2)$$

$$p_n(i/c) = \frac{\exp(B_{ic} X_{in})}{\sum \exp(B_{ic} X_{in})} \quad (3)$$

در رابطه‌ی ۲ و ۳ i تعداد حالات ممکن برای شدت تصادفات را نشان می‌دهد و B_{ic} پارامتر نشان دهنده‌ی کلاس مدل است. در این پژوهش مدل کلاس پنهان را برای شدت تصادفا جاده‌ایی با استفاده از نرم‌افزار Nlogit6 ارائه شده‌است. در جدول ۲ در مجموع بیش از ۳۰ متغیر در کلاس پنهان در نظر گرفته شده‌است هم‌چنین در جدول ۳، درصد تصادفات مربوط به هر متغیر ارائه گردیده‌است.

جدول ۲- متغیرهای استفاده شده در مدل

متغیر	توضیحات
علت تصادف	۱=انحراف به چپ، ۲=سرعت غیرمجاز، ۳=خستگی و خواب‌آلودگی، ۴=عبور از محل ممنوعه، ۵=عدم توجه به جلو، ۶=سایر موارد
شدت تصادف	۱=فوتی، ۲=فوتی و جرحی، ۳=بیش از دو فوتی
ساعت تصادف	۱=بین ساعت ۰ تا ۶، ۲=بین ساعت ۶ تا ۱۲ ۳=بین ساعت ۱۲ تا ۱۸، ۴=بین ساعت ۱۸ تا ۲۴
توضیحات تصادف	۱=برخورد با شی ثابت، ۲=حضور عابر، ۳=واژگونی وسیله‌نقلیه
نوع تصادف	۱=تصادف شامل موتورسیکلت، ۲=تصادف شامل خودرو شخصی، ۳=تصادف شامل کامیون، ۴=تصادف شامل اتوبوس و مینی‌بوس ۵=سایر موارد
تعداد خودرو درگیر تصادف	۱=یک خودرو، ۲=دو خودرو، ۳=بیش از دو خودرو
زمان هفته	۱=اول هفته(شنبه)، ۲=آخرین روز کاری(چهارشنبه)، ۳=وسط هفته(یکشنبه، دوشنبه، سه‌شنبه)، ۴=آخر هفته(پنج‌شنبه و جمعه)
فصل	۱=بهار، ۲=تابستان، ۳=پاییز، ۴=زمستان

جدول ۳- درصد تصادفات مرتبط با هر متغیر

درصد	دسته بندی	متغیر	درصد	سته بندی	متغیر
۱۰/۵	موتورسیکلت	تصادف شامل	۲۳/۹	انحراف به چپ	علت تصادف
۵۹/۴	سوار شخصی		۱۹/۳	تخطی از سرعت مطمئنانه	
۲۷/۸	کامیون		۷/۸	خستگی و خواب- آلودگی	
۱/۹	اتوبوس و مینی بوس		۲/۳	عبور از محل ممنوعه	
۰/۵	سایر		۲۹/۳	عدم توجه به جلو	
۵۰/۱	یک خودرو	تعداد خودرو درگیر	۱۷/۴	سایر	
۴۴/۳	دو خودرو		۴۴/۴	یک فوتی	شدت تصادف
۵/۷	بیش از ۳ خودرو		۳۸/۵	یک فوتی + جرحی	
۱۴/۱	اول هفته	زمان هفته	۱۷/۱	بیش از دو فوتی	
۱۳/۳	آخرین روز کاری		۱۵/۶	۶ تا ۰	ساعت تصادف
۴۲/۸	وسط هفته		۲۴/۶	۱۲ تا ۶	
۲۹/۸	آخر هفته		۲۹/۱	۱۸ تا ۱۲	
۲۰/۸	زمستان		۳۰/۷	۲۴ تا ۱۸	
۲۵/۱	پاییز		۴/۳	شی ثابت	توضیحات
۳۰/۱	تابستان		۱۱/۰	عابر	
۲۴/۰	بهار		۳۶/۹	واژگونی	

۴. نتایج به دست آمده از مدل

نتایج به دست آمده از تخمین مدل شدت تصادفات در جدول ۴ نشان می‌دهد که مدل کلاس اول با احتمال ۶۷ درصد و مدل کلاس دوم با احتمال ۲۳ درصد پیش‌بینی می‌شوند. در مجموع ۱۷ متغیر در این مدل معنادار شده‌اند. از نتایج به دست آمده از جدول ۳ در مدل پنهان کلاس اول علامت متغیر نشان‌دهنده‌ی زمان تصادف در بازه‌ی ۱۲ تا ۱۸ مثبت بوده‌است؛ در واقع نشان‌دهنده‌ی این می‌باشد که تصادفات در این بازه شدید تر می‌باشد، این نتیجه در مقایسه با تحقیق لویز و همکاران در سال ۲۰۱۵ که نشان داد شدت تصادفات در روز بیشتر می‌باشد همخوانی دارد، هم‌چنین علامت متغیر روز چهارشنبه و اول هفته مثبت می‌باشد در واقع شدت تصادفات در این روزها بیشتر می‌باشد در توجیه نتیجه به دست آمده در مدل می‌توان به این موضوع اشاره کرد که باتوجه به فرهنگ ایرانیان در مسافرت‌های آخر هفته و برگشت مسافران به سرکار و یا دانشگاه در اول هفته در داخل مدل معنادار شده‌است و علامت به دست آمده نشان از شدت بالای تصادفات در این الگوی فرهنگی می‌باشد. در ادامه‌ی تفسیر نتایج به دست آمده، تصادفاتی که دارای موتورسیکلت می‌باشد شدیدتر می‌باشد برای درک بهتر از این موضوع و همچنین مقایسه با تحقیقات پیشین، بر اساس سوابق سازمان جهانی بهداشت فیلیپین در این کشور مجموعاً ۱۱۲۶۴ کشته بر اثر تصادفات با موتورسیکلت را داشته است از مقایسه نتایج به دست آمده در فیلیپین و تحقیق پیش‌رو به این نتیجه منتهی می‌شود، تصادفاتی

که طرف درگیر آن موتورسیکلت می‌باشد می‌تواند شدت بالایی در تصادفات داشته‌باشد با بررسی رویکرد مدلسازی در پیش‌بینی شدت تصادفات می‌توان از رویکرد کلاس پنهان برای شناسایی عوامل دیده نشده در تصادفات استفاده نمود و نتایج آن را در اختیار کارشناسان برنامه‌ریزی حمل‌ونقل قرار داد تا با اتخاذ رویکرد مناسب جلوی حوادث ناگوار از جمله، فوت و یا آسیب فیزیکی بر اثر تصادفات گرفته‌شود. علامت متغیرهای زمستان و زمان تصادف بین ساعت ۱۸ تا ۲۴ مثبت بوده که نشان‌دهنده شدت بیشتر تصادفات در این متغیرها می‌باشد که در مقایسه با تحقیقات پیشین لویز و همکاران، در سال ۲۰۱۵ مغایرت داشته‌است. البته باید توجه کرد تعداد داده‌های جمع‌آوری شده توسط بانک داده‌های تحقیق پیش‌رو و تحقیق نام‌برده متفاوت می‌باشد. در ادامه، تصادفات به دلیل عبور از محل ممنوعه شدیدتر بوده است و این به معنای این می‌باشد که با توجه مطالعه موردی و داده‌های جمع شده سیاست اجرایی برای ایمنی ترافیک در این مورد نتوانسته‌است نتایج مثبتی را ارائه کند. تصادفاتی که دو خودرو با یکدیگر برخورد کرده‌اند شدت کمتری داشته‌است و مجروحین این تصادفات کمتر می‌باشد و در آخر علامت‌های شی ثابت و تصادف به دلیل انحراف به چپ منفی بوده و این به معنای شدت کمتر تصادفات در این مورد می‌باشد. در مدل کلاس دوم مجموعه‌ی دیگری از متغیرها معنادار شده‌است در این مدل تصادفاتی که از ساعت ۱۲ تا ۱۸ و ابتدای هفته اتفاق می‌افتند از شدت کمتری برخوردار خواهند بود. و برخلاف کلاس اول تصادفات در بهار و تابستان شدیدتر بوده‌است باید توجه گردد که احتمال وقوع کلاس دوم برابر با ۲۳ درصد پیش‌بینی شده‌بود و به مراتب از مدل کلاس اول احتمال کمتری به خود اختصاص داده‌بود. مطالب ذکر شده در جدول ۴ به نمایش درآمده‌است.

جدول ۴- ضرایب و آماره‌ی t در کلاس پنهان اول و دوم

کلاس پنهان ۲		کلاس پنهان ۱		متغیر
t-statistic	ضریب	t-statistic	ضریب	
-۲/۱۳	-۰/۹۸	۲/۳۶	۰/۶۵	زمان تصادف بین ساعت ۱۲ تا ۱۸
-	-	۱/۱۷	۰/۳۴	روز آخر کاری
-	-	-۳/۱	-۱/۸۳	واژگونی وسیله‌ی نقلیه
-	-	۱/۵۳	۴/۷۲	تصادف شامل موتورسیکلت
-۲/۶۹	-۱/۱۵	۳/۱۶	۰/۹۹	تصادف در اول هفته
-	-	۲/۱	۰/۵۸	فصل زمستان
-	-	۱/۴۵	۰/۳۹	زمان تصادف بین ساعت ۱۸ تا ۲۴
-۲/۲۲	-۰/۸۷	-	-	تصادف در آخر هفته
-	-	۲/۱۶	۱/۰۸	علت تصادف عبور از محل ممنوعه
-	-	-۵/۷۶	-۳/۵	برخورد دو خودرو
-	-	۷/۲	۳/۱	حضور عابر پیاده
۱/۲۸	۰/۵۴	-	-	تصادف در فصل بهار
-	-	-۱/۶	-۱/۰۴	برخورد با شی ثابت
۲/۳۳	۱/۰۳	-	-	تصادف در فصل پاییز
-	-	-۵/۹	-۵/۴	برخورد بیش از دو خودرو
-۲/۶۴	-۱/۶	-۲/۱۷	-۰/۷۴	علت تصادف انحراف به چپ
۱۲/۳۶	۰/۳۳	۲۵/۲۲	۰/۶۷	احتمال کلاس پنهان
	۴۹۱۸			تعداد مشاهدات
	۲۶۷۰			مقدار LL(C)
	۲۹۹۶			مقدار LL(B)
	۰/۱			ρ^2

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش از مدل کلاس پنهان برای بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر شدت تصادفات جاده‌ایی استفاده شد و مدل‌های کلاس پنهان به عنوان جایگزینی برای ناهمگونی مشاهده نشده در مدل‌های متغیر تصادفی گسترش یافته‌اند.

در این پژوهش از ۴۹۱۸ داده تصادفات جاده‌ایی سال ۱۳۹۵ در تهران استفاده شد این تصادفات به دو دسته تصادفات با شدت کم و زیاد تقسیم شدند و در مجموع ۱۷ متغیر با سطح اطمینان ۱۰ درصد برای مدل‌های کلاس اول و دوم معنادار شدند. و طبق نتایج این مدل علاوه بر عوامل دخیل توسط راننده عواملی همانند، زمان تصادف، فصل تصادف، روز هفته در شدت تصادفات جاده‌ایی ایران اثرگذار است. بررسی شدت تصادفات یکی از موضوعات بسیار مهم در کشور عزیزمان می‌باشد که متاسفانه به دلیل عدم شناسایی دقیق منجر به حوادث بسیار تلخ در ایران می‌شود. استفاده از تجزیه و تحلیل کلاس پنهان برای مطالعات ایمنی ترافیک می‌تواند نشان‌دهنده تفاوت عوامل موثر بر شدت ترافیک در مناطق و گروه‌های جمعیتی مختلف متفاوت باشد. هم‌چنین در مطالعات بعدی پیشنهاد می‌شود که متغیرهای دیگر از جمله پارامتر هندسی راه در نظر گرفته‌شود

قدردانی

این مقاله تقدیم می‌شود به روح پدر بزرگ عزیزم که در یکی از تصادفات جاده‌ایی از دنیا رفت، امید بر آنکه هیچ انسانی در تصادفات جاده‌ایی جان خود را از دست ندهد. در ادامه ضمن قدردانی از جناب سرهنگ سید علینقی املشی، جناب دکتر خدایی، جناب دکتر حبیبان، جناب دکتر گلرو جناب دکتر سپاسپور، جناب دکتر علیرضا اسدی، که من را در نوشتن این مقاله یاری کردند.

مراجع

- Andersson, A. K., & Chapman, L. (۲۰۱۱). The impact of climate change on winter road maintenance and traffic accidents in West Midlands, UK. *Accident Analysis & Prevention*, ۴۳(۱), ۲۸۴-۲۸۹.
- Blows, S., Ivers, R. Q., Woodward, M., Connor, J., Ameratunga, S., & Norton, R. (۲۰۰۳). Vehicle year and the risk of car crash injury. *Injury Prevention*, ۹(۴), ۳۵۳-۳۵۶.
- Blows, S., Ameratunga, S., Ivers, R. Q., Lo, S. K., & Norton, R. (۲۰۰۵). Risky driving habits and motor vehicle driver injury. *Accident Analysis & Prevention*, ۳۷(۴), ۶۱۹-۶۲۴.
- Chen, F., & Chen, S. (۲۰۱۱). Injury severities of truck drivers in single-and multi-vehicle accidents on rural highways. *Accident Analysis & Prevention*, ۴۲(۵), ۱۶۷۷-۱۶۸۸.
- Feng, S., Li, Z., Ci, Y., & Zhang, G. (۲۰۱۶). Risk factors affecting fatal bus accident severity: Their impact on different types of bus drivers. *Accident Analysis & Prevention*, ۸۶, ۲۹-۳۹.
- Guyon, I., & Elisseeff, A. (۲۰۰۳). An introduction to variable and feature selection. *Journal of machine learning research*, ۲(Mar), ۱۱۵۷-۱۱۸۲.
- Jung, S., Qin, X., & Noyce, D. A. (۲۰۱۰). Rainfall effect on single-vehicle crash severities using polychotomous response models. *Accident Analysis & Prevention*, ۴۲(۱), ۲۱۳-۲۲۴.
- Liu, H., & Yu, L. (۲۰۰۵). Toward integrating feature selection algorithms for classification and clustering. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, ۱۷(۴), ۴۹۱-۵۰۲.
- López, G., Abellán, J., Montella, A., & de Oña, J. (۲۰۱۴). Patterns of single-vehicle crashes on two-lane rural highways in Granada Province, Spain: in-depth analysis through decision rules. *Transportation research record*, ۲۴۳۲(۱), ۱۳۳-۱۴۱.
- Li, D., Ranjitkar, P., Zhao, Y., Yi, H., & Rashidi, S. (۲۰۱۷). Analyzing pedestrian crash injury severity under different weather conditions. *Traffic injury prevention*, ۱۸(۴), ۴۲۷-۴۳۰.

- Lym, Y., & Chen, Z. (۲۰۲۱). Influence of built environment on the severity of vehicle crashes caused by distracted driving: A multi-state comparison. *Accident Analysis & Prevention*, ۱۵۰, ۱۰۵۹۲۰.
- Mannering, F. L., & Bhat, C. R. (۲۰۱۴). Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. *Analytic methods in accident research*, ۱, ۱-۲۲.
- McCartt, A. T., & Teoh, E. R. (۲۰۱۵). Type, size and age of vehicles driven by teenage drivers killed in crashes during ۲۰۰۸-۲۰۱۲. *Injury prevention*, ۲۱(۲), ۱۳۳-۱۳۶.
- Sawalha, Z., & Sayed, T. (۲۰۰۶). Traffic accident modeling: some statistical issues. *Canadian journal of civil engineering*, ۳۳(۹), ۱۱۱-۱۱۲۴.
- Saifuzzaman, M., & Zheng, Z. (۲۰۱۴). Incorporating human-factors in car-following models: a review of recent developments and research needs. *Transportation research part C: emerging technologies*, ۴۸, ۳۷۹-۴۰۳.
- Westerman, S. J., & Haigney, D. (۲۰۰۰). Individual differences in driver stress, error and violation. *Personality and individual differences*, ۲۹(۵), ۹۸۱-۹۹۸.
- World Health Organization. *Global Status Report on Road Safety ۲۰۱۵*. World Health Organization; ۲۰۱۵.
- Xiong, Y., & Mannering, F. L. (۲۰۱۳). The heterogeneous effects of guardian supervision on adolescent driver-injury severities: A finite-mixture random-parameters approach. *Transportation research part B: methodological*, ۴۹, ۳۹-۵۴.
- Zhai, X., Huang, H., Sze, N. N., Song, Z., & Hon, K. K. (۲۰۱۹). Diagnostic analysis of the effects of weather condition on pedestrian crash severity. *Accident Analysis & Prevention*, ۱۲۲, ۳۱۸-۳۲۴.
- Zhu, S. (۲۰۲۱). Analysis of the severity of vehicle-bicycle crashes with data mining techniques. *Journal of safety research*, ۷۶, ۲۱۸-۲۷.