Amirkabir Journal of Civil Engineering

Amirkabir J. Civil Eng., 56(1) (2024) 23-26
DOI: 10.22060/ceej.2024.22108.7905

Identifying Types Of Freeway Crashes Using Nested Logit Model

A. Tavakoli Kashani[1,2], A. Rashidi[1,2*], S. Amirifar[1,2]

[1] School of Civil Engineering, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran
[2] Road Safety Research Center, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT: Road crashes and their consequences are one of the most important problems that affect people's lives. In order to reduce the fatalities and related costs of crashes, traffic safety researchers are continuously investigating approaches to reduce the occurrence and consequences of crashes. Crash-type modeling is one of the most common tools for road safety goals in transportation facilities, and the purpose of crash-type modeling is to establish a relationship between the frequency of crashes based on its type and other effective variables. One of the advantages of crash-type models is that with the help of these models, it is possible to identify the places where there is a possibility of a certain type of crashes and to examine the effect of different variables on different types of crashes. In this research, using the data of freeway crashes in Iran, the type of crash was identified with a new approach called the nested logit model. To this aim, crashes were initially divided into two categories of single-vehicle and multi-vehicle crashes, and then single-vehicle crashes were divided into three categories of collision with a fixed object, run-off road crashes, and overturning crashes, and multi-vehicle crashes were divided into two categories of collision with a vehicle and multi-vehicle collision crashes. Then the effect of different variables of environment, road, driver, and causes of crashes with different types of crashes were investigated and the effect of significant variables on each type of crash was explored with marginal effect.

Review History:

Received: Jan. 17, 2023
Revised: Nov. 29, 2023
Accepted: Jan. 06, 2024
Available Online: Jan. 24, 2024

Keywords:

Crash Type
Nested logit
Freeway Crashes
Traffic Safety

1- Introduction

Road crashes and their consequences are one of the most important problems that affect people's lives. Research studies show that until now the relationships between descriptive variables and the total frequency of crashes have been widely studied, while relatively less attention has been paid to the relationships between these variables and types of crashes[1].

The reason for the difference between different types of crashes is that the mechanism of occurrence of different crashes (for example, single-vehicle and multi-vehicle crashes) is different from each other. Therefore, the variables affecting different types of crashes will also be different. To solve the problems, researchers have used crash-type modeling[2, 3].

Crash-type modeling is one of the most common tools for implementing safety goals in transportation facilities. The occurrence of crashes is the result of the interaction between several variables, including road geometry, driver's behavioral characteristics, traffic conditions, and environmental characteristics, and the goal in modeling the type of crash is to establish a relationship between the frequency of crashes based on its type and other effective variables[4].

The research aims to develop the use of a nested logit model through the analysis of types of crashes, to investigate the factors affecting them with the help of modeling with this method, and to examine the results of the model in the freeways of Iran. For this purpose, a nested logistic regression model or nested logit model was used.

2- Data description

To carry out the research, the data on crashes in the last three years leading to the Corona pandemic in Iran's freeways were used. These data are collected from traffic police crash forms, which are recorded by the police officer after the crash. After cleaning and categorizing the data and removing the incomplete data, 10919 data remained, which included information about the driver and the characteristics of the crash involved.

3- Methodology

In order to measure the probability of occurrence, when the dependent variables are discrete, discrete choice models are used. One of the most prevalent of these models is Logit, which is widely used in safety. The advantage of these models

*Corresponding author's email:alitavakoli@iust.ac.ir

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

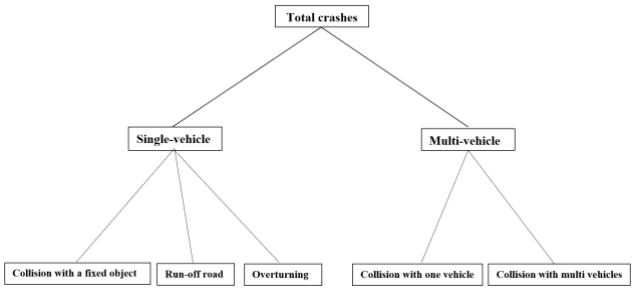


Fig. 1.Nested logit model structure

is the simplicity of modeling and interpretation of results compared to other discrete choice models (including the probit model). In the current research, due to the consideration of existing correlations between the output of various types of crashes, a special type of logit model called nested logit model is used, which was developed for this purpose. The structure of the model can be defined as follows [5]:

$$P_n(j) = P_n(j|i).P_n(i) \quad (1)$$

In The formula Pn(j), the unconditional probability is that crash (n) falls into the category of crash type j. Pn(i) is the unconditional probability that crash (n) falls into the nest of crash type i. Pn(j/i) is the probability is that crash n belongs to crash type j, which is a subset of the nest of crash type i.

4- Model processing

In order to proceed the nested model, the structure shown in Figure 1 was used; In this structure, the categories of crash type i include single-vehicle and multi-vehicle crashes, and the single-vehicle category is divided into three categories: collision with a fixed object, run-off road, and overturning. Also, the category of multi-vehicle crashes is divided into two categories of collision with one vehicle and collision with multi vehicles.

5- Discussion and Results

Marginal effects are used for each effective variable in the model to interpret the results. According to the definition, the marginal effect of a variable is equal to the change in the probability of the occurrence of a type of crash if that variable increases by one unit; For example, in the low level of the model and nest of single-vehicle crashes; The variable of weather condition has become significant in the utility function of collisions with fixed objects. The value of the marginal effect of this variable is equal to +4.74%, which means that if the weather condition variable increases by one unit (that is, if the weather condition variable changes from 0 to 1, or in other words, the condition the weather changes from normal to special conditions) in the single-vehicle crash nest, the probability of collision with a fixed object increases by 4.74%, which shows that the probability of collision with a fixed object in Weather with special conditions is more. However, at the lower level of the model and in the nest of multi-vehicle crashes, the "fatigue and drowsiness" variable has become significant in the utility function of collisions with a single vehicle, and its marginal effect is +14.15%, which states that if this factor was present in a crash, the probability of that crash being a collision with a vehicle increases by 14.15%. The shoulder width variable also has a marginal effect of -22.6% in the utility function of collisions with a single vehicle, and with the increase of the shoulder width, the probability of this type of crashes decreases.

But at the top level of the model, the investigation is between single-vehicle and multi-vehicle crashes. In the utility function of single-vehicle crashes, the variables of speed violation, inattention to the front, and the inability to control the vehicle have become significant causes, and their marginal effect is +40.59%, +20.79%, and +38.88% respectively. which are significant numbers, and the presence of these factors in a crash significantly increases the probability that it is a single-vehicle crash. But Among the variables of the causes of crashes in multi-vehicle crashes, variables such as "sudden change of direction" and "failure to observe the longitudinal distance" were significant, with marginal effects of +13.90% and +14.32%, respectively, This denotes that the probability of the multi-vehicle crash increases with these factors, the probability that the crash is multi-vehicle increases in a crash.

6- Conclusions

In the current research, a model was developed to predict the type of crashes on freeways in Iran. To consider the existing dependence between different types of crashes, the nested logit model was used. After modeling the results related to road and environment variables, it showed that the crashes where the crash position is outside the rider are more likely to be single-vehicle crashes, and among the single-vehicle crashes, there is a higher probability of run-off-road and overturning crashes. This shows the necessity of creating safety measures in rosd sections parts that are prone to crashes outside of the rider. For example, installing suitable guardrails with high flexibility can be effective. The probability of multi-vehicle crashes increases at night, which indicates a decrease in interaction between drivers at night, and the occurrence of these crashes should be prevented with proper road lighting. But among the human causes, the cause of disregarding the regulations increases the probability of run-off road crashes and overturning among single-vehicle crashes. The "fatigue and drowsiness" variable also significantly increases the probability of single-vehicle crashes and increases the probability of collision with a single vehicle in the nest of multi-vehicle crashes. In order to prevent driver fatigue and sleepiness, smart and warning systems can be used on cars. Among the causes of crashes, lack of attention to the front, which can be caused by distraction, significantly increases the probability of single-vehicle crashes. Also, the variable of

disobeying the longitudinal distance increases the probability of multi-vehicle crashes, which are dangerous crashes. Exceeding the safe speed and not being able to control the vehicle also significantly increases the probability of one-vehicle crashes. Suggestions to deal with these factors can be increasing the fine for violating the safe speed and preventing driving on freeways in the early years of driving.

Among the suggestions for future research, we can mention the investigation and combination of different types of crashes with different types of collisions (collision from the rear, from the side, head-on, etc.). For example, only single-vehicle crashes can be investigated, but according to the manner of collision, they can be placed in different nests. It is also possible to model the types of crashes in a specific road or a specific geographic environment and add traffic variables to them.

References

[1] A. Mahmud, V.V. Gayah, Estimation of crash type frequencies on individual collector roadway segments, Crash Analysis & Prevention, 161 (2021) 106345.

[2] T. Jonsson, J.N. Ivan, C. Zhang, Crash prediction models for intersections on rural multilane highways: Differences by collision type, Transportation research record, 2019(1) (2007) 91-98.

[3] V. Shankar, F. Mannering, W. BARFIELD,“, Effect of Roadway Geometrics and Environmental factors on Rural Freeway Crash Frequency, (1996) 371-389.

[4] Z. Christoforou, S. Cohen, M.G. Karlaftis, Identifying crash type propensity using real-time traffic data on freeways, Journal of Safety research, 42(1) (2011) 43-50.

[5] D. McFadden, Econometric models of probabilistic choice, Structural analysis of discrete data with econometric applications, 198272 (1981).

HOW TO CITE THIS ARTICLE

A. Tavakoli Kashani, A. Rashidi, S. Amirifar, Identifying Types Of Freeway Crashes Using Nested Logit Model, Amirkabir J. Civil Eng., 56(1) (2024) 23-26.

DOI: 10.22060/ceej.2024.22108.7905

This page intentionally left blank

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۶، شماره ۱، سال ۱۴۰۳، صفحات ۱۰۵ تا ۱۲۲
DOI: 10.22060/ceej.2024.22108.7905

شناسایی انواع تصادفات آزادراهی با استفاده از مدل لوجیت آشیانه‌ای

علی توکلی کاشانی[۱و۲*]، علی رشیدی[۱و۲]، سعیده امیری‌فر[۱و۲]

۱- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
۲- مرکز تحقیقات ایمنی کاربردی حمل‌ونقل جاده‌ای، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران.

خلاصه: تصادفات جاده‌ای و عواقب ناشی از آن یکی از مهمترین مشکلاتی است که زندگی انسان‌ها را تحت تاثیر قرار داده‌است. به منظور کاهش تلفات و هزینه‌های تصادفات، محققان ایمنی ترافیک به‌طور مستمر در حال بررسی رویکردهایی برای کاهش وقوع و پیامدهای تصادفات هستند. مدل‌سازی نوع تصادف یکی از متداول‌ترین ابزارها برای پیاده‌سازی اهداف ایمنی در تسهیلات حمل‌ونقل است. هدف از مدل‌سازی نوع تصادف، برقراری ارتباط بین فراوانی تصادفات بر اساس نوع آن و سایر متغیرهای موثر است. از جمله مزایای مدل‌های نوع تصادف آن است که با کمک این مدل ها می توان مکان‌هایی که در آن‌ها احتمال وقوع نوع خاصی از تصادفات خطرناک وجود دارد را شناسایی نمود و تاثیر متغیرهای مختلف بر انواع مختلف تصادفات را بررسی نمود. در پژوهش پیش رو با استفاده از داده‌های تصادفات آزادراهی کشور ایران، به شناسایی نوع تصادف توسط رویکردی جدید تحت عنوان مدل لوجیت آشیانه‌ای پرداخته شده‌است. تصادفات در ابتدا به دو دسته تصادفات تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای تقسیم شدند و سپس تصادفات تک‌وسیله‌ای به سه دسته تصادفات برخورد با شیء ثابت، تصادفات خروج از جاده و تصادفات واژگونی تقسیم شدند و تصادفات چندوسیله‌ای به دو دسته تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه و تصادفات برخورد با چند وسیله نقلیه تقسیم شدند. هم‌چنین تاثیر متغیرهای مختلف از ویژگی‌های محیط، راه، راننده و علل تصادف با انواع مختلف تصادفات بررسی شد و به کمک اثر حاشیه‌ای تاثیر متغیرهای معنی‌دار بر هر یک از انواع تصادفات بیان شد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷
بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸
پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶
ارائه آنلاین: ۱۴۰۲/۱۱/۰۴

کلمات کلیدی:
انواع تصادفات
لوجیت آشیانه‌ای
تصادفات آزادراهی
ایمنی ترافیک

۱- مقدمه

تصادفات جاده‌ای و عواقب ناشی از آن یکی از مهمترین مشکلاتی است که زندگی انسان‌ها را تحت تاثیر قرار داده‌است. طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی [۱] سالانه حدود ۱/۳ میلیون نفر در تصادفات جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهند. صدمات ناشی از تصادفات جاده‌ای علت اصلی مرگ کودکان و جوانان ۵ تا ۲۹ ساله و هشتمین عامل مرگ‌ومیر در تمام سنین است و برای اکثر کشورها ۳ درصد از تولید ناخالص داخلی آن‌ها هزینه دارد[۱] . همین امر نشان دهنده هزینه اقتصادی این تصادفات برای هر کشور می‌باشد. به منظور کاهش تلفات و هزینه‌های تصادفات ، محققین ایمنی ترافیک به‌طور مستمر در حال بررسی رویکردهایی برای کاهش وقوع و پیامدهای تصادفات هستند.

طبق گزارش یونیسف[۲] هرساله تصادفات ترافیکی در ایران جان ۲۸ هزار نفر را می‌گیرد. هم‌چنین بر اساس گزارش سالانه سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای ایران در سال ۱۳۹۴، بخش قابل توجهی از شبکه راه‌های کشور را آزادراه‌ها و بزرگراه‌های چند خطه برون‌شهری (۱۹,۷ درصد) تشکیل می‌دهند و حدود دو سوم فوتی‌های تصادفات در جاده‌های برون‌شهری و یک سوم در راه‌های شهری می‌باشند. این امر اهمیت توجه به تصادفات آزادراهی برون‌شهری در ایران را نشان می‌دهد[۲].

بررسی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تاکنون روابط بین متغیرهای توصیفی و فراوانی کل تصادفات به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌است، این در حالی است که توجه نسبتاً کمتری به روابط بین این متغیرها و انواع تصادفات شده‌است[۳]. پردازش یک مدل پیش‌بینی تصادف برای تعداد کل تصادفات، باعث شناسایی عوامل موثر بر وقوع و فراوانی تصادفات در مکان‌های خاص می‌شود. با این حال، برای اجرای اقدامات متقابل موثر، بررسی فراوانی تصادفات در انواع مختلف مورد نیاز است[۴]. بررسی عوامل مؤثر بر فراوانی تصادفات براساس انواع مختلف تصادفات از اهمیت بالایی

1 World Health Organization (WHO)
2 United Nations Emergency Children's Fund (UNICEF)

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: alitavakoli@iust.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

برخوردار است زیرا قدرت توضیح بهتری را در مقایسه با یک مدل برای کل تصادفات ارائه می‌کند[۵]. دلیل وجود تفاوت بین انواع مختلف تصادفات آن است که مکانیزم وقوع تصادفات مختلف (به عنوان مثال تصادفات تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای) با یکدیگر متفاوت است. از این رو، متغیرهای تاثیرگذار بر انواع مختلف تصادفات نیز متفاوت خواهندبود[۶–۸]. به علاوه از آن جایی که فراوانی کل تصادفات شامل مجموع همه انواع تصادفات است، یک مدل فراوانی کل تصادفات، ممکن است در توجیه اثر برخی عوامل مهم که احتمال انواع خاصی از تصادفات را افزایش می‌دهند و احتمال سایرین را کاهش می‌دهند، ناکام باشد [۷, ۹, ۱۰]. برای حل این مشکلات محققین از مدل‌سازی نوع تصادف استفاده کرده‌اند.

مدل‌سازی نوع تصادف یکی از متداول‌ترین ابزارها برای پیاده‌سازی اهداف ایمنی در تسهیلات حمل‌ونقل است. وقوع تصادفات، حاصل تعامل میان چندین متغیر ازجمله هندسه راه، خصوصیات رفتاری راننده ، شرایط ترافیکی و ویژگی‌های محیطی هستند و هدف در مدل‌سازی نوع تصادف، برقراری ارتباط بین فراوانی تصادفات بر اساس نوع آن و سایر متغیرهای موثر است[۱۱].

از جمله مزایای مدل‌های نوع تصادف آن است که با کمک این مدل‌ها می‌توان مکان‌هایی که در آن ها احتمال وقوع نوع خاصی از تصادفات خطرناک وجود دارد و در مدل سازی کلی فراوانی تصادفات مشخص نمی‌شوند را شناسایی نمود. تشخیص این مکان‌های پرخطر[1] برای بهبود محیط رانندگی از منظر ایمنی از اهمیت بالایی برخوردار است[۱۲]. به علاوه شناسایی علل مرتبط با وقوع نوع خاصی از تصادفات و انجام اقدامات ایمنی مرتبط برای جلوگیری از وقوع آن تصادف از دیگر مزیت‌های این مدل‌ها به شمار میرود [۴, ۱۱, ۱۳, ۱۴]. از اصلی‌ترین مزیت‌های این مدل‌ها نیز می‌توان به شناسایی و بررسی رابطه بین متغیرهای تاثیرگذار و وقوع انواع مختلف تصادفات اشاره کرد[۴].

یکی از دسته‌بندی‌هایی که برای بررسی انواع تصادفات صورت گرفته است؛ بررسی تصادفات با تقسیم آن‌ها به تصادفات تک‌وسیله‌ای [2] و چندوسیله‌ای[3] به صورت مجزا از هم بوده‌است. دلیل این بررسی مجزا تفاوت در ماهیت وقوع این دو نوع از تصادفات می‌باشد[۱۵, ۱۶]. تصادفات تک وسیله‌ای معمولاً به علت از دست دادن کنترل وسیله نقلیه می‌باشند که با رفتار نادرست راننده همراه است. از سوی دیگر، تصادفات چندوسیله‌ای اغلب به دلیل خطاهای راننده هنگام تعامل با سایر وسایل نقلیه به وقوع می‌پیوندند[۱۷].

هدف پژوهش توسعه استفاده از مدل لوجیت آشیانه‌ای از طریق تحلیل انواع تصادفات ، بررسی عوامل موثر بر آن‌ها به کمک مدل‌سازی با این روش و بررسی نتایج مدل در آزادراه‌های کشور ایران می‌باشد. بدین منظور از مدل رگرسیون لوجستیک آشیانه‌ای[4] یا به اختصار مدل لوجیت آشیانه‌ای استفاده شد. برای استفاده از این مدل وجود استقلال بین تصادفات تک‌وسیله‌ای و تصادفات چندوسیله‌ای فرض شد. هم چنین فرض دوم این بود که بین تصادفات برخورد با شیء ثابت ، خروج از جاده و واژگونی وابستگی وجود دارد و بین تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه و برخورد با چند وسیله نقلیه نیز وابستگی وجود دارد. در ادامه مروری بر ادبیات پیشین انجام خواهدشد سپس به معرفی داده‌ها و روش تحقیق پرداخته خواهدشد و در آخر نتایج تشریح خواهندشد.

۲- مرور ادبیات پیشین

تفاوت میان علت وقوع تصادفات تک‌وسیله ای و چندوسیله‌ای در پژوهش‌های پیشین به وسیله محققان مورد بررسی قرار گرفته و اثبات شده‌است. به عنوان مثال شانکار و همکاران[5] در سال ۱۹۹۵ به بررسی ویژگی‌های هندسی راه و شرایط محیطی و تاثیر آن‌ها بر فراوانی تصادفات پرداختند. در پژوهش آن‌ها مدلی برای کل تصادفات و هم‌چنین مدل‌های جزئی‌تر برای هرکدام از انواع تصادفات تک‌وسیله ای و چندوسیله ای ساخته شد. مدل‌های جداگانه قادر به تجزیه وتحلیل بیشتری نسبت به مدل کلی بودند زیرا اجازه می‌دادند که تخمین متغیرها بر اساس نوع تصادف متفاوت باشد[۱۸]. منسا و هاوئر[6] در سال ۱۹۹۸ به بررسی تفاوت میان تصادفات تک‌وسیله ای و چندوسیله‌ای پرداختند. در پژوهش آن‌ها مدل‌سازی فراوانی تصادفات برای کل تصادفات انجام شد و هم‌چنین مدل‌های جداگانه نیز برای تصادفات تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای ساخته شد که حالت دوم نتیجه بهتری داشت[۱۹]. چن و همکاران[7] در سال ۲۰۱۱ به بررسی تصادفات کامیون‌ها در تصادفات تک‌وسیله ای و چندوسیله‌ای در راه‌های روستایی به کمک مدل لوجیت ترکیبی[8] پرداختند. تصادفات تک‌وسیله ای و چندوسیله‌ای

1 Black spots
2 Single-vehicle
3 multivehicle

4 Nested Logistic Regression
5 Shankar et al.
6 Mensah and Hauer
7 Chen et al.
8 Mixed logit

به طور جداگانه مدل‌سازی شدند و با توجه به آزمون نسبت درستنمایی[1] مشخص شد که تفاوت قابل توجهی بین تاثیرات متغیرهای مختلف مانند ویژگی‌های راننده، محیط، راه و زمان بر شدت جراحت راننده در تصادفات تک‌وسیله ای و چندوسیله‌ای وجود دارد[۲۰].

بررسی مطالعات قدیمی‌تر نشان داد که پردازش مدل‌های جداگانه برای تصادف‌های تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای مناسب‌تر است؛ با این حال، این مدل‌های جداگانه نتوانستند وابستگی بین تصادفات تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای را توضیح دهند. با استفاده ازمدل‌های جداگانه، اثرات مشاهده نشده احتمالی مشترک بین این دو گروه تصادفات معمولاً نادیده گرفته می‌شوند[۲۱]. در ادامه محققین برای بررسی وابستگی بین تصادفات تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای به مدل‌های چندمتغیره روی آوردند تا تصادفات تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای را به طور مشترک در یک مدل بررسی کنند. به عنوان نمونه یو و عبدلآتی[2] در سال ۲۰۱۳ از تحلیل بیزین چندسطحی برای بررسی ویژگی‌های متفاوت تصادفات تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای در آزادراه‌ها استفاده کردند[۱۵]. جیدیپالی و لورد[3] در سال ۲۰۱۰ به بررسی تفاوت فاصله اطمینان بین مدل های تفکیک شده برای تصادف تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای و مدل ترکیبی برای هر دو دسته پرداختند[۱۶]. ما و همکاران[4] در سال ۲۰۱۶ با مدل لوگ‌نرمال پواسون تأثیر ویژگی‌های هندسی، آب و هوا و شرایط ترافیکی بر وقوع تصادف را بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی می‌تواند سطوح مختلف همبستگی بین تصادفات تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای را بررسی کند و هم‌چنین تفاوت‌های این دو نوع تصادف نیز بررسی شد[۲۲]. دانگ و همکاران[5] در سال ۲۰۱۸ به بررسی تفاوت‌های تصادفات تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای با مدل لوجیت ترکیبی پرداختند. نتایج نشان داد که شیوه وقوع این نوع تصادفات با هم متفاوت است و مطالعات کمی برای بررسی این تفاوت انجام شده است. آن‌ها نتیجه گیری کردند که به غیر از متغیرهایی مانند سطح جاده مرطوب و تفاوت سرعت که در دو دسته تصادفات معنی‌دار بودند سایر متغیرها اکثرا فقط در تصادفات چندوسیله‌ای معنی‌دار بوده اند[۱۷].

در بررسی سایر رویکردهای مدل‌سازی انواع تصادفات، برخی پژوهش‌ها به تقسیم تصادفات به انواع مختلف با توجه به ترکیبی از نوع تصادف[6] و نوع برخورد[7] پرداختند. به عنوان مثال منگ و همکاران[8] در سال ۲۰۰۷ به پیشبینی تصادفات با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی[9] و شناسایی نوع تصادف خطرناک در تقاطع‌ها پرداختند. در این پژوهش از یک شبکه عصبی مصنوعی معروف چندلایه (MLP) برای پیش‌بینی تعداد هر نوع تصادف استفاده می‌شود. داده‌های تصادف شامل ۴۳۴۰ تصادف منجر به جراحت در ۱۹۷ تقاطع در سطح شهر هاربین از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ می باشد. در این پژوهش خروجی مدل شامل انواع تصادف از جمله تصادفات تک‌وسیله ای، تصادفات از عقب[10] ، تصادفات از کنار[11] و تصادفات شاخ به شاخ[12] بود[۲۳]. نینس و همکاران[13] در سال ۲۰۰۷ تاثیر حواسپرتی در رانندگان جوان بر نوع تصادف در آزادراه‌ها را بررسی کردند. هدف این پژوهش تعیین چگونگی تاثیر عوامل مختلف حواسپرتی بر انواع تصادفات رایج در بین رانندگان بود. به منظور دستیابی به این هدف از مدل لوجیت چندجمله ای استفاده شد و تصادفات به سه دسته تصادفات از عقب ، تصادفات زاویه ای[14] و تصادفات برخورد با شیء ثابت تقسیم شدند. حواسپرتی‌ها نیز به چهار دسته شناختی، کار با تلفن همراه، کار با وسایل داخل ماشین و تعامل با مسافران تقسیم شدند[۲۴]. بعد ها الفلاج و همکاران[15] در سال ۲۰۱۸ پژوهش مشابهی را با مدل لوجیت چندجمله ای در کانزاس انجام دادند. در پژوهش آن‌ها تصادفات به سه دسته تک‌وسیله ای، از عقب و زاویه ای تقسیم شد[۲۵]. کریستوفرو و همکاران[16]در سال ۲۰۱۱ به بررسی نوع تصادفات با استفاده از داده های درلحظه[17] در آزادراه‌ها پرداختند. آن‌ها در این پژوهش از مدل پروبیت[18] برای داده‌های چهار ساله در فرانسه کمک گرفتند. در این بررسی تصادفات به ۵ دسته تصادفات از عقب شامل دو وسیله نقلیه ، تصادفات از کنار ، تصادفات از عقب شامل بیش از دو وسیله نقلیه ، تصادفات زنجیره‌ای و تصادفات تک‌وسیله‌ای تقسیم شد. آن ها معتقد بودند که شرایط ترافیکی قبل از تصادف در نوع تصادف موثر است[۱۱]. البسیونی و همکاران[19] در سال ۲۰۱۴ به ارزیابی تاثیر متغیر وضعیت آب وهوا بر شدت و نوع تصادف با استفاده

1 Likelihood ratio test
2 Yu and Abdel-Aty
3 Geedipally and Lord
4 Ma et al.
5 Dong et al.
6 Crash type
7 Collision type
8 Meng and et al.
9 Artificial Neural Networks (ANN)
10 Rear-end
11 sideswipe
12 Head on
13 Neyens and et al.
14 Angular
15 Alfallaj and et al.
16 christoforou
17 Real-time
18 Probit
19 El-Basyouny et al.

از مدل‌های چندمتغیره ایمنی بیزین پرداختند و نتایج نشان داد که وضعیت آب وهوای نامطلوب باعث افزایش همه انواع تصادفات می شود[۲۶, ۲۷]. میتچل و همکاران[1] در سال ۲۰۱۵ به مقایسه انواع تصادفات در رانندگان مبتدی و رانندگان دارای گواهینامه کامل در استرالیا پرداختند. نتایج نشان داد که تقریبا نیمی از تصادفات رانندگان مبتدی تصادفات تک‌وسیله‌ای است[۲۸]. مطافر و همکاران[2] در سال ۲۰۱۶ به ارزیابی تاثیر ویژگی‌های هندسی راه بر نوع تصادف با استفاده از مدل ترکیبی گاما پواسون چند متغیره پرداختند. در این پژوهش تصادفات به چهار دسته از عقب ، از کنار ، تصادف با شیء ثابت و سایر تصادفات تقسیم شدند. [۲۹]. حسین پور و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از مدل پواسون لوگ نرمال چند متغیره، فراوانی تصادف را بر اساس نوع برخورد پیش بینی کردند. در این پژوهش بیان شد که مدل‌های تک متغیره نمی تواند همبستگی‌هایی را که ممکن است بین انواع مختلف تصادف وجود داشته باشد، در نظر بگیرد. در این پژوهش تصادفات چندوسیله‌ای بررسی شدند و به چهار دسته برخورد از عقب، شاخ به شاخ، برخورد از کنار و زاویه ای تقسیم شدند. [۳۰]. بومیک و همکاران در سال ۲۰۲۱ به بررسی تصادفات و تاثیر متغیر های مختلف بر نوع تصادفات و سطح شدت تصادفات به طور مشترک پرداختند. مدل ساخته شده قادر بود ابعاد مختلفی از جمله تعداد کل تصادفات، تعداد کل تصادفات بر اساس نوع تصادف، تعداد تصادفات برای هر سطح شدت و در نهایت، نسبت و تعداد تصادفات برای هر نوع تصادف بر اساس شدت را پیش‌بینی کند. محمود و همکاران در سال ۲۰۲۱ مدلی را برای پیشبینی فراوانی نوع تصادف در بخش های مختلف جاده پردازش کردند. آن‌ها بیان کردند که توسعه مدل‌های آماری جداگانه برای هر نوع تصادف ساده ترین رویکرد برای بررسی است اما می تواند طولانی باشد و تخمین های غیر قابل اعتمادی را ارائه کند. به علاوه ساختن مدل‌های جداگانه باعث نادیده گرفتن همبستگی بین انواع مختلف تصادف می‌شود. به همین دلایل محققان به مدل‌های چند متغیره به‌منظور بررسی انواع تصادفات می پردازند[۳].تصادفات به ۵ دسته از عقب، زاویه ای، تک‌وسیله ای، برخورد از کنار، شاخ به شاخ و غیر موتوری [3] تقسیم شدند[۳۱]. ژانگ و همکاران[4] در سال ۲۰۲۲ به بررسی رابطه بین ماه های سال و انواع تصادفات مختلف در آزادراه‌های کوهستانی با استفاده از یک رویکرد مدل‌سازی ترکیبی پرداختند. در این پژوهش تصادفات به سه دسته تصادفات از عقب، تصادفات برخورد با شیء ثابت و تصادفات واژگونی تقسیم شدند. [۳۲]. نوات و همکاران[5] در سال ۲۰۲۳ به بررسی متغیرهای موثر بر انواع تصادفات بین خودروهای خودران و خودروهای معمولی با استفاده از احتمالات بیزین پرداختند. نتایج نشان داد که احتمال وقوع تصادفات از عقب برای خودروهای خودران بیشتر از خودروهای معمولی می‌باشد و احتمال تصادفات از کنار برای آن‌ها کاملتر است[۳۳]. استایلز و همکاران[6] در سال ۲۰۲۳ به بررسی تاثیر سرعت بالا و حجم کم در راه‌های شهری که بر اثر سیاست‌های دوران کوید۱۹ به وجود آمده بود؛ بر انواع و شدت تصادفات پرداختند. نتایج نشان داد در حالتی که سرعت بالاتر است تصادفات شدیدتر و کشنده تر می‌باشند و درصد تصادفات ناشی از سرعت غیرمجاز بیشتر می‌شود[۳۴]. پارنتیو و همکاران[7] در سال ۲۰۲۳ به بررسی سن و وزن رانندگان فوت‌شده در انواع تصادفات پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رانندگان فوت‌شده در تصادفات از عقب مسن‌تر هستند[۳۵].

به لحاظ رویکرد مدل‌سازی تا کنون در مطالعات ایمنی بسیاری برای مدل‌سازی شدت تصادفات از مدل لوجیت آشیانه‌ای استفاده شده‌است. به عنوان مثال می‌توان به پژوهش شانکار و همکاران در سال ۱۹۹۶ اشاره کرد که برای مدل‌سازی شدت تصادف از مدل لوجیت آشیانه‌ای استفاده کردند و استفاده از آن را امیدوارکننده برای تحلیل شدت تصادفات دانستند[۳۶]. چانگ و همکاران[8] در سال ۱۹۹۸ برای بررسی تعامل میان شدت تصادفات و تعداد سرنشینان وسیله‌نقلیه از یک مدل لوجیت آشیانه‌ای استفاده کردند. مدل در دو سطح پردازش شد که در سطح اول تعداد سرنشینان و در سطح دوم شدت تصادف را پیشبینی می کرد[۳۷]. لی و همکاران[9] در سال ۲۰۰۲[۳۸] و هولدریج و همکاران[10] در سال ۲۰۰۵[۳۹] نیز از مدل لوجیت آشیانه‌ای به ترتیب برای بررسی اثر ویژگی‌های شانه جاده بر شدت تصادفات خروج از جاده و تصادفات برخورد با شیء ثابت استفاده کردند. عثمان و همکاران[11] در سال ۲۰۱۶ برای بررسی شدت تصادفات کامیون‌ها در محیط کارگاهی برای ساخت یا بازسازی جاده ها از مدل لوجیت آشیانه‌ای استفاده کردند. [۴۰]. مطالعات دیگری نیز موجود است که برای تحلیل شدت آسیب تصادفات در پژوهش‌های خود از مدل لوجیت آشیانه‌ای استفاده کرده اند [۴۱–۴۵]. رازی اردکانی و همکاران در سال ۲۰۱۸ به منظور بررسی تاثیر متغیرهای مختلف

1 Mitchell et al.
2 Mothafer et al.
3 Non-motorized
4 Zhang et al.

5 Novat et al.
6 Stiles et al.
7 Parenteau et al.
8 Chang et al.
9 Lee et al.
10 Holdridge et al.
11 Osman et al.

جدول ۱. درصد فراوانی متغیر پاسخ

Table 1. Percentage frequency of the response variable

شماره گروه	گروه	شماره دسته	دسته	فراوانی	درصد فراوانی
۱	تصادفات تک‌وسیله‌ای	۱	برخورد با شیء ثابت	۲۸۸۶	۲۶
		۲	خروج از جاده	۳۸۶	۴
		۳	واژگونی	۷۴۶	۷
۲	تصادفات چندوسیله‌ای	۴	برخورد با یک وسیله‌ی نقلیه	۵۹۰۶	۵۴
		۵	برخورد با چند وسیله‌ی نقلیه	۹۹۵	۹
مجموع				۱۰۹۱۹	۱۰۰

بر انواع تصادفات در ایالات متحده آمریکا از مدل لوجیت آشیانه‌ای استفاده کردند. تمرکز اصلی آن‌ها در این مطالعه بررسی رابطه بین انواع تصادفات و انواع حواسپرتی ها بود. ساختار نهایی مدل آشیانه‌ای در این پژوهش به این صورت بود که تصادفات تک‌وسیله‌ای در یک آشیانه قرار گرفتند و تصادفات دووسیله‌ای نیز در یک آشیانه قرار گرفتند. متغیرهای مستقل مورد استفاده در تابع مطلوبیت از دسته های ویژگی‌های راننده، تجهیزات ایمنی، نوع حواسپرتی، ویژگی‌های محیطی، آب‌وهوا، شرایط راه، محدودیت سرعت و ... بودند[۴۶].

۳- توصیف داده‌ها

به‌منظور مدل‌سازی انواع مختلف تصادفات تک‌وسیله ای و چندوسیله‌ای و بررسی تاثیر عوامل مختلف بر احتمال وقوع آن‌ها به کمک مدل لوجیت آشیانه‌ای از داده‌های تصادف و رانندگان مقصر در سه سال آخر منتهی به بیماری کرونا در آزادراه‌های ایران استفاده شد. این داده‌ها از فرم تصادفات پلیس راهنمایی و رانندگی جمع‌آوری شده‌اند که بعد از تصادف توسط مامور پلیس ثبت شده اند. پس از پاکسازی و دسته‌بندی داده ها و حذف داده‌های ناقص ، تعداد ۱۰۹۱۹ داده باقی ماندند که شامل اطلاعات مربوط به راننده و ویژگی‌های تصادف درگیر در آن بودند.

متغیر پاسخ در این پژوهش، نوع تصادف است که به پنج دسته تصادفات برخورد با شیء ثابت ، تصادفات خروج از جاده ، تصادفات واژگونی ، تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه و تصادفات برخورد با چند وسیله نقلیه تقسیم می‌شوند. سه دسته اول (تصادفات برخورد با شیء ثابت ، تصادفات خروج از جاده و تصادفات واژگونی) مربوط به تصادفات تک‌وسیله‌ای و دو دسته بعدی (تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه و تصادفات برخورد با چند وسیله نقلیه) مربوط به تصادفات چندوسیله‌ای می‌باشند. متغیرهای مستقل نیز شامل متغیرهای مربوط به محیط (روشنایی ، وضعیت آب‌وهوا)، متغیرهای مربوط به راه (موقعیت تصادف ، شرایط سطح راه ، هندسه راه ، نوع شانه ، عرض شانه ، عرض راه)، متغیر های مربوط به راننده (سن، جنسیت، تحصیلات، نوع گواهینامه)، متغیر های مربوط به علل انسانی تصادف (بی‌توجهی به مقررات ، عجله و شتاب بی‌مورد ، خستگی و خواب‌آلودگی) و متغیر های مربوط به علل تامه تصادفات (تخطی از سرعت مطمئنه ، تغییر مسیر ناگهانی ، عدم توانایی در کنترل وسیله‌ی نقلیه ، عدم توجه به جلو ، عدم‌رعایت فاصله‌ی طولی) می باشند که در مجموع ۲۰ متغیر هستند. جدول ۱ درصد فراوانی متغیر پاسخ و جدول ۲ درصد فراوانی متغیرهای مستقل را نمایش می‌دهند.

جدول ۲. درصد فراوانی متغیرهای مستقل(ادامه دارد)

Table 2. Percentage frequency of independent variables(Continued)

عامل	متغیر مستقل	دسته‌های متغیر مستقل	شماره دسته	درصد فراوانی
محیط	وضعیت روشنایی	روز	۰	۷۰
		شب	۱	۳۰
	وضعیت آب‌وهوا	معمولی	۰	۹۰
		شرایط خاص(برف، باران،مه)	۱	۱۰
	شرایط سطح راه	خشک	۰	۸۹
		تر	۱	۹
		یخ و برف	۲	۲
راه	موقعیت تصادف	سواره‌رو	۰	۹۷
		خارج از سواره‌رو	۱	۳
	هندسه راه	مستقیم و مسطح	۰	۹۴
		مستقیم و شیبدار	۱	۴
		پیچ مسطح	۲	۱
		پیچ شیبدار	۳	۱
	نوع شانه	شانه ندارد	۰	۳
		شانه خاکی	۱	۸
		شانه آسفالته	۲	۸۹
	عرض شانه	شانه ندارد	۰	۳
		۰/۵ تا ۲ متر	۱	۴۷
		۲/۵ تا ۳ متر	۲	۵۰
	عرض راه	۸ تا ۱۲ متر	۰	۶۹
		۱۲/۱ تا ۱۵ متر	۱	۳۱
راننده	جنسیت	مرد	۰	۸۹
		زن	۱	۱۱
	تحصیلات	زیر دیپلم	۰	۲۳
		دیپلم	۱	۶۴
		تحصیلات دانشگاهی	۲	۱۳
	سن	۱۷ تا ۲۵	۰	۱۲
		۲۵ تا ۵۵	۱	۷۸
		۵۵ به بالا	۲	۱۰
	نوع گواهینامه	پایه ۳	۰	۵۲
		پایه ۲	۱	۴۴
		پایه ۱	۲	۵
علل انسانی	بی‌توجهی به مقررات	-	۰	۹۷
		وجود دارد	۱	۳

جدول ۲. درصد فراوانی متغیرهای مستقل

Table 2. Percentage frequency of independent variables

عامل	متغیر مستقل	دسته‌های متغیر مستقل	شماره دسته	درصد فراوانی
علل انسانی	عجله و شتاب بی‌مورد	-	۰	۴۷
		وجود دارد	۱	۵۳
	خستگی و خواب‌آلودگی	-	۰	۸۶
		وجود دارد	۱	۱۴
علل تامه	تخطی از سرعت مطمئنه	-	۰	۹۴
		وجود دارد	۱	۶
	تغییر مسیر ناگهانی	-	۰	۸۸
		وجود دارد	۱	۱۲
	عدم توانایی در کنترل وسیله‌نقلیه	-	۰	۸۴
		وجود دارد	۱	۱۶
	عدم‌توجه به جلو	-	۰	۵۱
		وجود دارد	۱	۴۹
	عدم‌رعایت فاصله طولی	-	۰	۹۳
		وجود دارد	۱	۷

۴- روش تحقیق

به منظور اندازه گیری احتمال وقوع، در حالتی که متغیرهای وابسته به صورت گسسته هستند از مدل‌های انتخاب گسسته[1] استفاده می‌شود. از معروف‌ترین و مشهورترین این مدل‌های لوجیت هستند که در ایمنی کاربرد بسیار داشته که به آن‌ها اشاره شد. از مزیت این مدل‌ها می‌توان سادگی مدل‌سازی و تفسیر نتایج نسبت به سایر مدل‌های انتخاب گسسته (از جمله مدل پروبیت) ، مناسب بودن برای زمانی که متغیر مستقل و وابسته از نوع گسسته و دقت بالا در مدل‌سازی می‌باشد. به علاوه در پژوهش حاضر به دلیل درنظرگرفتن همبستگی‌های موجود بین خروجی انواع تصادفات، از نوع خاصی از مدل لوجیت تحت عنوان مدل لوجیت آشیانه‌ای استفاده می‌شود که به همین منظور توسعه یافته‌اند. در بعضی موارد ممکن است فرض مدل لوجیت چندجمله ای مبنی بر استقلال موارد خطای گزینه ها از هم نقض شود یا به عبارت دیگر فاکتور های تاثیرگذار مشاهده نشده ممکن است بر چند گزینه تاثیر بگذارند. به منظور غلبه بر ویژگی استقلال از گزینه نامرتبط[2]

مدل لوجیت چندجمله‌ای ، مدل لوجیت آشیانه‌ای به کار برده می شود که تاثیرات عوامل مشاهده نشده در هر سطح را به اشتراک می‌گذارد. ساختار مدل را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد[۴۷]:

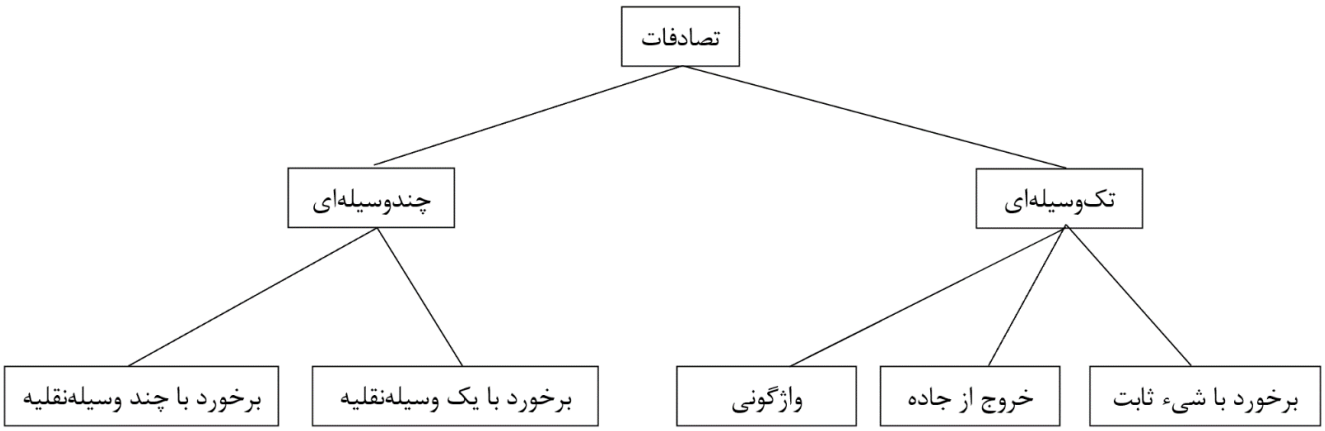
$$P_n(j) = P_n(j|i).P_n(i) \quad (۱)$$

$$P_n(i) = \frac{\exp(\beta_i \cdot X_{in} + \phi_i \cdot LS_{in})}{\sum_{\forall I} \exp(\beta_I \cdot X_{In} + \phi_I \cdot LS_{In})} \quad (۲)$$

$$P_n(j|i) = \frac{\exp(\beta_{j|i} \cdot X_{jn})}{\sum_{\forall J} \exp(\beta_{J|i} \cdot X_{Jn})} \quad (۳)$$

$$LS_{in} = \ln\left[\sum_{\forall J} \exp(\beta_{J|i} \cdot X_{Jn})\right] \quad (۴)$$

1 discrete choice model
2 independence of irrelevant alternatives (IIA)



شکل ۱. ساختار مدل لوجیت آشیانه‌ای

Fig. 1. Nested logit model structure

که در این روابط Pn(j) احتمال غیر شرطی این است که تصادف n در دسته نوع تصادف j قرار بگیرد. Pn(i) احتمال غیر شرطی این است که تصادف n در آشیانه نوع تصادف i قرار بگیرد. β_i ضریب تخمینی پارامترها برای نوع تصادف i می‌باشد ، X_{in} متغیر توضیحی که توصیف کننده شرایط راه ، محیط ، راننده و علل تصادف است می‌باشد که بر روی نوع تصادف i اثر میگذارد ، $P_n(j|i)$ احتمال این است که تصادف n متعلق به نوع تصادف j باشد که زیر مجموعه آشیانه نوع تصادف i است، LS_{in} برابر مقدار فراگیر[1](لوگ سام[2]) است و φ_i تخمینی از پارامتر مقدار فراگیر می باشد که تحت عنوان IV پارامتر شناخته می شود. برای مطابقت با مدل ارزش نهایی تعمیم یافته[3] مقدار IV پارامتر باید بین صفر و یک باشد. مقدار بالاتر IV پارامتر نشان دهنده استقلال بیشتر و همبستگی کمتر است. اگر این مقدار برابر یک باشد نشان دهنده این است که عوامل مشاهده نشده مشترک در گزینه های یک آشیانه وجود ندارد و مدل به یک مدل چندگانه تبدیل می شود. اگر IV پارامتر تفاوت معنا داری با صفر نداشته باشد نشان دهنده همبستگی کامل بین گزینه های یک آشیانه وجود دارد[۳۸, ۴۴, ۴۸]. در این پژوهش تخمین مدل آشیانه‌ای با استفاده از رویکرد حداکثر درست نمایی اطلاعات کامل[4] انجام می‌شود.

۵- پردازش مدل

به منظور ساخت مدل آشیانه‌ای، از ساختاری استفاده شد که در شکل ۱ نمایش داده شده است؛ در این ساختار دسته های نوع تصادف i شامل تصادف‌های تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای می‌باشند که دسته تک‌وسیله‌ای خود به سه دسته j تصادفات برخورد با شیء ثابت، خروج از جاده و واژگونی تقسیم می‌شود و دسته تصادفات چندوسیله‌ای به دو دسته تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه و برخورد با چند وسیله نقلیه تقسیم می‌شود.

با استفاده از ۷۰ درصد داده‌ها و به کارگیری متغیرهای مختلف در توابع مطلوبیت دسته های مختلف، نتایج بهترین مدل به دست آمده مطابق جدول ۳ می باشد. مقدار p-value برای تمامی متغیرها کمتر از ۰/۰۵ است و در سطح اطمینان ۹۵ درصد همه ی متغیرها معنی‌دار هستند. همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، مقدار فراگیر (IV parameter) برای آشیانه ها برابر با ۰/۵۲۶ به دست آمده است که بین صفر و یک می‌باشد و مقدار خطای استاندارد آن نیز برابر ۰/۱۵۲ به دست آمده است.

برای بررسی ساختار آشیانه‌ها به صورت زیر از آزمون والد استفاده شد که در رابطه ۵ نمایش داده شده است:

$$wald_test = \frac{IV - 1}{std_eror} \qquad (۵)$$

1 inclusive value
2 logsum
3 generalized extreme value
4 full information maximum likelihood (FIML)

جدول ۳. نتایج خروجی مدل لوجیت آشیانه‌ای(ادامه دارد)

Table 3. Output results of nested logit model(Continued)

سطح	دسته	متغیر مستقل در تابع مطلوبیت	ضریب	p-value
پایین (آشیانه تصادفات تک‌وسیله‌ای)	تصادفات برخورد با شیء ثابت	عدد ثابت	-۲/۶۶۶	۰/۰۰۰
		وضعیت هوا	۰/۳۹۲	۰/۰۲۸
		نوع شانه	۰/۳۰۹	۰/۰۰۱
	تصادفات خروج از جاده	عدد ثابت	-۴/۳۰۵	۰/۰۰۰
		موقعیت تصادف	۱/۶۹۳	۰/۰۰۰
		عرض راه	۰/۳۳۵	۰/۰۱۲
		بی‌توجهی به مقررات	۰/۸۷۵	۰/۰۰۷
	تصادفات واژگونی	عدد ثابت	-۳/۴۵۴	۰/۰۰۰
		نوع گواهینامه	-۰/۱۸۶	۰/۰۳۰
		موقعیت تصادف	۱/۳۰۳	۰/۰۰۰
		بی‌توجهی به مقررات	۱/۰۱۴	۰/۰۰۰
پایین (آشیانه تصادفات چندوسیله‌ای)	تصادفات برخورد با یک-وسیله نقلیه	خستگی و خواب‌آلودگی	۰/۹۶۹	۰/۰۰۰
		عرض شانه	-۰/۴۲۶	۰/۰۰۰
		وضعیت هوا	-۰/۷۱۰	۰/۰۰۰
		هندسه راه	۰/۵۹۹	۰/۰۰۲
	تصادفات برخورد با چند وسیله نقلیه	عدد ثابت	-۲/۱۹۹	۰/۰۰۰
		عرض راه	-۰/۹۰۹	۰/۰۰۰
		عدم‌توجه به جلو	۰/۲۸۷	۰/۰۰۲
		عدم‌رعایت فاصله طولی	۰/۶۴۵	۰/۰۰۰
		سن	-۰/۱۸۸	۰/۰۳۰

جدول ۳. نتایج خروجی مدل لوجیت آشیانه‌ای

Table 3. Output results of nested logit model

بالا	تصادفات تک‌وسیله‌ای	تخطی از سرعت مطمئنه	۱/۹۴۵	۰/۰۰۰
		عدم‌توجه به جلو	۱/۱۵۵	۰/۰۰۰
		عدم‌توانایی کنترل وسیله‌ی نقلیه	۱/۸۷۶	۰/۰۰۰
		جنسیت	۰/۴۷۹	۰/۰۰۰
		هندسه‌ی راه	۰/۵۶۴	۰/۰۰۰
		خستگی و خواب‌آلودگی	۱/۵۵۶	۰/۰۰۰
		موقعیت تصادف	۱/۰۴۳	۰/۰۰۰
بالا	تصادفات چندوسیله‌ای	وضعیت هوا	۱/۴۱۲	۰/۰۰۰
		وضعیت روشنایی	۰/۳۶۲	۰/۰۰۰
		نوع شانه	۰/۵۴۳	۰/۰۰۰
		تحصیلات	-۰/۱۵۱	۰/۰۰۱
		تغییر مسیر ناگهانی	۲/۴۹۰	۰/۰۰۰
		عدم‌رعایت فاصله طولی	۲/۷۸۱	۰/۰۰۰
تعداد مشاهدات			۷۶۴۳	
IV parameter			۰/۵۲۶	
Log likelihood function			-۷۹۷۳/۶۵۹	
Restricted log likelihood			-۱۲۳۰۰/۹۳۴	
ρ^2			۰/۳۵۲	
Chi squared [34 d.f.]			۸۶۵۴/۵۵	

که در این رابطه wald_test آماره آزمون والد است؛ IV همان مقدار IV parameter است و std_eror بیانگر خطای استاندارد می‌باشد. برای مدل پردازش شده آماره آزمون والد به صورت زیر محاسبه می شود:

$$wald_test = \frac{0.526-1}{0.152} = -3.118$$

همانطور که مشاهده می‌شود قدرمطلق مقدار به دست آمده از عدد ۱/۹۶ بیشتر است پس در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار می‌باشند و نشان دهنده مناسب بودن ساختار مدل لوجیت آشیانه‌ای نسبت به لوجیت چند جمله‌ای و وجود همبستگی بین زیرمجموعه‌های آشیانه‌ها است. مقدار شاخص ρ^2 نیز برابر ۰/۳۵۲ به دست آمده‌است که برای مدل‌های لوجیت مقدار مناسبی است. برای انجام آزمون نسبت درستنمایی در خروجی مدل عددی تحت

جدول ۴. اثرات حاشیه‌ای متغیرهای مستقل بر حسب درصد

Table 4. Marginal effects of independent variables in percentage

متغیر مستقل	دسته های نوع تصادفات						
	برخورد با شیء ثابت	خروج از جاده	واژگونی	برخورد با یک وسیله	برخورد با چند وسیله	تصادفات تک-وسیله‌ای	تصادفات چند-وسیله‌ای
وضعیت هوا	+۴/۷۴			-۱۰/۳۷			+۸/۶۸
نوع شانه	+۳/۷۳						+۶/۳۵
موقعیت تصادف		+۵/۶۰	+۷/۴۲			+۲۵/۶۹	
عرض راه		+۱/۱۱			-۷/۰۹		
بی‌توجهی به مقررات		+۲/۸۹	+۵/۷۷				
نوع گواهینامه			-۱/۰۶				
خستگی و خواب آلودگی				+۱۴/۱۵		+۱۹/۵۲	
عرض شانه				-۶/۲۲			
هندسه راه				+۸/۷۴		+۳/۹۲	
عدم‌توجه به جلو					+۲/۲۴	+۲۰/۷۹	
عدم‌رعایت فاصله طولی					+۵/۰۳		+۱۴/۳۲
سن					-۱/۴۶		
تخطی از سرعت مطمئنه						+۴۰/۵۹	
عدم توانایی در کنترل وسیله نقلیه						+۳۸/۸۸	
جنسیت						+۷/۳۱	
وضعیت روشنایی							+۴/۱۵
تحصیلات							-۲/۰۷
تغییر مسیر ناگهانی							+۱۳/۹۰

عنوان کای دو[1] با ۳۴ درجه آزادی گزارش شده است که این عدد باید با توزیع کای دو با ۳۴ درجه آزادی در سطح اطمینان مورد نظر مقایسه شود. عدد گزارش شده برابر ۸۶۵۴/۵۵ است که از عدد به دست آمده از طریق توزیع کای دو با درجه آزادی ۳۴ و سطح اطمینان ۵ درصد بسیار بیشتر است پس مدل بدست آمده از طریق آزمون نسبت درستنمایی معنادار می باشد.

۶- تفسیر نتایج

در جدول ۴ مقدار اثرات حاشیه‌ای[2] برای هر متغیر موثر در مدل مشاهده می‌شود. طبق تعریف، اثر حاشیه‌ای یک متغیر برابر است با تغییر احتمال وقوع یک نوع تصادف در صورت افزایش آن متغیر به میزان یک واحد؛ به عنوان مثال درسطح پایین مدل و آشیانه تصادفات تک‌وسیله‌ای؛ متغیر وضعیت هوا در تابع مطلوبیت تصادفات برخورد با شیءثابت معنادار شده‌است.

1 chi squared

2 Marginal effects

مقدار اثر حاشیه‌ای این متغیر برابر ٪۴/۷۴+ به دست آمده است که معنای آن به این صورت است که در صورت افزایش متغیر وضعیت هوا به میزان یک واحد (یعنی اگر متغیر وضعیت هوا از ۰ به ۱ تبدیل شود یا به عبارت دیگر وضعیت هوا از حالت معمولی به شرایط خاص تغییر پیدا کند) در آشیانه تصادفات تک‌وسیله‌ای احتمال وقوع تصادفات برخورد با شیء ثابت به میزان ٪۴/۷۴ افزایش پیدا می‌کند که نشان می‌دهد احتمال وقوع تصادفات برخورد با شیء ثابت در آب‌وهوای با شرایط خاص بیشتر می‌باشد.

اثر حاشیه‌ای برای متغیر نوع شانه در آشیانه تصادفات تک‌وسیله‌ای برای تصادفات برخورد با شیء ثابت برابر با ٪۳/۷۳+ می‌باشد که بیان می‌کند با آسفالته شدن شانه راه احتمال تصادف برخورد با شیءثابت افزایش پیدا می‌کند. متغیر معنی‌دار دیگر در آشیانه تصادفات تک‌وسیله‌ای متغیر موقعیت تصادف است که اثر حاشیه‌ای آن در تصادفات خروج از جاده ٪۵/۶۰ و در تصادفات واژگونی ٪۷/۴۲ می‌باشد و نشانگر این است که اگر تصادفی در خارج از سواره‌رو رخ دهد احتمال این که از دو نوع خروج از جاده و واژگونی باشد بیشتر می‌شود.متغیر عرض راه در تابع مطلوبیت تصادفات خروج از جاده معنی‌دار شده و اثر حاشیه‌ای آن ٪۱/۱۱ می‌باشد که نشان می‌دهد با افزایش عرض راه احتمال بروز تصادفات خروج از جاده بیشتر می‌شود. وجود علت انسانی بی‌توجهی به مقررات احتمال وقوع تصادفات خروج از جاده و واژگونی را به میزان ٪۲/۸۹ و ٪۵/۷۷ افزایش می‌دهد. متغیر نوع گواهینامه در تابع مطلوبیت تصادفات واژگونی معنادار شده است و دارای اثر حاشیه‌ای ٪۱/۰۶- است و بیان می‌کند که اگر راننده ای دارای گواهینامه های حرفه‌ای‌تر باشد احتمال این که درگیر تصادفات واژگونی شود کاهش پیدا می‌کند.

اما در سطح پایین مدل و در آشیانه تصادفات چندوسیله‌ای متغیر خستگی و خواب‌آلودگی در تابع مطلوبیت تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه معنادار شده است و اثر حاشیه‌ای آن برابر ٪۱۴/۱۵+ می‌باشد که بیان می‌کند اگر این عامل در تصادفی وجود داشت احتمال این که آن تصادف برخورد با یک وسیله نقلیه باشد به میزان ٪۱۴/۱۵ افزایش پیدا می‌کند. متغیر عرض شانه نیز در تابع مطلوبیت تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه دارای اثر حاشیه‌ای ٪۶/۲۲- است و با افزایش عرض شانه احتمال بروز این نوع از تصادفات کاهش پیدا می‌کند. متغیر وضعیت هوا نیز در تابع مطلوبیت تصادفات برخورد با یک وسیلهنقلیه دارای اثر حاشیه‌ای برابر با ٪۱۰/۳۷- می‌باشد که بیانگر این است اگر آب‌وهوای معمولی به آب‌وهوای با شرایط خاص تبدیل شود احتمال تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه کاهش پیدا می‌کند که می‌تواند به علت دقت بیشتر رانندگان در رانندگی در این شرایط باشد. متغیر هندسه راه نیز در تابع مطلوبیت تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه معنادار شده است و اثر حاشیه‌ای آن به میزان ٪۸/۷۴+ است که بیان می‌کند در راه های شیبدار و پیچ ها احتمال بروز این نوع تصادفات افزایش پیدا می‌کند. اما در تابع مطلوبیت تصادفات برخورد با چند وسیله نقلیه متغیر عرض راه دارای اثر حاشیه‌ای ٪۷/۰۹- می‌باشد که نشان می‌دهد با افزایش عرض راه‌ها احتمال وقوع تصادفات برخورد با چند وسیله نقلیه کاهش پیدا می‌کند. از دسته متغیر های علت تامه تصادفات علت های عدم‌توجه به جلو و عدم‌رعایت فاصله طولی در تابع مطلوبیت تصادفات برخورد با چند وسیله نقلیه به ترتیب دارای اثر حاشیه‌ای ٪۲/۲۴+ و ٪۵/۰۳+ می‌باشند و وجود این علل در تصادف احتمال این که تصادف در دسته تصادفات برخورد با چند وسیله نقلیه باشد را افزایش می‌دهد. متغیر سن نیز دارای اثر حاشیه‌ای ٪۱/۴۶- می باشد که بیان می‌کند با افزایش سن احتمال بروز تصادفات برخورد با چند وسیله نقلیه کاهش پیدا می‌کند که می تواند به علت دقت و مراقبت بیشتر افراد مسنتر نسبت به جوانان باشد.

اما در سطح بالای مدل بررسی بین تصادفات تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای است. در تابع مطلوبیت تصادفات تک‌وسیله‌ای متغیرهای تخطی از سرعت مطمئنه، عدم توجه به جلو و عدم توانایی کنترل وسیله نقلیه از علل تامه معنادار شده اند و به‌ترتیب اثر حاشیه‌ای آن‌ها برابر با ٪۴۰/۵۹+ ، ٪۲۰/۷۹+ و ٪۳۸/۸۸+ می‌باشد که اعداد قابل توجهی می‌باشند و وجود این عوامل در یک تصادف احتمال این که آن تصادف تک‌وسیله‌ای باشد را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. متغیر جنسیت نیز در این تابع مطلوبیت معنادار شده است و دارای اثر حاشیه‌ای ٪ ۷/۳۱+ می‌باشد که نشان می‌دهد احتمال وقوع تصادفات تک‌وسیله‌ای برای خانمها بیشتر از آقایان می‌باشد. در تابع مطلوبیت تصادفات تک‌وسیله‌ای متغیر هندسه راه نیز معنادار شده است و اثر حاشیه‌ای آن برابر با ٪۳/۹۲+ می‌باشد که بیانگر این است که احتمال وقوع تصادفات تک‌وسیله‌ای در راه‌های شیبدار و پیچها افزایش پیدا می‌کند. متغیر خستگی و خواب‌آلودگی از علل انسانی نیز دارای اثر حاشیه‌ای ٪۱۹/۵۲+ می باشد و برای رانندگانی که دارای این علت هستند احتمال وقوع تصادفات تک‌وسیله‌ای به میزان قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند. متغیر موقعیت تصادف نیز دارای اثر حاشیه‌ای ٪۲۵/۶۹+ می‌باشد به این معنا که اگر تصادفی در خارج از سواره‌رو اتفاق افتاده باشد احتمال این که آن تصادف، تصادف تک‌وسیله‌ای باشد افزایش پیدا می‌کند. متغیر وضعیت هوا و وضعیت روشنایی در تابع مطلوبیت تصادفات چندوسیله‌ای معنادار شده اند و اثر حاشیه‌ای برای آن‌ها به ترتیب برابر ٪۸/۶۸+ و ٪ ۴/۱۵+ می‌باشد که

جدول ۵. نتایج اعتبارسنجی مدل

Table 5. Model validation results

سطح مدل	وضعیت	تعداد	درصد
سطح بالایی (پیش‌بینی تک‌وسیله‌ای یا چندوسیله‌ای بودن)	پیش‌بینی درست	۲۴۵۴	۷۴/۹۱
	پیش‌بینی اشتباه	۸۲۲	۲۵/۰۹
	مجموع	۳۲۷۶	۱۰۰
سطح پایینی مدل (پیش‌بینی کلی نوع تصادف)	پیش‌بینی درست	۲۰۴۸	۶۲/۵۱
	پیش‌بینی اشتباه	۱۲۲۸	۳۷/۴۹
	مجموع	۳۲۷۶	۱۰۰

نشان می‌دهد احتمال وقوع تصادفات چندوسیله‌ای در آب‌وهوای با شرایط خاص و در شب افزایش پیدا می‌کند. متغیر نوع شانه نیز دارای اثر حاشیه‌ای ٪ ۶/۳۵+ می باشد که نشان می‌دهد در راه‌های با شانه اسفالته احتمال وقوع تصادفات چندوسیله‌ای بیشتر می‌شود که می‌تواند به دلیل آرامش خاطر بیشتر رانندگان نسبت به راه‌های بدون شانه یا راه‌های با شانه خاکی باشد. متغیر تحصیلات نیز در تابع مطلوبیت تصادفات چندوسیله‌ای معنادار شده است و دارای اثر حاشیه‌ای ٪۲/۰۷- می‌باشد که بیانگر این است احتمال وقوع تصادفات برخورد با چندوسیله نقلیه برای افراد تحصیل‌کرده کمتر می‌شود. از متغیرهای علل تامه نیز متغیر تغییر مسیر ناگهانی و عدم‌رعایت فاصله طولی معنادار شده‌اند که اثر حاشیه‌ای آن ها به ترتیب برابر با ٪ ۱۳/۹۰+ و ٪ ۱۴/۳۲+ می‌باشد که اعداد قابل توجهی هستند و با وجود این علل در یک تصادف احتمال اینکه آن تصادف از نوع چندوسیله‌ای باشد افزایش پیدا می‌کند.

۷- اعتبارسنجی مدل

در این قسمت مدل پردازش شده بر روی ۳۰ درصد از داده‌ها که وارد مدل‌سازی نشده بودند در دو سطح به کار گرفته می‌شود و نتایج بررسی می‌شود. بار نخست برای پیشبینی تک‌وسیله‌ای و چندوسیله‌ای بودن تصادفات و سپس برای نوع کلی تصادفات مدل آزمایش می‌شود. نتیجه این اعتبار سنجی نشان داد که مدل در ٪۷۴/۹ تصادفات موفق به پیشبینی درست تک‌وسیله‌ای یا چندوسیله‌ای بودن آن‌ها شده است و در ٪۶۲/۵ تصادفات نیز نوع تصادفات را به درستی پیشبینی کرده است که درصد مناسبی برای اعتبارسنجی مدل می‌باشد. نتایج این اعتبارسنجی در جدول ۵ نمایش داده شده است.

۸- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مدلی برای پیشبینی نوع تصادفات آزادراه‌های کشور ایران پردازش شد و به علت در نظر گرفتن همبستگی های مشاهده نشده بین انواع مختلف تصادف، از مدل لوجیت آشیانه‌ای استفاده شد که با توجه به مقدار IV پارامتر به‌دست آمده مناسب بود. ساختار مدل نشان داد که بین تصادفات تک‌وسیله‌ای (برخورد با شیءثابت ، خروج از جاده و واژگونی) و هم‌چنین بین تصادفات چندوسیله‌ای (برخورد با یک وسیله‌ی نقلیه و برخورد با چند وسیله‌ی نقلیه) همبستگی های مشاهده‌نشده‌ای وجود دارد. برای بررسی تاثیر عوامل مختلف بر انواع تصادفات از متغیرهای مربوط به ۵ دسته محیط، راه، راننده، علل انسانی و علل تامه تصادفات استفاده شد و پایگاه داده استفاده شده نیز داده‌های تصادفات آزادراهی در کشور ایران بود.

پس از مدل‌سازی نتایج مربوط به متغیرهای دسته راه و محیط نشان داد تصادفاتی که موقعیت تصادف آن‌ها در خارج از سواره رو است احتمال تک‌وسیله‌ای بودن آن‌ها بیشتر است و بین تصادفات تک‌وسیله‌ای نیز احتمال وقوع تصادفات خروج از جاده و واژگونی بیشتر است که این امر لزوم ایجاد تمهیدات ایمنی در قطعه هایی که مستعد بروز تصادفات خارج از سواره‌رو هستند را نشان می‌دهد. به عنوان مثال نصب گاردریل‌های مناسب با انعطاف بالا می‌تواند کارساز باشد. در شرایط آب‌وهوایی خاص (باران ، برف ، مه) احتمال بروز تصادفات چندوسیله‌ای و در بین تصادفات تک‌وسیله‌ای، احتمال بروز تصادفات برخورد با شیء ثابت افزایش پیدا می‌کند که مستلزم دقت بیشتر راننده و کاهش سرعت در این شرایط می‌باشد. با افزایش عرض راه

بین تصادفات چندوسیله‌ای، احتمال وقوع تصادفات برخورد با چندوسیله‌ی نقلیه یا تصادفات زنجیره‌ای که تصادفات خطرناکی می‌باشند کاهش پیدا می‌کند و افزایش عرض راه می‌تواند یک عامل مثبت در جهت ایمن تر کردن راه‌ها باشد البته نه به اندازه بیش از حد زیرا که احتمال تصادفات برخورد با شیءثابت را بین تصادفات تک‌وسیله‌ای افزایش می‌دهد که می‌تواند به دلیل سرعت زیاد در راه‌های با عرض بیش از حد باشد. افزایش عرض شانه نیز باعث کاهش احتمال تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه در آشیانه تصادفات چندوسیله‌ای می‌شود و بهتر است که عرض شانه‌ها نیز تا مقدار استاندارد افزایش پیدا کند. در پیچها و سربالایی و سرپایینی‌ها احتمال وقوع تصادفات تک‌وسیله‌ای افزایش پیدا می‌کند و در آشیانه تصادفات چندوسیله‌ای احتمال بروز تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه افزایش پیدا می‌کند که این امر نشان دهنده ضرورت به‌کارگیری تابلوها و علائم هشداردهنده ایمنی در این قسمتهای راه می‌باشد. احتمال وقوع تصادفات چندوسیله‌ای در شب افزایش پیدا می‌کند که این امر حاکی از کاهش تعامل میان رانندگان در شب می باشد و با نوردهی مناسب راه‌ها باید از وقوع این تصادفات جلوگیری کرد.

اما بررسی متغیرهای مربوط به راننده نشان می‌دهد که با افزایش سن راننده احتمال وقوع تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه در آشیانه تصادفات چندوسیله‌ای کاهش پیدا می‌کند یا به عبارت دیگر احتمال وقوع این تصادف در بین جوانان بیشتر است. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که احتمال وقوع تصادفات واژگونی که تصادفات خطرناکی هستند برای افراد تازه کار با سابقه گواهینامه کمتر، بیشتر است. احتمال وقوع تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه در آشیانه تصادفات چندوسیله‌ای نیز در خانمها بیشتر از آقایان است.

اما در میان علل انسانی علت بی‌توجهی به مقررات باعث افزایش احتمال وقوع تصادفات خروج از جاده و واژگونی در بین تصادفات تک‌وسیله‌ای می شود. متغیر خستگی وخواب آلودگی نیز احتمال وقوع تصادفات تک‌وسیله‌ای را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد و در آشیانه تصادفات چندوسیله‌ای احتمال وقوع تصادفات برخورد با یک وسیله نقلیه را افزایش می‌دهد و از متغیر های تاثیرگذار است. برای جلوگیری از خستگی و خواب‌آلودگی راننده می‌توان از سیستم‌های هوشمند و اخطاردهنده بر روی خودروها استفاده کرد.

در میان علل تامه تصادفات علت عدم‌توجه به جلو که می‌تواند ناشی از حواسپرتی باشد احتمال وقوع تصادفات تک‌وسیله‌ای را افزایش قابل توجهی می‌دهد و این متغیر به علاوه متغیر عدم‌رعایت فاصله طولی احتمال بروز تصادفات برخورد با چند وسیله نقلیه را در آشیانه تصادفات چندوسیله‌ای افزایش می‌دهند. هم‌چنین عدم‌رعایت فاصله طولی باعث افزایش احتمال وقوع تصادفات چندوسیله‌ای می‌شود که تصادفات خطرناکی هستند. تخطی از سرعت مطمئنه و عدم توانایی در کنترل وسیله نقلیه نیز احتمال وقوع تصادفات تک‌وسیله‌ای را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. پیشنهادات برای مقابله با این عوامل می‌تواند افزایش جریمه برای تخطی از سرعت مطمئنه و جلوگیری از رانندگی در آزادراه‌ها در سالهای ابتدایی رانندگی باشد. تغییرمسیر ناگهانی نیز باعث افزایش احتمال وقوع تصادفات چندوسیله‌ای می‌شود و آموزش‌های آیین نامه رانندگی و استفاده از راهنما می‌تواند برای جلوگیری از تصادفات مرتبط با این عامل موثر باشد.

از جمله پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده می توان به بررسی و ترکیب انواع مختلف تصادفات با انواع مختلف برخوردها (برخورد از عقب ، از کنار ، شاخ به شاخ و...) اشاره کرد. به عنوان مثال می‌توان فقط تصادفات تک‌وسیله‌ای را بررسی کرد اما با توجه به نحوه برخورد، آن‌ها را در آشیانه های مختلف قرار داد. هم‌چنین می‌توان مدل‌سازی مربوط به انواع تصادفات را در یک راه خاص یا یک محیط جغرافیایی خاص انجام داد و متغیر های ترافیکی را نیز به آن ها اضافه کرد.

منابع

[1] https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries, in.

[2] A. Tavakoli Kashani, M.M. Besharati, An analysis of vehicle occupants' injury severity in crashes occurred on rural freeways and multilane highways in Iran, International Journal of Transportation Engineering, 4(2) (2016) 137-146.

[3] A. Mahmud, V.V. Gayah, Estimation of crash type frequencies on individual collector roadway segments, Accident Analysis & Prevention, 161 (2021) 106345.

[4] D.-G. Kim, S. Washington, J. Oh, Modeling crash types: New insights into the effects of covariates on crashes at rural intersections, Journal of Transportation Engineering, 132(4) (2006) 282-292.

[5] S.A. Alarifi, M. Abdel-Aty, J. Lee, A Bayesian multivariate hierarchical spatial joint model for predicting crash counts by crash type at intersections and segments along corridors, Accident Analysis & Prevention, 119 (2018) 263-273.

[6] T. Jonsson, J.N. Ivan, C. Zhang, Crash prediction

models for intersections on rural multilane highways: Differences by collision type, Transportation research record, 2019(1) (2007) 91-98.

[7] V. Shankar, F. Mannering, W. BARFIELD,“, Effect of Roadway Geometrics and Environmental factors on Rural Freeway Accident Frequency, (1996) 371-389.

[8] K. Wang, J.N. Ivan, N. Ravishanker, E. Jackson, Multivariate poisson lognormal modeling of crashes by type and severity on rural two lane highways, Accident Analysis & Prevention, 99 (2017) 6-19.

[9] G.F. Ulfarsson, S. Kim, E.T. Lentz, Factors affecting common vehicle-to-vehicle collision types: Road safety priorities in an aging society, Transportation research record, 1980(1) (2006) 70-78.

[10] N. Venkataraman, G.F. Ulfarsson, V.N. Shankar, Random parameter models of interstate crash frequencies by severity, number of vehicles involved, collision and location type, Accident Analysis & Prevention, 59 (2013) 309-318.

[11] Z. Christoforou, S. Cohen, M.G. Karlaftis, Identifying crash type propensity using real-time traffic data on freeways, Journal of Safety research, 42(1) (2011) 43-50.

[12] W. Cheng, G.S. Gill, R. Dasu, M. Xie, X. Jia, J. Zhou, Comparison of Multivariate Poisson lognormal spatial and temporal crash models to identify hot spots of intersections based on crash types, Accident Analysis & Prevention, 99 (2017) 330-341.

[13] S.R. Geedipally, S. Patil, D. Lord, Examination of methods to estimate crash counts by collision type, Transportation Research Record, 2165(1) (2010) 12-20.

[14] A.-V. Jonathan, K.-F.K. Wu, E.T. Donnell, A multivariate spatial crash frequency model for identifying sites with promise based on crash types, Accident Analysis & Prevention, 87 (2016) 8-16.

[15] R. Yu, M. Abdel-Aty, Multi-level Bayesian analyses for single-and multi-vehicle freeway crashes, Accident Analysis & Prevention, 58 (2013) 97-105.

[16] S.R. Geedipally, D. Lord, Investigating the effect of modeling single-vehicle and multi-vehicle crashes separately on confidence intervals of Poisson–gamma models, Accident Analysis & Prevention, 42(4) (2010) 1273-1282.

[17] B. Dong, X. Ma, F. Chen, S. Chen, Investigating the differences of single-vehicle and multivehicle accident probability using mixed logit model, Journal of Advanced Transportation, 2018 (2018).

[18] V. Shankar, F. Mannering, W. Barfield, Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies, Accident Analysis & Prevention, 27(3) (1995) 371-389.

[19] A. Mensah, E. Hauer, Two problems of averaging arising in the estimation of the relationship between accidents and traffic flow, Transportation Research Record, 1635(1) (1998) 37-43.

[20] F. Chen, S. Chen, Injury severities of truck drivers in single-and multi-vehicle accidents on rural highways, Accident Analysis & Prevention, 43(5) (2011) 1677-1688.

[21] D. Lord, F. Mannering, The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives, Transportation research part A: policy and practice, 44(5) (2010) 291-305.

[22] X. Ma, S. Chen, F. Chen, Correlated random-effects bivariate poisson lognormal model to study single-vehicle and multivehicle crashes, Journal of Transportation Engineering, 142(11) (2016) 04016049.

[23] X. Meng, H. Sheng, X. Wang, Y. Lv, Predicting Crashes Based on Artificial Neural Networks and Identifying the Hazardous Crash Type at Intersections, in: International Conference on Transportation Engineering 2007, 2007, pp. 1451-1456.

[24] D.M. Neyens, L.N. Boyle, The effect of distractions on the crash types of teenage drivers, Accident Analysis & Prevention, 39(1) (2007) 206-212.

[25] I. Alfallaj, S. Dissanayake, The Effect of Distractions on Common Crash Types of Teenage Drivers in Kansas, in: International Conference on Transportation and Development 2018: Connected and Autonomous Vehicles and Transportation Safety, American Society of

Civil Engineers Reston, VA, 2018, pp. 356-367.

[26] K. El-Basyouny, S. Barua, M.T. Islam, R. Li, Assessing the effect of weather states on crash severity and type by use of full Bayesian multivariate safety models, Transportation research record, 2432(1) (2014) 65-73.

[27] K. El-Basyouny, S. Barua, M.T. Islam, Investigation of time and weather effects on crash types using full Bayesian multivariate Poisson lognormal models, Accident Analysis & Prevention, 73 (2014) 91-99.

[28] R. Mitchell, T. Senserrick, M. Bambach, G. Mattos, Comparison of novice and full-licenced driver common crash types in New South Wales, Australia, 2001–2011, Accident Analysis & Prevention, 81 (2015) 204-210.

[29] G.I. Mothafer, T. Yamamoto, V.N. Shankar, Evaluating crash type covariances and roadway geometric marginal effects using the multivariate Poisson gamma mixture model, Analytic methods in accident research, 9 (2016) 16-26.

[30] M. Hosseinpour, S. Sahebi, Z.H. Zamzuri, A.S. Yahaya, N. Ismail, Predicting crash frequency for multi-vehicle collision types using multivariate Poisson-lognormal spatial model: A comparative analysis, Accident Analysis & Prevention, 118 (2018) 277-288.

[31] T. Bhowmik, S. Yasmin, N. Eluru, A new econometric approach for modeling several count variables: a case study of crash frequency analysis by crash type and severity, Transportation research part B: methodological, 153 (2021) 172-203.

[32] C. Zhang, J. He, C. Bai, X. Yan, C. Wang, Y. Guo, Exploring relationships between months and different crash types on mountainous freeways using a combined modeling approach, Journal of advanced transportation, 2022 (2022).

[33] N. Novat, E. Kidando, B. Kutela, A.E. Kitali, A comparative study of collision types between automated and conventional vehicles using Bayesian probabilistic inferences, Journal of safety research, 84 (2023) 251-260.

[34] J. Stiles, A. Kar, J. Lee, H.J. Miller, Lower volumes, higher speeds: Changes to crash type, timing, and severity on urban roads from COVID-19 stay-at-home policies, Transportation research record, 2677(4) (2023) 15-27.

[35] C.S. Parenteau, D.C. Viano, Size and age of fatal drivers by crash type, vehicle type and gender, Traffic injury prevention, 24(3) (2023) 203-207.

[36] V. Shankar, F. Mannering, W. Barfield, Statistical analysis of accident severity on rural freeways, Accident Analysis & Prevention, 28(3) (1996) 391-401.

[37] L.-Y. Chang, F.L. Mannering, Predicting vehicle occupancies from accident data: An accident severity approach, Transportation Research Record, 1635(1) (1998) 93-104.

[38] J. Lee, F. Mannering, Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis, Accident Analysis & Prevention, 34(2) (2002) 149-161.

[39] J.M. Holdridge, V.N. Shankar, G.F. Ulfarsson, The crash severity impacts of fixed roadside objects, Journal of Safety Research, 36(2) (2005) 139-147.

[40] M. Osman, R. Paleti, S. Mishra, M.M. Golias, Analysis of injury severity of large truck crashes in work zones, Accident Analysis & Prevention, 97 (2016) 261-273.

[41] K. Haleem, M. Abdel-Aty, Examining traffic crash injury severity at unsignalized intersections, Journal of safety research, 41(4) (2010) 347-357.

[42] W. Hu, E.T. Donnell, Median barrier crash severity: Some new insights, Accident Analysis & Prevention, 42(6) (2010) 1697-1704.

[43] Z. Wu, A. Sharma, F.L. Mannering, S. Wang, Safety impacts of signal-warning flashers and speed control at high-speed signalized intersections, Accident Analysis & Prevention, 54 (2013) 90-98.

[44] Q. Wu, G. Zhang, X. Zhu, X.C. Liu, R. Tarefder, Analysis of driver injury severity in single-vehicle crashes on rural and urban roadways, Accident Analysis & Prevention, 94 (2016) 35-45.

[45] P. Savolainen, F. Mannering, Probabilistic models of motorcyclists' injury severities in single-and multi-vehicle crashes, Accident Analysis & Prevention, 39(5) (2007) 955-963.

[46] H. Razi-Ardakani, A. Mahmoudzadeh, M. Kermanshah,

A Nested Logit analysis of the influence of distraction on types of vehicle crashes, European Transport Research Review, 10(2) (2018) 1-14.

[47] D. McFadden, Econometric models of probabilistic choice, Structural analysis of discrete data with econometric applications, 198272 (1981).

[48] P.T. Savolainen, F.L. Mannering, D. Lord, M.A. Quddus, The statistical analysis of highway crash-injury severities: A review and assessment of methodological alternatives, Accident Analysis & Prevention, 43(5) (2011) 1666-1676.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A. Tavakoli Kashani, A. Rashidi, S. Amirifar, Identifying Types Of Freeway Crashes Using Nested Logit Model, Amirkabir J. Civil Eng., 56(1) (2024) 105-122.

DOI: 10.22060/ceej.2024.22108.7905

این صفحه عمداً خالی است