

Modeling the effect of age of vehicles in collisions with fixed roadside objects

Ali Tavakoli Kashani^{1,2,*}, Iman Tabe Bordbar^{1,2}, Marzieh Rakhshani Moghadam^{1,2}

¹ Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

² Road Safety Research Centre, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

ABSTRACT: This study aimed to examine the crashworthiness (CW) index of the five most commonly used Iranian passenger vehicle brands (Pride, Peugeot 405, Peugeot 206, Samand, and Thunder 90) by assessing the effect of vehicle age on driver injury severity in rural fixed-object crashes. Since rural roads have mostly lower safety standards and usage of safety features than urban areas, only rural crash data from Iran (2011-2017) were analyzed. A two-step approach was applied: initially, the Classification and Regression Tree (CART) method identified important variables, and then, Binomial Logistic Regression modeled the relationships between injury severity and safety performance, using vehicle age and seven additional variables (driver age and gender, lighting conditions, road surface, road type, shoulder type, and seatbelt use) as independent variables. The CW index, based on the odds ratios, exhibited that vehicles over five years old had a 20% increase in odds of fatal or severe injury, which rose to 50% for vehicles over ten years old. Notably, safety performance declines were not uniform. While most brands decreased similarly up to ten years, Samand showed faster deterioration after this period. Conversely, Peugeot 405 and Pars demonstrated slower declines, indicating longer effective lifespans. Additionally, drivers under 25, driving at sunrise, and not wearing seatbelts were identified as high-risk groups across most brands.

Review History:

Received: Oct. 16, 2022

Revised: Nov. 02, 2024

Accepted: Nov. 30, 2024

Available Online: Jan. 07, 2025

Keywords:

Crashworthiness

Collision with Fixed Objects

CART

Binomial Logistic Regression

Vehicle Age

1- Introduction

The high fatality rates from road crashes in Iran have always been a major challenge, as records show 16,201 deaths and 335,955 injuries in 2017. Notably, the number of fatalities on rural roads has been twice as high as in urban areas [1]. Governments and transportation planning experts have always attempted to reduce traffic crashes and their consequences by implementing various policies and programs.

Most research has analyzed the effect of human and environmental factors on traffic crashes because of their higher contribution. Some studies have investigated the impact of vehicle characteristics on the severity of crash injuries. Huang et al. [2] employed the Bayesian hierarchical ordered logistic model to investigate the crashworthiness (CW) and crash aggressivity (CA) of 23 major vehicle brands in Florida. Volvo was found to be the best in both CW and CA indexes. Other brands such as Cadillac, Infiniti, Lexus, and Mercedes-Benz also had better CW compared to their CA index. However, Pontiac and Volkswagen were identified as having the worst performances.

In Iran, the effects of vehicles on the likelihood of driver injury or death in two-vehicle crashes based on the

crashworthiness and crash aggressivity indexes are assessed by Arefkhani et al. [3]. The findings revealed that other crash characteristics such as rural crashes, side-impact crashes, and crashes occurring at sunrise, may significantly increase the likelihood of driver injury or death. Another study by Arefkhani and Tavakoli Kashani [4] analyzed the relation between driver's injury status and crashworthiness capability of the Iranian fleet's 20 most prevalently used vehicle brands using the Binomial Logistic Regression Model. The results revealed that Proton and Hyundai/Light Truck performed best in rollover crashes. However, no specific trend was found regarding the crashworthiness capability of foreign and Iranian brands. Furthermore, the other study by Tavakoli Kashani et al. [4] explored the impact of vehicle type and weight on occupant protection in fixed-object, rollover, and two-vehicle crashes in Iran using the Binomial Logistic Regression model. This study showed that trucks and SUVs perform better than other vehicle types. Moreover, the increased weight did not consistently enhance safety and the least dangerous weight range was 1500 to 2000 kg.

According to the literature review, most of the previous research on injury severity has mainly utilized various logistic models to compare and rank different vehicle brands,

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

specifically vehicle types (such as pickup trucks, buses, and mini-buses) regarding crashworthiness. Additionally, limited research has been conducted on the effect of vehicle age on injury severity, and the majority of these studies have focused on two-vehicle and rollover crashes. The current study aims to fill this gap by comparing the effect of vehicle age on driver injury severity in rural fixed-object crashes. This aim was achieved by examining the crashworthiness index of the five most commonly used Iranian passenger vehicle brands (Pride, Peugeot 405, Peugeot 206, Samand, and Thundar 90) using the Classification and Regression Tree (CART) and Binomial Logistic Regression models.

2- Methodology

Initially, the Classification and Regression Tree was applied to identify the important factors influencing driver injury severity. Variable importance was determined by using the below formula:

$$VIMX = \sum_{i=1}^n \frac{nx_i}{n} (I(C | X = X_i) - (c)) \quad (1)$$

When the class variable is considered as C , nx_i represents the number of cases where $X = x_i$, n represents the total number of cases, and I denotes the Gini index, respectively [5]. Crashworthiness index (CWI) in this study is defined as follows: if the injury severity of the driver is injury/death the dependent variable of BLRM would be set to 1; otherwise (i.e. No injury), it would be 0, which is defined as formula 2.

$$\ln\left[\frac{P(X)}{1-P(X)}\right] = \ln\left[\frac{1 + e^{-\left(\alpha + \sum \beta_i X_i\right)}}{e^{-\left(\alpha + \sum \beta_i X_i\right)}}\right] = \alpha + \sum \beta_i X_i \quad (2)$$

It should be noted that $odds = \frac{P(x)}{1-P(x)}$ indicates the probability of the dependent variable X happening, and $Logit P(X)$ is the log odds of X . In a logistic regression model, α is background log odds and β_i shows the change in log odds.

In the current study, vehicle age and other variables, including driver age and gender, lighting conditions, road surface conditions, road type, shoulder type, and seatbelt use, were considered independent variables.

3- Results

The important variables identified using the CART method are summarized in Table 1. Figure 1 shows the CW index of vehicles based on their age classifications, showing the performance of all vehicles declines with age. Drivers in vehicles over 10 years old are about 50% more likely to be injured or killed compared to those in vehicles under 5 years old. The decline in safety performance (CW index) is not the same in all vehicles. The performance of vehicles deteriorates

Table 1. Importance of the variables

Variables	Normalized importance %
Road type	100
Seatbelt	84
Driver's age	70
Vehicle age	49
Lighting condition	48
Road surface	25
Shoulder type	24
Driver's gender	21

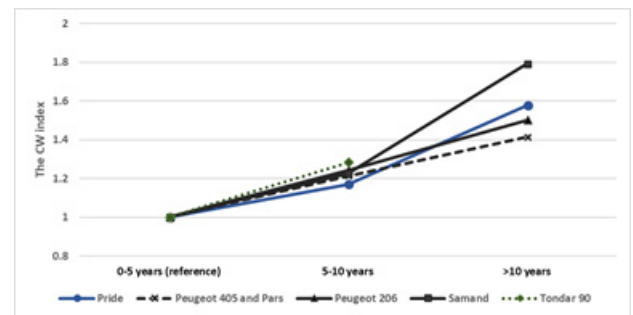


Fig. 1. CW index of vehicles baes on their ages

almost uniformly for the vehicles up to the age of 10. After 10 years, the performance of the Samand (odds ratio = 1.79) has been significantly worse than other vehicles, indicating a shorter lifespan. Conversely, the decrease in the performance of the Peugeot 405 has been less pronounced compared to other vehicles.

Analysis of control variables reveals that transitioning from freeways to highways, main roads, and subsidiary roads significantly increases the probability of driver injury or fatality. High-risk groups include drivers under 25 years old for most vehicles and drivers over 65 years old for Pride vehicles. Drivers not wearing seatbelts are more likely to be injured or killed in car crashes. Also, crashes during sunrise and night (especially for Samand drivers) increased the risk, while drivers are less likely to be injured or killed on wet, snowy, or icy road surfaces.

4- Conclusions

In this study, the driver protection ability of the five most commonly used Iranian passenger vehicle brands regarding their vehicle ages that were involved in fixed-object crashes based on rural crash data from Iran (2011-2017) was examined. A two-step approach was applied. Initially, the Classification and Regression Tree (CART) method

identified important variables, and then, the crashworthiness (CW) index, defined using the Binomial Logistic Regression model was applied to analyze the relationships between injury severity and safety performance. For this purpose, vehicle age and other variables, including driver age and gender, lighting conditions, road surface, road type, shoulder type, and seatbelt use were considered independent variables.

According to these results, safety measures such as raising awareness of drivers under 25 years old by conducting educational programs, enhancing road lighting and pavement quality, and using advanced intelligent and warning systems in vehicles to prevent fatigue and drowsiness, especially during sunrise and nighttime driving. Furthermore, these results are helpful for car manufacturers to enhance the safety performance of domestic vehicles, especially Pride, and introduce policies to increase the frequency of service inspections for vehicles older than ten years. Additionally, the speed of dismantling old vehicles is not compatible with vehicles aging, posing a critical threat and leading to increased fatalities in the future. Therefore, it is recommended that vehicle-renewal programs at the national level be seriously followed.

References

- [1] D. Potoglou, F. Carlucci, A. Cirà, M. Restaino, Factors associated with urban non-fatal road-accident severity, *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 25(3) (2018) 303-310.
- [2] H. Huang, S. Hu, M. Abdel-Aty, Indexing crashworthiness and crash aggressivity by major car brands, *Safety Science*, 62 (2014) 339-347.
- [3] H. Arefkhani, A. Tavakoli Kashani, An investigation on crashworthiness of different vehicle brands: A case study of rollover crashes, *International Journal of Transportation Engineering*, 6(2) (2018) 111-122.
- [4] A. Tavakoli Kashani, M. Rakhshani Moghadam, A. Taheri, G. Müller, D.A. Dissanayake, How does the safety performance of different vehicle types and weights affect the severity of a driver's injury?, *International Journal of Crashworthiness*, 29(2) (2024) 198-209.
- [5] A. Pande, M. Abdel-Aty, Assessment of freeway traffic parameters leading to lane-change related collisions, *Accident Analysis & Prevention*, 38(5) (2006) 936-948.



مدل سازی اثر سن وسایل نقلیه در برخورد با اشیا ثابت حاشیه راهها

علی توکلی کاشانی^{۱*}، ایمان تابع بردبار^۲، مرضیه رخشانی مقدم^۳

۱- گروه حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
۲- مرکز تحقیقات ایمنی کاربردی حمل و نقل جاده‌ای، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴
بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۱۲
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۰
ارائه آنلاین: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸

کلمات کلیدی:

ایمنی
برخورد با شیء ثابت
درخت تصمیم
رگرسیون لجستیک
سن خودرو

خلاصه: در این مقاله اثر افزایش سن خودرو بر شدت جراحات رانندگان در تصادفات برخورد با شیء ثابت، با بررسی ایمنی برخورد پنج خودروی پر کاربرد در ایران (پراید، پژو ۴۰۵، پژو ۲۰۶، سمند، تندر ۹۰) بررسی شده است. با توجه به اینکه ایمنی راه‌های برون‌شهری و استفاده از امکانات ایمنی در این مسیرها ممکن است کمتر از مسیرهای شهری باشد، پژوهش حاضر تنها به تصادفات راه‌های برون‌شهری (۱۳۹۰-۱۳۹۶) پرداخته است. در ابتدا، از روش درخت تصمیم و رگرسیون برای شناسایی متغیرهای مهم استفاده شده و سپس مدل رگرسیون لجستیک دوگانه جهت بررسی رابطه شدت جراحات رانندگان و عملکرد ایمنی استفاده شده است، و شاخصی با نام "ایمنی برخورد" تعریف شده است. در این مطالعه، سن خودرو همراه هفت متغیر دیگر (سن و جنسیت راننده، وضعیت روشنایی، شرایط سطح راه، نوع راه، شانه راه، و استفاده از کمربند ایمنی) به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سن خودرو، عملکرد ایمنی کاهش می‌یابد، به طوری که بخت فوت یا جراحات رانندگان به طور متوسط پس از پنج سال ۲۰ درصد و بعد از ۱۰ سال ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. همچنین، این کاهش عملکرد ایمنی در تمامی خودروها یکسان نبوده است، به طوری که عملکرد سمند پس از ۱۰ سال به مراتب بدتر از سایر خودروها بوده است، در حالی که تأثیر افزایش سن برای پژو ۴۰۵ و پارس کمتر از سایر خودروها بوده است، که نشان می‌دهد خودروی سمند زودتر از سایر خودروها مستهلک می‌شود و عمر مفید کوتاه‌تری دارد.

۱- مقدمه

و پیامدهای آن‌ها را کاهش دهند. در تصادفات سه عامل انسان، محیط و راه، و وسیله نقلیه بر شدت و وقوع تصادفات تأثیر گذارند. به عنوان مثال، تأثیر رفتار و خلق‌وخوی افراد، جنسیت، سن، و فرهنگ اجتماعی بر رانندگی (از عوامل انسانی)؛ تأثیر هندسه محل، شیب مسیر، شعاع قوس، وضعیت روشنایی و شرایط سطح راه (از عوامل محیط و راه)؛ و تأثیر نوع، وزن و سن خودرو و عوامل مشابه دیگر بر شدت تصادفات رانندگی (از عوامل مربوط به وسیله نقلیه) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مطالعات مختلفی به تحلیل هر یک از این عوامل پرداخته‌اند. به عنوان مثال، یان و همکاران^۲ [۳]، یانگ و همکاران^۳ [۴] و توکلی کاشانی و بشارتی [۵] تأثیر عوامل مختلف انسانی و جاده‌ای را بررسی کرده‌اند؛ کیل و نویستند^۴ [۶]، هوانگ و همکاران^۵ [۷].

سوانح ترافیکی و تلفات ناشی از آن یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که زندگی انسان‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی^۱، با ادامه روند افزایش تلفات تصادفات رانندگی، سالانه حدود ۱/۳ میلیون نفر در تصادفات جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهند. همچنین، مصدومیت‌های ناشی از سوانح ترافیکی هشتمین علت مرگ و میر در تمام گروه‌های سنی محسوب می‌شود و در بیشتر کشورها، ۳٪ از تولید ناخالص داخلی را به خود اختصاص می‌دهد [۱]. در ایران نیز میزان بالای تلفات و جراحات ناشی از تصادفات ترافیکی، مورد انتقاد گسترده‌ای قرار گرفته و به یکی از چالش‌های اصلی کشور در سال‌های اخیر تبدیل شده است [۲]. در این راستا، دولت‌ها به ویژه کارشناسان حوزه برنامه‌ریزی حمل و نقل تلاش کرده‌اند با اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌های گوناگون، سوانح رانندگی

2. Yan et al.
3. Yang et al.
4. Keall and Newstead
5. Huang et al.

1. World Health Organization (WHO)

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



منجر به مرگ در میان رانندگان مرد کاهش می‌یابد. لی و همکاران^[۲۲] در سال ۲۰۱۴ در پژوهشی با استفاده از مدل لوجیت ترتیبی، شدت جراحت رانندگان در تصادفات تک وسیله‌ای و دو وسیله‌ای در بزرگراه‌های انتاریو به طور جداگانه بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که رانندگان کامیون‌های سنگین بیشتر از رانندگان خودروهای سواری و کامیونت‌ها در تصادفات تک وسیله‌ای دچار آسیب شدید می‌شوند.

مطالعات هوانگ و همکاران طی سال‌های مختلف به بررسی ایمنی تهاجمی^۹ و ایمنی برخورد^{۱۰} خودروها با استفاده از روش‌های مختلف پرداخته‌اند. در پژوهشی که در سال ۲۰۱۱ انجام شد، آن‌ها با استفاده از مدل بیزین سلسله مراتبی^{۱۱} و داده‌ها تصادفات دو وسیله‌ای در فلوریدا بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷، ایمنی تهاجمی و ایمنی برخورد ۱۰ نوع وسیله نقلیه مختلف (از جمله اتومبیل، ون، کامیون سبک، کامیون نیمه سنگین، تراکتورها، وسیله نقلیه تفریحی^{۱۲}، اتوبوس و موتورسیکلت) را رتبه‌بندی کردند. یافته‌ها نشان می‌دهد که با افزایش وزن وسیله نقلیه، خطر کمتری برای سرنشینان آن وسیله ایجاد می‌شود؛ در حالی که وسایل نقلیه سبک‌تر، خطر کمتری برای سرنشینان خودروی مقابل ایجاد می‌کنند. همچنین، ایمنی تهاجمی کامیون‌های سنگین و تراکتورها بهتر از کامیون‌های سبک و نیمه سنگین است، زیرا این وسایل معمولاً توسط رانندگان حرفه‌ای رانده می‌شوند که انتظار می‌رود در شرایط برخورد شدید مهارت بیشتری داشته باشند. اتوبوس‌ها، به ویژه اتوبوس‌های سرویس مدارس، نیز به دلیل هشدارهای مربوط به سرعت پایین، ایمنی تهاجمی بالاتری دارند [۷]. لازم به توضیح است که منظور از ایمنی تهاجمی، قابلیت خودروها در محافظت یا جلوگیری از آسیب به سرنشینان خودروی مقابل است. در سال ۲۰۱۴، هوانگ و همکاران [۱۶] با استفاده از مدل لوجیت ترتیبی سلسله مراتبی بیزین و داده‌های تصادفات فلوریدا، شاخص‌های ایمنی برخورد و تهاجمی ۲۳ مدل خودروی معروف را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، تنها شدت جراحت رانندگان در تصادفات دو وسیله‌ای خودروهای سواری (۱۷۱۷۸ مورد تصادف) تحلیل شده است. از بین ۲۳ مدل خودروی بررسی‌شده، ولوو^{۱۳} در هردو شاخص ایمنی برخورد و تهاجمی بهترین عملکرد را داشت. در حالی

۸، توکلی کاشانی و عارف خانی [۹]، وی جین و همکاران^{۱۰}، عارف خانی و همکاران [۱۱]، وانگ و همکاران^{۱۲} [۱۳، ۱۲] و یوان^۳ و همکاران [۱۴] تأثیر نوع وسیله نقلیه را مطالعه کرده‌اند. همچنین نیوزتید و همکاران^۴ [۱۵]، هوانگ و همکاران [۸، ۱۶]، و توکلی کاشانی و همکاران [۹، ۱۷، ۱۸]، اثر مدل‌های مختلف خودرو بر وضعیت آسیب سرنشینان در انواع مختلف تصادفات را بررسی قرار داده‌اند.

پژوهش‌های متعددی نقش وسیله نقلیه در شدت جراحت تصادفات را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. به عنوان مثال، فردت و همکاران^۵ [۱۹] با استفاده از رگرسیون لجستیک و داده‌های تصادفات دو وسیله‌ای، تأثیرات ایمنی ناشی از ناسازگاری خودروهای سنگین (اتوبوس و کامیون)، مینی ون‌ها، شاسی‌بلندها و وانت‌بارها بر اساس شدت جراحت راننده را بررسی کردند. نتایج نشان داده است که در شرایط نیستن کمربند ایمنی، سرعت‌های بالا و سن بالای راننده، احتمال مرگ افزایش می‌یابد. همچنین، مینی ون‌ها، شاسی‌بلندها و به ویژه وانت‌ها در برخورد با خودروی مقابل تهاجمی‌تر عمل می‌کنند و برای رانندگان خود، ایمن‌تر هستند. ضمناً نسبت وزن دو خودروی برخوردکننده تأثیر بسیار زیادی در فوت یا جراحت راننده دارد. استیگسن و همکاران^۶ [۲۰] در سال ۲۰۰۶ شدت جراحت و ریسک در تصادفات دو وسیله‌ای و تک وسیله‌ای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که وزن و ویژگی‌های هندسی خودرو مانند سختی در شدت جراحت تصادفات تأثیر گذارنده به طوری که با افزایش وزن خودروی مقابل، تغییرات سرعت برخورد و در نتیجه شدت جراحت بیشتر می‌شود. به طور کلی، هر چه تغییرات سرعت برخورد بیشتر باشد، احتمال شدت جراحت نیز افزایش می‌یابد. کیم و همکاران^۷ [۲۱] در سال ۲۰۱۳ اثر سن و جنسیت را بر شدت تصادف راننده در تصادفات تک وسیله‌ای بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از مدل لوجیت مختلط به حل مشکل ناهمگنی سن و جنسیت پرداختند و دریافتند که سه پارامتر تحت تأثیر این ناهمگنی قرار می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهد که تقریباً نیمی از افراد بالای ۶۵ سال، نسبت به گروه میانسال، احتمال بیشتری برای درگیر شدن در تصادفات منجر به مرگ دارند، اما برای نیمی دیگر از این گروه مسن، این احتمال کمتر است. همچنین، خودروهای جدید به طور کلی کمتر درگیر تصادفاتی با شدت جراحت بالا می‌شوند، اما این تأثیر در موارد

8. Lee et al.

9. Crashaggressivity (CA)

10. Crashworthiness (CW)

11. Bayesian hierarchical model Ordered

12. Recreational vehicle

13. Volvo

1. Wei-jin et al.

2. Wang et al.

3. Yuan et al.

4. Newstead et al.

5. Fredette et al.

6. Stigson et al.

7. Kim et al.

که خودروهای کادیلاک^۱، اینفینیتی^۲، لکسوس^۳ و مرسدس بنز از لحاظ شاخص ایمنی برخورد عملکرد بهتری نسبت به شاخص ایمنی تهاجمی خود داشتند. در مقابل، خودروهای پنتیاک^۴ و فولکس واگن^۵ بدترین عملکرد (ایمنی تهاجمی بالاتر و ایمنی برخورد پایین تر) را داشتند. همچنین، آن‌ها خودروها را براساس کشور سازنده نیز بررسی کردند، که نتایج نشان داد خودروهای اروپایی حفاظت بیشتری برای رانندگان فراهم می‌کنند اما در عین حال خطر بیشتری برای سایر خودروها در جاده ایجاد می‌کنند. در پژوهشی دیگری در سال ۲۰۱۶، هوانگ و همکاران [۸] به بررسی ارتباط بین برند خودرو و شدت جراحت وارده به راننده و صدمه وارده به خودرو با استفاده از داده‌های تصادفات دو وسیله‌ای خودروهای سواری فلوریدا پرداختند. آن‌ها برای مقایسه برندهای مختلف خودرو (۲۳ برند رایج مورد استفاده شهروندان فلوریدا) از مدل لجیت سلسله مراتبی دوگانه بیزی استفاده کردند، که در آن دو عامل صدمه وارده به خودرو و شدت جراحت وارده به راننده در نظر گرفته شده است. نتایج این مطالعه در سه بخش ارائه شده است: رتبه‌بندی برندهای خودرو بر اساس ایمنی سرنشینان، ایمنی خودرو و ترکیب این دو. در نهایت، خودروهای کیا و ساترن^۶ به‌عنوان ضعیف‌ترین برندها و کادیلاک، ولوو و لکسوس به‌عنوان ایمن‌ترین برندها بر اساس هر دو شاخص ایمنی خودرو و ایمنی سرنشینان معرفی شده‌اند.

عارف خانی و توکلی کاشانی [۲۳] در مطالعه‌ای به بررسی رابطه بین وضعیت آسیب راننده و ایمنی برخورد ۲۰ خودروی پر کاربرد در ایران با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک دو جمله‌ای پرداختند. در این پژوهش از داده‌های ۴۲۱۱۸ تصادف واژگونی در جاده‌های شهری و روستایی ایران در طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۱ استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که خودروهای پروتون و هیوندای/کامیون سبک بهترین عملکرد را در تصادفات واژگونی داشتند، اما روند مشخصی در رابطه با قابلیت ایمنی برخورد خودروهای خارجی و ایرانی مشاهده نشد. در مطالعه دیگری، توکلی کاشانی و عارف خانی [۹] با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، ارتباط بین سطح شدت جراحت راننده را با ۲۰ مدل خودروی پر کاربرد در ایران بررسی کرده‌اند. این مطالعه که بر اساس ۱۶۷۷۵۹ رکورد تصادف و ۳۳۵۵۱۸ رکورد راننده انجام شد، سه شاخص ایمنی برخورد، ایمنی تهاجمی و ایمنی

1. Cadillac
2. Infiniti
3. Lexus
4. Pontiac
5. Volkswagen
6. Saturn

ثانویه کلی^۷ برای هر مدل خودرو بررسی شده است. نتایج نشان داد که خودروهای کیا^۸، سوزوکی^۹ بهترین عملکرد و خودروهای سپند، پراید و پیکان ضعیف‌ترین عملکرد را داشته‌اند. همچنین در مطالعه‌ای دیگر توکلی کاشانی و همکاران [۲۴] در سال ۱۴۰۲، ایمنی خودروها را از نظر نوع و وزن خودرو از لحاظ قابلیت حفاظت از سرنشین در لحظه‌ی وقوع تصادف با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، از شاخص ایمنی برخورد که بر اساس نسبت بخت‌های به دست آمده از مدل‌سازی لجستیک محاسبه شده، برای مقایسه خودروها بر اساس نوع و وزن استفاده شده است. نتایج نشان داد که خودروهای شاسی‌بلند و کامیون‌ها نسبت سایر وسایل نقلیه عملکرد بهتری داشته‌اند. بررسی وزن خودرو نیز نشان داده است که افزایش وزن الزاماً سبب بهبود ایمنی خودرو نمی‌شود و دسته وزنی ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم کم‌خطرترین بوده است، به طوری که بخت فوت و جراحت راننده در این دسته نسبت به خودروهای زیر ۱۰۰۰ کیلوگرم، ۸۱/۵٪ کاهش داشته است. با توجه به موارد گفته‌شده، بیشتر پژوهش‌های انجام شده در حوزه‌ی شدت جراحت با استفاده از انواع مدل‌های لجستیک انجام شده است. همچنین، تمرکز عمده این مطالعات بر مقایسه و رتبه‌بندی برندها و به‌خصوص انواع وسایل نقلیه (مانند وانت‌بار، اتوبوس، مینی‌بوس و ...) با توجه به ایمنی برخورد بوده است، و کمتر به بررسی اثر سن خودروها بر شدت جراحت پرداخته شده است. در مورد نوع تصادف نیز، برخورد دو وسیله‌ای و واژگونی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

پژوهش حاضر به منظور پر کردن این خلاء تحقیقاتی، سطح ایمنی پنج خودروی پر کاربرد در ایران (پراید، پژو ۴۰۵، پژو ۲۰۶، سمند، تندر ۹۰) را بر اساس سن آن‌ها در لحظه‌ی تصادف، با تمرکز بر تصادفات برخورد با شیء ثابت، مقایسه کرده است تا اثر سن خودرو بر ایمنی ترافیک را مورد بررسی قرار دهد.

برای دستیابی به این هدف، ابتدا از روش درخت تصمیم و رگرسیون (کارت)^{۱۰} جهت شناسایی مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر شدت جراحت استفاده شد. متغیرهای کلیدی شناسایی شده در مرحله بعد در مدل رگرسیون لجستیک دوگانه^{۱۱} استفاده شده است. در این پژوهش، شدت جراحت راننده به صورت دو سطحی به عنوان متغیر وابسته و سن خودرو همراه با متغیرهایی مانند سن و جنسیت راننده، وضعیت روشنایی، شرایط سطح راه، نوع راه، نوع شانه راه، و استفاده از کمربند ایمنی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته

7. Total secondary safety
8. Kia
9. Suzuki
10. Classification and regression tree (CART)
11. Bionmial logistic regreesion

جدول ۱. آمار توصیفی پنج خودروی پرکاربرد بر اساس تقسیم‌بندی سن خودروهای ایرانی.

Table 1. Descriptive statistics of the five most commonly used Iranian vehicles by age classification.

مدل خودرو	سن خودرو	تعداد رانندگان صدمه ندیده	تعداد رانندگان صدمه دیده یا فوت شده	تعداد کل رانندگان	درصد %
پراید	۰ تا ۵ سال	۴۳۰۲	۷۵۳	۵۰۵۵	۴۹٪/۹۶
	۶ تا ۱۰ سال	۳۲۸۸	۶۷۶	۳۹۶۴	۳۶٪/۸۲
	بالتر از ۱۰ سال	۱۳۶۸	۳۷۸	۱۷۴۶	۱۶٪/۲۲
	مجموع	۸۹۵۸	۱۸۰۷	۱۰۷۶۵	۱۰۰٪/۱۰۰
پژو ۴۰۵ و پارس	۰ تا ۵ سال	۴۲۹۵	۴۰۶	۴۷۰۱	۵۶٪/۳۴
	۶ تا ۱۰ سال	۲۳۵۳	۲۷۳	۲۶۲۶	۳۱٪/۴۷
	بالتر از ۱۰ سال	۸۹۲	۱۲۵	۱۰۱۷	۱۲٪/۱۹
	مجموع	۷۵۴۰	۸۰۴	۸۳۴۴	۱۰۰٪/۱۰۰
پژو ۲۰۶	۰ تا ۵ سال	۱۸۹۰	۱۴۱	۲۰۳۱	۵۹٪/۲۰
	۶ تا ۱۰ سال	۹۴۹	۱۰۵	۱۰۵۴	۳۰٪/۷۲
	بالتر از ۱۰ سال	۳۱۴	۳۲	۳۴۶	۱۰٪/۰۸
	مجموع	۳۱۵۳	۲۷۸	۳۴۳۱	۱۰۰٪/۱۰۰
سمند	۰ تا ۵ سال	۲۳۰۵	۱۸۴	۲۴۸۹	۶۱٪/۳۲
	۶ تا ۱۰ سال	۱۱۲۸	۱۱۲	۱۲۴۰	۳۰٪/۵۵
	بالتر از ۱۰ سال	۲۸۹	۴۱	۳۳۰	۸٪/۱۳
	مجموع	۳۷۲۲	۳۳۷	۴۰۵۹	۱۰۰٪/۱۰۰
تندر ۹۰	۰ تا ۵ سال	۱۰۴۱	۹۳	۱۱۳۴	۸۳٪/۰۲
	۶ تا ۱۰ سال	۲۱۱	۲۱	۲۳۲	۱۶٪/۹۸
	مجموع	۱۲۵۲	۱۱۴	۱۳۶۶	۱۰۰٪/۱۰۰

وضعیت گواهی‌نامه و ...) و مشخصات صحنه تصادف (از جمله شرایط سطح راه، وضعیت روشنایی، هندسه محل و ...) در فرمی به نام "کام ۱۱۴" توسط افسر پلیس در محل حادثه ثبت می‌شود. روند آماده‌سازی داده‌ها جهت مدل‌سازی و مقایسه بر اساس سن خودرو به این صورت است که چند مدل خودروی پرکاربرد ایرانی (پراید، پژو ۴۰۵، پژو ۲۰۶، سمند، تندر ۹۰) انتخاب شده و سپس تقسیم‌بندی سنی آن‌ها در لحظه تصادف، مطابق جدول ۱، به بازه‌های زیر پنج سال، پنج تا ده سال و بیشتر از ده سال صورت گرفته است. به دلیل تعداد کم رانندگان فوتی در بسیاری از مدل‌های خودرو،

شده‌اند. در پایان، شاخصی به نام "ایمنی برخورد" تعریف و مقایسه‌ای بین این خودروها از منظر سن خودرو انجام شده است.

۲- داده‌های مورد استفاده

پایگاه داده‌ای این پژوهش شامل تصادفات برخورد با شیء ثابت در راه‌های برون‌شهری ایران طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ است که از فرم تصادفات پلیس راهنمایی و رانندگی جمع‌آوری شده است. اطلاعات مربوط به تصادف، شامل مشخصات رانندگان و سرنشینان (مانند سن، جنسیت،

۳- روش تحقیق

به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، از دو روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون (کارت) و رگرسیون لجستیک دوگانه استفاده می‌شود. روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون برای شناسایی متغیرهای مؤثر بر شدت جراحات رانندگان استفاده شده است [۳۴]. در این مدل، اهمیت هر متغیر با توجه به تأثیر آن بر متغیر وابسته و کاهش نابرابری در گره‌های پایانی محاسبه می‌شود. برای محاسبه اهمیت متغیرها در مدل کارت، از شاخص جینی استفاده می‌شود. این شاخص میزان نابرابری را اندازه‌گیری می‌کند و با افزایش خلوص هر گره، اهمیت متغیرها را مشخص می‌سازد. فرمول اهمیت متغیرها به صورت زیر بیان می‌شود:

$$VIMX = \sum_{i=1}^n \frac{nx_i}{n} (I(C|X = X_i) - (c)) \quad (1)$$

در این فرمول، وقتی متغیر کلاس به عنوان C در نظر گرفته می‌شود، nx_i نشان‌دهنده تعداد نمونه‌هایی است که در آن مقدار X_i برابر X است. همچنین، n تعداد کل نمونه‌ها و I شاخص جینی را نشان می‌دهد [۳۵]. روش کارت با ارزیابی متغیرهای مؤثر در مدل و شناسایی متغیرهایی که نقش اساسی در شدت تصادف و جراحات ایفا می‌کنند، به تحلیل داده‌ها کمک می‌کند. این اطلاعات می‌تواند برای طراحی راهکارهای مؤثرتری در کاهش شدت جراحات و بهبود ایمنی جاده‌ها استفاده شود.

با توجه به محدودیت‌های آماری، سطوح شدت جراحات و فوت در یک سطح ترکیب شده‌اند، چراکه تعداد رانندگان فوتی در برخی برندها بسیار اندک بوده و این امر می‌توانست باعث کاهش سطح معناداری برای آن برندها منجر شود. از آنجایی که در این پژوهش، سطوح شدت جراحات راننده به دو سطح "عدم آسیب‌دیدگی" و "جراحات یا فوت" تقسیم شده‌اند، از مدل رگرسیون لجستیک دوگانه برای تحلیل داده‌ها استفاده شده است. فرم کلی تابع لجستیک به صورت زیر است:

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (2)$$

بدین ترتیب اگر $z = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_K X_K$ (که در آن X متغیر مستقل و k اندیس متغیرهای مستقل است) مدنظر قرار گیرد،

سطوح شدت جراحات به دو سطح "عدم آسیب‌دیدگی" و "جراحات یا فوت" دسته‌بندی شده است.

با توجه به اینکه نحوه رانندگی افراد در راه‌های برون‌شهری و درون‌شهری به‌طور ذاتی متفاوت است [۲۵]، در جاده‌های برون‌شهری سرعت وسایل نقلیه بیشتر است و خستگی نیز بیشتر قابل مشاهده است. از سوی دیگر، اگرچه تعداد تصادفات در راه‌های برون‌شهری نسبت به مسیرهای درون‌شهری کمتر است، اما به دلیل سرعت‌های بالاتر و درصد بیشتر وسایل نقلیه سنگین در مناطق برون‌شهری، تصادفات در این مناطق بیشتر منجر جراحات شدید و فوت می‌شود [۲۵-۲۷]. همچنین، ایمنی راه‌های برون‌شهری ممکن است نسبت به مسیرهای شهری کمتر باشد. علاوه بر این، در جاده‌های برون‌شهری ممکن است تمایل به استفاده از امکانات ایمنی مانند کمربند ایمنی یا وسیله نگه‌دارنده نوزادان و کودکان کمتر باشد [۲۸]. بر این اساس، در تمامی بررسی‌های این مطالعه، تنها تصادفات برون‌شهری مورد بررسی قرار گرفته است.

درصد فراوانی متغیرهای کنترلی مورد استفاده در این مطالعه، در جدول ۲ نشان داده شده است. سن و جنسیت نیز در مطالعات بسیاری از جمله عوامل تأثیرگذار بر شدت جراحات تصادفات رانندگی محسوب شده‌اند [۲۹]. علاوه بر این، بین ویژگی‌های فیزیولوژیکی و روانی رانندگان زن و مرد تفاوت‌هایی وجود دارد [۳۰]. بنابراین، سن و جنسیت راننده به عنوان متغیرهای کنترلی در مدل‌سازی لحاظ شده است. دسته‌بندی سن رانندگان نیز بر اساس بازه‌های سنی است که نشان‌دهنده‌ی مراحل پیری، میان‌سالی، جوانی و نوجوانی می‌باشد. کمربند ایمنی نیز به عنوان یک عامل مهم و تأثیرگذار بر شدت جراحات شناخته شده است، به طوری که عدم استفاده از آن احتمال جراحات در تصادفات را افزایش می‌دهد [۳۱-۳۳]. به همین دلیل، کمربند ایمنی نیز به عنوان متغیر کنترلی در نظر گرفته شد تا تأثیر آن در این مطالعه نیز بررسی و کنترل گردد. وضعیت روشنایی، نوع راه (به عنوان شاخصی از کیفیت راه)، شرایط سطح راه و نوع شانه راه پس از دسته‌بندی و کدگذاری مطابق جدول ۲ در مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که در انتخاب گروه مرجع برای هر متغیر، سعی شده است سطحی از متغیر که بیشترین فراوانی را دارد به عنوان مرجع قرار داده شود و سطوح دیگر با آن مقایسه گردند.

جدول ۲. درصد فراوانی متغیرهای کنترلی در بررسی سن خودرو برای تصادفات برخورد با شیء ثابت

Table 2. Frequency percentage of control variables in examining vehicle age in fixed-object crashes

متغیرهای کنترلی	توضیحات	پراید	پژو ۴۰۵ و پارس	پژو ۲۰۶	سمند	تندر ۹۰
		درصد %	درصد %	درصد %	درصد %	درصد %
نوع راه	آزادراه (گروه مرجع) = ۰	۲۵٪/۹۹	۲۷٪/۱۱	۳۶٪/۲۱	۲۷٪/۳۱	۳۸٪/۳۳
	بزرگراه = ۱	۱۶٪/۲۳	۱۵٪/۹۵	۱۶٪/۰۷	۱۷٪/۲۲	۱۷٪/۵۸
	جاده اصلی = ۲	۳۵٪/۸۳	۳۷٪/۰۲	۳۴٪/۶۷	۳۷٪/۵۸	۳۰٪/۳۵
	جاده فرعی = ۳	۲۱٪/۹۴	۱۹٪/۹۱	۱۳٪/۰۵	۱۷٪/۸۹	۱۳٪/۷۴
شرایط سطح راه	خشک (گروه مرجع) = ۰	۹۱٪/۷۶	۸۹٪/۴۶	۸۸٪/۱۱	۸۸٪/۴۱	۸۶٪/۵۶
	خیس = ۱	۶٪/۸۵	۸٪/۲۲	۹٪/۴۳	۹٪/۲۳	۱۱٪/۹۴
	یخبندان برفی = ۲	۱٪/۳۹	۲٪/۳۲	۲٪/۴۶	۲٪/۳۷	۱٪/۵۰
نوع شانه راه	شانه دارد (گروه مرجع) = ۰	۷۰٪/۲۷	۶۹٪/۸۷	۶۹٪/۷۷	۷۰٪/۰۵	۷۳٪/۸۵
	شانه ندارد = ۱	۲۹٪/۷۳	۳۰٪/۱۳	۳۰٪/۲۳	۲۹٪/۹۵	۲۶٪/۱۵
روشنایی	روز (گروه مرجع) = ۰	۶۷٪/۰۴	۶۴٪/۳۴	۶۶٪/۷۲	۶۵٪/۳۹	۶۷٪/۸۵
	شب = ۱	۲۹٪/۱۷	۳۱٪/۵۱	۲۹٪/۷۶	۳۱٪/۱۱	۲۸٪/۶۱
	طلوع = ۲	۱٪/۴۲	۱٪/۵۱	۱٪/۳۰	۰٪/۰۰	۱٪/۸۰
	غروب = ۳	۲٪/۳۸	۲٪/۶۵	۲٪/۲۲	۳٪/۵۱	۱٪/۷۴
جنسیت	مرد (گروه مرجع) = ۰	۸۹٪/۰۸	۹۴٪/۲۳	۸۰٪/۶۲	۹۳٪/۹۵	۸۹٪/۲۶
	زن = ۱	۱۰٪/۹۲	۵٪/۷۷	۱۹٪/۳۸	۶٪/۰۵	۱۰٪/۷۴
سن راننده	زیر ۲۵ سال = ۱	۶۸٪/۶۰	۶۱٪/۶۲	۶۹٪/۷۵	۶۱٪/۵۰	۶۱٪/۳۱
	از ۲۵ تا ۴۴ سال (گروه مرجع) = ۰	۱۳٪/۱۷	۱۲٪/۸۲	۱۳٪/۴۵	۱۱٪/۲۱	۹٪/۴۸
	از ۴۵ تا ۶۴ سال = ۲	۱۶٪/۴۶	۲۳٪/۰۳	۱۵٪/۶۰	۲۴٪/۹۶	۲۶٪/۷۵
	۶۵ سال و بالاتر = ۳	۱٪/۷۶	۲٪/۵۳	۱٪/۲۱	۲٪/۳۳	۲٪/۴۶
کمربند ایمنی	استفاده کرده (گروه مرجع) = ۰	۶۲٪/۱۳	۶۷٪/۳۳	۶۵٪/۷۳	۶۵٪/۶۰	۶۹٪/۰۵
	استفاده نکرده = ۱	۱۳٪/۱۵	۱۰٪/۴۲	۹٪/۵۰	۹٪/۰۵	۱۰٪/۷۴
	نامشخص = ۲	۲۴٪/۷۲	۲۲٪/۲۵	۲۴٪/۷۷	۲۵٪/۳۵	۲۰٪/۲۲

آنگاه می‌توان نوشت:

$$\text{Odds ratio} = \frac{\text{odds for } X_1}{\text{odds for } X_0} = e^{\beta_1(X_1 - X_0)} \quad (5)$$

مشاهده می‌شود که β_i بیانگر تغییر در نسبت لگاریتم بخت‌ها است و اثر زن بودن راننده بر شدت جراحت در مقایسه با جنسیت مرد (گروه مرجع) نشان می‌دهد [۳۶، ۳۷].

جهت درک بهتر، فرض می‌شود که تغییر در نسبت لگاریتم بخت وانت‌بار برابر با $\beta_i = 0.243$ باشد. در این صورت، تغییر در نسبت بخت به صوت $e^{0.243} = 1.275$ محاسبه می‌شود. این بدان معناست که بخت فوت یا جراحت راننده وانت‌بار ۲۷/۵٪ بیشتر از بخت فوت یا جراحت راننده در شرایطی است که خودرو پرآید باشد.

نکته‌ی مهم این است که برای یافتن تأثیر چند متغیر مستقل، این اثر به‌صورت ضربی بر روی متغیر وابسته نمایان می‌شود. به‌عنوان نمونه، اگر تغییر در نسبت بخت برای شب بودن زمان تصادف از متغیر وضعیت روشنایی (روز به‌عنوان مرجع) برابر با $e^{0.263} = 1.3$ باشد، آنگاه بخت فوت یا جراحت راننده در صورتی که خودرو وانت‌بار و زمان تصادف شب باشد، برابر با $1.275 \times 1.3 = 1.657$ خواهد بود. این مقدار نشان می‌دهد که بخت فوت یا جراحت همان راننده در خودرو وانت‌بار و در شرایط شب، ۶۵/۷٪ بیشتر از بخت فوت یا جراحت در خودروی پرآید و در شرایط روز در تصادفی مشابه (با سایر متغیرهای یکسان) است.

۳-۱- شاخص ایمنی برخورد

در بحث عملکرد ایمنی وسایل نقلیه، شاخصی به نام ایمنی برخورد تعریف می‌شود که نشان‌دهنده میزان قابلیت حفاظت از سرنشین در خودروی مورد نظر نسبت به یک مرجع است. از آنجایی که در این پژوهش بررسی و مقایسه عملکرد خودروها مورد توجه است، نسبت بخت‌های به‌دست‌آمده بر اساس شدت جراحت راننده به‌عنوان شاخص ایمنی برخورد خودرو در نظر گرفته می‌شود. به‌طور خلاصه $e^{\beta_{\text{vehicle age}}}$ نسبت به گروه مرجع، به عنوان شاخص ایمنی برخورد تعریف می‌شود؛ که در اینجا $\beta_{\text{vehicle age}}$ ضریب متغیر مستقل مربوط به سن خودرو است.

۳-۲- روش‌های ارزیابی مدل

در این پژوهش از آزمون ضریب تعیین سودو^۴ و نسبت درست‌نمایی^۵

$$P(D=1 | X_1, X_2, \dots, X_k) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \sum \beta_i X_i)}} \quad (3)$$

تبدیل لوجیت مدل لجستیک به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\ln\left[\frac{P(X)}{1-P(X)}\right] = \frac{1}{\ln\left[\frac{1+e^{-(\alpha+\sum\beta_iX_i)}}{e^{-(\alpha+\sum\beta_iX_i)}}\right]} = \alpha + \sum\beta_iX_i \quad (4)$$

به این ترتیب، مدل رگرسیون لجستیک طبق رابطه (۴) به فرم خطی تبدیل می‌شود و پارامترهای آن با استفاده از روش بیشینه درست‌نمایی^۱ تخمین زده می‌شوند. لازم به ذکر است که $\text{odds} = \frac{P(x)}{1-P(x)}$ نشان‌دهنده بخت وقوع متغیر وابسته‌ی X است. همچنین، $\text{Logit } P(X)$ بیانگر لگاریتم بخت X می‌باشد. بخت مفهومی مستقل از ریسک است زیرا ریسک از تقسیم احتمال وقوع به احتمال کل به دست می‌آید، درحالی‌که بخت از تقسیم احتمال وقوع به احتمال عدم وقوع به دست می‌آید.

در مدل لجستیک، پارامتر a نشان‌دهنده بخت زمینه‌ای^۲ است. به عبارت دیگر، این مقدار بیانگر لگاریتم بخت وقوع متغیر وابسته در حالتی است که تمام متغیرهای مستقل (X_i) برابر با صفر باشند. این وضعیت معمولاً به مشاهده‌ای اشاره دارد که تمامی متغیرهای مستقل آن در سطح مرجع قرار دارند. برای به دست آوردن اثر خالص یک سطح خاص از یک متغیر مستقل بر متغیر وابسته (مانند شدت جراحت راننده) در مقایسه با سطح مرجع آن متغیر مستقل، از مفهومی به نام نسبت بخت^۳ استفاده می‌شود.

اگر بخواهیم تأثیر زن بوده راننده (X_1) بر شدت جراحت را نسبت به زمانی که راننده مرد است (سطح مرجع متغیر جنسیت، یعنی X_0) محاسبه کنیم، نسبت بخت به صورت زیر محاسبه می‌شود:

1. Maximum Likelihood
2. Background log odds
3. Odds Ratio

4. Pseudo R Square
5. Likelihood Ratio

استفاده شده است.

فرض مورد بررسی قرار می‌گیرد:

(۱) فرضیه صفر: به معنای این است که تمامی ضرایب مدل (β)

برابر صفر باشند.

(۲) مدل با متغیرهای در نظر گرفته شده^۵

هدف این است که بررسی کنیم آیا مدل لجستیک با متغیرهای مطرح

شده از نظر آماری عملکرد بهتری دارد یا خیر؟ برای این منظور ابتدا نسبت

درست‌نمایی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$LR = 2(LL(\beta) - LL(0)) \quad (۸)$$

سپس مقدار LR^* با توجه به سطح معناداری و درجه آزادی (تعداد

متغیرهایی که در نظر گرفته شده) از جدول توزیع کای دو (x^2) به دست

آورده می‌شود. در صورتی که $LR > LR^*$ باشد، مدل با متغیرهای لحاظ

شده نسبت به حالتی که تمام ضرایب صفر باشند، عملکرد بهتری خواهد

داشت و فرضیه صفر رد می‌شود.

۴- نتایج تفسیرها

نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های صورت گرفته به همراه تفسیرهای

مربوطه برای تمامی بررسی‌ها در بندهای مختلف ارائه شده است.

۴-۱- شناسایی متغیرهای مؤثر بر شدت جراحت رانندگان بر اساس درخت

تصمیم و رگرسیون (کارت)

در این بخش، با استفاده از الگوریتم کارت، متغیرهای مؤثر بر شدت

جراحت رانندگان در تصادفات برخورد با شیء ثابت شناسایی شدند. فهرست

متغیرهای مهم که میزان اهمیت آن‌ها بیش از ۲۰٪ بوده، به همراه میزان

اهمیت شناسایی شده برای هر یک در جدول ۳ ارائه شده است و این متغیرها

به عنوان متغیرهای مهم در مرحله بعدی در مدل رگرسیون لجستیک دوگانه

استفاده می‌شوند.

۴-۲- تحلیل نتایج بررسی اثر سن خودرو

در این بخش، نتایج بررسی تأثیر سن خودرو در لحظه تصادف بر شدت

جراحت در برخورد با شیء ثابت برای خودروهای مورد نظر، طبق جدول ۴ آورده

شده است. با توجه به اینکه عمر مفید خودروها معمولاً ۱۰ سال در نظر گرفته

می‌شود، در دسته‌بندی سن خودروها به این مسئله توجه شده است.

5. Variables in the Equation

۳-۲-۱- ضریب تعیین سودو

ضریب‌های تعیین سودو برای سنجش میزان توانایی متغیرهای مستقل

در تبیین واریانس متغیر وابسته به کار می‌روند. از بین این ضریب‌ها، دو

ضریب معروف‌تر شامل ضریب تعیین کاکس و اسنل^۱ و ضریب تعیین

ناگل کرک^۲ هستند. ضریب تعیین کاکس و اسنل طبق رابطه‌ی (۶) تعریف

می‌شود [۳۸]:

$$R_{C\&S}^2 = 1 - \left(\frac{LL(0)}{LL(\beta)} \right)^{\frac{2}{n}} \quad (۶)$$

در رابطه، n حجم نمونه، $LL(\beta)$ لگاریتم درست‌نمایی برای مدل

و $LL(0)$ لگاریتم درست‌نمایی^۳ در حالت فرض صفر (یعنی زمانی که تمام

ضرایب متغیرها صفر هستند) است. مشکل اصلی این ضریب این است که

حداکثر مقدار آن همیشه کمتر از یک است. برای بهبود این وضعیت، ضریب

تعیین ناگل کرک که اصلاح شده ضریب کاکس و اسنل است، طبق رابطه‌ی

(۷) محاسبه می‌شود:

$$R_N^2 = \frac{R_{C\&S}^2}{1 - LL(0)^{\frac{2}{n}}} \quad (۷)$$

پارامترهای این رابطه همانند پارامترهای رابطه‌ی (۶) تعریف می‌شوند.

لازم به ذکر است که مقادیر ضریب تعیین ناگل کرک بین صفر و یک تغییر

می‌کند و مقادیر بالاتر از ۰/۱۵ نشان‌دهنده‌ی برازش قابل قبول مدل است

[۳۸].

۳-۲-۲- آزمون نسبت درست‌نمایی

برای برآورد ضرایب مدل از روش حداکثر درست‌نمایی^۴ (ML) استفاده

می‌شود. در این روش، پارامترها به گونه‌ای محاسبه می‌شوند که احتمال وقوع

هم‌زمان مشاهدات به بیشترین مقدار برسد. در مدل رگرسیون لجستیک، دو

1. Cox & Snell R Square

2. Nagelkerke R Square

3. Log Likelihood (LL)

4. Maximum likelihood

جدول ۳. متغیرهای مهم مؤثر بر شدت جراحت رانندگان بر اساس روش کارت

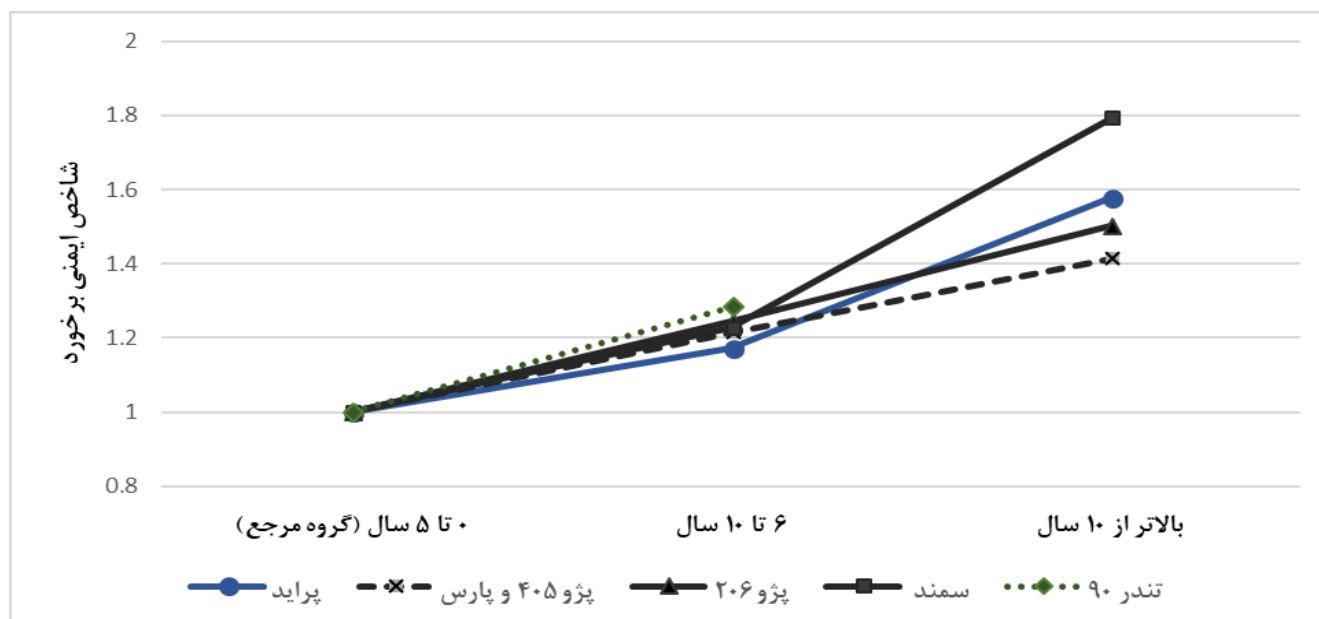
Table 3. Important variables influencing drivers' injury severity by the CART method

متغیر	میزان اهمیت
نوع راه	۱۰۰٪
کمر بند ایمنی	۸۴٪
سن راننده	۷۰٪
عمر خودرو	۴۹٪
روشنایی	۴۸٪
شرایط سطح راه	۲۵٪
نوع شانه راه	۲۴٪
جنسیت راننده	۲۱٪

جدول ۴. ایمنی برخورد خودروها بر اساس سن خودرو

Table 4. Crashworthiness of vehicles by vehicle age

95% C.I. for EXP(B)		Exp(B)	Sig.	Wald	S.E.	B	سن خودرو	برند خودرو
Upper	Lower							
			۰/۰۰۰	۴۹/۴۸۸			۰ تا ۵ سال (گروه مرجع)	
۱/۲۹۹	۱/۰۵۵	۱/۱۷۱	۰/۰۰۳	۸/۷۹۶	۰/۰۵۳	۰/۱۵۸	۶ تا ۱۰ سال	پراید
۱/۷۹۱	۱/۳۸۹	۱/۵۷۷	۰/۰۰۰	۴۹/۳۹۲	۰/۰۶۵	۰/۴۵۵	بالاتر از ۱۰ سال	
			۰/۰۰۱	۱۵/۰۶۷			۰ تا ۵ سال (گروه مرجع)	
۱/۴۰۴	۱/۰۵۰	۱/۲۱۴	۰/۰۰۹	۶/۸۲۰	۰/۰۷۴	۰/۱۹۴	۶ تا ۱۰ سال	پژو ۴۰۵ و پارس
۱/۷۱۵	۱/۱۶۶	۱/۴۱۴	۰/۰۰۰	۱۲/۳۸۵	۰/۰۹۸	۰/۳۴۷	بالاتر از ۱۰ سال	
			۰/۰۳۲	۶/۸۵۳			۰ تا ۵ سال (گروه مرجع)	
۱/۵۸۴	۰/۹۷۷	۱/۲۴۴	۰/۰۷۶	۳/۱۴۱	۰/۱۲۳	۰/۲۱۸	۶ تا ۱۰ سال	پژو ۲۰۶
۲/۱۰۸	۱/۰۶۸	۱/۵۰۰	۰/۰۱۹	۵/۴۶۸	۰/۱۷۴	۰/۴۰۶	بالاتر از ۱۰ سال	
			۰/۰۰۲	۱۲/۹۴۶			۰ تا ۵ سال (گروه مرجع)	
۱/۵۲۹	۰/۹۸۲	۱/۲۲۶	۰/۰۷۲	۳/۲۴۱	۰/۱۱۳	۰/۲۰۳	۶ تا ۱۰ سال	سمند
۲/۴۹۰	۱/۲۸۸	۱/۷۹۱	۰/۰۰۱	۱۲/۰۰۵	۰/۱۶۸	۰/۵۸۳	بالاتر از ۱۰ سال	
							۰ تا ۵ سال (گروه مرجع)	
۲/۰۵۳	۰/۸۰۳	۱/۲۸۴	۰/۲۹۸	۱/۰۸۵	۰/۲۴۰	۰/۲۵۰	۶ تا ۱۰ سال	تندر ۹۰



شکل ۱. شاخص ایمنی برخورد خودروها بر اساس دسته‌بندی‌های سن خودرو در لحظه تصادف.

Fig. 1. Crashworthiness index of vehicles by vehicle age categories at the time of the crash.

۳-۴- تحلیل متغیرهای کنترلی

در جدول ۵ نتایج مدل‌سازی برای متغیرهای کنترلی ارائه شده است. هفت متغیر کنترلی در مدل‌سازی منظور شده است و تمامی آن‌ها تا سطح ۹۵ درصد از لحاظ آماری معنادار هستند. تنها در برخی سطوح، مانند غروب در متغیر وضعیت روشنایی عدم معناداری مشاهده شده است. نسبت بخت به‌دست‌آمده برای هر سطح از متغیرهای کنترلی نشان‌دهنده اثر خالص آن بر شدت جراحت راننده (که متغیر وابسته می‌باشد) در تصادفی مشابه است. به عنوان مثال، نسبت بخت ۱/۴۲ برای رانندگان زن در خودروی تندر ۹۰ نشان می‌دهد که بخت فوت یا جراحت رانندگان زن در تصادفات برخورد با شیء ثابت، ۴۲٪ بیشتر از رانندگان مرد با شرایط یکسان است. این یافته‌ها نتایج پژوهش وانگ را تأیید می‌کند که در آن احتمال آسیب‌دیدگی زنان ۱۲/۵٪ و احتمال فوت آن‌ها ۳۷/۵٪ بیشتر گزارش شده است [۳۹].

در تمامی خودروهای سواری بررسی شده، بخت فوت یا جراحت راننده در تغییر از آزادراه به بزرگراه، جاده اصلی یا جاده فرعی بیش از دو برابر افزایش می‌یابد. با اینکه سرعت خودروها در آزادراه‌ها بیشتر است، کیفیت ایمنی، روسازی، و روشنایی در آزادراه‌ها نیز بهتر است. پژوهش ژو^۱ نشان داده است که تصادفات در جاده‌های با تعداد خطوط حرکتی بیشتر، شدت

در شکل ۱، شاخص ایمنی برخورد خودروها بر اساس سن آن‌ها به نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش سن خودرو، عملکرد ایمنی برای تمام خودروها کاهش می‌یابد به طور خاص، پس از گذر از سن ۱۰ سال، بخت فوت یا جراحت راننده به‌طور میانگین حدود ۵۰ درصد بیشتر از راننده‌ای است که خودرویی با سن زیر ۵ سال را رانندگی می‌کند.

فرض اولیه پژوهش مبنی بر کاهش عملکرد ایمنی خودروها با افزایش سن آن‌ها در تصادفات برخورد با شیء ثابت تأیید می‌شود. نکته مهم این است که این افزایش شاخص ایمنی (که نشان‌دهنده ضعیف‌تر شدن عملکرد ایمنی است) برای همه‌ی خودروها یکسان نیست. از شکل ۱ مشخص است که تا سن ۱۰ سال، عملکرد ایمنی تمامی خودروها به صورت تقریباً یکسان کاهش یافته است. با این حال، پس از سن ۱۰ سال، عملکرد خودروی سمند، با نسبت بخت ۱/۷۹، به طور محسوس ضعیف‌تر از دیگر خودروها بوده است. از طرف دیگر، اثر افزایش سن در خودروهای پژو ۴۰۵ و پارس کمتر از سایر خودروهای بررسی شده بوده است. بنابراین، به نظر می‌رسد خودروی سمند زودتر از سایر خودروها مستهلک شده و عمر مفید کوتاه‌تری دارد.

به‌عنوان نتیجه‌گیری، می‌توان گفت که افزایش سن خودرو در لحظه تصادف به طور کلی منجر به کاهش عملکرد ایمنی خودرو می‌شود، اما این روند در همه خودروها یکسان نیست.

1. Xiaoyu Zhu

جدول ۵. نتایج متغیرهای کنترلی بررسی سن خودرو.

Table 5. Results of control variables in examining vehicle age.

تندر ۹۰		سمند		پژو ۲۰۶		پژو ۴۰۵ و پارس		پراید		متغیرهای کنترلی مدل خودرو
Exp(B)	Sig.	Exp(B)	Sig.	Exp(B)	Sig.	Exp(B)	Sig.	Exp(B)	Sig.	
۱	۰/۹۵۱	۱	۰/۰۰۶	۱	۰/۰۰۲	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	خشک (گروه مرجع)
۰/۹۱۲	۰/۷۵۱	۰/۶۲۹	۰/۰۲۹	۰/۵۵۲	۰/۰۰۹	۰/۶۷۳	۰/۰۰۴	۰/۶۳۵	۰/۰۰۰	شرایط سطح راه
۰/۰۰۰	۰/۹۹۸	۰/۱۸۵	۰/۰۱۹	۰/۰۹۶	۰/۰۲۰	۰/۲۳۴	۰/۰۰۰	۰/۴۳۱	۰/۰۰۲	یخبندان و برفی
۱	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۱۴	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	روز (گروه مرجع)
۱/۹۳۸	۰/۰۰۱	۱/۵۰۷	۰/۰۰۰	۱/۴۲۳	۰/۰۰۳	۱/۳۶۳	۰/۰۰۰	۱/۳۳۳	۰/۰۰۰	شب
۳/۴۱۰	۰/۰۲۰	۱/۰۳۱	۰/۹۱۷	۱/۸۶۳	۰/۱۶۴	۱/۹۷۵	۰/۰۰۳	۱/۶۱۰	۰/۰۱۱	وضعیت روشنایی
۰/۴۹۸	۰/۵۰۰	۰/۷۴۱	۰/۰۱۲	۰/۸۰۸	۰/۶۲۴	۱/۰۱۰	۰/۹۶۴	۱/۰۵۲	۰/۷۵۱	طلوع
										غروب
۰/۷۱۲	۰/۱۲۰	۰/۷۴۱	۰/۰۱۲	۰/۷۳۲	۰/۰۱۵	۰/۶۱۲	۰/۰۰۰	۰/۸۱۵	۰/۰۰۰	وضعیت شانه راه
۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	آزاد راه (گروه مرجع)
۲/۲۷۰	۰/۰۰۴	۲/۴۹۸	۰/۰۰۰	۱/۶۱۰	۰/۰۰۹	۲/۱۳۷	۰/۰۰۰	۲/۵۷۸	۰/۰۰۰	نوع راه
۲/۵۵۷	۰/۰۰۰	۱/۹۷۶	۰/۰۰۰	۲/۱۴۵	۰/۰۰۰	۲/۳۵۷	۰/۰۰۰	۲/۷۹۳	۰/۰۰۰	بزرگراه
۴/۳۶۹	۰/۰۰۰	۲/۱۶۱	۰/۰۰۰	۲/۵۴۱	۰/۰۰۰	۲/۹۲۵	۰/۰۰۰	۳/۳۸۳	۰/۰۰۰	جاده اصلی
۱/۴۲۰	۰/۲۱۷	۱/۱۹۵	۰/۳۹۳	۱/۱۵۱	۰/۳۱۹	۱/۲۷۷	۰/۰۶۸	۱/۱۱۵	۰/۱۵۴	جاده فرعی
۱	۰/۲۲۱	۱	۰/۰۵۷	۱	۰/۰۰۴	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۱۵	جنسیت
۱/۶۲۸	۰/۰۶۵	۱/۴۸۰	۰/۰۰۷	۱/۴۵۵	۰/۰۱۰	۱/۴۵۱	۰/۰۰۰	۱/۱۶۳	۰/۰۲۸	از ۲۵ تا ۴۴ سال (گروه مرجع)
۰/۸۹۲	۰/۶۱۱	۱/۰۱۹	۰/۸۸۳	۰/۶۹۶	۰/۰۴۵	۱/۰۳۶	۰/۶۷۳	۱/۰۱۸	۰/۷۸۴	سن راننده
۰/۸۸۸	۰/۸۵۳	۱/۹۷۶	۰/۹۴۸	۰/۷۲۵	۰/۵۹۷	۰/۷۴۲	۰/۲۴۷	۱/۵۳۰	۰/۰۱۲	زیر ۲۵ سال
۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	از ۴۵ تا ۶۴ سال
۲/۲۲۲	۰/۰۰۱	۲/۵۸۶	۰/۰۰۰	۲/۲۹۱	۰/۰۰۰	۲/۷۲۳	۰/۰۰۰	۲/۷۶۴	۰/۰۰۰	۶۵ سال و بالاتر
۰/۴۴۱	۰/۰۰۸	۰/۶۳۳	۰/۰۰۱	۰/۵۸۵	۰/۰۰۱	۰/۷۵۹	۰/۰۰۳	۰/۸۴۹	۰/۰۰۷	وضعیت کمربند ایمنی
۰/۰۳۴	۰/۰۰۰	۰/۰۳۹	۰/۰۰۰	۰/۰۵۰	۰/۰۰۰	۰/۰۴۲	۰/۰۰۰	۰/۰۶۲	۰/۰۰۰	استفاده کرده
										استفاده نکرده
										نامشخص
										Constant

سبب تشدید جراحات وارده در تصادفات می‌شود بر کسی پوشیده نیست، اما در تصادفات صرفاً خسارتی، رانندگان به دلیل ترس از جریمه ممکن است در مورد بستن کمربند ایمنی به افسر پلیس دروغ بگویند، در نتیجه این موضوع می‌تواند تأثیر بستن کمربند ایمنی را بیشتر از آنچه هست نشان دهد.

خطرناک‌ترین زمان وقوع تصادف، طلوع آفتاب بوده است که ممکن است به دلیل خواب‌آلودگی رانندگان در این ساعت باشد. همچنین، بخت جراحات و فوت در شب‌ها، به ویژه برای خودروی سمند، بیشتر از روز بوده است که این موضوع می‌تواند ناشی از تأمین نشدن مسافت دید کافی در شب باشد که سبب کاهش فرصت عکس‌العمل راننده برای کاهش سرعت برخورد می‌شود. این نتیجه در پژوهش‌های پیشین نیز تأیید شده است [۲۹].

جراحات کمتری دارند [۴۰]. عرض بیشتر معبر نیز به رانندگان اجازه می‌دهد تا مانور بیشتری در لحظه تصادف داشته باشند، که باعث می‌شود برخورد احتمالی با سرعت کمتری رخ دهد. بنابراین، نسبت بخت‌ها نشان می‌دهد که کیفیت مسیر می‌تواند شدت جراحات تصادفات را کاهش دهد.

خطرناک‌ترین گروه سنی برای خودروهای پژو ۴۰۵ و پارس، پژو ۲۰۶، سمند و تندر ۹۰، افراد زیر ۲۵ سال و برای خودروی پراید، رانندگان بالای ۶۵ سال بوده‌اند. این امر ممکن است به دلیل آسیب‌پذیری بیشتر افراد مسن در برابر صدمات جسمی و عملکرد ضعیف‌تر بدنه خودرو پراید باشد.

عدم استفاده از کمربند ایمنی نیز در تمامی مدل‌های خودرو سبب می‌شود بخت فوت یا جراحات راننده بیش از ۲ برابر شود. اینکه بستن کمربند ایمنی

جدول ۶. نتایج مربوط به دو آماره لگاریتم درستنمایی و ضرایب تعیین سودو خودرو تندر ۹۰

Table 6. Results of the likelihood ratio statistic and pseudo-R-square coefficients for Thunder 90 vehicle

Nagelkerke R Square	Cox & Snell R Square	-2 Log likelihood (full)	-2 Log likelihood (intercept)
۰/۱۹۵	۰/۰۸۳	۹۲۳۴۹/۰۴۴	۱۰۹۴۸۲/۲۰۹

جدول ۷. دقت مدل درخت تصمیم و رگرسیون.

Table 7. Accuracy of decision tree and regression models.

شدت جراحت	دقت مدل برای داده‌های آموزشی (۷۰٪)	دقت مدل برای داده‌های آزمون (۳۰٪)
عدم آسیب دیدگی	۱۰۰٪	۱۰۰٪
مصدوم یا فوتی	۱۰۰٪	۱۰۰٪

با استفاده از جدول توزیع کای دو (χ^2)، مقدار بحرانی نسبت درستنمایی برای سطح اطمینان ۹۵٪ با ۱۱ درجه آزادی برابر با ۱۹/۵۶۷ است:

$$LR^* = 19.675$$

ملاحظه می‌شود که $LR > LR^*$ است؛ بنابراین فرض صفر مبنی بر صفر بودن ضرایب متغیرها رد می‌شود. به عبارت دیگر، مدل لجستیک با متغیرهای در نظر گرفته‌شده از نظر آماری برازش بهتری دارد. همچنین، به منظور اعتبارسنجی مدل درخت تصمیم و رگرسیون در این مطالعه، قبل از مدل‌سازی، ۳۰ درصد از داده‌ها به صورت تصادفی جدا شدند و مدل با استفاده از ۷۰ درصد داده‌های باقی‌مانده ساخته شد. همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، دقت مدل در هر دو کلاس بسیار بالا بوده است.

۵- نتیجه گیری

این پژوهش به بررسی اثر سن پنج مدل خودروی پر کاربرد ایرانی (پراید، پژو ۴۰۵، پژو ۲۰۶، سمند و تند ۹۰) بر شدت جراحت در تصادفات برخورد با شیء ثابت پرداخته است. با توجه به اینکه ایمنی راه‌های برون‌شهری و تمایل به استفاده از امکانات ایمنی در این مسیرها ممکن است نسبت به مسیرهای درون‌شهری کمتر باشد، تمرکز این پژوهش بر بررسی ایمنی خودروها از

اگر شرایط سطح راه خیس یا برفی و یخبندان باشد، بخت فوت و جراحت راننده کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد چون رانندگان معمولاً در هوای بارانی و برفی سعی می‌کنند با سرعت‌های کمتر حرکت کنند و از مانورهای خطرناک اجتناب کنند در نتیجه بخت فوت و جراحت کاهش می‌یابد.

۴-۴- ارزیابی مدل‌های ساخته شده

با توجه به اینکه تعداد مدل‌سازی‌های انجام‌شده زیاد بوده است، به جهت اختصار تنها ارزیابی مدل‌سازی مربوط به بررسی اثر سن خودروی تندر ۹۰ در تصادفات برخورد با شیء ثابت ارائه شده است. بدیهی است سایر مدل‌ها نیز به همین صورت مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

نتایج مربوط به لگاریتم درستنمایی و ضرایب تعیین سودو مربوط برای مدل لجستیک مربوط به سن خودرو تندر ۹۰ در تصادفات برخورد با شیء ثابت در جدول ۶ نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که ضریب تعیین ناگل کرک بیشتر از ۰/۱۵ است، که نشان می‌دهد برازش مدل قابل قبول است.

در آزمون نسبت درستنمایی نیز به شکل زیر عمل می‌شود:

$$LR = 109482.209 - 92349.044 = 17133.165$$

به ویژه در شرایط آب و هوایی نامساعد مانند بارندگی، برف و خیزی سطح جاده، برای کاهش احتمال جراحت و فوت راننده تأکید کرده است. با توجه به نتایج فوق و در راستای کاهش احتمال جراحت و فوت رانندگان، اقداماتی مانند برگزاری کلاس‌های آموزشی برای افزایش آگاهی رانندگان زیر ۲۵ سال، بهبود نوردهی و افزایش کیفیت ایمنی و روسازی راه‌ها و همچنین استفاده از سیستم‌های هوشمند و اختاردهنده در خودروها، به ویژه برای جلوگیری از خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان در زمان طلوع آفتاب و شب، توصیه می‌شود. همچنین بهبود عملکرد خودروی پراید و تأکید بر معاینه فنی مکرر خودروهای با سن بیش از ده سال ضروری است. علاوه بر این، با توجه به اینکه سرعت خروج ناوگان فرسوده با افزایش سن خودروها هماهنگ نیست، این مسئله به عنوان یک تهدید جدی برای آینده تلقی می‌شود که می‌تواند منجر به افزایش تلفات شود. پیشنهاد می‌شود طرح نوسازی خودروها در سطح کشور با جدیت بیشتری دنبال شود. همچنین برای پژوهش‌های آینده، بررسی رفتارهای فردی مؤثر در تصادفات در کنار ارزیابی خودروها و تأثیر گواهی معاینه فنی خودروها توصیه می‌شود.

منابع

- [1] World Health Organization (2021). extranet. who.int/roadsafety/death-on-the-roads/#country_or_area/IRN.
 - [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] X. Yan, J. He, C. Zhang, Z. Liu, C. Wang, B. Qiao, Temporal analysis of crash severities involving male and female drivers: A random parameters approach with heterogeneity in means and variances, Analytic methods in accident research, 30 (2021) 100161.
 - [4] M. Yang, Q. Bao, Y. Shen, Q. Qu, R. Zhang, T. Han, H. Zhang, Determinants influencing alcohol-related two-vehicle crash severity: A multivariate Bayesian hierarchical random parameters correlated outcomes logit model, Analytic Methods in Accident Research, 44 (2024) 100361.
 - [5] A.T. Kashani, M.M. Besharati, Fatality rate of pedestrians and fatal crash involvement rate of drivers in pedestrian
- نظر حفاظت از سرنشینان در لحظه وقوع تصادف، به ویژه در تصادفات برخورد با شیء ثابت در راه‌های برون‌شهری، بوده است. برای دستیابی به این هدف، از داده‌های تصادفات پلیس مربوط به تصادفات برخورد با شیء ثابت طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ استفاده شده است. در این تحلیل، ابتدا از روش درخت تصمیم و رگرسیون (کارت) جهت شناسایی متغیرهای مؤثر بر شدت جراحت رانندگان استفاده شده و سپس این متغیرها در مدل رگرسیون لجستیک دوگانه به کار گرفته شدند. شدت جراحت راننده به صورت دو سطحی به عنوان متغیر وابسته و سن خودرو به همراه سایر متغیرهای کنترلی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. سن خودروها نیز به سه بازه زیر پنج سال، پنج تا ده سال، و بیش از ده سال تقسیم‌بندی شده است. نتایج نشان داده است که با افزایش سن خودروهای مورد بررسی، شاخص ایمنی برخورد افزایش یافته و در نتیجه عملکرد ایمنی ضعیف‌تر می‌شود. به‌طوری‌که پس از عبور از سن ده سال، بخت فوت یا جراحت راننده خودرو به‌طور میانگین حدود ۵۰ درصد بیشتر از خودرویی با سن زیر پنج سال است. البته این روند ضعیف شدن ایمنی برای همه‌ی خودروها یکسان نبوده است. با افزایش سن خودرو تا ده سال، عملکرد ایمنی خودروها تقریباً به یک اندازه کاهش یافته، درحالی‌که بعد از ده سال، وضعیت خودروی سمند با نسبت بخت ۱/۷۹ به مراتب بدتر از سایر خودروها بوده است. از طرف دیگر، اثر افزایش سن برای خودروهای پژو ۴۰۵ و پارس کمتر از سایر خودروهای بررسی‌شده بوده است. در نتیجه، به نظر می‌رسد خودروی سمند زودتر از سایر خودروها مستهلک شده و عمر مفید کوتاه‌تری دارد. با توجه به این نتایج، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش سن خودرو در لحظه تصادف، باعث کاهش عملکرد ایمنی خودرو می‌شود، البته این روند برای همه‌ی خودروها به یک اندازه نیست.
- بررسی سن راننده نیز نشان داد که خطرناک‌ترین گروه سنی برای خودروهای پژو ۴۰۵ و پارس، پژو ۲۰۶، سمند و تندر ۹۰، رانندگان زیر ۲۵ سال و برای خودروی پراید، رانندگان بالای ۶۵ سال هستند. این مسئله ممکن است به دلیل آسیب‌پذیری بیشتر افراد مسن در برابر صدمات جسمی و عملکرد ضعیف‌تر بدنه خودروی پراید باشد. علاوه بر این، بررسی وضعیت روشنایی نشان داد که احتمال شدت جراحت و فوت رانندگان در زمان طلوع آفتاب و شب نسبت به روز بیشتر است. در تمامی خودروهای سواری بررسی شده، احتمال شدت جراحت و فوت رانندگان در آزادراه‌ها به دلیل کیفیت بالای ایمنی، روسازی و روشنایی، به مراتب کمتر از سایر راه‌ها بوده است. این پژوهش همچنین بر اهمیت استفاده از کمربند ایمنی و کاهش سرعت،

- Journal of Transportation Safety & Security, 15(6) (2023) 636-657.
- [15] S.V. Newstead, L.M. Watson, A.K. Delaney, M.H. Cameron, Crashworthiness and aggressivity of the Australian light vehicle fleet by major crash type, Monash University Accident Research Centre Reports, (227) (2004) 124.
- [16] H. Huang, S. Hu, M. Abdel-Aty, Indexing crash worthiness and crash aggressivity by major car brands, Safety science, 62 (2014) 339-347.
- [17] A. Tavakoli Kashani, I. Tabe Bordbar, M. Rakhshani Moghadam, The safety performance of vehicles in crashes with fixed objects, In The 13th International Congress on Civil Engineering, Tehran, <https://civilica.com/doc/1853154>, 1402, (in Persian).
- [18] A. Tavakoli Kashani, I. Tabe Bordbar, M. Rakhshani Moghadam, Analysis on different passenger car brands' crashworthiness in two-vehicle, and rollover crashes on rural roads of Iran, In The 19th International Conference on Traffic and Transportation Engineering, Tehran, <https://civilica.com/doc/1675920>, 1401.
- [19] M. Fredette, L.S. Mambu, A. Chouinard, F. Bellavance, Safety impacts due to the incompatibility of SUVs, minivans, and pickup trucks in two-vehicle collisions, Accident Analysis & Prevention, 40(6) (2008) 1987-1995.
- [20] H. Stigson, A. Ydenius, A. Kullgren, Variation of crash severity and injury risk depending on collisions with different vehicle types and objects, In 2006 international IRCOBI conference on the biomechanics of impact, Madrid, Spain, 2006, pp. 20-22.
- [21] J.-K. Kim, G.F. Ulfarsson, S. Kim, V.N. Shankar, Driver-injury severity in single-vehicle crashes in California: a mixed logit analysis of heterogeneity due to age and gender, Accident Analysis & Prevention, 50 (2013) 1073-1081.
- [22] C. Lee, X. Li, Analysis of injury severity of drivers involved in single-and two-vehicle crashes on highways in Ontario, Accident Analysis & Prevention, 71 (2014) 286-295.
- crashes: A case study of Iran, International journal of injury control and safety promotion, 24(2) (2017) 222-231.
- [6] M.D. Keall, S. Newstead, Are SUVs dangerous vehicles?, Accident Analysis & Prevention, 40(3) (2008) 954-963.
- [7] H. Huang, C. Siddiqui, M. Abdel-Aty, Indexing crash worthiness and crash aggressivity by vehicle type, Accident Analysis & Prevention, 43(4) (2011) 1364-1370.
- [8] H. Huang, C. Li, Q. Zeng, Crash protectiveness to occupant injury and vehicle damage: An investigation on major car brands, Accident Analysis & Prevention, 86 (2016) 129-136.
- [9] A. Tavakoli Kashani, H. Arefkhani, Indexing crash worthiness, crash aggressivity, and total secondary safety for major car brands: A case study of Iran, International Journal of Civil Engineering, 16 (2018) 857-869.
- [10] W.J. Wu, C.S. Li, S.C. Peng, The relationships between vehicle characteristics and automobile accidents, Risk Management and Insurance Review, 23(4) (2020) 331-377.
- [11] H. Arefkhani, M.M. Besharati, M. Azizi Bondarabadi, A. Tavakoli Kashani, How does the incompatibility of different vehicle types affect the odds of driver injury?, Journal of Transportation Safety & Security, 13(8) (2021) 860-876.
- [12] C. Wang, F. Chen, Y. Zhang, J. Cheng, Analysis of injury severity in rear-end crashes on an expressway involving different types of vehicles using random-parameters logit models with heterogeneity in means and variances, Transportation letters, 15(7) (2023) 742-753.
- [13] C. Wang, M. Abdel-Aty, L. Han, Effects of speed difference on injury severity of freeway rear-end crashes: Insights from correlated joint random parameters bivariate probit models and temporal instability, Analytic Methods in Accident Research, 42 (2024) 100320.
- [14] R. Yuan, X. Gu, Z. Peng, Q. Xiang, Analysis of factors affecting occupant injury severity in rear-end crashes by different struck vehicle groups: A random thresholds random parameters hierarchical ordered probit model,

- [31] Y. Kweon, K. Kockelman, Driver attitudes and choices: Seatbelt use, speed limits, alcohol consumption, and crash histories, In Washington DC: 82nd Annual Meeting of Transportation Research Board, Citeseer, 2003.
- [32] M. Bedard, G.H. Guyatt, M.J. Stones, J.P. Hirdes, The independent contribution of driver, crash, and vehicle characteristics to driver fatalities, *Accident Analysis & Prevention*, 34(6) (2002) 717-727.
- [33] D. Delen, R. Sharda, M. Bessonov, Identifying significant predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks, *Accident Analysis & Prevention*, 38(3) (2006) 434-444.
- [34] L. Breiman, *Classification and regression trees*, Routledge, 2017.
- [35] A. Pande, M. Abdel-Aty, Assessment of freeway traffic parameters leading to lane-change related collisions, *Accident Analysis & Prevention*, 38(5) (2006) 936-948.
- [36] D.N. Gujarati, *Econometrics by example*, Palgrave Macmillan New York, 2011.
- [37] S. Washington, M. Karlaftis, F. Mannering, P. Anastasopoulos, *Statistical and econometric methods for transportation data analysis*, Chapman and Hall/CRC, 2020.
- [38] D.G. Kleinbaum, K. Dietz, M. Gail, M. Klein, M. Klein, *Logistic regression*, Springer, 2002.
- [39] X. Wang, K.M. Kockelman, Use of heteroscedastic ordered logit model to study severity of occupant injury: distinguishing effects of vehicle weight and type, *Transportation Research Record*, 1908(1) (2005) 195-204.
- [40] X. Zhu, S. Srinivasan, A comprehensive analysis of factors influencing the injury severity of large-truck crashes, *Accident Analysis & Prevention*, 43(1) (2011) 49-57.
- [23] H. Arefkhani, A. Tavakoli Kashani, An investigation on crash worthiness of different vehicle brands: A case study of rollover crashes, *International Journal of Transportation Engineering*, 6(2) (2018) 111-122.
- [24] A. Tavakoli Kashani, M. Rakhshani Moghadam, A. Taheri, G. Müller, D.A. Dissanayake, How does the safety performance of different vehicle types and weights affect the severity of a driver's injury?, *International journal of crashworthiness*, 29(2) (2024) 198-209.
- [25] L. Gong, W.D. Fan, Modeling single-vehicle run-off-road crash severity in rural areas: Accounting for unobserved heterogeneity and age difference, *Accident Analysis & Prevention*, 101 (2017) 124-134.
- [26] S.J. Weiss, R. Ellis, A.A. Ernst, R.F. Land, A. Garza, A comparison of rural and urban ambulance crashes, *The American journal of emergency medicine*, 19(1) (2001) 52-56.
- [27] C. Chen, G. Zhang, H. Huang, J. Wang, R.A. Tarefder, Examining driver injury severity outcomes in rural non-interstate roadway crashes using a hierarchical ordered logit model, *Accident Analysis & Prevention*, 96 (2016) 79-87.
- [28] R.L. Muelleman, K. Mueller, Fatal motor vehicle crashes: variations of crash characteristics within rural regions of different population densities, *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 41.2 (1996): 315-320.
- [29] K.D. Awadzi, S. Classen, A. Hall, R.P. Duncan, C.W. Garvan, Predictors of injury among younger and older adults in fatal motor vehicle crashes, *Accident Analysis & Prevention*, 40(6) (2008) 1804-1810.
- [30] G.F. Ulfarsson, F.L. Mannering, Differences in male and female injury severities in sport-utility vehicle, minivan, pickup and passenger car accidents, *Accident Analysis & Prevention*, 36(2) (2004) 135-147.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A. Tavakoli Kashani, I. Tabe Bordbar, M. Rakhshani Moghadam, Modeling the effect of age of vehicles in collisions with fixed roadside objects, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 57(1) (2025) 45-62.

DOI: [10.22060/ceej.2025.21850.7840](https://doi.org/10.22060/ceej.2025.21850.7840)

