

مدل‌سازی سطح شدت حوادث وسایل نقلیه کامیونی با استفاده از روش رگرسیون لجستیک باینری

مقاله علمی - پژوهشی

سیدامیر محمد حسینی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
سید صابر ناصر علوی، استادیار، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
نوید ندیمی*، دانشیار، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: navidnadimi@uk.ac.ir

صفحه ۸۹-۱۱۰

چکیده

پیش‌بینی شدت آسیب تصادف به دلیل تأثیر آن بر جان انسان‌ها یک هدف تحقیقاتی اطمینان‌بخش در ایمنی ترافیک و از اولویت‌های اصلی محققان ایمنی برای کاهش شدت تصادفات است. به دلیل نگرانی‌های ایمنی ناشی از کامیون‌های بزرگ و نرخ بالای تصادفات فوتی این نوع وسایل نقلیه، کاوش در تصادفات آن‌ها می‌تواند به تعیین عوامل مؤثر در شدت تصادفات کمک کند. مطالعه حاضر با استفاده از سامانه داده‌های اطلاعات ایمنی راه در ایالت کالیفرنیا آمریکا، بر تصادفات کامیون‌های بزرگ برای پیش‌بینی عوامل مؤثر بر شدت آسیب تصادفات تمرکز دارد. متغیرهای پیش‌بینی‌کننده به چهار مشخصه راننده، راه، تصادف و وسیله نقلیه طبقه‌بندی شدند. در این مقاله با استفاده از رگرسیون لجستیک باینری به مدل‌سازی سطح شدت تصادفات و ارزیابی وزن متغیرهای مختلف پیش‌بینی‌کننده بر شدت آسیب پرداخته می‌شود. براساس نتایج مدل‌سازی، متغیرهای آب‌وهوا در شرایط صاف (با ضریب نمایی ۱/۱۴۶)، AADT در دو حالت بیش از ۲۵۰ هزار وسایل نقلیه بر روز (با ضریب نمایی ۱/۳۴۱) و بین ۱۰۰ هزار تا ۲۵۰ هزار وسایل نقلیه بر روز (با ضریب نمایی ۱/۲۰۲) دارای اهمیت بیشتر هستند (هر سه متغیر ذکر شده از نظر آماری معنادار و دارای ضرایب رگرسیونی مثبت بودند). همچنین، نتایج نشان داد مدل‌سازی BLR دارای دقت (۶۰/۳) و بیش‌برازش مناسب (اختلاف بین دقت داده‌های آزمون و آموزشی مربوط به این مدل برابر با ۰/۱٪) است.

واژه‌های کلیدی: شدت حوادث، کامیون، ایمنی، مدل‌سازی، رگرسیون لجستیک

۱- مقدمه

نرخ تصادفات فوتی به ازای هر ۱۰۰ میلیون مایل وسیله‌نقلیه با کامیون‌های بزرگ به ۱/۴۲ رسیده و از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷، ۵/۲٪ افزایش و در مقایسه با وسایل نقلیه سواری ۱/۳۸ برابر شده است (L. Song & Fan, 2020; USDOT, 2019). تصادفات کامیونی هر ساله باعث وارد شدن هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم به افراد درگیر در حادثه و خانواده‌های آن‌ها و همین‌طور به جامعه می‌گردد. هزینه‌هایی مانند مخارج مربوط به پزشکی، هزینه‌های

میزان مرگ و میر ناشی از تصادفات کامیون‌ها در حال افزایش است و این تصادفات در مقایسه با تصادفات خودروهای سواری در سال‌های اخیر صدمات شدیدتری داشته است. باتوجه به آمار وزارت حمل‌ونقل ایالات متحده، از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷، تعداد تصادفات فوتی کامیون‌های بزرگ از ۴۲۵۱ به ۴۶۵۷ و یا به میزان ۹/۶٪ افزایش یافته است. در حالی که حوادث خودروهای سواری در تصادفات منجر به مرگ ۱/۴٪ کاهش یافته است. در همین حال،

قابل حمل (PCMS) در کاهش خطر تصادفات کامیون در مناطق کاری پرداختند (Bai et al., 2015). نایک و همکاران در سال ۲۰۱۶، به مطالعه بر روی تأثیرات آب‌وهوا بر شدت آسیب تصادف کامیون تک وسیله‌نقلیه پرداختند. نتایج نشان داد که سرعت باد، باران، رطوبت و دمای هوا با شدت آسیب تصادف کامیون تک وسیله‌نقلیه مرتبط است (Naik et al., 2016). تئو و همکاران در سال ۲۰۱۷، به بررسی عوامل مؤثر بر خطر تصادف برای کامیون های بزرگ بین ایالتی در کارولینای شمالی آمریکا پرداختند. براساس نتایج، فناوری‌های ایمنی خودرو می‌تواند در کاهش خطر تصادف مهم باشند (Teoh et al., 2017). سعدالدیری و هرناندز در سال ۲۰۱۷، یک تحلیل تجربی از شدت جراحات ناشی از تصادفات کامیون‌های بزرگ که بر اثر فرار از جاده (خارج از جاده) (ROR) به‌وجود می‌آیند، انجام دادند. عواملی مانند نوع میانه قرار داده شده، از دست دادن کنترل وسیله‌نقلیه و متغیر نشانگر دو وسیله‌نقلیه یا بیشتر درگیر در تصادفات، بر روی این‌گونه از تصادفات تأثیرگذار هستند (Al-bdairi & Hernandez, 2017). اودین و هوین در سال ۲۰۱۸، عوامل مؤثر بر شدت جراحات تصادفات کامیون‌های حامل مواد خطرناک یا HAZMAT را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که سرنشینان مرد، رانندگان کامیون، تصادفات در مکان‌های برون‌شهری، تصادفات در شرایط تاریک- بدون روشنایی^۸، در شرایط تاریک با وجود نور^۹ (شرایطی مانند شب و وجود پایه چراغ روشنایی) و در روزهای هفته با افزایش احتمال صدمات عمده مرتبط هستند (Uddin & Huynh, 2018). بهنود و همکاران در سال ۲۰۱۹، پی بردند که تغییرات زمانی در روز و بی‌ثباتی زمانی (یعنی عواملی که در طی زمان مانند بخش‌های یک روز یا از سالی به سالی دیگر بر شدت تصادفات تأثیر متفاوتی دارند)، عوامل مؤثر بر شدت جراحات در تصادفات کامیون‌های بزرگ هستند (Behnood et al., 2019). مهدی‌زاده و همکاران در سال ۲۰۱۹، رفتار رانندگان و دخالت در تصادفات را در بین رانندگان حرفه‌ای تاکسی و کامیون مورد ارزیابی قرار دادند. براساس نتایج این پژوهش، تخلفات رانندگی احتمال تصادف را در بین رانندگان تاکسی تقریباً دو برابر بیشتر از رانندگان کامیونی افزایش می‌دهد (Mehdizadeh et al., 2019). حق و همکاران در سال ۲۰۲۰، به بررسی شدت جراحات سرنشین در تصادفات کامیونی

خدمات اضطراری، هزینه‌های خسارت به دارایی، بهره‌وری از دست رفته و کاهش کیفیت زندگی یک خانواده به‌دلیل فوت یا جرح یکی از اعضای آن، را شامل می‌شود (Zaloshnja & Miller, 2004). چانگ و منرینگ در سال ۱۹۹۹، به تحلیل شدت آسیب و اشغال وسیله‌نقلیه در تصادفات کامیون و غیر کامیون پرداختند. نتایج فقط برای تصادفات کامیونی نشان می‌دهد که متغیرهای متعددی سطح شدت آسیب را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهند. از جمله محدودیت‌های سرعت و همچنین برخورد جلو به عقب (Chang & Mannering, 1999). لیمن و برور در سال ۲۰۰۳، مرگ سرنشینان در تصادفات کامیون‌های بزرگ در ایالات متحده را مورد بررسی قرار دادند (Lyman & Braver, 2003). زالوشنجا و میلر در سال ۲۰۰۴، به بررسی هزینه‌های تصادفات کامیون‌های بزرگ در ایالات متحده پرداختند. کامیون‌های چندگانه ترکیبی^۲ بالاترین هزینه در هر تصادف (۸۸۴۸۳ دلار) را داشتند (Zaloshnja & Miller, 2004). یانگ و لیزمن در سال ۲۰۰۷، رابطه بین سرعت باد و تصادفات کامیون‌های واژگونی را با استفاده از مدل لاجیت باینری مورد تخمین قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که داده‌های ایستگاه هواشناسی می‌تواند به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده تصادفات واژگونی استفاده شود (Young & Liesman, 2007a). روزنیلوم و همکاران در سال ۲۰۰۹، به مطالعه‌ی رویکردهای رانندگان کامیون و رانندگان غیر کامیون نسبت به رفتار بی‌احتیاطی در جاده‌ها پرداختند (Rosenbloom et al., 2009). ژو و سرینیواسان در سال ۲۰۱۱، سطح شدت جراحات افراد درگیر در تصادفات کامیون‌های بزرگ^۳ را مورد تحلیل قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده اثرات قوی ویژگی‌های شخص، راننده، وسیله‌نقلیه و تصادف بر شدت آسیب افراد درگیر در تصادفات کامیون‌های بزرگ است (Zhu & Srinivasan, 2011). پاسوپولتی و پولوگورتا در سال ۲۰۱۳، مدل‌سازی تصادفات کامیونی درون شهری را با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۴ مورد ارزیابی قرار دادند. به نظر می‌رسد مناطق با شعاع چرخش متوسط و نامناسب بیشتر در معرض تصادفات کامیون‌های درون شهری هستند (Pasupuleti & Pulugurtha, 2013). بای و همکاران در سال ۲۰۱۵، به بحث در مورد تعیین مکان مؤثر برای تابلوهایی با قابلیت تغییر پیام و

در سال ۲۰۲۲، به ارزیابی اثربخشی اجرای قانون در کاهش تصادفات کامیونی برای آزادراه‌های کوهستانی برون‌شهری در وایومینگ آمریکا پرداختند. این مطالعه نشان داد که استنادات پلیس می‌تواند به‌طور مؤثر ایمنی ترافیک را در بین ایالتی ۸۰ در وایومینگ^{۱۵} بهبود بخشد و مکان‌ها و زمان‌های پرخطر را برای نقاط حادثه خیز شناسایی کند (Alrejjal et al., 2022). ون و همکاران در سال ۲۰۲۳، تأثیر قوس و شیب بر شدت تصادفات کامیونی چند وسیله‌نقلیه در آزادراه‌های کوهستانی را مورد تحلیل قرار دادند. براساس یافته‌های اصلی این پژوهش، قوس با شعاع متوسط و شیب متوسط احتمال شدت متوسط تصادفات کامیونی را در مقایسه با قوس با شعاع زیاد و شیب مسطح به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (Wen et al., 2023). وو و همکاران در سال ۲۰۲۳، شدت تصادفات کشنده کامیون‌های بزرگ را با ترکیب همه طرف‌های درگیر مورد تقسیم‌بندی و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که تعداد وسایل نقلیه درگیر در تصادفات، نحوه برخورد، باز شدن کیسه هوای کامیون، واژگونی وسایل نقلیه، سرعت غیرمجاز راننده و وزن ناخالص وسیله‌نقلیه عوامل کلیدی تعیین کننده شدت آسیب تصادفات هستند (Wu et al., 2023). کانگ و همکاران در سال ۲۰۲۳، به بررسی مجدد ارتباط بین الگوهای توسعه و تصادفات کامیونی در دالاس- فورث تگزاس از آمریکا پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که ناهمگونی فضایی^{۱۶} در شدت حمل‌ونقل کالا پیامدهای قوی برای تغییر الگوهای تصادفات کامیونی می‌باشد (Kang, 2023). فکنسا و همکاران در سال ۲۰۲۳، ناهمگونی مشاهده نشده در تصادفات سطح شیب دار به دلیل تراز، هندسه تبادل و حجم کامیونی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که نوع رمپ (جهت‌دار، نیمه‌جهت‌دار و حلقه)^{۱۷}، تراز و ویژگی‌های ترافیکی مانند محدودیت سرعت و AADT به‌طور قابل‌توجهی بر فراوانی تصادفات رمپ تأثیر می‌گذارند (Feknsa et al., 2023). حق و همکاران در سال ۲۰۲۳، به بررسی تصادفات مربوط به خرابی ترمز و شدت آسیب در جاده‌های کوهستانی در وایومینگ آمریکا پرداختند. بر اساس فرضیه‌ها و نتایج این پژوهش، وسایل نقلیه دارای قدمت بیش از ۱۵ سال، کامیون‌ها و بخش‌های سرازیری به نظر می‌رسد که به شدت با وقوع خرابی ترمز مرتبط هستند (Haq et al., 2023). عبدی و اوهرن در سال ۲۰۲۴، به بررسی شدت تصادفات کامیونی تک

بر اساس انواع وسایل نقلیه در یک آزادراه کوهستانی پرداختند. مشخص شد که عواملی مانند سن و جنسیت سرنشینان، شغل راننده کامیون، محل سکونت راننده، انحراف‌های جانبی، شرایط آب‌وهوایی تأثیرات متفاوتی بر شدت آسیب سرنشینان در تصادفات مختلف خودرو و کامیون دارند (Haq et al., 2020a). رحیمی و همکاران در سال ۲۰۲۰، شدت آسیب تصادفات کامیون‌های تک وسیله‌نقلیه^{۱۸} در ایران را مورد بررسی قرار دادند. چندین متغیر از جمله تحصیلات راننده، استقرار سیستم ترمز پیشرفته، وجود پیچ‌ها در جاده‌ها و محدودیت سرعت بالا در مدل دارای سطح معنی‌داری^{۱۹} قابل توجه‌ای بودند (Rahimi et al., 2020). عظیمی و همکاران در سال ۲۰۲۰، شدت تصادفات واژگونی کامیون‌های بزرگ با استفاده از مدل لاجیت ترتیبی با پارامتر تصادفی^{۲۰} را مورد تحلیل قرار دادند. نتایج مدل نشان داد که تأثیر شرایط نور و سرعت رانندگی در مشاهدات دارای سطح معنی‌داری قابل‌توجهی است (Azimi et al., 2020). ایرانی‌طلب و همکاران در سال ۲۰۲۰، به مدل‌سازی آماری تصادفات کامیونی تانک بار (^{۱۳}CCT) خطرناک پرداختند. براساس نتایج، CTTها در هنگام چرخش و تغییر لاین نسبت به حرکت مستقیم در مسیر به احتمال زیاد در تصادفات واژگون می‌شوند (Iranitalab et al., 2020). ایرانی‌طلب و ختاک در سال ۲۰۲۰، به طبقه‌بندی احتمالی رویدادهای انتشار مواد خطرناک در حوادث قطار و تصادفات کامیون تانک بار پرداختند (Iranitalab & Khattak, 2020). یانگ و همکاران در سال ۲۰۲۱، به بررسی عوامل مؤثر در تصادفات مربوط به کامیون‌های باری پرداختند (Yang et al., 2021). الرجال و همکاران در سال ۲۰۲۱، تصادفات واژگونی کامیون‌های بزرگ در بین ایالت‌های کوهستانی را مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس نتایج آن‌ها انحراف از جاده، اصلاحات بیش از حد^{۲۱} و وزش باد شدید خطر تصادفات واژگونی تک کامیون را افزایش می‌دهند (Alrejjal et al., 2021). عظیمی و همکاران در سال ۲۰۲۲، تحلیل شدت آسیب برای تصادفات کامیون‌های بزرگ را انجام دادند. نتایج نشان داد که عدم استفاده از سیستم‌های مهار (کمربند ایمنی)، عبور از چراغ قرمز، رانندگی در مسیر اشتباه، عدم رعایت حق تقدم، نقص لاستیک یا ترمز، و شرایط تاریک با سطوح بالاتری از شدت آسیب تصادفات ارتباط مثبتی دارد (Azimi et al., 2022). الرجال و همکاران

۲- ابزار و روش‌ها

در این قسمت، روش مطالعه و گردآوری داده‌های این پژوهش مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند. برای دستیابی به این اهداف یک راهبرد سه مرحله‌ای در نظر گرفته شده است که شامل: (۱) توصیف پایگاه داده (۲) نحوه دستیابی به داده‌ها و ادغام آن‌ها (۳) بحث و بررسی در مورد مواد و روش مدل‌سازی‌ها. در این پژوهش از نرم‌افزارهای SPSS با نسخه‌ی IBM SPSS STATISTICS 26 و MATLAB با نسخه‌ی MATLAB R2019a برای آماده‌سازی داده‌ها استفاده شده است، همچنین برای مدل‌سازی این داده‌ها از نرم‌افزارهای SPSS و پایتون با نسخه‌ی Python 3.11 (64-BIT) در محیط Google Colab از وبسایت colab.research.google.com و محیط Jupiter Notebook از رابط کاربری گرافیکی Anaconda Navigator استفاده شده است. لازم به ذکر است که از کدهای موجود در سایت kaggle.com برای کدنویسی در Python کمک گرفته شده است.

۲-۱- داده‌ها

۲-۱-۱- شرح پایگاه داده

برای انجام این پژوهش از پایگاه داده سامانه داده‌های اطلاعات ایمنی راه (HSIS)^(۲۶) استفاده شده است. HSIS یک پایگاه داده چند ایالتی از کشور آمریکا است که شامل داده‌های تصادف، اطلاعات موجودی جاده‌ها، داده‌های حجم ترافیک و اقلام مربوط به داده‌های موجودی ویژه مانند علائم روسازی است. این پایگاه داده یک سیستم مبتنی بر جاده است که داده‌های با کیفیت را برای تعداد زیادی از متغیرهای تصادف، جاده و ترافیک ارائه می‌دهد. پایگاه داده HSIS توسط اداره بزرگراه فدرال ایالات متحده (FHWA)^(۲۷) تأمین می‌شود و داده‌ها به‌طور داوطلبانه توسط ایالت‌های شرکت کننده ارائه می‌شود. این سیستم برای تحلیل داده‌های تصادف و شناسایی روندها و الگوها به‌منظور بهبود ایمنی جاده‌ها استفاده می‌شود. محققان زیادی از پایگاه داده HSIS برای تحلیل سطح شدت تصادفات استفاده کردند، که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: (Khattak et al., 2003; Pour-Rouholamin & Jalayer, 2016; Anderson & Dong, 2017; Uddin & Huynh, 2017; Banerjee & Khadem, 2019;

وسيله نقلیه تحت انواع تصادفات با استفاده از مدل‌های لاجیت مختلط پرداختند (Abdi & O'Hern, 2024). گاویش و همکاران در سال ۲۰۲۴، به ارزیابی شدت تصادف کامیون‌های بزرگ در یک جاده بین ایالتی برون‌شهری در وایومینگ با استفاده از مدل‌های درختان تصمیم‌گیری^(۱۸) و معادلات ساختاری^(۱۹) پرداختند. نتایج نشان داد که تعامل با ترافیک اطراف مهم‌ترین متغیر پنهان مؤثر بر شدت تصادف در تصادفات کامیون‌های چند وسیله نقلیه‌ای بود، در حالی که شرایط نامساعد جوی مهم‌ترین متغیر پنهان تأثیرگذار بر شدت تصادف در تصادفات یک کامیونی بود (Gaweesh et al., 2024). نسیم خان و همکاران در سال ۲۰۲۴، شدت تصادف کامیون در آزادراه کوهستانی برون‌شهری را با استفاده از آموزش انتقال با شبکه عصبی عمیق ResNet-50^(۲۰) مورد پیش‌بینی قرار دادند. یافته‌ها نشان داد که باز شدن کیسه‌های هوا، استفاده از کمربند ایمنی، حواس‌پرتی راننده و شرایط راننده مانند بی‌توجهی و خستگی، نوع وسیله نقلیه، درجه‌های عمودی^(۲۱)، آب‌وهوا و شرایط سطح جاده، مهم‌ترین متغیرهایی هستند که در شدت تصادف‌های کامیون‌های سنگین نقش دارند (Nasim Khan et al., 2024). صفر و همکاران در سال ۲۰۲۴، به مروری بر عوامل مؤثر بر تصادفات کامیون‌های بزرگ پرداختند. براساس این مطالعه به نظر می‌رسد که سرعت، نوع مکان و شرایط نور شایع‌ترین عوامل در تصادفات کامیون‌های بزرگ هستند (Safar et al., 2024). دوک و همکاران در سال ۲۰۲۴، نتایج حاصل از ۱۰۰ بررسی عمیق تصادفات کامیون را در حوزه پیشگیری و کاهش تصادفات کامیونی مورد مطالعه قرار دادند. براساس نتایج حاصل از این مطالعه، عوامل انسانی رایج‌ترین عامل در تصادفات کامیون‌ها بودند، مداخلات جاده‌ای (مانند دوربرگردان‌ها، نصب چراغ‌های راهنمایی) و خودروبی (شامل کنترل پایداری الکترونیکی (ESC)^(۲۲) و ترمز اضطراری خودکار (AEB)^(۲۳)) بیشترین پتانسیل را برای پیشگیری و کاهش تصادفات کامیون‌ها داشتند (Doecke et al., 2024). تفحیم و چان در سال ۲۰۲۴، به مقایسه رویکردهای نمونه‌گیری مبتنی بر خوشه^(۲۴) برای داده‌های نامتعادل تصادفات شامل کامیون‌های بزرگ پرداختند (Tahfim & Chan, 2024). در این مقاله با استفاده رگرسیون لجستیک باینری (BLR)^(۲۵) به مدل‌سازی سطح شدت تصادفات و ارزیابی وزن متغیرهای مختلف پیش‌بینی کننده بر شدت آسیب پرداخته می‌شود.

در صورتی که باتوجه به ادبیات تحقیق موجود در این پژوهش ممکن است محققان از متغیرهای متفاوت دیگری مانند شرایط راننده (خستگی و غیره) و یا شرایط وسیله نقلیه (نقص لاستیک و غیره) برای تحلیل این گونه از سطح شدت تصادفات استفاده کرده باشند.

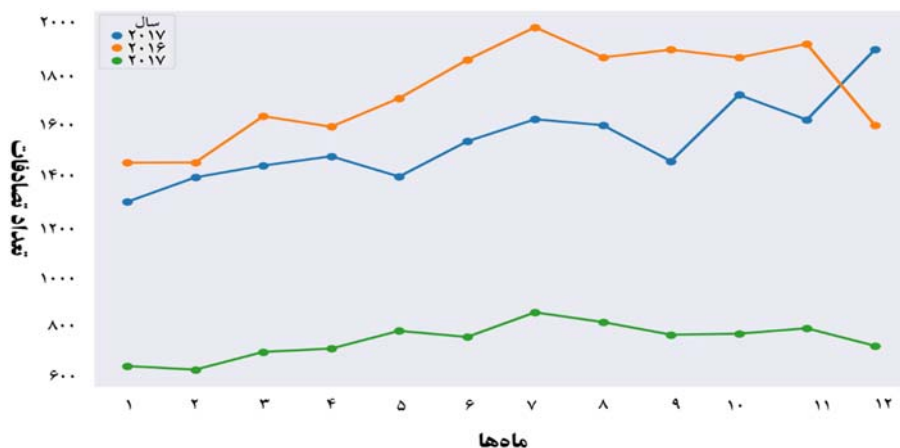
سرنشین و وسیله نقلیه از طریق ویژگی CASENO^{۳۲} با هم ادغام شدند و سپس فایل تصادف از طریق ویژگی CNTYRTE^{۳۳} با فایل جاده ادغام شده بود، پس از طی این مراحل یک پایگاه داده جامع متشکل از چهار فایل مذکور ادغام شده وجود دارد. همانطور که از قبل گفته شده است این پژوهش به مدل سازی تصادفات کامیونی می پردازد.

Dadvar et al., 2020; X. Song et al., 2020; Sun et al., 2022; Das et al., 2023; Okafor et al., 2023)

از اهمیت های این پژوهش آن است که از متغیرهای موجود در پایگاه داده HSIS مانند متغیرهای سن، جنسیت و غیره برای تحلیل سطح شدت تصادفات کامیونی استفاده شده است.

۲-۱-۲- نحوه دستیابی به داده ها و ادغام آنها

همانطور که از قبل گفته شده است، در این پژوهش از پایگاه داده مربوط به ایالت کالیفرنیا از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ که توزیع تصادفات پایگاه داده این پژوهش در سه سال ذکر شده بر حسب ماه در شکل ۱ نشان داده شده، استفاده شده است. این پایگاه داده شامل چهار فایل داده به ترتیب تصادف^{۲۸}، سرنشین^{۲۹}، جاده^{۳۰} و وسیله نقلیه^{۳۱} است. در آماده سازی داده های این پایگاه داده، باید چهار فایل ذکر شده با هم ادغام می شدند. فایل های تصادف،



شکل ۱. توزیع تصادفات پایگاه داده در سه سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ بر حسب ماه

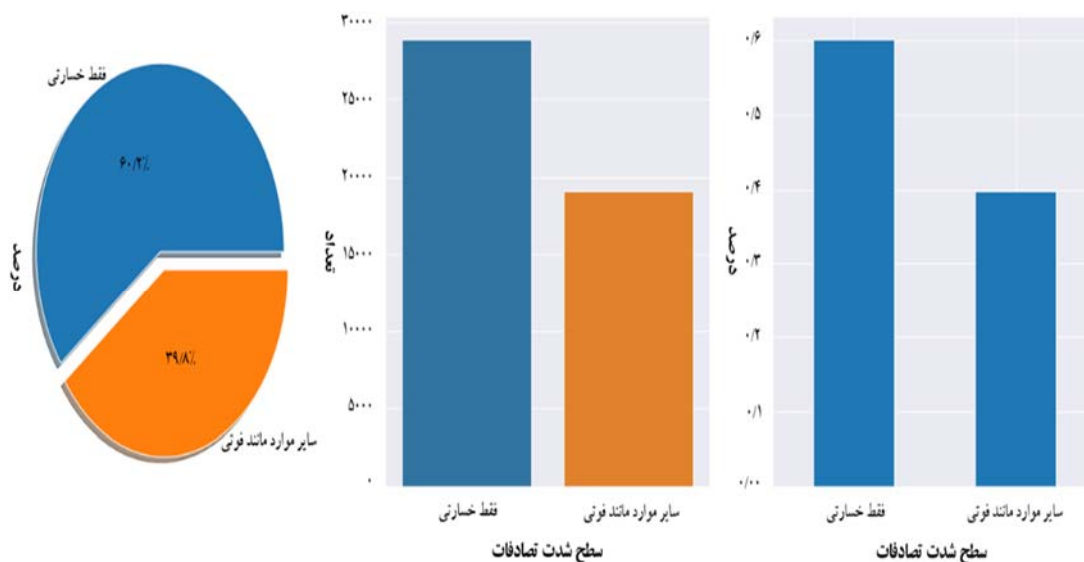
۲-۱-۳- متغیر وابسته

مخزن دار^{۳۹}، و کامیون/تریلر و دو تریلر مخزن دار^{۴۰} به عنوان کامیون در نظر گرفته شدند. ذکر این نکته حائز اهمیت است که وسایل نقلیه کامیونی با وسایل نقلیه سنگین نباید اشتباه در نظر گرفته شوند، زیرا وسایل نقلیه سنگین در این پایگاه داده علاوه بر این که کامیون های ذکر شده را در بر می گیرد وسایل نقلیه دیگری مانند اتوبوس، وسایل نقلیه اضطراری مانند آتش نشان ها را نیز در بر می گیرد. متغیر وابسته در این پژوهش سطح شدت تصادفات کامیونی بوده است. همانطور که از شکل ۲ مشخص است، درصد تصادفات در

در پایگاه داده ادغام شده که در قسمت قبل نحوه ادغام توضیح داده شده است، از متغیر VEHTYPE (نوع وسیله نقلیه در تصادف) موجود در فایل وسیله نقلیه، شروع به فیلتر کردن داده ها بر اساس نوع وسیله نقلیه کامیونی شده بود. باتوجه به مطالعات صورت گرفته، از این متغیر فقط وسایل نقلیه شامل: کامیون یا کامیون بارکش^{۴۱}، کامیون یا کامیون بارکش با یک تریلر^{۴۲}، کامیون یا کامیون بارکش با دو تریلر^{۴۳}، کامیون یا کامیون بارکش با سه تریلر^{۴۴}، تانکر تک واحدی^{۴۵}، کامیون/تریلر و یک تریلر

آسیب ناتوان‌کننده (معلولیت) و تلفات رانندگی» برای ارائه‌ی مقایسه بهتر و مناسب‌تر بین خروجی‌های حاصل از نتایج این دسته در مقایسه با دسته سطح شدت فقط خسارتی است. لازم به ذکر است که توضیحات مربوط به متغیرهای مستقل در بخش ۲-۱-۴ این پژوهش ارائه می‌شود.

سطح شدت فقط خسارتی ۶۰/۲٪ (تعداد ۲۸۸۸۶) و در سطح شدت دیگر موارد مانند فوتی در این پژوهش ۳۹/۸٪ (تعداد ۱۹۱۰۴) می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مجموع کل دسته سطح شدت تصادفات سایر موارد مانند فوتی تقریباً ۴۰٪ از کل پایگاه داده را تشکیل می‌دهد، که دلیل اصلی ادغام چهار سطح شدت «آسیب احتمالی، آسیب غیر ناتوان‌کننده (غیرمعلولیت)،



شکل ۲. درصد و تعداد توزیع سطوح مختلف شدت تصادفات

۲-۱-۴- متغیرهای مستقل

کاهش نیابد. پس از آماده‌سازی داده‌ها در مجموع ۲۷ متغیر با تعداد کل ۴۷۹۹۰ ردیف داده آماده تحلیل و مدل‌سازی شده بودند. در جدول ۱، آمار توصیفی و فراوانی هر یک از متغیرهای این پژوهش آورده شده است.

در این پژوهش متغیرهای مستقل ابتدا براساس فیلترهای نوع وسیله‌نقلیه کامیونی انتخاب شده و سپس متغیرهایی که دارای تعداد زیادی داده‌های گمشده بودند، حذف شدند تا تعداد کل ردیف‌های داده با کاهش داده مواجه نشوند و در نتیجه دقت مدل‌سازی‌ها

جدول ۱. جدول توصیفی و توزیع فراوانی متغیرهای وابسته و مستقل

فایل	نوع متغیر	متغیرهای وابسته	توصیف	میانگین	انحراف معیار
تصادف	سطح شدت تصادفات	$Y_{0,1}$ = متغیرهای پاسخ یا وابسته سطح شدت تصادف	اگر سطح شدت بدون جرح و یا فقط خسارت مالی (PDO) باشد $=0$ (Y=0)، در غیر این صورت اگر سایر سطوح شدت تصادف مانند فوتی باشد $=1$ (Y=1)	۰/۳۹۸۰۸۳	۰/۴۸۹۵۰۸
سر نشین	جنسیت سر نشین	X_1 = مرد	اگر سر نشین مرد باشد $=1$ ، در غیر این صورت $=0$	۰/۶۸۲۷۰۵	۰/۴۶۵۴۲۸
		زن (پایه)	اگر سر نشین زن باشد $=1$ ، در غیر این صورت $=0$	۰/۳۱۷۲۳۵	۰/۴۶۵۴۲۸
		X_2 = راننده بزرگسال (مسن سال)، سن بین ۶۶ تا ۱۰۰۱ سال	اگر راننده بزرگسال باشد $=1$ ، در غیر این صورت $=0$	۰/۰۶۵۴۵۱	۰/۲۴۷۳۳۳
وسیله نقلیه	سن راننده	X_3 = راننده میانسال، سن بین ۲۷ تا ۶۶ سال	اگر راننده میانسال باشد $=1$ ، در غیر این صورت $=0$	۰/۷۵۱۱۳۶	۰/۴۳۲۳۶۰
		راننده جوان، سن کمتر از ۲۷ سال (پایه)	اگر راننده جوان باشد $=1$ ، در غیر این صورت $=0$	۰/۱۸۳۴۱۳	۰/۳۸۷۰۰۹
	شرایط آب و هوایی	X_4 = آب و هوای صاف	اگر شرایط آب و هوایی صاف باشد $=1$ ، در غیر این صورت $=0$	۰/۸۲۶۱۳۰	۰/۳۷۶۰۰۱
		سایر شرایط آب و هوایی مانند برف (پایه)	اگر شرایط آب و هوایی سایر موارد باشد $=1$ ، در غیر این صورت $=0$	۰/۱۷۳۸۷۰	۰/۳۷۶۰۰۱
		X_5 = روز	اگر شرایط روشنایی روز باشد $=1$ ، در غیر این صورت $=0$	۰/۷۰۰۵۸۳	۰/۴۵۸۰۰۷
تصادف	شرایط روشنایی	سایر موارد مانند وجود پایه چراغ روشنایی در خیابانها (پایه)	اگر شرایط روشنایی سایر موارد باشد $=1$ ، در غیر این صورت $=0$	۰/۲۹۹۴۱۷	۰/۴۵۸۰۰۷
	وضعیت سطح جاده	X_6 = خشک	اگر وضعیت سطح راه خشک باشد $=1$ ، در غیر این صورت $=0$	۰/۹۱۸۱۷۰	۰/۲۷۴۱۰۸
		سایر موارد مانند مرطوب (پایه)	اگر وضعیت سطح جاده سایر موارد باشد $=1$ ، در غیر این صورت $=0$	۰/۰۸۱۸۳۰	۰/۲۷۴۱۰۸
جاده	نوع سطح روسازی	X_7 = آسفالت	اگر سطح روسازی آسفالتی باشد $=1$ ، در غیر این صورت $=0$	۰/۳۲۶۱۹۳	۰/۴۶۸۸۲۴

فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال بیست و یکم، دوره چهارم، شماره ۸۱، زمستان ۱۴۰۳

۰/۴۶۸۸۲۴	۰/۶۷۳۸۰۷	اگر سطح روسازی سایر موارد باشد=۱، در غیر این صورت=۰	سایر موارد مانند بتنی (پایه)	
۰/۳۰۶۱۲۸	۰/۱۰۴۶۶۸	اگر راه برون شهری باشد=۱، در غیر این صورت=۰	X8= برون شهری	نوع راه
۰/۳۰۶۱۲۸	۰/۸۹۵۳۳۲	اگر راه درون شهری باشد=۱، در غیر این صورت=۰	درون شهری (پایه)	
۰/۴۳۹۳۶۱	۰/۳۳۸۶۷۵	اگر منطقه از نوع هموار باشد=۱، در غیر این صورت=۰	X9= هموار	نوع منطقه
۰/۴۳۹۳۶۱	۰/۲۶۱۳۲۵	اگر منطقه از نوع سایر موارد باشد=۱، در غیر این صورت=۰	سایر موارد مانند کوهستانی (پایه)	مسیر
۰/۳۷۹۵۷۴	۰/۱۷۴۵۳۶	اگر تعداد خطوط کوچکتر یا برابر چهار خط باشد=۱، در غیر این صورت=۰	X10= کوچکتر یا برابر چهار خط	تعداد خطوط راه
۰/۳۷۹۵۷۴	۰/۸۲۵۴۶۴	اگر تعداد خطوط بیش از چهار خط باشد=۱، در غیر این صورت=۰	بیش از چهار خط (پایه)	
۰/۲۳۰۵۸۹	۰/۰۵۶۳۴۵	اگر شانه سمت راست عرض کم داشته باشد=۱، در غیر این صورت=۰	X11= عرض کم، عرض بین صفر فوت تا ۶ فوت	عرض شانه سمت راست
۰/۲۳۰۵۸۹	۰/۹۴۳۶۵۵	اگر شانه سمت راست عرض زیاد داشته باشد=۱، در غیر این صورت=۰	عرض زیاد، عرض بیش از ۶ فوت (پایه)	
۰/۳۸۸۰۴۵	۰/۱۸۴۶۸۴	بیش از ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر AADT اگر روز باشد=۱، در غیر این صورت=۰	X12= AADT بیش از ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز	
۰/۴۹۶۴۳۸	۰/۵۵۹۶۱۷	۱۰۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر AADT اگر روز باشد=۱، در غیر این صورت=۰	X13= AADT بین ۱۰۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز	AADT
۰/۴۳۶۲۵۸	۰/۲۵۵۶۹۹	کوچکتر یا برابر ۱۰۰۰۰۰ AADT اگر وسایل نقلیه بر روز باشد=۱، در غیر این صورت=۰	AADT کوچکتر یا برابر ۱۰۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز (پایه)	
۰/۱۳۷۴۱۸	۰/۹۸۰۷۴۶	سرعت زیاد باشد=۱، در غیر این صورت=۰ اگر	X14= سرعت طرح زیاد، برابر یا بیش از ۵۰ مایل بر ساعت	سرعت طرح
۰/۱۳۵۷۳۰	۰/۰۱۸۷۷۵	سرعت متوسط باشد=۱، در غیر این صورت=۰ اگر	X15= سرعت طرح متوسط، بین ۳۰ تا ۵۰ مایل بر ساعت	
۰/۰۲۱۸۸۷	۰/۰۰۰۴۷۹	سرعت کم باشد=۱، در غیر این صورت=۰ اگر	سرعت طرح کم، کمتر از ۳۰ مایل بر ساعت (پایه)	

رگرسیون لجستیک باینری می‌گیرد. برای متغیر پاسخ باینری y ، مدل رگرسیون لجستیک خطی به شکل زیر است.

$$\text{Logit}(P_i) = \log \left[\frac{P_i}{1 - P_i} \right] \quad (1)$$

$$= \alpha + \beta' X_i$$

P_i : احتمال ($y_i = y_1 | X_1$) احتمال پاسخ برای مدل سازی،

y_i : اولین مرتبه سطح y ،

α : پارامتر عرض از مبدأ،

β' : بردار پارامترهای شیب و

X_i : بردار متغیرهای پیش‌بینی کننده.

این معادله رگرسیون لجستیک، تبدیل لاجیت احتمال رویداد فرد را به عنوان یک تابع خطی از متغیرهای پیش‌بینی کننده در بردار X_i را مدل‌سازی می‌کند (Dissanayake & Lu, 2002).

۲-۲-۲- ارزیابی مدل رگرسیون لجستیک باینری

جدول طبقه‌بندی و معیارهای عملکرد مرتبط با آن: دقت، یادآوری، معیار F^3 ، ویژگی و صحت پارامترهایی هستند که برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی کننده‌ها در این مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدول ۲ ماتریس درهم ریختگی را نشان می‌دهد که در آن سطر و ستون به ترتیب کلاس مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد، درحالی که مقادیر در مورب، نمونه‌های پیش‌بینی شده درست را نشان می‌دهند. برای طبقه‌بندی چند طبقه، وقتی یک کلاس خاص به عنوان مثبت تشخیص داده می‌شود، کلاس باقی مانده به عنوان منفی شناخته می‌شود (Azhar et al., 2022).

جدول ۲. ماتریس درهم ریختگی

کلاس پیش‌بینی		کلاس مشاهده شده
خیر	بله	
منفی غیر واقعی (FN^{45})	مثبت واقعی (TP^{44})	بله
منفی واقعی (TN^{47})	مثبت غیر واقعی (FP^{46})	خیر

باتوجه به پارامترهای موجود در جدول طبقه‌بندی، فرمول‌های شاخص‌های ارزیابی به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\text{Sensitivity} = \text{Recall} = \text{TPR} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$\text{Specificity} = \text{TNR} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (3)$$

باتوجه به این که مدل‌سازی متغیرهای این پژوهش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک باینری صورت می‌گیرد، برای متغیرهای دامی^{۴۱} یا صفر و یکی، یک متغیر پایه برای هر دسته از متغیرها شناسایی شد و سپس از مدل حذف شدند (Greene, 2000; Liu, 2021). به عنوان مثال برای متغیر جنسیت متغیر با جنسیت زن از مجموعه داده‌ها حذف شده و تنها متغیر جنسیت از نوع مرد باقی می‌ماند. در نهایت پس از اعمال این نکته روی مجموعه داده‌ها، ۱۵ متغیر با ۴۷۹۹۰ ردیف داده برای تحلیل و مدل‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲-۲-۲- مدل‌سازی

۲-۲-۲-۱- مدل رگرسیون لجستیک باینری

با استفاده از رگرسیون لجستیک باینری، محققان می‌توانند پیش‌بینی کننده‌های مهم را شناسایی کرده و نسبت‌های شانس (ORs^{42}) مرتبط با هر پیش‌بینی کننده را تخمین بزنند و پیش‌بینی‌های ارزشمندی را در مورد احتمال وقوع تصادفات ارائه دهند (Harris, 2021). در مدل‌های رگرسیون لجستیک باینری، رابطه بین یک متغیر پاسخ باینری و یک یا چند متغیر پیش‌بینی کننده مدل‌سازی می‌شود. مدل رگرسیون لجستیک از متغیرهای پیش‌بینی کننده برای پیش‌بینی احتمالی که متغیر پاسخ مقدار معینی دریافت می‌کند، استفاده می‌کند. متغیر پاسخ یکی از دو مقدار باینری (۰ و ۱) را در مورد مدل‌های

-Accuracy: صحت یا دقت کل مدل‌سازی یک شاخص پرکاربرد است که نسبت مجموع تعداد نمونه‌هایی که به‌درستی در دسته‌های مثبت و منفی قرار گرفتند به تعداد کل نمونه‌های موجود در این دسته‌ها (حتی نمونه‌هایی که به اشتباهی در دو دسته مثبت و منفی قرار گرفتند) می‌باشد. این پارامتر نشان‌دهنده صحت کلی پیش‌بینی‌های مدل است.

۳- نتایج، ارزیابی و میزان بیش‌برازش مدل BLR

همان‌طور که گفته شده است در این پژوهش، متغیر وابسته سطح شدت تصادفات است و به‌دلیل این‌که سطح شدت تصادفات دارای دو سطح فقط خسارتی و سایر موارد که شامل فوتی، جرحی شدید، جرحی قابل مشاهده و شکایت از درد است، می‌باشد از بین روش‌های کلاسیک اقتصادسنجی روش رگرسیون لجستیک باینری مورد استفاده قرار گرفته شده است. در ادامه به نتایج و ارزیابی این نوع مدل‌سازی شروع مجموعه پایگاه داده این پژوهش پرداخته می‌شود.

۳-۱- نتایج مدل BLR و تفسیر آن

تأثیر هر متغیر بر سطح شدت تصادفات کامیونی در جدول ۳ آورده شده است. در ادامه با توجه به مقادیر موجود در این جدول برای هر متغیر به تفسیر آن‌ها پرداخته می‌شود.

هر یک از پارامترهای موجود در فرمول‌های بالا، در ادامه توضیح داده می‌شوند:

-مثبت صحیح یا True Positive (TR): بیانگر این است که اگر نمونه عضو دسته مثبت باشد، در واقعیت نیز عضو همین دسته تشخیص داده شده است.

-منفی کاذب یا False Negative (FN): بیانگر این است که اگر نمونه عضو دسته مثبت باشد، در واقعیت عضو کلاس منفی تشخیص داده شده است.

-منفی صحیح یا True Negative (TN): بیانگر این است که اگر نمونه عضو دسته منفی باشد، در واقعیت نیز عضو کلاس منفی تشخیص داده شده است.

-مثبت کاذب یا False Positive (FP): بیانگر این است که اگر نمونه عضو دسته منفی باشد، در واقعیت عضو کلاس مثبت تشخیص داده شده است.

-Sensitivity یا Recall: یادآوری یا نرخ پاسخ‌های مثبت صحیح ($TPR^{(8)}$)، به‌عنوان حساسیت نیز شناخته می‌شود، عبارت است از نسبت نتایج مثبت پیش‌بینی شده صحیح بر کل نتایج مثبت واقعی اندازه‌گیری شده می‌باشد.

-Specificity: خاصیت^۹ یا ویژگی یا نرخ پاسخ‌های منفی صحیح ($TNR^{(9)}$)، نسبت نمونه‌هایی که به درستی در دسته منفی قرار گرفتند به تعداد کل نمونه‌های موجود در این دسته (حتی نمونه‌هایی که به اشتباهی در دسته مثبت قرار گرفتند).

جدول ۳. نتایج مدل‌سازی BLR برای تصادفات کامیونی

نوع متغیر	نام متغیرها	b	S.E.	Wald	df	Sig	Exp(b)
جنسیت راننده	$X_1 = \text{مرد}$	۰/۰۵۷	۰/۰۲۰	۷/۹۱۳	۱	۰/۰۰۵	۱/۰۵۸
	$X_2 = \text{راننده}$						
سن راننده	بزرگسال، سن بین ۶۵ تا ۱۰۰ سال	۰/۰۰۲	۰/۰۴۳	۰/۰۰۱	۱	۰/۹۷۱	۱/۰۰۲

فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال بیست و یکم، دوره چهارم، شماره ۸۱، زمستان ۱۴۰۳

						$X_3 =$ راننده	
۰/۹۸۰	۰/۴۱۸	۱	۰/۶۵۵	۰/۰۲۴	-۰/۰۲۰	میانسال، سن بین ۲۷ تا ۶۵ سال	
۱/۱۴۶	۰/۰۰۰	۱	۱۹/۲۲۰	۰/۰۳۱	۰/۱۳۶	$X_4 =$ آب و هوای صاف	شرایط آب و هوایی
۱/۰۷۰	۰/۰۰۱	۱	۱۰/۸۶۷	۰/۰۲۱	۰/۰۶۸	$X_5 =$ روز	شرایط روشنایی
۱/۰۹۴	۰/۰۳۵	۱	۴/۴۳۲	۰/۰۴۳	۰/۰۹۰	$X_6 =$ خشک	وضعیت سطح جاده
۰/۸۹۷	۰/۰۰۰	۱	۲۴/۹۵۹	۰/۰۲۲	-۱/۰۹	$X_7 =$ آسفالت	نوع سطح روسازی
۱/۰۵۹	۰/۰۹۶	۱	۲/۷۷۷	۰/۰۳۵	۰/۰۵۸	$X_8 =$ برون شهری	نوع راه
۱/۰۹۴	۰/۰۳۵	۱	۴/۴۳۲	۰/۰۴۳	۰/۰۹۰	$X_9 =$ هموار	نوع منطقه مسیر
۱/۰۸۵	۰/۰۰۰	۱	۱۴/۰۵۷	۰/۰۲۲	۰/۰۸۲	$X_{10} =$ کوچکتر یا برابر چهار خط	تعداد خطوط راه
۰/۹۵۰	۰/۲۱۰	۱	۱/۵۷۰	۰/۰۴۱	-۰/۰۵۱	$X_{11} =$ عرض کم، عرض بین صفر فوت تا ۶ فوت	عرض شانه سمت راست
۱/۳۴۱	۰/۰۰۰	۱	۵۷/۸۵۲	۰/۰۳۹	۰/۲۹۳	$X_{12} =$ AADT بیش از ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز	AADT
۱/۲۰۲	۰/۰۰۰	۱	۳۱/۱۱۴	۰/۰۳۳	۰/۱۸۴	$X_{13} =$ AADT بین ۱۰۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز	
۱/۹۲۴	۰/۱۲۷	۱	۲/۳۳۲	۰/۴۲۹	۰/۶۵۴	$X_{14} =$ سرعت زیاد، بیش از ۵۰ مایل بر ساعت	سرعت طرح
۱/۳۸۴	۰/۴۵۳	۱	۰/۵۶۳	۰/۴۳۳	۰/۳۲۵	$X_{15} =$ سرعت متوسط، بین ۳۰ تا ۵۰ مایل بر ساعت	
۰/۵۱۶	۰/۱۲۶	۱	۲/۳۴۳	۰/۴۳۲	-۰/۶۶۱	عرض از مبدأ	

b: این پارامتر به عنوان ضریب^{۵۱} رگرسیون نیز شناخته می شود. این متغیر نشان دهنده تأثیر متغیر مستقل بر متغیر وابسته است. ضریب رگرسیون با افزایش مثبت یا منفی آن، نشان دهنده

در جدول بالا که خروجی نتایج مدل سازی به روش BLR، را نشان می دهد، پارامترهایی را نشان می دهد که در ادامه به توضیح هر یک از این پارامترها پرداخته می شود.

ضریب ۲/۵ افزایش می‌یابد و همهی متغیرهای دیگر را ثابت نگه می‌دارد. این مورد را می‌توان به‌عنوان افزایش ۱۵۰٪ در شانس متغیر نتیجه برای هر افزایش یک واحدی در متغیر پیش‌بینی تفسیر کرد. در ادامه به تفسیر خروجی مدل‌سازی روش رگرسیون لوجستیک پرداخته می‌شود. لازم بذکر است که پارامتر ضریب توانی علاوه بر $\text{Exp}(b)$ با OR (نسبت بخت^{۵۶}) نیز نمایش داده می‌شود.

همان‌طور که قبلاً گفته شده است، معنادار بودن یک متغیر از طریق پارامتر Sig مشخص می‌شود به‌گونه‌ای که اگر مقدار این پارامتر برای یک متغیر کوچکتر یا مساوی ۰/۰۵ ($\text{Sig}=0/05$) باشد آنگاه آن متغیر معنادار است ولی اگر مقدار آن بزرگتر از ۰/۰۵ باشد آن متغیر دیگر معنادار نبوده و در مورد تأثیر مثبت و منفی آن در مدل‌سازی نمی‌توان با قطعیت بحث کرد، بنابراین در این قسمت به تفسیر متغیرهایی که معنادار هستند پرداخته می‌شود. حالت پایه برای سطح شدت تصادفات کامیونی، سایر موارد یعنی سطح شدت‌های فوتی، جرحی شدید، جرحی قابل مشاهده و شکایت از درد می‌باشد به‌گونه‌ای که اگر یک متغیر مانند متغیر X معنادار باشد و مقدار $\text{Exp}(b)$ برابر با ۲/۴۶ باشد همچنین اگر ضریب رگرسیون برای آن مثبت باشد آنگاه تفسیر این مورد به این صورت است که متغیر X تقریباً ۲/۵ برابر حالت پایه خود باعث افزایش سطح شدت تصادفات کامیونی از نوع فقط خسارتی نسبت به سطح شدت تصادفات سایر موارد مانند فوتی می‌شود، بنابراین برای کاهش سطح شدت تصادفات فقط خسارتی باید اقدامات ایمنی بر روی متغیر X لحاظ گردد. باتوجه به این مثال و همچنین پارامترهای موجود در جدول ۳، به تفسیر هر یک از متغیرهای معنادار و تأثیرگذار بر سطح شدت تصادفات کامیونی پرداخته می‌شود. باتوجه به جدول ۳، متغیرهایی که شامل سن راننده، عرض شانه سمت راست و سرعت طرح هستند دارای سطح معناداری بیشتر از ۰/۰۵ هستند یعنی از لحاظ آماری معنادار نبوده و همان‌طور که قبلاً گفته شده است با قطعیت نمی‌توان در مورد تأثیر آن‌ها روی سطح شدت تصادفات کامیونی بحث کرد بنابراین در ادامه از تفسیر این متغیرها صرفه نظر کرده اما در این‌جا فقط یک مورد برای مثال تفسیر می‌شود، متغیر سن هر چند در هر دو سطح بزرگسال و میانسال از نظر آماری معنادار نمی‌باشد

افزایش یا کاهش احتمال بروز رویداد مورد نظر است. S.E: این پارامتر به‌عنوان انحراف استاندارد^{۵۲} یک متغیر شناخته می‌شود. در واقع، انحراف استاندارد نشان‌دهنده میزان واریانس پارامتر است و می‌تواند به‌عنوان اندازه‌گیری اطمینان از دقت پارامترهای به‌دست آمده از مدل استفاده شود.

Wald: این پارامتر به‌عنوان آماره نیز شناخته می‌شود. این پارامتر برای آزمایش فرضیه صفر (H_0) که بیانگر این است که پارامتری که مدل برای آن به‌دست آورده است در واقع هیچ تأثیری بر روی متغیر وابسته ندارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار بزرگتر از ۱/۹۶ معمولاً برای رد فرضیه صفر استفاده می‌شود.

df: این پارامتر به‌عنوان درجه آزادی^{۵۳} شناخته می‌شود که بیانگر تعداد مقادیر مستقل در مدل رگرسیون لجستیک باینری است. در این پژوهش نتایج برای دسته پایه هر متغیر آورده نشده است به‌همین علت درجه آزادی برای متغیرهایی که در جدول ۳ نشان داده شده است دارای مقدار یک است، به‌عبارت دیگر اگر نتایج حالت پایه به‌طور مثال برای متغیر AADT کوچکتر یا برابر ۱۰۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز آورده می‌شد، در جدول ۳ مقدار درجه آزادی برای آن مقدار ۲ قرار می‌گرفت.

Sig: این پارامتر به‌عنوان سطح اهمیت آماری^{۵۴} شناخته می‌شود که میزان اطمینانی که در خصوص معناداری ضریب رگرسیون دارد را باید کمتر از ۰/۰۵ نشان دهد تا بتوان ضریب رگرسیون را به‌عنوان معنادار بودن آن پذیرفت. لازم بذکر است که پارامتر ضریب رگرسیون علاوه بر Sig با P-value نیز نمایش می‌دهند.

$\text{Exp}(b)$: ضریب نمایی^{۵۵} آنتی لوگ ضریب تخمینی در معادله رگرسیون لجستیک است. این ضریب نشان می‌دهد که آیا هر متغیر ورودی پاسخ خروجی را افزایش می‌دهد و یا کاهش می‌دهد. به‌عنوان مثال، اگر $\text{Exp}(b)$ برای یک متغیر پیش‌بینی کننده برابر با ۲/۵ باشد، به این معنی است که شانس متغیر نتیجه به ازای هر یک واحد افزایش در متغیر پیش‌بینی کننده،

برون‌شهری تقریباً ۱/۰۶ برابر راه‌های درون‌شهری باعث افزایش سطح شدت تصادفات کامیونی از نوع فقط خسارتی می‌شود. متغیرهای منطقه مسیر از نوع هموار و تعداد خطوط راه که کوچکتر یا مساوی چهار خط می‌باشند نیز هر کدام تقریباً ۱/۰۹ به ترتیب در برابر سایر انواع مسیر مانند کوهستانی و تعداد خطوط بزرگتر از چهار خط باعث افزایش سطح شدت تصادفات فقط خسارتی در مقابل سطح شدت تصادفات از نوع سایر موارد مانند فوتی می‌شوند. متغیر AADT در هر دو سطح یعنی AADT بیش از ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز و AADT بین ۱۰۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز دارای ضرایب رگرسیونی مثبت هستند بنابراین هر کدام دارای تأثیر مستقیم بر سطح شدت تصادفات کامیونی هستند به گونه‌ای که AADT بیش از ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز به میزان ۱/۳۴ و AADT بین ۱۰۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز به میزان ۱/۲۰ برابر AADT کوچکتر یا برابر ۱۰۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز باعث افزایش سطح شدت تصادفات کامیونی از نوع فقط خسارتی می‌گردند. باتوجه به توضیحات بالا، سه متغیری که نسبت به سایر متغیرها دیگر در این پژوهش دارای اهمیت بیشتر هستند، شامل: آب‌وهوا در شرایط صاف نسبت به آب‌وهوا سایر موارد مانند حالت برفی، AADT در دو حالت بیش از ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز و بین ۱۰۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز نسبت به AADT کمتر از ۱۰۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز می‌باشند. یکی از دلایل اهمیت متغیر آب‌وهوا در شرایط صاف نسبت به آب‌وهوا سایر موارد مانند حالت برفی طبق جدول ۱، به‌خاطر فراوانی تصادفات در شرایط صاف (میانگین تصادفات در این دسته ۰/۸۲۶۱۳۰) نسبت به شرایط سایر موارد مانند حالت برفی (میانگین تصادفات در این دسته ۰/۱۷۳۸۷۰) است. از دلایل اهمیت متغیرهای AADT در دو حالت بیش از ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز و بین ۱۰۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز نسبت به AADT کمتر از ۱۰۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز به دلیل وجود حجم زیادی از وسایل نقلیه در ارتباط احتمالی با مواردی مانند فاصله بین وسایل نقلیه و یا سرعت آن‌ها (مانند حجم زیادی از وسایل نقلیه در راه با وجود سرعت زیاد آن‌ها و یا فاصله کم که احتمال وقوع تصادفات کامیونی را بیشتر می‌کند) در راه است که می‌توان با سرمایه‌گذاری بر روی

اما به‌طور مثال رانندگان میانسال نسبت به رانندگان جوان باتوجه به این‌که ضریب رگرسیون برای رانندگان میانسال منفی است ۱/۰۲ برابر دارای احتمال بیشتری در افزایش سطح شدت تصادفات کامیونی از نوع سایر موارد مانند فوتی دارند ($\text{Sig or P - Val} > 0.05, b = -0.020, \frac{1}{OR} = \frac{1}{0.98}$) (1.02). باتوجه به نکته ذکر شده در ادامه فقط به تفسیر متغیرهایی در مدل‌سازی رگرسیون لجستیک باینری پرداخته می‌شود که از نظر آماری معنادار بوده، بنابراین از ذکر معنادار بودن هر متغیر در تفسیر آن برای جلوگیری از تکرار خوداری می‌شود (متغیر معنادار از لحاظ آماری: $\text{Sig or P - Val} \leq 0.05$).

متغیر جنسیت مرد یک متغیر معنادار ($\text{Sig} = ۰/۰۵$) و دارای ضریب رگرسیون مثبت ($b = ۰/۰۵۷$) است، بنابراین متغیر مرد دارای تأثیر مستقیم روی سطح شدت تصادفات کامیونی است به گونه‌ای که مردان ۱/۰۵۸ برابر زنان باعث احتمال وقوع بیشتر سطح شدت تصادفات از نوع فقط خسارتی برای کامیون‌ها نسبت به سطح شدت تصادفات کامیونی از نوع سایر موارد مانند فوتی می‌شوند. متغیر آب‌وهوای صاف نسبت به سایر شرایط آب‌وهوایی مانند برفی یا بارانی تقریباً ۱/۲ برابر باعث افزایش سطح شدت تصادفات فقط خسارتی در مقابل سطح شدت تصادفات سایر موارد مانند فوتی می‌گردد. متغیر شرایط روشنایی در روز نسبت به سایر شرایط روشنایی دیگر مانند شب همراه با پایه چراغ در سطح خیابان‌ها نیز باعث افزایش سطح شدت تصادفات فقط خسارتی به میزان ۱/۰۷۰ در برابر سایر موارد از سطح شدت تصادفات مانند فوتی می‌گردد. متغیر وضعیت سطح جاده از نوع خشک تقریباً ۱/۰۹ برابر سایر وضعیت‌های سطح جاده مانند مرطوب باعث افزایش سطح شدت تصادفات فقط خسارتی می‌گردد. متغیر نوع سطح روسازی دارای ضریب رگرسیونی منفی است ($b = -1.09$)، بنابراین باعث تأثیر عکس روی سطح شدت تصادفات می‌شود به گونه‌ای که سطح روسازی آسفالتی ۱/۱ برابر سطح روسازی بتنی سبب افزایش احتمال سطح شدت تصادفات سایر موارد مانند فوتی نسبت به سطح شدت تصادفات فقط خسارتی می‌گردد ($\frac{1}{\text{Exp}(b)} = \frac{1}{0.897} = 1.11$). متغیر نوع راه همانند اکثر متغیرهای ورودی به مدل باعث افزایش سطح شدت تصادفات فقط خسارتی می‌گردد، به گونه‌ای که راه‌های

۲-۳- ارزیابی مدل BLR

ارزیابی روش BLR از طریق جدول طبقه‌بندی^{۵۷} که از نتایج مهم در تحلیل این روش می‌باشد، استفاده می‌شود. برای به دست آوردن پارمترهای حساسیت (نرخ پاسخ‌های مثبت صحیح^{۵۸})، ویژگی (نرخ پاسخ‌های منفی صحیح) و دقت مدل مناسب است که از نقطه برش^{۵۹} ۰/۵ در تنظیمات این روش از مدل‌سازی در نرم‌افزار SPSS استفاده شود (Statistics, 2022). در این پژوهش نیز نقطه برش ۰/۵ لحاظ شده است. در ادامه به خروجی و تفسیر جدول طبقه‌بندی مدل‌سازی یعنی جدول ۴ پرداخته می‌شود.

جدول ۴. جدول طبقه‌بندی در مدل‌سازی BLR

ویژگی / حساسیت	سطح شدت		متغیرهای مشاهده شده
	فقط خسارتی	سایر موارد مانند فوتی	
۳/۸	۱۸۳۷۸	۷۲۶	سایر موارد سطح شدت مانند فوتی
۹۷/۶	۲۸۱۸۹	۶۹۷	فقط خسارتی
۶۰/۳			دقت مدل

بالاتر از ۰/۵ باشد، آن تصادف در سطح شدت تصادفات فقط خسارتی است. ۷۲۶ تصادف در سطح شدت تصادفات سایر موارد مانند فوتی بودند که مدل BLR نیز آن‌ها را به درستی در سطح شدت تصادفات سایر موارد مانند فوتی (احتمال قرار گرفتن تصادف در سطح شدت تصادفات سایر موارد مانند فوتی کمتر از ۰/۵) قرار داده بود. اما برای ۱۸۳۷۸ تصادف به اشتباه در سطح شدت تصادفات فقط خسارتی قرار داده بود. بنابراین درصد درستی^{۶۰} یا پارامتر ویژگی (نرخ پاسخ‌های منفی صحیح) برای تصادفاتی که در سطح شدت سایر موارد مانند فوتی قرار گرفته بودند برابر ۳/۸٪ به دست آمده بود.

کاهش تأثیرات این متغیرها در جهت کم شدن تصادفات کامیونی منجر به فقط خسارتی شد تا حدودی باعث افزایش ایمنی تصادفات کامیونی شد، به عنوان مثال برای کاهش حجم وسایل نقلیه عبوری می‌توان تعداد خطوط راه را زیاد کرد (باتوجه به مسائل توجیهات اقتصادی) و یا این‌که در صورت امکان از عبور وسایل نقلیه تک سرنشین جلوگیری کرد.

همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است، در سطرها تعداد تصادفات مشاهده شده در سطح شدت سایر موارد مانند فوتی برابر ۱۹۱۰۴ و تعداد تصادفات مشاهده شده برای سطح شدت فقط خسارتی برابر ۲۸۸۸۶ است. در ستون‌ها نیز تعداد تصادفات پیش‌بینی شده در سطح شدت سایر موارد مانند فوتی برابر ۱۴۲۳ و تعداد تصادفات پیش‌بینی شده برای سطح شدت فقط خسارتی برابر ۴۶۵۶۷ است. این تعداد بر مبنای نقطه برش ۰/۵ که از قبل نیز گفته شده است، می‌باشد. نقطه برش در این‌جا به این معناست، تصادفاتی که احتمال رخداد آن در سطح شدت تصادفات کمتر از ۰/۵ باشد، آن تصادف در سطح شدت تصادفات سایر موارد مانند فوتی است و برای تصادفاتی که احتمال رخداد آن در سطح شدت تصادفات

$$\text{Specificity} = \text{Percentage Correct}_{(\text{BLR,Other})} = \left(\frac{726}{726+18378} \right) \times 100 = 3.8\%$$

سطح شدت تصادفات سایر موارد مانند فوتی قرار داده بود. بنابراین درصد درستی یا همان پارامتر حساسیت (نرخ پاسخ‌های مثبت صحیح) برای تصادفاتی که در سطح شدت تصادفات فقط خسارتی قرار گرفته بودند برابر ۹۷/۶٪ گزارش شده بود. به رابطه زیر توجه شود.

$$\text{Sensitivity} = \text{Percentage Correct}_{(\text{BLR}, \text{PDO})} = \left(\frac{28189}{28189+697} \right) \times 100 = 97.6\%$$

دقت مدل یا درصد کلی^{۶۱} برای مدل‌سازی BLR برابر با ۶۰/۳٪ به دست آمده بود و بیانگر این است که مدل‌سازی به روش BLR برای پایگاه داده این پژوهش مناسب است. به رابطه زیر توجه شود.

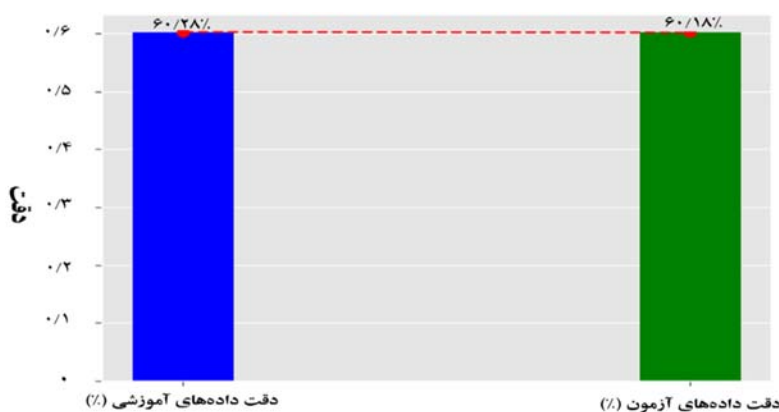
$$\text{Accuracy} = \left(\frac{726+28189}{726+18378+28189+697} \right) \times 100 = 60.3\%$$

کارایی و مناسب بودن آن مدل است. در این پژوهش، ۷۰٪ از داده‌ها برای داده‌های آموزشی و ۳۰٪ از داده‌ها برای داده‌های آزمون در مدل‌سازی اختصاص یافتند. همان‌طور که از شکل ۳ مشخص است، بیش‌برازش رخ داده شده مربوط به مدل BLR به مقدار کمی است به گونه‌ای که اختلاف بین دقت داده‌های آزمون و آموزشی مربوط به این مدل ۰/۱٪ است و حتی دقت مدل‌سازی برای داده‌های آزمون از داده‌های آموزشی بیشتر است. بنابراین این موارد نشان‌دهنده مناسب بودن این نوع مدل‌سازی برای مجموعه داده‌های این پژوهش است.

اگر به سطر سطح شدت تصادفات فقط خسارتی توجه شود، ۲۸۱۸۹ تصادف در سطح شدت تصادفات فقط خسارتی قرار دارند به گونه‌ای که مدل BLR نیز آن‌ها را به درستی در دسته سطح شدت تصادفات فقط خسارتی (احتمال قرار گرفتن تصادف در سطح شدت تصادفات سایر موارد مانند فوتی بیش از ۰/۵) قرار داده بود. اما برای ۶۹۷ تصادف به اشتباه در دسته

۴- بیش‌برازش مدل BLR

بیش‌برازش عبارت است از آموزش دیدن بیش از اندازه مدل با داده‌های آموزش که قابلیت تعمیم مدل را از بین ببرد. بیش‌برازش موجب می‌شود مدل برای داده‌های آزمون و جدید، پاسخ غلط بدهد. یکی از راه‌های تشخیص بیش‌برازش رخ داده شده روی داده‌ها، بررسی و مقایسه دقت مدل‌سازی روی داده‌های آموزشی و آزمون است، به گونه‌ای که هرچه اختلاف بین این دو نوع دقت کمتر باشد به این معناست که بیش‌برازش رخ داده شده توسط مدل روی داده‌ها کمتر می‌باشد و یا به عبارت دیگر مدل‌سازی با وجود داده‌های جدید و آزمون دارای خطای کمتری بوده و نشان‌دهنده



شکل ۳. بیش‌برازش مدل BLR

۵- نتیجه‌گیری

در سراسر جهان تصادفات کامیونی به دلیل حجم و اندازه این‌گونه از وسایل نقلیه، دارای بیشترین سطح شدت تصادفات از نظر خسارتی، فوتی و غیره می‌باشند. به همین علت در این پژوهش به بررسی و تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سطح شدت تصادفات کامیونی پرداخته شده است. در این پژوهش برای مدل‌سازی سطح شدت تصادفات از مدل‌سازی BLR استفاده شده است و همچنین سعی شده است تا از عوامل تأثیرگذار بر سطح شدت تصادفات کامیونی در چهار فایل موجود در پایگاه داده HSIS یعنی سرنشین، وسیله نقلیه، تصادف و جاده مورد استفاده شود. متغیرهای اصلی این پژوهش شامل یک متغیر جنسیت سرنشین از فایل سرنشین، یک متغیر سن راننده از فایل وسیله نقلیه، سه متغیر شرایط آب‌وهوایی، شرایط روشنایی و وضعیت سطح جاده از فایل تصادف و هفت متغیر نوع سطح روسازی، نوع راه، نوع منطقه مسیر، تعداد خطوط راه، عرض شانه سمت راست، AADT و سرعت طرح از فایل جاده هستند. لازم به ذکر است که در این پژوهش، سطح شدت تصادفات کامیونی در دو سطح شامل (۱) تصادفات فقط خسارتی (PDO) و (۲) سایر موارد مانند سطح شدت فوتی تقسیم‌بندی شده‌اند، به‌گونه‌ای که عملکرد مدل‌سازی BLR براساس این نوع تقسیم‌بندی صورت گرفته است و در این مدل‌سازی سطح شدت سایر موارد مانند فوتی به‌عنوان حالت پایه در نظر گرفته شده است. همچنین در این پژوهش، ارزیابی و بیش‌برازش مدل‌سازی BLR نیز مورد ارائه قرار گرفته است.

باتوجه به روش مدل‌سازی BLR ارائه شده در این پژوهش و بررسی و تعیین مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر سطح شدت تصادفات کامیونی، موارد قابل نتیجه‌گیری شده از نتایج این پژوهش به صورت زیر خواهد بود:

-باتوجه به مدل‌سازی BLR، به‌ترتیب متغیرهای آب‌وهوایی

صاف، AADT در دو حالت بیش از ۲۵۰۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز و بین ۱۰۰۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰۰ وسایل نقلیه بر روز، خشک بودن سطح جاده و هموار بودن منطقه مسیر، تعداد خطوط راه کوچکتر یا برابر چهار خط، روز بودن مسیر از نظر روشنایی، برون‌شهری بودن راه، مرد بودن راننده و سطح روسازی آسفالتی از لحاظ آماری معنادار بودند (بالعکس متغیرهای سن راننده، عرض شانه سمت راست و سرعت طرح که از لحاظ آماری معنادار نبودند) یا به عبارت دیگر افزایش آن‌ها نسبت به سطح پایه باعث افزایش احتمال وقوع سطح شدت تصادفات از نوع فقط خسارتی نسبت به سطح شدت تصادفات از نوع سایر موارد مانند فوتی برای کامیون‌ها می‌شوند.

-باتوجه به بخش تاریخچه ادبیات این پژوهش، در برخی از پژوهش‌ها همانند این پژوهش متغیرهایی مثل متغیرهای بالا جزء مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر سطح شدت تصادفات کامیونی بودند که عبارت است از: (Young & Liesman, 2007b; Zhu & Srinivasan, 2011; Naik et al., 2016; Uddin & Huynh, 2018; Azimi et al., 2020; Haq et al., 2020b; Azimi et al., 2022; Feknsa et al., 2023; Safar et al., 2024; Nasim Khan et al., 2024)

-باتوجه به پارامترهای ویژگی و حساسیت می‌توان دریافت کرد که مدل‌سازی BLR در قرار دادن تصادفات در سطح شدت تصادفات فقط خسارتی به میزان بیشتری نسبت به سطح شدت تصادفات سایر موارد مانند فوتی موفق بوده است.

-دقت کلی مدل‌سازی BLR برابر ۶۰/۳٪ است که نشان از مناسب بودن این نوع مدل‌سازی بر روی مجموعه پایگاه داده‌های این پژوهش است.

-میزان بیش‌برازش مدل‌سازی BLR برای پایگاه داده این پژوهش ۰/۱٪ است، که نشان از توانایی بالای این نوع مدل‌سازی در برابر تشخیص داده‌های جدید است.

۶- پانویس ها

1. U.S. Department Of Transportation
2. Multiple Combination Trucks
3. Large-Truck
4. Geographic Information Systems
5. Portable Changeable Message Sign
6. Run-Off-Road

۷- کامیون های حامل مواد خطرناک مانند سوخت بنزین را کامیون های HAZMAT می گویند.

8. Under Dark-Unlighted Conditions
9. Under Dark-Lighted Conditions
10. Single-Vehicle Truck
11. Significant
12. Random Parameter Ordered Logit Model
13. Cargo Tank Trucks

۱۴- اصلاحات بیش از حد یا Overcorrections به مانورهای ناگهانی و بیش از حد فرمان توسط رانندگان برای تغییر مسیر کامیون در سرعت های بالا اشاره دارد. این رفتار می تواند منجر به بی ثباتی و افزایش خطر تصادفات واژگونی، به ویژه در جاده های چالش برانگیز با شرایط آب و هوایی نامطلوب شود.

۱۵- بزرگراه بین ایالتی ۸۰ در وایومینگ دارای درصد بالایی از کامیون ها به دلیل موقعیت جغرافیایی است.

۱۶- ناهمگونی فضایی یا Spatial heterogeneity در این جا به این معناست که ممکن است حمل و نقل کالا در یک ناحیه از یک منطقه از سایر ناحیه های آن منطقه به دلایل خاصی از جمله رونق اقتصادی در آن ناحیه بیشتر باشد.

17. Directional, semi-directional and loop
18. Decision tree model
19. Structural equations

۲۰- شبکه عصبی عمیق ResNet-50 یکی از معروف ترین معماری های شبکه عصبی عمیق است که برای کاربردهای بینایی کامپیوتری و تشخیص تصاویر استفاده می شود. معماری ResNet-50 از شبکه های انتقالی عمیق (Deep Convolutional Neural Networks) و شامل ۵۰ لایه عمیق است که از بلوک های باقی مانده (Residual Blocks) تشکیل شده است. مزیت اصلی این معماری در مقایسه با شبکه های عمیق دیگر، امکان آموزش مدل های عمیق با تعداد لایه های بیشتر بدون مشکلاتی مانند محو شدن گرادینان (Vanishing Gradient) است.

۲۱- درجات عمودی یا Vertical grades، که به شیب یا نزول جاده اشاره دارد، می توانند در موارد زیر بر شدت تصادفات کامیون های سنگین اثر بگذارند: کنترل کمتر رانندگان، چالش های ترمز، سرعت نامناسب، خطرات ناشی از شیب (مانند ریزش سنگ و غیره)، اختلال در تراکم ترافیک.

- 22 Electronic stability control
- 23 Autonomous emergency braking
- 24 Cluster-Based Sampling Approaches
- 25 Binary logistic regression
- 26 Highway Safety Information System
- 27 Federal Highway Administration
- 28 Accident
- 29 Occupant
- 30 Roadway
- 31 Vehicle

۳۲- CASENO مخفف "Case number" است که یک شماره شناسایی است که به هر حادثه در فایل تصادف اختصاص داده می شود.

از شماره فایل برای پیوند دادن فایل تصادف با سایر فایل‌ها مانند خودرو و سرنشین استفاده می‌شود.

۳۳ CNTYRTE مخفف "Country route" است که یک شناسه راه است که در فایل جاده استفاده می‌شود. متغیر CNTYRTE نشان دهنده شماره مسیر شهرستان از بخش جاده است که در آن تصادف رخ داده است. متغیر CNTYRTE برای پیوند فایل جاده با فایل تصادف به منظور تحلیل رابطه بین ویژگی‌های جاده و وقوع تصادف استفاده می‌شود.

- 34 .Truck or Truck Tractor
- 35 .Truck or Truck Tractor With 1 Trailer
- 36 .Truck or Truck Tractor With 2 Trailers
- 37 .Truck or Truck Tractor With 3 Trailers
- 38 .Single Unit Tanker
- 39 .Truck/ Trailer and 1 Tank Trailer
- 40 .Truck/ Trailer and 2 Tank Trailers
- 41 .Dummy variable
- 42 .Odds ratios
- 43 F-measure
- 44 .True positive
- 45 .False negative
- 46 .False positive
47. True negative
- 48 .True-positive rate
- 49 .Specificity
- 50 .True-negative rate
- 51 .Coefficient
- 52 .Standard Error
53. Degree of freedom
- 54 .Significance level
55. Exponentiated coefficient
56. Odds Ratio
- 57 .Classification Table
- 58 .Sensitivity
- 59 .Cutoff
60. Percentage Correct
61. Overall Percentage

۷-مراجع

Prevention, 102, 93–100.

doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.024

-Alrejfal, A., Farid, A., & Ksaibati, K. (2021). A correlated random parameters approach to investigate large truck rollover crashes on mountainous interstates. *Accident Analysis & Prevention*, 159, 106233.

[doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106233](https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106233)

-Abdi, A., & O'Hern, S. (2024). *Investigating the severity of single-vehicle truck crashes under different crash types using mixed logit models*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022437523002049>

-Al-bdairi, N. S. S., & Hernandez, S. (2017). An empirical analysis of run-off-road injury severity crashes involving large trucks. *Accident Analysis and*

multilane roadways.

-Dissanayake, S., & Lu, J. (2002). Analysis of Severity of Young Driver Crashes. 02, 108–114.

-Doecke, S. D., Elsegood, M. E., Thompson, J. P., Ponte, G., Edwards, S. A., & Donovan, S. O. (2024). Preventing and mitigating truck crashes : results from 100 in-depth no-blame truck crash investigations. chrome-extension://hmigninkgibhdckiaphhmbgcghochdjic/pdf/js/web/viewer.html?file=file%3A%2F%2F%2FC%3A%2FUsers%2FMARKAZI%2FDownloads%2FCA SR216.pdf

-Feknsa, N., Venkataraman, N., Shankar, V., & Ghebrab, T. (2023). Unobserved heterogeneity in ramp crashes due to alignment, interchange geometry and truck volume: Insights from a random parameter model. *Analytic Methods in Accident Research*, 37, 100254.

doi.org/https://doi.org/10.1016/j.amar.2022.100254

-Gaweesh, S., U. Ahmed, I., & M. Ahmed, M. (2024). Assessment of Large Trucks Crash Severity on a Rural Interstate Road in Wyoming Using Decision Trees and Structural Equation Model.

-Greene, W. H. (2000). Adoption and Intensity of Row-Seeding (Case of Wolaita Zone).

-Haq, M. T., Ampadu, V.-M. K., & Ksaibati, K. (2023). An investigation of brake failure related crashes and injury severity on mountainous roadways in Wyoming. *Journal of Safety Research*, 84, 7–17.

doi.org/10.1016/j.jsr.2022.10.003

-Haq, M. T., Zlatkovic, M., & Ksaibati, K. (2020a). Investigating occupant injury severity of truck-involved crashes based on vehicle types on a mountainous freeway: A hierarchical Bayesian random intercept approach. *Accident Analysis & Prevention*, 144, 105654.

doi.org/10.1016/j.aap.2020.105654

-Haq, M. T., Zlatkovic, M., & Ksaibati, K. (2020b). Investigating occupant injury severity of truck-involved crashes based on vehicle types on a mountainous freeway: A hierarchical Bayesian random intercept approach. *Accident Analysis &*

doi.org/10.1016/j.aap.2020.105654

-Harris, J. K. (2021). Primer on binary logistic regression. *Family Medicine and Community Health*, 9(Suppl 1). **doi.org/10.1136/fmch-2021-001290**

-Iranitalab, A., & Khattak, A. (2020). Probabilistic classification of hazardous materials release events in train incidents and cargo tank truck crashes. *Reliability Engineering & System Safety*, 199, 106914.

doi.org/10.1016/j.res.2020.106914

-Iranitalab, A., Khattak, A., & Bahouth, G. (2020). Statistical modeling of cargo tank truck crashes: Rollover and release of hazardous materials. *Journal*

-Alrejfal, A., Moomen, M., & Ksaibati, K. (2022). Evaluating the effectiveness of law enforcement in reducing truck crashes for a rural mountainous freeway in Wyoming. *Transportation Letters*. **doi.org/10.1080/19427867.2021.1949089**

-Anderson, J. C., & Dong, S. (2017). Heavy-vehicle driver injury severity analysis by time of week: A mixed logit approach using HSIS crash data. *ITE Journal (Institute of Transportation Engineers)*, 87(9), 41–49.

-Azhar, A., Mohd ariff, N., Abu Bakar, M. A., & Roslan, A. (2022). Classification of Driver Injury Severity for Accidents Involving Heavy Vehicles with Decision Tree and Random Forest. *Sustainability*, 14. **doi.org/10.3390/su14074101**

-Azimi, G., Rahimi, A., Asgari, H., & Jin, X. (2020). Severity analysis for large truck rollover crashes using a random parameter ordered logit model. *Accident Analysis and Prevention*, 135(April 2019), 105355. **doi.org/10.1016/j.aap.2019.105355**

-Azimi, G., Rahimi, A., Asgari, H., & Jin, X. (2022). Injury Severity Analysis for Large Truck-Involved Crashes: Accounting for Heterogeneity. In *Transportation Research Record*, Vol. 2676, Issue 11, 15–29. SAGE Publications Ltd. **doi.org/10.1177/03611981221091562**

-Bai, Y., Yang, Y., & Li, Y. (2015). Determining the effective location of a portable changeable message sign on reducing the risk of truck-related crashes in work zones. *Accident Analysis & Prevention*, 83, 197–202.

doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.07.024

-Banerjee, S., & Khadem, N. K. (2019). Factors influencing injury severity in alcohol-related crashes: A neural network approach using hsis crash data. *ITE Journal (Institute of Transportation Engineers)*, 89(3), 42–49.

-Behnood, A., Mannering, F. L., & Mannering, F. L. (2019). Time-of-day variations and temporal instability of factors affecting injury severities in large-truck crashes. *Analytic Methods in Accident Research*, 100102.

doi.org/10.1016/j.amar.2019.100102

-Chang, L., & Mannering, F. (1999). *Analysis of injury severity and vehicle occupancy in truck- and non-truck-involved accidents*. 31, 579–592.

-Dadvar, S., Lee, Y. J., Shin, H. S., & Khodaparasti, H. (2020). Integrated Highway Safety Information System (HSIS) datasets by means of a Roadway Safety Data Integrator (RSDI) tool. *Data in Brief*, 32(August). **doi.org/10.1016/j.dib.2020.106154**

-Das, S., Park, E. S., & Sarkar, S. (2023). Impact of operating speed measures on traffic crashes: Annual and daily level models for rural two-lane and rural

- Rosenbloom, T., Eldror, E., & Shahar, A. (2009). Approaches of truck drivers and non-truck drivers toward reckless on-road behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 41(4), 723–728.
doi.org/10.1016/j.aap.2009.03.011
- Safar, M., Benis, K. Z., Alizadeh, S. S., & Bazargani, H. S. (2024). A Review on Factors Affecting Large Truck – Involved Crashes. *IO*(1), 1559–1570.
- Song, L., & Fan, W. D. (2020). Exploring truck driver-injury severity at intersections considering heterogeneity in latent classes : A case study of North Carolina International Journal of Transportation Exploring truck driver-injury severity at intersections considering heterogeneity. December.
doi.org/10.1016/j.ijtst.2020.12.006
- Song, X., Wu, J., Zhang, H., & Pi, R. (2020). Analysis of Crash Severity for Hazard Material Transportation Using Highway Safety Information System Data. *SAGE Open*, 10(3).
doi.org/10.1177/2158244020939924
- Statistics, G. (2022). *Binary Logistic Regression in SPSS software. Statistical tutorials and software guides*. <https://graphpad.ir/binary-logistic-regression-spss/.php>
- Sun, M., Zhou, R., Jiao, C., & Sun, X. (2022). Severity Analysis of Hazardous Material Road Transportation Crashes with a Bayesian Network Using Highway Safety Information System Data. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7).
doi.org/10.3390/ijerph19074002
- Tahfim, S., & Chan, Y. (2024). Comparison of Cluster-Based Sampling Approaches for Imbalanced Data of Crashes Involving Large Trucks.
- Teoh, E. R., Carter, D. L., Smith, S., & McCartt, A. T. (2017). Crash risk factors for interstate large trucks in North Carolina. *Journal of Safety Research*, 62, 13–21. **doi.org/10.1016/j.jsr.2017.05.002**
- Uddin, M., & Huynh, N. (2017). International Journal of Transportation Factors influencing injury severity of crashes involving HAZMAT trucks. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 1(June), 1–9.
doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.06.004
- Uddin, M., & Huynh, N. (2018). Factors influencing injury severity of crashes involving HAZMAT trucks. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 7(1), 1–9.
doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.06.004
- USDOT. (2019). *arge Truck and Bus Crash Facts 2017*, Federal Motor Carrier Safety Administration.
- Wen, H., Ma, Z., Chen, Z., & Luo, C. (2023). Analyzing the impact of curve and slope on multi-
of Safety Research, 74, 71–79.
doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.04.010
- Kang, S. (2023). Reexamination of the association between development patterns and truck crashes: A case study in Dallas-Fort Worth, TX. *Accident Analysis & Prevention*, 186, 107052.
doi.org/10.1016/j.aap.2023.107052
- Khattak, A. J., Ph, D., & Schneider, R. J. (2003). Trb Paper: 03-2331 Risk Factors In Large Truck Rollovers And Injury Severity : Analysis Of Single-Vehicle Collisions. *TRB Annual Meeting*, January.
- Liu, J. (2021). *Severity Analysis of Large Truck Crashes- Comparision Between the Regression Modeling Methods with Machine Learning Methods*.
- Lyman, S., & Braver, E. R. (2003). Occupant deaths in large truck crashes in the United States: 25 years of experience. *Accident Analysis & Prevention*, 35(5), 731–739.
doi.org/https://doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00053-2
- Mehdizadeh, M., Shariat-Mohaymany, A., & Nordfjaern, T. (2019). Driver behaviour and crash involvement among professional taxi and truck drivers: Light passenger cars versus heavy goods vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 62, 86–98.
doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.12.010
- Naik, B., Tung, L., Zhao, S., & Khattak, J. (2016). Weather impacts on single-vehicle truck crash injury severity. 58, 57–59.
- Nasim Khan, M., Das, A., & M. Ahmed, M. (2024). *Prediction of Truck-Involved Crash Severity on a Rural Mountainous Freeway Using Transfer Learning with ResNet-50 Deep Neural Network*. <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JTEPBS.TEEN-7304>
- Okafor, S., Adanu, E. K., Lidbe, A., & Jones, S. (2023). Severity analysis of single-vehicle left and right run-off-road crashes using a random parameter ordered logit model. *Traffic Injury Prevention*, 24(3), 251–255.
<https://doi.org/10.1080/15389588.2023.2174376>
- Pasupuleti, N., & Pulgurtha, S. S. (2013). Spatial Extent and Modeling Intracity Truck Crashes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104, 1188–1197.
doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.215
- Pour-Rouholamin, M., & Jalayer, M. (2016). Analyzing the Severity of. 45–49.
- Rahimi, E., Shamshiripour, A., Samimi, A., & Kouros, A. (2020). Investigating the injury severity of single-vehicle truck crashes in a developing country. *Accident Analysis and Prevention*, 137(October 2019), 105444. **doi.org/10.1016/j.aap.2020.105444**

overtaking truck crashes using a binary logit model. *Accident Analysis & Prevention*, 39(3), 574–580. **doi.org/10.1016/j.aap.2006.10.002**

-Young, R. K., & Liesman, J. (2007b). Estimating the relationship between measured wind speed and overturning truck crashes using a binary logit model. *Accident Analysis & Prevention*, 39(3), 574–580. **doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.10.002**

-Zaloshnja, E., & Miller, T. R. (2004). Costs of large truck-involved crashes in the United States. *Accident Analysis & Prevention*, 36(5), 801–808. **doi.org/10.1016/j.aap.2003.07.006**

-Zhu, X., & Srinivasan, S. (2011). Modeling occupant-level injury severity: An application to large-truck crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 43(4), 1427–1437. **doi.org/10.1016/j.aap.2011.02.021**

vehicle truck crash severity on mountainous freeways. *Accident Analysis & Prevention*, 181, 106951. **doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106951**

-Wu, J., Rasouli, S., Zhao, J., Qian, Y., & Cheng, L. (2023). Large truck fatal crash severity segmentation and analysis incorporating all parties involved: A Bayesian network approach. *Travel Behaviour and Society*, 30, 135–147. **doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tbs.2022.09.003**

-Yang, C., Chen, M., & Yuan, Q. (2021). The application of XGBoost and SHAP to examining the factors in freight truck-related crashes: An exploratory analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 158, 106153. **doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106153**

-Young, R. K., & Liesman, J. (2007a). Estimating the relationship between measured wind speed and

Modeling the Severity Level of Truck Crashes Using Binary Logistic Regression Method

*Seyed Amir Mohammad Hosseini, M.Sc., Grad., Civil Engineering Department,
Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.*

*Seyed Saber Naser Alavi, Assistant Professor, Civil Engineering Department,
Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.*

*Navid Nadimi, Associate Professor, Civil Engineering Department,
Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.*

E-mail: navidnadimi@uk.ac.ir

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

It is one of the main priorities of safety researchers to reduce the severity of crashes by predicting the severity of crash damage. Large trucks pose safety concerns and are responsible for a high percentage of fatal crashes, so studying their crashes can help determine factors that contribute to crash severity. This study examines factors affecting the severity of large truck crashes in California using the Highway Safety Information System (HSIS). Driver, road, crashes, and vehicle characteristics were categorized as predictive variables. In this study, binary logistic regression (BLR) is used to model the level of severity of accidents and evaluate the weight of various predicting variables on the severity of injuries. Typically, various classical econometric methods are used to model the severity of accidents. Following is a discussion of how the modeling can be evaluated and optimized. Based on the modeling results of this research, the first three variables that are more important than other variables include: weather in clear conditions compared to the weather in other cases such as snowy conditions (with an exponential coefficient of 1.146), AADT in two cases more than 250,000 vehicles per day (with an exponential coefficient of 1.341) and between 100,000 and 250,000 vehicles per day (with an exponential coefficient of 1.202) are less than 100,000 vehicles per day compared to AADT (all three mentioned variables were statistically significant and had positive regression coefficients). Despite the overfitting caused by binary logistic regression, this model performs well on the data set of this study (the difference between accuracy of test and training data is 0.1%).

Keywords: Severity of Accidents, Trucks, Safety, HSIS, BLR