مهندسی عمران شریف (پاییز ۱۳۹۸)
دوره‌ی ۲ - ۳۵، شماره‌ی ۳/۲، ص. ۱۳۷-۱۲۷، (یادداشت فنی)

Research Note

مدل‌سازی شدت تصادف‌ها در گذرگاه‌های همسطح جاده و ریل در ایران

مرتضی محسنی (کارشناس ارشد)
سید علی حسینی (دانشجوی کارشناس ارشد)
مرتضی باقری* (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران

مطالعه‌ی حاضر به دنبال شناسایی عوامل تأثیرگذار در شدت تصادف‌های گذرگاه‌های همسطح جاده و ریل درکشور ایران است. در حال حاضر در ایران، وضعیت ایمنی گذرگاه‌های همسطح براساس فراوانی تصادف‌های رخداده ارزیابی می‌شود و درنظرگرفتن شدت تصادف‌های ذکر شده، موضوع جدیدی است. روش اشاره شده، یکی از روش‌های شناسایی گذرگاه‌های پرخطر در شبکه‌ی ریلی است. در مطالعه‌ی حاضر از مشخصات ۲۴۰ گذرگاه مجاز ایران و اطلاعات تصادف‌های آن‌ها استفاده شده است. همچنین از مدل لاجیت چندجمله‌یی برای شناسایی عوامل تأثیرگذار در شدت تصادف‌ها استفاده شده است. این تذکر لازم است که داده‌های مورداستفاده در مطالعه‌ی حاضر مربوط به بازه‌ی سال‌های ۱۳۸۸ الی ۱۳۹۲ است. نتایج مطالعه‌ی حاضر نشانگر مهم بودن عواملی، همچون: نوع وسیله‌ی نقلیه، نوع برخورد، تعداد واگن، روشنایی گذرگاه، نوع قطار و وضعیت دید رانندگان جاده در شدت تصادف‌های گذرگاه‌های همسطح است.

واژگان کلیدی: ایمنی، گذرگاه همسطح، لاجیت چندجمله‌یی، گذرگاه‌های مجاز.

mor.mohseni@gmail.com
ali_hoseini@rail.iust.ac.ir
Morteza.Bagheri@iust.ac.ir

۱. مقدمه

گذرگاه‌های همسطح جاده و ریل همواره به‌عنوان یکی از نقاط حادثه‌خیز در دو شیوه‌ی حمل و نقل جاده‌یی و به‌ویژه ریلی شناخته می‌شوند. با وجود تلاش‌های زیادی که در رابطه با ایمنی نقاط حادثه‌خیز انجام شده است، هنوز تعداد تصادف‌ها و تلفات جانی ناشی از تصادف‌ها در گذرگاه‌های همسطح بسیار چشمگیر است. تقابل میان مسیر ریلی و جاده‌یی با ویژگی‌های خاص هرکدام سبب می‌شود تا عوامل زیادی در تصادف‌های نقاط حادثه‌خیز تأثیرگذار باشند. برای مثال، مکانیزم ترمز متفاوت در میان قطار و وسیله‌ی نقلیه سبب شده است تا با توجه به مسافت ترمز بسیار زیاد قطار نسبت به خودروهای عبوری، حق تقدم همواره با قطار در نظر گرفته شود. به‌علاوه درنظرگرفتن عوامل محیطی، مانند شرایط آب و هوایی منطقه منجر به پیچیده‌تر شدن مطالعات مرتبط با ایمنی گذرگاه‌های همسطح شده است. بررسی میزان تأثیر هر یک از عوامل و روابط میان آن‌ها کمک می‌کند تا درک بهتری از علل تصادف‌ها و شناسایی نقاط حادثه‌خیز صورت گیرد. همچنین این موضوع موجب بهبود در وضعیت ایمنی گذرگاه‌های همسطح می‌شود. در حال حاضر در ایران، وضعیت گذرگاه‌ها براساس تعداد تصادف‌های رخداده در آن‌ها بررسی می‌شود. درنظر گرفتن شدت تصادف‌ها در اولویت‌بندی گذرگاه‌ها می‌تواند سبب داشتن درک بهتری از ایمنی گذرگاه‌ها و دست‌یابی به نتایج مفیدی شود.

در بخش حاضر، به‌منظور داشتن درک جامع‌تری از موضوع ایمنی گذرگاه‌های همسطح، نگاهی به آمار تصادف‌های گذرگاهی شده است. دوکشور ایالات متحده‌ی امریکا و کانادا به‌دلیل داشتن تعداد زیاد گذرگاه‌های همسطح، در تحلیل ایمنی این نقاط می‌توانند به‌عنوان شاخص درنظرگرفته شوند. در ایالات متحده‌ی امریکا بیش از ۲۵۰٫۰۰۰ و همچنین در کانادا حدوداً ۳۷٫۰۰۰ گذرگاه همسطح وجود دارد. با وجود موفقیت‌های چشم‌گیر اخیر در قالب اقدام‌های ایمنی صورت گرفته به منظور کاهش حوادث رخداده در گذرگاه‌های همسطح، انجمن فدرال راه‌آهن ایالات متحده در سال‌های ۲۰۰۹ الی ۲۰۱۴ بیش از ۱۲۰۰۰ تصادف ثبت کرده است. در سال ۲۰۱۵ میلادی، به طور متوسط در هر ۱۱۵ دقیقه یک نفر یا یک خودرو در نقطه‌یی از سیستم حمل و نقل ریلی ایالات متحده با قطار برخورد کرده است.[۱] در بازه‌ی زمانی سال‌های ۲۰۰۹ الی ۲۰۱۳ درکشور کانادا، ۵۲۳۹ حادثه در کل شبکه‌ی ریلی اتفاق افتاده است که تعداد ۹۱۷ حادثه یعنی ۱۷٫۵٪ مربوط به حوادث گذرگاه‌های همسطح است.[۲]

تصادف‌های گذرگاه‌های همسطح را علاوه بر فراوانی، می‌توان از منظر شدت نیز بررسی کرد. این نکته قابل توجه است که معمولاً حوادث بین قطار و وسائط نقلیه یا عابران پیاده با شدت بالایی همراه هستند. براساس آمار منتشر شده از اداره‌ی راه‌آهن

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۶/۴/۲۵، اصلاحیه ۱۳۹۶/۹/۴، پذیرش ۱۳۹۶/۱۰/۵.
DOI:10.24200/J30.2017.2279.2157

فدرال و اداره‌ی ملی ایمنی ترافیک بزرگراه (NHTSA)[1] کشور امریکا، در تصادف‌های وسائط نقلیه‌ی جاده‌یی با قطار، احتمال مرگ راننده‌ی وسیله‌ی نقلیه نسبت به سایر حوادث جاده‌یی بیش از ۲۰ برابر است.[3] در حوادث سال‌های ۲۰۰۹ الی ۲۰۱۴، درگذرگاه‌های همسطح کشور امریکا، ۱۴۹۰ نفر کشته و ۵۴۷۱ نفر مجروح شده‌اند.[1] همچنین در بازه‌ی زمانی سال‌های ۲۰۰۹ الی ۲۰۱۳، تصادف‌های گذرگاه‌های همسطح در کشور کانادا با ۱۲۹ کشته و ۱۳۰ مجروح همراه بوده‌اند.[2]

بنابراین گذرگاه‌های همسطح از هر دو منظر فراوانی و شدت تصادف‌ها، از جمله نقاط پر اهمیت در شیوه‌ی حمل و نقل ریلی به‌شمار می‌آیند. کشور ایران نیز گرچه به لحاظ کمّی تعداد گذرگاه‌های به مراتب کمتری در شبکه‌ی حمل و نقل خود دارد، اما با نگاهی بر فراوانی و شدت تصادف‌های رخداده در گذرگاه‌های اشاره شده، اهمیت موضوع ایمنی گذرگاهای همسطح در ایران پر رنگ‌تر می‌شود. طبق آخرین آمار منتشره از سوی شرکت راه‌آهن ج.ا.ا، تعداد ۲۷۴ گذرگاه مجاز و ۷۵ گذرگاه غیرمجاز همسطح در ایران فعال هستند که در مقام مقایسه با دیگر کشورها بسیار کمتر است. محدود بودن تعداد گذرگاه‌های همسطح در شبکه‌ی حمل و نقل ریلی ایران دلایل مختلفی دارد. نکته‌ی اول این است که خط آهن در اغلب نقاط کشور ایران از داخل شهرها عبور نمی‌کند و در بعضی موارد، فاصله‌ی بسیار زیادی با نقاط پرتردد دارد. دلیل دیگر و مهم‌تر، سیاست‌هایی است که دولت‌های اخیر در حل مشکل ایمنی گذرگاه‌های همسطح داشته‌اند. آن‌ها به‌دنبال غیرهمسطح‌سازی گذرگاه‌ها بوده‌اند. در عین حال با وجود تعداد اندک گذرگاه‌های همسطح در کشور ایران، سالانه به طور متوسط حدود ۱۲۳ تصادف گزارش می‌شود که شامل برخورد قطار با وسائط نقلیه‌ی عبوری و عبور غیرمجاز عابرین پیاده می‌شود که تلفات ناشی از تصادف‌های رخداده به طور متوسط سالانه ۶۱ کشته و ۲۱ زخمی گزارش شده است.[4] مطالعه‌ی حاضر بیش از آنکه به دنبال ارائه‌ی رویکردی برای نحوه‌ی اولویت‌بندی گذرگاه‌ها باشد، با بررسی اطلاعات تصادف‌های گذشته، عوامل تأثیرگذار در شدت تصادف‌ها و همچنین روابط میان آن‌ها را بررسی کرده است. عوامل گوناگونی موجب بالارفتن شدت تصادف‌ها در گذرگاه‌های همسطح می‌شوند. شناسایی عوامل تأثیرگذار در شدت تصادف‌ها به‌عنوان ورودی مدل‌ها و همچنین درک مناسب از رابطه‌ی میان آن‌ها، می‌تواند در دقت نتایج تأثیر بسیار بگذارد. به عبارت دیگر، فهم کافی از عوامل ذکر شده باعث می‌شود تا با اولویت‌بندی مناسب گذرگاه‌ها، دستاوردهای بهتری در قالب ارتقاء سطح ایمنی بخش گذرگاه‌های همسطح از سیستم حمل و نقل ریلی به‌دست آید.

ساوولاینن[2] و همکاران (۲۰۱۱)، به طور خلاصه طیف گسترده‌یی از مدل‌ها و ابزارهای به کار رفته در مطالعات مربوط به بررسی تأثیر عوامل مختلف در شدت تصادف‌های وسائط نقلیه‌ی موتوری را گردآوری، جمع‌بندی و عنوان کرده‌اند که مدل‌های لاجیت ترتیبی[3] و پرابیت[4]، لاجیت چندجمله‌یی[5]، لاجیت باینری[6]، پرابیت باینری[7] و لاجیت آشیانه‌یی[8] مدل‌هایی هستند که طی سال‌های اخیر در روش‌های آماری بدین منظور استفاده شده‌اند. همچنین ایشان، مدل لاجیت چندجمله‌یی با متغیر پاسخ اسمی را به منظور بررسی تأثیر عوامل مختلف دخیل در سه سطح پاسخ از حوادث گذرگاه هم‌سطح ریل و جاده به کار برده‌اند.[5] آیتی و همکاران (۲۰۱۰)، نیز در پژوهش خود عنوان کرده‌اند که با توجه به متفاوت بودن شرایط سیستم حمل و نقل ریلی کشور ایران از نظر طول خط و تعداد گذرگاه همسطح در مقایسه با سایر کشورها، امکان استفاده از مدل‌های توسعه داده شده‌ی سایر کشورها، در ایران وجود ندارد و مطالعات کمی به مدل‌سازی شدت تصادف‌ها در گذرگاه‌های همسطح ایران پرداخته‌اند. لذا ایشان، در مطالعه‌ی خود از روش دو جمله‌یی منفی و پواسان برای مدل‌سازی شدت تصادف‌ها استفاده کرده‌اند.[6]

در همین راستا، مطالعه‌ی حاضر به دنبال ارائه‌ی مدلی برای شناسایی عوامل تأثیرگذار در شدت تصادف‌های گذرگاه‌های همسطح در کشور ایران است. این تذکر لازم است که داده‌های مورد استفاده در مطالعه‌ی حاضر مربوط به بازه‌ی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ است و مقایسه‌ی نتایج مطالعه‌ی حاضر با آنچه که آیتی و همکاران (۲۰۱۰) بر روی تصادف‌های سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ انجام داده‌اند، می‌تواند به درک هر چه بهتر عوامل تأثیرگذار در تصادف‌های گذرگاهی کشور ایران کمک کند.

۲. مروری بر مدل‌های پیش‌بینی شدت تصادف‌ها

در مدل‌های ارائه شده برای گذرگاه‌های همسطح، تمرکز اصلی در استفاده از عوامل مربوط به مشخصات گذرگاه، ناوگان و خط ابنیه‌ی ریلی، وسائط نقلیه و زیرساخت‌های جاده‌یی بوده و از ویژگی‌های عابران پیاده کمتر استفاده شده است.[7-10] از طرفی شناسایی مناسب عوامل تأثیرگذار سبب می‌شود تا تصادف‌های گذرگاه‌ها از زوایای مختلف بررسی شوند. همچنین از طریق عوامل مذکور می‌توان خطرات بالقوه‌ی گذرگاه را شناخت و پیش از بروز تصادف‌ها، اقدام‌های اصلاحی را انجام داد. برای شناخت عوامل تأثیرگذار می‌توان از کتاب‌های راهنما، گزارش‌ها و نوشتارهای موجود استفاده کرد. سازمان‌های مختلف حمل و نقلی با ارائه‌ی دستورالعمل‌ها و گزارش‌هایی در جهت بهبود ایمنی گذرگاه‌های همسطح گام برمی‌دارند که از آن جمله می‌توان به اداره‌ی بزرگراه فدرال کشور امریکا اشاره کرد. اداره‌ی مذکور دستورالعملی را در رابطه با گذرگاه‌های همسطح در سال ۱۹۸۶ ارائه کرده است که شامل اطلاعات جامعی در رابطه با گذرگاه‌های مذکور است و در بخشی از آن به معرفی عوامل تأثیرگذار در تصادف‌های جاده و ریل پرداخته شده است. در دستورالعمل ارائه شده، اجزاء گذرگاه همسطح به دو دسته‌ی کلی اجزاء مرتبط با جاده و اجزاء مرتبط با راه‌آهن تقسیم شده‌اند. اجزاء مرتبط با جاده، شامل: راننده، وسیله‌ی نقلیه، وسایل کنترل ترافیکی، عابران پیاده و جاده هستند. از جمله اجزاء مرتبط با راه‌آهن نیز می‌توان به قطار، خطوط ریلی و سیستم علائم راه‌آهن اشاره کرد.[7] یکی از اجزاء مرتبط با جاده، رانندگان هستند که هدایت وسیله‌ی نقلیه در گذرگاه را با توجه به قوانین جاده‌یی بر عهده دارند. توانایی رانندگان در کنترل وسیله‌ی نقلیه، نقش اساسی در تصادف‌ها دارد. جزء دیگر مرتبط با جاده، وسیله‌ی نقلیه است. ویژگی‌های وسیله‌ی نقلیه، شامل تعداد وسیله‌ی نقلیه‌ی عبوری از گذرگاه، نوع وسیله‌ی نقلیه، تعداد سرنشینان، عرض، طول، سرعت، شتاب و نوع بار هستند که در شدت یک تصادف تأثیرگذارند.[7] همچنین وسایل کنترل ترافیکی به‌عنوان یکی دیگر از اجزاء جاده، جریان وسیله‌ی نقلیه‌ی عبوری از گذرگاه را کنترل می‌کنند. همچنین تابلوها، سیگنال‌ها، خط‌کشی‌ها، و سایر وسایل هشداری هستند که به ایمنی گذرگاه کمک می‌کنند.[11] کنترل ترافیکی به عوامل زیادی، همچون: ویژگی منطقه، حجم و نوع خودروهای عبوری، میزان تردد عابران و غیره بستگی دارد.[7] یکی دیگر از اجزاء گذرگاه، جاده است که ویژگی‌های آن در عملکرد گذرگاه بسیار تأثیرگذار است. برای نمونه می‌توان به: موقعیت، نوع، حجم ترافیک، مشخصات هندسی، تعداد خطوط، عرض، تراز افقی و عمودی، فاصله‌ی دید، زاویه، سطح و تقاطع‌های جاده‌یی مجاور گذرگاه اشاره کرد.[12] در ادامه، تعدادی از مطالعات صورت گرفته در زمینه‌ی ایمنی گذرگاه‌های همسطح که در آن‌ها از عوامل تأثیرگذار مذکور استفاده شده است، شرح داده شده است.

برخی از مطالعات انجام شده از میان عوامل تأثیرگذار در تصادف‌های گذرگاه‌های همسطح به‌طور خاص به ویژگی‌های مرتبط با عابران پیاده پرداخته‌اند. برای مثال

سازمان حمل و نقل کانادا در سال ۲۰۰۷، دستورالعملی برای ایمنی عابران پیاده در گذرگاه‌های همسطح ارائه کرده است. فراهم کردن گذرگاه همسطح ایمن برای عابران پیاده بسیار دشوار و پیچیده است. تمایز اصلی بین عابران پیاده با وسائط نقلیه در این است که عابران پیاده حتی در شرایط بسته بودن گیت ورودی، قادر به عبور از گذرگاه هستند. همین امر سبب شده است تا افراد با عجله‌یی که برای عبور از گذرگاه دارند، در تخمین زمان مناسب برای عبور دچار اشتباه شوند. مخصوصاً در مورد کودکان که غیرقابل پیش‌بینی‌اند و یا افراد مسن و بیمارانی که نیازمند کمک هستند. از طرفی عابران پیاده معمولاً کوتاه‌ترین مسیر را برای عبور انتخاب می‌کنند. لذا مطالعه درباره‌ی خصوصیات رفتاری عابران پیاده می‌تواند به ایمنی آن‌ها درگذرگاه همسطح کمک کند.[۱۵]

۱.۲. مرور ادبیات

علاوه بر آنچه در بخش اخیر به‌عنوان مروری بر مدل‌های پیش‌بینی شدت تصادف‌ها اشاره شده است، مطالعات بسیاری در سال‌های اخیر بر روی شدت تصادف‌های گذرگاه‌های همسطح و همچنین عوامل مؤثر در شدت آن‌ها انجام شده است که در ادامه توضیح داده شده‌اند. مطابق بیشتر مطالعات انجام شده در این زمینه، یان[۹] و همکاران (۲۰۱۰) بر این موضوع اتفاق‌نظر دارند که تصادف‌های ناشی از برخورد قطار با خودرو، خطرناک‌ترین نوع تصادف‌ها درگذرگاه‌های همسطح است. ایشان از نرخ وزن ۴۰۰۰ برابری قطار در مقابل خودرو یاد کرده و میزان تکانه‌ی وارد شده در هنگام تصادف را بسیار کشنده دانسته‌اند. اگر چه نرخ سالانه‌ی تعداد تصادف‌هایی از این قبیل در مقایسه با تصادف‌های جاده‌یی بسیار کمتر است، ولی این دسته از تصادف‌ها نتایج بسیار مرگبار به دنبال دارند که همین موضوع اهمیت توجه و مطالعه روی آن‌ها را آشکار می‌سازد.[۱۶] یکی از رایج‌ترین شرایطی که در رانندگی به وقوع می‌پیوندد، شرایط نامناسب جوی و در نتیجه لغزندگی جاده‌هاست که امروزه یکی از مهم‌ترین علل تصادف‌ها تلقی می‌شود. لغزندگی با کاهش میزان اصطکاک، کنترل وسیله‌ی نقلیه را سخت می‌سازد که به‌عنوان تهدیدی در ایمنی، نقش مهمی ایفا می‌کند. اگر چه مطالعات فراوانی در زمینه‌ی ریسک ناشی از وضعیت آب و هوا انجام شده است، اما تعداد اندکی از مطالعات موجود به نقش وضعیت جوی در میزان شدت آسیب به راننده و سرنشینان پرداخته‌اند. این رابطه در حقیقت رابطه‌یی ساده و روشن نیست که بتواند در قالب یک رابطه‌ی خطی آن را بیان کرد. براساس پایگاه داده‌های اداره‌ی راه‌آهن فدرال[۱۰] امریکا، ۲۵۹۴۵ تصادف درگذرگاه‌های همسطح ایالات متحده‌ی امریکا بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱ به وقوع پیوسته است.[۱۷] عبدل اتی[۱۱] و همکاران (۲۰۱۱)، با طبقه‌بندی شرایط جوی مربوط به تصادف‌های منطقه‌ی فلوریدا نشان دادند که حدود ۶۹٪ تصادف‌ها در شرایط جوی کاملاً صاف به وقوع پیوسته‌اند و حدود ۳۱٪ آن‌ها نیز در شرایط نامناسب جوی (شامل بارانی، برفی، ابری و مه) رخ داده‌اند.[۱۸]

از طرفی تعدادی از پژوهشگران بر روی تأثیر عوامل دیگر همچون اخلال در دید راننده ناشی از وجود مه و دود در میزان آسیب به رانندگان مطالعه کرده‌اند. عبدل اتی و همکاران (۲۰۱۱)، در مطالعه‌ی خود، آزمونی جامع بر روی تصادف‌های ناشی از اخلال دید رانندگان طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ ارائه کرده‌اند. ایشان با استفاده از مدل لجستیک ترتیبی چندسطحی به بررسی میزان آسیب به رانندگان پرداخته و نتیجه‌گیری کرده‌اند که این قبیل تصادف‌ها بیشتر در بزرگراه‌ها با محدودیت سرعت بالاتر، جاده‌های بدون حاشیه‌ی کناری و نیز جاده‌های دو خطه‌ی شهری رخ می‌دهند و آسیب‌های به مراتب بالاتری با تعداد خودروی بیشتر درگیر در حادثه را در پی خواهند داشت. همچنین احتمال وقوع چنین حوادثی در شب، بیشتر از احتمال مشابه در ساعات روز است که میزان آسیب نیز در جاده‌های بدون شرایط نوری مناسب، بیشتر خواهد بود.[۱۸] اخیراً نیز در مطالعاتی به مدل‌سازی شدت تصادف‌های گذرگاه همسطح و بررسی عوامل تأثیرگذار پرداخته شده است که می‌توان به مطالعات ژائو[۱۲] و ختاک[۱۳] (۲۰۱۵) و همچنین هائو[۱۴] و دنیل[۱۵] (۲۰۱۶) اشاره کرد.

برای مثال در مطالعه‌ی ژائو و ختاک (۲۰۱۵)، از مدل‌های لاجیت چندگانه[۱۶]، پرابیت ترتیبی[۱۷] و لاجیت چندجمله‌یی (MNLM)[۱۸] برای مدل‌سازی و شناسایی عوامل مؤثر در شدت تصادف‌ها استفاده و نتیجه‌گیری شده است که مدل لاجیت چندگانه برای تحلیل شدت آسیب رانندگان در سوانح گذرگاه‌های همسطح مناسب‌تر است. همچنین عوامل تأثیرگذار معرفی‌شده عبارت بودند از: سرعت وسیله‌ی نقلیه و قطار، سن و جنسیت راننده (رانندگان مسن و زن بیشترین آسیب را شامل می‌شدند) و زمان وقوع تصادف (غروب و شب با بیشترین ضریب).[۱۹]

در مطالعه‌ی دیگر که‌هائو و دنیل (۲۰۱۶) انجام داده‌اند، نیز از داده‌های موجود بین سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۱ در کشور ایالات متحده‌ی آمریکا و همچنین از روش لاجیت چندگانه برای تحلیل و مدل‌سازی استفاده و نتیجه‌گیری شده است که نتایج تصادف‌های به وقوع پیوسته تا حد بسیار زیادی به شرایط جوی موجود در زمان تصادف وابسته است و عوامل تأثیرگذار در شدت حادثه در شرایط مختلف جوی متفاوت هستند. و به طورکلی عوامل تأثیرگذار در آن‌ها، شامل: سرعت وسیله‌ی نقلیه، سرعت قطار، سن و جنسیت راننده، وجود سیستم روشنایی درگذرگاه، آسفالت بودن جاده، حجم ترافیک گذرگاه و زمان تصادف بوده است. از دیگر نتایج مهم مطالعه‌ی اخیر می‌توان به تأثیر محدودیت سرعت در شرایط خاص جوی در میزان شدت آسیب وارد شده به افراد اشاره کرد. همچنین آسفالت کردن جاده‌ی منتهی به گذرگاه و نصب سیستم روشنایی می‌تواند تا حد بسیار زیادی از شدت آسیب تصادف‌ها بکاهد.[۲۰]

در طی سال‌های اخیر، مدل‌های استانداردی جهت برآورد شدت تصادف‌ها ارائه شده است، که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به مدل‌های: شدت کلمن ـ استیوارت[۱۹]، یو اس دات (US-DOT)[۲۰]، کلاس پنهان[۲۱]، کانادایی، امپریکال بیژین[۲۲] و لاجیت[۲۳] اشاره کرد. مدل‌های اشاره شده به‌همراه عوامل به‌کار رفته در آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌اند. از نکات مهم در جدول ۱ می‌توان به وجود میانگین سرعت قطارهای عبوری از گذرگاه در تمامی مدل‌ها اشاره کرد. همچنین میانگین تعداد قطارهای عبوری، تعداد خطوط و نوع سیستم هشداردهنده، از عوامل دیگری هستند که در بیشتر مدل‌ها بیان شده‌اند.

تا اینجا مروری بر مطالعات انجام شده در سایرکشورها ارائه شده است.[۱۶،۱۸،۱۹و۲۰]

مطالعات محدودی نیز بر روی گذرگاه‌های همسطح ایران انجام شده است، که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به نوشتار ذاکری (۱۳۸۵) اشاره کرد، که در آن، با استفاده از داده‌های تصادف‌های یک دوره‌ی ۱۳ ساله بین سال‌های ۱۳۷۱ الی ۱۳۸۳ و تشریح راهکارهای موجود جهت تعیین شاخص خطرگذرگاه‌ها در مطالعات پیشین، شاخص خطر فعلی و مورد استفاده در راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران بررسی و با بیان راهکارهای موجود در زمینه‌ی افزایش ایمنی درگذرگاه‌های سانحه‌زا، توصیه‌هایی ارائه شده است.[۲۱]

در یکی از معدود مطالعات ارائه شده برای مدل‌سازی شدت تصادف‌ها در گذرگاه‌های همسطح کشور ایران که توسط آیتی و همکاران (۱۳۸۹) انجام گرفته است، سعی شده است تا مدلی برای شدت حوادث گذرگاه همسطح ارائه شود. لذا ابتدا با بررسی مدل‌های رایج موجود در دیگرکشورها و همچنین روش‌ها و مدل‌های آماری قابل استفاده جهت مدل‌سازی شدت تصادف، با استفاده از داده‌های مربوط به

جدول ۱. مدل‌های پیش‌بینی استاندارد ارائه شده برای گذرگاه‌های همسطح به همراه عوامل به‌کار رفته در آن‌ها.[۲۲]

عوامل تاثیرگذار به‌کار رفته	مدل‌های پیش‌بینی شدت					
	کلمن ـ استیوارت	یو اس دات	کلاس پنهان	کانادایی	امپریکال بیژین	لاجیت
سن راننده			*			
جنسیت راننده			*			
میزان دید شفاف راننده از مسیر ریلی				*		
وضعیت هندسی جاده در اطراف گذرگاه				*		
نوع مسیر جاده‌یی		*				*
سرعت وسیله‌ی نقلیه	*			*		
تعداد سرنشینان خودرو			*			
میانگین تردد وسایل نقلیه			*			*
نوع وسایل نقلیه			*			
نوع مسیر ریلی						
تعداد خطوط ریلی		*		*		*
نوع محموله‌ی قطار						
تواتر حرکت قطارها						
میانگین قطارهای عبوری		*	*			*
سرعت قطارهای عبوری	*	*		*	*	*
نوع قطار عبوری						
جمعیت و و میانگین حجم				*	*	
تردد عابرین پیاده						
روشنایی گذرگاه			*			
کیفیت سطح گذرگاه						
تاریخچه‌ی حوادث گذرگاه						
زاویه‌ی گذرگاه				*		*
عرض گذرگاه						*
نوع سیستم‌های هشداری گذرگاه	*		*			*
فاصله‌ی گذرگاه تا گذرگاه جاده‌یی مجاور						
شرایط محیطی گذرگاه			*		*	

سال‌های ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۵ (شامل ۱۲۲ تصادف) و به‌کارگیری مدل‌های دوجمله‌یی منفی و پواسان سعی شده است تا مدلی جهت توضیح شدت تصادف‌های گذرگاهی ارائه شود. در مطالعه‌ی مذکور، هزینه‌ی تصادف به‌عنوان معیاری برای محاسبه‌ی شدت تصادف در نظرگرفته شده است. از جمله عوامل در نظرگرفته شده در مدل ارائه شده می‌توان به عرض جاده، نوع جاده، سرعت قطارهای عبوری، وجود/عدم وجود قوس جاده در محل گذرگاه، مسافت دید و وجود سرعت‌گیر اشاره کرد. در ادامه، مقایسه بین دو مدل پواسان و دوجمله‌یی منفی از نقطه‌نظر معیارهای نیکویی برازش از جمله انحراف مقیاس‌بندی شده و شاخص پیرسون نشان داد که مدل دوجمله‌یی منفی، برازش بهتری نسبت به مدل پواسان داشته است. همچنین جهت اعتبارسنجی مدل مذکور، با استفاده از روش مقایسه‌ی زوجی، میانگین شدت تصادف‌های پیش‌بینی شده با شدت تصادف‌های مشاهده شده مقایسه و درنهایت اعتبار مدل ارائه شده اثبات شد.[۶]

لازم به ذکر است که مدل‌های پواسان و دوجمله‌یی منفی برای مسائل با ماهیت شمارشی مناسب هستند. همچنین از آنجا که متغیر خروجی به کار گرفته شده در مطالعه‌ی آیتی و همکاران از نوع شمارشی نبوده و از طریق تبدیل معیارهای مختلف (همچون زمان مسدودی، زمان معطلی و غیره) به معیار هزینه و جمع هزینه‌های ناشی از تصادف به‌دست آمده است؛ لذا بهتر است در مواجهه با چنین مسائلی از روش‌های دیگر موجود در ادبیات موضوع استفاده شود. این موضوع باعث شد تا نویسندگان نوشتار حاضر در جهت مدل‌سازی شدت تصادف‌ها در گذرگاه‌های هم‌سطح کشور ایران تمرکز کنند و نتایج حاصل از مدل‌سازی ارائه شده با نتایج به‌دست آمده در مطالعه‌ی آیتی و همکارانش مقایسه و در جهت بررسی عوامل تأثیرگذار در شدت تصادف‌ها استفاده شود.

در روش ذکر شده، متغیر خروجی به سطوح مختلف تقسیم می‌شود. در مطالعه‌ی حاضر، ۳ سطح شدت تصادف شامل: سالم، زخمی و کشته برای راننده در نظر گرفته شده است. سطوح شدت موردانتظار برای راننده گسسته هستند و اولویت ترتیبی از شدت کم به شدت زیاد دارند. به عبارت دیگر، سطح کشته نسبت به سطح سالم، از نظر میزان شدت برتری دارد؛ لذا در نگاه اول باید ماهیت ترتیبی موجود بین سطوح مذکور در مدل‌سازی شدت تصادف‌ها لحاظ شود. لذا در

سال‌های پیشین، مطالعات زیادی از مدل‌های احتمال ترتیبی همچون پرابیت ترتیبی و لاجیت ترتیبی، برای تحلیل سطح شدت تصادف‌ها استفاده شده است.[۲۳-۲۶] اما با توجه به مشکلات موجود در استفاده از مدل‌های ترتیبی، در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری از مدل چندجمله‌یی غیرترتیبی استفاده کرده‌اند. در واقع روش اخیر با قرار دادن محدودیتی بر تأثیر هر یک از متغیرها، احتمال هر یک از سطوح متغیر خروجی را محاسبه می‌کند.[۲۷-۳۰] در مطالعه‌ی حاضر به‌منظور شناسایی عوامل تأثیرگذار در شدت تصادف‌های گذرگاه‌های همسطح، از روش اسمی[۲۴] (غیرترتیبی) استفاده شده است. با توجه به نوع متغیر خروجی در نظر گرفته شده در مطالعه‌ی حاضر، از مدل لاجیت چندجمله‌یی به‌منظور مدل‌سازی استفاده شده است.

در بخش حاضر، مطالعات انجام شده و دستورالعمل‌های ارائه شده حول موضوع پیش‌بینی تصادف‌های گذرگاه‌های همسطح ارائه و در انتها نیز مطالعات انجام شده با تمرکز بر گذرگاه‌های کشور ایران بررسی شده است. طبق مطالعات انجام گرفته توسط نویسندگان نوشتار حاضر، در سال‌های اخیر مطالعه‌ی مشابه دیگری درباره‌ی شدت تصادف‌های گذرگاه‌های همسطح ایران صورت نگرفته است. لذا در مطالعه‌ی حاضر با استفاده از مدل لاجیت چندجمله‌یی، مدلی برای شناسایی عوامل تأثیرگذار در شدت تصادف‌های گذرگاه‌های کشور ایران ارائه شده است. همان‌طور که در بخش مرور ادبیات بیان شد، از مدل لاجیت چندجمله‌یی در مطالعات اخیر (سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶) برای بررسی شدت تصادف‌ها استفاده شده است. با توجه به کارایی مدل لاجیت چندجمله‌یی در بررسی شدت تصادف‌ها، در مطالعه‌ی حاضر نیز از مدل لاجیت چندجمله‌یی استفاده شده است. در ادامه، پس از معرفی مدل لاجیت چندجمله‌یی، با توصیف اجمالی داده‌های استفاده‌شده در نوشتار حاضر به مدل‌سازی شدت تصادف‌ها با استفاده از مدل لاجیت چندجمله‌یی پرداخته شده است.

۳. مدل‌سازی شدت تصادف‌ها

مطابق با آنچه لانگ در مطالعه‌ی خود مدل رابطه‌ی لاجیت چندجمله‌یی را توضیح داده است، اگر y متغیر پاسخ با تعداد J سطوح خروجی اسمی باشد، در این صورت فرضیه‌ی مدل لاجیت چندگانه این است که گروه اول در میان J ترتیبی نیست. همچنین عبارت $Pr(y = m|x)$، احتمال مشاهده‌ی خروجی m با داشتن متغیر مستقل x است.[۳۱] مدل برای متغیر پاسخ y به این صورت ساخته می‌شود:

- با فرض اینکه $Pr(y = m|x)$ یک ترکیب خطی $x\beta_m$ باشد، بردار β_m به‌صورت رابطه‌ی ۱ است:

$$\beta_m = (\beta_{0m} \ldots \beta_{km} \ldots \beta_{Km}) \qquad (۱)$$

که در آن، ضریب β_{0m} و ضرایب β_{km} برای درنظرگرفتن تأثیر هر x_{km} در خروجی m هستند.

- جهت حصول اطمینان از غیرمنفی بودن مقادیر احتمال، مقدار $\exp(x\beta_m)$ به‌جای $(x\beta_m)$ در نظر گرفته می‌شود.

- به‌منظور اینکه مجموع احتمال محاسبه شده برابر ۱ شود، مقدار $\exp(x\beta_m)$ بر $\sum_{j=1}^{J}\exp(x_i\beta_j)$ تقسیم می‌شود (رابطه‌ی ۲):

$$Pr(y_i = m|x_i) = \frac{\exp(x_i\beta_m)}{\sum_{j=1}^{J}\exp(x_i\beta j)} \qquad (۲)$$

علی‌رغم اینکه مجموع احتمال ۱ می‌شود، اما تا وقتی که یک یا چند مجموعه پارامتر، احتمال یکسان تولید می‌کنند، آن مجموعه‌ی پارامتری، که مقدار احتمال را تولید کرده، شناسایی نشده است. به‌منظور شناسایی مجموعه پارامتر مذکور که مقدار احتمال را تولید کرده است، باید یک ضریب ثابت لحاظ شود. با لحاظ کردن تخمین یکی از پارامترها برابر صفر (فرض شود $\beta_1 = 0$) مدل به‌صورت رابطه‌های ۳ و ۴ نوشته می‌شود:

$$Pr(y_i = 1|x_i) = \frac{1}{1 + \sum_{j=2}^{J}\exp(x_i\beta_j)} \qquad (۳)$$

$$Pr(y_i = m|x_i) = \frac{e^{(x_i\beta_m)}}{1 + \sum_{j=2}^{J}\exp(x_i\beta_j)} \qquad \text{برای}$$

$$m > 1 \qquad (۴)$$

تخمین پارامترها با استفاده از روش درست‌نمایی بیشینه تعیین می‌شود.[۳۱] اگر مشاهده‌ها مستقل باشند، معادله‌ی درست نمایی به‌صورت رابطه‌ی ۵ خواهد بود:

$$L(\beta_2, \ldots \beta_J|y, x) = \prod_{i=1}^{N} P_i \qquad (۵)$$

که در آن، P_i احتمال آن است که مقدار y دقیقاً در مشاهده‌ی iاُم مشاهده شده باشد. معادله‌ی درست‌نمایی با جایگزینی P_i از رابطه‌ی ۲ به‌صورت رابطه‌ی ۶ خواهد بود:

$$L(\beta_2, \ldots \beta_J|y, x) = \prod_{m=1}^{J}\prod_{yi=m}\frac{\exp(x_i\beta_m)}{\sum_{j=1}^{J}\exp(x_i\beta_j)} \qquad (۶)$$

که در آن، $\prod_{yi=m}$ حاصل‌ضرب تمام مواردی است که در آن‌ها y_i برابر با m است. با گرفتن مقدار لگاریتم، می‌توان معادله‌ی لگاریتم درست‌نمایی را به‌دست آورد. در ادامه، با روش‌های عددی می‌توان مقادیر β را تخمین زد.

نیکویی برازش کلی مدل (رابطه‌ی ۷) می‌تواند با استفاده از مقایسه‌ی لگاریتم درست‌نمایی مدل با مقدار به‌دست آمده برای مدل نایو[۲۵] (مدلی که تمام ضرایب آن برابر با صفر بوده و با احتمال یکسان به تمامی سطوح خروجی تخصیص داده شده است) استفاده شود. همچنین مقایسه‌ی یک مدل با فقط مقادیر ثابت جایگزین امکان‌پذیر است (تخصیص مقدار احتمال به هر خروجی برابر با سهم مشاهده شده از خروجی در داده‌ی مورد استفاده است.)

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)} \qquad (۷)$$

که در آن، $LL(\beta)$ بیانگر لگاریتم درست‌نمایی در همگرایی مدل و $LL(0)$ بیانگر لگاریتم درست‌نمایی از مدل نایو (بدون ضریب) است. ρ^2 از صفر (برای حالت عدم بهبود در لگاریتم درست‌نمایی) تا ۱ به منظور بهترین برازش تغییر می‌کند. مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۱ برای ρ^2، معنادار بودن بهبود را نشان می‌دهد.[۳۱] اثر حاشیه‌یی

یا تغییر نسبی (میزان تغییر به ازاء یک واحد) می‌تواند با استفاده از مشتق گرفتن از رابطه‌ی ۲ بر حسب x_k به‌صورت رابطه‌ی ۸ نوشته شود:

$$\frac{\partial \Pr(y=m|x)}{\partial x_k} = \Pr(y=m|x)[\beta_{km} - \sum_{j=1}^{J} \beta_{kj} \Pr(y=j|x)] \quad (8)$$

۴. توصیف داده

در مطالعه‌ی حاضر تلاش شده است تا از اطلاعات تصادف‌ها و مشخصات گذرگاه‌های همسطح کشور ایران استفاده شود. اطلاعات اشاره شده شامل تصادف‌های رخداده طی ۵ سال (سال‌های ۱۳۸۸ الی ۱۳۹۲) در گذرگاه‌های همسطح ایران است، که از اداره‌ی کل خط و سازه‌های فنی راه‌آهن ایران تهیه شده است. با توجه به اینکه مشخصات گذرگاه‌ها و تصادف‌ها از دو پایگاه داده‌ی مجزا جمع‌آوری شده‌اند، نیاز است تا هر تصادف را به گذرگاه مرتبط اختصاص داد. بدین منظور از عواملی، مانند: کیلومتر خط، نام گذرگاه و شرح تصادف‌ها استفاده شده است. با این اقدام اطلاعاتی، نظیر: تعداد تصادف‌ها، تعداد کشته و تعداد زخمی به مشخصات گذرگاه اضافه شد. در بازه‌ی زمانی ذکر شده، تعداد ۹۰ تصادف برخورد با قطار در گذرگاه‌های همسطح مجاز ایران رخ داده است که در نتیجه‌ی آن‌ها، ۱۲ نفر کشته و ۶۸ نفر زخمی شده‌اند. از آنجا که امکان ایجاد گذرگاه غیرمجاز در بیشتر نقاط طول مسیر وجود دارد، نمی‌توان مکان‌هایی با ویژگی مشخص برای آن‌ها در نظر گرفت و به عبارت دیگر، نمی‌توان آن‌ها را تحلیل کرد. از طرفی دیگر، فرض بر این است که عبور از گذرگاه‌های غیرمجاز خلاف قانون است و باید گذرگاه‌های غیرمجاز مسدود شوند. در مطالعه‌ی حاضر، بنا به دلایلی که بیان شد، فقط تصادف‌های گذرگاه‌های مجاز بررسی شده‌اند.[۴]

پایگاه داده‌ی اصلی استفاده شده در مطالعه‌ی حاضر، ۲۷ متغیر توصیفی از شرایط وقوع حادثه هستند که شامل: متغیرهای مربوط به شرایط راه‌آهن (بیشینه‌ی سرعت قطار در بلاک، نوع قطار، تعداد لکوموتیو، تعداد واگن، وضعیت دید لکوموتیوران، هندسه‌ی خط آهن، وزن قطار، تعداد خط آهن گذرگاه)، شرایط جاده (عرض جاده، هندسه‌ی جاده، نوع خودرو، وضعیت دید راننده، چراغ‌دار بودن گذرگاه، بیشینه‌ی سرعت مجاز جاده، تعداد خطوط جاده، نوع کاربری جاده، وجود سرعت‌گیر، نوع روسازی جاده، سن و جنسیت راننده)، مشخصات گذرگاه (نوع گذرگاه، روشنایی گذرگاه، زاویه‌ی گذرگاه، موقعیت گذرگاه، نوع سرویس گذرگاه)، شرایط محیطی (وضعیت جوی)، و سایر (نحوه‌ی برخورد) هستند.[۴و۳۲]

با توجه به مطالعات پیشین بر روی داده‌های تصادف‌های گذرگاه‌های کشور ایران،[۳۳] عواملی همچون عرض جاده، نوع جاده (اصلی ـ فرعی، روستایی ـ اختصاصی)، سرعت قطارهای عبوری، هندسه‌ی جاده، وجود سرعت‌گیر، و مسافت دید راننده به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار در شدت تصادف درنظر گرفته شده‌اند. علاوه بر متغیرهای مذکور که در مطالعات پیشین استفاده شده‌اند، نویسندگان نوشتار حاضر اثر دیگر متغیرهای موجود در پایگاه داده را در شدت تصادف بررسی کرده‌اند. بدین منظور با استفاده از تحلیل تک‌متغیره[۲۶] برای هر یک از متغیرهای مستقل، ارتباط منطقی میان هر متغیر با متغیر پاسخ بررسی شد. آن دسته از متغیرها، که در آزمون مذکور ارتباط معناداری ($P < ۰/۲۵$ ـ مقدار) با متغیر پاسخ داشتند، مجموعه‌یی از متغیرهای ورودی به مدل چندجمله‌یی را تشکیل دادند. در مطالعه‌ی حاضر، سطح ۰/۲۵ به‌عنوان معیار انتخاب متغیرهای ورودی به مسئله براساس مطالعه‌ی مایکی و گرینلند[۲۷] در نظر گرفته شد.[۳۴] در نتیجه تعداد ۷ متغیر مستقل از میان ۲۷ متغیر اولیه برای هدف مدل‌سازی به مجموعه‌ی متغیرهای ورودی اضافه شد که شامل متغیرهای: تعداد واگن، نوع خودرو، چراغدار بودن گذرگاه، نوع برخورد، نوع گذرگاه و روشنایی گذرگاه بودند.

با توجه به لزوم رعایت فرضیات مدل‌سازی خطی لازم است استقلال بین متغیرها در مدل‌سازی در نظر گرفته شود. بدین منظور در مرحله‌ی کنونی، بین ۱۳ متغیر انتخابی، ماتریس همبستگی رسم شد. نتایج ماتریس همبستگی نشان داد که متغیرهای بیشینه‌ی سرعت مجاز قطار، نوع خودرو، وضعیت دید رانندگان جاده، چراغ‌دار بودن گذرگاه، تعداد واگن، وضعیت جوی و نوع برخورد با هیچ‌یک از دیگر متغیرهای انتخابی رابطه‌دار نیستند. به‌عبارت دیگر، میزان همبستگی متغیرهای ذکر شده با سایر متغیرها براساس شاخص پیرسون کمتر از ۰/۳ بودند و به همین دلیل مستقل از هم در نظر گرفته شدند. برخلاف عامل قبلی، مقدار عرض جاده با نرخ همبستگی ۰/۵۸۷، همبستگی بسیار شدیدی با متغیر تعداد خطوط جاده داشت. این موضوع از نظر مهندسی نیز منطقی به‌نظر می‌رسد. به‌طور بدیهی با افزایش تعداد خطوط جاده، عرض جاده نیز بیشتر می‌شود. با توجه به تأثیر هر یک از متغیرهای مذکور در شدت تصادف، متغیر عرض جاده از مدل حذف و متغیر تعداد خطوط جاده به نمایندگی از دو عامل اخیر در مدل در نظر گرفته شده است.

نوع کاربری جاده با متغیرهای روشنایی و نوع گذرگاه همبستگی معناداری داشت. از طرفی نوع گذرگاه و روشنایی گذرگاه نیز همبستگی بسیار بالایی با یکدیگر داشتند. در این حالت لازم است که متغیر پر اهمیت‌تر بر روی متغیر پاسخ انتخاب شود. لذا متغیر روشنایی گذرگاه با همبستگی ۰/۲۶۶- (با شدت تصادف) به عنوان متغیر جایگزین برای متغیرهای نوع گذرگاه و نوع کاربری جاده به‌کار رفته است.

همان‌طورکه اشاره شد، دو متغیر هندسه‌ی جاده و وجود سرعت‌گیر در مطالعات پیشین به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار در شدت حادثه در نظر گرفته شده‌اند.[۶] براساس داده‌های مورد استفاده در مطالعه‌ی حاضر، دو متغیر اخیر با یکدیگر همبستگی بالایی داشتند. میزان اهمیت آن‌ها بر متغیر پاسخ (شدت حادثه) باعث شد تا متغیر وجود سرعت‌گیر حذف و متغیر هندسه‌ی جاده به مدل وارد شود. در جدول ۲، مشخصات تصادف‌هایی که از اطلاعات آن‌ها برای مدل‌سازی شدت تصادف‌ها استفاده شده، ارائه شده است.

۵. نتایج مدل‌سازی

به منظور مدل‌سازی شدت تصادف‌ها، در مطالعه‌ی حاضر از اطلاعات تصادف‌های ۵ سال اخیر (۱۳۸۸ الی ۱۳۹۲) شامل ۹۰ تصادف که در گذرگاه‌های مجاز کشور ایران رخ داده، استفاده شده است. در فرایند مدل‌سازی نهایی برخی از متغیرها که از نظر آماری در متغیر پاسخ تأثیر معنی‌داری نداشتند، حذف شده‌اند. درنهایت ۶ متغیر، شامل: نوع خودرو، وجود روشنایی در گذرگاه، نوع برخورد، تعداد واگن‌های قطار، نوع قطار و وضعیت دید رانندگان وسائط نقلیه در شدت تصادف‌های گذرگاه‌ها تأثیرگذار شناخته شدند. در مطالعه‌ی حاضر برای مدل‌سازی، نسخه‌ی ۲۲ نرم‌افزار آماری SPSS [۲۸] استفاده شده است.

همچنین در تحلیل صورت‌گرفته، سطح اطمینان ۹۵٪ برای برآورد متغیرها در نظر گرفته شد. در جدول ۳، نتایج حاصل از مدل‌سازی بر روی مطالعه ارائه شده است. در مطالعه‌ی حاضر برای متغیر پاسخ، ۳ سطح سالم، زخمی و کشته در نظر گرفته شده است، که از میان آن‌ها، سطح سالم به‌عنوان سطح پایه در نظر گرفته شده است. بنابراین ضرایب تخمینی به‌دست آمده‌ی حاصل از مدل برای هر یک از متغیرهای توصیفی، مقادیری هستند که بیانگر تأثیر نسبی عامل موردنظر بر روی

جدول ۲. مشخصات عوامل استفاده شده در مدل‌سازی شدت تصادف‌ها.

متغیر	توضیح	سطوح پراکندگی
عرض جاده	متر	کوچکتر مساوی ۸ متر (۸۲٫۲٪)، بزرگتر از ۸ متر (۱۷٫۸)
نوع جاده	اختصاصی و روستایی، فرعی و اصلی	اختصاصی و روستایی (۲۰٪)، فرعی و اصلی (۸۰٪)
سرعت قطارهای عبوری	کیلومتر بر ساعت	کوچکتر مساوی ۶۰ (۳۸٫۹٪)، بزرگتر از ۶۰ (۶۱٫۱)
هندسه‌ی جاده	جاده در قوس، جاده‌ی مستقیم	جاده در قوس (۳۳٫۳٪)، جاده‌ی مستقیم (۶۶٫۷٪)
وجود سرعت‌گیر	دارد، ندارد	دارد (۲۲٫۵)، ندارد (۷۷٫۵)
مسافت دید راننده	محدود، مطلوب	محدود (۲۵٫۶٪)، مطلوب (۷۴٫۴٪)
تعداد واگن	کمتر از ۴، از ۵ تا ۱۳، بزرگتر از ۱۴	کمتر از ۴ (۴۰۸٪)، از ۵ تا ۱۳ (۲۸٫۲)، بزرگتر از ۱۴ (۳۱٫۰٪)
نوع خودرو	موتور سیکلت، سواری، وانت، سنگین	موتور سیکلت (۸٫۹٪)، سواری (۵۵٫۶٪)، وانت (۱۱٫۱٪)، سنگین (۲۴٫۴٪)
چراغدار بودن گذرگاه	دارد، ندارد	دارد (۱۲٫۲٪)، ندارد (۸۷٫۷٪)
نوع گذرگاه	با راه‌بند، بدون راه‌بند	با راه‌بند(۳۷٫۸٪)، بدون راه‌بند (۶۲٫۲٪)
روشنایی گذرگاه	دارای روشنایی، فاقد روشنایی	دارای روشنایی (۲۷٫۸٪)، فاقد روشنایی (۷۲٫۲٪)
وضعیت جوی	صاف، ابری، بارانی، برفی	صاف (۷۵٫۵٪)، ابری (۱۷٫۱٪)، بارانی (۵٫۷٪)، برفی (۱٫۴٪)
نوع برخورد	برخورد قطار با وسیله‌ی نقلیه، برخورد وسیله‌ی نقلیه با قطار	برخورد قطار با وسیله‌ی نقلیه (۸۳٫۳٪)، برخورد وسیله‌ی نقلیه با قطار (۱۶٫۷٪)

جدول ۳. نتایج مدل لاجیت چندجمله‌یی.

پارامتر		کشته		زخمی	
نام متغیر (سطح پایه)	مقدار متغیر	$Pr > ChiSq$	ضریب تخمینی	$Pr > ChiSq$	ضریب تخمینی
نوع خودرو (سطح پایه: سنگین)	موتور	۰٫۱	۳٫۱۸۶	۰	۴٫۴۹۱
	سواری	۱	-۱۸٫۵۲	۰٫۰۱	۲٫۳۳۳
	وانت	۰٫۶۲	-۰٫۷۴	۰٫۱	۱٫۶۱۵
نحوه‌ی برخورد (سطح پایه: قطار به وسیله‌ی نقلیه)	وسیله‌ی نقلیه به قطار	۱	-۱۷٫۵۲	۰	۲٫۹۸۶
تعداد واگن (سطح پایه: بیش از ۱۴)	کمتر از ۴	۱	-۴۱٫۸۸	۰٫۱۷	-۱٫۵۷۲
	۵ الی ۱۳	۰٫۹۹	۲۰٫۸۵	۰٫۱	-۱٫۵۸۲
روشنایی گذرگاه (سطح پایه: دارای روشنایی)	عدم وجود روشنایی	۰	۳۹٫۳۹۲	۰	۲٫۶۳۱
نوع قطار (سطح پایه: باربری)	لکوموتیو	۱	۲۲٫۹۸۳	۰٫۶۵	۰٫۵۵۱
	منفرد مسافری	۰٫۹۹	۲۲٫۸۹۴	۰٫۰۸	۱٫۶۰۳
وضعیت دید رانندگان جاده‌یی (سطح پایه: مطلوب)	محدود	۱	۱۸٫۵۴	۰٫۰۱	-۲٫۲۰۱
ضریب ثابت		۰	-۳۲٫۳۵	۰	۳۴٫۴۱

کشته یا زخمی شدن راننده نسبت به سالم بودن وی است. ضرایب مثبت در مدل نشان می‌دهد که به تناسب افزایش پیدا کردن متغیر مستقل، شانس زخمی و یا کشته شدن راننده بالا می‌رود.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، برخی از متغیرها به‌صورت آماری معنادار نشده‌اند. علی‌رغم این موضوع به دلیل تسهیل در تفسیر نتایج، آن دسته از متغیرهایی که دست‌کم در یکی از مدل‌های مربوط به سطوح شدت کشته و زخمی معنادار هستند، در مدل باقی نگه داشته شده‌اند. این موضوع به‌طور طبیعی به کاهش دقت مدل‌ها منجر می‌شود. به‌همین منظور به‌جای سطح اطمینان ۰/۹۰، مقدار ۰/۹۵ برای سطح اطمینان در نظر گرفته شده است.

براساس مقادیر تخمینی برای هر یک از متغیرها در جدول ۳، مدل لاجیت چندجمله‌یی به‌صورت رابطه‌ی ۹ و ۱۰ می‌تواند نوشته شود:

$$Log\left[\frac{P(Y=\text{کشته})}{P(Y=\text{سالم})}\right] = -۴۰/۷۱۴ + ۳/۱۸۶x_۱ - ۱۸/۵۱۸x_۲ - ۰/۷۴۰x_۳ - ۱۷/۵۱۹x_۴ - ۴۱/۸۷۹x_۵ - ۲۰/۸۵۰x_۶ + ۳۹/۳۵۲x_۷ + ۲۲/۹۸۳x_۸ + ۲۲/۸۹۴x_۹ + ۱۸/۵۴۰x_{۱۰} \quad (۹)$$

$$Log\left[\frac{P(Y=\text{زخمی})}{P(Y=\text{سالم})}\right] = -۴/۳۰۵ + ۴/۴۹۱x_۱ + ۲/۳۳۳x_۲ + ۱/۶۱۵x_۳ + ۲/۹۸۶x_۴ - ۱/۵۷۲x_۵ - ۱/۵۸۲x_۶ + ۲/۶۳۱x_۷ + ۰/۵۵۱x_۸ + ۱/۶۰۳x_۹ - ۲/۲۰۱x_{۱۰} \quad (۱۰)$$

که در آن‌ها: $x_۱$: نوع خودرو (۱: اگر نوع خودرو برابر موتور سیکلت، صفر: در غیر این‌صورت)؛

$x_۲$: نوع خودرو (۱: خودرو سواری، صفر: سایر)؛

$x_۳$: نوع خودرو (۱: خودرو وانت، صفر: سایر)؛

$x_۴$: نحوه‌ی برخورد (۱: برخورد وسیله‌ی نقلیه با قطار، صفر: سایر)؛

$x_۵$: تعداد واگن (یک کمتر از ۴، صفر در غیر این‌صورت)؛

$x_۶$: تعداد واگن (۱: بین ۵ تا ۱۳، صفر: در غیر این‌صورت)؛

$x_۷$: روشنایی گذرگاه (۱: عدم وجود روشنایی، صفر: در غیر این‌صورت)؛

$x_۸$: نوع قطار (۱ لکوموتیو منفرد، صفر: سایر)؛

$x_۹$: نوع قطار (۱ مسافری، صفر: سایر)؛

$x_{۱۰}$: وضعیت دید رانندگان جاده‌یی (۱ محدود، صفر: در غیر این‌صورت).

لازم به ذکر است که با حذف متغیرهایی که فقط در یکی از مدل‌ها معنادار هستند، ضرایب تخمینی با آنچه در مدل‌های اخیر ارائه شده است، به‌طور طبیعی تفاوت خواهد داشت. در جدول ۴، نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل لاجیت چندجمله‌یی برای هر یک از متغیرها مشاهده می‌شود. براساس مقادیر به‌دست آمده برای مقدار $P-$، می‌توان درجه اهمیت هر متغیر را مشخص کرد. مطابق جدول ۴ و براساس فاصله‌ی اطمینان ۹۰٪، تمامی متغیرهای ارائه شده اعم از ضریب ثابت مدل و متغیرهای نوع وسیله‌ی نقلیه، نوع برخورد، تعداد واگن، روشنایی گذرگاه، نوع قطار و وضعیت دید رانندگان جاده به طور معناداری در مدل تأثیرگذار هستند. به‌طوری که روشنایی گذرگاه پراهمیت‌ترین متغیر و متغیرهای تعداد واگن و نوع برخورد در مکان‌های بعدی قرار دارند. در جدول ۵ نیز ماتریس همبستگی میان متغیرهای مستقل باقی‌مانده در مدل و متغیر وابسته ارائه شده است.

جدول ۴. نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل برای هر یک از متغیرها.

متغیرهای مستقل	-۲Log Likelihood Ratio Chi-Square	درجه آزادی	مقدار $P-$
ضریب ثابت	۴۶/۶۴۶		
نوع وسیله‌ی نقلیه	۶۳/۲۷۰	۶	۰/۰۱۱
نوع برخورد	۵۶/۴۴۸	۲	۰/۰۰۷
تعداد واگن	۶۱/۱۸۱	۴	۰/۰۰۶
روشنایی گذرگاه	۶۰/۳۸۹	۲	۰/۰۰۱
نوع قطار	۵۹/۷۹۹	۴	۰/۰۱۱
وضعیت دید رانندگان جاده‌یی	۵۵/۷۷۸	۲	۰/۰۱۰

۶. نتیجه‌گیری

با توجه به ضرایب ارائه‌شده در روابط ۹ و ۱۰، علامت مثبت متغیرها نشان‌دهنده‌ی تأثیر مستقیم متغیر مذکور در شدت تصادف دارد. به عبارتی دیگر، با افزایش متغیر موردنظر، شدت تصادف‌ها افزایش پیدا می‌کند. همچنین ضرایب با علامت منفی، نشان‌دهنده‌ی آن است که با افزایش مقدار متغیر، شدت تصادف‌ها کاهش پیدا می‌کند. در ادامه، مقدار ضرایب متغیرهای باقیمانده در مدل به ترتیب بیان شده است.

ضرایب منفی سطوح اول و دوم از متغیر تعداد واگن‌های قطار، نشان‌دهنده‌ی افزایش احتمال زخمی شدن با افزایش تعداد واگن‌هاست. یکی از دلایل این امر می‌تواند سرعت قطار باشد. به‌عبارت دیگر، قطارهایی که تعداد واگن بیشتری دارند، وزن بالاتری نیز دارند و این امر موجب کاهش سرعت آن‌ها می‌شود. عدم معنادار شدن متغیر تعداد واگن‌های قطار در مدل کشته می‌تواند به دلیل تعداد بسیار اندک کشته‌شدگان و عدم وجود حالت‌های مختلف از شدت تصادف‌ها باشد.

مطابق با نتایج مدل زخمی، عدم وجود روشنایی تأثیر بسیار زیادی در شدت تصادف خواهد داشت. به‌نحوی که مقدار احتمال زخمی‌شدن در حالت عدم وجود روشنایی، به مقدار ۲/۶۳ نسبت به حالت وجود روشنایی بیشتر است. به‌عبارت دیگر، وجود سیستم روشنایی در گذرگاه سبب کاهش شدت حوادث می‌شود. دلیل این امر می‌تواند بهبود دید رانندگان از محیط پیرامون گذرگاه باشد و در نتیجه، نشان دادن عکس‌العمل به‌موقع از سوی آن‌ها شود. این نتیجه با نتایج به‌دست آمده در برخی از مطالعات قبلی سازگار است.[۱۹و۲۰]

نوع قطار نیز با توجه به ضرایب متغیر سیستم روشنایی در مدل زخمی، تأثیر قابل توجهی در میزان شدت حادثه دارد. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، قطار مسافری به مقدار ۱/۶۰۳ و لکوموتیو منفرد به مقدار ۰/۵۵۱ احتمال زخمی‌شدن راننده را نسبت به حالت قطار باری افزایش می‌دهد. مطابق نتایج مدل، وضعیت دید رانندگان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در شدت تصادف بوده است. به‌طوری که دید محدود رانندگان به مقدار ۲/۲۰۱ (نسبت به حالت مطلوب متغیر مذکور)، احتمال زخمی شدن را افزایش می‌دهد. این نتیجه مشابه با نتیجه‌یی است که در رابطه با وجود روشنایی در گذرگاه بیان شد و مطالعات انجام شده به نتیجه‌یی مشابه دست یافته‌اند.[۱۹و۲۰]

در تحلیل عامل نوع وسیله‌ی نقلیه در مدل سطح زخمی و همچنین با توجه به سطح پایه‌ی در نظر گرفته‌شده برای عامل مذکور (سطح پایه = وسائط نقلیه‌ی سنگین) می‌توان گفت هر سه سطح دیگر نوع خودرو (موتورسیکلت، سواری و وانت)، احتمال بیشتری برای زخمی شدن دارند. با توجه به ضرایب ارائه‌شده برای هر یک از سه سطح ذکر شده‌ی خودرو می‌توان گفت احتمال زخمی‌شدن راننده‌ی موتورسیکلت، ۴ برابر راننده‌ی وانت و ۲ برابر راننده‌ی وسیله‌ی نقلیه‌ی سواری است. ضریب ارائه

جدول ۵. ماتریس همبستگی میان متغیرهای مستقل و وابسته.

		شدت راننده	نوع خودرو	نحوه‌ی برخورد	وضعیت دید رانندگان جاده‌یی	روشنایی گذرگاه	نوع قطار	تعداد واگن
شدت راننده	ضریب پیرسون معناداری	۱	-۰٫۳۳۲ ۰٫۰۰۱	۰٫۰۶۷ ۰٫۵۳۰	۰٫۲۳۰ ۰٫۰۲۹	-۰٫۲۶۶ ۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۷ ۰٫۸۷۲	۰٫۱۸۷ ۰٫۱۱۸
نوع خودرو	ضریب پیرسون معناداری		۱	-۰٫۱۳۵ ۰٫۲۰۵	-۰٫۲۴۶ ۰٫۰۱۹	۰٫۲۳۹ ۰٫۰۲۳	-۰٫۰۴۱ ۰٫۷۰۱	-۰٫۱۰۸ ۰٫۳۷۲
نحوه‌ی برخورد	ضریب پیرسون معناداری			۱	۰٫۲۸۵ ۰٫۰۰۷	-۰٫۱۸۹ ۰٫۰۷۵	-۰٫۰۰۷ ۰٫۹۵۰	۰٫۰۴۵ ۰٫۷۱۰
وضعیت دید رانندگان جاده‌یی	ضریب پیرسون معناداری				۱	-۰٫۲۶۲ ۰٫۰۱۳	-۰٫۰۷۵ ۰٫۴۸۲	۰٫۰۰۸ ۰٫۹۵۰
روشنایی گذرگاه	ضریب پیرسون معناداری					۱	۰٫۱۳۲ ۰٫۲۱۶	۰٫۰۹۳ ۰٫۴۴۳
نوع قطار	ضریب پیرسون معناداری						۱	۰٫۸۵۳ ۰٫۰۰۰
تعداد واگن	ضریب پیرسون معناداری							۱

شده برای موتورسیکلت در مدل کشته نیز تأییدکننده‌ی همین موضوع است، با این تفاوت که به دلیل پراکنش کشته‌شدگان در داده‌های مورد استفاده، سطوح مربوط به وسیله‌ی نقلیه‌ی سواری و وانت معنادار نشده‌اند.

تحلیل عامل نوع برخورد نیز حاکی از نتایج بسیار جالبی است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، برخورد قطار به وسیله‌ی نقلیه، احتمال بسیار بالاتری برای زخمی‌شدن راننده‌ی وسیله‌ی نقلیه خواهد داشت. از آنجا که عامل نوع برخورد در مدل کشته معنادار نشده است، اظهارنظر در مورد احتمال کشته شدن در شرایط مختلف برخورد امکان‌پذیر نیست. عدم معنادار شدن عامل نوع برخورد در مدل کشته می‌تواند به دلیل عدم کشته شدن رانندگان در هنگام برخورد وسیله‌ی نقلیه با قطار در تصادف‌های مورد بررسی باشد.

۷. جمع‌بندی

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، در حال حاضر در ایران، وضعیت گذرگاه‌ها براساس روش تعداد تصادف‌های رخداده در آن‌ها بررسی می‌شوند که یکی از روش‌های شناسایی گذرگاه‌های پرخطر و دارای ریسک در شبکه‌ی حمل و نقل ریلی است. همان‌طور که در مقدمه نیز اشاره شد، در زمینه‌ی شدت تصادف‌های گذرگاه‌های همسطح ایران، مطالعات اندکی انجام شده است. مطالعه‌ی حاضر به دنبال ارائه‌ی مدلی برای شناسایی عوامل تأثیرگذار در شدت تصادف‌ها با نگاهی تازه به داده‌های تصادف‌ها در سال‌های اخیر است. در مطالعه‌ی حاضر از مشخصات ۲۴۰ گذرگاه مجاز کشور ایران و اطلاعات تصادف‌های رخداده در گذرگاه‌های همسطح استفاده شده است. همچنین مدل لاجیت چندجمله‌یی برای شناسایی عوامل تأثیرگذار در شدت تصادف‌ها استفاده شده است. لازم به ذکر است که داده‌های مورد استفاده در مطالعه‌ی حاضر مربوط به بازه‌ی سال‌های ۱۳۸۸ الی ۱۳۹۲ است. مقایسه‌ی نتایج حاصل از مطالعه‌ی حاضر با آنچه که آیتی و همکاران بر روی تصادف‌های سال‌های ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۵ انجام داده‌اند، می‌تواند به درک هر چه بهتر از عوامل تأثیرگذار در تصادف‌های گذرگاهی کشور ایران کمک کند. مقایسه‌ی نتایج به‌دست آمده، نشانگر مهم‌بودن عواملی همچون: نوع وسیله‌ی نقلیه، نوع برخورد، تعداد واگن، روشنایی گذرگاه، نوع قطار، و وضعیت دید رانندگان جاده در مطالعه‌ی حاضر است. همچنین در مطالعه‌ی حاضر با توجه به نقصان داده‌های مورد استفاده، برخی از متغیرهای به‌کار رفته در مدل کشته معنادار نشده‌اند.

پانوشت‌ها

1. national highway traffic safety administration (NHTSA)
2. Savolainen
3. ordered logit
4. probit
5. multinomial logit

6. binary logit
7. binary probit
8. nested
9. Yan
10. FRA
11. Abdel-Aty
12. Xhao
13. Khattak
14. Hao
15. Daniel
16. logit mixed
17. ordered probit
18. multinomial logit model
19. coleman-stewart
20. United States department of transportation
21. latent class
22. empirical bayesian
23. logit
24. nominal
25. Naive
26. Uni-variable analysis
27. Mickey and Greenland
28. statistical package for social science

منابع (References)

1. Highway-rail Grade Crossing Accident/Incident Form f 6180.57, Federal Railroad Administration (FRA), (2009-2014).
2. Statistical Summary Railway Occurrences 2013, Transportation Safety Board of Canada, Gatineau, Quebec (2014).
3. Rail-highway Grade Crossing Safety, 3M Roadway Safety (2014)
4. The Crashes of the Iran's Level Crossings, Islamic Republic of Iran Riailways Safety Improvement Unit, Tehran (2009-2013).
5. Savolainen, P., Mannering, F., Lord, D. and et al. "The statistical analysis of highway crash-injury severities: A review and assessment of methodological alternatives", *Accident Analysis and Prevention*, **43**(5), pp. 1666-1676 (2011).
6. Ayati, I., Zakeri, J.A. and Sadeghi, A.A. "Model of prediction of the accident rate for the Iranian roadway buses", *Sharif Civil Engineering*, **2**, pp. 3-11 (2010).
7. Tustin, B.H., Richards, H. and Patterson, H., *Railroad-Highway Grade Crossing Handbook*, 2^{nd} edition, Virginia: Federal highway administration (1986).
8. Haas, R. "A needs assessment of highway stakeholders of an at-grade highway-railroad intersection in Lincoln, Nebrask", DigitalCommons@University of Nebraska- Lincoln (2010).
9. Qureshi, M., Virkler, M.R., Sanford Bernhardt, K.L. and et al. "Highway/rail crossing project selection", University of Missouri-Columbia and University of Missouri-Rolla (2003).
10. Cirovic, G. and Pamucar, D. "Decision support model for prioritizing railway level crossings for safety improvements: Application of the adaptive neuro-fuzzy system", *Expert Systems with Applications*, **40**(6), pp. 2208-2223 (2013).
11. Grade Crossings Standards, Transprt Canada, (2014).
12. Boodlal, L. "Accessible sidewalks and street crossings-an informational guide", Washington, DC, Federal Highway Administration (2004).
13. Peterniak, R., Budowski, A. and Montufar, J. "Evaluating pedestrian accessibility at level railroad crossings", Transportation Research Board, Washington, D.C. (2014).
14. Ogden, B.D. and Engineering, K., *A Division of DMJM+Harris, Railroad-Highway Grade Crossing Handbook*, revised 2^{ed} edition 2007, Washington, DC: Federal Highway Administration (2007).
15. Pedestrian Safety at Grade Crossing Guide (Final Draft), Transport Canada (2007).
16. Yan, X., Richards, S. and Su, X. "Using hierarchical tree-based regression model to predict train-vehicle crashes at passive highway-rail grade crossings", *Accident Analysis & Prevention*, **42**(1), pp. 64-74 (2010).
17. Long, A.J. and Andrey, J. "Long-term trends in weather-related crash risks", *Journal of Transport Geography*, **18**(2), pp. 247-258 (2010).
18. Abdel-Aty, M., Ekram, A.A., Huang, H. and et al. "A study on crashes related to visibility obstruction due to fog and smoke", *Accident Analysis & Prevention*, **43**(5), pp. 1730-1737 (2011).
19. Zhao, S. and Khattak, A. "Motor vehicle drivers injuries in train-motor vehicle crashes", *Accident Analysis & Prevention*, **74**, pp. 162-168 (2015).
20. Hao, W. and Daniel, J. "Driver injury severity related to inclement weather at highway-rail grade crossings in the United States", *Traffic Injury Prevention*, **17**(1), pp. 31-38 (2016).
21. Mohseni, M. and Bagheri, M. "The impact of gender on vehicle driver injury severity at highway-railway grade crossings", A Thesis in Master of Science in Railway Engineering, (2016).
22. Number, Types and Position of the Iran's Level Crossings, Directorate General of Railways and Railway Structures, Tehran (2014).
23. Abdel-Aty, M. "Analysis of driver injury severity levels at multiple locations using ordered probit models", *Journal of Safety Research*, **34**(5), pp. 597-603 (2003).
24. Khattak, A. "Injury severity in multi-vehicle rear-end crashes", *Transportation Research Record*, **1746**(1), pp. 59-68 (2001).
25. Kockelman, K. and Kweon, Y.J. "An application of ordered probit models", *Accident Analysis and Prevention*, **34**(4), pp. 313-321 (2002).
26. Kweon, Y. and Kockelman, K. "Overall injury risk to different drivers: Combining exposure, frequency, and severity models", *Accident Analysis and Prevention*, **35**(3), pp. 414-450 (2003).
27. Carson, J. and Mannering, F. "The effect of ice warning signs on iceaccident frequencies and severities", *Accident Analysis and Prevention*, **33**(1), pp. 99-109 (2001).
28. Khorashadi, A., Niemeier, D., Shankar, V. and et al. "Differences in rural and urban driver-injury severities

in accidents involving large trucks: An exploratory analysis", *Accident Analysis and Prevention*, **37**(5), pp. 910-921 (2005).

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

30. Ulfarsson, G. and Mannering, F. "Differences in male and female injury severities in sport-utility vehicle, minivan, pickup and passenger car accidents", *Accident Analysis and Prevention*, **36**(2), pp. 135-147 (2004).

31. Long, J.S. "Regression models for categorical and limited dependent variables, thousand 561 Oaks", CA: Sage Publications, (1997).

32. Zakeri, "Identification of high risk highway railways level crossing bsed on the risk indicator", *Journal of Transportation*, **3**(3), (2006).

33. Ayati, I., Jabar, A.Z. and Sadeghi, A.A. "Model of prediction of frequency of accident occurrence for Iran's railroad crossings", *Transport Engineering*, **2**(2), pp.99-114 (2010).

34. Mickey, R.M. and Greenland, S. "The impact of confounder selection criteria of on effect estimation", *American Journal of Epidemiology*, **129**(1), pp. 125-137 (1989).