

مدل‌سازی سطح شدت حوادث وسایل نقلیه ریلی با روش لوجیت چندگانه به تفکیک قطار باری و قطار مسافری

مقاله علمی - پژوهشی

سیدصابر ناصرعلوی، 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
سید امیرمحمدحسینی، دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: navidnadimi@uk.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۳

صفحه ۷۶-۵۹

چکیده

حمل و نقل ریلی یکی از مدهای ایمن حمل و نقلی در جهان است و به دلیل راحتی و کم بودن هزینه‌ها به یکی از جذاب‌ترین شیوه‌های حمل و نقلی برای مسافران و صاحبان کالا تبدیل شده است. اما یکی از مسائلی که باعث کاهش مطلوبیت حمل و نقل ریلی شده، حوادثی است که در آن‌ها اتفاق می‌افتد. هدف از این پژوهش شناسایی و بررسی عوامل مؤثر بر سطح شدت حوادث در سه سطح فوتی، جرحی و فقط خسارتی برای سه دسته از وسایل حمل و نقل ریلی شامل قطار باری، مسافری و سایر وسایل نقلیه ریلی (اعم از لکوموتیو، واگن باری و غیره) است. در این پژوهش از داده‌های حوادث ریلی ایران از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹ استفاده شده و مدل‌سازی از طریق رگرسیون لوجستیک چندگانه صورت گرفته است. در مدل‌سازی با کمی کردن نتایج، سعی شده است که تأثیر هر یک از متغیرها بر سطح شدت حوادث رخ داده بیان گردد. بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش، تصادف با عابرین پیاده، تصادف با وسایل نقلیه جاده‌ای، سرعت بالاتر از سرعت مجاز (برابر و یا بیشتر از ۳۰ کیلومتر بر ساعت)، سرعت در هنگام تصادف (برابر و یا بیشتر از ۳۰ کیلومتر بر ساعت) چند خطه بودن ریل از جمله متغیرهایی هستند که نسبت به سایر متغیرها تأثیر معنی‌دار و بیشتری بر شدت حوادث دارند. با توجه به نتایج مدل‌سازی و با توجه به نوع متغیرهای مدل، علاوه بر شناخت عوامل مؤثر بر ایمنی انتظار می‌رود با انجام اقدامات اصلاحی و ارائه برخی از سیاست‌گذاری‌ها بسته به نوع متغیرهای مدل بطور مثال با بکارگیری گارد ریل در سطح راه‌های ریلی که بر اساس آمار دارای خروج از ریل زیادی هستند، به افزایش ایمنی در حوزه حمل و نقل ریلی کمک کرد.

واژه‌های کلیدی: ایمنی، شدت حوادث، حمل و نقل ریلی، رگرسیون لوجستیک چندگانه

۱-مقدمه

می‌دهد، در زمره شدیدترین و پرهزینه‌ترین حوادث است. این نوع حوادث باعث تحمیل هزینه‌های مستقیمی نظیر هزینه‌های ناشی از فوت، مصدومیت وارد شده به کاربران، خسارت‌های وارده به وسایل نقلیه و هزینه‌های غیر مستقیمی مانند غم، غصه، درگیری‌های روحی و روانی، آثار اجتماعی و فرهنگی می‌شود (Jindal & Mukherji, 2005). برای فعالیت در جهت ارتقای ایمنی حمل و نقل ریلی ابتدا باید عوامل مؤثر در حوادث ریلی

هر ساله حوادث ریلی باعث تحمیل هزینه‌های جانی و مالی بسیار زیادی به افراد درگیر در حادثه و به‌طور غیر مستقیم به جامعه می‌شود. حمل و نقل ریلی بعد از حمل و نقل هوایی از ایمن‌ترین شیوه‌های حمل و نقلی است (Reis et al., 2013). اما حوادثی که در این نوع حمل و نقل اعم از حوادث بین وسیله نقلیه ریلی با دیگر وسایل نقلیه جاده‌ای و یا حوادث بین این نوع وسایل با عابرین پیاده، موانع، احشام و غیره رخ

نشان داده شد که استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های هوش مصنوعی (AI^2) به درک مشکل تحلیل ایمنی و به‌صورت گواهینامه سیستم‌های پرخطر مانند سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی هدایت شونده کمک می‌کند. در این پژوهش برای کمک به کارشناسان در این فرآیند پیچیده ارزیابی مطالعات ایمنی، تصمیم گرفته شد از تکنیک‌های هوش مصنوعی و به‌ویژه یادگیری ماشینی برای سیستم‌بندی، ساده‌سازی و تقویت رویکردهای مرسوم مورد استفاده برای تحلیل ایمنی و صدور گواهینامه استفاده گردد (Hadj-mabrouk, 2019). بنابراین BDA ویژگی‌های اصلی مورد نیاز کارشناسان حمل‌ونقل ریلی را برای نظارت بر وضعیت کلی زیرساخت، بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی عملیات تعمیر و نگهداری، مدیریت خطرات حوادث و حوادث احتمالی و در نتیجه بهبود ایمنی سیستم حمل‌ونقل ارائه می‌دهد.

حوادث مرگبار در گذرگاه‌های راه‌راه آهن ($IRRVs^3$) منجر به مرگ ۲۶۱ نفر در سال ۲۰۱۰ و ۲۵۱ مورد در سال ۲۰۱۱ شده است (FRA, 2012). همچنین در سال ۲۰۰۷ عوامل انسانی به‌عنوان یکی از علل اصلی حوادث در $IRRV$ ‌ها شناسایی و نیاز به بکارگیری برنامه‌هایی برای اقدام موثر در رسیدگی به مسائل ایمنی در $IRRV$ ‌ها برجسته شد. مجموعه‌ای از ابتکارات در زمینه‌های مربوط به آموزش، مهندسی و اجرا می‌تواند در پیشگیری از حوادث در $IRRV$ ‌ها کمک کند (DOT, 2007). بدلیل رویداد حوادث زیاد در محل تقاطع وسایل نقلیه ریلی-جاده‌ای ($IRRV$)، ادبیات تحقیقی غنی‌ای در این زمینه وجود دارد. در سال ۲۰۱۶ شدت آسیب را در $IRRV$ ‌ها بر اساس زمان روز مورد مطالعه قرار گرفت (Hao & Kamga & Wan, 2016). داده‌های FRA^4 برای ۲۵۹۴۵ تصادف در $IRRVs$ در ایالات متحده برای بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۱ مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج مطالعه نشان داد که شدت آسیب در $IRRV$ ‌ها برای حوادث در ساعات اوج قبل از ظهرها، ساعات اوج بعد از ظهرها و خارج از پیک بعد از ظهرها در مقایسه با سایر دوره‌های زمانی در طول روز به‌طور قابل‌توجهی بیشتر بود. در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۷، رانندگی در حالت حواسپرتی گزارش شده توسط خود رانندگان در $IRRV$ ‌ها بررسی شد. داده‌ها با استفاده از پرسشنامه‌ای جمع‌آوری شد که به‌طور تصادفی بین رانندگان وسایل نقلیه موتوری دارای مجوز در نبراسکا (ایالات متحده) توزیع شد. نتایج نشان داد که رانندگان

شناخته شود. سپس با سیاست‌گذاری و سرمایه‌گذاری روی این عوامل به دنبال کاهش حوادث و افزایش ایمنی در این شیوه حمل و نقلی شد. در سال‌های اخیر، محققان و کارشناسان در زمینه حمل‌ونقل زمینی و هوایی به‌طور فزاینده‌ای به استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی برای حل برخی مشکلات مانند تشخیص خودروها در جریان ترافیک، مدیریت عملیات تعمیر و نگهداری، تحلیل رفتار رانندگان، پیش‌بینی خرابی زیرساخت‌های حمل‌ونقل، برنامه‌ریزی و پیش‌بینی تقاضای ترافیک، کنترل علائم ترافیکی، کنترل ترافیک هوایی و غیره پرداختند. در صنعت ریلی برای نمونه از یادگیری ماشین برای پیش‌بینی تعمیر و نگهداری ریل (Bergmeir et al., 2013)، سیستم‌های ویژه (مبتنی بر دانش فازی) برای کنترل ترافیک ریلی (Fay, 2000)، یادگیری عمیق برای تشخیص عیوب راه‌آهن جانی (Santur & Karakös & Ak, 2017) و شبکه‌های عصبی برای تشخیص عیوب سطح ریل‌ها (Babuska & Schutter, 2016) استفاده شده است. در همین حال، تحلیل داده‌های بزرگ (BDA^1) به‌ویژه برای شناسایی روندها، کشف روابط، تحلیل، پیش‌بینی و معنا بخشیدن به تصاویر، جریان داده‌ها، و انواع مختلف اطلاعات استفاده شده است. در کاربردهای حمل‌ونقل ریلی، BDA می‌تواند با توجه به مقادیر زیاد داده تولید شده در سیستم حمل‌ونقل توسط حسگرهای نصب شده بر روی ریل یا واگن، یا تجهیزات سیگنالی‌نگ، تجهیزات نظارت و بازرسی، سیستم‌های ارتباطی، سیستم‌های نظارت قطار و غیره سهم مفیدی داشته باشند. از BDA می‌توان در مجموعه داده‌های جمع‌آوری شده برای به دست آوردن اطلاعات مفید استفاده کرد. به عنوان مثال، می‌توان علل بالقوه خرابی در حین بهره‌برداری، خرابی برخی از اجزای مسیر و احتمالاً تجهیزات ایمنی را دریافت. همچنین می‌توان از سایر کاربردهای BDA به کار بر روی بهره‌برداری از داده‌های مربوط به بهره‌برداری، نگهداری و ایمنی راه آهن (Ghofrani et al., 2018)، تصمیم‌گیری در مورد تعمیر و نگهداری راه آهن (Thaduri & Galar & Kumar, 2015)، مهندسی و مدیریت برنامه‌های راه آهن (Attoh-okine, 2014)، بهبود سیستم‌های گزارش تماس (Hughes, 2018)، اجرای یک رویکرد پیش‌بینی‌کننده برای ایمنی و نگهداری پرسنل (Hayward, 2018)، و استفاده از داده‌های بزرگ برای ساخت اینترنت قطارها (Marr, 2017) اشاره کرد. در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۹

گرفتن صدمات و هزینه‌های مالی تمرکز کردند (Rowan & Faculty & Lavrenz, 2021).

طبق مطالعاتی که اخیراً صورت گرفته است خرابی‌های موجود در سطح راه‌های ریلی منجر به خروج وسایل نقلیه ریلی از این نوع راه‌ها می‌گردد که در پی آن خسارت‌های جانی و مالی قابل توجه‌ای را به دنبال دارد (Babu, 2022; Harsha, 2020; Lee, 2019; Shah et al., 2020). محمدزاده و پایدار در سال ۱۳۹۹ یکی دیگر از دلایل خروج از ریل را رشد ترک‌های ستاره‌ای (ترک سوراخ پیچ ریل) در ریل‌ها مطرح کردند، این نوع درز یکی از دلایل اصلی شکست ریل در ناحیه درز بوده بگونه‌ای که بدلیل عبور قطار این شکستگی رخ داده و باعث خروج از ریل قطار می‌گردد. در این مطالعه روش اجزا محدود برای مدل‌سازی درز ریل ارائه شده است و از نتایج کاربردی آن می‌توان به بهینه‌سازی امور نگهداری خط و تصمیم‌گیری در مواردی همچون تعویض ریل ترک‌خورده یا عدم آن نام برد (محمدزاده و پایدار، ۱۳۹۹). سیستم تشخیص خطای خط راه آهن پیشنهادی، خطوط راه آهن معیوب را به‌طور خودکار و بدون نیاز به دخالت انسان تشخیص می‌دهد (Babu, 2022). موانع موجود در مسیر راه آهن مانند تخته سنگ در مسیر، افتادن درختان روی گیج و غیره منجر به حوادث خارج شدن از ریل می‌شود که در طول سالیان متمادی خسارات قابل توجهی به راه آهن از نظر کشته و مجروحیت وارد می‌کند، نظارت بر این حوادث توسط انسان‌های شاغل در راه آهن و از طریق تصاویر هوایی که یک کار تحقیقاتی پرطرفدار تحت هوش مصنوعی در حال رشد است، امکان‌پذیر بوده است (Rampriya et al., 2022). همچنین مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۰ توسط شین و همکاران صورت گرفت که نشان داد کارکرد طولانی مدت وسایل نقلیه راه آهن و تناژ عبوری انباشته در مسیر راه آهن می‌تواند باعث خرابی و تغییر شکل ریل‌های مسیر شود. تغییر شکل‌های بحرانی یا آسیب دیدن ریل‌ها نیز باعث کاهش عمر ریل و بروز حوادث ایمنی مانند خروج از ریل می‌شود. بنابراین، کار سنگ زنی راه آهن را می‌توان به‌عنوان تعمیر و نگهداری راه آهن انجام داد (Shin, 2020). در سال ۲۰۱۰، کاوپراسرت و همکارانش درباره تأثیر سرعت قطار در حمل‌ونقل مواد خطرناک تحقیقاتی انجام داده‌اند، آن‌ها در یافتند که با افزایش سرعت، احتمال آزاد شدن مواد خطرناک بیشتر بوده و پی بردند که با افزایش درجه راه ریلی احتمال آزاد شدن مواد خطرناک کاهش می‌یابد. (Kawprasert & Barkan, 2010). فتح الهی و

زن، رانندگان جوان‌تر، رانندگانی که دارای خانواده‌های با درآمد بالاتر هستند و استفاده مکرر از IRRV برخی از عواملی بودند که مستقیماً با رانندگی در حالت بی‌توجهی در IRRVها مرتبط بودند (Zhao & Khattak, 2017). در مطالعه دیگری یک روش ریسک رقابتی برای ارزیابی فراوانی و شدت حوادث در IRRVs برای یک دوره ۳۰ ساله در داکوتای شمالی (ایالات متحده) پیشنهاد گردید. این مطالعه نشان داد که سامانه تشخیص قطار، خدمات قطار، نوع سطح جاده، ترافیک راه‌آهن و بزرگراه، درصد کامیون و تعداد خطوط بزرگراه می‌تواند بر احتمال وقوع تصادف در IRRV تأثیر بگذارد (Keramati et al., 2020). در مقاله دیگری رفتار رانندگان در IRRVها با انواع مختلف دستگاه‌های هشدار تحلیل گردید. نتایج تحقیق نشان‌دهنده پاسخ ضعیف راننده در IRRVها با دستگاه‌های هشدار غیرفعال در مقایسه با IRRVها با دستگاه‌های هشدار فعال بود (Tey & Ferreira & Wallace, 2011). تلفات، زمان تصادف و ویژگی‌های افرادی که در حوادث قطار عابر پیاده در طول دوره زمانی ۲۰۰۵-۲۰۰۹ در راه آهن فنلاند جان خود را از دست دادند، در یک تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت. در مجموع ۳۱۱ عابر پیاده بر اثر تصادف عابر پیاده با قطار کشته شده بودند. همچنین در مجموع ۲۶۴ تصادف نیز در اثر خودکشی بوده است (Silla & Luoma, 2012). عوامل روانشناختی که می‌تواند باعث حواس پرتی و بی‌توجهی راننده برای صنعت ریلی استرالیا و نیوزلند شود در یک مطالعه بررسی شد. نتایج نشان داد که اضطراب فزاینده، عدم درگیری و انجام چند کار از جمله عوامل مهمی هستند که می‌توانند حواس پرتی را تشدید کنند و در معرض خطر قرار گرفتن راننده افزایش دهند (Naweed, 2013). با این حال، بسیاری از مطالعات بررسی شده، در هنگام تحلیل حوادث IRRV، بر گروه خاصی از عوامل بیشتر تأکید دارند. به‌عنوان مثال، در سال ۲۰۱۶ در یک مطالعه بر تأثیرات زمان روز بر شدت آسیب در IRRVها تمرکز شد (Hao & Kamga & Wan, 2016). گروه دیگر از مطالعات اثرات ویژگی‌های هندسی IRRV بر آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر حوادث را بررسی کردند (Lin et al., 2014; Keramati et al., 2020). مطالعه دیگری در سال ۲۰۲۱ در هنگام بررسی حوادث IRRV طیف گسترده‌ای از عوامل را تحلیل کردند، اما تنها بر حوادث مرگبار بدون در نظر

می‌شود. بنابراین برای هر یک از سه دسته قطار باری، مسافری و سایر وسایل نقلیه ریلی، یک مدل MNL ارائه می‌شود. متغیر پاسخ در این پژوهش سطح شدت حوادث در سه دسته صرفاً خسارتی و جرحی و فوتی است. سطح شدت به ازای هر حادثه در بانک داده بر اساس بیشترین آسیب وارده به افراد اعم از مسافران، کارکنان و یا اشخاص ثالث مشخص می‌شود. اگر در یک ردیف از پایگاه داده (یعنی در یک حادثه) حداقل یک فرد فوت شود، سطح شدت حادثه، فوتی قلمداد می‌گردد. در صورت عدم وجود فوتی و وجود حداقل یک فرد مصدوم، سطح شدت حادثه جرحی در نظر گرفته می‌شود. در صورت عدم وجود فوتی و مصدومیت، سطح شدت آن حادثه فقط خسارتی در نظر گرفته می‌گردد. بنابراین در یک حادثه صرف‌نظر از اینکه چه شخصی از مسافران یا کارکنان و یا از افراد ثالث دچار حادثه شود و فقط بسته به اینکه در یک حادثه، فرد یا افراد فوتی و یا جرحی وجود داشته باشد، سطح شدت مشخص می‌گردد. در این پژوهش ۲۷ متغیر مستقل بصورت دودویی (باینری) تعریف می‌شود که جزئیات آنها در ادامه ارائه می‌گردد.

۲-۱- داده‌ها

پایگاه داده در این پژوهش، شامل اطلاعات ۵۹۴۱ حادثه وسایل نقلیه ریلی در ایران از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹ است. وسایل نقلیه ریلی در سه گروه: قطار باری (با فراوانی ۱۴۹۹ تصادف)، قطار مسافری (با فراوانی ۲۱۳۲ تصادف) و سایر وسایل نقلیه ریلی شامل لکوموتیو، مانور باری، درزین، واگن باری و غیره هستند (با فراوانی ۲۳۱۰ تصادف)، تقسیم بندی شده‌اند.

با پیش‌پردازش داده‌ها، برخی از متغیرها به دلایلی از قبیل عدم ارتباط با متغیر پاسخ در این پژوهش، داده‌های گم شده فراوان و همچنین وارپانس کم، حذف گردید و در پایان از ۷۶ متغیر موجود در بانک داده، فقط ۲۷ متغیر به عنوان متغیرهای توصیف شونده انتخاب شد. آمار توصیفی این ۲۷ متغیر در جداول ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب برای قطار باری، قطار مسافری و سایر وسایل ریلی ارائه شده است.

همکارانش در سال ۱۳۹۵ به تشخیص خرابی تیغه‌های سوزن با استفاده از تکنولوژی پردازش تصویر پرداختند، که در این مطالعه با برداشت و پردازش تصاویر محل تیغه‌های سوزن توسط کامپیوتر به سنجش سلامت سیستم بررسی شده، پرداخته می‌شود (باقری، ۱۳۹۵).

ادبیات تحقیق در خصوص ایمنی حمل‌ونقل ریلی به اندازه ایمنی حمل‌ونقل جاده‌ای گسترده نیست و پژوهش‌های محدود انجام گرفته در حوزه ایمنی ریلی بیشتر در سایر کشورها به انجام رسیده و منطبق بر داده‌ها و شرایط ایران نیست. به همین دلیل نیاز است، تا اولاً مطالعه‌های علمی و جامع در این حوزه صورت پذیرد و ثانیاً این مطالعه منطبق بر داده‌های حوادث ریلی ایران باشد تا بتوان با اطمینان خاطر بیشتری به نتایج آن استناد نمود. با مرور ادبیات تحقیق مشخص گردید که مطالعات چندانی در زمینه بررسی شدت حوادث وسایل نقلیه ریلی (به تفکیک برای قطار باری، مسافری و سایر وسایل نقلیه ریلی) به‌ویژه در ایران صورت نگرفته است. در این پژوهش سعی می‌شود، شدت حوادث بین انواع وسایل نقلیه ریلی مانند قطارهای مسافری، قطارهای باری با وسایل نقلیه جاده‌ای، عابرین پیاده، احشام، موانع اطراف راه‌های ریلی و غیره مورد بحث و بررسی قرار گیرد و سپس به شناسایی عوامل مؤثر بر شدت حوادث ریلی با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک چندگانه پرداخته شود.

سازماندهی بخش‌های این پژوهش عبارت است از: بخش ۲ ابزارها و روش‌های این پژوهش را مورد بحث قرار می‌دهد، در بخش ۳ نتایج آورده شده است، بخش ۴ به تفسیر و بحث در خصوص نتایج می‌پردازد، در بخش ۵ خلاصه و نتیجه‌گیری این پژوهش و در بخش‌های ۶ و ۷ به ترتیب پی‌نوشت و مراجع بیان می‌گردد.

۲- ابزار و روش‌ها

هدف اصلی این پژوهش تحلیل شدت حوادث ریلی به تفکیک در سه دسته قطار باری، مسافری و سایر وسایل نقلیه ریلی است. برای رسیدن به این هدف پس از ارائه داده‌ها و آمار توصیفی از متغیرهای در اختیار و بررسی جداول فراوانی، از طریق مدل‌سازی MNL به تحلیل شدت حوادث پرداخته

جدول ۱. توزیع فراوانی شدت حوادث قطار باری

سطح شدت حوادث								متغیر
کل		فوتی		جرحی		فقط خسارتی		
نسبت (درصد)	تعداد	نسبت (درصد)	تعداد	نسبت (درصد)	تعداد	نسبت (درصد)	تعداد	
۱۰۰	۱۹۹	۹/۵	۱۹	۶/۰	۱۲	۸۴/۴	۱۶۸	قوس
۱۰۰	۳۷	۵/۴	۲	۵/۴	۲	۸۹/۲	۳۳	تونل
۱۰۰	۱۹	۴۷/۴	۹	۵/۳	۱	۴۷/۴	۹	پل
۱۰۰	۲۹۴	۱/۷	۵	۰/۳	۱	۹۸/۰	۲۸۸	ترانشه
۱۰۰	۳۰۳	۶/۳	۱۹	۱/۷	۵	۹۲/۱	۲۷۹	چند خطه
۱۰۰	۱۱۳۶	۱۱/۰	۱۲۵	۸/۳	۹۴	۸۰/۷	۹۱۷	تعداد واگن (برابر و یا بیش از ۱۰ واگن)
۱۰۰	۱۰۵۶	۱۰/۵	۱۱۱	۷/۷	۸۱	۸۱/۸	۸۶۴	وزن قطار (برابر و یا بیش از ۵۰۰ تن)
۱۰۰	۴۱۳	۱۸/۴	۷۶	۱۲/۶	۵۲	۶۹/۰	۲۸۵	سرعت مجاز (برابر و یا بیش از ۳۰ کیلومتر بر ساعت)
۱۰۰	۳۵۵	۲۰/۳	۷۲	۱۳/۰	۴۶	۶۶/۸	۲۳۷	سرعت در هنگام تصادف (برابر و یا بیش از ۳۰ کیلومتر بر ساعت)
۱۰۰	۱۳۱	۳/۱	۴	۳/۸	۵	۹۳/۱	۱۲۲	مانور
۱۰۰	۶۰۰	۰/۲	۱	۰/۷	۴	۹۹/۲	۵۹۵	محورهای از خط خارج شده
۱۰۰	۸۱۹	۹/۳	۷۶	۷/۱	۵۸	۸۳/۶	۶۸۵	زمان جمع‌آوری (برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه)
۱۰۰	۶۹۷	۱۱/۸	۸۲	۸/۸	۶۱	۷۹/۵	۵۵۴	زمان انسداد (برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه)
۱۰۰	۲۲۰	۰/۰	۰	۱/۸	۴	۹۸/۲	۲۱۶	طول خط آسیب دیده (برابر و یا بیش از ۱۰ متر)
۱۰۰	۵۸۳	۲/۱	۱۲	۳/۹	۲۳	۹۴/۰	۵۴۸	مکان تصادف (ایستگاه)
۱۰۰	۲۴۶	۱۳/۰	۳۲	۸/۵	۲۱	۷۸/۵	۱۹۳	شیب (سربالایی)
۱۰۰	۲۰۶	۱۴/۱	۲۹	۸/۷	۱۸	۷۷/۲	۱۵۹	شیب (سریانی)
۱۰۰	۲۱۶	۰/۰	۰	۰/۰	۰	۱۰۰/۰	۲۱۶	نوع تصادف (حیوانات)
۱۰۰	۱۸۲	۶۲/۱	۱۱۳	۳۶/۳	۶۶	۱/۶	۳	نوع تصادف (عابرین پیاده)
۱۰۰	۱۵۹	۹/۴	۱۵	۲۵/۲	۴۰	۶۵/۴	۱۰۴	نوع تصادف (وسایل نقلیه جاده‌ای)
۱۰۰	۲۶۹	۰/۰	۰	۰/۴	۱	۹۹/۶	۲۶۸	نوع تصادف (خروج از سوزن ریل)
۱۰۰	۴۵۱	۴/۲	۱۹	۵/۱	۲۳	۹۰/۷	۴۰۹	نوع تصادف (خروج از ریل)
۱۰۰	۲۰۶	۸/۳	۱۷	۵/۸	۱۲	۸۵/۹	۱۷۷	سامانه اعزام (جوازی)
۱۰۰	۶۶۵	۱۱/۳	۷۵	۵/۴	۳۶	۸۳/۳	۵۵۴	سامانه اعزام (میله راهنما)
۱۰۰	۱۳۰	۱۶/۹	۲۲	۲۵/۴	۳۳	۵۷/۷	۷۵	سامانه اعزام (علائم)
۱۰۰	۳۰۴	۱/۶	۵	۳/۳	۱۰	۹۵/۱	۲۸۹	رتبه ریل (اهمیت زیاد)
۱۰۰	۳۱۶	۳۶/۴	۱۱۵	۰/۹	۳	۶۲/۷	۱۹۸	رتبه ریل (اهمیت متوسط)

جدول ۲. توزیع فراوانی شدت حوادث قطار مسافری

متغیر	سطح شدت حوادث							
	فقط خسارتی		جرحی		فوتی		کل	
	نسبت تعداد (درصد)	تعداد	نسبت تعداد (درصد)	تعداد	نسبت تعداد (درصد)	تعداد	نسبت تعداد (درصد)	
قوس	۶۸/۳	۲۸	۱۵/۱	۳۱	۱۶/۷	۱۸۶	۱۰۰	
تونل	۸۶/۴	۳	۱۳/۶	۰	۰/۰	۲۲	۱۰۰	
پل	۳۰/۲	۱۳	۳۰/۲	۱۷	۳۹/۵	۴۳	۱۰۰	
ترانشه	۸۸/۸	۴	۴/۱	۷	۷/۱	۹۸	۱۰۰	
چند خطه	۵۴/۳	۵۹	۱۱/۴	۱۷۷	۳۴/۳	۵۱۶	۱۰۰	
تعداد واگن (برابر و یا بیش از ۱۰ واگن)	۴۴/۵	۱۳۵	۱۷/۴	۲۹۶	۳۸/۱	۷۷۶	۱۰۰	
وزن قطار (برابر و یا بیش از ۵۰۰ تن)	۴۷/۹	۱۱۹	۱۵/۶	۲۷۹	۳۶/۵	۷۶۴	۱۰۰	
سرعت مجاز (برابر و یا بیش از ۳۰ کیلومتر بر ساعت)	۲۷/۳	۱۶۴	۲۴/۷	۳۱۹	۴۸/۰	۶۶۴	۱۰۰	
سرعت در هنگام تصادف (برابر و یا بیش از ۳۰ کیلومتر بر ساعت)	۲۶/۵	۱۵۸	۲۴/۶	۳۱۴	۴۸/۹	۶۴۲	۱۰۰	
مانور	۷۲/۱	۱۰	۲۳/۳	۲	۴/۷	۴۳	۱۰۰	
محورهای از خط خارج شده	۹۱/۳	۹	۶/۰	۴	۲/۷	۱۴۹	۱۰۰	
زمان جمع‌آوری (برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه)	۳۷/۴	۱۱۳	۱۴/۹	۳۶۲	۴۷/۷	۷۵۹	۱۰۰	
زمان انسداد (برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه)	۳۳/۴	۱۱۶	۱۵/۵	۳۸۱	۵۱/۱	۷۴۶	۱۰۰	
طول خط آسیب دیده (برابر و یا بیش از ۱۰ متر)	۸۴/۶	۶	۱۱/۵	۲	۳/۸	۵۲	۱۰۰	
مکان تصادف (ایستگاه)	۶۶/۲	۷۷	۲۵/۸	۲۴	۸/۰	۲۹۹	۱۰۰	
شیب (سربالایی)	۵۵/۳	۵۲	۱۳/۲	۱۲۴	۳۱/۵	۳۹۴	۱۰۰	
شیب (سریانی)	۵۵/۰	۴۶	۱۵/۴	۸۸	۲۹/۵	۲۹۸	۱۰۰	
نوع تصادف (حیوانات)	۱۰۰/۰	۰	۰/۰	۰	۰/۰	۷۰۴	۱۰۰	
نوع تصادف (عابرین پیاده)	۰/۹	۲۰۷	۲۷/۷	۵۳۴	۷۱/۴	۷۴۸	۱۰۰	
نوع تصادف (وسایل نقلیه جاده‌ای)	۶۳/۱	۶۲	۲۰/۸	۴۸	۱۶/۱	۲۹۸	۱۰۰	
نوع تصادف (خروج از سوزن ریل)	۹۷/۶	۱	۱/۲	۱	۱/۲	۸۵	۱۰۰	
نوع تصادف (خروج از ریل)	۵۷/۱	۶۵	۲۴/۳	۵۰	۱۸/۷	۲۶۸	۱۰۰	
سامانه اعزام (جوازی)	۵۶/۶	۳۸	۱۶/۸	۶۰	۲۶/۵	۲۲۶	۱۰۰	
سامانه اعزام (میله راهنما)	۴۹/۲	۱۶۵	۱۵/۲	۳۸۶	۳۵/۶	۱۰۸۵	۱۰۰	
سامانه اعزام (علائم)	۵۹/۱	۳۴	۲۰/۷	۳۳	۲۰/۱	۱۶۴	۱۰۰	
رتبه ریل (اهمیت زیاد)	۷۴/۳	۱۶	۱۱/۱	۲۱	۱۴/۶	۱۴۴	۱۰۰	
رتبه ریل (اهمیت متوسط)	۱۱/۶	۳۱	۵/۶	۴۵۹	۸۲/۹	۵۵۴	۱۰۰	

جدول ۳. توزیع فراوانی شدت حوادث سایر وسایل نقلیه ریلی اعم از لکوموتیوها، واگن‌های باری و غیره

متغیر	سطح شدت حوادث						
	فقط خسارتی		جرحی		فوتی		کل
	نسبت تعداد (درصد)	تعداد	نسبت تعداد (درصد)	تعداد	نسبت تعداد (درصد)	تعداد	نسبت تعداد (درصد)
قوس	۷۲/۵	۱۹	۱۸/۶	۹	۸/۸	۱۰۲	۱۰۰
تونل	۴۴/۴	۴	۴۴/۴	۱	۱۱/۱	۹	۱۰۰
پل	۲۶/۱	۹	۳۹/۱	۸	۳۴/۸	۲۳	۱۰۰
ترانشه	۹۸/۸	۸	۱/۲	۰	۰/۰	۶۵۶	۱۰۰
چند خطه	۸۲/۴	۳۰	۶/۴	۵۳	۱۱/۲	۴۷۲	۱۰۰
تعداد واگن (برابر و یا بیش از ۱۰ واگن)	۹۱/۴	۲۶	۶/۴	۹	۲/۲	۴۰۸	۱۰۰
وزن قطار (برابر و یا بیش از ۵۰۰ تن)	۹۱/۱	۲۱	۶/۲	۹	۲/۷	۳۳۷	۱۰۰
سرعت مجاز (برابر و یا بیش از ۳۰ کیلومتر بر ساعت)	۳۲/۰	۱۰۲	۳۱/۴	۱۱۹	۳۶/۶	۳۲۵	۱۰۰
سرعت در هنگام تصادف (برابر و یا بیش از ۳۰ کیلومتر بر ساعت)	۳۴/۱	۸۷	۲۸/۸	۱۱۲	۳۷/۱	۳۰۲	۱۰۰
مانور	۹۱/۷	۷۶	۶/۸	۱۶	۱/۴	۱۱۱۰	۱۰۰
محورهای از خط خارج شده	۹۸/۷	۹	۱/۱	۱	۰/۱	۷۸۹	۱۰۰
زمان جمع‌آوری (برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه)	۸۵/۱	۷۹	۶/۸	۹۵	۸/۱	۱۱۶۹	۱۰۰
زمان انسداد (برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه)	۷۴/۶	۶۴	۱۰/۱	۹۷	۱۵/۳	۶۳۵	۱۰۰
طول خط آسیب دیده (برابر و یا بیش از ۱۰ متر)	۹۶/۸	۵	۳/۲	۰	۰/۰	۱۵۶	۱۰۰
مکان تصادف (ایستگاه)	۸۷/۵	۱۵۸	۱۰/۲	۳۶	۲/۳	۱۵۴۸	۱۰۰
شیب (سربالایی)	۵۳/۸	۴۲	۲۴/۶	۳۷	۲۱/۶	۱۷۱	۱۰۰
شیب (سریانی)	۶۱/۱	۳۲	۱۹/۲	۳۳	۱۹/۸	۱۶۷	۱۰۰
نوع تصادف (حیوانات)	۱۰۰/۰	۰	۰/۰	۰	۰/۰	۱۵۸	۱۰۰
نوع تصادف (عابرین پیاده)	۰/۸	۱۰۱	۴۲/۸	۱۳۳	۵۶/۴	۲۳۶	۱۰۰
نوع تصادف (وسایل نقلیه جاده‌ای)	۶۶/۴	۵۹	۲۳/۰	۲۷	۱۰/۵	۲۵۶	۱۰۰
نوع تصادف (خروج از سوزن ریل)	۹۹/۶	۲	۰/۴	۰	۰/۰	۵۳۴	۱۰۰
نوع تصادف (خروج از ریل)	۷۱/۸	۱۶۴	۲۲/۰	۴۶	۶/۲	۷۴۴	۱۰۰
سامانه اعزام (جوازی)	۷۹/۰	۴۲	۱۲/۱	۳۱	۸/۹	۳۴۸	۱۰۰
سامانه اعزام (میله راهنما)	۷۲/۳	۹۰	۱۳/۷	۹۲	۱۴/۰	۶۵۸	۱۰۰
سامانه اعزام (علائم)	۵۶/۲	۴۴	۲۷/۲	۲۷	۱۶/۷	۱۶۲	۱۰۰
رتبه ریل (اهمیت زیاد)	۸۴/۷	۱۹	۱۰/۱	۱۰	۵/۳	۱۸۹	۱۰۰
رتبه ریل (اهمیت متوسط)	۶۷/۸	۲۷	۴/۵	۱۶۵	۲۷/۷	۵۹۶	۱۰۰

که در آن $\pi_j = P(y = j)$ احتمال رخداد تصادف در گروه j است، k تعداد متغیرهای وابسته را مشخص می‌کند و p تعداد متغیرهای مستقل را ارائه می‌دهد. مجموع معادلات $1 - j$ با استفاده از روش بهینه‌سازی حداقل مربعات وزن دار که مرتباً برآورد احتمال ضریب هر متغیر مستقل را پیدا می‌کند، به دست می‌آیند. ضریب به دست آمده تأثیرات متغیر پیش‌بینی‌کننده بر احتمال حضور در یک گروه شدت آسیب j را در برابر رده مرجع k انتخاب می‌کند. نتیجه حاصل به شرح زیر است:

$$\pi_j = \frac{p(y = j)}{1 + \sum_{i=1}^{k-1} e^{\alpha_j + \sum_{l=1}^p \beta_{jl} X_{il}}}$$
 (۴)

مدل‌های MNL با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS ساخته شد. در این مطالعه از سطح شدت «فقط خسارتی» به عنوان گروه پایه یا مرجع برای ۲ سطح شدت دیگر استفاده می‌شود. بنابراین، نتیجه این تلاش پژوهشی منجر به مجموعه‌ای از سه مدل‌سازی MNL برای دو سطح شدت نسبت به گروه پایه (سطح شدت فقط خسارتی) می‌گردد. متغیرهای جدول‌های ۱ و ۲ و ۳ به عنوان متغیرهای ورودی هر مدل در نظر گرفته می‌شوند.

۳- نتایج

جهت توسعه مدل حوادث وسایل نقلیه ریلی در سه سطح قطار باری، قطار مسافری و سایر وسایل ریلی اعم از لکوموتیوها، واگن‌های باری و غیره از مدل‌سازی MNL استفاده شده است. MNL پرکاربردترین رویکرد آماری برای تعیین اهمیت متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در مشخص کردن نتیجه متغیرهای پاسخ گسسته است (Chen & Fan, 2019). مدل MNL محدودیتی روی ضریب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در توابع شدت مختلف ایجاد نمی‌کند، بنابراین مشاهده تأثیر یک متغیر منفرد بر نتایج مختلف شدت حادثه را فراهم می‌کند (Xie & Zhao & Huynh, 2012). نتایج عددی مدل‌سازی در جداول ۴ تا ۶ آورده شده‌اند. لازم بذکر است که متغیرهای موجود در این جداول به صورت دودویی هستند.

لازم به ذکر است در این جداول همه متغیرها از نوع باینری یا دودویی هستند. بنابراین متغیرهایی مثل قوس، تونل، پل و ترانشه چنانچه حادثه در بخشی از مسیر ریلی رخ دهد که متأثر از وجود این آیتم‌ها باشد، مقدار ۱ و در غیر اینصورت مقدار ۰ را خواهد داشت. بایستی توجه داشت هنگام ایجاد برخی متغیرهای مجازی (دامی) از یک متغیر چندتایی، لازم است تعداد متغیرهای مجازی که البته بصورت دودویی هستند یکی کمتر از تعداد سطوح متغیر چندتایی باشد؛ به عنوان مثال، برای متغیر شیب، سه حالت شیب سربالایی و شیب سرپایینی و حالت بدون شیب می‌توان تصور نمود که تنها دو متغیر مجازی باینری برای توصیف یک رکورد از داده‌ها کافی است که در اینجا حالت بدون شیب به عنوان پایه در نظر گرفته شده و دو متغیر شیب سربالایی و شیب سرپایینی به عنوان متغیر مجازی انتخاب شده‌اند و در این جداول مقدار آنها گزارش شده است. بدیهی است برای یک حادثه چنانچه مقدار هر دو متغیرهای شیب سربالایی و شیب سرپایینی صفر شود، آنگاه حادثه در ناحیه بدون شیب رخ داده است.

۲-۲- مدل رگرسیون لوجستیک چندگانه

بدلیل چند سطحی بودن متغیر هدف در این پژوهش، سعی شده است که از مدل رگرسیون لوجستیک چندگانه (MNL) برای مدل‌سازی داده‌های این پژوهش استفاده شود. مدل MNL با فرض خطی بودن و ترکیب متغیرهای مستقل، احتمال وجود یک نتیجه در یک گروه شدت آسیب نسبت به گروه مرجع k را توضیح می‌دهد. در نتیجه، احتمال هر سطح شدت تابعی غیرخطی از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده p است. مدل MNL به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\ln\left(\frac{\pi_1}{\pi_k}\right) = \alpha_1 + \beta_{11}X_1 + \beta_{12}X_2 + \dots + \beta_{1p}X_p'$$
 (۱)

$$\ln\left(\frac{\pi_2}{\pi_k}\right) = \alpha_2 + \beta_{21}X_1 + \beta_{22}X_2 + \dots + \beta_{2p}X_p'$$
 (۲)

$$\ln\left(\frac{\pi_{k-1}}{\pi_k}\right) = \alpha_{(k-1)} + \beta_{(k-1)1}X_1 + \beta_{(k-1)2}X_2 + \dots + \beta_{(k-1)p}X_p'$$
 (۳)

جدول ۴. نتایج مدل‌سازی برای وسایل نقلیه ریلی باری

سطح شدت حوادث					
متغیر	جرحی		فوتی		نسبت شانس
	ضریب	P-Val	ضریب	P-Val	
عرض از مبدأ	-۱۸/۹۸۰	۰/۰۰۰	-	۰/۹۹۳	-
قوس	-۰/۱۳۵	۰/۷۹۷	۰/۸۷۳	۰/۶۸۸	۱/۲۹۹
تونل	۰/۷۹۶	۰/۴۶۰	۲/۲۱۷	۰/۹۰۱	۱/۱۶۵
پل	۲/۰۱۴	۰/۱۳۵	۷/۴۹۳	۰/۱۴	۷۶/۳۰۱
ترانشه	-۲/۰۰۸	۰/۰۶۴	۰/۱۳۴	۰/۲۳۴	۰/۴۱۱
چند خطه	-۱/۷۵۱	۰/۰۱۷	۰/۱۷۴	۰/۰۰۴	۰/۱۴۴
تعداد واگن (برابر و یا بیش از ۱۰ واگن)	-۰/۵۱۷	۰/۲۹۹	۰/۵۹۶	۰/۵۱۰	۱/۵۲۲
وزن قطار (برابر و یا بیش از ۵۰۰ تن)	-۰/۰۶۶	۰/۸۸۶	۰/۹۳۶	-۰/۲۸۳	۰/۵۴۸
سرعت مجاز (برابر و یا بیش از ۳۰ کیلومتر بر ساعت)	-۰/۹۴۳	۰/۱۴۹	۰/۳۸۹	۰/۰۵۱	۰/۱۸۷
سرعت در هنگام تصادف (برابر و یا بیش از ۳۰ کیلومتر بر ساعت)	۱/۳۵۳	۰/۰۲۹	۳/۸۷۰	۰/۰۵۷	۴/۵۰۸
مانور	-۰/۳۹۱	۰/۵۵۹	۰/۶۷۷	۰/۴۴۵	۰/۵۱۵
محورهای از خط خارج شده	-۲/۷۷۶	۰/۰۰۹	۰/۰۶۲	۰/۰۰۹	۰/۰۳۹
زمان جمع‌آوری (برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه)	-۰/۷۹۷	۰/۰۲۶	۰/۴۵۱	۰/۰۵۲	۰/۳۹۴
زمان انسداد (برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه)	۰/۴۲۶	۰/۲۵۹	۱/۵۳۰	۰/۸۶۴	۰/۹۱۷
طول خط آسیب دیده (برابر و یا بیش از ۳۰ متر)	۱/۳۵۳	۰/۲۰۷	۳/۸۷۰	۰/۹۹۴	VE_1/113
مکان تصادف (ایستگاه)	۰/۹۹۸	۰/۰۳۱	۲/۷۱۲	۰/۹۸۱	۱/۰۱۵
شیب (سربالایی)	-۰/۰۲۹	۰/۹۵۳	۰/۹۷۲	۰/۹۷۹	۰/۹۸۴
شیب (سرپائینی)	-۰/۰۸۰	۰/۸۷۷	۰/۹۲۳	۰/۴۸۶	۱/۵۹۸
نوع تصادف (حیوانات)	-۲/۱۰۴	۰/۹۹۹	۰/۱۲۲	۱/۰۰۰	۰/۱۴۹
نوع تصادف (عابرین پیاده)	۲۳/۵۳۲	۰/۰۰۰	۱۶۵۸۱۷۸۳۱۳۱۹/۹۶۶	۰/۹۹۲	۷۷۵۸۶۷۰۴۷۵/۷۱۹
نوع تصادف (وسایل نقلیه جاده‌ای)	۱۸/۳۸۵	۰/۰۰۰	۹۶۵۰۳۶۷۷/۸۶۰	۰/۹۹۴	۳۶۵۰۲۹۶۸/۴۹۲
نوع تصادف (خروج از سوئیچ ریل)	۱۵/۶۰۰	۰/۰۰۰	۵۹۵۸۹۳۱/۰۲۳	۱/۰۰۰	۱/۳۸۴
نوع تصادف (خروج از ریل)	۱۷/۶۵۳	.	۴۶۴۱۱۸۵۶/۷۴۵	۰/۹۹۴	۲۰۵۴۲۱۴۱/۸۰۶
سامانه اعزام (جوازی)	-۰/۵۷۵	۰/۲۸۲	۰/۵۶۲	۰/۳۳۳	۰/۵۴۱
سامانه اعزام (میله راهنما)	-۰/۱۶۳	۰/۶۸۹	۰/۸۴۹	۰/۴۴۳	۰/۶۷۴
سامانه اعزام (علائم)	۰/۹۱۷	۰/۰۶۶	۲/۵۰۲	۰/۸۵۳	۱/۱۳۴
رتبه ریل (مهم)	۰/۰۰۲	۰/۹۹۶	۱/۰۰۲	۰/۰۵۶	۳/۴۳۵
رتبه ریل (متوسط)	-۲/۴۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۹۰	۰/۰۰۰	۲۰/۰۰۷

جدول ۵. نتایج مدل‌سازی برای وسایل نقلیه ریلی مسافری

سطح شدت حوادث						متغیر
فوتی			جرحی			
نسبت شانس	P-Val	ضریب	نسبت شانس	P-Val	ضریب	
-	۰/۰۰۰	-۱۷/۴۵۵	-	۰/۰۱۲	-۲/۳۸۰	عرض از مبدأ
۰/۶۱۰	۰/۲۹۳	-۰/۴۹۵	۰/۵۹۲	۰/۲۲۶	-۰/۵۲۵	قوس
۸E_۱/۵۱۹	۰/۹۹۵	-۱۸/۰۰۳	۰/۴۹۱	۰/۴۳۱	-۰/۷۱۰	تونل
۲/۷۰۵	۰/۲۲۳	۰/۹۹۵	۳/۵۶۷	۰/۰۸۲	۱/۲۷۲	پل
۰/۱۳۸	۰/۰۰۱	-۱/۹۸۳	۰/۱۲۸	۰/۰۰۲	-۲/۰۵۶	ترانشه
۰/۵۷۷	۰/۰۹۵	-۰/۵۵۰	۰/۶۵۷	۰/۱۷۷	-۰/۴۲۱	چند خطه
۱/۳۵۶	۰/۳۹۹	۰/۳۰۵	۱/۴۴۳	۰/۲۹۶	۰/۳۶۷	تعداد واگن (برابر و یا بیش از ۱۰ واگن)
۰/۶۱۱	۰/۱۸۵	-۰/۴۹۳	۰/۵۷۶	۰/۱۲۸	-۰/۵۵۱	وزن قطار (برابر و یا بیش از ۵۰۰ تن)
۰/۰۹۸	۰/۰۰۱	-۲/۳۲۳	۱/۰۸۲	۰/۸۹۰	۰/۰۷۹	سرعت مجاز (برابر و یا بیش از ۳۰ کیلومتر بر ساعت)
۴/۶۴۸	۰/۰۳۱	۱/۵۳۶	۱/۹۲۷	۰/۲۴۱	۰/۶۵۶	سرعت در هنگام تصادف (برابر و یا بیش از ۳۰ کیلومتر بر ساعت)
۰/۳۱۵	۰/۱۹۴	-۱/۱۵۴	۱/۱۱۷	۰/۸۳۷	۰/۱۱۰	مانور
۰/۰۸۲	۰/۰۰۲	-۲/۵۰۴	۰/۳۵۷	۰/۱۱۰	-۱/۰۲۹	محورهای از خط خارج شده
۰/۶۲۵	۰/۱۹۷	-۰/۴۷۰	۰/۴۴۶	۰/۰۱۷	-۰/۸۰۸	زمان جمع‌آوری (برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه)
۱/۵۶۵	۰/۲۰۶	۰/۴۴۸	۱/۱۲۱	۰/۷۳۵	۰/۱۱۴	زمان انسداد (برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه)
۱/۹۳۳	۰/۵۲۶	۰/۶۵۹	۲/۵۷۶	۰/۱۶۱	۰/۹۴۶	طول خط آسیب دیده (برابر و یا بیش از ۳۰ متر)
۰/۳۸۱	۰/۰۱۱	-۰/۹۶۶	۳/۴۸۴	۰/۰۰۰	۱/۲۴۸	مکان تصادف (ایستگاه)
۱/۷۱۷	-۰/۱۴۹	۰/۵۴۰	۱/۱۰۲	۰/۷۷۲	۰/۰۹۷	شیب (سربالایی)
۰/۵۷۳	۰/۱۸۳	-۰/۵۵۷	۰/۵۲۳	۰/۰۶۶	-۰/۶۴۹	شیب (سرپائینی)
۰/۱۶۹	۰/۹۹۸	-۱/۷۷۶	۸E_۱/۵۸۸	۰/۹۸۴	-۱۷/۹۵۸	نوع تصادف (حیوانات)
۲۰۱۱۳۳۸۱۶۳/۸۰۰	۰/۰۰۰	۲۱/۴۲۲	۳۷۱/۳۲۳	۰/۰۰۰	۵/۹۱۷	نوع تصادف (عابرین پیاده)
۱۰۷۲۵۹۴۱/۱۹۴	۰/۰۰۰	۱۶/۱۸۸	۲/۹۱۸	۰/۲۵۸	۱/۰۷۱	نوع تصادف (وسایل نقلیه جاده‌ای)
۱۳۳۹۷۴۶/۴۰۲	۰/۰۰۰	۱۴/۱۰۸	۰/۱۸۲	۰/۱۸۶	-۱/۷۰۴	نوع تصادف (خروج از سوئیچ ریل)
۱۸۵۵۱۰۲۳/۶۶۲	.	۱۶/۷۳۶	۵/۳۲۷	۰/۰۵۹	۱/۶۷۳	نوع تصادف (خروج از ریل)
۰/۲۸۲	۰/۰۰۴	-۱/۲۶۷	۰/۹۵۸	۰/۹۱۰	-۰/۰۴۲	سامانه اعزام (جوازی)
۰/۶۵۰	۰/۱۷۴	-۰/۴۳۱	۱/۴۸۷	۰/۱۷۷	۰/۳۹۶	سامانه اعزام (میله راهنما)
۰/۷۸۶	۰/۶۰۴	-۰/۲۴۱	۱/۶۴۹	۰/۲۱۷	۰/۵۰۰	سامانه اعزام (علائم)
۵/۰۰۳	۰/۰۰۰	۱/۶۱۰	۰/۶۶۰	۰/۳۰۱	-۰/۴۱۵	رتبه ریل (مهم)
۲۴/۷۹۲	۰/۰۰۰	۳/۲۱۱	۰/۴۱۵	۰/۰۱۵	-۰/۸۸۰	رتبه ریل (متوسط)

جدول ۶. نتایج مدل‌سازی برای سایر وسایل نقلیه ریلی اعم از لکوموتیوها، واگن‌های باری و غیره

سطح شدت حوادث						متغیر
فوتی			جراحی			
نسبت شانس	P-Val	ضریب	نسبت شانس	P-Val	ضریب	
-	۰/۰۰۰	-۱۸/۲۲۱	-	۰/۰۰۵	-۳/۰۹۷	عرض از مبدأ
۰/۱۶۳	۰/۰۱۲	-۱/۸۱۳	۰/۳۴۸	۰/۰۲۸	-۱/۰۵۴	قوس
۱/۷۰۲	۰/۶۹۵	۰/۵۳۲	۳/۸۱۴	۰/۱۰۷	۱/۳۳۹	تونل
۱/۱۱۹	۰/۹۲۱	۰/۱۱۲	۱/۳۳۴	۰/۷۴۲	۰/۲۸۸	پل
۹E_۷/۳۳۴	۰/۹۹۲	-۱۸/۷۳۱	۰/۱۴۳	۰/۰۰۰	-۱/۹۴۴	ترانше
۰/۲۶۰	۰/۰۰۳	-۱/۳۴۷	۰/۳۴۲	۰/۰۰۲	-۱/۰۷۲	چند خطه
۰/۴۴۶	۰/۳۷۴	-۰/۸۰۹	۰/۵۸۵	۰/۱۸۴	-۰/۵۳۷	تعداد واگن (برابر و یا بیش از ۱۰ واگن)
۱/۳۸۵	۰/۷۲۴	۰/۳۲۶	۱/۳۰۸	۰/۵۴۳	۰/۲۶۸	وزن قطار (برابر و یا بیش از ۵۰۰ تن)
۱/۴۱۲	۰/۵۶۸	۰/۳۴۵	۲/۱۷۴	۰/۰۷۱	۰/۷۷۷	سرعت مجاز (برابر و یا بیش از ۳۰ کیلومتر بر ساعت)
۱/۲۸۳	۰/۶۵۹	۰/۲۴۹	۱/۴۱۵	۰/۳۸۶	۰/۳۴۷	سرعت در هنگام تصادف (برابر و یا بیش از ۳۰ کیلومتر بر ساعت)
۰/۳۱۴	۰/۰۰۶	-۱/۱۵۹	۰/۵۳۶	۰/۰۰۴	-۰/۶۲۴	مانور
۰/۰۴۷	۰/۰۰۵	-۳/۰۶۰	۰/۱۷۴	۰/۰۰۰	-۱/۷۴۹	محورهای از خط خارج شده
۰/۳۷۴	۰/۰۱۷	-۰/۹۸۳	۰/۳۹۱	۰/۰۰۰	-۰/۹۳۸	زمان جمع‌آوری (برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه)
۱/۰۵۴	۰/۹۰۶	۰/۰۵۳	۱/۰۴۹	۰/۸۷۳	۰/۰۴۷	زمان انسداد (برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه)
۷E_۴/۴۷۹	۰/۹۹۷	-۱۴/۶۱۹	۳/۸۵۱	۰/۰۴۲	۱/۳۴۸	طول خط آسیب دیده (برابر و یا بیش از ۳۰ متر)
۰/۶۴۰	۰/۳۳۳	-۰/۴۴۶	۱/۳۸۶	۰/۲۳۸	۰/۳۲۶	مکان تصادف (ایستگاه)
۲/۳۰۳	۰/۱۱۱	۰/۸۳۴	۲/۰۷۱	۰/۰۶۳	۰/۷۲۸	شیب (سرپلایی)
۲/۴۲۴	۰/۱۰۲	۰/۸۸۶	۱/۵۲۴	۰/۳۱۹	۰/۴۲۱	شیب (سرپائینی)
۰/۰۲۲	۰/۹۹۹	-۳/۸۳۸	۹E_۶/۷۵۲	۰/۹۹۷	-۱۸/۸۱۳	نوع تصادف (حیوانات)
۲۴۰۰۸۵۹۷۲۴/۸۵۴	۰/۰۰۰	۲۱/۵۹۹	۱۷۶۲/۶۹۰	۰/۰۰۰	۷/۴۷۵	نوع تصادف (عابرین پیاده)
۱۵۵۸۶۸۲۵/۱۹۸	۰/۰۰۰	۱۶/۵۶۲	۹/۸۴۱	۰/۰۳۵	۲/۲۸۷	نوع تصادف (وسایل نقلیه جاده‌ای)
۱/۳۲۷	۱/۰۰۰	۰/۲۸۳	۱/۱۵۶	۰/۹۰۷	۰/۱۴۵	نوع تصادف (خروج از سوئیچ ریل)
۷۶۷۰۴۸۵/۹۹۲	.	۱۵/۸۵۳	۲۳/۶۴۷	۰/۰۰۳	۳/۱۶۳	نوع تصادف (خروج از ریل)
۰/۴۱۲	۰/۰۵۴	-۰/۸۸۶	۰/۶۴۰	۰/۱۱۷	-۰/۴۴۶	سامانه اعزام (جوازی)
۰/۴۸۰	۰/۰۳۸	-۰/۷۳۵	۰/۶۳۲	۰/۰۳۳	-۰/۴۵۹	سامانه اعزام (میله راهنما)
۰/۳۲۷	۰/۰۵۴	-۱/۱۱۷	۰/۹۳۹	۰/۸۷۹	-۰/۰۶۳	سامانه اعزام (علائم)
۵/۴۵۴	۰/۰۰۱	۱/۶۹۶	۰/۵۰۸	۰/۰۲۹	-۰/۶۷۸	رتبه ریل (مهم)
۳۳/۷۰۲	۰/۰۰۰	۳/۵۱۸	۰/۳۹۱	۰/۰۰۱	-۰/۹۳۸	رتبه ریل (متوسط)

پیش‌بینی‌کننده در توضیح نتیجه حادثه در یک بازه اطمینان خاص (CI^7) است.

ممکن است مقادیر P-Val در برخی از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده غیر موجود (N/A) باشد، که دلیل آن یکسان بودن مقدار بالاترین و پایین‌ترین حد بازه اطمینان برای متغیر پیش‌بینی‌کننده است در نتیجه خطای استاندارد برابر صفر می‌شود که موجب غیر موجود (N/A) شدن مقدار P-Val متغیر

نتایج برای هر متغیر پیش‌بینی‌کننده در هر یک از سه دسته وسایل نقلیه ریلی بر حسب ضریب، P-Val و نسبت شانس (OR) ارائه گردید.

مقدار ضریب وزن یک متغیر پیش‌بینی‌کننده، بر اساس احتمال سطح شدت آسیب تصادف آن متغیر نسبت به سطح پایه تعیین می‌شود. P-Val نشانگر اهمیت یک متغیر

پیش‌بینی‌کننده می‌گردد. در این مطالعه، از CI ۹۵ درصد استفاده شده است. بنابراین، $P\text{-Val} \leq 0/05$ مقادیر مهم را نشان می‌دهد. OR مقدار نمایی ضریب لججیت است که بیان می‌کند با فرض اینکه همه ضرایب ثابت باشند، یک واحد افزایش یک متغیر به چه اندازه‌ای بر نتیجه شدت تصادف تأثیر گذار است. توجه گردد، همانطور که قبلاً ذکر شده بود مدل‌سازی سطح شدت حوادث فوتی و جرحی بر اساس مرجع سطح شدت حوادث یعنی حالت فقط خسارتی است.

پس از اعمال MNL، معادلات ریاضی پیش‌بینی به ترتیب در معادلات ۵ و ۶ و ۷ برای وسایل نقلیه ریلی مسافری، باری و سایر وسایل نقلیه ریلی ارائه شده است. فقط معادلات ریاضی برای پیش‌بینی حوادث منجر به مرگ‌ومیر در اینجا ارائه شده است. معادلات سایر سطوح شدت آسیب نیز به همین صورت توسط ضرایب این جداول قابل ارائه است (معادله ۵ مربوط به قطار باری، معادله ۶ مربوط به قطار مسافری و معادله ۷ مربوط به سایر وسایل نقلیه ریلی).

$$\left[\frac{p(y = \text{fatal})}{p(y = \text{PDO})} \right] = -813/1X_1 - 347/1X_5 - 159/1X_{10} - 060/3X_{11} - 983/0X_{12} + 599/21X_{19} + 562/16X_{20} - 735/0X_{24} + 696/1X_{26} + 518/3X_{27} \quad (۷)$$

که در آن‌ها:

$X_1 =$ قوس (اگر حادثه در قوس و یا متأثر از آن باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

$X_2 =$ تونل (اگر حادثه در تونل و یا متأثر از آن باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

$X_3 =$ پل (اگر حادثه در پل و یا متأثر از آن باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

$X_4 =$ ترانشه (اگر حادثه در ترانشه و یا متأثر از آن باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

$X_5 =$ چند خطه (اگر حادثه در راه ریلی چند خطه باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

$X_6 =$ تعداد واگن (اگر تعداد واگن‌ها برابر و یا بیش از ۱۰ واگن باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

$X_7 =$ وزن قطار (اگر وزن قطار برابر ۵۰۰ تن و یا بیشتر باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

$X_8 =$ سرعت مجاز (اگر وسیله نقلیه ریلی دارای سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت و یا بیشتر باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

$X_9 =$ سرعت در هنگام تصادف (اگر وسیله نقلیه ریلی دارای سرعت ۳۰ کیلومتر بر ساعت و یا بیشتر باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

$X_{10} =$ مانور (اگر حادثه در مانور و یا متأثر از آن باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

$X_{11} =$ محورهای از خط خارج شده (اگر حادثه از نوع از خط خارج شده باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

$X_{12} =$ زمان جمع‌آوری (اگر زمان جمع‌آوری حادثه برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

$X_{13} =$ زمان انسداد (اگر زمان انسداد حادثه برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

$$\log \left[\frac{p(y = \text{fatal})}{p(y = \text{PDO})} \right] = -940/1X_5 - 325/3X_{11} + 996/2X_{27} \quad (۵)$$

$$\log \left[\frac{p(y = \text{fatal})}{p(y = \text{PDO})} \right] = -983/1X_4 - 323/2X_8 + 536/1X_9 - 504/2X_{11} - 966/0X_{15} + 422/21X_{19} + 188/16X_{20} + 108/14X_{21} - 267/1X_{23} + 610/1X_{26} + 211/3X_{27} \quad (۶)$$

مرجع شدت حوادث "فقط خسارتی بودن تصادف" در نظر گرفته شده است (نسبت شانس ارائه شده برای هر متغیر از جدول ۴ تا ۶ متناظر فوتی و جرحی بودن تصادف در نظر گرفته شده است).

معناداری آماری متغیرها نیز در سطح ۹۵٪ در نظر گرفته شده است.

۴-۱- سطح شدت حوادث قطار باری

برای سطح شدت فوتی، چند خطه بودن راه‌های ریلی برای قطار باری از لحاظ آماری معنادار است و چون ضریب مربوطه منفی (-۱/۹۴۰) است پس تأثیر عکس در شدت حوادث قطار باری دارد یعنی حوادث منجر به فقط خسارتی بیشتر از فوتی است بنابراین چندخطه بودن راه‌های ریلی برای قطارهای باری باعث کاهش سطح شدت تصادفات از نظر فوتی می‌گردد. هر چه تعداد محورهای از خط خارج شده بیشتر باشد، شدت حوادث برای قطارهای باری از نظر فقط خسارتی بیشتر از فوتی است بدلیل اینکه این متغیر از نظر آماری معنادار بوده و ضریب آن منفی است، طبق مطالعاتی که صورت گرفته است خرابی‌های موجود در سطح راه‌های ریلی منجر به خروج وسایل نقلیه ریلی از این نوع راه‌ها می‌گردد که در پی آن خسارت‌های جانی و مالی قابل توجه‌ای را به دنبال دارد (Babu, 2022; Harsha, 2020; Lee, 2019; Shah et al., 2020) موجود در مسیر راه آهن مانند تخته سنگ در مسیر، افتادن درختان روی گیج و غیره منجر به حوادث خارج شدن از ریل می‌شود که در طول سالیان متمادی خسارات قابل توجهی به راه آهن از نظر کشته و مجروحیت وارد می‌کند، نظارت بر این حوادث توسط انسان‌های شاغل در راه آهن و از طریق تصاویر هوایی که یک کار تحقیقاتی پرترفدار تحت هوش مصنوعی در حال رشد است، امکان پذیر بوده است (Rampriya et al., 2022). همچنین مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۰ توسط شین و همکاران صورت گرفت که نشان داد کارکرد طولانی مدت وسایل نقلیه راه آهن و تناژ عبوری انباشته در مسیر راه آهن می‌تواند باعث خرابی و تغییر شکل ریل‌های مسیر شود. تغییر شکل‌های بحرانی یا آسیب دیدن ریل‌ها نیز باعث کاهش عمر ریل و بروز حوادث ایمنی مانند خروج از ریل می‌شود. بنابراین، کار سنگ زنی راه آهن را می‌توان به‌عنوان تعمیر و نگهداری راه آهن انجام داد (Shin, 2020). سطح اهمیت

X_{14} = طول خط‌های آسیب‌دیده (اگر طول خط‌های آسیب‌دیده

برابر و یا بیش از ۱۰ متر باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

X_{15} = مکان تصادف (اگر مکان تصادف در ایستگاه باشد ۱ و در

غیر این صورت (بلاک) ۰)

X_{16} = شیب (اگر شیب از نوع سربالائی باشد ۱ و در غیر این

صورت ۰)

X_{17} = شیب (اگر شیب از نوع سرپائینی باشد ۱ و در غیر این

صورت ۰)

X_{18} = نوع تصادف (اگر نوع تصادف با حیوانات باشد ۱ و در

غیر این صورت ۰)

X_{19} = نوع تصادف (اگر نوع تصادف با عابرین پیاده باشد ۱ و

در غیر این صورت ۰)

X_{20} = نوع تصادف (اگر نوع تصادف با وسایل نقلیه جاده‌ای

باشد ۱ و در غیر این صورت ۰)

X_{21} = نوع تصادف (اگر نوع تصادف خروج از سوزن ریل باشد

۱ و در غیر این صورت ۰)

X_{22} = نوع تصادف (اگر نوع تصادف خروج از ریل باشد ۱ و

در غیر این صورت ۰)

X_{23} = سامانه اعزام (اگر سامانه اعزام از نوع جوازی باشد ۱ و

در غیر این صورت ۰)

X_{24} = سامانه اعزام (اگر سامانه اعزام از نوع میله راهنما باشد ۱

و در غیر این صورت ۰)

X_{25} = سامانه اعزام (اگر سامانه اعزام از نوع علائم باشد ۱ و در

غیر این صورت ۰)

X_{26} = رتبه ریل (اگر رتبه ریل مهم باشد ۱ و در غیر این

صورت ۰)

X_{27} = رتبه ریل (اگر رتبه ریل متوسط باشد ۱ و در غیر این

صورت ۰)

۴- تفسیر و بحث در خصوص نتایج

خلاصه نتایج MNL این پژوهش در جداول ۴ و ۵ و ۶ ارائه شده است. همانطور که گفته شده است در این مدل، ۲۷ متغیر به‌عنوان متغیرهای مستقل مدل در نظر گرفته شده است که در آن بر اساس متغیر نوع وسیله‌نقلیه ریلی داده‌ها به سه دسته تفکیک شده‌اند و مدل‌سازی بر اساس این سه دسته صورت گرفته است. متغیر پاسخ یا وابسته نیز شدت حوادث در سه سطح فوتی، جرحی و فقط خسارتی هستند. همچنین سطح

مورد عمدی بودن حوادث ریلی در پایگاه داده مورد استفاده در این پژوهش، وجود ندارد، به گونه‌ای که بعضی از عابرین پیاده برای خودکشی از روی عمد خود را در مسیر حرکت این نوع وسایل نقلیه ریلی قرار می‌دهند. در این راستا سیلا و لوما در سال ۲۰۱۲ مطالعه‌ای انجام دادند که طبق آن در تمام انواع تلفات قطار-عابر پیاده، بیشتر قربانیان مرد بودند (۷۱ درصد خودکشی‌ها، ۷۷ درصد حوادث و ۱۰۰ درصد حوادث ناشناخته) و تقریباً نیمی از قربانیان خودکشی (۴۴/۳ درصد) بین ۲۰ تا ۳۹ سال سن داشتند و ۵۱/۴ درصد از کل حوادث مربوط به افراد ۱۰ تا ۲۹ ساله بودند. افرادی که در راه آهن خودکشی می‌کنند به‌طور متوسط جوان‌تر از افرادی هستند که روش‌های دیگر خودکشی را انتخاب می‌کنند. مثلاً، نسبت قربانیان خودکشی زیر ۴۰ سال ۵۸/۷ درصد در میان خودکشی‌های راه آهن و ۳۳/۶ درصد در میان تمام خودکشی‌ها بوده است (Silla & Luoma, 2012).

۴-۲- سطح شدت حوادث قطار مسافری

برای سطح شدت فوتی، ترانسه دارای معناداری و ضریب منفی است، پس ترانسه دارای تأثیر عکس در حوادث منجر به فوت است یعنی حوادث منجر به فقط خسارتی بیشتر از فوتی است. در این سطح شدت (فوتی) برای قطار مسافری هر دو نوع سرعت (مجاز و درهنگام تصادف $30\text{km/h} \leq$) از لحاظ آماری معنا دار هستند اما سرعت مجاز دارای ضریب منفی و سرعت در هنگام تصادف دارای ضریب مثبت است یعنی در قطارهای مسافری که سرعت مجاز رعایت نمی‌شود (سرعت مجاز $30\text{km/h} \leq$) حوادث منجر به خسارتی افزایش و وقتی که سرعت در هنگام تصادف بیشتر از ۳۰ کیلومتر بر ساعت باشد حوادث فوتی بیشتر می‌گردد. محورهای از خط خارج شده و مکان تصادف در ایستگاه برای قطارهای مسافری دارای معناداری از نظر آماری هستند و چون دارای ضرایب منفی هستند پس شدت حوادث منجر به فقط خسارتی به ترتیب ۰/۰۸۲ و ۰/۳۸۱ برابر حوادث منجر به فوتی است. حوادث قطار باری منجر به جرح با عابرین پیاده، وسایل نقلیه جاده‌ای و خروج از سوزن ریل دارای معناداری از نظر آماری (P-Val کمتر از ۰/۰۱) هستند (همانند بخش قطارهای باری در سطح شدت جرحی). هر دو رتبه (مهم و متوسط) راه‌های ریلی برای قطارهای مسافری دارای سطح معناداری و ضرایب مثبت

راه‌های ریلی در درجه متوسط از لحاظ آماری معنادار بوده و ضریب آن مثبت است یعنی حوادث رخ داده شده در این راه‌ها که منجر به فوت می‌شوند حدود ۲۰ برابر حوادث منجر به فقط خسارتی در درجه راه‌های ریلی متوسط است.

برای سطح شدت جرحی، چند خطه بودن نیز برای سطح شدت حوادث منجر به مجروحیت از لحاظ آماری معنادار است و چون ضریب مربوطه منفی است حوادث منجر به فقط خسارتی بیشتر از جرحی است پس چندخطه بودن راه‌های ریلی برای قطارهای باری باعث کاهش تصادفات از نظر خسارتی می‌شود. سرعت در هنگام تصادف از نظر آماری معنادار است، در سرعت هنگام تصادف که برابر و یا بیشتر از ۳۰ کیلومتر بر ساعت است، نسبت بخت برای حالت مجروحیت ۳/۸۷۰ برابر فقط خسارتی است. طبیعتاً علت آن این است که هر چه سرعت زیادتر می‌شود، احتمال وقوع تصادف بیشتر می‌گردد. محورهای از خط خارج شده در سطح جرحی همانند سطح فوتی برای قطارهای باری دارای معناداری از نظر آماری است و چون دارای ضریب منفی است پس شدت حوادث منجر به فقط خسارتی بیشتر از حوادث منجر به جرح است. از دیگر متغیرهای معنادار به لحاظ آماری که روی حوادث منجر به جرح تأثیر می‌گذارد، زمان انسداد است، هر چه این زمان بیشتر می‌شود (برابر و یا بیش از ۳۰ دقیقه)، به دلیل منفی بودن ضریب حوادث منجر به فقط خسارتی بیشتر از حوادث منجر به جرح می‌شود. انسداد مانعی برای حرکت قطار است و هر چه زمان آن بیشتر احتمال وقوع حوادث زیادتر، افزایش می‌یابد.

مکان تصادف در ایستگاه به لحاظ آماری معنادار و دارای ضریب مثبت است پس حوادث در این مکان (ایستگاه) که منجر به جرح می‌شود ۲/۷۱۲ برابر حوادث منجر به فقط خسارتی هستند. از نظر نوع حوادث، حوادث قطار باری منجر به جرح با عابرین پیاده، وسایل نقلیه جاده‌ای و خروج از سوزن ریل دارای معناداری از نظر آماری (هر سه با سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۱) هستند. همانطور که در جدول ۴ مشخص است نسبت بخت هر یک از این سه متغیر عددی بزرگ است که نشان می‌دهد حوادث منجر به جرح به دفعات بیشتر و یا با شدت بیشتری نسبت به فقط خسارتی‌ها رخ می‌دهد. یکی از دلایل زیاد بودن حوادث جرحی با عابرین پیاده به خاطر عمدی بودن این نوع حوادث است (هر چند هیچ اطلاعاتی در

تأثیر حوادث منجر به جرح می‌شود. طول خط آسیب دیده و نوع تصادف با عابرین و وسایل نقلیه جاده‌ای و خروج از ریل لحاظ آماری دارای سطح معناداری هستند و به دلیل مثبت بودن ضرایب هر کدام، تأثیر حوادث جرحی چندین برابر تأثیر حوادث منجر به فقط خسارتی است.

۵- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش شناسایی و بررسی عوامل مؤثر بر شدت حوادث به وقوع پیوسته در سه دسته از وسایل نقلیه ریلی که شامل: قطار باری، قطار مسافری و سایر وسایل نقلیه ریلی هستند، است. برای دستیابی به این هدف، از پایگاه داده‌ای متشکل از حوادث انواع وسایل نقلیه ریلی در سراسر ایران از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۹ استفاده شده است. مدل به‌کار گرفته شده برای تحلیل هدف پژوهش، مدل MNL است. با توجه به خروجی‌های مدل، موارد زیر به‌عنوان نتیجه‌گیری قابل ارائه است.

باتوجه به اینکه تمامی موارد به جزء در حوادث قطار باری در سطح شدت فوتی، حوادث با عابرین پیاده معنادار بوده است. بنابراین توصیه می‌گردد که تصمیمات جدی و تأثیر گذار برای کاهش حوادث در این حوزه صورت گیرد. به‌عنوان نمونه می‌توان از حفظ‌های مناسب و ایمن جهت جلوگیری از ورود عابرین به این نواحی به خصوص در مراکز شلوغ و پرجمعیت استفاده شود.

چند خطه بودن راه‌های ریلی باعث کاهش شدت و تعداد حوادث منجر به جرح و فوتی می‌شود. پس در صورت امکان و اقتصادی بودن طرح بهتر است که راه‌های ریلی چند خطه باشند هر چند نیاز به تحلیل و بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تر در این زمینه وجود دارد. سرعت مجاز و سرعت در هنگام تصادف از متغیرهای تأثیرگذاری است که توجه به آن‌ها می‌تواند شدت حوادث را کم کند. با توجه به نتایجی که بدست آمده است، رعایت سرعت مجاز باعث کاهش حوادث و بالعکس افزایش سرعت در هنگام حوادث باعث زیاده‌تر شدن حوادث از نظر کمی و شدت می‌گردد.

لازم بذکر است باتوجه به اینکه تمامی مقادیر متغیرهای نوع تصادف عابرپیاده و وسایل نقلیه در سطح شدت جرحی و متغیر رتبه با اهمیت متوسط در سطح شدت فوتی برای هر سه دسته وسایل نقلیه ریلی، معنادار و مثبت هستند، بنابراین عدم توجه و

هستند که نشان‌دهنده این هستند که حوادث منجر به فوت با قطارهای مسافری ۰/۰۰۳ برابر فقط خسارتی در ریل‌های با رتبه مهم و ۲۴/۷۹۲ برابر حوادث فقط خسارتی در راه‌های با رتبه متوسط هستند.

برای سطح شدت جرحی، متغیرهای ترانشه، زمان جمع‌آوری و رتبه ریل در سطح متوسط از لحاظ آماری دارای سطح معناداری هستند ولی به دلیل منفی بودن ضرایب هر کدام، تأثیر حوادث فقط خسارتی چندین برابر تأثیر حوادث منجر به جرح می‌شود. مکان تصادف (ایستگاه)، نوع تصادف با عابرین از لحاظ آماری دارای سطح معناداری هستند و به دلیل مثبت بودن ضرایب هر کدام، تأثیر حوادث جرحی چندین برابر تأثیر حوادث منجر به فقط خسارتی است.

۴-۳- سطح شدت حوادث سایر وسایل نقلیه ریلی اعم

از لکوموتیو، واگن باری و غیره

برای سطح شدت فوتی، متغیرهای قوس، چند خطه، محورهای از خط خارج شده، زمان جمع‌آوری و سامانه اعزام از نوع میله راهنما از لحاظ آماری دارای سطح معناداری هستند ولی به دلیل منفی بودن ضرایب هر کدام، تأثیر حوادث فقط خسارتی چندین برابر تأثیر حوادث منجر به فوت است. لای و همکاران خروج فلنج چرخ وسایل نقلیه از ریل در پیچ‌های (قوس‌های) راه آهن را به‌عنوان یک مسئله ایمنی جدی مورد بررسی قرار دادند به‌گونه‌ای که تصادفات خارج شدن از ریل در پیچ‌های کوچک‌تر، ناشی از هم‌ترازی ضعیف مسیر قبل از گردش روز به روز در حال بیشتر شدن است، نتایج نشان می‌دهد که نتایج شبیه‌سازی خروج از ریل با تحقیقات انجام شده بسیار سازگار است و ایمنی به وضعیت چرخ‌های جلو و عقب بستگی دارد (Lai et al., 2020). نوع تصادف با عابرین و وسایل نقلیه جاده‌ای، هر دو متغیر رتبه (مهم و متوسط) به لحاظ آماری دارای سطح معناداری هستند و به دلیل مثبت بودن ضرایب هر کدام، تأثیر حوادث فوتی چندین برابر تأثیر حوادث منجر به فقط خسارتی است.

برای سطح شدت جرحی، متغیرهای قوس، ترانشه، چندخطه، مانور، محورهای از خط خارج شده، زمان جمع‌آوری، سامانه اعزام از نوع میله راهنما و هر دو متغیر رتبه از لحاظ آماری دارای سطح معناداری هستند ولی به دلیل منفی بودن ضرایب هر کدام، تأثیر حوادث فقط خسارتی چندین برابر

-Attoh-okine, N. (2014). Big Data Challenges in Railway Engineering. 7-9.

-Babu, A. R. P. P. S. (2022). Solar Powered Fault Detection System for Railway Tracks.

-Babuska, R., & Schutter, B. De. (2016). Deep Convolutional Neural Networks for Detection of Rail Surface Defects. 2584-2589.

-Bergmeir, C., Gregorio, S., Mart, C., & Ben, M. (2013). A Study on the Use of Machine Learning Methods for Incidence Prediction in High-Speed Train Tracks. 674-675.

-Chen, Z., & Fan, W. (David). (2019). A multinomial logit model of pedestrian-vehicle crash severity in North Carolina. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 8(1), 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2018.10.001>

-DOT, U. S. (2007). Role of Human Factors in Rail Accidents. Accessed on 5 May 2021.

-Fay. (2000). A fuzzy knowledge-based system for railway traffic control. *Eng Appl Artif Intell* 13(6):719-729. [doi.org/10.1016/S0952-1976\(00\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0952-1976(00)00027-0)

FRA. (2012). SAFETY.

-Ghofrani, F., He, Q., Goverde, R. M. P., & Liu, X. (2018). Recent applications of big data analytics in railway transportation systems : A survey ☆. *Transportation Research Part C*, 90(January), 226-246. doi.org/10.1016/j.trc.2018.03.010

-Hadj-mabrouk, H. (2019). Contribution of Artificial Intelligence to Risk Assessment of Railway Accidents. 5, 104-122.

-Hao, W., Kamga, C., & Wan, D. (2016). The Effect of Time of Day on Driver ' s Injury Severity at Highway-rail Grade Crossings in the United States ScienceDirect The effect of time of day on driver ' s injury severity at highway-rail grade crossings in the United States. January. doi.org/10.1016/j.jtte.2015.10.006

-Harsha, P. K. S. B. P. (2020). Analysis of Causes of Rail Derailment in India and Corrective Measures.

-Hayward. (2018). Big data & the digital railway.

-Hughes. (2018). Making the railway safer with big data. <http://www.railtechnologymagazine.com/Comment/%0Amaking-the-railway-safer-with-big-data>

-Jindal, A., & Mukherji, S. (2005). World report on road traffic injury prevention. *Medical Journal Armed Forces India*, 61(1), 91.

سرمایه گذاری در این حوزه‌ها باعث افزایش شدت حوادث بخصوص در سطح جرحی و فوتی می‌گردد. همچنین بدلیل اینکه متغیر محورهای از خط خارج شده در سطح شدت فوتی و متغیر رتبه با اهمیت متوسط در سطح شدت جرحی برای هر سه دسته وسایل نقلیه ریلی، معنادار ولی دارای ضرایب منفی هستند، دارای تأثیر معکوس هستند به عبارت دیگر افزایش آن‌ها منجر به افزایش سطح شدت حوادث فقط خسارتی می‌گردد.

بر اساس نتایج بدست آمده از سه دسته وسایل نقلیه ریلی، حادثی که منجر به فوت می‌شوند تقریباً ۱/۲۴ برابر حوادث منجر به جرح هستند. این موضوع نشان می‌دهد که شدت برخورد حوادث ریلی به نسبت بیش از حوادث جاده‌ای است، به همین منظور توصیه می‌گردد که اقدامات مناسبی در جهت کاهش شدت حوادث برای کاهش مرگ‌ومیر در حوادث ریلی رخ دهد. برای نیل به این هدف باید اقداماتی در جهت کاهش تماس وسایل نقلیه موتوری و عابرین پیاده و غیره با وسایل نقلیه ریلی صورت گیرد. به‌عنوان مثال باید از حفاظ‌هایی قوی و ایمن در محل تقاطع قطارها و وسایل نقلیه موتوری خصوصاً در مناطق شهری و حومه‌ی شهری استفاده شود که در هنگام عبور قطارها از عبور دیگر وسایل نقلیه جلوگیری کنند و یا از حفاظ‌های معمولی برای جلوگیری از عبور احشام در اطراف راه‌های ریلی استفاده گردد.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. Big Data Analytics
2. Artificial Intelligence
3. Intersection of Road Rail Vehicles
4. Federal Rail Administration
5. A Competing Risk Method
6. Multinomial Logit
7. Confidence Interval

۷- مراجع

-امیر گل‌رو، مرتضی باقری، زهرا فتح الهی (۱۳۹۵). تشخیص خرابی تیغه‌های سوزن راه آهن با استفاده از پردازش تصویر. -حامد پایدار، سعید محمدزاده (۱۳۹۹). تحلیل مکانیک شکست ترک ستارهای درز ریل و معرفی پارامترهای مؤثر بر نرخ رشد ترک. ۲۳۷-۲۴۹.

Modeling Railway Crash Severity Using Multinomial Logit Method Based On Freight and Passenger Trains

*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.*

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

E-mail: navidnadimi@uk.ac.ir

Received: February 2024- Accepted: June 2024

ABSTRACT

Because of its convenience and low cost, rail transportation has become one of the most attractive modes of transportation for passengers and business owners alike. Rail transportation has been reduced in popularity due to accidents. This study investigates the factors that affect the severity of accidents for freight, passenger, and other rail vehicles in three levels of death, injury, and damage. A multinomial logit model (MNL) regression was used to model the Iranian railway accident data from 2006 to 2021. The model quantifies the effects of each variable on the severity of events by quantifying the results. The results of this study indicate that type of accidents (with pedestrians), type of accidents (with road vehicles), speed exceeding the allowable speed (equal to or exceeding 30 km/h), speed during the accident (equal to or exceeding 30 km/h), multilane rails and moderate variables are among the variables that have a greater impact on the severity of accidents than other variables, so investing in these areas improves rail safety. Because of budget constraints, this research work will be effective in attracting the attention of policy makers and transportation managers in this area.

Keywords: Safety, Crash Severity, Multinomial Logit Regression, Rail Transportation