فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۲، شماره ۳، بهار ۱۴۰۰، ص. ۷۵۳-۷۶۳
مقاله پژوهشی

مدلسازی سوانح برخورد قطار با وسیله نقلیه در محل گذرگاه‌های ریلی

سید امیر سعادتجو، دانشجوی دکتری عمران گرایش راه‌وترابری، دانشگاه علم و صنعت ایران
مسعود یقینی، دکتری مهندسی و برنامه ریزی حمل و نقل ریلی، دانشگاه علم و صنعت ایران
عبدالرضا شیخ‌الاسلامی، دکتری عمران گرایش حمل‌ونقل، دانشگاه علم و صنعت ایران
برات مجردی، دکتری نقشه‌برداری، دانشگاه علم و صنعت ایران

E-mail: yaghini@iust.ac.ir
دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۳۱ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۸

چکیده

ارتقاء ایمنی حمل‌ونقل ریلی، نیازمند جمع آوری، طبقه بندی و تجزیه و تحلیل آمار سوانح به‌منظور ارزیابی و تعیین عوامل مؤثر در تصادفات ریلی است. گذرگاه‌های ریلی، نقاط پرخطری برای تمام خطوط راه‌آهن در دنیا به‌شمار می‌آیند. لذا بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد و شدت سوانح گذرگاهی راه‌آهن، بسیار ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از مدل‌های آماری از جمله مدل لوجیت که بر اساس مشخصات ترافیکی، هندسی و تاریخچه وقوع سوانح ساخته می‌شوند، یکی از روش‌های شناسایی نقاط حادثه خیز است که با وجود ایجاد چنین مدل‌هایی برای دیگر نقاط مانند پل و تقاطع جاده‌ای، تا کنون آنچنان که باید به پیش‌بینی سوانح برای گذرگاه‌های ایران پرداخته نشده است. بنابراین در این مقاله تلاش شده است که برای نخستین بار، با تعیین شدت تصادفات به‌عنوان متغیر پاسخ به کمک مدل لوجیت و با استفاده از داده‌های مربوط به سوانح گذرگاهی شبکه راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران در حدفاصل سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲، عوامل تأثیرگذار بر شدت سوانح گذرگاهی شناسایی شوند تا با حذف یا تغییر این عوامل، بتوان به‌سوی کاهش شدت سوانح ریلی و آثار مخرب ناشی از آن، پیش رفت. نهایتاً نتایج این تحقیق بدین صورت حاصل شد که در سوانح مورد مطالعه، سوانحی که در محل تقاطعات مجازی که راه‌بند ندارند رخ می دهد، قطار درگیر در سانحه مسافری و وسیله نقلیه درگیر در سانحه موتورسیکلت است، شرایط ترافیک جاده‌ای در زمان سانحه خیلی سنگین و سرعت قطار در آنها بالاتر است، به‌عنوان سوانح با شدت بیشتر و در طرف مقابل، سوانحی که نزدیکی به محل ایستگاه‌های راه‌آهن رخ داده اند، قطار درگیر در سانحه باری و وسیله نقلیه درگیر در سانحه ماشین‌آلات کشاورزی است به عنوان سوانح با شدت کمتر شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، سوانح گذرگاهی، شدت سانحه، مدل لوجیت

۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین نقاط ضعف در شبکه‌های حمل‌ونقلی که عامل افزایش هزینه ها و زایل نمودن سرمایه های گزافی می‌گردد، فقدان ایمنی مناسب در سیستم‌های حمل‌ونقل می‌باشد. هرساله تصادفات در محل گذرگاه‌های ریلی نه‌تنها سبب کشته و مجروح شدن ده‌ها تن از استفاده‌کنندگان از جاده و نیز مسافرین راه‌آهن می‌شود، بلکه خسارات مالی سنگینی هم ازنظر متوقف شدن سرویس‌دهی راه و راه‌آهن و هم ازنظر صدمه دیدن راه و راه‌آهن و سایز تجهیزات مربوطه وارد می‌کند. لذا با توجه به موارد مطرح شده در خصوصاً گذرگاه‌های ریلی، به نظر می‌رسد که در بسیاری از نواحی، این مناطق فاقد ایمنی لازم هستند و باید با شناسایی عوامل ایجاد این‌گونه سوانح، به‌سوی بهبود وضعیت ایمنی و کاهش تعداد و شدت این سوانح پیش رفت. در بسیاری از مواقع، سوانح حمل‌ونقلی به دلیل نادیده گرفتن سوانح گذشته و سوابق موجود در این زمینه به وقوع می‌پیوندند [Soltani and Soltani,2015]. لذا با توجه به اهمیت روش‌های مختلف مدلسازی و با استفاده از آن‌ها، می‌توان اقدام به شناسایی روابط موجود در داده‌های سوانح ریلی و نیز شناسایی میزان تأثیر عوامل مختلف بر تعداد و شدت سوانح آن کرد. اهمیت استفاده از مدل‌های شدت در آن است که عوامل مؤثر در تصادفات شدیدتر شناسایی شده و لذا اقدامات مؤثر در جهت پیشگیری از تصادفات شدید در اولویت قرار گیرد.

مدل استفاده شده در این مقاله، مدل لوجیت است که یکی از انواع مدل‌های انتخاب گسسته می‌باشد. مدل‌های انتخاب گسسته مدل‌هایی هستند که برای پیش‌بینی وقوع یا عدم وقوع یک متغیر برحسب یک سری متغیر مربوط به آن به کار می‌روند [Ben Akiva,1985]. بر اساس مجموعه مطالعات پیشین، مدل‌های لوجیت انتخاب گسسته، از بهترین مدل‌های شدت به شمار می‌روند. مدسازی سوانح ریلی در مطالعات پیشین عمدتا برای سوانح کشورهای خارجی صورت گرفته است و در بیشتر موارد پارامترهای مورد بررسی به طور عمومی در صنعت ریلی در نظر گرفته شده اند. در این مقاله در مدلسازی صورت گرفته جهت تعیین عوامل تاثیرگذار بر شدت سوانحی که به طور خاص در محل گذرگاه های ریل و جاده در شبکه ریلی کشور ایران رخ داده اند، بر روی داده‌های سوانح ریلی در گذرگاه‌ها در ترکیب با داده‌های مشخصات گذرگاه‌های آن سوانح، مربوط به دوره ۵ساله مابین سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ برای راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران انجام گرفته است. پس از مدلسازی و تعیین عوامل تأثیرگذار در افزایش تعداد و شدت سوانح گذرگاهی ریلی، استفاده اداره کل ایمنی و نظارت بر شبکه ریلی شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران از این نتایج می‌تواند در اعمال تمهیدات لازم برای کاهش تعداد و شدت سوانح ریلی موثر واقع گردد.

در ادامه مقاله، به مرور بر مطالعات مشابه پیشین، تبیین روش مدلسازی، تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده، مدلسازی با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده، تحلیل نتایج حاصل از مدل و نهایتا نتیجه‌گیری حاصل از تحقیق پرداخته‌شده است.

۲. مرور بر مطالعات پیشین

حجم رخداد سوانح ریلی نسبت به سوانح جاده‌ای کمتر است و همین امر منجر شده که در زمینه سوانح ریلی نسبت به جاده‌ای کارهای کمتری انجام بگیرد. اما بااین حال، مطالعات مختلفی توسط محققان سراسر جهان به کمک مدل لوجیت بر روی شدت سوانح ریلی صورت گرفته است که در ادامه بیان می‌شوند.

بایسری، مک اینتاش و ویلسون [Baysari, McIntosh and Wilson, 2008] در سال ۲۰۰۸ به بررسی و شناسایی عوامل انسانی تأثیرگذار بر سوانح پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶ کشور استرالیا به این نتیجه رسیدند که نزدیک به نیمی از سوانح به علت مشکلات مربوط به تجهیزات و ادوات ریل و قطار است که بیشتر این مشکلات

از تعمیر و نگهداری نامناسب ناشی شده‌اند. سهل‌انگاری و عدم مهارت لوکوموتیوران و یا مسئولین خط در کنار خستگی و کاهش هوشیاری آن‌ها، یکی دیگر از عوامل مهم انسانی بروز سوانح ریلی شناخته شدند.

در سال ۲۰۱۰ هو و همکارانش [Hu, Li, and Lee, 2010]، به کمک داده‌های سوانح در تقاطعات هم‌سطح جاده و راه‌آهن بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ در کشور تایوان، به شناسایی عوامل مؤثر در سوانح در این نقاط با استفاده از مدل لوجیت پرداختند. تعداد قطارهای روزانه، جداکننده جاده از ریل، تعداد کامیون‌های عبوری در طول روز، علائم هشداردهنده قبل تقاطعات و حضور دوربین‌های ثبت تخلف، به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در شدت سوانح در این مطالعه شناخته شدند.

باقری و همکارانش [Eluru, Bagheri, Miranda-MoreNo., 2012] در سال ۲۰۱۲ به کمک مدل‌های لوجیت ترتیبی، تأثیر عوامل مختلف بر شدت جراحات وارده بر رانندگان خودروها، در سوانح تقاطعات هم‌سطح ریل و جاده را مطالعه کردند. آن‌ها از اطلاعات سوانح تقاطعات هم سطح ریل و جاده اداره راه‌آهن آمریکا در سال‌های ۱۹۹۷تا ۲۰۰۶ برای استفاده در مدلسازی کمک گرفتند. مهم‌ترین عواملی که در این مطالعه موردبررسی قرار گرفتند مشخصات راننده (مثل سن و جنسیت)، مشخصات خودرو (مثل مدل و نوع)، مشخصات محیط اطراف (مثل آب‌وهوا و نور و ساعت)، مشخصات برخورد و مشخصات تقاطع (مثل حجم ترافیک سالانه جاده و ریل و میزان و نوع تجهیزات ایمنی مورداستفاده) می‌باشند.

یکی دیگر از مطالعات صورت گرفته در زمینه بررسی شدت سوانح به کمک مدل‌های انتخاب گسسته، مطالعه ژاو و ختاک [Zhao and Khattak, 2013] در سال ۲۰۱۳ است. هدف این مطالعه انتخاب مدل مناسب براش پیش‌بینی شدت آسیب‌دیدگی رانندگان و سایل نقلیه در برخورد شان با قطار در تقاطعات هم‌سطح و همچنین تعیین عوامل مؤثر در تعیین شدت این سوانح بود. برای این مدلسازی از داده‌های سوانح تقاطعات هم‌سطح ریل و جاده‌سالهای ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ کشور آمریکا برای مدلسازی و سال ۲۰۱۳ برای ارزیابی مدل، استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده بدین‌صورت بود که از میان مدل‌های پروبیت ترتیبی، لوجیت چندجمله‌ای و لوجیت پارامتر تصادفی، مدل چندجمله‌ای مدل بهتری ایجاد کرد و سرعت بالاتر خودروها و قطارها، قطارهای باربری، سن بالای رانندگان و زن بودن آن‌ها به‌عنوان عوامل افزاینده شدت و کاهش سرعت قطارها و خودروها و بهبود وضعیت روشنایی در شب در محل تقاطعات، به‌عنوان عوامل کاهنده شدت آسیب‌دیدگی سوانح شناسایی شدند.

فن، کین و هیل [Fan and Heila, 2014] در سال ۲۰۱۵ با استفاده از مدل‌های لوجیت چندگانه به تعیین عوامل مؤثر و تأثیر آن‌ها در شدت سوانح ریلی در محل تقاطعات هم‌سطح جاده و راه‌آهن کشور آمریکا پرداختند. آن‌ها به کمک داده‌های مربوط به سوانح محل تقاطعات ریل با جاده و یا ریل با محل عبور عابر پیاده در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ به این نتیجه رسیدند که تصادفات خطوط سریع‌السیر شدت و امکان فوت بالاتری دارند. همچنین دریافتند که خودروهای وانتی و نیز سطوح بتنی یا لاستیکی باعث افزایش شدت سوانح می‌شوند. از طرف دیگر، تریلی‌ها و شرایط آب‌وهوایی برف و مه و حجم ترافیک روزانه بیشتر، باعث کاهش شدت سوانح می‌گردند. نهایتاً تحصیلات و تجهیزات بالاتر رانندگان را نیز باعث کاهش شدت سوانح اعلام کردند.

در مطالعه‌ای دیگر در سال ۲۰۱۵ توسط هلیم و گن [Haleem and Gan, 2015]، به شناسایی عوامل مؤثر در شدت سوانح تقاطعات هم‌سطح ریل و جاده در آمریکا که بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ به وقوع پیوسته بودند، پرداخته‌شده است. مدل مورداستفاده در این مطالعه، لوجیت ترکیبی بوده و نتایجی بدین شرح را به دنبال داشت: زنان در مقایسه با مردان در معرض شدت بیشتری از سانحه هستند. سرعت بالاتر قطار، مسن بودن رانندگان خودروها، فضاهای باز و سطوح بتنی باعث

افزایش شدت سانحه می شوند. برخلاف این‌ها، میان سال بودن راننده، فضاهای صنعتی و وجود زنگ‌های هشداردهنده باعث کاهش شدت سانحه می‌شوند.

همچنین فن و همکارانش [FAn, Gong, Washing. yu and Haile, 2016] در سال ۲۰۱۶ به بررسی مدل‌های ساخته شده به روش‌های لوجیت چندگانه و لوجیت ترتیبی برای سوانح گذرگاهی آمریکا در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ پرداختند. در این بررسی با درنظر گرفتن سه سطح برای شدت سوانح، به این نتیجه رسیدند که مدل‌های چندجمله‌ای بهتر از مدل‌های ترتیبی در تعیین عوامل موثر بر افزایش شدت سوانح گذرگاهی عمل می‌کنند.

همان‌طور که از مرور بر مطالعات پیشین مشخص است، همه این مطالعات برای سایر کشورها به جز ایران بوده اند و در هیچ‌کدام بر روی سوانح ریلی ایران تمرکز نشده است. لذا با توجه به وجود این خلاء بر آن شدیم که در این مقاله به استفاده از مدل‌های انتخاب گسسته در تعیین عوامل موثر بر سوانح گذرگاهی کشور ایران بپردازیم تا برای کشور ایران نیز علل افزایش شدت سوانح شناسایی شوند.

۳. متدولوژی و روش مدلسازی

مدل انتخاب گسسته احتمال اینکه تصمیم‌گیرنده یک گزینه مشخص را از میان گزینه‌های موجود انتخاب کند، تعیین می کند. این احتمال به‌صورت تابعی از متغیرهای مستقل که هرکدام مربوط به شخص و یا گزینه‌های قابل انتخاب هستند بیان می شود. در این مقاله متغیر وابسته شدت تصادف است. معمولاً با توجه به کم بودن تصادفات منجر به فوت، با در نظر گرفتن سه سطح سوانح با خسارات جانی، مالی و جرحی، ممکن است نتایج خوبی در معنی‌داری متغیرهای مستقل و برازش و قدرت پیش‌بینی مدل با این دسته‌بندی به دست نیاید. لذا با ادغام تصادفات جرحی و فوتی، نهایتاً تصادفات ازلحاظ شدت به دو دسته تصادفات منجر به خسارت مالی و تصادفات منجر به خسارت جانی تقسیم می‌شوند. لازم به ذکر است که در بسیاری از موارد، برداشت مأمورین از صحنه تصادف اعلام جراحت صدمه‌دیدگان است، درصورتی‌که امکان دارد مجروحین بعد از انتقال از صحنه تصادف و یا در بیمارستان فوت کنند که عموماً تناقض آمار متوفیان ناشی تصادفات بین پزشکی قانونی و نیروی انتظامی ناشی از این امر می‌باشد. بنابراین ادغام این دو دسته ازلحاظ علمی نیز معقول به نظر می‌رسد.

با توجه به متغیرهای وابسته در نظر گرفته شده، مجموعه گزینه‌ها عبارت است از:

$$C = \{(F) \text{ خسارت جانی} ، (P) \text{ خسارت مالی}\} \quad (۱)$$

بنابراین تابع احتمالی لوجیت به‌صورت زیر خواهد بود:

$$P_P = \frac{e^{V_P}}{e^{V_F} + e^{V_P}} \quad و \quad P_F = \frac{e^{V_F}}{e^{V_F} + e^{V_P}} \quad (۲)$$

که این روابط را می‌توان به‌صورت زیر نیز بازسازی نمود:

$$P_F = \frac{1}{1+e^{V_P - V_F}} \quad و \quad P_P = 1 - P_F \quad (۳)$$

که در آن:

P_F = احتمال آنکه تصادف منجر به خسارت جانی شود

P_P = احتمال آنکه تصادف منجر به خسارت مالی شود

V_F = تابع مطلوبیت تصادف منجر به خسارت جانی

V_P = تابع مطلوبیت تصادف منجر به خسارت مالی

تابع مطلوبیت برای وقوع تصادفات جانی یا مالی از عوامل مؤثر در تصادف در نظر گرفته می‌شود. در این صورت داریم:

$$V_i = a_{0i} + a_{1i}x_{1i} + a_{2i}x_{2i} + \cdots + a_{ni}x_{ni} \quad (٤)$$

که در آن:

V_i = مطلوبیت گزینه i $(i \in c)$

x_{ji} = مقدار عامل j گزینه i (j=1,2,….,n)

a_{ji} = ضریب تأثیر عامل j گزینه i

لازم به ذکر است که در مدلسازی توسط نرم‌افزارهای موجود، تفاضل بین ضرایب در توابع مطلوب به دست می‌آید. همچنین با توجه به نحوه در نظر گرفتن متغیرها و ضرایب، در تابع محاسبه P_F مقادیر منفی ضرایب به‌دست‌آمده در مدل با

توجه به اسمی بودن متغیرهای مستقل، در صورت یک بودن متغیرها، زیادشدن احتمال P_F (یعنی شدت تصادف) و در مورد ضرایب مثبت کاهش آن را نشان می‌دهد.

فرایند مدلسازی یک فرایند تکراری و طولانی است که با گرفتن بازخور از نتایج قبلی مدل‌های بهتری ساخته می‌شود. جهت تعیین مدل مناسب باید ضوابطی را در نظر گرفت و بر اساس آن‌ها مدل‌ها را ارزیابی کرد. ازآنجاکه مشاهدات متغیر وابسته در مدل ناهمفزون بوده و پیوسته نیست، برای تعیین میزان برازندگی مدل لوجیت نمی‌توان مشابه روش روندگرای خطی، ضریب تعیین R^2 را محاسبه کرد و مدنظر قرار داد. روش پرداخت مدل‌های لوجیت از نوع درستنمایی بیشینه است. این روش مبتنی بر بیشینه‌سازی احتمال وقوع هم‌زمان مشاهدات است. در این روش احتمال وقوع هر مشاهده بر اساس مدل مورداستفاده، برحسب پارامترهای مدل محاسبه می‌شود. احتمال وقوع هم‌زمان مشاهدات از حاصل‌ضرب وقوع یکایک مشاهدات به دست می‌آید که تابعی از پارامترهای مدل است. این تابع، تابع درستنمایی نام دارد به‌صورت زیر می‌باشد:

$$L_1(\beta) = \prod_{i=1}^{n} P(i) \qquad (۵)$$

که در آن:

$L_1(\beta)$ = تابع درستنمایی وقوع مشاهدات ۱ تا n به ازای ضرایب β

P_i = احتمال وقوع مشاهده i

هدف در این روش یافتن β هایی است که این تابع را بیشینه سازند. به‌عبارت‌دیگر، به دنبال β هایی باید بود که احتمال وقوع هم‌زمان مشاهدات را بیشینه نمایند. ازآنجایی‌که تابع احتمال، حاصل ضرب n احتمال است و بیشینه سازی این نوع تابع مشکل است، از لگاریتم این تابع استفاده می‌شود. زیرا بیشینه یک تابع و بیشینه لگاریتم آن در یک نقطه خاص (β های ثابت) واقع می‌شود. این عمل باعث می‌شود که حاصل‌ضرب n احتمال به حاصل جمع n لگاریتم احتمال تبدیل شود و لذا محاسبات ساده‌تر گردد. تابع حاصل از گرفتن لگاریتم از تابع احتمال، تابع لگاریتم احتمال نام دارد و به‌صورت رابطه زیر می‌باشد [Soltani,2014]:

$$\mathrm{L}(\beta) = \ln\big(L_1(\beta)\big) = \sum_{i=1}^{n} (\ln P(i)) \qquad (۶)$$

این تابع در روش درستنمایی بیشینه دارای نقش اساسی و محوری است. به‌گونه‌ای که هدف، بیشینه‌سازی آن بوده و ضوابط ارزیابی نیز بر مبنای همین تابع و مقادیر آن برای شرایط خاص تعریف می‌شود.، هر چه قدر مطلق $l(\beta)$ کمتر باشد، نشان‌دهنده برازش بهتر مدل است.

همچنین P-Value بیانگر سطح معناداری ضریب به‌دست‌آمده برای متغیرهای مدل است. در حقیقت این متغیر میزان اطمینان آنکه ضریب تغییر موردنظر صفر نباشد را نشان می‌دهد. عموماً متغیرهایی با مقادیر P-Value تا حدود ۰/۰۵ ، که یعنی با فاصله اطمینان ۹۵ درصد ازلحاظ آماری معنادار بوده، در مدل پذیرفته می‌شوند.

علاوه بر این‌ها، درصد صحیح برای مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل با مشاهدات به کار می‌رود و بیانگر این مطلب است که مدل چه درصدی از مشاهدات را درست حدس زده است. به‌عنوان‌مثال در مدل شدت موردبررسی از دو دسته داده‌های تصادفات جانی و مالی، به‌درستی جانی یا مالی (در دسته خودشان) توسط مدل محاسبه‌شده‌اند. بدین منظور از حد ۰,۵ در توابع احتمال استفاده می‌شود. بنابراین اگر بعد از محاسبه ضرایب مدل، مقدار تابع احتمال جانی برای یک مشاهده بیشتر از ۰/۵ (یعنی احتمال ۵۰٪) شود، به‌عنوان خروجی جانی و در صورت کمتر شدن از ۰,۵ به‌عنوان خروجی مالی در نظر گرفته شود.

٤. بررسی و تحلیل داده‌ها

برای گذرگاه‌های راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران تعداد ۲۱۶ سانحه در حدفاصل سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ ثبت‌شده است. از بین این تعداد ۱۲۵ مورد (۵۸ درصد) بدون جرحی و فوتی، ۶۳

مورد (۲۹ درصد) جرحی، ۱۷ مورد (۸ درصد) فوتی و ۱۱ مورد (۵ درصد) هم جرحی هم فوتی بوده‌اند.

از میان سوانح، ۱۰۴ مورد برخورد با قطار مسافری و ۵۰ مورد برخورد با قطار باری و ٦۲ مورد برخورد با سایر وسایل نقلیه ریلی (نظیر لکوموتیو، درزین و غیره) رخ داده است. همچنین ۹۵ مورد برخورد قطار با خودروی سواری، ٤۰ مورد برخورد با موتورسیکلت، ۳٦ مورد برخورد با کامیون و ٤۵ مورد با سایر وسایل نقلیه جاده‌ای (نظیر وانت، ماشین‌آلات کشاورزی و غیره) رخ داده است.

در این مقاله متغیرهای مستقل به دو دسته کمی و کیفی تقسیم‌بندی شده‌اند. عوامل کمی به صورت عددی و مستقیم و عوامل کیفی با کدگذاری به صورت آورده شده در جدول ۱ در مدل به کار گرفته‌شده‌اند.

جدول ۱. متغیرهای مدل پیش‌بینی شدت سوانح گذرگاهی شبکه راه‌آهن ایران

متغیر	نشانه	کدگذاری	متغیر	نشانه	کدگذاری
زمان تصادف (ساعت ۰ تا ٦)	Tm1	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰	نوع وسیله جاده‌ای (ماشین‌آلات کشاورزی)	Vh3	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰
زمان تصادف (ساعت ٦ تا ۱۲)	Tm2	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰	نوع وسیله جاده‌ای (موتورسیکلت)	Vh4	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰
زمان تصادف (ساعت ۱۲ تا ۱۸)	Tm3	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰	وضعیت روشنایی (روشن)	L1	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰
زمان تصادف (ساعت ۱۸ تا ۲٤)	Tm4	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰	وضعیت روشنایی (نیمه‌روشن)	L2	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰
محل وقوع سانحه	St	ایستگاه = ۱ بلاک = ۰	وضعیت روشنایی (تاریک)	L3	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰
نوع گذرگاه (مجاز با راه‌بند)	G1	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰	وضعیت ترافیک جاده‌ای (خیلی سنگین)	Rt1	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰
نوع گذرگاه (مجاز بدون راه‌بند)	G2	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰	وضعیت ترافیک جاده‌ای (سنگین)	Rt2	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰
نوع گذرگاه (غیرمجاز)	G3	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰	وضعیت ترافیک جاده‌ای (متوسط)	Rt3	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰
نوع وسیله ریلی (قطار مسافری)	Tr1	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰	وضعیت ترافیک جاده‌ای (سبک)	Rt4	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰
نوع وسیله ریلی (قطار باری)	Tr2	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰	وضعیت ترافیک جاده‌ای (خیلی سبک)	Rt5	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰
نوع وسیله ریلی (لکوموتیو و ماشین‌آلات)	Tr3	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰	سرعت قطار (کیلومتر بر ساعت)	Ts	متغیر پیوسته بدون کد
نوع وسیله جاده‌ای (سواری و وانت)	Vh1	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰	تعداد خطوط ریلی در گذرگاه	Rn	یک‌خطه = ۱ دوخطه = ۰
نوع وسیله جاده‌ای (کامیون، تریلر و اتوبوس)	Vh2	وقوع تصادف = ۱ عدم وقوع تصادف = ۰	شدت سانحه	Svrt	جرحی یا فوتی یا هردو = ۰ خسارتی = ۱

۵. مدلسازی

در ابتدا فراوانی وقوع متغیر ها موردبررسی قرار گرفت و درنهایت متغیرهایی که وقوع آن‌ها بسیار کم است شناسایی گشته تا در ادامه مراحل مدلسازی در نظر گرفته نشوند. پس از آماده‌سازی متغیرها، همبستگی بین آن‌ها به‌وسیله ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد و متغیرهایی که همبستگی بالایی (بالای ۰/۷) دارند از مدل حذف شدند. همچنین با توجه به همین جدول همبستگی معنادار بین متغیرهای مستقل و متغیر پاسخ بررسی شد.

مدلسازی طی یک‌روند قدم‌به‌قدم حذف رو به عقب انجام شد و مدل نهایی بر اساس ضوابط ارزیابی مدل، یعنی قدر مطلق کمتر $l(\beta)$، معناداری متغیرها با اطمینان ۹۵٪ و درصد صحیح بیشتر به دست آمد. برآورد ضرایب به‌دست‌آمده (β) مربوط به تابع احتمال خسارت جانی (P_F) بوده و طبق توضیحات داده شده، متغیرهای با ضرایب منفی باعث افزایش شدت تصادف (احتمال تابع جانی) و متغیرهای با ضرایب مثبت باعث کاهش آن می‌شوند. ضرایب و نتایج در مدل نهایی در جدول ۲ ارائه‌شده‌اند.همچنین درصد صحیح پیش‌بینی‌های مدل استخراج شده در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲. ضرایب برازش شده برای مدل پیش‌بینی شدت سوانح گذرگاهی شبکه راه‌آهن ایران

متغیر	نشانه	B	P-Value		متغیر	نشانه	B	P-Value
نوع وسیله جاده‌ای (ماشین‌آلات کشاورزی)	Vh3	۸/۴۲۹	۰/۰۲۳		محل وقوع سانحه	st	۱/۱۸۰	۰/۰۲۱
نوع وسیله جاده‌ای (موتورسیکلت)	Vh4	−۲/۴۷۱	۰/۰۰۰		نوع گذرگاه (مجاز بدون راه‌بند)	G2	−۱/۴۸۸	۰/۰۳۲
وضعیت ترافیک جاده‌ای (خیلی سنگین)	Rt1	−۱/۱۷۶	۰/۰۱		نوع گذرگاه (غیرمجاز)	G3	۱/۵۲۵	۰/۰۰۰
سرعت قطار (کیلومتر بر ساعت)	Ts	−۴/۳۸۵	۰/۰۰۴		نوع وسیله ریلی (قطار مسافری)	Tr1	−۰/۵۲۷	۰/۰۲۹
عدد ثابت	Constant	۱/۲۴۶	۰/۰۰۷		نوع وسیله ریلی (قطار باری)	Tr2	۰/۹۰۷	۰/۰۱۴

جدول ۳. درصد صحیح مدل پیش‌بینی شدت سوانح گذرگاهی شبکه راه‌آهن ایران

مشاهده	پیش‌بینی		درصد صحیح
	جانی	خسارتی	
جانی	۵۹	۲۹	۶۷/۰
خسارتی	۲۵	۱۰۳	۸۰/۵
درصد صحیح کل			۷۵

٦. تحلیل مدل شدت سوانح

همان‌طور که از جدول ۲ مشخص است، متغیرهای مربوط به زمان وقوع سانحه گذرگاهی، در مدل نهایی به‌عنوان متغیر معنادار شناسایی نشده است و لذا با توجه به داده‌های جمع‌آوری‌شده از اداره ایمنی راه‌آهن ایران، می‌توان نتیجه گرفت که زمان وقوع سانحه در میزان شدت آن تأثیری ندارد. هرچند در برخی مطالعات صورت گرفته در سایر نقاط جهان، سوانحی که در ساعات نیمه‌شب رخ‌داده بودند، شدت بیشتری داشتند و در برخی نیز سوانح ساعات میانی روز این‌گونه بودند. متغیر St در مدل نهایی شدت سوانح، به‌عنوان یک متغیر معنادار شناخته شده و بنابراین می‌توان گفت در شدت سانحه تأثیرگذار بوده است. با توجه به ضریب ۱/۱۸۰ که برای این متغیر پیش‌بینی‌شده است، می‌توان نتیجه گرفت که سوانحی که در گذرگاه‌های واقع در ایستگاه‌های راه‌آهن به وقوع می‌پیوندند، دارای شدت کمتری هستند. این امر را می‌توان به دلیل سرعت پایین‌تر قطارها در محل ایستگاه‌ها و همچنین آگاهی افراد از وقوع خطر در آن محل و لذا دقت بیشتر آن‌ها در عبور از گذرگاه‌ها دانست.

با توجه به اینکه متغیرهای G2 و G3 در مدل نهایی به‌عنوان متغیر معنادار شناسایی شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که نوع و وضعیت گذرگاه‌های ریلی، یکی از عوامل اصلی و تأثیرگذار در شدت سوانح گذرگاهی است. ضریب B برای متغیر G2 مقدار ۱/٤۸۸- تعیین شده که نشان‌دهنده این است که سوانحی که در گذرگاه‌های مجاز بدون راه‌بند به وقوع می پیوندند، دارای شدت بیشتر هستند. همچنین ضریب مربوط به متغیر G3 برابر با مقدار ۱/۵۲۵ به‌دست‌آمده است که نشان‌دهنده شدت کمتر سوانح گذرگاهی در گذرگاه‌های غیرمجاز است. این موارد را می‌توان بدین‌صورت تحلیل کرد که در گذرگاه‌های مجاز، با توجه به اینکه گذرگاه رسمی بوده و شرایط عبور آسان از آن توسط اداره راه و ترابری فراهم گردیده است، رانندگان طبق روال عادی جاده و بدون هشیاری و آمادگی لازم برای وقوع سانحه، با سرعت بیشتر و دقت کمتر نسبت به سوانح غیرمجاز، به مسیر خود ادامه می‌دهند و این سرعت نسبتاً بالا و عدم آگاهی از حضور در محل پرخطر، باعث افزایش شدت سانحه می شود. اما در محل‌های غیرمجاز، خودروها به دلیل وجود حس عدم امنیت و همچنین صعب‌العبور بودن محل گذرگاه، از سرعت خود می‌کاهند و با دقت بیشتری از محل گذرگاه عبور می‌کنند. لذا شدت سانحه در گذرگاه‌های غیرمجاز کاهش می‌یابد.

همان‌طور که در جدول متغیرهای معنادار در مدل برازش شده مشاهده می‌شود، ضریب B محاسبه‌شده معنادار برای متغیر Tr1 مقدار ۰/۵۲۷- و برای متغیر Tr2 مقدار ۰/۹۰۷ به‌دست‌آمده است که نشان از شدت بالای برخورد قطارهای مسافری و برعکس، شدت پایین سوانح برخورد قطارهای باری دارد. این نتیجه را می‌توان به این دلیل دانست که قطارهای مسافری عموماً سرعت بالاتری نسبت به قطارهای باری دارند و این امر باعث افزایش شدت سوانح این قطارها می‌گردد.

نوع وسیله نقلیه جاده‌ای درگیر در سانحه رخ‌داده در گذرگاه نیز تأثیر به سزایی در تعیین میزان شدت آن دارد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده شد، ضریب تعیین شده برای متغیر Vh3 مقدار ۸/٤۳۹ به‌دست‌آمده است که نشان از شدت کم سوانح برخورد قطار با ماشین‌آلات کشاورزی دارد. این شدت کم را می‌توان این‌گونه تحلیل کرد که ماشین‌آلات کشاورزی به دلیل مشخصات فنی و ابعادشان، با احتیاط بیشتر و نیز سرعت کمتر از محل گذرگاه‌ها عبور می‌کنند. همچنین در بسیاری از مواقع، رانندگان این‌گونه وسایل در صورت بروز شرایط اضطراری و گیر افتادن بر روی ریل گذرگاه، به سرعت از وسیله خارج شده و جان خود را نجات می‌دهند و این‌گونه برخوردها معمولاً بدون خسارت جرحی یا فوتی است. از طرف دیگر، برای متغیر Vh4 میزان ضریب B برابر با مقدار ۲/٤۷۱-

محاسبه‌شده است که بیانگر این امر می‌باشد که سوانح برخورد قطار با موتورسیکلت، شدت بالایی دارند (که طبیعتاً منظور از شدت بالا در این برخوردها، خسارات جاتی است). این پیش‌بینی، به دلیل ماهیت خطرناک و بدون حفاظت موتورسیکلت بدیهی به نظر می‌رسد.

میزان ترافیک جاده‌ای، به‌عنوان یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در شدت سوانح گذرگاهی به کمک داده‌های سوانح راه‌آهن ایران شناسایی شد. بدین‌صورت که متغیر Rt1 که بیانگر ترافیک خیلی سنگین جاده‌ای است، دارای ضریب B برابر با ۰/۱۷٦- در نظر گرفته شده است و حاکی از این است که ترافیک خیلی سنگین وسایل نقلیه جاده‌ای، باید افزایش شدت سوانح می‌شود. علت این امر که معمولاً در سایر مطالعات حتی برعکس بوده و باعث کاهش شدت سوانح می‌شده است، را می‌توان این‌گونه بیان کرد که رانندگان مسیرهای پرتردد به دلیل میل به سبقت‌گیری و عبور از ترافیک، بدون توجه و دقت کافی و با سرعت زیاد وارد گذرگاه می‌شوند که این اشتباه آن‌ها باعث وقوع تصادف (معمولاً با شدت بالا) می‌گردد.

آخرین متغیری که در این مطالعه معنادار محسوب شد و در شدت سوانح گذرگاهی مؤثر به‌حساب می‌آید، متغیر Ts است که ضریب آن مقدار ٤/۳۸۵- به دست آمد. این عدد نشان‌دهنده این است که سرعت حرکت قطارها به میزان زیادی در تعیین شدت سوانح گذرگاهی تأثیرگذار است و افزایش سرعت قطارها باعث افزایش شدت برخورد می شود. این امر نیز کاملاً بدیهی به نظر می‌رسد. زیرا سرعت زیاد هم به‌خودی‌خود باعث افزایش شدت برخورد با وسیله نقلیه می‌شود و هم باعث کاهش توانایی لکوموتیوران برای کم کردن سرعت و عدم برخورد می‌گردد.

روشنایی محل گذرگاه نیز یکی دیگر از متغیرهایی است که در برخی مطالعات پیشین در سایر کشورها به‌عنوان یک عامل تأثیرگذار معکوس بیان‌شده بود. یعنی سوانحی که در شرایط روشنایی مناسب رخداده بودند دارای شدت بیشتری نسبت به سوانح در شرایط نیمه‌روشن یا تاریک داشتند. هرچند در این مطالعه، متغیرهای مربوط به روشنایی هیچ‌کدام معنادار نشدند و به عبارتی مناسب بودن روشنایی محل گذرگاه، تأثیری در کاهش یا افزایش شدت سوانح از خود نشان نداد. همچنین متغیر تعداد خطوط نیز موردبررسی قرار گرفت و در مدل نهایی معناداری از خود نشان نداد بدین ترتیب به این نتیجه رسیدیم که برای سوانح گذرگاهی ایران، تعداد خطوط ریلی (که معمولاً یک خط بوده و گاهی دو خط هم موجود بود) تأثیر به سزایی در شدت سانحه برخورد در محل گذرگاه نداشته‌اند.

۷. نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات صورت گرفته در این مقاله و با استفاده از داده‌های موجود از سوانح گذرگاهی شبکه ریلی ایران در سال های ۸۸ تا ۹۲ به نتایجی برای تعیین عوامل تأثیرگذار بر شدت سوانح گذرگاهی ایران رسیدیم. بررسی شدت سوانح گذرگاهی ایران حاکی از این است که زمان وقوع سوانح، روشنایی محل گذرگاه و تعداد خطوط ریلی محل گذرگاه، برخلاف برخی مطالعات پیشین صورت گرفته در سایر کشورهای جهان، تأثیری در شدت سانحه برخورد در محل گذرگاه‌ها ندارند. اما در بین عوامل تأثیرگذار، شدت سوانح در تقاطعات مجازی که راه‌بند ندارند، سوانحی که قطار درگیر در سانحه مسافری بوده است، سوانحی که وسیله نقلیه درگیر در سانحه موتور سیکلت بوده است، سوانح گذرگاهی در شرایط ترافیک جاده‌ای خیلی سنگین و نهایتاً سوانحی که سرعت قطار در آن‌ها بالاتر بوده است، بیشتر اعلام‌شده بوده و این قبیل برخوردها بیشتر منجر به خسارات جانی شده‌اند. در طرف مقابل، سوانحی که در نزدیکی محل ایستگاه‌های راه‌آهن رخ‌داده‌اند، سوانحی که در گذرگاه‌های غیرمجاز رخ‌داده‌اند، سوانحی که قطار درگیر در آن‌ها باری بوده، و سرانجام سوانحی که وسیله نقلیه درگیر در آن‌ها ماشین‌آلات کشاورزی بوده، دارای شدت کمتر و تمایل بیشتر به خسارات صرفاً مالی دارند. با توجه به موارد اعلام‌شده، اولویت اصلاحات

باید با تمرکز بر مواردی که باعث افزایش شـــدت ســـانحه می شوند، تعیین شود.

با توجه به عوامل تاثیرگذار در افزایش شـــدت ســـوانح و کاهش ایمنی، به اختصـــار چند راهکار در جهت افزایش ایمنی در محل گذرگاه‌ها نیز ارائه می‌گردد. از جمله راهکارها می‌توان به نصـــب راه‌بندهای هوشـــمند و اتوماتیک در همه گذرگاه‌ها، ایجاد مســـیر های زیر گذر محلی برای عبور عابر پیاده یا موتور سیکلت، ایجاد فضاهای امن هم سطح با ریل برای عبور ماشـین‌آلات سـنگین و کشـاورزی در محل مزارع و روسـتاها، نصب سیستم‌های هوشمند اخطار به خودروهای عبوری هنگام نزدیک شدن قطار، نظارت بیشتر توسط دوربین و دستگاه‌های انتظامی برای ثبت تخلفات حادثه ســـاز در محل گذرگاه‌ها (از جمله سبقت و سرعت زیاد)، برطرف کردن نقاط کور در محل گذرگاه‌ها و در نهایت هم سطح سازی مسیر عبور خودروها بر روی ریل در محل گذرگاه ها برای جلوگیری از گیرافتادن خودروها در محل گذرگاه، اشاره کرد.

۸. مراجع

– سلطانی، نعمت (۱۳۹۲) "مدلسازی تعداد و شدت تصادفات جاده‌های برون شهری یزد"،پایان‌نامه کار شناسی ارشد، تهران، دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

– سلطانی، نعمت و سلطانی، نوید (۱۳۹۳) "مدل‌سازی شدت تصـــادفات در جاده‌های برون شـــهری"، چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک, تهران: بهمن ۱۳۹۳

- Baysari, M.T., McIntosh, A.S. and Wilson, J.R., (2008), "Understanding the human factors contribution to railway accidents and incidents in Australia", Accid. Anal. Prev., Vol. 40, No.. 5, pp. 1750-1757.

- Ben Akiva, M., (1985), Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, MIT Press.

- Eluru, N., Bagheri, M., Miranda-MoreNo., L.F. and L. Fu, (2012), "A latent class modeling approach for identifying vehicle driver injury severity factors at highway-railway crossings", Accid. Anal. Prev., Vol. 47, pp. 119-127.

- Fan, W., Gong, L., Washing, E.M., Yu, M. and Haile, E., (2016), "Key factors contributing to crash severity at highway-rail grade crossings", J. Mod. Transp., Vol. 24, No.. 3, pp. 224-235.

- Hu, S. R., Li, C. S. and Lee, C. K. (2010) "Investigation of key factors for accident severity at railroad grade crossings by using a logit model", Safety Science., Vol. 48, No.. 2, pp. 186-194.

- Zhao, S. and Khattak, A., (2013), "Motor vehicle drivers ' injuries in train – motor vehicle crashes", Accid. Anal. Prev., Vol. 74, pp. 162-168.

- Fan, W. and Haile, E.W. (2014) "Analysis of severity of vehicle crashes at highway-rail grade crossings : MultiNo.mial Logit modeling", Transp. Res. Board 93nd Annu. Meet., Vol. 54, No.. 2, pp. 39-56.

- Haleem, K. and Gan, A., (2015), "Contributing factors of crash injury severity at public highway-railroad grade crossings in the U.S.", J. Safety Research., Vol. 53, pp. 23-29.

	سید امیر سعادتجو، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران-گرایش حمل‌ونقل در سال ۱۳۹۵ را از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. از سال ۱۳۹۵ مشغول به تحصیل در مقطع دکتری در رشته مهندسی عمران-گرایش راه‌وترابری در دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی ریلی و مدیریت روسازی است.
	مسعود یقینی، در سال ۱۳۸۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی برنامه ریزی حمل‌ونقل ریلی از دانشگاه jiaotong چین گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان داده کاوی و بهینه سازی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه دانشیاری در دانشگاه علم و صنعت ایران است.
	عبدالرضا شیخ‌الاسلامی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۷۲ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران-گرایش حمل‌ونقل در سال ۱۳۷٤ را از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۸۵ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران-گرایش حمل‌ونقل از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان حمل‌ونقل ریلی، هوایی و دریایی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیاری در دانشگاه علم و صنعت ایران است.
	برات مجردی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۷۷ از دانشگاه تبریز و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی نقشه برداری در سال ۱۳۷۹ را از دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی اخذ نمود. در سال ۱۳۸۸ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی نقشه برداری از دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان سنجش از دور بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیاری در دانشگاه علم و صنعت ایران است.