

مدل‌سازی فراوانی تصادفات در گذرگاه‌های همسطح جاده و ریل ایران

مرتضی محسنی، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

سید علی حسینی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

مرتضی باقری (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: morteza.bagheri@iust.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۹

دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۴

چکیده

هدف از این مقاله بررسی فراوانی حوادث در گذرگاه‌های همسطح جاده و ریل ایران، به منظور ارائه راهکارهایی در جهت کاهش تعداد این نوع حوادث است. بررسی گذرگاه‌های همسطح از نظر فراوانی حوادث یکی از روش‌های شناسایی گذرگاه‌های پرخطر و دارای ریسک در شبکه حمل و نقل ریلی هست. بدین منظور در مطالعه پیش رو، مدلی برای پیش بینی فراوانی تصادفات با نگاهی تازه به داده‌های تصادفات سال‌های اخیر گذرگاه‌های همسطح ایران ارائه می‌گردد. در این مطالعه از مشخصات ۲۴۰ گذرگاه همسطح مجاز کشور ایران و اطلاعات تصادفات رخ داده در این گذرگاه‌ها استفاده شده است. با استفاده از داده‌های مذکور و بهره‌گیری از مدل دو جمله‌ای منفی، فراوانی تصادفات رخ داده در هر یک از گذرگاه‌های همسطح مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که داده‌های مورد استفاده در این مطالعه مربوط به تصادفات گذرگاه‌های همسطح ایران در بازه زمانی بین سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳ هست. نتایج حاصل از این مطالعه نشان دهنده مهم بودن عواملی همچون میانگین وسایل نقلیه عبوری روزانه، نوع روسازی جاده، موقعیت گذرگاه (درون شهری یا برون شهری) و سرعت قطارهای عبوری در فراوانی گذرگاه‌های همسطح مورد بررسی است.

واژه‌های کلیدی: ایمنی، گذرگاه‌های مجاز، گذرگاه همسطح، مدل پیش بینی فراوانی، مدل دو جمله‌ای منفی

۱. مقدمه

نقلی گسترده دلایل مختلفی دارد. اول اینکه خط آهن در اغلب نقاط کشور از داخل شهرها عبور نمی‌کند و در بعضی موارد فاصله بسیار زیادی با نقاط پرتدد دارد. دلیل دیگر و مهمتر اینکه سیاست دولت‌های اخیر در حل مشکل ایمنی گذرگاه‌های همسطح به سمت غیرهمسطح سازی آنها بوده است. 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 وسایل نقلیه عبوری و عبور غیرمجاز عابرین پیاده می‌شود که تلفات ناشی از این تصادفات به طور متوسط سالانه ۶۱ کشته و ۲۱ زخمی گزارش شده است.

به منظور افزایش ایمنی، راهکارهای مختلفی را می‌توان در قبال گذرگاه‌های همسطح اتخاذ کرد. غیرهمسطح سازی گذرگاه‌ها یکی از این روش‌ها است که ایمنی را در هر دو شیوه حمل و نقلی افزایش می‌دهد. برای مثال از جمله برنامه‌های دولت امریکا برای افزایش ایمنی در این نقاط، کاهش ۲۵ درصدی تعداد گذرگاه‌های همسطح در بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۱ بوده است. غیرهمسطح سازی گذرگاه‌ها علاوه بر هزینه‌های مالی سنگینی که برای دولت‌ها در پی دارد، نیازمند صرف زمان زیادی نیز هست. این هزینه‌های سنگین سبب شد تا دولت امریکا، از سال ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۸ تنها بتواند در حدود ۱۱ درصد از گذرگاه‌های موجود را تبدیل به غیرهمسطح کند. در سال‌های اخیر، غیرهمسطح سازی مهمترین برنامه راه آهن ایران در مورد گذرگاه‌های همسطح بوده است اما با توجه به محدودیت‌های مالی، در طول سال تنها تعداد کمی از گذرگاه‌ها، غیرهمسطح می‌شوند.

علاوه بر هزینه‌های ذکر شده، در بعضی از نقاط امکان غیرهمسطح سازی گذرگاه‌ها وجود ندارد. به همین دلیل راهکار دیگر بستن گذرگاه‌های غیرضروری است. بستن گذرگاه‌ها در مکان‌هایی قابل اجرا است که امکان انتخاب مسیرهای جایگزین برای وسایل نقلیه جاده‌ای وجود داشته باشد. به نظر می‌رسد تجهیز کردن گذرگاه‌ها به سیستم‌های ایمنی راهکار دیگری

در سیستم حمل و نقل ریلی اگرچه گذرگاه‌های همسطح جاده و ریل امن‌تر از همیشه هستند، اما هنوز تعداد تصادفات و تلفات جانی ناشی از تصادفات در این نقاط بسیار چشمگیر است. در گذرگاه‌های همسطح ریل و جاده به خاطر تقابل میان قطار و وسایل نقلیه عبوری با دو مکانیزم ترمز متفاوت، با توجه به مسافت ترمز بسیار زیاد قطار نسبت به خودروهای عبوری، حق تقدم همواره با قطار در نظر گرفته شده است. هم اکنون در بسیاری از کشورها از جمله ایران، ایمنی گذرگاه‌ها بر اساس فراوانی تصادفات رخ داده در آنها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

برای درک جامع‌تر از این موضوع نگاهی بر آمار تصادفات گذرگاهی در کشور ایالات متحده امریکا می‌تواند به خوبی بیانگر اهمیت ایمنی در گذرگاه‌های همسطح باشد. کشور ایالات متحده امریکا با دارا بودن بیش از ۲۵۰,۰۰۰ گذرگاه همسطح یکی از بزرگترین شبکه‌های حمل و نقل را دارد. با وجود موفقیت‌های چشمگیر اخیر در قالب اقدامات ایمنی صورت گرفته به منظور کاهش حوادث رخ داده در گذرگاه‌های همسطح، انجمن فدرال راه‌آهن ایالات متحده در سال ۲۰۱۴ بیش از ۲۲۸۰ تصادف ثبت کرده است. در سال ۲۰۱۵ میلادی به طور متوسط در هر ۱۱۵ دقیقه یک نفر یا یک خودرو در نقطه‌ای از سیستم حمل و نقل ریلی ایالات متحده با قطار برخورد می‌کند.

کشور ایران نیز گرچه به لحاظ کمی تعداد گذرگاه‌های به مراتب کمتری در شبکه حمل و نقل خود دارد اما با نگاهی بر تعداد تصادفات رخ داده در این گذرگاه‌ها به اهمیت موضوع گذرگاه‌های همسطح پی خواهیم برد. طبق آخرین آمار منتشره از سوی شرکت راه‌آهن ج.ا.ا، ۲۷۴ گذرگاه مجاز و ۷۵ گذرگاه غیر مجاز همسطح در کشور فعال است که در مقام مقایسه با دیگر کشورها بسیار کمتر است. در این جا لازم است اشاره کنیم که محدود بودن تعداد گذرگاه‌های همسطح در این شبکه حمل و

باشد که نسبت به غیرهمسطح سازی، نیازمند صرف هزینه بسیار کمتری است. از جمله اولویت‌های کوتاه مدت دولت آمریکا در این زمینه، مساعدت به انجمن‌های محلی جهت تجهیز گذرگاه‌ها به سیستم‌های حفاظتی مناسب هست. به‌کارگرفتن برخی از تجهیزات سبب می‌شود تا تعداد تصادفات به مقدار زیادی کاهش یابد. برای مثال در کشور ایران، علی‌رغم کمتر بودن تعداد گذرگاه‌های همسطح بدون راهبند، تعداد تصادفات این گذرگاه‌ها در بازه زمانی بین سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲، تقریباً ۲،۵ برابر بیشتر از گذرگاه‌های با راهبند بوده است. تجهیز کردن گذرگاه‌ها موضوعی است که در حال حاضر در راه آهن ایران در دست بررسی است.

به منظور اجرا کردن هر کدام از راهکارهای فوق نیاز است تا ابتدا گذرگاه‌های مهم و پرحادثه شناسایی شوند. بدین منظور راه‌کارهای مختلفی می‌توانند مدنظر قرار گیرد. یکی از راه‌های ابتدایی شناسایی گذرگاه‌ها، اولویت بندی آن‌ها براساس فراوانی تصادف است. لازم به ذکر است که گرچه روش‌های بهتری نیز برای الویت بندی گذرگاه‌های هم‌سطح وجود دارد، اما سادگی روش الویت بندی گذرگاه‌ها بر اساس فراوانی تصادفات باعث شده است تا از اقبال خوبی نزد محققین و تصمیم‌گیرندگان برخوردار باشد. به‌همین منظور مدل‌های فراوانی بسیاری برای پیش‌بینی تعداد تصادفات در گذرگاه‌های همسطح ارائه شده است که در هر کدام از آن‌ها، عوامل تاثیرگذار مختلفی وجود دارد.

از طرفی عوامل گوناگونی موجب بالا رفتن احتمال وقوع تصادفات در گذرگاه‌های همسطح می‌شوند. شناسایی عوامل تاثیرگذار در فراوانی تصادفات، به عنوان ورودی مدل‌ها و همچنین به عنوان ابزاری جهت درک مناسب از رابطه میان آن‌ها، بسیار می‌تواند در دقت نتایج تاثیر بگذارد. به عبارت دیگر فهم کافی از عوامل مذکور، می‌تواند به ما کمک کند تا با اولویت بندی مناسب گذرگاه‌ها، دستاوردهای بهتری را در قالب ارتقاء سطح ایمنی این بخش از سیستم حمل و نقل ریلی

بدست آوریم. با توجه به متفاوت بودن شرایط سیستم حمل و نقل ریلی کشور ایران از نظر طول خط و تعداد گذرگاه‌های هم‌سطح در مقایسه با سایر کشورها، امکان استفاده از مدل‌های توسعه داده شده برای آن کشورها در ایران وجود ندارد. در سال‌های اخیر تنها یک مطالعه به مدل سازی فراوانی تصادفات گذرگاه‌های همسطح ایران پرداخته است [Ayati, Zakeri and Sadeghi, 2010].

در همین راستا این مطالعه به دنبال ارائه مدلی برای پیش‌بینی فراوانی تصادفات گذرگاه‌های همسطح در کشور ایران است. لازم به ذکر است که داده‌های مورد استفاده در این مطالعه مربوط به بازه سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳ هست. مقایسه نتایج مطالعه پیش روی با آنچه که آیتی و همکاران بر روی تصادفات سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ انجام داده‌اند، می‌تواند به درک هرچه بهتر از عوامل تاثیرگذار بر تصادفات گذرگاهی کشور ایران کمک نماید.

در ادامه این مقاله پس از مروری بر ادبیات موضوع در زمینه پیش‌بینی فراوانی تصادفات گذرگاه‌های همسطح، در بخش سوم مدل سازی با استفاده از مدل‌های تعمیم یافته خطی بیان می‌گردد. در ادامه و پس از توصیف داده‌ها در بخش پنجم، مدل سازی انجام شده در این مقاله ارائه شده است. در بخش ششم اعتبار سنجی نتایج بدست آمده از مدل پیشنهادی بیان می‌گردد. در انتها نیز پس از بحث و نتیجه‌گیری، پیشنهاداتی برای مطالعات آینده آورده شده است.

۲. مروری بر مدل‌های پیش‌بینی تصادفات

در زمینه ایمنی گذرگاه‌های همسطح، مطالعات زیادی صورت گرفته است. در مطالعات انجام شده در مورد گذرگاه‌های همسطح، تمرکز اصلی در استفاده از عوامل مربوط به مشخصات گذرگاه، ناوگان و خط ابنیه ریلی، وسایل نقلیه و زیرساخت‌های جاده‌ای است [Khan, I, Lee and Khan, M., 2018; Ma et al. 2018; Fan et al. 2016; Hao, Kamgaand فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال دوازدهم / شماره دوم (۴۷) / زمستان ۱۳۹۹

خطوط ریلی، تعداد قطار عبوری، نوع اقدام ایمنی، تعداد وسیله نقلیه جاده‌ای، عرض و سطح جاده، زاویه گذرگاه و فاصله دید هست [Zalinger, Rogers and Johari, 1977].

۲-۲ مدل‌های رگرسیون دوجمله‌ای منفی

آستین و کارسون در مطالعه خود در سال ۲۰۰۲ به تشریح کاربرد مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی پرداخته‌اند. مطابق با مقاله ایشان، این مدل در مواجهه با شرایط پراکندگی بالا نسبت به میانگین به خاطر آزادسازی محدودیت برابری میانگین و واریانس در مدل رگرسیون پواسون کارایی بسیار بهتری خواهد داشت [Austin and Carson, 2002]. آنها در این مطالعه از مدل مذکور در توسعه مدل خود بهره برده‌اند. البته علی‌رغم مزایای این روش مطالعات دیگر به محدودیت‌های این مدل نیز اشاره کرده‌اند. برای مثال لرد و منرینگ در سال ۲۰۱۰ به محدودیت این مدل در مواجهه با حالت پراکندگی پایین در داده مورد استفاده اشاره کرده‌اند [Lord and Mannering, 2010].

۳-۲ مدل‌های لاجیت^۹ و پرابیت^{۱۰}

مدل رگرسیون لجستیک نیز به عنوان یکی دیگر مدل‌های مناسب برای پیش بینی تصادفات در مطالعه‌ای توسط مک‌الیستر و فلام به کار برده شده است. مدل ارائه شده در مطالعه ایشان میزان هزینه جانی جلوگیری شده و هزینه ارتقاء گذرگاه‌های همسطح با استفاده از راهبند را برای تعدادی از گذرگاه‌ها با بودجه محدود مورد بررسی قرار داده است. مقدار بدست آمده برای شاخص شبه R^2 تقریباً ده برابر مقادیری است که در مدل‌های قبلی ارائه شده است و خبر از برازش بسیار مناسب مدل ایشان در پیش بینی تصادف می‌دهد [McCollister and Pflaum, 2007]. البته در این جا لازم است اشاره کنیم که تفسیر نتایج بر اساس این شاخص نمی‌تواند به طور قطعی، برتری مدل لاجیت را بر دیگر مدل‌ها نشان دهد. از آنجا ماهیت

[Wan 2016]. در ادامه، مطالعات انجام شده در زمینه پیش بینی تصادفات بررسی و مقایسه شده‌اند.

۲-۱ مدل‌های رگرسیون پواسون

هایتر طی مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۷ توزیع پواسون را به عنوان مدلی مناسب برای شرایطی که لازم است یک متغیر تصادفی برای شمارش یک رخداد در یک بازه‌ی زمانی تعریف شود، معرفی می‌کند. یکی از الزامات به‌کارگیری توزیع پواسون، برابری میانگین و واریانس آماره مورد مطالعه است [Hayter, 2007]. مطابق با آنچه آستین و کارسون نیز در مطالعه خود در سال ۲۰۰۲ بیان می‌کنند، اگر میانگین و واریانس برابر نباشند، مدل پواسون در شرایط پراکندگی بالا^۷ و پراکندگی پایین^۸ برازش مناسبی بر روی داده نداشته و منجر به ایجاد انحراف در مقادیر تخمینی برای هر یک از ضرایب خواهد شد [Austin and Carson, 2002]. لرد و منرینگ نیز در سال ۲۰۱۰ در مقاله خود بیان می‌کنند که مقدار اندک میانگین نمونه بر مدل رگرسیون پواسون تاثیر منفی خواهد داشت و همچنین مقادیر اندازه نمونه کم نیز باعث انحراف در مدل خواهد شد [Lord and Mannering, 2010]. ساکومانو و همکاران نیز در سال ۲۰۰۳ نتایج مشابهی در مطالعات بیان نموده‌اند. ایشان در مقاله خود اشاره کردند که مدل‌های رگرسیون پواسون به‌خاطر وجود تعداد مقادیر صفر بسیار زیاد در داده‌های مربوط به تصادفات، مشکلاتی را در مواجهه با حالت پراکندگی بسیار پایین نسبت به میانگین نشان می‌دهند [Saccomanno, Ren and Fu, 2003].

به عنوان نمونه‌ای دیگر مدل توسعه داده شده توسط زالینگر و همکاران در سال ۱۹۷۷ از مدل رگرسیون پواسون استفاده کرده و معادلات جداگانه‌ای برای گذرگاه‌های شهری و روستایی ارائه داده است. این مطالعه برخی از عوامل را در فراوانی تصادفات گذرگاه‌های همسطح تاثیرگذار دانسته است. این عوامل شامل موقعیت گذرگاه، تاریخچه تصادفات، نوع و تعداد

تا ۲۰۰۶ استفاده نمودند. در نتایج مطالعه ایشان، عواملی همچون سن راننده، زمان تصادف، وجود شرایط جوی همچون برف و باران و اقدام راننده در لحظه تصادف به عنوان عوامل تاثیر گذار بر شدت تصادف معرفی شده است [Eluru et al. 2012].

آنچه که تا اینجا ارائه گردید مروری بر مطالعات انجام شده در سایر کشورها بود. مطالعات محدودی نیز تا به اکنون بر روی گذرگاه‌های همسطح ایران انجام شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به مقاله ارائه شده توسط ذاکری در سال ۱۳۸۵ اشاره نمود. ذاکری در این مطالعه داده‌های تصادفات یک دوره ۱۳ ساله بین سالهای ۱۳۷۱ الی ۱۳۸۳ را مورد استفاده قرار داده است. وی در مقاله خود با شرح راهکارهای موجود جهت تعیین شاخص خطر گذرگاه‌ها در مطالعات پیشین، شاخص خطر فعلی و مورد استفاده در راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران را بررسی نموده است. وی در انتها نیز با بیان راهکارهای موجود در زمینه افزایش ایمنی در گذرگاه‌های تصادف‌زا، توصیه‌هایی در این رابطه ارائه داده است [Zakeri, 2006].

آیتی و همکاران نیز در سال ۱۳۸۹ با ارائه مدل پیش بینی فراوانی سعی نمودند تا با استفاده از تکنیک‌های آماری و کاربرد رگرسیون خطی تعمیم یافته، مدلی مناسب جهت پیش بینی فراوانی تصادفات گذرگاهی ارائه دهند [Ayati, Zakeri and Sadeghi, 2010]. در این مطالعه مدل پوآسون جواب دقیق‌تری در مقایسه با مدل دو جمله‌ای منفی ارائه داده است. ایشان جهت اعتبار سنجی مدل خود از روش مقایسه زوجی بین دو گروه تصادفات پیش بینی شده و مشاهده شده استفاده نمودند که در نتیجه اعتبار مدل ارائه شده به اثبات رسید. در نتایج این مطالعه همانطور که قابل پیش بینی است عنوان گردیده است که افزایش تعداد وسایل نقلیه و قطارهای عبوری، افزایش تعداد تصادفات را در پی خواهد داشت. این افزایش به این صورت است که با "الف" برابر شدن تعداد قطارها یا خودروهای عبوری تعداد تصادفات $0,2096 * \text{الف}$ برابر

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره دوم (۴۷) زمستان ۱۳۹۹

خروجی مورد پیش بینی در مدل لاجیت با مدل‌های قبلی یکسان نیست، بنابراین نمی‌توان از شاخص‌های نیکویی برازش مدل‌های قبلی برای این مدل استفاده نمود. این گونه مدل‌ها بر زمان مناسب است که خروجی مدل به صورت صفر و یک باشد.

فان و همکاران در سال ۲۰۱۶ به طور خلاصه طیف گسترده‌ای از مدل‌ها و ابزارهای به کار رفته در مطالعات مربوط به بررسی تاثیر عوامل مختلف بر شدت تصادفات وسایل نقلیه موتوری را گردآوری و جمع‌بندی نموده‌اند. مطابق با آنچه در مقاله ایشان آورده شده است، مدل‌های لاجیت و پرابیت ترتیبی^{۱۱}، لاجیت چندجمله‌ای^{۱۲}، لاجیت باینری^{۱۳}، پرابیت باینری و لاجیت نستند^{۱۴} (لایه لایه) مدل‌هایی هستند که طی سال‌های اخیر در روش‌های آماری به این منظور بکار گرفته شده‌اند [Fan, Gong and Haile, 2016].

در سال‌های گذشته مطالعات زیادی از مدل‌های احتمال ترتیبی برای تحلیل سطح شدت تصادفات استفاده نموده‌اند [Ghomi et al. 2016; Fan, Gong and Haile 2016; Hao and Daniel 2016]. از طرفی با توجه به مشکلات موجود در استفاده از مدل‌های ترتیبی، در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری از مدل چندجمله‌ای غیر ترتیبی استفاده کرده‌اند. در واقع این روش با قرار دادن محدودیتی بر تاثیر هر یک از متغیرها، احتمال هر یک از سطوح متغیر خروجی را محاسبه می‌کند [Khan and Khattak, 2018].

در بسیاری مطالعات انجام شده در طی این سال‌ها، وجود رابطه پنهان در داده‌های مورد استفاده در پیش بینی تصادفات در نظر گرفته نشده است. الورو و همکاران در مطالعه‌ای با استفاده مدل لاجیت و با در نظر گرفتن روابط پنهان موجود در میان کلاس‌های مختلف متغیرها سعی در پیش بینی شدت تصادفات برخورد قطار با خودرو داشتند. ایشان در این مطالعه بر روی پیش بینی شدت تصادف راننده اتومبیل تمرکز نموده و برای این منظور از داده‌های ایالات متحده آمریکا طی سال‌های ۱۹۹۷

همچون مدل پوآسون و دو جمله ای منفی، مدلی برای پیش بینی فراوانی تصادفات در گذرگاه‌های کشور ایران ارائه نماید. در گام بعدی با توصیف اجمالی داده‌های مورد استفاده در این مقاله به مدل‌سازی فراوانی تصادفات با استفاده از مدل‌های پوآسون و دو جمله ای منفی پرداخته خواهد شد.

۳. مدل سازی فراوانی تصادفات

علی‌رغم سهولت به کارگیری رگرسیون خطی به عنوان ساده ترین شکل از انواع مدل‌های رگرسیون، استفاده از رگرسیون خطی در مدل‌سازی تصادفات مناسب نیست. عمده ترین محدودیت موجود در چنین مسائلی، نرمال نبودن توزیع متغیر پاسخ و معنادار نبودن مقادیر منفی در متغیر پاسخ می‌باشد که به این دلایل نمی‌توان از رگرسیون خطی استفاده نمود. بنابراین پژوهشگران در سال‌های اخیر از مدل‌های دیگری استفاده نموده‌اند. مطابق انتظار در اکثر مواقع به علت ماهیت شمارشی بودن فراوانی تصادف، توزیع پوآسون برازش بهتری بر روی مقادیر خواهد داشت [Austin and Carson, 2002].

۳-۱ مدل رگرسیون پوآسون

این مدل به خاطر ماهیت گسسته، شمارشی و همچنین غیر منفی برازش بهتری بر روی مدل مورد نظر خواهد داشت [Oh, Washington and Nam, 2006]. در این مطالعه ضرایب حاصل از به کارگیری مدل پوآسون بر اساس روش برآورد درست‌نمایی بیشینه^{۱۹} تخمین زده خواهد شد. رابطه مورد نظر جهت تخمین مقادیر برابر است با:

$$P(y_i) = \frac{e^{(-\lambda_i)} (\lambda_i)^{y_i}}{y_i!} \quad (1)$$

در این رابطه $P(y_i)$ احتمال اختیار نمودن مقادیر ۰، ۱، ۲، ... ، n برای گذرگاه i ام و λ_i پارامتر مدل پوآسون است که به صورت زیر تعریف شده است:

می‌شود. همچنین درون شهری بودن گذرگاه خطر احتمال تصادف را افزایش خواهد داد. این نتیجه با آنچه اوه و همکارانش در سال ۲۰۰۶ بیان کرده‌اند مطابقت دارد که در مناطق شهری که کاربرد تجاری زیادی نیز وجود دارد تعداد تصادفات افزایش می‌یابد که به وجود عوامل بیشتری برای حواس پرتی رانندگان مربوط می‌شود [Oh, Washington and Nam, 2006].

همچنین طبق مدل آیتی و همکاران، آسفالت بودن جاده باعث افزایش تصادف می‌شود. ایشان در توضیح این مورد بیان می‌کنند که گرچه ممکن است آسفالت بودن جاده تاثیر معناداری بر فراوانی تصادفات نداشته باشد اما این موضوع افزایش سرعت را به دنبال دارد که به طور غیر مستقیم بر روی فراوانی تصادفات تاثیر گذار است. همچنین طبق مدل آیتی و همکاران بیشتر شدن سرعت قطارها از ۶۰ کیلومتر بر ساعت باعث افزایش تعداد تصادف خواهد شد. وجود راهبند نیز در مدل ارائه شده ضریب منفی دارد که به معنی کاهش تعداد تصادف است. ایشان در انتها روند تغییر فراوانی تصادفات را با توجه به عواملی همچون رشد تعداد وسایل نقلیه جاده‌ای (با فرض عدم تغییر دیگر متغیرها) مورد بررسی قرار داده‌اند [Ayati, Zakeri and Sadeghi, 2010]. لازم به ذکر است که مطالعه پیش روی می‌تواند علاوه بر نگاهی تازه بر مدل ارائه شده توسط آیتی و همکاران تلقی گردد. بنابراین نویسندگان سعی نموده‌اند تا بازه سال‌های مورد بررسی در این مطالعه مکمل بازه مورد استفاده در مطالعه آیتی [Zakeri, 2006] باشد.

در این بخش مطالعات انجام شده حول موضوع پیش بینی تصادفات گذرگاه‌های همسطح ارائه گردید. در انتها نیز مطالعات انجام شده با تمرکز بر گذرگاه‌های کشور ایران مورد بررسی قرار گرفت. طبق مطالعات نویسندگان این مقاله در سال‌های اخیر مطالعه مشابه دیگری بر روی گذرگاه‌های همسطح ایران صورت نگرفته است. بنابراین مطالعه پیش روی سعی بر این دارد تا با استفاده از مدل‌های تعمیم یافته خطی

$$\log \lambda_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (5)$$

مطابق رابطه شماره ۶ در مدل دو جمله‌ای منفی، α انحراف موجود میان واریانس و میانگین را توضیح خواهد داد. در صورتی که مقدار آن به صفر نزدیک باشد مدل دو جمله‌ای منفی به پواسون تبدیل خواهد شد [Lord, Washington and Ivan, 2005]

$$\text{var}[Y_i] = E[Y_i][1 + \alpha E[Y_i]] \quad (6)$$

معیارهای متداول بررسی نیکویی برازش مدل پواسون و دو جمله‌ای منفی، مقدار انحراف مدل^{۲۰} و پیرسون-خی^{۲۱} است. معیارهای معرفی شده به صورت آماره χ^2 و $n-p$ درجه آزادی توزیع شده است که n تعداد نمونه و p تعداد متغیرهای ورودی به مدل هستند. اگر مدل رگرسیون درست و معتبر باشد، مقادیر مربوط به انحراف مقیاس بندی شده و پیرسون-خی-دو مقیاس بندی شده $(\frac{\chi^2}{df})$ می‌بایست برابر یک و یا نزدیک به یک باشند. همچنین در مقایسه میان مدل‌های مختلف می‌توان از این دو معیار، جهت انتخاب مدل بهتر استفاده نمود [Lord, Washington and Ivan, 2005].

۴. توصیف داده

در این مطالعه، تلاش گردید تا از اطلاعات مشخصات و تصادفات گذرگاه‌های همسطح کشور ایران استفاده شود. در راه آهن ایران، این اطلاعات توسط مراکز مستقل و مختلف جمع آوری می‌گردد. در این مطالعه اطلاعات مشخصات گذرگاه از اداره خط و سازه‌های فنی راه آهن ایران تهیه گردید. بخشی از اطلاعات گذرگاه مربوط به مشخصات ریلی گذرگاه، بخشی مربوط به مشخصات جاده‌ای و بخش دیگری در رابطه با مشخصات عمومی گذرگاه است.

اطلاعات مشخصات ریلی شامل میانگین تعداد قطار عبوری در ساعات شب و روز، تعداد خطوط ریلی راه آهن در گذرگاه، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال دوازدهم / شماره دوم (۴۷) / زمستان ۱۳۹۹

$$\lambda_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)} \quad (2)$$

که این رابطه به صورت زیر نیز قابل نوشتن است:

$$\log \lambda_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (3)$$

در این رابطه نمایانگر متغیرهای مستقل و ضرایب β_i مربوط به مقادیر تخمین زده شده از مدل است. این ضرایب همانطور که قبلاً اشاره گردید از روش برآورد درست‌نمایی بیشینه تخمین زده می‌شود. تابع احتمال برای مدل رگرسیون پواسون به صورت رابطه شماره ۴ است:

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\exp[-\exp(\beta x_i)] [\exp(\beta x_i)]^{y_i}}{y_i!} \quad (4)$$

از آنجا که فرض برابری میانگین و واریانس در توزیع پواسون به عنوان فرض اساسی تلقی می‌گردد. بنابراین عدم توجه به پراکنش داده‌ها می‌تواند خطای مهمی در نتایج پیش بینی مدل وارد نماید [Lord, Washington and Ivan, 2005]. در اکثر مسائل مربوط به پیش بینی تصادفات به خاطر وجود تعداد زیاد صفر در داده‌ها به طور طبیعی پراکنش داده‌ها و به طبع واریانس مقادیر از میانگین بیشتر هست. به همین سبب در سال‌های اخیر مدل دو جمله‌ای منفی به عنوان مدلی مناسب جهت پوشش محدودیت مذکور به کار گرفته شده است.

۲-۳ مدل رگرسیون دو جمله‌ای منفی

همانطور که اشاره گردید با توجه به عدم وجود محدودیت تساوی میانگین و واریانس در مدل دو جمله‌ای منفی، این مدل برای داده‌های تصادفات با پراکنش زیاد مناسب است. در واقع در مدل دو جمله‌ای منفی با اضافه شدن یک عبارت خطای توزیع شده گاما برای همه متغیرها به مساله اجازه خواهد داد تا میانگین و واریانس برابر نباشد.

تقریباً در بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳، در گذرگاه‌های همسطح تغییر خاصی صورت نگرفته است.

در این بازه زمانی، تعداد ۲۳۹ تصادف برخورد با قطار در گذرگاه‌های همسطح مجاز ایران و تعداد ۴۵۳ تصادف در گذرگاه‌های همسطح غیر مجاز رخ داده است. از آنجا که امکان ایجاد گذرگاه غیر مجاز در اکثر نقاط طول مسیر وجود دارد، نمی‌توان مکان‌هایی با ویژگی مشخص برای آن‌ها در نظر گرفت و به عبارت دیگر نمی‌توان آن‌ها را تحلیل نمود. از طرفی دیگر، فرض بر این است که عبور از گذرگاه‌های غیر مجاز خلاف قانون است و می‌بایست این گذرگاه‌ها مسدود شوند. در این مطالعه بنا به دلایلی که بیان گردید، تنها تصادفات گذرگاه‌های مجاز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. شکل ۱، تعداد این تصادفات را در سال‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

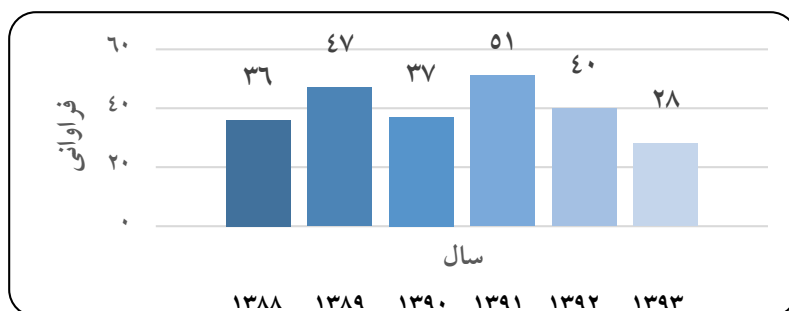
با وجود آن که در نشریه شماره ۲۸۸^{۱۱} آیین نامه طرح هندسی راه آهن^{۱۲} ذکر شده که گذرگاه همسطح راه و راه آهن ممنوع بوده و می‌بایست این گذرگاه‌ها غیرهمسطح شوند، اما طبق آخرین آمار منتشره از سوی شرکت راه‌آهن ج.ا.ا، ۲۴۳ گذرگاه مجاز و ۷۵ گذرگاه غیر مجاز همسطح در کشور فعال است. با در نظر داشتن هزینه بالای غیرهمسطح سازی و زمان‌بر بودن تبدیل گذرگاه‌ها به گذرگاه‌های غیرهمسطح، لذا می‌بایست در خصوص افزایش ایمنی گذرگاه‌های موجود اقداماتی صورت پذیرد. از طرفی همانطور که در نشریه مذکور بیان شده، در غیرهمسطح سازی گذرگاه‌ها حتماً باید به شرایط منطقه و مشخصات فنی مسیر ریلی و جاده‌ای توجه شود. از همین رو نمی‌توان برای تمام گذرگاه‌های همسطح موجود، راه حل غیرهمسطح سازی را پیشنهاد کرد.

با توجه به اطلاعات موجود از مشخصات گذرگاه‌ها، در این مطالعه از مشخصات گذرگاه‌های مجاز (۱۴۰ گذرگاه باراهبند و ۱۰۳ گذرگاه بدون راهبند) استفاده شده است. اطلاعات ۸۰ درصد از گذرگاه‌ها (به صورت تصادفی) برای مدل سازی، و اطلاعات بقیه گذرگاه‌ها برای اعتبار سنجی مدل انتخاب شد.

حداکثر سرعت قطار عبوری از گذرگاه طبق جدول زمانی، شیب خط آهن در گذرگاه و هندسه خط آهن در نزدیکی گذرگاه است. اطلاعات مشخصات جاده‌ای شامل محدوده سرعت جاده‌ای، فاصله گذرگاه از نزدیک‌ترین تقاطع جاده‌ای، هندسه جاده، نوع جاده عبوری (درون شهری یا برون شهری)، میانگین تعداد وسیله نقلیه عبوری در شبانه روز، عرض جاده، وضعیت دید راننده وسیله نقلیه، نوع روسازی جاده، ساعات اوج ترافیک در محدوده گذرگاه شیب و تعداد خطوط جاده است. مشخصات عمومی گذرگاه شامل نام گذرگاه، نام محور، نام بلاک، کیلومتر خط، موقعیت جغرافیایی، نوع گذرگاه، روشنایی گذرگاه، آب و هوای منطقه زاویه تقاطع با محور جاده‌ای و نوع سرویس تقاطع هست.

همانطور که بیان شد به منظور ارائه مدل پیشنهادی، نیاز است تا علاوه بر مشخصات گذرگاه از اطلاعات تصادفات نیز استفاده شود. در این مطالعه از تصادفات رخ داده طی ۶ سال (سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳) در گذرگاه‌های همسطح ایران استفاده گردید. اطلاعات این تصادفات از شرکت راه آهن ایران تهیه گردید. با توجه به اینکه مشخصات گذرگاه و تصادفات از دو پایگاه داده مجزا جمع‌آوری شده‌اند نیاز است تا هر تصادف را به گذرگاه مربوطه اختصاص داد. بدین منظور از عواملی همچون کیلومتر خط، نام گذرگاه و شرح تصادفات استفاده گردید. با این اقدام اطلاعاتی نظیر تعداد تصادفات، تعداد کشته و زخمی به مشخصات گذرگاه اضافه گردید.

پیش از بیان ویژگی داده‌های مورد بررسی در این مطالعه، ذکر چند نکته ضروری به نظر می‌رسد. در خصوص دسترسی به داده‌های تصادفات ریلی ملاحظات و محدودیت‌هایی وجود دارد با این وجود با پیگیری‌های به عمل آمده، اطلاعات تصادفات مربوط به سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳ بدست آمد. به علاوه آخرین اطلاعات موجود از مشخصات گذرگاه‌های همسطح مربوط به سال ۱۳۸۸ بوده و طبق بررسی انجام شده



شکل ۱. تعداد تصادفات گذرگاه‌های همسطح ایران (سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳)

دوجمله‌ای منفی به عنوان مدلی مناسب برای این مسئله استفاده گردید. در این مطالعه برای مدل‌سازی، نسخه ۲۲ نرم افزار IBM SPSS مورد استفاده قرار گرفت. مطابق با آنچه که پیش‌تر بیان گردید، از روش برآورد درست‌نمایی بیشینه برای تخمین ضرایب مدل رگرسیون خطی تعمیم یافته استفاده گردید. همچنین در تحلیل صورت گرفته سطح اطمینان ۹۵ درصد برای برآورد متغیرها در نظر گرفته شد.

پیش از مدل‌سازی، نیاز است که استقلال متغیرهای ورودی به مدل بررسی شوند و متغیرهای مستقل وارد مدل گردند. از همین رو از میان متغیرهای جدول ۱، متغیرهای وابسته وارد مدل نمی‌شوند. مدل دوجمله‌ای منفی برازش داده شده بر روی داده‌ها به صورت رابطه (۷) محاسبه گردیده است.

$$E(\mu) = EXP(-3.167 + (0.800 * L) + (1.477 * P) + (1.385 * S3 + 1.379 * S4) + (3.9 * 10^{-5} * ADT)) \quad (7)$$

که در این رابطه $E(\mu)$ فراوانی تصادفات مورد انتظار برای پنج سال، L موقعیت گذرگاه (درون شهری (۱)، برون شهری (۰))، P نوع سطح روسازی جاده (خاکی (۰)، آسفالتی (۱))، S_i حداکثر سرعت قطار (در جدول ۱ مقادیر طبقه بندی شده برای عامل سرعت آورده شده است)، ADT میانگین روزانه وسایل نقلیه جاده‌ای عبوری از گذرگاه است. در فرایند مدل

لازم به ذکر است وجود نقاط دور افتاده در مدل‌سازی باعث ایجاد انحراف بسیار شدید در مدل رگرسیون نهایی خواهد گردید که این موضوع به خاطر استفاده از روش برآورد درست‌نمایی بیشینه در مدل‌سازی است. بنابراین در این مطالعه به منظور افزایش دقت مدل، نقاط دور افتاده از مجموعه تصادفات کنار گذاشته شد. این نقاط شامل تصادفات مربوط به گذرگاه‌های الهادی، جاده نورآباد و کشتارگاه هست.

۵. مدل‌سازی

به منظور مدل‌سازی فراوانی تصادفات در گذرگاه‌های کشور ایران، ۱۹۰ دستگاه گذرگاه به صورت تصادفی به عنوان اندازه نمونه در مدل انتخاب گردید. در جدول ۱ متغیرهای اولیه مربوط به مشخصات گذرگاه‌های همسطح و تصادفات آن‌ها که در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، بیان شده است. همچنین در فرایند مدل‌سازی، تعداد محدودی از گذرگاه‌ها به دلیل ازدیاد داده‌های از دست رفته در نظر گرفته نشده است. میانگین تصادفات مربوط به گذرگاه‌های انتخابی ۰،۵۰ و واریانس آن ۱،۵۶ هست. هنگام مواجه با چنین مسائلی با پراکنش بالا نسبت به میانگین، کاربرد مدل پواسون را با محدودیت مواجه خواهد کرد. همچنین نتایج به دست آمده از مدل پواسون در چنین شرایطی قابل اعتماد نخواهد بود [Lord, Washington and Ivan, 2005]. بنابراین از مدل

انحراف و پیرسون خی-دو نشان از برازش مناسب مدل بر روی داده‌های تصادفات مورد استفاده دارد. همانطور که در جدول ۲ مشخص شده است، مقدار ۱/۱۴۱ از تقسیم مقدار پیرسون خی-دو بر درجه آزادی آن به دست آمده است. نزدیک بودن این عدد به مقدار مطلوب آن (برابر یک)، بیانگر انحراف کم و عملکرد مناسب مدل است.

سازی عامل وجود یا عدم وجود راهبند در نتایج نهایی معنی دار نبوده و مقدار بیشتر از ۵ درصد را اختیار نموده است. دلیل این امر ارتباط وجود یا عدم وجود راهبند با نوع روسازی جاده بوده و مدل یکی را حذف و دیگری را باقی نگه داشته است. بنابراین در مدل نهایی، به منظور افزایش دقت مدل از آوردن این عامل خودداری شده است.

جدول ۲ نتایج برازش مدل دوجمله‌ای منفی بر روی داده‌ها را نشان می‌دهد. براساس مقدار به دست آمده برای مقادیر

جدول ۱. مشخصات گذرگاه‌های مورد استفاده در مدل سازی فراوانی تصادفات

متغیر	توضیح	حداقل	حداکثر	متوسط	انحراف استاندارد
متوسط حجم ترافیک جاده‌ای	وسیله نقلیه در شبانه روز	۶۶	۴۷۷۰	۳۹۷۷/۷۷	۷۳۴۸/۰۹۵
متوسط حجم ترافیک ریلی	تعداد قطار عبوری از گذرگاه	۲	۷۲	۱۶/۹۹۵۸	۱۷/۲۴۴۷
تعداد خطوط راه آهن	تعداد	۱	۳	۱/۲۷	۰/۵۲۸
تعداد تصادف در گذرگاه‌ها	از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵	۰	۱۰	۰/۴۹	۱/۲۳۹
عرض جاده	متر	۶ تا ۸ متر (۲۸/۸٪)، ۸ تا ۱۰ متر (۱۰/۲٪)، ۱۰ تا ۲۰ متر (۱۰/۶٪)، بیشتر از ۲۰ متر (۳/۴٪)			
سرعت قطارها	کیلومتر بر ساعت	کمتر از ۵۰ (۲۸/۹٪)، ۵۱ تا ۶۰ (۱۲/۱٪)، ۶۱ تا ۸۰ (۲۹/۵٪)، ۸۱ تا ۱۰۰ (۸/۹٪)، بیشتر از ۱۰۰ (۱۹/۵٪)			
زاویه گذرگاه	درجه	≤ 30 (۲/۳٪)، ۳۰ - ۶۰ (۵/۳٪)، ۶۱ - ۸۹ (۲۷/۳٪)، ۹۰ (۵۹/۱٪)			
نوع گذرگاه‌ها طبق طبقه بندی ایران	باراهبند، بدون راهبند		با راهبند (۵۵/۷٪)، بدون راهبند (۴۴/۳٪)		
نوع روسازی جاده	خاکی، آسفالتی		خاکی (۳۳٪)، آسفالتی (۶۷٪)		
موقعیت گذرگاه	درون شهری، برون شهری		درون شهری (۷۳/۱٪)، برون شهری (۲۶/۹٪)		
نوع جاده	اصلی، فرعی، روستایی، اختصاصی		اصلی (۱۸/۹٪)، فرعی (۳۵/۶٪)، روستایی (۳۸/۶٪)، اختصاصی (۰/۸٪)		
گذرگاه در قوس جاده	جاده در قوس، جاده مستقیم		جاده در قوس (۳۰/۶٪)، جاده مستقیم (۶۹/۴٪)		
گذرگاه در قوس خط آهن	وجود قوس، عدم وجود قوس		وجود قوس (۱۰/۵٪)، عدم وجود قوس (۸۹/۵٪)		
وضعیت شیب	خط آهن در خط القعر است، خط آهن در خط الرأس است		خط آهن در خط القعر است (۳/۷٪)، خط آهن در خط الرأس است (۹۶/۳٪)		
وضعیت دید رانندگان جاده	بدون دید، محدود، مطلوب		بدون دید (۰/۸٪)، محدود (۱۶/۱٪)، مطلوب (۸۳/۱٪)		

مدل‌سازی فراوانی تصادفات در گذرگاه‌های همسطح جاده و ریل ایران

روشنایی گذرگاه	دارای روشنایی، فاقد روشنایی	دارای روشنایی (۲۲/۸٪)، فاقد روشنایی (۷۷/۲٪)
نوع همسطح سازی	آسفالتی، بتنی، چوبی، خاکی	آسفالتی (۲۹٪)، بتنی (۱۰/۵٪)، چوبی (۴۶/۴٪)، خاکی (۱۴/۱٪)

نوع روسازی جاده پراهمیت‌ترین متغیر و متغیرهای موقعیت گذرگاه و میانگین روزانه تعداد وسایل نقلیه عبوری در مکان‌های بعدی قرار دارند. همچنین درجه اهمیت ضریب ثابت در مدل نیز نشانگر در نظر نگرفتن متغیرهای دیگری است که می‌تواند مقادیر قابل توجهی از متغیر پاسخ را توضیح دهند. بنابراین در گام بعدی بر همین اساس متغیرهای دیگری نیز لحاظ خواهد شد.

جدول ۳ نتایج حاصل از پیاده سازی مدل برای هر یک از متغیرها را نشان می‌دهد. براساس مقادیر به دست آمده برای F - مقدار و P - مقدار می‌توان درجه اهمیت هر متغیر را مشخص نمود. مطابق جدول ۳ و براساس فاصله اطمینان ۵ درصد تمامی متغیرهای آورده شده اعم از ضریب ثابت مدل و متغیرهای سرعت قطار، موقعیت گذرگاه، نوع روسازی سطح جاده و میانگین روزانه تعداد وسایل نقلیه عبوری به طور معناداری در مدل تاثیرگذار هستند. به طوری که حداکثر سرعت مجاز قطار و

جدول ۲. نتایج برازش مدل پیش بینی دوجمله ای منفی

مقدار / درجه آزادی	مقدار	
۰/۷۶۸	۱۳۹/۸۲۵	انحراف
۱/۱۴۱	۲۰۷/۵۷۲	پیرسون خی-دو
	-۱۴۹/۱۰۵	لگاریتم احتمال
	۳۱۴/۲۱۰	معیار AIC
	۳۴۰/۱۸۶	معیار BIC

جدول ۳. نتایج حاصل از پیاده سازی مدل برای هر یک از متغیرها

متغیرهای مستقل	نسبت درست نمایی خی دو	درجه آزادی	P - مقدار	F - مقدار
ضریب ثابت	۳۳/۵۱۵	۱	۰/۰۰۰	۳۳/۵۱۵
میانگین روزانه تعداد وسایل نقلیه عبوری	۶/۱۸۹	۱	۰/۰۱۳	۶/۱۸۹
موقعیت گذرگاه	۶/۰۰۶	۱	۰/۰۱۴	۶/۰۰۶
نوع سطح روسازی جاده	۱۲/۵۳۱	۱	۰/۰۰۰	۱۲/۵۳۱
سرعت قطار	۲۱/۵۲۴	۴	۰/۰۰۰	۵/۳۸۱

جدول ۴. نتایج آزمون T-test برای اعتبار سنجی مدل پیشنهادی

مدل	آزمون فرض برابری واریانس‌ها			آزمون فرض برابری میانگین‌ها		
	F	P - مقدار	نتیجه	T	P - مقدار	نتیجه
مدل دو جمله‌ای منفی	۷/۸۷۷	۰/۰۰۶	واریانس دو نمونه یکسان نیست.	۰/۴۳۳	۰/۶۶۶	فرض برابری میانگین‌ها رد نشده و مدل معتبر است.

۶. اعتبار سنجی مدل

جهت تعمیم مدل ارائه شده برای عموم گذرگاه‌ها می‌بایست نتایج مدل ارائه شده برای دیگر گذرگاه‌ها با مقادیر واقعی آن‌ها مقایسه شود. همانطور که پیش‌تر بیان گردید، از ۱۹۰ گذرگاه برای ساخت مدل و از ۴۸ گذرگاه باقی مانده برای اعتبار سنجی آن استفاده خواهد شد. بدین منظور در این مطالعه از آزمون T-test استفاده شده است. رویکرد این آزمون برای اعتبار سنجی مدل، مقایسه میانگین دو نمونه مستقل از یکدیگر هست. این آزمون با استفاده از آماره T، توزیع T و میزان درجه آزادی با تعیین P - مقدار، اختلاف میان میانگین دو نمونه را نشان می‌دهد. همچنین از آزمون خی-دو و آزمون F نیز می‌توان به این منظور استفاده کرد. همانطور که در

جدول ۴ نشان داده شده، P - مقدار محاسبه شده برای فرض صفر (فرض برابری میانگین‌ها)، بزرگتر از ۰/۰۵ هست. بنابراین فرض صفر در نظر گرفته شده برای این آزمون رد نشده است. به عبارت دیگر فرض برابری میانگین‌های دو نمونه را نمی‌توان رد کرد. از طرفی آزمون فرض برابری واریانس‌ها نیز با توجه به مقدار بدست آمده (برابر با ۰/۰۰۶) رد می‌شود که بیانگر یکسان نبودن واریانس‌های دو نمونه است.

۷. بحث و بررسی

با توجه به ضرایب آورده شده در رابطه (۷)، علامت مثبت متغیرها نشان دهنده تاثیر مستقیم آن متغیر در تعداد تصادفات دارد. به عبارتی دیگر با افزایش متغیر مورد نظر، تعداد تصادفات

افزایش پیدا می‌کند. همچنین ضرایب با علامت منفی نشان دهنده آن است که با افزایش مقدار متغیر، تعداد تصادفات کاهش پیدا می‌کند.

مطابق ضریب مربوط به متغیر موقعیت گذرگاه، درون شهری بودن گذرگاه موجب بالا رفتن احتمال برخورد و در نتیجه تعداد تصادفات می‌شود. این نتیجه گیری با آنچه که آیتی و همکاران [Ayati, Zakeri and Sadeghi, 2010] و او و همکاران [Oh, Washington and Nam, 2006] در مطالعات قبلی آورده‌اند، یکسان است. از آنجا که در مناطق شهری تعداد اماکن تجاری و در نتیجه عوامل حواس پرتی بیشتر است، بنابراین تعداد تصادفات در این مناطق به مراتب بیشتر خواهد بود [Ayati, Zakeri and Sadeghi, 2010].

بر اساس انتظار با افزایش تعداد وسایل نقلیه عبوری از گذرگاه، تعداد تصادفات نیز افزایش خواهد یافت. مطابق با انتظار ضریب مثبت بدست آمده برای این متغیر در مدل پیشنهادی این موضوع را اثبات می‌کند. آنچه که در رابطه (۷) آمده شده است به ازای هر ۱۰۰ هزار واحد افزایش در میانگین تعداد وسیله نقلیه عبوری روزانه از گذرگاه، به طور متوسط ۳۹ تصادف به تعداد تصادفات آن گذرگاه در ۶ سال آینده، و یا به عبارتی دیگر ۶،۵ تصادف در هر سال آینده اضافه خواهد شد. نتیجه بدست آمده با آنچه که در مطالعات قبلی آمده است، سازگاری دارد [Austin and Carson, 2002].

روسازی جاده عامل دیگری است که در مدل پیشنهادی تاثیرگذار شناخته شده است. مثبت بودن ضریب عامل روسازی در مدل بیانگر آن است که آسفالت بودن سطح جاده منتهی به

مقایسه نتایج حاصل از مطالعه پیش روی با آنچه که آیتی و همکاران بر روی تصادفات سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ انجام داده‌اند، می‌تواند به درک هرچه بهتر از عوامل تاثیرگذار بر تصادفات گذرگاهی کشور ایران کمک نماید.

مقایسه این نتایج نشانگر مهم بودن عواملی همچون میانگین وسایل نقلیه عبوری روزانه، نوع روسازی جاده، موقعیت گذرگاه (درون شهری یا برون شهری) و سرعت قطارهای عبوری در هر دو مطالعه است. از طرفی با اینکه نوع گذرگاه در مطالعه آیتی و همکاران به عنوان عاملی مهم در ذکر شده اما در این مطالعه عامل مهمی شناخته نشد! همچنین در این مطالعه، عامل تعداد قطارهای عبوری به جهت تعداد بالای داده‌های از دست رفته از مدلسازی حذف گردید.

یکی دیگر از تفاوت‌های میان دو مطالعه به توزیع متغیر پاسخ در داده‌های مورد استفاده و در نتیجه مدل مورد استفاده در آنها بازمی‌گردد. در این مطالعه به خاطر پراکنش بالای موجود در توزیع داده‌ها، استفاده از مدل پواسون با محدودیت مواجه بوده و از مدل دو جمله‌ای منفی به عنوان مدلی مناسب برای چنین شرایطی استفاده شده است.

از آنجا که در مدل‌های آماری، معنادار شدن متغیرهای ثابت در مدل می‌تواند بیانگر عدم در نظر گرفتن متغیرهای ورودی مهم دیگری در مدل باشد، بنابراین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که امکان وارد کردن عوامل دیگری همچون روشنایی گذرگاه، وضعیت هندسی گذرگاه، حداکثر سرعت مجاز برای وسایل نقلیه عبوری وجود دارد.

۸. جمع بندی و پیشنهادها

این مطالعه به دنبال ارائه مدل پیش بینی فراوانی با نگاهی تازه به داده‌های تصادفات سال‌های اخیر است. در این مطالعه از مشخصات ۲۴۰ گذرگاه‌ها مجاز کشور ایران و اطلاعات تصادفات رخ داده در گذرگاه‌های همسطح استفاده شده است.

گذرگاه، سبب افزایش تعداد تصادفات می‌شود. از آنجا که معمولاً در جاده‌های آسفالتی سرعت وسایل نقلیه بیشتر است، و آن‌ها با سرعت بیشتری نزدیک گذرگاه می‌شوند. در نتیجه کنترل آن‌ها سخت‌تر می‌گردد و احتمال بروز تصادف بالاتر می‌رود. این نتیجه با آنچه که ساکامانو و همکاران در مطالعه خود بیان نموده‌اند، مطابقت دارد. ایشان در مطالعه خود در سال ۲۰۰۷، سرعت جاده‌ای را به عنوان یک عامل تاثیرگذار در تعداد تصادفات ذکر نموده‌اند [Saccomanno, Park and Fu, 2007].

مطابق مدل، بیشتر شدن سرعت قطار موجب افزایش تعداد تصادفات می‌شود. با توجه به اینکه افزایش سرعت قطار، زمان کمتری را برای تصمیم‌گیری رانندگان وسایل نقلیه فراهم می‌کند، بنابراین نتایج به دست آمده منطقی به نظر می‌رسد. این موضوع با نتایج آورده شده در مدل‌های مطالعات قبلی سازگار است [Ayati, Zakeri and Sadeghi, 2010; Saccomanno, Park and Fu, 2007; Austin and Carson, 2002]. لازم به ذکر است که در مدل پیشنهادی از میان متغیرهای مربوط به سرعت قطار، تنها متغیرهای S3 (۶۱ تا ۸۰ کیلومتر بر ساعت) و S4 (۸۱ تا ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت) معنادار شده‌اند. توصیه می‌گردد تا شیوه کنترل گذرگاه متناسب با سرعت قطار متغیر باشد و در گذرگاه‌های همسطحی که سرعت قطارهای عبوری در آن‌ها بالا می‌باشد، تجهیزات ایمنی بیشتری مانند سیستم هشدار دیداری یا صوتی نزدیک شدن قطار در گذرگاه نصب گردد.

بر اساس آنچه که آیتی و همکاران در مدل خود آورده‌اند، وجود راهبند عاملی موثر در کاهش تعداد تصادفات بوده است. اما این عامل در مدل پیشنهادی این مطالعه به صورت معنادار تاثیرگذار نبوده است. P - مقدار بدست آمده برای متغیر وجود راهبند در مدل دو جمله‌ای منفی همواره بیشتر از ۰,۰۵ بوده و بنابراین در مدل نهایی این عامل در نظر گرفته نشده است.

خطی همچون شبکه‌های عصبی مصنوعی^{۲۲}، ماشین بردار پشتیبان^{۲۳} پیشنهاد می‌گردد. این روش‌ها با پوشش محدودیت‌های روش‌های خطی و تعمیم یافته خطی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است می‌تواند نتایج بهتری را حاصل نماید. همچنین جهت شناسایی عوامل تاثیرگذار در تعداد تصادفات نیز می‌توان از روش‌هایی همچون رگرسیون درخت تصمیم^{۲۴} استفاده نمود.

۹. پی‌نوشت‌ها

1. Peabody-Dimmick
2. US-DOT (United States Department of Transportation)
3. Coleman-Stewart
4. NCHRP
5. New Hampshire
6. Heteroscedasticity
7. Over-dispersed
8. Under-dispersed
9. Logit
10. Probit
11. Ordered logit
12. Multinomial Logit
13. Binary Logit
14. Nested
15. Empirical Bayes
16. Hierarchical Tree-Based Regression
17. Recursive Partitioning and Regression Trees
18. Zero-Inflated
19. Maximum Likelihood Estimation
20. Deviance
21. Pearson Chi-Square
22. Artificial Neural Networks (ANN)
23. Support Vector Machine (SVM)
24. Decision Tree Regression

۱۰. مراجع

-Fan, W., Gong, L. and Haile, E. (2016) "Severity analysis of vehicle crashes on highway-rail grade crossings: ordered response logit modeling", *Advances in Transportation Studies*(38), Vol. 38, pp. 5–20. .

همچنین مدل دو جمله‌ای منفی برای پیش‌بینی تعداد تصادفات رخ داده در هر یک از گذرگاه‌های مورد بررسی به کار گرفته شده است. لازم به ذکر است که داده‌های مورد استفاده در این مطالعه مربوط به بازه سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳ هست.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که عواملی همچون میانگین وسایل نقلیه عبوری روزانه، نوع روسازی جاده، موقعیت گذرگاه (درون شهری یا برون شهری) و سرعت قطارهای عبوری در فراوانی تصادفات تاثیرگذار است.

با وجود مفید بودن پایگاه داده موجود شامل اطلاعات گذرگاه‌های همسطح و همچنین اطلاعات تصادفات در این نقاط، گردآوری عوامل بیشتر امکان ارائه مدل‌های به مراتب دقیق‌تری را فراهم خواهد نمود.

با توجه به نقش مهم سرعت قطار در تصادفات گذرگاه‌های همسطح، می‌بایست تمهیداتی اتخاذ گردد تا با در نظر داشتن ویژگی‌های هر گذرگاه، سرعت قطارها در هنگام عبور از این نقاط کاهش یابد.

از آنجا که میانگین روزانه تردد وسایل نقلیه جاده‌ای عامل مهمی در بروز تصادفات گذرگاه‌های همسطح است، لذا می‌توان با برنامه ریزی مناسب حرکت قطارها و برخی از وسایل نقلیه جاده‌ای برای مثال وسایل نقلیه جاده‌ای حمل مسافر یا بار، در جهت کاهش احتمال عبور همزمان آن‌ها از گذرگاه تلاش نمود. با توجه به نقش موقعیت گذرگاه در تصادفات، پیشنهاد می‌گردد راهبران قطار موظف شوند تا در زمان نزدیک شدن به گذرگاه به ویژه در گذرگاه‌های درون شهری، اقدام به نواختن سوت قطار نمایند.

عامل مهم دیگر در تصادفات گذرگاه‌ها، نوع روسازی جاده است. در صورت مناسب نبودن روسازی یک مسیر جاده‌ای می‌توان با تغییر مسیر وسایل نقلیه جاده‌ای احتمال برخورد آن‌ها با قطار را کاهش داد.

با نظر به شرایط خاص گذرگاه‌های همسطح جاده و ریل ایران، و تعداد تصادفات کم این نقاط، استفاده از روش‌های غیر

review and assessment of methodological alternatives", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 44, No. 5, pp. 291-305.

-Lord, D., Washington, S. P. and Ivan, J. N. (2005) "Poisson, Poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory", *Accident Analysis & Prevention*, 37, Vol. 37, No. 1, pp. 35-46.

-Ma, C., Hao, W., Xiang, W. and Yan, W. (2018) "The impact of aggressive driving behavior on driver-injury severity at highway-rail grade crossings accidents", *Journal of Advanced Transportation*, No. 58, pp. 1-10.

-Saccomanno, F. F., Park, P. Y. J. and Fu, L. (2007) "Estimating countermeasure effects for reducing collisions at highway-railway grade crossings", *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 39, No. 2, pp. 406-416.

-Saccomanno, F. F., Ren, C. and Fu, L. (2003) "Collision prediction models for highway-rail grade crossings in Canada", In *Proceedings of the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C.

-Yan, X., Richards, S. and Su, X. (2010) "Using hierarchical tree-based regression model to predict train-vehicle crashes at passive highway-rail grade crossings", *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 42, No. 1, pp. 64-74.

-Zalinger, D. A., Rogers, B. A. and Johri, H. P. (1977) "Calculation of hazard indices for highway-railway crossing in Canada", *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 9, No. 4, pp. 257-273.

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

-Fernando, W. S. H. R. and Amarasingha, N. (2018) "Linear regression models to evaluate characteristics of railway-roadway level Crossings in a developing country", *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, Vol. 7, No. 3, pp. 43-52.

-Hao, W. and Daniel, J. (2016) "Driver injury severity related to inclement weather at highway-rail grade crossings in the United States", *Traffic Injury Prevention*, Vol. 17, No. 1, pp. 31-38.

-Hao, W., Kamga, C. and Wan, D. (2016) "The effect of time of day on driver's injury severity at highway-rail grade crossings in the United States", *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English edition)*, Vol. 3, No. 1, pp. 37-50.

-Hayter, A. (2013) "Probability and statistics for engineers and scientists, fourth ed.", Duxbury, USA.: Thomson Brooks/Cole.

-Khan, I. U., Lee, E. and Khan, M. A. (2018, 09) "Developing a highway rail grade crossing accident probability prediction model: A North Dakota Case Study", *Safety*, Vol. 4, No. 2, pp. 22.

-Khan, W. A. and Khattak, A. J. (2018) "Injury severity of truck drivers in crashes at highway-rail grade crossings in the United States", Presented at the *Transportation Research Record, 97th Annual Meeting*. Washington DC.

-Lavette, R. A. (1977) "Development and application of a railroad-highway accident prediction equation", *Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 628, No. 1, pp. 12-19.

-Lord, D. and Mannering, F. (2010) "The statistical analysis of crash-frequency data: a

-آیتی، الف، ذاکری، ج.ع. و صادقی، ع.ا. (۱۳۸۹) "مدل
پیش بینی فراوانی وقوع تصادف برای گذرگاههای ریلی - جاده
ای ایران"، مهندسی حمل و نقل، دوره ۲، شماره ۲، صفحه ۹۹-
۱۱۴.

-ذاکری، ج.ع. (۱۳۸۵) "شناسایی گذرگاه های پر خطر
ریلی - جاده ای بر اساس شاخص خطر"، پژوهشنامه حمل و
نقل، دوره ۳، شماره ۳، صفحه ۲۲۳-۲۳۱.

مرتضی محسنی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی حمل و نقل ریلی را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی حمل و نقل، گذرگاه‌های همسطح و حمل و نقل کالای خطرناک است.



سیدعلی حسینی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۰ از دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب اخذ نمود و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد در رشته مهندسی حمل و نقل ریلی در دانشگاه علم و صنعت ایران است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی حمل و نقل و لجستیک است.



مرتضی باقری، درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی حمل و نقل ریلی را در سال ۱۳۸۱ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مدیریت لجستیک و حمل و نقل را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه چالمرز سوئد اخذ نمود. در سال ۱۳۸۸ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی حمل و نقل از دانشگاه واترلو کانادا گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان حمل و نقل و لجستیک بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه علم و صنعت ایران است.

