

مدل پیش‌بینی شدت وقوع تصادف برای گذرگاه‌های ریلی - جاده‌یی ایران

اسماعیل آینی (استاد)

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

جبارعلی ذاکری سردرودی (دانشیار)

دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران

علی‌اصغر صادقی* (دانشجوی دکتری)

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

در بحث نقاط حادثه‌خیز، شناسایی نقاط با احتمال وقوع تصادف شدید مسئله مهمی است که باید به آن توجه شود. امروزه استفاده از مدل‌های آماری که براساس مشخصات ترافیکی، هندسی، و تاریخچه وقوع تصادفها ساخته می‌شود، یکی از روش‌های شناسایی نقاط حادثه‌خیز است. در این مدل‌ها نتیجه و میزان خسارت احتمالی در موقعیتی خاص محاسبه می‌شود و تاکنون مدلی که نشان‌دهنده وضعیت شدت تصادف‌های گذرگاه‌های ریلی - جاده‌یی ایران باشد، تهیه نشده است. در این نوشتار با استفاده از اطلاعات مشخصات ترافیکی و هندسی گذرگاه‌ها و تصادف‌های واقع شده در آن‌ها (در فاصله سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۵) با به‌کارگیری رگرسیون خطی تعمیم‌یافته، مدل پیش‌بینی شدت وقوع تصادف تهیه شده است. استفاده از این مدل به منظور اولویت‌بندی ایمن‌سازی گذرگاه‌ها، پیش‌بینی وضعیت آینده هر گذرگاه با تغییر شرایط گذرگاه، تخصیص منابع و... در راه‌آهن کشور پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: گذرگاه ریلی - جاده‌یی، مدل شدت تصادف، مدل دو جمله‌یی، منفی.

۱. مقدمه

امروزه تصادف‌های جاده‌یی به‌منزله‌ی عاملی مهم در مرگ و میر غیرطبیعی، گریبان‌گیر بسیاری از کشورهای جهان و به‌خصوص کشورهای درحال توسعه است. هر ساله تصادف‌های جاده‌یی موجب خسارت‌های سنگینی از نظر مالی و جانی به افراد درگیر در تصادف‌ها و نیز به کل جامعه می‌شود. فقط در سال ۱۳۸۰، بیش از ۷٪ از تولید ناخالص ملی هزینه‌ی تصادف‌های جاده‌یی شده است.^[۱]

در بین انواع تصادف‌های جاده‌یی، تصادف‌های بین قطار و وسیله‌ی نقلیه‌ی جاده‌یی در زمره‌ی شدیدترین و گران‌ترین تصادف‌هاست. هزینه‌ی هر تصادف معمول جاده‌یی شامل هزینه‌ی مستقیم، ملموس و واقعی (هزینه‌ی درمان جراحات جسمانی، هزینه‌ی تجهیزات و ماشین‌آلات و اشیاء از بین‌رفته یا خسارت دیده، هزینه‌ی اوقات تلف‌شده در تصادف‌های جاده‌یی، ساعات کاری از دست‌رفته‌ی مربوط به مصدومان و مجروحان بهبودیافته، هزینه‌ی اداری مربوط از قبیل هزینه‌های قضایی، پلیس، و بیمه) و هزینه‌های غیرمستقیم (هزینه‌ی جان افراد کشته‌شده، هزینه‌ی معلولیت‌های

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۸۸/۱۱/۲۷، اصلاحیه ۱۳۸۹/۹/۱۷، پذیرش ۱۳۸۹/۱۲/۳.

e_ayati@yahoo.com
zakeri@iust.ac.ir
ali.sadeghi@stu-mail.um.ac.ir

دائم، هزینه‌ی غم، غصه، جراحات روانی، آثار غیرمستقیم فرهنگی و اجتماعی تصادف‌ها در خانواده‌ها، و اجتماع) می‌شود.^[۱]

علاوه‌بر هزینه‌های ذکرشده که مربوط به هزینه‌های تصادف‌های معمول جاده‌یی است، در تصادف‌های گذرگاه‌های هم‌سطح ریلی - جاده‌یی هزینه‌ی تأخیر در حرکت قطارها و به‌طور شدیدتر ایجاد مسدودی را نیز باید اضافه کرد. مثلاً فقط تأخیر چند دقیقه‌یی در حرکت قطارها در محورهای با تردد زیاد مانند محور تهران - مشهد موجب تأخیر در اعزام قطارهای دیگر و یا کاهش زمان تعمیر و نگهداری خط می‌شود که باعث خسارات بسیار زیادی به راه‌آهن و یا به عبارتی کل کشور می‌شود. همچنین شدیدبودن این‌گونه سوانح و انعکاس وسیع آن‌ها در رسانه‌ها و بی‌اعتمادی مردم را نیز نباید از یاد برد.

در استرالیا تقریباً ۱۰۰ تصادف در سال بین قطارها و وسائط نقلیه‌ی جاده‌یی رخ می‌دهد که حدود ۸ درصد این تصادف‌ها منجر به مرگ می‌شود. در استرالیا تصادف‌های گذرگاه‌های هم‌سطح ریلی - جاده‌یی در زمره‌ی گران‌ترین تصادف‌هاست و تخمین زده شده است که حدود ۱۸۰ هزار دلار در هر تصادف در نواحی شهری و ۴۳۰ هزار دلار در نواحی غیرشهری خسارت وارد می‌شود. این ارقام جدا از هزینه‌های اداری راه‌آهن برای تعمیر قطار، خط، و برای اپراتور

قطار است که می‌تواند به چندین میلیون دلار برای فقط یک تصادف بالغ شود.^[۲]

از گذشته، متولیان راه و راه‌آهن روش‌هایی را برای تخصیص بهینه منابع جستجو می‌کرده‌اند تا فراوانی و شدت تصادف‌ها هرچه بیشتر کاهش یابد. اولویت‌بندی براساس تاریخچه تصادف‌ها در گذرگاه‌ها، ارزیابی میزان حادثه‌خیزی بودن گذرگاه‌ها توسط کارشناسان، و در نهایت ایجاد مدل‌های پیش‌بینی تصادف‌ها براساس ویژگی‌های گذرگاه‌ها و تاریخچه تصادف‌ها از روش‌هایی است که متولیان ایمنی به‌کار برده‌اند.

با توجه به ویژگی‌های خاص راه‌آهن و نیز از آنجا که رانندگان در مقایسه با دیگر موقعیت‌های جاده‌یی تجربه‌ی کمتری در عبور از گذرگاه‌های هم‌سطح ریلی-جاده‌یی و مشاهده‌ی تصادف در آن دارند و نیز معیارهای کنترل ترافیک در گذرگاه منحصراً به فرد است، عموماً نتایج تصادف بسیار شدیدتر است. به همین دلیل مدل‌های موجود برای تصادف‌های تقاطع‌ها یا دیگر بخش‌های جاده‌یی برای درک و دید کافی از ایمنی این گذرگاه‌ها معتبر نیست.^[۳]

از آنجا که تاکنون چنین مدل‌هایی برای گذرگاه‌های ایران ایجاد نشده است، در این تحقیق سعی بر آن است تا با توجه به مشخصات گذرگاه‌های کشور و تاریخچه تصادف‌های آن‌ها چنین مدل‌هایی معرفی شود.

در مدل‌های شدت تصادف، سطوح مختلف شدت تصادف به یک ارزش ترکیبی واحد تبدیل می‌شود تا در ترکیب با عوامل خطر برای پیش‌بینی نتایج کلی تصادف به‌کار رود.^[۴] در این مدل‌ها برعکس مدل‌های پیش‌بینی تعداد تصادف، نتیجه و میزان خسارت احتمالی در یک موقعیت خاص محاسبه می‌شود.

۲. مروری بر مدل‌های پیش‌بینی شدت تصادف

۲.۱. مدل نتیجه‌ی تصادف US.DOT

اداره حمل و نقل ایالات متحده‌ی آمریکا فرمولی برای پیش‌بینی شدت تصادف‌ها در گذرگاه‌ها ارائه کرده است. این مدل برای تقاطع‌های راه و راه‌آهن، دو سطح شدت تصادف در نظر می‌گیرد: ۱. تصادف منجر به مرگ؛ ۲. تصادف منجر به جراحت. تصادف‌های منجر به مرگ به‌منزله‌ی تصادف‌هایی فرض شده است که در آن دست‌کم یک نفر کشته شده باشد. درحالی‌که تصادف‌های منجر به جراحت به‌منزله‌ی تصادف‌هایی تعریف می‌شود که نتیجه‌ی آن دست‌کم یک مجروح باشد. هر دو نوع این تصادف‌ها در بانک اطلاعاتی حوادث اداره‌ی راه‌آهن فدرال گزارش شده است.^[۵]

در این مدل احتمال یک تصادف منجر به مرگ $P(FA|C)$ براساس فرمول ۱ بیان می‌شود:

$$P(FA|C) = \frac{1}{1 + CF + MS + TT + TS + UR} \quad (1)$$

$$MS = ms^{-1/0.224}, \quad TT = (1 + tt)^{-0.1020}$$

$$TS = (ts + 1)^{0.1020} \quad UR = e^{-0.1880 \cdot ur}$$

که در آن، CF عدد ثابت فرمول برابر با ۶۹۵، ms بیشینه‌ی سرعت قطار مطابق جدول زمان‌بندی، tt تعداد قطارهای عبوری در روز، ts تعداد قطار مانوری در روز، ur شهری یا غیرشهری بودن گذرگاه (یک برای شهری و صفر برای برون‌شهری) است. احتمال منجر به جراحت شدن یک تصادف $P(IA|C)$ نیز به‌صورت رابطه‌ی

۲ بیان می‌شود:

$$P(IA|C) = \frac{1 - P(FA|C)}{1 + CI + MS + TK + UR}$$

$$MS = ms^{-0.1233}, \quad TK = e^{-0.1176 \cdot tk}, \quad UR = e^{-0.1824 \cdot ur} \quad (2)$$

که در آن، CI عدد ثابت فرمول برابر با ۴۰۲۸، ms بیشینه‌ی سرعت قطار مطابق جدول زمان‌بندی، tk تعداد خطوط ریلی گذرگاه، ur شهری یا غیرشهری بودن گذرگاه (یک برای شهری و صفر برای برون‌شهری) است.

بدین ترتیب احتمال منجر به کشته یا زخمی شدن در صورت وقوع یک تصادف می‌تواند از رابطه‌ی ۳ حاصل شود:

$$P(CA|C) = P(FA|C) + P(IA|C) \quad (3)$$

تعداد مورد انتظار تصادف‌های کشته‌دار و تصادف‌های با کشته و زخمی از ضرب تعداد مورد انتظار تصادف‌ها در احتمال شرطی یک تصادف منجر به مرگ یا تصادف با کشته و زخمی مطابق روابط ۴ و ۵ به‌دست می‌آید:

$$E(FA) = E(C) \times P(FA|C) \quad (4)$$

$$E(CA) = E(C) \times P(CA|C) \quad (5)$$

که در آن، $E(C)$ تعداد مورد انتظار تصادف (که از مدل پیش‌بینی فراوانی تصادف به‌دست می‌آید)، $E(FA)$ فراوانی تصادف‌های فوتی و $E(CA)$ فراوانی تصادف‌های دارای کشته و زخمی در یک گذرگاه است.

باید توجه داشت که مدل نتیجه‌ی تصادف US.DOT تصادف منجر به مرگ را بدون توجه به تعداد کشته‌های رخ داده بررسی می‌کند. به عبارت دیگر، مدل نتیجه‌ی تصادف DOT بر احتمال یک تصادف منجر به مرگ یا تصادف کشته و زخمی‌دار تمرکز می‌کند و نه بر تعداد مرگ و میرها یا زخمی‌های تصادف. این امر کاربرد این مدل را در تشخیص اختلاف شدت تصادف در بین تصادف‌های مختلف مشکل می‌کند.^[۴]

۲.۲. مدل شدت تصادف کانادا

در سال ۲۰۰۴ با توجه به بانک اطلاعات تصادف کانادا و مشخصات گذرگاه‌های آن کشور، برای شدت تصادف‌های گذرگاه‌ها مدلی تهیه شده است.^[۶] از آنجا که کشته‌ها و اشخاص مجروح در تصادف‌های گذرگاه‌ها بخش بسیار کوچکی از مجموعه‌ی اطلاعات تصادف کانادا بوده است، به‌جای ایجاد مدل‌های جداگانه برای هر نوع کشته یا زخمی (به‌صورتی که در مدل US.DOT انجام شده است)، یک مدل ترکیبی که شرایط کلی تصادف را منعکس کند، ایجاد شده است. نتیجه‌ی کلی تصادف برحسب عبارتی با عنوان «درجه‌ی شدت تصادف» بیان می‌شود که مجموع وزن‌دار انواع مختلف آسیب‌های وارده است. این روش نسبت به روش US.DOT، این مزایا را دارد:

- این روش هم کشته‌ها و هم زخمی‌ها را در یک عبارت در نظر می‌گیرد که برای معرفی نقاط حادثه‌خیز مناسب‌تر است.
- در این روش کلیه‌ی گذرگاه‌های دارای تصادف در نظر گرفته می‌شوند و نه آن‌هایی که فقط کشته یا زخمی داشته‌اند.

از آنجا که کشته‌ها، زخمی‌ها و خرابی‌ها وارد به تجهیزات و وسایل هر کدام سهم نابرابری در نتیجه تصادف‌ها دارند، برطبق هزینه‌های گزارش شده به هر کدام از آن‌ها وزنی تخصیص داده شده است. مجموع وزن‌دار نتایج تصادف، یک «درجه‌ی شدت» را به دست می‌دهد که این درجه‌ی شدت می‌تواند به تعدادی از مشخصات گذرگاه مربوط شود تا تخمینی از نتایج تصادف در هر گذرگاه به دست آید.

وزن‌های تخصیص داده شده به کشته و مجروحان براساس قیمت‌های اداره ایمنی ملی ایالات متحده به دست آمده است. برای تخمین خرابی امکانات نیز از تخمین‌های انجام شده‌ی اداره راه‌آهن فدرال استفاده شده است که با استفاده از روش «تمایل به پرداخت» به دست آمده است.

هزینه‌ی متوسط نتایج تصادف گذرگاه‌ها که FRA بر حسب دلار سال ۱۹۹۵ آمریکا محاسبه شده، به این صورت است:

- هزینه‌ی هر فرد کشته: ۲۱۷۰۰۰۰ دلار؛
- هزینه‌ی هر مجروح: ۶۵۵۹۰ دلار؛
- متوسط آسیب وارده به دارایی‌ها: تصادف قطار ۱۹۵۰ دلار.^[۷۶]

وزن خرابی وارده به دارایی برابر یک در نظر گرفته شده و دیگر نتایج تصادف به صورت رابطه‌ی ۶ وزن‌دار شده است:

$$CS_i = 44 \times NF_i + 1 \times NI_i + 1 \times PD_i \quad (6)$$

که در آن، CS_i درجه‌ی اهمیت یا شدت تصادف، NF_i تعداد کشته‌ها، NI_i تعداد مجروحان و PD_i تخمین خرابی دارایی‌ها است.

این امتیاز شدت تصادف را در هر گذرگاه هم‌سطح براساس تعداد مرگ و میر، مجروحان و خرابی وارده منعکس می‌کند. اطلاعات خرابی تصادف از اداره ایمنی حمل و نقل کانادا به دست آمده است که در این گزارش‌ها، خرابی وارده به ۱۲ نوع خرابی وسایل و ۴ سطح خرابی تقسیم‌بندی شده است.^[۶]

مدل شدت تصادف کانادا ابتدا با استفاده از توزیع پواسون تهیه و سپس در سال‌های بعد با استفاده از توزیع دوجمله‌ی منفی به صورت مدل ۷ بهینه شده است.^[۶-۴]

$$CS = e^{-0.2226PI_i - 0.2262TN_i + 0.069TA_i + 0.020TSPD_i} \quad (7)$$

که در آن، CS نتیجه‌ی تصادف، PI_i تعداد اشخاص درگیر، TN_i تعداد خطوط راه‌آهن، TA_i زاویه‌ی تقاطع راه‌آهن و جاده، $TSPD_i$ بیشینه‌ی سرعت قطار (مایل بر ساعت) در گذرگاه i .^[۶]

تعداد اشخاص درگیر در هر تصادف از ضرب تعداد وسایل نقلیه‌ی درگیر در تصادف در تعداد سرنشینان به دست آمده است. اگرچه نوع وسایل هشداردهنده اثر مهمی بر فراوانی تصادف‌ها دارد، اما تأثیر چندانی بر شدت تصادف ندارد. این نتیجه‌ی به دست آمده با نتیجه‌ی به دست آمده از مدل US.DOT هماهنگ است.

$$CS = e^{-0.2226PI_i - 0.2262TN_i + 0.069TA_i + 0.020TSPD_i} \quad (7)$$

تعداد اشخاص درگیر در هر تصادف از ضرب تعداد وسایل نقلیه‌ی درگیر در تصادف در تعداد سرنشینان به دست آمده است. اگرچه نوع وسایل هشداردهنده اثر مهمی بر فراوانی تصادف‌ها دارد، اما تأثیر چندانی بر شدت تصادف ندارد. این نتیجه‌ی به دست آمده با نتیجه‌ی به دست آمده از مدل US.DOT هماهنگ است.

تعداد اشخاص درگیر در هر تصادف از ضرب تعداد وسایل نقلیه‌ی درگیر در تصادف در تعداد سرنشینان به دست آمده است. اگرچه نوع وسایل هشداردهنده اثر مهمی بر فراوانی تصادف‌ها دارد، اما تأثیر چندانی بر شدت تصادف ندارد. این نتیجه‌ی به دست آمده با نتیجه‌ی به دست آمده از مدل US.DOT هماهنگ است.

۳. روش‌های آماری برای برآورد شدت تصادف‌ها در یک گذرگاه

تحلیل رگرسیون مجموعه‌ی روش‌های آماری برای الگوسازی و بررسی رابطه‌ی بین یک متغیر پاسخ موردنظر y و مجموعه‌ی از متغیرهای پیشگو یا برگشت

۱.۳. مدل خطی

محققان در مدل‌های اولیه‌ی پیش‌بینی تصادف، روش‌های خطی ساده‌ی چندمتغیره را برای ایجاد رابطه‌ی بین هندسه‌ی راه، مشخصات ترافیکی و تصادف‌ها پذیرفته بودند. مدل‌های رگرسیون خطی به صورت رابطه‌ی ۸ است:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon \quad (8)$$

که در آن، Y_i متغیر وابسته‌ی فراوانی تصادف‌ها x_1, x_2, x_3, \dots متغیرهای مستقل (حجم ترافیک، ویژگی‌های هندسی و...) و ε عبارت خطاست.^[۹]

بسیاری از مدل‌های رگرسیون خطی مرسوم، برای مدل‌سازی فراوانی تصادف مناسب نیست، چرا که مدل به شکلی است که مانع از محاسبه‌ی مقادیر منفی نمی‌شود. پیش‌بینی مقادیر منفی ضرایب مدل را غیرقابل اعتماد می‌سازد. به همین دلیل محققان در سال‌های اخیر برای پیش‌بینی تصادف‌ها از مدل‌های دیگری استفاده کرده‌اند.

۲.۳. مدل رگرسیون پواسون

به دلیل مشکلات مدل رگرسیون خطی بسیاری از محققان برای پیش‌بینی بهتر تصادف از مدل پواسون استفاده کرده‌اند.^[۱۰،۶]

مدل پواسون به دلیل ماهیت گسسته، غیرمنفی و گاهی اوقات نادر بودن تصادف‌ها به کار گرفته می‌شود.^[۲] ضرایب تخمینی در مدل پواسون با استفاده از روش‌های برآورد «درست‌نمایی بیشینه»^۱ تخمین زده می‌شود. مدل پواسون به صورت رابطه‌ی ۹ است:

$$P(y_i) = \frac{e^{-\lambda_i} (\lambda_i^{y_i})}{y_i!} \quad (9)$$

که در آن، $P(y_i)$ احتمال $0, 1, 2, \dots, n$ تعداد تصادف‌ها در گذرگاه i و λ_i پارامتر پواسون طبق رابطه‌ی ۱۰ است:

$$\lambda_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik})} \quad (10)$$

یا به عبارتی:

$$\log \lambda_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} \quad (11)$$

که در آن، x_i مشخصات مستقل تصادف و β_i ضرایب تخمینی است. تابع احتمال برای مدل رگرسیون پواسون به صورت رابطه‌ی ۱۲ است:

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\exp[-\exp(\beta X_i)] [\exp(\beta X_i)]^{y_i}}{y_i!} \quad (12)$$

یک ویژگی مهم توزیع پواسون آن است که متوسط و پراکنش توزیع باید با هم برابر باشد (رابطه ۱۳).^[۱۱۸]

$$E[Y_i] = \text{var}[Y_i] \quad (13)$$

در صورتی که میانگین داده‌ها بیشتر از پراکنش باشد، داده‌ها پراکندگی کم و در صورتی که میانگین از پراکنش بیشتر باشد، داده‌ها پراکندگی زیاد دارند.^[۸] در بعضی موارد، تصادف‌ها به نحو قابل توجهی از فرض برابری میانگین با پراکنش انحراف دارد و این می‌تواند خطای مهمی در پیش‌بینی نتایج مدل وارد کند.

۳.۳. مدل رگرسیون دوجمله‌یی منفی

معمولاً در تصادف‌ها، پراکنش از میانگین بالاتر است. این امر با عنوان پراکندگی زیاد داده‌ها تعبیر می‌شود. مدل دوجمله‌یی منفی برای داده‌ها با پراکندگی زیاد مناسب است، زیرا این مدل محدودیت تساوی میانگین با پراکنش را ندارد. این مشکل مدل پواسون (مطابق رابطه ۱۴) با اضافه شدن یک عبارت خطای توزیع شده‌ی گاما برای همه‌ی متغیرها (C) حل می‌شود.

$$\log \lambda_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \zeta \quad (14)$$

اضافه شدن عبارت (C) اجازه می‌دهد تا میانگین و پراکنش برابر نباشند (رابطه ۱۵):

$$\text{var}[Y_i] = E[Y_i][1 + \alpha E[Y_i]] \quad (15)$$

در صورتی که مقدار α به صفر نزدیک باشد، مدل دوجمله‌یی منفی به پواسون تبدیل می‌شود.^[۱۱۹]

۴.۳. ضابطه‌ی نیکویی برازش

معیارهای کلی دقت تناسب مدل پواسون و مدل دوجمله‌یی منفی، انحراف^۲ و کی‌دوی پیرسون^۳ است. اگر مدل آماری درست باشد، هر دو مقدار دارای توزیع χ^2 با $n - p$ درجه‌ی آزادی (df) است که n تعداد نمونه و p تعداد پارامترهای وارد شده در مدل است. بنابراین اگر مدل رگرسیون مناسب باشد، مقدار مورد انتظار هر دو آماری انحراف و کی‌دوی پیرسون حدوداً برابر با $n - p$ است. یا به عبارت دیگر، هر دو معیار انحراف مقیاس‌بندی شده^۴ و کی‌دوی پیرسون مقیاس‌بندی شده^۵ یک یا نزدیک به یک است ($\frac{\chi^2}{df}$) در غیر این صورت باید در اعتبار مدل شک کرد.^[۸]

۴. توصیف داده‌ها

در سال‌های اخیر، اداره‌ی کل خط و ابنیه‌ی فنی راه‌آهن مشخصات گذرگاه‌ها را در قالب فرم‌هایی به نام «شناسنامه‌ی گذرگاه‌ها» جمع‌آوری کرده است. این شناسنامه‌ها حاوی اطلاعاتی از قبیل مشخصات عمومی گذرگاه (نام گذرگاه، نام محور، نام بلاک، کیلومتر از موقعیت گذرگاه، و نوع گذرگاه)، مشخصات جاده‌ی گذرگاه (عرض جاده، وضعیت کلی ترافیک، وجود قوس، تعداد خطوط، وضعیت شیب، وجود رفوژ، وضعیت کلی دید)، مشخصات ریلی (تعداد خطوط ریلی، وجود قوس، وضعیت کلی ترافیک ریلی، وجود تقلیل سرعت، وضعیت کلی دید)، امکانات راهداری، مشخصات

راهدار، علائم هشداردهنده (تابلو تقاطع ریلی، سرعت‌گیر، چراغ چشمک‌زن، آژیر هشداردهنده، تابلو هشداردهنده، چراغ روی بوم و تابلوهای جاده‌یی)، عوارض خاص محل گذرگاه و نوع هم‌سطح‌سازی آن است.^[۱۲۱] این اطلاعات اگرچه بسیار ارزشمند است، لکن نقایصی در آن وجود دارد. از آنجا که داده‌هایی نظیر تعداد عبور وسایل نقلیه‌ی جاده‌یی و تعداد عبور قطارها در شبانه روز در شناسنامه‌ی گذرگاه‌ها ذکر نشده است، اداره‌ی خط و ابنیه‌ی فنی برای استفاده از شاخصی به نام «شاخص خطر ایران» برای اولویت‌بندی بهسازی گذرگاه‌ها در تحقیقی جداگانه به جمع‌آوری این داده‌ها اقدام کرده است.^[۱۲۳]

اداره‌ی کل ایمنی سیر و حرکت، متولی جمع‌آوری اطلاعات مربوط به انواع حوادث و سوانح در راه‌آهن است. سوانح برخوردی میان وسائط نقلیه‌ی جاده‌یی و ریلی بخشی از سوانحی است که این اداره بررسی می‌کند و اطلاعات آن ثبت می‌شود. خوشبختانه تقریباً هرگونه سانحه حتی در مواردی که موجب تلفات یا خسارت زیادی نیز نشده است، ثبت شده است. از آنجا که در سیستم ثبت رایانه‌یی محل تصادف‌ها فقط بر حسب نام محور و بلاک و کیلومتر از ثبت شده است، کیلومتر از محل سانحه و شرح مختصر سانحه با فهرست گذرگاه‌ها تطبیق داده شد.^[۱۵]

اگر تصادف‌ها را به سه دسته تصادف‌های فوتی، جرحی و خسارتی تقسیم‌بندی کنیم، از تعداد ۲۱۸ تصادف رخ داده در سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۵، ۳۳ مورد فوتی، ۵۸ مورد جرحی و ۱۱۷ مورد خسارتی بوده است. همچنین نوع تصادف ۱۰ مورد از اطلاعات در دسترس، مشخص نیست. لازم به ذکر است تصادف‌هایی که هم فوتی و هم مجروح داشته است، تصادف فوتی در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب اگر سهم ۱۰ تصادف نامعلوم را نیز به نسبت دیگر تصادف‌ها تقسیم‌بندی کنیم، سهم تصادف‌های فوتی، جرحی و خسارتی به ترتیب ۱۵/۸۷٪، ۲۷/۸۸٪ و ۵۶/۲۵٪ است. با مقایسه با آمار تصادف‌های جاده‌یی برون‌شهری مشخص می‌شود که درصد تصادف‌های فوتی در گذرگاه‌ها بیش از هفت برابر تصادف‌های فوتی در جاده‌هاست.

در فاصله‌ی سال‌های ۱۳۸۰ تا شش ماهه‌ی اول سال ۱۳۸۶ گذرگاه‌های آزادی (ناحیه‌ی شمال، بلاک ساری -گونی‌بافی) و مردآباد (ناحیه‌ی تهران، بلاک کرج-کردان) با ۵ تصادف بیشترین تصادف را داشته است و گذرگاه‌های ابو زیدآباد، خط ماهشهر، شورگل، فرودین و قره‌تپه با ۴ تصادف در رتبه‌ی بعدی قرار دارد. از لحاظ تعداد مرگ و میر و مجروح نیز گذرگاه مردآباد با ۷ کشته و ۳ مجروح در رتبه‌ی اول و گذرگاه گرمدره (ناحیه‌ی تهران، بلاک کرج -ملکی) با ۵ کشته در رتبه‌ی بعدی قرار دارد. تصادفی که در تاریخ ۸۳/۱۱/۱۶ در گذرگاه سنخواست -جوین (ناحیه‌ی شمال شرق، بلاک سنخواست -جوین) اتفاق افتاده است با کشته شدن ۴ نفر سرنشین یک خودروی سواری، شدیدترین تصادف از لحاظ نتیجه بوده است.^[۱۵]

تصادف‌های سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۵ برای مدل‌سازی استفاده شده است. استفاده از اطلاعات قدیمی‌تر به دلیل احتمال زیاد تغییر مشخصات گذرگاه‌ها مناسب نیست. طبق بررسی‌ها ۲۱۸ مورد تصادف در طی این مدت در گذرگاه‌ها رخ داده است. اما از آنجا که بعضی از این تصادف‌ها در گذرگاه‌هایی اتفاق افتاده است که مشخصات کامل آن‌ها در دسترس نیست و یا در بعضی تصادف‌ها، میزان فوتی‌ها و مجروحان مشخص نیست، تعداد ۱۲۲ تصادف برای تحلیل استفاده شده است.

هرچه تعداد نمونه‌ها برای کالیبره کردن و اعتباریابی مدل بیشتر باشد، مدل با قابلیت اطمینان بالاتری خواهد بود. برای اعتباریابی مدل، یک چهارم تا یک پنجم

جدول ۱. مشخصات تصادف‌ها و گذرگاه‌های مورد استفاده در مدل‌سازی شدت تصادف.

متغیر	واحد	کمینه	بیشینه	متوسط	انحراف استاندارد
متوسط حجم ترافیک جاده‌یی	وسیله‌ی نقلیه در شبانه‌روز	۱۴۴	۴۳۲۰۰	۵۴۳۷,۹۶۷۲	۱۰۶۵۱,۳۹۵۳
متوسط حجم ترافیک ریلی	قطار در شبانه‌روز	۸	۴۰	۱۵,۲۹۵۱	۷,۲۳۳۴
تعداد خطوط راه‌آهن	تعداد	۱	۴	۱,۲۸۶۹	۰,۵۰۳۷
شدت تصادف	(مقیاس ۰ تا ۱۰۰)	۰,۷۱۶۹	۸۲,۰۵۵۴	۱۱,۱۹۲۷	۱۴,۸۹۲۹
عرض جاده	متر	کمتر از ۶ (۴۳,۴۴٪)، ۶-۸ (۳۰,۳۳٪)، ۸-۱۰ (۹,۸۳٪)، ۱۰-۲۰ (۵,۷۴٪)، بیشتر از ۲۰ (۱,۰۶۶٪)			
سرعت قطارها	Km/h	$60 \geq V$ (۱۷,۲۱٪)، $60 < V \leq 80$ (۴۵,۹۰٪)، $80 < V \leq 120$ (۳۳,۶۱٪)، $120 < V$ (۳,۲۸٪)			
زاویه‌ی تقاطع	درجه	$90 = \alpha$ (۷۲,۹۵٪)، $90 < \alpha < 60$ (۲۶,۲۳٪)، $60 < \alpha < 30$ (۰,۸۲٪)			
نوع گذرگاه طبق طبقه‌بندی ایران	با راهبند (۴۶,۷۲٪)، بدون راهبند (۴۵,۰۸٪)، غیرمجاز (۸,۲۰٪)				
نوع روسازی جاده	شنی یا خاکی (۲۰,۴۹٪)، آسفالتی (۷۹,۵۱٪)				
موقعیت گذرگاه	درون شهری (۳۹,۳۴٪)، برون شهری (۶۰,۶۶٪)				
نوع جاده	اصلی (۳۰,۳۳٪)، فرعی (۲۷,۰۵٪)، روستایی (۳۷,۷۰٪)، اختصاصی (۴,۹۲٪)				
گذرگاه در قوس جاده	وجود قوس (۲۷,۰۵٪)، نداشتن قوس (۷۲,۹۵٪)				
گذرگاه در قوس خط‌آهن	وجود قوس (۱۷,۲۱٪)، نداشتن قوس (۸۲,۷۹٪)				
مسافت دید طبق ارزیابی کارشناس	خوب (۵۹,۸۴٪)، متوسط (۳۱,۱۵٪)، کم (۹,۰۱٪)				
وجود راه‌بند	دارد (۴۶,۷۲٪)، ندارد (۵۳,۲۸٪)				
وجود چراغ چشمک‌زن	دارد (۱۶,۳۹٪)، ندارد (۸۳,۶۱٪)				
تابلوی تقاطع ریلی-جاده‌یی	دارد (۷۷,۰۵٪)، ندارد (۲۲,۹۵٪)				
آژیر	دارد (۷,۳۸٪)، ندارد (۹۲,۶۲٪)				
راهدار	دارد (۴۶,۷۲٪)، ندارد (۵۳,۲۸٪)				
سرعت‌گیر	دارد (۵۳,۲۸٪)، ندارد (۴۶,۷۲٪)				
تابلوی جاده‌یی ۸۰ متر مانده به گذرگاه	دارد (۵۴,۹۲٪)، ندارد (۴۵,۰۸٪)				
تابلوی جاده‌یی ۱۶۰ متر مانده به گذرگاه	دارد (۴۴,۴۴٪)، ندارد (۵۵,۵۶٪)				
تابلوی جاده‌یی ۲۴۰ متر مانده به گذرگاه	دارد (۴۱,۸۰٪)، ندارد (۵۸,۲۰٪)				
جزیره یا رفوژ	دارد (۱۲,۳۰٪)، ندارد (۸۷,۷۰٪)				
وضعیت شیب	دو سمت جاده بدون شیب و مستقیم (۴۰,۱۶٪)، خط‌آهن در خط‌الفرع است (۴,۹۲٪)، خط‌آهن در خط‌الرأس است (۴۷,۵۴٪)، یک سمت جاده بالاتراز خط‌الفرع است (۷,۳۸٪)				
تقلیل سرعت در محل گذرگاه	دارد (۴,۹۲٪)، ندارد (۹۵,۰۸٪)				
نوع هم‌سطح‌سازی	با خاک یا بالاست (۹,۸۴٪)، با آسفالت (۳۸,۵۲٪)، با تراورس یا ریل (۴۰,۱۶٪)، با قطعات بتنی (۱۱,۴۸٪)				

۵. تحلیل داده‌ها

۵.۱. روش محاسبه‌ی شدت تصادف

در گنگتگوه‌های روزمره معمولاً تصادفی شدید اطلاق می‌شود که افرادی در آن کشته یا مجروح شده باشند. مدل نتیجه‌ی تصادف US.DOT احتمال کشته یا مجروح شدن افراد را در یک تصادف احتمالی در نظر می‌گیرد و تعداد کشته‌ها، مجروحان و خسارات

تعداد نمونه‌ها برای کالیبره‌کردن مدل کافی و مناسب است. بدین ترتیب گذرگاه‌ها به صورت اتفاقی به دو دسته‌ی ۱۰۰ تایی برای ایجاد مدل و ۲۲ تایی برای اعتباریابی مدل تقسیم شد. جدول ۱ خلاصه‌ی مشخصات این تصادف‌ها و گذرگاه‌هایی که تصادف‌ها در آن‌ها واقع شده است، را نشان می‌دهد. بدیهی است که گذرگاه‌هایی که دارای چند تصادف است، به همان تعداد در آمارها وارد شده است.

وارد مدنظر قرار نمی‌گیرد. همچنین فقط مقایسه‌ی تعداد کشته و مجروح نمی‌تواند مقیاس جامعی برای مشخص کردن شدت تصادف باشد. زیرا مشخص نیست که، برای مثال، تصادفی با چند مجروح آیا شدیدتر از تصادفی با یک کشته است یا خیر؟ یا چگونه تصادفی خسارتی با چندین ساعت مسدودی برای راه و راه‌آهن می‌تواند با تصادفی دارای کشته و مجروح مقایسه شود. این‌گونه مسائل معمولاً با تبدیل همه‌ی انواع خسارت‌ها به هزینه می‌تواند پاسخ داده شود. تاکنون تحقیقات زیادی در مورد محاسبه هزینه تصادف‌ها انجام شده است و دائماً ابعاد دیگری از هزینه تصادف‌ها مشخص می‌شود.

در این تحقیق برای محاسبه‌ی شدت تصادف و مدل‌سازی پیش‌بینی آن، معیار هزینه‌ی تصادف مدنظر قرار گرفته است. برای محاسبه‌ی هزینه‌ی تصادف از تحقیقات پیشین استفاده شده است.^[۱] برای به‌دست آوردن معیاری برای شدت تصادف، هزینه‌ی ریالی تصادف‌های بر مبنای سال ۱۳۷۶ (سال انجام تحقیق مرجع ۱) محاسبه و بر عدد ۲۰ میلیون تقسیم شده است تا شاخصی در مقیاس بیشینه‌ی سه رقمی به‌دست آید.

لازم به ذکر است در مورد خسارت‌های وارده به راه‌آهن در تصادف با وسایل نقلیه‌ی جاده‌ی متأسفانه تاکنون تحقیقی انجام نشده است. از این رو، به اجبار از این مبالغ صرف‌نظر می‌شود. البته این امر به برآوردهای انجام شده برای شدت تصادف‌ها آسیب زیادی وارد نمی‌کند، زیرا اولاً به دلیل ابعاد و ساختار لوکوموتیو (وجود گاوران مستحکم در جلوی لوکوموتیو) آسیب زیادی به قطار وارد نمی‌شود و ثانیاً مسدودی خط به‌متزله‌ی مهم‌ترین هزینه برای راه‌آهن تقریباً برای همه‌ی تصادف‌ها با هم برابر است. برای محاسبه‌ی هزینه هر تصادف بر مبنای سال ۱۳۷۶ موارد زیر در نظر گرفته شده است:

- هزینه‌ی درمان مجروحان به جز معلولیت‌های دائم (CI)^۶؛

- ارزش یک ساعت وقت تلف شده؛

- ارزش ساعات کاری از دست رفته‌ی مصدومان و مجروحان به علت بستری شدن در بیمارستان یا استراحت دوره‌ی نقاهت در منزل (PT)^۷؛

- ارزش اقتصادی کار از دست‌رفته‌ی معلولین موقت (PT)^۲؛

- ارزش اقتصادی اوقات صرف‌شده‌ی افرادی که جزء مجروحان نیستند، اما وقت آن‌ها در ارتباط با تصادف‌های پیش‌آمده مصرف می‌شود (PT)^۳؛

الف) معطلی افراد مختلف در صحنه‌ی تصادف‌ها به علت راه‌بندان و معطلی مسافران اتوبوس‌ها و سایر وسایل نقلیه‌ی که وسیله‌ی آن‌ها در تصادف درگیر است (PT)^۴؛

ب) اوقات مصرف‌شده‌ی افراد در مراسم تشییع، تدفین، جلسات ترحیم و عیادت از مجروحان (PT)^۵؛

پ) اوقات مصرف‌شده‌ی دوستان و بستگان در پی‌گیری مسائل فوت‌شدگان از قبیل حصر وراثت، مسائل مجروحان و رسیدگی به امور خانواده‌ی آن‌ها (PT)^۶؛

- هزینه‌ی افراد کشته‌شده (CF)^۸ و معلولیت‌های دائم (CPI)^۹؛

- محاسبه‌ی هزینه‌ی تجهیزات، ماشین‌آلات، و اشیای از بین رفته یا خسارت‌دیده (PP)^{۱۰}؛

- هزینه‌های اداری (AC)^{۱۱}.^{[۱۷]۶۰۱}

۲.۵. مدل شدت تصادف

پس از انتخاب عوامل مؤثر و محاسبه‌ی شدت تصادف، جدول اطلاعات تصادف‌ها و ویژگی‌های گذرگاه‌هایی که تصادف در آن‌ها رخ داده است، به نرم‌افزار SAS معرفی شد و مدل رگرسیون خطی تعمیم‌یافته با توزیع بواسون و دوجمله‌ی منفی برای این مدل‌سازی انتخاب شد. معیارهای نیکویی برازش انحراف مقیاس‌بندی‌شده و کای دوی پیروسون مقیاس‌بندی‌شده برای مدل بواسون به‌ترتیب ۱۲/۷۵۷۳ و ۱۴/۱۶۷۶ به‌دست آمد که نشان می‌دهد داده‌ها پراکنده‌اند و این مدل برای مدل‌سازی شدت تصادف‌های گذرگاه‌ها مناسب نیست.

شکل ۱ نتایج رگرسیون دوجمله‌ی را برای شدت تصادف‌های گذرگاه نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در این مدل مقدار بیشینه‌ی P-value، ۰/۱۰ در نظر گرفته شده است. نتایج آزمون‌های نیکویی برازش انحراف مقیاس‌بندی‌شده و پیروسون مقیاس‌بندی‌شده به‌ترتیب ۱/۱۳۲۰ و ۱/۱۰۹۹ به‌دست آمده است که نشان‌دهنده‌ی خوبی برازش انجام شده است.

شکل مدل به‌صورت رابطه‌ی ۱۶ است:

$$E(S|A) = \exp(2,2366 - 0,7230 \times W - 0,6723 \times Rt + 0,7490 \times V + 0,5082 \times C + 0,7700 \times D - 0,4793 \times H) \quad (16)$$

که در آن، $E(S|A)$ شدت تصادف مورد انتظار برای یک تصادف، W عرض جاده (کمتر از ۸ متر (۰)، بیشتر از ۸ متر (۱))، Rt نوع جاده (اصلی و فرعی (۰)، روستایی و اختصاصی (۱))، V سرعت قطارهای عبوری (کمتر از ۶۰ کیلومتر بر ساعت (۰)، بیشتر از ۶۰ کیلومتر بر ساعت (۱))، C وجود قوس جاده در محل گذرگاه (قوس ندارد (۰)، قوس دارد (۱))، D مسافت دید براساس ارزیابی کارشناس (خوب و متوسط (۰)، کم (۱))، H وجود سرعت‌گیر (ندارد (۰)، دارد (۱)).

۳.۵. اعتباریابی مدل

اعتباریابی مدل به این دلیل بررسی می‌شود تا مشخص شود مدل ارائه‌شده برای گذرگاه‌هایی به غیر از گذرگاه‌های استفاده‌شده برای ایجاد مدل قابل کاربرد است یا خیر. مسلم آن است، مدلی کاربردی و قابل اعتماد است که برای دیگر موقعیت‌ها نیز قابل استفاده باشد.

برای اعتباریابی مدل از ۲۲ گذرگاهی که در کالیبره‌کردن مدل وارد نشدند، استفاده می‌شود. برای بررسی اعتبار مدل‌ها از آزمون T جفتی استفاده شده است. با استفاده از مدل‌های برازش داده‌شده، شدت تصادف‌های رخ داده در این گذرگاه‌ها پیش‌بینی می‌شود. حال شکل ۲ وضعیت مقادیر برآورد شده و مشاهداتی را برای این گذرگاه‌ها نشان می‌دهد. برای مقایسه‌ی تفاوت میانگین شدت تصادف‌های پیش‌بینی‌شده با شدت تصادف‌های مشاهده‌شده از آزمون T جفتی استفاده می‌شود.^[۱۸]

خلاصه‌ی نتایج آزمون T جفتی برای مدل‌ها در جدول ۲ آورده شده است. اگر P - مقدار از ۰/۰۵ بیشتر باشد، فرضیه H_0 (برابری میانگین‌ها) را نمی‌توان رد کرد و بیان‌گر این مطلب است که شدت تصادف‌های پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده به‌طور متوسط یکسان است و مدل معتبر است.

The SAS System 03:28 Friday, June 21, 2002 3

The GENMOD Procedure

Model Information

Data Set	WORK.ACCIDENT
Distribution	Negative Binomial
Link Function	Log
Dependent Variable	responce

Number of Observations Read	100
Number of Observations Used	100

Criteria For Assessing Goodness Of Fit

Criterion	DF	Value	Value/DF
Deviance	93	105.2745	1.1320
Scaled Deviance	93	105.2745	1.1320
Pearson Chi-Square	93	103.2196	1.1099
Scaled Pearson X2	93	103.2196	1.1099
Log Likelihood		2340.8044	

Algorithm converged.

Analysis Of Parameter Estimates

Parameter	DF	Estimate	Standard Error	Wald	95% Confidence Limits	Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	1	2.2366	0.2985	1.6515	2.8217	56.14	<.0001
W	1	-0.7230	0.2882	-1.2879	-0.1582	6.29	0.0121
Rt	1	-0.6723	0.2179	-1.0994	-0.2452	9.52	0.0020
V	1	0.7490	0.2961	0.1685	1.3294	6.40	0.0114
C	1	0.5082	0.2514	0.0155	1.0008	4.09	0.0432
D	1	0.7700	0.4429	-0.0981	1.6381	3.02	0.0821
H	1	-0.4793	0.2163	-0.9033	-0.0553	4.91	0.0267
Dispersion	1	0.8530	0.1241	0.6098	1.0961		

NOTE: The negative binomial dispersion parameter was estimated by maximum likelihood.

شکل ۱. خروجی نرم افزار SAS برای مدل دوجمله‌یی منفی شدت تصادف.

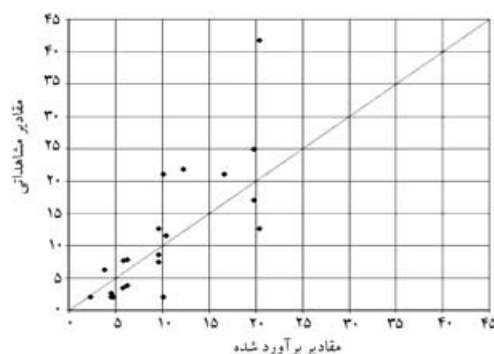
جدول ۲. نتایج آزمون T جفتی برای اعتباریابی مدل پیش‌بینی شدت تصادف.

آزمون T حقیقی					مدل
نتیجه	P - مقدار	T	درجه‌ی آزادی	انحراف معیار	
مدل معتبر است.	۰/۲۹۷	-۱/۰۷	۲۱	۶/۴۸	دوجمله‌یی منفی (رابطه‌ی ۱۶)

۴.۵. تعبیر ضرایب

در مدل ۱۶ ضرایب مثبت، نشان‌دهنده‌ی آن است که با افزایش آن پارامتر، شدت تصادف افزایش می‌یابد و ضرایب با علامت منفی نشان‌دهنده‌ی آن است که با افزایش مقدار آن مشخصه، شدت تصادف کاهش می‌یابد.

ضریب مشخصه‌ی عرض جاده نشان می‌دهد که در صورت وقوع تصادف، گذرگاهی با عرض جاده‌ی کمتر از ۸ متر از گذرگاهی با همان مشخصات اما عرض جاده‌ی بیشتر از ۸ متر، شدت تصادف بیشتری خواهد داشت. این نتیجه از لحاظ مهندسی به راحتی توضیح داده نمی‌شود. شاید دلیل کاهش شدت تصادف با افزایش عرض راه، افزایش قدرت مانور راننده برای گریز از برخورد و یا اثر دیگر مشخصاتی باشد که به شدت تصادف مربوط بوده است، اما در مدل وارد نشده است.^[۱۹] البته در تحقیقات دیگر محققان نیز نتایج مشابهی به دست آمده است، مثلاً در مدل



شکل ۲. مقایسه‌ی از مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده برای ۲۲ گذرگاه مورد استفاده در اعتباریابی مدل.

شدت تصادف کانادا متغیر تعداد خطوط راه‌آهن بر شدت تصادف اثر می‌گذارد^[۴] و یا در مدل US.DOT نیز با افزایش تعداد خطوط راه‌آهن احتمال مرگ و میر بیشتر می‌شود که این روابط نیز به راحتی قابل توضیح نیست.

ضریب مشخصه نوع جاده نشان می‌دهد که تصادف در گذرگاه‌هایی که در راه‌های اصلی و فرعی قرار دارد نسبت به گذرگاه‌هایی که در راه‌های روستایی و اختصاصی واقع شده است، شدت بیشتری دارد. این مشخصه نیز مستقیماً قابل توضیح نیست. اما از آنجا که در داده‌های ورودی برای ایجاد مدل عامل مهم سرعت جاده‌یی وجود نداشت، این پارامتر به سرعت جاده‌یی نسبت داده می‌شود. مسلماً سرعت وسایل نقلیه در جاده‌های اصلی و فرعی از روستایی و اختصاصی بالاتر است. رابطه‌ی افزایش شدت تصادف با افزایش سرعت نیز بدیهی است.

افزایش شدت تصادف با افزایش سرعت قطار نیز امری مسلم است. مدل نشان می‌دهد که در شرایط یکسان شدت تصادف در گذرگاهی با متوسط سرعت‌های قطار بیشتر از ۶۰ کیلومتر بر ساعت، بیش از دو برابر گذرگاهی با متوسط سرعت‌های قطار کمتر از ۶۰ کیلومتر بر ساعت (دیگر عوامل مشابه) است. اگرچه سرعت قطارها در گذرگاه‌ها در چهار سطح به نرم‌افزار معرفی شده است، اما احتمالاً به دلیل «کمبود موارد تصادف»^[۲۰] رابطه‌ی معنی‌داری مثلاً با افزایش سرعت قطارها به بیش از ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت، به دست نیامد.

ضرایب مشخصه‌های وجود قوس در جاده و مسافت دید با استنباط مهندسی و مشاهدات کاملاً منطبق است. مسلماً وقتی مسافت دید کافی برای رانندگان تأمین شده باشد، آن‌ها زمان بیشتری برای تصمیم‌گیری و نشان‌دادن عکس‌العمل مناسب خواهند داشت. نمونه‌ی بارز این امر تصادف‌های زیادی است که راننده با مشاهده‌ی نزدیک شدن قطار و احساس ناتوانی در خارج کردن وسیله‌ی نقلیه از گذرگاه، با ترک وسیله، جان خود را نجات داده است (در تصادف‌های گزارش شده دست‌کم ۱۵ مورد از تصادف‌های موتورسیکلت با قطار، راکب با ترک وسیله‌اش خود را نجات داده است). وجود سرعت‌گیر باعث کاهش سرعت وسایل نقلیه‌ی جاده‌یی می‌شود و مسلماً شدت تصادف را کاهش خواهد داد. ضریب به دست آمده در مدل با این توضیح کاملاً هماهنگ است.

۶. نتیجه‌گیری

ماهیت تصادف بین قطارها و وسایل نقلیه‌ی جاده‌یی اساساً از تصادف بین وسایل نقلیه‌ی موتور متفاوت است، زیرا قطار در خط ثابتی حرکت می‌کند و انرژی جنبشی بالایی دارد و توانایی توقف سریع ندارد. همچنین به دلیل تعداد کم گذرگاه‌ها عموماً رانندگان با آن آشنایی ندارند. در نتیجه‌ی این تفاوت‌ها، مدل‌های موجود تصادف برای نقاط یا دیگر بخش‌های جاده برای فراهم کردن دید کافی در گذرگاه‌ها معتبر نیست.^[۲۱] شناسایی گذرگاه‌های پرخطر به منظور بهسازی سریع و تخصیص بهینه‌ی منابع و امکانات محدود، راهکاری اساسی برای کاهش آثار زیان‌بار تصادف‌ها است. یکی از عوامل شناسایی نقاط حادثه‌خیز گذرگاه‌ها، پیش‌بینی شدت وقوع تصادف برحسب مشخصات ترافیکی، هندسی و تاریخی تصادف‌ها در گذرگاه‌هاست. در این نوشتار با استفاده از مشخصات گذرگاه‌ها و اطلاعات تصادف‌ها در سال‌های گذشته، رابطه‌ی ۱۶ به منزله‌ی مدل پیش‌بینی شدت وقوع تصادف معرفی شد. براساس رابطه‌ی ۱۶، شدت تصادف‌ها در این موارد کاهش می‌یابد:

- کاهش سرعت قطارها؛
- ایجاد مسافت دید بهتر؛
- رفع قوس جاده در گذرگاه و زاویه‌ی برخورد؛
- نصب سرعت‌گیر.

از آنجا که مطلوب است سرعت قطارها افزایش داده شود و نیز در بعضی موارد تأمین مسافت دید مناسب با بسیاری محدودیت‌ها مواجه است، بهترین و کم‌هزینه‌ترین روش برای کاهش شدت تصادف در گذرگاه‌ها نصب سرعت‌گیر است. طبق مدل با نصب سرعت‌گیر در یک گذرگاه فاقد آن، دست‌کم ۳۸٫۰۸٪^($e^{-۰.۲۷۹۳} [۱ - ۱] \times ۱۰۰$)، شدت تصادف احتمالی کاهش می‌یابد. با استفاده از مدل ارائه شده می‌توان شدت تصادف‌های احتمالی در هر گذرگاه را پیش‌بینی کرد. بدین ترتیب این مدل به منزله‌ی معیاری برای اولویت‌بندی گذرگاه‌ها از جمله توجه پروژه‌های بهسازی و غیرهم‌سطح کردن گذرگاه‌ها استفاده می‌شود.

پانویس

1. maximum likelihood
2. deviance
3. Pearson Chi-square
4. scaled deviance
5. scaled Pearson Chi-square
6. cost of injured people
7. price of time
8. cost of fatality
9. cost of permanent injury
10. price of properties
11. administration cost

منابع (References)

1. Ayati, E., *The Cost of Traffic Accidents in Iran*, Mashhad, Ferdowsi University Press, pp. 118 (2009).

2. Australian Transport Council *National Railway Level Crossing Safety Strategy*, Australian Transport Council (2003).
3. Oh, J.; Washington, S.P. and Nama, D. "Accident prediction model for railway-highway interfaces", *Journal of Accident Analysis and Prevention*, **38**, pp. 346-356 (2006).
4. Saccomanno, F.; Fu, L.; Ren, C. and Miranda, L., *Identifying Highway-Railway Grade Crossing Black spots: Phase 1*, Transportation Development Centre Transport Canada, TP 14168E (2003).
5. Federal Highway Administration, *Railroad-Highway Grade Crossing Handbook, Revised Second Edition*, FHWA-SA-07-010, Washington DC 20590, (2007).
6. Saccomanno, F.F.; Fu, L. and Miranda, M.F. "Risk-based model for identifying highway-rail grade crossing blackspots", *Journal of Transportation Research Record*, Washington D.C., pp. 127-135 (2004).

7. Clifornia Department of Transportation, *California Life-Cycle Benefit/Cost Analysis Model*, B002 Allen & Hamilton Inc, San Diego, California (1999).
8. Myers, R.H. , Montgomery, D.C., Vining. G.G., *Generalized Linear Models: With Applications in Engineering and the Sciences*, Translated by Niromand H., Mashhad, Ferdowsi University Press, pp. 140 (2006).
9. Greene, W., *Econometric Analysis*, Macmillan Publishing, New York (1993).
10. Hauer, E. and Persaud, B.N. "How to estimate the safety of rail-highway grade crossing and the effects of warning devices", *Journal of Transportation Research*, Record 1114, TRB, Washington, DC, pp. 131-140 (1987).
11. Lord, D.; Washington, S. and Ivan, J. "Poisson, poisson-gamma, and zero inflated regression models of motor vehicle crashes: Balancing statistical fit and theory", *Journal of Accident Analysis and Prevention*, **37**, pp. 35-46 (2005).
12. *Crossing Database*, Department of Track and Infrastructures, I.R. Iran Railway.
13. Sharafeddin, M., *Calculation of Safety Index for Crossings in Departments of Track and Infrastructure*, Department of Track and Infrastructures, I.R.Iran Railway (2005).
14. Ministry of Road and Transportation, Research Center of Road and Transportation, *Safety Evaluation and Safety Manual of Railway crossing: Research Report 1*, Research Center of Road and Transportation (2005).
15. Department of safety and movement, *Statistics of Crashes*, I.R.Iran Railway, Department of safety and movement (2007).
16. Roess, R.P.; Prassas, E.S. and McShane, W.R. "Traffic engineering, third edition", Prentice Hall Inc., New Jersey (2004).
17. Bureau of Transport and Communication Economics, *Social Cost of Transport Accidents in Australia*, BTCE Report 79 (1992).
18. Negahban, A. and Mostajabi, F., "A guide to research methodology with aid of questionnaire", Jihad-e-Daneshgahi Publication (2005).
19. Hu, S.R.; Li, C.S. and Lee, C.K. "Investigation of key factors for accident severity at railroad grade crossings by using a logit model", *Journal of Safety Science Safety Science*, **48**, pp. 186-194 (2010).
20. Davey, J.; Wallace, A.; Stenson, N. and Freeman, J. "Interactions between rail and road safety in Great Britain", *Journal of Accident Analysis and Prevention*, **40**, pp. 1217-1222 (2008).