مهندسی عمران شریف
دوره‌ی ۲-۲۸، شماره‌ی ۲، ص ۳-۱۱

Original Article

مدل پیش‌بینی شدت وقوع تصادف برای گذرگاه‌های ریلی - جاده‌یی ایران

اسماعیل آیتی (استاد)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد
جبارعلی ذاکری سردرودی (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران
علی‌اصغر صادقی* (دانشجوی دکتری)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

در بحث نقاط حادثه‌خیز، شناسایی نقاط با احتمال وقوع تصادف شدید مسئله‌ی مهمی است که باید به آن توجه شود. امروزه استفاده از مدل‌های آماری که براساس مشخصات ترافیکی، هندسی، و تاریخچه‌ی وقوع تصادها 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 نشان‌دهنده‌ی 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 واقع‌شده در آن‌ها (در فاصله‌ی سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۵) با به‌کارگیری رگرسیون خطی تعمیم‌یافته، مدل پیش‌بینی شدت وقوع تصادف تهیه شده است. استفاده از این مدل به‌منظور اولویت‌بندی ایمن‌سازی گذرگاه‌ها، پیش‌بینی وضعیت آینده‌ی 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.

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

۱. مقدمه

امروزه تصادف‌های جاده‌یی به‌منزله‌ی عاملی مهم در مرگ و میر غیرطبیعی، گریبان‌گیر بسیاری از کشورهای جهان و به‌خصوص کشورهای درحال‌توسعه 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 وگران‌ترین 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 خسارت‌دیده، هزینه‌ی اوقات تلف‌شده در تصادف‌های جاده‌یی، ساعات کاری از دست‌رفته‌ی مربوط به مصدومان و مجروحان بهبودیافته، هزینه‌های اداری مربوط از قبیل هزینه‌های قضایی، پلیس، و بیمه) و هزینه‌های غیرمستقیم (هزینه‌ی جان افراد کشته‌شده، هزینه‌ی معلولیت‌های 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 به‌عبارتی 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 ۸درصد این تصادف‌ها منجر به مرگ می‌شود. در استرالیا تصادف‌های گذرگاه‌های هم‌سطح ریلی -جاده‌یی در زمره‌ی گران‌ترین تصادف‌هاست و تخمین زده شده است که حدود ۱۸۰هزار دلار در هر تصادف در نواحی شهری و ۴۳۰هزار دلار در نواحی غیرشهری خسارت وارد می‌شود. این ارقام جدا از هزینه‌های اداره‌ی راه‌آهن برای تعمیر قطار، خط، و برای اپراتور

---

* نویسنده مسئول

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

Archive of SID
www.SID.ir

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

ازگذشته، متولیان راه و راه‌آهن روش‌هایی را برای تخصیص بهینه‌ی منابع جستجو می‌کرده‌اند تا فراوانی و شدت تصادف‌ها هرچه بیشترکاهش یابد. اولویت‌بندی براساس تاریخچه‌ی تصادف‌ها در گذرگاه‌ها، ارزیابی میزان حادثه‌خیزبودن گذرگاه‌ها توسط کارشناسان، و درنهایت ایجاد مدل‌های پیش‌بینی تصادف‌ها براساس ویژگی‌های گذرگاه‌ها و تاریخچه‌ی تصادف‌ها از روش‌هایی است که متولیان ایمنی به‌کار برده‌اند.

با توجه به ویژگی‌های خاص راه‌آهن و نیز از آنجا که رانندگان درمقایسه با دیگر موقعیت‌های جاده‌یی تجربه‌ی کمتری در عبور ازگذرگاه‌های هم‌سطح ریلی -جاده‌یی و مشاهده‌ی تصادف در آن دارند و نیز معیارهای کنترل ترافیک در گذرگاه منحصر 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 تاریخچه‌ی 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

۱.۲. مدل نتیجه‌ی تصادف US.DOT

اداره‌ی حمل و نقل ایالات متحده‌ی امریکا فرمولی برای پیش‌بینی شدت تصادف‌ها در گذرگاه‌ها ارائه کرده است. این مدل برای تقاطع‌های راه و راه‌آهن، دو سطح شدت تصادف درنظر 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:

$$P(FA|C)=\frac{1}{1+CF+MS+TT+TS+UR}$$
$$MS=ms^{-0.074},\qquad TT=(1+tt)^{-0.1025}$$
$$TS=(ts+1)^{0.1025}\qquad UR=e^{0.1880\,ur} \qquad (1)$$

که در آن، CF عدد ثابت فرمول برابر با ۶۹۵، ms بیشینه‌ی سرعت قطار مطابق جداول زمان‌بندی، tt تعداد قطارهای عبوری در روز، ts تعداد قطار مانوری در روز، ur شهری یا غیرشهری‌بودن گذرگاه (یک برای شهری و صفر برای برون‌شهری) است.

احتمال منجر به جراحت‌شدن یک تصادف $P(IA|C)$ نیز به‌صورت رابطه‌ی ۲ بیان می‌شود:

$$P(IA|C)=\frac{1-P(FA|C)}{1+CI+MS+TK+UR}$$
$$MS=ms^{-0.2334},\qquad TK=e^{-0.1176tk},\qquad UR=e^{-0.1844ur} \qquad (2)$$

که در آن، CI عدد ثابت فرمول برابر با ۴٫۲۸۰، ms بیشینه‌ی سرعت قطار مطابق جدول زمان‌بندی، tk تعداد خطوط ریلی گذرگاه، ur شهری یا غیرشهری‌بودن گذرگاه (یک برای شهری و صفر برای برون‌شهری) است.

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

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

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

$$E(FA)=E(C)\times P(FA|C) \qquad (4)$$
$$E(CA)=E(C)\times P(CA|C) \qquad (5)$$

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 رخ‌داده بررسی می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، 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 بسیارکوچکی 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:

۱. این روش هم کشته‌ها و هم زخمی‌ها را در یک عبارت درنظر می‌گیرد که برای معرفی نقاط حادثه‌خیز مناسب‌تر است.

۲. در این روش کلیه‌ی گذرگاه‌های دارای تصادف درنظر گرفته می‌شوند و نه آن‌هایی که فقط کشته یا زخمی داشته‌اند.

Archive of SID
www.SID.ir

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

وزن‌های تخصیص داده‌شده به کشته و مجروحان براساس قیمت‌های اداره‌ی ایمنی ملی ایالات متحده به‌دست آمده است. برای تخمین خرابی امکانات نیز از تخمین‌های انجام‌شده‌ی اداره‌ی راه‌آهن فدرال استفاده شده است که با استفاده از روش «تمایل به پرداخت» به‌دست آمده است.

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

- هزینه‌ی هر فرد کشته: ۲۱۷۰۰۰۰دلار؛
- هزینه‌ی هر مجروح: ۶۵۵۹۰دلار؛
- متوسط آسیب وارده به دارایی‌ها: تصادف قطار ۶۱۹۵۰دلار.[۶و۷]

وزن خرابی وارده به دارایی برابر یک درنظر گرفته شده و دیگر نتایج تصادف به‌صورت رابطه‌ی ۶ وزن‌دار شده است:

$$CS_i = ۴۴ \times NF_i + ۱ \times NI_i + ۱ \times PD_i \qquad (۶)$$

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 اداره‌ی ایمنی حمل و نقل کانادا به‌دست 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 بااستفاده از توزیع پواسون تهیه و سپس در سال‌های بعد با استفاده از توزیع دوجمله‌یی منفی به‌صورت مدل ۷ بهینه شده است.[۴-۶]

$$CS = e^{۰/۳۲۲۶PI_i - ۰/۲۲۶۲TN_i + ۰/۰۰۶۹TA_i + ۰/۰۲۵۰TSPD_i} \qquad (۷)$$

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 به‌دست آمده است. اگرچه نوع وسایل هشداردهنده اثر مهمی بر فراوانی تصادف‌ها دارد، اما تأثیر چندانی بر شدت تصادف ندارد. این نتیجه‌ی به‌دست آمده با نتیجه‌ی به‌دست آمده از مدل US.DOT هماهنگ است.

۳. روش‌های آماری برای برآورد شدت تصادف‌ها در یک گذرگاه

تحلیل رگرسیون مجموعه‌یی از روش‌های آماری برای الگوسازی و بررسی رابطه‌ی بین یک متغیر پاسخ موردنظر y و مجموعه‌یی از متغیرهای پیشگو یا برگشت $x_k, ..., x_۳, x_۲, x_۱$ است. کاربردهای رگرسیون گسترده است و تقریباً در هر زمینه‌یی مانند مهندسی و علوم مربوط به شیمی، مدیریت و اقتصاد و... کاربرد دارد.[۸] یکی از کاربردهای رگرسیون ارائه‌ی مدل‌های پیش‌بینی تصادف است. تصادف‌ها درمقایسه با هر پدیده‌ی اجتماعی دیگری، از ماهیت بسیار اتفاقی‌تری برخوردارند. هر چند پیش‌بینی یک رویداد واحد غیرممکن است، اما مجموع چنین رویدادهایی ممکن است به روش کاملاً قابل پیش‌بینی عمل کند، به‌طوری‌که با روابط آماری -ریاضی دقیق قابل توضیح باشد. در این بخش مدل‌های مختلف آماری برای ایجاد رابطه‌ی بین تعداد تصادف و دیگر مشخصات گذرگاه شرح داده شده است.

۱.۳. مدل خطی

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

$$Y_i = \beta_۰ + \beta_۱ X_{i۱} + \beta_۲ X_{i۲} + ... + \beta_k X_{ik} + \varepsilon \qquad (۸)$$

که در آن، Y_i متغیر وابسته‌ی فراوانی تصادف‌ها $x_۳, x_۲, x_۱$، ... 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 می سازد. 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.[۶و۱۰]

مدل پواسون به‌دلیل ماهیت گسسته، غیرمنفی وگاهی اوقات نادربودن تصادف‌ها به‌کار گرفته می‌شود.[۳] ضرایب تخمینی در مدل پواسون با استفاده از روش‌های برآورد «درست‌نمایی بیشینه[۱]» تخمین زده می‌شود. مدل پواسون به‌صورت رابطه‌ی ۹ است:

$$P(y_i) = \frac{e^{(-\lambda_i)(\lambda_i^{y_i})}}{y_i!} \qquad (۹)$$

که در آن، $P(y_i)$ احتمال ۰، ۱، ۲ و...، n تعداد تصادف‌ها در گذرگاه i و λ_i پارامتر پواسون طبق رابطه‌ی ۱۰ است:

$$\lambda_i = e^{(\beta_۰ + \beta_۱ x_{i۱} + \beta_۲ x_{i۲} + ... + \beta_k x_{ik})} \qquad (۱۰)$$

یا به عبارتی:

$$\log \lambda_i = \beta_۰ + \beta_۱ x_{i۱} + \beta_۲ x_{i۲} + ... + \beta_k x_{ik} \qquad (۱۱)$$

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

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\exp[-\exp(\beta X_i)][\exp(\beta X_i)]^{y_i}}{y_i!} \qquad (۱۲)$$

Archive of SID

www.SID.ir

یک ویژگی مهم توزیع پواسون آن است که متوسط و پراکنش توزیع باید با هم برابر باشد (رابطه‌ی ۱۳).[۹و۱۱]

$$E[Y_i] = \mathrm{var}[Y_i] \qquad (۱۳)$$

درصورتی‌که میانگین داده‌ها بیشتر از پراکنش باشد، داده‌ها پراکندگی کم و درصورتی‌که میانگین از پراکنش بیشتر باشد، داده‌ها پراکندگی زیاد دارند.[۸] در بعضی موارد، تصادف‌ها به‌نحو 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 رابطه‌ی ۱۴) با اضافه‌شدن یک عبارت خطای توزیع‌شده‌ی گاما برای همه‌ی متغیرها (ζ) حل می‌شود.

$$\log \lambda_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \ldots + \beta_k x_{ik} + \zeta \qquad (۱۴)$$

اضافه‌شدن عبارت (ζ) اجازه می‌دهد تا میانگین و پراکنش برابر نباشند (رابطه‌ی ۱۵):

$$\mathrm{var}[Y_i] = \mathrm{E}[Y_i][1 + \alpha \mathrm{E}[Y_i]] \qquad (۱۵)$$

در صورتی که مقدار α به صفر نزدیک باشد، مدل دوجمله‌یی منفی به پواسون تبدیل می‌شود.[۸و۹]

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 واردشده در مدل است. بنابراین اگر مدل رگرسیون مناسب باشد، مقدار موردانتظار هر دو آماره‌ی انحراف و کی‌دوی پیرسون حدوداً برابر با $n-p$ است. یا به‌عبارت‌دیگر، 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 این‌صورت 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، کیلومتراژ موقعیت گذرگاه، و نوع گذرگاه)، مشخصات جاده‌یی 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.[۱۲] 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.[۱۳و۱۴]

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 کیلومتراژ ثبت شده است، کیلومتراژ محل سانحه و شرح مختصر سانحه با فهرست گذرگاه‌ها تطبیق داده شد.[۱۵]

اگر تصادف‌ها را به سه دسته‌ی تصادف‌های فوتی، جرحی و خسارتی تقسیم‌بندی کنیم، از تعداد ۲۱۸ تصادف رخ‌داده در سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۵، ۳۳ مورد فوتی، ۵۸ مورد جرحی و ۱۱۷ مورد خسارتی بوده است. همچنین نوع تصادف ۱۰ مورد از اطلاعات دردسترس، مشخص نیست. لازم به ذکر است تصادف‌هایی که هم فوتی و هم مجروح داشته است، تصادف فوتی درنظر گرفته شده است. بدین ترتیب اگر سهم ۱۰ تصادف نامعلوم را نیز به نسبت دیگر تصادف‌ها تقسیم‌بندی کنیم، سهم تصادف‌های فوتی، جرحی و خسارتی به‌ترتیب 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، فروردین 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 شمال‌شرق، بلاک سنخواست -جوین) اتفاق افتاده است با کشته‌شدن 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 دردسترس نیست و یا در بعضی تصادف‌ها، میزان فوتی‌ها و مجروحان مشخص نیست، تعداد ۱۲۲ تصادف برای تحلیل استفاده شده است.

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

Archive of SID

www.SID.ir

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 (۱۰٫۶۶٪)			
سرعت قطارها	Km/h	$V \geq 60$ (۱۷٫۲۱٪)، $60 < V \leq 80$ (۴۵٫۹۰٪)، $80 < V \leq 120$ (۳۳٫۶۱٪)، $120 < V$ (۳٫۲۸٪)			
زاویه‌ی تقاطع	درجه	$\alpha = 90$ (۷۲٫۹۵٪)، $60 < \alpha < 90$ (۲۶٫۲۳٪)، $0 < \alpha < 60$ (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 ارزیابی‌کارشناس	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 (۲۰٫۱۶٪)، خط‌آهن در خط‌القعر است (۴٫۹۲٪)، خط‌آهن در خط‌الرأس است (۴۷٫۵۴٪)، یک سمت جاده بالاتر از خط قراردارد (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٪)				

تعداد نمونه‌ها برای کالیبره‌کردن مدل کافی و مناسب است. بدین ترتیب گذرگاه‌ها به‌صورت اتفاقی به دو دسته‌ی ۱۰۰ تایی برای ایجاد مدل و ۲۲ تایی برای اعتباریابی مدل تقسیم شد. جدول ۱ خلاصه‌یی از 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.

۵. تحلیل داده‌ها

۱.۵. روش محاسبه‌ی شدت تصادف

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

Archive of SID

www.SID.ir

وارد مدنظر قرار نمی‌گیرد. همچنین فقط مقایسه‌ی تعداد کشته و مجروح نمی‌تواند مقیاس جامعی برای مشخص‌کردن 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. تا کنون تحقیقات زیادی در مورد محاسبه هزینه‌ی تصادف‌ها انجام شده است و دائماً ابعاد دیگری از هزینه‌ی تصادف‌ها مشخص می‌شود.

در این تحقیق برای محاسبه‌ی شدت تصادف و مدل‌سازی پیش‌بینی آن، معیار هزینه‌ی تصادف مدنظر قرارگرفته 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 ۲۰میلیون 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 جاده‌یی متأسفانه تاکنون تحقیقی انجام نشده است. از این‌رو، به اجبار از این مبالغ صرف‌نظر می‌شود. البته این امر به برآوردهای انجام‌شده برای شدت تصادف‌ها آسیب زیادی وارد نمی‌کند، زیرا اولاً به دلیل ابعاد و ساختار لوکوموتیو (وجود گاوپران مستحکم در جلوی لوکوموتیو) آسیب زیادی به قطار وارد نمی‌شود و ثانیاً مسدودی خط به‌منزله‌ی مهم‌ترین هزینه برای راه‌آهن تقریباً برای همه‌ی تصادف‌ها با هم برابر است.

برای محاسبه‌ی هزینه هر تصادف بر مبنای سال ۱۳۷۶ موارد زیر درنظر گرفته شده است:

- هزینه‌ی درمان مجروحان به جز معلولیت‌های دائم (CI)[۶]؛
- ارزش یک ساعت وقت تلف‌شده؛
- ارزش ساعات کاری از دست رفته‌ی مصدومان و مجروحان به علت بستری‌شدن در بیمارستان یا استراحت دوره‌ی نقاهت در منزل (PT_2)[۷]؛
- ارزش اقتصادی کار از دست‌رفته‌ی معلولین موقت (PT_2)؛
- ارزش اقتصادی اوقات صرف شده‌ی افرادی که جزء مجروحان نیستند، اما وقت آن‌ها در ارتباط با تصادف‌های پیش‌آمده مصرف می‌شود (PT_3):

الف) معطلی افراد مختلف در صحنه‌ی تصادف‌ها به علت راهبندان و معطلی مسافرین اتوبوس‌ها و سایر وسایل نقلیه‌یی که وسیله‌ی آن‌ها در تصادف درگیر است (PT_{3a}).

ب) اوقات مصرف شده‌ی افراد در مراسم تشییع، تدفین، جلسات ترحیم و عیادت از مجروحان (PT_{3b}).

پ) اوقات مصرف شده‌ی دوستان و بستگان در پی‌گیری مسائل فوت‌شدگان از قبیل حصر وراثت، مسائل مجروحان و رسیدگی به امور خانواده‌ی آن‌ها (PT_{3c}).

- 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].[۱۶،۱۷]

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 پواسون و دوجمله‌یی منفی برای این مدل‌سازی انتخاب شد. معیارهای نیکویی برازش انحراف مقیاس‌بندی‌شده و کای دوی پیرسون مقیاس‌بندی‌شده برای مدل پواسون 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 دوجمله‌یی را برای شدت تصادف‌های گذرگاه نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در این مدل مقدار بیشینه‌ی P-value، ۰٫۱۰ درنظر گرفته شده است. نتایج آزمون‌های نیکویی برازش انحراف مقیاس‌بندی‌شده و پیرسون مقیاس‌بندی‌شده به‌ترتیب ۱٫۱۳۲۰ و ۱٫۱۰۹۹ به‌دست آمده است که نشان‌دهنده‌ی خوبی برازش انجام شده است.

شکل مدل به‌صورت رابطه‌ی ۱۶ است:

$$E(S|A) = \exp(۲٫۲۳۶۶ - ۰٫۷۲۳۰ \times W - ۰٫۶۷۲۳ \times Rt + ۰٫۷۴۹۰ \times V + ۰٫۵۰۸۲ \times C + ۰٫۷۷۰۰ \times D - ۰٫۴۷۹۳ \times H) \quad (۱۶)$$

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 رخ‌داده 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 ـ 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.

Archive of SID

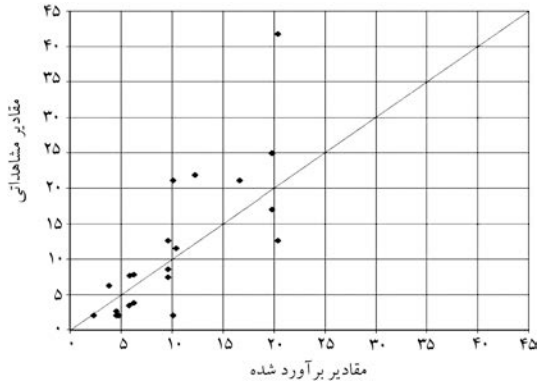
www.SID.ir

```
                    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

                          Standard      Wald 95% Confidence        Chi-
Parameter     DF Estimate    Error            Limits              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 نرم‌افزار SAS برای مدل دوجمله‌یی منفی شدت تصادف.

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

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



شکل ۲. مقایسه‌یی از مقادیر مشاهداتی و برآوردشده برای ۲۲ گذرگاه مورد استفاده در اعتباریابی مدل.

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 به‌راحتی 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 به‌دست آمده است، مثلاً در مدل

Archive
www.SID.ir

شدت تصادف کانادا متغیر تعداد خطوط راه‌آهن بر شدت تصادف اثر می‌گذارد[۶] و یا در مدل US.DOT نیز با افزایش تعداد خطوط راه‌آهن احتمال مرگ و میر بیشتر می‌شود که این روابط نیز به‌راحتی قابل توضیح نیست.

ضریب مشخصه‌ی 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، به‌دست 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 نزدیک‌شدن قطار و احساس ناتوانی در خارج‌کردن وسیله‌ی نقلیه از گذرگاه، با ترک وسیله، جان خود را نجات داده است (در تصادف‌های گزارش‌شده دست‌کم ۱۵ مورد از تصادف‌های موتورسیکلت با قطار، راکب با ترک وسیله‌اش خود را نجات داده است). وجود سرعت‌گیر باعث کاهش سرعت وسائط نقلیه‌ی جاده‌یی می‌شود و مسلماً شدت تصادف را کاهش خواهد داد. ضریب به‌دست آمده در مدل با این توضیح کاملاً هماهنگ است.

۶. نتیجه‌گیری

ماهیت تصادف بین قطارها و وسائط نقلیه‌ی جاده‌یی اساساً از تصادف بین وسائط نقلیه‌ی موتوری متفاوت است، زیرا قطار در خط ثابتی حرکت می‌کند و انرژی جنبشی بالایی دارد و توانایی توقف سریع ندارد. همچنین به‌دلیل تعداد کم گذرگاه‌ها عموماً رانندگان با آن آشنایی ندارند. در نتیجه‌ی این تفاوت‌ها، مدل‌های موجود تصادف برای تقاطعات یا دیگر بخش‌های جاده برای فراهم‌کردن دید کافی در گذرگاه‌ها معتبر نیست.[۴]

شناسایی گذرگاه‌های پرخطر به‌منظور 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 تاریخچه‌ی تصادف‌ها در گذرگاه‌هاست. در این نوشتار با استفاده از مشخصات گذرگاه‌ها و اطلاعات تصادف‌ها در سال‌های گذشته، رابطه‌ی ۱۶ به‌منزله‌ی 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٪ ($[1-e^{-0/2793}]100$)، شدت تصادف احتمالی کاهش می‌یابد.

با استفاده از مدل ارائه‌شده می‌توان شدت تصادف‌های احتمالی در هر گذرگاه را پیش‌بینی کرد. بدین ترتیب این مدل به‌منزله‌ی معیاری برای اولویت‌بندی گذرگاه‌ها از جمله توجیه پروژه‌های بهسازی و غیرهم‌سطح‌کردن گذرگاه‌ها استفاده می‌شود.

پانوشت

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 identifyuing highway-rail grade crossing blackspotes", *Journal of Transportation Research Record,* Washington D.C., pp. 127-135 (2004).

Archive of SID
www.SID.ir

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).

Archive of SID

www.SID.ir

ACCIDENT SEVERITY MODEL FOR IRAN RAILWAY-HIGHWAY GRADE CROSSINGS

E. Ayati
e_ayati@yahoo.com
Dept. of Civil Engineering
Ferdowsi University of Mashhad
J.A. Zakeri Sardaroodi
zakeri@iust.ac.ir
School of Railway Engineering
Iran University of Science and Technology
A. Sadeghi*
ali.sadeghi@stu-mail.um.ac.ir
Dept. of Civil Engineering
Ferdowsi University of Mashhad

Sharif Civil Engineering Journal
Volume 28, Issue 2, Page 3-11, Original Article

© Sharif University of Technology

Abstract

Interfaces of two different transportation systems of rail and road are among the most hazardous points for traffic safety annually. Accidents not only bring about casualties of road and rail users but also cause stops in road and rail services and ruin equipment. Among the variety of accidents, train-vehicle crashes are some of the most severe types. Identification of effective factors in accident severity is vital for reduction programs. Usage of statistical models is a determining method for identifying black spot crossings. Such models are developed based on the relationship between accidents, on the one hand, and geometric design, control devices and traffic attributes on the other, which help to compute the amount and consequences of damage in particular places. In Iran, no model has been prepared for predicting accident severity so far. In this study, with the aid of grade crossing characteristics and accident histories from 1381-1385, such a predictive model has been developed using generalized linear regression (Poisson and Negative Binomial) methods. Modeling is performed with SAS 9.1 software. Model coefficients in generalized linear regression methods are estimated via maximum likelihood (ML) methods. In analysis, the confidence levels are set at the 90th percentile. In the provided severity prediction model, six important factors are distinguished that are similar to the other prediction models, which are compatible with engineering presumptions. Road width, type of road, train speed, presence of road curves in crossings, sight distances and the presence of humps are significant and are introduced in the negative binomial model. Considering the estimated coefficient for each factor, and expected changes in the future, a new outlook for the safety situation of grade crossings and the severity of accidents can be imagined. Based on the produced model, using humps and an improvement in sight distance, significant impact on accident severity has occurred. For instance, the use of hump reduces about 38% of accident severity at crossings. Use of this method is suggested for prioritization of grade crossing security, and prediction of future crossing situations, by improving characteristics, resource allocations, etc. in Iranian railway systems.

Key Words: railway-highway grade crossings, prediction severity model, negative binomial model.

* corresponding author

Received 16 February 2010; received in revised form 08 December 2010; accepted 22 February 2011

Archive of SID

www.SID.ir