Archive of SID

مدل پیش‌بینی شدّت وقوع تصادف برای گذرگاه‌های ریلی- جاده‌ای ایران

اسماعیل آیتی[۱]، جبار علی ذاکری سردرودی[۲]، علی اصغر صادقی[۳]

[۱]استاد، دانشگاه فردوسی مشهد؛ e_ayati@yahoo.com
[۲]استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران؛ zakeri@iust.ac.ir
[۳]دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشگاه فردوسی مشهد؛ sadeghi.aliasghar@gmail.com

چکیده

هر ساله تصادفات در محل گذرگاه‌های ریلی نه تنها سبب کشته و مجروح شدن عده‌ای از استفاده‌کنندگان از جاده و نیز مسافرین راه‌آهن می‌شود بلکه خسارات سنگینی هم از نظر متوقف شدن سرویس‌دهی راه و راه‌آهن و هم از نظر صدمه دیدن به تجهیزات مربوطه وارد می‌کند. در بین انواع تصادفات جاده‌ای، تصادفات بین قطار و وسیله‌نقلیه جاده‌ای در زمرهٔ شدیدترین تصادفات می‌باشد. شناسایی عوامل مهم اثرگذار در شدت تصادف باعث اتخاذ سیاست‌های بهتر در کاهش آن می‌شود. همچنین در بحث نقاط حادثه‌خیز علاوه بر شناسایی محل‌های دارای خطر بالقوه تعداد زیاد تصادف شناسایی نقاط با احتمال وقوع تصادف شدید نیز مسئله مهمی است که باید به آن توجه شود. امروزه استفاده از مدل‌های آماری که بر اساس مشخصات ترافیکی، هندسی و تاریخچهٔ وقوع تصادفات ساخته می‌شود یکی از روش‌های شناسایی نقاط حادثه‌خیز می باشد در این مدل‌ها نتیجه و میزان خسارتی که ممکن است در یک موقعیت خاص پیش آید محاسبه می‌گردد. تا کنون مدلی که نشان‌دهنده وضعیت شدّت تصادفات گذرگاه‌های ریلی- جاده‌ای ایران باشد تهیه نشده است. در این مقاله با استفاده از اطلاعات مشخصات ترافیکی و هندسی گذرگاه‌ها و تصادفات واقع شده در آنها در فاصله سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۱ با بکاربردن رگرسیون خطی تعمیم یافته مدل پیش-بینی شدت وقوع تصادف تهیه شده است. در ایجاد این مدل سطوح مختلف شدّت تصادف بر اساس هزینه ناشی از تصادف به یک ارزش ترکیبی واحد تبدیل شده است تا بتواند در ترکیب با عوامل خطر برای پیش‌بینی نتایج کلی تصادف بکار رود. عرض جاده، نوع جاده، سرعت قطارهای عبوری، وجود قوس جاده در محل گذرگاه، مسافت دید بر اساس ارزیابی کارشناس و وجود سرعت‌گیر مشخصه‌هایی هستند که از نظر آماری معنی‌دار بوده و در مدل ارائه شده وارد شده است. با توجه به ضرایب بدست آمده برای هر مشخّصه و تغییرات احتمالی در آینده می‌توان نمایی از وضعیت ایمنی هر گذرگاه در نظر گرفت. استفاده از این مدل به منظور اولویت‌بندی ایمن‌سازی گذرگاه‌ها، پیش‌بینی وضعیت آینده هر گذرگاه با تغییر شرایط گذرگاه، تخصیص منابع و ... در راه آهن کشور پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: گذرگاه ریلی- جاده‌ای، مدل شدت تصادف، مدل دو جمله‌ای منفی.

مقدمه

امروزه تصادفات جاده‌ای به عنوان یک عامل مهم مرگ و میر غیرطبیعی گریبان‌گیر بسیاری از کشورهای جهان و بخصوص کشورهای در حال توسعه می‌باشد. هر ساله تصادفات جاده‌ای موجب خسارت‌های سنگینی از نظر مالی و جانی به افراد درگیر در تصادفات و نیز به کل جامعه می‌شود. تنها در سال ۱۳۸۰، بیش از ۴۰۰۰ میلیارد تومان و یا به عبارتی بیش از ۳/۵٪ از تولید ناخالص ملی هزینه تصادفات جاده‌ای شده است[۱].

در بین انواع تصادفات جاده‌ای، تصادفات بین قطار و وسیله‌نقلیه جاده‌ای در زمرهٔ شدیدترین و گران‌ترین تصادفات می‌باشد. هزینه هر تصادف معمول جاده‌ای شامل هزینهٔ مستقیم، ملموس و واقعی (هزینهٔ درمان جراحات جسمانی، هزینهٔ تجهیزات و ماشین‌آلات و اشیاء از بین رفته یا خسارت دیده، هزینهٔ اوقات تلف شده در تصادفات جاده‌ای و ساعات کاری از دست رفته مربوط به مصدومان و مجروحان بهبود یافته، هزینه‌های اداری مربوطه از قبیل هزینه‌های قضایی، پلیس و بیمه) و هزینه‌های غیرمستقیم (هزینهٔ جان افراد کشته شده، هزینهٔ معلولیت‌های دائم، هزینهٔ غم، غصه، جراحات روانی و آثار غیرمستقیم فرهنگی و اجتماعی تصادفات در خانواده‌ها و اجتماع) می‌شود[۱].

علاوه بر هزینه‌های ذکر شده که مربوط به هزینه‌های تصادفات معمول جاده‌ای است در تصادفات گذرگاه‌های هم‌سطح ریلی- جاده-ای هزینهٔ تأخیر در حرکت قطارها و به طور شدیدتر ایجاد مسدودی را نیز باید اضافه کرد. بعنوان مثال تنها تأخیر چند دقیقه‌ای 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 می‌گردد که باعث خسارات بسیار زیادی به راه‌آهن و یا به عبارتی کل کشور می‌شود. همچنین شدید بودن این‌گونه سوانح و انعکاس وسیع آنها در رسانه‌ها و بی‌اعتماد شدن مردم را نباید از یاد برد.

در استرالیا تقریباً ۱۰۰ تصادف بین قطارها و وسایل‌نقلیه جاده‌ای در سال رخ می‌دهد که حدود ۸ درصد این تصادفات منجر به مرگ می‌شود. در استرالیا تصادفات گذرگاه‌های هم‌سطح ریلی- جاده‌ای در

www.SID.ir

Archive of SID

زمرهٔ گران‌ترین تصادفات است و تخمین زده شده است که حدود ۱۸۰۰۰۰ دلار در هر تصادف در نواحی شهری و ۴۳۰۰۰۰ دلار در نواحی غیرشهری خسارت وارد می‌شود. این ارقام جدا از هزینه‌های اداره راه‌آهن برای تعمیر قطار و خط و برای اپراتور قطار است که می‌تواند به چندین میلیون دلار برای تنها یک تصادف بالغ شود [۲].

متولّیان راه و راه‌آهن از گذشته روشهایی را برای تخصیص بهینه منابع جستجو می‌کرده‌اند تا فراوانی و شدت تصادفات هرچه بیشتر کاهش یابد. اولویت‌بندی بر اساس تاریخچهٔ تصادفات در گذرگاه‌ها، ارزیابی میزان حادثه‌خیز بودن گذرگاه‌ها توسط کارشناسان و در نهایت ایجاد مدل‌های پیش‌بینی تصادفات بر اساس ویژگی‌های گذرگاه‌ها و تاریخچهٔ تصادفات روشهایی است که توسط متولّیان ایمنی بکار برده شده است.

با توجه به ویژگی‌های خاص راه‌آهن و نیز از آنجا که رانندگان در مقایسه با دیگر موقعیت‌های جاده‌ای تجربه کمتری در عبور از گذرگاه‌های هم‌سطح ریلی- جاده‌ای و مشاهده تصادف در آن دارند و نیز معیارهای کنترل ترافیک در گذرگاه منحصر به فرد است، عموماً نتایج تصادف بسیار شدیدتر می‌باشد. به همین دلیل مدل‌های موجود برای تصادفات تقاطع‌ها یا دیگر بخش‌های جاده‌ای برای درک و دید کافی از ایمنی گذرگاه‌ها معتبر نمی‌باشد [۳].

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

در مدل‌های شدّت تصادف، سطوح مختلف شدّت تصادف به یک ارزش ترکیبی واحد تبدیل می‌شود تا در ترکیب با عوامل خطر برای پیش‌بینی نتایج کلی تصادف بکار رود [۴].در این مدل‌ها برعکس مدل‌های پیش‌بینی تعداد تصادف، نتیجه و میزان خسارتی که ممکن است در یک موقعیت خاص پیش آید محاسبه می‌گردد.

۲- مروری بر مدل‌های پیش‌بینی فراوانی تصادف

۲-۱- مدل نتیجهٔ تصادف US.DOT:

اداره حمل و نقل ایالات متحده امریکا فرمولی برای پیش‌بینی شدّت تصادفات در گذرگاه‌ها ارائه کرده است. این مدل برای تقاطع‌های راه و راه‌آهن دو سطح شدّت تصادف در نظر می‌گیرد: تصادف منجر به مرگ و تصادف منجر به کشته و زخمی. تصادفات منجر به مرگ بعنوان تصادفاتی فرض شده است که در آن حداقل یک نفر کشته شده باشد. در حالی‌که تصادفات با کشته و زخمی بعنوان تصادفاتی تعریف می‌شود که نتیجهٔ آن حداقل یک کشته یا مجروح باشد. هر دو نوع این تصادفات در بانک اطلاعاتی حوادث اداره راه‌آهن فدرال گزارش شده است. بدین ترتیب در مدل نتیجهٔ تصادف US.DOT تصادفات منجر به مرگ زیر مجموعه‌ای از تصادفات کشته و زخمی دار می باشد [۵].

در این مدل احتمال یک تصادف منجر به مرگ P(FA/C) بر اساس فرمول زیر بیان می‌شود:

$$P(FA\mid C)=\frac{1}{1+KF+MS+TT+TS+UR} \qquad (۱)$$

$$MS=ms^{-0.9981} \quad ، \quad TT=(1+tt)^{-0.0872}$$

$$TS=(ts+1)^{0.0872} \quad ، \quad UR=e^{0.3571ur}$$

که در آن :KF: عدد ثابت فرمول برابر با ۴۴۰/۹، ms: حداکثر سرعت قطار مطابق جداول زمان‌بندی، tt : تعداد قطارهای عبوری در روز، ts : تعداد قطار مانوری در روز، ur : شهری یا غیر شهری بودن گذرگاه (یک برای شهری و صفر برای برون شهری) می‌باشد.

احتمال با کشته و زخمی بودن یک تصادف نیز بصورت زیر بیان می‌شود:

$$P(CA\mid C)=\frac{1}{1+KC+MS+TK+UR} \qquad (۲)$$

$$MS=ms^{-0.343} \quad ،TK=e^{-0.1153tk} \quad ، UR=e^{-0.3571ur}$$

که در آن: KC: عدد ثابت فرمول برابر با ۴/۴۸۱، ms: حداکثر سرعت قطار مطابق جدول زمان‌بندی، tk: تعداد خطوط ریلی گذرگاه، ur: شهری یا غیر شهری بودن گذرگاه (یک برای شهری و صفر برای برون شهری) می‌باشد.

بدین ترتیب احتمال منجر به مصدومیت از فرمول زیر می‌تواند حاصل شود:

$$P(IA\mid C)=\frac{1-P(FA\mid C)}{1+KC+MS+TK+UR} \qquad (۳)$$

تعداد مورد انتظار تصادفات کشته‌دار و تصادفات با کشته و زخمی با ضرب تعداد موردانتظار تصادفات در احتمال شرطی یک تصادف منجر به مرگ یا تصادف با کشته و زخمی بدست می‌آید:

$$E(FA)=E(C)\times P(FA\mid C) \qquad (۴)$$

$$E(CA)=E(C)\times P(CA\mid C) \qquad (۵)$$

باید توّجه داشت که مدل نتیجهٔ تصادف US.DOT تصادف منجر به مرگ را بدون توّجه به تعداد کشته‌های رخ داده تحت بررسی قرار می‌دهد. به عبارت دیگر مدل نتیجهٔ 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 تصادفات مختلف مشکل می‌کند [۴].

۲-۲- مدل شدّت تصادف کانادا

ساکومانو و همکارانش [۶] در سال ۲۰۰۴ با توجه به بانک اطلاعات تصادف کانادا و مشخصات گذرگاه‌های آن کشور برای شدّت تصادفات گذرگاه‌ها مدلی را تهیه کردند. از آنجا که کشته‌ها و اشخاص مجروح در تصادفات گذرگاه‌ها بخش بسیارکوچکی از مجموعه اطلاعات تصادف کانادا بوده است، بجای ایجاد مدل‌های جداگانه برای هر نوع کشته یا زخمی (بصورتی که در مدل US.DOT انجام شده است)، یک مدل ترکیبی که شرایط کلی تصادف را منعکس کند را ایجاد کردند. نتیجهٔ کلی تصادف بر حسب عبارتی بعنوان "درجه شدت" تصادف بیان می‌شود که مجموع وزن‌دار انواع مختلف آسیب‌های

www.SID.ir

Archive of SID

وارده می‌باشد. این روش نسبت به روش US.DOT مزایای زیر را دارد:

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

۲- در این روش کلیه گذرگاه‌هایی که تصادف داشته‌اند در نظر گرفته می‌شود و نه آنهایی که فقط کشته یا زخمی داشته‌اند.

از آنجا که کشته‌ها، زخمی‌ها و خرابی وارده به تجهیزات و وسایل هر کدام سهم نابرابری در نتیجهٔ تصادفات دارند، بر طبق هزینه‌های گزارش شده به هر کدام از آنها وزنی تخصیص داده شده است. مجموع وزن‌دار نتایج تصادف، یک "درجه شدّت" را بدست می‌دهد که این درجه شدّت می‌تواند به تعدادی از مشخصات گذرگاه مربوط شود تا تخمینی از نتایج تصادف در هر گذرگاه بدست آید.

وزن‌های تخصیص داده شده به کشته و مجروحان بر اساس قیمت‌های اداره ایمنی ملی ایالات متحده بدست آمده است. برای خرابی به امکانات نیز تخمین‌های انجام شده توسط اداره راه‌آهن فدرال مورد استفاده قرار گرفته که با استفاده از روش "تمایل به پرداخت" بدست آمده است.

هزینه متوسط نتایج تصادف گذرگاه‌ها که توسط FRA بر حسب دلار سال ۱۹۹۵ آمریکا محاسبه شده است به صورت زیر می‌باشد:

- هزینهٔ هر فرد کشته: $ ۲۱۷۰۰۰۰
- هزینهٔ هر مجروح: $ ۶۵۵۹۰
- متوسط آسیب وارده به دارایی‌ها: تصادف قطار/$ ۶۱۹۵۰ [۶ و ۷]

وزن خرابی وارده به دارایی برابر یک در نظر گرفته شده و دیگر نتایج تصادف بصورت زیر وزن‌دار شده است:

$$CS_i = 44\times NF_i + 1\times NI_i + 1\times PD_i \qquad (۶)$$

که در آن: CS_i: درجه اهمیّت یا شدّت تصادف، NF_i: تعداد کشته‌ها، NI_i: تعداد کشته‌ها، PD_i: خرابی به دارایی‌ها، می‌باشد.

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

بدین ترتیب ساکومانو و همکارانش [۴] ابتدا مدلی با استفاده از توزیع پواسون تهیه کردند که با توجه به آزمون‌های آماری نتایج مناسبی در بر نداشت و از ذکر آن خودداری می‌شود، سپس در سال-های بعد با استفاده از توزیع دوجمله‌ای منفی مدل زیر را بدست آوردند:

$$CS = e^{0.3426PI_i - o.2262TN_i + 0.0069TA_i + 0.0250TSPD_i} \qquad (۷)$$

که در آن: CS: نتیجه تصادف، PI_i: تعداد اشخاص درگیر، TN_i: تعداد خطوط راه‌آهن، TA_i: زاویه تقاطع، $TSPD_i$: ماکزیمم سرعت قطار (مایل بر ساعت) در گذرگاه i [۶].

تعداد اشخاص درگیر در هر تصادف با ضرب تعداد وسایل نقلیه درگیر در تصادف در تعداد سرنشینان بدست آمده است. اگرچه نوع وسایل هشداردهنده اثر مهمی بر فراوانی تصادفات دارد اما تأثیر چندانی بر شدّت تصادف ندارد. این نتیجه بدست آمده با نتیجهٔ بدست آمده از مدل US. DOT هماهنگ است.

۳- روش آماری

تحلیل رگرسیون مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری برای الگوسازی و بررسی رابطه بین یک متغیر پاسخ مورد نظر y و مجموعه‌ای از متغیرهای پیشگو یا برگشت x_1، x_2، x_3، ....، x_k است. کاربردهای رگرسیون گسترده بوده و تقریباً در هر زمینه کاربردی چون مهندسی و علوم مربوط به شیمی، مدیریت و اقتصاد و ... پیش می‌آید[۸]. یکی از کاربردهای رگرسیون ارائه مدل‌های پیش‌بینی تصادف است. تصادفات در مقایسه با هر پدیده اجتماعی دیگری، از ماهیت بسیار اتفاقی‌تری برخوردار است. هر چند پیش‌بینی یک رویداد واحد غیرممکن است، اما مجموع چنین رویدادهایی ممکن است به طریق کاملاً قابل پیش‌بینی عمل کند ، بطوریکه توسط روابط آماری – ریاضی دقیق قابل توضیح باشد. در این بخش مدل‌های مختلف آماری برای ایجاد رابطه بین تعداد تصادف و دیگر مشخصات گذرگاه شرح داده شده است.

۳-۱- مدل خطی

محقّقان در مدل‌های اولیّه پیش‌بینی تصادف تکنیک‌های خطی سادهٔ چندمتغیره را برای ایجاد رابطه‌ای بین هندسه راه، مشخصات ترافیکی و تصادفات پذیرفته بودند. مدل‌های رگرسیون خطی بصورت:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_k X_k + \varepsilon \qquad (۸)$$

می‌باشدکه Y_i متغیر وابسته فراوانی تصادفات، x_1، x_2، x_3، ....، متغیرهای مستقل (حجم ترافیک، ویژگی‌های هندسی و ...) و ε عبارت خطا می‌باشد[۹].

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

۳-۲- مدل رگرسیون پواسون

به دلیل مشکلات مدل رگرسیون خطی بسیاری از محققان از جمله هایر[۱] و پرسود[۲] [۱۰] در سال ۱۹۸۷ و ساکومانو [۶] در سال ۲۰۰۴ برای پیش‌بینی بهتر تصادف از مدل پواسون استفاده کرده‌اند.

مدل پواسون به دلیل ماهیت گسسته، غیرمنفی و گاهی اوقات نادر بودن تصادفات بکار گرفته می‌شود [۳]. ضرایب تخمینی در مدل پواسون با استفاده از روش‌های "ماکزیمم احتمال استاندارد" تخمین زده می‌شود. مدل پواسون بصورت:

---

[۱] Hauer

[۲] Persoud

www.SID.ir

Archive of SID

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

می‌باشد که $P(y_i)$ احتمال ۰، ۱، ۲ و ... و n بودن تعداد تصادفات در گذرگاه i و λ_i پارامتر پواسون طبق تعریف زیر می‌باشد:

$$\lambda_i = e^{(\beta_0+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+...+\beta_k x_k)} \quad (۱۰)$$

یا به عبارتی:

$$\log \lambda_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_k x_k \quad (۱۱)$$

که در آن x_i مشخصات مستقل تصادف و β_i ضرایب تخمینی می‌باشد. ضرایب تخمینی در مدل پواسون با استفاده از روش‌های احتمال ماکزیمم تخمین زده می‌شود. تابع احتمال برای مدل رگرسیون پواسون بصورت زیر داده شده است:

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

یک ویژگی مهم توزیع پواسون آن است که متوسط و واریانس توزیع باید با هم برابر باشد [۱۱ و۹].

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

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

۳-۳- مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی

معمولاً در تصادفات واریانس از میانگین بالاتر است. این امر به عنوان پراکندگی زیاد داده‌ها تعبیر می‌شود. مدل دوجمله‌ای منفی برای داده‌ها با پراکندگی زیاد مناسب است زیرا این مدل محدودیت مساوی بودن میانگین با واریانس را ندارد. این مشکل مدل پواسون با اضافه شدن یک عبارت خطای توزیع شدهٔ گاما به آن حل می‌شود.

$$\log \lambda_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (۱۴)$$

که ε عبارت خطای توزیع شدهٔ گاما برای همهٔ متغیرها می‌باشد. اضافه شدن این عبارت اجازه می‌دهد تا میانگین و واریانس برابر نباشد:

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

در صورتی که مقدار α به صفر نزدیک باشد مدل دوجمله‌ای منفی به پواسون تبدیل می‌شود [۹].

۴-۳- ضابطه نیکویی برازش

معیارهای کلی دقت تناسب مدل پواسون و دوجمله‌ای منفی، انحراف[۱] و کی‌دوی پیرسون[۲] می‌باشد. اگر مدل آماری درست باشد هر دو مقدار بصورت آمارهٔ χ^2 با n-p درجه آزادی (df) توزیع شده است که n تعداد نمونه و p تعداد پارامترهای واردشده در مدل می‌باشد. بنابراین اگر مدل رگرسیون مناسب باشد مقدار مورد انتظار هر دو آمارهٔ انحراف و کی‌دوی پیرسون برابر با n-p می‌باشد. یا به عبارت دیگر هر دو معیار انحراف مقیاس‌بندی شده[۳] و کی‌دوی پیرسون مقیاس‌بندی شده[۴] یک یا نزدیک به یک می‌باشد ($\frac{\chi^2}{df}$) در غیر اینصورت باید در اعتبار مدل شک کرد[۸].

۴- توصیف داده‌ها

در سال‌های اخیر مشخصات گذرگاه‌ها توسط اداره کل خط و ابنیه فنی راه‌آهن در قالب فرم‌هایی به نام "شناسنامه گذرگاه‌ها" جمع‌آوری شده است. این شناسنامه‌ها حاوی اطلاعاتی از قبیل مشخصات عمومی گذرگاه (نام گذرگاه، نام محور، نام بلاک، کیلومتراژ موقعیت گذرگاه، نوع گذرگاه)، مشخصات جاده‌ای 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 جاده‌ای)، عوارض خاص محل گذرگاه و نوع همسطح‌سازی آن می‌باشد[۱۲]. این اطلاعات اگرچه بسیار ارزشمند است لکن نقایصی در آن وجود دارد. از آنجا که داده‌هایی نظیر تعداد عبور وسایل نقلیه جاده‌ای و تعداد عبور قطارها در شبانه روز در شناسنامه گذرگاه‌ها ذکر نشده است، اداره خط و ابنیه فنی به منظور استفاده از شاخصی به نام "شاخص خطر ایران" برای اولویت‌بندی بهسازی گذرگاه‌ها در تحقیقی جداگانه به جمع‌آوری این داده‌ها اقدام نموده است[۱۳ و ۱۴].

اداره کل ایمنی سیر و حرکت متوّلی جمع‌آوری اطلاعات مربوط به انواع حوادث و سوانح در راه‌آهن می‌باشد. سوانح برخوردی میان وسایل نقلیه جاده‌ای و وسایل نقلیه ریلی بخشی از سوانحی است که توسط این اداره بررسی و اطلاعات آن ثبت می‌گردد. خوشبختانه تقریباً هرگونه سانحه حتی در مواردی که موجب تلفات یا خسارت زیادی نیز نشده، ثبت شده است. از آنجا که در سیستم ثبت کامپیوتری محل تصادفات تنها 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 تصادفات را به سه دسته تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی تقسیم بندی نماییم از تعداد ۲۱۸ تصادف رخداده در سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۱، ۳۳ مورد فوتی، ۵۸ مورد جرحی و ۱۱۷ مورد خسارتی بوده است. نوع تصادف ۱۰ مورد نیز از اطلاعات در دسترس، مشخص نیست. لازم به ذکر است تصادفاتی که هم فوتی و هم مجروح داشته است تصادف فوتی در نظر گرفته شده است. بدین

۱- Deviance

۲- Pearson Chi-square

۳- Scaled Deviance

۴- Scaled Pearson Chi-square

www.SID.ir

Archive of SID

ترتیب اگر سهم ۱۰ تصادف نامعلوم را نیز به نسبت دیگر تصادفات تقسیم‌بندی کنیم سهم تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی به ترتیب ۱۵/۸۷٪، ۲۷/۸۸٪ ، ۵۶/۲۵٪ می باشد. با مقایسه با آمار تصادفات جاده‌ای برون شهری مشخص می‌شود که درصد تصادفات فوتی در گذرگاه‌ها بیش از هفت برابر تصادفات فوتی در جاده‌ها می‌باشد.

در فاصله سال‌های ۱۳۸۰ تا شش ماهه اوّل سال ۱۳۸۶ گذرگاه‌های آزادی (ناحیه شمال، بلاک ساری - گونی‌بافی) و مردآباد (ناحیه تهران، بلاک کرج- کردان) با ۵ تصادف بیشترین تصادف را داشته است و گذرگاه‌های ابوزیدآباد، خط ماهشهر، شورگل، فروردین و قره‌تپه با ۴ تصادف در رتبهٔ بعدی قرار دارد. از لحاظ تعداد مرگ ومیر و مجروح نیز گذرگاه مردآباد با ۷کشته و ۳ مجروح در رتبه اوّل و گذرگاه گرمدره (ناحیه تهران، بلاک کرج- ملکی) با ۵ کشته در رتبه بعدی قرار دارد. تصادفی که در تاریخ ۸۳/۱۱/۱۶ در گذرگاه سنخواست – جوین (ناحیه شمالشرق، بلاک سنخواست – جوین) اتفاق افتاده است با کشته شدن ۴ نفر سرنشین یک خودرو سواری شدیدترین تصادف از لحاظ نتیجه بوده است.

تصادفات سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۱ 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 مدّت در گذرگاه‌ها رخ داده است. امّا از آنجا که بعضی از این تصادفات در گذرگاه‌هایی اتفاق افتاده که مشخصات کامل آن در دسترس نیست و یا در بعضی تصادفات میزان فوتی‌ها و مجروحان مشخص نیست از این تعداد ۱۲۲ تصادف برای تحلیل مورد استفاده قرار گرفته است.

هرچه تعداد نمونه‌ها برای کالیبره کردن و معتبرسازی مدل بیشتر باشد مدل قابل اطمینان‌تر خواهد بود. برای معتبرسازی مدل یک چهارم تا یک پنجم تعداد نمونه‌ها برای کالیبره کردن مدل کافی و مناسب است. بدین ترتیب گذرگاه‌ها بصورت اتفاقی به دو دستهٔ ۱۰۰ تایی برای ایجاد مدل و ۲۲ تایی برای معتبرسازی مدل تقسیم شد. جدول ۱ خلاصه‌ای از مشخصات این تصادفات و گذرگاه‌هایی که تصادف در آن واقع شده است را نشان می‌دهد. بدیهی است که گذرگاه‌هایی که دارای چند تصادف بوده به همان تعداد در آمارها وارد شده‌است.

۵- تحلیل داده‌ها

۵-۱- روش محاسبه شدّت تصادف

در گفتگوهای روزمره معمولاً تصادفی شدید اطلاق می‌شود که افرادی در آن کشته یا مجروح شده باشند. مدل نتیجهٔ تصادف US.DOT احتمال کشته یا مجروح شدن افراد را در یک تصادف احتمالی نظر می‌گیرد و تعداد کشته‌ها، مجروحین و خسارات وارد مدّنظر قرار نمی‌گیرد. تنها مقایسه تعداد کشته و مجروح نیز نمی‌تواند مقیاس جامعی برای مشخص کردن شدّت تصادف باشد. زیرا مشخّص نیست که به عنوان مثال تصادفی با چند مجروح آیا شدیدتر از تصادفی با یک کشته است یا خیر؟ یا تصادفی خسارتی با چندین ساعت مسدودی برای راه و راه‌آهن چگونه می‌تواند با تصادف کشته و مجروح مقایسه شود؟. این‌گونه مسائل معمولاً با تبدیل همهٔ انواع خسارت‌ها به هزینه می‌تواند پاسخ داده شود. تا کنون تحقیقات زیادی در مورد محاسبه هزینه تصادفات انجام شده و دائماً ابعاد دیگری از هزینه تصادفات مشخص می‌شود.

در این تحقیق برای محاسبهٔ شدت تصادف و مدل‌سازی پیش‌بینی آن، معیار هزینهٔ تصادف مدّنظر قرار گرفته است. برای محاسبه هزینه تصادف از تحقیق جامعی که توسط دکتر آیتی [۱] انجام شده، استفاده شده است. برای بدست آوردن معیاری برای شدت تصادف هزینه ریالی تصادفات بر مبنای سال ۱۳۷۶ (سال انجام تحقیق مرجع ۱) محاسبه شده و بر عدد ۲۰۰۰۰۰۰۰ تقسیم شده تا شاخصی در مقیاس حداکثر سه رقمی بدست آید.

لازم به ذکر است در مورد خسارت‌های وارده به راه‌آهن در تصادف با وسایل‌نقلیه جاده‌ای متأسفانه تا کنون تحقیقی انجام نشده است لذا به اجبار از این مبالغ صرف‌نظر می‌شود. البته این امر به برآوردهای انجام شده برای شدت تصادفات آسیب زیادی وارد نمی‌کند زیرا اولاً به دلیل ابعاد و ساختار لکوموتیو (وجود گاوپران مستحکم در جلو لکوموتیو) آسیب زیادی به قطار وارد نمی‌شود و ثانیاً مسدودی خط به عنوان مهمترین هزینه برای راه‌آهن تقریباً برای همهٔ تصادفات با هم برابر است.

برای محاسبهٔ هزینه هر تصادف بر مبنای سال ۱۳۷۶ موارد زیر در نظر گرفته شده است:

- هزینهٔدرمان مجروحان به جز معلولیت‌های دائم (CI) [۱]
- ارزش یک ساعت وقت تلف شده
- ارزش ساعات کاری از دست رفتهٔ مصدومان و مجروحان به علّت بستری شدن در بیمارستان یا استراحت دورهٔ نقاهت در منزل (PT_2)[۲]
- ارزش اقتصادی کار از دست رفته معلولین موقت (PT_2)
- ارزش اقتصادی اوقات صرف شدهٔ افرادی که جزء مجروحان نیستند امّا وقت آنها در ارتباط با تصادفات پیش آمده مصرف می‌شود (PT_3):

الف- معطلی افراد مختلف در صحنهٔ تصادفات به علت راه‌بندان و معطلی مسافرین اتوبوسها و سایر وسایل‌نقلیه‌ای که وسیلهٔ آنها در تصادفات درگیر می‌باشد (PT_{3a}).

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

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

- هزینهٔ افراد کشته شده (CF) [۳] و معلولیت‌های دائم (CPI) [۴]

---

۱ Cost of Injured People

۲ Price of Time

۳ Cost of Fatality

۴ Cost of Permanent Injury

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱: مشخصات تصادفات و گذرگاه‌های مورد استفاده در مدل‌سازی شدت تصادف.

متغیر	توضیح	حداقل	حداکثر	متوسط	انحراف استاندارد
متوسط حجم ترافیک جاده‌ای	وسیله نقلیه در شبانه‌روز	۱۴۴	۴۳۲۰۰	۵۴۳۷/۹۶۷۲	۱۰۶۵۱/۳۹۵۳
متوسط حجم ترافیک ریلی	قطار در شبانه روز	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 ≥ ۶۰ (۱۷/۲۱٪)، ۶۰<V≤۸۰ (۴۵/۹۰٪)، ۸۰<V≤۱۲۰ (۳۳/۶۱٪)، V>۱۲۰ (۳/۲۸٪)			
زاویه تقاطع	درجه	α=۹۰ (۷۲/۹۵٪)، ۶۰<α<۹۰ (۲۶/۲۳٪)، α<۶۰ (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٪)، عدو وجود قوس (۷۲۷/۹۵٪)				
گذرگاه در قوس خط‌آهن	وجود قوس (۱۷/۲۱٪)، عدو وجود 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٪)				
تابلو تقاطع ریلی- جاده‌ای	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٪)				
تابلو جاده‌ای ۸۰ متر مانده به گذرگاه	دارد (۵۴/۹۲٪) ، ندارد (۴۵/۰۸٪)				
تابلو جاده‌ای ۱۶۰ متر مانده به گذرگاه	دارد (۴۴/۴۴٪) ، ندارد (۵۵/۵۶٪)				
تابلو جاده‌ای 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 خط‌القعر است (۴/۹۲٪)، خط‌آهن در خط‌الرأس است (۴۷/۵۴٪)، یک سمت جاده بالاتر از خط قرار دارد (۷/۳۸٪)				
تقلیل سرعت در محل گذرگاه	دارد (۴/۹۲٪) ، ندارد (۹۵/۰۸٪)				
نوع هم سطح سازی	با خاک یا بالاست (۹/۸۴٪)، با آسفالت (۳۸/۵۲٪)، با تراورس یا ریل (۴۰/۱۶٪)،با قطعات بتنی (۱۱/۴۸٪)				

- محاسبهٔ هزینهٔ تجهیزات، ماشین‌آلات، و اشیاء از بین رفته یا خسارت دیده (PP) [۱]
- هزینه‌های اداری (AC) [۲] [۱، ۱۶، ۱۷]

۵-۲- مدل شدّت تصادف

پس از انتخاب عوامل مؤثّر و محاسبهٔ شدّت تصادف، جدول اطلاعات تصادفات و ویژگی‌های گذرگاه‌هایی که تصادف در آنها رخ داده است به نرم افزار SAS معرفی شد و مدل رگرسیون خطی تعمیم یافته با توزیع پواسون و دوجمله‌ای منفی برای این مدل‌سازی انتخاب شد.

معیارهای نیکویی برازش انحراف مقیاس‌بندی شده و پیرسون مقیاس‌بندی شده برای مدل پواسون به ترتیب ۱۲/۷۵۷۳ و ۱۴/۱۶۷۶ بدست آمد که نشان می‌دهد داده‌ها پراکنده‌اند و این مدل برای مدل‌سازی شدت تصادفات گذرگاه‌ها مناسب نمی‌باشد. شکل ۱ نتایج رگرسیون دوجمله‌ای را برای شدت تصادفات گذرگاه نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در این مدل مقدار حداکثر P-value، ۰/۱۰ در نظر گرفته شده است. نتایج آزمون‌های نیکویی برازش انحراف مقیاس‌بندی شده و پیرسون مقیاس‌بندی شده به ترتیب

[۳] Price of properties
[۵] Administration Cost

www.SID.ir

Archive of SID

۱/۱۳۲۰ و ۱/۱۰۹۹ بدست آمده است که نشان‌دهندهٔ خوبی برازش انجام شده می‌باشد. شکل مدل بصورت زیر می‌باشد:

$$E(S \mid A) = \exp(2.2366 - 0.7230 \times W - 0.6723 \times R + 0.7490 \times V + 0.5082 \times C + 0.7700 \times D - 0.4793 \times H) \quad (۱۶)$$

که در آن: $E(S \mid A)$:شدت تصادف مورد انتظار برای یک تصادف، W: عرض جاده (کمتر از ۸ متر (۰)، بیشتر از ۸ متر (۱))، R: 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 بر اساس ارزیابی کارشناس (خوب و متوسط (۰)، کم (۱))، H: وجود سرعت‌گیر (ندارد (۰)، دارد (۱))

۵-۳- معتبر سازی مدل

معتبرسازی مدل به این دلیل بررسی می‌شود تا مشخص شود مدل ارائه شده برای گذرگاه‌هایی به غیر از گذرگاه‌هایی که برای ایجاد مدل استفاده شده است قابل کاربرد می‌باشد یا خیر. مسلّم آن است که مدلی کاربردی و قابل اعتماد می‌باشد که برای دیگر موقعیت‌ها نیز قابل استفاده باشد.

برای معتبرسازی مدل از ۲۲ گذرگاهی که در کالیبره کردن مدل وارد نشد استفاده می‌شود. برای بررسی اعتبار مدل‌ها از آزمون T-test استفاده شده است. بدین منظور جامعهٔ آماری از گذرگاه‌ها که در مدل‌سازی وارد نشده‌اند (۲۲ گذرگاه)، را در نظر گرفته و با استفاده از مدل‌های برازش داده شده، شدّت تصادفات رخ داده در آنها پیش‌بینی می‌شود. حال برای مقایسه کردن تفاوت میانگین شدّت تصادفات پیش‌بینی شده با شدّت تصادفات مشاهده شده از آزمون T-test استفاده می‌شود.

خلاصه نتایج آزمون T-test برای مدل‌ها در جدول ۲ آورده شده است. اگر مقدارP-value از ۰/۰۵ بیشتر باشد، فرضیه H_0 را نمی‌توان رد کرد و بیانگر این مطلب است که تعداد تصادفات پیش‌بینی شده و مشاهده شده به طور متوسط یکسان است و مدل معتبر می‌باشد.

۵-۴- تعبیر ضرایب

در مدل ۱۶ ضرایب مثبت نشان‌دهنده آن است که با افزایش آن پارامتر، شدّت تصادف افزایش می‌یابد و ضریب با علامت منفی نشان‌دهندهٔ آن است که با افزایش مقدار آن مشخّصه شدت تصادف کاهش می‌یابد.

ضریب مشخّصهٔ عرض جاده نشان می‌دهد که گذرگاهی با عرض جادهٔ کمتر از ۸ متر از گذرگاهی با همان مشخصات امّا عرض جادهٔ بیش از ۸ متر در صورت وقوع تصادف، شدّت تصادف بیشتری خواهد داشت. این نتیجه از لحاظ مهندسی به راحتی توضیح داده نمی‌شود امّا در تحقیقات دیگر محققین نیز نتایج مشابهی بدست آمده است مثلاً در مدل ساکومانو و همکارانش [۶] برای نتیجهٔ تصادف متغیر تعداد خطوط راه‌آهن بر شدت تصادف اثر می‌گذارد و یا در مدل US.DOT نیز با افزایش تعداد خطوط راه‌آهن احتمال مرگ و میر بیشتر می‌شود. 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 امّا در مدل وارد نشده است.

ضریب مشخصهٔ 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 شدّت بیشتری دارد. این مشخّصه نیز بطور مستقیم قابل توضیح نیست امّا از آنجا که در داده‌های ورودی برای ایجاد مدل عامل مهم سرعت جاده‌ای وجود نداشت این پارامتر به سرعت جاده‌ای نسبت داده می‌شود. مسلّماً سرعت وسایل نقلیه در جاده‌های اصلی و فرعی از روستایی و اختصاصی بالاتر است. رابطهٔ افزایش شدّت تصادف با افزایش سرعت نیز بدیهی می‌باشد

افزایش شدّت تصادف با افزایش سرعت قطار نیز امری مسلّم است. مدل نشان می‌دهد که در شرایط یکسان شدّت تصادف در گذرگاهی با متوسط سرعت‌های قطار بیشتر از ۶۰ کیلومتر بر ساعت، بیش از دو برابرِ گذرگاهی با متوسط سرعت‌های قطار کمتر از ۶۰ کیلومتر بر ساعت (دیگر عوامل مشابه) می‌باشد.اگرچه سرعت قطارها در گذرگاه‌ها در چهار سطح به نرم‌افزار معرفی شده امّا احتمالاً به دلیل کمبود موارد تصادف، رابطهٔ معنی داری مثلاً با افزایش سرعت قطارها به بیش از ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت، بدست نیامد.

ضرایب مشخّصه‌های 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 نشان دادن عکس‌العمل مناسب خواهند داشت. نمونه بارز این امر تصادفات زیادی است که راننده با مشاهده نزدیک شدن قطار و احساس ناتوانی در خارج کردن وسیله‌نقلیه از گذرگاه، با ترک وسیله جان خود را نجات داده است (در گزارش حداقل ۱۵ مورد از تصادفات موتورسیکلت با قطار،راکب با ترک وسیله خود را نجات داده است).

وجود سرعت‌گیر باعث کاهش سرعت وسایل‌نقلیه جاده‌ای می‌شود و مسلماً شدت تصادف راکاهش خواهد داد. ضریب بدست آمده در مدل با این توضیح کاملاً هماهنگ است.

۶- نتیجه‌گیری

ماهیّت تصادف بین قطارها و وسیله نقلیه جاده‌ای اساساً از تصادف بین وسایل نقلیه موتوری متفاوت است زیرا قطار در خط ثابتی حرکت می‌کند و انرژی جنبشی بالایی دارد و توانایی توقف سریع ندارد. همچنین به دلیل تعداد کم گذرگاه ها عموماً رانندگان با آن آشنایی ندارند. در نتیجهٔ این تفاوت‌ها، مدل‌های موجود تصادف برای تقاطعات یا دیگر بخش‌های جاده برای فراهم کردن دید کافی در

www.SID.ir

Archive of SID

```
                                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 دوجمله‌ای منفی شدّت تصادفات

جدول ۲: نتایج آزمون T-test برای معتبرسازی مدل پیش‌بینی شدّت تصادف.

مدل	آزمون برای فرض برابری واریانس‌ها			T-test		
	F	P-value	نتیجه	T	P-value	نتیجه
دوجمله‌ای منفی (فرمول ۱۶)	۰/۰۳۱	۰/۸۶۰	واریانس دو جامعه مساوی است	۱/۷۶۴	۰/۰۸۵	مدل معتبر است.

گذرگاه‌ها معتبر نمی‌باشد [۴].

شناسایی گذرگاه‌های پرخطر به منظور بهسازی سریع و تخصیص بهینه منابع و امکانات محدود راهکاری اساسی برای کاهش اثرات زیان‌بار تصادفات می‌باشد. یکی از عوامل شناسایی نقاط حادثه‌خیز گذرگاه‌ها، پیش‌بینی شدت وقوع تصادف برحسب مشخصات ترافیکی، هندسی و تاریخچه تصادفات در گذرگاه‌ها است. در این تحقیق با استفاده از مشخصات گذرگاه‌ها و اطلاعات تصادفات در سال‌های گذشته فرمول ۱۶ به عنوان مدل پیش‌بینی شدت وقوع تصادف معرفی شد.

بر اساس مدل ۱۶ شدّت تصادفات با موارد زیر کاهش می‌یابد:

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

از آنجا که مطلوب آن است که 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 شدّت تصادف در گذرگاه‌ها نصب سرعت‌گیر است. طبق مدل با نصب سرعت‌گیر در یک گذرگاه فاقد آن حداقل ۳۸/۰۸درصد ($[۱-e^{-۰/۴۷۹۳}]۱۰۰$) ، شدت تصادف احتمالی کاهش می‌یابد.

با استفاده از مدل ارائه شده می‌توان شدت تصادفات احتمالی درهر گذرگاه را پیش‌بینی کرد. بدین ترتیب این مدل به عنوان معیاری برای اولویت‌بندی گذرگاه‌ها از جمله توجیه پروژه‌های بهسازی و غیرهمسطح کردن گذرگاه استفاده شود.

مراجع

[۱]- آیتی. اسماعیل، *هزینه تصادفات ترافیکی ایران*، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۱.

www.SID.ir

Archive of SID

[2]- Australian Transport Council, “National Railway Level Crossing Safety Strategy”, Australian Transport Council, August 2003.

[3]- Oh. Jutaek, Washington. Simon .P, Nama. Doohee, “Accident Prediction Model For Railway-Highway Iinterfaces”, 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 Blackspots :Phase1”, Transportation Development Centre Transport Canada, TP 14168E, August 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 Liping, 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.

[7]- Clifornia Department of Transportation, “California Life- Cycle Benefit/ Cost Analysis Model”, B002 Allen & Hamilton Inc, San Diego, California, 1999.

[۸]- میرز ریموند.اچ، مونتگمری داگلاس. سی، وینینگ جی. جنوفری، ترجمهٔ نیرومند حسنعلی، *الگوهای خطی تعمیم‌یافته با کاربردهای آن در علوم و مهندسی*، چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد،۱۳۸۴.

[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 zeroinflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory”, Jornal of Accident Analysis and Prevention 37, pp. 35-46, 2005.

[۱۲]- اداره کل خط و ابنیه راه آهن ، "شناسنامه گذرگاه‌ها"، اداره کل خط و ابنیه راه آهن، اطلاعات منتشر نشده.

[۱۳]- شرف‌الدین مهدی، "محاسبه شاخص ریسک برای گذرگاه‌های هم‌سطح در ادارات کل راه‌آهن"، راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، اداره کل خط و ابنیه فنی راه‌آهن، گزارش منتشر نشده.

[۱۴]- وزارت راه و ترابری، پژوهشکده حمل و نقل، "بررسی وضعیت ایمنی و ارائه دستورالعمل ایمن سازی گذرگاه های ریلی در ایران"، پژوهشکده حمل ونقل،انتشار محدود، ۱۳۸۳.

[۱۵]- اداره کل ایمنی سیر و حرکت، "آمار سوانح برخوردی"،راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، اداره کل ایمنی سیر و حرکت، آمار و گزارشات منتشر نشده. ۱۳۸۶.

[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.

www.SID.ir