مدل پیش‌بینی فراوانی وقوع تصادف برای گذرگاههای ریلی- جاده‌ای ایران

اسماعیل آیتی(نویسنده مسئول)، استاد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
جبارعلی ذاکری سردرودی، دانشیار، دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
علی اصغر صادقی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
E-mail: e_ayati@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۱۲

چکیده

در سیستم حمل و نقل ریلی، گذرگاههای ریلی- جاده‌ای از نظر ایمنی به عنوان یک نقطه بحرانی و درسیستم جاده‌ای به عنوان یک مکان دارای شرایط خاص مانند پل و تونل، شناخته می شوند. بررسیها نشان می‌دهند هرچند تعداد تصادفها در گذرگاهها نسبت به دیگر نقاط جاده‌ای درایران کم است، اما نسبت به تعداد گذرگاهها و نیز نسبت به سوانح راه‌آهن بسیار بالا است. شناسایی گذرگاههای پرخطر به منظور بهسازی سریع و تخصیص بهینه منابع و امکانات محدود، راهکاری اساسی برای کاهش اثرات زیانبار تصادفات است. استفاده از مدلهای آماری که بر اساس مشخصات ترافیکی، هندسی و تاریخچه وقوع تصادفات ساخته می‌شود، یکی از روشهای شناسایی نقاط حادثه‌خیز است. با وجود ایجاد چنین مدلهایی برای دیگر نقاط مانند پل و تقاطع جاده‌ای تاکنون مدل پیش‌بینی فراوانی وقوع تصادف مخصوص گذرگاههای راه‌آهن ایران تهیه نشده است. در این مقاله با استفاده از اطلاعات مشخصات ترافیکی و هندسی گذرگاهها و تصادفات واقع شده در آنها در فاصله سالهای ۱۳۸۱-۱۳۸۵ با بکاربردن رگرسیون خطی تعمیم یافته، مدل پیش بینی فراوانی وقوع تصادف تهیه شده است. حجم ترافیک جاده‌ای و ریلی، وجود راهبند، موقعیت گذرگاه، سرعت قطارها و نوع روسازی جاده مشخصه‌هایی هستند که از نظر آماری معنی‌دار بوده و در مدل ارائه شده وارد شده است. با توجه به ضرایب به دست 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 راه‌آهن کشور پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: گذرگاه ریلی- جاده‌ای، تصادف، ، مدل پواسون، مدل دو جمله‌ای منفی.

۱. مقدمه

گذرگاه ریلی – جاده‌ای هم در سیستم حمل و نقل جاده‌ای و هم در سیستم حمل و نقل ریلی به عنوان یک نقطه پرخطر شناخته می‌شود. هر ساله تصادفات در این مکانها موجب خسارات بسیار سنگین و انعکاس وسیع در سطح رسانه‌ها و افکار عمومی می‌گردد. در کشور ما سالانه حدود ۱۰ نفر در گذرگاهها جانشان را از دست می‌دهند و هر ساله به طور میانگین ٤٤ تصادف در گذرگاهها رخ می‌دهد [Zakeri, 2004].

اگر میانگین ده ساله سوانح در گذرگاههای ایران مد نظر قرار گیرد، در آن صورت تعداد سوانح اتفاق افتاده به ازای هر ۱۰۰ تقاطع برابر ۸/۹ خواهد بود که چندین برابر نسبت تعداد تصادف به تعداد گذرگاه در کشورهای اروپایی است [Zakeri, 2006].

هزینه تصادفات گذرگاههای هم‌سطح ریلی- جاده‌ای به دلیل ویژگیهای خاص راه‌آهن، حجم و قدرت قطارها و یا در واقع انرژی جنبشی فوق العاده، نسبت به تصادفات معمول جاده‌ای چندین برابر است. هزینه مسدود شدن خط یا عقب ماندن از برنامه زمانی قطارها را نباید از نظر دور داشت. به این منظور ارتقاء ایمنی در گذرگاهها یک هدف اساسی برای همهٔ راه‌آهن ها و از جمله راه‌آهن کشور ماست.

آشکار است که راه‌حل مطلوب برای از بین بردن تصادفات در محل گذرگاهها، غیرهمسطح‌سازی خط‌آهن و جاده است، اما این کار از نظر اقتصادی در اغلب گذرگاهها اقتصادی نیست و یا با محدودیت بودجه روبروست، راه‌حل دیگر، نصب راهبندها در همهٔ گذرگاه‌هایی است که غیرهم‌سطح‌سازی آنها ممکن نیست. محدودیتهای مالی نیز نصب راهبندها را در کلیه گذرگاهها محدود می‌کند. بنابراین راهبندها در گذرگاههای خطرناک تر نصب می‌شود و وسایل با تأثیر کمتر بر ایمنی، در دیگر موقعیتها نصب می‌شوند.

محدودیتهای مالی این نکته را با اهمیت می‌سازد که سرمایه‌گذاری باید در جایی که بازگشت سرمایه در زمان مناسبی حاصل شود، صورت گیرد [Qureshi, 2003]. به این منظور متولّیان راه و راه‌آهن از گذشته روشهایی را جستجو می‌کرده‌اند که حداکثر منافع به دست آید. 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 است. به همین دلیل مدلهای موجود برای تصادفات تقاطعها یا دیگر بخش‌های جاده‌ای برای درک و دید کافی از ایمنی گذرگاهها معتبر نیستند [Oh et al., 2006].

تاکنون مدلی که فراوانی وقوع تصادف را برحسب مشخصات هندسی و ترافیکی گذرگاه‌های ایران پیش‌بینی کند تهیه نشده است. در این تحقیق با استفاده از مشخصات گذرگاهها که تحت عنوان شناسنامه گذرگاهها در اداره کل خط و ابنیه فنی راه آهن ایران گردآوری شده و نیز با توجه به آمار تصادفات در آنها، چنین مدلی تهیه شده است.

۲. مروری بر مدلهای پیش‌بینی فراوانی تصادف

۲-۱ فرمول پی‌بادی دمیکل[1]

فرمول P.D.F یکی از ساده‌ترین مدلهای پیش‌بینی تصادف گذرگاههای ریلی است که در سال ۱۹٤۱ با استفاده از اطلاعات گذرگاههای ۲۹ ایالت در آمریکا طراحی شده است. این فرمول در دههٔ ۱۹۵۰ برای تخصیص منابع مالی به گذرگاههای همسطح ریلی- جاده‌ای مورد استفاده قرار می‌گرفت. این فرمول که تعداد تصادفات احتمالی در ۵ سال را پیش‌بینی می‌کند به صورت زیر است:

$$A_5 = 1.28 l_u + k \qquad (۱)$$

$$l_u = \frac{(V^{0.170})(T^{0.151})}{P^{0.171}} \qquad (۲)$$

که در آن: A_5= تعداد تصادفات احتمالی در پنج سال، V= متوسط

سالیانه ترافیک روزانه (AADT)، T= متوسط روزانه ترافیک قطار، P= ضریب محافظت، k= متغیر اضافی، l_u= فاکتور تعدیل نشده تصادف است. مقادیر P و k برحسب نوع وسیله هشداردهنده تعریف شده است [Oh et al.,2006; FHWA, 2007].

۲-۲ معادلات پیش‌بینی تصادف اداره حمل‌ونقل ایالات متحده

مدل پیش‌بینی تصادف اداره حمل و نقل ایالات متحده در اوایل دهۀ ۱۹۸۰ برای پیش‌بینی و رفع محدودیتها و مشکلات مدلهای اولیه تهیه شد [Austin and Carson, 2002].

مدل اداره حمل و نقل ایالات متحده فرمول پیچیده و جامعی است که از سه معادله تشکیل می‌شود:

$$a = (k)(EI)(MT)(DT)(HP)(MS)(HT)(HL) \quad (۳)$$

$$B = \frac{T_0}{T_0 + T}(a) + \frac{T}{T_0 + T}(\frac{N}{T}) \quad (٤)$$

$$\left.\begin{array}{ll} A = \{۰/٦٥۰۰B\} & \text{برای وسایل هشداردهندۀ غیر فعال} \\ A = \{۰/٥۰۰۱B\} & \text{برای چراغ های چشمک‌زن} \\ A = \{۰/٥۷۲٥B\} & \text{برای راهبندها} \end{array}\right\} \quad (٥)$$

در فرمول(۳)، a: پیش‌بینی اولیه تصادفات سالیانه در یک گذرگاه، k: عدد ثابت فرمول، EI :فاکتوری برای نمایش حجم ترافیک ریلی و جاده‌ای موجود، MT: فاکتوری برای تعداد خطوط اصلی، DT: فاکتوری برای تعداد قطارها در روز روشن، HP: فاکتوری برای آسفالت بودن یا نبودن جاده، MS: فاکتوری برای حداکثر سرعت زمانبندی قطار، HT: فاکتوری برای نوع جاده، HL: فاکتوری برای تعداد باندهای جاده.

هر یک از عوامل فرمول (۳) یک خصوصیت گذرگاهها را که در چک لیست گذرگاههای ریلی- جاده‌ای اداره راه‌آهن فدرال توصیف شده است ارائه می‌کند. این فاکتورها که اهمیت آنها از نظر آماری مشخص شده ، با استفاده از رگرسیون غیرخطی چندگانه محاسبه شده است [FRA, 1999 ;FHWA, 2007].

مجموعه‌های مختلفی از معادلات برای هر یک از سه گروه گذرگاههای با وسایل کنترل ترافیک مورد استفاده قرار می‌گیرد (گذرگاههای با علائم تنها، گذرگاههای با چراغ چشمک‌زن و گذرگاههای با راهبند اتوماتیک) که در جدول(۱) نشان داده شده است.

جدول۱. مقادیر فاکتورهای خصوصیات گذرگاه در رابطه پیش‌بینی تصادف اداره حمل و نقل ایالات متحده [FHWA, 2007]

فاکتورهای خصوصیات گذرگاه	گذرگاه با وسایل کنترل ترافیک غیرفعال	گذرگاه با چراغ‌های چشمک زن	گذرگاه با راهبند
K	۰/۰۰۲۲٦۸	۰/۰۰۳٦٤٦	۰/۰۰۱۰۸۸
El	$(\frac{c\times t+0.2}{0.2})^{0.3334}$	$(\frac{c\times t+0.2}{0.2})^{0.2953}$	$(\frac{c\times t+0.2}{0.2})^{0.3116}$
MT	$e^{0.2094\times mt}$	$e^{0.1088\times mt}$	$e^{0.2912\times mt}$
DT	$(\frac{d+0.2}{0.2})^{0.1336}$	$(\frac{d+0.2}{0.2})^{0.0470}$	۱
HP	$e^{-0.616\times(hp-1)}$	۱	۱
MS	$e^{0.0123\times ms}$	۱	۱
HT	$e^{-0.1\times(ht-1)}$	۱	۱
HL	۱	$e^{0.1380\times(hl-1)}$	$e^{0.1036\times(hl-1)}$

c : متوسط ترافیک روزانه وسایل نقلیه در هر دو جهت برحسب همسنگ سواری، mt : تعداد خطوط اصلی ریلی ، hp : روسازی آسفالتی معادل ۱ در غیر این صورت ۲ ، ht : فاکتور نوع راه [(برون‌شهری (بین ایالتی (۱)، شریانی اصلی (۲)، شریانی کوچک (۳)، جمع کننده اصلی (٤)، جمع کننده فرعی (٥)،محلی (٦))، درون‌شهری (بین ایالتی (۱)، آزادراه و بزرگراه (۲)، شریانی اصلی (۳)، شریانی فرعی (٤)، جمع کننده (٥)، محلی (٦))]، t : متوسط ترافیک ریلی در روز، d : متوسط تعداد قطارهای سراسری در طی روز، ms : حداکثر سرعت قطار (مایل بر سرعت)، hl : تعداد باندهای جاده

معادله (٤) تعداد پیش‌بینی اولیه تصادف را که از معادله(٣) به دست می‌آید تعدیل می‌کند تا تاریخچهٔ واقعی تصادفات در گذرگاه منعکس شود. در این معادله N تعداد تصادفات مشاهده شده در T سال در گذرگاه است و T_0 فاکتور وزن‌دهی فرمول است که به صورت:

$$T_0 = \frac{1.0}{(0.05 + a)} \qquad (٦)$$

تعریف شده است.

معادله (٥) نیز یک ثابت نرمال کننده را اعمال می‌کند تا مقدار نهایی پیش‌بینی تصادف (A) به دست آید. ثابتهای نرمال کنندهٔ مدل پیش‌بینی تصادف اداره حمل و نقل ایالات متحده هر ٢ سال یکبار با مقایسه یک نمونه از پیش‌بینی‌های فراوانی تصادف در سال‌های اخیر با فراوانی مشاهدات تصادفات به دست می‌آید [FRA, 1999].

٢-٣ مدل آستن و کارسون

آستن و کارسون [Austin and Carson, 2002] با بررسی مدلهای پیشین از قبیل فرمول پی‌بادی دمیکل، شاخص خطر نیوهمپشیر و NCHRP به این نتیجه رسیدند که این مدلها به دلیل تعداد کمِ متغیرهای توصیفی‌شان، قابلیت ضعیفی برای پیش‌بینی خطر تصادفات دارند. همچنین آنها مدل اداره حمل‌ونقل ایالات متحده را که به طور گسترده‌ای در این کشور استفاده می‌شود به دلیل سه مرحله‌ای بودن آن پیچیده عنوان کردند و به دلیل قدیمی بودن آن، نشان دادند که دقت آن در طول زمان کاهش یافته است. بنابراین آنها مدلی دیگر برای پیش‌بینی تصادفات تهیه کردند. طبق نظر آنها انواع مختلف وسایل هشداردهنده در یک گذرگاه به دلیل رابطه داخلی با فراوانی تصادف نمی‌تواند مستقیماً با تخصیص شاخص مورد استفاده قرار گیرد. برای تصحیح این رابطه داخلی آنها ابتدا با استفاده از رگرسیون لوجیت رابطه‌ای بین احتمال وجود هر وسیله هشداردهنده با دیگر مشخصات گذرگاه تخمین زدند. سپس احتمال وجود این وسایل در یک گذرگاه خاص (عددی بین صفر و یک) برای هر گذرگاه محاسبه شد. این متغیرهای احتمالی پیوسته جدید بجای متغیرهای شاخص وسیله هشداردهنده (مثلاً راهبند: بلی(١)، خیر (٠)) در مدل پیش‌بینی تصادف استفاده شد. در اینجا به دلیل حجم زیاد جدول روابط مدل رابطه داخلی از ذکر آن خودداری می شود. آستن و کارسون [Austin and Carson, ٢٠٠٢] مدل‌های رگرسیون پواسون و دوجمله‌ای منفی را بررسی و با مقایسه نتایج این مدل‌ها، مدل دوجمله‌ای منفی را به دلیل پراکندگی زیاد داده‌ها انتخاب کردند. جدول (٢) متغیرها و ضرایب مدل دوجمله‌ای منفی اوستین و کارسون را نشان می‌دهد.

جدول٢. نتایج مدل پیش‌بینی دو جمله‌ای منفی آستن و کارسون [Austin and Carson, 2002].

متغیر مستقل	ضریب تخمینی
ثابت	-٠/٧١٩
تعداد قطارهای عبوری در شب	٠/٠٣٩
ماکزیمم سرعت زمانبندی شده	٠/٠٢١
تعداد خطوط اصلی راه آهن	٠/٤٨٤
تعداد خطوط راه	٠/١٧٠
AADT در هر دو جهت	٣/٥٩e-٠٥
آسفالتی یا شنی	٠/٢٩٥
سطح قطعه قطعه	٠/٢٦٠
سطح پوشیده با الوار چوبی	٠/٣١٢
خط کشی روسازی: خطوط توقف	٠/٧٤٧
احتمال یک علامت توقف	١٩/٦١٥
احتمال یک راهبند	-٢/٩٧٤
احتمال چراغ های چشمک زن	١/٠٧٥
احتمال علائم ترافیک جاده ای	-١١٤/٤٤٧
احتمال وجود زنگ	٠/٦٤٩

٢-٤ مدل پیش بینی فراوانی تصادف کانادا

ساکومانو و همکارانش [Saccomanno et al., 2004] با استفاده از بانک اطلاعات تصادف و اطلاعات فهرست گذرگاههای کانادا (RODS/TSB) مدل پیش‌بینی فراوانی تصادف را با استفاده از توزیعهای دو جمله‌ای منفی تهیه کرده‌اند.

برای گذرگاههایی که فقط علائم گذرگاه را دارند (نوع S):

$$E(mS) = Exp(-5.7521 + 0.0131\,Train_{speed} + 0.3883 \ln(exposure)) \qquad (٧)$$

برای گذرگاههای با علائم و چراغ چشمک‌زن (نوع F):

$$E(mT) = Exp(-9.2894 + 0.017\,Surface_{Width} + 0.0115\,Train_{Speed} + 0.6176 \ln(exposure)) \quad (۸)$$

برای گذرگاههای با علائم، چراغ چشمک‌زن و راهبند (نوع G):

$$E(mG) = Exp(-7.5503 + 0.0122\,Road_{Speed} + 0.2029\,Track_{Number} + 0.3737 \ln(exposure)) \quad (۹)$$

دراین معادلات مقدار E تعداد پیش‌بینی تصادف و exposure حاصلضرب متوسط تعداد وسیله نقلیه در شبانه روز در تعداد قطارها در شبانه‌روز است.

۲-۵ مدل اوه (Oh) و همکارانش برای کشور کره جنوبی

اوه و همکارانش [Oh et al.,2006] در سال ۲۰۰۶ مدل پیش‌بینی تصادف برای گذرگاه‌های ریلی- جاده‌ای کره جنوبی را تهیه کردند. برای این منظور آنان، تصادفات در ۱۶۲ گذرگاه که حدود ۱۰٪ گذرگاههای ریلی- جاده‌ای در کره را شامل می‌شود و در آغاز به صورت تصادفی از همهٔ گذرگاهها نمونه‌گیری شده بود در نظر گرفتند. در مدل آنها جزئیات تصادف برای یک دورهٔ پنج ساله از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ در نظر گرفته شده است. آنها مجموعاً ۵۶ متغیر توصیفی را طی ایجاد مدل کشف کردند. افزون بر مشخصات دیگری که در اکثر بانکهای اطلاعاتی وجود دارد آنها انواع آشکارساز قطار، فواصل آشکارساز قطار، فواصل دید و ... را برای مدل‌سازی برداشت کردند. آنها همچنین متغیر "کاربری زمین" را برای به حساب آوردن عوامل حواس‌پرتی و پیچیدگی تصمیم‌گیری به دلیل نزدیکی به مدارس، مراکز خرید، اداره ها و مناطق مسکونی و ... در نظر گرفتند. اوه و همکارانش بر اساس تجارب گذشته، چهار مدل آماری پواسون، دو جمله ای منفی، پواسون با صفرهای زیاد (ZIP)[۲] و گاما را مورد بررسی قرار دادند و با بررسی داده‌ها مشخص شد که مدل دوجمله ای منفی و ZIP به دلیل پراکندگی کم داده‌ها نتایج خوبی به بار نمی‌آورد. همچنین آنها برای مدل پواسن و گاما، اهمیت آماری متغیرهای توصیفی را برابر ۱۰٪ در نظر گرفتند.

مدل توزیع گاما به صورت زیر توسط وینکلمان و زیمرمان [Winkelmann and Zimmerman, 1995] شرح داده شده است:

$$\Pr[y_i = j] = Gam(\alpha_j, \lambda_i) - gam(\alpha_j + \alpha, \lambda_i) \quad (۱۰)$$

$Gam(\alpha_j, \lambda_i) = 1$ که اگر j=۰

$$Gam(\alpha_j, \lambda_i) = \frac{1}{\Gamma(\alpha_j)} \int_0^{\lambda_i} u^{\alpha_j - 1} e^{-u} du \quad \text{j>۰}$$

$\lambda_i = \exp(\beta X_i)$

تابع متوسط وضعیت به صورت زیر داده می شود:

$$E[y_i \mid X_i] = \sum_{j=1}^{\infty} jGam(\alpha_j, \lambda_i) \quad (۱۱)$$

و تابع توزیع تجمعی نیز به صورت:

$$F(T|\alpha, \lambda_i) = \int_0^T \frac{\lambda_i^{\alpha j}}{\Gamma(\alpha j)} u^{\alpha j - 1} e^{-\lambda_i u} du, \alpha > 0, \lambda_i > 0$$
$$= \frac{1}{\Gamma(\alpha j)} \int_0^{\lambda_i T} u^{\alpha j - 1} e^{-u} du, \; j = 0,1,\ldots$$
$$= Gam(\alpha j, \lambda_i T) \quad (۱۲)$$

است. اوه و همکارانش نتایجی به شرح جدول (۳) را برای مدل گاما به دست آوردند.

جدول ۳. ضرایب مدل پیش‌بینی تصادفات گاما [Oh et al, 2006]

ضریب	متغیرهاXi
-۳/۴۳۸	مقدار ثابت
۰/۲۳۰	ADT
۰/۰۰۴	متوسط ترافیک روزانه ریلی
۰/۶۵۱	واقع شدن در منطقه تجاری
۰/۰۰۱	فاصله آشکارساز قطار
۰/۰۰۴	فاصله زمانی بین فعال سازی وسایل هشداردهنده و راهبندها (برحسب ثانیه)
-۱/۵۸	وجود سرعت گیر

A (پارامتر پراکندگی) نیز برابر ۲/۰۶۲ به دست آمده است. از ویژگیها و نتایج مهم این مدل وارد شدن سه مشخصه شامل واقع شدن در منطقه تجاری، فاصلهٔ آشکارساز قطار و زمان فعال‌سازی بین علائم هشداردهنده و راهبند است که در هیچ یک از مدلهای پیشین وارد نشده است. از معایب مدل گاما سختی محاسبات آن است.

۲-٦ مدل گیتلمان[۳]، هکرت[٤] و کوهن[٥]

گیتلمان و همکارانش [Gitelman et al., 2006] با مطالعهٔ مدلهای پیشین و بررسی تصادفها در سالهای ۱۹۹۵-۱۹۹۹، مدل پواسون را برای پیش‌بینی تعداد تصادفات در گذرگاهها انتخاب کردند. به این ترتیب مدل به صورت زیر ساخته شده است:

$$\lambda = Exp(-5.904 + 1.183P + 0.426V + 0.876T - 0.6TP) \quad (۱۳)$$

در این رابطه: λ=تعداد مورد انتظار تصادفات در یک گذرگاه در هر سال، P=سطح حفاظت (P=۱ برای گذرگاهها با راهبند یا چراغ چشمک زن و P= ۰ برای دیگر حالات)، V= طبقه حجم ترافیک که عددی بین ۱ تا ۵ است. (برطبق ۵ مقدار ارائه شده در جدول (٤))، T=طبقه تعداد قطارها که عددی بین ۱ تا ۷ است. (بر طبق ۷ مقدار ارائه شده در جدول (٤)). گیتلمان و همکارانش [Gitelman et al., 2006] سطح ۵٪ را برای معنی‌دار بودن متغیرهای توصیفی در نظر گرفتند.

۲-۷ دیگر مدلهای پیش بینی تصادف

مدل کولمان- استوارت [Coleman and Stewart, 1976]، شاخص خطر نیوهمپشیر[٦] [FHWA, 2007]، مدل تصادف ایلینویز [Elzohairy and Benekohal,2000]، مدل پیش‌بینی تصادف بیزین [Washington and Oh, 2006]، مدل درخت سلسله مراتبی [Yan et al, 2010]، و ... از دیگر مدلهای پیش‌بینی فراوانی تصادف در گذرگاههای ریلی- جاده‌ای است که از ذکر آنها به دلیل گستردگی مطلب چشم پوشی می‌شود.

جدول ٤. طبقات مختلف ویژگی‌های گذرگاهها برای ارزیابی ایمنی و شاخص‌های مطابق آن. [Gitelman et al., 2006]

ویژگی گذرگاه	طبقه	ویژگی گذرگاه	طبقه
نامنظم	تعداد قطارها در روز	≤۱/۰	حجم ترافیک وسیله نقلیه (۱۰۰۰ در روز)
≤۱۰		۱/۰-۵/۰	
۱۰-۳۰		۵/۰-۱۰/۰	
۳۰-۵۰		۱۰/۰-۲۰/۰	
۵۰-۸۰		≥۲۰/۰	
۸۰-۱۱۰			
≥۱۱۰			

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 [Nirumand, 1384]. یکی از کاربردهای رگرسیون ارائه مدلهای پیش‌بینی تصادف است. تصادفات در مقایسه با هر پدیده اجتماعی دیگری، از ماهیت بسیار اتفاقی‌تری برخوردار است. هرچند پیش‌بینی یک رویداد واحد غیرممکن است، اما مجموع چنین رویدادهایی ممکن است به طریق کاملاً قابل پیش‌بینی عمل کند، به طوری که 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

پژوهشگران 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 به صورت:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (۱٤)$$

است که Y_i متغیر وابسته فراوانی تصادفات، x_1، x_2، x_3، ... ، x_k متغیرهای مستقل (حجم ترافیک، ویژگی‌های هندسی و ...) و ε عبارت خطاست [Greene, 1993].

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 پژوهشگران در سالهای اخیر برای پیش‌بینی تصادفات از مدلهای دیگری استفاده کرده‌اند.

۳-۲ مدل رگرسیون پواسون

به دلیل مشکلات مدل رگرسیون خطی بسیاری از پژوهشگران [Hauer an Persaud,1987 and Saccomanno et al.,

2004] برای پیش‌بینی بهتر تصادفات از مدل پواسون استفاده کرده‌اند. مدل پواسون به دلیل ماهیت گسسته، غیرمنفی و گاهی اوقات نادر بودن تصادفات بکار گرفته می‌شود [Oh et al., 2006]. ضرایب تخمینی در مدل پواسون با استفاده از روش‌های "ماکزیمم احتمال استاندارد" تخمین زده می‌شود. مدل پواسون به صورت:

$$P(y_i) = \frac{e^{(-\lambda_i)(\lambda_i^{y_i})}}{y_i!} \qquad (۱۵)$$

است 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 است:

$$\lambda_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_k x_k)} \qquad (۱۶)$$

یا به عبارتی:

$$\log \lambda_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_k x_k \qquad (۱۷)$$

که در آن x_i مشخصات مستقل تصادف و b_i ضرایب تخمینی است. ضرایب تخمینی در مدل پواسون با استفاده از روشهای احتمال بیشینه تخمین زده می‌شوند. تابع احتمال برای مدل رگرسیون پواسون به صورت زیر داده شده است:

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\exp[-\exp(\beta X_i)][\exp(\beta X_i)]^{y_i}}{y_i!} \qquad (۱۸)$$

یک ویژگی مهم توزیع پواسون آن است که متوسط و واریانس توزیع باید با هم برابر باشد [Lord et al.,2004; Greene, 1993].

$$E[Y_i] = \text{var}[Y_i] \qquad (۱۹)$$

در صورتی که میانگین داده‌ها بیشتر از واریانس باشد، داده‌ها پراکندگی کم، و در صورتی که میانگین از واریانس بیشتر باشد، داده‌ها پراکندگی زیاد دارند. 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.

$$\log \lambda_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_k x_k + \varepsilon \qquad (۲۰)$$

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

$$\text{var}[Y_i] = E[Y_i][1 + \alpha E[Y_i]] \qquad (۲۱)$$

در صورتی که مقدار α به صفر نزدیک باشد مدل دوجمله‌ای منفی به پواسون تبدیل می‌شود [Greene, 1993].

۳-۴ ضابطه نیکویی برازش

معیارهای کلی دقت تناسب مدل پواسون و دوجمله‌ای منفی، انحراف[۷] و کی‌دوی پیرسون[۸] است. اگر مدل آماری درست باشد هر دو مقدار به صورت آمارهٔ χ^2 با $n-p$ درجه آزادی (df) توزیع شده است که n تعداد نمونه و p تعداد متغیرهای واردشده در مدل است. بنابراین اگر مدل رگرسیون مناسب باشد، مقدار مورد انتظار هر دو آمارهٔ انحراف و کی‌دوی پیرسون برابر با $n-p$ است، یا به عبارت دیگر هر دو معیار انحراف مقیاس‌بندی شده[۹] و کی‌دوی پیرسون مقیاس‌بندی شده[۱۰] یک یا نزدیک به یک است ($\frac{\chi^2}{df}$). در غیر این‌صورت باید در اعتبار مدل شک کرد [Niroumand, 2005].

٤. 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 ااص محل گذرگاه و نوع همسطح‌سازی آن است [Iran Rai - way. Department of Lines and Buildings, 2004].

این اطلاعات اگرچه بسیار ارزشمند است، اما نقایصی نیز 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 [Sharafoddin, 2005]. طبق اظهار کارشناسان اداره کل خط و ابنیه برای به دست آوردن تعداد عبور وسایل نقلیه در شبانه‌روز روش آمارگیری دقیق و علمی به دلایل گوناگون استفاده نشده است و این آمار برپایه آمارگیری در طول ساعاتی محدود و نیز بر پایه تجربهٔ کارشناسان و راهداران گذرگاهها بوده است. اگرچه این امر باعث تردید در صحت تعداد عبور وسایل نقلیه در شبانه‌روز از گذرگاه شده است اما به علت عدم وجود اطلاعات دقیق‌تر از این داده‌ها در تحقیق حاضر نیز استفاده شده است. لازم به ذکر است در تحقیقی میزان AADT تعدادی ازگذرگاههای ناحیه تهران به طور دقیق آمارگیری و محاسبه شده است که مقایسه این آمار با میزان عبور وسایل نقلیه که در آمار اداره کل خط و ابنیه ذکر شده نشان می‌دهد دقت آمار ذکر شده در اطلاعات شاخص خطر گذرگاهها تاحدودی مناسب است.[Transport Research Inst., 2004].

اداره کل ایمنی سیر و حرکت، متولّی جمع‌آوری اطلاعات مربوط به انواع حوادث و سوانح در راه‌آهن است. 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. بر اساس کیلومتراژ محل سانحه و شرح مختصر سانحه با فهرست گذرگاه‌ها تطبیق داده شد [Iran Railway, Department of Safety and Move-ment, 2008]. تصادفات سالهای ۱۳۸۱-۱۳۸۵ برای مدل‌سازی بکارگرفته شد. استفاده از اطلاعات قدیمی‌تر به دلیل احتمال زیاد تغییر مشخصات گذرگاهها مناسب نیست.

طبق آخرین آمار (آمار سال ۱۳۸۶) ۳۰۳ گذرگاه شامل گذرگاههای با راهبند، بدون راهبند و غیرمجاز وجود دارد. با بررسی شناسنامه گذرگاههای کشور و اطلاعات وقوع تصادف در گذرگاهها از میان کلیه گذرگاههای کشور، ۲۵۲ گذرگاه اطلاعات کاملی داشتند که برای مدل‌سازی در این بخش بکار برده شده اند. 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. به این ترتیب گذرگاهها به صورت اتفاقی به دو دستهٔ ۲۰۰تایی برای ایجاد مدل و ۵۲ تایی برای معتبرسازی مدل تقسیم شدند. جدول (۵) خلاصه‌ای از وضعیت مشخصات این گذرگاه‌ها را نشان می‌دهد.

۵. مدل‌سازی

۵-۱ ایجاد مدل

برای مدل‌سازی از نرم‌افزار SAS نسخهٔ ۹/۱ استفاده شده است. پس از انتخاب عوامل مؤثر و تخصیص اطلاعات به هر گذرگاه، جدول اطلاعاتی ویژگیهای گذرگاه به نرم افزار SAS معرفی شد. در این نرم‌افزار اصول احتمال بیشینه برای تخمین ضرایب مدل رگرسیون خطی تعمیم یافته با استفاده از Proc genmod این نرم‌افزار بکار برده شده است. در آنالیز انجام شده توسط این نرم افزار سطح اطمینان ۹۵٪ برای در نظر گرفتن متغیرها در مدل ملاک عمل قرار گرفت. به این ترتیب در هر گام متغیرهایی که خطای آنها از ۵٪ بیشتر است از مدل حذف می‌شوند و مدل در گام بعدی با متغیرهای باقیمانده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

در ۲۰۰ گذرگاهی که به صورت اتفاقی برای مدل‌سازی انتخاب شد، میانگین تصادفات ۰/۵۵ و واریانس آن ۰/۷۲ است که مقدار بسیار کمی با هم اختلاف دارد. در ابتدا مدل پواسون برازش داده شد که نتایج زیر برای آن به دست آمد:

$$E(\mu)=\exp(-2.4964+0.2096\times\ln(V\times T)- \quad (۲۲)$$
$$0.7133\times L+0.8725\times P+0.6556\times S-1.5398\times G)$$

جدول ۵. مشخصات گذرگاه‌های مورد استفاده در مدل‌سازی فراوانی تصادف.

متغیر	توضیح	حداقل	حداکثر	متوسط	انحراف استاندارد
متوسط حجم ترافیک جاده‌ای	وسیله نقلیه در شبانه‌روز	۱۴۴	۴۳۲۰۰	۲۵۴۴/۷۳	۶۱۰۳/۰۹۶
متوسط حجم ترافیک ریلی	قطار در شبانه روز	۶	۴۰	۱۵/۶۹۸۴	۹/۰۹۵۸
تعداد خطوط راه‌آهن	تعداد	۱	۴	۱/۲۹۷۶	۰/۵۸۶۵
تعداد تصادف در گذرگاه‌ها	از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵	۰	۴	۰/۵۱۹۸	۰/۸۶۵۸
عرض جاده	متر	کمتر از ۶ (۴۶/۰۳٪)، ۶-۸ (۳۶/۹٪)، ۸-۱۰ (۸/۷۳٪)، ۱۰-۲۰ (۳/۵۷٪)، بیشتر از ۲۰ (۴/۷۶٪)			
سرعت قطارها	Km/h	V ≥ ۶۰ (۲۵/۷۹٪)، ۶۰<V≤۸۰ (۳۶/۵۱٪)، ۸۰<V≤۱۲۰ (۲۹/۳۷٪)، ۱۲۰<V (۸/۳۳٪)			
زاویه تقاطع	درجه	α=۹۰ (۷۲/۶۲٪)، ۶۰<α<۹۰ (۲۶/۹۸٪)، ۶۰>α (۰/۴۰٪)			
نوع گذرگاه طبق طبقه‌بندی ایران	با راهبند (۵۴/۳۷٪) ، بدون راهبند (۳۳/۳۳٪)، غیرمجاز (۱۲/۳۰٪)				
نوع روسازی جاده	شنی یا خاکی (۳۵/۷۱٪) ، آسفالتی (۶۴/۲۹٪)				
موقعیت گذرگاه	درون شهری (۲۳/۰۲٪) ، برون شهری (۷۶/۹۸٪)				
نوع جاده	اصلی (۲۱/۸۳٪)، فرعی (۱۹/۸۴٪)، روستایی (۵۰/۷۹٪)، اختصاصی (۷/۵۴٪)				
گذرگاه در قوس جاده	وجود قوس (۳۲/۹۴٪)، عدم وجود قوس (۶۷/۰۶٪)				
گذرگاه در قوس خط‌آهن	وجود قوس (۲۳/۰۲٪)، عدم وجود قوس (۷۶/۹۸٪)				
مسافت دید طبق ارزیابی کارشناس	خوب (۵۴/۷۶٪)، متوسط(۳۱/۳۵٪)، کم (۱۳/۸۹٪)				
وجود راهبند	دارد (۵۴/۳۷٪) ، ندارد (۴۵/۶۳٪)				
وجود چراغ چشمک‌زن	دارد (۷/۱۴٪) ، ندارد (۹۲/۸۶٪)				
تابلو تقاطع ریلی- جاده‌ای	دارد (۷۵/۴۰٪) ، ندارد (۲۴/۶۰٪)				
آژیر	دارد (۹/۵۲٪) ، ندارد (۹۰/۴۸٪)				
راهدار	دارد (۵۴/۳۷٪) ، ندارد (۴۵/۶۳٪)				
سرعت‌گیر	دارد (۴۶/۰۳٪) ، ندارد (۵۳/۹۷٪)				
تابلو جاده‌ای ۸۰ متر مانده به گذرگاه	دارد (۵۴/۱۷٪) ، ندارد (۴۶/۸۳٪)				
تابلو جاده‌ای ۱۶۰ متر مانده به گذرگاه	دارد (۴۴/۴۴٪) ، ندارد (۵۵/۵۶٪)				
تابلو جاده‌ای ۲۴۰ متر مانده به گذرگاه	دارد (۴۳/۲۵٪) ، ندارد (۵۶/۷۵٪)				
جزیره یا رفوژ	دارد (۴/۳۷٪) ، ندارد (۹۵/۶۳٪)				
وضعیت شیب	دو سمت جاده بدون شیب و مستقیم (۳۲/۹۴٪)، خط‌آهن در خط‌القعر است (۵/۱۶٪)، خط‌آهن در خط‌الرأس است (۵۳/۵۷٪)، یک سمت جاده بالاتر از خط قرار دارد (۸/۳۳٪)				
تقلیل سرعت در محل گذرگاه	دارد (۶/۷۴٪) ، ندارد (۹۳/۲۶٪)				
نوع هم‌سطح‌سازی	با خاک یا بالاست (۱۹/۸۴٪)، با آسفالت (۳۱/۷۵٪)، با تراورس یا ریل (۳۹/۶۸٪)، با قطعات بتنی (۸/۷۳٪)				

که در آن:

E(m) : فراوانی تصادف مورد انتظاربرای ۵ سال،V: تعداد وسیله نقلیه جاده‌ای در شبانه‌روز،T: تعداد قطار در شبانه‌روز،L: موقعیت گذرگاه (درون‌شهری (۰)، برون‌شهری (۱))،P: نوع سطح روسازی جاده (شنی یا خاکی (۰)، آسفالتی (۱))، S: سرعت قطارها (کمتر از km/h ۶۰ (۰) بیشتر از km/h ۶۰ (۱))، G: وجود راهبند (ندارد (۰)، دارد (۱)).

جدول (۶) نتایج برازش مدل پواسون را به داده‌ها نشان می‌دهد. مقدار آماره t و P- مقدار هر متغیر نشان‌دهنده میزان اهمیت متغیر و معنی‌دار بودن آن از نظر آماری است. قدر مطلق آماره t

کلیه ضرایب تخمین زده شده برای متغیرها بزرگتر از ۱/۹٦ است که نشان می‌دهد ضرایب تخمینی متغیرها در سطح ۹۵ درصد اطمینان، معنی دارهستند. P- مقدار برای هر متغیر نیز نشان دهنده معنی دار بودن ضرایب تخمینی متغیرها در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. معیارهای نیکویی برازش انحراف مقیاس‌بندی شده و پیرسون مقیاس‌بندی شده نیز به ترتیب ۰/۹٤۳۲ و ۱/۰۵۷۲ به دست آمده است. که از آنجا که به یک بسیار نزدیک است نشان‌دهنده خوبی برازش مدل است. سپس مدل دوجمله‌ای منفی بکاربرده شد که نتایج زیر به دست آمد:

$$E(\mu)=\exp(-2.4943+0.2074\times\ln(V\times T)- \quad (۲۳)$$
$$0.7061\times L+0.8752\times P+0.6627\times S-1.5270\times G)$$

متغیرهای این مدل همان متغیرهای مدل پواسون است. معیارهای نیکویی برازش انحراف مقیاس‌بندی شده و پیرسون مقیاس‌بندی شده برای این مدل نیز به ترتیب ۰/۹٦۵۹ و ۱/۰۷۸٤ به دست آمده است که از آنجا که به یک بسیار نزدیک است نشان‌دهندهٔ خوبی برازش مدل است.

با تقسیم تعداد تصادفات به دست آمده بر ۵ سال می‌توان متوسط تصادف احتمالی در سال بعد را پیش‌بینی کرد. لازم به ذکر است که وارد نشدن عواملی همچون وجود چراغ چشمک زن، سرعت‌گیر، تعداد خطوط راه‌آهن و غیره... به این معنی نیست که این عوامل بر تعداد تصادفات اثرگذار نیستند، بلکه از آن جهت که مثلاً تعداد گذرگاهها با چراغ‌چشمک زنِ کمی وجود دارد در مدل وارد نشده است.

از آنجا که وجود راهبند بر تعداد تصادفات اثر بسیار زیادی دارد، در ادامه با جدا کردن داده‌های گذرگاههای با راهبند و بدون راهبند دو مدل تصادف جداگانه ساخته شدند، امّا برای گذرگاههای باراهبند تنها سه مشخصهٔ تعداد وسیله نقلیه جاده‌ای در شبانه‌روز ، تعداد قطار در شبانه‌روز و موقعیت گذرگاه و برای گذرگاههای بدون راهبند تنها چهار مشخصهٔ تعداد وسایل نقلیه عبوری، تعداد قطارهای عبوری، سرعت قطار و وجود تابلو هشداردهنده در ۲٤۰ متری گذرگاه معنی‌دار شناخته شد. همچنین معیارهای نیکویی برازش برای این مدلها نسبت به مدل کلّی نتایج ضعیف‌تری را نشان داد. به عنوان مثال معیار انحراف مقیاس بندی شده برای مدل پواسون گذرگاه‌های باراهبند و بدون راهبند به ترتیب ۰/۸۵ و ۱/۱۷ به دست آمد که نسبت به ۰/۹٤ که برای مدل (۲۲) حاصل شده است از یک دورتر است، بنابراین این مدلها از اعتبار کمتری برخوردار بوده و در اینجا به آنها پرداخته نمی شود. مقایسه ضرایب مدل پواسون (فرمول ۲۲) و دوجمله‌ای منفی (۲۳)

جدول ٦. نتایج مدل پیش‌بینی تصادف پواسون

متغیرهای مستقل	ضریب تخمینی	انحراف استاندارد	آماره t	P مقدار
ضریب ثابت	-۲/٤۹٦٤	۰/۸٦۰۱	-۲/۹۰۲	۰/۰۰۳۷
(تعداد وسایل نقلیه جاده‌ای در شبانه‌روز × تعداد قطارهای عبوری در شبانه روز)ln	۰/۲۰۹٦	۰/۰۸٤۲	۲/٤۸۹	۰/۰۱۲۸
موقعیت گذرگاه	-۰/۷۱۳۳	۰/۲٦۰۰	-۲/۷٤۳	۰/۰۰٦۱
نوع سطح روسازی جاده	۰/۸۷۲۵	۰/۲٦۸٤	۳/۲۵۱	۰/۰۰۱۲
سرعت قطارها	۰/٦۵۵٦	۰/۲۵۵۲	۲/۵٦۹	۰/۰۱۰۲
وجود راهبند	-۱/۵۳۹۸	۰/۲٦٤۱	-۵/۸۳۰	۰/۰۰۰۱
تعداد نمونه	۲۰۰			
لگاریتم درستنمایی	-۱٤۵/۸۷۹۱			
انحراف مقیاس‌بندی شده	۰/۹٤۳۲			
پیرسون مقیاس‌بندی شده	۱/۰۵۷۲			

و ضریب پراکندگی مدل دوجمله‌ای منفی که برابر ۰/۰۳۹۶- به دست آمده است نشان می‌دهد که هر دو مدل به هم بسیار نزدیک اند. در واقع به دلیل نزدیک بودن واریانس و میانگین داده‌ها، مدل دوجمله‌ای منفی به مدل پواسون بسیار نزدیک شده است.

برای مقایسه دو مدل مسئلهٔ پراکندگی زیاد مورد آزمون قرار می‌گیرد. در اینجا آزمون فرض این است که H_0:a=0 باشد. به‌این منظور از آمارهٔ نسبت درست‌نمایی (TLR) استفاده می‌شود. آمارهٔ نسبت درست‌نمایی[11] برابر با منفیِ دوبرابر اختلافِ لگاریتم درست‌نمایی[12] متناسب شدهٔ دو مدل است [Cameron and Trivedi, 1998; Donnell et al., 2006].

به این ترتیب TLR برای دو مدل (۲۲) و (۲۳) برابر است با:

$TLR= -2[-145/8791 -(-145/8471)] =0/064$

که کمتر از ۱٪ مقدار بحرانی $\chi^2_{0.99}(1) = 5.41$ می‌باشد و در نتیجه فرض H_0 تأیید می‌شود و مدل پواسون انتخاب می‌شود.

۵-۲ اعتباریابی مدل

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

برای بررسی صحت مدلها از آزمون T-test استفاده شد. برای این منظور جامعه آماری از گذرگاهها که در مدل‌سازی وارد نشده است(۵۲ گذرگاه) را در نظر گرفته و با استفاده از مدلهای برازش داده شده، تعداد تصادفات رخداده در آنها پیش‌بینی می‌شود. آزمون T-test میانگین دو گروه از تصادفات پیش بینی شده و تصادفات مشاهده شده در تقاطعها را به منظور تعیین این که آیا تفاوتهای قابل ملاحظه‌ای بین میانگین دو گروه وجود دارد یا خیر، مقایسه می‌کند. خلاصه نتایج آزمون T-test در جدول (۷) آورده شده است. اگر P- مقدار 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 است.

۶. بحث و بررسی

در مدل (۲۲) ضرایب مثبت نشان‌دهنده آن است که با افزایش آن متغیر تعداد تصادفات افزایش می‌یابد و ضریب با علامت منفی نشان‌دهندهٔ آن است که با افزایش مقدار آن مشخصه، تعداد تصادفات کاهش می‌یابد.

همان گونه که از لحاظ مهندسی موردانتظار است، با افزایش تعداد وسایل نقلیه عبوری و تعداد قطارهای عبوری خطر احتمال تصادف افزایش می‌یابد. مقدار این افزایش به این صورت است که با n برابر شدن تعداد قطارها و یا خودروهای عبوری تعداد تصادفات $n^{0.096}$ برابر می‌شود.

طبق ضریب موقعیت گذرگاه، درون‌شهری بودن گذرگاه موجب بالا رفتن احتمال برخورد می‌شود که این نتیجه نیز با ارزیابی مهندسی منطبق است. اوه و همکارانش [Oh et al., 2006] نیز این نتیجه را ذکر کرده‌اند که در مناطق شهری که کاربری تجاری زیادی نیز وجود دارد تعداد تصادفات افزایش می‌یابد که به وجود عوامل بیشتر برای حواس‌پرتی رانندگان مربوط می‌شود.

همچنین طبق مدل (۲۲)، آسفالت بودن جاده باعث تصادف بیشتر می‌شود. این نتیجه به طور مستقیم شاید از لحاظ مهندسی بی‌معنی باشد، اما مسلماً آسفالت بودن سطح جاده باعث سرعت بیشتر وسایل نقلیه می‌شود که کاملاً با تصادف بیشتر منطبق است. در مشخصات گذرگاهها سرعت وسایل نقلیه جاده‌ای تعریف نشده

جدول۷. نتایج آزمون T-test برای معتبرسازی مدل پیش‌بینی فراوانی تصادف.

مدل	آزمون برای فرض برابری واریانس‌ها			T-test		
	F	P-value	نتیجه	T	P-value	نتیجه
پواسون (فرمول ۲۲)	۱۵/۳۵۷	۰/۰۰۰	واریانس دو جامعه مساوی نیست	۰/۲۵۷	۰/۷۹۸	مدل معتبر است.

بود. ساکومانو و همکارانش [Saccomanno et al., 2007] نیز سرعت جاده‌ای را به عنوان یک عامل اثرگذار بر تعداد تصادف در مدل خود ذکر کرده‌اند. در مدل آستن و کارسون [Austin and Carson, 2002] نیز نوع روسازی جاده به عنوان یک مشخصه مهم آورده شده است. از آنجا که با آسفالت کردن جاده، انتظار می رود تصادفات افزایش یابند، در صورتی که بخواهیم سطح ایمنی کاهش نیابد، باید تمهیدات ایمن‌سازی مانند بهبود علائم هشداردهنده، استفاده از وسایل آرام‌سازی ترافیک و ... اندیشیده شود.

طبق مدل (۲۲)، بیشتر شدن سرعت قطارها از ۶۰km/h باعث افزایش تعداد تصادف می‌شود که طبق ارزیابی مهندسی نیز افزایش سرعت قطار به علت لزوم مسافت دید بیشتر و فرصت کمتر برای تصمیم‌گیری رانندگان باعث افزایش تعداد تصادف می‌شود. در مدلهای اداره حمل و نقل ایالات متحده، آستن و کارسون [Austin and Carson, 2002] و ساکومانو و همکارانش [Saccomanno et al., 2004] نیز، افزایش سرعت قطارها، موجب افزایش تعداد تصادف می‌شود.

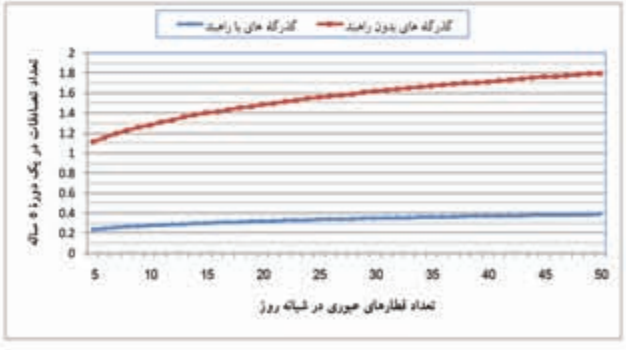
در نهایت طبق ضریب به دست آمده، وجود راهبند باعث کاهش تصادف می‌شود که امری آشکار است و درتمامی مدلهای پیش‌بینی تصادف دیگر پژوهشگران نیز همین نتیجه گرفته شده است.

با محاسبه فراوانی تصادف مورد انتظار برای گذرگاههای مختلف، گذرگاههای با خطر بیشتر را می توان شناسایی کرد. امّا معرفی نقاط حادثه-خیز تنها هدف و مزیّت معرفی مدلهای پیش‌بینی فراوانی و شدّت تصادفات نبوده است. بابررسی و آنالیز حساسیت مدلها به نتایج جالب‌تری می‌توان دست یافت.

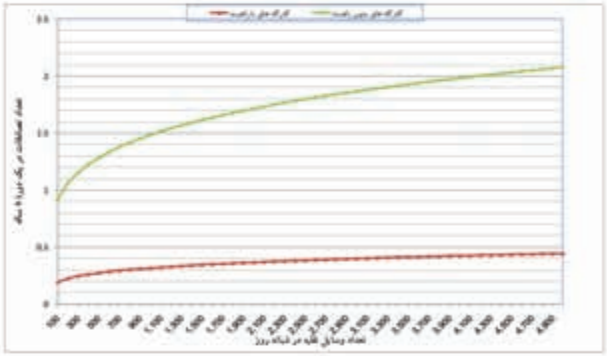
شکل (۱) میزان تغییر تعداد تصادفات با تعداد قطارهای عبوری و شکل (۲) میزان تغییر با تعداد وسایل نقلیه در شبانه‌روز را برای دو نوع گذرگاه با راهبند و بدون راهبند نشان می‌دهد. نتایج زیر به گونه ای آشکار از این نمودارها مشخص است:

تعداد تصادفات در گذرگاههای با راهبند بسیار پایین‌تر از گذرگاه‌های بدون راهبند است. میزان این تفاوت برابر٪۷۸/۵ ($1-e^{-1/5398}$) است. به این ترتیب با نصب راهبند در یک گذرگاه فاقد آن شاهد کاهش ۷۸/۵ درصدی تعداد تصادفات خواهیم بود. شیب نمودارها در مقادیر کمتر بیشتر است. به این معنی که مثلاً با افزایش تعداد وسایل نقلیه از ۴۰۰ به ۵۰۰ نسبت به اینکه تعداد وسایل نقلیه از ۱۴۰۰ به ۱۵۰۰ تغییر کند، تعداد تصادفات افزایش بسیار بیشتری خواهد داشت.

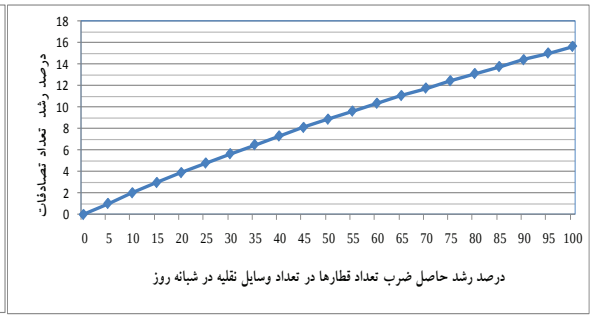
شکلهای ۳ و ٤ درصد رشد تعداد تصادفات را با رشد تعداد وسایل نقلیه جاده‌ای و قطارها نشان می‌دهد. همان‌گونه که اشاره شد با n برابر شدن تعداد قطارها یا وسایل‌نقلیه عبوری، تعداد تصادفات $n^{0.096}$ می‌شود. همچنین اگر فرض شود که رشد وسایل‌نقلیه در کشور در سالهای آتی مثلاً ۵ درصد باشد، و با فرض توزیع یکنواخت وسایل‌نقلیه در سطح کشور و در انواع



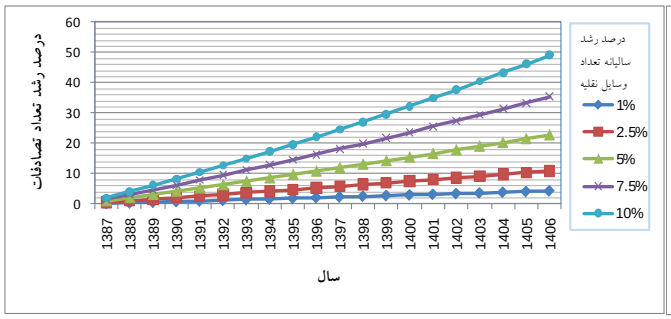
شکل ۱. روند تغییر تعداد تصادفات با تعداد وسایل نقلیه عبوری در شبانه روز بر اساس مدل۲۲. (محاسبه شده با: تعداد وسایل‌نقلیه عبوری در شبانه-روز=۱۰۰۰، موقعیت گذرگاه برون‌شهری،متوسط سرعت قطارها بیش از km/h۶۰، نوع روسازی جاده= آسفالتی)



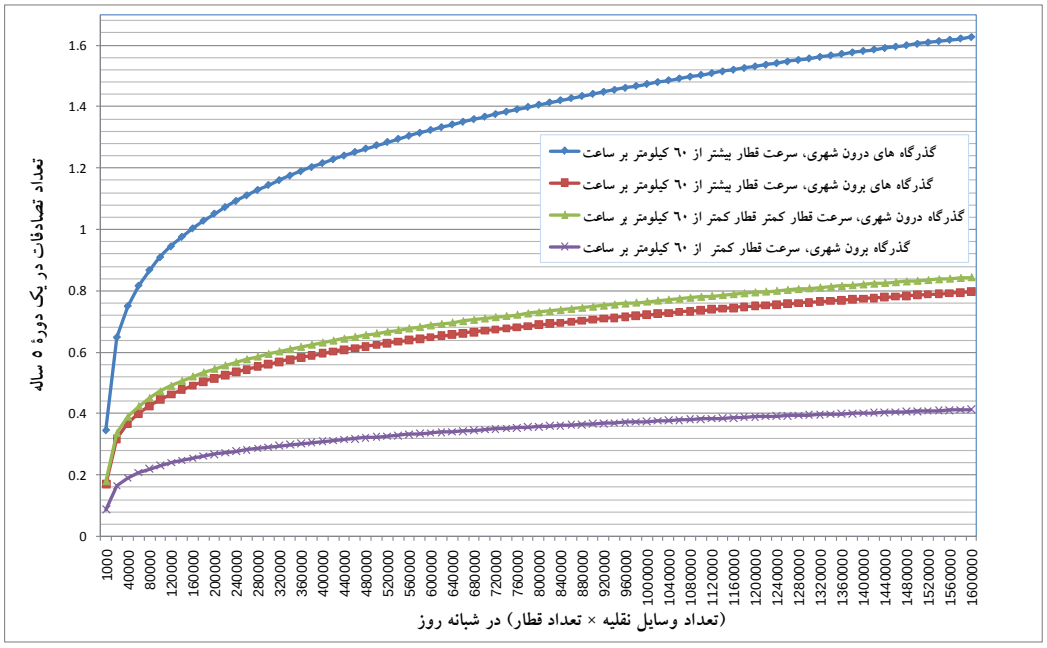
شکل ۲. روند تغییر تعداد تصادفات با تعداد وسایل نقلیه عبوری در شبانه روز بر اساس مدل ۲۲. (محاسبه شده با: تعداد قطارهای عبوری در شبانه‌روز=۲۰، موقعیت گذرگاه برون‌شهری،متوسط سرعت قطارها بیش از km/h۶۰، نوع روسازی جاده= آسفالتی)



شکل ۳. روند درصد رشد تعداد تصادفات با درصد رشد حاصلضرب تعداد قطارها در وسایل‌نقلیه عبوری بر اساس مدل ۲۲ (با فرض عدم تغییر دیگر متغیرها)



شکل ٤. درصد رشد تعداد تصادفات با درصد رشد سالیانه تعداد وسایل‌نقلیه جاده‌ای بر اساس مدل ۲۲. (بافرض عدم تغییر دیگر مشخصات گذرگاه‌ها)



شکل ۵. روند افزایش تعداد تصادفات بر حسب موقعیت گذرگاه، سرعت قطارها و مقدار ترافیک بر اساس مدل۲۲. (محاسبه شده با: نوع روسازی جاده= آسفالتی، نوع گذرگاه‌ها= با راهبند)

راه‌ها، و ثابت ماندن دیگر مشخصات (تعداد گذرگاه‌ها، تعداد قطارهای عبوری، درصد گذرگاه‌های با راهبند و ...) در سال ۱۳۹۷ با ۱۰/۸ درصد رشد تصادفات نسبت به سال ۱۳۸۷ مواجه خواهیم بود. شکل ۵ نیز افزایش تصادفات را با موقعیت گذرگاه و متوسط سرعت قطارها نشان می‌دهد. یک نتیجهٔ بسیار مهم، همان طور که در شکل دیده می‌شود این است که تعداد تصادفات گذرگاههای شهری با سرعت قطارهای عبوری کمتر از km/h٦٠ به تعداد تصادفات در گذرگاه‌های برون‌شهری با سرعت قطارهای بیش از km/h٦٠ نزدیک است. این به آن معنی است که اگر در گذرگاههای شهری سرعت قطارها به کمتر از km/h٦٠ کاهش داده شود (تقلیل سرعت)، اثر شهری بودن گذرگاه از بین می‌رود.

۷. نتیجه‌گیری

شناسایی گذرگاههای پرخطر به منظور بهسازی سریع و تخصیص بهینه منابع و امکانات محدود راهکاری اساسی برای کاهش اثرات زیانبار تصادفهاست. یکی از روشهای شناسایی نقاط حادثه‌خیز گذرگاهها، پیش‌بینی فراوانی وقوع تصادف برحسب مشخصات ترافیکی، هندسی و تاریخچه تصادفات در گذرگاههاست. در این

تحقیق با استفاده از مشخصات گذرگاهها و اطلاعات تصادفات در سالهای گذشته رابطه (۲۲) به عنوان مدل پیش‌بینی فراوانی وقوع تصادف معرفی شد. با بررسی مدلهای پیشین و مدل ایجاد شده بر مبنای داده‌های گذرگاههای ایران نتایج زیر استنباط می‌شود:

۱- مشخصات جمع‌آوری شده در شناسنامه گذرگاههای ایران اگرچه اطلاعات بسیار ارزشمندی است، اما عواملی همچون کاربری زمینهای مجاور، فاصله دید به صورت کمّی، تعداد عبور قطار به تفکیک نوع قطار و زمان روز یا شب و ... باید اضافه شود.

۲- در مدل پیش‌بینی فراوانی تصادف ارائه شده شش عامل از نظر آماری با اهمیت تشخیص داده شد که این عوامل با استنباط مهندسی و مدل‌های دیگر پژوهشگران کاملاً هماهنگ است.

۳- با استفاده از مدل ارائه شده می‌توان تعداد تصادفات را در سال‌های آینده پیش‌بینی کرد. به این ترتیب این مدل به عنوان معیاری برای اولویت‌بندی گذرگاهها می‌تواند استفاده شود. همچنین با تعیین هزینه متوسط تصادفات می‌توان از این پیش‌بینی برای توجیه پروژه‌های بهسازی از جمله غیرهمسطح کردن گذرگاه استفاده کرد.

٤- طبق مدل، استفاده از راهبند و تقلیل سرعت قطارها و وسایل نقلیه اثر بالایی بر کاهش تعداد تصادفات دارد. مثلاً استفاده از راهبند باعث کاهش ۵/۷۸ درصدی تعداد تصادفات می‌شود. البته وارد نشدن عواملی همچون وجود چراغ‌چشمک‌زن، سرعت‌گیر، تعداد خطوط راه‌آهن و ... به این معنی نیست که این عوامل بر تعداد تصادفات اثرگذار نیست، بلکه از آن جهت که مثلاً تعداد گذرگاهها با چراغ‌چشمک زنِ کمی وجود دارد در مدل وارد نشده است.

۵- از لحاظ تعداد مشخصه‌های وارد شده در مدل، مدل ارائه شده نسبت به مدلهای پی‌بادی دمیکل [FHWA, 2007] و مدل گیتلمان- هکرت وکوهن [Gitelman et al., 2006] متغیرهای بیشتری را داراست. تعداد متغیرها با مدل پیش‌بینی تصادف کانادا [Saccomanno et al., 2004] و مدل اوه و همکارانش [Oh et al., 2006] برابر و نسبت به مدل اداره حمل و نقل ایالات متحده [FHWA, 2007] و مدل آستن و کارسون [Austin and Carson, 2002] متغیرهای کمتری را داراست. دلیل بیشتر بودن تعداد متغیرهای مدل اداره حمل و نقل ایالات متحده و آستن و کارسون می‌تواند ناشی از بیشتر بودن تعداد گذرگاه‌ها برای ایجاد مدل باشد. البته برای ایجاد مدل ارائه شده بیش از ٦۵ درصد گذرگاه‌های کشور در نظر گرفته شده است که نمونه بزرگی از کل جامعه است. این در حالی است که مدلهای دیگر، نمونه‌های کوچک تری را انتخاب کرده‌اند، به عنوان مثال اوه و همکارانش برای ایجاد مدل، ۱۰ درصد (١٦٢ گذرگاه) گذرگاههای کره جنوبی را در نظر گرفته‌اند.

۸. پی نوشتها

1- Peabody Dimmicle
2- Zero Inflated Poisson
3- Gitelman
4- Hekkert
5- Cohen
6- New Hampshire
7- Deviance
8- Pearson Chi- Square
9- Scaled Deviance
10- Scaled Pearson Chi- Square
11- Likelihood Ratio
12- Log Likelihood

۹. مراجع

پژوهشکده حمل و نقل (۱۳۸۳) "بررسی وضعیت ایمنی و ارائه دستورالعمل ایمن سازی گذرگاههای ریلی در ایران"، وزارت راه و ترابری، پژوهشکده حمل ونقل.

ذاکری، جبارعلی (۱۳۸۵) "شناسایی گذرگاه های پرخطر ریلی- جاده‌ای بر اساس شاخص خطر"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال سوم شماره۳، ص. ۲۲۳-۲۳۰.

راه آهن ایران. اداره کل خط و ابنیه راه آهن (۱۳۸۳)، "شناسنامه گذرگاهها"، اداره کل خط و ابنیه راه آهن.

راه آهن ایران. اداره کل ایمنی سیر و حرکت (۱۳۸۷)، "آمار سوانح

برخوردی"، راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، اداره کل ایمنی سیر و حرکت.

شرف‌الدین، مهدی (۱۳۸٤)، "محاسبه شاخص ریسک برای گذرگاه‌های هم‌سطح در ادارات کل راه‌آهن"، راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، اداره کل خط و ابنیه فنی راه‌آهن.

نیرومند، حسنعلی (مترجم) (۱۳۸٤) " الگوهای خطی تعمیم‌یافته با کاربردهای آن در علوم و مهندسی"، نوشته ریموند میرز. اچ، مونتگمری داگلاس. سی و وینینگ جی. جنوفری، ترجمهٔ حسنعلی نیرومند، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

Austin, R. and Carson, J. (2002) "An alternative accident prediction model for highway-rail interfaces". Journal of Accident Analysis and Prevention, Vol. 34, pp. 31–42.

Cameron, A. C. and Trivedi, P.K. (1998) "Regression analysis of count data", Econometric Society Monographs No. 30, Cambridge University Press, New York.

Coleman, J. and Stewart, G. R. (1976) "Investigation of accident data for railroad- Highway grade crossings", Journal of Transportation Research Record, No. 611, pp. 60-67.

Donnell. Eric T. and Mason Jr, John M. (2006) "Predicting the frequency of median barrier crashes on Pennsylvania Interstate Highways", Journal of Accident Analysis and Prevention , 38, pp.590–599.

Elzohairy Y. M. and Benekohal, R. F. (2000) "Evaluation of expected accident frequency formulas for rail-highway crossings", Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois, Report No. ITRC FR 98-2.

FHWA (Federal Highway Administration) (2007) "Railroad-highway grade crossing handbook, second revised edition 2007", FHWA-SA-07-010, Washington DC 20590.

Federal Railroad Administration [FRA] (1999) "Railroad safety statistics annual report". Washington: Federal Railroad Administration, Ch. 1:7.

Gitelman. V., Hakkert, A. S., Doveh, E. and Cohen, A. (2006) "Screening tools for considering grade separation at rail-highway crossings" , Journal of Transportation Engineering, Vol. 132, No. 1. pp. 52-59.

Greene, W. (1993) "Econometric analysis", Macmillan Publishing, New York.

Hauer, E. and Persaud, B. (1987) "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.

Lord, D., Washington, S. and Ivan, J. (2005) "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.

Oh. Jutaek , Washington, S. and Doohee, N. (2006) "Accident prediction model for railway-highway interfaces", Journal of Accident Analysis and Prevention, Vol. 38, pp. 346–356.

Qureshi, Mohammad, Virkler, Mark R., Bernhardt Kristen et al (2003) "Highway/ rail crossing project selection", University of Missouri-Rolla, UTC R60.

Saccomanno, F. F., Fu, Liping and Miranda, M. F. (2004) "Risk- based model for identifying highway-rail grade crossing black spots", Journal of Transportation Research Record, No. 1862, pp. 127-135.

Saccomanno. F. F., Park, Y. J. and Fu, L. (2007) "Estimating countermeasure effects for reducing collisions at highway–railway grade crossings", Journal of Accident Analysis and Prevention, 39, pp.406–416.

Washington, S. and Oh, J. (2006) "Bayesian methodology incorporating expert judgment for ranking countermeasure effectiveness under uncertainty: Example applied to at- grade railroad crossings in Korea", Journal of Accident Analysis and Prevention, 38, pp.234–247.

Winkelmann, R. and Zimmermann, K. (1995) "Recent developments in count data modeling: theory and applications". Journal of Economic Surveys, 9, pp.1–24.

Yan X., Richards, S. and Su, X. (2010) "Using hierarchical tree-based regression model to predict train–vehicle crashes", Accident Analysis and Prevention, 42, pp. 64–74.

Zakeri , Jabbar Ali (2004) "Iranian railways strategies for reducing risks of accident in crossings", 8th International Level Crossing Symposium, Sheffield University, UK.