

## غربال‌سازی معابر پرخطر با استفاده از روش سطح پروژه‌ی بیز تجربی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

### مقاله پژوهشی

ابوالفضل محمدزاده مقدم\*، دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
اسماعیل آیتی، استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
حمیدرضا بهنود، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران  
حسین رئیس‌یان‌زاده، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ab-moghadam@um.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۴/۲۸ - پذیرش: ۹۹/۱۱/۰۵

صفحه ۱۵۹-۱۴۵

### چکیده

یکی از مهمترین ارکان سیستم مدیریت ایمنی راه، غربال‌سازی نقاط پرخطر است. این امر می‌تواند در سطح قطعات راه و یا سطح پروژه انجام گیرد. در بسیاری از موارد، بخصوص مسائل تخصیص بهینه بودجه ایمنی بین راه‌های یک حوزه، تعیین اولویت بازرسی معابر، توزیع نیروهای اورژانس و پلیس در ایام خاص و یا نبود اطلاعات دقیق در سطح قطعه راه می‌تواند با استفاده از روش پیچیده‌تری از بیز تجربی تخمین مناسبی از تصادفات را در سطح پروژه (معابر) به دست آورد و معابر یا محورهای پرخطر را شناسایی نمود. این تحقیق به غربال‌سازی معابر پرخطر استان خراسان رضوی بر مبنای اطلاعات تصادفات جرحی و فوتی سال‌های ۱۹۱۳ و ۹۲ با استفاده از روش بیز تجربی سطح پروژه پرداخته است. در این مطالعه توابع عملکرد ایمنی بوسیله روش مدل تعمیم یافته خطی با در نظر گرفتن توزیع دو جمله‌ای منفی برای تصادفات فوتی و جرحی به طور جداگانه با شناسایی ۶۹ قطعه همگن برای ۳۱ محور استان خراسان رضوی توسعه یافت. سپس با انباشته‌سازی اطلاعات ثبت شده و تخمینی تصادفات در قطعات راه با روش بیز تجربی سطح پروژه، میزان تصادفات ۳۱ معبر استان تخمین زده شد و اولویت بندی معابر انجام گرفت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که متغیرهای نوع راه و وسیله نقلیه-کیلومتر در تخمین تصادفات اثر معنی‌داری دارند. همچنین مقدار  $R^2_{adj}$  و نمودار باقیمانده تجمعی استاندارد (CSR) حاکی از عملکرد مناسب توابع عملکرد ایمنی در تخمین نقطه‌ای برای سطح ۹۵٪ اطمینان بود. در نهایت محورهای سبزوار-کاهک، باغچه- تربت‌حیدریه و سرخس-مشهد و نیز در میان این محورها، قطعات سبزوار-کاهک، باغچه-نیشابور و سبزوار-قوچان در رتبه‌های ۱ تا ۳ قرار می‌گیرند و نیازمند توجه ویژه هستند.

واژه‌های کلیدی: تصادفات فوتی و جرحی، تابع عملکرد ایمنی، غربال‌سازی، بیز تجربی در سطح پروژه

### ۱- مقدمه

اهمیت ایمن‌سازی راه‌ها در جهت کاهش تصادفات جاده‌ای امری اجتناب‌ناپذیر است. روند تلفات ترافیکی در ایران تا سال ۱۳۸۴ سیر صعودی را طی می‌نمود لیکن با توجه مسئولان به موضوع ایمنی راه این روند سیر نزولی را در پیش گرفت و بر اساس اهداف کمیسیون ایمنی راه‌های

هر ساله تعداد زیادی در سوانح ترافیکی جان سپرده و میلیون‌ها نفر نیز درگیر سوانح جرحی می‌شوند. این معضل علاوه بر هزینه‌های مادی منجر به صدمات روحی و روانی بسیاری برای سانسجهدیدگان شده و می‌تواند تبعات جبران‌ناپذیری را بر جامعه تحمیل نماید. با توجه به این دلایل،

در فرآیند مدیریت ایمنی می‌باشد. ادارات راه کشورهای مختلف از شیوه‌های مختلف شناسایی نقاط حادثه‌خیز استفاده می‌کنند و محققین در مقالات علمی جنبه‌های گوناگون این روش‌ها را بررسی نموده و رویکرد و مدل‌های متفاوتی معرفی و آنها را مقایسه نموده‌اند. فراوانی تصادفات ساده‌ترین معیار معرفی نقاط حادثه‌خیز است. در این روش موقعیت‌های مشابه (مانند تقاطع‌ها یا قطعات راه) بر حسب میزان فراوانی تصادفات مشاهداتی رتبه‌بندی می‌شوند. روش فراوانی تصادفات به دلیل سادگی در عمل عمومی‌ترین روش رتبه‌بندی می‌باشد. از آنجا که حالت کلی افزایش تصادفات با حجم ترافیک رابطه مستقیم دارد، این روش معمولاً برای مناطقی مفید خواهد بود که در شبکه مورد نظر حجم ترافیک از همگونی قابل قبولی برخوردار باشد (Montella 2010b, Persaud 2001, PIARK-C13 2004). روش نرخ تصادفات نسبت بین تعداد تصادفات به تعداد وسایل نقلیه عبوری در زمان مورد مطالعه می‌باشد. این روش ریسک تصادفات برای هر کاربر راه را منعکس می‌کند. فرض رابطه خطی بین حجم ترافیک و تعداد تصادفات در این روش منشأ خطای زیاد می‌باشد (Miranda-Moreno et al. 2007, Montella 2010b, Persaud 2001). استفاده از این روش نیازمند دانستن حجم ترافیک تمام نقاط می‌باشد و در این روش نیز ماهیت تصادفات و شدت تصادفات در نظر گرفته نمی‌شود (PIARK-C13 2004). یکی از مرسوم‌ترین روش‌های شناسایی نقاط حادثه‌خیز در نظر گرفتن نتایج تصادفات و ارائه شاخصی جهت وارد کردن شدت تصادفات در تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی‌ها است. در روش شاخص همسنگ خسارت مالی (EPDO) به تصادفات بر حسب شدت‌شان (فوتی، جرحی، خسارتی) وزنی اختصاص داده می‌شود تا یک امتیاز ترکیبی از فراوانی و شدت تصادفات برای هر مکان بدست آید. این مفهوم برای اولین بار توسط تمبوری و اسمیت (Tamburri & Smith 1973) با عنوان "شاخص ایمنی" معرفی شده است. جرجین سین و همکارانش (Jorgensen 1966) بر اساس هزینه تصادفات نسبت ۱۱۱ و ۱۹ را معرفی کرده‌اند. دپارتمان حمل و نقل انگلستان (UK Department for Transport 2007) بر اساس روش تمایل به پرداخت ضرایب ۷۷۱ و ۳۵ را برای تصادفات فوتی و جرحی نسبت به

کشور شاخص کشته به یکصد هزار نفر جمعیت در سال ۱۴۰۰ می‌بایست به عدد ۹ کاهش یابد (راهبرد ملی ایمنی راه‌های ایران، ۱۳۹۰). نرخ رشد شاخص کشته به ۱۰۰هزار نفر جمعیت (شاخص سلامت) در سال‌های اخیر کاهش یافته است. لزوم انجام مطالعات جدید و به روز رسانی وضعیت ایمنی راه‌های کشور امری ضروری بوده به نحوی که بتواند به نتایج کاربردی و ملموسی در این زمینه دست یابد. در سال‌های اخیر، مدیریت ایمنی و اصلاح نقایص راه به عنوان یکی از مهمترین وظایف متولیان ایمنی راه مد نظر قرار گرفته است. شناسایی و حذف نقاط حادثه‌خیز، طراحی و احداث راه‌های ایمن، تبلیغات و آموزش‌های موثر ایمنی، استفاده از وسایل نقلیه استاندارد، وضع مقررات و قوانین ترافیکی و اعمال صحیح آن‌ها، بهبود وضعیت امداد رسانی به مصدومان سوانح رانندگی و غیره برخی مواردی است که منجر به کاهش تلفات و ارتقای ایمنی راه‌ها می‌شود. شایان ذکر است، اجرای اقدامات ایمن‌سازی مستلزم آگاهی از وضعیت ایمنی راه و زیرساخت‌های آن است که این امر نیازمند محاسبه شاخص‌های ذی‌ربط مطابق توصیه مراجع بین‌المللی و ملی، به منظور سنجش وضعیت ایمنی هر یک از زیرساخت‌های راه است. شاخص‌های مذکور می‌توانند به عنوان معیار مقایسه‌ای مناسب، تغییرات وضعیت ایمنی زیرساخت‌های راه را با توجه به اقدامات ایمن‌سازی اجرا شده در سال‌های متمادی بررسی نمایند. در این تحقیق قصد بر آن است که غربال‌گری و ارزیابی قطعات پرخطر استان خراسان رضوی بر اساس توسعه مدل‌های تصادفات جرحی و فوتی با روش بیز تجربی انجام گیرد و سپس محورهای پرخطر استان با روش سطح پروژه بیز تجربی (تجمیع قطعات) برای انجام اقدامات بهسازی شناسایی شود.

## ۲- پیشینه تحقیق

با توجه به اهمیت موضوع ایمنی جاده‌ای، منابع علمی و ادبیات این موضوع سرشار از مباحث مربوط به کاهش خسارات و اثرات ناشی از تصادفات می‌باشد. کاهش هدف-دار و سیستماتیک تصادفات به مدیریت جامع ایمنی راه نیازمند است که معرفی نقاط اولویت‌دار پایه اقدامات ثانوی

که می‌تواند رفتارهای مربوط به رخداد تصادف که با معیارهای فراوانی و درجات مختلف شدت سانحه شناخته می‌شوند را توصیف نمایند (Ahmed et al. 2011, Depaire et al. 2008) و از آنجایی که اطلاعات تصادفات ناهمگن هستند یک رویکرد متعارف تمرکز بر روی نوع خاص تصادف است که نمونه‌های از آن تمرکز بر روی تصادف تک وسیله با اشیاء ثابت (Bédard et al. 2002) بررسی رانندگان مسن‌تر در تصادفات جرحی (Zhang et al. 2000) و مانند اینها است. تحلیل رگرسیونی برای تعیین عوامل دخیل در شدت تصادفات و فراوانی آنها به کار می‌رود. مدل‌های پواسون و دو جمله‌ای منفی برای فراوانی تصادفات مرسوم‌ترین این مدل‌ها هستند. این مدل‌ها دارای فرضیات و روابط از پیش تعریف شده بین متغیرهای وابسته و مستقل (روابط خطی بین متغیرها) می‌باشند. و در صورت عدول از این پیش فرضها، مدل‌های ایجاد شده، تخمین‌ها و پیش‌بینی‌های نادرستی از تصادفات و شدت آنها ارائه خواهند کرد (Depaire et al. 2008). ساختار متعارف مدل‌های پیش‌بینی تصادف می‌تواند به شکل کلی زیر بیان شوند:

$$Y | \theta \sim \text{Distributi on}(\theta) \quad \text{with} \quad \theta = f(X, \beta, \varepsilon)$$

در این رابطه  $Y$  متغیرهای وابسته، فراوانی یا شدت تصادف،  $\theta$  Distribution توزیع تطبیق یافته برای  $Y|\theta$  و پارامترهای آن می‌باشد.  $X$  شامل متغیرهای خطر در معرض خطر قرارگیری برای رخداد یا شدت تصادف است و  $\beta$  شامل ضرایب یا اثر عوامل  $X$  بر روی  $Y$  است،  $f(\cdot)$  تابع پیوند  $X$  و  $Y$  عبارت خطا در مدل است. در این مدل‌ها فرض بر این است که متغیر  $Y$  از توزیع‌های پارامتر یا پارامترهای  $\theta$  تبعیت می‌کند.

انتخاب توزیع، وابسته به طبیعت ویژگی‌های تصادف مورد نظر است (Huang & Abdel-Aty 2010, Jovanis & Chang 1986) و سپس پارامترهای توزیع  $\theta$  به عوامل توزیع خطر با تابع توزیع پیوند می‌شود که شامل سه جزء زیر است مربوط می‌شود:

۱- تابع تبدیل  $\theta$  براساس نوع داده‌ها،

۲- جمله نشان‌دهنده ترکیب  $X$  و  $\beta$ ، که به طور معمول یک

خسارتی معرفی کرده است. وزارت حمل و نقل بلژیک (Geurts et al. 2006) از نسبت های ۳ و ۵ برای تصادفات جرحی و فوتی و اداره راه پرتغال از نسبت‌های ۱۰، ۱ و ۱ به ترتیب برای تصادفات فوتی، جرحی شدید و جرحی خفیف استفاده می‌کنند (Elvik 2008b). در ایران نیز از ضریب ۳ (جرحی) و ۹ (فوتی) برای شناسایی نقاط حادثه‌خیز استفاده می‌شود (صادقی ۱۳۹۲). روش KABCO یکی از طبقه‌بندی‌های شناخته شده شدت تصادفات است که توسط شورای ایمنی ملی ایالات متحده ارائه شده و بسیاری از کشورها از این نوع طبقه‌بندی تصادفات استفاده می‌نمایند. بر اساس این طبقه‌بندی نیز ضرایب وزنی بسیاری برای کاربردهای مختلف در حوزه ایمنی تعریف شده است (Council et al. 2005, National Safety Council 1989). گاهی متولیان ایمنی مرزهایی را برای عدد نهایی EPDO مشخص می‌کنند و در صورتی که مقدار EPDO برای یک مکان از آن حد فراتر باشد آن مکان حادثه‌خیز شمرده می‌شود. بعنوان مثال در کشور بلژیک تجاوز میزان EPDO از عدد ۱۵ به معنای تصادف‌خیز بودن آن مکان است (Geurts et al. 2006). گرت و همکارانش (Geurts et al. 2004) نشان داده‌اند که مقادیر وزن‌دهی متفاوت اثر مهمی در انتخاب نقاط حادثه‌خیز می‌گذارد. بنابراین بدست آوردن ضرایب بهینه برای هر سازمان ضروری به نظر می‌رسد. سادگی کاربرد و به حساب آوردن شدت تصادف از مزایای این روش و عدم توجه به حجم ترافیک و ماهیت تصادفی تصادفات و انحراف شناسایی صحیح نقاط حادثه‌خیز به سمت مکان‌های با سرعت بالا از مشکلات این روش می‌باشد (PIARK-C13 2004).

به علت مشکلات روش‌های مبتنی بر ریسک خام، در دو دهه اخیر محققان علاقه شدیدی به استفاده از رویکرد مبتنی بر مدل‌سازی خطر<sup>۱</sup> نشان داده‌اند. این رویکرد از روش‌های آماری بر اساس تئوری احتمالات برای مدل‌سازی خطر تصادف بر مبنای مشخصات هندسی، محیطی و ترافیکی استفاده می‌کند. مدل‌های پیش‌بینی تصادف یا به عبارتی توابع عملکرد ایمنی از مهمترین تکنیک‌ها در بررسی روابط بین رخداد تصادف و عوامل خطر مربوط به واحدهای ترافیکی متفاوت است. این عوامل خطر با این فرض انتخاب می‌شوند

ترکیب خطی  $X$  است:  $X\beta$ .

۲- جمله  $\varepsilon$  برای بیان عبارت خطا فرض شده در مدل.

کلی‌ترین شکل پذیرفته شده برای پیش بینی تصادفات و ارتباط آن با متغیرهای مستقل به شکل زیر است که با توجه به توزیع و ترکیب داده‌ها این شکل مدل بر مشاهدات در فرآیند کالیبراسون و ایجاد مدل برازش مناسبی خواهد داشت (Agresti 2015, Cafiso et al. 2010b, Lord et al. 2005, Maher & Summersgill 1996, Montella 2010a, Naderan & Shahi 2010):

(۴)

$$E(Y_i) = e^{\alpha_0 + \alpha_1 \times \ln(E)} \times e^{\sum_{j=1}^n \beta_j X_j}$$

که در آن  $E(Y_i)$  متوسط فراوانی تصادفات،  $E$  میزان در معرض خطر قرارگیری یا مواجهه است،  $X_i$  متغیرهای مستقل یا توضیحی<sup>۲</sup> مدل و  $\alpha_0$ ،  $\alpha_1$  و  $\beta_i$  ضرایب مدل هستند. بدین ترتیب متغیرهای مستقل که میزان در معرض خطر قرارگیری، مشخصات هندسی و ترافیکی یک واحد دارای تصادف می‌باشند متغیر وابسته فراوانی تصادف را تخمین می‌زنند. مدل‌های آماری مختلفی برای مدل‌سازی تعداد تصادفات از گذشته تا کنون پیشنهاد شده است. بسیاری از تحقیقات بر مناسب بودن مدل‌های پواسون، مدل‌های پواسون-گاما، مدل پواسون پرفر، مدل دوجمله‌ای منفی پرفر، مدل‌های سری زمانی، مدل‌های سلسله مراتبی بیز و مدل‌های لگاریتمی خطی تاکید زیادی کرده‌اند

(Austin & L. Carson 2002, Ayati & Abbasi 2011, Miaou 1994, Miranda-Moreno & Fu 2006, Persaud et al. 1999a). شماری از مطالعات نیز تصادفات را بر حسب الگوی تصادف خاص (عقب به جلو، پهلو به پهلو و ...) (Pande et al. 2010, Ye et al. 2009) و یا انواع راه‌ها (Caliendo et al. 2007) و انواع وسایل نقلیه درگیر در تصادف (Geedipally & Lord 2010) طبقه‌بندی کرده و برای هر نوع مدل خاص خود را پیشنهاد کرده‌اند. هنوز ایجاد مدل‌های آماری جدیدتر و وارد کردن عوامل هندسی و تأثیرگذار بیشتر در مدل‌ها مورد علاقه محققین این حوزه می‌باشد. هدف این مدها عمدتاً در نظر گرفتن وابستگی مکانب یا زمانی تصادفات در مقیاس‌های خرد و یا کلان‌نگر است (Cai et al. 2016).

Dong et al. 2016, Huang et al. 2016, Tasic & Porter 2016, Xu & Huang 2015). به طور معمول مدل‌های رگرسیون خطی تعمیم یافته ( $GLMS^3$ ) مانند پواسون برای توصیف و تعیین رابطه تصادفات با متغیرهای مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اکثر این مدل‌های کلاسیک عبارت خطا<sup>۴</sup> ذاتاً بر مبنای توزیع تطبیق یافته به متغیر وابسته تعیین می‌شود که منجر به اعمال محدودیت‌هایی بر روی پارامترهای مدل خواهد شد. به عنوان مثال در مدل‌های پواسون، واریانس<sup>۵</sup> باید برابر با میانگین<sup>۶</sup> گردد، که این امر در داده‌های بیش پراکنده<sup>۷</sup> نمی‌تواند برقرار باشد. از طرفی داده‌های تصادف نیز ممکن است در این دسته قرار بگیرد (Amoh-Gyimah et al. 2017, Huang & Abdel-Aty 2010). در مدل‌های دو جمله‌ای منفی فرض بر این است که اختلاف بین واریانس و میانگین از رابطه (۵) پیروی می‌کند:

(۵)

$$V(\bar{Y}_i) = \bar{Y}_i + (1/\Phi)\bar{Y}_i^2$$

که در این رابطه  $V(\bar{Y}_i)$  واریانس تخمینی و  $\bar{Y}_i$  میانگین تخمینی تصادفات توسط مدل است همچنین  $\Phi$  پارامتر مدل توزیع دوجمله‌ای یا معکوس بیش پراکنش<sup>۸</sup> مدل نامیده می‌شود. با توجه به رابطه فوق مدل پواسون را می‌توان حالت خاصی از توزیع دوجمله‌ای منفی دانست و این امر با میل دادن پارامتر بیش پراکنش به سمت صفر در مدل قابل اثبات است. فرم کلی توزیع دو جمله‌ای منفی به شکل است:

(۶)

$$Pr(Y_i) = \frac{\Gamma(\Phi + Y_i)}{\Gamma(\Phi) + Y_i!} \left\{ \frac{\Phi}{\Phi + \lambda_i} \right\}^{\Phi} \left\{ \frac{\lambda_i}{\Phi + \lambda_i} \right\}^{Y_i}$$

که در آن  $\lambda_i$  متوسط تصادفات برای واحد  $\lambda$ ام و  $\Gamma(\cdot)$  تابع گاما است.

### ۳- روش بیز تجربی و پتانسیل بهبود

روش‌های مرسوم پیش از این که از نرخ یا فراوانی تصادفات صرفاً بهره جستند اغلب از دیدگاه آماری با مشکل جدی کشف واحدهای پنهان<sup>۹</sup> (قطعات پرخاطر) به خاطر اریبی

مالی با تعدیل بیز تجربی، نامیده شده است یکی از بهترین روش‌های توصیه شده در راهنمای ایمنی جاده‌ای<sup>۱</sup> می‌باشد. البته در این حالت به توابع عملکرد ایمنی جداگانه برای تصادفات جرحی، فوتی نیاز است که محاسبات را پیچیده‌تر می‌سازد (AASHTO 2010). پرساد و همکارانش در سال ۱۹۹۷ پیشنهاد رتبه بندی واحدهای تحت بررسی را بر اساس مقادیر پتانسیل بهبود این واحدها (PFI) ارائه کردند. این شاخص را می‌توان از اختلاف بین فراوانی تصادفات بدست آمده از روش بیز تجربی و مقادیر متناظر آن که از طریق مدل پیش‌بینی می‌شود طبق رابطه زیر بدست آورد (Elvik 2008a, Montella 2010a, Persaud et al. 1997).

$$FFI = [\eta \times E(y) + (1 - \eta) \times r] - E(y)$$

با توجه به رابطه فوق برای رتبه‌بندی چنین تفسیر می‌شود که وقتی مقدار پتانسیل بهبود یک واحد تحت بررسی بزرگتر از صفر شد، میزان خطر یا به عبارت دیگر تصادف یا جریمه بیشتری از مقدار مورد انتظار را تجربه کرده است که نشان‌دهنده پرخطر بودن آن واحد خواهد بود. در غیر این صورت اگر مقدار پتانسیل بهبود واحد تحت بررسی کمتر از صفر باشد به این معنی است که واحد مزبور خطر کمتری نسبت به میزان انتظار دارد و به عنوان واحد کم خطر شناخته خواهد شد. هائر و همکارانش (Hauer et al. 2004) با مقایسه این روش با روش بیز تجربی نشان داده است که ضابطه شناسایی نقاط حادثه‌خیز بر اساس بیز تجربی بهتر از ضابطه بر اساس پتانسیل بهبود می‌باشد.

#### ۴- مدل‌سازی

۴-۱- محدوده بررسی، محدودیت‌ها و متغیرهای مدل  
در این تحقیق اطلاعات تصادف استان خراسان رضوی در سطح شبکه (معاير استان) جمع‌آوری گردید. مبتنی بر گزارش سالنامه آماری سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور در سال ۱۳۹۱ طول راه‌های تحت حوزه استحفاظی وزارت راه و شهرسازی استان خراسان رضوی دومین رتبه و تعداد سوانح رانندگی برون‌شهری استان خراسان رضوی سومین رتبه را در قیاس با دیگر استان‌ها به خود اختصاص داده است که نشان‌دهنده وضعیت نامناسب راه‌های این استان

بالقوه ناشی از بازگشت به مقدار متوسط روبه رو بودند. این امر سبب شناسایی و انتخاب نادرست واحدهای با فراوانی بالای تصادفی به عنوان واحدهای غیر ایمن می‌گردد. از آنجا که این فراوانی ممکن است به طور اتفاقی بالا باشد، واقعیت شناسایی و انتخاب واحدهای پرخطر نیز به گونه‌ای دیگر است. به منظور فرار از این تنگنا و رفع این مشکل که می‌تواند بودجه‌های زیادی را ناشی از انتخاب نادرست هدر دهد، روش بیز تجربی پیشنهاد شد و توسط محققین صاحب نظر این رشته مورد بررسی و تأیید قرار گرفت (Persaud et al. 1999b). بر طبق روش بیز تجربی، یک تخمین دقیق از فراوانی تصادفات واحد تحت بررسی (قطعات راه) می‌تواند از طریق اختلاط تصادفات برای آن واحد و مدل پیش‌بینی تصادفات حاصل شود. مدل پیش‌بینی تصادفات، می‌تواند تخمینی از تعداد تصادفات را برای دوره مورد نظر بر اساس واحدهای دیگر مورد نظر مشابه واحد تحت بررسی ارائه دهد، که در معادله زیر ارائه شده است (Elvik 2008a, Montella 2010a, Persaud et al. 2010, Persaud et al. 1999b).

$$EB(Y) = \eta \times E(Y) + (1 - \eta) \times r$$

در این معادله  $\eta$  وزن اختصاص یافته به تصادفات پیش‌بینی شده و  $r$  تعداد تصادفات ثبت شده می‌باشد که ترکیب آنها در معادله فوق منجر به بهترین تخمین برای واحدهای تحت بررسی خواهد شد. وزن ثابت  $\eta$  با توجه به فرض توزیع دو جمله‌ای منفی برای عبارت خطا از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\eta = \frac{1}{1 + \left(\frac{E(Y)}{r}\right)}$$

در این رابطه  $E(Y)$  و  $\Phi$  از مدل و فرآیند کالیبراسیون آن حاصل می‌شوند. به این ترتیب پیش‌بینی واقعی‌تر برای واحدهای تحت بررسی یا هر راننده حاصل خواهد شد. الویک تحقیقات وسیعی را در مورد روش‌های شناسایی نقاط تصادف خیز انجام داده است. او در مطالعات خود نشان داده است که موقعیت‌هایی که بر اساس تعداد مورد انتظار تصادفات حاصل از تخمین‌های بیزین تجربی انتخاب شده‌اند، دارای بیشترین دقت می‌باشند (Elvik 2008b). ترکیب مفهوم روش بیز تجربی با شاخص همسنگ خسارت مالی که با عنوان فراوانی متوسط تصادف همسنگ خسارت

به لحاظ ایمنی است. از آنجا که حوزه تحقیق حاضر غربال سازی معابر در سطح پروژه راه‌های استان است سعی شد تا کلیه اطلاعات مربوط به معابر استان از ادارات مرتبط گرفته شده تا بتوان از آنها در اولویت‌بندی راه‌های استان استمداد جست. به هر صورت برای ۳۱ محور اصلی استان اطلاعات مربوط تردد شمارها برای حجم ترافیک روزانه، تخلفات سرعت و سبقت غیر مجاز و عدم رعایت سرفاصله طولی و اطلاعات تصادفات جاده‌ای در دو قسم فوتی و جرحی مربوط به سالهای ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ از طریق اداره کل راه و شهرسازی در اختیار گروه تحقیقاتی قرار گرفت تا بتوان از آنها در فرآیند اولویت‌بندی این محورها استفاده کرد. شایان ذکر است اطلاعات سال ۱۳۹۰ دارای داده‌های گم شده فراوان بود و اطلاعات تصادفات خسارتی به علت عدم وجود و نیز اندک بودن آنها در محورهای برون شهری در مرحله تجزیه و تحلیل کنار گذاشته شدند.

#### ۴-۲- قطعه‌بندی

تاکنون بعضی محققان تلاش کرده‌اند که با رویکرد قطعه‌بندی راه مدل‌های تصادف را تخمین بزنند. بسیاری از آنها مانند ژانگ و ایوان (Zhang & Ivan 2005) برای توسعه مدل‌های خود، راه را بصورت قطعاتی ساده به طول یک کیلومتر در نظر گرفته‌اند. پاردیلو و لاماس (Pardillo & Llamas 2003) برای تهیه مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی دو نوع قطعه‌بندی بصورت مقاطع یک کیلومتری و نیز فواصل بین دوگره (بین تقاطع‌ها) با طول متغیر در نظر گرفتند. آنها ارتباط معنی‌داری بین تصادفات با چگالی دسترسی، متوسط فاصله دید، متوسط محدودیت سرعت و نسبت مقاطع سبقت ممنوع پیدا کردند و نیاز به استفاده از این متغیرها را برای تعریف مقاطع همگن با طول‌های مناسب، که کمتر از ۴۰۰ متر نباشند را ارائه کردند. عبدل-اتی و رادون (Abdel-Aty & Radwan 2000) یک راه با طول ۲۲۷ کیلومتر را به ۵۶۶ قطعه با مشخصات همگن بر حسب جریان ترافیک شرایط هندسی (درجه انحنای افقی، عرض شانه و جزیره میانی، عرض خط و ...) قطعه‌بندی و تصادفات را مدل کرده‌اند. این تحقیق مشخص کرد که برای بدست آوردن یک مدل پیش بینی تصادف قابل اعتماد مقاطع راه باید ۰/۸ کیلومتر یا طویل‌تر باشند. کافیسو و همکارانش

(Cafiso et al. 2010a) نیز یک روش قطعه‌بندی جامع بر اساس ترکیبی از میزان در معرض خطر قرارگیری، شرایط هندسی، سازگاری و متغیرهای مفهومی مربوط به عملکرد ایمنی معرفی کرده و مدل‌سازی تصادفات را انجام داده‌اند. راهنمای ایمنی راه (AASHTO, 2010) با کاربرد روش قطعه بندی برای ایجاد مقاطع همگن این روش را عمومیت بخشیده است. این راهنما قطعه‌بندی بر اساس شماری از مشخصات در دسترس را توصیه کرده است. فرآیند قطعه‌بندی مجموعه‌ای از قطعات راه با طول‌های مختلف را تولید می‌کند که می‌تواند مشخصاتی نظیر حجم ترافیک، مشخصات هندسی طرح و وسایل کنترل ترافیک در هر قطعه همگن و یکنواخت باشد. در این تحقیق قطعه‌بندی مسیر و شناسایی قطعات همگن بر اساس عوامل در دسترس موجود و مؤثر بر تصادفات انجام می‌شود. به دلیل آنکه اطلاعات دقیق تصادفات در دسترس نیست و نیز هدف غربال‌سازی معابر در سطح پروژه است قطعه‌بندی بر اساس دو عامل اصلی متوسط سالانه ترافیک روزانه (AADT) و نوع راه (بزرگراه، راه اصلی، راه فرعی) صورت گرفت. حاصل کار حصول ۶۹ قطعه همگن از نظر حجم تردد و نوع راه بود که متغیرهای وسیله نقلیه-کیلومتر (VKT)، حجم ترافیک روزانه، تخلفات سرعت و سبقت غیر مجاز و عدم رعایت سرفاصله طولی و نوع راه برای آنها محاسبه گردید.

#### ۴-۳- برآورد ضرایب مدل

در این مرحله تحقیق از نرم افزارهای SAS-enterprise برای تجزیه و تحلیل استفاده شد. همچنین توزیع دوجمله‌ای منفی برای عبارت خطا در نظر گرفته شد. پارامترها مدل و پارامتر بیش پراکندگی توزیع دو جمله‌ای منفی بوسیله تابع تخمین حداکثر درست نمایی<sup>۱۱</sup>، با استفاده از پروسه GENMOD در نرم افزار SAS حاصل گردید. متغیرهای توصیفی وسیله نقلیه-کیلومتر، حجم ترافیک روزانه، تخلفات سرعت و سبقت غیر مجاز و عدم رعایت سرفاصله طولی و نوع راه جهت ایجاد و توسعه مدل در نظر گرفته شدند. برای حضور این متغیرها در مدل شرایط زیر احراز شد:

- ترکیبات مختلف متغیرهای مستقل به گونه‌ای که مقادیر کمتری از  $AIC^{12}$  حاصل می‌شود که نشان‌دهنده برازش بهتر مدل به داده‌ها خواهد بود.  $AIC$  عاملی است که در

که مشاهده می‌شود دو مدل حاصل شده است که یک مدل مربوط تصادفات فوتی و دیگری مربوط به تصادفات جرحی است. به طور کلی با در نظر گرفتن مدل‌های حاصل و به طور خاص با در نظر گرفتن متغیر مستقل در معرض خطر فرارگیری (وسیله نقلیه-کیلومتر) و ضرایب آن در مدل‌ها می‌توان بیان کرد که رابطه تعداد تصادفات فوتی و جرحی با این عامل غیر خطی است و توان آن نیز کمتر از یک می‌باشد که بیانگر کاهش بیشتر تصادفات به ازای واحد افزایش این متغیر می‌باشد. همچنین با بررسی عامل نوع راه می‌توان دریافت که بین تصادفات (چه جرحی باشد و چه فوتی) در بزرگراه با راه‌های اصلی و فرعی تفاوت قابل توجه وجود دارد در حالیکه این تفاوت بین راه اصلی و فرعی مشاهده نمی‌شود. این بیانگر بیشتر بودن هر دو نوع تصادفات در بزرگراه نسبت به راه‌های اصلی و فرعی به نسبت ضریب این عامل است.

نیکویی برازش مدل‌های رگرسیونی معیار انتخاب بین مدل‌ها است و به صورت زیر تعریف می‌شود (Cafiso et al., 2010a, Montella 2010b):

$$AIC = -2\ln(L) + 2C \quad (10)$$

در این رابطه  $\ln(L)$  حداکثر مقدار درست‌نمایی مدل برازش یافته در مرحله همگرایی و  $C$  تعداد ضرایب کالیبره شده مدل می‌باشد.

- مقدار آماره  $t$  متغیرها در سطح ۵ درصد معنی‌دار باشد.
- تغییر قابل توجه در  $AIC$  بواسطه حضور متغیر مستقل در مدل مشهود باشد. مدل‌های تصادفات جرحی و فوتی با متغیرهای وسیله نقلیه-کیلومتر (VKT) و نوع راه همگرا و معنی‌دار شد و سایر متغیرها اثر معنی‌داری در مدل نداشتند. نتایج در جدول (۱) ارائه شده است. در مدل‌های به دست آمده میزان VKT همان وسیله نقلیه-کیلومتر هر قطعه طی دو سال و  $Road\ type$  متغیر نوع راه است که برای بزرگراه ۱ و در غیر اینصورت صفر در نظر گرفته می‌شود. همانطور

جدول ۱. مدل‌های رگرسیونی تصادفات جرحی و فوتی

مدل فوتی		مدل جرحی		عامل / متغیر
ضریب	-P مقدار	ضریب	-P مقدار	
۰/۵۴۲	<۰/۰۰۰۱	۰/۴۶۱	<۰/۰۰۰۱	VKT
۰/۴۹۹	۰/۰۵۰	۰/۶۸۰	۰/۰۱۷	Road type (بزرگراه)
۰/۳۴۲	۰/۲۰۴	۰/۲۴۴	۰/۳۹۹	Road type (راه اصلی)
-	-	-	-	Road type (راه فرعی)
-۵/۸۸۷	<۰/۰۰۰۱	-۲/۸۶۵	۰/۰۰۳	مقدار ثابت <sup>۱۳</sup>
۰/۳۵۶		۰/۷۸۶		ضریب بیش پراکندگی
-۱۶۲/۸۷۰		-۲۹۷/۴۷۲		لگاریتم بیش پراکندگی <sup>۱۴</sup>
۱/۱۲۴۹		۱/۰۹۱۴		ضریب کالیبراسیون

$$E(y)_{injury} = 1.0914VKT^{0.451}EXP(-2.865 + 0.68Roadtype) \quad (11) \quad \text{مدل تصادفات جرحی}$$

$$E(y)_{fatal} = 1.1249VKT^{0.5425}EXP(-5.887 + 0.449Roadtype) \quad (12) \quad \text{مدل تصادفات فوتی}$$

#### ۴-۴- ارزیابی مدل

گونگونی بر اساس سابقه تحقیق وجود دارد که به طور نسبی یا مطلق نشانه‌ای از توانایی مدل در بیان مشاهدات است دو

قبل از استفاده از مدل‌ها، آنها باید از لحاظ قابلیت پیش‌بینی و برازش ارزیابی گردند. به هر حال معیارهای نیکویی برازش

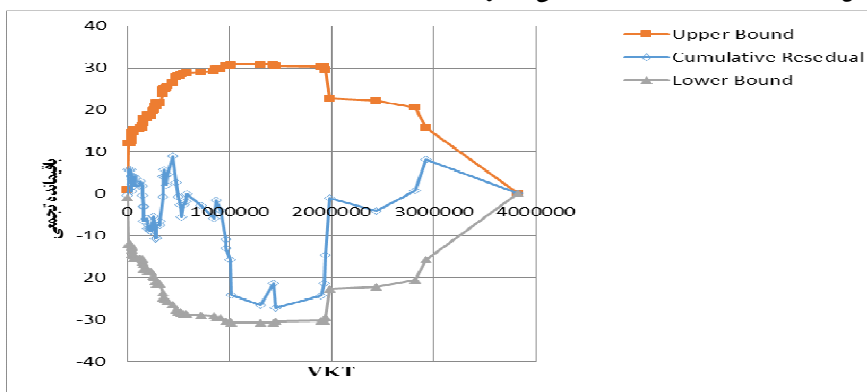
وابسته تعیین می‌شود که برای محاسبه و استاندارد سازی باقیمانده برای راننده آام یعنی مقدار  $SR_i$  رابطه زیر اعمال می‌گردد (Hauer 2004, Lord & Persaud 2000).

$$SR_i = \frac{[y_i - E(y_i)]}{\sqrt{E(y_i) - \frac{2}{\Phi} \times [E(y_i)]^2}} \quad (14)$$

در این رابطه  $y_i$  مقادیر تصادفات فوتی یا جرحی مشاهده شده قطعه آام،  $E(y_i)$  مقدار تخمینی یا پیش بینی شده آن و  $\Phi$  معکوس میزان پیش پراکندگی برای مدل تحت بررسی است. برای تعیین مقادیر تجمعی باقیمانده استاندارد (CSR) تا  $\lambda$  امین قطعه باید مقادیر  $SR_i$  تا قطعه  $\lambda$ ام، همانطور که در معادله (۱۵) دیده می‌شود جمع گردد.

$$CSR_j = \sum_{i=1}^{\lambda} SR_i \quad (15)$$

در این رابطه  $n$  تعداد مشاهدات است. برای ارزیابی مدل با توجه به این آماره چنین باید بیان کرد که هر چه نمودار حاصل به محور افقی نزدیک‌تر باشد و نوسانات کمتری حول محور افقی مشاهده شود، مدل به لحاظ کیفی بهتر و در تمام نقاط به طور یکسان پیش بینی انجام خواهد داد. بهر حال تا زمانی که منحنی CSR از محدوده  $\pm 2\sigma$  درصد معنی‌داری که حدوداً دو برابر انحراف معیار  $(\pm 2\sigma)$  نقطه‌ای خواهد بود عدول نکند می‌توان گفت که رفتار مناسبی از خود نشان می‌دهد. شاخص  $R^2_{adj}$  برای مدل‌های فوتی و جرحی به ترتیب برابر  $0/62$  و  $0/35$  به دست آمد که نشانه برازش مناسب این مدل‌ها بخصوص مدل تصادفات فوتی می‌باشد. همچنین مقادیر باقیمانده تجمعی استاندارد مربوط به این مدل‌ها در اشکال (۲) و (۳) در برابر وسیله نقلیه-کیلومتر ترسیم شده است.



شکل ۲. نمودار باقیمانده تجمعی وسیله نقلیه-کیلومتر برای مدل تصادفات فوتی

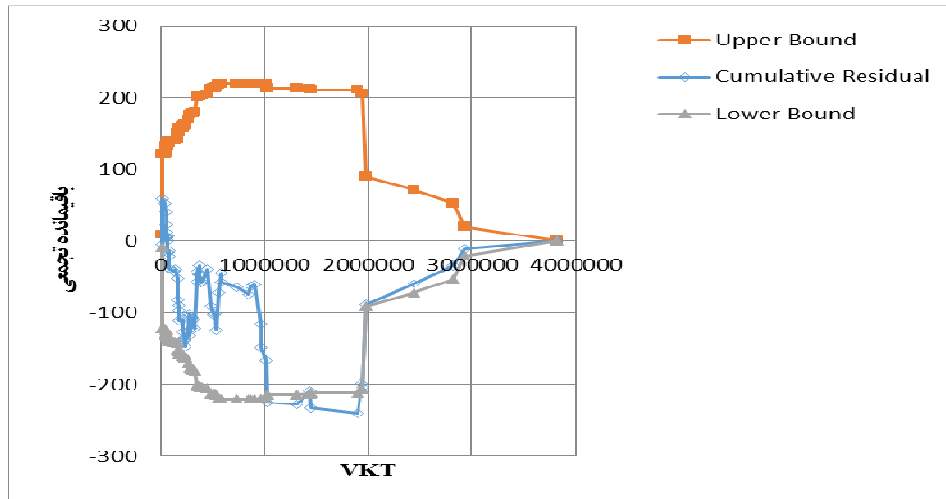
نمونه از متداول‌ترین این شاخص‌ها در این بخش جهت ارزیابی و انتخاب مدل ابتداءً معرفی و برای مدل‌های حاصل برای تصادفات جرحی و فوتی محاسبه خواهند شد. این شاخص‌ها عبارتند از ضریب همبستگی اصلاح شده  $R^2_{adj}$  و یک معیار کیفی و مهم به نام نمودار باقیمانده تجمعی استاندارد ( $CSR^{\lambda}$ ) که به منظور ارزیابی شکل مدل استفاده می‌شود (Cafiso et al. 2010b, Sümer 2003).

آماره  $R^2_{adj}$  برای  $n$  مشاهده بر اساس معکوس مقادیر بیش پراکندگی مدل دو جمله‌ای منفی یعنی  $\Phi$  و  $\Phi_0$  برای مدل‌های حاصل و مدل‌های مقدار ثابت آنها قابل محاسبه است و به طور خاص نشان‌دهنده چگونگی برازش مدل بر مشاهدات خواهد بود. این شاخص بین صفر تا یک متغیر است و هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر مدل خواهد بود. این شاخص طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود (Cafiso et al. 2010b, Miaou 1996, Montella 2010a).

$$R^2_{adj} = 1 - \left(\frac{\Phi}{\Phi_0}\right) \times \frac{n-1}{n-2} \quad (13)$$

بعضی از محققین تجزیه و تحلیل باقیمانده تجمعی استاندارد را برای ارزیابی شکل مدل به طور کیفی ارائه داده‌اند. این معیار می‌تواند توصیفی از رفتار مدل را به طور نقطه‌ای یا به عبارت دیگر برای هر مشاهده ارائه نماید که می‌تواند بسیار مفید باشد. به منظور انجام این تجزیه و تحلیل و داشتن یک فهم کیفی از دقت مدل معمولاً باقیمانده تجمعی استاندارد در مقابل عامل در معرض بودن مدل یا در اینجا همان وسیله نقلیه-کیلومتر ترسیم می‌شود. مقدار باقیمانده برای هر قطعه راه از اختلاف بین مقدار مشاهده شده و مقدار تخمینی متغیر





شکل ۲. نمودار باقیمانده تجمعی وسیله نقلیه-کیلومتر برای مدل تصادفات جرحی

در اداره کل راه و شهرسازی کاربردی شده استفاده شد و بر اساس اولویت بندی قطعات راه به دست آمد. اما نظر به هدف این تحقیق به منظور دستیابی به معابر پرخطر در سطح پروژه لازم است تصادفات در سطح قطعات تجمیع و سپس اولویت بندی شوند. در این راستا لازم است از روش بیز به صورت پیچیده تری استفاده گردد. این امر به دو دلیل است. اول اینکه مدل های با ضریب بیش پراکندگی متفاوت وجود دارد و دوم اینکه در یک معبر نمی دانیم که قطعات با یکدیگر چگونه در ارتباط هستند و به معنی دیگر قطعات یک معبر می توانند وابسته یا مستقل از یکدیگر باشند. برای این منظور پیشنهاد شده است که تخمینی از تصادفات معابر را می توان میانگین دو فرض همبستگی کامل بین قطعات ( $r=1$ ) و استقلال کامل بین قطعات ( $r=0$ ) با استفاده از روش بیز طبق روابط زیر به دست آورد (AASHTO 2010).

$$N_{predicted(total)} = \sum_{i=1}^n N_{predicted(i)} \quad (16)$$

$$N_{observed(total)} = \sum_{i=1}^n N_{observed(i)} \quad (17)$$

$$N_{predicted(w0)} = \sum_{i=1}^n k_i N_{predicted(i)}^2 \quad (18)$$

$$N_{predicted(w1)} = \sum_{i=1}^n \sqrt{k_i N_{predicted(i)}} \quad (19)$$

$$W_0 = \frac{1}{1 + \frac{N_{predicted(w0)}}{N_{predicted(total)}}}, W_1 = \frac{1}{1 + \frac{N_{predicted(w1)}}{N_{predicted(total)}}} \quad (20)$$

با توجه اشکال فوق درمی یابیم که مدل تصادفات فوتی و جرحی با قابلیت اطمینان ۹۵ درصد می توانند تصادفات را پیش بینی نمایند. و این دقت در مدل فوتی کاملاً قابل مشاهده است و در مورد مدل جرحی نیز اندکی خروج از محدوده اطمینان مشاهده می شود که قابل چشم پوشی است. نتایج این مرحله از تحقیق به طور کلی برای استفاده در مدل بیز تجربی و رتبه بندی قطعات و معابر پرخطر قابل کاربرد می باشد.

#### ۴-۵- اولویت بندی معابر در سطح پروژه

به منظور جستار قطعات پرخطر به لحاظ فراوانی تصادفات فوتی و جرحی از بیز تجربی برای تخمین تصادفات قطعات مورد بررسی در این تحقیق استفاده شد. همچنین برای رتبه بندی این قطعات با در نظر گرفتن تصادفات جرحی و فوتی، از ضرایب ۳ جرحی معادل ۱ فوتی که در حال حاضر

$$N_0 = w_0 \times N_{\text{predicted}(total)} + (1 - w_0) \times N_{\text{observed}(total)} \quad (21)$$

$$N_1 = w_1 \times N_{\text{predicted}(total)} + (1 - w_1) \times N_{\text{observed}(total)} \quad (22)$$

$$N_{EB}(total) = \frac{N_0 + N_1}{2} \quad (23)$$

$N_{\text{predicted}(total)}$ : میزان کل تصادفات تخمینی برای معبر حاصل از مدل

$N_{\text{observed}(total)}$ : میزان کل تصادفات مشاهده شده برای معبر

$N_{\text{predicted}(i)}$ : میزان تصادفات تخمینی حاصل از مدل برای قطعه  $i$ ام از معبر

$N_{\text{observed}(i)}$ : میزان تصادفات مشاهده شده قطعه  $i$ ام از معبر

$k_i$ : ضریب بیش پراکندگی مدل برای قطعه  $i$ ام از معبر

$W_0$  و  $W_1$ : وزن مقادیر تخمینی حاصل از مدل تحت فرض‌های استقلال و وابستگی کامل قطعات

$N_{EB}(total)$ : مقدار فراوانی تخمینی کل معبر حاصل از ترکیب قطعات

و نیز در میان این محورها، قطعات سبزوار کاهک، باغچه-نیشابور و سبزوار- قوچان در میان کل قطعات راه‌های موجود در رتبه‌های ۱ تا ۳ قرار می‌گیرند و نیازمند توجه ویژه هستند.

نتایج اولویت‌بندی معابر در سطح پروژه راه‌های استان حاصل از بیز تجربی مطابق جدول (۲) ارائه شده است. برای رتبه‌بندی این معابر نیز از ضرایب ۳ جرحی معادل ۱ فوتی استفاده شد. آنچه از نتایج بر می‌آید بیانگر این مدعا است که محورهای سبزوار-کاهک، باغچه- تربت و سرخس- مشهد

جدول ۲. اولویت‌بندی محورهای موجود بر اساس بیز تجربی سطح پروژه

رتبه بر اساس فوتی	رتبه بر اساس جرحی	رتبه بر اساس همسنگ	همسنگ (سه برابر فوتی + جرحی)	تخمین تصادفات جرحی	تخمین تصادفات فوتی	نام محور
۳	۱	۱	۲۸۶/۴۶	۲۱۲/۵۲	۲۴/۶۵	سبزوار- کاهک
۱	۲	۲	۲۶۴/۱۴	۱۸۱/۴۱	۲۷/۵۸	باغچه-تربت حیدریه
۲	۳	۳	۲۳۹/۰۸	۱۶۲/۱۹	۲۵/۶۳	سرخس - مشهد
۸	۴	۴	۲۱۶/۹۵	۱۶۲/۱۴	۱۸/۲۷	مشهد - چناران
۵	۶	۵	۲۱۶/۶۰	۱۵۱/۴۵	۲۱/۷۱	فریمان - مشهد
۴	۷	۷	۲۱۰/۴۹	۱۴۱/۷۴	۲۲/۹۲	باغچه - نیشابور
۱۰	۵	۶	۲۰۲/۲۵	۱۵۹/۸۵	۱۴/۱۳	خواف - تایباد
۶	۸	۸	۲۰۰/۶۲	۱۳۹/۷۳	۲۰/۳۰	چناران - قوچان
۱۱	۹	۹	۱۷۴/۰۹	۱۳۶/۶۶	۱۲/۴۸	سبزوار - نیشابور
۹	۱۰	۱۰	۱۷۲/۸۳	۱۲۶/۵۹	۱۵/۴۲	مشهد - کلات
۷	۱۳	۱۱	۱۴۸/۵۳	۹۲/۰۷	۱۸/۸۲	آزادراه مشهد- باغچه
۱۲	۱۲	۱۲	۱۳۴/۶۳	۹۹/۴۴	۱۱/۷۳	باخرز- تربت حیدریه

۱۳	۱۱	۱۳	۱۳۴/۵۱	۹۹/۴۵	۱۱/۶۹	تربت جام - فریمان
۱۴	۱۴	۱۴	۱۱۳/۴۹	۷۹/۶۸	۱۱/۲۷	تربت حیدریه-سه راهی مهنه
۱۶	۱۵	۱۵	۹۱/۶۵	۶۳/۴۷	۹/۳۹	سه راهی مهنه - گناباد
۱۵	۱۶	۱۶	۹۰/۳۹	۵۹/۵۷	۱۰/۲۷	سبزوار-بردسکن
۱۷	۱۸	۱۷	۶۹/۹۴	۴۹/۶۵	۶/۷۷	قوچان - درگز
۲۴	۱۷	۱۸	۶۸/۷۷	۵۴/۷۹	۴/۶۶	تربت حیدریه- رشتخوار
۲۰	۱۹	۱۹	۶۳/۱۷	۴۶/۰۲	۵/۷۲	گناباد - قائن
۱۹	۲۱	۲۰	۶۰/۴۶	۴۲/۱۴	۶/۱۱	سه راهی شادمهر - کاشمر
۲۱	۲۰	۲۱	۶۰/۰۳	۴۳/۴۷	۵/۵۲	بردسکن - کاشمر
۱۸	۲۳	۲۲	۵۶/۶۵	۳۸/۳۱	۶/۱۱	مشهد -باغچه قدیم
۲۳	۲۲	۲۳	۵۳/۳۲	۳۹/۰۶	۴/۷۵	کاشمر - نیشابور

## ۵- نتیجه گیری

می‌توان اذعان کرد که رابطه تعداد تصادفات فوتی و جرحی با این عامل غیر خطی است و توان آن نیز کمتر از یک می‌باشد که بیانگر افزایش کمتر تصادفات با افزایش این متغیر است. عامل نوع راه نیز نشان می‌دهد که بین تصادفات در بزرگراه با راهای اصلی و فرعی تفاوت قابل توجه وجود دارد درحالی‌که این تفاوت بین راه اصلی و فرعی مشاهده نمی‌شود. این بیانگر بیشتر بودن هر دو نوع تصادفات جرحی و فوتی در بزرگراه نسبت به راه‌های اصلی و فرعی است. نمودار کیفی باقیمانده تجمعی به خوبی می‌تواند تغییرات نقطه‌ای مدل را جهت ارزیابی کیفی مدل نشان دهد و اطلاعات بیشتری از رفتار مدل را نسبت به  $R^2_{adj}$  در اختیار قرار می‌دهد. به عبارت دیگر با در دسترس داشتن میزان باقیمانده تجمعی استاندارد می‌توان رفتار (تخمین دست بالا یا دست پایین مدل) مدلها را به ازای یک متغیر مستقل به صورت نقطه‌ای مشاهده کرد و محدوده قوت و ضعف مدل در پیش‌بینی و یا تخمین تصادفات را تعیین کرد. روش بیز تجربی در سطوح مختلف آن بطور مناسبی کاربست‌پذیر

در سیستم مدیریت ایمنی راه، غربال‌سازی نقاط پر خطر در راستای برنامه‌ریزی و توزیع بودجه اهمیت ویژه ای دارد. این امر می‌تواند در سطح قطعات راه و یا سطح پروژه انجام گیرد. در این مطالعه از روش مدل‌سازی تعمیم یافته خطی با در نظر گرفتن توزیع دوجمله‌ای منفی برای توسعه توابع عملکرد ایمنی تصادفات فوتی و جرحی به طور جداگانه بر اساس تعیین ۶۹ قطعه همگن در ۳۱ محور استان خراسان رضوی استفاده شد. سپس با روش بیز تجربی سطح پروژه، میزان تصادفات ۳۱ معبر استان تخمین زده شد و اولویت بندی معابر انجام گرفت. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که مدل‌های تصادفات جرحی و فوتی با متغیرهای وسیله نقلیه-کیلومتر (VKT) و نوع راه همگرا و معنی‌دار شدند و متغیرهای تخلفات سرعت و سبقت غیر مجاز و عدم رعایت سرفاصله طولی اثر معنی‌داری در مدلها نداشتند. این امر می‌تواند ناشی از عدم تفاوت قابل توجه این متغیرها در قطعات راه باشد. با بررسی مدل‌های به دست آمده و ملاحظه متغیر در معرض خطر قرارگیری (وسيله نقلیه-کیلومتر)

است. بر اساس سابقه تحقیق با توجه به قابلیت بالای آن می‌تواند در سیستم مدیریت ایمنی مانند توزیع نیروهای اورژانس و پلیس در ایام خاص و بخصوص در شناسایی و غربال‌سازی صحیح نقاط حادثه‌خیز و تعیین راهکارهای بهینه اصلاحی به منظور توزیع بهینه بودجه‌های ایمنی در کشور بسیار موثر باشد. روش سطح پروژه بیز تجربی توانست به خوبی محورهای پرخطر استان را شناسایی کند و در نهایت محورهای سبزوار-کاهک، باغچه- تربت و سرخس-مشهد و نیز در میان این محورها، قطعات سبزوار کاهک، باغچه- نیشابور و سبزوار- قوچان به عنوان پرخطرترین نقاط معرفی شدند.

## ۶- سپاسگزاری

از اداره کل راه و شهرسازی استان خراسان رضوی برای در اختیار گذاشتن اطلاعات لازم و همکاری‌های مورد نیاز تحقیق حاضر در سطوح مختلف قدردانی می‌گردد. همچنین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از مرکز تحقیقات فنی و اقتصادی ایمنی جاده‌ای دانشگاه فردوسی مشهد برای میسرسازی امکان هدایت و راهبری این مطالعه تشکر ویژه نمایند.

## ۷- پانویس‌ها

1. Risk-model based approach
2. Explanatory variables
3. Generalized Linear Models
4. Error Term
5. Variance
6. Mean
7. Over dispersed
8. Inverse over dispersed parameter
9. Wrapped entity
10. Highway Safety Manual
11. Maximum likelihood estimation (MLE)
12. Akaike's information criteria
13. Intercept
14. Full log-likelihood
15. Adjusted
16. Cumulative standardized residual

## ۸- مراجع

- صادقی، ا.ع. (۱۳۹۲)، "شناسایی نقاط حادثه‌خیز راه‌ها با استفاده از روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها و استدلال شواهدی"، رساله دوره دکتری، رشته عمران- راه و ترابری.
- (۱۳۹۰)، "راهبرد ملی ایمنی راه‌های ایران"، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری دبیرخانه کمیسیون ایمنی راه‌های کشور، بهار.

- AASHTO, (2010), "Highway Safety Manual American Association of State Highway and Transportation Officials", Washington, DC.
- Abdel-Aty MA & Radwan AE, (2000), "Modeling traffic accident occurrence and involvement Accident Analysis & Prevention 32", pp.633-642.
- Agresti A., (2015), "Foundations of linear and generalized linear models John Wiley & Sons".
- Ahmed M, Huang H, Abdel-Aty M & Guevara B., (2011), "Exploring a Bayesian hierarchical approach for developing safety performance functions for a mountainous freeway", Accident Analysis and Prevention 43, pp.1581-1589.
- Amoh-Gyimah R, Saberi M & Sarvi M., (2017), "The effect of variations in spatial units on unobserved heterogeneity in macroscopic crash models", Analytic methods in accident research 13, pp.28-51.

- Austin RD & L. Carson J., (2002), "An alternative accident prediction model for highway-rail interfaces", *Accident Analysis & Prevention* 34, pp.31-42.
- Ayati E & Abbasi E., (2011), "Investigation on the role of traffic volume in accidents on urban highways", *Safety Research* 42, pp.209-214.
- Bédard M, Guyatt GH, Stones MJ & Hirdes JP., (2002), "The independent contribution of driver, crash, and vehicle characteristics to driver fatalities", *Accident Analysis and Prevention* 34, pp.717-727.
- Cafiso S, Di Graziano A, Di Silvestro G, La Cava G & Persaud B., (2010a), "Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure", geometry, consistency and context variables. *Accident Analysis & Prevention* 42, pp.1072-1079.
- Cafiso S, Di Graziano A, Di Silvestro G, La Cava G & Persaud B., (2010b), "Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables", *Accident Analysis & Prevention* 42, pp.1072-1079.
- Cai Q, Lee J, Eluru N & Abdel-Aty M., (2016), "Macro-level pedestrian and bicycle crash analysis: Incorporating spatial spillover effects in dual state count models", *Accident Analysis & Prevention* 93, pp.14-22.
- Caliendo C., Guida M & Parisi A., (2007), "A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis & Prevention* 39", pp.657-670.
- Council F, Zaloshnja E, Miller T & Persaud B., (2005), "Crash Cost Estimates by Maximum Police-Reported Injury Severity Within Selected Crash Geometries", In FHWA-HRT-05-051. Federal Highway Administration, McLean, VA.
- Depaire B, Wets G & Vanhoof K., (2008), "Traffic accident segmentation by means of latent class clustering", *Accident Analysis and Prevention* 40, pp.1257-1266.
- Dong N, Huang H, Lee J, Gao M & Abdel-Aty M., (2016), "Macroscopic hotspots identification: a Bayesian spatio-temporal interaction approach", *Accident Analysis & Prevention* 92, pp.256-264.
- Elvik R., (2008a), "The predictive validity of empirical Bayes estimates of road safety", *Accident Analysis & Prevention* 40, pp.1964-1969.
- Elvik R., (2008b), "A survey of operational definitions of hazardous road locations in some European countries", *Accident Analysis & Prevention* 40, pp.1830-1835.
- Geedipally SR & Lord D., (2010), "Investigating the effect of modeling single-vehicle and multi-vehicle crashes separately on confidence intervals of Poisson-gamma models", *Accident Analysis & Prevention* 42, pp.1273-1282.
- Geurts K., Wets G, Brijs T & Vanhoof K., (2004), "Identification and ranking of black spots: Sensitivity analysis *Transportation Research Record* 1897", pp.34-42.
- Geurts K, Wets G, Brijs T, Vanhoof K & Karlis D., (2006), "Ranking and selecting dangerous crash locations: Correcting for the number of passengers and Bayesian ranking plots", *Journal of Safety Research* 37, pp.83-91.
- Hauer E., (2004), "Statistical Road Safety Modeling. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1897", pp.81-87.
- Hauer E, Allery BK, Kononov J & Griffith MS, (2004), "How best to rank Sites with promise *Transportation Research Record* 1897", pp.48-54.
- Huang H & Abdel-Aty M., (2010), "Multilevel data and Bayesian analysis in traffic safety", *Accident Analysis and Prevention* 42, pp.1556-1565.
- Huang H, Song B, Xu P, Zeng Q., Lee J & Abdel-Aty M., (2016), "Macro and micro models for zonal crash prediction with application in hot zones identification", *Journal of Transport Geography* 54, pp.248-256.
- Jorgensen R., (1966) *Evaluation of Criteria for Safety Improvements on the Highway*. Westat Research Analysts, Inc.
- Jovanis P & Chang H., (1986), "Modeling the relationship of accident to mile traveled, *Transportation Research Record* 1068", pp.42-51.
- Lord D & Persaud B., (2000), "Accident Prediction Models With and Without Trend: Application of the Generalized Estimating Equations Procedure", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1717, pp.102-108.
- Lord D, Washington SP & Ivan JN (2005), "Poisson, Poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory", *Accident Analysis & Prevention* 37, pp.35-46.
- Maher MJ & Summersgill I., (1996), "A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models", *Accident Analysis & Prevention* 28, pp.281-296.
- Miaou S-P., (1994), "The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions", *Accident Analysis & Prevention* 26.

- Miaou SP, (1996), "Measuring the goodness of fit of accident prediction models", Publication FHWA FHWA-RD-96-040.
- Miranda-Moreno L & Fu L., (2006), "A comparative study of alternative model structures and criteria for ranking locations for safety improvements", *Networks and Spatial Economics* 6, pp.97-110.
- Miranda-Moreno LF, Labbe A & Fu L., (2007), "Bayesian multiple testing procedures for hotspot identification", *Accident Analysis & Prevention* 39, pp.1192-1201.
- Montella A., (2010a), "A comparative analysis of hotspot identification methods, *Accident Analysis & Prevention* 42, pp.571-581.
- Montella A., (2010b), "A comparative analysis of hotspot identification methods, *Accident Analysis & Prevention* 42", pp.571-581.
- Naderan A & Shahi J., (2010), "Aggregate crash prediction models: Introducing crash generation concept", *Accident Analysis & Prevention* 42, pp.339-346.
- National Safety Council, (1989), "Manual on Classification of Motor Vehicle Traffic Accidents", In ANSI D-16.1-1989, Fifth edn. National Safety Council, Itasca, IL.
- Pande A, Abdel-Aty M & Das A., (2010), "A classification tree based modeling approach for segment related crashes on multilane highways", *Journal of Safety Research* 41, pp.391-397.
- Pardillo JM & Llamas R., (2003), "Relevant variables for crash rate prediction in Spain's two lane rural roads, In TRB 82nd Annual Meeting Compendium of Papers, CD-ROM, TRB, National Research Council, Washington, DC.
- Persaud B., (2001), "Statistical methods in highway safety analysis, NCHRP synthesis 295, Washington, DC.
- Persaud B, Lan B, Lyon C & Bhim R., (2010), "Comparison of empirical Bayes and full Bayes approaches for before-after road safety evaluations", *Accident Analysis & Prevention* 42, pp.38-43.
- Persaud B, Lyon C. & Nguyen T., (1999a), "Empirical Bayes procedure for ranking sites for safety investigation by potential for safety improvement", *Transportation Research Record*, pp.7-12.
- Persaud B, Lyon C & Nguyen T., (1999b), "Empirical Bayes Procedure for Ranking Sites for Safety Investigation by Potential for Safety Improvement", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1665, pp.7-12.
- Persaud BN, W. Cook & A. Kazakov, (1997), "Demonstration of New Approaches for Identifying Hazardous Locations and Prioritizing Safety Treatment", In 7th International Conference: Traffic Safety on Two Continents, Lisbon, Portugal.
- PIARK-C13, (2004), "Road safety manual, PIARK World Road Association, Technical Committee on Road Safety C13".
- Sümer N., (2003), "Personality and behavioral predictors of traffic accidents: testing a contextual mediated model", *Accident Analysis & Prevention* 35, pp.949-964.
- Tamburri TN & Smith RN., (1973), "The safety index - a method of evaluating and rating safety benefits. *Highway Research Record*, pp.28-39.
- Tasic I & Porter RJ, (2016), "Modeling spatial relationships between multimodal transportation infrastructure and traffic safety outcomes in urban environments", *Safety Science* 82, pp.325-337.
- UK Department for Transport, (2007), "2005 valuation of the benefits of prevention of road accidents and casualties", *Highways Economic Note* London.
- Xu P & Huang H., (2015), "Modeling crash spatial heterogeneity: Random parameter versus geographically weighting. *Accident Analysis & Prevention* 75, pp.16-25.
- Ye X, Pendyala RM, Washington SP, Konduri K & Oh J., (2009), "A simultaneous equations model of crash frequency by collision type for rural intersections", *Safety Science* 47, pp.443-452.
- Zhang C & Ivan JN, (2005), "Effects of Geometric Characteristics on Head-On Crash Incidence on Two-Lane Roads in Connecticut *Transportation Research Record* 1908, pp.159-164.
- Zhang J, Lindsay J, Clarke K, Robbins G & Mao Y., (2000), "Factors affecting the severity of motor vehicle traffic crashes involving elderly drivers in Ontario", *Accident Analysis and Prevention* 32, pp.117-125.

# Screening out hazardous corridors using project-level Empirical Bayes (Case Study: Khorasan Razavi Province)

*Abolfazl Mohammadzadeh Moghaddam, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.*

*Esmaeel Ayati, Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.*

*Hamid Reza Behnood, Assistant Professor, Department of Transportation Planning and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

*Hossein Raisianzadeh, M.Sc., Grad., Civil Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.*

*E-mail: [ab-moghadam@um.ac.ir](mailto:ab-moghadam@um.ac.ir)*

Received: September 2020-Accepted: January 2021

## ABSTRACT

A main step towards safety management system is identifying hazardous road locations. This can be implemented in either project or site-specific level. In many situations especially like optimizing and allocating safety budgets within a jurisdiction; Prioritizing corridors for inspection, scheduling and distributing Police patrols and mobile emergency management and lack of enough precision in crash data over the segment level, application of project-level Empirical Bayes method would give an appropriate estimation of project-level(corridor) crashes in order to identify corridors with promise. The present study is an application and introduction of project-level EB method based on fatal and injury crashes of khorasan Razavi province using 1391&92 crash data. For this to achieve, safety performance functions with the aid of generalized linear model assuming negative binomial distribution for error term were separately developed for each severity level. For developing the models 69 homogeneous from 31 corridors of khorasan Razavi province were addressed. Then, through aggregating crash recorded data and estimated ones over the segments of each corridor using project-level EB method an appropriate estimation of 31 corridors were obtained; therefore, prioritizing was fulfilled. The results revealed that road type and vehicle-kilometer driven (VKT) had a significant effect on crashes across different injury levels. Evaluating the models according  $R^2_{adj}$  and cumulative residual plot (CSR) indicated that the models have satisfactory performance at 95% significant level. Eventually, Sabzevar-Kahak, Baghcheh-Torbat Heidarie and Sarakhas-Mashad were prioritized as the triplicate first ranks for further investigation.

**Keywords:** Fatal and Injury Crashes, Safety Performance Function, Screening, Project-Level Empirical Bayes