تخمین ضریب بهبود تصادف برای بهسازی شانه راه با توسعه مدل پیش بینی تصادف به روش بیز تجربی

مقاله علمی - پژوهشی

شاهین شعبانی*، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
محمد کوهی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: shabani@pnu.ac.ir

دریافت: ١٤٠٠/٠٢/١٨- پذیرش: ١٤٠٠/٠٧/٠٥
صفحه٧٠-٥٩

چکیده

با بازنگری آیین نامه طرح هندسی راه عرض شانه راههای اصلی با افزایش ۳۵ درصدی مواجه شده است. در این پژوهش، تعیین میزان تاثیر توامان افزایش عرض شانه و رویه دار کردن آن در کاهش تصادفات در راههای دوخطه دوطرفه برون شهری هدفگذاری شد. مطالعات در حوزه راههای استان ایلام انجام و از روش بیز تجربی (EB) استفاده شد. تعدادی قطعه راه دارای شانه های باریک رویه دار و یا بدون رویه به عنوان گروه مرجع انتخاب و داده های تصادف، جریان ترافیک و هندسه آنها جمع آوری و تحت مدلسازی قرار گرفت. سه نوع مدل پیش بینی تصادف (SPF) برای کل تصادفات، تصادفات فوتی و جرحی و تصادفات وابسته به شانه در فصول سرد سال (پاییز و زمستان) با استفاده از مدل رگرسیون دوجمله ای منفی برای گروه مرجع ایجاد شد. تعدادی قطعه که شانه های آنها با تعریض و روکش ایمن سازی شده بودند نیز به عنوان گروه اصلاحی انتخاب گردیدند. برای تخمین ضریب بهبود تصادف (CMF)، تصادفات مورد انتظار در تمام قطعات اصلاحی با هم جمع و سپس با تعداد تصادفات مشاهده شده کل در دوره بعد از اقدام اصلاحی مقایسه گردید. همچنین دو بار روش EB برای گروه اصلاحی بهسازی شانه های باریک به شانه های پهن رویه دار انجام شد. یک بار با SPF مربوط به هر یک از سه دسته تصادف، با درنظرگرفتن این که گروه اصلاحی ممکن است سازگاری خوبی با گروه مرجع نشان ندهد و یک بار فقط با SPF تصادفات کل انجام شد. نتایج نشان داد تعریض و رویه دار کردن شانه ها تاثیر ایمنی قابل توجهی بر تصادفات وابسته به شانه در فصول سرد سال با CMF حدود ۰/٤۲ (کاهش ۵۸ درصدی) و تصادفات فوتی و جرحی با CMF حدود ۰/۷۲ (کاهش ۲۸ درصدی) دارد. همچنین می تواند باعث بهبود ۱۲ درصدی کل تصادفات فصول سرد سال گردد.

واژه‌های کلیدی: ایمن سازی شانه راه، راه دوخطه دوطرفه برونشهری، ضریب بهبود تصادف، روش بیز تجربی

۱-مقدمه

ایمنی راه یکی از مهم ترین مسائل کنونی در جهان است. هرساله ١/٢٤ میلیون نفر در تصادفات جاده‌ای کشته و بین ۲۰ تا ۵۰ میلیون نفر مجروح می‌شوند. اگر روند فعلی تصادفات جاده‌ای ادامه یابد، می توان پیشبینی کرد که تا سال ۲۰۲۰ یکی از سه علت اصلی مرگ و میر و جراحات در دنیا تصادفات جاده ای خواهند بود (Gulati and Kumar, 2017). رکن اصلی مطالعات ایمنی راه در دنیا تصادفات و بررسی تاثیر سه عامل راه، انسان و وسیله نقلیه در نرخ تصادفات است. هر کدام از این سه عامل طیف وسیعی از عوامل مربوطه را در بر می‌گیرند. مهندسین راه و حمل و نقل

باید همواره ایمنی راه را با تشخیص عواملی که مربوط به نرخ و شدت تصادفات است، بررسی کنند (Abdi, Javadi and Fallah, 2018). یکی از المان های با اهمیت در ارتباط با تصادفات جاده ای، شانه راه است. گزارش اخیر ایمنی راه در هند درخصوص معرفی عوامل محیطی راه بر اساس دانش بین المللی به نقل از چندین محقق بیان می کند که یکی از المان‌های پراهمیت در فراهم کردن ایمنی در امتداد راه‌ها، شانه‌های مناسب است (Mohan, Tiwari and Bhalla, 2017). طی مطالعه ای که بر روی تصادفات جاده ای در سال ۲۰۱۷ در مالزی انجام گرفته است (Darma, Karim and Abdollah, 2017) مشخص شده که ١٥/٤ درصد از کل تصادفات فوتی گزارش شده توسط پلیس، به دلیل اختلاف سطح شانه بوده است که می‌توان به نوعی این درصد تصادفات فوتی را وابسته به شانه راه دانست. این نرخ تصادف وابسته به شانه به خودی خود اهمیت این المان را در ایمنی راه نشان می‌دهد. شانه‌های راه را معمولاً به دسته‌های رویه‌دار و بدون رویه تقسیم می‌کنند. به گفته هالمارک و هاوکینز (Hallmark & Hawkins, 2014) شانه‌های رویه‌دار نقش مهمی در طرح ایمن راه، ایجاد فضای بازیابی برای وسایل نقلیه و پشتیبانی جانبی از سازه روسازی دارند. شانه‌های رویه دار نیز موجب کاهش تعداد تصادفات، افزایش ظرفیت راه، کاهش الزامات نگهداری، افزایش بالقوه طول عمر روسازی و بهبود معابر برای تردد دوچرخه سواران و سایر کاربران راه می شوند. همچنین ویکرودز (VicRoads, 2017) نشان داد که شانه‌های رویه دار نرخ تصادفات را کاهش میدهند و جایی که شانه‌های رویه دار با ١/٥ متر عرض وجود دارد منافع ایمنی قابل توجهی به دست می‌آید. نتایج مطالعه زنگ و شراک (Zeng & Schrock, 2013) نشان داده است که بهبود شانه ها، سبب کاهش تصادفات در زمستان به میزان ۱۳ تا ۲۵ درصد شده است. این در حالی بود که نتایج همین پژوهش نشان داده که تصادفات جرحی در طول زمستان ٤٠ تا ٥٨ درصد کاهش یافته است. این نتایج نشان از تاثیر ایمنی قابل توجه این اقدام اصلاحی دارد. با توجه به نتایج بدست آمده اخیر در مطالعات بین المللی که نمونه‌هایی از آنها بیان شد، می‌توان رویه‌دار کردن شانه‌ها را یک اقدام اصلاحی مؤثر در کاهش تصادفات دانست. از این رو برای نشان دادن میزان تاثیر ایمنی این اقدام اصلاحی در راه‌های کشور، در این پژوهش میزان تاثیر ارتقای ایمنی شانه‌ها در کاهش تصادفات ارزیابی شده است تا راستی آزمایی اثربخش بودن رویه دار کردن شانه در کاهش تصادفات برای راه های کشور نیز سنجیده شود. ارزیابی تاثیر ایمنی اقدامات اصلاحی با استفاده از سه روش مطالعه ساده قبل و بعد، مطالعه قبل و بعد همراه با گروه مقایسه و مطالعه قبل و بعد با بیز تجربی[1](EB) انجام گرفته است. شناخته شده ترین و پرکاربردترین روش برای ارزیابی تاثیر ایمنی، روش بیز تجربی است. هر چند که می توان با اعمال اصول کلی این روش و همچنین مدل های پیش بینی تصادف مختص به این روش که در منابع معتبر موجود است، به راحتی میزان تاثیر اقدامات اصلاحی را در سطوح معنادار تخمین زد، با این حال در پژوهش حاضر مدل‌های رگرسیونی جدیدی برای روند ارزیابی ایجاد می شود. دلیل این موضوع این است که به عقیده محققان، یک مدل پیش بینی تصادف باید برای شرایط محلی کالیبره باشد و همچنین با توجه به مشاهدات محلی، متغیرهای مدل تعیین و به کار گرفته شود. به همین دلیل در روند انجام روش بیز تجربی برای این پژوهش، اقدام به ساخت مدل های جدید شده است.

۲-روش شناسی پژوهش

روشی که در این پژوهش به کار رفته، روش بیز تجربی است. روش بیز تجربی توسط بسیاری از محققان توصیف یا مطالعه شده است. گام کلیدی در روش بیز تجربی، ایجاد یا انتخاب یک تابع عملکرد ایمنی[2] (SPF) است. یک SPF مناسب، به خوبی تغییرات در حجم ترافیک و ویژگی‌های هندسی را محاسبه می کند. در روند انجام این پژوهش برای ایجاد SPF یک گروه مرجع ایجاد شد که شامل قطعات راه دوخطه دوطرفه برونشهری با یا بدون شانه های رویه دار بود. داده های تاریخچه تصادف، جریان ترافیک و هندسه راه از مراجع مربوطه بدست آمد. داده‌های تصادف برای نیمه دوم سال که تحت عنوان فصول سرد (پاییز و زمستان) نامگذاری گردید برای توسعه مدل پیش بینی مورد استفاده قرار گرفت. سه نوع SPF شامل یک SPF برای کل تصادفات، یک SPF برای تصادفات فوتی و جرحی و یک SPF برای تصادفات وابسته به شانه با استفاده از مدل

رگرسیون دوجمله‌ای منفی ایجاد شد. با توجه به شرایط قطعات راه مورد مطالعه که دوخطه دوطرفه هستند و اکثرا در نواحی بین شهری با تعدد روستاها و مناطق کشاورزی در حاشیه راه قرار دارند، تصادفات وابسته به شانه به صورت جدول (۱) در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. تصادفات وابسته به شانه

تصادفات وابسته به شانه	دلیل وابسته بودن
برخورد با عابرپیاده، دوچرخه سوار و موتورسیکلت در حال حرکت در منتهی الیه سمت راست سواره رو	در صورت وجود شانه مناسب و پهن، این کاربران در شانه تردد می‌کردند و در مسیر ترافیک اصلی و تندرو قرار نمی‌گرفتند.
برخورد با موانع لبه راه یا وسیله نقلیه متوقف در شانه	درصورت وجود شانه پهن رویه دار، فضای لازم برای بازیابی وسایل نقلیه منحرف شده و یا عدم تجاوز عرض وسایل نقلیه متوقف شده در شانه به سطح سواره رو، وجود دارد.
برخوردهای روبرو یا پهلو به پهلو در هنگام سبقت	در صورت وجود شانه پهن وسایل نقلیه با تجاوز به شانه امکان عبور از کنار هم در شرایط سبقت گیری نامناسب را خواهند داشت.
خروج از راه و از دست دادن کنترل وسیله نقلیه ناشی از اختلاف سطح شانه و سواره رو	در صورت وجود شانه پهن و مناسب وسیله نقلیه خود را کنترل و به سواره رو باز می‌گشت.

SPFها برای پیش بینی فراوانی تصادفات سالانه قطعات در گروه اصلاحی به کار گرفته شدند (این کار از مراحل اولیه در روش بیز تجربی و برای تخمین تصادفات مورد انتظار به کار می رود). از طرفی، قطعاتی در گروه اصلاحی در نظر گرفته شدند که از وضعیت شانه باریک به شانه پهن و رویه دار، و یا از شانه بدون رویه به شانه رویه دار ارتقا داده شده باشند. مرحله بعد برای هر قطعه منفرد، ترکیب مجموع پیش بینی‌های اولیه (N_B) با مجموع تعداد تصادفات مشاهده شده (O_B) است. این فرآیند از طریق استفاده از یک پارامتر بیش پراکنده (k) کامل می‌شود، و نتیجه آن یک تخمین خوب از فراوانی تصادف (E_B) برای تعداد مورد انتظار تصادفات در دوره قبل است (Huer,1997). سپس واریانس مربوطه ($Var(E_B)$) نیز تخمین زده شده است. این تخمین بصورت زیر قابل انجام است:

$$E_B = wN_B + (1-w)O_B,\ \ w = \frac{1}{1+kN_B} \qquad (۱)$$

$$Var(E_B) = (1-w)E_B \qquad (۲)$$

طبق گفته هاروود و همکاران، روش EB در شرایطی که قطعات راه دست کم حاوی یک تعداد حداقل مشخص شده تصادفات پیش‌بینی شده باشد، بهتر عمل می‌کند (Harwood et al., 2000). حداقل فراوانی تصادفات بصورت کلی به شکل 1/k است، که k پارامتر بیش پراکنده مدل پایه مربوطه است. اگر قطعات، حداقل فراوانی تصادف مورد نیاز را تجربه نکرده باشند، برای تحلیل EB ترکیب می‌شوند. تحلیل باید برای هر دو فرضیه محاسبه شود، یعنی هر دو کاملا همبستگی دارند (H_0) و فرضیه جایگزین که المانهای مختلف از لحاظ آماری مستقل هستند (H_1)، این محاسبات با معادله‌های زیر اجرا می‌شود (Harwood et al.) :

$$E_0 = w_0 \sum_i N_i + (1-w_0)\sum_i O_i\ ,w_0 = \frac{1}{1+\sqrt{k}} \qquad (۳)$$

$$E_1 = w_1 \sum_i N_i + (1-w_1)\sum_i O_i\ ,w_1 = \frac{1}{1+k\sum_i N_i} \qquad (٤)$$

$$E_B = \frac{E_0 + E_1}{2} \qquad (۵)$$

که:

w_0 = وزن قرار داده شده در فراوانی تصادف پیش بینی شده وقتی فراوانی‌های تصادف برای قطعات مختلف کاملا همبستگی دارند (H_0)، w_1 = وزن قرار داده شده در فراوانی

تصادفات پیش بینی شده وقتی فراوانی‌های تصادف برای قطعات مختلف از لحاظ آماری مستقل هستند (H_1)، E_0=فراوانی تصادف مورد انتظار بر اساس H_0، E_1 = فراوانی تصادف مورد انتظار بر اساس H_1، E = فراوانی تصادف مورد انتظار برای قطعات ترکیب شده، k = پارامتر بیش پراکندگی، N_i = تعداد تصادف پیش بینی شده برای قطعه i و O_i = تعداد تصادف مشاهده شده برای قطعه i است. با نتایج فوق و پیش‌بینی تعداد تصادفات (N_A) از SPF برای قطعه مرجع، تعداد مورد انتظار تصادفات در دوره بعد بدون ارتقای شانه را می‌توان با معادله زیر تخمین زد.

$$E_A = E_B \frac{N_A}{N_B} \quad (٦)$$

برای تخمین ضریب بهبود تصادف[3](CMF) اول نیاز به جمع کردن تصادفات مورد انتظار تمام قطعات در گروه اصلاحی ($E_{A\ sum}$) و سپس مقایسه کردن با تعداد تصادفات مشاهده شده کل ($O_{A\ sum}$) در طول دوره بعد در گروه اصلاحی (معادله ٧) است. انحراف استاندارد CMF از معادله (٨) تخمین زده می شود (Huer, 1997).

$$CMF = \frac{O_{Asum}/E_{Asum}}{1 + Var(E_{Asum})/E_{Asum}^2} \quad (٧)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{CMF^2(Var(E_{Asum})/E_{Asum}^2 + Var(O_{Asum}}{(1 + Var(E_{Asum})/E_{Asum}^2)^2}} \quad (٨)$$

داده‌ها

تعداد قابل ملاحظه‌ای از پروژه‌های ارتقای شانه بین سالهای ١٣٩٠ تا ١٣٩٤ در استان ایلام انجام شده است. دوره مطالعه برای این پژوهش از ١٣٨٧ تا ١٣٩٦ در نظر گرفته شده است. این بازه زمانی اجازه انجام یک مطالعه قبل و بعد با استفاده از داده کافی را می‌دهد. تعداد ٣١١ قطعه راه دوخطه برونشهری انتخاب و داده هندسی و داده تصادفات از اداره راه و پلیس اخذ شد. داده‌های تصادف ثبت شده حاوی متغیرهای فهرست شده در جدول (٢) است.

جدول ٢. متغیرهای داده تصادف

متغیر	شرح
کد تصادف	کد شناسایی تصادف در مجموعه داده
داده‌های تصادف مسیر	روز تصادف، مسیری که تصادف در آن رخ داده و محل تصادف در مسیر را نشان می‌دهد
تعداد فوتی و جرحی	تعداد کشته شدگان و مجروحین تصادف را نشان می‌دهد
موقعیت تصادف	موقعیت تصادف مانند تقاطع، غیر تقاطع، پارکینگ و غیره را نشان می‌دهد
نوع تصادف	برخورد با عابر، مانع، سبقت، خروج از راه و غیره

مرحله اول جمع آوری داده، انتخاب قطعات مطالعه بود. نوع و عرض شانه بررسی شد تا مشخص شود که آیا ارتقای شانه انجام شده یا نه و اگر انجام شده در چه زمانی بوده است. با استفاده از داده‌های تصادف و این اطلاعات، یک فهرست اولیه قطعات تولید شد. سپس قطعاتی که در طول دوره انتخابی برای مطالعه، با تغییرات عمده‌ای در مشخصات و هندسه مسیر همراه بوده‌اند، حذف شدند و فهرست نهایی قطعات مطالعه ایجاد شد. مجموعه داده نهایی شامل دو فهرست از قطعات مطالعه با ویژگی‌های راه و تاریخچه تصادف بود: یک فهرست حاوی داده‌های گروه مرجع و یک فهرست حاوی داده‌های گروه اصلاحی برای روش بیز تجربی. فرض شد که شانه‌های قطعات مورد مطالعه دارای تاثیر پیوسته در طول سال هستند. ضمنا با توجه به مطالعات قبلی، در این پژوهش فقط تصادفات فصول سرد سال در نظر گرفته شدند. جدول (٣) تعداد و سهم تصادفات فصول سرد از کل تصادفات را نشان می‌دهد. اطلاعات گروه مرجع برای ایجاد SPF و اطلاعات گروه اصلاحی برای انجام مطالعات قبل و بعد استفاده شد. معیار انتخاب برای قطعات گروه مرجع به صورت زیر تعریف شد:

- قطعاتی با شانه‌های باریک بدون رویه و رویه‌دار در راه‌های دوخطه برونشهری.
- هیچ ساخت و ساز مهمی که ویژگی‌های قطعه را به صورت قابل توجهی تغییر دهد انجام نشده باشد.
- اطلاعات مربوط به AADT، تغییرات و هندسه راه موجود باشد.

معیار انتخاب برای قطعات گروه اصلاحی به صورت زیر تعریف شد:

- قطعات دوخطه برونشهری با شانه‌های باریک بدون رویه یا رویه دار ارتقا داده شده به شانه‌های عریض رویه دار
- هیچ ساخت و ساز مهمی که ویژگی‌های قطعه را به صورت قابل توجهی تغییر دهد انجام نشده باشد.
- اطلاعات مربوط به AADT، تصادفات و هندسه برای دوره قبل حداقل ۳ سال و دوره بعد حداقل ۱ سال موجود باشد.

بر اساس معیارهای فوق، در شبکه راه‌های دوخطه دوطرفه برونشهری ایلام ١٠٤ قطعه برای گروه مرجع انتخاب شد. ۳۰ قطعه نیز برای گروه اصلاحی تعریف شد. جدول (۵) خلاصه ای از تصادفات توصیف شده را نشان می دهد.

جدول ۳. تعداد و سهم تصادفات فصول سرد (پاییز و زمستان) از کل تصادفات سال

سال	سرد (پاییز و زمستان)	غیرسرد (بهار و تابستان)	تصادفات در یک سال	درصد
١٣٨٧	٦٦	٧٥	١٤١	٤٧
١٣٨٨	٧٠	٨٦	١٥٦	٤٥
١٣٨٩	٦١	٨٥	١٤٦	٤١
١٣٩٠	٦٥	٨٤	١٤٩	٤٣
١٣٩١	٦٥	٧٩	١٤٤	٤٥
١٣٩٢	٧٠	٦٤	١٣٤	٥٢
١٣٩٣	٦٧	٩٠	١٥٧	٤٢
١٣٩٤	٦٩	٨٧	١٥٦	٤٤
١٣٩٥	٨٥	٨٣	١٦٨	٥٠
١٣٩٦	٥٢	٧٤	١٢٦	٤١
متوسط	٦٧	٨١	١٤٨	٤٥

جدول ٤. تعداد و سهم تصادفات وابسته به شانه در فصول سرد (پاییز و زمستان) از کل تصادفات وابسته به شانه درسال

سال	سرد (پاییز و زمستان)	غیرسرد (بهار و تابستان)	تصادفات در یک سال	درصد
١٣٨٧	٨	٩	١٧	٤٧
١٣٨٨	١٢	١٢	٢٤	٥٠
١٣٨٩	٧	١٢	١٩	٣٧
١٣٩٠	٧	٢٥	٣٢	٢٢
١٣٩١	٩	١٩	٢٩	٣١
١٣٩٢	١٢	١١	٢٣	٥٢
١٣٩٣	١٥	٢٠	٣٥	٤٣
١٣٩٤	١٤	١٨	٣٢	٤٤
١٣٩٥	٢١	٣٢	٥٣	٤٠
١٣٩٦	١٢	٢٣	٣٥	٣٤
متوسط	١٢	١٨	٣٠	٤٠

جدول ٥ : آماره های توصیفی برای قطعات در گروه های اصلاحی و مرجع

گروه	متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	مواجهه*
	کل تصادفات	٠	١٦	١/٠٦	١/٦٣	٠/٥٦
	تصادفات فوتی جرحی	٠	٨	٠/٢١	٠/٥٣	٠/١٣
گروه مرجع	تصادفات وابسته	٠	١٥	٠/٢٠	٠/٦٦	٠/١١
	عرض خط(متر)	٣/٢٥	٣/٦٥	٣/٤٠	٠/١٣	
	AADT	٦٥	٤٥٨٠	٩٤٠	٧٧٨	
	طول(کیلومتر)	٠/٤	٨	٢/٩١	١/٩٧	
	کل تصادفات	٠	٥	٠/٩٦	١/١٩	٠/٤٥
گروه	تصادفات فوتی جرحی	٠	٣	٠/١٨	٠/٤١	٠/٠٨
اصلاحی-	تصادفات وابسته	٠	٣	٠/١٣	٠/٤١	٠/٠٩
قبل	عرض خط(متر)	٣/٢٥	٣/٦٥	٣/٣٦	٠/١٦	
	AADT	٣٨٠	٢٣٤٠	٩٦٨	٤٩٨	
	طول(کیلومتر)	٠/٤	٧/٦٠	٢/٨٥	١/٨٤	
	کل تصادفات	٠	٥	١/١٩	١/٣٦	٠/٥٨
گروه	تصادفات فوتی جرحی	٠	٤	٠/١٨	٠/٣٩	٠/٠٩
اصلاحی-	تصادفات وابسته	٠	٣	٠/١٣	٠/٣٥	٠/٠٦
بعد	عرض خط(متر)	٣/٢٥	٣/٦٥	٣/٤٢	٠/١٨	
	AADT	٥٤٠	٢١٥٠	٩٨٣	٣٦٩	
	طول(کیلومتر)	٠/٤	٧/٥٠	٢/٩٦	١/٨٨	

*تعداد متوسط تصادفات در هر کیلومتر در سال

همانطور که در جدول (٤) نشان داده شده است، تعداد متوسط کل تصادفات در هر کیلومتر در هر سال در گروه اصلاحی دوره بعد بیشتر از دوره قبل بود. با این حال، اثربخشی ایمنی را بسادگی نمی‌توان با این تعداد میانگین نشان داد چون قادر به محاسبه برای حجم ترافیک و تغییرات دیگر نیست. روش بیز تجربی قادر به محاسبه برای این تغییرات و همچنین تفاوت‌های زمانی بین دوره قبل و بعد است. میانگین AADT در گروه اصلاحی به اندازه ناچیزی بیشتر از گروه مرجع است. داده‌های تصادف غیرتقاطعی برای توسعه سه نوع SPF به سه دسته تفکیک شدند: تعداد کل تصادفات، تعداد تصادفات فوتی و جرحی، تعداد تصادفات وابسته. دو متغیر ساختگی به نام "اندازه شانه" برای بیان وضعیت عرض شانه و "تطابق" برای بیان سازگاری بین گروه اصلاحی با مرجع تعریف شد. اگر عرض شانه قطعه‌ای برابر یا کمتر از ١/٨٥ متر باشد، یک مقدار صفر برای اندازه شانه استفاده می‌شود. در غیر اینصورت مقدار ١ استفاده می‌شود. در گروه مرجع، تقریباً ٤٧ درصد قطعات شانه‌های باریک بدون رویه داشتند (عرض حدود ١/٨٥ متر). در گروه اصلاحی، تقریبا ٥٠ درصد قطعات در دوره قبل شانه‌های باریک داشتند (کمتر یا برابر ١/٨٥ متر)، که به شانه عریض رویه‌دار (بیش از ١/٨٥ متر) در دوره بعد ارتقاء داده شده اند. پرساود (Persaud, 2007) بیان می‌کند که یک گروه مرجع باید از نظر ویژگی‌های طرح هندسی، حجم ترافیک، ناوگان وسایل نقلیه و غیره مشابه گروه اصلاحی باشد. اگرچه دو گروه مورد استفاده در مطالعه، مشابه هستند، اما امکان اینکه رابطه بین تعداد تصادفات و متغیرهای مستقل بین دو گروه متفاوت باشد، وجود دارد. اگر روابط متفاوت باشد، نشان می‌دهد گروه مرجع نمی‌تواند نماینده خوبی برای گروه اصلاحی باشد. در نتیجه، دو هدف برای متغیر "تطابق" وجود داشت : ١- آزمونی که چگونگی مناسب بودن گروه

مرجع بعنوان نماینده گروه اصلاحی را نشان دهد و ۲- فراهم کردن یک راه حل ممکن اگر گروه مرجع نماینده مناسبی برای گروه اصلاحی نباشد.

اگر قطعه ای، در هر دو گروه مرجع و اصلاحی گنجانده شده باشد، مقدار ۱ استفاده می شود و در غیر اینصورت مقدار صفر استفاده می شود.

٤- تجزیه و تحلیل داده ها و نتایج

٤-١- توابع عملکرد ایمنی(SPF)

٤-١-١- انتخاب متغیر

مطالعات پیشین توسط محققان شکل‌های مختلفی از SPF را بررسی کرده‌اند. متداول‌ترین شکل مورد استفاده، یک مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی است که در معادله‌های (۹) و (۱۰) نشان داده شده است:

$$n = \alpha(\text{طول قطعه})^{\beta_1}(AADT)^{\beta_2}e^{(\beta_3 x_1+\beta_4 x_2+\cdots)} \quad (۹)$$

یا

$$ln(n) = \alpha + \beta_1 ln\left(\text{طول قطعه}\right) + \beta_2\, ln(AADT) + \beta_3 x_1 + \beta_4 x_2 + \cdots \quad (۱۰)$$

که n تعداد تصادفات سالیانه پیشبینی شده، α و β_i ضرایب، و x_i متغیرهای توصیفی دیگر غیر از طول قطعه و AADT هستند. این شکل از SPF برای این پژوهش انتخاب شد.

برای هر SPF منفرد، شامل لگاریتم طبیعی AADT، طول قطعه و تعداد مربوطه تصادفات در راه های دوخطه برونشهری با طبقه بندی مشابه، ۱۰ متغیر که بتوان در مدل لحاظ کرد، وجود داشت، که سبب ۵۲۱ زیرمجموعه ممکن از متغیرهای توصیفی شد. معیار اطلاعاتی اکاییک[٥] (AIC)، برای اینکه نشان دهد چه زیرمجموعه متغیرهای توصیفی باید در مدل لحاظ شود، استفاده شد. مدل‌های مختلفی با زیرمجموعه های متغیرهای توصیفی امتحان شدند و بهترین مدل براساس کوچکترین AIC انتخاب شد. SPF تصادفات کلی شامل ٤ متغیر بود: ln(AADT)، (طول)ln، اندازه شانه و عرض خط. SPF تصادفات فوتی و جرحی شامل ٦ متغیر بود: ln(AADT)، (طول)ln، اندازه شانه، عرض خط ،گروه اصلاحی و (تعداد تصادفات وابسته)ln.

٤-١-٢- آزمون خوبی برازش

مدلهای رگرسیون دوجمله‌ای منفی، آزمون های آماری مختلفی هم برای "پارامترها" و هم "خوبی برازش" دارند. آزمون کای دو والد[٤] یک آزمون آماری است که برای رگرسیون دوجمله ای منفی در بسیاری از نرم افزارهای آماری بصورت پیش فرض وجود دارد. بر اساس این آزمون، تخمین درستنمایی بیشینه ضریب β با مقدار پیشنهادی β_0 مقایسه می شود، با فرض اینکه تفاوت بین آنها تقریبا نرمال است. آزمون کای دو والد را می‌توان با استفاده از معادله (۱۱) تعیین کرد که با یک توزیع کای مجذور مقایسه می شود.

$$WaldChiSquare = \frac{(\beta-\beta_0)^2}{Var(\beta)} \quad (۱۱)$$

آزمون R^2 معمولی، معیار خوبی برای برازش خوبی رگرسیون های دوجمله ای منفی نیست چون نمی‌تواند توزیع غیر نرمال و همچنین تاثیرات بیش پراکندگی را محاسبه کند. در این پژوهش از آزمون Pseudo R^2 که توسط میائو توصیه شده، استفاده می‌شود. این آزمون مبتنی بر پارامتر بیش پراکندگی است و در معادله (۱۲) نشان داده شده است (Miaou,1996).

$$PseudoR^2 = 1 - \frac{K}{K_{max}} \quad (۱۲)$$

که K پارامتر بیش پراکندگی تعیین شده در مدل است و K_{max} پارامتر بیش پراکندگی تخمینی در یک مدل صرفاً دارای عدد ثابت[٦] است. علاوه بر آزمون‌های فوق، نسبت درستنمایی کای مجذور برای مقایسه مدل‌های برازش شده در برابر مدل صرفاً دارای عدد ثابت به کار رفت.

٤-١-٣- مدلهای نهایی

نرم افزار SPSS برای ایجاد مدل‌های SPF با استفاده از داده‌های گروه مرجع به کار گرفته شد. جدول (٦) نتایج SPFهای ایجاد شده و همچنین خوبی برازش آنها را نشان می‌دهد.

جدول ٦. SPF تصادفات فصول سرد سال برای شانه‌های رویه دار گروه مرجع

متغیر	SPF برای کل تصادفات		SPF تصادفات فوتی جرحی		SPF برای تصادفات وابسته	
	ضریب SE*	WCS**	ضریب SE	WCS	ضریب SE	WCS
C	-٣/٢١(٠/٨٤)	١٤/٣١	-٩/٩٧(٠/٧٦)	١٧٤/١٢	٧/٦٨(٨/٦٠)	٠/٨٨
Ln AADT	٠/٦٩(٠/٠٥)	٢٣٣/٨٢	١/١٨(٠/١١)	١٢٣/٠٨	١/٤٨(٠/١٣)	١٢١/٩٦
Ln L_C	١/٠٠		١/٤١(٠/١٢)	١٢٩/٠٥	١/٥١(٠/١٥)	٩٨/٣٦
SW	-٠/٣٦(٠/٠٧)	٢٧/٨١	-١/١٩(٠/١٥)	١٣/٤٩	-١/٦٧(٠/٢٠)	٨٨/٤١
L_W	-٠/١٧(٠/٠٧)	٥/٥٧			-٠/٤١(٠/١٦)	٦/٠١
m			-٠/٩٦(٠/٢٧)	١١/٠٤	-٠/٩٤(٠/٣٤)	٦/٩٨
Ln RSC					-٢/٣١(١/٢٠)	٣/٧٦
K	٠/٤٨(٠/٠٥)		٠/٧٣(٠/٢٠)		١/٤٢(٠/٣٠)	
LLRCS	٢٢٩/٧٦		٢٦٣/٥٣		٢٩٨/٩١	
AIC	٤٣٥١/٧١		١٥٦٤/٣٩		١٣٣٤/٠٣	
Pseudo R^2	٠/٦٧		٠/٧٥		٠/٦٩	

سلول هایی که خالی است، به این دلیل است که متغیرها در مدل لحاظ نشده است

C : عدد ثابت، L_C : طول قطعه، SW : اندازه شانه، L_W : عرض خط، m : تطابق، RSC : تصادفات در راه های با طبقه بندی مشابه، LLRCS: نسبت کای دو لگاریتم درستنمایی(log-likelihood ratio chi-square)، AIC : معیار اطلاعاتی اکاییک

*:خطای استاندارد، **: کای دو والد (wald chi-square)،

مشخص شد که متغیر "تطابق" در هر دو مدل تصادفات فوتی و جرحی و مدل تصادفات وابسته در سطح معناداری ٠/٠١ ، معنادار است. در حالی که در مدل تصادفات کلی در سطح ٠/٠١ معنادار نیست. یعنی با توجه به تصادفات فوتی و جرحی و تصادفات وابسته، رابطه بین تعداد تصادفات و متغیرهای مستقل در قطعات گروه اصلاحی متفاوت از قطعات اصلاح نشده است. در این مورد گروه مرجع ممکن است نماینده خوبی برای گروه اصلاحی در هر دو تصادفات فوتی و جرحی و تصادفات وابسته نباشد. برای تحلیل‌های بعدی، لحاظ کردن متغیر "تطابق" به بهتر شدن کمک می‌کند اما مشکلات را برطرف نمی‌کند. ضرایب اندازه شانه در هر سه SPF منفی و در سطح ٠/٠١ معنادار بودند. در نتیجه، مدلها نشان دادند که شانه‌های پهن تر نسبت به شانه‌های باریک تر دارای تصادفات کمتری بوده است. برای مواجهه با ریسک، ln تعداد تصادفات وابسته در راه های با طبقه بندی مشابه در سطح اطمینان ٠/٠١ در تعداد کلی تصادفات و تعداد تصادفات فوتی و جرحی معنادار نیستند. با این حال، یک رابطه معنادار بین تصادفات وابسته و ln تصادفات وابسته در راه های با طبقه بندی مشابه به دست آمد.

SPF تصادفات وابسته، یک عدد ثابت معنی دار در سطح ٠/٠١ نداشت. در این مورد بعید است که خط SPF تصادفات وابسته از جایی که $\ln(n)=0$ و $x_i=0$ باشد عبور کند. تخمین ضرایب اگر عدد ثابت حذف شود، جهت دار خواهد بود (Wooldridge, 2009). در نتیجه عدد ثابت به منظور جلوگیری از جهت دار شدن مدل، حذف نمی‌شود. در حقیقت، مدل‌های با عددهای ثابت بی‌معنی در پژوهش‌های پیشین نیز به دست آمده است (Vogt & Bared 1998 و Harwood et al. 2000).

٤-٢- نتایج روش EB

دو بار روش قبل و بعد EB انجام شد. یک بار با SPFهای جداگانه مربوط به هر یک از سه نوع تصادف، با درنظرگرفتن این که گروه اصلاحی سازگاری خوبی با گروه مرجع ندارد (با توجه به تصادفات مربوطه و تصادفات فوتی و جرحی) و یک بار با استفاده از فقط SPF تصادفات کلی انجام شد. هائر چگونگی این روش را آموزش داده است. ابتدا تعداد تصادفات فوتی و جرحی و تصادفات وابسته در دوره قبل با ضرب کردن پیش‌بینی‌های تصادف کل اولیه با نسبت مربوط برای کل تصادفات بدست می‌آید. سپس روشی مشابه برای تخمین تعداد تصادف مورد انتظار در دوره بعد اعمال می‌شود. در این مورد، SPF تنها برای کل تصادفات

استفاده شد. یک آنالیز تجمعی[٧] برای تمام گروه اصلاحی انجام شد که با CMFهای جمع آوری شده برای سه نوع تصادفات به دست آمد. علاوه بر این، آنالیزهای جداگانه بر روی شانه‌های باریک که به شانه‌های پهن رویه دار ارتقاء داده شده بودند، انجام شد. یکی از محدودیت‌های مجموعه داده‌های جمع‌آوری شده این بود که بیشتر قطعات مطالعه شده با شانه های بدون رویه پهن، قطعات پی در پی در محور ایلام –دره شهر بود. این نمونه کوچک و متمرکز داده، می‌تواند سبب جهت دار شدن CMFهای نتیجه شده برای ارتقای شانه‌های بدون رویه پهن شود.

در نتیجه، این CMFها برای ارتقای شانه‌های بدون رویه پهن به شانه‌های پهن رویه دار پیشنهاد نمی‌شوند. برای مقایسه بهتر، یک مطالعه قبل و بعد ساده بر روی این قطعات اصلاح شده انجام شد. CMFهای تخمین زده شده در جدول (٧) نشان داده شده است.

جدول ٧. CMFها برای شانه‌های پهن رویه‌دار از روش‌های EB اولیه و روش مطالعه ساده

	روشها	کل تصادفات		تصادفات فوتی جرحی		تصادفات وابسته	
		CMF	SD	CMF	SD	CMF	SD
آنالیز تجمعی	EB با SPF های جداگانه	١/١١٢	٠/١٢٦	٠/٩٤٢	٠/٢٦٣	٠/٦٦٣	٠/٢٣٥
	EB با SPF کل تصادفات	"	"	٠/٩٥١	٠/٢٥٢	٠/٦٨٤	٠/٢٢١
	مطالعه ساده قبل وبعد	١/٢٠٨	٠/١٦٩	٠/٩٨٦	٠/٣٥٢	٠/٧٤١	٠/٣٠٥
شانه های باریک	EB با SPF های جداگانه	٠/٨٨٣	٠/١٤٧	٠/٦٩٨	٠/٢٢٨	٠/٤٠١	٠/١٦١
	EB با SPF کل تصادفات	"	"	٠/٧٤٢	٠/٢٤٨	٠/٤٤٥	٠/٢٠٧
	مطالعه ساده قبل و بعد	١/٠١٥	٠/٢١٤	٠/٦٤٣	٠/٢٧٦	٠/٣٩٤	٠/٢٠٣
شانه های بدون رویه پهن	EB با SPF های جداگانه	١/٤٢٠	٠/٢٢١	---*		---*	
	EB با SPF کل تصادفات	"		---		---	
	مطالعه ساده قبل و بعد	١/٣٧٩	٠/٢٦٧	---		---	

*تعداد تصادفات برای تخمین یک CMF معتبر کافی نبود.

SD = انحراف استاندارد

تنها ٣ تصادف فوتی و جرحی و ٢ تصادف وابسته در میان تمام قطعات با شانه‌های پهن در دوره قبل مشاهده شد که سبب انحراف استاندارد زیاد در CMFها شد و این CMFها بی اعتبار در نظر گرفته شدند. نتایج روش‌های EB خطاهای تخمین کمتری در مقایسه با مطالعه ساده قبل و بعد داشتند. همچنین نتایجی مطلوب‌تر برای ارتقای شانه‌ها از بدون رویه به شانه‌های پهن رویه‌دار داشتند. ارتقای شانه‌های باریک کوچکترین CMFها را و ارتقای شانه‌های پهن به شانه های رویه دار، CMFهای بزرگتر از ١ داشت.

تفاوت هایی بین دو روش EB بکاررفته (EB با SPF کل تصادفات و EB با SPF های جداگانه) مشاهده شد. روش EB با SPF کل تصادفات، مشکلاتی در محاسبه تاثیر اصلاحات شانه در انواع تصادفات و شدت‌های مختلف داشت. برای مثال، وضعیت شانه ممکن است بر تصادفات مربوط به برخورد با موانع لبه راه و تصادفات ناشی از برخورد با کاربران تردد کننده در لبه راه به شکل متفاوتی تاثیر بگذارد. بنابراین تنها یک SPF قادر نیست که ایمنی برای یک وضعیت مشخص را برای شدت‌های مختلف تصادف بطور کامل نشان دهد. در نتیجه میانگین نتایج حاصل

از دو روش EB، برای یک تخمین بهتر که هر دو ملاحظات را در نظر می‌گیرد، محاسبه شد. معادله‌های (١٣) و (١٤) چگونگی ترکیب CMF حاصل از روش EB با SPF کل و CMF حاصل از روش EB با SPF جداگانه و همچنین انحراف‌های استانداردشان را نشان می‌دهد. نتایج ترکیب در جدول (٨) نشان داده شده است.

$$CMF_C = \frac{CMF_1 + CMF_2}{2} \qquad (١٣)$$

$$\sigma_C = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}{2} \qquad (١٤)$$

جدول ٨ CMFها برای ارتقای شانه‌های باریک به عریض رویه دار از روش EB ترکیب شده

آنالیز تجمعی		
کل تصادفات	CMF	١/١١
	SD	٠/١٢٦
تصادفات فوتی جرحی	CMF	٠/٩٤
	SD	٠/١٨١
تصادفات وابسته	CMF	٠/٦٧
	SD	٠/١٦٥
ارتقای شانه های باریک به عریض رویه دار		
کل تصادفات	CMF	٠/٨٨
	SD	٠/١٤٧
تصادفات فوتی جرحی	CMF	٠/٧٢
	SD	٠/١٧٢
تصادفات وابسته	CMF	٠/٤٢
	SD	٠/١٢٨
ارتقای شانه های پهن بدون رویه به رویه دار		
کل تصادفات	CMF	١/٤
	SD	٠/٢٢١
تصادفات فوتی جرحی	CMF	*---
	SD	*---
تصادفات وابسته	CMF	*---
	SD	*---

*تصادفات به اندازه کافی برای محاسبه CMF وجود نداشت.
SD : انحراف استاندارد

طبق نتایج روش EB، ارتقای شانه‌های باریک به شانه‌های عریض رویه‌دار، تاثیر ایمنی قابل توجهی بر تصادفات وابسته به شانه، با CMF برابر ٠/٤٢ دارد. همچنین تاثیر قابل ملاحظه در تصادفات فوتی و جرحی با CMF برابر ٠/٧٢ دارد. در کل، تخمین زده می‌شود که در قطعات مطالعه شده، CMF تصادفات کلی برای این اقدام اصلاحی تخمین زده می‌شود که ٠/٨٨ باشد، یعنی میزان کاهش برآورد شده تصادفات کل در فصل‌های سرد (پاییز و زمستان)، ١٢ درصد است.

٥-نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور ارزیابی تاثیر ارتقای ایمنی شانه‌های راه‌های برونشهری بر روی تصادفات فصول سرد انجام شد. داده‌های تصادفات به دو دسته تصادفات فصول سرد (پاییز و زمستان) و فصول غیرسرد تقسیم شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها تنها بر روی دسته تصادفات فصول سرد انجام شد. تحلیل ایمنی با استفاده از سه روش بیز تجربی با SPFهای جداگانه، روش بیز تجربی با SPF کل تصادفات و روش مطالعه ساده قبل و بعد انجام شد. مشخص شد که نتایج روشهای EB خطاهای تخمین کمتری در مقایسه با مطالعه ساده قبل و بعد دارند و همچنین نتایج مطلوب‌تری برای ارزیابی ارتقای ایمنی شانه‌های باریک به شانه‌های عریض رویه دار دارند. ارتقای شانه‌های باریک کوچکترین CMFها را داشت، در حالی که ارتقای شانه‌های پهن بدون رویه به شانه‌های رویه‌دار، CMFهای بزرگتر از ١ داشت. روش EB با SPF کل تصادفات، مشکلاتی در محاسبه اثربخشی ارتقای شانه بر تصادفات و انواع شدت‌های مختلف داشت. مشخص شد که تنها یک SPF قادر نیست که شرایط سه نوع تصادف فصول سرد (کل تصادفات، تصادفات وابسته به شانه و تصادفات فوتی جرحی) را به طور کامل نشان دهد. در نتیجه ترکیب میانگین این نتایج تخمین بهتری با در نظر گرفتن تمام ملاحظات، ارایه خواهد نمود. نتایج این ترکیب نشان داد که اصلاح شانه تاثیر قابل توجهی بر کاهش تصادفات فصول سرد دارد. این اقدام اصلاحی ١٢ درصد کل تصادفات فصول سرد را کاهش می‌دهد. ارتقای شانه‌های باریک به شانه عریض رویه دار، ٥٨ درصد کاهش تصادفات وابسته به شانه را در فصول سرد به دنبال خواهد داشت. همچنین میزان تصادفات فوتی و جرحی این فصول را به میزان ٢٨ درصد کاهش می‌دهد.

۶-پی‌نوشت‌ها

1. Empirical Bayes
2. Safety Performance Function
3. Crash Modification Factor
4. Wald Chi-Square
5. Akaike Information Criterion
6. Intercept-Only Model
7. Aggregated Analysis

۷-مراجع

-Abdi, A, Javadi, S, Fallah, A., (2018), "The Effect of Shoulder on Safety of Highways in Horizontal Curves: With Focus on Roll Angle", KSCE Journal of Civil Engineering 22(8), pp.3153-3161.

-Darma, Y., Karim, M, R., and Abdullah, S., (2017), "An analysis of Malaysia road traffic death distribution by road environment", Indian Academy of Sciences, Sadhana, Vol. 42, No. 9, September, pp. 1605–161.

-Gulati, H, Kumar, Er, N., (2017), "Impact of Roadway Condition, Traffic and Manmade Features on Road Safety", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol. 04, November. pp. 1011-1013.

-Hallmark, Shauna L., Hawkins, Neal., (2014), "Paved Shoulders, Iowa Department of Transportation Federal Highway Administration (In Trans Project 12-452), Tech Brief, October.

-Hauer, E., (1997), "Observational Before-After Studies in Road Safety. Pergamon Press", Elsevier Science Ltd., Oxford, England.

-Harwood, D.W., F.M. Council, E. Hauer, W.E. Hughes, and A. Vogt., (2000), "Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways", Publication FHWA-RD-99-207, FHWA, U.S. Department of Transportation.

-Miaou, S.P., (1996), "Measuring the Goodness-of-Fit of Accident Prediction Models", Publication FHWA-RD-96-040. FHWA, U.S. Department of Transportation.

-Mohan, D., Tiwari, G. and Bhalla, K., (2017), "Road Safety in India: Status Report New Delhi: Transportation Research & Injury Prevention Programme", Indian Institute of Technology Delhi.

-Noland, R.B., M. A. Quddus, and W. Y. Ochieng, (2006), "The Effect of the Congestion Charge on Traffic Casualties in London: an Intervention Analysis", Presented at 85th Annual meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

-Persaud, B., and C. A. Lyon., (2007), "Empirical Bayes Before-After Safety Studies: Lessons Learned from Two Decades of Experience and Future Directions", Accident Analysis and Prevention, Vol. 39, No. 3, pp. 546-555.

-Quddus, M.A., (2008), "Time Series Count Data Models: An Empirical Application to Traffic Accidents", Accident Analysis and Prevention, Vol. 40, No. 5, pp. 1732-1741.

-VicRoads Supplement to Austroads Guide to Road Design, (2017), Part 3 – Rev. 4.0.

-Vogt, J. and J.G. Bared, (1998), "Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segment and Intersections", Report No. FHWA-RD-98-133. FHWA, U.S. Department of Transportation.

-Wooldridge, J. M., (2009), "Introductory Econometrics: A Modern Approach, Fourth Edition", South-Western Cengage Learning, Inc., Mason, OH.

-Zeng, H., and S. D. Schrock, (2013), "Safety Effectiveness of Various Types of Shoulders on Rural Two-Lane Roads in winter and Non-Winter Periods", Transportation Research Board 92nd Annual Meeting Compendium of Papers, Washington, DC.

Determining Crash Modification Factor Resulted from Shoulder Safety by Creating a Crash Prediction Model by Empirical Bayes

Shahin Shabani, Department of Civil Engineering, Payam Noor University(PNU), Tehran, Iran.

Mohammad Kohi, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, Payam Noor University (PNU), Tehran, Iran.

E-mail: shabani@pnu.ac.ir

Received: August 2021-Accepted: November 2021

ABSTRACT

The shoulder width of the main roads has risen by 35% by revising the Highway Geometric Design. In this research, determination of the effect of simultaneously increasing shoulder width and its paving on decreasing crashes in rural two-way two-line highways was targeted. The studies were conducted in Ilam province highways and the experimental empirical Bayes (EB) method was used. Several highways sections with narrow shoulders paved or non-paved were selected as reference groups and crash data, traffic flow, and their geometry was collected and modeled. Three types of crash prediction model (SPF) were created for the total number of crashes, fatal crashes and shoulder related crashes in the cold seasons (autumn and winter) using the negative binomial regression model for the reference group. Some sections of which shoulders had become safety by widening and paving were also selected as an improved group. To estimate the crash modification factor (CMF), the expected crashes in all improved sections were summed up and then compared with the total number of observed crashes in the period after the countermeasure. The EB method was also repeated twice for the improved group of improving the narrow shoulder to the wide and paved shoulder. Once with the SPF for each of the three crash categories, considering the improved group may not be well-matched with the reference group, and once only with the SPF of the total crashes. The results showed that Widening and paving the shoulders affects considerably on the safety of the shoulders related crashes in the cold seasons with CMF of about 0.42 (58% reduction) and the fatal and injuring accidents with CMF of about 0.72 (28% reduction). It can also contribute to a 12 percent improvement of the total crashes of the cold seasons.

Keywords: Highway Shoulder Safety Improvement, Rural Two-Way Two-Line Highway, Crash Modification Factor, Empirical Bayes Method