اثربخشی اجرای همزمان اقدامات اصلاحی در نقاط پرتصادف

(مطالعه موردی: محور ملایر- جوکار)

مقاله علمی- پژوهشی

محمد کوهی*، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران- راه و ترابری، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
محمود صفارزاده، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.koohhi@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۰- پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵
صفحه ۱۶۰-۱۴۹

چکیده

محققان در این تحقیق به دنبال ارزیابی اثربخشی مجموعه‌ای از اقدامات اصلاحی هستند که بطور همزمان طی سه ماه در سال ۱۳۹٤ در محور ملایر- جوکار استان همدان اجرا شده‌اند. برای تعیین اثربخشی مجموعه این اقدامات، داده‌های تصادفات ۱۹ ماه قبل و ۱۹ ماه بعد از اجرای آنها با استفاده از روش بیزتجربی (EB) تحلیل شده‌اند. دلیل استفاده از روش بیزتجربی، کارایی بالا در تخمین تصادفات موردانتظار بدون اجرای اقدامات اصلاحی در دوره بعد، برطرف نمودن پدیده رگرسیون به میانگین و استفاده از تابع عملکرد ایمنی(SPF) به منظور تخمین منطقی فراوانی تصادفات در دوره قبل از اجرای اقدام اصلاحی است. در این تحقیق، SPF پیشنهادشده AASHTO(2010) بکارگرفته شده است. با استفاده از این ابزار و پیش بینی تصادفات قبل و بعد از اجرای اقدامات اصلاحی و محاسبه فراوانی تصادفات مورد انتظار در دوره قبل و بعد، اثربخشی ایمنی محاسبه شده است. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که مجموعه این اقدامات سبب کاهش ٤ درصدی تصادفات محور ملایر-جوکار شده‌اند. اگرچه ارزیابی معناداری این مقدار نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۰ درصدی معنادار نیست، اما نتیجه به دست آمده همچنان معتبر بوده و این مقدار کم کاهش تصادفات، همانگونه که نوع برخوردهای ثبت شده پلیس در دوره بعد از اجرای اقدامات نشان می‌دهد، به احتمال زیاد به این دلیل است که برخی از اقدامات سبب شده‌اند در دوره بعد، نوع خاصی از تصادفات کاهش و نوع خاص دیگری افزایش یابند.

واژه‌های کلیدی: اثربخشی اقدامات اصلاحی، کاهش تصادفات، بیز تجربی

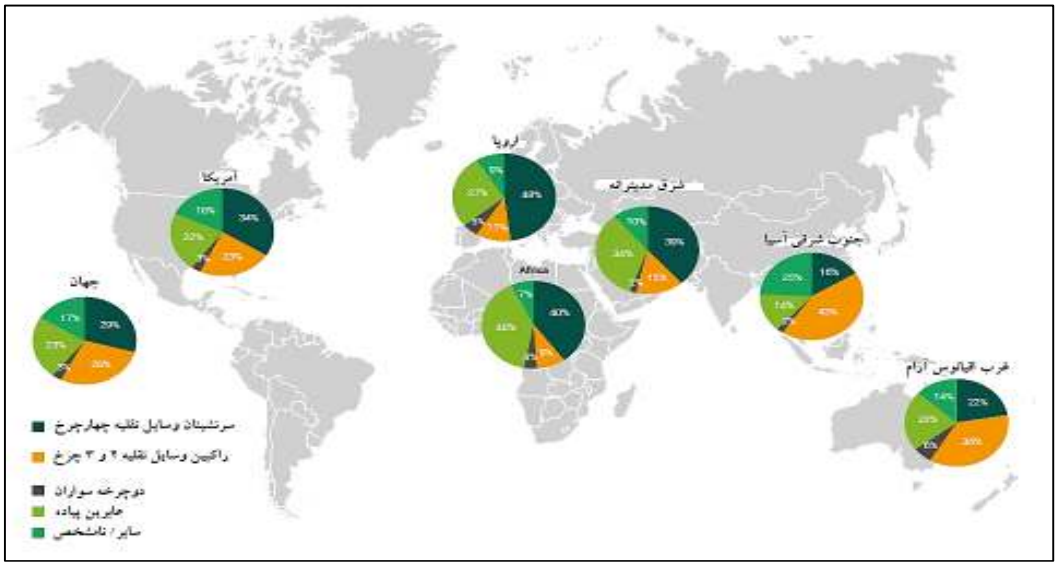
۱-مقدمه

از بین تمامی سیستم‌های ساخت دست بشر در زندگی روزمره، سیستم حمل و نقل جاده‌ای، بیشترین مقادیر صدمات و تلفات را به همراه داشته است. در کل جهان، بیش از ۵۰ میلیون انسان در جابجایی مربوط به راه آسیب می‌بینند که در هر سال تقریباً ۱/۳ میلیون نفر از آنها می‌میرند. بنا بر اعلان سازمان بهداشت جهانی، تعداد تلفات جاده ای در سال ۲۰۱٦ به ۱/۳۵ میلیون نفر رسیده است (WHO, 2018). صدمات جاده‌ای ساده‌ترین و در عین حال بیشترین عامل مرگ و میر در ۵ دههٔ اخیر از زندگی انسان را بخود اختصاص داده است. سازمان بهداشت جهانی به مقایسهٔ بیماری‌های مختلف و صدمات آنها پرداخته است. جدول (۱) نشان می‌دهد که جایگاه تلفات جاده‌ای در ردهٔ هشتم از لیست دلایل مرگ و میر رایج در دنیا است. نرخ‌های مرگ و میر مشاهده شده در تمام کشورها بر اساس انواع کاربران آسیب‌پذیر نیز متفاوت بوده است. بصورت جهانی، نرخ‌های مرگ و میر عابرین پیاده و دوچرخه سواران ۲٦ درصد است، درحالی که این نرخ برای راکبین وسایل نقلیه موتوری دوچرخ و سه چرخ ۲۸ درصد و سرنشینان خودرو ۲۹ درصد است، و همچنین ۱۷ درصد نرخ‌های مرگ و میر نیز

مشخص نیست. آفریقا با داشتن ٤٤ درصد بیشترین تلفات عابرین پیاده و دوچرخه سواران را دارد. در جنوب شرقی آسیا و غرب اقیانوس آرام، اکثر مرگ و میرها مربوط به راکبین وسایل نقلیه موتوری دوچرخ و سه چرخ به ترتیب با ٤٣ و ٣٦ درصد کل مرگ و میرها است (شکل ۱).

جدول ۱. دلایل منجر به مرگ، تمامی سنین، ۲۰۱٦ (WHO, 2018)

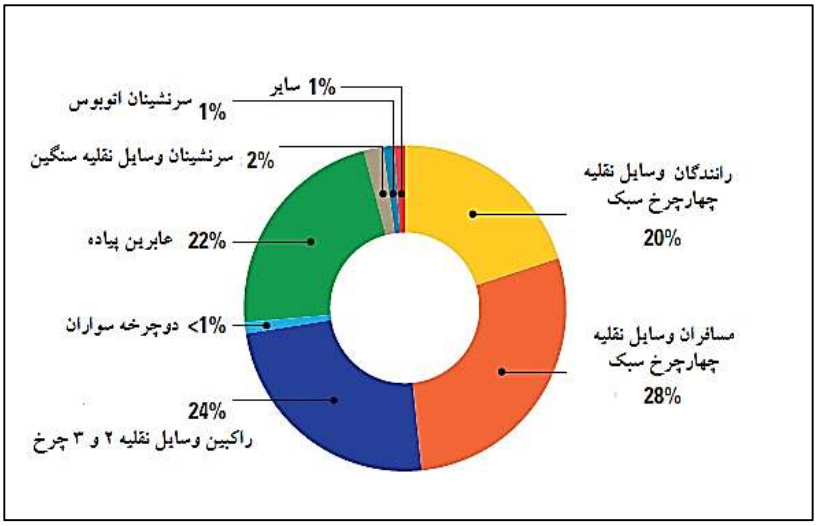
رتبه	علت	درصد کل مرگ
۱	بیماری قلبی	۱٦/٦
۲	سکته مغزی	۱۰/۲
۳	بیماری انسداد ریه	٥/٤
٤	عفونت تنفسی	٥/۲
٥	آلزایمر و جنون	۳/٥
٦	سرطان	۳
۷	دیابت	۲/۸
۸	تصادفات	۲/٥
۹	اسهال	۲/٤
۱۰	سل	۲/۳



شکل ۱. توزیع مرگ و میرها بر اساس نوع کاربر راه و مناطق سازمان بهداشت جهانی(WHO, 2018)

ایران نیز به مانند سایر مناطق دنیا از آمار وحشتناک مرگ و میر ناشی از تصادفات رنج می‌برد. در ایران از مجموع تلفات رانندگی سال ۱۳۹٦ (۱٦ هزار و ۹۸٤ نفر)، ۲۰/۸ درصد یعنی ۳ هزار و ۵۳۲ نفر عابرپیاده و ۲۳/۸ درصد یعنی ٤ هزار و ٤۲ نفر موتورسیکلت سوار بودند؛ این در حالی است که تعداد فوت شدگان ناشی از تصادفات رانندگی در سال ۱۳۹۷ به ۱۷۱۸۳ و

تعداد مجروحین به ۳۶۷۴۴۰ نفر رسیده است (Ahadi; Basirat & Heydarpoor, 2019). نرخ تلفات جاده‌ای ایران بر اساس نوع کاربران در شکل (۲) نشان داده شده است(WHO, 2018). بر اساس این آمار، بیشترین تلفات جاده ای مربوط به مسافران وسایل نقلیه چهارچرخ سبک با ۲۸ درصد تلفات، و پس از آن وسایل نقلیه ۲ و ۳ چرخ با ۲۴ درصد تلفات، عابرین پیاده با ۲۲ درصد تلفات، و رانندگان وسایل نقلیه چهارچرخ سبک با ۲۰ درصد تلفات بوده است.



شکل ۲. تلفات جاده ای ایران در سال ۲۰۱۷ بر اساس نوع کاربر(WHO, 2018)

از آمار فوق به خوبی نمایان می‌گردد که چاره اندیشی در خصوص پیشگیری یا کاهش تصادفات جاده‌ای یکی از اولویت‌هایی است که باید مدنظر مسئولین کشوری باشد. امروزه شناسایی، تحلیل و اصلاح نقاط پرتصادف روشی اثبات شده برای کاهش تعداد و شدت تصادفات در شبکه راه است که به شکلی گسترده در سطح دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. تقریبا می‌توان گفت که بکارگیری اقدامات اصلاحی در نقاط پرتصادف، مقرون بصرفه‌ترین سرمایه گذاری می‌باشد که یک متولی راه می‌تواند اتخاذ کند (Regional Black Spot Management Guidelines, 2015). در هر یک از شبکه راهها، توزیع تصادفات کاملاً تصادفی نبوده و در محل‌های مشخصی که به نقاط پرتصادف معروف شده‌اند، تجمع می‌یابند. با اصلاح مناسب این نقاط در راه می‌توان از وقوع تصادفات مشابه در آینده جلوگیری نمود یا تعداد آنها را کاهش داد. بنابراین به طور منطقی اصلاح این نقاط باید بیشترین بازگشت سرمایه را با توجه به تعداد تصادفات صورت‌نگرفته در بر داشته باشد. در نتیجه اجرای اقداماتی که این نقاط را در یک محور اصلاح می‌کنند (اقدامات اصلاحی یا اقدامات ایمن سازی) می‌تواند سبب کاهش تصادفات گردد. به دنبال راستی‌آزمایی این ادعا مطالعات متعددی در دنیا به منظور ارزیابی تاثیر ایمنی اقدامات اصلاحی مختلف صورت گرفته است. این مطالعات اکثرا به روش بیزتجربی (EB[1]) انجام شده‌اند. آنچه که از بررسی این مطالعات مشهود است، تمامی آنها بر روی یک اقدام اصلاحی متمرکز بوده‌اند. برای مثال هیمز و همکاران (Himes et al, 2017) طی پژوهشی برای ارزیابی تاثیر نوار لرزاننده در کاهش تصادفات خروج از راه برای ایالات کنتاکی و اوهایو با استفاده از روش بیزتجربی دریافتند که اجرای این اقدامات اصلاحی توانسته تصادفات شبانه خروج از راه در کنتاکی و اوهایو را به ترتیب ۲۵ درصد و ۲۹ درصد کاهش دهد. نتایج مطالعه زنگ و شراک (Zeng & Schrock, 2013) که با استفاده از روش بیزتجربی انجام شده، نشان داده است که بهبود شانه‌ها، سبب کاهش تصادفات در زمستان به میزان ۱۳ تا ۲۵ درصد شده است. درعین حال نتایج همین پژوهش نشان داده که تصادفات جرحی در طول زمستان ۴۰ تا ۵۸ درصد کاهش یافته است. احمد و همکاران با استفاده از روش بیزتجربی دریافتند که اضافه کردن خط گردش به چپ در رویکرد اصلی تقاطع‌های چراغدار، تصادفات را ۲۲ درصد کاهش می‌دهد (Ahmed et al,

2017). در ایران نیز در سال‌های اخیر چندین مطالعه محدود برای تخمین عددی تاثیر اقدامات اصلاحی انجام شده که اکثر آنها نیز به روش بیرتجربی و بر روی یک اقدام اصلاحی خاص متمرکز بوده‌اند. کوهی و شعبانی (Koohi & Sabani, 2018). به ارزیابی تاثیر ایمنی میدان در کاهش تصادفات تقاطع پرداخته‌اند. این تحقیق بر روی میدان سلمان فارسی شهر ایلام صورت گرفته است. در این تحقیق از روش بیزتجربی استفاده شده و نتیجه تحقیق تاثیر ۳۲ درصدی میدان بر کاهش تصادف بوده است. شعبانی و کوهی (Sabani & Koohi, 2019) در تحقیقی دیگر به ارزیابی تاثیر بهسازی شانه راه بر تصادفات راه‌های برونشهری پرداخته‌اند. در این تحقیق نیز روش بیزتجربی برای تخمین تاثیر اقدام ایمن سازی بکار گرفته شده است. نتایج این تحقیق نشان داده که تعریض و رویه دار کردن شانه‌ها تاثیر ایمنی قابل توجهی بر تصادفات وابسته به شانه در فصول سرد سال با کاهش ۵۸ درصدی و تصادفات فوتی و جرحی با کاهش ۲۸ درصدی دارد. همچنین می‌تواند باعث بهبود ۱۲ درصدی کل تصادفات فصول سرد سال گردد. کوهی و شعبانی طی تحقیقی به ارزیابی اثربخشی ایجاد روشنایی در کاهش تصادفات شبانه راه‌های برونشهری پرداخته‌اند. در این تحقیق از روش مطالعه قبل و بعد با گروه مقایسه استفاده شده است. نتایج به دست آمده این تحقیق، کاهش ۲۸ درصدی فراوانی تصادفات شبانه پس از ایجاد روشنایی را نشان می‌دهد (Koohi & Sabani, 2020). حافظی، بهنود و عبدی طی تحقیقی به اثرسنجی ایمنی اجرای پروژه‌های روشنایی در راه‌های برونشهری پرداخته‌اند. در این تحقیق از روش بیزتجربی استفاده شده و نتایج تحقیق تاثیر عددی ایجاد روشنایی برای راه‌های چهارخطه برونشهری را ۷۸ درصد کاهش تصادفات شبانه و برای راه‌های دوخطه دوطرفه برون شهری را ٥٦ درصد کاهش تصادفات شبانه نشان می‌دهد (Hafezi; Behnood & Abdi, 2020). همانگونه که مشاهده می‌گردد اجرای یک اقدام اصلاحی خاص می‌تواند نوع خاصی از تصادفات را کاهش دهد، اما نکته‌ای که در این میان باید بدان توجه داشت این است که آیا اجرای همزمان مجموعه‌ای از اقدامات اصلاحی نیز می‌تواند اثربخشی لازم را داشته باشد؟ آیا منجر به کاهش تصادفات خواهند شد؟ و اگر اجرای همزمان این اقدامات اصلاحی میزان تصادفات را کاهش می‌دهند، مقدار عددی آن چقدر است؟ با توجه به جمیع مطالب بیان شده قصد داریم در این پژوهش که با موضوعیت تعیین اثربخشی اجرای همزمان اقدامات اصلاحی در کاهش تصادفات انجام می‌گیرد، با بکارگیری روش بیزتجربی، تاثیر اجرای همزمان اقدامات اصلاحی در کاهش تصادفات را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهیم و مقدار عددی آن را به دست آوریم.

۲-روش تحقیق

در کل چندین روش ممکن است به منظور بدست آوردن مقدار اثربخشی اقدامات اصلاحی به کار رود که روش قبل و بعد با بیزتجربی (به طور خلاصه روش EB) متداولترین روش در بین محققان مختلف در سراسر دنیا است. این روش، مشکل پدیده رگرسیون به میانگین و عوامل مخدوش کننده دیگر را مرتفع می‌سازد (Persaud and Lyon, 2007). در واقع مطالعه قبل و بعد به روش بیزتجربی برای مرتفع نمودن مشکل رگرسیون به میانگین، ایجاد و توسعه یافت. این روش بر اساس فرضیات زیر استوار است:

-تعداد تصادفات هر سایت از توزیع پواسون پیروی می‌کند.

-میانگین جامعه را می‌توان با توزیع گاما تخمین زد.

-تغییرات سالانه عوامل مختلف برای تمام محل‌های‌های (سایت مقایسه) مشابه است.

اساس ایده روش بیزتجربی در کاهش اثر رگرسیون به میانگین و پیش‌بینی تصادفات مورد انتظار در دوره بعد از اقدامیست که اجرا نشده است. برای پیش‌بینی این تصادفات مورد انتظار چندین روش وجود دارد، اما در کل، روش بیز تجربی شامل دو مرحله زیر است (Huer, 1997):

-تعیین پایه‌ای برای پیشبینی تعداد تصادفات

-بر اساس این پایه، پیشبینی چگونگی تغییر تعداد مورد انتظار از تصادفات از دوره قبل به بعد در نتیجه تغییرات ترافیک، آب و هوا و عوامل دیگر.

در روش بیزتجربی، تغییر در ایمنی برای یک سایت مفروض به صورت معادله (۱) محاسبه می‌شود:

$$\pi - \lambda \qquad (۱)$$

که π تعداد مورد انتظار تصادفاتی است که باید در دوره بعد بدون اقدام اصلاحی اتفاق بیفتد و λ تعداد تصادفات گزارش شده در دوره بعد است. روشن است که تعداد تصادفات رخ داده در دوره قبل از اقدام اصلاحی تخمین خوبی از π نیست، به این دلیل که تغییرات در حجم ترافیک ممکن است سبب

بروز پدیده رگرسیون به میانگین در ایمنی شود و یا فاکتورهای زمانی دیگر را تحت تاثیر قرار دهد (Persaud et. al 2001). در روش بیزتجربی حین تخمین π، تاثیرات عوامل مخدوش کننده به‌وسیله تابع عملکرد ایمنی (SPF^2) به خوبی محاسبه می‌شود. SPF برای تخمین اولیه تعداد تصادفات مورد انتظار، در هر سال دوره قبل در موقعیت‌های با حجم ترافیک مشابه با موقعیت موردنظر، به کار می‌رود. SPFها در واقع مدل‌های رگرسیونی هستند که برای پیش بینی متوسط فراوانی تصادف بکار گرفته می‌شوند. برای آشنایی بیشتر با SPF و برای درک بهتر تفاوت بین تصادفات مشاهده شده، مورد انتظار و پیش بینی‌شده، نمودار یک SPF در شکل (۳) نشان داده شده است.

شکل ۳. مقایسه تخمین‌های فراوانی تصادف مشاهده‌شده، پیش بینی‌شده و مورد انتظار (Kolody et al., 2014)

همانگونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، بین مقادیر تصادفات مشاهده‌شده (در سایت) و تصادفات پیشبینی‌شده (حاصل از SPF) فاصله زیادی وجود دارد، به‌همین دلیل محققان از تصادفات موردانتظار که با اعمال تنظیمات حجم ترافیک و کالیبره‌کردن مدل‌های پیش بینی به‌دست می‌آید استفاده کرده تا بتوانند تخمین دقیقی از نتایج را به دست آورند. با انجام این مراحل، روش EB با استفاده از داده‌های سابقه تصادفات یک محل اصلاح شده، و همچنین اطلاعات مربوط به آنچه که در مورد ایمنی محل‌های مرجع با مشخصات هندسی مشابه شناسایی شده است، تعداد تصادفات محل اصلاح شده اگر هیچ اصلاحی ایجاد نمی‌شد را تخمین می‌زند. استفاده مشترک از اطلاعات محل‌های هدف و مرجع بر اساس یک میانگین وزنی، به شرح معادله (۲) انجام می‌شود (Huer et. al. 2001):

(۲) تصادفات مورد انتظار در محل‌های مرجع × وزن = تخمین تصادفات موردانتظار در محل‌های هدف
تصادفات واقعی در محل هدف × (وزن − ۱) +

که در آن ۱ ≥ وزن ≥ صفر است. بنابراین، تصادفات مورد انتظار بعد از اقدام اصلاحی در صورت هیچ بهبودی، تابعی از چگونگی وزن اختصاص یافته به تصادفات مورد انتظار در محل‌های مرجع است. اگر 'وزن' انتخاب شده به ۱ نزدیک باشد، تخمین تصادفات مورد انتظار برای محل‌های هدف نزدیک به میانگین محل‌های مرجع است. اگر 'وزن' انتخاب شده به ۰ نزدیک باشد، تخمین تصادفات مورد انتظار در محل‌های هدف عمدتاً منعکس کننده تصادفات ثبت شده است. روش استخراج متغیرهای معادله (۲) به‌خوبی توسط هائر (Hauer, 1997) توصیف شده است. K1، K2، K3، ...، به ترتیب تعداد تصادفات در محل‌های مرجع ۱، ۲، ۳، ...، و خصوصیاتی هستند که برای شباهت آنها در محل‌های هدف تعیین می‌شوند. اگر $E(k)$ تعداد مورد انتظار از تصادفات در محل‌های مرجع و K تعداد تصادف واقعی در محل هدف باشد، پس $E(k|K)$ تخمین تعداد مورد انتظار از تصادفات در محل‌های هدف با توجه به تصادفات ثبت شده K در این محل‌ها است. بر این اساس، معادله (۲) به صورت معادله (۳) بیان شده است.

$$E(k|K) = \alpha E(k) + (1-\alpha)K \quad (۳)$$

که در آن α عامل وزن بوده و می‌توان آن را بصورت معادله (٤) نشان داد.

$$\alpha = \frac{1}{1 + VAR(k)/E(k)} \qquad (٤)$$

که در آن $VAR(k)$ واریانس تعداد مورد انتظار از تصادفات در محل‌های مرجع است. پس از محاسبه تصادفات مورد انتظار دوره‌های قبل و بعد و روند روش بیزتجربی که در حین تحلیل داده‌ها شرح داده خواهد شد، ضریب بهبود تصادف (یا شاخص اثربخشی) θ و انحراف استاندارد آن (SD) بصورت معادله های (٥) و (٦) تخمین زده می‌شود:

$$\theta = \left(\frac{\lambda_{sum}}{\pi_{sum}}\right) \Big/ \left(1 + \frac{var(\pi_{sum})}{\pi_{sum}^2}\right) \qquad (٥)$$

$$SD(\theta) = \sqrt{var(\theta)} = \sqrt{\theta^2 \frac{\left(\frac{var(\lambda_{sum})}{\lambda_{sum}^2} + \frac{var(\pi_{sum})}{\pi_{sum}^2}\right)}{\left(1 + \frac{var(\pi_{sum})}{\pi_{sum}^2}\right)^2}} \qquad (٦)$$

سپس درصد تغییر در تصادفات به صورت $100 \times (1 - \theta)$ محاسبه خواهد شد.

۳-مطالعه موردی

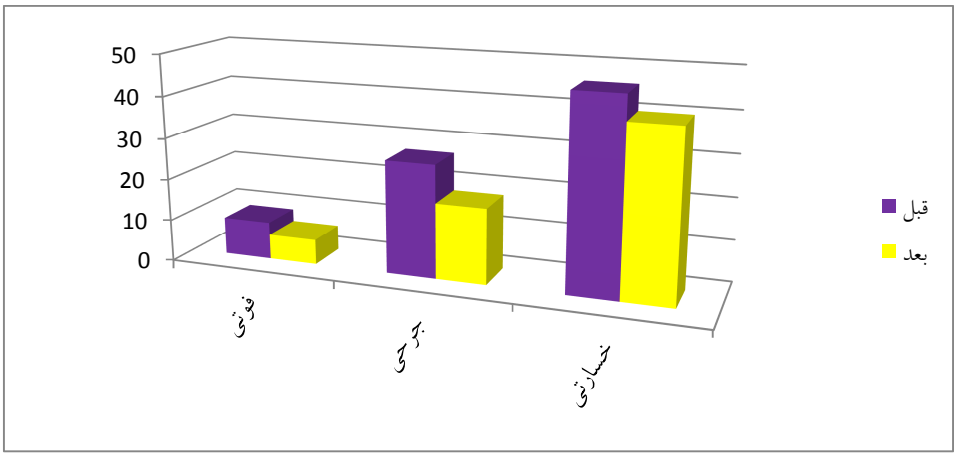
محور مورد مطالعه در این تحقیق، محور ملایر- جوکار از توابع استان همدان است. اطلاعات و داده‌های محور مورد مطالعه برگرفته از مقاله دیواندری و موسوی بوده که در فصلنامه راهور سال ۱۳۹۸چاپ است. محققان مذکور اطلاعات را به روش میدانی و بانک‌های اطلاعاتی راهداری و پلیس راه گردآوری کرده‌اند. داده‌های تصادفات جمع آوری شده مربوط به مدت ۳۸ ماه از ابتدای سال ۱۳۹۳ تا پایان اردیبهشت سال ۱۳۹٦ در محور ملایر – جوکار است. موقعیت محور مورد مطالعه در شکل (٤) نشان داده شده است.

شکل ٤. موقعیت محور ملایر – جوکار (Divandari & Moosavi, 2019)

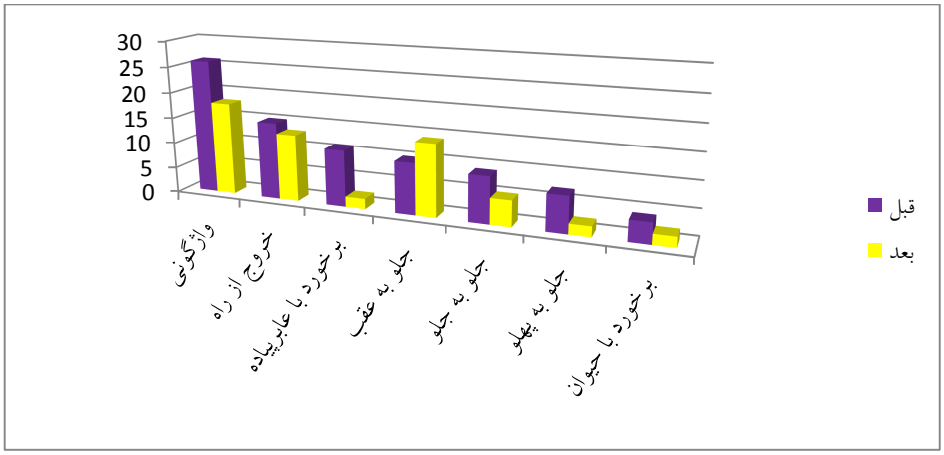
اقداماتی که در طول سه ماه در این محور اجرا شده‌اند شامل نصب نیوجرسی، نصب تابلوی محدودیت سرعت، احداث سرعت‌گیر آسفالتی، نصب چراغ چشمک زن، نصب دوربین کنترل سرعت، نصب انواع تابلوی جهت نما و مسیرنما، اجرای شیار لرزاننده، احداث پل عابر پیاده، نصب انواع تجهیزات روشنایی، آسفالت‌کردن شانه خاکی راه، بهبود و رنگ آمیزی علائم افقی و احداث خاکریز کنار پل‌ها بوده‌اند (Divandari & Moosavi, 2019). داده‌های تصادفات به دو دوره زمانی قبل (۱۹ ماه قبل از اجرای اولین اقدام) و دوره بعد (۱۹ ماه بعد از اجرای آخرین اقدام اصلاحی یعنی ۹٤/۷/۳۰) تقسیم و مرتب شده‌اند. داده‌های تصادفات محور ملایر – جوکار از ابتدای سال ۱۳۹۳ تا انتهای ۱۳۹۵ به شرح جدول (۲) و شکل‌های (٥ و ٦) است. همچنین در شکل (۷) انواع برخوردهایی که در دوره بعد افزایش داشته‌اند نشان داده شده است (Divandari & Moosavi, 2019).

جدول ۲. وضعیت فراوانی تصادفات محور ملایر – جوکار (Divandari & Moosavi, 2019)

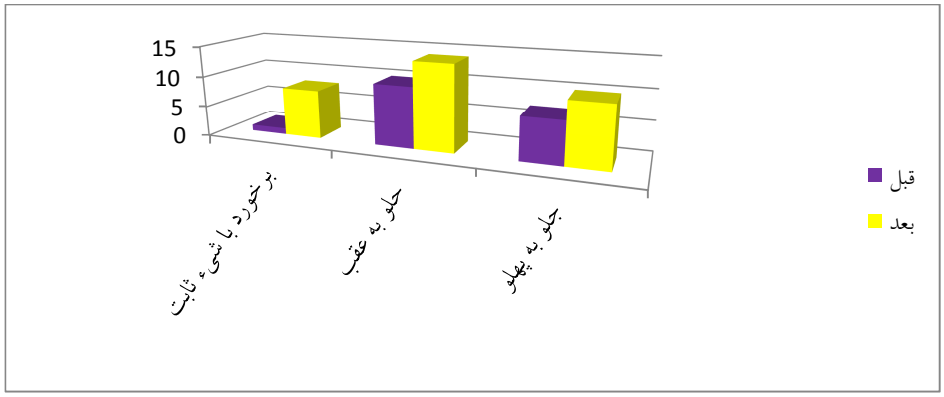
شدت تصادف	قبل	بعد	کل
فوتی	۹	٦	۱۵
جرحی	۲۷	۱۸	٤۵
خسارتی	٤٦	٤۰	۸٦
کل	۸۲	٦٤	۱٤٦
طول راه	۲۳ کیلومتر		
AADT	قبل	۸۱۷۸	
	بعد	۸۳۱۱	



شکل ۵. وضعیت تصادفات محور ملایر – جوکار (Divandari & Moosavi, 2019)



شکل ٦. وضعیت انواع برخورد محور ملایر – جوکار (Divandari & Moosavi, 2019)



شکل ۷. انواع برخورد محور ملایر- جوکار که در دوره بعد افزایش داشته اند (Divandari & Moosavi, 2019)

همانگونه که در شکل (٦) مشاهده می‌گردد برخی از انواع برخوردها در دوره بعد افزایش داشته‌اند و این درحالیست که انتظار می‌رود میزان آنها به دلیل اجرای انواع متعدد اقدامات اصلاحی، کاهش یابد. دلیل منطقی این امر می‌تواند نکته‌ای خاص در فرآیند مدیریت نقاط پرتصادف باشد که شاید مورد توجه مسئولین امر قرار نگرفته است. هر اقدام اصلاحی می‌تواند نوع خاصی از تصادفات را کاهش دهد و ممکن است بر روی انواع دیگر برخورد تاثیر منفی داشته و آنها را افزایش دهد(AASHTO, 2010). به همین دلیل اجرای چندین اقدام اصلاحی بطور همزمان در یک محور منطقی نیست و می‌تواند نتیجه دلخواه را بدست ندهد.

تحلیل داده‌ها و نتایج

به منظور دستیابی به نتایج عددی دقیق کاهش تصادفات ناشی اجرای همزمان اقدامات اصلاحی در محور ملایر- جوکار، روش قبل و بعد بیزتجربی ارایه شده در AASHTO(2010) بکارگرفته شده است. روش بیزتجربی تعداد تصادفات مشاهده شده را با تصادفات پیشبینی شده در دوره بعد در صورت اجرانشدن هیچ یک از اقدامات اصلاحی مقایسه می‌کند. مرتفع ساختن پدیده رگرسیون به میانگین در این روش، تخمینی دقیق‌تر ارایه می‌دهد، همچنین محاسبه تفاوت در حجم ترافیک، اجازه تخمین برای تمام سری‌های زمانی را خواهد داد. مراحل روش بیز تجربی در این تحقیق در ادامه شرح داده خواهد شد و همزمان تحلیل داده‌ها با استفاده از این روش انجام می‌شود.

مرحله اول: شروع کار در روش بیزتجربی پیشبینی فراوانی تصادفات قبل و بعد با استفاده از AADT و SPF مناسب برای راه های برونشهری است.

AASHTO با توجه به نوع راه (دوخطه برونشهری)، SPF مناسب برای پیش‌بینی تصادفات سالیانه را ارایه داده است. مدل مناسب پیش‌بینی تصادفات سالیانه برای راه‌های دوخطه برونشهری بصورت معادله (۷) است (AASHTO, 2010):

$$N_{spf\,rs} = AADT \times L \times 365 \times 10^{-6} \times e^{(-0.312)} \qquad (۷)$$

$N_{spf\,rs}$ = متوسط فراوانی تصادف پیش بینی شده

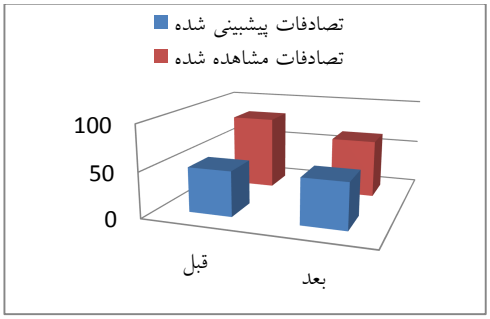
$AADT$= متوسط سالیانه ترافیک روزانه

L = طول راه است.

مقدار پیشبینی شده تصادفات قبل و بعد با لحاظ کردن معادله (۷)، در جدول (۳) ارایه شده است. شکل (۸) تصادفات مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده قبل و بعد را نشان می‌دهد. با مشاهده این شکل می‌توان تفاوت در تصادفات مشاهده‌شده و پیش بینی‌شده را مقایسه نمود.

جدول ۳. فراوانی تصادفات پیشبینی‌شده قبل و بعد

دوره	فراوانی پیشبینی‌شده تصادفات
قبل	٤٩/٤٣
بعد	٥٠/٢٣



شکل ۸. تصادفات مشاهده‌شده و پیشبینی‌شده قبل و بعد

مرحله دوم: پس از محاسبه تصادفات پیش بینی‌شده دوره‌های قبل و بعد، با اعداد به دست آمده، فراوانی تصادفات مورد انتظار در دوره قبل و بعد محاسبه می‌شود. فراوانی تصادفات مورد انتظار دوره قبل از معادله (۸) محاسبه خواهد شد:

$$N_{expected,B} = w_{i,B}N_{predicted} + (1 - w_{i,B})N_{observed,B} \quad (۸)$$

که وزن، $w_{i,B}$، بصورت معادله (۹) تعریف می شود:

$$w_{i,B} = \frac{1}{1 + k\sum_{\text{دوره قبل}} N_{predicted}} \quad (۹)$$

$N_{expected,B}$: فراوانی تصادفات مورد انتظار برای کل دوره قبل،

N_{spf}: فراوانی تصادفات پیشبینی‌شده که با SPF مناسب تعیین می‌شود.

$N_{observed,B}$: فراوانی تصادفات مشاهده‌شده برای کل دوره قبل

$N_{predicted}$: فراوانی تصادفات پیشبینی شده حاصل از مرحله قبل

k : پارامتر بیش پراکندگی که برای قطعه راه به‌صورت $\boldsymbol{k = \frac{0.236}{l}}$ (l طول قطعه) (AASHTO, 2010) است.

در اینجا وزن برای دوره قبل برابر ۰/٦ محاسبه شد. برای محاسبه تفاوت بین حجم ترافیک دوره‌های قبل و بعد، از نسبت تصادفات پیشبینی‌شده دوره بعد به دوره قبل استفاده کرده و یک عامل تنظیم بدست می‌آوریم. سپس این عامل تنظیم برای محاسبه تصادفات مورد انتظار در دوره بعد به کار می‌رود. در واقع تصادفات مورد انتظار دوره بعد، از حاصل‌ضرب تصادفات مورد انتظار دوره قبل با عامل تنظیم به دست می‌آید. مقادیر بدست آمده در جدول (٤) ارایه شده است.

جدول ٤. تصادفات مورد انتظار و عامل تنظیم تفاوت بین حجم ترافیک دوره‌های قبل و بعد

تصادفات مورد انتظار دوره قبل	٦٣
تصادفات مورد انتظار دوره بعد	٦٥
عامل تنظیم تفاوت در حجم ترافیک	۱/۰۲

مرحله سوم: تخمین اثربخشی بهبود ایمنی

محاسبه اثربخشی کل بهبود ایمنی اقدامات اصلاحی بصورت نسبت تصادفات مشاهده شده دوره بعد به تصادفات مورد انتظار دوره بعد تعریف شده و با نماد OR' نمایش داده می‌شود. این عامل برای تنظیم یک نسبت شانس تنظیم شده به کار می‌رود. برای به دست‌آوردن تخمین بدون جهت از اثربخشی بهبود ایمنی، یک نسبت شانس تنظیم شده، OR، مورد نیاز است که بصورت معادله (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$OR = \frac{OR'}{1 + \frac{Var(E_A)}{(E_A)^2}} \quad (۱۰)$$

که E_A تصادفات مورد انتظار دوره بعد است. واریانس این تصادفات بصورت معادله (۱۱) تخمین زده می‌شود:

$$Var(E_A) = \sum[(r_i)^2 \times E_{i,B} \times (1 - w_{i,B})] \quad (۱۱)$$

که $w_{i,B}$ وزن و r_i عامل تنظیم تفاوت حجم ترافیک بین دوره‌های قبل و بعد است. سپس برای محاسبه کل اثربخشی بهبود ایمنی بدون جهت به‌عنوان درصد تغییر فراوانی تصادفات در همه سایت‌ها، θ، بصورت معادله (۱۲) عمل می‌شود:

$$\theta = 100 \times (1 - OR) \quad (۱۲)$$

یک تخمین مثبت از θ کاهش در تصادفات را نشان داده و یک نتیجه منفی، افزایش در تصادفات را نشان خواهد داد. نتایج به دست آمده در مرحله سوم در جدول (۵) ارایه شده است.

جدول ۵. مقادیر اثربخشی بهبود ایمنی تبدیل تقاطع به میدان

OR'	۰/۹۸
$Var(E_A)$	۲۷
OR	۰/۹۷
θ	٪٤

مقدار عددی θ نشان می‌دهد که اجرای همزمان مجموعه اقدامات اصلاحی انجام شده در محور مورد مطالعه، یک کاهش ٤ درصدی در فراوانی تصادفات را موجب شده است. به احتمال فراوان این درصد کم کاهش به دلیل عدم انتخاب کارشناسی شده اقدامات بوده است زیرا ممکن است که اقداماتی وجود داشته باشد که یک نوع خاص تصادفات را کاهش دهد اما در یک نوع دیگر تصادفات اثر منفی داشته باشد. دلیلی بر صحت این ادعا آمار ثبت شده تصادفات جلو به عقب، جلو به پهلو و برخورد با شی ثابت توسط پلیس است که در محور مورد مطالعه در دوره بعد، افزایش خاصی داشته‌اند.

مرحله چهارم: تخمین دقت اثربخشی بهبود ایمنی

برای ارزیابی اثربخشی ایمنی تخمینی از بهبود، θ، معناداری آماری برای تعیین دقت آن مورد نیاز است. این کار با محاسبه دقت نسبت شانس انجام می‌شود. معادله (۱۳) محاسبه واریانس این نسبت را برای یک تخمین دقیق و ارایه معیار ارزیابی معناداری آماری از تخمین اثربخشی بهبود ایمنی را نشان می‌دهد (AASHTO, 2010).

$$\frac{Var(OR)}{(OR')^2\left[\frac{1}{K_A}+\frac{Var(E_A)}{(E_A)^2}\right]} = \frac{}{\left[1+\frac{Var(E_A)}{(E_A)^2}\right]} \quad (۱۳)$$

که K_A تصادفات مشاهده شده در دوره بعد از اجرای اقدامات است. پس از محاسبه واریانس، برای به دست آوردن یک معیار از دقت نسبت شانس، OR، خطای استاندارد این نسبت شانس محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از رابطه بین OR و θ نشان داده شده در معادله (١٤)، خطای استاندارد θ بصورت زیر محاسبه خواهد شد(AASHTO, 2010):

$$SE(\theta) = 100 \times Var(OR) \quad (١٤)$$

پس از محاسبه خطای استاندارد OR و θ مشخص شد که خطای استاندارد نسبت شانس برابر با ۱/۹ و در نتیجه خطای استاندارد θ برابر ۱۸ است. ارزیابی معنی داری آماری تخمین اثربخشی به دست آمده با مقایسه‌هایی با معیار $[\theta/SE(\theta)]$ و ترسیم نتیجه‌ها بر اساس دستورالعمل زیر انجام می‌گیرد:

-اگر $[\theta/SE(\theta)] <$ ۱/۷ باشد، تاثیر بهبود ایمنی در سطح اطمینان ۹۰ درصد (تقریبی)، معنادار نیست.

-اگر $[\theta/SE(\theta)] \geq$ ۱/۷ باشد، تاثیر بهبود ایمنی در سطح اطمینان ۹۰ درصد (تقریبی)، معنادار است.

-اگر $[\theta/SE(\theta)] \geq$ ۲ باشد، تاثیر بهبود ایمنی در سطح اطمینان ۹۵ درصد (تقریبی)، معنادار است.

با به دست آوردن این معیار برای نتایج این تحقیق، که به صورت $[\theta/SE(\theta)] =$ ۰/۰۲ < ۱/۷ است، مشخص شد که کاهش به دست آمده در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار نیست. اما باید دقت داشت که هنوز هم نتایج معتبر است. زیرا، این نتایج بر طبق پیشرفته‌ترین فرمولاسیون ارزیابی تاثیر ایمنی اقدامات اصلاحی از مراجع معتبر دنیا محاسبه شده است.

۵-نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثربخشی اجرای همزمان مجموعه ای از اقدامات اصلاحی در محور ملایر – جوکار (استان همدان) مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های آماری این تحقیق شامل داده‌های تصادفات قبل و بعد از اجرای اقدامات و همچنین مشخصات اقدامات اصلاحی اجرا شده از مقاله آقایان دیواندری و موسوی اخذ شد (این مقاله در شماره ۲۹ فصلنامه راهور چاپ شده است). برای تعیین مقدار عددی اثربخشی مجموعه این اقدامات از روش بیز تجربی استفاده شد. دلیل استفاده از این روش، کارایی بالا در تخمین تصادفات مورد انتظار بدون اجرای اقدامات اصلاحی و همچنین برطرف نمودن پدیده رگرسیون به میانگین بود. دقت بالای این روش به دلیل استفاده از تابع عملکرد ایمنی (SPF) به منظور تخمین منطقی فراوانی تصادفات در دوره قبل از اجرای اقدام اصلاحی است. یک مدل پیش‌بینی با استفاده از AASHTO(2010) بکارگرفته شد. با استفاده از این ابزار و پیشبینی تصادفات قبل و بعد از اجرای اقدامات اصلاحی و همچنین محاسبه فراوانی تصادفات مورد انتظار در دوره قبل و بعد، اثربخشی ایمنی محاسبه شد. نتایج نشان داد که مجموعه این اقدامات تنها توانسته‌اند که ٤ درصد فراوانی تصادفات را کاهش دهند. این میزان کم در کاهش تصادفات به احتمال زیاد به این دلیل است

که یک اقدام اصلاحی خاص تنها می‌تواند نوع خاصی از برخوردها را کاهش دهد و حتی ممکن است نوع دیگری از برخوردها را افزایش دهد. این خود می‌تواند دلیلی بر مهم بودن علم مدیریت نقاط پرتصادف باشد. ارزیابی معناداری این درصد کاهش تصادف نشان داد که میزان به دست آمده در سطح اطمینان۹۰ درصد معنادار نیست. نتایج تحقیق به خوبی دو موضوع را نمایان می‌سازد.

-اقدامات اصلاحی در این محور توانسته‌اند که فراوانی تصادفات را کاهش دهند اما این کاهش تنها ٤ درصد بوده است.

-این درصد کم کاهش و همچنین آمار مشاهده شده انواع برخورد در دوره بعد (به طور خاص برخورد جلو به عقب، جلو به پهلو و برخورد با شیء ثابت) نشان می‌دهد که اجرای چندین اقدام اصلاحی به طور همزمان نمی‌تواند نتایج مطلوبی را به دنبال داشته باشد.

٦-پی‌نوشت‌ها

1. Empirical Bayes
2. Safety Performance Function

۷-مراجع

-احدی، م.ر.، بصیرت، ب. ش. و حیدرپور، م.، (۱۳۹۸)، "اولویت بندی راهکارهای کاهش تصادفات‌عابران پیاده (مطالعهٔ موردی شهر خوی)"، فصلنامه علمی ترویجی راهور، سال هشتم، شماره ۳۰.

-حافظی، ع.، بهنود، ح.ر. و عبدی، ع.، (۱۳۹۹)، "اثرسنجی ایمنی اجرای پروژه‌های روشنایی در راه‌های برون شهری"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، انتشار آنلاین از تاریخ ١٦ فروردین.

-دیواندری، ح. و موسوی، ا.، (۱۳۹۸)، "ارایه مدل تاثیر انجام اقدامات ایمنی کم هزینه بر شدت و تعداد حوادث ترافیکی (مطالعه موردی: محور ملایر- جوکار)"، فصلنامه علمی پژوهشی راهور، سال هشتم، شماره۲۹.

-شعبانی، ش.، کوهی، م.، (۱۳۹۸)، "تخمین ضریب بهبود تصادف برای بهسازی شانه راه با توسعه مدل پیش‌بینی تصادف به روش بیزتجربی"، پژوهشنامه حمل و نقل، انتشار آنلاین از تاریخ ۲۲ اردیبهشت.

-کوهی، م. و شعبانی، ش.، (۱۳۹۷)، "ارزیابی تاثیر ایمنی میدان در کاهش تصادفات تقاطع"، پژوهشنامه حمل و نقل، انتشار آنلاین از تاریخ ۱۸ اسفند.

-کوهی، م.، شعبانی، ش.، (۱۳۹۹)، "ارزیابی اثربخشی ایجاد روشنایی در کاهش تصادفات شبانه راه‌های برونشهری"، فصلنامه جاده، انتشار آنلاین از تاریخ ۱۳ اردیبهشت.

-AASHTO, (2010), "Highway Safety Manual".

-Ahmed, M, Gaweesh, Sh, Hossain, M, J, Sharmin, S, Peel, T., (2018), "Calibrating Crash Modification Factors for Wyoming-Specific Conditions: Application of the Highway Safety Manual", Part D, Report No. WY- 17/04F.

-Hauer, E., (1997), "Observational Before-After Studies in Road Safety", Pergamon Publication, England.

-Hauer, E., D. W. Harwood, F. M. Council, and M. S. Griffith, (2001), "Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutorial", Preprint paper for presentation at 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board.

-Himes, S, Gross, F, Persaud, B, Eccles, K,. (2017), "Safety Evaluation of Edge-Line Rumble Stripes on Rural Two-Lane Horizontal Curves", FHWA-HRT-17-069.

-Kolody, K., Perez-Bravo, D., Zhao, J., Neuman, T, R., (2014), "Highway Safety Manual User Guide", FHWA/AASHTO.

-Persaud, B., and C. Lyon., (2007), "Empirical Bayes before-after safety studies: Lessons learned from two decades of experience and future directions", Accident Analysis and Prevention, Vol. 39, pp. 546-555.

-Persaud, B., Retting, R., Garder, P., & Lord, D., (2001), "Safety effect of roundabout conversions in the United States: Empirical bayes observational before-after study", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1751), pp.1-8.

-Regional black spot management guidelines, (2015), "traceca regional road safety project, safety Engineering Team, EU funded road safety project for Armenia, Azerbaijan, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Moldova, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan".

-World Health Organization, (2018), "Global Status Report on Road Safety".

-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.

Effectiveness of Countermeasures Simultaneous Implementation in Black Spots

(Case Study: Malayer-Jokar Axis)

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

Mahmoud Saffarzadeh, Professor, Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

E-mail: m.koohhi@gmail.com

Received: October 2021- Accepted: May 2022

ABSTRACT

Existence research for to evaluate the effectiveness of a series of Countermeasures in reduction crashes on the Malayer-Jokar axis in Hamadan province. In this axis, in 2015, a series of Countermeasures have been implemented during three months. To determine the effectiveness of the set of Countermeasures, Crashes data were used 19 months before and 19 months after the implementation of these Countermeasures. Due to its high efficiency in estimating the expected accidents without implementing Countermeasures and also eliminating the phenomenon of regression, the business method was used to average. The high accuracy of this method is due to the use of safety performance function (SPF) in order to logically estimate the frequency of crashes in the period before the Countermeasures. A crash prediction model was used using AASHTO (2010). Using this tool and predicting crashes before and after the implementation of Countermeasures, as well as the calculation of the expected number of crashes in the before and after periods, the effectiveness of safety was calculated. The results showed that the combination of these Countermeasures reduced the crashes by 4 percent. Although the significant assessment of this value showed that it is not significant at the 90 percent confidence level, the result is still valid, and this small amount of accident reduction, as the type of collisions observed in the after period has shown, is most likely due to the fact that Some Countermeasures have led to a reduction in certain types of crashes and an increase in other specific types.

Keywords: Effectiveness of Countermeasures, Crashes Reduction, Empirical Bayes