ارزیابی تاثیر ایمنی میدان در کاهش تصادفات تقاطع

مقاله علمی - پژوهشی

محمد کوهی*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی‌عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
شاهین شعبانی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.koohhi@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۸- پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵
صفحه ۱۲-۱

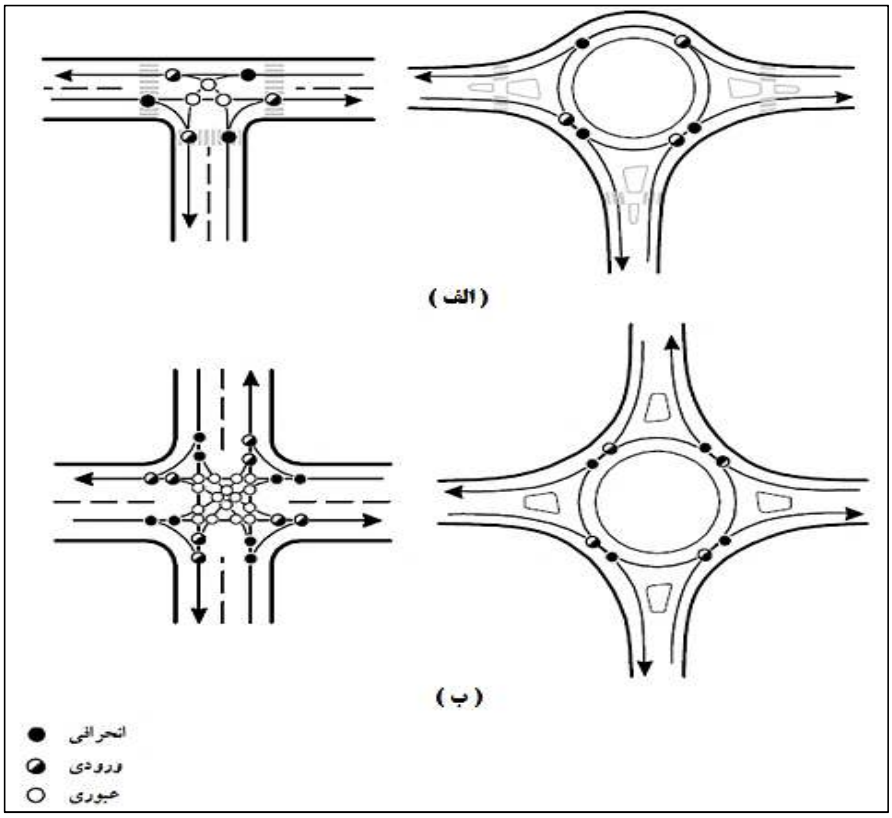
چکیده

تعیین مقدار عددی اثربخشی ایمنی اقدامات اصلاحی یا ضریب بهبود تصادف (CMF) یکی از موضوعاتی است که در سال‌های اخیر در دنیا توجه زیادی به آن شده است. در این خصوص مطالعات متعددی به منظور تعیین CMF مربوط به تبدیل تقاطع به میدان در کشورهای مختلف صورت گرفته است. نتایج این مطالعات، کاهش حدود ۳۵ تا ۷۰ درصدی تصادفات در تقاطع‌ها بوده است. از آنجاییکه در ایران مطالعه‌ای جدی در خصوص تعیین CMF احداث میدان و درصد کاهش تصادف ناشی از این اقدام اصلاحی انجام نشده، محققان در این پژوهش به دنبال تعیین CMF و درصد کاهش تصادفات ناشی از این اقدام در ایران هستند. برای نیل به این هدف، میدان سلمان فارسی شهر ایلام مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان AADT از تردد‌شمارهای موجود و داده‌های تصادف از پلیس راهور اخذ شد. برای تعیین CMF روش بیزتجربی در نظر گرفته شد. دلیل استفاده از روش بیزتجربی، کارایی بالای آن در حذف پدیده رگرسیون به میانگین و دیگر عوامل مخدوش کننده زمانی بوده و دقت بالای این روش به دلیل استفاده از تابع عملکرد ایمنی (SPF) به منظور تخمین منطقی فراوانی تصادفات در دوره قبل از اقدام اصلاحی است. در روند مطالعه، یک تابع عملکرد ایمنی از AASHTO(2010) بکارگرفته شد. با استفاده از این ابزار و پیشبینی تصادفات قبل و بعد از احداث میدان و همچنین محاسبه فراوانی تصادفات مورد انتظار در دوره قبل و بعد، اثربخشی ایمنی محاسبه شد. مقدار CMF بدست آمده در این تحقیق ۰/۶۸ بود که نشان دهنده یک کاهش ۳۲ درصدی در تصادفات است. ارزیابی معناداری آماری این کاهش نیز نشان داد که کاهش ۳۲ درصدی تصادفات در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار است. در نتیجه می‌توان با اطمینان ۹۰ درصد انتظار کاهش حدود ۳۰ درصدی تصادفات پس از احداث میدان در تقاطع با کنترل توقف را داشت.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی تاثیر ایمنی، میدان، کاهش تصادف، بیز تجربی

۱-مقدمه

جریان‌های مستقیم و گردشی در تقاطع با ایجاد تداخل بین وسایل نقلیه باهم، وسایل نقلیه با عابرین پیاده و یا وسایل نقلیه با دوچرخه، تصادف را ممکن میسازد. به همین علت تقاطع‌ها می‌توانند یکی از نقاط دارای پتانسیل برای رخ دادن تصادف باشند (Aghabayk and Ahmadpoor, 2016). طبق گزارش اداره ملی ایمنی ترافیک راه ایالات متحده[1]، ۴۷ درصد کل تصادفات و ۲۷ درصد تصادفات فوتی در ایالات متحده، مربوط به تقاطع است (Schattler et al. 2016). دلیل رخ دادن تصادفات متعدد در تقاطع‌ها، وجود نقاط برخورد احتمالی فراوان در آنها است. شکل (۱) نقاط برخورد احتمالی در تقاطع‌ها را نشان می دهد.



شکل ۱. مقایسه نقاط برخورد احتمالی در تقاطع‌ها و میادین (Rodegerdts et al., 2010)

شکل (۱-الف) نقاط برخورد احتمالی وسایل نقلیه در تقاطعات T شکل را با میادینی که در این نوع تقاطعات احداث می شود مقایسه می کند، همچنین شکل (۱- ب) این مقایسه را برای تقاطعات چهارشاخه نشان می‌دهد. یکی از اقدامات اصلاحی شناخته شده برای جلوگیری از بروز تصادفات در تقاطع، احداث میدان است. به گفته منابع معتبر بین المللی، استفاده از میادین یک استراتژی ایمنی ثابت شده برای بهبود ایمنی تقاطع با حذف یا تغییر انواع برخورد، کاهش شدت تصادف، و وادار کردن رانندگان به کاهش سرعت است(NCHRP, 2010). به کارگیری میادین در شبکه حمل و نقل طی دهه‌های اخیر افزایش یافته است. برای مثال در دانمارک در یک دوره ۲۰ ساله از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ تعداد میادین ۳ برابر شده است (Jensen, 2016). در فرانسه در هر ۱۰۰ هزار مایل، ۴۹۰۰ میدان و در انگلستان در هر ۱۰۰ هزار مایل، ۱۰۲۰۰ میدان وجود دارد (Soulmin, 2016). از جمله مزایای فراهم‌شده میادین می توان به افزایش ایمنی و ظرفیت و کاهش هزینه‌ها اشاره کرد. بدلیل شرایط هندسه میدان، علائم ترافیکی، وضعیت روسازی و الگوهای تغییر رفتار رانندگان، ظرفیت و ایمنی، مولفه‌های جدایی ناپذیر طراحی میادین هستند (khabiri, elahizadeh and diah, 2016). در اکثر موارد از لحاظ ایمنی و عملیات، تبدیل تقاطعات با کنترل توقف یا تقاطعات با چراغ راهنمایی به میدان، مطلوب در نظر گرفته می شود. علاوه براین، میادین هزینه‌های ساخت اولیه قابل مقایسه و هزینه‌های چرخه عمر کمتری نسبت به یک چراغ راهنمایی با ظرفیت ترافیکی مشابه دارند (Leuer, 2017). از آنجایی که میدان یک گزینه موثر برای کنترل ترافیک، کاهش سرعت و همچنین کاهش تصادفات در تقاطع‌های با انواع کنترل متداول (مانند تقاطع با چراغ راهنمایی و تقاطع با کنترل توقف) است، عملکرد ایمنی میادین در مطالعات متعددی بررسی و مستند شده است که شامل گستره‌ای از موقعیت‌های تقاطع و شرایط ترافیکی در طول چند دهه اخیر بوده است. در این بین مطالعات متنوعی برای کشف این که آیا تبدیل یک تقاطع به میدان، سبب کاهش در برخوردهای وسیله نقلیه بوده یا خیر، انجام شده است[۲]. اکثر مطالعات نشان داده که میادین یک نوع

تقاطع امن‌تر نسبت به تقاطع‌های معمول با انواع کنترل متداول هستند. برای مثال تولو و همکاران (Tulu et al. 2015) طی بررسی چندین مطالعه نتیجه گرفتند که میادین با بهبود هندسه تقاطع و کاهش سرعت وسایل نقلیه ورودی، احتمال و شدت تصادفات جرحی را کاهش می‌دهد. به‌موازات این مطالعات، مطالعات دیگری نیز در پی عددی کردن تاثیر ایمنی تبدیل تقاطع به میدان و اثربخشی این اقدام در کاهش تصادفات بوده‌اند. برای مثال ووجانیک و همکاران (Vujanic et al. 2015) یک مطالعه قبل و بعد بیزتجربی را برای تعیین اثربخشی ایمنی تبدیل ۱۵ تقاطع دوخطه به میدان دوخطه را در شهر نیس در صربستان انجام دادند. دوره مطالعه سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ بود. نتایج این تحقیق نشان داد که تبدیل تقاطع به میدان سبب کاهش فراوانی تصادفات به میزان ۷۶ درصد شده است. در مطالعه دیگری که به همین منظور توسط الویک صورت گرفت (Elvik, 2017) مشخص شد که تبدیل تقاطع به میدان تصادفات فوتی را ۶۵ درصد و تصادفات جرحی را حدود ۴۰ درصد کاهش می‌دهد. آمبروس و جانوسکا (Ambros & Janoska, 2015) به نقل از پرساود و همکاران بیان می‌کنند که مطالعه ۲۳ تبدیل (تقاطع به میدان) در آمریکا ۴۰ درصد کل تصادفات، ۸۰ درصد تصادفات جرحی و ۹۰ درصد تصادفات فوتی را کاهش داده است. مطالعه ژائو و همکاران (Zhao et al., 2015) در خصوص ارزیابی ایمنی تبدیل تقاطع‌های دوطرفه با کنترل توقف به میادین در راه‌های برونشهری نشان داده که اثربخشی این اقدام در کاهش تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی به ترتیب برابر ۱۰۰ درصد، ۷۶/۴۷ درصد و ۳۵/۴۹ درصد بوده است. رودگرتز (Rodegerdts, 2007) یک مطالعه قبل و بعد بیزتجربی را برای مقایسه عملکرد ایمنی تقاطع با میدان، به کار گرفت. محدوده مطالعه شامل طیف وسیعی از تقاطع‌ها و میادین در نواحی شهری، حومه شهر و برونشهری بود. نتایج مطالعه نشان داد که تمام انواع تصادفات تقریبا ۳۵ درصد کاهش یافته‌اند. نتایج ارزیابی مطالعه قبل و بعد بیز تجربی بر روی ۲۴ میدان در شهر ویسکانزین که توسط کین و همکاران (Qin et al, 2013) انجام گرفته، نشان می‌دهد که در تمام موقعیت‌ها یک کاهش ۹/۲ درصدی در کل تصادفات و ۵۲ درصدی در تصادفات فوتی و جرحی بدست آمده است.

با بررسی مطالعات قبلی در خصوص تاثیر ایمنی و کاهش تصادفات ناشی از تبدیل تقاطع به میدان دو نکته حائز اهمیت قابل استنباط است. نکته اصلی و حائز اهمیت این است که با دقت در نتایج مطالعات مختلف می‌توان مشاهده کرد که محققان دامنه‌ای از تاثیر تبدیل تقاطع به میدان در کاهش تصادف را به دست آورده‌اند. این دامنه متغیر بوده و از حدود ۳۵ تا حدود ۷۰ درصد کاهش تصادفات را نشان می‌دهد. این دامنه سبب عدم اطمینان در اظهارنظر دقیق درخصوص تاثیر ایمنی این اقدام اصلاحی در کاهش تصادفات می‌شود. نکته دوم این است که برخی از مطالعات، از مطالعه قبل و بعد بر روی تبدیل انواع کنترل قبلی متفاوت استفاده کرده اند، و برخی از آنها همه انواع کنترل قبلی را با هم ترکیب کرده‌اند. با این حال، پارامترهای متغیر تخمینی برای یک تابع عملکرد ایمنی[۳](SPF) مبتنی بر یک نوع کنترل قبلی مشخص، می‌تواند نسبتا از آنهایی که برای یک SPF مبتنی بر همه انواع کنترل قبلی است متفاوت باشد، بنابراین مطالعات تاثیر ایمنی برای هر نوع کنترل قبلی می‌تواند منجر به نتایج دقیق‌تری شود (Persaud et al. 2012). با توجه به دو نکته فوق، لزوم ارزیابی هر چه بیشتر این اقدام اصلاحی و دستیابی به مقدار عددی دقیق حاصل از این اقدام احساس می‌شود. این مقدار عددی در تمام مطالعات ارزیابی تاثیر ایمنی یا اثربخشی اقدام اصلاحی با عنوان ضریب بهبود تصادف (CMF) یاد شده است. ضریب بهبود تصادف، ضریبی است که برای محاسبه تعداد مورد انتظار تصادفات پس از اجرای یک اقدام اصلاحی مفروض در یک سایت مشخص مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مثال اگر مقدار CMF برابر ۱/۱ باشد، نشان دهنده افزایش ۱۰ درصدی در تصادف بوده، و اگر مقدار CMF برابر ۰/۹ باشد نشان دهنده کاهش ۱۰ درصدی در تصادف خواهد بود. همانگونه که بیان شد، ضرایب بهبود تصادف بدست آمده در مطالعات قبلی دامنه متنوعی از نتایج را نشان می‌دهد و لذا با قطعیت نمی‌توان مقدار دقیقی را برای این اقدام در پروژه‌های داخلی مشابه در نظر گرفت. بدین منظور برای ارزیابی تاثیر ایمنی احداث میادین و دستیابی به یک ضریب بهبود تصادف برای این اقدام در کشور، در این تحقیق ارزیابی ایمنی میدان سلمان فارسی شهر ایلام هدفگذاری شده است. برای دستیابی به مقدار عددی مطالعه موردی، از روش بیزتجربی (که براساس منابع معتبر بین المللی مانند AASHTO (2010)

بهترین روش برای ارزیابی تاثیر ایمنی اقدامات اصلاحی است) استفاده خواهد شد تا درک منطقی و درستی از اثربخشی واقعی ایمنی میادین در کاهش تصادفات حاصل شود.

۲-روش تحقیق

ضریب بهبود تصادف[۴] (CMF) یک فاکتور ضرب شدنی است که برای محاسبه تعداد مورد انتظار تصادفات بعد از اجرای یک اقدام اصلاحی از طریق ضرب‌کردن با فراوانی تصادفات مورد انتظار بدون اقدام اصلاحی در یک سایت مشخص استفاده می‌شود. در کل چندین روش ممکن است به منظور بدست آوردن مقدار CMF به کار رود که روش قبل و بعد با بیزتجربی[۵] (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 موردانتظار چندین روش وجود دارد، اما در کل، روش بیز تجربی شامل دو مرحله زیر است (Huer, 1997):

۱- تعیین پایه‌ای برای پیشبینی تعداد تصادفات
۲- 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 بصورت رابطه (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) 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 پیشبینی متوسط فراوانی تصادف بکار گرفته می‌شوند. برای آشنایی بیشتر با SPF و برای درک بهتر تفاوت بین تصادفات مشاهده شده، مورد انتظار و پیش‌بینی‌شده، نمودار یک SPF در شکل (۲) نشان داده شده است.

شکل ۲. تخمین های فراوانی تصادف مشاهده‌شده، پیش‌بینی‌شده 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 پیشبینی بدست می‌آید استفاده کرده تا بتوانند تخمین دقیقی از نتایج را بدست 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 می‌زنند. استفاده مشترک از اطلاعات محل‌های هدف و مرجع بر اساس یک میانگین وزنی، به شرح زیر انجام می شود (Huer et. al. 2001):

(۲) **تخمین تصادفات موردانتظار در محل‌های هدف**

تصادفات مورد انتظار در محل های مرجع × وزن =

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 عمدتا منعکس کننده تصادفات ثبت شده است. روش استخراج متغیرهای رابطه (۲) به‌خوبی توسط هائر (۱۹۹۷) 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، رابطه (۲) به صورت زیر بیان شده است:

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

که در آن α عامل وزن بوده و می‌توان آن را بصورت زیر 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 زیر تخمین زده می‌شود:

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

$$SD(\theta) = \sqrt{var(\theta)} \qquad (٦)$$

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

سپس درصد تغییر در تصادفات به صورت $(۱ - \theta) \times ۱۰۰$ محاسبه خواهد شد. در این تحقیق برای اینکه تفاوت یک مطالعه ساده آماری با روش تخمینی EB نشان داده شود، ابتدا اقدام به تحلیل آماری ساده داده‌ها خواهد شد تا پس از اینکه نتایج روش EB بدست آمد، بتوان با مقایسه این دو، به درک بهتری از بکارگیری روش‌های پیشرفته همچون روش بیزتجربی رسید.

۳-مطالعه موردی

اکثر میادین شهرستان ایلام بصورت میادین شهری، بدون چراغ راهنمایی، ٤ شاخه و جداشده هستند. بنابراین یکی از این میادین برای ارزیابی اثربخشی آن در کاهش تصادفات انتخاب شد. میدان در نظر گرفته شده، میدان سلمان فارسی در شهر ایلام است. این میدان در شکل (۳) نشان داده شده است. این میدان در ابتدای سال ۹۲ بر روی ترافیک باز شد. در نتیجه تعداد سه سال به‌عنوان دوره قبل و سه سال به‌عنوان دوره بعد از احداث میدان برای تحلیل داده‌های تصادف در نظر گرفته شد. داده‌های تصادف دوره‌های مطالعه قبل و بعد از احداث میدان در این تقاطع در جدول (۱) ارایه شده است.

شکل ۳. نمایی از میدان سلمان فارسی شهر ایلام

جدول ۱. داده‌های تصادف قبل و بعد از احداث میدان

	قبل			بعد		
	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹٤
فراوانی تصادفات	۱۱	۱۰	۹	۵	۳	٤

٤-تحلیل داده‌ها و نتایج

عملکرد کلی میدان با دانستن اینکه چه کاهشی در کل دوره مطالعه در تعداد تصادفات بدست آمده، مشخص می‌شود. همانگونه که گفته شد، ابتدا یک تحلیل آماری ساده بر روی داده‌های تصادف انجام می‌شود. برای این تحلیل آماری، آزمون t در نظر گرفته شده است.

٤-۱- آزمون t (*t-test*)

برای اندازه نمونه کوچک ($N<30$) می‌توان نشان داد که اگر X_1 و X_2 از یک جمعیت نمونه باشند، آماره t آنها مطابق با توزیع t خواهد بود، که در آن:

$$t = \frac{x_1 - x_2}{S_p\sqrt{1/n_1 + 1/n_2}} \qquad (۷)$$

که S_p انحراف معیار تجمعی بوده و برابر است با:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}} \qquad (۸)$$

توزیع t بستگی به درجه آزادی(f) داشته که اشاره به تعداد اجزاء مستقل داده‌ها که توزیع را تشکیل می‌دهند، دارد. برای توزیع t، اجزاء وابسته داده‌ها دارای دو میانگین X_1 و X_2 هستند. بنابراین:

$$f = N_1 + N_2 - 2 \qquad (۹)$$

در این تحقیق، آزمون t برای تعداد تصادفات بصورت زیر انجام می‌شود:

- متغیر وابسته: تعداد تصادفات در دوره ۳ ساله
- متغیر مستقل: قبل یا بعد از احداث میدان
- فرضیه‌ها: $\left.\begin{matrix}\mu_1 = \mu_2 & : H_0 \\ \mu_1 \neq \mu_2 & : H_1\end{matrix}\right\}$

که μ_1 و μ_1 میانگین تعداد تصادفات به ترتیب برای قبل و بعد از ساخت میدان است.

- سطح معنی داری $\alpha = ۰/۰۵$
- آزمون فرضیه:

اگر ارزش $\alpha > p$ باشد H_0 رد می شود
اگر ارزش $\alpha < p$ باشد H_0 رد می شود

اگر مقدار محاسبه شده t با توجه به درجه آزادی آن در ناحیه کوچکتر از ۰/۰۵ قرار گیرد، فرضیه اول رد می‌شود. از نتایج آزمون t در این تحقیق یک ارزش معناداری کمتر از ۰/۰۵ بدست آمد، بنابراین فرضیه اول رد می‌شود. نتایج آزمون t در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج آزمون t در این تحقیق نشان می‌دهد که احتمال اینکه با درجه آزادی ٤، $t \geq$ ۱۲/۵ باشد، کمتر از ۵ درصد است. در نتیجه تفاوت معناداری در میانگین داده دوره‌های قبل و بعد وجود دارد. آماره‌های توصیفی بدست آمده از داده دوره‌های قبل و بعد از احداث میدان در جدول (۳) نشان داده شده است. همانگونه که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، تبدیل تقاطع به میدان، میانگین تعداد تصادفات را از ۱۸/۳٤ تصادف به ٤ تصادف کاهش داده که یک کاهش ۷۸ درصدی در تصادفات را نشان می‌دهد. این نتایج هر چند که از لحاظ آماری بررسی و تایید شد، اما تخمینی غیردقیق است. روشهای جدید محاسبه اثربخشی اقدامات اصلاحی در کاهش تصادف، که شامل روش مطالعه قبل و بعد بیزتجربی و روش مطالعه قبل و بعد با گروه مقایسه هستند، نتایج بسیار دقیق تری ارائه می‌دهند. به همین دلیل در ادامه به تحلیل داده‌ها با استفاده از روش بیزتجربی که پرکاربردترین روش در ارزیابی اثربخشی اقدامات اصلاحی است، می‌پردازیم.

جدول ۲. نتایج آزمون t برای تعداد تصادفات

انحراف معیار تجمعی	درجه آزادی	مقدار t
۱/٦۲	٤	۱٦/۱

جدول ۳. آماره‌های توصیفی تعداد تصادفات قبل و بعد از ساخت میدان

آماره		قبل	بعد
میانگین		۱۸/۳٤	٤
حدود اطمینان ۹۵٪ برای میانگین	حد پایین	۱٦/٦۹	۳/۲۲
	حد بالا	۱۹/۹۹	٤/۷۸
واریانس		۲/۳٤	۰/۵
انحراف معیار		۱/۵	۰/۷
خطای استاندارد میانگین		۰/۸۷	۰/٤
حداقل		۱۷	۳
حداکثر		۲۰	۵

٤-۲- ارزیابی اثربخشی با روش بیزتجربی

به منظور دستیابی به نتایج عددی دقیق کاهش تصادفات ناشی از تبدیل یک تقاطع با کنترل توقف به میدان، روش قبل و بعد بیزتجربی ارایه شده در *AASHTO(2010)* بکارگرفته می‌شود. روش بیزتجربی تعداد تصادفات مشاهده شده در تقاطع تبدیل شده به میدان را با تصادفات پیشبینی شده در دوره بعد در صورت نبود میدان مقایسه می‌کند. ایمنی پیشبینی‌شده تقاطع بدون تبدیل، مبتنی بر دو فاکتور است:

- تاریخچه تصادفات تقاطع
- شناخت ایمنی تقاطع‌های دیگر با ویژگی های مشابه

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 در هر سال با استفاده از $AADT$ و SPF مناسب برای تقاطع شهری با کنترل توقف است. داده‌های $AADT$ به تفکیک حجم ورودی به تقاطع از راه اصلی و فرعی برای دوره مطالعه به تفکیک هر سال در جدول (٤) ارایه شده است.

جدول ٤. داده‌های حجم ترافیک سایت اصلاحی در دوره قبل و بعد

سال	AADT راه اصلی	AADT راه فرعی	تصادفات مشاهده‌شده
۱۳۸۹	٦۰۸٥	٥۰۲۳	۱۸
۱۳۹۰	٦۱۷۳	٥۰٥۸	۲۰
۱۳۹۱	٦۳٦۸	٥۱۱۷	۱۷
۱۳۹۲	٦٥۳۸	٥۱٦۳	٥
۱۳۹۳	٦٦۰۸	٥۳۲۱	۳
۱۳۹٤	٦٦۰۲	٥۳۱۹	٤

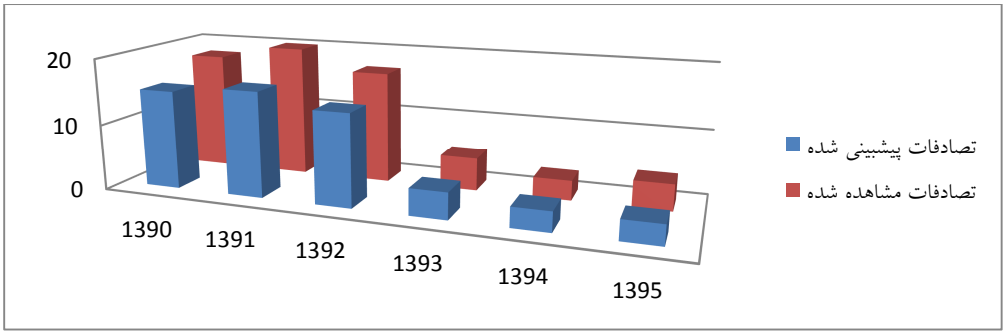
$AASHTO$ با توجه به نوع تقاطع اولیه قبل از تبدیل به میدان (تقاطع با کنترل توقف)، SPF مناسب برای پیشبینی تصادفات سالیانه را ارائه داده است. کاربرد این تابع نیاز به مقادیر ضرایب موجود در مدل دارد که از منابع معتبر جمع آوری شده است. یادآور می‌شود که مقادیر این ضرایب برای انواع مختلف تقاطع، متفاوت است و کاربرد ضرایب این تحقیق برای انواع دیگر تقاطع سبب تخمین غلط تصادفات خواهد شد. مدل مناسب پیشبینی تصادفات سالیانه برای تقاطع‌های چهارشاخه با کنترل توقف بصورت زیر است (*AASHTO, 2010*):

$$N = e^{(a+b\times ln(AADT_{\text{اصلی}})+c\times(AADT_{\text{فرعی}}))} \qquad (۱۰)$$

که $AADT$ فرعی و اصلی، حجم وسایل نقلیه ورودی از راه های فرعی و اصلی به تقاطع است، a، b و c ضرایب رگرسیونی مدل هستند که $AASTO$ با توجه به نوع و $AADT$ ورودی به تقاطع، مقادیر آنها را بترتیب ۸/۹ – ، ۰/۲۸ و ۰/۲۵ ارائه داده است. مدل ارائه شده در رابطه (۱)، یک مدل پایه است، این مدل باید با توجه به ضریب اصلاح تصادف[٦] (AMF) و شرایط محلی، کالیبره شود. $AASHTO$ مقادیر مختلفی از AMF برای تبدیل تقاطع با کنترل توقف به میدان ارایه داده است. پس از بررسی تمام موارد، با توجه به خطای استاندارد آنها، در این تحقیق $AMF = 0.81$ در نظر گرفته شد. مقادیر پیشبینی شده تصادفات پس از کالیبره کردن آنها بدست آمد و در جدول (٥) ارایه شده است. شکل (۲) تصادفات مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده قبل و بعد را نشان می‌دهد. با مشاهده این شکل می توان تفاوت در تصادفات مشاهده‌شده و پیشبینی‌شده را مقایسه کرد.

جدول ٥. فراوانی تصادفات پیشبینی‌شده قبل و بعد

سال	فراوانی پیشبینی‌شده
۱۳۹۰	۱٥
۱۳۹۱	۱٦
۱۳۹۲	۱٤
۱۳۹۳	٤
۱۳۹٤	۳
۱۳۹٥	٤



شکل ۲. تصادفات مشاهده‌شده و پیش بینی‌شده قبل و بعد از احداث میدان

مرحله دوم: پس از محاسبه تصادفات پیشبینی‌شده دوره‌های قبل و بعد، با اعداد بدست آمده، فراوانی تصادفات مورد انتظار در دوره قبل و بعد محاسبه می‌شود. فراوانی تصادفات مورد انتظار دوره قبل تقاطع از معادله (۱۱) محاسبه خواهد شد:

$$N_{expected,B} = w_{i,B}N_{predicted} + (1 - w_{i,B})N_{observed,B} \quad (۱۱)$$

که وزن، $w_{i,B}$، بصورت زیر تعریف می شود:

$$w_{i,B} = \frac{1}{1 + k\sum_{\text{دوره قبل}} N_{predicted}} \quad (۱۲)$$

که $N_{expected,B}$: فراوانی تصادفات مورد انتظار برای کل دوره قبل، N_{spf}: فراوانی تصادفات پیشبینی‌شده که با SPF مناسب تعیین می‌شود و $N_{observed,B}$: فراوانی تصادفات مشاهده‌شده برای کل دوره قبل است. در اینجا وزن برابر ۰/۰۵۳ 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 بدست می‌آید. مقادیر بدست آمده در جدول (٦) ارایه شده است.

جدول ٦. تصادفات مورد انتظار و عامل تنظیم تفاوت بین حجم ترافیک دوره‌های قبل و بعد

تصادفات مورد انتظار دوره قبل	۵۵
تصادفات مورد انتظار دوره بعد	۱۷
عامل تنظیم تفاوت در حجم ترافیک	۰/۳

مرحله سوم: تخمین اثربخشی بهبود ایمنی

محاسبه اثربخشی کل بهبود ایمنی تبدیل تقاطع با کنترل توقف به میدان 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 بدست آوردن تخمین بدون جهت از اثربخشی بهبود ایمنی، یک نسبت شانس تنظیم شده، OR، مورد نیاز است که بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$OR = \frac{OR'}{1 + \frac{Var(E_A)}{(E_A)^2}} \quad (۱۳)$$

که E_A تصادفات مورد انتظار دوره بعد است. واریانس این تصادفات بصورت معادله (١٤) تخمین زده می‌شود:

$$Var(E_A) = \sum[(r_i)^2 \times E_{i,B} \times (1 - w_{i,B})] \quad (١٤)$$

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 بعنوان درصد تغییر فراوانی تصادفات در همه سایت‌ها، θ، بصورت معادله (۱۵) عمل می شود:

$$\theta = 100 \times (1 - OR) \quad (۱۵)$$

یک تخمین مثبت از θ کاهش در تصادفات را نشان داده و یک نتیجه منفی، افزایش در تصادفات را نشان خواهد داد. نتایج بدست آمده در مرحله سوم در جدول (۷) ارایه شده است.

جدول ۷. مقادیر اثربخشی بهبود ایمنی تبدیل تقاطع به میدان

OR'	۰/۷
OR	۰/٦٨
θ	۳۲

مقدار عددی θ نشان می‌دهد که پس از تبدیل تقاطع با کنترل توقف به میدان، در دوره سه ساله باز شدن این میدان به روی ترافیک، یک کاهش ۳۲ درصدی در فراوانی تصادفات رخ داده است.

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 (۹) محاسبه واریانس این نسبت را برای یک تخمین دقیق و ارایه معیار ارزیابی معناداری آماری از تخمین‌اثر بخشی‌بهبود ایمنی‌را نشان می‌دهد:

$$Var(OR) = \frac{(OR')^2\left[\frac{1}{K_A} + \frac{Var(E_A)}{(E_A)^2}\right]}{\left[1 + \frac{Var(E_A)}{(E_A)^2}\right]} \quad (١٦)$$

که K_A تصادفات مشاهده شده در دوره بعد از احداث میدان است. پس از محاسبه واریانس، برای بدست 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 (۸)، خطای استاندارد θ بصورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$SE(\theta) = 100 \times SE(OR) \quad (۱۷)$$

پس از محاسبه خطای استاندارد OR و θ مشخص شد که خطای استاندارد نسبت شانس برابر با ۰/۱۸ و در نتیجه خطای استاندارد θ برابر ۱۸ است. ارزیابی معنی‌داری آماری تخمین اثربخشی بدست 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 بدست آوردن این معیار برای نتایج این تحقیق، که بصورت $[\theta/SE(\theta)] =$ ۱/۷۸ $\geq$ ۱/۷ است، مشخص شد که کاهش بدست آمده در اثر تبدیل تقاطع با کنترل توقف به میدان در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار است. نتایج بدست آمده در این تحقیق با نتایج سایر مطالعات (Persaud et al., 2012 و Jensen, 2013) مطابقت دارد یعنی میادین بطور طبیعی منجر به کاهش قابل توجه در تصادفات می‌شوند.

۵-نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثربخشی احداث میادین در تقاطع‌ها به عنوان یک اقدام اصلاحی در کاهش تصادفات و بالا بردن سطح ایمنی، مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور میدان سلمان فارسی شهر ایلام انتخاب شد، پس از جمع‌آوری داده‌های حجم ترافیک و تصادف مختص به این میدان، اثربخشی احداث میدان در کاهش تصادفات ارزیابی شد. ابتدا یک تحلیل آماری ساده با استفاده از آزمون t بر روی داده‌ها انجام شد. نتایج آزمون در سطح اطمینان ۹۵٪ کاهش تصادفات به میزان حدود ۸۰ درصدی را نشان داد. از آنجایی که این نتیجه یک نتیجه ساده آماری بود، تحلیل اصلی کاهش در تصادفات با استفاده از روش بیزتجربی انجام شد. نتایج روش بیز تجربی، یک ضریب بهبود تصادف ۰/٦۸ ناشی از احداث میدان در تقاطع با کنترل ترافیک، یا به عبارت دیگر، کاهش ۳۲ درصدی تصادفات را نشان داد. دقت این میزان کاهش از لحاظ آماری برسی شد و نتیجه نشان داد که این تخمین در سطح اطمینان ۹۰٪ معنادار است. در کل تخمین روش بیزتجربی درخصوص اثربخشی ایمنی احداث میدان، یک کاهش ۳۲ درصدی در تصادفات را نشان داد، در نتیجه می‌توان با اطمینان ۹۰ درصد انتظار داشت که در صورت احداث میدان در تقاطعی با کنترل توقف در سایتی دیگر، کاهش حدود ۳۰ درصدی در تصادفات رخ خواهد داد.

٦-پی‌نوشت‌ها

1. U.S. National Highway Traffic Safety Administration
2. Gross et al, 2013; Jensen, 2013; Kim and Choi, 2013; Rodegerdts et al., 2010; Shadpour, 2012.
3. Safety Performance Function
4. Crash modification factor
5. Empirical Bayes
6. Accident Modification Factor

۷-مراجع

-آقابیگ، ک.، احمدپور، ط.، (۱۳۹۵)، "مروری بر اقدامات ایمنی جهت کاهش تصادفات در تقاطع‌های بدون چراغ"، فصلنامه جاده، دوره ۲٤، شماره ۸٦، ص. ۱۱-۳۰.

-Ambros, j. and Z. Janoska, (2015), "Safety evaluation of Czech Roundabouts", Transportation Research Board 94th Annual Meeting, Washington D.C. pp.11-15.

-Elvic, R., (2017), "Road Safety Effects of Roundabouts: A Meta-analysis", Accident Analysis & Prevention, Vol. 99, part A., pp. 364-371.

-Gross, F., Lyon, C., Persaud, B., & Srinivasan, R., (2013), "Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts", Accident Analysis & Prevention, Vol. 50, pp. 234-241.

-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." Transportation Research Board 81th Annual Meeting, Washington D.C: 13-17 January.

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

-Jensen, S., (2013), "Safety effects of converting intersections to roundabouts". Transportation Research Record: Journal of the

-Retting, R. A., Persaud, B. N., Garder, P. E., & Lord, D. (2001), "Crash and injury reduction following installation of roundabouts in the United States", American Journal of public health, Vol. 91, pp. 628-631.
-Rodegerdts, Lee, (2007), "Safety Findings." Transportation Research Board NCHRP Report 572: Roundabouts in the United States.
-Rodegerdts, L., Bansen, J., Tiesler, C., Knudsen, J., Myers, E., Johnsonm, M., & Isebrands, H. Guichet., B., and and O'Brien, A., (2010), "Roundabouts: An Informational Guide, NCHRP Report 672, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC.
-Schattler,K, L., Hanson,T, and Maillacheruvu, K., (2016), "Effectiveness Evaluation of a Modified Right□Turn Lane Design at Intersections", FHWA-ICT-16-012, Illinois Center for Transportation, Rantoul.
-Souliman, B., (2016), "Effect of Roundabouts on Accident Rate and Severity in Arizona", A Thesis for Master of Science, Thesis Advisor: Michael Mamlouk, Arizona, Arizona State University.
-Shadpour, E., (2012), "Safety Effects of Roundabouts", A Thesis for Master of Science, Thesis Advisor: Dr. Tracy Snoddon, Laurier Centre for Economic Research & Policy Analysis.
-Tulu, G, S., Haque, Md, M., Washington, S., King, M, J., (2015), "Investigating pedestrian injury crashes on modern roundabouts in Addis Ababa, Ethiopia", Transportation Research Record, Vol. 2512, pp. 1-10.
-Vujanic, M. Antic, B. Pesic, D. Savicevic, M., (2016), "Safety Effectiveness of Converting Conventional Intersections to Roundabouts: Case Study in the City of Niš", Traffic &Transportation, Vol. 28, pp. 529-537.
-Zhao, S., Aemal, J., Khattak and Eric, C. Thampson, (2015), "Safety and Economic Assessment of Converting Two-Way Stop-Controlled Intersections to Roundabouts on High Speed Rural Highways", JTRF Vol.54, No. 1, pp. 131-144.
Transportation Research Board, Vol. 2389, pp. 22-29.
-Jensen, S.U., (2016), "Safe Roundabouts for Cyclists." Accident Analysis and Prevention, Vol. 105, pp.30-37.
-Khabiri, M, M., Elahizadeh, M., Diah, MD, J., (2016), "Statistical Analysis of Two-lane Roundabout Data For Traffic Control Decision-Making in an Urban Area", International Journal of Transportation Engineering, Vol.4, No.1, pp. 27-39.
-Kim, S., & Choi, J., (2013), "Safety analysis of roundabout designs based on geometric and speed characteristics", KSCE Journal of Civil Engineering, Vol.17, pp. 1446-1454.
-Leuer, D., (2017), "A Study of the Traffic Safety at Roundabouts in Minnesota", Office of Traffic, Safety, and Technology Minnesota Department of Transportation.
-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., & Nguyen, T., (1998), "Disaggregate safety performance models for signalized intersections on Ontario provincial roads", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1635, pp. 113-120.
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, Vol.1751, pp.1-8.
-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, Vol. 42, pp. 38- 43.
-Persaud, B., Saleem, T., Faisal, S., Lyon, C., Chen, Y., & Sabbaghi, A., (2012), "Adoption of Highway Safety Manual Predictive Methodologies for Canadian Highways", TAC Conference & Exhibition, Canada, 14-17 October.
-Qin, X., A. Bill, M. Chitturi, and D. Noyce., (2013), "Evaluation of Roundabout Safety." Transportation Research Board 92nd Annual Meeting, Washington D.C: 13-17 January.

Evaluation of Safety Effect of Roundabout on Intersection Crashes Reduction

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

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

E-mail: m.koohhi@gmail.com

Received: August 2021-Accepted: February 2022

ABSTRACT

Determining the numerical value of the safety effectiveness of countermeasures or the Crash Modification factor (CMF) is one of the issues that has received considerable attention in recent years in the world. In this regard, several studies have been carried out to determine the CMF for converting intersection to roundabout in different countries. The results of these studies have led to a reduction of about 35 to 70 percent of crashes at the intersections. Since there is no serious study regarding determining CMF of constructing a roundabout and the percentage of crash reduction due to this countermeasure in Iran, the researchers are seeking to determine the CMF and reduction percentage of the crashes due to this measure in Iran. For this purpose, Salman Farsi roundabout of Ilam city was evaluated. AADT rates were obtained from the available traffic counts and crash data from the police. For determining CMF, empirical Bayes method was considered. The reason for using empirical Bayes method is its high efficiency in removing the phenomenon of regression to mean and other time-alteration factors and the high precision of this method is due to the use of SPF in order to reasonably estimate the frequency of crashes in the period prior to countermeasure. During studying, a SPF from AASHTO 2010 was used. Using this tool and predicting crashes before and after the construction of the roundabout, as well as calculating the frequency of expected crashes before and after it, the effectiveness of safety was calculated. The results for crash frequency is as crash CMF and crash frequency reduction percentage indicates a CMF of 0.68, implying a 32 percent reduction in crash. The statistical significance evaluation of this reduction shows that the 32 percent reduction of crashes after constructing roundabout is significant at 90 percent confidence level.

Keywords: Evaluation of Safety Effect, Roundabout, Crashes Reduction, Empirical Bayes