

اثرسنجی احداث خطوط اتوبوس تندرو بر فراوانی تصادف در بزرگراه‌های شهری

(مطالعه موردی: بزرگراه رسالت تهران)

حمیدرضا بهنود (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

ساسان زمانی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.

علی نادران، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشکده فنی-مهندسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، ایران.

E-mail: behnood@emg.ikiu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۳ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۲

چکیده

ایمنی بزرگراه‌های شهری از مسایل مهم در مدیریت ترافیک کلان‌شهرها است که معمولاً تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله احداث خطوط و ایستگاه‌های حمل‌ونقل همگانی است. این مقاله به مطالعه اثر ایمنی احداث خطوط تندروی اتوبوس بر فراوانی سوانح بزرگراه‌های درون-شهری می‌پردازد. در این پژوهش ۱۴ سایت در بزرگراه رسالت در شهر تهران برای مطالعه قبل و بعد و ۴۰ سایت مرجع از لحاظ مشابهت وضعیت هندسی و ترافیکی برای ایجاد تابع عملکرد ایمنی (SPF) انتخاب شدند. در این پژوهش دوره زمانی برای انجام اثرسنجی مطابق با مبانی روش بیزین تجربی (EB) سه سال قبل و بعد از اقدام در نظر گرفته شد. در روش بیزین تجربی از اطلاعات سایت‌های اقدامی برای مطالعه قبل - بعد و از اطلاعات سایت‌های مرجع برای ساخت توابع عملکرد ایمنی (SPF) استفاده شده است. در این مطالعه تنها تصادفات در مقاطع بین تقاطعی برای انجام اثرسنجی در نظر گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان داد ضریب اصلاح تصادف (CMF) معادل ۰/۸۷ بوده و مقدار معناداری ۵/۶۹ با سطح اطمینان ۹۵٪ محاسبه گردید که باعث کاهش ۱۲/۵۸ درصدی تعداد کل تصادفات شده است. در مجموع، روش بیزین تجربی به دلیل حذف اثر رگرسیون به میانگین، پاسخهای منطقی و رویکرد نه چندان دشوار آن می‌تواند برآورد دقیقی از میزان وقوع تصادفات و عوامل موثر در کاهش آن جهت ایمنی در بزرگراه‌ها بدست آورد. استفاده از روش بیزین تجربی (EB) برای محاسبه اثرات رگرسیون به میانگین (RTM) و تغییرات حجم تردد ترافیک اعتبار این یافته‌ها را اثبات می‌نماید. دامنه کاهش تصادفات از ۱/۲۵ درصد الی ۶۵/۶ درصد بوده است.

واژه‌های کلیدی: اثرسنجی ایمنی، خط اتوبوس تندرو، مطالعه قبل - بعد، روش بیزین تجربی.

۱. مقدمه

عبوری، وجود خط اضطرار (شانه راه) سرفاصله اتوبوس‌ها، فاصله ایستگاه‌ها، نحوه عبور پیاده از عرض معبر و غیره بر رخدادهای تصادفات موثر باشند.

ایمنی جداسازی جریان‌های ترافیکی، منجر از ویژگی‌های هندسی و ترافیکی مورد نظر در طراحی است. در برخی نقاط که اتصال بین دو مسیر لازم باشد یا در محل تقاطع‌ها ممکن است خطر کاهش ایمنی تردد بیشتر از حالت عادی شود. این احتمال کاهش ایمنی از دو منظر قابل توجه است:

الف) کاهش ایمنی خودروهای شخصی

ب) کاهش ایمنی کاربران آسیب‌پذیر

در مورد نوع اول لازم است ذکر شود که تقریباً ۹۰ درصد از تصادفات بزرگراه‌هایی که دارای خطوط حمل و نقل همگانی هستند، خارج از خط اختصاص داده شده واقع می‌شوند و شامل اتوبوس‌ها نمی‌باشند و این موضوع بیانگر این است که ایمنی این بزرگراه‌ها بیشتر به ویژگی‌های طراحی خطوط اصلی بزرگراه مرتبط است. در مورد نوع دوم باید این‌گونه بیان شود که اجرای یک سیستم حمل و نقل همگانی (LRT-BRT) با ظرفیت بالا بر هریک از خیابان‌های شریانی، حجم زیادی از مسافران را جذب می‌کند و منجر به ریسک بالایی از تصادفات عابرین پیاده می‌شود [Duduta et al. 2012].

در نهایت لازم است به این ضرورت اشاره شود که منافع حاصل از احداث یک سیستم BRT نباید توسط هزینه‌های تصادف ناشی از کاهش ایمنی در مسیر اصلی خنثی شود و با روشی اصولی به بررسی این عامل در کل جریان ترافیک رسیدگی شود.

۲. مروری بر ادبیات و پیشینه تحقیق

در بخش مروری بر ادبیات و پیشینه تحقیق، منابع در سه گروه مختلف طبقه بندی شده‌اند که به شرح زیر است: گروه اول به اثرسنجی اقدامات ایمن سازی راه و تاثیر پروژه‌ها بر ایمنی بزرگراه، گروه دوم با توجه به اینکه سیستم خط تندرو اتوبوس نوعی از سیستم‌های خطوط مدیریت شده است مطالعاتی در زمینه ایمنی

حمل و نقل همگانی یکی از انواع اساسی سیستم‌های حمل و نقل شهری است که بخش عمده‌ای از سفرهای درون‌شهری را به خود اختصاص داده و به جهت خصوصیات عملکردی ویژه‌اش با اصول و اهداف توسعه پایدار، مطابقت بیشتری دارد. در مقایسه با انواع دیگر سیستم‌های حمل و نقل همگانی، سیستم اتوبوس تندرو (BRT)^۱ دارای انعطاف‌پذیری بیشتر و با هزینه تمام شده پایین‌تر قابل اجرا است. عوامل بسیار زیادی بر روی عملکرد مناسب یک سیستم اتوبوس تندرو اثرگذار هستند که بررسی سهم هریک از آنها برای مدیریت سامانه ضروری است. همانطور که ارزیابی عملکرد سیستم حمل و نقل تندرو بر اساس عوامل موثر بر آن، برای بهره‌برداری هرچه بهتر ضروری است، بررسی تاثیر احداث یک سیستم BRT بر سایر بخش‌های حمل و نقل به ویژه مسیر اصلی تردد خودروهای شخصی ضرورت دارد. اقداماتی نظیر احداث خطوط حمل و نقل همگانی جدید، بهبود سیستم موجود و یا تغییر اساسی زیرساخت‌های این حوزه، اغلب بر اساس شاخص‌هایی مانند زمان سفر، بهبود کیفیت هوا، سطح دسترسی و غیره مورد سنجش قرار می‌گیرند اما ایمنی ترافیک معمولاً به عنوان یک قطعه گمشده در طراحی و اثرسنجی پروژه‌ها در سیاست‌های حمل و نقل همگانی قرار می‌گیرد.

به طور کلی، عرض مسیر و سرعت طرح عوامل اصلی در کنترل تصادفات راه‌های شریانی درون‌شهری است [Hadiuzzaman, 2016]. احداث یک خط تردد جداشده در معابر بزرگراهی را می‌توان معادل اضافه شدن عرض میانه در نظر گرفت اما حرکت یک خودرو در این خط و حذف شانه راست یا چپ، موجب ایجاد اعوجاج در نحوه تردد خودروها در مسیر اصلی خواهد شد. حذف نرده محافظ در برخی نقاط و امکان ورود و خروج (مجاز و غیرمجاز) خودروها و موتورسیکلت‌ها از مسیر اصلی به مسیر ویژه نیز در افزایش این اعوجاج موثر است. بر این اساس به نظر می‌رسد عواملی مانند سرعت، حجم تردد، ترکیب ترافیک، تعداد بریدگی‌های میانه، تعداد تقاطع‌ها، عرض و تعداد خطوط

اثرسنجی احداث خطوط اتوبوس تندرو بر فراوانی تصادف در بزرگراه‌های شهری ...

نازنین و همکاران [Nazanin et al. 2015] به اثرسنجی ایمنی اولویت عبور و ایجاد موج سبز برای ترامواها در تقاطع‌ها و خیابان‌های شریانی شهر ملبورن پرداختند. با افزایش نیازها برای استفاده بهینه تر از فضای محدود معابر شهری راهکارهایی مانند اولویت عبور ترامواها در تقاطعها می‌توانند به ارتقای عملکرد این سیستم‌ها و جذب مسافر در مناطق پر ازدحام شهری کمک نماید. برای انجام این مطالعه ۲۹ تقاطع همراه با موج سبز برای ترامواها و ۲۳ خیابان شریانی همراه با اولویت عبور برای ترامواها انتخاب گردید. نتایج تحلیل (EB) از یک کاهش آماری معنی دار، ۱۶/۶٪ بعد از اجرای اقدامات اولویت برای ترامواها خبر داد. اقدامات موج سبز و اولویت عبور به ترتیب موجب کاهش ۱۳/۹٪ و ۱۹/۴٪ در تصادفات شدند.

کائو و همکاران [Cao et al. 2008] پژوهشی را در زمینه تحلیل فایده-هزینه تبدیل خطوط HOV به HOT در ایالت مینه سوتا انجام دادند. برای این منظور آنها تصادفات را به ۳ دسته (صرفاً خسارتی- جرحی با سطوح B+A و C- فوتی) برای دوره قبل و بعد از تبدیل خطوط HOV به HOT تقسیم کردند. همچنین برای تخمین مزایای ایمنی از روش بیزین تجری بهره بردند و یک کاهش ۵/۳٪ را تعداد تصادفات مشاهده کردند.

کالویل [Colwill, 2014] به بررسی پیامد های ایمنی خطوط HOV در شهر تورنتو پرداخت. وی برای انواع مختلفی از خطوط HOV مانند خطوط یک طرفه^۲ خطوط دسترسی محدود^۳ خطوط با حائل^۴ ضرایب اصلاح تصادفات (CMF)^۵ را ساخت. CMF های بدست آمده برای تصادفات صرفاً خسارتی در سطح اطمینان ۹۵٪، در محدوده ۱/۰۷ تا ۱/۳۱ و بطور میانگین ۱/۱۹ هستند. براساس ساختار CMF ها و روند تحلیل تصادفات، ایجاد خطوط با حائل، دسترسی محدود و یک طرفه می‌توانند بطور متوسط ۱۵٪ منجر به افزایش تعداد تصادفات شود. این افزایش در تصادفات بیشتر مربوط به تصادفات صرفاً خسارتی و مخصوصاً برخورد های جلو- عقب است که بیشتر در نواحی ضربدری و همگرایی رخ می‌دهند. همچنین یک افزایش (۳٪ - ۱٪) به دلیل تفاوت سرعت میان خطوط HOV و خطوط عادی مجاور در

قبل و بعد احداث خطوط مدیریت شده (مانند HOV Lane) با استفاده از روش بیزین تجری (EB) پرداخته و در گروه سوم به بررسی مطالعات تاثیر خط اتوبوس تندرو بر ایمنی بزرگراه‌ها با استفاده از روش بیزین تجری (EB) پرداخته شده است.

در پژوهشی توسط لی و همکاران [Li et al. 2014]، اثرسنجی کاهش سرعت بر ایمنی راه‌های شریانی در شهر ادمنتون کانادا صورت گرفت. روش قبل- بعد بیزین تجری (EB) برای محاسبه اثر رگرسیون به میانگین انتخاب شد. توابع عملکرد ایمنی (SPF) محلی و ضرایب کالیبراسیون سالانه شدت های مختلف تصادفات، به وسیله استفاده گروهی از راه‌های شریانی بدست آمد. برای اثرسنجی اطلاعاتی شامل رکورد های تصادفات، حجم تردد خودروها و مشخصات هندسی راه‌ها، به مدت ۸ سال در نظر گرفته شد. نتایج نشان از کاهش ۱۴ الی ۲۰ درصدی شدت تصادفات داد. همچنین اثرات ایمنی استراتژی طرح کاهش سرعت در دو حالت دائم و غیردائم در این مطالعه نیز صورت گرفت و تحلیل نشان داد که طرح دائمی کاهش سرعت، تاثیر بیشتری بر کاهش تصادفات جرحی دارد.

هانگ و همکاران [Huang et al. 2009] در گزارشی به بررسی تاثیر رژیم معابر بر ایمنی راه‌های ایالت‌های واشینگتن، کالیفرنیا و آیووا پرداخت. رژیم معابر شامل باریک‌سازی یا حذف خطوط عبوری از راه به منظور ایجاد فضا برای عبورین پیاده و دوچرخه-سواران است. رژیم معابر عموماً شامل تبدیل یک راه ۴ خطه تفکیک نشده به ۳ خط (۲ خط عبوری به علاوه یک خط برای دور زدن) است. در ایالت آیووا تعداد ۱۵ سایت تحت رژیم معابر و ۲۸۱ سایت مرجع و برای ایالت‌های واشینگتن و کالیفرنیا تعداد ۳۰ سایت تحت رژیم معابر و ۵۱ سایت مرجع با توجه به دسترسی داده‌ها انتخاب گردید. ضریب اصلاح تصادفات به دست آمده برای ایالت آیووا ۰/۵۳ و برای ایالت‌های واشینگتن و کالیفرنیا ۰/۸۱ است. همچنین تحت اثر این اقدام کاهش ۴۷٪ در ایالت آیووا و ۱۹٪ در ایالت‌های واشینگتن و کالیفرنیا برای کلیه تصادفات رخ داد.

تصادفات جرحی در ورودی/ خروجی های خط HOV رخ می‌دهد.

دودوتا و همکاران [Duduta et al. 2012] در سال ۲۰۱۲، به مقایسه بین سیستم های BRT و اتوبوس معمولی در ۹ شهر دنیا در زمینه اصول ایمنی طراحی خطوط پرداختند. این رویکردها شامل ترکیب مدل سازی فراوانی تصادفات، بازرسی های ایمنی راه و مصاحبه با کارکنان شرکت های حمل و نقلی مربوط می شد. آنها به این نتیجه رسیدند که سیستم های BRT به دلیل برخوردار بودن از سکوی مرتفع، ایستگاه ها و مسیر مجزا، کنترل مرکزی و آموزش رانندگان نسبت به سایر سیستم های اتوبوس رانی از نرخ تصادفات کمتر و در نتیجه از ایمنی بیشتری برخوردارند. برتری ایمنی سیستم های BRT نسبت به سایر سیستم ها، بیشتر مربوط به طراحی کنترل بهتر عابرین پیاده است.

دودوتا و همکاران در مطالعه ای [Duduta et al. 2013] بررسی اثرات ایمنی ناشی از بهبود سیستم BRT در کشور مکزیک را با استفاده از روش بیزین تجربی (EB) انجام دادند. یکی از مفروضات این مطالعه، این است که تغییرات در ایمنی راه یک تابع مستقیم از تغییرات در زیر ساختها و اقدامات ایمن سازی است. نتایج کلی حاکی از آن بود که اعمال سیستم BRT در کشورهای آمریکای لاتین موجب کاهش در تصادفات با رعایت استاندارد های طراحی و اجرا می‌شود. با ساخت توابع عملکرد ایمنی (SPFs) برای سطوح مختلف شدت تصادفات و محاسبه روند ایمنی در طول زمان، نتایج نشان از کاهش ۵۶٪ در کلیه تصادفات و ۶۹ درصد در تصادفات شدید طی ۳ سال اول بهره برداری داد.

بوکارجو و همکاران [Bocarejo et al. 2012] تاثیر سیستم BRT در کشور های کلمبیا و ونزوئلا تحلیل کردند. آنها برای تحلیل ایمنی از مقایسه قبل و بعد از احداث سیستم BRT استفاده و مشاهده کردند که از پس از احداث سیستم BRT، از شدت تصادفات جرحی به ترتیب ۳۹٪ و ۶۰٪ در کلمبیا و ونزوئلا کاهش یافت درحالی که در همین مدت مشابه از شدت تصادفات کل شهر تنها ۴۸٪ کاهش یافت.

گاه و همکاران [Goh et al. 2013] روش بیزین تجربی را پیشنهاد دادند و برای سیستم BRT ملبورن اعمال کردند و به این نتیجه رسیدند که در خیابان هایی که سیستم BRT در حال فعالیت است کاهش ۱۸٪ تصادفات رخ می دهد. آنها از رویکرد مدل سازی میکروسکوپی استفاده کردند. این مدلها الگوهای برخورد های ترافیکی را در ۳ حالت (الف) حالت پایه بدون اولویت (ب) ایجاد خط ویژه برای اتوبوس ها و سایر وسایل نقلیه در کنار جاده (ج) ایجاد خط ویژه فقط برای اتوبوس ها. برای هر یک از این ۳ حالت، عملکرد ایمنی شامل تعداد رویکرد ها و محل ایستگاه های اتوبوس به وسیله دو شاخص (الف) نرخ کاهش سرعت برای اجتناب از تصادف و (ب) شاخص پتانسیل تصادف مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که سیستم اتوبوس در کنار جاده وقوع برخوردهای پهلو-پهلو و عقب-جلو را در تقاطع ها (حالت ۲ و ۳) را کاهش می دهد.

۴. روش تحقیق

روش اجرای این پژوهش مبتنی بر نوع عملکرد داده ها می باشد، به بیان بهتر برای انجام اثرسنجی با روش بیزین تجربی ابتدا لازم است با استفاده از اطلاعات سایت های مرجع توابع عملکرد ایمنی را بدست آورده سپس به مطالعه قبل - بعد مشاهده ای اقدام انجام شده با استفاده از روش بیزین تجربی صورت گیرد. به همین دلیل روش اجرای تحقیق به دو مرحله تقسیم شده است.

توابع عملکرد ایمنی، معادلات رگرسیونی هستند که فراوانی متوسط تصادفات را برای یک نوع سایت مشخص (با شرایط پایه) به عنوان تابعی از متوسط ترافیک روزانه در سال (AADT) برای مقاطع راه با طول L برآورد می کند. شرایط پایه برای هر SPF مشخص شده است و می تواند شامل شرایطی مانند پهنای خط، وجود یا عدم روشنایی و وجود خطوط گردشی و... باشد. در این پژوهش از مدل های خطی تعمیم یافته (GLM) برای مدلسازی میان تعداد تصادفات و متغیرهای مستقل استفاده شد. در مقایسه با رگرسیون های خطی سنتی، مدل های خطی تعمیم یافته توزیع تصادفات را بهتر بیان می کنند، مطالعات پیشین نشان داد که توزیع

اثرسنجی احداث خطوط اتوبوس تندرو بر فراوانی تصادف در بزرگراه‌های شهری ...

$$w_{i,B} = \frac{1}{1+k \sum \text{years } N_{\text{predicted}}} \quad (3)$$

در این رابطه N_{expected} ، تعداد متوسط تصادفات مورد انتظار در یک سایت در دوره قبل، $w_{i,B}$ ضریب وزنی، K پارامتر پراکندگی تابع SPF است.

دومین گام محاسبه تعداد متوسط تصادفات مورد انتظار برای دوره بعد از اقدام می باشد. برای محاسبه تفاوت های میان دوره قبل - بعد از لحاظ حجم ترافیک در هر سایت لازم است باید ضریب اصلاحی r محاسبه شود. این ضریب نسبت تصادفات پیش بینی شده دوره بعد به تصادفات پیش بینی شده دوره قبل می باشد. تعداد تصادفات مورد انتظار دوره بعد بصورت ضرب این ضریب اصلاحی در تعداد تصادفات مورد انتظار دوره قبل محاسبه می شود.

گام سوم محاسبه نسبت احتمالی کل یا (ضریب کاهش تصادفات) و خطای استاندارد آن است که در روابط ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ آمده است.

$$OR' = \frac{\sum N_{\text{Observed},A}}{\sum N_{\text{Expected},A}} \quad (4)$$

$$OR = \frac{OR'}{1 + \frac{\text{Var}(\sum N_{\text{Expected},A})}{(\sum N_{\text{Expected},A})^2}} \quad (5)$$

$$\text{Var}(\sum N_{\text{Expected},A}) = \sum (r_i)^2 \times N_{\text{Expected},B} \times (1 - w_{i,b}) \quad (6)$$

$$\text{Var}(or) = \frac{(or')^2 \left(\frac{1}{N_{\text{Observed},A}} + \frac{\text{Var}(\sum N_{\text{Expected},A})}{(\sum N_{\text{Expected},A})^2} \right)}{1 + \frac{\text{Var}(\sum N_{\text{Expected},A})}{(\sum N_{\text{Expected},A})^2}} \quad (7)$$

$$SE(or) = \sqrt{\text{Var}(or)} \quad (8)$$

گام چهارم ارزیابی معناداری آماری از میزان کاهش در تعداد تصادفات می باشد. به طوری که اگر:

دو جمله ای منفی در قیاس با توزیع پواسون به دلیل ماهیت فراپراکندگی داده های تصادفات بهتر می تواند توزیع تصادفات را مدل سازی کند. ساختار کلاسیک توابع عملکرد ایمنی مطابق رابطه زیر است.

$$\mu_i = \exp(a_0 + a_1 \ln(AADT_i) + \ln(L_i)) \quad (1)$$

در این رابطه μ_i تعداد تصادفات پیش بینی شده، AADT متوسط ترافیک روزانه در سال و L طول مقطع می باشد. ضرایب مدل با استفاده از دستور مدل های خطی تعمیم یافته محاسبه شد، که از روش بیشینه احتمال (MLE) با الگوریتم نیوتن-رافسون استفاده می کند. نیکویی برازش مدل به وسیله شاخصهای مانند دوینانس و آماره کای دو پیرسون که بطور گسترده برای توزیع های دو جمله ای منفی استفاده می شوند، محاسبه گردید.

اثر رگرسیون به میانگین (RTM) اختلاف تعداد تصادفات را در غیاب هیچ گونه عامل خارجی منعکس می نماید. به بیانی دیگر، احتمال اینکه به دنبال یک دوره با شمار بالای تصادفات یک دوره با شمار کم تصادفات بدون هیچ گونه اقدام، واقع شود را بیان می دارد. از آنجا که در تمامی حوزه ها برای سایت هایی که نرخ تصادفات بیشتری دارند، اولویت بیشتری قائل هستند، کاهش قابل توجهی با استفاده از مطالعات مرسوم قبل - بعد به دلیل بی توجهی به اثر RTM اتفاق می افتد که این کاهش ممکن است جانبدارانه باشد. روش بیزین تجربی که توسط هائر پیشنهاد شده منحصر این مشکل را با ادغام اطلاعات تصادفات از سایت های مرجع مختلف حل می نماید. روش بیزین تجربی (EB) همچنین قادر است تغییرات در حجم تردد و طول مدت مطالعه قبل - بعد را محاسبه کند. روش اثرسنجی به شرح زیر است:

اولین گام محاسبه تعداد تصادفات مورد انتظار برای دوره قبل از اقدام برای هر یک از سایت هاست. تعداد تصادفات مورد انتظار مجموع تعداد تصادفات مشاهده شده و تعداد تصادفات پیش بینی شده است. محاسبات تعداد تصادفات مورد انتظار در روابط ۲ و ۳ گفته شده است.

$$N_{\text{Expected},B} = w_{i,B} N_{\text{Predicted}} + (1 - w_{i,B}) N_{\text{Observed}} \quad (2)$$

نظر گرفته شد. در روش بیزین تجربی (EB) از اطلاعات سایت‌های اقدامی برای مطالعه قبل - بعد و از اطلاعات سایت‌های مرجع برای ساخت توابع عملکرد ایمنی (SPF) استفاده می‌گردد. همچنین لازم به ذکر است تنها تصادفات در مقاطع بین تقاطعی برای انجام اثرسنجی در نظر گرفته شد. این امر به این دلیل است که تصادفات تقاطعی در بزرگراه‌های شهری از ویژگی‌های متفاوتی نسبت به تصادفات بین تقاطعی برخوردار است و نوع تحلیل آن متفاوت از آن است. چنین تفریقی بین قطعات راه و تقاطع‌ها به عنوان دو نوع سایت در راه‌های شریانی درون‌شهری در راهنمای ایمنی راه (HSM)^۶ نیز در نظر گرفته شده است.

در این پژوهش ۱۴ سایت اقدامی در بزرگراه رسالت انتخاب گردید. در جدول ۱ گزیده ای از آمار و اطلاعات مربوط به تصادفات مشاهده شده طی دو دوره قبل و بعد درج شده است. به منظور غلبه بر جهت دار بودن در انتخاب سایت‌های اقدامی، لازم است از اطلاعات سایت‌های مرجع استفاده شود. سایت‌های مرجع، سایت‌هایی می‌باشند که اقدام صورت گرفته در سایت‌های اقدامی در آنها اجرا نشده و صرفاً براساس تشابه مشخصات هندسی، ترافیکی، شرایط آب و هوایی و غیره خود به سایت‌های اقدامی، انتخاب می‌شوند. در این پژوهش به دلیل تشابه مشخصاتی مانند شیب، وجود دوربین‌های کنترل ترافیک و شرایط آب و هوایی یکسان از اطلاعات و آمار مقاطع بزرگراه‌های همت، نیایش، حکیم، آشناسان و علامه جعفری در شهر تهران استفاده شد. در مجموع ۴۰ سایت مرجع برای این پژوهش انتخاب شدند.

۱. نسبت اثربخشی ایمنی به خطای استاندارد اثربخشی ایمنی کمتر از ۱/۷ باشد، در این صورت اقدام صورت گرفته در سطح ۹۰٪ اطمینان، معنادار نیست.

۲. اگر نسبت اثربخشی ایمنی به خطای استاندارد اثربخشی ایمنی بیشتر از ۱/۷ باشد، در این صورت اقدام صورت گرفته در سطح ۹۰٪ اطمینان معنادار است.

۳. اگر نسبت اثربخشی ایمنی به خطای استاندارد اثربخشی ایمنی بیشتر از ۲ باشد، در این صورت اقدام صورت گرفته در سطح ۹۵٪ اطمینان معنادار است.

بزرگراه رسالت یکی از اصلی‌ترین بزرگراه‌های شرقی - غربی در محدوده شرق تهران است. این بزرگراه در غرب از تونل رسالت آغاز شده و در شرق به جاده آبعلی واقع در تهرانپارس پایان می‌یابد. خط پنج اتوبوس‌های تندرو تهران از کوتاه‌ترین خطوط این سامانه است که در مهرماه سال ۱۳۹۱ راه‌اندازی شد. خط ۵ اتوبوس‌های تندرو مرسوم به (BRT) از پایانه علم و صنعت در شرق تهران آغاز و به پایانه بیهقی در میدان آرژانتین ختم می‌شود. در شکل (۱) حداقل این خط و ایستگاه‌های واقع در آن نشان داده شده است.

در این پژوهش دوره زمانی برای انجام اثرسنجی مطابق با مبانی روش بیزین تجربی سه سال قبل و بعد از اقدام صورت گرفته، در



شکل ۱. محدوده خط ۵ سامانه اتوبوس تندرو (BRT) واقع در بزرگراه رسالت تهران [شرکت واحد اتوبوسرانی تهران]

اثرسنجی احداث خطوط اتوبوس تندرو بر فراوانی تصادفات در بزرگراه‌های شهری ...

جدول ۱. اطلاعات تصادفات مشاهده شده در دو دوره قبل و بعد در ۱۴ سایت اقدامی

شماره سایت	طول سایت (KM)	تعداد تصادفات مشاهده شده			تعداد تصادفات مشاهده شده		
		در دوره قبل از اقدام	در دوره قبل از اقدام	مجموع تصادفات در دوره قبل از اقدام	در دوره بعد از اقدام	در دوره بعد از اقدام	مجموع تصادفات در دوره بعد از اقدام
۱	۰/۶	۸۸	۸۹	۹۰	۶۴	۵۷	۴۸
۲	۰/۵۳۵	۷۹	۶۶	۸۱	۲۲۵	۹۶	۸۰
۳	۰/۵۳۸	۷۳	۷۰	۶۶	۲۰۹	۶۷	۵۰
۴	۰/۷۱	۸۲	۷۳	۷۹	۲۳۴	۹۴	۹۳
۵	۰/۲۷۵	۱۳۵	۱۲۸	۱۴۱	۴۰۴	۱۳۳	۱۶۹
۶	۰/۵۰۹	۵۷	۶۳	۵۶	۱۷۶	۲۸	۲۳
۷	۰/۶۹۸	۸۵	۹۳	۱۰۸	۲۸۶	۱۰۶	۱۲۸
۸	۰/۵۳۸	۴۲	۵۶	۴۹	۱۴۷	۶۸	۶۵
۹	۰/۴۲۳	۵۳	۵۲	۵۷	۱۶۲	۸۶	۶۷
۱۰	۰/۳۹۵	۴۹	۴۰	۵۵	۱۴۴	۷۵	۵۵
۱۱	۰/۲۹۵	۶۱	۵۷	۵۹	۱۷۷	۵۹	۴۳
۱۲	۰/۳۴۳	۵۶	۴۸	۴۲	۱۴۶	۴۸	۳۱
۱۳	۰/۵۴۳	۴۰	۴۳	۳۷	۱۲۰	۴۳	۴۴
۱۴	۰/۷۳۶	۴۷	۵۱	۴۵	۱۴۳	۴۹	۳۲

جدول ۲. نیکویی برازش مدل SPF

مقدار به درجه آزادی	مقدار	آماره
۱/۱۵۵	۴۱/۵۶۷	دویانس (Deviance)
۱/۱۵۵	۴۱/۵۶۷	دویانس درجه بندی شده (Scaled Deviance)
۱/۰۲۸	۳۷/۰۲۱	کای دو پیرسون (Pearson chi-square)
۱/۰۲۸	۳۷/۰۲۱	کای دو پیرسون درجه بندی شده (Scaled Pearson chi-square)
	-۱۵۳/۲۵۳	لگاریتم احتمال (Log likelihood)
	۳۱۴/۵۰۶	معیار آکاییکه (AIC)
	۰/۴۹	آماره مک فادن

جدول ۳. نتایج برآورد تابع عملکرد ایمنی (SPF)

متغیر	ضریب	انحراف استاندارد	معنا داری (SIG)
مقدار ثابت	۲/۶۲۱	۰/۲۴۵۶	۰/۰۰۰
حجم تردد	۱/۰۴۷×۱۰ ^{-۵}	۴/۴۳۷۶×۱۰ ^{-۶}	۰/۰۱۸
طول مقطع	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰

۵. نتایج و بحث

$$N_{spf} = e^{(2.721 + (1.047 \times 10^{-5})(AADT) + (0.001)(Length))}$$

پارامتر بیش پراکندگی برای این مدل ۰/۰۶۶ است.

نتایج اثرسنجی برای دوره های قبل و بعد در جداول ۴ و ۵ آورده شده است. هدف از تحلیل بیزین تجربی در دوره قبل از اقدام، محاسبه تعداد کل تصادفات مورد انتظار در هر یک از سایت های مورد مطالعه می باشد. در جدول فوق میزان اثربخشی ایمنی (کاهش / افزایش تصادفات) مشخص شده اند، مقادیر مثبت نشان از کاهش و مقادیر منفی نشان از افزایش در تعداد کل تصادفات دارند. همانطور که از این جدول استنباط می شود، بالاترین ضریب اثربخشی ایمنی در سایت ۶ به میزان ۶۵/۶۰٪ و پایین ترین ضریب مربوط به سایت ۹ به میزان ۱۶/۷۲٪ است. با استفاده از روابط گفته شده در فصل چهارم، مقادیر نسبت احتمالی جانبدارانه (OR')، نسبت احتمالی اصلاح شده (OR) یا ضریب اصلاح تصادفات (CMF)، واریانس ضریب اصلاح تصادفات و خطای استاندارد آن در جدول ۶ محاسبه شده اند.

تابع عملکرد ایمنی SPF به عنوان یکی از ارکان اصلی مدل های پیش بینی تصادف است که مبتنی بر توزیع دوجمله ای منفی به عنوان یک مدل آماری رگرسیونی بر حسب حجم تردد و طول قطعات مرجع در ۴۰ سایت اشاره شده در روش تحقیق بیان می شود. از اینرو بررسی صحت مدل از اهمیت بالایی برخوردار است که در این بخش ابتدا به آن پرداخته شده است. تابع SPF با استفاده از اطلاعات و روش های ذکر شده در بالا ایجاد شدند. همانطور که قبلا اشاره شد، نیکویی برازش مدل با استفاده از شاخصهای دویانس و کای دو پیرسون سنجیده شد که هر ۲ این مقادیر در محدوده مجاز (۱/۲-۰/۸) قرار گرفته اند. در جداول ۲ و ۳ به ترتیب نیکویی برازش مدل و نتایج ضرایب مدل SPF آورده شده اند. کلیه متغیرهای مدل شامل مقدار ثابت، حجم تردد و طول مقطع در سطح ۵٪ معنی دار هستند. تعداد تصادفات با حجم ترافیک و طول مقطع رابطه مستقیم دارند.

مدل ریاضی تابع عملکرد ایمنی در رابطه زیر آورده شده است.

اثرسنجی احداث خطوط اتوبوس تندرو بر فراوانی تصادف در بزرگراه‌های شهری ...

جدول ۴. جدول تحلیل (EB) دوره قبل از احداث خط ویژه بزرگراه رسالت (سال های ۱۳۸۸ الی ۱۳۹۰)

شماره سایت	تعداد کل تصادفات پیش بینی شده			ضریب وزنی W	تعداد تصادفات مورد انتظار
	سال ۸۸	سال ۸۹	سال ۹۰		
۱	۴۱.۹۰	۴۱.۰۲	۴۰.۳۷	۰.۱۰۹۴	۱۶۴.۰۰
۲	۶۶.۷۴	۶۳.۹۳	۶۱.۸۹	۰.۰۷۲۹	۲۲۳.۵۶
۳	۹۳.۱۲	۸۸.۱۵	۸۴.۶۰	۰.۰۵۳۹	۲۱۲.۰۷
۴	۸۳.۹۷	۸۰.۲۵	۷۷.۵۶	۰.۰۵۹۰	۲۳۴.۴۶
۵	۵۶.۸۷	۵۴.۲۵	۵۲.۳۶	۰.۰۸۴۸	۳۸۳.۶۰
۶	۷۳.۳۳	۶۹.۸۹	۶۷.۴۲	۰.۰۶۷۱	۱۷۸.۳۲
۷	۸۴.۲۵	۸۰.۴۶	۷۷.۷۳	۰.۰۵۸۸	۲۸۳.۴۴
۸	۴۹.۰۲	۴۷.۵۶	۴۶.۴۹	۰.۰۹۵۸	۱۴۶.۶۲
۹	۴۹.۰۱	۴۷.۳۳	۴۶.۱۰	۰.۰۹۶۱	۱۶۰.۱۲
۱۰	۴۹.۵۹	۴۷.۸۱	۴۶.۵۱	۰.۰۹۵۳	۱۴۳.۹۹
۱۱	۵۴.۸۱	۵۲.۴۰	۵۰.۶۷	۰.۰۸۷۶	۱۷۵.۳۳
۱۲	۳۱.۴۷	۳۰.۸۵	۳۰.۳۹	۰.۱۴۰۵	۱۳۸.۵۱
۱۳	۳۹.۸۹	۳۹.۰۴	۳۸.۴۱	۰.۱۱۴۴	۱۱۹.۷۰
۱۴	۴۶.۹۰	۴۵.۹۶	۴۵.۲۶	۰.۰۹۸۹	۱۴۲.۵۲

حمیدرضا بهنود، ساسان زمانی، علی نادران

جدول ۵. جدول تحلیل (EB) دوره بعد از احداث خط ویژه بزرگراه رسالت (سال های ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۴)

تعداد تصادفات مورد انتظار	نسبت احتمال (Odds Ratio)	ضریب تعدیل r_i	مجموع تصادفات پیش بینی شده	تعداد تصادفات پیش بینی شده			شماره سایت
				سال ۹۴	سال ۹۳	سال ۹۲	
۷۶/۱۰۱	۰/۷۹۵۴	۱/۰۷۳۲	۱۳۲/۳۲	۴۳/۲۵	۴۴/۱۸	۴۴/۸۹	۱
۲۵۸/۰۹	۰/۹۴۵۴	۱/۱۵۴۴	۲۲۲/۳۱	۷۱/۲۰	۷۴/۳۳	۷۶/۷۸	۲
۲۵۴/۶۰	۰/۶۵۹۹	۱/۲۰۰۶	۳۱۹/۱۹	۱۰۱/۱۰	۱۰۶/۸۰	۱۱۱/۲۹	۳
۲۷۲/۷۱	۰/۸۵۸۱	۱/۱۶۳۱	۲۸۱/۲۲	۸۹/۸۸	۹۴/۰۴	۹۷/۳۰	۴
۴۴۸/۹۸	۰/۹۶۸۹	۱/۱۷۰۴	۱۹۱/۳۶	۶۱/۰۵	۶۴/۰۰	۶۶/۳۱	۵
۲۰۹/۲۹	۰/۳۴۴۰	۱/۱۷۳۷	۲۴۷/۲۱	۷۸/۸۱	۸۲/۶۸	۸۵/۷۲	۶
۳۳۰/۳۷	۰/۹۶۵۶	۱/۱۶۵۶	۲۸۲/۵۹	۹۰/۲۶	۹۴/۵۱	۹۷/۸۲	۷
۱۶۲/۱۷	۱/۱۴۶۹	۱/۱۰۶۰	۱۵۸/۲۴	۵۱/۲۹	۵۲/۸۷	۵۴/۰۸	۸
۱۷۹/۹۲	۱/۱۶۷۲	۱/۱۲۳۶	۱۶۰/۰۵	۵۱/۶۵	۵۳/۴۹	۵۴/۹۱	۹
۱۶۲/۶۸	۱/۰۹۴۲	۱/۱۲۹۸	۱۶۲/۵۸	۵۲/۳۹	۵۴/۳۴	۵۵/۸۵	۱۰
۲۰۳/۶۱	۰/۷۰۷۳	۱/۱۶۱۳	۱۸۳/۳۵	۵۸/۶۲	۶۱/۳۱	۶۳/۴۱	۱۱
۱۴۸/۰۶	۰/۸۴۴۲	۱/۰۶۸۹	۹۹/۰۹	۳۲/۴۳	۳۳/۰۸	۳۳/۵۸	۱۲
۱۲۸/۶۰	۰/۹۸۷۵	۱/۰۷۴۴	۱۲۶/۰۷	۴۱/۲۰	۴۲/۰۹	۴۲/۷۸	۱۳
۱۵۲/۴۷	۰/۸۱۳۳	۱/۰۶۹۸	۱۴۷/۷۶	۴۸/۳۴	۴۹/۳۳	۵۰/۰۸	۱۴

جدول ۶. مقادیر محاسبه شده برای اثر سنجی نهایی

مقدار	پارامترهای اثرسنجی
۰/۸۷۴۳	نسبت احتمالی جانبدارانه (OR')
۰/۸۷۴۱	ضریب اصلاح تصادفات (CMF)
۱۲/۵۸	اثر بخشی ایمنی (%)
۰/۰۰۰۴۸۹۰۵	واریانس (CMF)
۲/۲۱۱	خطای استاندارد اثر بخشی ایمنی (%)

۶. جمع بندی و نتیجه گیری

تأکید قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان داد ضریب اصلاح تصادفات (CMF) معادل ۰/۸۷ بوده و مقدار معناداری ۵/۶۹ با سطح اطمینان ۹۵٪ محاسبه گردید که باعث کاهش ۱۲/۵۸ درصدی تعداد کل تصادفات شده است. در مجموع، روش بیزین تجربی به دلیل حذف اثر رگرسیون به میانگین، پاسخهای منطقی و رویکرد نه چندان دشوار آن می تواند برآورد دقیقی از میزان وقوع تصادفات و عوامل موثر در کاهش آن جهت ایمنی در بزرگراه ها بدست آورد. استفاده از روش بیزین تجربی (EB) برای محاسبه اثرات رگرسیون

هدف اصلی پژوهش حاضر برآورد اثرسنجی خط ویژه اتبوس تندرو بر تصادفات و بالانحص بر ایمنی بزرگراه رسالت است. همانطور که اشاره شده روش بیزین تجربی (EB) به دلیل حذف اثر رگرسیون به میانگین، پاسخ های منطقی و رویکرد نه چندان دشوار آن در سال های گذشته مورد توجه فراوان بوده و به خصوص در کشور آمریکا در دستورالمعمل های ایمنی جاده مورد

۸. مراجع

-قدیری فراز، بهادر، وزیری، منوچهر و صادقی، زهره (۱۳۹۳)
"بر اساس رضایت مندی و اولویت های مسافران (BRT)
ارزیابی سیستم حمل و نقل همگانی مطالعه موردی: خط یک
اتوبوس تندرو شهر اصفهان"، چهاردهمین کنفرانس بین المللی
مهندسی حمل و نقل و ترافیک.

-Bocarejo, Juan, Velasquez, Juan, Díaz, Claudia
and Tafur, Luis (2012) "Impact of bus rapid
transit systems on road safety: Lessons from
Bogotá, Colombia", Transportation Research
Record: Journal of the Transportation Research
Board, No. 2317, pp. 1-7.

-Colwill, Matthew and Eng, P. (2014) "Moving
(more) people safely: examining the safety
impacts of HOV Lanes", Transportation 2014:
Past, Present, Future-2014 Conference and
Exhibition of the Transportation Association of
Canada/Transport 2014: Du passé vers
l'avenir-2014 Congrès et Exposition
de'Association des transports du Canada.

-Duduta, Nicolae, Adriazola, Claudia, Luis
Lindau, Dario Hidalgo and Jaffe, Rebecca
(2012) "Understanding road safety impact of
high-performance Bus Rapid Transit and bus
way design features", Transportation Research
Record: Journal of the Transportation Research
Board, No. 2317, pp. 8-14.

-Duduta, Nicolae, Adriazola-Steil, Claudia,
Hidalgo, Dario, Antonio Lindau, Luis and
Santos da Rocha, P. Dos (2013) "The
relationship between safety, capacity, and
operating speed on bus rapid transit", In 13th
World Conference on Transport Research
(WCTR), Rio de Janeiro.

-Duduta, N., Lindau, L. A. and Adriazola-Steil,
C. (2013) "Using empirical Bayes to estimate
the safety impact of transit improvements in
Latin America", International Conference Road

به میانگین (RTM) و تغییرات حجم تردد ترافیک اعتبار این یافته
ها را اثبات می‌نماید. دامنه کاهش تصادفات از ۱/۲۵ درصد الی
۶۵/۶ درصد بوده است.

این اثر کاهش تصادف را می‌توان به جداسازی ترافیکی معابر دو
نوع وسیله نقلیه سواری و اتوبوس‌های تندرو نسبت داد و همانطور
که در مقدمه گفته شد ارتقای ایمنی در مسیر اصلی را می‌توان در
پی افزایش ایمنی تردد خودروهای شخصی به دلیل ساده شدن
مانورهای حرکتی در پی حذف اثر اتوبوس‌ها و همچنین افزایش
ایمنی کاربران آسیب‌پذیر به دلیل حذف تردهای عرضی در پی
نصب موانع طولی مربوط به مسیر ویژه اتوبوس جستجو نمود. در
نهایت می‌توان چنین تفسیر نمود که ایجاد سامانه‌های اتوبوس
تندرو در معابر شریانی درون‌شهری، علاوه بر منافع قابل بررسی
حاصل از ایجاد یک سامانه حمل‌ونقل همگانی، می‌تواند منجر به
افزایش ایمنی تردد در مسیر اصلی مربوط به خودروهای شخصی
شود.

با تحلیل دقیق‌تر داده‌ها بر اساس روش‌های پیچیده‌تر و یا مقایسه
با سایر روش‌های جایگزین در رویکرد مشاهده‌ای، می‌توان به
نتایجی با قابلیت اطمینان بیشتر در این زمینه دست یافت. پیشنهاد
می‌شود نتایج این مطالعه با روش‌های کاربردی دیگر مورد مقایسه
قرار گیرد. یکی از این روش‌ها، روش بیزین تجربی با گروه‌های
مقایسه‌ای است. همچنین استفاده از روش بیزین کامل در مطالعات
قبل و بعد در رابطه با موضوع تحقیق می‌تواند تحولی در مطالعه
اثرسنجی اقدامات ایمنی راه ایجاد نماید

۷. پی‌نوشت‌ها

1. Bus Rapid Transit
2. Concurrent flow
3. Limited-access
4. Buffered
5. Crash Modification Factor
6. Highway Safety Manual
7. Access Points

Transportation Research Board, No. 2352, pp. 41-49.

-Li, Ran, El-Basyouny, Karim and Kim, Amy (2015) "Before-and-after empirical Bayes evaluation of automated mobile speed enforcement on urban arterial roads", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2516, pp. 44-52

-Naznin, Farhana, Currie, Graham, Sarvi, Majid and Logan, David (2016) "An empirical Bayes safety evaluation of tram/streetcar signal and lane priority measures in Melbourne", Traffic Injury Prevention, Vol.17, No. 1 pp. 91-97.

Viola, Rob, Roe, Matthew and Shin, H. (2010) "The New York City pedestrian safety study and action plan", New York City Department of Transportation.

Xu, Zhiyi and Yan Huang, Arthur (2012) "Safety benefits of converting HOV lanes to HOT lanes: Case study of the I-394 MnPASS", Institute of Transportation Engineers, ITE Journal, Vol. 82, No. 2, pp. 32-37.

Safety and Simulation in Rome, Italy on October 22nd through 25th.

-Duduta, Nicolae, Adriaola, Claudia and Hidalgo, Dario (2015) "Traffic safety on bus priority systems", EMBRAQ Publication. website: www.wrirosscities.org

-Hadiuzzaman, Md, Ahsanul Karim, Mizanur Rahman and Hasan, Tanweer (2016) "Planning level regression models for prediction of the number of crashes on urban arterials in Bangladesh." International Journal of Transportation Engineering Vol. 3, No. 4, pp. 267-275.

-Huang, Herman, Stewart, J. and Zegeer, Charles (2002) "Evaluation of lane reduction "road diet" measures on crashes and injuries", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1784, pp. 80-90.

-Goh, Kelvin, Currie, Graham, Sarvi, Majid and Logan, David (2013) "Road safety benefits from bus priority: an empirical study." Transportation Research Record: Journal of the

اثرسنجی احداث خطوط اتوبوس تندرو بر فراوانی تصادف در بزرگراه‌های شهری ...

حمیدرضا بهنود، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد و درجه کارشناسی ارشد در رشته راه و ترابری را در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه فردوسی مشهد اخذ نمود. در سال ۱۳۹۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته راه و ترابری از دانشگاه فردوسی مشهد گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مطالعات برنامه‌ریزی ایمنی راه بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی است.



ساسان زمانی، درجه کارشناسی ارشد در رشته برنامه‌ریزی حمل‌ونقل را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مطالعات ایمنی ترافیک است.



علی نادران، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۷۹ از دانشگاه تهران و درجه کارشناسی ارشد در رشته راه و ترابری را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۸۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته راه و ترابری از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مطالعات جامع حمل‌ونقل شهری و برنامه‌ریزی ایمنی راه بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران است.

