

برآورد ایمنی نواحی ترافیکی با استفاده از روش EB و مدل‌های کلان

نعمت سلطانی، دانشجوی دکتری پژوهشگاه حمل و نقل طراحان پارسه، تهران، ایران

محمود صفارزاده (مسئول مکاتبات)، استاد دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

Email: saffar_m@modares.ac.ir

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

میلاذ ابوالحسینی، کارشناس ارشد حمل و نقل، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸

دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۳۰

چکیده

توجه به ایمنی در برنامه‌ریزی حمل و نقل نیازمند دستیابی به شاخص‌های ایمنی در سطح کلان می‌باشد. این امر با انجام مطالعات ایمنی و استفاده از متغیرها در سطح کلان امکان‌پذیر می‌باشد. استفاده از متغیرهای کلان، ساخت مدل‌های پیش‌بینی تصادفات را آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر می‌کند. در این مطالعه با استفاده از متغیرها، در سطح کلان، مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات ترافیکی به دست آمد. متغیرهای مستقل شامل مجموع طول شبکه معابر در یک ناحیه ترافیکی، نسبت طول معابر با درجه عملکردی متفاوت به طول کل معابر موجود در یک ناحیه ترافیکی، نسبت طول خطوط اتوبوس به طول کل معابر و چکالی تقاطعات در یک ناحیه ترافیکی در نظر گرفته شد. بر این اساس اطلاعات مرتبط با ۱۶۱۳۷ تصادف در ۹۶ ناحیه ترافیکی به دست آمد. پس از ساخت مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات، با استفاده از روش تجربی بایس (EB) نواحی ترافیکی از نظر ایمنی الویت‌بندی شدند و نواحی با بیشترین پتانسیل بهبود مشخص گردید. بر اساس نتایج حاصل افزایش طول شبکه معابر و نسبت معابر با درجه عملکردی شریانی درجه ۲ در یک ناحیه ترافیکی موجب افزایش احتمال وقوع تصادف در آن ناحیه، و افزایش نسبت معابر با درجه عملکردی جمع و پخش‌کننده و محلی در یک ناحیه ترافیکی موجب کاهش تعداد تصادفات در آن ناحیه می‌گردد. در این راستا نسبت معابر با درجه عملکردی جمع و پخش‌کننده در یک ناحیه ترافیکی دارای کمترین تاثیر و نسبت معابر با درجه عملکردی محلی در یک ناحیه ترافیکی بیشترین تاثیر را دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: روش تجربی بایس، مدل دو جمله‌ای منفی، متغیرهای کلان، نواحی ترافیکی

۱. مقدمه

در ایران در سال ۱۳۹۵، ۱۵۹۳۲ نفر بر اثر تصادفات جان خود را از دست داده‌اند که ۵۵۰۵ نفر از این تعداد بر اثر تصادفات درون شهری و ۱۰۴۲۷ نفر بر اثر تصادفات برون‌شهری کشته شده‌اند. این آمار نشان دهنده آن است که در ایران در سال ۱۳۹۵ روزانه ۱۵ نفر تنها بر اثر تصادفات درون شهری جان خود را از دست داده‌اند. تعداد مجروحین ناشی از تصادفات در همین سال ۳۳۳۰۶۶ نفر می‌باشد. این آمار در مقایسه با آمار سایر کشورها بسیار چشمگیر می‌باشد. به عنوان مثال کشورهای اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۶ به ازای هر ۱۰۰،۰۰۰ نفر جمعیت ۵٫۱ نفر جان خود را بر اثر تصادفات از دست داده است این در حالی است که این آمار در سال ۱۳۹۵ در ایران ۱۹٫۹ نفر می‌باشد [RMTO-Statistical yearbook, 2015; European Commission, 2016]. با توجه به آمار ارائه شده ایمنی در حمل و نقل نیازمند توجه جدی مجامع پژوهشی کشور می‌باشد و می‌بایست بر اساس مطالعات و پژوهش‌های علمی راه‌کارهای عملی در این خصوص ارائه گردد.

یکی از روش‌های افزایش ایمنی، شناسایی نقاط حادثه‌خیز و رفع علل تصادف در آن نقاط می‌باشد. روش‌های متعددی جهت شناسایی نقاط حادثه‌خیز وجود دارد. یکی از این روش‌ها استفاده از مدل‌های پیش‌بینی تصادفات ترافیکی است. این مدل‌ها با استفاده از متغیرها در سطوح خرد و کلان تعداد تصادفات ترافیکی را پیش‌بینی می‌نمایند. مدل‌های ساخته شده با استفاده از متغیرها در سطح خرد تعداد تصادفات در انواع تسهیلات مانند تقاطعات و قطعات راه برآورد می‌کنند. نتایج این مطالعات قابل استفاده در طراحی مهندسی یک پروژه و ارزیابی عملکرد راهکارهای گوناگون جهت افزایش ایمنی است از طرف دیگر، در سال‌های اخیر توجه به ساخت مدل‌های پیش‌بینی تصادفات بر اساس متغیرها، در سطح کلان افزایش یافته است. این متغیرها شامل خصوصیات ترافیکی مانند تولید و جذب سفر نواحی [Naderan, 2011]، خصوصیات

اجتماعی-اقتصادی مانند میزان درآمد خانواده [Xu and Huang, 2015] و خصوصیات محیطی مانند کاربری اراضی [Pulugurtha, Duddu and Kotagiri, 2013] می‌باشند. در سطح کلان متغیرها در یک سطح معین شامل مجموعه‌ای از تسهیلات ترافیکی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. این سطح می‌تواند در سطوح جغرافیایی مختلف مانند مناطق شهری [Washington et al., 1999]، نواحی ترافیکی [Wang et al., 2013; Dong et al., 2014] و یا بلوک آماری [Wang and Kockelman, 2013] در نظر گرفته شود. این مدل‌ها تعداد تصادفات را، در سطح جغرافیایی مورد استفاده جهت استخراج متغیرها، پیش‌بینی می‌نمایند.

اکثر مطالعات انجام شده برای شناسایی نقاط حادثه‌خیز بر اساس مدل‌های پیش‌بینی، با استفاده از مدل‌های خرد صورت گرفته است. با توجه به هزینه‌های کمتر جمع‌آوری اطلاعات مرتبط با متغیرها در سطح کلان، در مقایسه با متغیرها در سطح خرد، ساخت مدل‌های کلان، آسان‌تر و با صرف هزینه کمتر میسر است. این امر استفاده از آن‌ها را به عنوان ابزاری قدرتمند در شناسایی نواحی حادثه‌خیز شهری سودمند می‌سازد. از طرف دیگر توسعه این مدل‌ها و شناسایی نواحی حادثه‌خیز با استفاده از آن‌ها، توجه به معیارهای ایمنی را در مطالعات مرتبط با برنامه‌ریزی حمل و نقل افزایش می‌دهد. با توجه به خصوصیات مدل‌های کلان، هدف از این پژوهش استفاده از این مدل‌ها، جهت شناسایی نواحی حادثه‌خیز و شناسایی و ارزیابی عوامل موثر بر ایمنی در سطح نواحی ترافیکی می‌باشد. در این راستا مراحل زیر در نظر گرفته شد:

- ساخت مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات بر اساس متغیرها در سطح کلان،
- رتبه‌بندی نواحی ترافیکی با استفاده از نتایج به دست آمده از مدل‌های کلان و بر اساس روش تجربی بایس (EB)

در سطح کلان طرح هندسی راه‌ها و نوع کاربری زمین از جمله عوامل محیطی مؤثر بر تعداد تصادفات عابرین پیاده می‌باشند. به عنوان مثال در محیط‌هایی که کاربری‌های متعددی متعلق به فعالیت‌های غذایی و رستوران‌ها می‌باشند احتمال وقوع تصادفات عابرین پیاده افزایش می‌یابد [Mannering and Bhat, 2014]

کوئستبرگ و همکاران در پژوهشی تاثیر عوامل مؤثر بر احتمال وقوع تصادفات عابرین پیاده در تقاطعات و قطعات راه را با استفاده از متغیرهای خرد و کلان بررسی نمودند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش عواملی نظیر درجه عملکردی معابر، عرض معابر و کاربری اراضی از جمله عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات عابرین پیاده است [Quistberg et al., 2015]. در پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۱، با بررسی ۱۷۶ تقاطع، رابطه غیر خطی میان تصادفات و متغیرهای پیش‌بینی شامل جمعیت، تعداد اعضای خانوار، خصوصیات اقتصادی، کاربری زمین‌های اطراف، خصوصیات شبکه راه‌ها و دسترسی به سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی، به دست آمده است. افزایش تصادفات با افزایش حجم عابرین پیاده، تعداد رویکردهای تقاطع، تعداد ایستگاه‌های حمل‌ونقل و جمعیت از نتایج این پژوهش بوده است [Pulugurtha and Sambhara, 2011].

لی و همکاران، به بررسی عوامل مؤثر بر تصادفات رخ داده در تقاطعات در ایالت فلوریدا آمریکا پرداختند بدین منظور ۸۳۴۷ تقاطع براساس متغیرهای خرد مانند خصوصیات ترافیکی و هندسی و متغیرهای کلان مانند خصوصیات اقتصادی-اجتماعی، خانوادگی و اطلاعات مرتبط با سفرهای روزانه، مورد ارزیابی قرار گرفت با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، استفاده از متغیرهای کلان موجب بهبود قابل توجه عملکرد مدل شد همچنین افزایش سهم حمل و نقل عمومی در سفرها موجب افزایش کل تصادفات و تصادفات عابر پیاده می‌شود [Lee, Abdel-Aty and Cai, 2017]

• بدین ترتیب معیاری به منظور تصمیم‌گیری مدیران شهری در انجام اقدامات اصلاحی در جهت افزایش ایمنی به دست آمده است.

بدین منظور در بخش بعد، مطالعات مرتبط با این پژوهش ارائه شده است در بخش سوم و چهارم به ترتیب روش پژوهش و فرآیند جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز بیان شده است. در بخش پنجم به نتایج حاصل از مدل‌های نهایی و تحلیل‌های مرتبط با آن پرداخته شده و در بخش نهایی نتیجه‌گیری حاصل از این مطالعه ارائه شده است.

۲. مرور ادبیات

ایمنی در حمل و نقل یکی از بخش‌های مهندسی ترافیک است به گونه‌ای که در طراحی تسهیلات ترافیکی و مطالعات مرتبط با حمل و نقل به عنوان یکی از معیارهای مهم در نظر گرفته می‌شود. تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه ساخت مدل‌های پیش‌بینی تصادفات به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر تصادفات و افزایش ایمنی در حمل و نقل انجام شده است [Soltani and Mamdoohi, 2016; Elmitiny et al., 2010; Soltani et al, 2018; Köll, Bader and Axhausen, 2004; Papaioannou, 2007]. مرتبط با روش‌های مدل‌سازی و نتایج حاصل، در مرجع [Mannering and Bhat, 2014] ارایه شده است.

استفاده از متغیرها در سطح کلان به منظور ساخت مدل‌های پیش‌بینی تعداد تصادفات در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهشی در سال ۲۰۱۳ با استفاده از مدل لگاریتمی دو جمله‌ای منفی، تعداد تصادفات در سطح نواحی ترافیکی بر اساس خصوصیات کاربری اراضی تخمین زده شد. بر این اساس عواملی مانند تراکم جمعیت و کاربری اراضی به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. با توجه به نتایج این پژوهش خصوصیات مرتبط با کاربری اراضی نقش تأثیرگذاری بر تعداد تصادفات نواحی ترافیکی دارند [Pulugurtha, Duddu and Kotagiri, 2013].

روش‌ها، جهت شناسایی نقاط حادثه خیز می‌باشد [Haghighi, 2017]. در این مطالعه از این روش جهت شناسایی نواحی حادثه خیز استفاده شد.

توسعه مدل‌های پیش‌بینی تصادفات با استفاده از متغیرها در سطح کلان، به منظور شناسایی نواحی حادثه‌خیز شهری علاوه بر مزیت‌های یاد شده، موجب توسعه معیارهای ایمنی در مطالعات جامع شهری و توجه به مسئله ایمنی در این گونه مطالعات می‌گردد.

۳. روش تحقیق

انتخاب شکل ریاضی رابطه‌ی بین متغیرهای وابسته و مستقل (توصیفی)، زیربنای مدل‌سازی آماری را تشکیل می‌دهد. مدل پواسون به علت ماهیت تصادفی، گسسته و غیرمنفی تصادفات بطور گسترده‌ای در مدل‌سازی تصادفات بکار گرفته شده است. یکی از فرض‌های اساسی در این مدل برابر بودن مقدار میانگین و واریانس تعداد تصادفات می‌باشد. اما در بسیاری از موارد، داده‌های تصادف دارای پراکندگی زیاد می‌باشند. به عبارت دیگر، پراکنش داده‌ها از آنچه که مورد انتظار مدل پواسون است، بزرگتر می‌باشد [Lee and Mannering, 1999]. به منظور در نظر گرفتن بیش پراکندگی موجود در داده‌های تصادفات، مدل دو جمله‌ای منفی در نظر گرفته شد. این مدل با اضافه کردن پارامتر خطا با توزیع گاما به میانگین موجود در مدل پواسون، بیش پراکندگی موجود در داده‌های تصادف را در نظر می‌گیرد و نسبت به مدل پواسون برتری دارد. چنانچه تعداد تصادفات در مدل، از توزیع دو جمله‌ای منفی با میانگین μ_i پیروی کند، رابطه بین تعداد تصادفات مورد انتظار در قطعه i و q پارامترهای مسیر مربوطه به صورت زیر است:

$$Function(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_q x_{iq} \quad (1)$$

که در آن β_0 تا β_q ضرایب مدل و x_{i1} تا x_{iq} متغیرهای مستقل می‌باشند. در عین حال، با توجه به این که، در اینجا فرض بر این است که تعداد تصادفات Y_i از توزیع دو جمله‌ای منفی با پارامترهای α و k پیروی می‌کند. احتمال اینکه قطعه تعریف

وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ در پژوهشی به بررسی میزان تأثیر خصوصیات ترافیکی، جمعیتی و هندسی بر وقوع تصادفات در تقاطعات بر اساس مدل دو جمله‌ای منفی و با استفاده از اطلاعات مرتبط با ۲۷۹ تقاطع پرداختند. بر اساس نتایج این پژوهش تأثیر متغیرهای کلان در تصادفات غیرموتوری نسبت به تصادفات موتوری بیشتر است به گونه‌ای که با حذف این متغیرها، میزان تأثیر سایر متغیرها به میزان قابل توجهی تغییر می‌یابد [Wang, Huang and Zeng, 2017].

استفاده از مدل‌های پیش‌بینی تصادفات در تعیین نقاط حادثه‌خیز کاربرد فراوان دارد. هوآنگ و همکاران مدل‌های پیش‌بینی تصادفات را در سطوح خرد و کلان برآورد نمودند و عملکرد این مدل‌ها را در پیش‌بینی نواحی حادثه خیز مقایسه نمودند. بر این اساس، مدل‌های پیش‌بینی تصادفات با متغیرهایی در سطح کلان برای نواحی ترافیکی و با متغیرهایی در سطح خرد برای تقاطعات و قطعات راه ساخته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌ها در سطح خرد دارای عملکرد بهتر می‌باشند و تصویر بهتری از متغیرهای خرد موثر در تصادفات ترافیکی ارائه می‌دهند. در حالی که استفاده از مدل‌های تصادفات در سطح کلان به منظور بررسی ایمنی در سطح نواحی ترافیکی، به دلیل نیاز کمتر آن‌ها به اطلاعات جزئی کم‌هزینه‌تر می‌باشد [Huang et al., 2016].

با توجه به این که ساخت مدل‌های پیش‌بینی تصادفات در سطح کلان با هزینه کمتر در مقایسه با مدل‌ها در سطح خرد میسر است و همچنین اکثر مطالعات انجام شده در شناسایی نقاط حادثه‌خیز با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی تصادفات، بر اساس مدل‌ها در سطح خرد انجام شده است، در این مطالعه از مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات با استفاده از متغیرها در سطح کلان جهت شناسایی نواحی حادثه‌خیز شهری استفاده شد. در این پژوهش از متغیرهای ترافیکی و خصوصیات مرتبط با شبکه معابر در محدوده مورد مطالعه، جهت ساخت مدل استفاده شد. با توجه به این که روش تجربی بایس به عنوان یکی از بهترین

$$AICC = 2k - 2LL(full) + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} \quad (5)$$

$$BIC = k \ln(n) - 2LL(full) \quad (6)$$

که در آن k تعداد متغیرهای مستقل در مدل، n تعداد مشاهدات و $LL(full)$ مقدار لگاریتم احتمال در همگرایی می‌باشد.

در این مطالعه جهت الویت‌بندی نواحی از نظر ایمنی، از روش EB استفاده شده است. در این روش برای کاهش تاثیر ماهیت تصادفی تصادفات، فراوانی تصادف تعدیل یافته یک مکان با کمک مکان‌های مشابه دیگر و با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می‌گردد [PIARC, 2003].

$$y_{EBi} = y_i + \frac{y_{rp}}{S^2} (y_{rp} - y_i) \quad (7)$$

که در آن:

y_{EBi} = فراوانی تصادفات تعدیل یافته مکان i

y_i = فراوانی تصادفات در مکان i

y_{rp} = میانگین فراوانی تصادفات

S^2 = واریانس فراوانی تصادفات

سپس پتانسیل بهبود^۵ (PI) برای هر ناحیه ترافیکی از طریق رابطه (۸) محاسبه می‌گردد. در این روش نواحی ترافیکی با بیشترین مقدار پتانسیل بهبود در الویت انجام اقدامات ایمنی قرار می‌گیرند.

$$PI_i = y_{EBi} - y_{pi} \quad (8)$$

که در آن PI_i مقدار پتانسیل بهبود در ناحیه ترافیکی i و y_{pi} فراوانی پیش‌بینی شده تصادفات در آن ناحیه ترافیکی است.

۴. جمع‌آوری داده

به منظور برآورد مدل‌های پیش‌بینی تصادفات در سطح کلان، داده‌های تصادفات سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ مرتبط با پهنه‌ی غرب و جنوب غرب تهران جمع‌آوری شد. بر این اساس در مجموع اطلاعات مرتبط با ۱۶۱۳۷ تصادف که در ۹۶ ناحیه ترافیکی رخ داده است، به دست آمد. تهران دارای ۵ پهنه می‌باشد که در مجموع ۲۲ منطقه را شامل می‌شود پهنه‌ی غرب و جنوب غرب شامل مناطق ۹، ۱۰، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ است. در

شده با مجموعه معینی از متغیرهای پیش‌بینی کننده X_{i1} تا X_{iq} تعداد $Y_i = y_i$ تصادف را تجربه کند، می‌تواند به صورت ذیل بیان شود:

$$p_r(Y_i = y_i, \alpha, k) = \frac{(y_i + k - 1)!}{y_i! (k - 1)!} \times \frac{\alpha y_i}{(1 + \alpha) y_i + k}$$

$$y_i = 0, 1, \dots \quad (2)$$

میانگین و واریانس توزیع دوجمله‌ای منفی داده‌های تصادف می‌تواند بر اساس پارامترهای α و k به صورت ذیل بیان شود:

$$E(Y) = \mu_i = k\alpha \quad (3)$$

$$Var(Y) = k\alpha + k\alpha^2 = \mu_i + \frac{\mu_i^2}{k} \quad (4)$$

در رابطه (۴)، جزء μ_i به تابع واریانس پواسون بر می‌گردد و

مقدار $\frac{\mu_i^2}{k}$ جزء اضافی برآمده از ترکیب توزیع پواسون با توزیع گاما است که توزیع دوجمله‌ای منفی را ایجاد می‌کند. با توجه به مزایای مدل دوجمله‌ای منفی در مقایسه با مدل پواسون، در این مطالعه، از مدل دوجمله‌ای منفی جهت ساخت مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات استفاده شد.

مدل نهایی بر اساس معیارهای ارزیابی مدل شامل مقدار تابع لگاریتم احتمال^۲ در همگرایی،^۳ AICC و^۴ BIC انتخاب شده است.

لازم به ذکر است AICC به تنهایی معیار مناسبی برای ارزیابی مدل نبوده لیکن معمولاً جهت مقایسه دو مدل بکار می‌رود، به این ترتیب که مدل با AICC کمتر به مدل با AICC بیشتر ترجیح داده می‌شود. در ارتباط با معیار BIC، هرگاه پارامترهای مدل با روش ماکسیمم درست‌نمایی برآورد شوند ممکن است تابع درست‌نمایی با اضافه کردن پارامترهای جدید افزایش یافته و منجر به پیش برآوردی پارامترهای مدل شود. BIC این مشکل را با شامل نمودن جریمه مناسب در رابطه ریاضی مربوطه رفع می‌نماید.

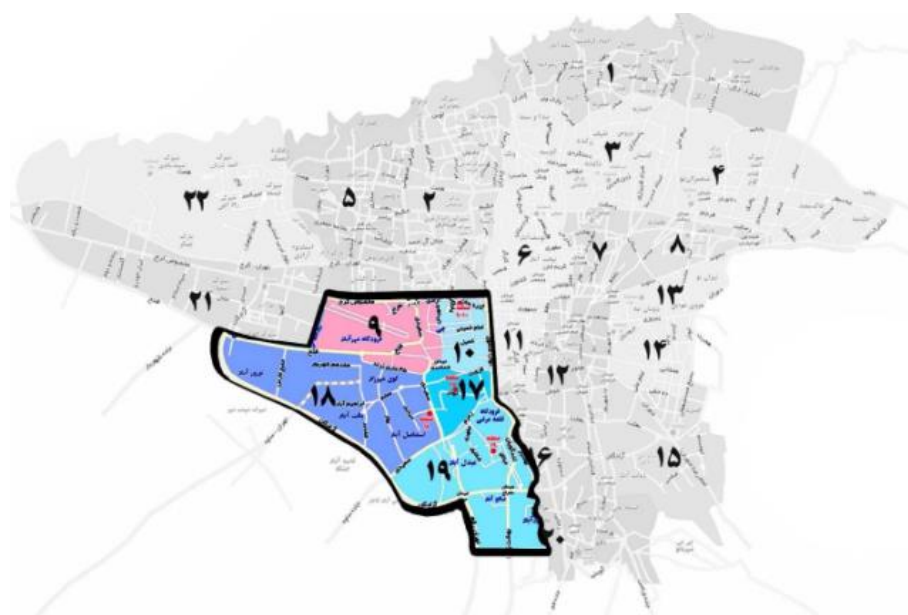
این معیارها در رابطه‌های (۵) و (۶) ارائه شده است.

حادثه‌خیز و اصلاح این نواحی به منظور افزایش ایمنی می‌باشد. در این مطالعه از متغیرهای مرتبط با خصوصیات شبکه معابر و حمل و نقل عمومی استفاده شد.

لازم به ذکر است متغیر نسبت طول خطوط اتوبوس به طول کل معابر یک ناحیه ترافیکی بر اساس محاسبه مجموع طول مسیر حرکت خطوط اتوبوس، تقسیم بر مجموع طول شبکه معابر، برای هر ناحیه ترافیکی به دست آمده است.

در این مطالعه متغیرهای کلان در سطح نواحی ترافیکی جمع‌آوری شده است. استفاده از نواحی ترافیکی نسبت به سایر سطوح جغرافیای به دلیل منطبق بودن این ناحیه‌بندی با مطالعات مرتبط با مدل‌های برنامه‌ریزی حمل و نقل و در دسترس بودن متغیرهای ترافیکی مرتبط با آن (مانند میزان تولید و جذب سفر در هر ناحیه ترافیکی) رواج بیشتری دارد [Huang et al., 2016].

شکل ۱، موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در شهر تهران نشان داده شده است. داده‌های تصادفات با استفاده از بانک اطلاعاتی موجود در پلیس راهور تهران به دست آمد. همچنین اطلاعات ترافیکی و داده‌های مرتبط با شبکه معابر، از سازمان حمل و نقل و ترافیک شهر تهران به دست آمد. سپس کلیه اطلاعات جمع‌آوری شده، در قالب لایه‌های مختلف در محیط GIS ثبت گردید و پس از انجام محاسبات لازم، داده‌های مرتبط با هر تصادف به دست آمد. در جدول ۱ متغیرهای مورد استفاده در مدل به همراه آمار توصیفی آن‌ها نشان داده شده است. علیرغم تنوع نسبی متغیرهای مورد استفاده در پیش‌بینی تصادفات، باید تاکید شود که مبانی نظری و منطق انتخاب متغیرها بسیار مهم‌تر از توجه صرف به نتایج آزمون‌های نکویی برآزش است. برای مثال، اگر هدف از ساخت مدل، تدوین اقدامات اصلاحی ایمنی در سطح کلان باشد، باید از متغیرهایی در مدل استفاده نمود که نسبت به مهندسی یا سیاست‌گذاری حساس باشند. از سوی دیگر اگر هدف از ساخت مدل‌ها صرفاً پیش‌بینی تعداد تصادفات در آینده باشد، متغیرهای جمعیتی و اقتصادی-اجتماعی مناسب‌تر خواهند بود. با توجه به آن که هدف از پژوهش پیش‌رو شناخت نواحی



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه در شهر تهران

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرهای موجود در مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات

متغیر	تعریف	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	انحراف معیار
Count	تعداد تصادفات در هر ناحیه ترافیکی	۷	۱۰۷۴	۱۶۸/۱	۱۸۱/۶
RO	مجموع طول شبکه معابر در یک ناحیه ترافیکی (متر)	۱۲۱۳/۸۲	۲۹۳۳۸/۸۲	۵۷۲۵/۹	۴۴۶۷/۰۷
Pro-Art 1	نسبت طول معابر با درجه عملکردی شریانی درجه ۱ به طول کلیه معابر موجود در یک ناحیه ترافیکی	۰	۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۰۸
Pro-Art 2	نسبت طول معابر با درجه عملکردی شریانی درجه ۲ به طول کلیه معابر موجود در یک ناحیه ترافیکی	۰	۱	۰/۲۹	۰/۲۲
Pro-Collec	نسبت طول معابر با درجه عملکردی جمع و پخش کننده به طول کلیه معابر موجود در یک ناحیه ترافیکی	۰	۱	۰/۴۵	۰/۱۸
Pro-Loc	نسبت طول معابر با درجه عملکردی محلی به طول کلیه معابر موجود در یک ناحیه ترافیکی	۰	۰/۳۶	۰/۰۳	۰/۰۵
BPR	نسبت طول خطوط اتوبوس به طول کل معابر یک ناحیه ترافیکی	۰	۱۵/۷۹	۱/۹۵	۲/۲۵
DOI	(تعداد تقاطعات در یک ناحیه ترافیکی/مساحت ناحیه ترافیکی (مترمربع)) * ۱۰۰۰۰	۰/۰۱	۰/۵۸	۰/۲۵	۰/۱۳

۵. بررسی نتایج

در راستای ارزیابی ایمنی نواحی ترافیکی می‌گردد. بر اساس نتایج به دست آمده از مدل نهایی متغیرهای طول شبکه معابر، نسبت معابر با درجه عملکردی شریانی درجه ۲، جمع و پخش کننده و محلی به طول کل معابر در یک ناحیه ترافیکی بر تعداد تصادفات نواحی ترافیکی موثر می‌باشند. بر این اساس، نسبت طول معابر با درجه عملکردی محلی به طول کل معابر یک ناحیه ترافیکی دارای بیشترین تاثیر، و نسبت معابر با درجه عملکردی جمع و پخش کننده به طول کل معابر در یک ناحیه ترافیکی کمترین تاثیر را دارا می‌باشد.

جدول ۲. نتایج حاصل از مدل نهایی

متغیر	ضرایب	P-value
Intercept	۲/۳۷	۰/۰
RO/10000	۰/۹۸۱	۰/۰
Pro-Art 2	۰/۴۶۹	۰/۰۱

به منظور برآورد مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات در سطح نواحی ترافیکی، همبستگی پیرسون مابین متغیرهای مستقل بررسی گردید. بر این اساس متغیرهایی که با یکدیگر همبستگی بالا (بیش از ۰,۷) دارند در فرآیند مدل‌سازی حذف گردیدند. پس از ساخت مدل‌های فراوان با استفاده از متغیرهای ترکیبی و مجازی حاصل از متغیرهای مستقل اولیه، مدل نهایی بر اساس ضوابط ارزیابی مدل شامل، مقدار تابع لگاریتم احتمال در همگرایی، AICC و BIC به دست آمد. مقادیر حاصل از ضوابط ارزیابی مدل‌های نهایی و ضرایب به دست آمده از متغیرهای معنادار ($P\text{-value} < 0.05$) در جداول ۲ ارائه شده است.

استفاده از متغیرها در سطح کلان، موجب افزایش توجه به ایمنی در مطالعات برنامه‌ریزی حمل و نقل و ایجاد معیارهایی

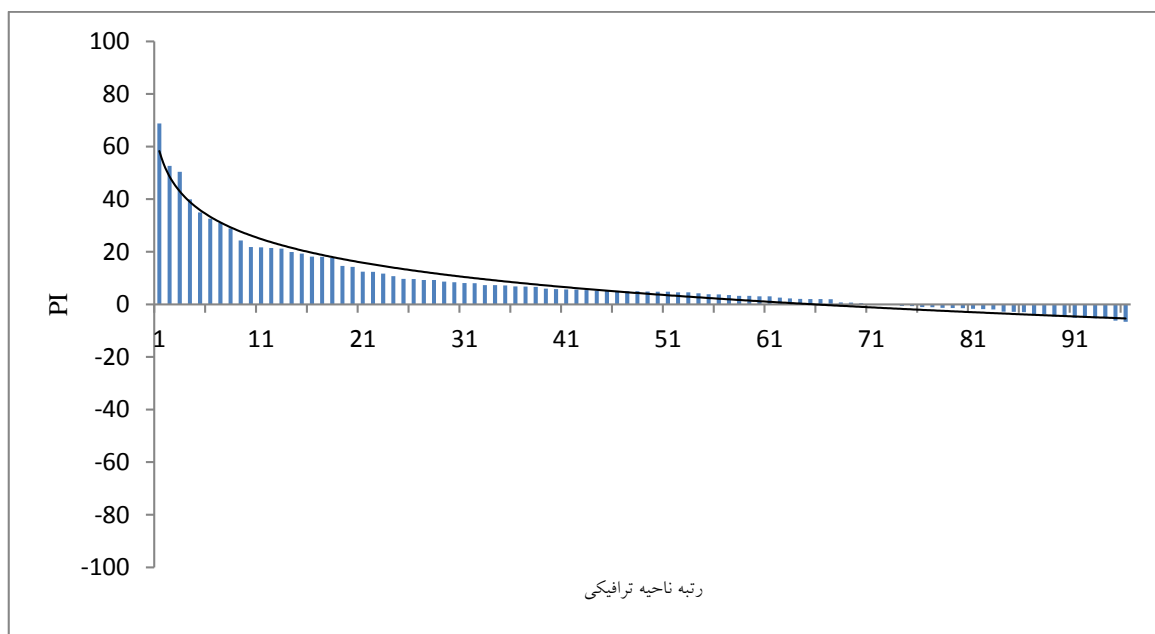
موجب کاهش تصادفات می‌گردد. در این گونه معابر با توجه به خصوصیات آن‌ها مانند عرض کمتر مسیر، تعداد خطوط عبوری کمتر، سرعت و حجم تردد وسایل نقلیه سواری کمتر می‌باشد. در نتیجه احتمال وقوع تصادف کاهش می‌یابد.

بر اساس نتایج حاصل، تعداد تصادفات با افزایش نسبت معابر با درجه عملکردی محلی کاهش می‌یابد. با توجه به خصوصیات این نوع از معابر شهری همانند عرض و تعداد خطوط عبوری کم، سرعت وسایل نقلیه در این معابر پایین می‌باشد. علاوه بر این به دلیل وجود کاربری‌های مرتبط با تردد عابرین پیاده، حرکت وسایل نقلیه در این معابر با احتیاط بیشتر همراه است. کاهش سرعت وسایل نقلیه و افزایش دقت رانندگان می‌تواند از عوامل کاهش تعداد تصادفات در معابر با درجه عملکردی محلی باشد. در این مطالعه از روش EB جهت مقایسه و شناسایی نواحی حادثه‌خیز استفاده شده است. مقادیر PI به دست آمده از مدل نهایی در سطح کلان در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده ۱۰ ناحیه ترافیکی با الویت اول از نظر انجام اقدامات اصلاحی در راستای افزایش ایمنی، در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج به دست آمده مدیران و تصمیم‌گیران شهری را در انتخاب نواحی حادثه‌خیز و تخصیص بودجه در جهت ارتقای ایمنی در این نواحی یاری می‌دهد.

متغیر	ضرایب	P-value
Pro-Collec	-۰/۱۸۱	۰/۰۴
Pro-Loc	-۲/۵۳	۰/۰
تعداد نواحی ترافیکی		۹۶
مقدار تابع لگاریتم احتمال در همگرایی		-۴۸۷/۳۱
AICC		۱۰۲۸/۴۴
BIC		۱۰۴۶/۱۹

تعداد تصادفات در نواحی ترافیکی با افزایش طول شبکه معابر در یک ناحیه افزایش می‌یابد. این نتیجه با یافته‌های حاصل از پژوهش‌های قبلی سازگار می‌باشد. بر این اساس، افزایش تراکم شبکه معابر احتمال وقوع تصادف را افزایش می‌دهد [Abdel-Aty et al., 2011; Xu et al., 2014]. از دلایل این امر، می‌توان به تردد بالای وسایل نقلیه و افزایش فعالیت در این نوع از نواحی اشاره نمود.

افزایش طول معابر با درجه عملکردی شریانی درجه ۲ در یک ناحیه موجب افزایش تعداد تصادفات می‌شود. با توجه به نقش جابه‌جایی این نوع از معابر در شبکه معابر شهری، افزایش این نوع از شبکه معابر در یک ناحیه موجب افزایش تردد و در نتیجه افزایش احتمال برخورد وسایل نقلیه می‌گردد. همچنین، افزایش نسبت معابر با درجه عملکردی جمع و پخش کننده در یک ناحیه



شکل ۲. مقادیر PI نواحی ترافیکی بر اساس مدل نهایی

تهران مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات ترافیکی برآورد گردید. متغیرهای مستقل در این مطالعه شامل: مجموع طول معابر در یک ناحیه ترافیکی، نسبت معابر با درجه عملکردی متفاوت (شریانی درجه ۱، شریانی درجه ۲، جمع و پخش کننده و محلی) به طول کل معابر موجود در یک ناحیه ترافیکی، نسبت طول خطوط اتوبوس به طول کل معابر و چگالی تقاطعات در یک ناحیه ترافیکی می‌باشد. پس از ساخت مدل‌های فراوان با استفاده از متغیرهای مستقل موجود و متغیرهای ترکیبی، مدل نهایی بر اساس معیارهای برازش مدل شامل مقدار تابع لگاریتم احتمال در همگرایی، AICC و BIC به دست آمد. استفاده از متغیرهای کلان هزینه ساخت مدل‌ها را با توجه به دسترسی آسان‌تر به این متغیرها کاهش می‌دهد. اگرچه این امر موجب کاهش دقت مدل کلان در مقایسه با مدل خرد می‌گردد ولی جهت شناسایی و الویت‌بندی نواحی ترافیکی از نظر ایمنی، کارآمد می‌باشند. در این مطالعه پس از ساخت مدل پیش‌بینی تعداد تصادفات در سطح کلان با استفاده از روش EB نواحی ترافیکی از نظر پتانسیل بهبود الویت بندی شدند. بدین ترتیب نواحی با بالاترین میزان پتانسیل بهبود در الویت اول جهت انجام اقدامات اصلاحی در جهت افزایش ایمنی در نظر گرفته

جدول ۳. الویت‌بندی نواحی ترافیکی از نظر انجام اقدامات ایمنی

بر اساس نتایج مدل کلان

رتبه ناحیه ترافیکی	پتانسیل بهبود بر اساس مدل کلان	ناحیه ترافیکی
۱	۶۸/۸	۲۲۰
۲	۵۲/۶۹	۴۵۹
۳	۵۰/۴	۷۸
۴	۳۹/۹۵	۸۷
۵	۳۴/۹۲	۲۲۱
۶	۳۲/۵۵	۴۹۲
۷	۳۱/۰۴	۹۸
۸	۲۸/۸۳	۱۰۲
۹	۲۴/۲۸	۹۱
۱۰	۲۱/۷۸	۴۷۵

۶. نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه شناسایی و الویت‌بندی نواحی ترافیکی از نظر ایمنی و الویت‌بندی آن‌ها جهت انجام اقدامات ایمنی است. بر این اساس، با استفاده از مدل دوجمله‌ای منفی و اطلاعات مرتبط با ۱۶۱۳۷ تصادف رخ داده در ۹۶ ناحیه ترافیکی در شهر

running violation”, Accident Analysis and Prevention, Vol. 42, pp 101-111.

- European Commission., (2016) “Road safety in the European Union: Trends, statistics and main challenges”, European Commission, November 2016.

- Haghighi, F.R., (2017) “Assessment of various hot spot identification methods based on field investigation” Journal of Transportation Research, in press.

- Huang, H., Song, B., Xu, P., Zeng, Q., Lee, J., and Abdel-Aty, M. (2016) “Macro and micro models for zonal crash prediction with application in hot zones identification”, Journal of Transport Geography, Vol. 54, pp. 248-256.

- Köll, H., Bader, M., and Axhausen, K.W. (2004) “Driver behaviour during flashing green before amber: a comparative study”, Accident Analysis and Prevention, Vol. 36, pp 273-280

- Lee, J., and Mannering, F. L. (1999) “Analysis of roadside accident frequency and severity and roadside safety management”, Washington State Department of Transportation Olympia, WA.

- Lee, J., M. Abdel-Aty & Q. Cai (2017) Intersection crash prediction modeling with macro-level data from various geographic units. Accident Analysis & Prevention, 102, 213-226.

- Mannering, F. L., and Bhat, C. R. (2014) “Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions”, Analytic methods in accident research, Vol. 1, pp. 1-22.

- Naderan, A. (2011) “Forecasting Crashes in Urban Districts using Aggregate Crash Prediction Models”, Journal of Transportation Engineering, Vol. 2, pp 155-169.

- Papaioannou, P. (2007), “Driver behaviour, dilemma zone and safety effects at urban signalized intersections in Greece”, Accident

شدند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش افزایش طول شبکه معابر و نسبت معابر با درجه عملکردی شریانی درجه ۲ در یک ناحیه ترافیکی موجب افزایش تعداد تصادفات، و افزایش نسبت معابر با درجه عملکردی جمع و پخش کننده و محلی به کل معابر در یک ناحیه ترافیکی موجب کاهش تعداد تصادفات می گردد.

به منظور مطالعات آینده استفاده از سایر متغیرها در سطح کلان جهت ساخت مدل تعداد تصادفات پیشنهاد می گردد. همچنین می توان نواحی ترافیکی را از نظر ایمنی بر اساس سایر روش های شناسایی نواحی حادثه خیز الویت بندی، و نتایج حاصل را با یکدیگر مقایسه نمود.

۷. پی نوشت ها

1. Empirical Bayesian Methods
2. The log-likelihood function
3. Akaike’s Information Criterion Corrected
4. Bayesian Information Criterion
5. Potential for Improvement

۸ منابع

- Abdel-Aty, M., Siddiqui, C., Huang, H., and Wang, X. (2011) “Integrating trip and roadway characteristics to manage safety in traffic analysis zones”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(2213), pp. 20-28.

- Association, W. R. (2003) “Road safety manual”, Piarc technical committee on road safety.

- Dong, N., Huang, H., Xu, P., Ding, Z., and Wang, D. (2014) “Evaluating spatial-proximity structures in crash prediction models at the level of traffic analysis zones”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(2432), pp. 46-52.

- Elmitiny, N., Yan, X., Radwan, E., Russo, C., and Nashar, D. (2010) “Classification analysis of driver's stop/go decision and red-light

Prevention, Vol. 98, pp 223–231.

- Wang, X., Wu, X., Abdel-Aty, M., and Tremont, P. J. (2013) "Investigation of road network features and safety performance", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 56, pp. 22-31.

- Wang, Y., and Kockelman, K. M. (2013) "A Poisson-lognormal conditional-autoregressive model for multivariate spatial analysis of pedestrian crash counts across neighborhoods", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 60, pp. 71-84.

- Washington, S., Metarko, J., Fomunung, I., Ross, R., Julian, F., and Moran, E. (1999) "An inter-regional comparison: fatal crashes in the southeastern and non-southeastern United States: preliminary findings", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 31, No. 1, pp. 135-146.

- Xu, P., and Huang, H. (2015) "Modeling crash spatial heterogeneity: random parameter versus geographically weighting", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 75, pp. 16-25.

- Xu, P., Huang, H., Dong, N., and Abdel-Aty, M. (2014) "Sensitivity analysis in the context of regional safety modeling: Identifying and assessing the modifiable areal unit problem", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 70, pp. 110-120.

Analysis and Prevention, Vol. 39, pp 147-158.

- Pulugurtha, S. S., and Sambhara, V. R. (2011) "Pedestrian crash estimation models for signalized intersections", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 43. No. 1, pp. 439-446.

- Pulugurtha, S. S., Duddu, V. R., and Kotagiri, Y. (2013) "Traffic analysis zone level crash estimation models based on land use characteristics", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 50, pp. 678-687.

- Quistberg, D. A., Howard, E. J., Ebel, B. E., Moudon, A. V., Saelens, B. E., Hurvitz, P. M., Curtin, J. E., and Rivara, F. P. (2015) "Multilevel models for evaluating the risk of pedestrian–motor vehicle collisions at intersections and mid-blocks", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 84, pp. 99-111.

- Road Maintenance and Transportation Organization (RMTO). (2015) "RMTO-Statistical yearbook, 2015", Ministry of Road and Urban Development, Iran, 2015.

- Soltani, N., Mamdoohi, A.R. (2016) "A Model of Driver Behavior in Response to Road Roughness: A Case Study of Yazd Arterials", *Journal of Geotechnical and Transportation Engineering*, Vol 2. No 2. pp 46-50.

- Soltani, N., Saffarzadeh, M., Naderan, A., (2018) "Evaluation of micro and macro models in identifying urban hot zones; *Journal of Transportation Research*, in press.

- Wang, J., Huang, H., and Zeng, Q. (2017) "The effect of zonal factors in estimating crash risks by transportation modes: Motor vehicle, bicycle and pedestrian", *Accident Analysis and*

نعمت سلطانی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۸ از دانشگاه صنعتی اصفهان و درجه کارشناسی ارشد راه و ترابری در سال ۱۳۹۰ را از دانشگاه صنعتی امیرکبیر اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی حمل و نقل و مدیریت روسازی بوده و در حال حاضر دانشجوی دکتری راه و ترابری در پژوهشگاه حمل و نقل طراحان پارسه است.



دکتر محمود صفارزاده، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۶۶ از دانشگاه شهید باهنر کرمان و درجه کارشناسی ارشد حمل و نقل در سال ۱۳۷۰ را از دانشگاه کارلتون اخذ نمود. در سال ۱۳۷۴ موفق به کسب درجه دکتری در رشته راه و ترابری با گرایش برنامه‌ریزی و طراحی فرودگاه از دانشگاه کارلتون گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی حمل و نقل و سیستم‌های هوشمند حمل و نقل بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد در دانشگاه تربیت مدرس است.



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



میلاد ابوالحسنی هستیانی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۷ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر اخذ نموده و در حال حاضر در رشته ی کارشناسی ارشد مهندسی حمل و نقل در حال تحصیل است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان حمل و نقل هوشمند، ایمنی در حمل و نقل، مهندسی ترافیک است و مقالاتی در همین زمینه ها در حال پذیرش و چاپ می باشد