فصلنامه علمی راهور
۱۶۵
فصلنامه علمی راهور
سال هشتم- شماره ۳۱
زمستان ۱۳۹۸
علمی-پژوهشی

پیش‌بینی حوادث ترافیکی با استفاده از مدل فضایی ناحیه‌ای (موردمطالعه: تهران بزرگ، سال ۱۳۹۶)

حمیدرضا کرمی[۱]

از صفحه ۱۶۵ تا ۱۹۰
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰

چکیده

تصادفات ترافیکی به‌صورت یک معضل اجتماعی در کشور مطرح است که همه‌ساله جان تعداد زیادی از مردم را گرفته و هزینه‌های اقتصادی بزرگی را به جامعه وارد می‌کند. در سال‌های اخیر، در بحث مدیریت ترافیک به روش‌های پیش‌بینی تصادفات توجه زیادی شده است. پیش‌بینی حادثه، اثر زیادی در کاهش تلفات، جراحات و خسارات مالی ناشی از بروز تصادفات دارد. هدف اصلی این مطالعه، پیش‌بینی حوادث ترافیکی با استفاده از مدل فضایی ناحیه‌ای تهران بزرگ در سال ۱۳۹۶ می‌باشد. این پژوهش از نظر روش گردآوری داده‌ها، توصیفی - مقطعی است. جامعهٔ آماری پژوهش حاضر، آمار و داده‌های مربوط به تصادفات در مناطق ۲۲ گانهٔ شهر تهران در سال ۱۳۹۶ بوده که در بانک اطلاعاتی پلیس راهور ناجا ثبت شده است. در این پژوهش، ضمن بررسی عوامل مؤثر بر حوادث ترافیکی، برای تحلیل داده‌های و ارائهٔ مدل‌های پیش‌بینی، از مدل رگرسیون فضایی ناحیه‌ای استفاده شد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که سه عامل انسانی، راه و وسایل نقلیه، از عوامل مؤثر بر تصادفات ترافیکی شهر تهران بوده‌اند؛ به‌نحوی‌که متغیرهای کمکی تعداد سفرهای جذب‌شده و سفرهای تولیدشده بر شدت حوادث ترافیکی (تخلفات تامهٔ تصادفات یعنی تغییر مسیر ناگهانی، عدم توجه به جلو، رعایت‌نکردن حق تقدم و عدم رعایت فاصلهٔ طولی) تأثیرگذار هستند؛ به‌نحوی‌که افزایش یک‌درصدی در سفر جذب‌شده و تولیدشده به‌ترتیب به افزایش ۲۱/۷ و ۲۳/۲ درصدی نرخ تخلفات رانندگی منجر می‌شود.همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که با لحاظ‌نمودن ساختار همبستگی داده‌های شمارشی می‌توان به مدل‌های پیش‌بینی حوادث ترافیکی در سال‌های آینده پرداخته و عوامل مؤثر بر آن‌ها را تعیین و کنترل نمود.

کلیدواژه‌ها: حوادث ترافیکی، پیش‌بینی تصادفات، مدل رگرسیونی فضایی ناحیه‌ای، علت تامه.

۱. دانشجوی دکتری سنجش و اندازه‌گیری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران، (نویسندهٔ مسئول)، H.karami7662@gmail.com

www.SID.ir

مقدمه

با گسترش زندگی ماشینی و افزایش روزافزون ترافیک در شهرها و جاده‌ها در نیم‌قرن اخیر، در مقابل فواید اقتصادی و رفاهی ناشی از گسترش ارتباطات و سرعت جابه‌جایی کالا و مسافر، متأسفانه بر تعداد و شدت تصادفات ترافیکی به‌سرعت افزوده شده و ضایعات جانی و مالی ناشی از این تصادفات، بار سنگینی را بر جوامع بشری تحمیل می‌کند (وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۷۵: ۱).

در سال‌های اخیر، پژوهشگران روش‌های گوناگونی را برای شناسایی عوامل تأثیرگذار در شدت تصادفات به کار گرفته‌اند. شدت تصادفات بیانگر میزان تلفات و خسارات وارده به کاربران ترافیکی است. عوامل گوناگون مؤثر در شدت تصادفات شامل مشخصات کاربران ترافیکی، ویژگی‌های تصادف و شرایط آب‌وهوایی است. مشخصات کاربران ترافیکی نیز شامل ویژگی‌های سن، جنس، سطح تحصیلات، نوع گواهینامه، استفاده از تجهیزات ایمنی، زمان و روز تصادف، مشخصات محیطی، محل تصادف (کاربری زمین، نوع معبر ازجمله بزرگراه، تقاطع و میدان)، مشخصات تصادف و برخی متغیرهای دیگر است.

همان‌طور که بیان گردید، عوامل زیادی در بروز این حوادث دخیل هستند که در سه عنوان کلی راه، وسیلهٔ نقلیه و عامل انسانی تقسیم‌بندی می‌شوند و هرکدام از این عوامل نیز زیربخش‌های گوناگونی را در بر می‌گیرند. برای شناسایی هر پدیده باید علت‌های مؤثر در آن موردمطالعه قرار گیرد (صفارزاده و همکاران، ۱۳۸۷: ۴۵۹). بروز تصادف در راه‌های درون‌شهری به سبب وجود زنجیره‌ای از علت‌ها است که این زنجیره شامل علل و عوامل جاده‌ای و انسانی، وسیلهٔ نقلیه و محیط اطراف است (آیتی و واحدی، ۱۳۸۶: ۱۳۶). بنابراین انجام تحلیل‌های فضایی به کمک آمار فضایی و مدل‌های آمار فضایی می‌تواند نقش مؤثری در ریشه‌یابی و کشف تأثیر این علت‌ها در کنار هم داشته و زمینهٔ شناخت صحیح برای انجام اقدامات اصولی را فراهم

www.SID.ir

می‌آورد.

همان‌طور که بیان شد، تحلیل فضایی می‌تواند در شناسایی مکان‌های پرحادثه و بررسی عوامل مکانی – فضایی مؤثر در بروز سوانح رانندگی نقش بسزایی داشته باشد و ضمن شناسایی این عوامل می‌تواند به پیش‌بینی تعداد تصادفات در آینده بپردازد؛ بنابراین تحلیل فضایی به‌عنوان یک روش همه‌جانبه در تصادفات رانندگی و نیز مدیریت صحیح راه‌های جاده‌ای کاربرد دارد. در این میان، شهر تهران مانند دیگر شهرهای دیگر کشور، هرساله دارای آمار بالایی از خسارات مالی و جانی ناشی از تصادفات درون‌شهری است. پرداختن به موضوع تصادفات درون‌شهری تهران و شناسایی دلایل و توزیع فضایی، پهنه‌بندی، خوشه‌بندی مناطق ۲۲ گانهٔ شهر تهران، پیش‌بینی حوادث ترافیکی و غیره می‌تواند راهی برای کاهش تصادفات در شهر تهران باشد.

با توجه به اینکه داده‌های تعداد حوادث ترافیکی در هر منطقه از شهر تهران به‌گونه‌ای هستند که هرچه ناحیهٔ وقوع حوادث ترافیکی به یکدیگر نزدیک‌تر باشد، مقدار آن‌ها مشابه‌تر است؛ پس با داده‌هایی شمارشی روبه‌رو هستیم که به‌نوعی وابستگی فضایی بین آن‌ها برقرار است؛ بنابراین برای مدل‌بندی این‌گونه داده‌ها، استفاده از مدل‌های شمارشی، امری ضروری است. در این‌گونه مدل‌ها، از اثرات تصادفی که معمولاً از یک مدل به‌طور شرطی خودبازگشتی پیروی می‌کند، برای ایجاد ساختار وابستگی فضایی داده‌ها استفاده می‌شود.

در این پژوهش، با درنظرگرفتن شهر تهران به‌عنوان ناحیهٔ موردمطالعه به‌دنبال آن هستیم تا به مدل‌بندی پدیدهٔ حوادث ترافیکی پرداخته و عوامل تأثیرگذار بر وقوع این پدیده را مشخص سازیم و متناسب با هریک از عوامل، راهکارهای کاهش تصادفات در هر منطقه از مناطق ۲۲ گانهٔ شهر تهران ارائه گردد.

در این پژوهش، با استفاده از اطلاعات آماری تصادفات شهر تهران طی سال ۱۳۹۶

www.SID.ir

به بررسی عامل انسانی، عامل جاده و عامل وسیلهٔ نقلیهٔ مؤثر بر تصادفات شهر تهران پرداخته می‌شود. همچنین در صورت انجام این پژوهش، پلیس می‌تواند ضمن شناسایی عوامل وقوع تصادف، نسبت به مدل‌بندی حوادث ترافیکی شهر تهران اقدام نماید. همچنین در این پژوهش سعی بر این است که ضمن شناخت نقش و اهمیت این عوامل در وقوع تصادف، راهکارهایی پیشنهادی جهت اتخاذ تصمیمات صحیح و تخصیصی بودجهٔ مناسب، ایمنی معابر در راستای کاهش تعداد تصادفات ترافیکی و به‌تبع آن کاهش تعداد کشته‌شدگان، مجروحان و خسارات مالی ناشی از تصادفات ارائه شود؛ بنابراین در این پژوهش به‌دنبال پیش‌بینی حوادث ترافیکی شهر تهران توسط مدل‌های فضایی ناحیه‌ای هستیم.

پیشینه و مبانی نظری

قبادی و حسن‌زاده (۱۳۹۶) در مقاله‌ای تحت عنوان «بررسی عوامل مؤثر در وقوع تصادفات جاده‌ای» به این نتیجه رسیدند که در ۷۹٪ از تصادفات، فقط عامل انسانی به‌تنهایی نقش داشته و عوامل راه و وسیلهٔ نقلیه درمجموع ۴/۳۲ درصد تصادفات را شامل می‌شوند و ۱۶/۶۸ درصد از تصادفات نیز اشتراک عوامل دخیل بوده‌اند. بیشترین درصد عامل انسانی در وقوع تصادفات مربوط به عدم توجه به جلو با ۳۱/۶٪ بوده و مصرف مشروبات الکلی نیز ۰/۲۸٪ از تصادفات را به خود اختصاص داده است. بیشترین درصد تأثیر عامل وسیلهٔ نقلیه در تصادفات مربوط به نقص سیستم ترمز با ۲٪ است. همچنین بیشترین درصد تأثیر عامل راه در تصادفات مربوط به کم‌عرض‌بودن معبر با ۰/۹٪ است.

حقیقی و شهبازی (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان «مدل ارزیابی شدت تصادفات در میدان‌ها (مطالعهٔ موردی شهر تهران)»، عوامل مؤثر بر شدت تصادفات و جراحات حاصل از آن و ارتباط این عوامل با دانش علمی را با استفاده از رگرسیون لجستیک و

www.SID.ir

رگرسیون پروبیت موردبررسی قرار دادند. آنان نشان دادند که متوسط تعداد روزانهٔ موتورسیکلت، متوسط تعداد روزانهٔ عابران پیاده در میدان و نحوه و زاویهٔ برخورد، وضعیت روشنایی در شب، شرایط سطح راه و متوسط روزانهٔ وسایل نقلیه، به‌عنوان اصلی‌ترین عوامل مؤثر در شدت تصادفات در میدان‌ها می‌باشند.

ماه‌پور (۱۳۹۳) در طرح پژوهشی با عنوان «بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات برون‌شهری و ارائهٔ مدل مناسب (مطالعهٔ موردی استان تهران)» نشان داد که شدت جراحات ناشی از تصادفات عابران پیاده در راه‌های برون‌شهری در تناسب با افزایش وزن خودرو به‌شدت افزایش می‌یابد. بروز تصادف عابر پیاده در هنگام عصر، احتمال فوت عابر پیاده را کاهش می‌دهد. نادران (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان «تخمین تعداد تصادفات ترافیکی در مناطق شهری به کمک مدل‌های هم‌فزون» به بررسی رابطهٔ تعداد تصادفات در ناحیه‌های ترافیکی شهری با تعداد سفرهای ایجادشده (تولید / جذب) در آن ناحیه پرداخت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که بین تعداد تصادفات و تعداد سفرها به تفکیک هدف در ناحیه‌های ترافیکی، رابطهٔ معنی‌داری وجود دارد.

عبادی‌نژاد و همکارانش (۱۳۸۵) در پژوهش خود به توزیع زمانی و مکانی وقوع مه به لحاظ فصلی و نیز در ماه‌های مختلف سال و شرایط متفاوت جاده‌های کشور پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مه به چهار شکل عمده در ایجاد و شکل‌گیری حوادث جاده‌ای تأثیر دارد که عبارتند از: کاهش قابلیت دید، کاهش قابلیت شنوایی، لغزندگی جاده و اعمال فشارهای روانی و کاهش تمرکز حواس رانندگان. در تقسیم‌بندی علل تصادفات هم جزو علل مستقیم و هم جزو علل واسطه یا قبلی به شمار می‌آید.

یوان و همکارانش[1] (۲۰۱۷) در مقاله‌ای تحت عنوان «پیش‌بینی حوادث ترافیکی از طریق روش‌های ناهمگن» به این نتیجه رسیدند که برای برطرف‌نمودن مشکل

1.Yuan at all

www.SID.ir

ناهمگونی مدل‌های پیش‌بینی تصادفات می‌توان از روش‌های گرافیکی فضایی و برای بهبود مدل‌ها می‌توان از نمونه‌گیری اطلاعاتی استفاده نمود. همچنین آنان ضمن مدل‌بندی داده‌های تصادفات دریافتند که ناهمگنی فضایی داده‌ها می‌تواند درنتیجه بسیار اثرگذار بوده و برای رفع آن از روش‌های غیرخطی استفاده نمود.

پولوگورتا و همکارانش[1] (۲۰۱۳) مدلی برای تبیین رابطهٔ تصادفات ناحیه و متغیرهای کاربری زمین برآورد کردند. در این مطالعه که در شهر چارلوت کارولینای شمالی انجام شده است، دریافتند که متغیرهای کاربری زمین نظیر کاربری مختلط، مسکونی شهری، مسکونی تک‌خانواری، مسکونی چندخانواری، تجاری و اداری در تعداد کل تصادفات ناحیه و تصادفات جرحی اثرگذار هستند.

پیردوانی و همکارانش[2] (۲۰۱۲) تصادفات رخ‌داده در منطقهٔ فلمیش بلژیک طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷ میلادی را با استفاده از مدل‌های ناحیه‌ای موردبررسی قرار دادند. آن‌ها در این مطالعه که تجمیع در سطح ناحیه‌های ترافیکی انجام شد، تأثیر متغیرهای جمعیت‌شناختی و ویژگی‌های شبکهٔ معابر در نواحی را بر تعداد تصادفات جرحی سنجیدند. جمعیت منطقهٔ موردمطالعه، ۶ میلیون نفر بوده که در ۲۲۰۰ ناحیهٔ ترافیکی به مساحت متوسط ۶ کیلومترمربع توزیع شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش تعداد سفرهای انجام‌شده در ناحیه، افزایش خودرو - کیلومتر طی‌شده در ناحیه، افزایش ظرفیت معابر در ناحیه، کاهش سطح درآمد در ناحیه، واقع‌شدن ناحیه در منطقهٔ شهری و افزایش جمعیت، با افزایش شمار تصادفات جرحی در ارتباط است.

مدل‌های رگرسیون فضایی ناحیه‌ای: در بسیاری از مطالعات، تحلیل داده‌های فضایی[3] که به‌صورت شمارشی یا متوسط‌گیری روی ناحیه‌های دلخواه فضای

1.Pulugurtha at all
2.Pirdavani at all
3.Spatial Data

www.SID.ir

موردمطالعه هستند، موردنظر است (کرسی، ۱۹۹۳). این داده‌ها، ناحیه‌ای وابستهٔ فضایی هستند؛ به‌گونه‌ای که خودهمبستگی بین ناحیه‌ها که نزدیک‌تر هستند، نسبت به آن‌هایی که دورترند، بیشتر است؛ بنابراین فرایند فضایی که روی یک شبکه یا مجموعه‌ای از ناحیه‌های منظم مشاهده می‌شود، معمولاً با استفاده از مدل‌های به‌طور شرطی خودبازگشتی[1] (CAR) مدل‌بندی می‌شود. بر این اساس، هنگامی که داده‌ها ناگاوسی[2] هستند و یک مدل آمیختهٔ خطی تعمیم‌یافته برای تحلیل آن‌ها اتخاذ می‌شود، اغلب مدل‌ها به‌طور شرطی خودبازگشتی برای اثرات تصادفی در نظر گرفته می‌شود. مدل‌های آمیختهٔ خطی تعمیم‌یافته[3] به‌عنوان تعمیمی از مدل‌های خطی تعمیم‌یافتهٔ یکی از انواع مدل‌ها محسوب می‌شوند که ابزار مفیدی برای تحلیل داده‌های همبسته مانند داده‌های فضایی و طولی که مقادیر گسسته را اختیار می‌کنند، فراهم می‌نماید (حق‌شناس، ۱۳۸۹). داده‌های فضایی را در دو حالت می‌توان موردبررسی قرار داد؛ اول، تحلیل داده‌های زمین‌آمار[4] که برای تحلیل این‌گونه داده‌ها از روش هم کریگیدن[5] استفاده می‌شود. دوم، تحلیل داده‌های فضایی شبکه‌ای[6] که اغلب مدل‌بندی احتمالی داده‌های موردنظر است. تحلیل داده‌های مشبکه‌ای می‌تواند در دو وضعیت پیوسته و گسسته انجام شود. در مدل پیوسته، مدل اتو گاوسی و در حالت گسسته، مدل‌های اتوپواسن، اتولوژستیک، اتودوجمله‌ای و غیره را می‌توان مورداستفاده قرار داد (موسیوند، ۱۳۸۸).

دو دلیل عمدهٔ جذابیت این مدل، فرم بستهٔ تابع درست‌نمایی[7] و امکان مدل‌بندی پدیده‌های محیطی زیادی توسط این مدل است. در بسیاری از مسائل مرتبط با

1.Canditional Autoregressive
2 .Non-Gaussian Data
3 .Generalized Linear Mixed Models
4 .Geostatistical Data
5. Co-Kriging
6 .Lattice
7 .Likelihood function

www.SID.ir

بررسی‌های محیطی، داده‌های فضایی ذاتاً چندمتغیره هستند. درواقع در هر موقعیت فضایی معمولاً بیش از یک متغیر مشاهده یا اندازه‌گیری می‌شود. حالت چندمتغیرهٔ مشاهدات فضایی، اولین بار برای پردازش تصاویر توسط ماردیا[1] (۱۹۸۸) معرفی گردید و سپس افراد زیادی روی رهیافت بیزی آن به‌ویژه بیز سلسله‌مراتبی[2] کار کردند.

در بسیاری از مطالعات، تحلیل داده‌های فضایی موردنظر است که به‌صورت شمارشی یا متوسط‌گیری روی ناحیه‌های دلخواه از فضای موردمطالعه هستند. این داده‌ها، مشبکه‌ای یا ناحیه‌ای نامیده می‌شوند (کرسی[3]، ۱۹۹۳). اصطلاح مشبکه، اولین بار توسط بیرخوف[4] (۱۹۶۷) و هامرسلی و مازارینو[5] (۱۹۸۳) در متون ریاضی ارائه گردید. سپس توسط بیسگ[6] (۱۹۷۴) در تحلیل داده‌های مشبکه‌ای به کار گرفته شده است. او مدل‌های اتو گاوسی و در حالت گسسته، مدل‌های اتوپواسن، اتولوژستیک، اتودوجمله‌ای را برای تحلیل داده‌های مشبکه‌ای در حالت یک‌متغیره به کار برد که در همهٔ آن‌ها از میدان‌های تصادفی مارکوفی[7] استفاده کرد.

حالت چندمتغیرهٔ آن، اولین بار توسط ماردیا (۱۹۸۸) برای برازش تصاویر معرفی گردید؛ سپس توسط دیگران گسترش پیدا کرد. آنان تلاش کردند که با استفاده از رهیافت بیزی[8] به‌ویژه بیز سلسله‌مراتبی پارامترهای مدل اتو گاوسی چندمتغیره را برآورد نمایند. اغلب در متون از عنوان میدان‌های تصادفی مارکوفی (MRF) چندمتغیره به‌جای مدل اتو گاوسی چندمتغیره استفاده شده است.

الف) مدل آمیختهٔ خطی تعمیم‌یافتهٔ فضایی ناحیه‌ای یک‌متغیره: فرض کنید ناحیهٔ

1.Mardia
2.Hierarchical Bayes
3.Cressie
4.Birkhoff
5.Hammersley and Mazzarino
6.Besag
7.Markov Random Field
8.Bayesian approach

www.SID.ir

موردمطالعهٔ D شامل زیرناحیه‌های $s_1, s_2, \ldots, s_m$ باشد؛ به‌طوری‌که یک افراز را تشکیل دهد. همچنین فرض کنید $y = (y_1, y_2, \ldots, y_m)'$ بردار مشاهدات در ناحیه‌های $s_1, s_2, \ldots, s_m$ و $\{\tau(s), s \in D\}$ میدان تصادفی فضایی پنهان است که نشان‌دهندهٔ اثر تصادفی در ناحیهٔ s_i است. در این صورت، مدل آمیختهٔ تعمیم‌یافتهٔ فضایی یک‌متغیره به‌صورت رابطهٔ شمارهٔ (۱) تعریف می‌شود:

۱- فرض کنید $y = (y_1, y_2, \ldots, y_m)'$ مقادیر پاسخ در m ناحیه است، به‌گونه‌ای که به‌شرط معلوم‌بودن مؤلفهٔ تصادفی $\theta = (\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_m)$ نمونهٔ $y_1, y_2, \ldots, y_m$ مستقل است و چگالی شرطی هریک متعلق به خانوادهٔ نمایی

$$f(y_i|\theta_i) = \exp(y_i\theta_i - \Psi(\theta_i)h(y_i)) \quad (۱)$$

است.

۲- مؤلفهٔ تصادفی θ_i به‌صورت

$$\theta_i = q_i + x_i'\beta + \tau_i + e_i \quad (۲)$$

تعریف می‌شود (رابطهٔ ۲) که در آن، q_i مقادیر معلوم و x_i' متغیرهای تبیینی مربوط به ناحیهٔ i ام و β ضرایب رگرسیونی است. e_i خطای درون ناحیه‌ای ناشی از نمونه‌گیری است که معمولاً فرض می‌شود دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس σ_e^2 است. مؤلفهٔ تصادفی τ_i ناشی از تغییرپذیری بین ناحیه‌های موردمطالعه است که درواقع اثرات تصادفی مربوط به خوشه‌بندی مشاهدات در ناحیه‌های متفاوت را نشان می‌دهد.

۳- τ_i و e_i مستقل از هم هستند.

استنباط بیزی مدل‌های سلسله‌مراتبی: تحلیل بیزی که در آن، پارامتر نامعلوم جامعهٔ تصادفی فرض شود، امروزه قسمت قابل‌توجهی از استنباط آماری را تشکیل می‌دهد. در این‌گونه تحلیل فرض می‌کنیم اطلاعاتی را که دربارهٔ پارامتر در اختیار است،

www.SID.ir

می‌توان در قالب یک توزیع به نام توزیع پیشین[1] $\pi(\theta)$ نشان داد. سپس با ترکیب این اطلاعات با اطلاعات به‌دست‌آمده از نمونهٔ y در قالب توزیع پسین[2] $\pi(\theta|y)$ از آن برای استنباط درمورد پارامتر θ استفاده نمود. توزیع پیشین، بیان‌کنندهٔ اعتقادات و اطلاعات پژوهشگر دربارهٔ پارامتر قبل از انجام آزمایش و توزیع پسین بیان‌کنندهٔ اطلاعات موجود در نمونه و توزیع پیشین دربارهٔ پارامتر θ است. توزیع پسین به‌عنوان توزیعی است که حاوی کلیهٔ اطلاعات موجود درمورد پارامتر موردنظر است که جانشین تابع درست‌نمایی در روش فراوانی‌گرا است که با استفاده از آن، پارامتر را با درنظرگرفتن یک تابع زیان[3] مشخص برآورد می‌کنند. برآوردگرهای حاصل از این روش را برآوردگرهای بیزی می‌نامند.

در مدل بیز سلسله‌مراتبی[4]، اطلاعات موجود در سطح اول برای تعیین توزیع پسین کافی نیست و به این دلیل، اطلاعات را در چند سطح تقسیم می‌کنند. یک مدل سلسله‌مراتبی معمولاً از سه سطح تشکیل شده است. اولین سطح مدل نمونه‌گیری یا مدل مربوط به پاسخ‌ها است که رابطهٔ بین داده‌ها از یک‌سو و متغیرهای پنهان و پارامترها را از سوی دیگر بیان می‌کند. سطح دوم، مدل ساختاری است که رابطهٔ بین متغیرهای پنهان و پارامترها را بیان می‌کند. سطح سوم مدل، پارامترها هستند که توزیع‌هایی پیشین است که برای پارامترها در نظر گرفته می‌شود. به‌دلیل گسترده‌بودن موضوع، از آوردن فرمول‌های آماری خودداری گردیده است.

ملاک ارزیابی مدل: برای ارزیابی مدل آمیختهٔ خطی تعمیم‌یافتهٔ فضایی ناحیه‌ای یک‌متغیره از ملاک‌های اطلاع بیزی۵ (BIC) و اطلاع انحراف۶ (DIC) استفاده

1.Prior Distribution
2.Posterior Distribution
3.Loss Function
4.Hierarchical Bayes
5.Bayesian Information Criterion
6.Deviance Information Criterion

www.SID.ir

می‌شود (اسپیگ هالتر، بست و کارلین، ۲۰۰۲)[1]. برای مقایسهٔ مدل‌های سلسله‌مراتبی پیچیده از اطلاع انحراف که اندازه‌ای از پیچیدگی[2] و برازش[3] مدل است، استفاده می‌شود. فرض کنید که بردار مشاهدات y در اختیار باشد. با رهیافت بیزی، توزیع توأم $p(y,\phi)$ که به‌صورت

$$p(y,\phi) = p(y/\Theta)p(\Theta/\psi)\mathrm{p}(\psi) \quad (۳)$$

است (رابطهٔ ۳) که در آن، $\phi = (\Theta,\psi)$ و با شرط معلوم‌بودن Θ و ψ و y_iها مستقل شرطی هستند. ملاک انحراف بیزی به‌صورت رابطهٔ (۴) تعریف می‌شود:

$$D(\Theta) = -2\log(y/\Theta) + 2\log f(y) \quad (۴)$$

که در آن، $f(y)$ عبارت استانداردی است که فقط تابعی از داده‌ها می‌باشد که تأثیری در مقایسهٔ مدل‌ها ندارد. اسپیگ هالتر، بست و کارلین (۲۰۰۲) کمّیت برازش را بر اساس میانگین پسینی انحرافات به‌صورت رابطهٔ (۵) تعریف کردند.

$$\overline{D} = E_{\Theta/y}[D] \quad (۵)$$

و کمّیت پیچیدگی، اختلاف بین میانگین پسینی انحرافات و انحراف بر اساس میانگین پسینی پارامترها به‌صورت رابطهٔ (۶) است:

$$PD = E_{\Theta/y}[D] - DE_{\Theta/y}[\Theta] \quad (۶)$$
$$= \overline{D} - D(\overline{\Theta})$$

ملاک DIC با درنظرگرفتن دو مفهوم برازش و پیچیدگی به‌صورت زیر

$$DIC = \overline{D} + P\vartheta = D(\overline{\Theta}) + 2P\vartheta \quad (۷)$$

تعریف می‌شود (رابطهٔ ۷).

1.Spiegelhalter, Best and Carlin
2.Complexity
3.Fit

www.SID.ir

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در پی آن است که از طریق بررسی و جست‌وجو، عوامل مؤثر بر تصادفات ترافیکی شهر تهران را موردشناسایی و بررسی قرار دهد و سپس نسبت به اولویت‌بندی این عوامل اقدام و درنهایت الگوی مناسب برای کاهش این تصادفات ارائه شود. بنابراین پژوهش حاضر از نوع کاربردی است؛ ضمن اینکه از نظر روش گردآوری داده‌ها، توصیفی - مقطعی است. جامعهٔ آماری پژوهش حاضر، آمار و داده‌های مربوط به تصادفات فوتی، جرحی، خسارتی و علت تامهٔ تصادفات در مناطق ۲۲ گانهٔ شهر تهران طی سال‌های ۱۳۹۶ است. با توجه به اینکه مقرر است کلیهٔ گزارش‌های مربوط به تصادفات شهر تهران در ۱۳۹۶ موردبررسی قرار گیرد؛ لذا از نمونه‌گیری محدود خودداری و کلیهٔ داده‌های در دسترس تحلیل می‌شود. مستندات این پژوهش بر پایهٔ داده‌های ثبت‌شده در مقطع زمانی موردنظر توسط پلیس راهور تهران بزرگ که در سامانهٔ اطلاعاتی پلیس راهور ناجا ثبت گردیده است، می‌باشد. برای ترسیم موقعیت جغرافیایی (پهنه‌بندی) تصادفات برای بررسی وجود همبستگی فضایی بین مناطق ۲۲ گانهٔ شهر تهران، از تعداد تصادفات هر منطقه به‌صورت کلی استفاده شده است.

در این پژوهش با هدف تعیین سهم هریک از عوامل مؤثر در وقوع تصادفات در مناطق مختلف شهر تهران در سال ۱۳۹۶ به معرفی مدلی برای پیش‌بینی وقوع تصادفات می‌پردازیم. به‌طورکلی حوادث ترافیکی در دو وضعیت جاده و شهر به‌دلیل بروز تخلفات رانندگی به وقوع می‌پیوندد؛ بدین معنی که اگر عامل بروز تخلف حذف شود، تصادف یا حادثهٔ ترافیکی رخ نخواهد داد. با توجه به اینکه یکسان درنظرگرفتن تأثیر نرخ تخلفات روی حوادث ترافیکی در مناطق شهر تهران، فرض معقول و مناسبی نیست؛ بنابراین برای به‌دست‌آوردن برآوردهای دقیق‌تر و انجام استنباط معتبر نیازمند مدل آماری جدید هستیم.

www.SID.ir

همان‌طور که بیان شد، داده‌های تعداد یا شدت حوادث ترافیکی در هر منطقه از شهر تهران به‌گونه‌ای هستند که هرچه ناحیهٔ وقوع حوادث ترافیکی به یکدیگر نزدیک‌تر باشد، مقدار آن‌ها مشابه‌تر است. به‌نوعی با داده‌های شمارشی روبه‌رو هستیم که به‌نوعی وابستگی فضایی بین آن‌ها برقرار است؛ بنابراین برای مدل‌بندی داده‌ها می‌توان از مدل‌های آمیختهٔ خطی تعمیم‌یافتهٔ فضایی ناحیه‌ای (رگرسیون فضایی) استفاده نمود. همان‌طور که بیان شد، با توجه اینکه مدل‌های متفاوتی را می‌توان برای تحلیل آماری اتخاذ نمود؛ اما در این پژوهش، مدل‌های فضایی ناحیه‌ای برای تحلیل داده‌های حوادث ترافیکی مورداستفاده قرار می‌گیرد. در این راستا، به‌طور ویژه مدل‌های آمیختهٔ فضایی خطی تعمیم‌یافتهٔ چندمتغیره و همچنین مدل‌های فضایی کوچک ناحیه‌ای مورداستفاده قرار می‌گیرد. سپس بر اساس رهیافت بیزی و استفاده از روش داده‌افزایی و روش‌های مونت‌کارلوی زنجیر مارکوفی بر داده‌های برازش داده می‌شود؛ و یک مدل مناسب برای مدل‌بندی وقوع حوادث ترافیکی ارائه خواهد شد. کلیهٔ تجزیه‌وتحلیل‌ها داده‌ها از نرم‌افزار WinBUGS1.4 در محیط برنامه‌نویسی R انجام شده است.

یافته‌ها

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل توصیفی داده‌ها به شرح زیر می‌باشد:

۱-بررسی‌ها نشان داد که ۸۱٪ رانندگان مقصر دارای مدرک تحصیلی دیپلم و پایین‌تر بوده‌اند. همچنین ۶٪ آنان دارای مدرک تحصیلی لیسانس و بالاتر بوده‌اند. لذا می‌توان گفت که هرچه سطح تحصیلات بالا می‌رود، میزان تصادفات در آن گروه تحصیلی کاهش یافته است.

۲-بررسی‌ها نشان داد که ۶۷٪ رانندگان مقصر در تهران دارای شغل آزاد بوده‌اند.

۳-از تعداد ۱۵۴۷۲۰ نفر تصادفی در شهر تهران، تعداد ۱۳۴۹۲۲ نفر معادل ۸۷٪ مرد

www.SID.ir

و تعداد ۱۹۱۶۲ نفر معادل ۱۲٪ زن بوده‌اند.

۴-خودروهای سواری با ۱۱۱۲۲۹ مورد تصادف (۷۲٪) بیشترین تصادفات را در شهر تهران سال ۱۳۹۶ داشته‌اند. همچنین آمار تصادفات موتورسیکلت با ۱۲٪ (۱۸۷۵۳ مورد) قابل‌توجه است.

۵-بررسی‌ها نشان داد که از ۱۵۴۷۲۰ تصادف در سال ۹۶ شهر تهران، تعداد ۱۱۵۵۱۵ تصادف خسارتی (۷۵٪) و تعداد ۳۸۹۸۲ تصادف جرحی (۲۵٪) بوده و تعداد ۲۲۳ نفر کشته شده‌اند.

۶-بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تعداد ۱۴۰۷۶۶ نفر معادل ۹۱٪ (۱۲۱۴۵۲ نفر مرد معادل ۸۷٪ و ۱۸۷۱۸ نفر زن معادل ۱۳٪) در تصادفات شهر تهران صدمه ندیده‌اند. همچنین ۹۶٪ فوتی‌ها مرد و ۴ درصد زن بوده‌اند؛ و درنهایت ۹۷٪ افراد جرحی، مرد و ۳٪ آنان، زن بوده است.

۷-با بررسی به‌عمل‌آمده از ۱۵۴۷۲۰ تصادف واقع‌شده در تهران سال ۱۳۹۶ چهار عامل عدم رعایت حق تقدم با ۳۴۳۰۹ فقره (۲۲٪)، عدم توجه به جلو با ۲۶۳۵۳ فقره (۱۷٪)، عدم رعایت فاصلهٔ طولی با ۱۶۲۷۵ فقره (۱۱٪) و تغییر مسیر ناگهانی با ۱۳۱۸۱ فقره (۹٪) و درمجموع با ۹۰۱۱۸ فقره (۵۹٪)، بیشترین عامل تصادفات توسط رانندگان بوده است.

۸-سه عامل انسانی، محیطی (عامل راه) و وسیلهٔ نقلیه در رخداد تصادف نقش بسزایی دارند که به تفکیک مناطق ۲۲ گانهٔ شهر تهران بررسی شد. نتایج نشان داد که عامل انسانی در مناطق ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، بیشترین عامل تصادفات بوده است. همچنین نقص فنی در مناطق ۱، ۵، ۸، ۱۸، ۱۹ و ۲۱، بیشترین عامل را دارا بوده و عامل فوت در مناطق ۷، ۱۸، ۲۱ و ۲۲ بیشتر رخ داده است. درمجموع سه عامل گفته‌شده، مناطق ۲، ۴، ۵، ۶ و بزرگراه‌های شهر تهران، بیشترین تصادف را داشته‌اند. گفتنی است که از تعداد ۱۵۴۷۲۰ فقره تصادف گزارش‌شده حدود ۹۹ درصد از تصادفات به‌دلیل عامل

www.SID.ir

انسانی و فقط ۱ درصد تصادفات به‌دلیل علل وسایل نقلیه و راه‌ها بوده است. همچنین با بررسی به‌عمل‌آمده، بیشترین تصادفات منجر به جرح در مناطق ۴، ۵، ۶، ۱۱، ۱۵ و بزرگراه‌ها رخ داده است. همچنین مناطق ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و بزرگراه‌های تهران، بیشترین تصادفات خسارتی را داشته است. مناطق ۱، ۵، ۱۵، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۲ و بزرگراه‌ها، بیشترین فوتی ناشی از تصادفات را داشته‌اند. در ادامه، عوامل مؤثر انسانی، نقص فنی خودرو و راه‌ها به تفکیک موردبررسی قرار می‌گیرند.

الف) عامل انسانی: عجله و شتاب بی‌مورد با ۸۸ درصد و خستگی و خواب‌آلودگی با ۱٪ بیشترین تأثیر عامل انسانی در تصادفات رانندگی شهر تهران بوده است.

ب) عامل وسیلهٔ نقلیه: بیشترین درصد تأثیر عامل وسیلهٔ نقلیه در وقوع تصادفات شهر تهران در سال ۱۳۹۶ مربوط به نقص سیستم ترمز (۷۴٪) بوده است. پس‌ازآن نقص سیستم روشنایی با ۲۲٪ و نقص سیستم فرمان با ۴٪ را شامل شده است.

ج) عامل راه‌ها: با بررسی به‌عمل‌آمده، بیشترین درصد تأثیر عامل راه‌ها در تصادفات شهر تهران مربوط به کم‌عرض‌بودن معبر است. گفتنی است که با گسترش و توسعهٔ شهر تهران، تعداد ۸ تصادف مربوط به عامل راه بوده که قابل‌اغماض است.

در این بخش با هدف تحلیل داده‌های شدت حوادث ترافیکی در ۲۲ منطقهٔ شهر تهران در سال ۱۳۹۶، یک مدل چندسطحی فضایی ناحیه‌ای معرفی می‌شود. در این بخش، تصادف یا حادثهٔ ترافیکی به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده و تأثیر علت‌های تامهٔ تصادفات رانندگی موردارزیابی قرار می‌گیرد؛ به‌عبارت‌دیگر، ما در این بخش به‌دنبال ارائهٔ مدل پیش‌بینی تصادفات با استفاده از مدل‌های رگرسیون فضایی ناحیه‌ای هستیم.

اگر اندیس i بیانگر مناطق شهرداری تهران باشد؛ بنابراین مدل چندسطحی فضایی به‌شکل زیر تعریف می‌شود:

۱- **سطح اول**: توزیع داده‌ها y_i برای $i = 1,2, \dots ,22$، به‌شرط مؤلفهٔ تصادفی θ_i از

www.SID.ir

توزیع پواسون با پارامتر $\exp(\theta_i)$ پیروی می‌کند.

۲- سطح دوم: مؤلفهٔ تصادفی مدل به‌صورت:

$$\theta_i = \beta_0 + \beta_i x_i + e_i \qquad (۱)$$

تعریف می‌شود (رابطهٔ ۱) که در آن، x_i علت‌های تامه در ناحیهٔ iام را نشان می‌دهد که نقش بسیار مهمی در وقوع حوادث ترافیکی دارد. e_i خطای اندازه‌گیری روی ناحیهٔ iام با توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس σ_e^2 است. پارامتر β_i معرف میزان تأثیرگذاری علت‌های تامهٔ تصادفات رانندگی هر منطقه بر شدت حوادث ترافیکی است. چون علت‌های تامهٔ تصادفات، تابعی از حجم تردد منطقه می‌باشد و حجم تردد از یک منطقه به منطقهٔ دیگر متفاوت است؛ لذا ضرایب رگرسیونی $\boldsymbol{\beta}$ به اندیس‌های i وابسته است. به‌این‌ترتیب، مدلی با ضرایب متغیر شکل می‌گیرد.

۳- سطح سوم: معادلهٔ پارامتر β_i را می‌توان به‌شکل $\beta_i = \lambda_0 + \lambda_1 z_{1i} + \lambda_2 z_{2i} + \tau_i$ نوشت؛ به‌طوری‌که بردار اثرات تصادفی $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{22})$ دارای توزیعی به‌شکل رابطهٔ (۲)

$$\mathbf{T} = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m)' \sim \mathrm{MN}(0, \Sigma(\sigma^2, \rho)) \qquad (۲)$$

است. z_{1i} و z_{2i} به‌ترتیب سفر جذب‌شده و سفر تولیدشده در هر منطقهٔ شهر تهران را نشان می‌دهد.

۴- سطح چهارم: در این مرحله، پارامترها را مستقل از هم فرض کرده و برای هریک، توزیع‌های پیشینی به‌صورت روابط (۳) در نظر می‌گیریم:

$$\lambda_2 \sim \mathrm{N}(0, r_{\lambda_2}^{-1}), r_{\lambda_0} = (\sigma_{\lambda_2}^2)^{-1} \qquad (۳)$$

www.SID.ir

معادلات بالا نه‌تنها نحوهٔ ارتباط متغیرهای وابسته و مستقل را نشان می‌دهد، بلکه به‌روشنی نشان‌دهندهٔ ماهیت چندسطحی مدل است. همان‌طور که از این معادله مشخص است، سطح دوم مدل شبیه به نوعی از مدل رگرسیون ساده است و سطح سوم نشان‌دهندهٔ نحوهٔ ارتباط پارامترهای رگرسیونی سطح دوم با متغیرهای تبیینی (مستقل) سطح سوم مدل هستند. به‌جای استفاده از چنین معادلاتی می‌توانیم سطح سوم مدل را در داخل سطح دوم جای‌گذاری کرده و به مدل (۴) دست یافت:

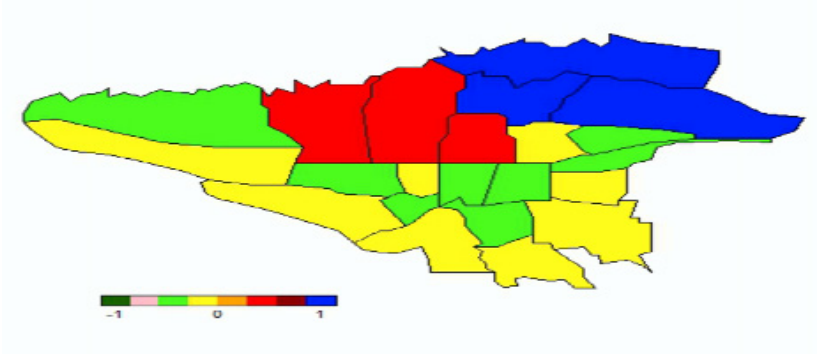
$$\theta_i = [\beta_0 + \lambda_0 x_i + \lambda_1 x_i z_{1i} + \lambda_2 x_i z_{2i}] + [x_i \tau_i + e_i] \qquad (۴)$$

به این مدل، گاهی مدل اثرات آمیخته نیز گفته می‌شود. به‌طورکلی معادلهٔ بالا نشان‌دهندهٔ این نکتهٔ مهم نیز است که پارامترهای سطح دوم (β_iها) به‌طور مستقیم برآورد نمی‌شوند؛ اما به‌طور غیرمستقیم می‌توان آن‌ها را در سطح سوم مدل برآورد نمود و این به علت آن است که شیب‌ها خود وابسته به متغیر تبیینی سطح سوم یعنی z_{1i}، z_{2i} هستند. نکتهٔ بسیار مهم دیگر درمورد تحلیل چندسطحی حوادث ترافیکی این است که در این شیوهٔ مدل‌بندی، مدل حاصل علاوه بر منبع خطا e_i، دارای منبع خطای دیگر یعنی τ_i است.

برازش مدل به داده‌ها: با توجه به نقشهٔ پهنه‌بندی شمارهٔ ۱، متغیر وابسته یعنی شدت حوادث ترافیکی و همچنین محاسبهٔ P- مقدار مربوط به آمارهٔ آزمون موران[1] مربوط به آن، ۰/۰۰۳ محاسبه شده است و می‌توان گفت که وابستگی فضایی بین داده‌ها مشهود است. همچنین برای نرخ تخلفات رانندگی P- مقدار مربوط به آمارهٔ آزمون آن برابر ۰/۰۰۴ محاسبه شده که نشان‌دهندهٔ این است که دلایل تامهٔ تصادفات روی ناحیه‌های تعریف‌شدهٔ شهر تهران نیز دارای ماهیت فضایی می‌باشد.

1.Moran

www.SID.ir



شکل ۱. شدت تصادفات ترافیکی در مناطق ۲۲ گانهٔ شهر تهران

به‌منظور انجام استنباط بیزی مدل و تولید نمونه از توزیع پسین، توزیع‌های پیشین پارامترهای مدل به‌شکل رابطهٔ (۵) اختیار می‌شود:

$$\lambda_2 \sim N(0, 5000) \qquad (۵)$$

اکنون می‌توان با استفاده از الگوریتم گیبز[1] و تعیین توزیع‌های تمام‌شرطی و به‌کاربردن نرم‌افزار $Win\ BUGS$ از توزیع پسین توأم پارامترها، نمونه تولید نمود. با بررسی نمودارهای لازم زمان داغیدن[2] ۲۰۰۰۰ تعیین شد. سپس ۱۸۰۰۰۰ نمونه از توزیع پسین استخراج شده است؛ ضمن آنکه برای کاهش وابستگی موجود بین نمونه‌های حاصل از الگوریتم $MCMC$ مجدداً نتایج بر اساس پنجاهمین استخراج از تکرارهای بعد از زمان داغیدن به‌عنوان نمونهٔ نهایی در نظر گرفته می‌شود.

به عبارت دقیق‌تر، در این پژوهش از ۳۶۰۰ نمونه برای استنباط آماری استفاده شده

1.Hybrid Gibbs
2.Burn-in Time

www.SID.ir

است. همچنین با استفاده از آمارهٔ گلمن – روبین[1] (کراسچکه[2]، ۲۰۱۴) همگرایی $MCMC$ پارامترهای مدل موردبررسی قرار گرفت که با توجه به نزدیکی مقادیر آمارهٔ گلمن – روبین به مقدار یک، همگرایی الگوریتم $MCMC$ برای پارامترهای مدل تأیید شد. مقدار ملاک انحراف معیار (DIC)، دو مدل با ضریب متغیر و ثابت در جدول شمارهٔ ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشاهده می‌شود که مدل چندسطحی فضایی با ضرایب متغیر از اعتبار بالایی برخوردار است.

جدول ۱. مقدار ملاک انحراف معیار (DIC)

مدل				
مدل با ضریب متغیر	۷۹/۰۱	۲۵۳/۲	-۱۹۵/۲	-۲۷۴/۲
مدل با ضریب ثابت	۸۱/۱۱	۹۳/۰۱	۶۹/۲۲	-۱۱/۸۹

با درنظرگرفتن مدل چندسطحی فضایی با ضرایب متغیر، برآورد پارامترهای تعیین و نتایج در جدول شمارهٔ ۲ گزارش شده است.

جدول ۲. برآورد ضرایب پارامترهای مدل

پارامتر	اثرات	خطای مونت‌کارلو	صدک ۲۵ صدم	صدک ۷۵ صدم
	۲۱/۶	۰/۰۰۰۰۰۰۱۹	-۰/۰۲۷	۰/۰۲۷
	۲۰/۸	۰/۰۰۰۰۰۰۱۹	-۰/۰۰۴۹	-۰/۰۰۴۲
	۲۱/۷	۰/۰۰۰۰۰۰۹۹	-۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۱۵
	۲۳/۲	۰/۰۰۰۰۰۰۷۸	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۵
	۲/۰۴	۰/۰۱۲	۰/۲۶	۵/۷
	۰/۰۰۰۰۰۰۵۴	۰/۰۰۰۰۰۰۶۴	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۲۶

مشاهده می‌شود که متغیرهای کمکی تعداد سفرهای جذب‌شده و سفرهای تولیدشده بر شدت حوادث ترافیکی (تخلفات تامه تصادفات یعنی تغییر مسیر ناگهانی، عدم توجه به جلو، رعایت‌نکردن حق تقدم و عدم رعایت فاصلهٔ طولی)

1.Goleman-Rubin Statistics
2.Kruschke

www.SID.ir

تأثیرگذار هستند و افزایش سفرهای جذب‌شده و تولیدشده، تخلفات رانندگی در تهران را افزایش داده است؛ به‌نحوی‌که افزایش یک‌درصدی در سفر جذب‌شده و تولیدشده به‌ترتیب به افزایش ۲۱/۷ و ۲۳/۲ درصدی نرخ تخلفات رانندگی منجر می‌شود.

به‌منظور مقایسهٔ دقت پیشگویی‌های انجام‌شده در سال ۱۳۹۶ بر اساس مدل رگرسیون فضایی ناحیه‌ای که به داده‌ها برازش داده شده‌اند، ملاک مجذور میانگین توان‌های دوم تفاضل بین مقادیر واقعی و پیشگویی‌شدهٔ مشاهدات، $RMSE$ برای دو حالت مدل با ضریب ثابت و مدل با ضریب متغیر (تصادفی) محاسبه شده است. واضح است که هر مدلی از $RMSE$ کوچک‌تری برخوردار باشد، پیشگویی‌های دقیق‌تری را نسبت به مدل دیگر فراهم می‌سازد. جدول شمارهٔ ۳ شامل مقادیر $RMSE$ برای مدل رگرسیون فضایی ناحیه‌ای با ضریب ثابت و متغیر است. با مقایسهٔ $RMSE$ مدل رگرسیون فضایی با ضریب متغیر $RMSE$ کمتری نسبت به مدل رگرسیون فضایی ناحیه‌ای با ضریب ثابت دارد (جدول ۳).

جدول ۳. مقدار $RMSE$ مدل رگرسیون فضایی ناحیه‌ای با ضرایب ثابت و متغیر

مدل	
مدل با ضریب ثابت	۹/۴
مدل با ضریب متغیر (تصادفی)	۷/۹

لذا یک مدل پیش‌بینی تصادفات شهر تهران بر اساس مدل رگرسیون فضایی ناحیه‌ای به‌صورت رابطهٔ (۶) به دست می‌آید:

$$\theta_i = [21.6 + 20.8x_i + 21.7x_i z_{1i} + 23.02x_i z_{2i}] + [x_i \tau_i + e_i] \quad (۶)$$

www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

نشان داده شد که عامل انسانی در مناطق ۱، ۲، ۴، ۵ و ۶، بیشترین عامل تصادفات بوده است. عجله و شتاب بی‌مورد با ۸۸ درصد و خستگی و خواب‌آلودگی با ۱ درصد، بیشترین تأثیر عامل انسانی در تصادفات رانندگی شهر تهران بوده است. همچنین نقص فنی در مناطق ۱، ۵، ۸، ۱۸، ۱۹ و ۲۱، بیشترین عامل را دارا بوده است. بیشترین درصد تأثیر عامل وسیلهٔ نقلیه در وقوع تصادفات شهر تهران در سال ۱۳۹۶ مربوط به نقص سیستم ترمز (۷۴٪) بوده است؛ پس‌ازآن نقص سیستم روشنایی با ۲۲٪ و نقص سیستم فرمان با ۴٪ را شامل شده است. در پایان، عامل فوت در مناطق ۷، ۱۸، ۲۱ و ۲۲ بیشتر رخ داده است. درمجموع سه عامل گفته‌شده، مناطق ۲، ۴، ۵، ۶ و بزرگراه‌های شهر تهران، بیشترین تصادف را داشته‌اند. گفتنی است از تعداد ۱۵۴۷۲۰ فقره تصادف گزارش‌شده، در حدود ۹۹ درصد از تصادفات فقط عامل انسانی و فقط در ۱ درصد تصادفات، علل وسایل نقلیه و راه‌ها نقش مؤثری داشته‌اند. در این پژوهش به‌منظور پیش‌بینی حوادث ترافیکی شهر تهران از مدل‌های فضایی ناحیه‌ای استفاده شد. با توجه به ماهیت داده‌های موردمطالعه، یک مدل آماری جدید پیشنهاد شد و عملکرد آن موردارزیابی قرار گرفت. نتایج تحلیل استنباطی نشان داد که متغیرهای کمکی تعداد سفرهای جذب‌شده و سفرهای تولیدشده بر شدت حوادث ترافیکی (تخلفات تامهٔ تصادفات یعنی تغییر مسیر ناگهانی، عدم توجه به جلو، رعایت‌نکردن حق تقدم و عدم رعایت فاصلهٔ طولی) تأثیرگذار هستند و افزایش سفرهای جذب‌شده و تولیدشده، تخلفات رانندگی در تهران را افزایش داده است؛ به‌نحوی‌که افزایش یک‌درصدی در سفر جذب‌شده و تولیدشده به‌ترتیب منجر به افزایش ۲۱/۷ و ۲۳/۲ درصدی نرخ تخلفات رانندگی می‌شود. بنابراین در قالب این مدل‌بندی قادر خواهیم بود که به پیش‌بینی حوادث ترافیکی در سال‌های آینده پرداخته و عوامل مؤثر بر آن‌ها را تعیین و کنترل نمود.

www.SID.ir

در خصوص مقایسهٔ نتایج حاصل از پژوهش حاضر با دیگر پژوهش‌های انجام‌شده نیز بایستی عنوان نمود که با توجه به نبود پژوهش‌های مشابه هم به لحاظ موضوعی و هم به لحاظ روش پژوهش، مقایسهٔ پژوهش حاضر با پژوهش‌های پیشین میسر نبوده است؛ لیکن با بررسی به‌عمل‌آمده می‌توان گفت که در پژوهش قبادی و حسن‌زاده (۱۳۹۶) صرفاً به‌صورت توصیفی به شناسایی عوامل مؤثر بر تصادفات پرداخته و توانسته سه عامل وسایل نقلیه، انسان و راه را معرفی نماید که در پژوهش حاضر نیز این سه عامل به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تبیین و در مناطق مختلف شهر تهران بررسی گردیده است.

در پژوهش نادران (۱۳۹۰) نیز به بررسی رابطهٔ تعداد تصادفات در ناحیه‌های ترافیکی شهری با تعداد سفرهای ایجادشده (تولید / جذب) در آن ناحیه پرداخته شده است. وی نشان داده است که بین تعداد تصادفات و تعداد سفرها به تفکیک هدف در ناحیه‌های ترافیکی رابطهٔ معنی‌داری وجود دارد. نتایج این پژوهش با پژوهش حاضر منطبق می‌باشد. ایشان با استفاده از مدل‌های هم‌فزون به مدل‌بندی حوادث ترافیکی شهر مشهد سال ۱۳۸۵ پرداخته است که این مدل‌ها برای پیش‌بینی تصادفات در نواحی ترافیکی کوچک و خاص مناسب نیست؛ اما در پژوهش حاضر با استفاده از مدل‌های فضایی ناحیه‌ای، کلیهٔ نواحی و مناطق شهر تهران بررسی و نسبت به پیش‌بینی حوادث ترافیکی اقدام شده است.

در پژوهش پیردوانی و همکارانش (۲۰۱۲) نیز نشان داده شده است که افزایش تعداد سفرهای انجام‌شده در ناحیه، افزایش خودرو - کیلومتر طی‌شده در ناحیه، افزایش ظرفیت معابر در ناحیه، کاهش سطح درآمد در ناحیه، واقع‌شدن ناحیه در منطقهٔ شهری و افزایش جمعیت، با افزایش شمار تصادفات جرحی در ارتباط است؛ لذا این پژوهش مانند پژوهش نادران (۱۳۹۰) صرفاً ارتباط بین سفرهای جذب‌شده و تولیدشده با حوادث ترافیکی را نشان داده شده، اما نتوانسته است آن‌ها را مدل‌بندی

www.SID.ir

نمایند. بنابراین بر اساس آنچه گفته شد، پژوهش حاضر علاوه بر موارد تأثیرگذار بر حوادث ترفیکی، آن‌ها را نیز مدل‌بندی نموده است. بنابراین این پژوهش به لحاظ میزان تأثیرگذاری، اولویت‌بندی و استفاده از مدل‌های پیشرفتهٔ آماری، نتایج قابل‌استنادی را دارا است.

پیشنهادها

با توجه به اینکه در این پژوهش، عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات شهر تهران شناسایی گردید و همچنین توسط مدل رگرسیون فضایی ناحیه‌ای چندسطحی مشخص شد که متغیرهای کمکی تعداد سفرهای جذب‌شده و سفرهای تولیدشده بر شدت حوادث ترافیکی (تخلفات تامهٔ تصادفات یعنی تغییر مسیر ناگهانی، عدم توجه به جلو، رعایت‌نکردن حق تقدم و عدم رعایت فاصلهٔ طولی) مؤثر بود؛ لذا پیشنهاد می‌گردد:

۱- برگزاری دوره‌های آموزشی هرساله برای رانندگان متخلف جهت یادآوری و کاهش این افراد برای پیشگیری از تصادفات حادثه‌ساز و جرحی؛

۲- توجه بیشتر به معاینهٔ فنی خودروها و رفع نواقص و معایب آن؛

۳- افزایش جریمه‌های رانندگی در مقاطع زمانی مشخص‌شده در قانون؛

۴- فرهنگ‌سازی جهت استفادهٔ بیشتر از وسایل حمل‌ونقل عمومی با همکاری سایر نهادهای ذی‌ربط؛

۵- نظارت بر ایمنی و کیفیت راه‌های درون‌شهری؛

۶- مشارکت با دستگاه‌های متولی در گسترش و توسعهٔ زیرساخت‌های سیستم حمل‌ونقل هوشمند؛

۷- اعمال طرح ترافیک به‌منظور تمرکززدایی از بخش مرکزی شهر و توزیع یکسان کاربری‌های جاذب سفر در تمام مناطق و سطح شهر؛

۸- پخش برنامه‌های تبلیغاتی در رسانه‌های کشور به‌منظور تشویق مردم برای استفاده

www.SID.ir

از ارتباطات تلفنی و مخابراتی و یا ارتباطات الکترونیکی برای جلوگیری از سفرهای غیرضروری درون‌شهری؛

۹- راه‌اندازی واحد مستقل واحد تحلیل داده‌های حوادث ترافیکی در راهور ناجا به‌منظور ارائهٔ پیش‌بینی‌های تصادفات رانندگی در کل کشور در سال‌های آتی و ارائهٔ تمهیدات لازم جهت کاهش آن.

منابع

- آیتی، اسماعیل؛ واحدی، جوادرضا. (۱۳۸۶). ایجاد مدل شاخص ایمنی ترافیکی در محل پل‌ها در راه‌های ایران. *نشریه دانشکده مهندسی (ویژه‌نامه عمران)*، سال ۱۹، (۱)، دانشگاه فردوسی مشهد.

- حق‌شناس تجن گوکه، فرشته. (۱۳۸۹). *تحلیل بیزی میدان‌های تصادفی مارکوفی گاوسی با استفاده از پیشین مرجع*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

- حقیقی، فرشیدرضا؛ شهبازی، شروین. (۱۳۹۴). مدل ارزیابی شدت تصادفات در میدان‌ها (مطالعهٔ موردی شهر تهران). *فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل*، سال ۷، (۳).

- صفارزاده، محمود؛ ابوالحسن‌زاده، وحید؛ بروجردیان، امین میرزا. (۱۳۸۷). ارائه مدل اولویت‌بندی علیت‌گرا جهت تعیین قطعات خطرناک جاده‌ها برای عابران پیاده. *نشریه دانشکده فنی تهران*، ۴۲ (۴).

- عبادی‌نژاد، سیدعلی؛ شادفر، صمد؛ شادمانی، علیرضا؛ جعفریان، محمدحسن. (۱۳۸۵). نقش مه در ایجاد حوادث جاده‌های کشور. *فصلنامه دانش انتظامی*. ۸ (۴)، ۶۶-۵۷.

- قبادی، محمد؛ حسن‌زاده، محمدرضا. (۱۳۹۶). بررسی عوامل مؤثر در وقوع تصادفات شهری. *فصلنامه مطالعات مدیریت ترافیک*، سال ۱۲، (۴۴).

www.SID.ir

– ماه‌پور، علیرضا. (۱۳۹۳). بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات برون‌شهری و ارائهٔ مدل مناسب (مطالعهٔ موردی استان تهران). *طرح تحقیقاتی مرکز تحقیقات کاربردی پلیس راهور ناجا*.

– موسیوند، محمد. (۱۳۸۸). *تحلیل بیزی برای مدل زمین آمار خطی تعمیم‌یافته*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

– نادران، علی. (۱۳۹۰). تخمین تعداد تصادفات ترافیکی در مناطق شهری به کمک مدل‌های هم‌فزون. *فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل*، سال ۲، (۲).

– وزارت راه و شهرسازی. (۱۳۷۵). *تحلیل تصادفات استان اصفهان، از مجموعه گزارش‌های نگرشی نظام‌گرا به پروژه‌های مطالعاتی حمل و نقل جاده‌ای (پروژه ۱۱-۲-۱)*. گزارش شماره ۲۴، دفتر آمار و برنامه‌ریزی.

منابع انگلیسی

–Besag, J. E. (1974). Spatial Interactions and the Statistical Analysis of Lattice System. *Journal of the Royal Statistical Society Series B*. 36, 192-225.

- Birkhoff, G. (1967). *Lattice Theory*. 3rd ed. American Mathematical Society, Providence, RI.

-Cressie, N. (1993). *Statistics for Spatial Data*. New York: Wiley.

-Hammersley, J. M. and Mazzarino, G. (1983). Markov Fields, Correlated Percolation and the Ising Model. *The Mathematics and Physicd of Disordered Media*, Lecture Note in Mathematics, 1035, 210 245.

- Kruschke, K. J., (2014). Doing Bayesian Data Analysis. A Tutarial with R and BUGS, *Academic Press*, Elsevier.

- Mardia, K. V. (1988). MultiDimentional Multivariate Gaussian Markov Random Fields with Applucation to Image Procerssing. *Journal of Multivariate Analysis*, 24. 265-284

- Moran, P. (1950). Notes on Continuous Stochastic Phenomena, *Biometrika*, 37, 17-23.

- Pirdavani, A. Brijs, T. Belemans, T. Kochan, B. and Wets, G. (2012). Developing Zonal Crash Prediction Models with a Focus on Application of Different Exposure Measures. Paper Presented at the Transportation Research Board, *91th Annualmeeting Washington*, DC

www.SID.ir

- Pulugurtha, S. S. Duddu, V. R. nad Kotagiri, Y. (2013). Traffic Analysis Zone Level Crash Estimation Models Based on Land use Characteristics. *Accident Analysis and Prevention*. 50, 678 87.
- Spiegelhalter, D. J. Best, N, G. Carlin, B. P. Linde A. (2002). Bayesian Measures of Model Complexity and fit (with discussional). *Journal Royall Statistical Society*. B64, 583-639.
-Yuan, Zhuoning. Zhou, Xun. Yang, Tianbao. Tamerius, James and Mantilla, Rivardo (2017). Predicting Traffic Accidents Through Heterogeneous Urban Data: A Case Study. *In Proceedings of 6th International Workshop on Urban Computing*, Halifax, Nova Scotia, Canada, August 2017 (UrbComp 2017), 9pages.

www.SID.ir