

تخمین تصادفات شدید در الگوی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل درون شهری (مطالعه موردی: مشهد)

مهدی محمدی^۱، غلامعلی شفافبخش^۲، علی نادران^۳

از صفحه ۵۳ تا ۸۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۸

چکیده

زمینه و هدف: شناسایی تأثیر وسایل سفر مختلف در بروز تصادفات شدید می‌تواند به بهبود روندهای برنامه‌ریزی بلندمدت حمل‌ونقل شهری منجر شود. پژوهش حاضر به بررسی ارتباط بین وسایل نقلیه مختلف در بروز تصادفات شدید شهری پرداخته است. هدف این پژوهش، تخمین تصادفات شدید در سطح نواحی ترافیکی شهری به‌منظور استفاده در روند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل می‌باشد که در مطالعات قبلی موردغفلت واقع شده است و بدین منظور برای اولین بار از سهم سفر وسایل نقلیه مختلف به‌عنوان متغیرهای مستقل پژوهش استفاده شده است.

روش: برای انجام پژوهش از داده‌های تصادفات شدید و نیز داده‌های تفکیک سفر مربوط به سال ۱۳۸۷ شهر مشهد استفاده شده است. همچنین در این پژوهش، دو روش مدل‌سازی خطی تعمیم‌یافته با تبدیل لگاریتمی و توزیع دو جمله‌ای منفی و رگرسیون جغرافیایی وزن‌دار مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: طبق نتایج به‌دست آمده از مدل خطی تعمیم‌یافته با تبدیل لگاریتمی و توزیع دو جمله‌ای منفی، به ترتیب سرویس‌های اتوبوسی، سرویس مدارس، موتورسیکلت‌ها و خودروهای شخصی بیشترین تأثیر را در بروز تصادفات شدید شهری مشهد دارند. همچنین طبق نتایج به‌دست آمده از مدل رگرسیونی جغرافیایی وزن‌دار به ترتیب سرویس‌های اتوبوسی، عابران پیاده و خودروهای شخصی تأثیر بیشتری در بروز تصادفات شدید شهر مشهد داشته‌اند. علاوه بر این طبق هر دو روش مورد استفاده، حضور بیشتر تاکسی در نواحی ترافیکی موجب کاهش تصادفات شدید در آن نواحی شده است. لذا با توجه به وجود ارتباط بین تصادفات شدید و سهم سفر وسایل سفر مختلف، با استفاده از روش ارائه‌شده در این پژوهش و با اعمال سیاست‌های مدیریتی، می‌توان موجبات کاهش تصادفات شدید را فراهم آورد.

کلمات کلیدی: تصادفات شدید، تخمین، تصادفات شهری، ایمنی حمل‌ونقل، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل.

۱. دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

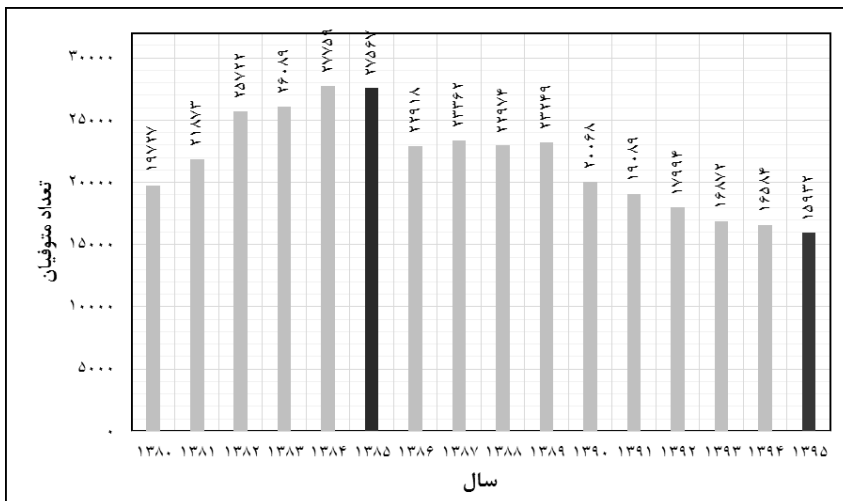
۲. استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان (نویسنده مسئول)، shafabakhsh@semnan.ac.ir

۳. استادیار دانشکده مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

مقدمه

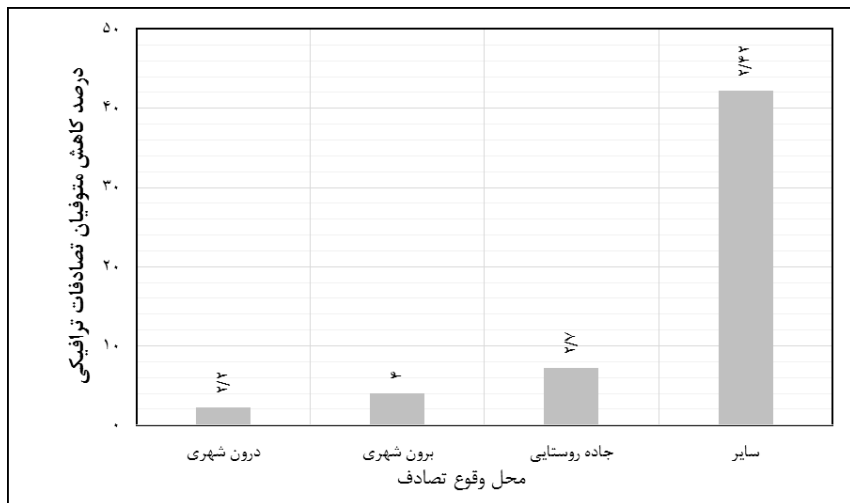
امروزه موضوع تصادفات ترافیکی و تلفات و هزینه‌های بالای اقتصادی و اجتماعی ناشی از آن، اساسی‌ترین مشکلی است که متخصصان و متولیان امور حمل‌ونقل را به چالش کشیده است. این امر برای کشورهای در حال توسعه دارای اهمیت بیشتری است؛ چراکه تعداد تصادفات ترافیکی در کشورهای در حال توسعه نسبت به کشورهای توسعه‌یافته مقادیر بالاتری به خود اختصاص داده است و هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم آن نیز در مقایسه با کشورهای توسعه‌یافته بیشتر است (زاهد و رضایی، ۱۳۸۵: ۱).

در کشور ایران بر اساس آمارهای سازمان پزشکی قانونی کشور، بیشترین میزان مرگ‌ومیر ناشی از حوادث رانندگی در دهه ۸۰، مربوط به سال ۱۳۸۴ بوده است که با ۲۷۷۵۹ کشته، بالاترین آمار این دهه را به خود اختصاص داده است (شجاعی، ۱۳۹۰: ۲). از سال ۱۳۸۴ به بعد با اتخاذ سیاست‌های کاهش تصادفات و تلفات جاده‌ای توسط پلیس راهنمایی و رانندگی جمهوری اسلامی ایران و سایر دستگاه‌های مرتبط، سال‌به‌سال از میزان تلفات ترافیکی کشور کاسته شده است. شکل ۱ روند کاهش تعداد مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات ترافیکی را در کشور ایران نشان می‌دهد. مطابق آنچه در شکل ۱ مشاهده می‌شود، با اتخاذ سیاست‌های مختلف بازدارنده، میزان تلفات جاده‌ای در یک بازه ۱۰ ساله از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ حدود ۴۲ درصد کاهش یافته است و از ۲۷۵۶۷ در سال ۱۳۸۵ به ۱۵۹۳۲ متوفی در سال ۱۳۹۵ رسیده است.



شکل ۱. تعداد کشته‌های تصادفات رانندگی در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ در کشور ایران
(سازمان پزشکی قانونی کشور، ۱۳۹۶)

بخشی از تصادفات منجر به فوت در خارج از شهرها و بخشی در داخل شهرها اتفاق می‌افتد. عوامل و مشخصات مؤثر در بروز تصادفات درون‌شهری و برون‌شهری به جهت تفاوت در ماهیت رانندگی در این دو می‌تواند متفاوت از همدیگر باشد. شکل ۲، درصد کاهش تلفات تصادفات رانندگی در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۴ را بر اساس محل وقوع تصادف نشان می‌دهد.



شکل ۲. درصد کاهش تلفات تصادفات رانندگی در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۴

بر اساس محل وقوع تصادف
 (سازمان پزشکی قانونی کشور، ۱۳۹۶)

با مقایسه میزان کاهش تلفات تصادفات رانندگی در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۴ مشاهده می‌شود که میزان متوفیان در تصادفات درون‌شهری ۲/۲ درصد، میزان متوفیان در تصادفات برون‌شهری ۴ درصد، میزان متوفیان در تصادفات جاده‌های روستایی ۷/۲ درصد و میزان متوفیان در تصادفات سایر مقاطع ۴۲/۲ درصد در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۴ کاهش داشته است و در مجموع، میزان متوفیان تصادفات رانندگی کشور در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۴ با ۳/۹ درصد کاهش همراه بوده است. لذا ملاحظه می‌شود که کمترین میزان کاهش متوفیان تصادفات رانندگی کشور در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۴ در درون شهرها اتفاق افتاده است که لزوم برنامه‌ریزی‌های منسجم‌تر در راستای کاهش تصادفات درون‌شهری را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد.

رشد روزافزون سیستم‌های مختلف حمل‌ونقل شهری موجب افزایش حوادث ترافیکی شده است. تصادفات ترافیکی هر ساله تعداد زیادی از شهروندان شهرهای

مختلف را تحت الشعاع قرار می‌دهد که در این بین تصادفات شدید تأثیر به‌مراتب بیشتری در زندگی شهروندان می‌گذارد. هزینه‌های ناشی از تصادفات خسارتی بیشتر شامل هزینه‌های مادی و در برخی موارد شامل برخی مشکلات روحی و روانی می‌شود (گارسیا و پرز، ۲۰۰۷: ۲)؛ در حالی که در تصادفات شدید علاوه بر اینکه تمام هزینه‌های تصادفات خسارتی وجود دارد، بلکه این هزینه‌ها با توجه به شدت این تصادفات همواره از تصادفات خسارتی بیشتر است؛ اما مهم‌تر از این‌ها، تصادفات شدید همواره با جراحت‌ها، معلولیت‌ها و در برخی موارد فوت افراد حاضر در تصادف همراه است که علاوه بر هزینه‌های مستقیم و سنگین مالی شامل هزینه‌های غیرمستقیم مختلف نظیر بروز مشکلات شدید روحی و روانی و نیز تبعات اجتماعی و فرهنگی نیز می‌شود (هانلی، ۲۰۰۴: ۳). لذا برای شناسایی روش‌های مناسب برای بهبود ایمنی حمل‌ونقل، مطالعه و بررسی عواملی که تأثیر بیشتری در بروز تصادفات شدید دارند، از اهمیت بالایی برخوردار است.

نکته اساسی این است که هر طرحی برای کاهش تصادفات در افق بلندمدت، نیازمند ابزار تصمیم‌گیری است. ذکر این نکته ضروری است که با گذشت زمان و افزایش جمعیت و مالکیت خودرو، تعداد تصادفات به‌طور منطقی رشد خواهد کرد؛ بنابراین اگر تعداد تصادفات در چند سال متوالی ثابت بماند، می‌توان این‌طور برداشت کرد که نرخ رشد تصادفات کاهش یافته است؛ بنابراین برای طراحی برنامه‌های بلندمدت کاهش تصادفات (مثلاً تقلیل تعداد کشته‌ها به نصف تعداد موجود)، باید ابتدا تعداد واقعی تصادفات را بر اساس تغییرات جمعیتی و اقتصادی و رشد عادی آن پیش‌بینی کرد و سپس نرخ کاهش سالانه مناسب برای رسیدن به اهداف برنامه را تعیین نمود. به عبارت دیگر، طرح‌های اجرایی لازم باید برای کاهش تعداد کشته‌ها به میزان بیش از نصف کشته‌های فعلی، محاسبه و طراحی شوند. به همین دلیل، در این پژوهش تلاش می‌شود چارچوبی برای ساخت مدل‌های کلان و بلندمدت پیش‌بینی

تصادفات ترافیکی ارائه گردد تا تصمیم‌سازان و تصمیم‌گیران نیز با یک پشتوانه قوی و مستدل، مسئله ایمنی ترافیک را مورد توجه کامل (لازم و کافی) قرار دهند. به این ترتیب، توجه به ایمنی ترافیک کاملاً با فرلیند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل درهم آمیخته خواهد شد و ارزیابی فنی و مالی تعریف و اجرای پروژه‌های مختلف، علاوه بر مسائل مربوط به تسهیل تردد، ایمنی تردد را نیز شامل خواهد شد (نادران، ۱۳۸۹).

بهبود ایمنی حمل‌ونقل تنها زمانی قابل دستیابی است که عوامل کاهش ایمنی به درستی شناسایی شوند. در صورت شناسایی درست این عوامل می‌توان از روش‌های مختلف برای مرتفع‌ساختن مشکلات موجود در راستای بهبود ایمنی استفاده کرد. مطالعات مختلفی تاکنون به بررسی عوامل مؤثر در تصادفات ترافیکی پرداخته‌اند؛ با این وجود بیشتر این مطالعات در سطح مهندسی بوده و به اقداماتی نظیر اصلاحات هندسی معابر و تقاطع‌ها (چن، ۲۰۰۹: ۱؛ مانوئل و همکاران، ۲۰۱۴: ۳) و نیز شناسایی نقاط حادثه‌خیز (چنگ و همکاران، ۲۰۰۸: ۲؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۰۹: ۲؛ موتلا، ۲۰۱۰: ۳) منجر شده است.

در اغلب مطالعاتی که در زمینه ایمنی حمل‌ونقل انجام می‌شود، داده‌های تصادفات مربوط به سال‌های قبل برای پیش‌بینی تصادفات آتی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ این در حالی است که امروزه این روند به عنوان روشی نامناسب از دید پژوهشگران مطرح است (واشنگتن، ۲۰۰۶: ۲۳)؛ چراکه در این روش، عوامل مؤثر در ایجاد تصادفات مورد نظر قرار نمی‌گیرند و صرفاً تعداد یا شدت تصادفات سال‌های قبل به عنوان معیار اصلی پیش‌بینی تصادفات سال‌های آتی استفاده می‌شوند (نادران، ۱۳۸۹: ۳). این امر منجر به لحاظ‌نشدن هر تغییری، مانند تغییرات اقتصادی و اجتماعی در زمانی خاص که بتواند در ایجاد تصادفات در منطقه مورد مطالعه مؤثر باشد، می‌شود.

با بررسی مطالعات انجام‌شده مشاهده می‌شود که در سال‌های اخیر، استفاده از مدل‌های کلان‌نگر به منظور شناسایی تأثیر عوامل مختلف در بروز تصادفات و نیز

پیش‌بینی تعداد تصادفات سال‌های آتی مورد توجه جدی قرار گرفته است. پژوهشگران مختلفی روش‌های مدل‌سازی و نیز متغیرهای مستقل و وابسته مختلفی را مورد آزمون قرار داده‌اند. هدف این پژوهش، تخمین تصادفات شدید شهری در سطح نواحی ترافیکی شهری به منظور استفاده در روند برنامه‌ریزی حمل و نقل می‌باشد که در مطالعات قبلی مورد غفلت واقع شده است و بدین منظور برای اولین بار از سهم سفر وسایل نقلیه مختلف به عنوان متغیرهای مستقل پژوهش استفاده شده است. به همین منظور داده‌های مربوط به میزان سفرهای انجام شده توسط وسایل نقلیه مختلف و نیز تعداد تصادفات شدید رخ داده در همان سال به ترتیب به عنوان متغیرهای مستقل و وابسته انتخاب شده و تأثیر متغیرهای مستقل مختلف در بروز تصادفات شدید تعیین شده است.

لازم به توضیح است که در این پژوهش، مجموع تصادفات فوتی و جرحی به عنوان تصادفات شدید تعریف شده‌اند. ویژگی عمده این پژوهش، استفاده از متغیرهای مستقلی است که در فرایند برنامه‌ریزی بلندمدت حمل و نقل می‌توان با اعمال سیاست‌های مورد نظر، مقادیر مربوط به این متغیرها را تغییر داد. تغییر در مقادیر این متغیرها می‌تواند به تغییر در مقادیر متغیر وابسته منجر شود؛ لذا با استفاده از روش ارائه شده در این پژوهش می‌توان مقادیر تصادفات شدید در سال‌های آتی در اثر حضور نسبت‌های مختلف سفرهای رخ داده با وسایل نقلیه مختلف را پیش‌بینی کرد و از همین طریق با اعمال سیاست‌های مدیریتی، موجبات کاهش تصادفات شدید را فراهم ساخت و به تبع آن، شاهد کاهش هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم مربوط به آن بود.

پیشینه پژوهش

مدل‌هایی که برای پیش‌بینی ایمنی در سطح برنامه‌ریزی یا کلان تهیه می‌شوند، اساساً با مدل‌هایی که برای پیش‌بینی ایمنی در سطح یک مقطع خاص یا یک کریدور خاص تهیه می‌شوند و اغلب متخصصان ایمنی با آن آشنا هستند، متفاوت است. درک درست این تفاوت‌ها برای کاربرد صحیح مدل‌های کلان ایمنی ضروری است؛ برای مثال، دقت مدل‌های کلان ایمنی در حد ناحیه‌های ترافیکی است و نمی‌توان از آن برای تحلیل و ارزیابی در سطح یک کریدور و یا پروژه خاص استفاده کرد. همچنین مدل‌های کلان ایمنی را نمی‌توان به‌عنوان جایگزین مدل‌های عارضه‌سنجی یا شبیه‌سازی برای اثبات درستی یک طرح ترافیکی استفاده کرد. برای ساخت و پرداخت مدل‌های کلان ایمنی، اطلاعات مختلفی موردنیاز است؛ این اطلاعات باید در قالب ناحیه‌های ترافیکی جمع‌آوری شود. ناحیه ترافیکی، کوچک‌ترین واحد برای تحلیل و مطالعه است. از هم‌فزون کردن چند ناحیه ترافیکی می‌توان به واحدهای بزرگ‌تری به نام بخش ترافیکی دست یافت؛ برای مثال برای تحلیل تغییرات یک کریدور ترافیکی مهم که ناحیه‌های ترافیکی زیادی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، می‌توان تأثیر پروژه را بر تمام ناحیه‌های مرتبط در نظر گرفت. نوع مدل و متغیرهای مؤثر در آن، تعیین‌کننده مجموعه داده‌هایی است که باید جمع‌آوری شوند؛ این داده‌ها باید به‌صورت تجمعی و کلان موردبررسی قرار گیرند و بررسی عوامل مؤثر در یک تصادف خاص کمک چندانی به فرایند ساخت مدل کلان نخواهد کرد (نادران، ۱۳۸۹).

در سال‌های اخیر، استفاده از مدل‌های کلان‌نگر پیش‌بینی تصادفات توسط پژوهشگران مختلف به‌منظور شناسایی عوامل مؤثر در بروز تصادفات مورد استفاده قرار گرفته است. پژوهشگران مختلف با استفاده از روش‌ها و متغیرهای مختلف به پیش‌بینی تصادفات آتی پرداخته‌اند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

نادران و شاهی (۲۰۱۰) رابطه تعداد تصادفات در ناحیه‌های ترافیکی شهری با تعداد سفرهای ایجاد (تولید / جذب) شده در آن ناحیه را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها در بررسی‌های خود از مدل رگرسیون دو جمله‌ای منفی استفاده کردند. نتایج نشان داد که رابطه معناداری بین تعداد تصادفات و تعداد سفرها به تفکیک هدف در ناحیه‌های ترافیکی وجود دارد. مطابق نتایج پژوهش آن‌ها، شکل ریاضی دو جمله‌ای منفی برای مدل‌های هم‌فزون، ایجاد تصادف، سازگاری مناسبی با مدل‌های ایجاد سفر که به صورت خطی و به روش حداقل مربعات برآورد می‌شوند، دارد. همچنین مدل‌های هم‌فزون پیش‌بینی تصادفات باید صرفاً برای اهداف کلان و برنامه‌ریزانه مورد استفاده قرار گیرند و کاربرد آن‌ها برای بررسی یک پروژه یا یک ناحیه ترافیکی خاص، مناسب و معنی‌دار نیست.

تاسیک و پرتز (۲۰۱۶) رابطه بین زیرساخت‌های مختلف حمل‌ونقل و میزان تصادفات شهری را با استفاده از آمار فضایی مدل‌سازی کردند. آن‌ها از بلوک‌های آماری برای هم‌فزون کردن داده‌های خود استفاده کردند. داده‌های اجتماعی و اقتصادی، کاربری زمین، شبکه معابر، ترافیک و اطلاعات زیرساخت‌های حمل‌ونقل داده‌های مورد استفاده آن‌ها متغیرهای مستقل پژوهش بودند. طبق نتایج این پژوهش، رابطه معناداری میان وجود زیرساخت‌های حمل‌ونقل شهری با میزان تصادفات وجود دارد.

هوانگ و همکارانش (۲۰۱۶) در مطالعه خود، سطوح میکرو و ماکرو در پیش‌بینی تصادفات ناحیه‌ای برای شناسایی نواحی پرخطر را مقایسه کردند. به همین منظور از مدل‌های فضایی بیزی میکرو و ماکرو استفاده کردند و با شناسایی نواحی پرخطر با استفاده از هر دو روش، به مقایسه آن دو پرداختند. نتایج نشان داد که مدل‌های میکرو به‌طور کلی دارای دقت بالاتری نسبت به مدل‌های ماکرو هستند؛ چراکه مؤلفه‌های میکرو بهتر می‌توانند وقوع تصادفات را پیش‌بینی کنند. مطابق نتایج همان پژوهش،

مدل‌های ماکرو بع داده‌های کمتری برای مدل‌سازی نیاز دارند و با دقت قابل قبول خود می‌توانند برای مقاصد برنامه‌ریزی و طراحی کاربردی‌تر باشند.

وی و لوگروف (۲۰۱۳) مطالعه خود را به مدل‌سازی کلان تصادفات خودرو - دوچرخه با چهار معیار کلی در معرض خطر بودن، اجتماعی و اقتصادی، تقاضای حمل‌ونقل و شبکه معابر با زیرمعیارهای متنوع اختصاص دادند و مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی در سطح نواحی ترافیکی شهری و حومه‌ای به‌عنوان روش مدل‌سازی انتخاب شده است. مطابق نتایج این پژوهش، افزایش تعداد تصادفات خودرو - دوچرخه با افزایش طول کلی مسیر، طول مسیر دوچرخه‌سواری، ایستگاه‌های اتوبوس، علایم ترافیکی، چگالی تقاطع و درصد تقاطعات اصلی - فرعی رابطه مستقیم دارد.

ویر و همکارانش (۲۰۰۹) رابطه بین متغیرهای مستقل نظیر شبکه معابر، کاربری زمین و مشخصات جمعیتی را با میزان تصادفات جرحی خودروها با عابران پیاده در سطح بلوک‌های آماری سان‌فرانسیسکو ایالات متحده را با استفاده از رگرسیون چندمتغیره مورد ارزیابی قرار دادند. مدل نهایی به‌دست آمده در این پژوهش، رابطه معنی‌داری بین میزان تصادفات جرحی خودرو - عابر پیاده با مؤلفه‌های حجم ترافیک، مساحت زمین، کاربری‌های تجاری و مسکونی اطراف نواحی، میزان شاغلین، جمعیت ساکن در بلوک‌ها و نسبت جمعیتی سالخوردگان بالای ۶۵ سال را نشان داد.

قدوس (۲۰۰۸) در پژوهشی به بررسی ارتباط بین داده‌های تصادفات مختلف شهر لندن و مؤلفه‌های اثرگذار در ایجاد تصادفات پرداخت. وی داده‌های مورد نیاز را در سطح ۶۳۳ بلوک آماری شهر لندن هم‌فزون نمود و از مدل‌های مکانی مانند رگرسیون دوجمله‌ای منفی و مدل‌های فضایی استفاده کرد. نتایج پژوهش وی نشان داد که مدل‌های سلسله‌مراتبی بیزی، نتایج مناسب‌تری را نسبت به سایر مدل‌ها ارائه می‌کنند.

حادثتی و همکارانش (۲۰۰۷) با هدف به‌روزر کردن مطالعات قبلی بر اساس داده‌های سال ۲۰۰۱ میلادی، مدل‌های جدید شامل متغیرهای ترافیکی، شبکه‌ی معابر، کاربری زمین و تعداد شاغلین ارائه کردند. آن‌ها در این پژوهش تأکید کردند که تعداد زیاد متغیرها، کاربرد آن را محدود خواهد کرد و لذا باید از افزایش بیش از حد متغیرها پرهیز کرد.

واشینگتون و همکارانش (۲۰۰۶) گزارشی با عنوان «ترکیب ایمنی با برنامه‌ریزی بلندمدت حمل‌ونقل» منتشر کردند. در این گزارش، جایگاه ایمنی در فرایند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل مورد بررسی قرار گرفته است و به صورت کیفی، جایگاه ایمنی در کل فرایند تبیین شده است. در این گزارش، پیشنهادهایی مقدماتی درباره نحوه پیش‌بینی ایمنی ترافیک در افق بلندمدت با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی حمل‌ونقل بیان شده است. این گزارش، سرآغازی برای تبیین جایگاه برنامه‌ریزی ایمنی در مطالعات حمل‌ونقل بود؛ چراکه تا قبل از آن، مطالعات ایمنی بیشتر در حد مهندسی ایمنی و برای انجام اقدامات اصلاحی نظیر اصلاحات هندسی معابر و تقاطع‌ها مورد توجه پژوهشگران و مهندسان ترافیک و حمل‌ونقل بود. به همین خاطر پس از انتشار این گزارش، پژوهشگران مختلف سعی بر ترکیب ایمنی در برنامه‌ریزی بلندمدت حمل‌ونقل کردند و اصطلاح برنامه‌ریزی ایمنی پس از آن جایگاه خود را در مطالعات بلندمدت حمل‌ونقل پیدا کرد.

دیگیوارا و همکارانش (۲۰۰۴) مدل‌های پیش‌بینی تصادفات شهر توسان ایالت آریزونا ایالات متحده را بر اساس متغیرهای چگالی جمعیت، تعداد شاغلین، چگالی تقاطعات، درصد طول راه‌های شریانی اصلی از کل راه‌ها، درصد طول راه‌های شریانی فرعی از کل راه‌ها و درصد طول جمع‌کننده و پخش‌کننده‌ها از کل راه‌ها با استفاده از مدل رگرسیونی دوجمله‌ای منفی به دست آوردند. طبق نتایج پژوهش آن‌ها، مدل‌های کلان پیش‌بینی تصادفات می‌توانند نقش اساسی در روندهای برنامه‌ریزی بلندمدت

حمل‌ونقل شهری در آینده ایفا نمایند.

حدائقی و همکارانش (۲۰۰۳) مدل‌های کلان‌نگر پیش‌بینی تصادفات شهر تورنتو کانادا را در سطح نواحی طراحی این شهر با استفاده از رگرسیون دو جمله‌ای منفی برای کل تصادفات و تصادفات شدید به‌طور جداگانه ارائه کردند. آن‌ها برای این کار از متغیرهای اجتماعی، اقتصادی و جمعیتی، تقاضای ترافیک و مؤلفه‌های شبکه حمل‌ونقل استفاده کردند. مؤلفه‌های تعداد خانوار، طول راه‌های اصلی، میزان خودرو - کیلومتر طی شده، چگالی تقاطع، سرعت و نسبت حجم به ظرفیت در نهایت به‌صورت معنادار در مدل‌ها حاضر شدند.

چاترجی و همکارانش (۲۰۰۳) تأثیرات ایمنی در طرح‌های بلندمدت حمل‌ونقل شهری را مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها تعداد تصادفات آتی را با استفاده از مدل‌های رگرسیونی و برحسب متغیرهای حجم ترافیک و مشخصات شبکه نظیر طول راه پیش‌بینی نمودند.

با توجه به مطالب بیان‌شده می‌توان دریافت که در روند مدل‌سازی کلان تصادفات سه بحث عمده وجود دارد؛ سطح هم‌فزونی داده‌ها، انتخاب متغیرها و انتخاب روش مدل‌سازی. با بررسی دقیق‌تر مطالعات انجام‌یافته مشخص می‌شود که سطوح متفاوتی برای هم‌فزونی داده‌ها توسط پژوهشگران مختلف در نظر گرفته شده است که از آن بین دو سطح نواحی تحلیل ترافیکی (نادران و همکاران، ۲۰۱۰: ۳؛ وی و لوگروف، ۲۰۱۳: ۳؛ حدائقی و همکاران، ۲۰۰۳: ۴) و بلوک‌های آماری (قدوس، ۲۰۰۸: ۳؛ ویر و همکاران، ۲۰۰۹: ۲؛ تاسیک و پرتز، ۲۰۱۶: ۲) دارای بیشترین تکرار و مناسب‌ترین نتایج هستند. همان‌طور که بیان شد، مسئله مهم دیگری که در روند مدل‌سازی کلان تصادفات وجود دارد، انتخاب متغیرهای مناسب برای فرایند مدل‌سازی برای تحصیل نتایج مطلوب و کاربردی می‌باشد. با بررسی مطالعات مختلف مشاهده شد که بیشترین تکرار مربوط به مؤلفه‌های شبکه معابر (چاترجی و همکاران، ۲۰۰۳: ۲؛

حدائقی و همکاران، ۲۰۰۳: ۴؛ دیگیوارا و همکاران، ۲۰۰۴: ۳؛ حدائقی و همکاران، ۲۰۰۷: ۳؛ ویر و همکاران، ۲۰۰۹: ۲؛ وی و لوگروف، ۲۰۱۳: ۴؛ تاسیک و پرتر، ۲۰۱۶: ۳)، کاربری زمین (حدائقی و همکاران، ۲۰۰۷: ۳؛ ویر و همکاران، ۲۰۰۹: ۲؛ تاسیک و پرتر، ۲۰۱۶: ۴) و مشخصات اجتماعی و اقتصادی نواحی (حدائقی و همکاران، ۲۰۰۳: ۴؛ دیگیوارا و همکاران، ۲۰۰۴: ۳؛ حدائقی و همکاران، ۲۰۰۷: ۳؛ ویر و همکاران، ۲۰۰۹: ۲؛ وی و لوگروف، ۲۰۱۳: ۴؛ تاسیک و پرتر، ۲۰۱۶: ۳) است. همچنین در برخی موارد، مؤلفه‌های تقاضای حمل‌ونقل (حدائقی و همکاران، ۲۰۰۳: ۴؛ حدائقی و همکاران، ۲۰۰۷: ۳؛ نادران و همکاران، ۲۰۱۰: ۳؛ وی و لوگروف، ۲۰۱۳: ۴) به‌عنوان مؤلفه‌های مستقل مورد استفاده قرار گرفته است. لذا در صورت انتخاب متغیرهای مستقلی که در عین در دسترس بودن و معناداری در مدل، قابلیت بیشتری در تلفیق برنامه‌ریزی بلندمدت حمل‌ونقل با مباحث ایمنی داشته باشد، می‌توان شاهد نتایج بهتری بود. مورد آخری که در روند مدل‌سازی کلان تصادفات از اهمیت بالایی برخوردار است، انتخاب روش مدل‌سازی است. با بررسی مجدد پژوهش‌های انجام‌یافته مشاهده می‌شود که مدل‌های خطی تعمیم‌یافته دارای بیشترین استفاده در پژوهش‌های گذشته (حدائقی و همکاران، ۲۰۰۳: ۵؛ دیگیوارا و همکاران، ۲۰۰۴: ۶؛ نادران و همکاران، ۲۰۱۰: ۵؛ وی و لوگروف، ۲۰۱۳: ۷) هستند؛ این در حالی است که پژوهشگران (قدوس، ۲۰۰۸: ۷؛ تاسیک و پرتر، ۲۰۱۶: ۶؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۱۶: ۸) پیشنهاد می‌کنند که استفاده از روش‌های توزیع فضایی در روند مدل‌سازی کلان تصادفات به دلیل ماهیت ارتباط فضایی بین متغیرهای نواحی مختلف می‌تواند نتایج بهتری به همراه داشته باشد.

مبانی نظری پژوهش

به‌طور کلی، مدل‌های ریاضی پیش‌بینی تصادفات در دو سطح قابل‌طبقه‌بندی هستند:

- مدل‌های خردنگر یا ناهم‌فزون که برای اجزای شبکه (معبّر، تقاطع، ...) ساخته می‌شوند و ممکن است اطلاعات تصادفات مربوط به تک‌تک اجزا در مدل وارد شود. این مدل‌ها در سطح ارزیابی ایمنی یک کریدور یا مقطع خاص کاربرد دارند.

- مدل‌های کلان‌نگر یا هم‌فزون که داده‌های اجزای شبکه را باهم جمع کرده و با انتخاب ناحیه ترافیکی یا محدوده‌های مشابه به‌عنوان کوچک‌ترین واحد مدل‌سازی، اطلاعات تصادفات را در سطح بالاتری به کار می‌گیرند. این مدل‌ها در سطح برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌های هم‌فزون که برای پیش‌بینی ایمنی در سطح برنامه‌ریزی تهیه می‌شوند، اساساً با مدل‌های خردنگر که برای پیش‌بینی تصادفات در سطح کریدور و یا یک مقطع خاص تهیه می‌شوند، تفاوت دارند (واشینگتون و همکاران، ۲۰۰۶: ۳۳). این تفاوت، کاملاً مشابه تفاوت نگرش برنامه‌ریزی حمل‌ونقل با مهندسی ترافیک است. برخی تفاوت‌های کلی مدل‌های خرد و کلان نیز در شکل ۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۳. تفاوت‌های کلی محل‌های خرد و کلان (نادران، ۱۳۸۹)

در این پژوهش با ارائه الگوی دو مدل ریاضی برای ساخت مدل پیش‌بینی تصادفات ترافیکی، ابزاری در اختیار برنامه‌ریزان حمل‌ونقل قرار می‌گیرد تا تأثیر طرح‌های کلان خود را بر ایمنی تردد ارزیابی کنند. به علاوه، به تصمیم‌گیران در عرصه کاهش تصادفات کمک می‌کند تا با پیش‌بینی تصادفات وسایل نقلیه مختلف در آینده، هدف‌گذاری‌ها و سیاست‌های مناسب‌تری را برای کاهش تصادفات در سال‌های آتی به کار گیرند و بتوانند نتایج آن را به‌طور منظم بررسی و کنترل نمایند. این پژوهش به دنبال بررسی امکان موارد زیر خواهد بود:

۱. بررسی امکان استفاده از داده‌های تفکیک سفر برای پیش‌بینی تفکیک تصادفات در نواحی ترافیکی شهری؛

۲. پیش‌بینی تعداد تصادفات وسایل سفر مختلف در سطح نواحی ترافیکی در آینده؛

۳. شناسایی مناطقی (شامل چند ناحیه ترافیکی) از شهر که رشد تعداد تصادفات در آن‌ها از سایر مناطق به‌طور محسوسی بیشتر است.

در بین تمام مطالعاتی که تا به حال در زمینه مدل‌سازی تصادفات ترافیکی در سطح کلان انجام شده است، به ارتباط بین میزان سهم وسایل سفر مختلف و تصادفات شدید و نیز نقش نوع وسایل سفر مختلف در میزان تصادفات شدید پرداخته نشده است. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی سهم وسایل سفر مختلف در تصادفات

شدید شهری می‌باشد تا از این راستا بتوان با بهینه‌سازی سهم وسایل سفر مختلف به کمینه‌سازی تصادفات شدید دست یافت.

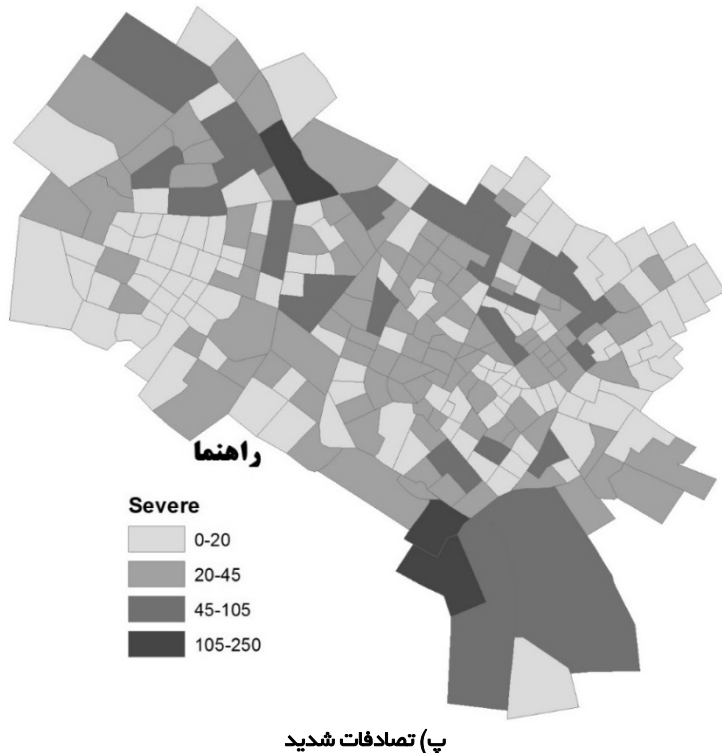
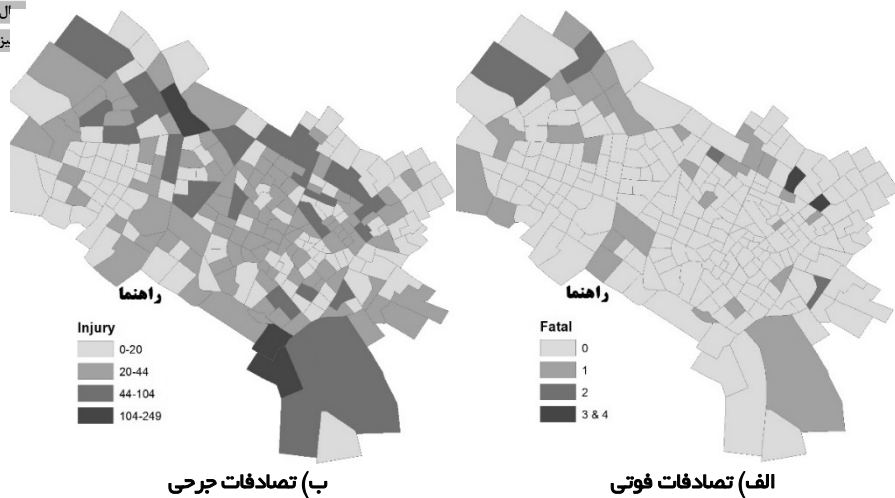
روش‌شناسی پژوهش

شهر مشهد به‌عنوان دومین شهر ایران از حیث وسعت و جمعیت دارای زیرساخت‌های حمل‌ونقلی مناسبی میان شهرهای ایران می‌باشد (معاونت مطالعات و برنامه‌ریزی سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد، ۲۰۱۴؛ معاونت برنامه‌ریزی و توسعه شهرداری مشهد، ۲۰۱۲). همچنین انجام و بهنگام‌سازی مطالعات جامع در این شهر و نیز وجود داده‌های نقطه‌ای تصادفات شدید در این شهر برای سال ۱۳۸۷ دلایل عمده انتخاب این شهر برای مطالعه موردی بود. روند کلی پژوهش در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. روند انجام پژوهش

در این پژوهش، مجموع تصادفات فوتی و جرحی به‌عنوان تصادفات شدید تعریف و به‌عنوان متغیر وابسته پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. توزیع فضایی تصادفات فوتی، جرحی و شدید شهر مشهد در سال ۱۳۸۷ در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. توزیع فضایی تصادفات فوتی، جرحی و شدید شهر مشهد در سال ۱۳۸۷

انتخاب شکل ریاضی رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل (توصیفی)، زیربنای مدل‌سازی آماری را تشکیل می‌دهد. هدف از مدل‌سازی، نوع داده‌های موجود، بسته نرم‌افزاری و مهارت محاسباتی موردنیاز برای ساخت مدل آماری، تأثیر زیادی در انتخاب شکل ریاضی مدل در پژوهش‌های قبلی داشته است. از آنجاکه تعداد تصادفات از نوع اعداد غیرمنفی صحیح است، مدل‌های پواسون در سطوح خرد و کلان پیش‌بینی تصادفات توسط پژوهشگران به کار رفته‌اند (چاترجی و همکاران، ۲۰۰۳: ۱)؛ اما یکی از الزامات مدل پواسون این است که میانگین و واریانس باهم برابر باشند؛ هنگامی که واریانس از میانگین بزرگ‌تر باشد، داده‌ها پراکنده بوده و با توزیع دوجمله‌ای منفی بهتر مدل می‌شوند. کاربرد موفق مدل‌های دوجمله‌ای منفی با تبدیل لگاریتمی برای پیش‌بینی تصادفات به صورت هم‌فزون و در سطح کلان توسط پژوهشگران بسیاری گزارش شده است که در بخش پیشینه پژوهش به آن‌ها اشاره شد. لذا یکی از روش‌های مورداستفاده در این پژوهش نیز مدل خطی تعمیم‌یافته با تبدیل لگاریتمی و توزیع دوجمله‌ای منفی می‌باشد؛ اما علاوه‌براین با گسترش روزافزون استفاده از تحلیل‌ها و مدل‌سازی‌های فضایی، همان‌طور که در بخش پیشینه پژوهش نیز اشاره شد، استفاده از رگرسیون فضایی وزن‌دار در برخی از مطالعات گذشته به نتایج مناسبی منجر شده است و پژوهشگران توصیه به استفاده از این نوع مدل‌ها نیز کرده‌اند. لذا در این پژوهش، علاوه بر مدل خطی تعمیم‌یافته با تبدیل لگاریتمی و توزیع دوجمله‌ای منفی، از مدل رگرسیون وزن‌دار فضایی نیز در روند مدل‌سازی استفاده شده است.

مطابق شکل ۴ و توضیحات فوق در انجام این پژوهش، دو مدل خطی تعمیم‌یافته با تبدیل لگاریتمی و توزیع دوجمله‌ای منفی و رگرسیون وزن‌دار فضایی، در فرایند مدل‌سازی با رویکرد مدل‌سازی روبه‌جلو استفاده شده است. مطابق این روش، مدل‌سازی ابتدا یک مدل ساده که فقط دارای عدد ثابت است، برآورد شد. سپس

یک‌به‌یک متغیرهای مستقل وارد مدل پایه شده و در صورتی در مدل باقی می‌ماند که به بهبود مدل منجر شده باشد؛ در غیر این صورت از مدل پایه حذف شده و متغیر بعدی وارد مدل می‌شود. این روند برای ترکیب‌های مختلف متغیرهای مستقل تکرار شد. در ادامه، هریک از روش‌های مورد استفاده در روند پژوهش به اختصار توضیح داده شده است.

رگرسیون دوجمله‌ای منفی

در داده‌های شمارشی، زمانی که میانگین و واریانس متغیر وابسته با یکدیگر برابر نباشد، از توزیع دوجمله‌ای منفی به جای توزیع پواسون استفاده می‌شود. عدم برابری میانگین و واریانس یک‌سری داده نشان‌دهنده پراکندگی آن‌ها است (کامرون و تراودی، ۲۰۱۳: ۲۵). توزیع دوجمله‌ای منفی، توزیع گسسته‌ای است که داده‌های با پراکندگی زیاد مانند داده‌های مربوط به تصادفات را می‌توان با آن مدل کرد (هیلب، ۲۰۱۴: ۴۳). شکل کلی توزیع دوجمله‌ای منفی مطابق رابطه ۱ است.

$$(1) \quad Pr(y_i) = \frac{\Gamma(\alpha^{-1} + y_i)}{\Gamma(\alpha^{-1}) y_i!} \left[\frac{\alpha^{-1}}{(\alpha^{-1}) + \lambda_i} \right]^{\alpha^{-1}} \left[\frac{\lambda_i}{(\alpha^{-1}) + \lambda_i} \right]^{y_i}$$

در این رابطه، $Pr(y_i)$ احتمال وقوع y_i تصادف در سال در ناحیه i ، $\Gamma(\cdot)$ تابع گاما، α ضریب پراکندگی و λ_i مؤلفه پواسون برای ناحیه i می‌باشد. لازم به توضیح است که در صورتی که α برابر صفر باشد، توزیع دوجمله‌ای منفی به توزیع پواسون تبدیل می‌شود. تابع احتمال این مدل از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$(۲) \quad L(\lambda_i) = \prod_i \frac{\Gamma((\alpha^{-1}) + y_i)}{\Gamma(\alpha^{-1}) y_i!} \left[\frac{\alpha^{-1}}{(\alpha^{-1}) + \lambda_i} \right]^{\alpha^{-1}} \left[\frac{\lambda_i}{(\alpha^{-1}) + \lambda_i} \right]^{y_i}$$

در این پژوهش از مدل خطی تعمیم‌یافته با تبدیل لگاریتمی و توزیع دوجمله‌ای منفی برای برآورد تعداد تصادفات ترافیکی در نواحی مورد مطالعه شهر مشهد استفاده شده است. شکل کلی رابطه بین متغیرهای مستقل با متغیر وابسته در رابطه ۳ نشان داده شده است.

$$(۳) \quad y = \exp(b_0 + \sum b_i X_i)$$

در این رابطه y تعداد تصادفات برآوردشده، b_i ضرایب مدل و X_i متغیرهای مستقل هستند.

رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی

رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، تکنیکی است که برای تحلیل‌های توصیفی بر روی آمار فضایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در رگرسیون‌های عادی فرض بر این است که رابطه موجود بین یک متغیر وابسته و متغیرهای مستقل (توصیفی) در سراسر محدوده مورد مطالعه، یکسان است؛ این در حالی است که در بسیاری از مواقع چنین فرضی صحیح نیست. برای این‌گونه موارد راه‌حل‌های مختلفی ارائه شده است؛ رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، یکی از روش‌های کارآمد برای انجام این نوع تحلیل‌ها است. در رگرسیون‌های عادی اگر هرگونه نوسان جغرافیایی در روابط وجود داشته باشد، این مقادیر جزو خطای رگرسیون عادی منعکس شده و وارد محاسبات نمی‌شوند؛ اما در رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی می‌توان تأثیر نوسانات جغرافیایی را در ضرایب متغیرها وارد کرد. شکل کلی این نوع رگرسیون در رابطه ۴ نشان داده شده است.

$$(۴) \quad y(u,v) = \beta_{0(u,v)} + \beta_{1(u,v)} + \dots + \beta_{n(u,v)} + \varepsilon(u,v)$$

که در آن، γ متغیر وابسته، β عدد ثابت، β_1 تا β_n ضرایب متغیرهای مستقل، ε خطای محاسبات و (u, v) مختصات نقاط (نواحی ای که داده در آنجا جمع آوری شده است) می باشد.

در مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی، همان طور که در رابطه ۴ نشان داده شده است، می توان با برازش این مدل با روش حداقل مربعات ضرایب مکان (u, v) را تخمین زد. در این روش وزن دهی به شکلی انجام می گیرد که داده های نزدیک تر به (u, v) وزن بیشتری نسبت به داده های دورتر دریافت نمایند. این امر موجب می شود که نوسانات جغرافیایی داده های مختلف هر کدام در رابطه مربوط به خود وارد شده و دقت مدل را بالاتر برند (اسری، ۲۰۱۱). برآوردگر رگرسیون جغرافیایی وزن دار از رابطه ۵ محاسبه می شود.

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = [X^T W(u_i, v_i) X]^{-1} X^T W(u_i, v_i) y \quad (5)$$

در رابطه فوق $\hat{\beta}(u_i, v_i)$ برداری برای برآورد مؤلفه های β_1 تا β_n و $W(u_i, v_i)$ ماتریس وزن های جغرافیایی تعداد نواحی n برای نقطه i است. تعداد سطر و ستون های این ماتریس برابر با تعداد مشاهدات می باشد. این ماتریس یک ماتریس قطری است که برای تعیین وزن ها از یک الگوی وزن دهی استفاده می کند.

نتایج

همان طور که بیان شد، در این پژوهش از دو مدل خطی تعمیم یافته با تبدیل لگاریتمی و توزیع دو جمله ای منفی و رگرسیون وزن دار فضایی برای برآورد تعداد تصادفات ترافیکی در نواحی مورد مطالعه شهر مشهد استفاده شده است. برای انجام مدل سازی به روش خطی تعمیم یافته با تبدیل لگاریتمی و توزیع دو جمله ای منفی از نرم افزار

۲۳ IBM SPSS Statistics و برای انجام مدل‌سازی به روش رگرسیون وزن‌دار فضایی از ابزار تحلیل فضایی نرم‌افزار ۱۰ ArcMap استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده از هر دو روش مدل‌سازی به تفکیک در ادامه بیان شده است.

نتایج رگرسیون دوجمله‌ای منفی

مشخصات مدل خطی تعمیم‌یافته با تبدیل لگاریتمی و توزیع دوجمله‌ای منفی به‌دست‌آمده در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، متغیرهای مستقل انتخاب‌شده رابطه خوبی با تعداد تصادفات شدید به‌عنوان متغیر وابسته در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارند.

مطابق آنچه در جدول ۱ بیان شده است، در مدل پرداخت‌شده نسبت دویانس به درجه آزادی $1/13$ است که در بازه قابل قبول $1/2 - 0/8$ (هانلی، ۲۰۰۴: ۴؛ کامرون و تریودی، ۱۹۹۸: ۱۵) قرار دارد و نشانگر نکویی مدل می‌باشد. علاوه‌براین، مقدار ضریب پراکندگی داده‌های مدل $0/4$ است که اساس استفاده از توزیع دوجمله‌ای منفی به‌جای توزیع پواسون را تأیید می‌کند. همچنین با مقایسه مقادیر درست‌نمایی مدل با مقادیر درست‌نمایی مدل ساخته‌شده با مقدار ثابت، مشاهده می‌شود که این مقدار افزایش داشته است و به عبارت بهتر، افزوده‌شدن متغیرهای مستقل به مدل با مقدار ثابت موجب بهبود مدل اولیه شده است.

جدول ۱. نتایج مدل خطی تعمیم‌یافته با تبدیل لگاریتمی و توزیع دوجمله‌ای منفی

متغیر	ضریب	خطای استاندارد	ضریب معناداری
مقدار ثابت	۲/۵۶	۰/۰۸۲۱	۰/۰۰۰
سهم سفر خودروی شخصی	۰/۰۰۰۶۱	۰/۰۰۰۰۱۷	۰/۰۰۱
سهم سفر تاکسی	-۰/۰۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۰۳۲	۰/۰۴۳
سهم سفر سرویس مدارس	۰/۰۰۰۱۴۰	۰/۰۰۰۰۶۷	۰/۰۳۷
سهم سفر سرویس‌های اتوبوسی	۰/۰۰۰۴۶۷	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۱۵
سهم سفر موتورسیکلت	۰/۰۰۰۱۲۹	۰/۰۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰
نکویی مدل			
تعداد مشاهدات	۲۵۳		
درجه آزادی	۲۴۳		
دویانس بر درجه آزادی	۱/۱۳		
ضریب پراکندگی	۰/۴۳		
Log-likelihood (LL)			
۱۰۱۲/۳۶۳			
LL of constant-only model			
۱۰۵۴/۵۰۴			

با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود که سرویس‌های اتوبوسی، سرویس مدارس، موتورسیکلت و خودروهای شخصی به ترتیب بیشترین تأثیر را در بروز تصادفات شدید داشته است. علاوه بر این، حضور بیشتر تاکسی در نواحی ترافیکی موجب کاهش تعداد تصادفات شدید شده است.

نتایج رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی

ابتدا برای شناسایی متغیرهای توصیفی که دارای ارتباط مناسب با متغیر وابسته هستند، از ابزار تحلیل اکتشافی رگرسیون کلاسیک استفاده شد. در طی این روند، حالت‌های مختلف ترکیب متغیرهای توصیفی در ارتباط با تغییر وابسته مورد بررسی قرار گرفت. با انتخاب مدل‌های رگرسیونی کلاسیک برتر با توجه به اینکه آماره‌های مربوط به این مدل‌ها لزوم استفاده از روش رگرسیون جغرافیایی وزن‌دار را نشان می‌دادند، متغیرهای این مدل‌ها با استفاده از ابزار تحلیل فضایی نرم‌افزار ArcMap ۱۰ وارد معادله رگرسیونی جغرافیایی وزن‌دار شدند. نتایج مربوط به این مدل‌ها در جدول ۲

تخمین تصادفات شدید در الگوی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل درون‌شهری

بیان شده است. همچنین بیشترین تعداد شرط‌های این مدل‌ها مقدار $10/458$ می‌باشد که از مرز مقادیر قابل قبول (اسری، ۲۰۱۱) به مراتب کوچک‌تر است. لذا می‌توان مدل ارائه‌شده را به‌عنوان مدل مناسب پذیرفت.

جدول ۲. نتایج مدل‌سازی رگرسیون جغرافیایی وزندار

متغیر	میانگین	خطای استاندارد	حداقل	حداکثر
مقدار ثابت	۱۰/۴۲۹	۶/۲۱۷	-۱/۵۷۶	۱۹/۴۶۵
سهم سفر خودروی شخصی	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۰	-۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۴۲
سهم سفر تاکسی	-۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۵	-۰/۰۰۶۸	۰/۰۰۱۴
سهم سفر سرویس‌های اتوبوسی	۰/۰۱۵۹	۰/۰۱۱۱	-۰/۰۰۳۴	۰/۰۳۹۲
سهم سفر پیاده	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۳۷
نکویی مدل				
عدد شروط	۸/۴۸۶	۱/۲۸۴	۶/۲۴۵	۱۰/۴۵۸
تعداد مشاهدات	۲۵۳			

با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که به ترتیب سرویس‌های اتوبوسی، عابران پیاده و خودروهای شخصی بیشترین تأثیر را در بروز تصادفات شدید شهری داشته است. همچنین همانند نتایج مدل دوجمله‌ای منفی، حضور بیشتر تاکسی در نواحی ترافیکی موجب کاهش تعداد تصادفات شدید شده است.

نتایج پژوهش و پیشنهادها

هدف این پژوهش، تخمین تصادفات شدید شهری در سطح نواحی ترافیکی شهری به‌منظور استفاده در روند برنامه‌ریزی حمل‌ونقل می‌باشد که در مطالعات قبلی مورد غفلت واقع شده است و بدین منظور برای اولین بار از سهم سفر وسایل نقلیه مختلف به‌عنوان متغیرهای مستقل پژوهش استفاده شده است. به همین جهت اطلاعات تفکیک سفر شهر مشهد به‌عنوان متغیرهای مستقل و تعداد تصادفات شدید این شهر به‌عنوان متغیر وابسته وارد روند مدل‌سازی پژوهش شد. در این پژوهش به

دلیل تعداد اندک تصادفات فوتی و برای دستیابی به نتایج بهتر در روند مدل‌سازی، مجموع تصادفات فوتی و جرحی به‌عنوان تصادفات شدید تعریف شدند. برای انجام مدل‌سازی از دو روش خطی تعمیم‌یافته با تبدیل لگاریتمی و توزیع دوجمله‌ای منفی و رگرسیون وزن‌دار فضایی برای برآورد تعداد تصادفات ترافیکی در نواحی ترافیکی شهر مشهد استفاده شد.

مطابق نتایج پژوهش، سرویس‌های اتوبوسی و سرویس مدارس، موتورسیکلت‌ها و عابران پیاده و درنهایت خودروهای شخصی دارای بیشترین تأثیر در بروز تصادفات شدید شهری بودند. دلایل تأثیر زیاد سرویس‌های اتوبوس و سرویس مدارس در بروز تصادفات شدید شهری می‌تواند توقف‌های متوالی این خودروها در مسیر برای سوار و پیاده‌کردن مسافرها باشد. علاوه‌براین، این خودروها معمولاً در نواحی متراکم شهری مانند جلوی مدارس و مراکز دولتی و نیز در ساعات اوج ترافیک در سطح نواحی ترافیکی در رفت‌وآمد هستند و این نیز می‌تواند دلیل دیگری بر نقش پررنگ این خودروها در بروز تصادفات شدید شهری باشد. همچنین طبق نتایج پژوهش، موتورسیکلت‌ها و عابران پیاده نیز نقش مهمی در بروز تصادفات شدید شهری دارند که با توجه به آسیب‌پذیری افراد در این روش‌های حمل‌ونقلی، نتیجه به‌دست‌آمده دور از انتظار نبود.

همان‌طور که بیان شد، سرویس‌های اتوبوس و سرویس مدارس دارای بیشترین تأثیر در بروز تصادفات شدید شهری هستند. با توجه به اینکه معمولاً سرویس‌دهی این نوع از وسایل نقلیه توسط سازمان‌ها و یا شرکت‌های خاصی انجام می‌پذیرد، کنترل و بهبود سطح ایمنی این نوع وسایل نقلیه به‌مراتب آسان‌تر از سایر وسایل نقلیه نظیر خودروهای شخصی است که دارای مالکیت شخصی بوده و لزوماً رانندگان حرفه‌ای ندارند، می‌باشد. لذا می‌توان با اتخاذ تصمیم‌های مناسب، تصادفات شدید رخ‌داده توسط این نوع وسایل را کاهش داد.

نقش موتورسیکلت‌ها و عابران پیاده در تصادفات شدید شهری، با توجه به سطح پایین ایمنی این نوع از روش‌های حمل‌ونقلی قابل‌پیش‌بینی بود. همان‌طور که مشاهده شد، مدل‌های ساخته‌شده نیز این مسئله را تأیید کردند؛ لذا لازم است در برنامه‌ریزی‌های آتی، اقداماتی برای ارتقای ایمنی این نوع از سیستم‌های حمل‌ونقلی نیز اندیشیده شود.

نکته‌ی جالب دیگری که در نتایج پژوهش دیده می‌شود، ضرایب منفی برای سفرهای تاکسی در هر دو مدل ساخته‌شده می‌باشد. ضریب منفی سفرهای تاکسی در مدل‌ها نشانگر تأثیر مثبت این نوع از وسایل نقلیه در کاهش تصادفات شدید ترافیکی است؛ این بدان معنی است که در نواحی‌ای از شهر که سفرهای بیشتری با تاکسی رخ می‌دهد، تصادفات شدید کمتری اتفاق می‌افتد.

همان‌طور که مشاهده شد، روند به‌کاررفته در این پژوهش توانست ارتباط بین وسایل سفر مختلف و بروز تصادفات شدید شهری را در سطح نواحی ترافیکی شهر مشهد تعیین کند. کاربرد مهم این روند می‌تواند در مطالعات کلان برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری مورد استفاده قرار گیرد. واضح است که تعیین سهم وسایل سفر مختلف در مطالعات کلان برنامه‌ریزی حمل‌ونقل همواره مدنظر است. لذا تلفیق روند ارائه‌شده در پژوهش با این برنامه‌ریزی‌ها می‌تواند با ایجاد تغییر در سهم وسایل سفری که دارای نقش پررنگ‌تری در بروز تصادفات شدید شهری دارند، از میزان آن‌ها بکاهد.

منابع

- زاهد، ف و رضایی، ع. (۱۳۸۵). برآورد هزینه خارجی بخش جاده‌ای کشور بر محیط‌زیست اجتماعی با تأکید بر تصادفات جاده‌ای. علوم تکنولوژی و محیط‌زیست، ۳۵-۴۲.
- سازمان پزشکی قانونی کشور. (۱۳۹۶، اردیبهشت ۳۰). بازیابی از سازمان پزشکی قانونی کشور: <http://www.lmo.ir/index.aspx?siteid=1> & pageid=2370
- سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری مشهد. (۱۳۸۹). *دهمین آمارنامه حمل و نقل شهر مشهد*. مشهد: معاونت مطالعات و برنامه‌ریزی سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری مشهد.
- شجاعی، ا. (۱۳۹۰). گزارش تحلیلی حوادث رانندگی کشور. کرمان: همایش علمی ترافیک، ایمنی و راه‌کارهای اجرایی ارتقای آن.
- معاونت برنامه‌ریزی و توسعه شهرداری مشهد. (۱۳۹۱). *آمارنامه شهر مشهد*. مشهد: انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و توسعه شهرداری مشهد با نظارت مدیریت آمار و تحلیل اطلاعات.
- نادران، ع، ن. (۱۳۸۹). *تخمین میزان تصادفات ترافیکی در مناطق شهری به کمک مدل‌های هم‌فزون*. پایان‌نامه برای دریافت درجه دکترای، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.
- نادران، ع. (۱۳۸۹). *تخمین تعداد تصادفات ترافیکی در مناطق شهری به کمک مدل‌های هم‌فزون*. *مجله مهندسی حمل و نقل*، ۱۵۵-۱۶۹.
- Cameron, A. C & Trivedi, P. K. (1998) *Regression Analysis of Count Data*. New York: Cambridge University Press.
- Chatterjee, A., Everett, J. D., Reiff, B., Schwetz, T. C., Seaver, W. L & Wegmann, F. j. (2003). *Tools for Assessing Safety Impact of Long-range*

Transportation Plans in Urban Areas .*Office of Metropolitan Planning and Programs, Federal Highway Administration, US Department of Transportation* .

– Chen, H. L. (2009). Evaluating the safety impacts of the number and arrangement of lanes on freeway exit ramps. *Accident Analysis and Prevention*, 41, 543-551.

– Cheng, W., & Washington, S. (2008). New criteria for evaluating hotspot identification methods. *Transp. Res. Rec*, 2083, 76–85.

– de Guevara, F. L., Washington, S. P & ,Oh, J. (2004) .Forecasting Crashes at the Planning Level: A Simultaneous Negative Binomial Crash Model Applied in Tucson, Arizona .*Transportation Research Record 1897, TRB, National Research Council, Washington, D.C* .

– ESRI .(2011) ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

– García-Altés, A., & Pérez , K. (2007). The economic cost of road traffic crashes in an urban setting. *Inj Prev*, 13:65–8.

– Hadayeghi, A., Shalaby, A. S., & Persaud, B. (2003). Macro-Level Accident Prediction Models for Evaluating Safety of Urban Transportation Systems. *Transportation Research Record 1840*.

– Hadayeghi, A., Shalaby, A. S & ,Pesuad, B .(2007) .Safety Prediction Models: A Proactive Tool for Safety Evaluation in Urban Transportation Planning Applications .*Transportation Research Record, TRB, National Research Council, Washington D.C* .

– Hanley, P. F. (2004). *Using Crash Costs in Safety Analysis*. Iowa, USA.: Public Policy Center, The University of Iowa.

– Hilbe, J. (2014). *Modeling Count Data*. Cambridge, UK.: Cambridge University Press.

– Huang, H., Chin, H., & Haque, M. (2009). Empirical evaluation of alternative approaches in identifying crash hot spots. *Transp. Res. Rec.*, 2103, 32–41.

– Huang, H., Song, B., Xu, P., Jae, Q., Lee, J., & Abdel-Aty, M. (2016). Macro and micro models for zonal crash prediction with application in hot

- zones identification. *Journal of Transport Geography*, 54, 248–256.
- IBM Corp .(2014) .IBM SPSS Statistics 23 .www.vsni.co.uk.
- Manuel, A., El Basyouny, K., & Islam, M. (2014). Investigating the safety effects of road width on urban collector roadways. *Safety Science*, 62, 305–311.
- Montella, A .(2010) .A comparative analysis of hotspot identification methods .*Accid. Anal. Prev.* ۵۷۱–۵۸۱ , ۴۲ .
- Naderan, A., & Shahi, J. (2010). Aggregate crash prediction models: Introducing crash generation concept. *Accident Analysis and Prevention*, 42 (1), 339-346.
- Quddus, M. A .(2008) .Modelling area-wide count outcomes with spatial correlation and heterogeneity: An analysis of London crash data .*Accident Analysis and Prevention* 40 (2008) 1486-1497.
- Tasic, I., & Porter, R. J. (2016). Modeling spatial relationships between multimodal transportation infrastructure and traffic safety outcomes in urban environments. *Safety Science*, 82 (2016), 325-337, 82, pp. 325-337. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753515002507>
- Washington, S., Schalwyk, I. V., Meyer, M., Dumbaugh, E., & Zoll, M. (2006). *Incorporating Safety into Long-Range Transportation Planning*. NCHRP Report 546, TRB, National Cooperative Highway Research Program, Washington D.C.
- Wier, M., Weintraub, J., Humphreys, E. H., Seto, E & ,Bhatia, R. (2009) An area-level model of vehicle-pedestrian injury collisions with implications for land use and transportation planning .*Accident Analysis and Prevention*, 41 (1), 137-145.

