استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی فضایی در پیش‌بینی نرخ تصادفات راه

امین میرزا بروجردیان (مسئول مکاتبات)،استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

محمود صفار زاده، استاد،دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

علی قاسم زاده خشکرودی ، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

E-mail:ambrouj@yahoo.com

دریافت:۱۳۹۲/۰۹/۱۱ پذیرش:۱۳۹۳/۰۵/۱٤

چکیده:

پیش‌بینی تصادفات در قطعات راه عمدتاً به کمک مدل‌های آماری انجام می‌گیرد.مدلهای معمول آماری مانند مدل دوجمله‌ای منفی دارای محدودیت‌هایی هستند، برای مثال در این مدل‌ها اثر متقابل نزدیک بودن دو تقاطع خاص به یکدیگر درنظر گرفته نمی‌شود. به این اثر رابطه فضایی بین داده‌های قطعات متوالی گفته می‌شود.در اکثر مطالعات انجام شده وابستگی فضایی بین قطعات راه در نظر گرفته نشده است. در مواجهه با داده‌های مکانی، مدل‌های اتورگرسیو فضایی که توانایی محاسبه وابستگی فضایی بین قطعات راه را دارند، می‌توانند جایگزین مدل‌ها و روش‌های مرسوم آماری گردند .در واقع زمانی که داده‌ها دارای مشخصه مکانی هستند، ممکن است وابستگی فضایی بین مشاهدات وجود داشته باشد و بکارگیری شیوه‌های مرسوم که این وابستگی را درنظر نمی‌گیرند، نتایج تحلیل را دچار خطا می‌کند. این مدل‌ها توانایی محاسبه وابستگی فضایی و ناهمسانی فضایی را دارند. در این تحقیق پس از قطعه‌بندی راه و تخصیص تصادفات به هر قطعه، با تشکیل ماتریس وزن جهت محاسبه وابستگی فضایی قطعات به یکدیگر به بررسی عملکرد مدل‌های اتورگرسیو فضایی معمولی، تاخیر فضایی و خطای فضایی پرداخته و پس از برآورد پارامترها با روش بیزی در نهایت با مقایسه این مدل‌ها از طریق دو معیار ارزیابی مدل با نام ملاک ارزیابی آکائیک و ملاک ارزیابی بیزی، بهترین مدل اتخاب شده است. در برآورد به روش بیزی مدل خطای فضایی با مقدار AICو BIC به ترتیب برابر ۲۷٤/۰۲۵۶ و ۲۷۹/۹۳۶۵ به عنوان بهترین مدل در بین مدل‌های برآورد شده انتخاب گردید و در هر دو مدل‌های خطای فضایی و تاخیر فضایی برازش بهتری نسبت به مدل رگرسیون خطی ساده به دست آمد. سپس به پیش‌بینی نرخ تصادفات در قطعات راه پرداخته و با مقایسه نرخ تصادفات واقعی و پیش‌بینی شده و استفاده از ملاک RMSE بهترین پیش‌بینی کننده انتخاب شده است که با بررسی RMSE مدلهای پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی در روش بیزی، مدل خطای فضایی با مقدار RMSE به میزان ۷/۰۶۹۷ به عنوان بهترین مدل پیش‌بینی کننده نرخ تصادفات در این تحقیق شناخته شد. نتایج این تحقیق در رتبه بندی راه و اولویت بندی تخصیص بودجه و ایمن سازی قطعات تصادف‌خیز و تهیه نقشه پراکندگی احتمال تصادفات در قطعات راه، کاربرد خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: اتورگرسیو فضایی، وابستگی فضایی، ماتریس وزن، پیش‌بینی نرخ تصادفات، برآورد به روش بیز

۱. مقدمه

یکی از نشانه‌های توسعه‌یافتگی کشورها گسترش ارتباطات و زیرساختهای حمل‌ونقل است. افزایش جمعیت منجر به افزایش تقاضا برای حمل‌ونقل خواهد شد. افزایش تقاضا برای حمل و نقل سبب ایجاد هزینه هایی می‌شود. این هزینه‌ها تنها شامل هزینه‌های مستقیم مانند ایجاد زیرساخت‌ها نبوده و هزینه‌هایی مانند اتلاف وقت، آلودگی‌های زیست محیطی و تصادفات ترافیکی و غیره را نیز شامل می‌شود. با توجه به اهمیت سلامت و جان افراد، مقوله ایمنی ترافیک اهمیت فراوانی دارد و در این راستا شناسایی عوامل تاثیر گذار بر تصادفات جاده‌ای دارای اهمیت بسیاری است.روشهای مختلفی در تحلیل تصادفات به منظور شناسایی عوامل تاثیرگذار بر تصادفات جاده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هدف اولیه این تحقیق،تحلیل تصادفات با استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی فضایی[۱] بخصوص مدل‌های مناسب برای داده‌های مقطع عرضی[۲] است. اصولا مدل‌های اقتصاد سنجی که برای تحلیل فراوانی تصادفات بکار می‌روند، با مدلهایی که به منظور تحلیل شدت تصادفات استفاده می‌شوند، تفاوت دارند. مدل‌هایی که برای تحلیل فراوانی تصادفات بکار می‌روند به دنبال ایجاد رابطه‌ای بین تصادفات و عوامل مرتبط در یک بخش معین و در یک دوره زمانی معین هستند و مدل‌هایی که برای تحلیل شدت تصادفات استفاده می شوند معمولا به دنبال ایجاد رابطه‌ای بین سطوح مختلف شدت (فوتی، جرحی، خسارتی) و ویژگی‌های تصادفات هستند. هر دو مدل‌های فراوانی و شدت تصادفات می‌توانند برای ایجاد رابطه‌ای بین تصادفات و عوامل مرتبط با آن بکار گرفته شوند و در واقع می‌توان از آنها به عنوان مدل‌های پیش‌بینی تصادفات نام برد که کاربردهای گسترده‌ای در کاهش فراوانی و شدت تصادفات بوقوع پیوسته دارند.

تحقیقات انجام شده در حوزه علم ترافیک و حمل‌ونقل به طور گسترده ای بر پایه داده‌های نمونه‌ای استوار است. مدلهای آماری به طور سنتی بر ایجاد رابطه بین برخی متغیرهای وابسته با تعدادی از متغیرهای تبیینی متمرکز هستند. این مدلها وابستگی فضایی را در محاسبات خود در نظر نمی‌گیرند. برای مثال مدل پیش‌بینی فراوانی تصادفات در تقاطعات چراغ دار، ممکن است شامل مشاهداتی از یک ناحیه معین جغرافیایی باشد، ولی به موقعیت تصادفات حساسیتی ندارد. مثلاً اگر یک سری از تقاطعات چراغدار در یک مسیر، فراوانی تصادفات زیادی داشته باشند، مدلهای معمول آماری مانند مدل دوجمله‌ای منفی[۳] اثر نزدیک بودن دو تقاطع خاص به یکدیگر را در نظر نمی‌گیرند، در حالی که این رابطه های فضایی می‌توانند مهم باشند. درصورتی‌که یک تقاطع در پایین دست تقاطع دیگر قرار داشته باشد، هر اتفاقی که در بالا دست رخ دهد، می‌تواند در پایین دست تأثیرگذار باشد. به عبارت دیگر ممکن است اثرات سرریز فضایی[۴] وجود داشته باشد[Mills and Fricker, 2011]. در واقع زمانی که داده‌ها دارای جزء مکانی هستند، ازآنجا که ممکن است وابستگی فضایی بین مشاهدات وجود داشته باشد، بکارگیری شیوه‌های مرسوم که این وابستگی را درنظر نمی‌گیرند چندان مناسب نیست. به عبارتی در مواجهه با مشاهدات و داده‌های مکانی، دو ویژگی وابستگی فضایی[۵] و ناهمسانی فضایی[۶] مورد توجه قرار خواهند گرفت [Lesage, 1998]. به عبارت بهتر، وابستگی فضایی بین مشاهدات وجود خواهد داشت و ناهمسانی فضایی در روابطی که مدلسازی می‌شوند، به وجود خواهد آمد. در واقع در صورتی که در اقتصادسنجی مرسوم، وابستگی فضایی و ناهمسانی فضایی مورد توجه قرار گیرد، فرض‌های گاس-مارکوف نقض خواهد شد. در قضیه گاس-مارکوف فرض می‌شود که متغیرهای مستقل در نمونه‌گیری‌های تکراری ثابت هستند که این فرض وابستگی فضایی بین نمونه‌ها را نقض می‌کند. همچنین ناهمسانی فضایی، فرض گاس- مارکوف در مورد وجود رابطه خطی مشخص بین مشاهدات نمونه‌ای را نقض می‌کند زیرا با فرض وجود وابستگی فضایی بین داده‌ها با حرکت بین داده‌های فضای نمونه رابطه تغییر خواهد کرد و ضرایب، تابع خطی بر حسب متغیر وابسته نخواهند بود، از این‌رو روش‌های اقتصادسنجی مرسوم کاربرد نخواهند داشت و استفاده از روش‌های اقتصادسنجی فضایی ضرورت می‌یابد[Asgari and Akbari, 2001].

سوالات اصلی این تحقیق عبارتند از:

آیا استفاده از مدل اتورگرسیو فضایی سبب افزایش کارآیی مدل‌های مورد استفاده در تصادفات خواهد شد؟

با توجه به ملاک‌های ارزیابی مدل،از بین مدل‌های فضایی و مدل رگرسیون خطی کدام مدل بهتر است؟

مطابق معیار RMSE کدام مدل پیش‌بینی دقیق‌تری از نرخ تصادفات ارائه خواهد کرد؟

۲. پیشینه تحقیق

تحلیل در سطح میانی مدیریت ایمنی به رابطه بین تعداد تصادفات مرتبط با قطعات راه و ویژگی‌های مختلف آن (عوامل مؤثر در وقوع تصادفات) در این قطعات می‌پردازد [PIARC, 2004]. عواملی که معمولاً در تحلیل قطعات راه استفاده می‌شوند عبارتند از ویژگی‌های افراد درگیر در تصادفات (برای مثال سن، جنس، سطح تحصیلات، وضعیت تاهل و غیره)، طرح هندسی قطعات (برای مثال تعداد خطوط، قوسهای افقی و قائم، درصد شیب و غیره)،ویژگی های ترافیکی (برای مثال جریان ترافیک ، سرعت) و شرایط روسازی راه (برای مثال ناهمواری). معمولا این داده ها در سطح قطعات راه جمع آوری و سپس با استفاده از مدل آماری مناسب مانند مدل پوآسون و یا مدل گاما- پوآسون (معروف به NB) تحلیل می‌شوند. مطالعات بسیاری در مورد مدلهای تصادفات بر پایه تحلیل در سطح قطعات راه انجام شده است [Šenk, Ambros, Pokorný, and Striegler, 2012]. بسیاری از این مطالعات مانند مطالعه آناستاسپولوس در سال ۲۰۱۲ روی آزادراه‌ها انجام شده است [Anastasopoulos, Mannering, Shankar and Haddock, 2012]. انواع دیگر مطالعات راه شامل مطالعات راه‌های بین ایالتی مانند مطالعه‌ای که شانکار و همکاران در سال ۱۹۹۵انجام دادند [Shankar, Mannering and Barfield, 1995] و یا راه‌های ایالتی مانند مطالعه‌ای که عبدل و آتی در سال ۲۰۰۰ انجام دادند [Abdel-Aty and Radwan, 2000] و برخی مطالعات دیگر هستند.

۲-۱ مطالعات انجام شده در سطح قطعات راه

در مطالعات مقطع عرضی از روشهای مختلفی جهت تقسیم شبکه راه به قطعات کوچک‌تر، استفاده می‌شود. اساساً دو روش در مطالعات موجود مورد استفاده قرار گرفته است: استفاده از قطعات با طول یکسان و قطعات با طول متغیر. روش دوم به منظور استفاده از قطعات همگن با مشخصات هندسی یکسان است، برای مثال، راه ها با عرض شانه یکسان می‌توانند به عنوان یک قطعه در نظر گرفته شوند. شانکر و همکاران (۱۹۹۵) مزایا و معایب این دو روش را مورد بحث قرار دادند و نتیجه گرفتند که استفاده از قطعات با طول یکسان بهتر است [Shankar et al. 1995]. با این‌حال برخی محققان از قطعات همگن در مطالعات خود استفاده کردند. لیو (۲۰۰۷) از قطعه بندی راه به کمک تقاطع‌ها استفاده کرد [Liu and Jarrett, 2007]. لیو قطعات راه و تقاطع‌ها را بر پایه داده‌ها و مدلهای مختلف، تحلیل و مقایسه کرد و نتیجه گرفت برای قطعات راه یکسان مدلهایی که اثرات وابستگی فضایی را بین قطعات همسایه در نظر می‌گیرند، بهتر برازش می‌شوند. در مطالعه لیو برخی از متغیرهای تبیینی مانند مشخصات هندسی راه در نظر گرفته نشد. در برخی موارد مانند مطالعه ایوان در سال ۲۰۰۰، از تحلیل قطعات با طول ثابت استفاده شده است، ویژگی مطالعه او این بود که هر قعطه دارای ویژگی های مقطع عرضی همگن بود (در تمام قطعات عرض خط و شانه یکسان بودند) [Ivan, Wang and Bernardo, 2000]. با این حال این فرض نمی‌تواند برای راه‌های طولانی و یا مدلی شامل چندین راه مختلف، مورد استفاده قرار گیرد. به طور خلاصه تصادفات در بسیاری از مطالعات مبتنی بر قطعات راه مورد تحلیل قرار گرفته اند که بسیاری از این مطالعات در آزاد راه‌ها و با طول قطعات یکسان انجام شده است.

۲-۲ مروری بر مدل‌های مورد استفاده در مطالعات قبلی و محدودیت‌های آنها

مدل کردن فراوانی تصادفات با متغیرهای تبیینی مختلف، تاریخچه طولانی در مطالعات گذشته دارد. از آنجا که فهم و کاربرد مدلهای رگرسیون خطی آسان است، مدلهای ابتدایی پیش بینی تصادفات

از نوع رگرسیون خطی بودند [Miaou and Lum, 1993]. باید اشاره کرد که این نوع از مدل‌ها برای داده‌های پیوسته مناسب هستند. تعداد تصادفات عموماً یک داده قابل شمارش است که خواص منحصربه فرد زیادی مانند تصادفی بودن، گسسته بودن و نامنفی بودن دارد از اینرو محققان دریافتند که مدل رگرسیون خطی برای داده‌های شمارشی مثل تصادفات مناسب نیست. مدلهای اقتصادسنجی برای داده‌های شمارش پذیر از مدتها قبل مورد استفاده قرار می‌گرفت، کاربردهای ابتدایی آن به سال ۱۸۹۰ برمی‌گردد، ولی تا ۱۹۹۰ در تحلیل تصادفات مورد استفاده قرار نگرفت [Cameron and Trivedi, 1998]. داده‌های شمارش پذیر مانند تعداد تصادفات معمولا با توزیع پوآسون مدل می‌شدند [Miaou and Lum, 1993]. به همین ترتیب مدلهای رگرسیونی به منظور ایجاد رابطه آماری بین تصادفات راه و عوامل مختلف مرتبط با وقوع تصادفات بکار می‌رفت. مدل رگرسیون پوآسون دارای محدودیتهایی است. یکی از این محدودیتها، فرض برابر بودن میانگین با انحراف معیاراست. اگر این فرض حاکم نباشد، خطاهای استاندارد منجر به نتایج اریب و نتیجه گیری اشتباه می‌شوند [Shankar et al. 1995]. داده‌های تصادفات به طور محسوسی پراکنده هستند (یعنی واریانس خیلی بزرگتر از میانگین است [Shankar et al. 1995]. به منظور حل مشکل پراکندگی داده‌های تصادفات مدل دو جمله ای منفی (مدل گاما- پوآسون) پیشنهاد گردید [Abdel-Aty and Radwan, 2000].

پیشرفتهای شگرفی در توسعه و استفاده از روش دو جمله ای منفی در تصادفات راه به وجود آمده است. مدلهای پوآسون/ دو جمله ای منفی اغلب در راستای توضیح بهتر ویژگی‌های مرتبط با داده‌های تصادفات بهبود یافته‌اند. استفاده از این مدلها (پوآسون یا دو جمله ای منفی) در مورد داده‌های مقطع عرضی سری زمانی مناسب نیست، زیرا در این مدل‌ها فرض می‌شود، مشاهدات مستقل از یکدیگرند. این موضوع بخصوص در مورد داده‌های پانلی[۷] بروز می‌نماید که چندین مشاهده برای یک ناحیه در طول زمان وجود دارد. در نتیجه برای رفع این مشکل در داده‌های پانلی هر دو مدل با اثرات ثابت یا تصادفی پوآسون/ دو جمله‌ای منفی پیشنهاد شدند و در تحلیل تصادفات بکار رفتند [Noland and Quddus, 2004].

اگرچه بکار بردن مدلهای دوجمله‌ای منفی در مطالعات تصادفات به سرعت در بین محققان ایمنی گسترش یافته، برخی قیود و محدودیت‌ها در این مدلها وجود دارند. برای مثال داده‌های مقطع عرضی مانند تصادفات، به موقعیتشان در طول راه وابسته هستند و زمانی که داده‌ها بعد مکانی می‌یابند، دو مشکل اساسی ایجاد می‌شود [Lesage, 1998]:

۱- وجود وابستگی فضایی بین مشاهدات،

۲- وقوع ناهمسانی فضایی در رابطه بین اجزایی که مدل شده‌اند.

با توجه به مشکلات بیان شده در مطالعات قبلی، در نظر گرفتن اثر وابستگی فضایی در مدل کردن تصادفات، ضروری به نظر می‌رسد.

۲-۳ مروری بر مطالعات انجام شده در رابطه با اقتصادسنجی فضایی و مدل‌های پیش‌بینی

در سال ۱۹۸۸ پروفسور انسلین، برای نخستین بار تصویر جامعی از واقعیتهای اقتصادسنجی فضایی ارائه نمود. وی بیان کرد که این مدلها دارای قابلیت وکاربرد بهتری نسبت به اقتصادسنجی مرسوم، در مطالعات منطقه ای و مکانی است و قادر است در مواجهه با داده ها و مشاهدات مکانی و منطقه‌ای مانند مطالعات بازرگانی، تجاری، جمعیتی و غیره جایگزین مدلهای اقتصادسنجی مرسوم شود [Anselin, 1988].

مدلهای اقتصادسنجی از معیاری کمی برای ایجاد رابطه‌های فضایی در ناحیه‌ای معین استفاده می‌کنند که در مقالات و مطالعات به ماتریس وزن شناخته می‌شود. انواع مختلف مدلهای اقتصادسنجی فضایی وجود دارند که در مطالعات مختلف بکار رفته است، که از آن جمله می‌توان به استفاده از مدلهای اقتصادسنجی فضایی در تعیین رشد منطقه‌ای در بریتانیا [Clewley and Soto-treviño, 2007]، ارزش زمین و میزان توسعه با ارزیابی املاک و مستغلات اشاره کرد. [Krause and Bitter, 2012]، الگوهای فضایی تغییرات جمعیت فیلها [Frank and Maurseth, 2006]، اثرات

زیرساختهای حمل و نقل بر ارزش املاک [Cohen and Paul, 2007]، الگوهای فضایی نتیجه انتخابات در پرتقال [Caleiro and Guerreiro, 2005] و عوامل تأثیرگذار در تبدیل نواحی روستایی به شهری اشاره کرد [Huang, Chin, and Haque, 2009].

مدلهای شدت تصادفات می‌توانند برای شناسایی عوامل موثر بر شدت تصادفات بکار روند و برای بهبود اقدامات لازم به منظور کاهش شدت تصادفات مفید باشند و مدلهای فراوانی تصادفات در شناسایی عوامل ریسک تأثیرگذار بر فراوانی تصادفات اثر گذارهستند، به عبارت دیگر به منظور ارزیابی اثر اقدامات ایمنی انجام شده بر راه از این مدلها استفاده می‌شود.

دو رویکرد برای این عملکرد وجود دارد:

۱- تحلیل مقطع عرضی یا داده‌های پانلی که عوامل ریسک می‌توانند به عنوان متغیرهای تبیینی در مدل در نظر گرفته شوند،

۲- مطالعات قبل و بعد که از روشهای تجربی یا بیزی کامل جهت ارزیابی اثر اقدام مشخص ایمنی انجام شده استفاده می‌کنند [Park,2009]. تحلیل مقطع عرضی یا داده‌های پانلی در مطالعات قبلی مانند مطالعه نولند در سال ۲۰۰۵ مورد استفاده قرار گرفته است [Noland and Quddus, 2005]. مطالعات قبل و بعد، اغلب به منظور ارزیابی عملکرد در محل مورد مطالعه قبل و بعد از انجام اقدامات ایمنی بکار می‌رود. روشهای بیز تجربی مدتهاست که با موفقیت در مطالعات قبل و بعد بکار می‌روند [Persaud and Lyon, 2007]. اخیرا مطالعه‌ای توسط عزیزی در مورد اثرات ایمنی قبل و بعد از ایجاد دوربرگردان با رویکرد بیز تجربی انجام شده است [Azizi and Sheikholeslami, 2013].استفاده از تحلیل مقطع عرضی/داده‌های پانلی یا تحلیل قبل و بعد کاملاً به نوع مطالعه و طبیعت داده ها بستگی دارد. در مطالعات قبل و بعد، عوامل ریسک (مثل چراغدار کردن تقاطع ها) اغلب شناخته شده است و اطلاعات حاصل از اعمال یک اقدام ایمنی در راستای بهبود ایمنی (مثل نصب چراغ های ترافیکی یا ایجاد یک دور برگردان) در دسترس است، بنابراین اثر این اقدامات، در محل می‌تواند ارزیابی شود. جدا از اینکه یک مطالعه بر پایه تحلیل مقطع عرضی/ داده پانلی یا تحلیل قبل و بعد باشد، مدلهای پیش بینی باید برآوردهای درستی در هر دو نوع مطالعه داشته باشد. این تحقیق بر پایه تحلیل مقطع عرضی یا داده‌های پانلی است که برای شناسایی عوامل مؤثر در وقوع تصادفات راه مفید است. یکی دیگر از کاربردهای مهم مدلهای پیش بینی تصادفات، رتبه بندی راه استکه با هدف شناسایی نواحی خطرناک که مشکلات ایمنی دارند بکار می‌رود. رتبه بندی راه را غربالگری شبکه نیز می‌نامند [Persaud, Lan, Lyon and Bhim, 2010]. نواحی که به صورت بالقوه نیاز به افزایش ایمنی دارند را در مقالات نقاط سیاه، نقاط داغ و یا نواحی در انتظار می‌نامند [Huang et al. 2009]. بعد از شناسایی نقاط سیاه تصادفات ، اقدامات مهندسی ضروری با توجه به محدودیت بودجه اعمال می‌شوند. این امر سبب افزایش ایمنی و اطمینان از ثمربخش بودن و بهره‌وری منابع تخصیص یافته می‌شود. چندین روش رتبه بندی راه وجود دارد که می‌توان آنها را به دو بخش روش رتبه بندی واقعی و روش رتبه بندی براساس مدل تقسیم نمود. روش رتبه بندی واقعی روش ساده‌ای است که از داده تصادفات مشاهده شده به طور خالص استفاده می‌کند، برای مثال رتبه بندی راه به ترتیب نزولی فراوانی تصادفات یا نرخ با استفاده از داده‌های تصادفات مشاهده شده،اگرچه روش رتبه بندی واقعی نسبتاً آسان است، ولی این روش دارای محدودیتهایی است و نتایج به دست آمده از این روش به طور قابل توجهی اریب هستند [Elvik, 2007]. از آنجا که تصادفات پدیده هایی وابسته به علتشان هستند و با توجه به عدم دقت کافی در علت وقوع آنها، این پدیده را با مدل‌های تصادفی می‌توان تحلیل نمود، مشاهده تصادفات برای محل مورد مطالعه در دوره ی زمانی کوتاه ممکن است مشکلات ایمنی را آشکار نکند. به عبارت دیگر نواحی با فراوانی یا نرخ تصادفات زیاد ممکن است به دلیل تغییرات آماری و نه مشکلات ایمنی باشد [Persaud and Lyon, 2007]. در مطالعه تصادفات، مشاهدات ب‌رای سه تا پنج سال جمع‌آوری می‌گردد [PIARC, 2004].

۳. روش تحقیق

هدف این تحقیق استفاده از مدل‌های اقتصاد سنجی فضایی در پیش‌بینی نرخ تصادفات است. متغیرهای سن، جنسیت، سطح تحصیلات رانندگان مقصردرتصادفات به عنوان متغیرهای تبیینی و نرخ تصادفات در قطعات راه به عنوان متغیر وابسته درنظرگرفته شد. با این حال از آنجا که تعداد رانندگان زن مقصر درتصادفات بسیار کم بود، بکار بردن این متغیر مستقل تأثیری در ارائه نتایج رگرسیون نداشت. همچنین رابطه معنی داری بین سن و نرخ تصادفات به دست نیامد و تنها رابطه معنی دار، سطح تحصیلات بود که مقدار p-value در جدول (۱) ارائه می‌گردد. نرخ تصادفات اشاره شده در رابطه (۲) پارامترهای طول قطعات، تعداد تصادفات در هر قطعه، تعداد سال مورد بررسی و متوسط سالانه ترافیک روزانه را در محاسبات لحاظ می‌نماید.

۳-۱ مدل اتورگرسیو فضایی در پیش‌بینی نرخ تصادفات

ساده‌ترین شکل مدل اتورگرسیو فضایی، مدل اتورگرسیو فضایی ساده است که در رابطه (۱) نشان داده شده است.

$$y=\rho wy+\varepsilon \qquad (۱)$$

که در آن:

y= نشان‌دهنده نرخ تصادفات‌است که مطابق رابطه (۲) تعریف می‌گردد، w= نشان دهنده ماتریس وزن فضایی است که در ادامه تعریف می‌گردد، ρ= نشان دهنده پارامتر تأخیر فضایی (یا اتورگرسیو فضایی) و ε= نشان دهنده بردار توزیع نرمال باقی‌مانده‌ها است.

$$y = R = \frac{F_i * 10^6}{365.25 * L_i * N * AADT} \qquad (۲)$$

که در آن:

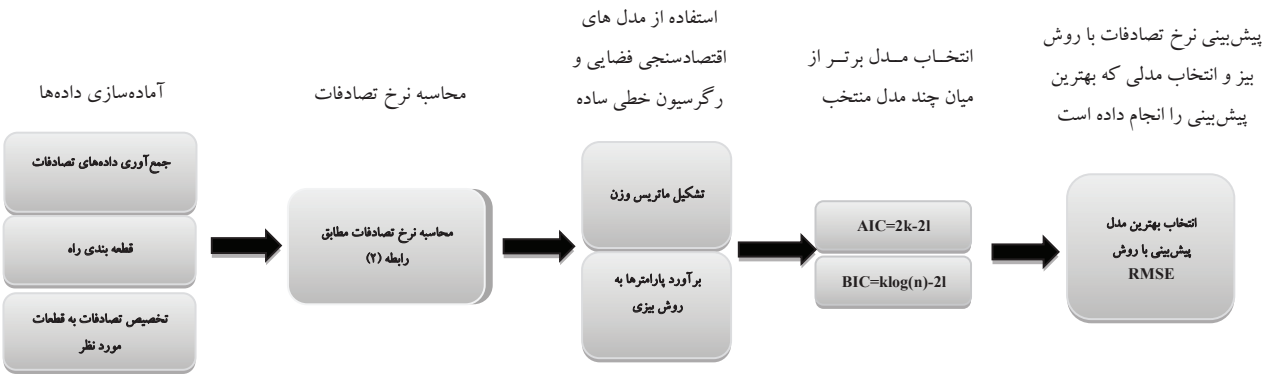
R= نرخ تصادفات ،F_i= فراوانی تصادفات در قطعه مورد نظر، L_i= طول قطعه مورد نظر، N= تعداد سال مورد مطالعه و AADT= میانگین سالانه ترافیک روزانه است

پارامتر w که در رابطه (۱) به آن اشاره گردید، بیانگر ماتریس وزن فضایی بوده که وظیفه آن ایجاد وابستگی بین قطعات راه است. روش‌های مختلفی برای تعیین وابستگی بین قطعات وجود دارد که می‌توان ماتریس وزن بر پایه مجاورت، ماتریس وزن بر مبنای فاصله و نزدیک‌ترین k همسایه را نام برد. در این تحقیق از ماتریس وزن بر پایه مجاورت استفاده می‌شود. مطابق تعریف، دو قطعه با یکدیگر همسایه‌اند اگر مرز مشترکی داشته باشند. باید توجه داشت که درایه‌های قطر اصلی در ماتریس وزن مجاورت، مقادیر صفر را به خود اختصاص می‌دهند. در مدلهای اقتصادسنجی فرض می‌شود، هر بخش فضایی با خود همسایه نیست. تبعیت نکردن از این فرض منجر به نتایجی می‌شود که به طور قابل توجهی پیچیده بوده و به راحتی قابل تفسیر نیستند. سرریز فضایی تنها بر یک همسایه ناحیه مورد مطالعه تأثیر نمی‌گذارد، بلکه بر همسایه‌های همسایه هم تأثیرگذار است و این زنجیره ادامه می‌یابد تا اثرات سرریز به محدوده ناحیه مورد مطالعه برسد. همسایگی‌های مرتبه اول نزدیک‌ترین همسایه‌ها به بخش فضایی موردنظر هستند. همسایگی های مرتبه دوم همسایه‌های، همسایگی مرتبه اول است. همسایگی های مرتبه سوم همسایگی‌های، همسایگی مرتبه دوم هستند [LeSage, 2009]. با این‌حال در این تحقیق تنها اثرات همسایگی مرتبه اول در نظر گرفته خواهد شد. در صورتی‌که تنها پنج قطعه موجود باشد، ماتریس وزن به صورت شکل (۱) خواهد بود که در آن قطعاتی که با یکدیگر مجاور هستند با درایه یک و قطعاتی که مجاور نیستند، با درایه صفر نشان داده شده است. مطابق آنچه بیان گردید درایه‌های قطر اصلی صفر هستند یعنی هر قطعه با خودش همسایه نیست.

۰	۱	۰	۰	۰
۱	۰	۱	۰	۰
۰	۱	۰	۱	۰
۰	۰	۱	۰	۱
۰	۰	۰	۱	۰

شکل۱. ماتریس وزن برای یک راه فرضی با ۵ قطعه

مراحل انجام این تحقیق به طور خلاصه در شکل (۲) ارائه شده است. در مرحله اول پس از به دست آوردن اطلاعات تصادفات در طول راه، با تقسیم آزاد راه به قطعات با طول یکسان، هر تصادف به قطعه مورد نظر تخصیص داده خواهد شد. در مرحله دوم با توجه



شکل۲. مراحل انجام تحقیق

به رابطه (۲) نرخ تصادفات محاسبه می‌شود. سپس در مرحله سوم با تشکیل ماتریس وزن فضایی، ارتباط بین قطعات راه برقرار می‌شود و پارامترهای مدل‌های اشاره شده در روابط (۳) تا (۸) که در ادامه معرفی می‌شوند، محاسبه می‌گردند. در مرحله چهارم مدل برتر از میان سایر مدل‌ها انتخاب خواهد شد که این مدل می‌تواند با ملاک‌های ارزیابی آکائیک و بیزی شناسایی گردد. در نهایت در مرحله پنجم به پیش‌بینی نرخ تصادفات پرداخته خواهد شد و مدلی که بهترین پیش‌بینی را انجام می‌دهد، مطابق معیار جذر میانگین مربعات خطا[۸] که در رابطه (۱۲) نشان داده شده، انتخاب خواهد شد.

در این تحقیق چهار مدل مختلف برآورد و با یکدیگر مقایسه خواهند شد. این مدلها عبارتند از مدل رگرسیون خطی ساده، مدل اتورگرسیون فضایی، مدل تأخیر فضایی و مدل خطای فضایی. شکل کلی این مدل‌ها در روابط (۳) تا (۸) بیان گردیده است:

رگرسیون خطی ساده:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \qquad (۳)$$

که در آن:

Y= متغیر وابسته، x= متغیر مستقل، β_0 و β_1 = ضرایب خطی هستند.

اتورگرسیو فضایی:

$$\begin{cases} y = \rho w y + \varepsilon \\ \varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \end{cases} \qquad (٤)$$

که در آن:

y= بردار متغیر وابسته، ρ= ضریب اتورگرسیو فضایی، w= ماتریس وزن فضایی، ε = بردار نوفه سفید فضایی[۹] است.

مدل تاخیر فضایی: مطابق رابطه (۵) مفهوم اثرات مرتبه دوم، مرتبه سوم و مراتب بالاتر می‌تواند به بهترین شکل، از طریق مدل تأخیر فضایی نشان داده شود. این مدل به شکل رابطه (۵) است.

$$\begin{cases} y = \rho w y + x\beta + \varepsilon \\ \varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \end{cases} \qquad (۵)$$

که در آن:

Y= بردار متغیر وابسته، ρ= ضریب اتورگرسیو فضایی، w= ماتریس وزن فضایی، $\boldsymbol{x_{n*k}}$= ماتریس طرح متشکل از k متغیر تبیینی، β= بردارهای K*1 ضرایب رگرسیونی هستند.

معادله (۵) می‌تواند بصورت رابطه (٦) بازنویسی شود.

$$y = (I - \rho w)^{-1} (X\beta + \varepsilon) \qquad (٦)$$

که در آن I ماتریس یکه (واحد) است. $(I - \rho w)^{-1}$ شمارنده فضایی است که اگر به صورت سری های نامحدود نوشته شود مطابق رابطه (۷) داریم:

$$(I - \rho w)^{-1} = 1 + \rho w + \rho^2 w^2 + \rho^3 w^3 + \cdots \qquad (۷)$$

این بسط شمارنده فضایی نشان دهنده اثرات مرتبه دوم، مرتبه سوم و مراتب بالاتر است. قدرت و اثر سرریز فضایی بستگی به ویژگی ماتریس وزن دارد و به همین دلیل است که انتخاب ماتریس وزن مهم است.

مدل خطای فضایی:

$$\begin{cases} y = x\beta + \varepsilon \\ \varepsilon = \rho w y + u \quad u \sim N(0, \sigma^2) \end{cases} \qquad (۸)$$

که در آن متغیرها و ضرایب مطابق مدل تاخیر فضایی تعریف می‌گردد.

۳-۲ برآورد و آزمون وابستگی فضایی

کلی ترین روش آماری مورد استفاده برای تعیین وابستگی فضایی، آزمون آماری موران [Moran's I statistics] است.

فرم این آزمون آماری برای n مشاهده از متغیر x در موقعیت j در رابطه (۹) نشان داده شده است:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \qquad (۹)$$

که در آن:

w_{ij}= المانهای ماتریس وزن فضایی برای نمونه به اندازه n،

x= میانگین متغیرهای پاسخ،

□s= مجموع المانهای ماتریس وزناست.

اگر مقدار value-P برابر ۰/۰۵ یا کمتر باشد، این آزمون آماری نشان دهنده وجود نوعی همبستگی فضایی است. باید توجه داشت که این آزمون مشخص نمی‌کند که آیا بین مشاهدات تأخیر فضایی وجود دارد یا خطای فضایی.

۳-۳ انتخاب مدل برتراز میان چند مدل منتخب

برای انتخاب مدل برتر از میان چند مدل منتخب، ملاک‌های ارزیابی متفاوتی وجود دارند. برای مقایسه مدلهای استفاده شده در این تحقیق از ملاک اطلاع آکائیک[10] و ملاک اطلاع بیزی[11] استفاده خواهد شد که در ادامه به اختصار توضیح داده می‌شود.

ملاک اطلاع آکائیک، اندازه‌ای از میزان نکویی برازش نسبی یک مدل آماری است که به صورت رابطه (۱۰) تعریف می‌گردد:

$$AIC=2K-2l \qquad (۱۰)$$

که در آن :

K= تعداد پارامترهای مدل،L= لگاریتم تابع بیشترین درستنمایی.

برای مجموعه‌ای از مدل ها، مدلی بهتر است که دارای کمترین مقدار AIC باشد.

ملاک اطلاع بیزی: به صورت رابطه(۱۱) تعریف می‌گردد:

$$BIC=klog(n)-2l \qquad (۱۱)$$

که در آن:

n =حجم نمونه، K= تعداد پارامترهای برآورد شده در مدل است.

مدل با کوچک ترین مقدار این ملاک نسبت به سایر مدل‌ها ترجیح داده می‌شود.

۳-٤ انتخاب مدلی که بهترین پیش‌بینی را انجام می‌دهد

برای این منظور از معیار جذر میانگین مربعات خطا، استفاده می‌شود. جذر میانگین مربعات خطا،تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی است. این معیار، ابزار خوبی برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی است و مطابق رابطه (۱۲) محاسبه می‌گردد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \qquad (۱۲)$$

که در آن:

RMSE= معیار جذر میانگین مربعات خطا، X_{obs}= مقادیر مشاهده شده در قطعه i، X_{model}= مقادیر پیش بینی شده توسط مدل در قطعه i و n تعداد قطعات هستند.

٤. مطالعه موردی

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق مربوط به داده‌های تصادفات آزادراه زنجان-قزوین، در حوزه استحفاظی استان زنجان به طول ۱۰۵ کیلومتر و مدت ٤ سال است. این داده‌ها با کمک سازمان حمل و نقل و پایانه‌های استان زنجان به دست آمد و از آنجا که جمع آوری داده‌ها از کروکی تصادفات پلیس راه استان بوده، دارای اعتبار است.

۵. برآورد مدل‌ها و تجزیه و تحلیلیافته‌ها

در این بخش با استفاده از آزمون آماری موران وابستگی قطعات به یکدیگر آزموده شده و سپس با استفاده از روش بیز به برآورد پارامترها در مدل‌های رگرسیون خطی، اتورگرسیو فضایی ساده، تاخیر فضایی و خطای فضایی پرداخته خواهد شد.

پس از محاسبه آزمون موران، مقدار p-value برابر 2.6499e-004 به دست آمد که نشان دهنده وجود نوعی همبستگی فضایی بین قطعات راه و تاییدی بر وابستگی فضایی تصادفات در قطعات راه است.

۵-۱ برآورد پارامترها با روش بیز

تعیین چگالی‌های ناشناخته در بسیاری از کاربردها نظیر مدل‌های بیزی پیچیده، تنها به کمک شبیه‌سازی ممکن بوده و در این میان روش‌های مونت کارلوی زنجیره مارکفی[۱۲] بیشترین سهم را دارند. در روش مونت کارلو نمونه‌هایی از توزیع مطلوب استخراج نموده و میانگین‌های نمونه‌ای را برای تقریب امید ریاضی به کار می‌بریم. روش‌های مونت کارلوی زنجیر مارکفی، نمونه‌ها را با استفاده از ساختن یک زنجیر مارکف و نمونه‌گیری از آن پس از نیل به حالت ایستایی انتخاب می‌کنند.

استنباط بیزی بر اساس نمونه‌ای به حجم ۵۰۰۰، از زنجیر شبیه‌سازی شده مارکف مونت کارلو با تکرار ۲۵۰۰ که بر اساس بررسی‌های انجام شده مرحله داغیدن[۱۳] ۲۵۰۰ تشخیص داده شده انجام می‌گیرد. با توجه به اینکه توزیع واقعی پارامترها نامشخص است، توزیع پیشین پارامترهای مدل ناآگاهی بخش با توزیع نرمال میانگین صفر و واریانس بسیار بزرگ در نظر گرفته می‌شود.

$$\beta_o, \beta_1 \sim N_2\,(0,\ 10^{12} I_2) \qquad (۱۳)$$

چهار مدل رگرسیون خطی ساده ، مدل اتورگرسیو همزمان ، مدل تاخیر فضایی و مدل خطای فضایی با رهیافت بیزی برازش داده شد و نتایج در جدول(۱) ارائه شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود ضرایب مدل‌های رگرسیون خطی، مدل اتورگرسیو فضایی ساده، مدل تاخیر فضایی و مدل خطای فضایی در سطح معنی داری ۰/۰۵ معنی‌دار هستند و با توجه به اینکه برآورد ضریب تحصیلات بر میزان نرخ تصادفات منفی است، افزایش سطح تحصیلات تاثیری معکوس بر نرخ تصادفات خواهد داشت. مشاهده می‌شود که برآورد پارامترها با روش بیزی مناسب بوده و تمامی مدل‌ها با این رویکرد معنی دار هستند. ضریب اتورگرسیو فضایی در مدل اتورگرسیو فضایی ساده برابر صفر بوده و نشان دهنده رابطه فضایی قوی‌تری نسبت به سایر مدلها است و در مقایسه مدل‌های تاخیر فضایی و خطای فضایی مدل تاخیر فضایی که مقدار p-value کمتری را به خود اختصاص داده، نشان دهنده رابطه فضایی قوی تری نسبت به مدل خطای فضایی است.

۵-۲ انتخاب مدل برتر با کمک ملاک ارزیابی آکائیک و ملاک ارزیابی بیزی

مقادیر ملاک‌های ارزیابی آکائیک و بیزی محاسبه گردید و نتایج در جدول (۲) ارائه شده است.مطابق جدول (۲)، پس از در نظر گرفتن وابستگی فضایی قطعات به یکدیگر نتایج مدل‌ها بهتر شده و این اثر را می‌توان در مقدار ملاک اطلاع آکائیک مدل تاخیر فضایی با متغیر مستقل سطح تحصیلات افراد درگیر در تصادفات ۲۸۱/۹۴۲ و ملاک اطلاع بیزی آن ۲۸۷/۸۵۳ مشاهده نمود. همچنین ملاک اطلاع آکائیک و بیزی مدل خطای فضایی با یک متغیر مستقل سطح تحصیلات افراد درگیر در تصادف به ترتیب برابر ۲۷٤/۰۲٦ و ۲۷۹/۹۳٦ است. هر دو مدل‌های تأخیر فضایی و خطای فضایی بهتر از مدل رگرسیون خطی ساده با متغیر مستقل سطح تحصیلات عمل کرده‌اند که این موضوع با توجه به مقادیر ملاک اطلاع آکائیک و ملاک اطلاع بیزی مدل رگرسیون خطی ساده با متغیر مستقل سطح تحصیلات به ترتیب برابر ۲۹۱/۹۱۰ و ۲۹۵/۸۵۱ قابل مشاهده است که هر دو این مقادیر بزرگ‌تر از ملاکهای ارزیابی مدل‌های خطای فضایی و تاخیر فضایی هستند. در برآورد پارامترها به روش بیزی مدل خطای فضایی با متغیر مستقل سطح تحصیلات افراد درگیر در تصادفات با کمترین مقدار ملاک‌های ارزیابی آکائیک و بیزی به ترتیب برابر برابر ۲۷٤/۰۲٦ و ۲۷۹/۹۳٦ کارآمدترین مدل نشان داده شده است.

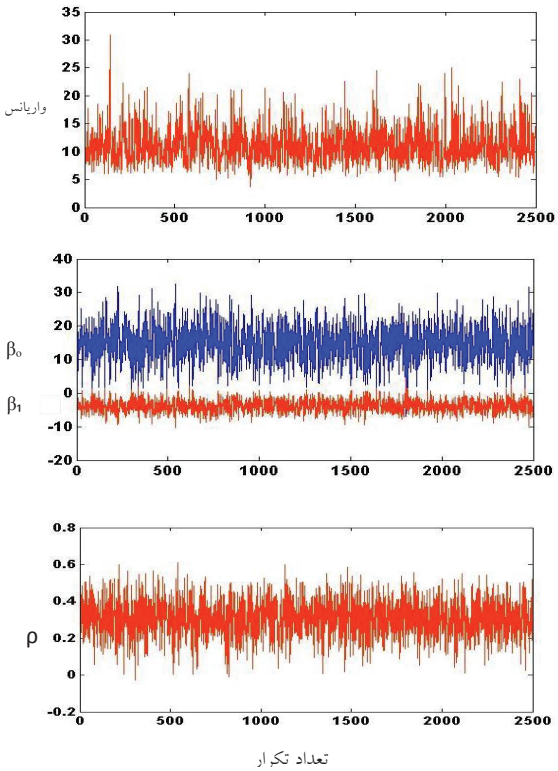
جدول ۱. برآورد بیزی پارامترها در مدل‌ها با ماتریس وزن مجاورت

پارامتر	رگرسیون خطی		مدل اتورگرسیو فضایی ساده		مدل تاخیر فضایی		مدل خطای فضایی	
	برآورد	p-مقدار	برآورد	p-مقدار	برآورد	p-مقدار	برآورد	p-مقدار
β_o	۱۷/۵۷۰	۰/۰۰٤	-	-	۱٤/۸۲۵	۰/۰۰۲	۱٦/۹۱۲	۰/۰۰٤
β_1	-۳/۸۹۷	۰/۰۳۸	-	-	-۳/۷۹۱	۰/۰۲۵	-۳/٦٦۹	۰/۰٤٤
Rho	-	-	۰/۵۵۸	۰/۰۰۰	۰/۳۰۸	۰/۰۰۱	۰/۳۲٦	۰/۰۰۲

جدول۲.مقایسه مدل‌های مختلف با براورد بیزی و ماتریس وزن مجاورت با معیار AIC,BIC

نام مدل	BIC	AIC
رگرسیون خطی	۲۹۵/۸۵۱	۲۹۱/۹۱۰
مدل اتورگرسیو همزمان	۳۵۵/۷۱۳	۳۵۳/۷۴۲
مدل تاخیر فضایی	۲۸۷/۸۵۳	۲۸۱/۹۴۲
مدل خطای فضایی	۲۷۹/۹۳۶	۲۷۴/۰۲۶

شکل (۳) نمودار تابع چگالی پسین و اثر پارامترهای متغیرهای تبیینی β_1,β□، واریانس و ضریب اتورگرسیو فضایی ρ در مدل خطای فضایی است که بهترین مدل پیشنهادی با برآورد بیزی است.



شکل۳. تابع چگالی و اثر توزیع پسین پارامترهای β_1 , β□ , σ^2 , ρ در مدل خطای فضایی

همانطور که مشاهده می‌شود تابع چگالی و اثر توزیع پسین پارامترها دارای روند خاصی نبوده و همگرا نیز هست و بنابراین مدل‌ها برآورد خوبی ارائه کرده اند.

۵-۳ پیش بینی نرخ تصادفات

به منظور مقایسه دقت پیشگویی‌های انجام شده در ۵۳ قطعه آزاد راه از داده‌های سال ۸۹ استفاده گردیده است. معیار مجذور میانگین توان‌های دوم تفاضل بین مقادیر واقعی و پیشگویی شده مشاهدات (RMSE) محاسبه شده و در جدول ۳ نمایش داده شده است. واضح است هر مدلی که RMSE کمتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته باشد، پیشگویی دقیق‌تری را فراهم می‌سازد. مقادیر RMSE پیشگویی با مدل‌های برآورد شده با روش بیزی در جدول زیر ارائه شده است. با مقایسه RMSE هر چهار مدل منتخب، مدل تاخیر فضایی کمترین RMSE را دارا است. مقادیر RMSE سایر مدل‌ها تقریبا نزدیک هستند. نمودار نرخ تصادفات پیش بینی شده و واقعی در شکل های ٤ نمایش داده شده است.

٥-٤ انتخاب مدلی که بهترین پیش‌بینی را انجام داده با معیار RMSE

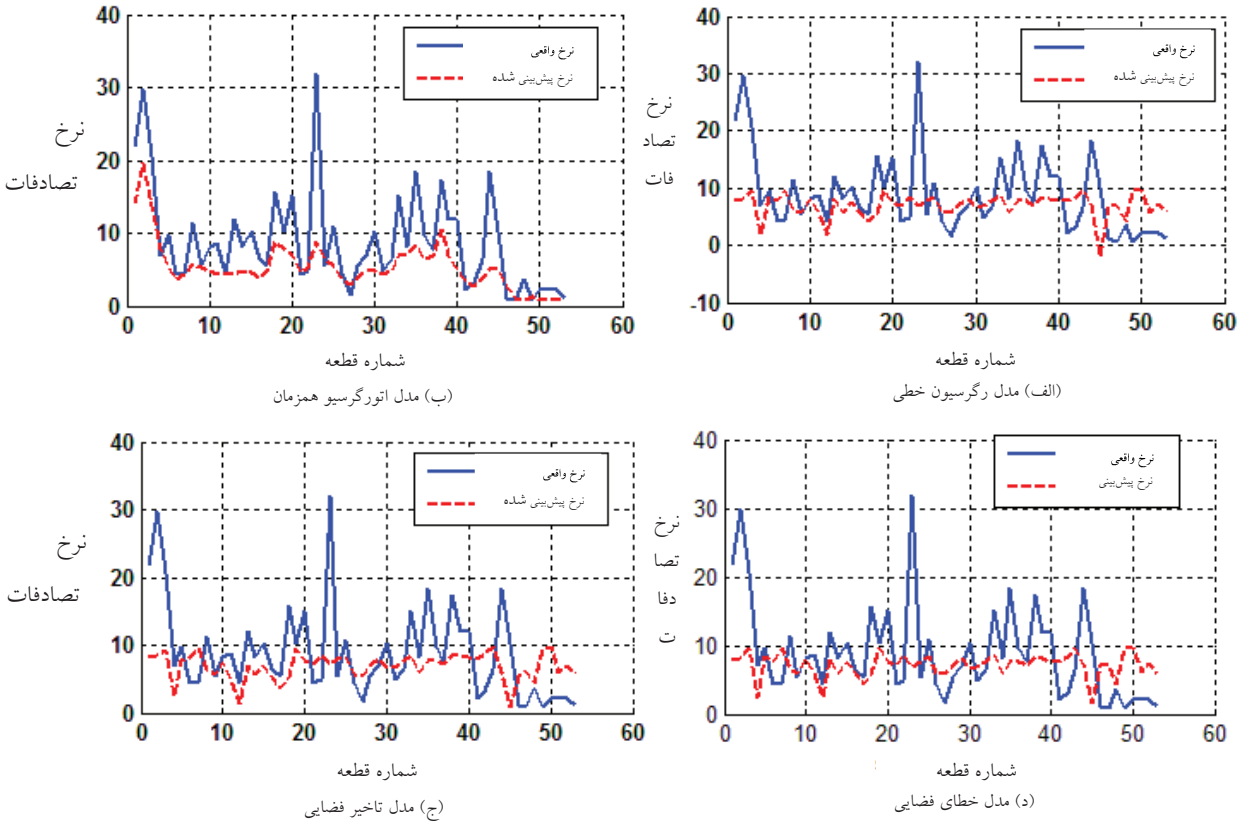
همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، در برآورد مدل‌ها به روش بیزی مدل خطای فضایی که دارای RMSE به مقدار ۷/۰۷۰ است، به عنوان بهترین پیشگویی کننده شناخته خواهد شد و پیش‌بینی بر اساس آن دقیق‌تر است. شایان ذکر است مقادیر RMSE با نتایج حاصله از ملاک‌های ارزیابی مدل به روش ملاک اطلاع آکائیک و ملاک اطلاع بیزی منطبق است (رجوع شود به جدول۲).

جدول۳. RMSE مقادیر پیشگویی با مدل‌های منتخب برآورد شده با روش بیزی

نام مدل	RMSE
رگرسیون خطی	۷/۰۸۱
مدل اتورگرسیو همزمان	۷/۰۷۰
مدل تاخیر فضایی	۷/۱۱۰
مدل خطای فضایی	۷/۰۷۰

٦. نتیجه گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آتی

همبستگی فضایی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و با مقایسه مدل خطی ساده و مدل‌های اتورگرسیو مشخص گردید که استفاده از مدل‌های اتورگرسیو فضایی سبب افزایش کارآیی مدل می‌گردد. مطابق آزمون موران وجود وابستگی فضایی بین قطعات راه اثبات شده و بنابراین برآورد مدلهایی که این وابستگی را در نظر



شکل٤. نمودار مقادیر واقعی (خط ممتد)و پیشگویی شده (خط‌چین) مدل‌های مختلف با روش بیزی

نمی‌گیرند اریب خواهد بود و دقیق نیست.

استفاده از ماتریس همسایگی نزدیک‌ترین اولین همسایه با توجه به طول قطعات(دو کیلومتر) نشان دهنده رابطه هر قطعه با قطعه بعد و قبل از خود است.

از آنجا که سطح تحصیلات به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد، تمام مدل‌ها بیانگر رابطه معکوس سطح تحصیلات افراد درگیر در تصادفات و نرخ تصادفات بودند.به این معنی که افزایش سطح تحصیلات سبب کاهش تصادفات می‌گردد.

پس از بررسی و مقایسه مدل‌های پیش بینی نرخ تصادفات در آزادراه قزوین–زنجان به کمک معیار RMSE مشاهده گردید که مدل خطای فضایی با RMSE به ۷/۰۷۰ دقیقتر از سایر مدل‌ها است و با پیش‌بینی نرخ تصادفات با این مدل نتایج دقیق‌تری حاصل می‌گردد.

با کمک پیش‌بینی نرخ تصادفات در قطعات بحرانی، اقدامات ایمن سازی و مطالعه بر روی علل بالا بودن نرخ تصادفات در این قطعات انجام خواهد گرفت و این روش، روشی کارآمد و رویکردی جدید در تصمیم‌گیری در ارتباط با تخصیص بودجه و اولویت‌بندی قطعات حادثه خیز است.

در این تحقیق از قطعات با طول یکسان استفاده گردید، با این‌حال در نظر گرفتن قطعات همگن می‌تواند در تحقیقات آتی مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به اینکه در این تحقیق تنها به پیش‌بینی نرخ تصادفات پرداختیم، با این حال در نظر گرفتن مدل های پیش‌بینی با توجه به نوع تصادفات فوتی، جرحی، خسارتی می‌تواند در مطالعات بعدی مورد بررسی قرار گیرد.

ازآنجا که تنها اثر همسایگی مرتبه اول در این تحقیق لحاظ گشته است، اثر همسایگی های مراتب بالاتر در ماتریس وزن می‌تواند در مطالعات بعدی بررسی گردد.

با توجه به اینکه در برآورد پارامترها از روش بیز استفاده گردیده، استفاده از سایر روش‌های برآورد پارامترها مانند روش بیشترین درستنمایی می‌تواند در مطالعات بعدی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج با این مطالعه مقایسه گردد.

۷. پی نوشت‌ها

1. Spatial econometrics
2. Cross section
3. Negative binomial
4. Spatial overflow
5. Spatial Dependence
6. Spatial Heteroscedasticity

۷. داده‌های پانلی یا Panel data: در آمار و اقتصاد سنجی، مجموعه داده‌های پانلی شامل مشاهداتی برای چندین بخش(خانوار، بنگاه و...) هستند که در طی زمان‌های مختلف جمع آوری شده‌اند. یعنی یک مدل داده‌های پانل، حاوی اطلاعاتی در زمان و مکان است که شامل N مؤلفه در T دوره زمانی است.

8. Root Mean Square Error (RMSE)

۹. نوفه سفید فضایی یا white noise: به معنی آلودگی صوتی و یا سیگنالی ناخواسته است که شکل سیگنال‌ها را تغییر می‌دهد و باعث بروز اختلال می‌شود. در علم آمار به ترم خطاهای به وجود آمده در مدل نیز گفته می‌شود.

9. AIC
10. BIC
11. Markov chain Monte Carlo (MCMC) methods
12. burn-in

۸. منابع

- Abdel-Aty, M. A. and Radwan, A. E. (2000) "Modeling traffic accident occurrence and involvement",Accident Analysis and Prevention, 32(5), pp. 633–642.

-Anastasopoulos, P. C., Mannering, F. L., Shankar, V. N. and Haddock, J. E. (2012) "A study of factors affecting highway accident rates using the random-parameters tobit model", Accident Analysis and Prevention", 45, pp. 628–633.

-Anselin, L. (1988) "Lagrange multiplier test diagnostics for spatial dependence and spatial heterogeneity", Geographical Analysis, 20(1), pp. 1–17.

-Asgari, A. and Akbari, N. (2001) "Spatial econometric methodology, theory and applications", Research Bulletin of Isfahan University (Humanities), 12(1-2), pp. 93–122.

-Azizi, L. and Sheikholeslami, A. (2013) "Safety effect of u-turn conversions in Tehran: Empirical Bayes observational before-and-after study and crash prediction models", Journal of Transportation Engineering, 139(1), pp. 101–108.

-Caleiro, A. and Guerreiro, G. (2005) "Understanding the election results in Portugal: A spatial econometric point of view", Portuguese Economic Journal, 4(3), pp. 207–228.

-Cameron, A. C. and Trivedi, P. K. (1998) "Regression analysis of count data", Society , Vol. 41.

-Clewley, R. and Soto-treviño, C. (2007) "British regional growth and sectoral trends - global and local spatial econometric approaches", National Institute for Regional and Spatial Analysis, Ireland: Mynooth University.

-Cohen, J. P. and Paul, C. M. (2007) "The impacts of transportation infrastructure on property values: A higher-order spatial econometrics approach", Journal of Regional Science, 47(3), pp. 457–478.

-Elvik, R. (2007) "State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks", Institute of Transport Economics. Retrieved from www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/TI rapporter/2007/883-2007/883-2007- nett.pdf

-Frank, B. and Maurseth, P. B. (2006) "The spatial econometrics of elephant population change", A note. Ecological Economics, 60(1), pp. 320–323.

-Huang, B., Zhang, L. and Wu, B. (2009) "Spatiotemporal analysis of rural–urban land conversion", International Journal of Geographical Information Science.

-Huang, H., Chin, H. and Haque, M. (2009)"Empirical evaluation of alternative approaches in identifying crash hot spots", Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, 2103(-1), pp. 32–41.

-Ivan, J. N., Wang, C. and Bernardo, N. R. (2000) "Explaining two-lane highway crash rates using land use and hourly exposure", Accident Analysis and Prevention, 32(6), pp. 787–795.

-Krause, A. and Bitter, C. (2012) "Spatial econometrics, land values and sustainability: Trends in real estate valuation research", Cities, 29(SUPPL.2).

-LeSage, J. (2009)" Introduction to spatial econometrics, Systems Engineering". CRC Press.

-Lesage, J. P. (1998) "Spatial econometrics. review literature and arts of the Americas", 31.

-Liu, Y. and Jarrett, D. (2007) "Spatial statistical modelling of traffic accidents", In 9th International Conference on GeoComputation. Maynooth, Ireland: National University of Ireland in Maynooth.

-Miaou, S. P. and Lum, H. (1993)"Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships". Accident Analysis and Prevention, 25(6), pp. 689–709.

- Mills, J. B. and Fricker, J. D. (2011) "Spatial panel econometric analysis of the economic impacts of bypasses: a regional approach", In Annual Meeting of the Transportation Research Board.

-Noland, R. B. and Quddus, M. A. (2004)"A spatially disaggregate analysis of road casualties in England", Accident Analysis and Prevention, 36(6), pp. 973–984.

-Noland, R. B. and Quddus, M. A. (2005) "Congestion and safety: A spatial analysis of London", Transportation Research Part A: Policy and Practice, 39(7-9), pp.737–754.

-Park, E. S., Park, J. and Lomax, T. J. (2010) "A fully Bayesian multivariate approach to before-after safety evaluation", Accident Analysis and Prevention, 42(4), pp. 1118–1127.

-Persaud, B., Lan, B., Lyon, C. and Bhim, R. (2010) "Comparison of empirical Bayes and full Bayes approaches for before-after road safety evaluations", Accident Analysis and Prevention, 42(1), pp. 38–43.

-Persaud, B. and Lyon, C. (2007)"Empirical Bayes before-after safety studies: Lessons learned from two decades of experience and future directions", Accident Analysis and Prevention, 39(3), pp. 546–555.

-Šenk, P., Ambros, J., Pokorný, P. and Striegler, R. (2012) "Use of accident prediction models in identifying hazardous road locations", Transactions on Transport Sciences, 5(4), pp. 223–232.

-Shankar, V., Mannering, F. and Barfield, W. (1995)"Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies", Accident Analysis and Prevention, 27(3), pp. 371–389.