روش‌های مطالعه فراوانی، توزیع مکانی و شدت حوادث ترافیکی مرتبط با عابران پیاده در مناطق شهری: یک مطالعه مروری

علی مرادی[۱]، حمید سوری[۲*]، امیر کاووسی[۳]، فرشید عشق آبادی[۴]

۱. دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. مرکز تحقیقات ایمنی و پیشگیری از مصدومیتها، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۴. گروه جغرافیای انسانی و برنامه ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

نشریه پایش
سال پانزدهم شماره ششم، آذر ـ دی ۱۳۹۵ صص ۶۵۲-۶۳۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۷/۶
[نشر الکترونیک پیش از انتشار- ۱۰ شهریور ۹۵]

چکیده

بر اساس برآوردها در سال ۲۰۱۰ حدود ۲۷۳ هزار عابر در جهان به علت حوادث ترافیکی حوادث ترافیکی جان خود را ازدست‌داده‌اند. مطالعات نشان داده اند که اکثر حوادث ترافیکی مرتبط با عابران به‌ویژه در کشورهای با درآمد بالا در معابر درون‌شهری اتفاق می‌افتد و عابران پیاده بیشترین نسبت مرگ‌های ناشی از حوادث ترافیکی در شهرهای پرجمعیت جهان را به خود اختصاص می‌دهند. به دلیل اهمیت انتخاب یک روش مناسب جهت مطالعه دقیق حوادث ترافیکی مرتبط با عابران، این مطالعه مروری به‌منظور مقایسه روش‌های مختلف و بررسی نقاط ضعف و قوت هریک از این روش‌ها انجام شد.

این مطالعه مروری بر اساس جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل مجدد اطلاعات و مقالات موجود انجام شد. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات لازم در بانک‌های اطلاعاتی و منابع غیر الکترونیکی جستجوی کامل به‌عمل‌آمده و منابع گردآوری‌شده در نرم‌افزار End note دسته‌بندی شد. در مطالعات یافت شده روش‌های مورد استفاده جهت تجزیه و تحلیل مورد بررسی و ارزیابی قرارگرفته و جمع‌بندی شدند.

سابقه مطالعه حوادث ترافیکی مرتبط با عابران به دهه ۱۹۸۰ برمی‌گردد. در طی سال‌های دهه ۱۹۹۰ جای پای روش‌های جدید ازجمله سیستم اطلاعات جغرافیائی و الگوهای آماری جهت مطالعه حوادث ترافیکی مرتبط با عابران باز شد. در طی این سال‌ها چندین مطالعه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیائی و الگوهای آماری انجام شد. در طی سال‌های اخیر با توجه به پیشرفت‌های حاصل‌شده در نرم‌افزارهای مختلف، محققان حوادث ترافیکی مرتبط با عابران را با استفاده از روش‌های نوین و پیشرفته موردمطالعه قرار داده‌اند و با تلفیق روش‌های گوناگون زمینه‌های لازم برای شناسایی دقیق‌تر عوامل مؤثر بر پراکندگی و شدت آن‌ها فراهم نموده‌اند.

روش‌های مختلفی جهت مطالعه حوادث و جراحات در عابران پیاده وجود دارد و طی سال‌های اخیر روش‌های تجزیه‌وتحلیل این نوع حوادث و جراحات تکامل زیادی پیداکرده است. در سایه پیشرفت‌های اخیر ازنظر روش‌شناسی و نرم‌افزاری مشکلات موجود در شناسایی علل این نوع حوادث کاهش‌یافته و بینش‌های جدیدی در این زمینه حاصل‌شده است.

کلیدواژه: حوادث ترافیکی، عابران، سیستم اطلاعات جغرافیائی، الگوهای آماری

* نویسنده پاسخگو: تهران، مرکز تحقیقات ایمنی و پیشگیری از مصدومیتها، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
تلفن: ۲۲۴۳۲۰۴۰
E-mail: Hsoori@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

حوادث ترافیکی از علل اصلی مرگ و انواع معلولیت‌های جسمی بشمار می‌آیند و سالانه موجب مرگ ۱/۲۳ میلیون نفر و مصدومیت ۲۰ الی ۵۰ میلیون نفر در جهان می‌شوند[۱]. برآوردها نشان می‌دهد که هزینه‌های ناشی از این نوع حوادث در کشورهای مختلف ۱ الی ۲ درصد از تولید ناخالص ملی را به خود اختصاص می‌دهند [۲]. بیش از ۲۰٪ مرگ‌های ناشی از حوادث ترافیکی در عابران پیاده رخ می‌دهد. بر اساس برآوردها در سال ۲۰۱۰ حدود ۲۷۳ هزار عابر در جهان به علت حوادث ترافیکی جان خود را ازدست‌داده‌اند [۳]. مطالعات نشان داده که اکثر حوادث ترافیکی مرتبط با عابران به‌ویژه در کشورهای با درآمد بالا در معابر درون‌شهری اتفاق می‌افتند. به‌عنوان‌مثال در کشورهای اتحادیه اروپا ۷۰ درصد این نوع حوادث در شهرها اتفاق می‌افتند [۴]. این نسبت در ایالات‌متحده آمریکا ۷۶ درصد است [۵]. عابران پیاده بیشترین نسبت مرگ‌های ناشی از حوادث ترافیکی در شهرهای پرجمعیت جهان را به خود اختصاص می‌دهند. به‌عنوان‌مثال در شهرهای بمبئی و دهلی‌نو عابران به ترتیب ۷۶ و ۵۳ درصد از مرگ‌های ناشی از حوادث ترافیکی را تشکیل داده اند [۶]. این نسبت در سانفرانسیسکو ۴۴ درصد بوده است [۷]. با توجه به اهمیت این موضوع در طی سال‌های اخیر در نقاط مختلف جهان از روش‌های مختلف تحلیل مکانی و انواع الگوهای آماری، نقش عوامل مختلف محیطی و دموگرافیک در فراوانی توزیع مکانی و شدت حوادث ترافیکی مرتبط با عابران پیاده در مناطق شهری موردمطالعه قرارگرفته است. به دلیل اهمیت انتخاب یک روش مناسب جهت مطالعه دقیق حوادث ترافیکی مرتبط با عابران، این مطالعه مروری به منظور مقایسه روش‌های مختلف و بررسی نقاط ضعف و قوت هریک از این روش‌ها انجام شد.

سابقه مطالعه حوادث ترافیکی مرتبط با عابران به دهه ۱۹۸۰ برمی‌گردد. مطالعات انجام‌شده توسط بیرد و همکاران که ۳۳۷ حادثه ترافیکی مرتبط با عابران پیاده در شهر لس‌آنجلس را ازنظر عوامل محیطی و شرایط ایجادکننده حادثه موردمطالعه قراردادند[۸]، مطالعه دورهام و همکاران که باهدف تعیین عوامل و سازوکار جراحات عابران پیاده به‌منظور ایجاد تغییرات لازم در طراحی اتومبیل‌ها جهت کاهش شدت حوادث ترافیکی در عابران پیاده انجام شد [۹] و مطالعه امبری و همکاران که تأثیر یک برنامه آموزشی برای والدین در جهت کاهش حوادث ترافیکی مرتبط با عابران خردسال انجام شد[۱۰]، را می‌توان ازجمله اولین مطالعاتی در نظر گرفت که بر اساس یک روش مشخص عوامل حوادث ترافیکی مرتبط با عابران و راه‌های کاهش فراوانی و شدت آن‌ها را بررسی نمودند.

طی سال‌های بعد جای پای روش‌های جدید ازجمله سیستم اطلاعات جغرافیائی و الگوهای آماری پیشرفته جهت مطالعه حوادث ترافیکی مرتبط با عابران باز شد. مطالعه برادک و همکاران که با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیائی حوادث ترافیکی مرتبط با عابران زیر ۲۰ سال در هاتفورد و کن در فاصله سال‌های ۱۹۸۸ الی ۱۹۹۰ بررسی نمودند [۱۱]. و مطالعه هیجارو همکاران که با استفاده از چند روش ازجمله سیستم اطلاعات جغرافیائی حوادث ترافیکی در عابران پیاده در فاصله سال‌های ۱۹۹۴ الی ۱۹۹۷ در شهر مکزیکوسیتی را مطالعه نمودند [۱۲] ازجمله اولین مطالعاتی هستند که سیستم اطلاعات جغرافیائی را جهت مطالعه حوادث ترافیکی در عابران به کار گرفتند و مطالعه لی (Lee) و عبدل اتی که با استفاده از الگوهای لگاریتم خطی و الگو پروبیت ترتیبی (Ordered probit model) ارتباط فراوانی و شدت حوادث ترافیکی مرتبط در عابران با عوامل مختلف ترافیکی و محیطی در ایالت فلوریدا را در طی سال‌های ۱۹۹۹ الی ۲۰۰۲ بررسی نمودند [۱۳]، ازجمله اولین مطالعاتی هستند که از مدل‌های جدید آماری این نوع حوادث را بررسی نمودند. این مطالعات نشان دادند که سیستم اطلاعات جغرافیائی و الگوهای آماری ابزارهای مفیدی جهت مطالعه حوادث ترافیکی مرتبط با عابران می‌باشند. طی سال‌های اخیر با توجه به پیشرفت‌های حاصل‌شده در نرم‌افزارهای مختلف، محققان حوادث ترافیکی مرتبط با عابران با استفاده از روش‌های جدید و مبتکرانه‌ای موردمطالعه قرار داده‌اند و با تلفیق روش‌های گوناگون زمینه‌های لازم برای شناسایی دقیق‌تر عوامل مؤثر بر پراکندگی و شدت آن‌ها فراهم نموده‌اند. ازجمله می‌توان موارد زیر اشاره نمود:

ساسیدهاران و منندز که با استفاده از الگوی بخت نسبی جزئی به‌عنوان یک الگوی حد واسط الگوهای رتبه‌ای و غیر رتبه‌ای عوامل مرتبط با شدت حوادث ترافیکی در عابران را مطالعه نموده و کاربرد الگوهای بخت نسبی جزئی، لوجیت ترتیبی و لوجیت چندحالتی برای پیش‌بینی شدت حوادث ترافیکی در عابران را با هم مقایسه کردند [۱۴]، گوما محمد و همکاران که با استفاده از دو رویکرد متفاوت (فنون داده‌کاوی و الگوهای رگرسیونی) عوامل مؤثر در

Archive of SID
www.SID.ir

شدت حوادث ترافیکی عابران را در شهرهای نیویورک و مونترال موردمطالعه و مقایسه قراردادند [۱۵]. مطالعه گریس ولد و همکاران که با استفاده از یک رویکرد جدید ارزیابی بصری تحت عنوان جدول‌بندی توافقی گرافیکی عوامل زمانی مؤثر در شدت حوادث ترافیکی عابران را موردمطالعه قراردادند [۱۶]، مطالعه و همکاران که با استفاده از یک الگو ترکیبی دومرحله‌ای که الگوهای فراوانی و شدت حوادث را باهم ترکیب می‌کند، حوادث ترافیکی مرتبط با عابران در کمربندی M25 لندن و خیابان‌های اطراف آن را مورد تجزیه‌وتحلیل قراردادند [۱۷]، مطالعه کوتریل و همکاران که با استفاده از الگوهای رگرسیونی پوآسن با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای ناشی از هتروژنیتی و اثرات حاشیه‌ای ناشی از کم گزارش دهی اثر متغیرهای مختلف محیطی و رفتاری را روی حوادث ترافیکی عابران پیاده در شهر شیکاگو را بررسی نمودند [۱۸]، در مطالعه چو Cho و همکاران که به بررسی نقش و ارتباط بین خطرات بالقوه محیطی درک شده توسط عابران و دوچرخه‌سواران با رویکرد فعال و خطرات واقعی مرتبط با ساختار محیط در ایمنی عبور و مرور عابران پیاده و دوچرخه‌سواران با استفاده از تحلیل عاملی اکتشافی و تحلیل مسیر در شهر مونتگومری پرداختند [۱۹].

مواد و روش کار

این مطالعه مروری غیر نظامند بر اساس جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل مجدد اطلاعات و مقالات موجود انجام شد. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات لازم در بانک‌های اطلاعاتی و منابع غیر الکترونیکی با استفاده از کلمات کلیدی: حوادث ترافیکی، عابران، روشهای مطالعه، سیستم اطلاعات جغرافیائی، الگوهای آماری و رویکردهای جدید مطالعاتی جستجوی کامل به‌عمل‌آمده و منابع گردآوری‌شده در نرم‌افزار End note دسته‌بندی شد. گزارش‌ها و مطالعاتی که از سال ۱۹۷۰ تا سال ۲۰۱۵ در مورد روش‌های مطالعه توزیع مکانی و شدت حوادث ترافیکی مرتبط با عابران پیاده انجام‌شده‌اند، شامل مقالات منتشرشده در Medline، Pubmed، Embase، ISI، Sciencedirect،Scopus، Ovid، گزارش‌های رفرنس‌ها، خلاصه مقالات چاپ‌شده و یا ارائه‌شده در کنفرانس‌ها و گزارش‌های منتشرشده از طریق سایت‌های مربوط به ترافیک و حمل‌ونقل، سازمان‌های مرتبط با سلامت در سطح بین‌المللی ازجمله سازمان جهانی بهداشت مطالعه شدند. در مطالعات یافت شده روش‌های مورداستفاده جهت تجزیه‌وتحلیل موردبررسی و ارزیابی قرارگرفته و جمع‌بندی شدند.

یافته‌ها

مطالعات حوادث ترافیکی مرتبط با عابران ازنظر گستردگی به طورکلی به سه دسته تقسیم می‌شوند. در برخی از مطالعات تنها به عوامل دموگرافیک و زمینه‌ای عابران پرداخته می‌شود، در برخی تنها به عوامل محیطی پرداخته می‌شود و در برخی از آن‌ها همزمان عوامل محیطی و دموگرافیک تجزیه و تحلیل می‌شوند. عوامل محیطی حوادث ترافیکی در عابران از نظر وسعت مطالعه به طورکلی به دو صورت مطالعه می‌شوند:

الف- مطالعه عوامل مکانی به‌صورت کلی (Macroscopic spatial analysis): در این روش مطالعات در سطح یک کشور، استان یا یک شهر انجام می‌شوند [۲۰]. در این مطالعات الگوهای پراکندگی حوادث در کل منطقه تحت مطالعه با استفاده از فنون تک متغیره تحلیل مکانی از قبیل شاخص موران بررسی می‌شوند. واحدهای جغرافیائی زیرمجموعه ازنظر فراوانی حوادث با استفاده روش‌هایی مثل تراکم تصادف باهم مقایسه و رتبه‌بندی می‌شوند و عوامل مؤثر در فراوانی حوادث از قبیل تراکم جمعیت، تراکم راه‌ها، سطح اقتصادی اجتماعی، کاربری زمین (مساحت یا نسبتی از مساحت هر منطقه شهری که به منازل مسکونی، واحدهای اداری، اماکن ورزشی و ... اختصاص داده می شود) در واحدهای جغرافیائی با استفاده از الگوهای آماری رگرسیون پواسن، رگرسیون دوجمله‌ای منفی و مدلهای دارای صفر انباشته تعیین می‌شوند. به‌عنوان مثال چنانچه مطالعه‌ای در سطح یک شهر انجام شود، واحدهای جغرافیائی مناطق شهرداری، محدوده‌های سرشماری، محدوده‌های تحلیل ترافیکی در نظر گرفته می‌شوند. از مطالعاتی که حوادث ترافیکی مرتبط با عابران را به‌صورت کلی بررسی نموده‌اند، می‌توان مطالعه ژانگ و همکاران در چین را که در سطح استان انجام‌شده [۲۱]، مطالعه لی و عبدل اتی در ایالات‌متحده آمریکا که در سطح ایالت انجام‌شده [۱۳] و مطالعه بلازکوئز و همکاران در شیلی که در سطح یک شهر انجام‌شده است، را نام برد [۲۲].

ب- مطالعه عوامل مکانی به‌صورت ریز و جزئی (Microscopic spatial analysis): در این روش مطالعات در سطح محدود به‌عنوان‌مثال در یک بخش از شهر یا چند بزرگراه انجام می‌شوند [۲۰]. تجزیه‌وتحلیل‌ها معمولاً با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیائی انجام می‌شود. در این مطالعات نیز در ابتدا الگوهای پراکندگی حوادث در کل محدوده تحت مطالعه با استفاده از فنون تک متغیره تحلیل مکانی از قبیل شاخص موران بررسی می‌شوند.

Archive of SID

www.SID.ir

در مرحله بعد به‌منظور تعیین نقش عوارض مختلف محیطی همانند: ایستگاه‌های اتوبوس، مدارس، پل‌های عابر پیاده،، علائم راهنمایی و رانندگی، شعاع منحنی‌ها، تقاطع‌ها در پراکندگی و مکان بروز حوادث محل و مساحت آن‌ها به‌صورت دقیق، در سیستم اطلاعات جغرافیائی با تشکیل لایه‌های جداگانه‌ای پیاده می‌شود. سپس با استفاده از روش‌های چند متغیره تحلیل مکانی مثل رگرسیون وزنی جغرافیائی ارتباط متغیرهای مستقل و وابسته بررسی می‌شود. در این روش به دلیل محدود بودن منطقه موردمطالعه معمولاً امکان تقسیم‌بندی آن به واحدهای جغرافیائی کوچک‌تر وجود ندارد؛ بنابراین مقایسه فراوانی حوادث با استفاده روش‌های مثل تراکم تصادف و تعیین عوامل مؤثر در فراوانی حوادث در واحدهای جغرافیائی مفهومی ندارد. از مطالعاتی که حوادث ترافیکی مرتبط با عابران را به‌صورت جزئی بررسی نموده‌اند می‌توان مطالعه تاکوشل و همکاران را نام برد که در مرکز شهر آتلانتا انجام‌شده است [۲۳]. در تجزیه و تحلیل مکانی حوادث و جراحات مرتبط با عابران از روش‌ها یا آماره‌های زیر استفاده می‌شود:

- **تجزیه و تحلیل نقاط مهم (hot spots)**: در این روش آماره Getis-Ord Gi*statistic برای هر متغیر یا ویژگی در داده‌ها محاسبه می‌شود. اندازه Z score این آماره نشان می‌دهد که ویژگی موردنظر مثلاً حوادث ترافیکی مرتبط با عابران از نظر مکانی تا چه اندازه به صورت خوشه‌ای توزیع شده است. ممکن است وضعیت خوشه‌ای بودن آن ازنظر آماری معنی‌دار باشد. با استفاده از نرم افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیائی همانند ArcGIS می توان جهت این نوع تحلیل ها، نقشه هائی استخراج نمود. در این نقشه ها هریک از واحدهای جغرافیائی به عنوان داغ یا سرد با سطوح معنی داری مختلف و یا غیر معنی دار با رنگهای مجزا دسته بندی می شوند[۲۵، ۲۴].

- **شاخص موران (Moran's I index)**: خودهمبستگی به رابطه بین مقادیر باقیمانده در طول خط رگرسیون مربوط می‌شود. خودهمبستگی قوی زمانی رخ می‌دهد که مقادیر یک متغیر که ازنظر جغرافیایی به هم نزدیک هستند باهم مرتبط باشند به‌عبارتی‌دیگر تغییراتشان به‌صورت نظامند رخ دهد. اگر عوارض و یا مقادیر متغیرهای مربوط به آن‌ها به‌طور تصادفی در فضا توزیع‌شده باشند، ظاهراً نباید بین آن‌ها ارتباطی وجود داشته باشد. آزمون موران الگوی پراکنش این عوارض را با در نظر گرفتن مقادیر متغیر موردمطالعه ازنظر الگوی خوشه‌ای و یا پراکنده بودن موردبررسی قرار می‌دهد. شاخص موران بین مقادیر ۱- تا ۱+ محاسبه می‌شود. مقدار ۱+ بیانگر الگوی کاملاً تک‌قطبی (خوشه‌ای)، مقدار صفر بیانگر الگوی تجمع تصادفی یا چندقطبی و مقدار ۱- بیانگر الگوی پراکنده می‌باشد. هر چه این ضریب مقدار بالاتری داشته باشد، بیانگر تجمع زیاد و هر چه مقدار پایین‌تری داشته باشد، بیانگر پراکندگی است. با استفاده از نرم افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیائی همانند ArcGIS می توان جهت تحلیل های مرتبط با نقاط مهم و [۲۷، ۲۶]، برای تعیین نحوه پراکندگی مکانی حوادث ترافیکی مرتبط با عابران در یک منطقه می‌توان از این شاخص استفاده کرد. نتیجه به‌صورت خوشه‌ای، تصادفی و یا پراکنده با درجات مختلف روی شکل ها و نقشه های خروجی الگو نشان داده می‌شود. به عنوان مثال ویر و همکاران در کنار سایر روش‌ها با استفاده از شاخص موران نیز حوادث ترافیکی مرتبط با عابران در فاصله سال‌های ۲۰۰۱ الی ۲۰۰۵ در سانفرانسیسکو مطالعه نمودند[۲۸].

- **برآورد چگالی به روش هسته‌ای (kernel density estimation)**: برآورد چگالی به بررسی خصوصیات توزیع یک صفت در جامعه ازجمله چولگی و چند نمائی بودن می‌پردازد. برآوردگر هسته‌ای تعمیمی از برآوردگر ساده است. اگر در برآوردگر ساده تابع W را با تابع K به نام تابع هسته‌ای که در شرط زیر صدق کند، جایگزین نماییم، برآوردگر حاصل کرنل با هسته K نام دارد.

$$\int_{-\infty}^{\infty} k(x)dx = 1$$

بنابراین برآوردگر کرنل با هسته K به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\hat{f} = \frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n} k\left(\frac{x - X_i}{h}\right)$$

که در آن h پهنای پنجره، پارامتر هموارسازی یا پهنای باند نامیده می‌شود. همانند برآوردگر ساده که در هر نقطه مجموع مقادیر 1/2nh و 0 به ازای تمام X_i هاست. برآوردگر کرنل نیز در هر نقطه مجموع برآمدگی‌هایی است که روی مشاهدات قرارگرفته‌اند. تابع K شکل برآمدگی‌ها (مستطیل، مثلث، زنگوله‌ای، سهمی) را مشخص کرده و h پهنای آن‌ها را تعیین می‌کند [۲۹]. با استفاده از این برآوردگر می‌توان خصوصیات توزیع حوادث یا جراحات مرتبط با عابران را در جامعه ازجمله چولگی و چند نمائی بودن بررسی نمود. از مطالعاتی که توزیع حوادث ترافیکی مرتبط با عابران را با استفاده

Archive of SID
www.SID.ir

از برآورد چگالی هسته‌ای بررسی نمودند، می‌توان مطالعه بلازکوئز (Blazquez) و همکاران در شیلی را نام برد که حوادث ترافیکی مرتبط با عابران خردسال را در شهر سانتیاگو در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ بررسی نمودند [۲۲].

- **تجزیه‌وتحلیل الگوی نقطه‌ای (Point pattern analysis)**: در تجزیه‌وتحلیل الگوهای نقطه‌ای، به‌منظور تشخیص انحراف از تصادفی بودن مکانی عوارض نقطه‌ای مربوط به حوادث ترافیکی مرتبط با عابران از چندین روش استفاده می‌شود که توزیع محل وقوع آن‌ها را توصیف می‌کنند که به شرح ذیل می‌باشند [۳۰]:

- مرکز میانگین (mean center): یک اندازه گرایش مرکزی مختصات جغرافیائی عوارض نقطه‌ای است که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$(\bar{x}_{mc}, \bar{y}_{mc}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} \right)$$

که در آن $\bar{x}_{mc}$ و $\bar{y}_{mc}$ مختصات جغرافیائی مرکز میانگین، n تعداد نقاط و SD فاصله استاندارد است.

- فاصله استاندارد و انحراف بیضی استاندارد (standard distance and standard deviational ellipse): این اندازه جهت مشخص نمودن میزان پراکندگی عوارض نقطه‌ای روی نقشه‌های جغرافیائی می‌باشد که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x}_{mc})^2 + \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y}_{mc})^2}{n}}$$

که در آن $\bar{x}_{mc}$ و $\bar{y}_{mc}$ مختصات جغرافیائی مرکز میانگین، n تعداد نقاط و SD فاصله استاندارد می‌باشد.

- شاخص نزدیک‌ترین همسایه (nearest neighbour index): یکی از اندازه‌های مورداستفاده جهت شناسایی الگوهای نقطه‌ای می‌باشد و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{r_{obs}}{r_{\exp}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i / n}{\frac{1}{2\sqrt{n/A}}}$$

که در آن d_i فاصله بین نقطه i و نزدیک‌ترین همسایه آن، n تعداد نقاط و A مساحت منطقه مربوطه می‌باشد.

- پهنه‌بندی تراکمی (density mapping): پهنه‌بندی تراکمی یکی از روش‌های مورداستفاده برای نمایش مناطقی است که عوارض نقطه‌ای متراکم هستند [۳۱]. اساس این روش انجام محاسبات چگالی به روش هسته‌ای (kernel density estimation) به‌منظور تعیین محل‌های تراکم حوادث با در نظر گرفتن همبستگی‌های موجود در داده می‌باشد. در محاسبات چگالی به روش هسته‌ای نقاطی که در شعاع جستجو قرار می‌گیرند، باهم جمع می‌شوند و سپس بر مساحت منطقه جستجو تقسیم می‌شوند تا اندازه تراکم برای هر سلول از ماتریس خروجی به دست آید. اشکال هسته‌ای به این معنا است که نقاط واقع‌شده در نزدیکی مرکز یک سلول رستری در منطقه جستجو نسبت به نقاطی که در لبه آن قرار دارند، وزن بیشتری می‌گیرند. این روش نتایج قابل‌لمس‌تری را ارائه می‌دهد [۳۲].

- **روش مجموع رتبه‌ها The sum-of-the-ranks(SR)**: این شاخص از طریق ترکیب نمودن تراکم حوادث ترافیکی برحسب فاصله یا مساحت، میزان بروز حوادث برحسب ترافیک وسایل نقلیه و میزان بروز حوادث ترافیکی برحسب ترافیک عابران بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$SR = \frac{R(CD_A) + R(CR_{VV}) + R(CR_{PP})}{3}$$

SR یک رتبه‌بندی از نظر حوادث ترافیکی مرتبط با عابران را بر اساس مناطق ترافیکی یا سایر تقسیم‌بندی‌ها را در سطح یک شهر یا کشور ارائه می‌دهد [۳۳].

- **روش امتیاز تصادف The crash score (CS)**: این روش جدیدتر از سایر روش‌ها است و جهت رتبه‌بندی مناطق دارای میزان بروز بسیار زیاد حوادث ترافیکی مرتبط با عابران بکار می‌رود. برای محاسبه این شاخص ابتدا با استفاده از فرمول‌های زیر مقادیر CD_A، CRVV و CRPP محاسبه می‌شوند.

$$\text{Score}\,CD_A = \frac{CD_A}{\text{maximum}\,CD_A} \times 100$$

$$\text{Score}\,CR_{VV} = \frac{CR_{VV}}{\text{maximum}\,CR_{VV}} \times 100$$

$$\text{Score}\,CR_{PP} = \frac{CR_{PP}}{\text{maximum}\,CR_{PP}} \times 100$$

سپس CS با فرمول زیر محاسبه می‌شود[۳۳]:

$$CS = \text{Score}\,CD_A + \text{Score}\,CR_{VV} + \text{Score}\,CR_{PP}$$

جهت تعیین عوامل مؤثر در فراوانی و شدت حوادث رانندگی مرتبط با عابران پیاده در واحدهای مکانی از الگوهای زیر استفاده می‌شود:

- **رگرسیون لجستیک دوگانه (Binary logit regression)**: رگرسیون لجستیک، شبیه رگرسیون خطی است با این تفاوت که

Archive of SID

www.SID.ir

نحوه محاسبه ضرایب در این دو روش یکسان نیست. بدین معنی که رگرسیون لجستیک، به‌جای حداقل کردن مجذور خطاها (کاری که رگرسیون خطی انجام می‌دهد)، احتمالی را که یک واقعه رخ می‌دهد، حداکثر می‌کند. همچنین، در تحلیل رگرسیون خطی، برای آزمون برازش الگو و معنی‌دار بودن اثر هر متغیر در الگو، به ترتیب از آماره‌های F و t استفاده می‌شود، درحالی‌که در رگرسیون لجستیک، از آماره‌های کای اسکوئر و والد استفاده می‌شود. این الگو در مواردی بکار می‌رود که متغیر وابسته دوحالتی است. مانند بیماری یا سلامت، مرگ یا زندگی. این الگو را می‌توان به‌عنوان مدل خطی تعمیم‌یافته‌ای که از تابع لوجیت به‌عنوان تابع پیوند استفاده می‌کند و خطایش از توزیع چندجمله‌ای پیروی می‌کند، به‌حساب آورد. معادله کلی الگوی لجستیک دوحالتی به‌صورت زیر است:

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)=\beta_0+\beta_1x_1+\beta_2x_2+...+\beta_kx_k$$

در این معادله P/1-P شانس مرگ در عابران دچار حادثه ترافیکی، β_0 لگاریتم شانس مرگ در عابران بدون مواجه با حادثه ترافیکی و β_1 لگاریتم نسبت شانس مرگ در افراد بدون مواجه و دارای مواجه با حادثه ترافیکی با فرض یکسان بودن سایر متغیرهای کمکی برای افراد دارای مواجهه و بدون مواجهه است[۳۴].

استفاده از این الگو آسان است و برای پیشگوئی شدت حوادث ترافیکی مرتبط با عابران یا مرگ ناشی از آن‌ها به علت اینکه این نوع حوادث معمولاً به دو حالت جرحی و فوتی دسته‌بندی می‌شوند، مناسب است؛ اما برای پیامدهایی که به‌صورت بیش از دو حالت و یا رتبه‌ای هستند مثل حوادث ترافیکی مرتبط با راننده که معمولاً به سه دسته خسارتی، جرحی و فوتی تقسیم‌بندی می‌شوند و یا درصورتی‌که پیامدهای ناشی از حوادث ترافیکی در عابران بیش از دو حالت داشته باشد، قابل‌استفاده نیست. از این الگو در برخی از مطالعات مربوط به‌شدت حوادث ترافیکی عابران استفاده‌شده است. ازجمله می‌توان به مطالعه ژانگ و همکاران در چین اشاره کرد که با استفاده از الگوی لجستیک عوامل مؤثر در شدت حوادث ترافیکی عابران را در استان گانگ دانگ را در فاصله سال‌های ۲۰۰۶ الی ۲۰۱۰ بررسی نمودند [۲۱].

- الگوی لجستیک چندحالتی (multinomial logit model): در حالتی که متغیر پاسخ یا وابسته بیش از دو حالت داشته باشد. مثلاً جراحات ناشی از حوادث ترافیکی که دارای انواع مختلف است یا یک حادثه ترافیکی که می‌تواند به سه انواع مختلفی مثل خسارتی، جرحی یا فوتی تقسیم‌بندی شود، نمی‌توان با استفاده از مدل رگرسیون دوحالتی ارتباط پیامد و متغیرهای کمکی را بررسی نمود. در این حالت از رگرسیون لجستیک چندحالتی برای پیشگوئی پیامد استفاده می‌شود. در این الگوها نیز برآورد پارامترها مشابه رگرسیون معمولی می‌باشد؛ اما ازآنجاکه سطوح مختلف منجر به OR های مختلف می‌شود، لذا کیفیت و چگونگی رابطه بین مواجهه و پیامد وابسته به این است که کدام سطح از متغیر پاسخ به‌عنوان سطح‌مبنا در نظر گرفته می‌شود. مهم‌ترین تفاوت این الگو با الگو لجستیک دوحالتی این است که در الگو رگرسیون دوحالتی لگاریتم شانس ایجاد پیامد برای افراد دارای مواجهه بر این اساس محاسبه می‌شود که جمع دو احتمال مساوی یک است؛ اما در الگو لجستیک چندحالتی جمع احتمال‌ها در صورت و مخرج مساوی یک نیست و کسر مربوطه به‌صورت شانس نیست و اصطلاحاً شبه شانس (Odds like) نامیده می‌شود. معادله کلی الگو رگرسیون لجستیک دوحالتی به شکل زیر است [۳۴].

$$\log itP(X)=\ln\left(\frac{p(D=1|X)}{P(D=0|X)}\right)=\alpha+\sum_{i=1}^{k}\beta_ix_i$$

اما اگر متغیر وابسته یا پیامد دارای سه حالت باشد و یک متغیر کمکی در الگو وجود داشته باشد. یکی از حالت‌های متغیر وابسته به‌عنوان سطح‌مبنا در نظر گرفته می‌شود و به ازای هریک از طبقات متغیر کمکی نسبت به طبقه مبنا دو نسبت شانس محاسبه می‌شود. مثلاً اگر متغیر کمکی دوطبقه داشته باشد. دو نسبت شانس بر اساس روابط زیر محاسبه خواهد شد:

$$\log itP(X)=\ln\left(\frac{p(D=1|X_1)}{P(D=0|X_1)}\right)=\alpha+\beta_{11}x_i$$

$$\log itP(X)=\ln\left(\frac{p(D=2|X_1)}{P(D=0|X_1)}\right)=\alpha_2+\beta_{21}x_1$$

از مطالعاتی که با استفاده از الگو رگرسیون لجستیک چندحالتی شدت جراحات ناشی از حوادث ترافیکی را در عابران پیاده بررسی نمودند، می‌توان مطالعه کروپر در سوئد را نام برد که ارتباط سرعت ترافیک و سن عابران و شدت جراحات ناشی از حوادث ترافیکی مرتبط با عابران پیاده را موردمطالعه قراردادند [۳۵].

- الگوی لجستیک رتبه‌ای (Ordinal logit model): این الگو از الگو لجستیک چندحالتی ساده‌تر است. در حالتی که متغیر پاسخ یا وابسته رتبه‌ای باشد. به‌عنوان‌مثال یک بیماری بر اساس شدت علائم و عوارض آن یا یک حادثه ترافیکی که برحسب شدت آن دارای رتبه‌های مختلف باشد، از این الگو استفاده می‌شود. این الگوی به

Archive of SID

www.SID.ir

شکل‌های مختلفی برازش می‌شود. رایج‌ترین شکل این الگو بر اساس فرض شانس‌های متناسب (proportional odds assumption) است. در این الگو متغیر رتبه‌ای به‌صورت پنهان در مدل قرار دارد و در عمل به یک متغیر دوحالتی تبدیل می‌شود. اینکه نقطه برش برای ساختن متغیر دوحالتی در چه قسمتی از رتبه‌ها قرار داده شود. حالت‌های مختلفی از متغیر دوحالتی به دست می‌آید. در این حالت خطر ایجاد پیامد یا شانس ابتلا به بیماری برای دو گروه یعنی کسانی که بالاتر یا پایین‌تر از نقطه برش قرار دارند، تعریف می‌شود. نسبت شانس به‌دست‌آمده به این روش واقعی است. چون متغیر رتبه‌ای به دو گروه تقسیم‌شده است. یکی از فرض‌های لازم در این الگو این است که نسبت شانس‌ها متناسب و باهم یکسان می‌باشند. در این الگو برای هریک از متغیرهای کمکی موجود در الگو، ضرایب (β ها) باهم برابرند و اختلاف الگوها ازنظر α های آن‌ها می‌باشد؛ یعنی به ازای هر متغیر مستقل یک β و به ازای یک‌منهای تعداد حالت‌های متغیر پاسخ α وجود دارد. به‌عبارت‌دیگر در الگوهای مختلف خطوط رگرسیونی دارای شیب یکسان‌اند و تنها ازنظر فاصله از مبدأ باهم متفاوت هستند[۳۴]. فرم کلی الگو رگرسیون لجستیک رتبه‌ای به‌صورت زیر است:

$$Z = \beta X + \varepsilon$$

در این الگو Z متغیر پاسخ یا وابسته است که به‌صورت مخفی است، X بردار متغیرهای کمکی یا مستقل موجود در الگو است، β بردار پارامترهای برآورد شده می‌باشد و ε خطای ناشی از متغیرهای وارد نشده به الگو است[۳۶]. y به‌عنوان متغیر وابسته برای هر جراحت ناشی از حوادث ترافیکی با عابران پیاده به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$y = \begin{cases} 1 & if \quad z \le \mu_0 \\ 2 & if \quad \mu_0 \le z \le \mu_1 \\ 3 & if \quad \mu_1 \le z \le \mu_2 \\ \dots & if \\ i & if \quad z \ge \mu_{i-1} \end{cases}$$

در اینجا μ ها آستانه پارامترهایی هستند که y را تعریف می‌کنند. y بیانگر رتبه درجات مختلف جراحت ناشی از حوادث ترافیکی است و با اعداد صحیح نمایش داده می‌شود [۳۷].

- الگوی رگرسیون پوآسن (Poisson regression model): این مدل درصورتی‌که متغیر پاسخ دارای توزیع پوآسن باشد، مثل میزان بروز حوادث ترافیکی مرتبط با عابران یا تعداد آن‌ها در یک مسیر یا سطح مشخص بکار می‌رود. معادله کلی مدل رگرسیون پوآسن به‌صورت زیر است:

$$\log(\lambda) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k$$

در این معادله λ میزان بروز یا تعداد پیامدها به‌عنوان‌مثال حوادث ترافیکی مرتبط با عابران در واحد طول یا سطح مناطق دارای مواجه با عوامل خطر، β_0 لگاریتم میزان بروز یا تعداد پیامدها در واحدهای بدون مواجه و β_1 لگاریتم نسبت میزان بروز یا تعداد پیامدها در واحدهای دارای مواجه و بدون مواجه با عامل خطر x_1 با فرض یکسان بودن سایر متغیرهای کمکی است. مناسب ترین معیارها برای کنترل برازندگی و مقایسه الگوهای رگرسیون پواسن، Cragg and Uhler's R^2، AIC و BIC می باشند[۳۸].

ازجمله مطالعاتی که از این الگو استفاده نموده‌اند، می‌توان مطالعه اسچیندر و همکاران که ارتباط بین عوامل محیطی روی حوادث مرتبط با عابران را در محوطه دانشکده‌های مختلف دانشگاه کارولینای شمالی در فاصله سال‌های ۱۹۹۴ و ۱۹۹۹ بررسی نمودند [۳۹]. به‌رغم آسان بودن محاسبات الگوهای رگرسیونی پوآسن دارای چند محدودیت عمده هستند که شامل فرض برابری میانگین‌ها و واریانس‌ها و وجود هتروژنیتی موجود درداده‌هاست که در محاسبات مدنظر قرار نمی‌گیرد [۴۰].

- الگوی رگرسیون دوجمله‌ای منفی (Negative binomial model): در مطالعه فراوانی حوادث ترافیکی مرتبط با عابران پیاده متغیر وابسته میزان یا تعداد تصادف‌ها، جراحات و مرگ‌های ناشی از آن‌ها در واحدهای طول یا سطح است. از طرفی معمولاً در داده‌های حوادث ترافیکی واریانس از میانگین بزرگ‌تر است، بنابراین از الگوی رگرسیون دوجمله‌ای منفی در این نوع مطالعات در موارد زیادی استفاده می‌شود. در الگوی رگرسیون دوجمله‌ای منفی y_i مشاهده i -ام متغیر وابسته دارای تابع توزیع احتمال زیر است:

$$P(y_i) = \frac{\Gamma(y_i + r)}{y_i!\Gamma(r)} \left[\frac{\mu_i}{\mu_i + r}\right]^{y_i} \left[\frac{r}{\mu_i + r}\right]^{r}$$

که میانگین شرطی y_i برای بردار متغیرهای مستقل مشاهده‌شده، x_i از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E(y_i | x_i) = \mu_i = e^{x_i \beta}$$

در مدل توزیع دوجمله‌ای منفی تفاوت واریانس و میانگین توسط رابطه زیر بیان می‌شود.

$$V(Y) = \mu + \alpha\mu^2$$

که در آن $V(Y)$ واریانس تعداد تصادف‌ها، μ میانگین تعداد تصادف‌ها و α ضریب پراکندگی است. درصورتی‌که α صفر باشد، می‌توان بجای الگوی دوجمله‌ای منفی از الگو پوآسن استفاده نمود.

Archive of SID

www.SID.ir

در رگرسیون دوجمله‌ای منفی علاوه بر ضرایب رگرسیون لازم است پارامتر پراکندگی ($\alpha=1/r$) نیز برآورد شود. برای برآورد ضرایب رگرسیون دوجمله‌ای منفی نیز از روش حداکثر درست نمائی استفاده می‌شود. در الگوهای دوجمله‌ای منفی شمار پیش‌بینی‌شده تصادفات ($\hat{y}_i$) میانگین شرطی یا شمار متوسط رخدادها به‌شرط X_i است. مناسب ترین معیارهای کنترل برازندگی و مقایسه الگوهای رگرسیون دوجمله ای منفی نیز Cragg and Uhler's R^2 ، Akaike's Information Criterion(AIC) و Bayesian information criterion(BIC) می باشند[۴۲، ۴۱].

ازجمله مطالعاتی که از این الگو استفاده نموده‌اند، می‌توان مطالعه اوکوشوری و همکاران که ارتباط بین عوامل مختلف مربوط به کاربری محیط و طراحی معابر و ایمنی عابران پیاده همچنین اثر تجمع عوامل مختلف روی حوادث مرتبط با عابران را در شهر نیویورک در فاصله سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۶ بررسی نمودند[۴۳] و مطالعه امسی آرتور و همکاران که حوادث ترافیکی مرتبط با عابران و دوچرخه‌سواران ۵ الی ۱۴ سال در شعاع یک مایلی مدارس ایالت میشیگان در فاصله سال‌های ۲۰۰۷ الی ۲۰۱۱ مطالعه نمودند [۴۴]، را نام برد.

- الگوهای رگرسیونی صفر انباشته (zero-Inflated Regression models): یکی از مشکلاتی که داده‌های حوادث ترافیکی وجود دارد، زیاد بودن داده‌های صفر است. به‌عبارت‌دیگر، تعداد داده‌های صفر، بیش از تعداد مورد انتظار در الگوهای پوآسن و دوجمله‌ای منفی است. برای برطرف نمودن این نقص، می‌توان از الگوهای رگرسیونی پوآسن و دوجمله‌ای منفی استفاده نمود که داده‌های پر صفر را در محاسبات در نظر بگیرند [۴۰]. فرض اساسی در چنین مدل‌هایی این است که اجزای راه مانند تقاطع‌ها و بخش‌های راه، دو حالت داشته باشند: در حالت نخست تنها داده‌های صفر وجود دارد و در حالت دوم، تعداد تصادفات مانند داده‌هایی با توزیع پوآسن یا دوجمله‌ای منفی است. برای آزمودن مناسب بودن استفاده از یک مدل صفر انباشته به‌جای مدل‌های رگرسیون پوآسن یا دوجمله‌ای منفی معمولاً از آماره وانگ استفاده می‌شود [۴۱]. ازجمله مطالعاتی که از این الگوها استفاده نموده‌اند، می‌توان مطالعه ریچموند و همکاران را نام برد که با استفاده از الگو رگرسیون پوآسن صفر انباشته تأثیر ایجاد تراموا روی بروز و الگوی حوادث ترافیکی مرتبط با عابران در شهر تورنتو در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۱ بررسی نمودند [۴۵].

- الگو رگرسیونی مبتنی بر وزن‌های اطلاعات جغرافیائی (**Regression model and geographically weighted regression**): با توجه به اینکه مدل‌های رگرسیونی معمولی خود همبستگی مکانی موجود در داده‌های مکانی را در نظر نمی‌گیرند و همچنین نقش بخش عدم ایستائی در این داده‌ها در ارتباط بین متغیرها را در محاسبات وارد نمی‌کنند، فودرینگ هام و همکاران مدل geographically weighted regression برای مطالعه حوادث ترافیکی ارائه دادند [۳۰]. این مدل تعمیمی از الگو رگرسیون معمولی است. در این الگو بر اساس رابطه زیر پارامترها در مکان‌های مختلف بر اساس مختصات جغرافیائی آن‌ها (V_i, U_i) از نقطه i متفاوت هستند.

$$y_i = \beta_0(\mu_i, v_i) + \sum_{j=1}^{p} \beta_j(\mu_i, v_i) x_{ij} + \varepsilon_i$$

در حقیقت مدل رگرسیونی مبتنی بر وزن‌های اطلاعات جغرافیائی یک معادله رگرسیونی را برای هر مشاهده مکانی یا جغرافیائی ایجاد می‌کند و برای هر نقطه یا محل R^2، β_0، β_k و آماره t ارائه می‌دهد؛ بنابراین این الگو که مبتنی بر معادلات نقطه‌ای است و بر اساس ترکیبی از روش حداقل مجذورات و ماتریس وزنی ($W(i)$) با کاهش اندازه‌ها بر اساس فاصله بین i و j با استفاده از معادله زیر پیامد را پیشگوئی می‌نماید. هرچه فاصله بین i و j بیشتر باشد، عامل مربوطه وزن بیشتری دارد [۴۶].

$$\hat{\beta}_i = (X^T W(i) X)^{-1} X^T W(i) y$$

$$W(i) = \begin{pmatrix} W_{i1} & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & W_{i2} & \ldots & 0 \\ . & . & \ldots & . \\ . & . & \ldots & . \\ 0 & 0 & 0 & W_{in} \end{pmatrix}$$

مناسب‌ترین معیارهای کنترل برازندگی و مقایسه الگوهای رگرسیونی مبتنی بر وزنهای اطلاعات جغرافیائی عبارتند از: R^2 Adjusted R^2، و Bayesian information criterion(BIC) [۴۷].

- الگو اتورگرسیو شرطی (**Conditional autoregressive model**): یک حالت خاص از الگوهای مکانی اتورگرسیو (spatial autoregressive model) است. این الگوها برای داده‌های مکانی کاربرد زیادی دارند. به‌صورت یک مرحله‌ای و سلسله مراتبی برای داده‌ها در واحد سطح بکار می‌روند. محاسبات در این الگو نسبتاً سریع انجام می‌شود و بر اساس الگوهای بیزی است. در این الگو

Archive of SID
www.SID.ir

متغیر وابسته دارای خاصیت خود همبستگی است؛ بنابراین برای مطالعه متغیرهایی از قبیل متوسط بار ترافیک و یا میانگین تعداد حوادث ترافیکی در محدوده‌های جغرافیائی که دارای خاصیت خود همبستگی می‌باشند، الگو مناسبی است [۴۸].

- **الگو لگ نرمال بیزی (Bayesian Poisson- lognormal model)**: با توجه به اینکه الگوی رگرسیون دوجمله‌ای منفی چند متغیره می‌تواند مشکل بیش پراکنش درداده‌ها را حل کند، اما این الگوی نیز نمی‌تواند ساختار همبستگی منفی بین داده‌ها را بپذیرد، الگوی لگ نرمال بیزی ارائه شد[۴۹]. این الگوی در مقایسه با مدل‌های پوآسن و دوجمله‌ای منفی برای داده‌های حوادث ترافیکی بهتر برازش می‌شود. دلیل اصلی آن این است که با توجه به بیش پراکنش (over dispersion) این نوع داده‌ها ساختار همبستگی بین مشاهدات را به‌صورت کامل در نظر می‌گیرد. برازش این نوع مدل نیاز به نرم‌افزارهای آماری پیشرفته دارد [۵۰].

- **الگوی چند متغیره ترکیبی دومرحله‌ای (two-stage mixed multivariate model)**: در این الگو، الگوهای فراوانی و شدت حوادث را باهم ترکیب می‌کنند. در مرحله اول با استفاده از مدل کامل مکانی بیزی (full Bayesian spatial model) تعداد کل حوادث در یک‌فاصله معین برای یک سال برآورد می‌شود. در مرحله دوم با استفاده از مدل‌های لوجیت ترکیبی (mixed logit) و لوجیت چندحالتی (multinomial logit) نسبت حوادث مورد انتظار برحسب شدت آن‌ها در یک‌فاصله معین برای یک سال برآورد می‌گردد [۱۷]. در جدول ۱ روشهای مطالعه فراوانی، توزیع مکانی و شدت حوادث ترافیکی مرتبط با عابران پیاده در مناطق شهری باهم مقایسه شده اند.

جدول ۱: مقایسه روش‌های مطالعه فراوانی، توزیع مکانی و شدت حوادث ترافیکی مرتبط با عابران پیاده در مناطق شهری

		نوع متغیرهای مورد مطالعه	متغیر وابسته	خروجی
۱	تجزیه و تحلیل نقاط مهم	محیطی	تعداد حوادث در واحدهای مکانی	دسته بندی واحدهای جغرافیائی از نظر تراکم حوادث همراه با سطح معنی داری
۲	شاخص موران	محیطی	تعداد حوادث در واحدهای مکانی	دسته بندی واحدهای جغرافیائی از نظر خود همبستگی مکانی با سطح معنی داری
۳	برآورد چگالی به روش هسته‌ای	محیطی	تعداد حوادث در واحدهای مکانی	تعیین خصوصیات توزیع حوادث در جامعه از جمله چولگی و چند نمائی بودن
۴	تجزیه و تحلیل الگوی نقطه‌ای	محیطی	تعداد حوادث در واحدهای مکانی	تشخیص انحراف از تصادفی بودن مکانی عوارض نقطه‌ای مربوط به حوادث
۵	مجموع رتبه‌ها	محیطی	تعداد حوادث در واحدهای مکانی	رتبه‌بندی واحدهای جغرافیائی از نظر تعداد یا تراکم حوادث
۶	رگرسیون لجستیک دوگانه	محیطی و دموگرافیک	شدت حوادث بصورت دوحالتی	تعیین ارتباط متغیرهای مستقل و شدت حوادث
۷	مدل لجستیک چندحالتی	محیطی و دموگرافیک	شدت حوادث به صورت چند حالتی	تعیین ارتباط متغیرهای مستقل و شدت حوادث
۸	مدل لجستیک رتبه‌ای	محیطی و دموگرافیک	شدت حوادث به صورت رتبه ای	تعیین ارتباط متغیرهای مستقل و شدت حوادث
۹	مدل رگرسیون پوآسن	محیطی و دموگرافیک	تعداد حوادث در واحد طول یا سطح	تعیین ارتباط متغیرهای مستقل و میزان بروز حوادث در واحدهای مکانی
۱۰	مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی	محیطی و دموگرافیک	تعداد حوادث در واحد طول یا سطح	تعیین ارتباط متغیرهای مستقل و میزان بروز حوادث در واحدهای مکانی با حذف اثر بیش پراکندگی در داده ها
۱۱	مدل‌های رگرسیونی صفر انباشته	محیطی و دموگرافیک	تعداد حوادث در واحد طول یا سطح	تعیین ارتباط متغیرهای مستقل و میزان بروز حوادث در واحدهای مکانی با حذف اثر مقادیر صفر در داده ها
۱۲	مدل رگرسیونی مبتنی بر وزن‌های اطلاعات جغرافیائی	محیطی و دموگرافیک	مختصات جغرافیائی حوادث	تعیین ارتباط متغیرهای مستقل و محل وقوع حوادث
۱۳	مدل اتورگرسیو شرطی	محیطی و دموگرافیک	تعداد حوادث در واحد طول یا سطح	تعیین ارتباط متغیرهای مستقل و میزان بروز حوادث در واحدهای مکانی با در نظر گرفتن خودهمبستگی در داده ها
۱۴	مدل لگ نرمال بیزی	محیطی و دموگرافیک	تعداد حوادث در واحد طول یا سطح	تعیین ارتباط متغیرهای مستقل و میزان بروز حوادث در واحدهای مکانی با در نظر گرفتن ساختار همبستگی منفی در داده ها
۱۵	مدل چند متغیره ترکیبی دو مرحله‌ای	محیطی و دموگرافیک	تعداد و شدت حوادث در واحد طول یا سطح	تعیین ارتباط متغیرهای مستقل و میزان بروز و شدت حوادث در واحدهای مکانی

Archive of SID
www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد، روش‌های مختلفی جهت مطالعه سوانح عابران پیاده وجود دارد و در طی سال‌های اخیر روش‌های تجزیه‌وتحلیل این نوع حوادث و جراحات تکامل زیادی پیداکرده است. در سایه پیشرفت‌های اخیر ازنظر روش‌شناسی و نرم‌افزاری مشکلات موجود در شناسایی علل این نوع حوادث کاهش‌یافته و بینش‌های جدیدی در این زمینه حاصل‌شده است. به‌عنوان‌مثال مباحث مربوط به هم‌پوشانی الگوهای رتبه‌ای و غیر رتبه‌ای در حال برطرف شدن می‌باشد و کاربردهای الگوهای چندحالتی و دارای پارامترهای تصادفی دریچه‌های تازه‌ای برای در نظر گرفتن عدم تجانس غیرقابل مشاهده درداده‌ها بازنموده است. ذکر این نکته نیز لازم است که به‌کارگیری الگوهای مناسب جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به میزان زیادی به خصوصیات آن‌ها مثل کیفیت داده‌های جمع‌آوری‌شده، تعداد نمونه‌های بررسی‌شده، تعداد متغیرهای کمکی دارد. درگذشته استنباط‌های آماری برای داده‌های مکانی بر اساس این تصور انجام می‌شد که موقعیت‌های مکانی مستقل از هم می‌باشند و از روش‌های معمول و کلاسیک آماری برای بررسی ارتباط متغیرهای مکانی استفاده می‌شد؛ اما با پیشرفت علوم جغرافیا و آمار مشخص شد که در بسیاری از موارد داده‌های مکانی دارای خاصیت خودهمبستگی مکانی هستند و با استفاده از روش‌های معمول و کلاسیک آماری نمی‌توان ارتباط متغیرهای وابسته به مکان را سنجید. چون اگر ارتباطات این نوع داده‌ها با روش‌های معمول آماری مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گیرد، این خاصیت موجب می‌شود، اندازه ضرایب همبستگی بزرگ‌تر از حد واقعی شوند. از طرفی اندازه خطای استاندارد بیش‌ازحد معمول کوچک خواهد شد و درنتیجه ارتباط متغیرها به‌صورت غیرواقعی معنی‌دار خواهد شد. در سال‌های اخیر در کنار این پیشرفت‌ها روش‌های تجزیه‌وتحلیل مکانی نیز توسعه پیدا نمود و با ورود نرم‌افزارهای جدید و پیشرفته مثل ArcGIS امکان انجام تحلیل‌های مکانی و آماری در محیط آن‌ها فراهم‌شده است؛ بنابراین امروزه می‌توان این نوع تحلیل‌ها را با استفاده از الگوهای جدید آماری و مکانی از قبیل اتورگرسیو شرطی (conditional autoregressive model) به‌طور دقیق‌تری انجام داد و در عرصه‌های مختلف ازجمله حوادث ترافیکی نقش عوارض مختلف محیطی را در بروز تصادفات را تعیین نمود. همچنین امروزه فنون مختلف داده‌کاوی در دسترس می‌باشد. به‌عنوان‌مثال چانگ و وانگ از رویکرد درخت رگرسیون و طبقه‌بندی جهت تجزیه‌وتحلیل شدت حوادث ترافیکی استفاده نمودند که یک روش داده‌کاوی است که نیازی به فرض‌های لازم در الگوهای پارامتریک ازنظر ارتباط بین درجات شدت جراحت و متغیرهای کمکی موجود در مدل نیست[۵۱]. با این‌وجود هنوز نارسائی‌ها و نقص‌هایی در تجزیه و تحلیل شدت حوادث ترافیکی و جراحات ناشی از آن‌ها وجود دارد. به‌عنوان‌مثال بحث نحوه اندازه‌گیری دقیق همبستگی مکانی و زمانی شدت جراحات ناشی از حوادث ترافیکی هنوز به‌طور کامل روشن نشده است. چراکه شدت جراحات حاصل از یک تصادف در شرایط کاملاً یکسان ازنظر شدت تصادف، محل وقوع، زمان وقوع و وضعیت آب‌وهوا هنگام تصادف و ... علاوه بر شرایط قابل‌مشاهده از عوامل دیگری تأثیر می‌پذیرد که قابل‌مشاهده هستند و در روش‌های معمول تجزیه‌وتحلیل این شرایط در نظر گرفته نمی‌شوند. همچنین در مطالعاتی که تاکنون انجام‌شده است، به مسئله اثرات بالقوه کم گزارش دهی تصادف‌ها زیاد توجه نشده است؛ بنابراین لازم است، در مطالعات آینده به این مسائل توجه بیشتری شود. از نقاط قوت این مطالعه می‌توان به این نکته اشاره کرد که روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل حوادث ترافیکی مرتبط با عابران با ذکر تاریخچه‌ای از آن‌ها باهم مقایسه شده‌اند. همچنین برای هر روش مطالعه یک مثال عملی آورده شده است. یکی از نقاط ضعف این مطالعه این است که به علت محدودیت مجلات در تعداد صفحات یک مقاله روش‌های مطالعه به‌صورت مختصر توضیح داده‌شده‌اند. با این‌وجود این مقاله می‌تواند یک راهنمای مناسب برای پژوهشگران جهت مطالعه این موضوعات و به‌کارگیری روش‌های ذکرشده جهت انجام مطالعات گسترده‌تر و دقیق‌تر در زمینه حوادث ترافیکی مرتبط با عابران باشد.

سهم نویسندگان

علی مرادی: طراحی مطالعه و تدوین مقاله
حمید سوری: استاد راهنما و ویرایش نهائی مقاله
امیر کاوسی: مشاوره آماری و ویرایش نهائی مقاله
فرشید عشق آبادی: ویرایش بخشهای مربوط به سیستم اطلاعات جغرافیائی

تشکر و قدردانی

این مقاله مروری بخشی از اطلاعات رساله دکترا در دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی بود. از مسئولان محترم دانشکده بهداشت و کلیه اعضای محترم گروه اپیدمیولوژی تقدیر و تشکر می شود.

Archive of SID
www.SID.ir

منابع

1. World Health Organization. Global status report on road safety:supporting a decade of action. WHO press. 2013.[Available from http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/]

2. Peden M. World report on road traffic injury prevention. WHO press; 2004.[Available from http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/en/]

3. World Health Organization. Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners: WHO press, 2013 [Available from http://www.who.int/roadsafety/projects/manuals/pedestrian/en/]

4. Community database on Accidents on the Roads in Europe. Fatalities at 30 days in EU countries. European commission. 2010 [Available from http://www.lmo.ir]

5. Karsch M, Hedlund J. H, Tison J, & Leaf W. A. Review of Studies on Pedestrian and Bicyclist Safety, 1991-2007. (Report No. DOT HS 811 614). Washington, DC. National Highway Traffic Safety Administration. 20126. Mohan D, Tsimhoni O, Sivak M, Flannagan MJ. Road safety in India: challenges and opportunities. The University of Michigan, Transportation Research Institute, 2009 [Available from https://trid.trb.org/view.aspx?id=1214049]

7. LaScala EA, Gerber D, Gruenewald PJ. Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: a spatial analysis. Accident Analysis & Prevention 2000;32:651-8
collisions: a spatial analysis. Accident Analysis & Prevention 2000;32:651-8

8. Baird J, Didion J, Heffernan A. Pedestrian Injury Causation Parameters. Trasportation Research Board of the national academiies, 1980.[Available from https://trid.trb.org/view.aspx?id=162761]

9. Durham AM, Moore W, Knoblauch RL. Pedestrian injury causation parameters. Trasportation Research Board of the national academiies, 1980.[Available from https://trid.trb.org/view.aspx?id=162765]

10. Embry DD, Malfetti JL. Reducing the Risk of Pedestrian Accidents to Preschoolers by Parent Training and Symbolic Modeling for Children: An Experimental Analysis in the Natural Environment. Research Report Number 2 of the Safe-Playing Project. ERIC. 1980.[Available from http://eric.ed.gov/?id=ED198951]

11. Braddock M, Lapidus G, Cromley E, Cromley R, Burke G, Banco L. Using a geographic information system to understand child pedestrian injury. American Journal of Public Health 1994;84:1158-61

12. Híjar M, Trostle J, Bronfman M. Pedestrian injuries in Mexico: a multi-method approach. Social Science & Medicine 2003;57:2149-59

13. Lee C, Abdel-Aty M. Comprehensive analysis of vehicle–pedestrian crashes at intersections in Florida. Accident Analysis & Prevention 2005;37:775-86

14. Sasidharan L, Menendez M. Partial proportional odds model-An alternate choice for analyzing pedestrian crash injury severities. Accident Analysis & Prevention 2014;72:330-40

15. Mohamed MG, Saunier N, Miranda-Moreno LF, Ukkusuri SV. A clustering regression approach: A comprehensive injury severity analysis of pedestrian–vehicle crashes in New York, US and Montreal, Canada. Safety Science 2013;54:27-37

16. Griswold J, Fishbain B, Washington S, Ragland DR. Visual assessment of pedestrian crashes. Accident Analysis & Prevention 2011;43:301-6

17. Wang C, Quddus MA, Ison SG. Predicting accident frequency at their severity levels and its application in site ranking using a two-stage mixed multivariate model. Accident Analysis & Prevention 2011;43:1979-90

18. Cottrill CD, Thakuriah PV. Evaluating pedestrian crashes in areas with high low-income or minority populations. Accident Analysis & Prevention 2010;42:1718-28

19. Cho G, Rodríguez DA, Khattak AJ. The role of the built environment in explaining relationships between perceived and actual pedestrian and bicyclist safety Accident Analysis & Prevention 2009;41:692-702

20. Siddiqui C, Abdel-Aty M, Choi K. Macroscopic spatial analysis of pedestrian and bicycle crashes Accident Analysis & Prevention 2012;45:382-91

21. Zhang G, Yau KK, Zhang X. Analyzing fault and severity in pedestrian–motor vehicle accidents in China. Accident Analysis & Prevention 2014;73:141-50

22. Blazquez CA, Celis MS. A spatial and temporal analysis of child pedestrian crashes in Santiago, Chile. Accident Analysis & Prevention 2013;50:304-11

23. Taquechel EP. A Spatial Analysis of the Relationship between Pedestrian Crash Events and Features of the Built Environment in Downtown Atlanta. Thesis, Georgia State University, 2009 [Available from

Archive of SID
www.SID.ir

http://scholarworks.gsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1131&context=iph_theses]
24. Getis A, Ord JK. The analysis of spatial association by use of distance statistics. Geographical analysis 1992;24:189-206
25. Getis A, Ord JK. The analysis of spatial association by use of distance statistics. Perspectives on Spatial Data Analysis: Springer; 2010.[Available from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-01976-0_10#page-1]
26. Lloyd CD. Local Models for Spatial Analysis, CRC Press. 2007.[Available from https://scholar.google.nl/scholar?hl=nl&q=Local+Models+for+Spatial+Analysis&btnG=&lr=]
27. Anselin L. The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association. Spatial analytical perspectives on GIS 1996;111:111-25
28. Wier M, Weintraub J, Humphreys EH, Seto E, Bhatia R. An area-level model of vehicle-pedestrian injury collisions with implications for land use and transportation planning. Accident Analysis & Prevention 2009;41:137-45
29. Silverman BW. Density estimation for statistics and data analysis. 1st Edition, Chapman & Hall/CRC press:London, 1986
30. Cloutier M-S, Apparicio P, Thouez J-P. GIS-based spatial analysis of child pedestrian accidents near primary schools in Montréal, Canada. Applied GIS 2007;3:1-18
31. Lee J, Wong DW. Statistical analysis with ArcView GIS: John Wiley & Sons; 2001
32. Johnston K, MacCoy J. Using ArcGIS spatial analyst: Environmental Systems Research Institute; 2001.[Available from http://database.textbooks-savings.info/wp-content/uploads/pdfs/]
33. Pulugurtha SS, Krishnakumar VK, Nambisan SS. New methods to identify and rank high pedestrian crash zones: An illustration. Accident Analysis & Prevention 2007;39:800-11
34. Kleinbaum DG, Klein M. Logistic regression: a self-learning text: Springer; 2010.[Available from http://www.springer.com/gp/book/9781441917416]
35. Kröyer HR. Is 30km/ha 'safe'speed? Injury severity of pedestrians struck by a vehicle and the relation to travel speed and age. IATSS research. 2015;39:42-50
36. Washington SP, Karlaftis MG, Mannering FL. Statistical and econometric methods for transportation data analysis: CRC press; 2012.[Available from https://www.crcpress.com]
37. Savolainen PT, Mannering FL, Lord D, Quddus MA. The statistical analysis of highway crash-injury severities: A review and assessment of methodological alternatives. Accident Analysis & Prevention. 2011;43:1666-76
38. Clayton T, Cousens S, Fletcher O, Hayes R, Higgins C, M Q. Advanced Statistical Methods in Epidemiology. London School of Hygiene and Tropical Medicine. 1st Edition, Chapman & Hall/CRC press: London, 2001
39. Schneider RJ, Ryznar RM, Khattak AJ. An accident waiting to happen: a spatial approach to proactive pedestrian planning. Accident Analysis & Prevention 2004;36:193-211
40. Anselin L, Champaign-Urbana I. Ordinary least squares and Poisson regression models. University of Illinois, USA, 2002
41. Ayati E, Abbasi E. Application of Zero-Inflated Regression Models in Modeling Accidents on Urban Highways. Omran modares Journal 2011;11:1-15
42. Hilbe JM. Negative binomial regression. 2th Edition, Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom, 2011
43. Ukkusuri S, Miranda-Moreno LF, Ramadurai G, Isa-Tavarez J. The role of built environment on pedestrian crash frequency. Safety science 2012;50:1141-51
44. McArthur A, Savolainen P, Gates T. Spatial Analysis of Child Pedestrian and Bicycle Crashes: Development of Safety Performance Function for Areas Adjacent to Schools. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2014; 24:57-63
45. Richmond SA, Rothman L, Buliung R, Schwartz N, Larsen K, Howard A. Exploring the impact of a dedicated streetcar right-of-way on pedestrian motor vehicle collisions: A quasi experimental design. Accident Analysis & Prevention 2014;71:222-7
46. Fotheringham AS, Brunsdon C, Charlton M. Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships: John Wiley & Sons; 2003.[Available from http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471496162.html]
47. Spatial Statistics Resources. Esri. 2015 [cited Available from www.bit.ly/spatialstats]
48. Gelfand AE, Vounatsou P. Proper multivariate conditional autoregressive models for spatial data analysis. Biostatistics 2003;4:11-5

Archive of SID
www.SID.ir

49. Park ES, Lord D. Multivariate Poisson-lognormal models for jointly modeling crash frequency by severity. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2007;2019:1-6
50. Kazemi I, Tazhibi M, Momenyan S, Haghshenas H. Factors Determining the Number of Accidents According to Severity Using Bayesian Multivariate Log-Normal Poisson Regression. Journal of Research in Health Systems 2013;8:672-80
51. Chang L-Y, Wang H. Analysis of traffic injury severity: an application of non-parametric classification tree techniques. Accident Analysis and Prevention 2006;38:1019-27

Archive of SID

www.SID.ir

ABSTRACT

Methods for studying of frequency, spatial distribution and severity of traffic crashes related to pedestrians in urban areas: a review article

Ali Moradi [1], Hamid Soori[2*], Amir Kavousi [3], Farshid Eshghabadi [4]

1. Faculty of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2. Safety promotion and Injury Prevention Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3. School of Health, Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
4. Faculty of Geography, Dept. Of Human Geography/Urban Planning, University of Tehran, Tehran, Iran

Payesh 2016; 6: 639-652
Accepted for publication: 28 September 2015
[EPub a head of print-31 August 2016]

Objective (s): According to estimates in 2010, approximately 273000 pedestrian in the world lost their lives due to traffic accidents. Studies have shown that the majority of traffic accidents related to pedestrians, particularly in high-income countries occurred in urban areas and More deaths from traffic accidents in densely populated cities in the world is attributed to pedestrians. Because of the importance of choosing a suitable method for the detailed study of traffic accidents related to pedestrians, this review was conducted to compare different methods and reviews and also determination the strengths and weaknesses of each of these methods.
Methods: in this review study we used exist data and evidences based on searching in electronic databases. All studies found entered in endnote software and based on study goals we extract different methods and analysis used to crashes related to the pedestrians.
Results: History of traffic accidents related to pedestrians back to the 1980s. During the 1990s, new methods such as GIS and statistical models used in the study of traffic accidents related to pedestrians. During these years, several studies using GIS and statistical models were used. In recent years, due to the advances obtained in various applications, the researchers in the field of traffic accidents related to pedestrians have been studied using modern and advanced methods and by combining various techniques provided the grounds to identify more precisely effective factors on spread and severity of traffic accidents related to pedestrians.
Conclusion: there are various methods for the study of pedestrian accidents and injuries and in the recent years, methods for analysis of this type of injuries have had more evolution. In light of recent developments, in terms of methodology and software, problems in identifying the causes of this type of injuries more decreased and events and new insights in this field is obtained.

Key Words: Road Accident, Pedestrians, GIS, Statistical Models

[*] Corresponding author: Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
Tel: 22432040
E-mail: Hsoori@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir