شناسایی نقاط حادثه‌خیز تصادفات عابر پیاده به کمک تابع چگالی کرنل در محیط GIS (مطالعه‌ی موردی: شهر مشهد)

مریم حسن‌پور*، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
روزبه شاد، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
ابوالفضل محمدزاده مقدم، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
غلامرضا شیران، استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
سید حسن محسنیان، سازمان حمل و نقل و ترافیک مشهد، مشهد، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Hasanpour_m93@yahoo.com
دریافت: ۹۶/۰۱/۰۶- پذیرش: ۹۶/۰۳/۱۸

چکیده

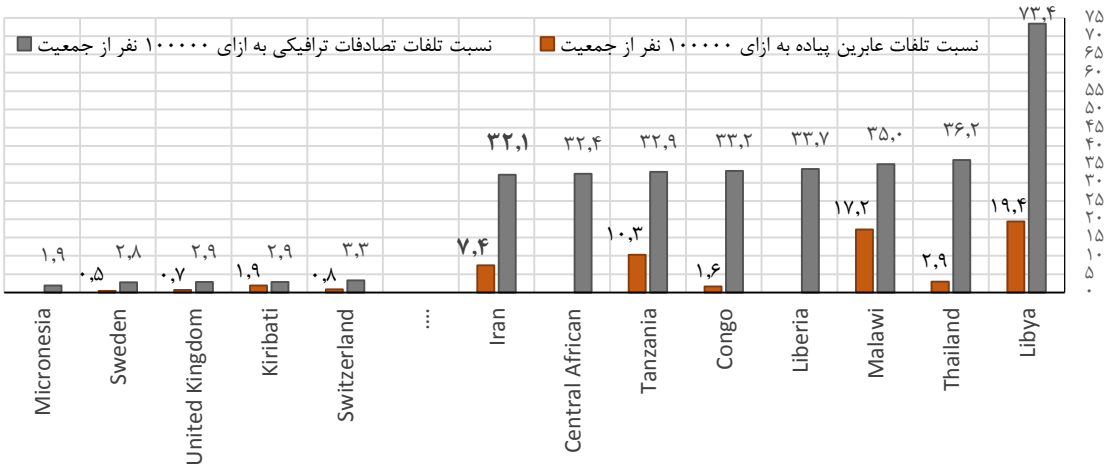
تحقیقات نشان می‌دهند که سهم عابر پیاده از مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات ترافیکی 22 درصد و این مقدار در کشور ایران معادل با 23/2 درصد می‌باشد. از این‌رو تحلیل و ارزیابی تصادفات عابرین پیاده به یکی از چالش‌های مهم مهندسی در زمینه‌ی ارتقای ایمنی و سلامت عمومی تبدیل شده است. با این حال نقطه ضعف اساسی اکثر تحقیقات، عدم توجه به پارامتر مکان حادثه بوده، به‌طوری‌که به مسأله‌ی تغییرات مکانی در فرآیند تحلیل توجهی نشده است. در این مقاله با در نظر گرفتن مکان رخداد تصادفات جرحی عابر پیاده شهر مشهد در سال‌های 1391 تا 1393 به‌عنوان نمونه موردی و انجام تحلیل‌های مکانی-آماری در محیط GIS، نواحی دارای تراکم بالای تصادفات عابر پیاده شناسایی و اولویت‌بندی گردیدند. بدین منظور ابتدا داده‌های رستری با ابعاد 20*20 متر در یک پایگاه داده مکانی شامل 111537 پیکسل آماده‌سازی و با استفاده از تابع چگالی کرنل شبکه‌ای (network Kernel Density Estimation) نقاط حادثه‌خیز شناسایی شدند. با استناد به مناطق متراکم استخراج‌شده، میدان فجر در منطقه‌ی چهار شهرداری، ابتدای جاده‌ی سرخس در منطقه شش شهرداری و تقاطع همت-رسالت، به‌عنوان حادثه‌خیزترین نقاط شهر مشهد از لحاظ تعداد تصادفات جرحی عابر پیاده شناسایی شدند. از این‌رو اولویت‌دهی به‌منظور ممیزی ایمنی در این نقاط توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تصادفات جرحی عابر پیاده، تخمین چگالی، سیستم اطلاعات مکانی

۱-مقدمه

به‌طورکلی هر ساله 17994 نفر در ایران به دلیل تصادفات ترافیکی جان خود را از دست می‌دهند. در این میان، کاربران آسیب‌پذیر راه از جمله عابرین پیاده، دوچرخه‌سواران و رانندگان موتورسیکلت سهم بالایی از خسارات تصادفات رانندگی را به خود اختصاص می‌دهند. به‌طوری‌که سهم جهانی عابر پیاده از مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات 22 درصد بوده و مطابق با سومین گزارش ایمنی راه‌ها، این عدد در ایران معادل با 23/2 درصد افزایش یافته است [WHO, 2013, 2015]. با این وجود، در اغلب موارد نیازهای اساسی مرتبط با آن در نظر گرفته نشده و متمرکز شدن بر حمل‌ونقل موتوری در شهرها باعث شده که اکثر اقدامات ایمنی در زمینه‌ی وسایل نقلیه موتوری انجام گیرند و به‌تبع آن توجه کم‌تری به عابرین پیاده شده است [Campbell, 2004]. از طرفی در کشورهای در حال توسعه همچون ایران توسعه‌ی ایمنی راه‌ها در مقایسه با کشورهای توسعه‌یافته با کمبودهایی مواجه است. این نواقص باعث عدم دسترسی به داده‌های قابل اعتماد که به تصمیم‌گیران جهت انتخاب تصمیم درست کمک می‌کنند، شده‌اند. انتقال تکنولوژی از کشورهای پیشرفته به کشورهای در حال توسعه

نیز اغلب مؤثر واقع نبوده است. از طرفی مقوله‌ی ایمنی در کشورهای در حال توسعه بیش از سایر کشورها به وسایل نقلیه محدود می‌شود. از این‌رو لازم است که به کاربران آسیب‌پذیر راه مانند عابران پیاده نیز توجه شود [Mofadal, 2015].



شکل ۱. مقایسه متوفیان تصادفات ترافیکی کشورهای مختلف جهان و ایران [WHO, 2015]

در اکثر تحقیقات انجام‌شده در رابطه با تصادفات عابرین پیاده، مکان وقوع حادثه در نظر گرفته نشده است. این در حالی است که در مورد حوادث اجتماعی، اغلب موقعیت یک حادثه بر روی موقعیت حوادث دیگر تأثیر می‌گذارد. از این شرایط معمولاً تحت عنوان (ارتباط مکانی) یاد می‌شود. اکثر اتفاقات اجتماعی دارای ارتباط مکانی می‌باشند. در تمام مناطق بزرگ شهری اکثر شاخص‌ها و مشخصات اجتماعی از قبیل جمعیت، سطح درآمد، نژاد، تحصیلات و اشتغال نه تنها از نظر مکانی مستقل نیستند بلکه حتی گرایش به تمرکز دارند. تصادفات عابرین پیاده بررسی شده در برخی نواحی تجمع و در برخی نواحی پراکندگی‌هایی نشان می‌دهند. در مواردی چندین تصادف در یک محل اتفاق می‌افتند لذا وجود یک نقطه نشانگر تنها یک تصادف نیست؛ بنابراین نقشه‌هایی که تنها نقاط تصادف را نشان می‌دهد نمی‌توانند دقیقاً بیانگر چگونگی توزیع تصادفات باشند (شکل 3) [قیاسی، 1390].

درحالی‌که تحلیل‌های عمومی منجر به دیدگاه کلی در مورد نحوه وقوع تصادفات می‌شوند، تحلیل‌های مکانی دارای قابلیت مشخص نمودن نواحی خاص قابل توجه می‌باشند. به‌عنوان مثال در نقشه‌های معمولی که هر تصادف به‌صورت یک نقطه مشخص می‌شود و شناسایی الگوی دقیق تصادفات امکان‌پذیر نمی‌باشد. با اینکه شمای کلی تصادفات در این‌گونه نقشه‌ها مشخص می‌باشد اما تعریف دقیق محل نقاط مستعد خطر مسیر نیست زیرا تأثیر هر تصادف بر محیط پیرامونی و همچنین تصادفات مجاور لحاظ نمی‌گردد؛ بنابراین تحلیل مکانی داده‌های تصادف به‌عنوان اولین و مهم‌ترین قدم در شناسایی نقاط تصادف شناخته می‌شود که استفاده از نرم‌افزار GIS می‌تواند کمک شایانی در تحلیل و دسته‌بندی این اطلاعات بنماید.

لذا با توجه به اهمیت ارزیابی تصادفات عابر پیاده در حفظ سلامت عمومی جامعه، در این مقاله، شناسایی نقاط حادثه‌خیز عابر پیاده از طریق بکارگیری تکنیک‌های مختلف و کارآمد تحلیل‌های مکانی در GIS به‌منظور رفع چالش‌های پیش رو ارائه گردیده است. تا بدین وسیله داده‌هایی قابل اعتماد که جنبه‌های مختلف تصادفات عابر پیاده را نمایان می‌سازند و سرمایه‌ای ارزشمند جهت توسعه‌ی ایمنی کشور می‌باشند، تهیه گردد.

۲-پیشینه تحقیق

پژوهشگران زیادی به کاربرد برخی از تحلیل‌های آماری-مکانی از جمله بافر، نزدیک‌ترین همسایگی، چگالی ساده و چگالی هسته‌ای به‌منظور تعیین تراکم و نشان دادن توزیع مکانی تصادفات در سطح شبکه‌های حمل‌ونقل پرداخته‌اند [FHWA, 2005]. در ادامه شرح مختصری راجع به پاره‌ای از پرکاربردترین روش‌های GIS محور در زمینه مکان‌یابی نقاط حادثه‌خیز ارائه گردیده و بررسی‌هایی اجمالی در خصوص نقاط

ضعف و قوت احتمالی آن‌ها صورت پذیرفته است. روش‌های مذکور عبارت‌اند از:

- Mode
- Fuzzy Mode
- k-means
- Nearest Neighborhood
- STAC
- Simple Density
- Kernel Density

ساده‌ترین روش تعیین نقاط حادثه‌خیز روش Mode می‌باشد. در این روش تعداد حادثه‌هایی که در هر نقطه خاص اتفاق افتاده‌اند جمع می‌شوند. سپس کل نقاط ناحیه مورد مطالعه بر اساس تعداد حادثه‌های رخ‌داده در آن‌ها به‌صورت نزولی مرتب می‌شوند و بدین ترتیب نقاط رتبه‌بندی می‌شوند. این روش ابزاری عالی برای تعیین نقاط دارای بیشترین تعداد حادثه می‌باشد که پیش از سال 2000 طرفداران بسیاری داشته است [Braddock & et al, 1994].

روش Fuzzy Mode از جهاتی شبیه روش Mode است. تفاوت این روش با روش Mode این است که در روش Mode هر نقطه با یک مختصات یکتا مبنای تحلیل قرار می‌گیرد. در حالی که روش Fuzzy Mode به کاربر اجازه می‌دهد منطقه‌هایی با شعاع مورد نظر را مبنا قرار دهد. خروجی این روش ترتیب منطقه‌های تعیین‌شده بر اساس تعداد حادثه‌های موجود در هر کدام می‌باشد. روش Fuzzy Mode برای تعیین نقاط حادثه‌خیز تصادفات رانندگی مناسب‌تر می‌باشد چراکه معمولاً این وقایع دقیقاً در نقاط مشابهی اتفاق نمی‌افتند و در سطح یک منطقه مثلاً در محدوده یک تقاطع اتفاق می‌افتند. همچنین با انتخاب شعاع‌های بسیار کوچک می‌توان از این روش خروجی‌هایی مشابه خروجی روش Mode گرفت. اگرچه این روش دارای مزیت تعیین منطقه‌های حادثه‌خیز می‌باشد اما باید به این نکته توجه داشت که یکی از نقاط ضعف این روش امکان حساب شدن یک حادثه در چندین منطقه می‌باشد. بدین ترتیب گرچه این روش در تعیین تعداد تصادفات در منطقه‌های کوچک مؤثر است اما در کل ممکن است مجموع تعداد تصادفات به حساب آمده در کل منطقه‌ها بیشتر از تعداد کل تصادفات منطقه مورد مطالعه نشان دهد [Pulugurtha & et al, 2007].

روش K_means یکی دیگر از روش‌های متداول در تعیین نقاط حادثه‌خیز تصادفات عابرین پیاده می‌باشد. در این روش تعداد مشخصی تحت عنوان عدد K برای تعداد مناطق حادثه‌خیز تعریف می‌شود. این روش خصوصاً در تعیین تعداد مساوی منطقه حادثه‌خیز در ناحیه‌های مختلف مورد مطالعه کاربرد دارد. به‌عنوان مثال می‌توان با استفاده از این روش 5 منطقه حادثه‌خیز در تهران و 5 منطقه حادثه‌خیز کرج را شناسایی و با هم مقایسه نمود. در این روش تعداد منطقه‌های مورد نظر نیازمند دقت ویژه می‌باشد زیرا با انتخاب تعداد کم ممکن است تعدادی از مناطق حادثه‌خیز از قلم بیفتد و یا با انتخاب تعداد زیاد برخی از مناطقی که مشخص می‌شوند اصلاً حادثه‌خیز نباشند. در مجموع با استفاده از این روش می‌توان مناطقی را که دارای بالاترین اولویت برای توجه و حل مشکلات موجود هستند شناسایی نمود [Anderson, 2009].

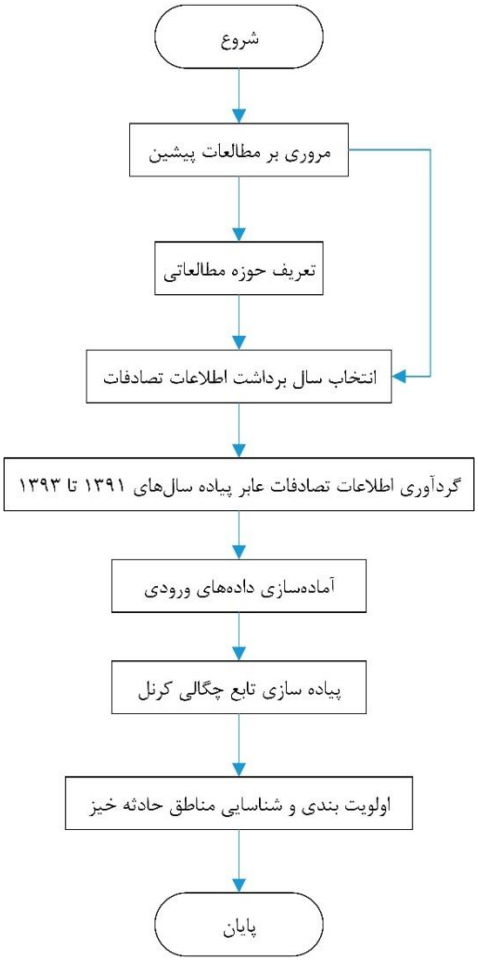
روش نزدیک‌ترین همسایگی دارای دو سطح کلی و جزئی می‌باشد. در سطح کلی این روش ابتدا فاصله متوسط بین هر نقطه با نزدیک‌ترین همسایه‌اش برای کل نقاط موجود در محدوده مورد مطالعه محاسبه می‌گردد. سپس این مقدار متوسط با فاصله‌ای که در صورت توزیع تصادفی نقاط در کل محدوده به وجود می‌آمد مقایسه گردیده و حاصل این مقایسه شاخصی است که بیانگر میزان تراکم یا پراکندگی نقاط خواهد بود؛ اما در سطح جزئی این روش، نقاطی که در همسایگی هم قرار دارند تا جایی که فاصله متوسط آن‌ها از مقدار تعیین‌شده توسط کاربر و یا مقدار ناشی از توزیع تصادفی تجاوز ننماید در یک گروه قرار داده می‌شوند. یکی دیگر از روش‌های تحلیل نقاط حادثه‌خیز نیز روش STAC می‌باشد. در این روش چگالی تراکم حوادث نقطه‌ای برای یک منطقه مشخص با تعریف مناسب‌ترین دایره و یا بیضی به‌عنوان منطقه اثر محاسبه می‌گردد. در گام بعدی این روش منطقه‌های تراکم کوچک‌تر با هم ترکیب می‌شوند تا مناطق تراکم اصلی مشخص شوند [Ziari and Khabiri, 2005].

در میان روش‌های متعددی در جهت تحلیل تغییرات مکانی داده‌های نقطه‌ای وجود دارد، یکی از پیشروترین آن‌ها برآورد چگالی[1] است. چگالی، مقدار یک کمیت در واحد سطح، مانند تعداد تصادفات عابرین پیاده در کیلومترمربع و یا تعداد افراد در کیلومترمربع می‌باشد. به‌عنوان مثال اگر تعداد بیشتری تصادف در یک تقاطع اتفاق افتاده باشد، آنگاه چگالی تصادف در آن تقاطع

افزایش می‌یابد. روش برآورد چگالی از جهات مختلفی نسبت به دیگر روش‌های شناسایی نقاط حادثه‌خیز برتری دارد. مهم‌ترین برتری این روش نسبت به سایر روش‌ها توزیع ریسک تصادف می‌باشد. توزیع ریسک می‌تواند به‌صورت پخش کردن احتمال وقوع تصادف در یک شعاع معین اطراف محل وقوع تصادف به دلیل وجود ارتباط مکانی تعریف گردد و سطوح چگالی ساخته‌شده جهت نمایش دادن نقاط تمرکز به کار می‌روند [قیاسی، 1390]. روش‌های برآورد چگالی شامل چگالی نقطه‌ای[2]، چگالی خطی[3] و چگالی کرنل[4] است. از میان این سه روش برای تخمین چگالی، توانایی چگالی کرنل در نمایش شفاف و قابل تفسیر نتایج به اثبات رسیده است؛ زیرا این تابع با اختصاص بالاترین ارزش به نقطه و کاهش منحنی‌وار آن همراه با افزایش فاصله، سطحی نرم و منحنی در اطراف هر نقطه‌ی تصادف ارائه می‌دهد [Deshpande & et al, 2011]. مطالعات مختلفی نیز به‌منظور مقایسه‌ی روش‌های تحلیل مکانی انجام گرفته است. Deshpande و همکاران مقایسه‌ای مابین چگالی کرنل و همبستگی مکانی به‌منظور تشخیص روش مناسب تحلیل داده‌ها انجام دادند. به‌عنوان نتیجه‌گیری از این تحقیق، روش چگالی کرنل دارای مزایایی از قبیل اجرای آسان و تفسیر شفاف است [Deshpande & et al, 2011]. Yu و همکاران نیز دو روش تحلیل مکانی، چگالی کرنل و همبستگی مکانی را با استفاده از سه معیار مقایسه و روش کرنل را قدرتمند معرفی نمودند [Yu & et al, 2011].

۳-روش تحقیق

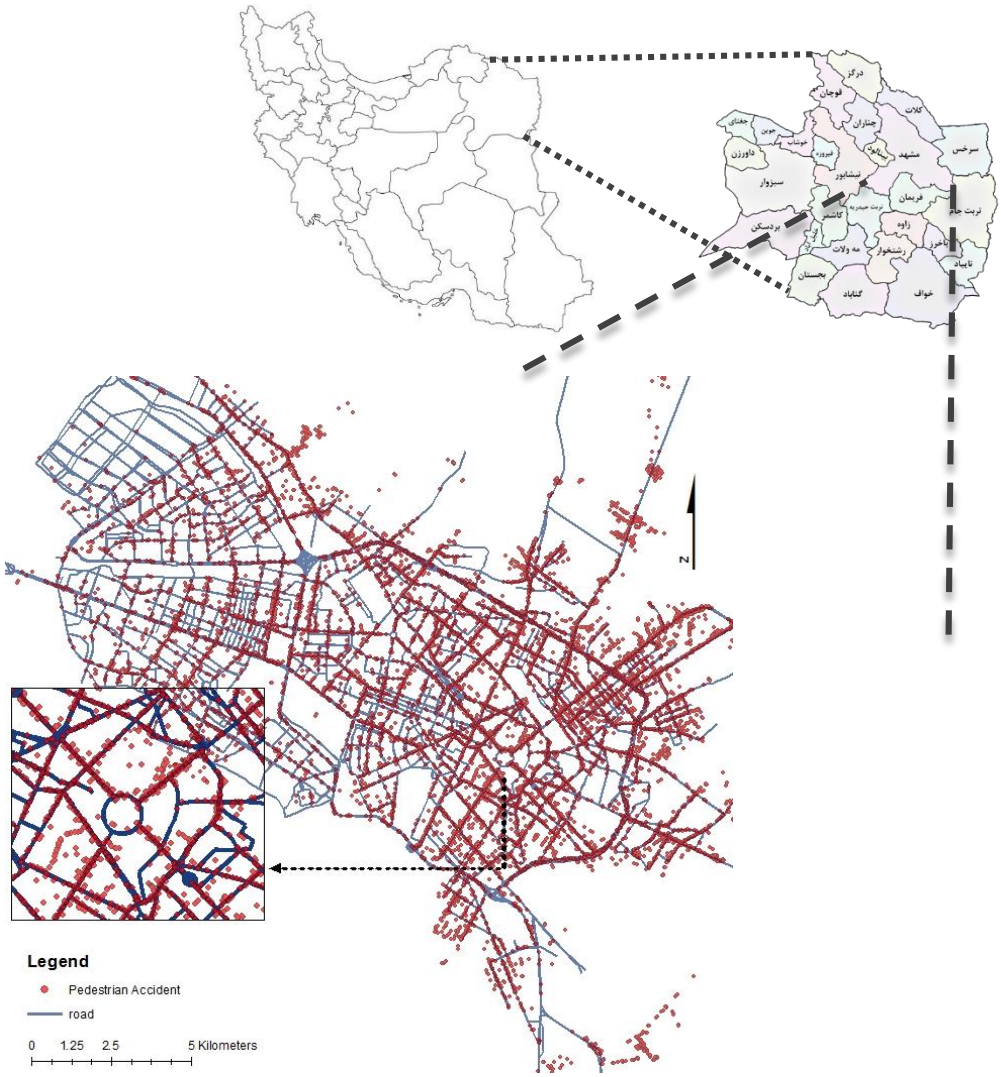
رویکرد کلی این تحقیق، تحلیل مکانی تصادفات جرحی عابر پیاده و شناسایی نقاط دارای تراکم و تمرکز تصادفات در راه‌های درون‌شهری می‌باشد. بدین منظور، در گام اول یک روش مبتنی بر چگالی کرنل ارائه و تراکم تصادفات در شهر مشهد بر اساس تعداد رخداد پدیده‌ی تصادف عابر پیاده در هر واحد 20 متری محاسبه شده است. لازم به ذکر است که در چگالی کرنل از تابع توزیع احتمال به‌منظور تعیین تراکم پدیده‌ی تصادف استفاده می‌گردد. در گام بعدی، چگالی‌های بدست آمده در سه گروه بر اساس بیشترین اختلاف بیرونی و کمترین اختلاف درونی تقسیم و در نهایت بحرانی‌ترین مناطق شهر مشهد از منظر تعداد تصادفات عابر پیاده شناسایی گردیدند (شکل 2).



شکل ۲. فلوچارت کلی مراحل انجام تحقیق

۳-۱- محدوده مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

در این مقاله، شهر مشهد به‌عنوان مرکز استان خراسان رضوی و دومین کلان‌شهر ایران برای پیش‌بینی و تخمین تصادفات عابر پیاده مد نظر قرار گرفته است [معاونت مطالعات و برنامه‌ریزی، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد, 1394]. لازم به ذکر است که استان خراسان رضوی بالاترین تعداد مجروحین حوادث رانندگی (85405 در سال‌های 1391 تا 1393) را بعد از تهران (108433 در سال‌های 1391 تا 1393) دارا می‌باشد [سازمان پزشکی قانونی کشور, 1394]. همچنین، سالیانه حدود 30 تا 35 میلیون نفر از شهر مشهد به‌عنوان یک شهر زیارتی-توریستی بازدید می‌کنند. لذا حجم تردد مسافر در شبکه حمل‌ونقلی مشهد بسیار بالا بوده و منجر به افزایش نرخ رشد تصادفات عابر پیاده می‌شود.



شکل ۳. موقعیت شهر مشهد در کشور ایران

داده‌های تصادفات عابر پیاده مربوط به سال‌های 1391، 1392 و 1393 در شهر مشهد از طریق سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری این شهر تهیه شدند. همان‌طور که در جدول شماره 1 مشاهده می‌شود اگرچه تعداد کل تصادفات در طول سه دوره‌ی زمانی مذکور روندی کاهشی داشته است، تعداد تصادفات عابر پیاده افزایش یافته است. لازم به ذکر است که تصادفات عابر پیاده در دو گروه کلی شامل تصادفاتی که در حریم تقاطع یا تصادفاتی که در حریم خیابان به وقوع پیوسته اند، دسته‌بندی می‌گردند. در مطالعات پیشین به اثبات رسیده است که اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای بین الگوی تصادفات در تقاطع‌ها و خیابان‌های شهری وجود دارد. از این‌رو هریک از المان‌های شبکه نیازمند یک مدل اختصاصی برای برآورد و پیش‌بینی تصادفات مربوط به خود می‌باشند [Chiou, 2006]. با توجه به اینکه تعداد قابل ملاحظه‌ای از تصادفات عابر پیاده در کمان‌های شبکه شهری به وقوع پیوسته، در این مقاله تصادفات مرتبط با کمان‌های شبکه شهری تحلیل شده است.

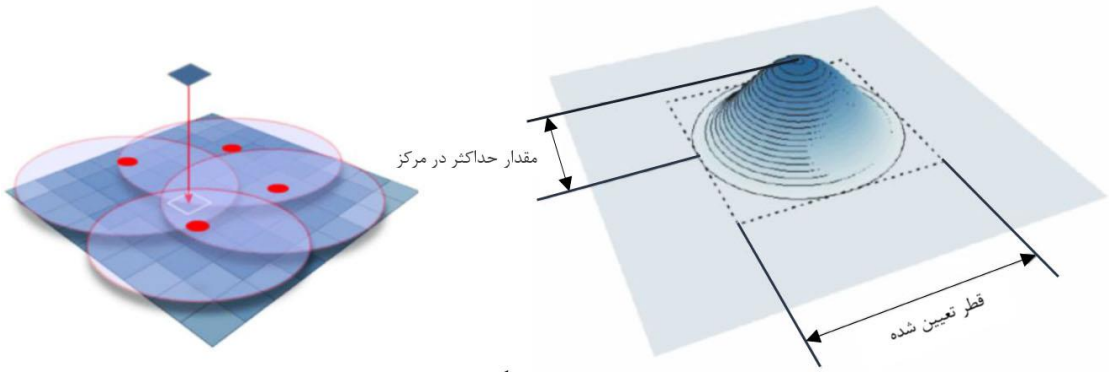
جدول ۱. روند تغییرات تعداد تصادفات جرحی شهر مشهد در سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ [سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد، ۱۳۹۳]

سال	کل تصادفات	تصادفات عابر پیاده		
		کل	تقاطع	خیابان
۱۳۹۱	۳۰۶۳۷	۶۷۲۹	۱۱۱۰	۵۶۱۹
۱۳۹۲	۲۶۰۷۲	۷۲۷۴	۱۴۰۹	۵۸۶۵
۱۳۹۳	۲۷۷۰۴	۷۷۰۶	۲۸۹۳	۴۸۱۳

۳-۲-اجرای تابع چگالی کرنل بر روی تصادفات

همان‌طور که بیان گردید روش برآورد چگالی (Density estimation) از جهات مختلفی نسبت به دیگر روش‌های شناسایی نقاط حادثه‌خیز برتری دارد. مهم‌ترین برتری این روش نسبت به سایر روش‌ها توزیع ریسک تصادف می‌باشد. توزیع ریسک از طریق پخش کردن احتمال وقوع تصادف در یک شعاع معین اطراف محل وقوع (با توجه به وجود ارتباط مکانی) تعریف می‌گردد. محاسبه چگالی به دو روش شامل: روش ساده و روش هسته‌ای (Kernel) امکان‌پذیر می‌باشد که در هر دو روش یک محدوده‌ی جستجو جهت محاسبه چگالی مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش ساده در کل مساحت محدوده‌ی جستجو، چگالی را به‌صورت یکنواخت در نظر می‌گیرد. در روش هسته‌ای چگالی تابعی از فاصله فرض شده و بر اساس آن محاسبات مورد نیاز در ناحیه‌ی جستجو انجام می‌گیرد. از این‌رو روش هسته‌ای توانایی بالاتری به‌منظور نمایش توزیع داده‌ها در سطح دارد.

مدل چگالی هسته‌ای یک ناحیه متقارن در اطراف هر نقطه تشکیل داده و به ازای هر موقعیت درون ناحیه مورد نظر ارزشی را بر اساس فاصله آن تا نقطه مبدأ (یا نقاط مبدأ در صورت قرار داشتن در محدوده چندین نقطه) و تابع توزیع احتمال مربوطه ارائه می‌دهد. به عبارت دیگر این روش معادل با قرار دادن یک سهمی گون در محل هر تصادف و محاسبه ارزش مربوط به هر نقطه با جمع‌کردن مقادیر جزئی ناشی از هر سهمی گون در آن نقطه، می‌باشد (شکل 4). بدین ترتیب بر اساس یک رابطه مشخص در سطح یک ناحیه اطراف محل تصادف با شعاع دلخواه، شاخص مربوط به هر تصادف مشخص می‌گردد. در نهایت با محاسبه مقادیر نقاط یک سطح پیوسته از برآورد چگالی هسته‌ای بدست می‌آید [Fotheringham, Brunsdon, & Charlton, 2000]. لازم به ذکر است که دو پارامتر مؤثر بر خروجی روش چگالی هسته‌ای عبارت‌اند از شعاع جستجو و اندازه سلول که در این بین شعاع جستجو دارای تأثیر به مراتب بیشتری می‌باشد. اندازه شعاع تأثیری مستقیم بر روی اندازه نقاط حادثه‌خیز داشته، به‌طوری‌که هر چه شعاع بزرگ‌تر در نظر گرفته شود، نقاط حادثه‌خیز بزرگ‌تری بدست می‌آیند. مطالعات محدودی که در این زمینه انجام شده، بیانگر آن است که اندازه شعاع جستجو به تشخیص پژوهشگر وابسته بوده و معیاری برای تعیین آن ارائه نشده است [قیاسی, 1390].



شکل ۴. نحوه‌ی محاسبه‌ی چگالی هسته‌ای

در تابع چگالی کرنل (رابطه 1) $f_n(x)$ تخمین چگالی در واحد مکانی x، h شعاع جستجوی تعریف‌شده، n تعداد تصادفات در همسایگی x داخل شعاع جستجوی h ، k تابع چگالی کرنل به‌منظور محاسبه‌ی اثر فاصله و d_i مسافت مابین مکان تصادف x و i امین تصادف است. محققین مختلف چگالی کرنل را به کمک توابع متفاوت از جمله تابع درجه سوم (triangular) ، تابع درجه چهارم (quartic) و تابع گوسین (Gaussian) اجرا کرده‌اند [Chen, Fang, Li, & Tao, 1989; Loo, Yao, & Wu, 2011; Z. Xie & Yan, 2008]. با این حال به اثبات رسیده است که انتخاب نوع تابع تأثیر قابل‌توجهی

بر نتایج نخواهد داشت [Chen et al., 1989; Loo et al., 2011]. در این مقاله، تابع درجه چهارم برای تخمین چگالی هر واحد مکانی مورد استفاده قرار گرفته است (رابطه 2) [Loo et al., 2011].

$$f_n(x) = \frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n} k\left(\frac{d_i}{h}\right) \quad (1)$$

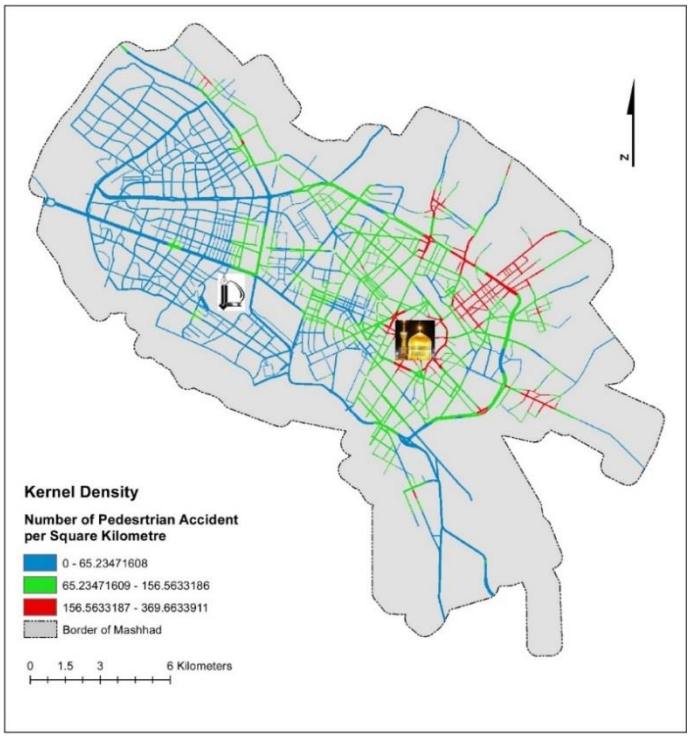
$$f_n(x) = \begin{cases} \frac{15}{16nh}\sum_{i=0}^{n}\left(1-\frac{d_i^2}{h^2}\right) & 0 \le \frac{d_i^2}{h^2} \le 1 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

انتخاب مقدار شعاع جستجو تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان بر نتایج تحلیل کرنل دارد [O'Sullivan & Wong, 2007; Z. Xie & Yan, 2008]. شعاع جستجوی بهینه می‌تواند از طریق حداقل کردن میانگین مربعات خطای تخمین چگالی بدست بیاید. پژوهش‌های پیشین شعاع جستجوی بهینه را متناسب با $n^{-1/5}$ برای تابع درجه چهار بیان نموده‌اند [Chen et al., 1989]. در نسخه‌ی 10.2.1 نرم‌افزار GIS قابلیتی جدید به آن در بخش چگالی کرنل اضافه شد و این قابلیت محاسبه‌ی شعاع جستجوی بهینه به‌صورت پیش‌فرض از طریق فرمول زیر بوده است. به‌طوری‌که SD فاصله‌ی استاندارد (انحراف معیار استاندارد)، D_m فاصله‌ی (مقدار) میانه و n تعداد نقاط است.

همچنین از میان دو عبارت داخل پرانتز مقدار کوچک‌تر می‌بایست اعمال گردد [Silverman, 1986]. در مقاله حاضر منظور از نقاط حادثه‌خیز مناطقی می‌باشد که دارای تمرکز بالای تصادف عابرین پیاده می‌باشند و لذا نیاز به توجه بیشتری دارند.

$$h_{opt} = 0.9 * \min\left(SD, \sqrt{\frac{1}{\ln 2}} D_m\right) * n^{-0.2} \quad (3)$$

در این مرحله، تصادفات مربوط به سال‌های 1391 تا 1393 با استفاده از نرم‌افزار ARC/INFO GIS به داده‌های رستری مبنا تبدیل شدند. ابعاد واحدهای رستری با توجه به پارامترهای مختلفی از جمله عرض معابر و تعداد کل پیکسل‌ها بهینه شده و برای تمام پیکسل‌ها 20 متر در نظر گرفته شد. سپس آن دسته از تصادفاتی که خارج از مرز محدوده‌ی شهری مشهد قرار می‌گرفتند، حذف شدند و در آخر تعداد 15970 تصادف عابر پیاده وارد مدل‌سازی گردید. اندازه‌ی پیکسل‌ها همانند سایر متغیرها 20x20 مترمربع انتخاب گردید و شعاع جستجو با استفاده از فرمول شماره 3 بهینه گردید و نقشه‌ی خروجی به سه گروه بر اساس میانگین تقسیم شد به‌طوری‌که گروه اول شامل پیکسل‌هایی که چگالی آن از مقدار میانگین کمتر و گروه دوم را پیکسل‌هایی تشکیل می‌دهد از مقداری بالاتر از میانگین دارند.



شکل ۵. نقشه چگالی تصادفات عابر پیاده شهر مشهد

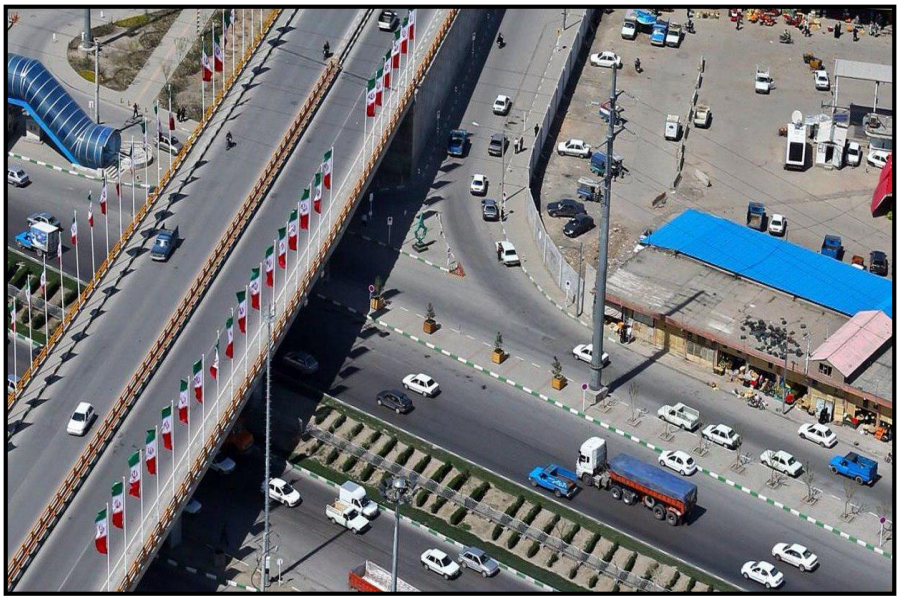
۴-بحث و بررسی

تصادفات عابر پیاده در طول 3 سال با استفاده از نرم‌افزار GIS ترکیب و سپس تابع مربوطه بر روی آن‌ها اعمال گردید. در نهایت نقشه‌ی خروجی به سه گروه بر اساس میانگین تقسیم شد. به‌طوری‌که گروه اول شامل پیکسل‌هایی که چگالی آن از مقدار میانگین کمتر و گروه دوم را پیکسل‌هایی تشکیل می‌دهد از مقداری بالاتر از میانگین دارند (جدول 2). شایان ذکر است منطقه‌ی ثامن (چهار قطاع اطراف حرم مطهر رضوی)، میدان فجر و بلوار تربیت در منطقه چهار، بخش‌هایی از خیابان خواجه ربیع، جاده کلات، میدان امام حسین و تقاطع همت-رسالت در منطقه سه، همچنین ابتدای بلوار سرخس بعد از تقاطع عباس‌پور در منطقه شش شهر مشهد دارای تراکم بالاتری (بیش از 156 تصادفات عابر پیاده در کیلومتر مربع) نسبت به سایر نواحی هستند. از این‌رو در زمره‌ی نقاط حادثه‌خیز (طبقه‌ی سوم) قرار می‌گیرند. با این وجود میدان فجر در منطقه‌ی چهار شهرداری، ابتدای جاده‌ی سرخس در منطقه شش شهرداری و تقاطع همت-رسالت چگالی بالاتری را نسبت به سایرین در این دسته دارا می‌باشند (شکل 6).

جدول 2. طبقه‌بندی چگالی تصادفات عابر پیاده در شهر مشهد

طبقه	تعریف	نسبت داده‌ها	میزان چگالی (کیلومتر مربع/تعداد)
1	Cold Spot	٪58	0-65
2	Insignificant	٪34	65-156
3	Hot Spot	٪8	156-369

شکل ۶. ابتدای جاده‌ی سرخس در شهر مشهد



شکل ۷. تقاطع بزرگراه فجر-رسالت در شهر مشهد

شکل ۸. میدان فجر در منطقه‌ی چهار شهرداری در شهر مشهد

۵-نتیجه‌گیری

در پژوهش پیش رو تابع چگالی کرنل ارزیابی گردید و در این راستا از اطلاعات تصادفات مربوط به سه سال (1391 تا 1393) در محدوده مطالعاتی شهر مشهد واقع در استان خراسان رضوی استفاده شد. لذا بر اساس نتایج خروجی، دستاوردهایی به شرح زیر بدست آمد.

- لازم به ذکر است که توسعه‌ی GIS در تحلیل تصادفات در محدوده‌ی شهر مشهد محور اصلی این پژوهش می‌باشد. با توجه به توانمندی‌های این سیستم در ذخیره‌سازی مشخصه‌ها و موقعیت‌های مکانی در یک پایگاه داده و امکان پیاده‌سازی و تحلیل‌های آماری-مکانی در آن، مشخص گردید که امکان دستیابی به خروجی‌هایی دقیق، بهنگام و با کیفیت جهت برنامه‌ریزی و بهبود ایمنی تصادفات عابر پیاده میسر می‌باشد. لذا استفاده از قابلیت‌های GIS به‌منظور پیش‌بینی و تحلیل تصادفات عابر پیاده توصیه می‌گردد.
- استفاده از فرمت رستری، بدان علت که اندازه‌ی تمام سلول‌ها یکسان و همچنین طبق نظر کاربر تعیین می‌گردد، دارای قابلیت و انعطاف بالایی جهت آنالیزهای آماری-مکانی است. همچنین این تکنیک اجازه‌ی بررسی سطح زمین با دقت بالا را فراهم می‌سازد. به‌طور مثال یک خیابان در فرمت برداری تنها می‌تواند یک خصوصیت را انتقال دهد. درحالی‌که همان خیابان را می‌توان به تعداد دلخواه پیکسل تبدیل نموده و به هر یک ارزشی متفاوت متناسب با نوع تحلیل، الحاق نمود. در نتیجه استفاده از این روش، قابلیت و دقت مدل‌سازی را چندین برابر افزایش داد.
- رویکردهای تصادفات در دامنه‌ی مکان به ندرت اتفاقی رخ می‌دهند و در واقع خوشه‌هایی را تشکیل می‌دهند که محل‌های تمرکز تصادفات در فضای جغرافیایی هستند. استفاده از یک مدل پیوسته‌ی واقع‌گرایانه از الگوهای تصادفات به کمک تعیین تغییرات چگالی (و نه پردازش منفرد نقاط) به‌عنوان متغیر وابسته، ساختار واقع‌گرایانه‌ای را ایجاد نمود. زیرا این روش بر مبنای مکان‌های تمرکز تصادفات عابر پیاده پدیدار شده و به دنبال شناسایی عواملی است که باعث تمرکز و تراکم تصادفات در مکان‌های مشخصی می‌شوند. در نتیجه مطابقت بیشتری با واقعیت دارد.
- با استناد به مناطق متراکم استخراج‌شده بر پایه‌ی تابع چگالی کرنل، میدان فجر در منطقه‌ی چهار شهرداری، ابتدای جاده‌ی سرخس در منطقه شش شهرداری و تقاطع همت-رسالت، به‌عنوان حادثه‌خیزترین نقاط شهر مشهد از لحاظ تعداد تصادفات جرحی عابر پیاده شناسایی شدند. از این‌رو اولویت‌دهی به‌منظور ممیزی ایمنی در این نقاط توصیه می‌گردد.

با توجه به اهمیت و ابعاد گسترده موضوع ایمنی عابرین پیاده و عدم توجه کافی به این موضوع تاکنون، لذا پیشنهاداتی جهت پژوهش‌های آتی ارائه می‌گردد.

- پیشنهاد می‌شود به‌منظور ثبت دقیق‌تر نقاط حادثه‌خیز، عملیات جمع‌آوری اطلاعات تصادفات به‌صورت

سیستماتیک و با استفاده از دستگاه‌های GPS یا با کدهای مکانمند قابل بازخوانی، توسط رایانه در صحنه تصادف توسط کارشناسان ذی‌ربط ثبت گردد تا احتمال رخداد خطا به حداقل کاهش یابد. زیرا اطلاعات مندرج در فرم‌های پزشکی قانونی که توسط بازماندگان پر می‌شود همواره احتمال به همراه داشتن معایب و اشکالات را دارا می‌باشد و یا اطلاعات مربوط به موقعیت تصادف اعلام‌شده توسط پلیس و اورژانس نیز از دقت بالایی برخوردار نیست.

- علاوه بر این در صورت طراحی نرم‌افزار ویندوز مبنایی که توانایی‌های بانک‌های اطلاعاتی نظیر ACCESS را نیز داشته باشد، می‌توان امکان تحلیل اطلاعات را به‌صورت منفرد و یا به‌صورت ترکیبی برای کاربر فراهم نمود. همچنین در صورت برقراری ارتباط با نقشه‌ها و فایل‌های GIS به‌صورت پشتیبان می‌توان این امکان را برای کاربر فراهم ساخت که با توجه به نیاز شخصی خود، تحلیل‌ها و خروجی‌های مورد نظر خود را دریافت کند.
- با بررسی نقشه‌ی تراکم تصادفات بر پایه تابع چگالی کرنل مشخص می‌گردد چهار قطاع اطراف حرم مطهر در زمره‌ی نواحی حادثه‌خیز عابر پیاده قرار گرفته‌اند. با این حال فرهنگ، الگوی رفتاری و منزلت اجتماعی عابرین پیاده در این نواحی در مقایسه با سایر مناطق مشهد، از الگوی کاملاً متفاوتی پیروی می‌کند و در حقیقت این محدوده را مسافرین و زائرینی تشکیل می‌دهند که غالباً به‌صورت پیاده تردد می‌کنند. با این حال تا به امروز تحلیلی در خصوص علل تصادفات عابرین در این مناطق صورت نپذیرفته است. از این‌رو در صورت دستیابی به اطلاعات مربوطه، توصیه می‌گردد نقش مسافرین در تصادفات عابر پیاده در نواحی پیرامون حرم مطهر به‌صورت مجزا مورد بررسی قرار گیرد.

6-سپاسگزاری

بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی از سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهر مشهد به دلیل کمک‌های بی‌دریغشان به‌منظور در اختیار قرار دادن داده‌ها و اطلاعات مربوطه، به عمل می‌آید.

7-پی‌نوشت‌ها

1. DE
2. Point Density
3. Line Density
4. Kernel Density

8-مراجع

- Anderson, T. K. (2009), "Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots", Accident Analysis and Prevention, Vol. 41, No. 3, pp. 359-364.
- Braddock, M., Lapidus, G., Cromley, E., Cromley, R., Burke, G., and Banco, L. (1994), "Using a geographic information system to understand child pedestrian injury", American Journal of Public Health, Vol. 84, No. 7, pp. 1158-1161.
- Campbell, B.J., et al. (2004), "A Review of Pedestrian Safety Research in the United States and Abroad". pp. 150.
- Chang, L.-Y. (2005), "Analysis of freeway accident frequencies: negative binomial regression versus artificial neural network", Safety Science, Vol. 43, No. 8, pp. 541-557.
- Chen, X., Fang, Z., Li, G., and Tao, B. (1989), "Non-parametric statistics", Shanghai Science and Technology Press, Shanghai, pp. 284-292.
- Chiou, Y.-C. (2006), "An artificial neural network-based expert system for the appraisal of two-car crash accidents", Accident Analysis and Prevention, Vol. 38, No. 4, pp. 777-785.
- Deshpande, N., Chanda, I., and Arkatkar, S. S. (2011), "Accident mapping and analysis using geographical information systems", International Journal of Earth Sciences and Engineering, Vol. 4, No. 6, pp. 342-345.
- FHWA. (2005), "Draft 2005 New Orleans Metropolitan Bicycle and Pedestrian Plan", Regional Planning Commission (Ed.).
- Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., and Charlton, M. (2000), "Quantitative geography: perspectives on spatial data analysis", Sage Publications, ISBN.

- Loo, B. P., Yao, S., and Wu, J. (2011), "Spatial point analysis of road crashes in Shanghai: A GIS-based network kernel density method", Paper presented at the Geoinformatics, 2011 19th International Conference on.
- Mofadal, A.I., K. Kanitpong, and P. Jiwattanakulpaisarn, (2015), "Analysis of pedestrian accident costs in Sudan using the willingness-to-pay method". Accid Anal Prev, Vol. 78, pp. 11-201.
- O'Sullivan, D., and Wong, D. W. (2007), "A Surface-Based Approach to Measuring Spatial Segregation", Geographical Analysis, Vol. 39, No. 2, pp. 147-168.
- Pulugurtha, S. S., Krishnakumar, V. K., and Nambisan, S. S. (2007), "New methods to identify and rank high pedestrian crash zones: An illustration", Accident Analysis and Prevention, Vol. 39, No. 4, pp. 800-811.
- Silverman, B. W. (1986), "Density estimation for statistics and data analysis", Vol. 26, CRC press.
- Song, J. J., Ghosh, M., Miaou, S., and Mallick, B. (2006), "Bayesian multivariate spatial models for roadway traffic crash mapping", Journal of multivariate analysis, Vol. 97, No. 1, pp. 246-273.
- WHO. (2013), "World Health Organization, global status report on road safety: supporting a decade of action".
- WHO. (2015), "World Health Organization, Global status report on road safety"
- Xie, Z., and Yan, J. (2008), "Kernel density estimation of traffic accidents in a network space", Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 32, No. 5, pp. 396-406.
- Yu, H., Liu, P., Chen, J., and Wang, H. (2014), "Comparative analysis of the spatial analysis methods for hotspot identification", Accid Anal Prev, Vol. 66, pp. 80-88.
- Ziari, H. and M.M. Khabiri, (2005), "Applied GIS software for improving pedestrian & bicycle safety". Transport, Vol. 20 (4), pp. 160-164.

- سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد (1393)، "تصادفات جرحی عابر پیاده شهر مشهد".
- سازمان پزشکی قانونی کشور (1394)، "مقایسه آمار متوفیات و مصدومین حوادث رانندگی ".
- قیاسی، ای.، (1390)، "مکان‌یابی نقاط حادثه‌خیز تصادفات عابرین پیاده با استفاده از GIS "، کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی.
- معاونت مطالعات و برنامه‌ریزی، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری مشهد (1394)، "یازدهمین آمارنامه‌ی حمل‌ونقل شهر مشهد ".

Hotspots Identification of Pedestrian Crashes using Kernel Density Estimation in GIS (Case Study: Mashhad City)

M. Hasanpour, M.Sc. ,Student, Faculty of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

R. Shad, Assistant Prof., Faculty of Engineering, Ferdosi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

A. Mohammadzadeh Moghaddam, , Assistant Prof., Faculty of Engineering, Ferdosi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Gh.R. Shiran, Assistant Prof., Faculty of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

S.H. Mohsenian, Mashhad Traffic and Transport Orgnization, Mashhad, Iran.

E-mail: Hasanpour_m93@yahoo.com

Received: Feb. 2017-Accepted: May. 2017

ABSTRACT

Based on recent literatures, 22% of fatality's crashes have been categorized as pedestrian-related worldwide. In Iran, such a record is about 23.2. The analysis and evaluation of pedestrian accidents be turned to one of the major engineering challenges in the promotion of public health and safety. However in the most works undertaken the spatial parameters on the location of the accident, so spatial variations in the predictive have been neglected. In this paper considering pedestrian injury accidents for the city of Mashhad in Iran during time period of 3 years (1391-1393) by employing geo_statistical processing in GIS, sites with a high density of pedestrian accidents have been identified and prioritized. For this purpose, after preparing required raster layers with the pixel size of 20 meters in a spatial database containing 111,537 pixels has been prepared and using network Kernel Density Estimation, hotspots were identified. By implementing KDE to the study area of the city of Mashhad, it was revealed that Fajr square of the four region municipalities, beginning of Sarakhs Road in the six Municipality and Hemat-Resalat intersection, as hazardous areas of the city of Mashhad in the number of pedestrian injury accidents were identified. Therefore, prioritize safety audit in these areas is recommended.

Keywords: Pedestrian Injury Accidents, Density Estimation, GIS

[1] DE
[2] Point Density
[٣] Line Density
[٤] Kernel Density