

## تحلیل مکانی تصادفات در تقاطع‌های برون شهری با به‌کارگیری روش‌های خود همبستگی مکانی و برآورد تراکم کرنل

سایه زینلی<sup>۱\*</sup>، فرهاد حسینعلی<sup>۲</sup>، ابوالقاسم صادقی نیارکی<sup>۳</sup>، محمد کاظمی بیدختی<sup>۴</sup>، میثم عفتی<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی- دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی- تهران - لویزان

۲- استادیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی- دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی- تهران - لویزان

۳- استادیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)، دانشکده مهندسی نقشه برداری (ژئودزی و ژئوماتیک)، قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی- پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

۵- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۸/۳۰

### چکیده

امروزه آمار بالای تصادفات راه‌های برون‌شهری حاکی از این است که تصادفات در تقاطع‌ها درصد بالایی از تعداد کل تصادفات را تشکیل می‌دهند. در این میان سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) به عنوان ابزاری مناسب جهت انجام آنالیزهای مکانی و تحلیل تصادفات در تقاطع‌ها به شمار می‌روند. همچنین با توجه به این که داده‌های تصادف حجیم و ناهمگن هستند، روش‌های خودهمبستگی مکانی و برآورد کرنل می‌توانند مدلی پیوسته و واقعی‌تر را از الگوهای نقاط کانونی در تصادفات راه‌های برون‌شهری ارائه دهند. هدف از این تحقیق تحلیل مکانی تصادفات راه‌های برون‌شهری مبتنی بر تقاطع‌های برون‌شهری با به‌کارگیری روش‌های خودهمبستگی مکانی و برآورد تراکم کرنل است. در مرحله اول معیارهای مناسب برای تحلیل مکانی تصادفات در محور قدیم کرج-قزوین را در بازه زمانی ۱۳۸۸-۱۳۹۲ در نظر گرفته و با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی وزندهی شدند. سپس به‌منظور شناسایی تقاطع‌های حادثه‌خیز و بررسی ویژگی‌های آن‌ها از توابع خودهمبستگی گتیس-ارد جی استار، شاخص انسلین محلی موران و تابع برآورد تراکم کرنل استفاده گردید. همچنین به منظور بررسی خودهمبستگی مکانی هر یک از پارامترهای مورد استفاده در ۵ سال متوالی تابع شاخص موران به کار رفت. نتایج نشان داد که از مجموع تقاطع‌های مسیر رفت و برگشت، ۲۶ تقاطع حادثه‌خیز در مسیر رفت و ۱۰ تقاطع حادثه‌خیز در مسیر برگشت وجود دارد. همچنین برای مسیر رفت هیچ‌کدام از پارامترها و برای مسیر برگشت تنها پارامتر نوع تصادف دارای وابستگی مکانی در ۵ سال متوالی بود.

**کلیدواژه‌ها:** تصادفات راه‌های برون‌شهری، تقاطع، روش‌های خودهمبستگی مکانی، تابع برآورد تراکم کرنل، سیستم اطلاعات مکانی (GIS).

\* نویسنده مسئول: تهران-دانشکده مهندسی عمران-دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی-لویزان

تلفن: ۰۲۱۲۲۹۷۰۰۲۱

## ۱- مقدمه

در دنیای امروز به دلیل افزایش نیاز به ارتباط، مسئله حمل و نقل ارزش بالایی دارد. در هر کشور بر اساس زیرساخت‌های توسعه یافته در آن، یکی از شیوه‌های حمل و نقل صورت متداول تری به خود می‌گیرد. در کشور ایران نیز مانند بسیاری از کشورهای جهان، سفرهای زمینی از تراکم بالاتری نسبت به سایر روش‌های حمل و نقل برخوردار هستند؛ به همین دلیل راه‌ها شریان‌های حیاتی برقرارکننده ارتباط بین مناطق مختلف می‌باشند. از طرفی صدمات جانی و مالی ناشی از تصادفات رانندگی در راه‌ها، جوامع را با مشکلات عدیده‌ای روبه‌رو ساخته‌اند.

طبق آمار سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، سالانه بالغ بر ۲۳ هزار نفر در ایران به دلیل تصادفات در راه‌های برون‌شهری جان خود را از دست می‌دهند [۱]. این در حالی است که سالانه حدود یک میلیون و ۵۰۰ هزار دستگاه انواع خودرو در ایران ساخته می‌شود و به موازات افزایش کاربرد خودرو در زندگی انسان‌ها، طول راه‌ها نیز با رشد ۱۰۰۰ کیلومتری در سال در حال افزایش است؛ اما ایمنی راه‌ها با دو شاخص تولید خودرو و افزایش راه‌ها هم‌خوانی ندارد تا حدی که می‌توان ادعا کرد ضریب ایمنی راه‌ها در سطح بین‌المللی، با نرخ رشد تولید خودرو و افزایش طول راه‌های زمینی، نسبتی معکوس دارد. رقم تصادفات رانندگی در ایران در طی سه دهه اخیر غالباً سیری صعودی داشته و در معدود دوره‌هایی روند آن ثابت و یا نزولی شده است [۲]. هم‌چنین آمار ارائه‌شده به وسیله سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای حاکی از آن است که حدود ۷۰٪ تصادفات کشور در راه‌های برون‌شهری و ۳۰٪ داخل شهر اتفاق می‌افتند [۱].

هدف اصلی سیستم حمل و نقل راه‌های برون‌شهری بهبود جابه‌جایی و به حداقل رساندن تصادفات است. اگرچه برای عموم، زمان سفر از ارزش بیشتری نسبت به دیگر نتایج سیستم حمل و نقل برخوردار است؛ اما تصادفات بار اقتصادی بزرگی را بر جامعه

تحمیل می‌کنند [۳]. با وجود اهمیت و مزایای انکارناپذیر حمل و نقل راه‌های برون‌شهری در زندگی جوامع، سازمان‌دهی و تحلیل اطلاعات مربوط به تصادفات، از قبیل نوع تصادف، محل تصادف و دیگر حالت‌های حمل و نقلی درگیر در تصادفات برای تحلیل‌های ایمنی حمل و نقل بسیار مهم هستند.

ایمنی ترافیک از مباحث مهم در حمل و نقل و از اولویت‌های مهم سازمان‌های دخیل در این حوزه است. وجود تقاطع در یک قطعه راه موجب می‌شود، احتمال تصادف ۱/۶ برابر شود [۴]. با توجه به این نکته که ۸۰٪ ترافیک کشور و ۷۵٪ تصادفات بر روی ۲۰٪ از راه‌های بین‌شهری و بین‌استانی رخ می‌دهند و اینکه اکثر تصادفات بر روی ۱۶۸۰۰ کیلومتر از مجموع ۸۵۰۰۰ کیلومتر راه‌های بین‌شهری و بین‌استانی کشور رخ می‌دهند، تحقیق و سرمایه‌گذاری بیشتر در این مورد ضروری به نظر می‌رسد [۵].

تقاطع‌ها بخش مهمی از سیستم راه‌های برون‌شهری در هر کشوری هستند. بازده عملکردی، ظرفیت، ایمنی و هزینه‌های کلی سیستم تا حد زیادی بستگی به طراحی آن دارد. هدف اصلی طراحی تقاطع‌ها فراهم نمودن راحتی، سهولت و ایمنی افراد درگیر در تقاطع‌های است و این در حالی است که طراحی صحیح آن، درگیری احتمالی بین وسایل نقلیه را نیز در راه‌های برون‌شهری کاهش می‌دهد. تقاطع‌ها می‌توانند با تحلیل مقادیر متفاوت که وقوع تصادف را تحت تأثیر قرار می‌دهند، ایمن شوند و سپس این متغیرها در طول طراحی تقاطع‌ها به طوری که کمتر در معرض تصادف باشند، کنترل شوند. فعالیت‌هایی همچون گردش به چپ، عبور<sup>۱</sup> و گردش به راست و عبور چند راه از یکدیگر پتانسیل وقوع تصادف در تقاطع‌های برون‌شهری را بالا می‌برند [۶]. آمار منابع مختلف در سراسر جهان نشان می‌دهد که تصادفات در تقاطع‌ها درصد بالایی از تعداد کل تصادفات در سیستم راه‌های برون‌شهری را

1 Crossing Over

انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفتند و در جدول (۲) مشاهده می‌شوند، این معیارها عبارتند از: وضعیت جوی، نوع تصادف، روشنایی، نوع منطقه، هندسه محل و عامل انسانی. طرح و هندسه مسیر که شامل ویژگی‌هایی از قبیل (پیچ، سربالایی/سرپایینی)، (پیچ، مسطح)، (مستقیم، سربالایی/سرپایینی)، (مستقیم، مسطح) است و همچنین نوع منطقه (کوهستانی، تپه‌ماهور و هموار) از عوامل مهم در وقوع تصادفات رانندگی هستند [۱۲]. تعداد و شدت تصادفات در شیب‌های سرازیری بیشتر از شیب‌های سربالایی است و با افزایش درصد شیب تعداد تصادفات افزایش می‌یابند [۱۳] [۱۴] از طرفی تقاطع‌ها نیز به دلیل شرایط هندسی خاص خود در ترکیب با شرایط محیطی و عوامل دیگر به‌عنوان عوامل کلیدی در حادثه‌خیزی راه‌های برون‌شهری شناخته می‌شوند [۱۵]، بنابراین در نظر گرفتن نقش عامل راه در کنار دیگر عوامل مؤثر در بررسی حادثه‌خیزی و افزایش ایمنی راه‌های برون‌شهری انکارناپذیر است. آب و هوا نیز از عوامل مؤثر در وقوع و شدت تصادفات در راه‌های برون‌شهری محسوب می‌شوند [۱۵]. شرایط آب و هوایی بد علاوه بر تأثیر در میدان دید، سبب کاهش اصطکاک سطح جاده و به دنبال آن کاهش کارایی سیستم ترمز در وسایل نقلیه می‌شوند. سجادی (۱۳۸۹) در تحقیق خود به این نتیجه رسیده است که نسبت تصادف در زمان بارانی نسبت به زمان غیر بارانی ۱/۷۸ برابر می‌شود. از طرفی روشنایی (روز، شب، به معنای شرایط نوری راه و زیرمجموعه اطلاعات محیطی تصادفات) به دلیل تأثیر در دید از عوامل مؤثر در افزایش تعداد و شدت تصادفات در راه‌های برون‌شهری است [۱۶]. دنیو و ورااگون<sup>۴</sup> (۲۰۱۱) جهت بررسی اثر روشنایی در ایجاد تصادفات دو مدل جداگانه را برای روز و شب توسعه داده‌اند و اثر عوامل مختلف را در هر دو حالت بررسی کرده‌اند.

4 Dinu and Veraragavan

تشکیل می‌دهند [۷]. در سال‌های اخیر سیستم اطلاعات مکانی<sup>۱</sup> تحولات انکارناپذیری را در زمینه سازمان‌دهی و مدیریت داده‌های مکانی ایجاد نموده است و علاوه بر اطلاعات دقیق مکانی، امکاناتی چون آنالیزهای مکانی، شبیه‌سازی و مدل‌سازی را در اختیار برنامه‌ریزان و مدیران حمل‌ونقل قرار می‌دهد. نظر به اینکه تصادف یک پدیده مکان‌مند است، تحلیل‌های تصادفات راه‌های برون‌شهری بر مبنای GIS کمک شایانی در شناسایی مناطق مستعد بروز حادثه می‌نماید. برخلاف گسترش روش‌های تحلیل الگوی نقاط، مطالعات کمی روی خوشه‌بندی نقاط<sup>۲</sup> در حوزه تحلیل مکانی تصادفات در تقاطع‌های راه‌های برون‌شهری انجام گرفته است [۸] و این در حالی است که آمارها در سراسر جهان حاکی از میانگین بالایی از تصادفات تخمین زده‌شده در تقاطع‌ها هستند. در طول این سال‌ها ابزارهای مکانی متفاوتی برای تعیین نقاط حادثه‌خیز ارائه شده است. نویدبخش‌ترین این ابزارها روش‌های خودهمبستگی مکانی است [۹]. این روش‌ها قادرند است به سرعت و به صورت بصری نقاط کانون<sup>۳</sup> را از پایگاه داده بزرگ شناسایی کرده و در نتیجه خروجی آماری و رضایت‌بخشی را ارائه دهند. همچنین این روش‌ها می‌توانند مدل پیوسته واقعی‌تری را از الگوهای نقاط کانونی در نمایش سطوح مختلف از جمله تصادفات در راه‌های برون‌شهری ارائه دهند [۱۰]. از طرفی بررسی ماهیت روابط بین راه، محیط‌زیست، عوامل ترافیکی و تصادفات رانندگی، با هدف بهبود شناخت جمعی سازوکارهای دخیل در تصادفات برای پیش‌بینی بهتر وقوع آن‌ها، مهم است [۱۱]. عوامل مؤثر بر تصادفات در تقاطع‌ها متناسب با اهداف و روش تحقیق و در دسترس بودن داده‌ها در این تحقیق

1 Geospatial Information System (GIS)

2 Point Clustering

3 Hot Spot

ارزیابی نتایج و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادهای در بخش ۷ ارائه شده است.

## ۲- پیشینه تحقیق

تاکنون تحقیقات بسیاری در حوزه تصادفات و نقاط حادثه‌خیز انجام شده است که به شناسایی نقاط حادثه‌خیز، تعیین معیارهای مناسب برای شناخت نقاط، اولویت‌بندی نقاط جهت رفع حادثه‌خیزی، ارزیابی روش‌های موجود و تعیین مدل مناسب برای بررسی آن‌ها می‌پردازند [۱۸]. به دلیل اهمیت تقاطع‌ها و اینکه تصادفات در تقاطع‌ها درصد بالایی از تعداد کل تصادفات را به خود اختصاص می‌دهند، توجه به این نقاط به‌عنوان یکی از نقاط حادثه‌خیز راه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. از جمله مطالعات در زمینه تحلیل تصادفات تقاطع‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

هاکرت<sup>۲</sup> و ماهالل<sup>۳</sup> (۱۹۷۸) میلادی از مدل پواسون برای مطالعه بر روی تصادفات در تقاطع‌ها استفاده کردند و تحقیقات آن‌ها شامل تحلیل‌های آماری از روند کلی در تعداد تصادفات تقاطع‌ها، شدت آن‌ها و تحلیل انواع تصادفات در تقاطع‌ها است. در این پژوهش مدلی توسعه داده‌شده قادر است که تعداد تصادفات فوتی و جرحی را در تقاطع‌های چراغدار و بدون چراغ تخمین بزند. تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد که بیش از ۵۰٪ تصادفات در تقاطع‌ها رخ می‌دهند. پیکرینگ<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۸۶) میلادی در مطالعاتشان بر روی تقاطع‌های سه‌راهه، از مدل پواسون به همراه مدل خطی چندمتغیره استفاده کردند. بر اساس تحقیقات آن‌ها ۳۳٪ تصادفات جرحی در تقاطع‌ها رخ داده‌اند که ۴۵٪ آن مربوط به تقاطعات سه‌راهه بوده است.

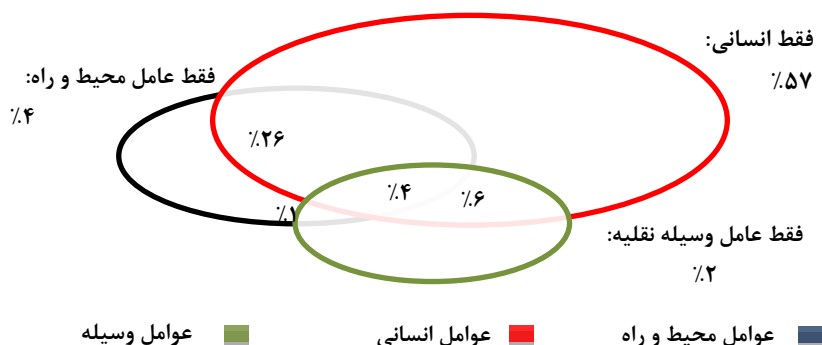
کارشناسان ایمنی بر این عقیده‌اند که تصادفات در راه‌های برون‌شهری به دلیل خطاهای انسانی درصد بالایی را به خود اختصاص می‌دهند. اگرچه عامل انسانی (راننده وسیله نقلیه و یا عابر پیاده) نقش زیادی در بروز تصادف دارد ولی نقش آن در ترکیب با عوامل محیطی و طرح هندسی راه پررنگ‌تر می‌گردد [۱۶]. از عوامل اصلی انسانی که باعث بروز تصادف می‌شود می‌توان به خصوصیات فردی راننده مانند سن راننده، خستگی و خواب‌آلودگی، عجله و شتاب بی‌مورد، بی‌توجهی به مقررات، استعمال مواد مخدر، تخلف عمدی و ضعف ناشی از کهولت سن راننده هنگام رانندگی اشاره کرد. تحقیق ولورد و جوانیز<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) نشان می‌دهد که افراد با سن کمتر از ۱۵ سال بیشتر در معرض خطرات تصادفات رانندگی هستند و همچنین احتمال تصادف برای افراد بالای ۶۰ سال نیز بالا است، پس از این گروه‌ها افراد با سن ۱۵-۲۴ سال سن در رتبه بعدی تصادفات قرار دارند. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است علل انسانی و نیز علل انسانی محیطی به ترتیب منجر به بیش از نصف و یک چهارم از تصادفات در راه‌های برون‌شهری می‌شوند [۱۷]. لذا در نظر گرفتن تقابل عامل انسانی با عوامل محیطی و طرح هندسی راه را در تصادفات برون‌شهری نمی‌توان انکار کرد و نیاز به ارائه راهکارهایی است که با در نظر گرفتن این عوامل موجبات کاهش تعداد و شدت تصادفات و افزایش ایمنی راه را فراهم آورد [۱۵]. هدف از این تحقیق، تحلیل مکانی تصادفات مبتنی بر تقاطع‌های برون‌شهری با به‌کارگیری روش‌های خود همبستگی مکانی و برآورد تراکم کرنل است. در ادامه، در بخش ۲ پیشینه تحقیق، در بخش ۳ روش سلسله مراتبی فازی، در بخش ۴ روش‌های خود همبستگی مکانی و برآورد تراکم کرنل، در بخش ۵ روش تحقیق و منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده در تحقیق در بخش ۶

2 Hakkert

3 Mahalel

4 Pickering

<sup>1</sup> Valverde and Jovanis



شکل ۱: نقش عامل انسانی در تصادفات راه‌های برون‌شهری در کنار سایر پارامترهای مؤثر [۱۷]

متراکم راه‌های برون‌شهری روش برآورد تراکم کرنل نتایج بهتری را ارائه می‌دهد درحالی‌که روش خودهمبستگی مکانی محلی عملکرد بهتری را روی شبکه‌های پر پیچ و خم شهری دارد.

سلیم<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۷) میلادی به بررسی چارچوب استفاده از داده‌کاوی در تحلیل تقاطع‌ها پرداختند. در این تحقیق روش جدیدی جهت بهبود ایمنی در تقاطع با استفاده از ترکیب الگوریتم ریاضی تشخیص تصادف و داده‌کاوی ارائه شده است؛ نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روش ارائه شده به بهبود آگاهی محیطی و درک خودکار تقاطع‌ها کمک می‌کند که به نوبه خود برای افزایش ایمنی در تقاطع‌ها استفاده می‌شود.

روش‌های تشخیص نقاط کانونی رایج به اندازه کافی برای شکل قابل توجهی از الگوهای نقطه‌ای تصادف قوی نیستند چرا که اثرات مکانی داده‌های تصادف مانند خودهمبستگی مکانی را نادیده می‌گیرند. هنگام کار با داده‌های مکان‌مند مانند تصادفات در راه‌های برون‌شهری باید اثرات مکانی بین همسایه‌ها در مکان در نظر گرفته شوند. تحقیقاتی در رابطه با خود همبستگی مکانی از جمله آگرو-والورده و جوانیز<sup>۵</sup> (۲۰۰۶) و لوینه<sup>۶</sup> و همکارانش (۱۹۹۵) و همچنین

چوی<sup>۱</sup> (۲۰۱۰) میلادی به بررسی عوامل تصادف در تقاطع‌ها با روش تحلیل مدل لجیت<sup>۲</sup>، پرداخت. آمار توصیفی نشان می‌دهد که ۳۶٪ تصادفات وسیله نقلیه موتوری، مربوط به تقاطع‌ها بودند. از ۲۳۶،۷۸۷ تصادف در تقاطع، حدود ۹۶٪، به رانندگان نسبت داده می‌شود. درحالی‌که کمتر از ۳٪ از تصادفات به دلایل محیطی یا وسیله نقلیه نسبت داده می‌شود.

با مروری بر مطالعات گذشته، در موارد زیادی از مدل‌های آماری پواسون و دو جمله‌ای منفی استفاده شده است؛ اما افندی‌زاده و همکارانش (۱۳۹۰) در تحقیقات خود برای مدل‌سازی تعداد تصادفات در تقاطع‌های چراغدار شهری علاوه بر مدل‌های آماری، شبکه‌های عصبی را نیز مورد استفاده قرار دادند و نتایج حاصل از مدل‌های ساخته شده آماری و شبکه عصبی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند؛ بر اساس این پژوهش ضریب همبستگی برای مدل آماری ۰.۹۵ و برای مدل شبکه عصبی ۰.۹۷ به دست آمده است.

استین‌برگن<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۴) میلادی روش‌های برآورد تراکم کرنل و خودهمبستگی مکانی را روی شبکه راه‌های شهری و برون‌شهری کشور بلژیک مقایسه کردند. آن‌ها اشاره کردند که در شبکه‌های

4 Salim

5 Agüero-Valverde and Jovanis

6 Levine

1 Choi

2 Logit

3 Steenberghen

دلیل ناتوانی در ترکیب ابهام ذاتی و نبود صراحت مربوط به نگاشت ابهام‌های تصمیم‌گیرندگان با اعداد دقیق، مورد نقد است [۲۰]. منطق فازی ابزاری توانمند برای حل مسائل وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری، مبهم و غیردقیق است [۲۱]. تابع عضویت نوع مثلثی از عدد فازی  $M$  می‌تواند به صورت رابطه (۱) بیان شود [۲۲].

$$\mu_M(x) = \begin{cases} 0 & x < l \\ \frac{x-l}{m-l} & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m} & m \leq x \leq u \\ 0 & x > u \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

جدول (۱) مقادیر مقایسه سلسله‌مراتبی فازی را با در نظر گرفتن متغیرهای زبانی، اهمیت معیارها و گزینه‌ها برای بهبود مقیاس‌دهی ماتریس قضاوت‌ها توصیف می‌کند.

جدول ۱: تبدیل متغیرهای زبانی به فازی [۲۳].

متغیر زبانی	عدد فازی مثلثی	عدد معکوس
اهمیت دقیقاً مساوی	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
اهمیت مساوی	(1, 2, 3)	(3, 2, 1)
کمی مهم‌تر	(1, 2, 2)	(2, 3, 1)
مهم‌تر	(2, 2, 5)	(5, 2, 2)
خیلی مهم‌تر	(2, 5, 3)	(3, 5, 2)
به طور کامل مهم‌تر	(2, 3, 7)	(7, 3, 2)

بردار وزن شاخص‌ها به صورت رابطه (۲) محاسبه خواهد شد:

$$W = [W(x_1), W(x_2), \dots, W(x_n)]^t \quad \text{رابطه (۲)}$$

که بر اساس رابطه  $W = W_{ki} / \sum W_{ki}$  مقدار اوزان نهایی به دست می‌آید [۲۳]. پیاده‌سازی این روش در نرم‌افزار MATLAB انجام شده است.

#### ۴- روش‌های خودهمبستگی مکانی و برآورد تراکم کرنل

ارزیابی روش‌های خودهمبستگی مکانی عمدتاً به وسیله

ناهمگونی<sup>۱</sup> از جمله اردغان<sup>۲</sup> (۲۰۰۹) و هدایقی<sup>۳</sup> (۲۰۱۰) در مورد تصادفات انجام شده است.

تا کنون تحقیقات زیادی به منظور ایجاد ارتباط بین مبحث خوشه‌بندی و تحلیل تصادفات تقاطع‌های برون‌شهری انجام گرفته است. همان‌طور که در پیشینه تحقیق بیان شد؛ برخی از مدل‌های آماری مانند پواسون و دو جمله‌ای منفی برای مدل‌سازی تصادفات در تقاطع‌های برون‌شهری استفاده کرده‌اند. برخی دیگر از خوشه‌بندی غیرآماري و غیرمکانی به‌عنوان ابزاری جهت تحلیل تصادفات در تقاطع‌های برون‌شهری بهره گرفته‌اند؛ اما روبه‌رو شدن با مسائل تحلیل مکانی تصادفات در تقاطع‌های برون‌شهری و اهمیت سیستم اطلاعات مکانی در تحلیل‌های مکانی سبب می‌شود که در این تحقیق به تحلیل مکان‌مبنای تصادفات پرداخته شود. لذا از بین روش‌های مکان‌مبنای موجود، الگوریتم‌های آماری خود همبستگی مکانی و برآورد تراکم کرنل به دلیل ویژگی‌های آن‌ها انتخاب شدند. در این روش‌ها می‌توان نقاط حادثه‌خیز را از پایگاه داده بزرگ، با سرعت بالا و به صورت بصری تعیین کرد؛ همچنین این روش‌ها می‌توانند خروجی رضایت‌بخشی را به صورت آماری ارائه دهند. از طرفی به منظور تحلیل دقیق‌تر تصادفات در تقاطع‌های برون‌شهری، از تعداد پارامترهای بیشتری در مقایسه با تحقیقات پیشین، استفاده شده است.

#### ۳- روش سلسله مراتبی فازی<sup>۴</sup>

روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی<sup>۵</sup> که توسط ساعتی (۱۹۸۰) میلادی ارائه شد، یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است [۱۹]. به رغم محبوبیت عام، AHP به

1 Heterogeneity

2 Erdogan

3 Hadayeghi

4 Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)

5 Analytical Hierarchy Process (AHP)

است. P-Value و Z-Value با توزیع نرمال استاندارد در ارتباط هستند. Z-Value های خیلی بالا یا خیلی پایین (منفی) همراه با P-Value خیلی کوچک در انتها (دنباله) توزیع نرمال هستند. در این روش به هر عارضه و همسایگی آن به شکل یک عارضه نگاه می‌شود. هر عارضه‌ای که مقدار بالایی داشت نقطه مورد نظر است ولی لزوماً این نقطه یک نقطه کانون نیست. برای اینکه یک نقطه کانون باشد باید خودش مقدار بالایی داشته باشد و همسایگانش نیز مقدار بالایی داشته باشند. مقدار جمع محلی برای هر عارضه و همسایگانش با مقدار میانگین عارضه‌ها مقایسه می‌شود، اختلاف بالای این دو عدد نشانه مهم بودن عارضه است [۲۴].

جواب  $G_i^*$  یک Z-Value است. Z-Value انحراف معیار ساده است. مقدار بالا یا پایین انحراف معیار نشان‌دهنده نقاط بحرانی است.

این روش تحلیل، مورد استفاده‌ترین روش برای شناسایی نقاط کانون در بزرگراه‌ها است. آماره‌های  $G_i^*$  و  $G_i^*$  توسط جتیک<sup>۷</sup> و ارد<sup>۸</sup> (۱۹۹۲) برای مطالعه الگوی محلی داده‌های مکانی معرفی شد و در سال ۱۹۹۵ توسعه داده شد [۲۵]. تعریف آماری «گتیس-ارد جی استار» به شرح رابطه (۳) است. که در آن  $X_i$  مقدار ویژگی برای عارضه  $i$  اندازه نمونه و  $w_{ij}$  وزن‌های مکانی بین عارضه‌های  $i$  و  $j$  است. مقدار مثبت این آمار، خوشه مکانی از مقادیر بالا را نشان می‌دهد؛ مقدار منفی، خوشه مکانی از مقادیر پایین را نشان می‌دهد.

تحقیقات انسلین<sup>۱</sup> (۱۹۹۵) و گریفیت<sup>۲</sup> (۲۰۰۸) و موران<sup>۳</sup>، (۱۹۴۸) شروع شد. استقلال محلی می‌گوید که موقعیت یک رویداد به دیگری وابستگی ندارد یا اثرات مرتبه دومی وجود ندارد. هنگامی که حوادث وابسته هستند گفته می‌شود که همبستگی مکانی مثبت است. چندین روش برای آزمایش همبستگی مکانی وجود دارد از جمله: گتیس-ارد جی استار<sup>۴</sup>، شاخص انسلین محلی موران<sup>۵</sup> و شاخص موران<sup>۶</sup>.

#### ۴-۱- روش خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار

آماره گتیس-ارد جی استار به منظور تحلیل نقاط کانون استفاده می‌شود؛ این روش خروجی‌ای را تولید می‌کند که در آن هر نقطه یا عارضه دارای Z-Value است و محاسبه Z-Value نشان می‌دهد چه ویژگی‌هایی با مقادیر بالا یا پایین در هر مکانی با هم خوشه‌بندی می‌شوند. در این روش P-Value و Z-Value مکان‌هایی را با کلاسه‌بندی مکانی بالا یا پایین نشان می‌دهند. Z-Value بزرگ و P-Value کوچک برای هر نقطه نشان‌دهنده خوشه‌بندی مکانی مقادیر بالا است. Z-Value پایین و منفی و P-Value کوچک نشان‌دهنده خوشه‌بندی مکانی مقادیر پایین است. برای ابزارهای تحلیل الگو، مقدار P-Value احتمال تولید الگوی مکانی مشاهده شده به وسیله فرایندهای تصادفی است. P-Value خیلی کوچک (احتمال پایین) به این معنا است که الگوی مکانی مشاهده شده نتیجه فرایندهای تصادفی بوده است، بنابراین فرض صفر رد می‌شود [۲۴].

Z-Value شبیه به انحراف معیار ساده است، به‌طور مثال مقدار  $Z\text{-Value}=2/5$ ، به معنای انحراف معیار  $2/5$

- 1 Anselin
- 2 Griffith
- 3 Moran
- 4 Getis-ord  $G_i^*$
- 5 Anselin Local Moran's I
- 6 Moran's I

7 Getis

8 Ord

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \sum_{i=1}^n w_{ij}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j\right)^2} \times \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{ij}\right)^2 \right]}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

شایعی است که بین ۱ و ۱- تعریف شده است. شاخص موران یکی از روش‌های خودهمبستگی است که در زمینه تحلیل الگوهای پراکنش و توزیع عوارض و پدیده‌ها در مکان استفاده می‌شود. این ابزار خود همبستگی مکانی یکی از کاربردی‌ترین و مهم‌ترین ابزارهای تحلیلی برای تحقیق در مورد داده‌های مکانی است. شاخص موران نشان می‌دهد که آیا خوشه‌بندی در مجموعه داده وجود دارد یا نه؛ رابطه (۵) نشان‌دهنده شاخص موران است [۲۷].

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}\right) \left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه  $n$  نشان‌دهنده تعداد رویدادها و  $\bar{x}$  مقدار متوسط کلی برای تعداد رویدادها و  $x_i$  و  $x_j$  تعداد رویدادها در موقعیت  $i$  ام و  $j$  ام است.  $w_{ij}$  ماتریس وزن مکانی تعریف‌شده برای تعیین درجه تأثیرات محلی رویدادها است. از این شاخص به‌منظور بررسی خودهمبستگی مکانی رویدادها استفاده می‌شود. مقدار مثبت برای  $I$  نشان می‌دهد رویدادها دارای خودهمبستگی مکانی هستند. فرمول ریاضی روش‌های  $Z$ -score، اهمیت نتایج به دست‌آمده را به وسیله رابطه (۶) آزمایش می‌کند [۲۷]:

$$Z = \frac{I_0 - I_E}{SD_{IE}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه ۶،  $I_0$  و  $I_E$  و  $SD_{IE}$  به ترتیب انحراف مورد انتظار و استاندارد، نشان‌دهنده مشاهدات هستند. در این مطالعه شاخص موران برای آزمایش همبستگی مکانی احتمالی برای تصادفات به‌منظور آزمایش تأثیرات مرتبه دوم داده‌های تصادف استفاده شد و ماتریس وزن مکانی برای فضاهای شبکه‌ای زمانی که تصادفات در فضای شبکه‌ای یک بعدی توزیع شده‌اند، تعریف شد. شاخص محلی موران تنها می‌تواند در چارچوب محاسبه  $Z$ -Score تفسیر شوند. مقادیر بالای شاخص با خوشه‌هایی از

#### ۲-۴- روش خودهمبستگی مکانی شاخص انسلین محلی موران

با توجه به مجموعه‌ای از عوارض وزن‌دار، ابزارهای تحلیل خوشه‌ای، نقاط پرت مکانی<sup>۱</sup> و خوشه‌هایی از عوارض را با مقادیر مشابه شناسایی می‌کنند. روش خودهمبستگی مکانی شاخص انسلین محلی موران همچنین خوشه‌هایی از عوارض را با مقادیر بسیار ناهمگن شناسایی می‌کند. برای این کار، ابزار فوق مقدار شاخص محلی موران<sup>۲</sup> و  $Z$ -Score را برای هر عارضه محاسبه می‌کند.  $Z$ -Score نشان‌دهنده اهمیت آماری مقدار شاخص محاسبه شده است. مقدار مثبت برای  $I$  خوشه‌بندی مکانی مقادیر مشابه (بالا یا پایین) و مقدار منفی برای شاخص  $I$  خوشه‌بندی مکانی مقادیر غیر مشابه (برای مثال، ناحیه‌ای با مقادیر بالا احاطه شده به وسیله همسایه‌هایی با مقادیر پایین) را نشان می‌دهد. با استفاده از شاخص انسلین محلی موران می‌توان مشخص کرد که کدام مکان‌های خاص در الگوی کلی خودهمبستگی مکانی سهیم هستند؛ یعنی می‌توان مراکز خوشه‌بندی را به‌صورت معناداری شناسایی کرد [۲۶]. روش شاخص انسلین محلی موران به‌صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{s_i^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{X}) \quad \text{رابطه (۴)}$$

در فرمول بالا  $x_i$  ویژگی عارضه،  $\bar{X}$  میانگین ویژگی مربوطه و  $w$  وزن مکانی بین دو عارضه است.  $s_i$  نشانگر نوع خوشه برای هر عارضه است.

#### ۳-۴- روش خودهمبستگی مکانی شاخص موران

روش خودهمبستگی مکانی شاخص موران روش

1 Spatial Outliers  
2 Local Moran's I



که در آن  $K_{\sigma}$  تابع کرنل است.

#### ۵- روش تحقیق

در ابتدا ۶ پارامتر مورد استفاده در این تحقیق به روش سلسله‌مراتبی فازی وزندهی می‌شوند. سپس به‌منظور شناسایی تقاطع‌های حادثه‌خیز و بررسی ویژگی‌های آنها در مسیر رفت و برگشت، توابع خودهمبستگی گتیس-ارد جی استار و شاخص انسلین محلی موران و تابع برآورد تراکم کرنل بر روی پارامترهای ورودی مربوط به مسیر رفت و برگشت اعمال می‌شوند. همچنین به‌منظور بررسی خودهمبستگی مکانی هر یک از پارامترهای مورد استفاده در ۵ سال متوالی از تابع شاخص موران استفاده شده است.

#### ۵-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق مسیر مورد مطالعه محور قدیم کرج-قزوین به طول ۱۰۹ کیلومتر به صورت مسیره‌ای جداگانه رفت و برگشت است. محور قدیم کرج-قزوین در بین عرض‌های جغرافیایی ۴۸' ۳۵° تا ۱۶' ۳۶° شمالی و طول جغرافیایی ۵۱° ۰۰' تا ۵۰° ۰۰' شرقی قرار دارد. میانگین تصادفات سالیانه این محور ۶۰۰ تصادف فوتی، جرحی و خسارتی است. شروع این محور پل حصارک کرج و پایان آن دروازه تهران ابتدای شهر قزوین است که در شکل (۲) نشان داده شده است. اطلاعات مکانی و توصیفی محور قدیم کرج-قزوین و داده‌های تصادف در بازه زمانی ۵ ساله ۸۸-۹۲ (موقعیت تصادفات با استفاده از GPS از دو پاسگاه پلیس کرج-قزوین و قزوین-کرج ثبت شده بودند) به ترتیب از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای و پلیس راهور اخذ شدند.

مقادیر مشابه همراه (در ارتباط) هستند؛ و مقادیر پایین شاخص با نقاط پرت مکانی در ارتباط هستند. این ابزار در علومی مانند اقتصاد، مدیریت منابع، جغرافیای زیستی، جغرافیای سیاسی و جمعیت‌شناسی کاربرد دارد.

#### ۴-۴- روش برآورد تراکم کرنل

روش برآورد تراکم کرنل که به وسیله رزنبلات<sup>۱</sup> (۱۹۵۶) میلادی معرفی شد، توجه قابل‌ملاحظه‌ای را در برآورد غیرپارامتریک تراکم احتمالی به خود جلب کرده است. برآورد تراکم کرنل روشی محبوب برای تحلیل داده‌های یک‌بعدی و دوبعدی است. برآورد تراکم اطلاعات مفیدی را در مورد عوارض در داده‌ها ارائه می‌دهد [۱۰]. این روش قادر است به سرعت و به‌صورت بصری نقاط کانون را از پایگاه داده بزرگ شناسایی کرده و در نتیجه خروجی آماری و رضایت بخشی را ارائه دهد. مزایای بازنمایش سطحی به خصوص در تصادفات راه‌های برون‌شهری این است که آن‌ها می‌توانند مدل پیوسته واقعی‌تری را از الگوهای نقاط کانونی ارائه دهند. در طول این سال‌ها ابزارهای مکانی متفاوتی به‌منظور نمایش سطوح مختلف از جمله تصادفات در راه‌های برون‌شهری توسعه یافته است. نویدبخش‌ترین این ابزارها برآورد تراکم کرنل است [۹].

مزایای زیادی در استفاده از برآورد تراکم کرنل وجود دارد که مزیت اصلی این روش خاص، تشخیص گسترش خطر تصادفات است درحالی‌که در خوشه‌بندی، اعضای خوشه دارای درجه‌ای از خطر تصادف هستند که این درجه از خطر با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی اندازه‌گیری نخواهد شد. برآورد  $\hat{p}(X)$  از تراکم در  $X$  می‌تواند با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شود:

$$R_i = \hat{p}(X) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_{\sigma}(X - X_i) \quad (7)$$

1 Rosenblatt



شکل ۲: مسیر مورد مطالعه، محور قدیم کرج-قزوین

سربالایی / سرپایینی، مستقیم، مسطح)، نوع منطقه (منظور کوهستانی، تپه ماهور و هموار بودن منطقه است) و عامل انسانی (شامل: خستگی و خواب‌آلودگی، عجله و شتاب بی مورد، بی‌توجهی به مقررات، استعمال مواد مخدر، تخلف عمدی و ضعف ناشی از کهولت سن) در نظر گرفته شد و پس از مقایسات زوجی معیارها و زیر معیارها توسط کارشناسان، وزن نهایی آنها به روش سلسله مراتبی فازی به دست آمد. نتایج به دست آمده در جدول (۲) مشخص شده‌اند.

مسیر مذکور شامل ۲ پاسگاه پلیس راه است که پس از بررسی داده‌ها مشخص گردید، موقعیت تصادفات مربوط به دو پاسگاه پلیس کرج-قزوین و قزوین-تهران است. مسیر مذکور دارای ۱۷۹ تقاطع است.

#### ۵-۲- وزندهی معیارها و زیر معیارها

در این تحقیق ۶ معیار وضعیت جوی (برفی و طوفانی، بارانی، ابری و مه‌آلود و صاف)، روشنایی (شامل: شب، روز، طلوع و غروب)، نوع تصادف (شامل فوتی، جرحی و خسارتی)، هندسه محل (شامل: پیچ، مسطح، مستقیم، سربالایی/ سرپایینی، پیچ، مسطح، مستقیم،

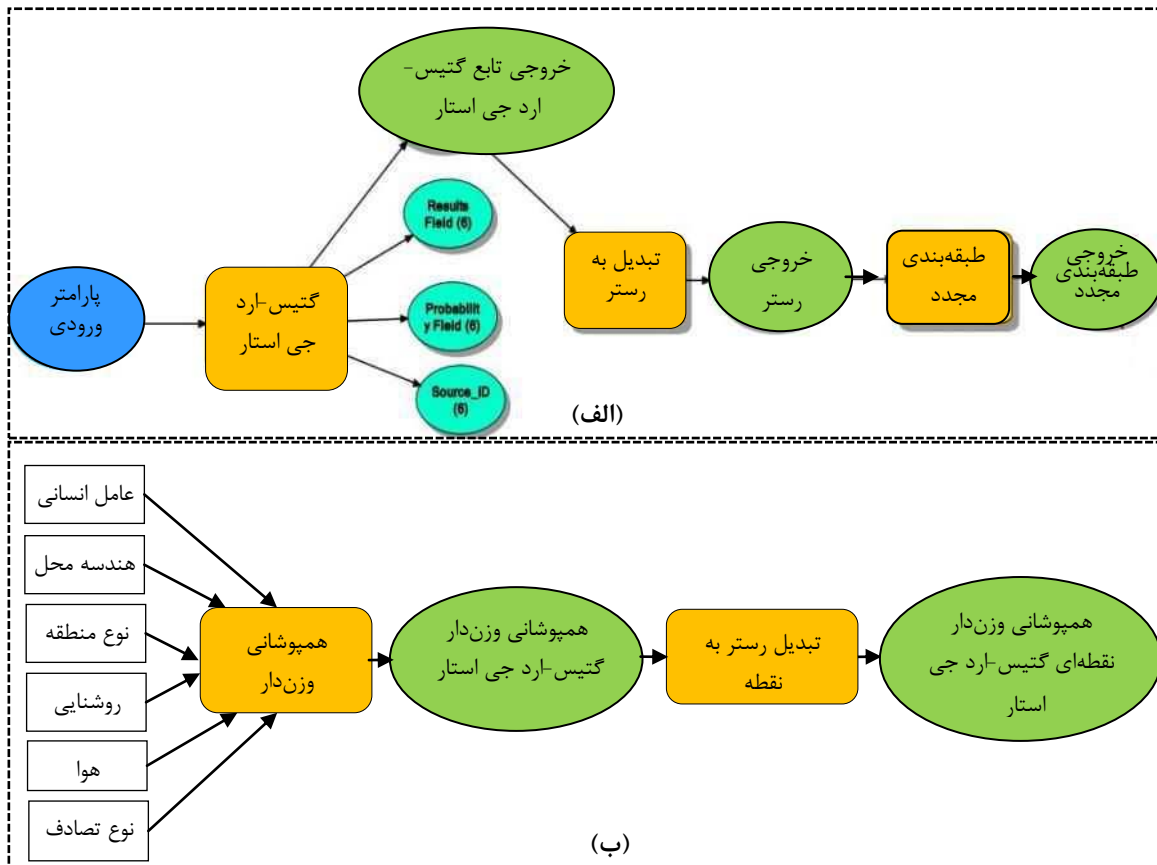
جدول ۲: معیارها و درجه اهمیت آن‌ها و همچنین زیرمعیارها و وزن‌های حاصل از روش سلسله‌مراتبی فازی

معیارهای نهایی	وزن معیارها	وزن زیرمعیارها
وضعیت جوی	۰/۱۸۶۲	برفی و طوفانی: ۰/۱۹۴۷، بارانی، ابری و مه‌آلود: ۰/۱۷۷۹، صاف: ۰/۱۱۲۳
نوع تصادف	۰/۱۸۶۲	فوتی: ۰/۴۰۰۹، جرحی: ۰/۳۶۶۱، خسارتی: ۰/۲۳۱۲
روشنایی	۰/۱۸۶۲	شب: ۰/۲۹۳۱، روز: ۰/۱۶۹۰، طلوع، غروب: ۰/۲۶۷۷
نوع منطقه	۰/۱۱۷۶	کوهستان: ۰/۴۰۰۹، تپه ماهور: ۰/۳۶۶۱، هموار: ۰/۲۳۱۲
هندسه محل	۰/۱۱۷۶	پیچ، سربالایی/ سرپایینی، پیچ، مسطح: ۰/۲۸۵۹، مستقیم، سربالایی/ سرپایینی: ۰/۲۶۱۱، مستقیم، مسطح: ۰/۱۶۴۹
عامل انسانی	۰/۲۰۳۹	خستگی و خواب‌آلودگی، عجله و شتاب بی‌مورد، بی‌توجهی به مقررات: ۰/۱۷۰۹، سایر: ۰/۱۲۱۲، استعمال مواد مخدر: ۰/۱۲۱۱، ضعف عمدی، ضعف ناشی از کهولت سن: ۰/۱۲۹

مقادیر Z-Scoreها در این مرحله بر اساس اهمیت آنها از عدد ۱ تا ۹ دسته‌بندی می‌شوند که این درجه اهمیت از مقدار ۱ تا ۹ افزایش می‌یابد. سپس همپوشانی حاصل از ورودی‌های مرحله قبل همان‌طور که در شکل (۳-ب) نشان داده شده است با یکدیگر انجام شد. مدل حاصل از مراحل بالا برای مسیر رفت (کرج به قزوین)، همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، در محیط ModelBuilder موجود در ArcGIS به‌دست آمد.

### ۳-۵- پیاده‌سازی توابع خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار، شاخص انسلین محلی موران و تابع برآورد تراکم کرنل

به‌منظور تعیین نقاط کانون حادثه‌خیز به وسیله تابع گتیس-ارد جی استار در مسیر رفت (کرج به قزوین)، همان‌طور که در شکل (۳-الف) نشان داده شده است ابتدا بر روی هر یک از پارامترهای ورودی تابع گتیس-ارد جی استار اعمال می‌شود. مرحله بعد نقاط کانون به رستر تبدیل می‌شوند؛ سپس طبقه‌بندی مجدد انجام می‌شود.



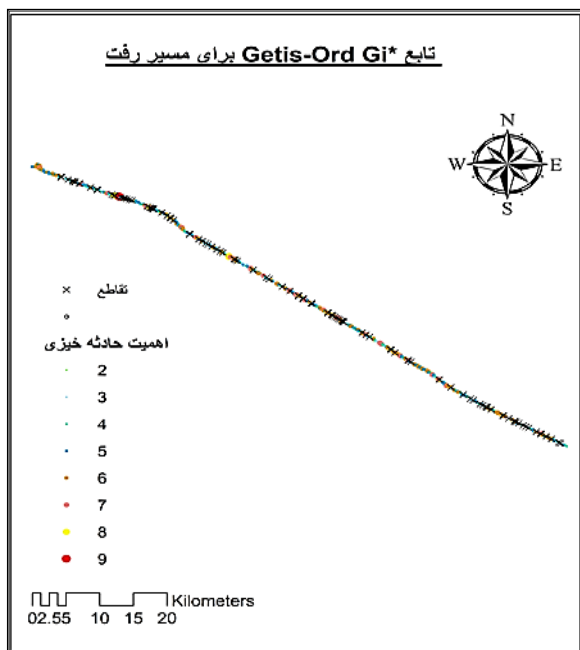
شکل ۳: مدل مربوط به تابع گتیس-ارد جی استار برای مسیر رفت و برگشت در محیط ModelBuilder

به ترتیب خروجی حاصل از همپوشانی ۶ پارامتر هوا، روشنایی، نوع منطقه، هندسه محل، نوع منطقه و عامل انسانی روی مسیر رفت (کرج به قزوین) و برگشت (قزوین به کرج) به همراه تقاطع‌های مسیر رفت و

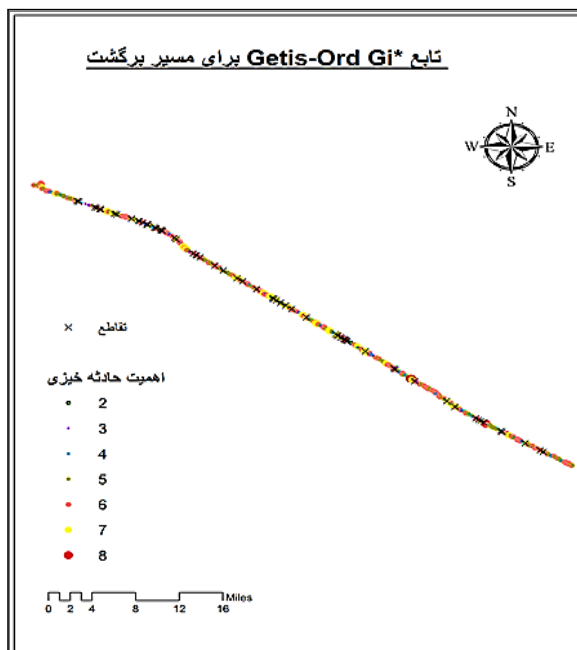
برای تعیین نقاط کانون به وسیله تابع گتیس-ارد جی استار در مسیر برگشت (قزوین به کرج)، همانند مسیر رفت، عمل می‌شود؛ با این تفاوت که ورودی‌ها مربوط به مسیر برگشت هستند. در شکل (۴-الف و ب)

اهمیت حادثه‌خیزی آن از رنگ سبز تا رنگ قرمز مشخص شده‌اند.

برگشت به وسیله تابع گتیس-ارد جی استار نشان داده شده است؛ همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است موقعیت تصادفات به ترتیب



(الف)



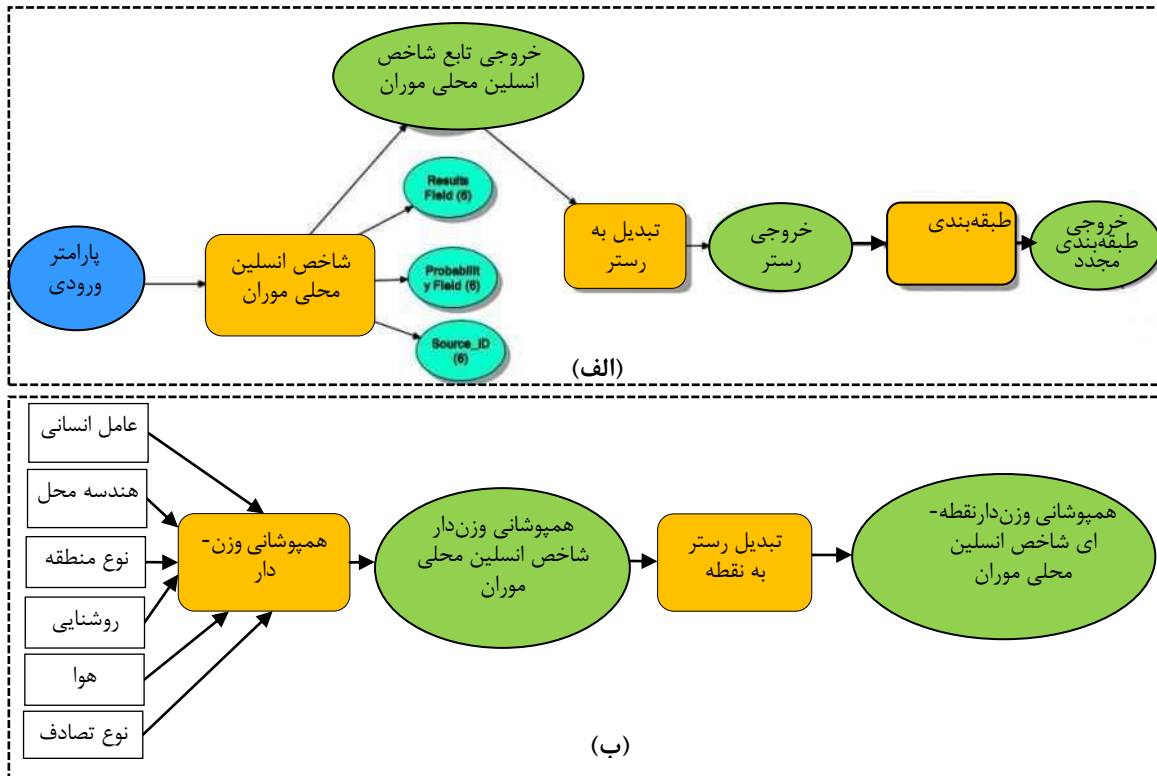
(ب)

شکل ۴: خروجی حاصل از اعمال تابع گتیس-ارد جی استار بر اساس شش پارامتر هوا، روشنایی، نوع تصادف، هندسه محل، نوع منطقه و عامل انسانی روی تقاطع‌های مسیر: (الف): رفت (کرج به قزوین) و (ب): مسیر برگشت (قزوین به کرج)

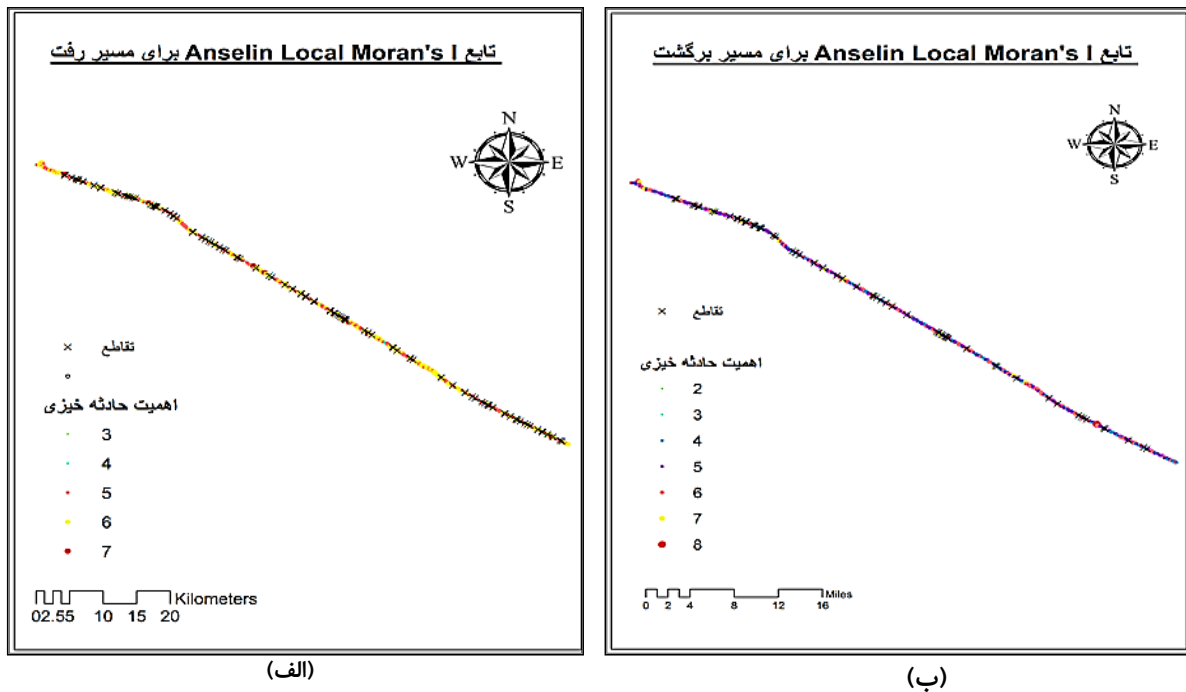
همراه تقاطع‌های مسیر رفت و برگشت به وسیله تابع شاخص انسلین محلی موران نشان داده شده است؛ در شکل (۶) موقعیت تصادفات به ترتیب اهمیت حادثه‌خیزی آن از رنگ سبز تا رنگ قرمز مشخص شده‌اند.

به‌منظور تعیین نقاط حادثه‌خیز با استفاده از تابع شاخص انسلین محلی موران در مسیر رفت و برگشت، همانند روش گتیس-ارد جی استار عمل می‌شود؛ مدل حاصل از این تابع در محیط ModelBuilder، در شکل (۵-الف و ب) نشان داده شده است.

در شکل (۶-الف و ب) به ترتیب خروجی حاصل از همپوشانی ۶ پارامتر را بروی مسیر رفت و برگشت به



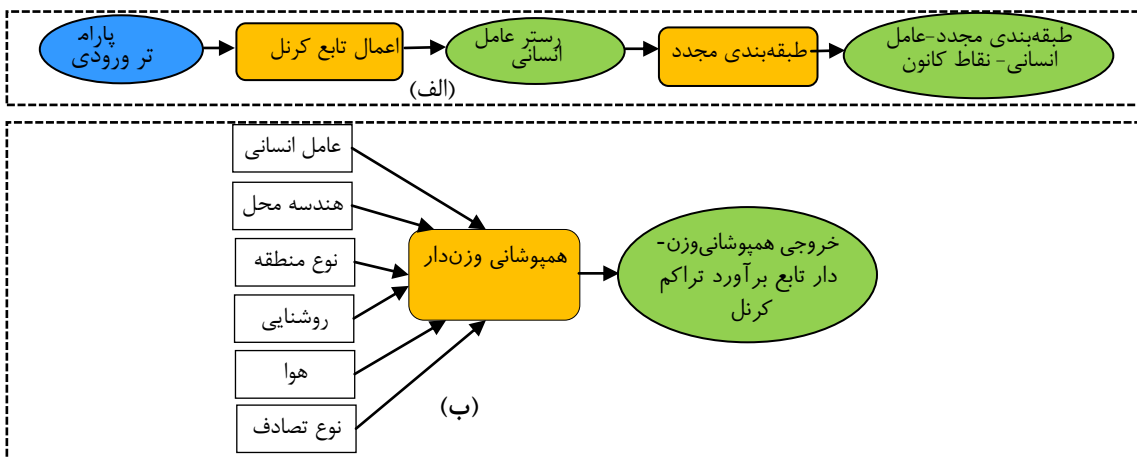
شکل ۵: مدل مربوط به تابع شاخص آنسلین محلی موران برای مسیر رفت و برگشت در محیط ModelBuilder



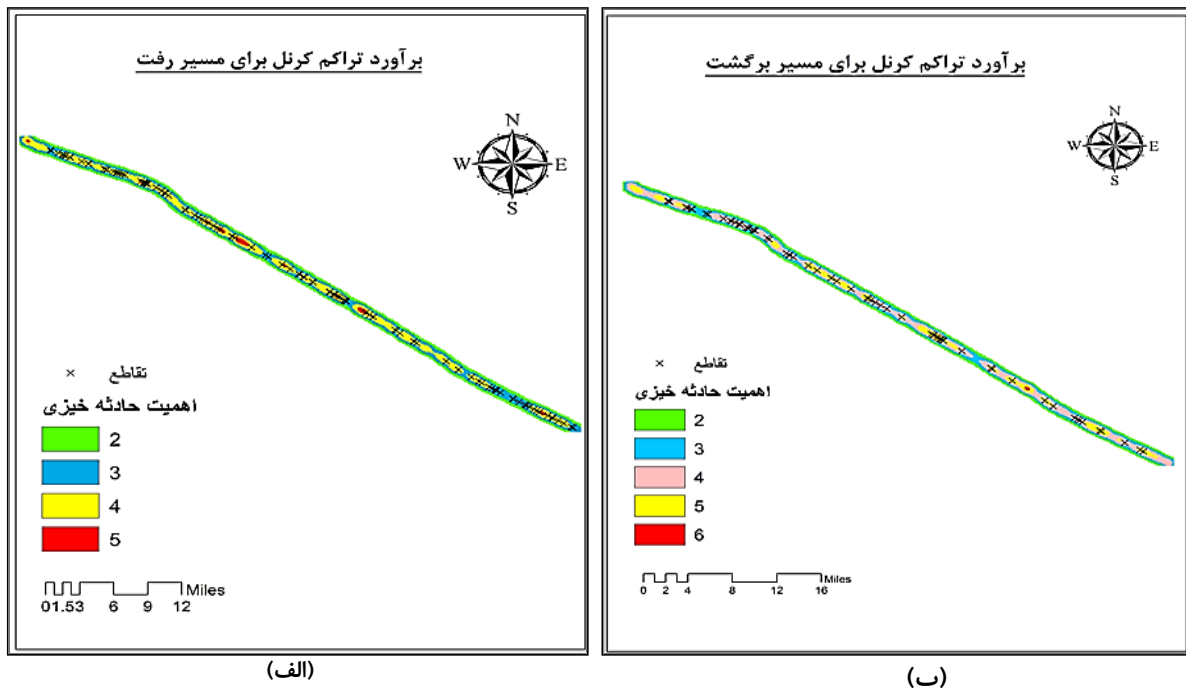
شکل ۶: خروجی حاصل از اعمال تابع شاخص آنسلین محلی موران بر اساس شش پارامتر هوا، روشنایی، نوع تصادف، هندسه محل، نوع منطقه و عامل انسانی روی تقاطع‌های: (الف): مسیر رفت (کرج به قزوین) و (ب): مسیر برگشت (قزوین به کرج)

اهمیت آن‌ها از ۱ تا ۹ انجام می‌شود که این درجه اهمیت از مقدار ۱ تا ۹ افزایش می‌یابد. در نهایت همپوشانی وزن دار بر روی خروجی‌های حاصل از مرحله قبل صورت می‌گیرد. مدل حاصل از مراحل بالا در محیط ModelBuilder به دست آمد که در شکل (۷-الف و ب) نشان داده شده است.

به منظور تعیین مناطق مستعد بروز حادثه با تابع کرنل در مسیر رفت و برگشت، ابتدا بر روی هر یک از پارامترهای ورودی تابع برآورد کرنل اعمال می‌شود. در شکل (۷-الف) اعمال روش برآورد تراکم کرنل روی پارامتر ورودی نشان داده شده است. مرحله بعد طبقه‌بندی مجدد بر روی خروجی هر پارامتر بر اساس



شکل ۷: مدل مربوط به تابع برآورد کرنل برای مسیر رفت و برگشت در محیط ModelBuilder



شکل ۸: خروجی حاصل از اعمال تابع برآورد تراکم کرنل بر اساس شش پارامتر هوا، روشنایی، نوع تصادف، هندسه محل، نوع منطقه و عامل انسانی روی تقاطع‌های مسیر برگشت (قزوین به کرج). (الف): مسیر رفت (کرج به قزوین) و (ب): مسیر برگشت (قزوین به کرج).

استفاده شده است. از این رو تابع خودهمبستگی شاخص موران به ترتیب برای هر ۶ پارامتر هوا، روشنایی، نوع تصادف، هندسه محل، نوع منطقه و عامل انسانی در بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ برای مسیر رفت و برگشت محاسبه شده است. نتایج به دست آمده برای مسیر رفت در جداول (۳ تا ۸) نشان داده شده است؛ با بررسی مقادیر شاخص موران جداول (۳ تا ۸) مشخص می‌شود که از ۶ پارامتر مورد استفاده، هیچ یک دارای خودهمبستگی مکانی در ۵ سال متوالی نیستند.

در شکل (۸-الف و ب) خروجی حاصل از تابع کرنل براساس همپوشانی شش پارامتر ذکرشده به همراه تقاطع‌های مسیر رفت و برگشت، نشان داده شده است. با توجه به این شکل، موقعیت تصادفات به ترتیب اهمیت حادثه‌خیزی آن‌ها از رنگ سبز تا رنگ قرمز مشخص شده‌اند.

#### ۴-۵- پیاده‌سازی تابع خودهمبستگی مکانی شاخص موران

در این قسمت به منظور بررسی وابستگی مکانی هر پارامتر در سال‌های مختلف از شاخص موران

جدول ۳: تابع همبستگی موران برای پارامتر هوا در ۵ سال متوالی ۸۸-۹۲ در مسیر رفت

سال	Moran's Index	Z-Score	P-Value
۸۸	۰/۰۰۹۵۱۴	۰/۱۶۹۵۰۱	۰/۸۶۵۴۰۳
۸۹	-۰/۰۱۸۶۹۷	-۰/۰۷۴۲۳۴	۰/۹۴۰۸۲۴
۹۰	-۰/۰۱۶۱۴۵	۰/۱۸۵۴۳۲	-۰/۰۹۰۷۳۳
۹۱	-۰/۱۴۱۴۹۴	-۱/۶۹۶۰۴۸	۰/۰۸۹۸۷۷
۹۲	-۰/۰۰۹۹۰۷	-۰/۱۲۰۹۳۹	۰/۹۰۳۷۴

جدول ۴: تابع همبستگی موران برای پارامتر نوع تصادف در ۵ سال متوالی ۸۸-۹۲ در مسیر رفت

سال	Moran's Index	Z-Score	P-Value
۸۸	-۰/۰۶۱۵۲۳	-۰/۱۰۵۴۲۱	۰/۹۱۶۰۴۲
۸۹	۰/۱۶۹۷۱۵	۰/۸۲۶۳۳۳	۰/۴۰۸۶۱۵
۹۰	-۰/۰۱۸۶۹۵	-۰/۱۷۵۳۸۳	۰/۸۶۰۷۷۹
۹۱	۰/۱۲۶۷۱۲	۱/۵۵۰۹۹۸	۰/۱۲۰۹۰۲
۹۲	-۰/۰۳۹۷۰۸	-۰/۵۴۸۱۳۱	۰/۵۸۳۶۰۲

جدول ۵: تابع همبستگی موران برای پارامتر روشنایی در ۵ سال متوالی ۸۸-۹۲ در مسیر رفت

سال	Moran's Index	Z-Score	P-Value
۸۸	-۰/۵۹۴۶۲۳	-۰/۹۵۱۷۸۲	۰/۰۵۰۹۶۴
۸۹	۰/۳۲۳۵۹۱	۰/۵۶۳۰۵۳	۰/۱۱۸۰۴
۹۰	-۰/۰۱۸۶۹۵	-۰/۱۷۵۳۸۳	۰/۸۶۰۷۷۹
۹۱	-۰/۱۴۳۷۵۳	-۱/۷۲۳۲۵	۰/۰۸۴۸۴۳
۹۲	-۰/۰۴۸۸۰۶	-۰/۶۷۹۴۶۵	۰/۴۹۶۸۴۳

جدول ۶: تابع همبستگی موران برای پارامتر نوع منطقه در ۵ سال متوالی ۸۸-۹۲ در مسیر رفت

سال	Moran's Index	Z-Score	P-Value
۸۸	-۰/۰۷۳۱۴۵	-۰/۲۰۲۱۱۱	۰/۸۳۹۸۳۰
۸۹	۰/۳۲۳۵۹۱	۰/۵۶۳۰۵۳	۰/۱۱۸۰۴
۹۰	-۰/۰۱۸۶۹۵	-۰/۱۷۵۳۸۳	۰/۸۶۰۷۷۹
۹۱	-۰/۱۴۳۷۵۳	-۱/۷۲۳۲۵	۰/۰۸۴۸۴۳
۹۲	-۰/۰۴۸۸۰۶	-۰/۶۷۹۴۶۵	۰/۴۹۶۸۴۳

جدول ۷: تابع همبستگی موران برای پارامتر هندسه محل در ۵ سال متوالی ۸۸-۹۲ در مسیر رفت

سال	Moran's Index	Z-Score	P-Value
۸۸	-۰/۲۶۰۹۱۴	-۰/۷۹۳۰۵۲	۰/۴۲۷۷۴۷
۸۹	-۰/۰۰۴۵۱۵	-۰/۰۰۵۷۳۶	۰/۹۹۵۴۲۴
۹۰	-۰/۰۰۸۳۷۸	-۰/۰۷۸۳۴۳	۰/۸۹۰۷۷۵
۹۱	-۰/۰۰۶۹۲۱	-۰/۰۶۶۳۴۵	۰/۹۴۷۱۰۳
۹۲	-۰/۰۴۷۵۴۱	-۰/۶۶۱۷۴۷	۰/۵۰۸۱۳۳

جدول ۸: تابع همبستگی موران برای پارامتر عامل انسانی در ۵ سال متوالی ۸۸-۹۲ در مسیر رفت

سال	Moran's Index	Z-Score	P-Value
۸۸	-۰/۲۹۵۷۵۷	-۰/۸۹۲۲۶۷	۰/۳۷۲۲۵۰
۸۹	۰/۰۶۳۵۱۴	۰/۳۱۷۸۵۵	۰/۷۵۰۵۹۵
۹۰	-۰/۰۰۰۹۴۴	۰/۰۱۱۶۰۴	۰/۹۹۰۷۴۲
۹۱	۰/۰۸۵۹۷۱	۱/۰۵۷۹۱۹	۰/۲۹۰۰۹۳
۹۲	۰/۰۱۵۰۸۳	۰/۲۳۷۸۵۱	۰/۸۱۱۹۹۷

جداول (۹ تا ۱۴) نتایج حاصل از تابع خودهمبستگی شاخص موران برای مسیر برگشت را نشان می‌دهند که با توجه به مقادیر شاخص موران به دست آمده مشخص می‌شود که تنها پارامتر نوع تصادف دارای وابستگی مکانی در ۵ سال متوالی است؛

جدول ۹: تابع همبستگی موران برای پارامتر هوا در ۵ سال متوالی ۸۸-۹۲ در مسیر برگشت

سال	Moran's Index	Z-Score	P-Value
۸۸	-۰/۱۰۶۲۰۳	-۱/۱۴۰۰۶۳	۰/۲۵۴۲۶۰
۸۹	-۰/۰۲۲۲۱۶	-۰/۱۱۵۲۳۱	۰/۹۰۸۲۶۲
۹۰	۰/۳۰۸۳۱۷	۱/۵۸۱۲۰۲	۰/۱۱۳۸۳۲
۹۱	۰/۰۰۳۲۱۳	۰/۰۴۵۶۵۶	۰/۹۶۳۵۸۴
۹۲	-۰/۰۰۴۶۶۴	-۰/۰۳۵۷۵۱	۰/۹۷۱۴۸۱



جدول ۱۰: تابع همبستگی موران برای پارامتر نوع تصادف در ۵ سال متوالی ۸۸-۹۲ در مسیر برگشت

سال	Moran's Index	Z-Score	P-Value
۸۸	۰/۰۵۶۶۴۱	۰/۶۳۲۲۸۰	۰/۵۲۷۲۰۴
۸۹	۰/۰۳۴۹۶۳	۰/۲۲۱۵۶۷	۰/۸۲۴۶۵۱
۹۰	۰/۰۸۴۲۵۵	۰/۴۵۰۶۲۸	۰/۶۵۲۲۵۸
۹۱	۰/۰۶۵۱۹۳	۰/۵۸۶۵۲۲	۰/۵۵۷۵۲۵
۹۲	۰/۱۸۷۲۱۱	۲/۰۰۸۶۸۲	۰/۰۴۴۵۷۱

جدول ۱۱: تابع همبستگی موران برای پارامتر روشنایی در ۵ سال متوالی ۸۸-۹۲ در مسیر برگشت

سال	Moran's Index	Z-Score	P-Value
۸۸	۰/۰۲۰۶۱۲	۰/۲۴۱۲۹۵	۰/۸۰۹۳۲۷
۸۹	-۰/۱۶۵۷۸۲	-۰/۹۴۷۵۹۱	۰/۳۴۳۳۳۸
۹۰	۰/۳۹۷۳۴۵	۲/۰۲۶۱۶۵	۰/۰۴۲۷۴۸
۹۱	-۰/۰۹۳۹۸۶	-۰/۸۰۴۹۷۴	۰/۴۲۰۸۳۵
۹۲	۰/۰۸۸۳۰۹	۰/۹۵۴۷۳۹	۰/۳۳۹۷۱۰

جدول ۱۲: تابع همبستگی موران برای پارامتر نوع منطقه در ۵ سال متوالی ۸۸-۹۲ در مسیر برگشت

سال	Moran's Index	Z-Score	P-Value
۸۸	-۰/۰۷۳۱۴۵	-۰/۲۰۲۱۱۱	۰/۸۳۹۸۳۰
۸۹	-۰/۱۷۷۲۵۴	-۱/۰۱۰۲۲۳	۰/۳۱۲۳۸۸
۹۰	۰/۲۳۰۷۴۰	۱/۱۸۷۵۹۳	۰/۲۳۴۹۹۴
۹۱	۰/۰۷۵۹۹۸	۰/۶۸۲۹۳۳	۰/۴۹۴۶۴۹
۹۲	۰/۲۴۲۱۷۲	۲/۶۲۹۲۳۳	۰/۰۰۸۵۵۸

جدول ۱۳: تابع همبستگی موران برای پارامتر هندسه محل در ۵ سال متوالی ۸۸-۹۲ در مسیر برگشت

سال	Moran's Index	Z-Score	P-Value
۸۸	-۰/۰۴۵۰۱۱	-۰/۴۷۱۴۵۹	۰/۶۳۷۳۱۳
۸۹	-۰/۰۲۷۷۲۰	-۰/۱۴۶۹۸۴	۰/۸۸۳۱۴۵
۹۰	۰/۱۰۰۹۳۶	۰/۵۳۵۹۲۴	۰/۵۹۲۰۱۱
۹۱	۰/۰۷۳۹۳۰	۰/۶۶۴۹۴۰	۰/۵۰۶۰۸۹
۹۲	۰/۰۶۱۵۲۲	۰/۶۷۱۹۸۶	۰/۵۰۱۵۹۳

جدول ۱۴: تابع همبستگی موران برای پارامتر عامل انسانی در ۵ سال متوالی ۸۸-۹۲ در مسیر برگشت

سال	Moran's Index	Z-Score	P-Value
۸۸	-۰/۱۳۴۸۴۸	-۱/۴۵۳۷۵۷	۰/۱۴۶۰۱۴
۸۹	-۰/۱۳۷۸۸۲	-۰/۷۸۲۰۸۷	۰/۴۳۴۱۶۳
۹۰	۰/۰۶۲۶۷۸	۰/۳۴۲۵۱۳	۰/۷۳۱۹۶۵
۹۱	-۰/۱۶۸۰۳۹	-۱/۴۵۰۹۷۳	۰/۱۴۶۷۸۸
۹۲	-۰/۱۹۴۳۵۰	-۲/۰۵۲۹۹۸۵	۰/۰۴۰۰۷۴

### ۶- ارزیابی نتایج

شاخص انسلین محلی موران به ترتیب ۱ و ۷ نقطه و تعداد مناطق حادثه‌خیز برای تابع برآورد تراکم کرنل ۹ منطقه به دست آمد.

درجه اهمیت از لحاظ حادثه‌خیزی در مسیر برگشت برای توابع گتیس-ارد جی استار، شاخص انسلین محلی موران و برآورد تراکم کرنل به ترتیب بین ۲ تا ۸، ۲ تا ۸ و ۲ تا ۶ به دست آمد. لذا برای توابع خودهمبستگی مسیر برگشت، نقاط با ارزش ۸، حادثه‌خیزترین نقاط و برای تابع برآورد تراکم کرنل مناطق با ارزش ۶ حادثه‌خیزترین منطقه نسبت به بقیه هستند. تعداد حادثه‌خیزترین نقاط مسیر برگشت برای توابع خود همبستگی گتیس-ارد جی استار و شاخص انسلین محلی موران به ترتیب ۳ و ۱ نقطه به دست آمد و تعداد مناطق حادثه‌خیز برای تابع برآورد تراکم کرنل ۳ منطقه به دست آمد.

پس از شناسایی تقاطع‌های حادثه‌خیز در نهایت از ۱۱۱ تقاطع موجود در مسیر رفت و ۶۸ تقاطع در مسیر برگشت، ۲۶ تقاطع حادثه‌خیز برای مسیر رفت و ۱۰ تقاطع حادثه‌خیز برای مسیر برگشت توسط توابع خودهمبستگی گتیس-ارد جی استار، شاخص انسلین محلی موران و برآورد تراکم کرنل شناسایی شدند که از این تعداد توابع گتیس-ارد جی استار، شاخص انسلین محلی موران و برآورد تراکم کرنل به ترتیب ۳، ۲ و ۲۱ تقاطع حادثه‌خیز برای مسیر رفت و برای مسیر برگشت به ترتیب ۴، ۱ و ۵ تقاطع حادثه‌خیز شناسایی کردند. اطلاعات موجود از ویژگی‌های تقاطع‌های محور

به منظور شناسایی تقاطع‌های حادثه‌خیز با استفاده از توابع خودهمبستگی گتیس-ارد جی استار، شاخص انسلین محلی موران و برآورد تراکم کرنل، ابتدا حادثه‌خیزترین نقاط در تابع خودهمبستگی و حادثه‌خیزترین مناطق در تابع برآورد تراکم کرنل مشخص شدند؛ سپس با توجه به فاصله مؤثر تقاطع که ۱۰۰ متر است [۲۸]، بافری به فاصله ۱۰۰ متر از این نقاط برای توابع خودهمبستگی تعیین شد؛ در نهایت تقاطع‌هایی که داخل این بافر قرار گرفتند به عنوان تقاطع‌های حادثه‌خیز شناسایی شدند؛ برای تابع برآورد تراکم کرنل، تقاطع‌هایی که در حادثه‌خیزترین مناطق قرار گرفتند به عنوان تقاطع‌های حادثه‌خیز شناسایی شدند. با توجه به خروجی‌های حاصل از توابع خودهمبستگی گتیس-ارد جی استار، شاخص انسلین محلی موران و برآورد تراکم کرنل که در شکل‌های (۴، ۶ و ۸) نشان داده شده است؛ درجه اهمیت از لحاظ حادثه‌خیزی برای توابع گتیس-ارد جی استار، شاخص انسلین محلی موران و برآورد تراکم کرنل در مسیر رفت به ترتیب بین ۲ تا ۹، ۳ تا ۷ و ۲ تا ۵ به دست آمد؛ از این رو برای توابع خودهمبستگی، نقاط با ارزش ۹ و ۷ حادثه‌خیزترین نقاط نسبت به بقیه و برای تابع برآورد تراکم کرنل، مناطق با ارزش ۵ حادثه‌خیزترین مناطق نسبت به دیگر مناطق هستند. از طرفی تعداد حادثه‌خیزترین نقاط مسیر رفت برای توابع خودهمبستگی گتیس-ارد جی استار و

- (/۰.۴۶) و ۱۴ تقاطع بدون چراغ روشنایی (/۰.۵۴) هستند.
۴. سرعت‌گیر: ۲۲ تقاطع بدون سرعت‌گیر (/۰.۸۵) و ۴ تقاطع دارای سرعت‌گیر (/۰.۱۵) هستند.
۵. خط‌کشی: ۱۹ تقاطع بدون خط‌کشی (/۰.۷۳) و ۷ تقاطع دارای خط‌کشی (/۰.۲۷) هستند.
۶. عوارض کنار تقاطع: ۱۸ تقاطع دارای عوارض کناری ساختمان (/۰.۶۹) و ۸ تقاطع دارای عوارض کناری زمین (/۰.۳۱) هستند.
۷. درجه‌بندی تقاطع: ۱۷ تقاطع درجه‌بندی ۱ (/۰.۶۵)، ۷ تقاطع درجه‌بندی ۲ (/۰.۲۷) و ۲ تقاطع درجه‌بندی ۳ (/۰.۸) هستند.
- اطلاعات مربوط به ویژگی‌های حادثه‌خیزترین تقاطع‌ها برای مسیر رفت در جدول (۱۵) به طور خلاصه آورده شده است.

مورد بررسی شامل نوع تقاطع، چراغ راهنمایی رانندگی، روشنایی، سرعت‌گیر، خط‌کشی، عوارض کنار تقاطع و درجه‌بندی تقاطع هستند. درجه‌بندی تقاطع‌ها بر اساس ترافیک تقاطع مورد نظر تعیین شد؛ به عبارتی تقاطع‌های مورد نظر از نظر ترافیک به صورت درجه ۱، درجه ۲ و درجه ۳ دسته‌بندی شدند و اهمیت تقاطع درجه ۱ از لحاظ ترافیک بیشتر از تقاطع درجه ۲ و همچنین درجه ۳ است.

اطلاعات مربوط به ویژگی‌های ۲۶ تقاطع حادثه‌خیز شناسایی شده برای مسیر رفت به صورت زیر به‌دست آمده‌اند:

۱. نوع تقاطع: ۲۱ تقاطع سه راه هستند (/۰.۸۱) و ۵ تقاطع میدان (/۰.۱۹) هستند.
۲. چراغ راهنمایی رانندگی: ۱۱ تقاطع چراغدار (/۰.۴۲) و ۱۵ تقاطع بدون چراغ (/۰.۵۸) هستند.
۳. روشنایی: ۱۲ تقاطع دارای چراغ روشنایی

جدول ۱۵: اطلاعات مربوط به ویژگی‌های ۲۶ تقاطع حادثه‌خیز شناسایی شده برای مسیر رفت

نوع تقاطع	چراغ راهنمایی رانندگی	روشنایی	سرعت‌گیر	خط‌کشی	عوارض کناری	درجه‌بندی تقاطع
۲۱ تقاطع: سه راه (/۰.۸۱)	۱۱ تقاطع: چراغدار (/۰.۴۲)	۱۲ تقاطع: دارای چراغ روشنایی (/۰.۴۶)	۲۲ تقاطع: بدون سرعت‌گیر (/۰.۸۵)	۱۹ تقاطع: بدون خط‌کشی (/۰.۷۳)	۱۸ تقاطع: دارای عوارض کناری ساختمان (/۰.۶۹)	۱۷ تقاطع: درجه‌بندی ۱ (/۰.۶۵) ۷ تقاطع درجه‌بندی ۲ (/۰.۲۷)
۵ تقاطع: میدان (/۰.۱۹)	۱۵ تقاطع: بدون چراغ (/۰.۵۸)	۱۴ تقاطع: بدون چراغ روشنایی (/۰.۵۴)	۴ تقاطع: دارای سرعت‌گیر (/۰.۱۵)	۷ تقاطع: دارای خط‌کشی (/۰.۲۷)	۸ تقاطع: دارای عوارض کناری زمین (/۰.۳۱)	۲ تقاطع: درجه‌بندی ۳ (/۰.۸)

۱. نوع تقاطع: هر ۱۰ (/۰.۱۰۰) تقاطع حادثه‌خیز مسیر برگشت سه راه هستند.
۲. چراغ راهنمایی رانندگی: ۴ تقاطع دارای چراغ (/۰.۴۰) و ۶ تقاطع بدون چراغ (/۰.۶۰) هستند.

اطلاعات مربوط به ویژگی‌های ۱۰ تقاطع حادثه‌خیز شناسایی شده برای مسیر برگشت به صورت زیر و همچنین به طور خلاصه در جدول (۱۶) آورده شده است:

۳. روشنایی: ۵ تقاطع دارای چراغ روشنایی (۰/۵۰) و ۵ تقاطع بدون چراغ روشنایی (۰/۵۰) هستند.
۴. سرعت گیر: ۸ تقاطع بدون سرعت گیر (۰/۸۰) و ۲ تقاطع دارای سرعت گیر (۰/۲۰) هستند.
۵. خط کشی: ۸ تقاطع بدون خط کشی (۰/۸۰) و ۲ تقاطع دارای خط کشی (۰/۲۰) هستند.
۶. عوارض کنار تقاطع: ۷ تقاطع دارای عوارض کناری ساختمان (۰/۷۰) و ۳ تقاطع دارای عوارض کناری زمین (۰/۳۰) هستند.
۷. درجه بندی تقاطع: ۹ تقاطع درجه بندی ۱ دارند (۰/۹۰) و ۱ تقاطع درجه بندی ۳ (۰/۱۰) دارد.

جدول ۱۶: اطلاعات مربوط به ویژگی های ۱۰ تقاطع حادثه خیز شناسایی شده برای مسیر برگشت

درجه بندی تقاطع	عوارض کناری	خط کشی	سرعت گیر	روشنایی	چراغ راهنمایی رانندگی	نوع تقاطع
۹ تقاطع: درجه بندی (۰/۹۰)۱	۷ تقاطع: دارای عوارض کناری ساختمان (۰/۷۰)	۸ تقاطع: بدون خط-کشی (۰/۸۰)	۸ تقاطع: بدون سرعت-گیر (۰/۸۰)	۵ تقاطع: دارای چراغ روشنایی (۰/۵۰)	۴ تقاطع: چراغدار (۰/۴۰)	۱۰ تقاطع: سه راه (۰/۱۰۰)
۱ تقاطع: درجه بندی (۰/۱۰)۳	۳ تقاطع: دارای عوارض کناری زمین (۰/۳۰)	۲ تقاطع: دارای خط-کشی (۰/۲۰)	۲ تقاطع: دارای سرعت گیر (۰/۲۰)	۵ تقاطع: بدون چراغ روشنایی (۰/۵۰)	۶ تقاطع: بدون چراغ (۰/۶۰)	هیچ تقاطعی میدان یا چهارراه نیست

#### ۷- نتیجه گیری و پیشنهادها

۱۰ تقاطع حادثه خیز برای مسیر برگشت شناسایی شدند. بر اساس ویژگی های تقاطع های حادثه خیز به دست آمده برای مسیر رفت و برگشت، مشخص شد درصد بالایی از آنها جز تقاطع های سه راه، بدون سرعت گیر، بدون خط کشی، درجه بندی ۱ و دارای عوارض کناری ساختمانی می باشند. بر این اساس مهمترین عوامل حادثه خیزی تقاطع ها در مسیر رفت و برگشت عبارتند از: رتبه اول در حادثه خیزی تقاطع ها: عدم وجود سرعت گیر و وجود عوارض کناری ساختمان در تقاطع ها، رتبه دوم در حادثه خیزی تقاطع ها: عدم وجود چراغ روشنایی در تقاطع ها، رتبه سوم در حادثه خیزی تقاطع ها: عدم وجود چراغ راهنمایی رانندگی و عدم وجود خط کشی در تقاطع ها. با توجه به نتایج بالا پیشنهاد می شود که از سرعت گیر

در این تحقیق به منظور تحلیل تصادفات در تقاطع های برون شهری با روش های مکان مینا از ۶ معیار وضعیت جوی، عامل انسانی، نوع تصادف، روشنایی، نوع منطقه و هندسه محل استفاده شد و به منظور وزندهی آنها با توجه به عدم قطعیت در بیان اهمیت معیارها از روش سلسله مراتبی فازی استفاده شد. سپس به منظور شناسایی تقاطع های حادثه خیز و بررسی ویژگی های آنها از توابع خودهمبستگی گتیس-ارد جی استار، شاخص انسلین محلی موران و تابع برآورد تراکم کرنل استفاده گردید. نتایج حاصل نشان می دهند که از مجموع ۱۱۱ تقاطع برای مسیر رفت و ۶۸ تقاطع در مسیر برگشت، ۲۶ تقاطع حادثه خیز برای مسیر رفت و

نوع تصادف در مسیر برگشت، تصادفات دارای الگوی خوشه‌ای هستند و این نتیجه‌گیری نشان‌دهنده رابطه مستقیم پارامترهای نوع تصادف و وقوع تصادف در ۵ سال متوالی است.

با توجه به اینکه تصادف یک پدیده مکان‌مند است؛ از این‌رو تحلیل‌های تصادفات در راه‌های برون‌شهری بر مبنای GIS می‌تواند کمک شایانی در شناسایی مناطق مستعد بروز حادثه نمایند.

### سیاسگزاری

در انتها از کارشناسان محترم پلیس راهور ناجا و همچنین کارشناسان محترم سازمان راهداری و حمل‌و-نقل جاده‌ای به ویژه آقایان مهندس نجفی و مهندس بیابانی به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌ها و راهنمایی‌های تخصصی ارزشمندشان کمال تشکر را داریم.

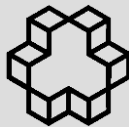
در تقاطع‌ها به دلیل اهمیت آن‌ها استفاده شود. چراغ روشنایی بعد از سرعت‌گیر نقش مهمی در حادثه‌خیزی تقاطع‌ها دارد بنابراین نیاز است که در تقاطع‌ها از چراغ روشنایی استفاده شود. همچنین وجود چراغ راهنمایی رانندگی و وجود خط‌کشی در کاهش حادثه‌خیزی تقاطع‌ها مؤثر است.

همچنین به منظور بررسی خودهمبستگی مکانی هر پارامتر در سال‌های مختلف از تابع شاخص موران استفاده شد. بر اساس شاخص‌های موران به دست آمده برای هر پارامتر در مسیر رفت و برگشت مشخص شد که در مسیر رفت هیچ‌کدام از پارامترها و در مسیر برگشت فقط پارامتر نوع تصادف دارای خودهمبستگی مکانی در ۵ سال متوالی بودند. به عبارتی، تنها بین نوع تصادفاتی که اتفاق افتاده است با زمان وقوع آنها وابستگی مکانی وجود دارد و بقیه پارامترها دارای وابستگی مکانی در زمان‌های مختلف نمی‌باشند. به عبارت دیگر از لحاظ پارامتر

### مراجع

- [1] Panning Assistant, Office of the Information and Communication Technology, *Statistical Yearbook of toll and road transport*. Tehran, 2012.
- [2] K. Narjeh, *The international community concerned about road safety*. Tehran: Etelaat, 2012.
- [3] R. C. Smith, D. L. Harkey, and B. Harris, *Implementation of GIS-based highway safety analyses: bridging the gap*. Prepared for the Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 2001.
- [4] H. Sajadi, "Analysis of road accidents in GIS with emphasis on road properties and environment", Msc Thesis, Faculty of Earth Sciences, Department of Remote Sensing and GIS, Shahid Beheshti university, Tehran, 2010.
- [5] A. Zayerzadeh, "Analysis of the country's main road network hot spots (North Khorasan important hot spots)", Msc Thesis, Surveying and Geomatics Engineering, College of Engineering, Tehran University, Tehran, 2006.
- [6] E.-H. Choi, Crash factors in intersection-related crashes: An on-scene perspective. U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2010.
- [7] H. Salkapuram, "A New Approach to Identify the Expected Crash. Patterns based on Signalized Intersection Size and Analysis of Vehicle Movements", MSc Thesis, University of Central Florida Orlando, Florida, 2006.
- [8] M. Goudarzy, "Spatio-temporal clustering of events point on the road network resource allocation", Msc Thesis, Surveying and Geomatics Engineering, College of Engineering, Tehran University, 2013.
- [9] C. E. Sabel, S. Kingham, A. Nicholson, and P. Bartie, "Road Traffic Accident Simulation Modelling-A Kernel Estimation Approach", in The 17th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre University of Otago, Dunedin, New Zealand, 2005.
- [10] T. Duong, "Feature significance for

- multivariate kernel density estimation", Arianna Cowling, Wand School of Mathematics & Statistics University, New South Wales Sydney, Australia, vol. 52, pp. 4225-4242, 2007.
- [11] D.-G. Kim, Y. Lee, S. Washington, and K. Choi, "Modeling crash outcome probabilities at rural intersections: Application of hierarchical binomial logistic models", *Accident Analysis & Prevention*, vol. 39, pp. 125-134, 2007.
- [12] W. R. Association, *Road safety manual: recommendations from the World Road Association (PIARC)*. United States: Route2 Market, 2003.
- [13] M. Motamed, "Modeling traffic accidents to improve safety using advanced statistical methods", Msc Thesis, Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, 2010.
- [14] M. Hajihoseeinlou and N. Aslani, "Determine potential risk factor for road traffic offenses by drivers", presented at the International Conference and road traffic accidents, Tehran, 2005.
- [15] M. Effati, M. A. Rajabi, F. Hakimpour, and S. Shabani, "Analysis of Spatial Factors Contributing on Concentration of Highway Corridors Crashes Using GIS and Data Mining", *Geomatics Science and Technology*, vol. 4, pp. 87-102, 2014.
- [16] M. Effati, "Predictions accident-prone vehicles uses data mining in Geographic Information System", PhD Thesis, Surveying and Geomatics Engineering, College of Engineering, tehran university, 2015.
- [17] M. Salmani, "The Survey of More Important Factors Effecting on Road Accidents and Presenting Some Ways to Increase Them, Case Study: Rural Area of Khor & Beyabanak", *Human Geography Research Quarterly*, vol. 40, pp. 87-104, 2009.
- [18] M. Ghodsinejad, "Design and implementation of a Ontology - based Spatial web service", Msc Thesis, Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, 2013.
- [19] H. Ghodsipour, *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Tehran: Amirkabir University of Technology, 2009.
- [20] H. Deng, "Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparisons", *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 21, pp. 215-231, 1999.
- [21] A. Kourepazan, *Principles of fuzzy set theory and its application in modeling engineering problems of water*. tehran: Amirkabir University of Technology, 2009.
- [22] S. Önüt, T. Efendigil, and S. Soner Kara, "A combined fuzzy MCDM approach for selecting shopping center site: An example from Istanbul, Turkey", *Expert Systems with Applications*, vol. 3, pp. 1973-1980, 2010.
- [23] H. T. Abdelwahab and M. A. Abdel-Aty, "Development of artificial neural network models to predict driver injury severity in traffic accidents at signalized intersections", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1746, pp. 6-13, 2001.
- [24] D. A. Griffith, "Spatial-filtering-based contributions to a critique of geographically weighted regression (GWR) ", *Environment and planning*, vol. 40, p. 2751, 2008.
- [25] T. Steenberghen, T. Dufays, I. Thomas, and B. Flahaut, "Intra-urban location and clustering of road accidents using GIS: a Belgian example", *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 18, pp. 169-181, 2004.
- [26] L. Anselin, "Local indicators of spatial association—LISA", *Geographical analysis*, vol. 27, pp. 93-115, 1995.
- [27] P. A. Moran, "The interpretation of statistical maps", *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, vol. 10, pp. 243-251, 1948.
- [28] A. Zafari, "Comparison of hot spot conditions in some European countries and Iran", *Rahvar Scientific-Promotion Quarterly*, vol. 9, pp. 11-30, 2013.



## **Spatial Analysis of Accidents at the Suburban Intersections Using Kernel Density Estimation and Spatial Autocorrelation Methods**

Saye Zeynali\*<sup>1</sup>, Farhad Hosseinali<sup>2</sup>, Abolghasem Sadeghi Niaraki<sup>3</sup>, Mohammad Kazemi Beydokhti<sup>4</sup>, Meysam Effati<sup>5</sup>

- 1- Master student - Department of Geospatial information system Engineering - Civil Engineering Faculty, Shahid Rajaei Teacher Training University- Lavizan Ave, Tehran, Iran
- 2- Assistant Prof. - Department of Geospatial information system Engineering - Civil Engineering Faculty, Shahid Rajaei Teacher Training University- Lavizan Ave, Tehran, Iran
- 3- Assistant Prof. and a member of Center of Excellence in Geospatial Information Technology - Department of Geospatial information system (GIS) Engineering - Geomatics Engineering Faculty, K.N.Toosi University of Technology - 470 Mirdamad Ave. West, Tehran, Iran
- 4- Department of Surveying and Geomatic Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran- mohammad\_kazemi@ut.ac.ir
- 5- Assistant Prof., Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering the University of Guilan, Iran

### **Abstract**

Today, the high number of the rural road accidents has shown that accidents at intersections organize high percentage of the total number of accidents. Meanwhile, the geographical information system (GIS) is considered as an appropriate tool for doing spatial analysis and analysis of accidents at intersections. Also, considering that the accident data are massive and non-homogenized, the methods of spatial autocorrelation and kernel estimation can present connected and more real models than samples of current spots in rural road accidents. The purpose of this research is spatial analysis of rural road accidents based on rural intersection or utilizing spatial autocorrelation methods and estimation of kernel density. In the first stage, it considers appropriate criteria for spatial analysis of accidents in the old roads of Karaj-Qazvin in the 1388-1392 periods and were weighted by use of fuzzy analytic hierarchy process. Then, to identify accident prone intersections and investigation of their characteristics from autocorrelation functions of Getis-Ord  $G_i^*$ , Anselin Local Moran's I and the kernel density estimation was used in order to investigate the spatial autocorrelation, each of the useable parameters in five successive years used as a Moran's I function. The results have shown that there are 26 accident-prone intersections towards Karaj-Qazvin path and 10 accident-prone intersections for returning, from the total intersections of two way path. Also, for path towards Karaj-Qazvin none of the parameters and for returning path the only parameter of accident type contained spatial autocorrelation in the five successive years.

**Key words:** Road accident, Intersection, Spatial autocorrelation methods, Kernel density Estimation, GIS.