مهندسی جغرافیایی سرزمین
شاپای چاپی ۱۴۹۰- ۲۵۳۸
شاپای الکترونیکی ۳۹۲۲- ۲۵۳۸
www.jget.ir

دوره ۸، شماره ۲ (پیاپی ۲۰)، تابستان ۱۴۰۳، صص. ۱۱۷-۱۳۴
DOI: 10.22034/jget.2023.272252.1244

مقاله پژوهشی

تحلیل فضایی تصادفات درون‌شهری با استفاده از داده‌های پلیس راهنمایی و رانندگی (مورد مطالعه: تصادفات درون‌شهری سال ۱۳۹۵ شهر اردبیل)

یعقوب ابدالی [۱]، مریم بیرانوندزاده [۲*]، امیر حسینیان‌راد [۳]، هدایت‌اله درویشی [۴]

۱. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و پژوهشگر جهاد دانشگاهی واحد لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۳. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۴. استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

* نویسنده مسئول، Email: Beyranvand28@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۹ بهمن ۱۳۹۹
تاریخ پذیرش: ۰۷ مهر ۱۴۰۲

چکیده

مقدمه: حوادث رانندگی یکی از دلایل اصلی مرگ و ناتوانی است و باعث مرگ سالانه ۱,۲۳ میلیون و ده‌ها میلیون مصدوم و مجروح در سراسر جهان می‌شود. در همین حال، بخش قابل توجهی از تلفات و جراحات ناشی از تصادفات رانندگی در میان تصادفات درون‌شهری رخ می دهد. براساس گزارش سال ۱۳۹۳ مرکز آمار ایران حدود ۹ درصد تصادفات درون‌شهری منجر به فوت و ۶۰ درصد منجر به جرح می‌شود.

هدف: مقاله با هدف بررسی الگوهای تصادفات درون‌شهری در شهر اردبیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی تدوین شده است.

روش شناسی: پژوهش حاضر یک مطالعه کمی- تحلیلی است. داده‌های مورد نیاز مطالعه از پلیس راهنمایی و رانندگی اردبیل و همچنین پایگاه داده شهرداری و مرکز آمار ایران استخراج شد. از نقشه مناطق شهر اردبیل برای نمایش توزیع حوادث استفاده شد. از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه، موران محلی و موران جهانی برای تعیین الگوی توزیع حوادث استفاده شده است، از آزمون مرکز متوسط برای تمرکز حوادث و از آزمون بیضی انحراف برای جهت توزیع استفاده شده، و از آزمون تراکم کرنل برای شناسایی کانون حوادث استفاده شده است. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و ARC-GIS انجام شد.

قلمرو جغرافیایی پژوهش: قلمرو جغرافیایی شهر اردبیل می‌باشد.

یافته‌ها و بحث: نتایج پژوهش نشان داد که بخش مرکزی، حاشیه شمالی و شرقی اردبیل از نظر تصادفات رانندگی درون‌شهری، آسیب-پذیرترین نواحی شهر اردبیل هستند. تقاطع‌ها، میدان‌ها و بلوارها محل اکثر حوادث رانندگی هستند که منجر شکل‌گیری کانون‌های تصادف-خیز می‌شوند، همچنین تحلیل فضایی تراکم کرنل نشان می‌دهد که بیشتر تمرکز نقاط تصادفی در منطقه ۴ و ۱ دیده می‌شود و مناطق ۲ و ۳ از تراکم کانون تصادفی کمتری برخوردار هستند.

نتیجه‌گیری: نتایج نهایی حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که از آنجایی که تصادفات اجتناب ناپذیر هستند، جهت کاهش پیامدهای آن را می توان با با بکارگیری روش‌ها و رویکردهای نوین و نیز استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های دقیق‌تر می‌توان، الگوهای خاص تصادفات درون‌شهری را جهت کاهش تصادفات و ارائه راهکارها را شناسایی کرد.

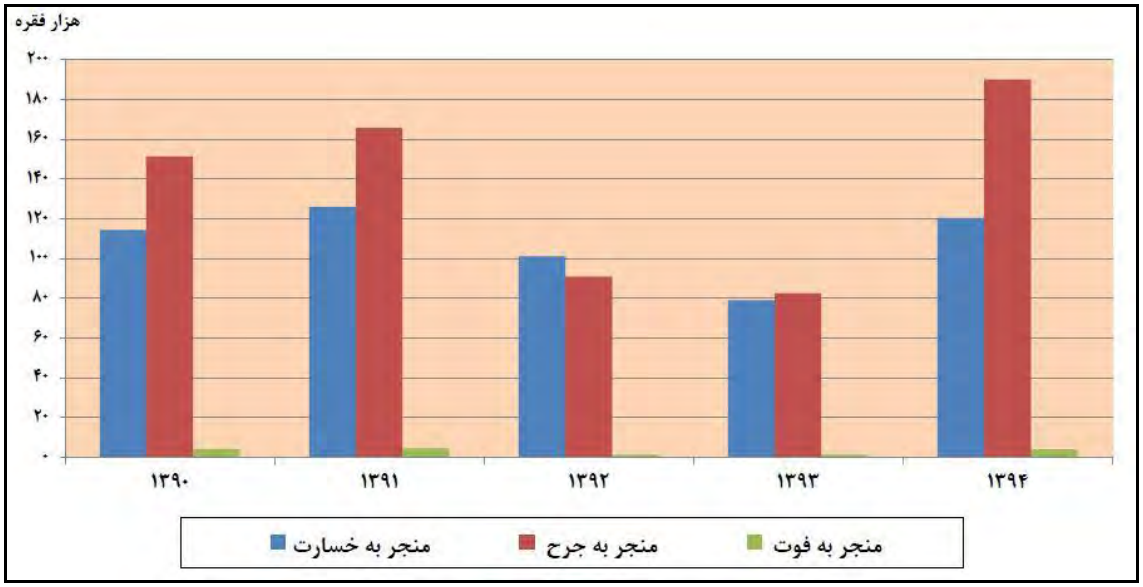
کلیدواژه‌ها: تحلیل فضایی، تصادفات درون‌شهری، راهنمایی و رانندگی، اردبیل.

مقدمه

مناطق شهری امروزه بیش از نیمی از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهند که در آن ترافیک یکی از بیشترین علت مرگ در میان جمعیت ساکن شهرها را تشکیل می‌دهد. نرخ تصادفات جاده ای[1](RTA) که منجر به مرگ و میر می شود هر سال افزایش می یابد. داده های ۲۰۰۴-۲۰۱۳ بیان می کند که تصادفات جاده‌ای علت اصلی مرگ و میر است که در رتبه ۹ جهان قرار دارد (هیدر و همکاران، ۲۰۱۷) که باعث مرگ و میر سالانه بیش از ۱/۲ میلیون نفر و آسیب رساندن به ۵۰ میلیون نفر در جهان می‌شود (Mahata et al, 2019: 1; Ghandour, 2019: 178). طبق برنامه جهانی سازمان ملل متحد دهه ۲۰۲۰- ۲۰۱۱ را اقدام برای ایمنی جاده‌ای نامگذاری نموده است، اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد در تلاش برای ایجاد شهرهای امن و کاهش تعداد تلفات تصادفات وسایل نقلیه تا سال ۲۰۲۰ است (Ghandour, 2019: 179).

بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت[2]سالانه ۱,۳۵ میلیون مرگ ناشی از تصادفات رانندگی است، در حالی که اکثریت (۹۳٪) به کشورهای در حال توسعه برمی گردد (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۱۹). در مقایسه با کشورهای اروپایی، مانند آلمان، با در نظر گرفتن نزدیک به ۲ میلیون تصادف گزارش شده با خسارت مالی، تعداد مرگ و میر ناشی از تصادفات رانندگی نسبتاً کم با ۲,۲۱۹ در سال ۲۰۲۰ است (اداره آمار آلمان، ۲۰۲۱ به نقل از گولزه و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه به مطالعه جهانی از علل مرگ و میرها و آسیب‌ها، در سال‌های اخیر، تصادفات جاده‌ای، یکی از علل مرگ و میر زودرس در کشور ایران است. گزارش سال ۲۰۱۳ سازمان جهانی بهداشت در مورد ایمنی جاده‌ها نشان می‌دهد که میزان مرگ و میر ناشی از حوادث ترافیکی در ایران بسیار بالاتر از میانگین جهانی است (۳۴,۱ در ۱۰۰۰۰۰ در مقابل ۱۸ در ۱۰۰۰۰۰) (Saadat, 2019: 149). بر این اساس کشور ایران یکی از کشورهای دارای بالاترین نرخ تصادفات در جهان است. به طوری که، میزان مرگ و میر ناشی از این امر تقریباً دو برابر کشورهای اروپایی است (ابدالی و رمضانی حاجی محله، ۱۳۹۸: ۲۵۷۶). ایران با داشتن ۱۹ میلیون خودرو و موتورسیکلت ثبت نام شده، سالانه ۲۴ هزار نفر به دلیل تصادفات جاده ای خسارت وارد می کند (شفابخش و همکاران، ۲۰۱۷). شکل (۱) آمار تصادفات منجر به فوت، جرح و خسارت بین سال‌های ۹۴- ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد، همچنین جدول (۱) آمار تصادفات منجر به فوت، جرح و خسارت بین سال‌های ۹۳- ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد (مرکز آمار جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۴؛ نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۴؛ ابدالی و رمضانی حاجی محله، ۱۳۹۸: ۲۵۷۶). شهر اردبیل جزو شهرهای پیشتاز در زمینهٔ تصادفات درون شهری در کشور ایران است برای نمونه، ۶۴ درصد مرگ و میرها در تصادفات درون شهری را عابران پیاده تشکیل می‌دهند. در مقایسه با کل کشور که تنها ۲۲ درصد است، بسیار تأمل برانگیز است. تحقیق در مورد تصادفات درون شهری در شهرها برای شناخت بزرگی مشکل و ویژگی‌های ایمنی ضروری است تا بتواند به شکل‌گیری سیاست‌های مناسب کمک کند. از این رو، در این مقاله تلاش می شود که الگوهای تصادفات درون‌شهری، شهر اردبیل در طول سال ۱۳۹۵ را تجزیه و تحلیل کرده و الگوهای فضایی تصادفات شهر اردبیل را درک کرد.

[1] road traffic accidents
[2] WHO



شکل ۱. کل تصادفات درون شهری کشور منجر به فوت، جرح و خسارت بین سال‌های ۱۳۹۴- ۱۳۹۰. مأخذ: مرکز آمار ایران، ۱۳۹۴

جدول ۱. *کل تصادفات[1] درون‌شهری ایران منجر به فوت، جرح و خسارت بین سال‌های ۹۳- ۱۳۸۵*

سال	کل تصادفات	کل تصادفات درون شهری				منجر به خسارت
		منجر به فوت		منجر به جرح		
		تعداد تصادف	تعداد فوت شده	تعداد تصادف	تعداد مجروح	
۱۳۸۵	۶۴۶۸۵۱	۱۳۰۷	۱۴۲۷	۹۳۷۸۹	۱۱۵۳۷۸	۵۵۱۷۵۵
۱۳۸۶	۶۰۱۸۹۶	۱۳۴۸	۱۴۷۱	۹۴۹۴۳	۱۱۳۲۲۸	۵۰۵۶۰۵
۱۳۸۷	۶۲۳۴۴۷	۱۴۴۲	۱۷۰۰	۱۰۸۵۵۱	۱۲۸۹۳۹	۵۱۳۴۵۴
۱۳۸۸	۵۳۹۷۵۵	۳۴۳۶	۴۹۵۱	۱۲۸۱۴۲	۱۶۱۳۷۳	۴۰۸۱۷۷
۱۳۸۹	۵۳۰۲۹۶	۸۰۰۸	۹۸۱۰	۲۹۴۸۹۵	۳۲۰۹۲۸	۲۲۷۳۹۳
۱۳۹۰	۲۷۰۰۱۵	۴۱۱۷	۴۴۵۷	۱۵۱۴۲۱	۱۶۹۸۵۰	۱۱۴۴۷۷
۱۳۹۱	۲۹۶۱۱۶	۴۵۳۳	۵۰۶۱	۱۶۵۶۵۰	۱۸۹۷۷۸	۱۲۵۹۳۳
۱۳۹۲	۱۹۳۴۲۷	۱۴۱۹	۱۵۴۵	۹۰۷۹۲	۱۰۷۱۵۹	۱۰۱۲۱۶
۱۳۹۳	۱۶۲۶۳۷	۱۲۴۴	۱۳۳۱	۸۲۳۷۴	۹۷۰۷۰	۷۹۰۱۹

مأخذ: مرکز آمار ایران، ۱۳۹۴

ترزی و کارساهایم[2](۲۰۰۲) در پژوهش خود با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مکان‌های حادثه‌خیز و کانون‌های تصادفی را در طول جاده اسپارت و آنتالیا شناسایی و تحلیل نمودند.

اردوغان[3](۲۰۰۹) در پژوهش خود به تحلیل فضایی ناامنی جاده‌ای میان ایالت‌های مختلف ترکیه پرداخت و به این نتیجه دست یافت که تصادفات و مرگ‌ومیرهای جاده‌های در ایالت‌های ترکیه دارای الگوی تصادفی خاصی نیست، زیرا توزیع فضایی آن‌ها در جاده‌های ارتباطی بعضی از استان‌ها از جمله استانبول، انکارا و آنتالیا بیشتر است.

تحقیق یاسین و پوجا (۲۰۲۰) از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای شناسایی عوامل مؤثر در شدت تصادفات جاده‌ای استفاده می‌کند. آنها دریافتند که به ویژه جنبه های محیطی روز و شرایط نور (همچنین تجربه و سن راننده) به شدت به وضعیت آسیب ناشی از تصادفات رانندگی در کشورهای توسعه نیافته کمک می کند. یافته‌های مشابهی در

[1]- در تصادفاتی که تعدادی فوت و تعدادی دیگر مجروح می شوند، آمار منجر به فوت ثبت می‌شود و تعداد فوت‌شدگان و مجروحان در ستون‌های ذیربط منظور می‌شود. تعداد فوت‌شدگان و مجروحان مربوط به لحظه وقوع تصادفات است.

[2] - Terzi & Karsahim

[3] - Erdogan

مورد شرایط آب و هوایی و روشنایی نیز برای منطقه اسکاتلند و بریتانیا توسط کار فونتاس و همکاران(۲۰۲۰) به دست آمده است.

کیم و یاماشیتا (۲۰۰۷) الگوهای فضایی تصادفات عابر پیاده را در هونولولو، هاوایی با استفاده از تکنیک‌های خوشه بندی K-means تجزیه و تحلیل کردند. آنها این تکنیک را با تکنیک‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی مقایسه کرده و پیشنهاد می‌کنند که هر دو در ابزارهای تحلیل فضایی برای تحقیقات ایمنی مفید هستند.

جونز و همکاران (۱۹۹۶) مطالعه‌ای در مورد تصادفات رانندگی با استفاده از GIS و روش‌های مکانی- زمانی در سال ۱۹۹۶ در نورفولک انگلستان انجام داده اند. در این مطالعه از روش تحلیل تابع K برای شناسایی وجود یا عدم وجود نقاط حساس خوشه‌ای استفاده شد. محققان با یافتن تصادفات خوشه‌ای متمرکز، توانستند تعداد تصادفات را در این نقاط کاهش دهند.

مطالعه استینبرگ (۲۰۰۴) در مورد تصادفات جاده‌ای در بلژیک با هدف یافتن مناطق سیاه[1]انجام شد. محققان از روش‌های تحلیل خوشه‌ای خطی و مسطح استفاده کردند و با مقایسه آنها، توانستند نقاط داغ را پیدا کنند. همچنین مزایا و معایب روش‌های خوشه‌ای مسطح و خطی در این مطالعه ذکر شد. این تحقیق بازسازی جاده را در اطراف مناطق تاریخی واقع در مرکز شهر تسهیل کرد.

نتایج تحقیق حقیقت (۲۰۱۱) نشان می‌دهد که روش تحلیل فضایی برای تعیین وزن می‌تواند به فرآیند تصمیم‌گیری در تحلیل ایمنی جاده[2](RSA) مانند اولویت‌بندی مدیریت راه کمک کند و اقدامات کاهش‌دهنده را در برابر آسیب‌پذیرترین افراد در برابر تصادفات ارائه دهد.

لو و یائو (۲۰۱۳) تعداد ۶۰۳ الگوی شبیه‌سازی شده تصادفات ترافیکی را در سه شبکه فرضی ساده شده و الگوی تصادف تجربی در هنگ کنگ در ۲ سال تجزیه و تحلیل کردند. آنها از رویکرد ویژگی پیوند و رویکرد مبتنی بر رویداد مبتنی بر شبکه برای شناسایی مناطق داغ استفاده کردند. نتایج نشان داد که رویکرد ویژگی پیوند و رویکرد مبتنی بر رویداد محدود شبکه معمولاً سازگار هستند، اما تفاوت‌های عمده‌ای بین این دو رویکرد وجود دارد.

ایمپرسیمی (۲۰۲۲) به مطالعه داده‌های تصادفات رانندگی سالهای ۲۰۰/-۲۰۱۷ در شهر آتن پرداخته است. نتایج نشان داد که اکثر مناطقی که تعداد تصادفات زیادی را در خود جای داده‌اند در مرکز شهر واقع شده و در طول سالیان متمادی پایدار بوده‌اند. نقاط ترافیک مانند گذرگاه‌ها، توقف‌ها، علائم راهنمایی و رانندگی و نقاط مواصلاتی مانند ایستگاه‌های اتوبوس نیز با حوادث مرتبط هستند. در مقابل، موسسات آموزش و پرورش همبستگی بالایی با حوادث نشان ندادند.

زنگی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۱) در مقاله‌ای به بررسی دلایل تصادفات در بزرگراه‌های شهر اصفهان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین دلایل تصادف در بزرگراه‌های درون شهری اصفهان، عدم توجه به جلو، عدم رعایت حق تقدم و عدم رعایت فاصله طولی است. در این میان سبقت و سرعت غیرمجاز بیشترین تصادفات فوتی در بزرگراه‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

علی گلی (۱۳۹۱) به بررسی پراکنش فضایی تصادفات درون شهری و برون شهری کشور در سال ۱۳۸۶ پرداخت و به این نتیجه رسید که در سطح کشور الگوی مختلف فضایی در وقوع تصادفات درون شهری و برون شهری وجود دارد. سنجش تأثیر چگالی جمعیت نشان داد که برخلاف تصور کانون‌های جمعیتی متراکم از سرانه مرگ‌ومیر ناشی از تصادف کمتری برخوردار هستند و خوشه‌های معنادار مرگ و میر بر نواحی کم جمعیت و با چگالی کم متمرکز است.

ابدالی و رمضانی حاجی محله (۱۳۹۸) در مقاله‌ای به تحلیل تصادفات منجر به فوت موتورسیکلت سواران در منطقه ۶ شهرداری تهران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که توزیع فضایی تصادفات منجر به مرگ موتورسیکلت سواران در

[1] black zones
[2] Road Safety Analysis

منطقه ۶ تهران به صورت خوشه‌ای می‌باشند، همچنین توزیع فضایی تصادفات بطور قابل توجهی با تغییر در تراکم جمعیت در قطعات مختلف متفاوت است.

تصادفات درون‌شهری به حادثه ترافیک خیابان و یا تصادف درون‌شهری می‌گویند که در آن دست کم یک وسیله با یک وسیله نقلیه دیگر، یا با یک کاربر (استفاده کننده) و یا با یک جسم ثابت در درون شهر که معمولاً آسیب جانی یا مالی در پی دارد، برخورد کرده باشد (رسولی، ۱۳۹۶: ۱۵).

بررسی سوانح رانندگی یک حوزه تحقیقاتی فعال است و با تولید انبوه و استفاده روزافزون از وسایل نقلیه موتوری پدید آمده است. طی دهه های گذشته پژوهشگران دیدگاه های متفاوتی را برای توسعه دانش و دستورالعملهای ایمنی جاده ها اتخاذ کرده اند. در سالهای اخیر برخی از پژوهشگران با شناسایی مولفه های خطر بر ایمنی وسایل نقلیه تحقیقاتی انجام داده اند . با این وجود بسته به تعداد تصادفات بدون در نظر گرفتن عوامل محیطط اساسا ممکن است اطلاعات محدود و حتی مغرضانه ای در مورد مکانهایی که اقدامات ایمنی مورد نیاز هستند ارایه دهد و اینکه چه تدابیری بهتر است برای بهبود ایمنی راه ها انجام شود مورد استفاده قرار نمیگیرد و ارتباط فضایی تصادفات در موقعیت های خاص تاثیری در شناسایی مقاطع حادثه خیز ندارد از این رو پژوهشگران در سالهای اخیر با استفاده از مدلهای فضایی مکانی مدلهای سنتی را توسعه داده اند. (خاکسار و همکاران، ۱۴۰۱)

برای تجزیه و تحلیل علل تصادفات، می‌توان آنها را با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف بررسی کرد و در نتیجه وابستگی های متفاوتی را نشان داد. یکی از جنبه‌های بررسی تصادفات رانندگی می‌تواند تنظیم مدل‌های ارزیابی خطر تصادف خودرو بر اساس اطلاعات رفتار رانندگی باشد. با در نظر گرفتن این جنبه، تحقیقات مختلف عوامل مختلف تأثیرگذار در تصادفات رانندگی، مانند آب و هوا، انسان، مواد یا خرابی الکتریکی یک یا چند خودرو (به ویژه در زمینه رانندگی خودران) را بررسی کرده اند. عامل اصلی تأثیرگذار در تصادفات رانندگی به عنوان راننده یا جنبه انسانی به طور کلی شناخته می شود. پیش‌بینی جنبه‌های انسانی در نقش تصادفات رانندگی به دلیل بسیاری از جنبه‌های ماهیت انسانی و زمینه‌های مختلف تجربیات احتمالی و چگونگی اندازه‌گیری آن‌ها دشوار است. تعدادی از این عوامل انسانی مرتبط با تجربه به‌عنوان دانش در مورد مسیر، رانندگی در مسافت طولانی، قابلیت عکس‌العمل و موارد دیگر شناسایی می‌شوند که توسط تحقیقات گیولن و همکاران (۲۰۱۹) بر خطر تصادف تأثیر می‌گذارند. (۲۰۱۹).

اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد شامل دو هدف خاص در نتیجه بحران جهانی است. هدف نخست خواستار کاهش تعداد مرگ و میر و جراحات جهانی ناشی از تصادفات جاده ای است. هدف دوم بیان می‌کند که تا سال ۲۰۳۰، همه باید به یک وسیله ایمن، مقرون به صرفه، در دسترس و پایدار دسترسی داشته باشند. سیستم حمل و نقل، با تمرکز بر بهبود ایمنی جاده‌ها، به ویژه برای افرادی که در موقعیت‌های آسیب پذیر مانند زنان، کودکان، افراد دارای معلولیت و سالمندان قرار دارند. علیرغم پیشرفت قابل توجه در برخی از مناطق جهان، این اهداف، به ویژه هدف دوم هنوز تا رسیدن به آن فاصله دارند. (یونس و عبدالکریم، ۲۰۲۲)

با توجه به اداره ایمنی ترافیک شهری، علل تصادف رانندگی به سه نوع تقسیم می‌شوند: مرتبط با راننده، مربوط به خودرو و شرایط بد محیطی. عوامل مرتبط با راننده شامل خطای شناخت، خطای تصمیم، خطای عملکرد و دیگر موارد می‌شود. عوامل مرتبط با خودرو عبارت‌اند از: مربوط به تایر یا چرخ، ترمز، فرمان هدایتی وسیله نقلیه و سایر دلایل دیگر. دلایل مهم مرتبط با شرایط نامناسب محیطی برای تصادفات عبارت‌اند از: جاده‌های نرم و صاف، برجستگی، موانع قابل مشاهده، مه، باران، برف، طراحی جاده‌ها و... است (Lee et al, 2018: 1).

تحلیل فضایی کانون‌های تصادف‌خیز

اصطلاح مکان‌های تصادف‌خیز یا کانون‌های تصادفی بیانگر یک مکان با میزان بالای تصادفات رانندگی است. محدوده این مکان بخشی از شهر، یک خیابان یا یک بزرگراه و یا چند خیابان مجاور یکدیگر و حتی ممکن است یک پیچ خطرناک باشد (ابدالی و رمضانی حاجی محله، ۱۳۹۸: ۲۵۷۷). تعریفی دیگر این اصطلاح را معادل مکان‌های کوچک با

تعداد تصادفات زیاد قابل پیش‌بینی، حداقل در یک دوره زمانی یک‌ساله دانسته است (Seidel et al, 2018: 79). در طی شصت سال گذشته، موضوع تجزیه و تحلیل نقاط حادثه جاده‌ای مورد بررسی گسترده قرار گرفته است و روش‌های شناسایی کانون‌های مختلف (HSID) توسعه یافته است. از لحاظ تاریخی، رایج‌ترین رویکردها، تکنیک‌های غیرفضایی بوده است، جزئیات مربوط به ساختار اصولی جاده و توجه به تصادفات رانندگی است. احتمالا ساده‌ترین تکنیک شناسایی این نوع روش به اصطلاح روش فراوانی تصادفات[1]است. در این رویکرد، خطر حادثه جاده‌ای به واسطه تعداد حوادثی که در طی یک دوره مشخص رخ داده است، تعیین می‌شود (ابدالی و رمضانی حاجی محله، ۱۳۹۸: ۲۵۷۸). روش دیگر همانند روش مفهوم فراوانی تصادفات، روش نرخ تصادفات[2]است. روش نرخ تصادفات، تعداد تصادفاتی را که در بخش جاده اتفاق می‌افتد را حساب می‌کند، اما علاوه بر این، حجم ترافیک را نیز در تجزیه و تحلیل آن در نظر می-گیرد. با این حال، برخی از اشکال آشکار در هر دو روش وجود دارد، مانند عدم توجه به نوسانات تصادفی تعداد حوادث. از دیدگاه آماری، هر دو روش نرخ تصادفات و فراوانی تصادفات در مقایسه با سایر روش‌های HSID از عملکرد بدتری برخوردار هستند (Montella, 2010: 575; Ryder, 2017: 65). با وجود این، معمولاً هر دو روش فراوانی تصادفات و نرخ تصادفات با این وجود هنوز هم مورد استفاده قرار می‌گیرند و از محبوبیت و سهولت تفسیر برخوردار است. احتمالاً یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین تکنیک‌های شناسایی کانون‌های تصادفی، استفاده از یک مدل آماری به روش تجربی بیزی[3] است. بر اساس شواهد آماری استدلال می‌شود که روش تجربی بیزی سایر روش‌های شناسایی کانونی، از جمله نرخ تصادفات و فراوانی تصادفات را شامل می‌شود. با این حال، تکنیک‌های تشخیص کانون کلاسیک اغلب جنبه‌های فضایی و الگوهای حوادث را نادیده می‌گیرند، از جمله مکان واقعی حوادث فردی، صرف نظر از ساختار اصولی جاده (Whitelegg, 1987: 167; Flahaut et al, 2003: 999; Ryder, 2017: 65). با پیدایش سیستم اطلاعات جغرافیایی و دسترسی دقیق و بیشتر به داده‌های جغرافیایی کدگذاری شده و همچنین نقشه‌های دیجیتال، محققان از روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌های فضایی برای شناسایی کانون‌های تصادف خیز استفاده کرده‌اند (Anderson, 2009: 340; Okabe, 2009: 9).

احتمال وقوع تصادف و شدت آن را اغلب می توان با تحلیل سیستماتیک سناریوهای حادثه و با توسل به راه حل های مناسب شامل بکارگیری دستگاه های کنترل ترافیک مناسب، شیوه های مناسب طراحی راه و فعالیت های موثر پلیس راهنمایی و رانندگی کاهش داد. با این حال، وظیفه ایجاد راه حل های موثر مستلزم تجزیه و تحلیل الگوهای مکانی و زمانی در منطقه حوادث ترافیکی است که می تواند از طریق استفاده از فناوری مکانی به دست آید (چنگ و واشنگتن، ۲۰۰۸). توزیع غیر تصادفی تصادفات، چه در زمان و چه در مکان، اغلب سوالاتی را در مورد مکان و دلایل آن مکان ایجاد می‌کند (شرمن و همکاران، ۲۰۰۹). برخلاف روش‌های مرسوم، تفکر فضایی به شناسایی الگوها و پیشنهاد دلایل ویژگی‌های الگو کمک می‌کند (پراساناکومار و همکاران، ۲۰۱۱).

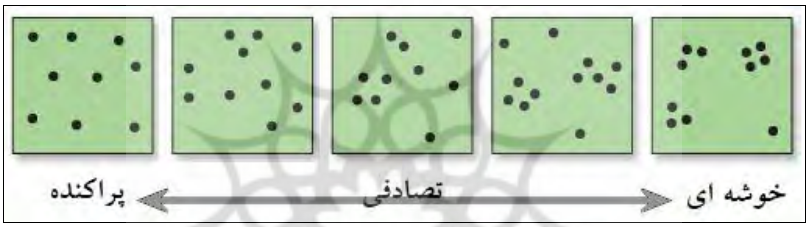
تصادف جاده ای یک پیامد منفی غیرمنتظره رشد در بخش زیرساخت حمل و نقل است. شناسایی امتداد جاده‌ای که در آن تصادفات مکرر اتفاق می‌افتد (همچنین به عنوان نقاط سیاه تصادف شناخته می‌شود) اولین گام برای توسعه شبکه جاده‌ای ایمن‌تر است. در طول دهه‌های گذشته، ابزارها و تکنیک‌های تحلیلی متعددی برای شناسایی نقاط سیاه تصادف به کار گرفته شده‌اند. در میان این ابزارها، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به دلیل توانایی نه تنها در ذخیره و ارائه داده‌ها به صورت مکانی، بلکه برای انجام تحلیل‌های فضایی پیچیده با استفاده از ابزارهای آماری متکی بر داده‌های ارجاع‌شده جغرافیایی متمایز است. (عزیز و رام، ۲۰۲۲) فناوری GIS ابزاری محبوب برای تجسم داده‌های تصادف و تجزیه و تحلیل نقاط داغ بوده است و از این رو توسط بسیاری از آژانس‌های ترافیکی استفاده می‌شود (گانشکومار و دیپ تیجایان، ۲۰۱۰). درک الگوهای تصادف مکانی و زمانی به متخصصان ایمنی کمک می‌کند تا بخش-هایی را که تعداد تصادفات بیشتری دارند، برای مقایسه با سایر مکان های مشابه تشخیص دهند. این بخش‌ها به عنوان

[1] - Crash Frequency (CF)
[2] - Crash Rate (CR)
[3] - Empirical Bayesian (EB)

نقاط داغ تعریف می شوند (مهیمنی و همکاران، ۲۰۱۳؛ ایلویک و همکاران، ۲۰۰۸ به نقل از شفابخش و همکاران، ۲۰۱۷).

الگوهای فضایی تصادفات درون شهری

مهم‌ترین الگوهای فضایی کانون‌های تصادف‌خیز عبارت‌اند از: الگوی پراکنده[1] الگوی خوشه‌ای[2] و الگوی نقطه‌ای[3] در الگوی پراکنده، مکان‌های وقوع تصادفات در سرتاسر محدوده گسترده شده‌اند و خوشه‌ای یا متمرکز نیستند. برای مثال وضعیت خیابان‌هایی که در سرتاسر آن‌ها تصادفات رخ داده است که به سبب ویژگی‌های طراحی شریان‌ها و شرایط محیطی این مکان‌هاست. رخدادهای داخل کانون خوشه‌ای نیست، در نتیجه همان ویژگی آسیب‌پذیری را نیز در آینده دارند. الگوی خوشه‌ای، کانون را به صورت خوشه‌ای در یک یا چند فضای ویژه در داخل محدوده کانون به وجود می-آورد. برای مثال می‌توان پایانه‌ها، پایانه‌های مسافربری و یا پیچ‌های خطرناک را ذکر نمود که ممکن است کانون شماری از تصادفات وسایل نقلیه باشد. الگوی نقطه‌ای، الگو ویژه‌ای از کانون تصادف‌خیز بر یک مکان خاص انطباق می‌یابد. برای مثال یک مکان جاذب سفر واقع در مرکز شهر از این نوع است که همه تصادفات در یک مکان ویژه به وجود می‌آیند. شکل (۲) سه نوع الگوی توزیع فضایی تصادفات درون شهری را نمایش می‌دهد (ابدالی و رمضانی حاجی محله، ۱۳۹۸: ۲۵۷۷).



شکل ۲. سه نوع الگوی پراکنش فضایی تصادفات درون شهری (ابدالی و رمضانی حاجی محله، ۱۳۹۸).

روش‌شناسی

پژوهش حاضر یک مطالعه کمی- تحلیلی است. در این مطالعه، جمعیت آماری شامل تصادفات رانندگی درون شهری سال ۱۳۹۵ در محدوده شهر اردبیل است که همه آنها مورد مطالعه قرار گرفتند. داده‌های مورد نیاز مطالعه از پلیس راهنمایی و رانندگی اردبیل و همچنین پایگاه داده شهرداری و مرکز آمار ایران استخراج شد. آدرس دقیق محل وقوع حوادث با استفاده از مختصات جغرافیایی و نقاط کمکی ثبت شده در اسناد پلیس راهنمایی و رانندگی، استخراج شد. بنابراین، با استفاده از آدرس‌های ثبت شده و مختصات جغرافیایی محل وقوع حوادث؛ نقشه‌های مربوطه تهیه شد. در تجزیه‌وتحلیل اطلاعات این پژوهش از روش‌های آماری- گرافیکی در قالب نرم‌افزار Arc GIS و همچنین از نرم‌افزار Excel بهره گرفته شده است. مهم‌ترین آزمون‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارت‌اند از:

مرکز متوسط:[4] نقطهٔ مرکز متوسط را می‌توان به عنوان معیار تقریبی برای مقایسهٔ توزیع فضایی انواع گوناگون متغیرها یا برای بررسی تصادفات به کار گرفت. اندازه‌گیری جابجایی فضایی تصادفات از این جمله است. میانگین مرکزی به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود. رابطه (۱):

$$\bar{X}=\frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \quad و \quad \bar{Y}=\frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i}{n}$$

1- Dispersed
2- Clustered
3- Hotpoint
4- Mean Center

در اینجا X_i و Y_i مختصات x و y، و n برابر با تعداد کل عوارض موجود در لایه مورد تحلیل است. میانگین مرکزی وزنی نیز مطابقه رابطه (۲) محاسبه می‌شود. رابطه (۲)

$$\overline{x_w}=\frac{\sum_{i=1}^{n} W_i X_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \quad ، \quad \overline{y_w}=\frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$$

اگر مختصات z را نیز داشته باشیم، آنگاه می‌توان از طریق رابطه (۳) میانگین مرکزی را به صورت سه‌بعدی محاسبه نمود. رابطه (۳):

$$\overline{Z}=\frac{\sum_{i=1}^{n} Z_i}{n} \quad ، \quad \overline{Z_w}=\frac{\sum_{i=1}^{n} W_i Z_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$$

در اینجا W_i وزن عارضه i است. خروجی این ابزار تحلیلی یک لایه جدید خواهد بود که در آن نقطه میانگین مرکزی وجود دارد (عسگری، ۱۳۹۰: ۱۰۴).

بیضی انحراف معیار[1]: توزیع بسیاری از پدیده‌های جغرافیایی در فضا به گونه‌ای هستند که ممکن است جهت‌دار بوده و نتوان آن‌ها را با دایره نشان داد. در این مورد می‌توان با محاسبه واریانس محورهای x و y به طور جداگانه و مستقل روند و جهت توزیع پدیده‌ها در فضا را نشان داد. روشی که معمولاً برای اندازه‌گیری روند در مجموعه‌ای از نقاط یا نواحی به کار گرفته می‌شود محاسبه فاصله استاندارد در جهت x و y به طور جداگانه است. این دو مقدار محورهای بیضی‌ای که توزیع عوارض را در برمی‌گیرد تعریف می‌کنند. از این بیضی به عنوان بیضی انحراف استاندارد نیز نام برده می‌شود، زیرا در این روش استاندارد مختصات x و y از میانگین مرکزی برای تعیین محورهای بیضی محاسبه می‌شوند. این بیضی به ما امکان می‌دهد که اگر توزیع عوارض در فضا از الگوی جهت‌داری برخوردارند آن را شناسایی نماییم. اگرچه می‌توان تا حدودی جهت داده‌ها را با نمایش اولیه آن‌ها دریافت، بیضی انحراف استاندارد را هم بر اساس مکان عوارض و یا مکان آن‌ها و تأثیر خصیصه معینی بر آن‌ها محاسبه نمایند. در صورتی که خصیصه‌ای برای دادن وزن به مکان عوارض استفاده نمایید در این صورت روش بیضی انحراف استاندارد وزنی را محاسبه کرده‌اید. آزمون بیضی انحراف معیار با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود (عسگری، ۱۳۹۰: ۹۴- ۸۸). رابطه (۴):

$$X=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n}} \quad ، \quad Y=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}{n}}$$

در رابطه فوق x_i مختصات i بوده و $\{\bar{x}, \bar{y}\}$ به ترتیب میانگین مرکزی عوارض و n برابر با تعداد کل عوارض در لایه مورد تحلیل است. زاویه چرخش نیز از طریق رابطه (۵) محاسبه می‌شود. رابطه (۵):

$$tan\theta = \frac{A+B}{C} \qquad A=\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2-\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right)$$

$$B=\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2-\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right)^2+4\left(\sum_{i=1}^{n} x_i y_i\right)^2} \qquad C=2\sum_{i=1}^{n} x_i y_i$$

در اینجا X_i و Y_i اختلاف بین مختصات x و y از میانگین مرکزی است. همچنین انحرافات استاندارد برای محورهای x و y در رابطه (۶) نشان داده شده است. رابطه (۶):

$$\sigma_x=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\bar{x}_i\cos\theta-\bar{y}_i\sin\theta)^2}{n}} \qquad \sigma_y=\sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{n}(\bar{x}_i\sin\theta-\bar{y}_i\cos\theta)^2}{n}}$$

نزدیک‌ترین همسایه[2]: یکی از ساده‌ترین الگوهای طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های جغرافیایی، شاخص نزدیک‌ترین همسایه است (ESRI, 2016). روش متداول مبتنی بر تعریف یک همسایه بر مبنای اشتراکات مرزی است. محاسبه یک نزدیک‌ترین شاخص همسایه بر اساس میانگین فاصله از هر ویژگی به نزدیک‌ترین ویژگی همسایه است. ابزار میانگین نزدیک‌ترین همسایگی فاصله بین هر مشخصه مرکزی و نزدیک‌ترین همسایه مرکزی را اندازه‌گیری می‌کند. سپس تمام

[1]- Standard Deviation Ellipse
[2]- Average Nearest Neighbor

این فاصله نزدیک‌ترین همسایگی را به ترتیب میانگین مرتب می‌کند. محاسبه فاصله هر عارضه تا نزدیک‌ترین عارضه مشابه از طریق رابطه (۷) محاسبه می‌شود. رابطه (۷):

$$ANN = \frac{\bar{D}o}{\bar{D}e}$$

محاسبه جمع فاصله نزدیک‌ترین عارضه مجاور و تقسیم حاصل جمع بر تعداد عارضه‌ها است. این مقدار، متوسط فاصله از نزدیک‌ترین همسایهٔ واقعی است که از طریق رابطه (۸) به دست می‌آید. رابطه (۸):

$$\bar{D}o = \frac{\sum_{i=1}^{n} di}{n}$$

توزیع تصادفی از همان تعداد عارضه برای همان محدوده جغرافیایی تهیه شده و برای هر عارضه، فاصله از نزدیک‌ترین عارضه مجاور محاسبه می‌شود که از طریق رابطه (۹) محاسبه می‌شود. رابطه (۹):

$$\bar{D}e = \frac{0.5}{\sqrt{n/A}}$$

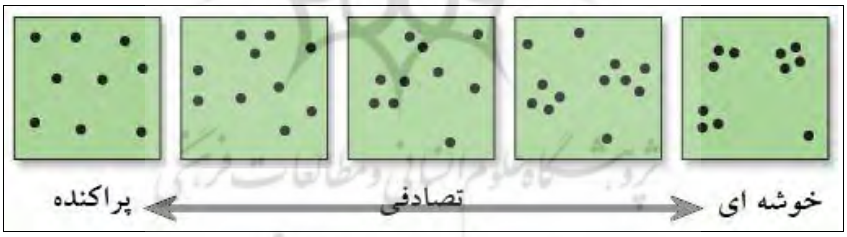
مجموع فواصل از نزدیک‌ترین عارضه مجاور برای تمام عارضه‌ها با توزیع تصادفی به‌دست‌آمده و بر تعداد عارضه‌ها تقسیم می‌شود. این مقدار، متوسط فاصله از نزدیک‌ترین همسایه تصادفی است و با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود. رابطه (۱۰):

$$O^z\ ANN = \frac{\bar{D}o - \bar{D}e}{se}$$

شاخص نزدیک‌ترین همسایه، نسبت متوسط فاصله از نزدیک‌ترین همسایه واقعی به متوسط فاصله از نزدیک‌ترین همسایه تصادفی است که از طریق رابطه (۱۱) به دست می‌آید. رابطه (۱۱):

$$\bar{D}e = \frac{0.26136}{\sqrt{n^2/A}}$$

اگر نتیجه آزمون شاخص نزدیک‌ترین همسایه برابر یک باشد، داده‌ها به صورت تصادفی توزیع شده‌اند. اگر نتیجه کوچک‌تر از یک باشد، بیانگر خوشه‌ای بودن داده‌ها است و اگر شاخص نزدیک‌ترین همسایه بزرگ‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده الگوی پراکنده است. شکل (۳) انواع الگوهای شاخص نزدیک‌ترین همسایه را نشان می‌دهد.



شکل ۳. الگوهای شاخص نزدیک‌ترین همسایه، مأخذ: (ESRI, 2018).

تراکم کرنل[1]: آزمون تخمین تراکم کرنل یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای به تصویر کشیدن داده‌های تصادفات درون شهری به صورت پیوسته است. آزمون تخمین تراکم کرنل سطح همواری از تغییرات در تراکم نقاط تصادفی روی محدوده ایجاد می‌کند.

موران جهانی I[2]: برای تعیین نوع توزیع و نقاط پهنه‌های داغ تصادفات از ابزار موران جهانی استفاده شده است. موران جهانی از طریق رابطه (۱۲) به دست می‌آید که در آن x_{ij} میزان تصادفات است، s^2 واریانس نمونه مشاهده شده در معادله است، n تعداد چندضلعی‌های منطقه، w_{ij} ماتریس وزن فضایی یک محله که در اطراف خودش را تعریف می‌کند و هنگامی که i و j برابر با صفر مشاهده شده باشند c_{ij} برابر با ۱ است. دو روش برای شناسایی وزن ماتریس‌ها وجود

[1]- Kernel Density
[2]- Moran's I

دارد: یکی این که وزن‌های فضایی مبتنی بر پیوستگی فضایی و میزان فاصله از هم باشند (ESRI, 2016)[1]. روش متداول مبتنی بر تعریف یک همسایه بر مبنای اشتراکات مرزی است. در این مطالعه، وزن فضایی مبتنی بر همبستگی به کار گرفته شد کشف الگوهای فضایی تصادفات درون شهری، شهر اردبیل بر اساس خودهمبستگی فضایی موران جهانی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 انجام شد. محاسبه نزدیک‌ترین همسایگی پلیگون‌ها به صورت زیر انجام می‌شود، اگر متوسط فاصله کمتر از ۱ باشد توزیع ویژگی‌های تحلیل شده به صورت خوشه‌ای در نظر گرفته می‌شود، اگر فاصله متوسط بین ۱ و ۲ باشد توزیع به صورت تصادفی در نظر گرفته می‌شود و اگر متوسط فاصله بیشتر از ۲ باشد توزیع به صورت پراکنده در نظر گرفته می‌شود. (Jacquez & Greiling, 2003a; Zhang & Tripathi, 2018). رابطه (۱۲)

$$I = \frac{\sum_{i}^{n} = 1 \sum_{j}^{n} = 1 W_{ij}(X_i - \bar{X})}{S^2 \sum_{i}^{n} = 1 \sum_{j}^{n} = 1 W_{ij}}, \qquad S^2 = \frac{\sum_{j}^{n} = 1 (X_i - \bar{X})}{n}, \qquad W_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{j}^{n} = 1 C_{ij}}$$

انسلین موران محلی:[2] همچنین برای توزیع فضایی تصادفات از روش انسلین محلی موران استفاده شده است. این روش نشان می‌دهد که مقادیر عوارض جغرافیایی در کجا زیاد و در کجا کم توزیع شده‌اند، همچنین نشان می‌دهد که کدام عوارض دارای مقادیر بسیار متفاوت از پیرامونشان هستند. برای انجام این مسأله از مقدار Z و مقدار P و یک نشان‌گر که نشان دهنده‌ی نوع خوشه برای هر عارضه است می‌پردازد. انسلین محلی موران از طریق رابطه (۱۳) به دست می‌آید: که در آن x_i خصیصه عارضه، i و x میانگین خصیصه مربوط و w_{ij} وزن فضایی بین عوارض است. رابطه (۱۳)

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{i=1, j=i}^{n} W_{i,j} (X_i - \bar{X})$$

قلمرو جغرافیایی پژوهش

اردبیل، یکی از شهرهای استان اردبیل، واقع در شمال ایران (۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۱۹ دقیقه غربی). مساحت شهر در حدود ۶۱۰۰ کیلومترمربع است، براساس آخرین سرشماری نفوس در ایران (۱۳۹۵)، جمعیت آن ۵۲۵،۷۰۲ نفر بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). شکل کلی شهر به صورت شعاعی- حلقوی است که در پیرامون شهر به صورت ستاره‌ای در امتداد خیابان‌های خروجی و و ورودی اصلی شهر است. چهار خیابان اصلی شهر از چهار شهر بزرگ استان و استان‌های مجاور از شمال شرقی، شمال غربی، جنوب شرقی و جنوب غربی به مرکز می‌رسند و بافت شهر متأثر از این چهار خیابان اصلی است. معابر شعاعی ناشی از این امتداد و سه رینگ که این معابر را به هم متصل می‌کنند، مجموعاً ساختار معابر اصلی شهر را تشکیل می‌دهند. رینگ یا دایره اول (بخش مرکزی) مر بوط به بافت ارگانیک و اولیه شهر؛ رینگ یا دایره دوم متشکل از بافت میانی یا نیمه ارگانیک شهر است و رینگ یا دایره سوم در پیرامون رینگ دوم است.

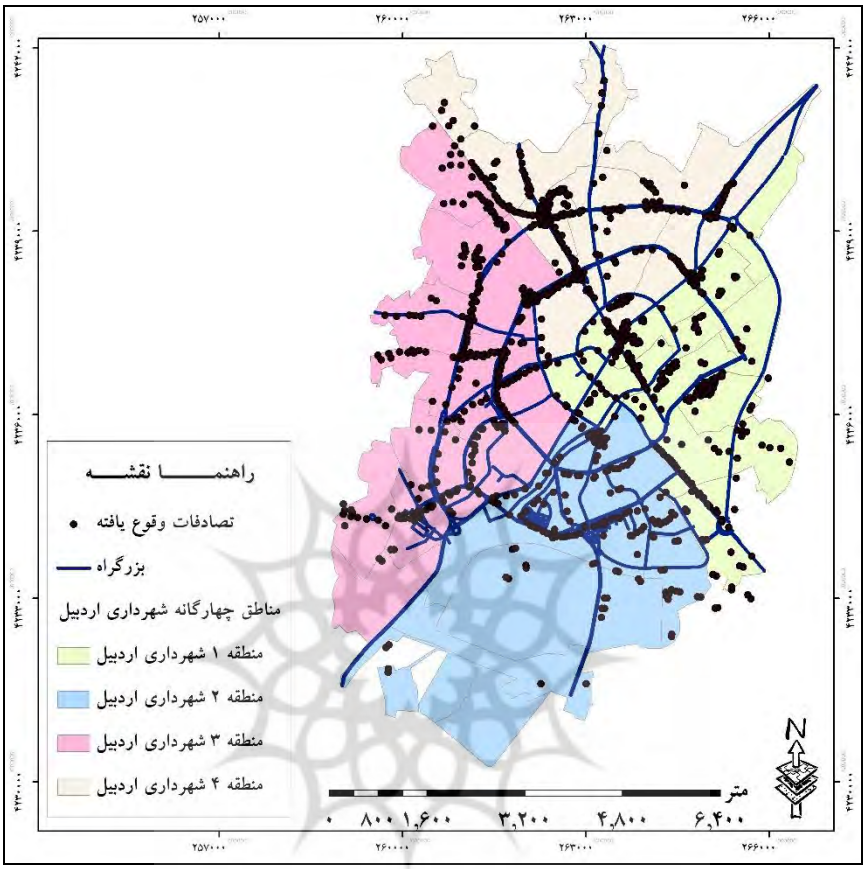
یافته‌ها و بحث

نوع خسارات و توزیع نقطه‌ای تصادفات درون‌شهری

به‌منظور تحلیل فضایی و جغرافیایی تصادفات درون شهری ابتدا محل وقوع این تصادفات به‌صورت نقاط منفرد در پایگاه داده مکانی ذخیره و با استفاده مدل‌های تحلیلی (آماری و گرافیکی) الگوی فضایی این تصادفات در سطح شهر اردبیل استخراج و بر این اساس، شکل‌گیری مکان‌های تصادف خیز مورد سنجش قرار گرفت. بررسی توزیع فضایی

[1]- Environmental Systems Research Institute
[2]- Anselin local Morans

محل تصادفات نشان‌دهنده آن است که حجم بالای نقاط بر روی نقشه بیانگر تمرکز و تجمع آشکار تصادفات در معابر و تقاطع‌های خاصی از شهر اردبیل است. نحوه پراکندگی محل تصادفات در شهر اردبیل نشان‌دهنده این نکته مهم و اساسی است که تعداد تصادفات در محدوده‌های خاصی دارای تراکم بیشتری نسبت به سایر محدوده‌ها است. در شکل (۴) توزیع نقطه‌ای تصادفات درون‌شهری بر روی بزرگراه‌های شهری اردبیل و مناطق چهار گانه شهر اردبیل به تصویر کشیده شده است.



شکل ۴. توزیع نقطه‌ای تصادفات در محدوده شهر اردبیل بر روی بزرگراه‌ها

بر اساس جدول (۱) بیشترین نوع خسارات تصادفات درون‌شهری، شهر اردبیل تصادفات جرحی هستند که با ۵۷۳ مورد در سال ۱۳۹۵ در رتبه اول و تصادفات خسارتی با ۴۳۵ مورد در رتبه دوم قرار دارند، این در حالی است که تصادفات منجر به مرگ با تعداد ۴ مورد در رتبه آخر قرار گرفته است.

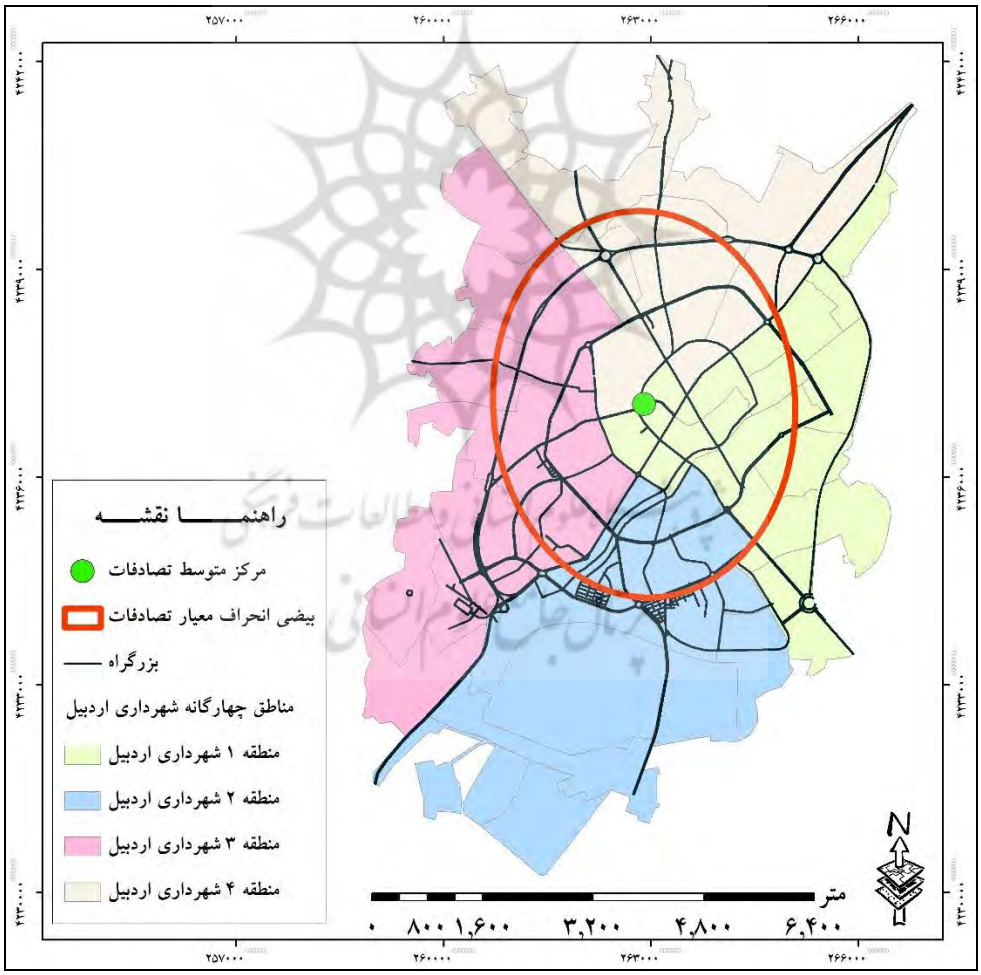
جدول ۱. *نوع، تعداد و درصد تصادفات درون‌شهری، شهر اردبیل*

نوع خسارت	منجر به جرح	منجر به خسارت	منجر به مرگ	مجموع
تعداد	۵۷۳	۴۳۵	۴	۱۰۱۲
درصد	۵۶/۶۲	۴۲/۹۸	۰/۴۰	۱۰۰
درصد تجمعی	۵۲/۶۲	۹۹/۶۰	۱۰۰	

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۹

مرکز متوسط و بیضی انحراف معیار تصادفات

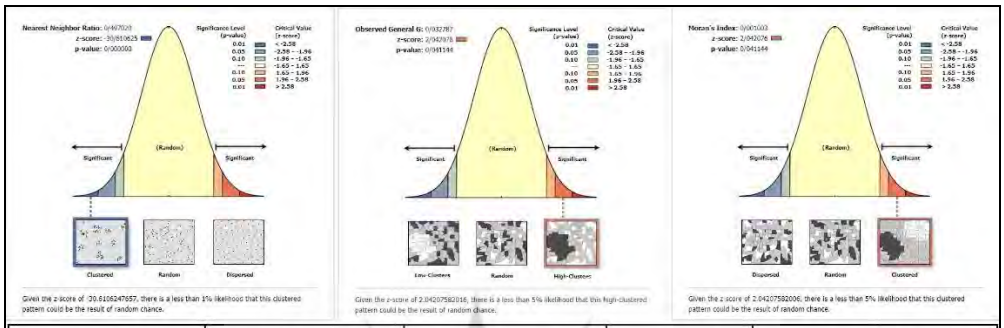
برای سنجش توزیع فضایی و مرکز ثقل تصادفات موردبررسی، مدل‌های آماری گرافیک مبنا شامل آزمون مرکز میانگین و بیضی انحراف معیار مورداستفاده قرارگرفته است. مرکز میانگین، مکان مرکزی را به صورت میانگین مبنایی تمام مکان‌های تصادفات مشخص می‌کند. بیضی انحراف معیار، با استفاده از انحراف معیار فاصله مکان هر تصادف تا مرکز میانگین، پراکندگی، جهت و موقعیت آن را مشخص می‌کند. در شکل (۵) مرکز میانگین و بیضی انحراف معیار کل تصادفات درون‌شهری، شهر اردبیل نشان داده شده است. مرکز متوسط کل تصادفات درون‌شهری وقوع یافته در محدوده شهر اردبیل، تا حدود بسیار زیادی بر مرکز جغرافیایی این شهر منطبق است این مرکز در میان رینگ یا دایره اول (بخش مرکزی) مربوط به بافت ارگانیک و اولیه شهر قرار گرفته است، همچنین می‌توان گفت مرکز متوسط این تصادفات در تقاطع خیابان انقلاب، شیخ صفی اردبیلی و کشاورز قرار دارد. در واقع این مرکز دارای یک مکان تاریخی-فرهنگی (مسجد عالی قاپو) می‌باشد و خود یکی از دلایل جذب و کشش حجم ترافیک به این مرکز می‌باشد. بیضی انحراف معیار کل تصادفات وقوع یافته به صورت دایره‌ای تا حدودی دارای کشیدگی شمالی و جنوبی است، این امر نشان می‌دهد مجموعه تصادفات درون‌شهری وقوع یافته این محدوده در بخش‌های محدودی با گستردگی کمتر به وقوع پیوسته است و بیشتر تصادفات وقوع یافته گرایش به سمت شمال و جنوب شهر اردبیل دارند. این امر نشان می-دهد که احتمال وقوع تصادفات در این محدوده‌ها بیشتر است.



شکل۵. مرکز متوسط و بیضی انحراف معیار کل تصادفات درون‌شهری، شهر اردبیل

آزمون خوشه‌بندی

چند روش برای شناسایی الگوهای فضایی تصادفات وجود دارد، شاخص نزدیک‌ترین همسایه، موران محلی و موران جهانی ازجمله مهم‌ترین آزمون‌های خوشه‌بندی است. این شاخص‌ها روشی ساده برای آزمون تمرکز تصادفات در یک محدوده جغرافیایی است. میزان شاخص نزدیک‌ترین همسایه در پراکندگی کل تصادفات درون‌شهری برابر ۰/۴۹۷، موران محلی برابر ۰/۰۳۲ و موران جهانی برابر ۰/۰۰۱ است. بر این اساس مقدار توزیع فضایی کل تصادفات درون-شهری، شهر اردبیل توزیع خوشه‌ای دارد و آزمون‌های مذکور هم راستا می‌باشند. مقدار Z نزدیک‌ترین همسایه این تصادفات برابر ۳۰/۶۱-، موران محلی برابر ۰/۰۴ و موران جهانی برابر ۲/۰۴ است. شکل (۶) شاخص نزدیک‌ترین همسایه، موران محلی و موران جهانی کل تصادفات درون شهری در محدوده شهر اردبیل را نشان می‌دهد.



نوع آزمون	الگو توزیع	شاخص آزمون	مقدار Z	مقدار P
نزدیک‌ترین همسایه	خوشه‌ای	۰/۴۹۷۰۲۰	-۳۰/۶۱۰۶۲۵	۰/۰۰۰۰۰۰
موران محلی		۰/۰۳۲۷۸۷	۰/۰۴۲۰۷۶	۰/۰۴۱۱۴۴
موران جهانی		۰/۰۰۱۰۰۳	۲/۰۴۲۰۷۶	۰/۰۴۱۱۴۴

شکل ۶. شاخص نزدیک‌ترین همسایه، موران محلی و موران جهانی تصادفات درون‌شهری

تحلیل فضایی تصادفات به روش تخمین تراکم کرنل

آزمون تخمین تراکم کرنل یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای به تصویر کشیدن داده‌های تصادفات درون شهری به صورت پیوسته است. آزمون تخمین تراکم کرنل سطح هموارای از تغییرات در تراکم نقاط تصادفی در روی محدوده ایجاد می‌کند. بر اساس روش یاد شده و به منظور تشخیص کانون‌های تصادف خیز در محدوده شهر اردبیل این محاسبات با استفاده از مجموعه ابزارهای Spatial Analyst Tools و ابزار Kernel Density در محیط ArcGIS انجام گرفت و نتیجه آزمون در شکل‌های (۶) آورده شده است. با بررسی توزیع فضایی کل تصادفات درون‌شهری محدوده شهر اردبیل و بر اساس تراکم کرنل در شکل (۷)، کانون کل تصادفات در سطح شهر اردبیل در ۶ محدوده واقع شده است. این محدوده‌ها به ترتیب بزرگی کانون تصادف‌خیز عبارت‌اند از:

۱- تقاطع تقاطع دکتر بهشتی و امام خمینی (ره): این مرکز دارای مسجدهای مهم و زیادی است، همچنین مرکز تجاری شهر اردبیل، ساختمان شهرداری منطقه ۱ اردبیل و کوچه‌های ارگانیک که بدون برنامه از دوران گذشته به یادگار مانده قرار دارد. در واقع این مرکز هسته‌ی اولیه شکل‌گیری شهر اردبیل است که دارای کوچه‌ها و خیابان‌های تنگ و باریکی است. عواملی که باعث شده این مرکز به عنوان یکی از کانون‌های بزرگ تصادف‌خیز شهر اردبیل لقب بگیرد عبارت‌اند از: بافت ارگانیک، تعداد زیاد مکان‌های مذهبی- فرهنگی و تاریخی زیاد، قرارگیری ساختمان‌های مهم اداری و قرارگیری بازار در این محدوده خود باعث شده حجم بالایی از جمعیت غیرساکن سایر مناطق، شهرستان‌های استان و توریست‌ها را به خود جذب کند.

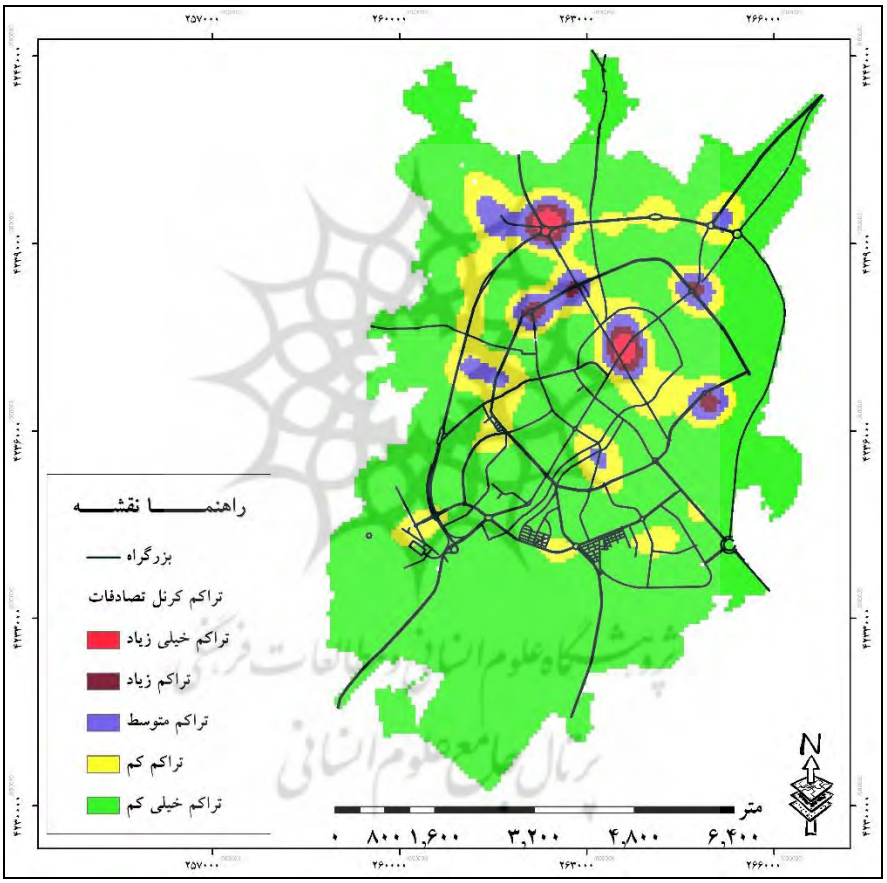
۲- میدان وحدت: در این میدان بلوار کارگر و اتوبان بسیج عبور می‌کند. اتوبان بسیج حجم بالایی از عبور و مرور نقلیه در شهر اردبیل را در خود جای می‌دهد و یکی از جمع‌کننده و پخش‌کننده‌های اصلی ترافیک شهردی در اردبیل می-باشد. میدان وحدت در شهر اردبیل یکی از میدان‌های پرتردد شهر اردبیل است.

۳- میدان حکیم نظامی: بلوار مهم شهداء و خیابان‌های مهم فجر و ابوطالب از این میدان عبور می‌کنند. این مسیرهای مهم که دارای حجم بالایی از ترددها می‌باشند خود باعث به وقوع پیوستن تصادفات می‌شود.

۴- میدان شهداء: حجم عبور و مرور بلوارهای مهم مقدس اردبیلی و شهداء و همچنین خیابان مهم امام خمینی (ره) از میدان شهداء می‌گذرد.

۵- میدان مادر: بلوار مهم شهداء از این میدان می‌گذرد و همچنین آمد و شدهای خیابان‌های مفتح و ارس به میدان مادر ختم می‌شود.

۶- تقاطع بلوار شهداء با بلوار کارگر و دکتر بهشتی و همچنین تقاطع بهارستان (قاسمیه) با بلوار شهداء جزء کانون‌های تصادف‌خیز شهر اردبیل می‌باشد.



شکل ۷. تخمین تراکم کرنل کل تصادفات درون‌شهری، شهر اردبیل

نتیجه‌گیری

تصادفات جاده‌ای در سراسر جهان و در حال افزایش است، عمدتاً به این دلیل که توسعه زیرساخت های حمل و نقل نمی تواند همگام با سایر بخش ها مانند صنعت و املاک و مستغلات باشد. بنابراین، تصادفات جاده‌ای یکی از عوامل اصلی مرگ و میر و/یا بیماری در سراسر جهان هستند. تجربه کشورهای توسعه یافته نشان می‌دهد که اگر چه حذف مطلق تصادفات و ضایعات ناشی از آن شاید غیرممکن باشد؛ اما کنترل آن و کاهش آن غیرممکن نبوده و هم اکنون کشورهای جهان اول با اهمیت دادن به این موضوع در حد اهمیت ملی و تخصیص منابع کافی و برنامه‌ریزی صحیح،

توانسته‌اند به پیشرفت‌های چشم‌گیری نائل آمدند.اگر چه اقدامات انجام شده در سطح کشور در طی دهه‌های اخیر توانسته شاخص مرگ‌ومیر در تصادفات را کاهش دهد، اما در مقایسه با شاخص‌های بین‌المللی گام‌های زیادی تا حد مطلوب فاصله است.

از آنجایی که تصادفات اجتناب ناپذیر هستند، کاهش پیامدهای آن را می توان با تجزیه و تحلیل سیستماتیک آنها و اجرای راه حل های مناسب مانند تجهیزات کنترل ترافیک، طراحی بهتر جاده، اجرای مقررات ترافیکی، و مهمتر از همه، تمهیداتی برای واکنش کارآمد در شرایط اضطراری و دسترسی بهینه به امکانات مراقبت های بهداشتی اضطراری انجام داد. . از سوی دیگر، وظیفه توسعه راه حل های کارآمد برای تأثیر تصادفات ترافیکی، بررسی الگوهای فضایی نقاط حادثه خیز ترافیک را ایجاب می کند که می تواند با استفاده از فناوری جغرافیایی انجام شود. بنابراین با بکارگیری روش‌ها و رویکردهای نوین و نیز استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های دقیق‌تر می‌توان، الگوهای خاص تصادفات درون‌شهری را جهت کاهش تصادفات و ارائه راهکارها را شناسایی کرد. در این پژوهش تصادفات درون‌شهری (جرحی، خسارتی و فوتی) سطح شهر اردبیل در سال ۱۳۹۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس گزارش‌های پلیس راهور شهر اردبیل ۱۰۱۲ تصادف درون‌شهری در سال ۱۳۹۵ در سطح شهر اردبیل بوقوع پیوسته است که نتایج کلی پژوهش نشان می‌دهد که ۵۶/۶۲ درصد تصادفات از نوع جرحی، ۴۲/۹۸ خسارتی و تنها ۰/۴۰ درصد منجر به فوت بوده است. همچنین بیشترین تصادفات سال ۱۳۹۵ در منطقه ۴ و ۱ شهر اردبیل بوقوع پیوسته است. مرکز متوسط کل تصادفات درون‌شهری وقوع یافته در محدوده شهر اردبیل، تا حدود بسیار زیادی بر مرکز جغرافیایی این شهر منطبق است این مرکز در میان رینگ یا دایره اول (بخش مرکزی) مربوط به بافت ارگانیک و اولیه شهر قرار گرفته است. نتیجه تحقیق حاضر تحقیق ایمپرسیمی (۲۰۲۲) را تایید می‌کند. تحلیل‌های فضایی نشان می‌دهد که بیضی انحراف معیار کل تصادفات وقوع یافته به صورت دایره‌ای تا حدودی دارای کشیدگی شمالی و جنوبی است، احتمال وقوع تصادفات در مناطق ۱ و ۴ و اطراف بخش مرکزی شهر اردبیل (تمامی مناطق) بیشتر می‌باشد و همچنین تحلیل فضایی تراکم کرنل نشان می‌دهد که بیشتر تمرکز نقاط تصادفی در منطقه ۴ و ۱ دیده می‌شود و مناطق ۲ و ۳ از تراکم کانون تصادفی کمتری برخوردار هستند. به نظر می‌رسد راهکارهای زیر در کنترل و کاهش تصادفات در محدوده‌های تصادف‌خیز شهر اردبیل مؤثر باشد:

- ✓ فرهنگ‌سازی ترافیک از سنین کودکی؛
- ✓ توجه به بحث جریمه‌های تخلفات رانندگی و بعضاً سنگین‌تر کردن آن‌ها؛
- ✓ حمل و نقل عمومی و محدودیت استفاده از وسایل شخصی؛
- ✓ اتخاذ استفاده از خودرو اشتراکی؛
- ✓ اولویت‌بندی نقاط تصادف‌خیز و تأمین بودجه جهت ایمن‌سازی این نقاط؛
- ✓ تمرکززدایی کاربری‌ها جاذب سفر از بخش مرکزی شهر و توزیع یکنواخت کاربری‌ها در تمام نواحی شهر؛
- ✓ بکارگیری انگاره اختلاط کاربری‌ها و کوتاه کردن فاصله کاربری‌های روزمره با مرکز محلات؛ و
- ✓ سیستم واکنش اضطراری تصادف ترافیک جاده‌ای فعلی شهر به دلیل عوامل متعددی که یکی از آنها کمبود آمبولانس در مکان های مختلف است، ناکارآمد است. لذا می بایست آمبولانس‌های بیشتری به‌ویژه در کنار بزرگراه‌ها و نزدیک محل‌های تصادف، برای تسریع واکنش اضطراری و نجات جان افراد مجروح مستقر شوند.

منابع

ابدالی، یعقوب (۱۳۹۶). تحلیل فضایی کیفیت زندگی و بزهکاری در بافت‌های ناکارآمد شهری (مطالعه موردی: بخش مرکزی تهران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

ابدالی، یعقوب و رمضانی حاجی محله، عارفه (۱۳۹۸). تحلیل فضایی تصادفات درون شهری سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۵ (مطالعه موردی: تصادفات منجر به فوت موتورسیکلت سواران در منطقه ۶ شهرداری تهران). کنفرانس بین‌المللی مطالعات بین رشته-ای در مدیریت و مهندسی، دانشگاه تهران، موسسه پژوهشی مدیریت مدبر.

اسماعیل‌زاده، حسن؛ فنی، زهره و عبدلی، سیده فاطمه (۱۳۹۸). هوشمندسازی، رویکردی در تحقیق توسعهٔ پایداری شهری (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۶ تهران). فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دورهٔ ۵۱، شمار ۱: ۱۵۷- ۱۴۵.

خاکسار, حسن, الماسی, و گهرپور. (۲۰۲۲). کاربرد مدل‌های فضایی-مکانی در پیش‌بینی فراوانی تصادفات جاده‌ای (مطالعه موردی: شبکه راه‌های اصلی استان همدان). پژوهشنامه حمل و نقل, ۱۹(۱), ۴۵-۵۸.

رسولی، حمید (۱۳۹۶). تحلیل زمانی- مکانی تصادفات منجر به فوت درون شهری شهر تبریز محدوده زمانی سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۵. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، استاد راهنما: نیکجو، محمدرضا و ولی-زاده کامران، خلیل. دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز.

زنگی‌آبادی، علی؛ شیران، غلامرضا و گشتیل، خیری (۱۳۹۱). بررسی علل تصادفات در بزرگراه‌ها (مورد مطالعه: بزرگراه‌های درون شهری اصفهان). فصلنامه راهور، دوره ۱۳۹۱، شماره ۱۷: ۵۷- ۳۷.

عسگری، علی (۱۳۹۰). تحلیل‌های آمار فضایی با Arc GIS. انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران، چاپ اول، تهران.

کلانتری، محسن؛ پوراحمد، احمد؛ ابدالی، یعقوب و الله‌قلی‌پور، سارا (۱۳۹۷). تحلیل فضایی کیفیت زندگی در کانون‌های جرم‌خیز (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهر تهران). پژوهشنامه جغرافیای انتظامی، سال ششم، شماره ۲۱: ۳۰- ۱.

گلی، علی (۱۳۹۱). بررسی پراکنش فضایی تصادفات درون شهری و برون شهری کشور (مطالعه موردی: تصادفات ۱۳۸۶). فصلنامه مخاطرات محیطی، سال اول، شماره ۱: ۶۸- ۵۳.

مرکز آمار ایران، سالنامه آماری کشور (۱۳۹۴). فصل پانزدهم امور قضایی.

ملکی، سعید و مدانلوجویباری، مسعود (۱۳۹۵). نقش شهرداری الکترونیک در توسعهٔ فضای شهری (مطالعه موردی: محلات منطقه ۶ شهرداری تهران). فصلنامه آمایش جغرافیایی فضا، سال ششم، شماره ۲۲: ۲۰۸- ۱۹۳.

Aghajani, M. A., Dezfoulian, R. S., Arjroody, A. R., & Rezaei, M. (2017). Applying GIS to identify the spatial and temporal patterns of road accidents using spatial statistics (case study: Ilam Province, Iran). Transportation research procedia, 25, 2126-2138.

Anderson, T. K. (2009). Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. Accident Analysis & Prevention, 41(3), 359-364.

Aziz, S., & Ram, S. (2022). A Review of the Spatial Analysis Techniques for the Identification of Road Accident Black Spots and It's Application in Context to India. In International Road Federation World Meeting & Exhibition (pp. 511-524). Springer, Cham.

Cheng, W., & Washington, S. (2008). New criteria for evaluating methods of identifying hot spots. Transportation Research Record, 2083(1), 76-85.

Corben, B. F., Ambrose, C., & Foong, C. W. (1990). Evaluation of accident black spot treatments (No. Report 11).

Elvik, R. (2008). A survey of operational definitions of hazardous road locations in some European countries. Accident Analysis & Prevention, 40(6), 1830-1835.

Erdogan, S. (2009). Explorative spatial analysis of traffic accident statistics and road mortality among the provinces of Turkey. *Journal of safety research*, *40*(5), 341-351.

ESRI, 2016. An Overview of the Spatial Statistics Toolbox. ArcGIS 10.5 Online Help System (ArcGIS 10.5 Desktop, Release 10.5, 2016). Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA.

ESRI, 2018. An Overview of the Spatial Statistics Toolbox. ArcGIS 10.5 Online Help System (ArcGIS 10.5.1 Desktop, Release 10.5.1, 2018). Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA.

Flahaut, B., Mouchart, M., San Martin, E., & Thomas, I. (2003). The local spatial autocorrelation and the kernel method for identifying black zones: A comparative approach. Accident Analysis & Prevention, 35(6), 991-1004.

Fountas, G., Fonzone, A., Gharavi, N., Rye, T., 2020. The joint effect of weather and lighting conditions on injury severities of single-vehicle accidents. Analytic Methods in Accident Research, 27, 100124.

Ghandour, A. J., Lovallo, M., & Telesca, L. (2019). Time-clustering behavior and cycles in the time dynamics of car accident sequences in Lebanon. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 516, 178-184.

Golze, J., Feuerhake, U., & Sester, M. (2022). SPATIAL ANALYSIS OF EXTERNAL INFLUENCES ON TRAFFIC ACCIDENTS USING OPEN DATA. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 43, 125-132.

Guillen, M., Nielsen, J. P., Ayuso, M., P´erez-Mar´ın, A. M., 2019. The Use of Telematics Devices to Improve Automobile Insurance Rates. Risk Analysis, 39(3), 662-672

Haghighat, F. (2011). Application of a multi-criteria approach to road safety evaluation in the Bushehr Province, Iran. Promet-Traffic&Transportation, 23(5), 341-352.

Hyder, A. A., Paichadze, N., Toroyan, T., & Peden, M. M. (2017). Monitoring the decade of action for global road safety 2011–2020: an update. *Global public health*, *12*(12), 1492-1505.

IMPERSIMI, E. (2022). Spatial-temporal analysis of traffic accidents in Athens: The case of pedestrians. Master Thesis, National technical university of Athens.

Jayan, D. K., & Ganeshkumar, B. (2010). Identification of accident hot spots: a GIS based implementation for Kannur district, Kerala. International journal of Geomatics and Geosciences, 1(1), 51.

Jones, A. P., Langford, I. H., & Bentham, G. (1996). The application of K-function analysis to the geographical distribution of road traffic accident outcomes in Norfolk, England. Social Science & Medicine, 42(6), 879-885.

Karasahin, M., & Terzi, S. (2002, September). Determination of hazardous locations on highways through GIS: A case study-rural road of Isparta-Antalya. In *International Symposium on GIS* (pp. 23-26).

Kim, K., & Yamashita, E. Y. (2007). Using ak means clustering algorithm to examine patterns of pedestrian involved crashes in Honolulu, Hawaii. Journal of advanced transportation, 41(1), 69-89.

Lee, J., Chae, J., Yoon, T., & Yang, H. (2018). Traffic accident severity analysis with rain-related factors using structural equation modeling–A case study of Seoul City. Accident Analysis & Prevention, 112, 1-10.

Levine, N., Kim, K. E., & Nitz, L. H. (1995). Spatial analysis of Honolulu motor vehicle crashes: II. Zonal generators. Accident Analysis & Prevention, 27(5), 675-685.

Mahata, D., Narzary, P. K., & Govil, D. (2019). Spatio-temporal analysis of road traffic accidents in Indian large cities. Clinical Epidemiology and Global Health.

Mohaymany, A. S., Shahri, M., & Mirbagheri, B. (2013). GIS-based method for detecting high-crash-risk road segments using network kernel density estimation. Geo-spatial Information Science, 16(2), 113-119.

Montella, A. (2010). A comparative analysis of hotspot identification methods. Accident Analysis & Prevention, 42(2), 571-581.

Okabe, A., Satoh, T., & Sugihara, K. (2009). A kernel density estimation method for networks, its computational method and a GIS -based tool. International Journal of Geographical Information Science, 23(1), 7-32.

Prasannakumar, V., Vijith, H., Charutha, R., & Geetha, N. (2011). Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment. Procedia-social and behavioral sciences, 21, 317-325.

Ryder, B., Gahr, B., Egolf, P., Dahlinger, A., & Wortmann, F. (2017). Preventing traffic accidents with in-vehicle decision support systems-The impact of accident hotspot warnings on driver behaviour. Decision support systems, 99, 64-74.

Saadat, S., Rahmani, K., Moradi, A., & Darabi, F. (2019). Spatial analysis of driving accidents leading to deaths related to motorcyclists in Tehran. Chinese journal of traumatology, 22(3), 148-154.

Schuurman, N., Cinnamon, J., Crooks, V. A., & Hameed, S. M. (2009). Pedestrian injury and the built environment: an environmental scan of hotspots. BMC public health, 9(1), 1-10.

Seidel, D., Hähn, N., Annighöfer, P., Benten, A., Vor, T., & Ammer, C. (2018). Assessment of roe deer (Capreolus capreolus L.)–vehicle accident hotspots with respect to the location of 'trees outside forest'along roadsides. Applied geography, 93, 76-80.

Shafabakhsh, G. A., Famili, A., & Bahadori, M. S. (2017). GIS-based spatial analysis of urban traffic accidents: Case study in Mashhad, Iran. Journal of traffic and transportation engineering (English edition), 4(3), 290-299.

Shafabakhsh, G. A., Famili, A., & Bahadori, M. S. (2017). GIS-based spatial analysis of urban traffic accidents: Case study in Mashhad, Iran. Journal of traffic and transportation engineering (English edition), 4(3), 290-299.

Statistische ¨Amter, 2021. Verkehrsunf¨alle 2020. Fachserie. 8, Verkehr. 7.

Whitelegg, J. (1987). A geography of road traffic accidents. Transactions of the Institute of British Geographers, 161-176.

World Health Organization, 2019. Global Status Report on Road Safety 2018. World Health Organization, Geneva.

Yassin, S. S., Pooja, 2020. Road accident prediction and model interpretation using a hybrid K-means and random forest algorithm approach. SN Applied Sciences, 2(9), 1576

Yunus, S., & Abdulkarim, I. A. (2022). Road traffic crashes and emergency response optimization: a geo-spatial analysis using closest facility and location-allocation methods. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *13*(1), 1535-1555.