تحلیل مکانی و زمانی سن رانندگان در تصادفات شهر قزوین مبتنی بر GIS

علمی – پژوهشی

علی توکلی کاشانی*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
امیرحامد جوان، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
کامران زندی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: alitavakoli@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵
صفحه ۸۲-۶۵

چکیده

تحلیل‌های مکانی و زمانی تصادفات به‌منظور کشف دقیق‌تر نحوه ارتباط بین متغیرها و ارائه راهکار جهت بهبود وضع موجود امری ضروری در ایمنی ترافیک محسوب می‌شود. در تحلیل‌های مکانی یک پدیده با توجه به موقعیت و پیرامونش تحلیل می‌شود. به طوری که علاوه بر خود پدیده، تاثیر همسایگی‌ها و محیط نیز درنظرگرفته می‌شود. هدف این پژوهش بررسی مکانی و زمانی تصادفات درون‌شهری قزوین و شناسایی لکه‌های داغ مربوط به متغیرهای مختلف با توجه به بازه سنی رانندگان برای داده‌های مربوط به سه سال اخیر است. برای تحلیل‌های مکانی از ابزار تابع چگالی کرنل در نرم‌افزار ArcGIS و برای توزیع‌های زمانی از نمودار عنکبوتی نرم‌افزار اکسل استفاده‌شده است. ابتدا لکه‌های داغ و زمان‌های پر ریسک برای متغیرهای مختلف با توجه به بازه‌های سنی رانندگان شناسایی شدند. در مرحله بعد لکه‌های داغ بین سه ناحیه شهری تعریف‌شده، توزیع شدند و مناطق پر ریسک شهر به ترتیب معرفی شدند. طبق نتایج، مسیرهای حومه‌ای و به طور خاص بزرگراه جمهوری اسلامی بیشترین سهم را در لکه‌های داغ تصادفات قزوین داشتند که نیاز به کنترل ترکیب وسایل‌نقلیه در این مسیرها احساس می‌شود. همچنین ساعت ۱۲ تا ۱۴ مهم‌ترین زمان برای تصادفات بازه‌های سنی مختلف بوده و دو بازه سنی جوان‌تر (زیر ۲۶سال و ۳۴-۲۶ سال) نقش بیشتری در لکه‌های داغ داشتند و نیاز به آموزش و نظارت بر این دو گروه سنی احساس می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ایمنی ترافیک، تحلیل‌های زمانی، تحلیل‌های مکانی، سن رانندگان

۱-مقدمه

تصادفات همواره یکی از بزرگ‌ترین مسائل سلامت عمومی در جهان است که هزینه‌های گزاف اقتصادی، اجتماعی و روانی را به همراه دارد. طبق آمار WHO[1] سالانه حدود ۱٫۳۵ میلیون نفر در تصادفات جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهند. تصادفات علاوه به اثرات مستقیم، اثرات غیرمستقیم نیز دارند. بر کاربران درگیر در تصادف، بر جامعه نیز تاثیر می‌گذارند (Iragüen & de Dios Ortúzar, 2004).

تجزیه‌وتحلیل تصادفات را بر اساس تعداد مقالات منتشرشده در مجله AAP[2] می‌توان به سه بازه زمانی آغازین (۱۹۸۱-۱۹۶۲)، بازه زمانی پیشرفت یکنواخت (۲۰۰۳-۱۹۸۲) و بازه زمانی پیشرفت سریع (۲۰۰۴ به بعد) تقسیم‌بندی کرد و عملا در هیچ دوره‌ای تحلیل تصادفات به این اندازه موردتوجه نبوده است (Zou et al., 2020). شناسایی مکان‌ها و زمان‌های پرتکرار تصادفات به‌منظور توسعه راهکارها و مقابله با آن‌ها، امری حیاتی برای متصدیان حمل‌ونقل محسوب می‌شود (Harirforoush et al., 2019). بررسی تصادفات ویژگی‌های آن‌ها به‌منظور رسیدن به شناخت جامع راجع به آن‌ها به‌طور گسترده در حال انجام شدن است. تحقیقات در زمینه تجزیه‌وتحلیل تصادفات اکنون دارای بیش از ۶۰ سال سابقه است. اما بیشتر این تحقیقات با استفاده از روش‌های سنتی و به‌صورت غیر فضایی انجام‌شده‌اند، به‌نحوی‌که تعداد تصادفات در یک بازه مشخص به یک مسیر تخصیص داده

می‌شوند و معیار خطرناک بودن مسیرها تعداد تصادفات هر مسیر خواهدبود. این روش‌ها که به‌عنوان روش‌های فراوانی‌محور شناخته می‌شوند جزو اساسی‌ترین فن‌های شناسایی در این زمینه هستند ((Ryder et al., 2019. یکی از زمینه‌هایی که در سال‌های اخیر بیشتر موردتوجه قرارگرفته است، تحلیل مکانی تصادفات است. قانون اول جغرافیا به گفته والدو تابلر[۳] به این شکل بیان می‌شود که همه پدیده‌ها به هم مرتبط هستند. اما پدیده‌های نزدیک به هم بیشتر از پدیده‌های دور به هم ارتباط دارند. به عبارتی منظور از تحلیل‌های مکانی، بررسی تأثیرگذاری یک موقعیت یا یک زمان بر همسایگی‌ها و همچنین نحوه تأثیرپذیری یک ویژگی یا مشخصه از همسایگی‌هاست (Asgary et al., 2010). یکی از این مفاهیم پرکاربرد در تحلیل‌های مکانی و زمانی، لکه‌های داغ[۴] یا لکه‌های سیاه و در مقابل آن لکه‌های سرد[۵] است. منظور از لکه‌های داغ نقاطی هستند که پدیده موردنظر در آن‌ها به‌طور معناداری ازنظر آماری زیاد تکرار می‌شود. همچنین منظور از لکه‌های سرد نقاطی هستند که در آن‌ها پدیده به‌طور معناداری کمتر دیده‌شده یا مقدار کمتری دارد. شناسایی لکه‌های داغ جزء اصلی فرایند مدیریت ایمنی است (Cheng et al., 2020). داده‌های تصادفات ذاتا تمایل به رفتار خوشه‌ای دارند به‌طوری‌که مستقل درنظرگرفتن این داده‌ها یا فرض تصادفی‌بودن مکان یا زمان آن‌ها موجب بروز خطا خواهد شد (Shafabakhsh et al., 2017). با تهیه نقشه لکه‌های داغ و سرد می‌توانیم خوشه‌ها را شناسایی کنیم. با توجه به ویژگی‌های خوشه‌های ایجادشده مانند حجم یا موقعیتشان آن‌ها را تحلیل و برای اقدامات لازم اولویت‌بندی می‌کنیم. شناسایی درست خوشه‌ها ازاین‌جهت دارای اهمیت است که در صورت شناسایی خوشه‌ها به‌جای همدیگر ممکن است یک منطقه پر تصادف به‌اشتباه ایمن لحاظ شود و منجر به تصمیم‌گیری اشتباه شود (Matkan et al., 2013). تحلیل مکانی و زمانی تصادفات باتوجه به سن رانندگان، در کشورهای درحال توسعه مانند ایران کمتر موردتوجه بوده‌است. به همین دلیل، این پژوهش به تحلیل مکانی و زمانی تصادفات به صورت همزمان پرداخته تا ضمن شناسایی متغیرهای اصلی و پرتکرار در تصادفات، اطلاعات بیشتری راجع سن رانندگان نیز حاصل شود. در این مطالعه، پس از شناسایی لکه‌های داغ و زمان‌های پرریسک برای متغیرهای مختلف باتوجه به بازه‌های سنی رانندگان، لکه‌های داغ بین سه ناحیه شهری تعریف‌شده، توزیع می‌شوند.

این تقسیم‌بندی مختص همین مطالعه بوده و در سایر پژوهش‌ها به این شکل استفاده نشده‌است. همچنین با توزیع لکه‌های داغ به‌دست‌آمده بین مناطق تعریف‌شده، علاوه بر شناسایی رانندگان سنین مختلف، نقاط پرریسک هم به صورت کلی (یکی از مناطق تعریف‌شده) و هم به صورت جزئی (محل دقیق) معرفی می‌شوند. در عین حال با بررسی موقعیت لکه‌های داغ و زمان‌های پرریسک، همبستگی مکانی و زمانی بین آن‌ها قابل بررسی خواهدبود. روند شناسایی به کارگرفته‌شده، فقط در همین مطالعه استفاده‌شده‌است.

۲-پیشینه تحقیق

اگرچه پژوهش‌ها در این زمینه در سطح گسترده‌ای انجام‌شده است اما تحلیل‌های مکانی و زمانی بیشتر در کشورهای پیشرفته و توسعه‌یافته به کار گرفته‌شده است و در کشورهای درحال‌توسعه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کمتر ارائه شده است. در تونس با توجه به ضعف سیاست‌های ایمنی ترافیک و عدم یکپارچگی اطلاعات موجود، بنا بر ضرورت انجام تحلیل‌های زمانی، گدیرا و همکاران (۲۰۱۸) به تحلیل زمانی داده‌های موجود به شکل سری زمانی و ارائه راهکار برای بهبود ایمنی ترافیک پرداختند. در این مطالعه، داده‌های تصادفات سالیان مختلف بررسی شد و با استفاده از مدل‌سازی برای سه سال آینده پیش‌بینی شد (Ghédira et al., 2018). ژیرتس و توماس (۲۰۰۵) در تحقیقی در بلژیک به‌عنوان کشوری که همانند اکثر کشورهای اروپایی بحث ایمنی جزو اولویت‌های دولت بوده است، به تجزیه‌وتحلیل ویژگی‌هایی از تصادفات که در مناطق پر تصادف وجود داشتند پرداختند و عوامل مختلف مؤثر بر محل لکه‌های داغ را بررسی کردند. در این پژوهش متغیرهایی نظیر مانور راننده، شرایط جاده و عوامل مشابه را درنظرگرفتند و معناداری گردش‌به‌چپ‌ها و خیس بودن جاده‌ها را در محل لکه‌های داغ نشان‌دادند (Geurts et al., 2005).

۲-۱- تحلیل‌های مکانی

شناسایی لکه‌های داغ و خوشه‌های مرتبط با آن‌ها برای پارامترهای مختلف و پیدا کردن نقاط مشترک بین آن‌ها، می‌تواند نقاطی از شهر را که نیاز به توجه بیشتری دارند مشخص کند و درنهایت به یک دید جامع منجر شود. اندرسون (۲۰۰۹) از تابع چگالی کرنل استفاده کرد و طبقه‌بندی لکه‌های داغ را برای شهر لندن انجام داد. ابتدا لکه‌های سیاه را شناسایی کرد سپس با بررسی لکه‌های سیاه ۱۵خوشه را مشخص کرد و درنهایت این خوشه‌ها را به پنج گروه خوشه اصلی تقسیم کرد (Anderson, 2009). پراساناکومار و همکارانش (۲۰۱۱) با استفاده از آماره‌های فضایی به تجزیه‌وتحلیل مکانی و زمانی تصادفات هند در دو گروه مکانی تصادفات نزدیک به اماکن

مذهبی و مراکز آموزشی و دو گروه زمانی تصادفات در فصول بارندگی و غیر بارندگی پرداختند و یک خوشه مکانی برای تصادفات نزدیک به مراکز آموزشی و یک خوشه زمانی برای فصول غیر بارندگی به دست آوردند (V Prasannakumar et al., 2011). در سالیان اخیر متغیرهای فراوانی به‌عنوان عوامل مؤثر بر تصادفات درون‌شهری و برون‌شهری به‌صورت تکی یا ترکیبی‌مورد تحلیل قرارگرفته‌اند و نتایج با توجه به شهر، کشور و یا قاره بسیار متفاوت و در مواردی کاملاً متضاد همدیگر است. در هند با توجه به با بودن بیش‌ازاندازه آمار تصادفات و شدید بودن این تصادفات ماهاتا و نرزری (۲۰۱۹) به تجزیه‌وتحلیل مکانی و زمانی تصادفات در شهرهای اصلی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که الگوی شهرهای متفاوت با توجه به عواملی مانند جمعیت، شرایط جاده‌ها وضعیت آب‌وهوایی کاملاً با یکدیگر متفاوت است (Mahata et al., 2019). در تحقیقی در ایالت تگزاس آمریکا، کو و لرد (۲۰۲۰) شدت تصادفات را به‌صورت مکانی بررسی کردند و لکه‌های داغ را برای سطوح مختلف شدت به دست آوردند. طبق نتایج، تصادفات فوتی در نزدیکی پارها و رمپ‌های بزرگراه‌ها، تصادفات جرحی شدید و جرحی خفیف در نزدیکی تقاطعات اصلی و تصادفات غیر جرحی در نزدیکی بارها اتفاق می‌افتند (Kuo & Lord, 2020). همچنین در تحقیق دیگری در ایالت تگزاس شدت تصادفات عابر را با استفاده از مدل پواسون لگ–نرمال مکانی در ۴۰۹ تقاطع چراغ‌دار بررسی کردند و تنها عامل معنادار برای تصادفات فوتی را سرعت بالا به دست آوردند و برای هردو سطح تصادفات جرحی شدید و جرحی خفیف دو عامل متوسط حجم ترافیک روزانه در مسیر اصلی و وجود ایستگاه‌های اتوبوس را معنادار تشخیص دادند (Munira et al., 2020). متغیرهای موردبررسی به‌طورکلی در یکی از دسته‌های ویژگی‌های مسیر (محیط)، انسان و وسیله نقلیه قرارمی‌گیرند. از بین این سه عامل، عامل انسانی نقش پررنگی در تصادفات دارد (Yaghoobi, 2000). رحمان و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای تأثیر عوامل مختلفی مانند جنسیت، مصرف الکل، زمان، نوع مسیر و سایر عوامل مشابه را بر تصادفات گروه سنی‌های مختلف رانندگان مخصوصا نوجوانان و جوانان (۲۴–۱۵ سال) با استفاده از مدل لوجیت چندجمله‌ای موردبررسی قراردادند و عوامل معنادار مختلفی برای گروه‌های سنی مختلف مخصوصا نوجوانان و جوانان به دست آوردند و حساسیت این گروه‌های سنی را در این پژوهش نشان‌دادند (Rahman et al., 2021).

اونی و بلاومی در مطالعه‌ای لکه‌های داغ را برای کاربران آسیب‌پذیر در تونس موردبررسی قراردادند. با توجه به نتایج آن‌ها کاربران آسیب‌پذیر تونسی نسبت به غیر تونسی‌ها تصادفات شدیدتری دارند. دو عامل سبقت و تغییر خطوط نیز از عوامل موثر در تصادفات فوتی بوده‌اند و همچنین فصل تابستان تصادفات فوتی بیشتری دارد. در این تحلیل نیز از تابع چگالی کرنل استفاده‌شده است (Ouni & Belloumi, 2018). توران پور و همکاران در مطالعه‌ای لکه‌های داغ تصادفات را با توجه به سن و جنسیت عابر به دست آوردند و رابطه بین مکان و زمان تصادفات با سن و جنسیت عابر را تایید کردند. طبق نتایج این پژوهش، CBD اصلی‌ترین مکان تصادفات عابر بوده است (Toran pour et al., 2017). در تحقیق مکانی و زمانی‌ای که در ترکیه انجام شد مشخصات راننده مانند سن، جنسیت، تجربه و تحصیلات موردبررسی قرار گرفت و تغییرات لکه‌های داغ در سالیان مختلف را نیز مورد تجزیه وتحلیل قراردادند. روش استفاده‌شده در این مطالعه، چگالی کرنل به‌صورت شبکه‌ای برای داده‌های مکانی و تست کای‌دو[۶] برای داده‌های زمانی بوده است (Kaygisiz et al., 2015).

۲-۲- تحلیل‌های زمانی

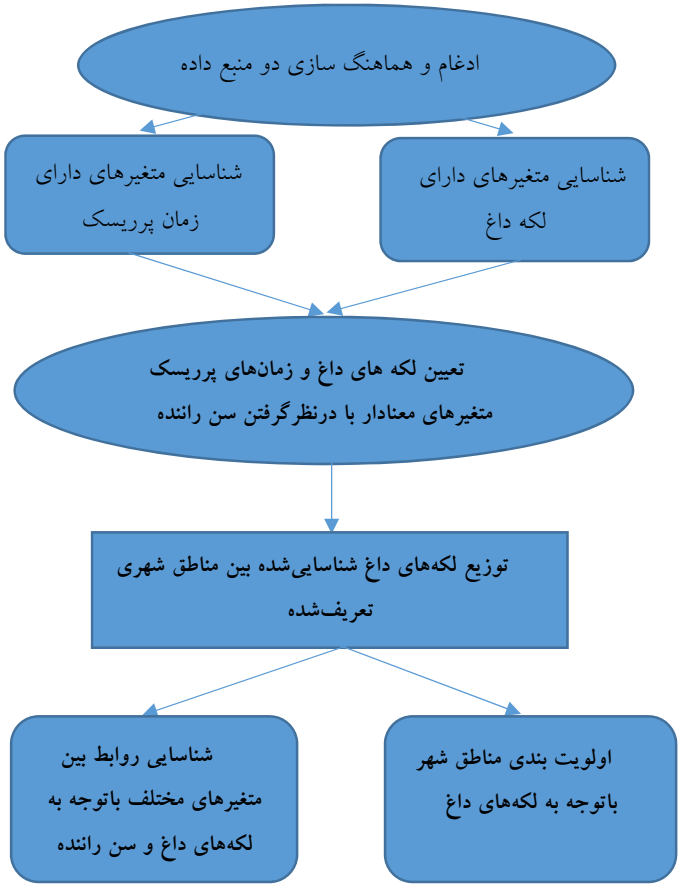
به‌طورکلی در تحلیل‌های زمانی تصادفات نیز ساعات مختلف روز، روزهای مختلف هفته و ماه‌های مختلف سال از مواردی هستند که در سال‌های اخیر به‌طور قابل‌توجهی مورد بچم قرارگرفته‌اند. پلاگ و همکارانش (۲۰۱۱) تصادفات تک وسیله‌ای استرالیا را بررسی کردند. توزیع زمانی این نوع تصادفات در طول روز با توجه به‌روز هفته متفاوت بود. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تصادفات در طول روزهای عادی هفته در ساعت ۳ بعدازظهر و نیمه شب متداول‌تر است و بیشتر تصادفات آخر هفته‌ها از ساعت ۱۰ شب تا ۲ صبح اتفاق میافتد. همچنین توزیع تصادفات در روزهای هفته هم متفاوت بود (Plug et al., 2011). توکلی و زندی (۲۰۲۰) در تحقیقی تأثیرات ویژگی‌های ترافیکی مانند حجم و سرعت را بر توزیع زمانی تصادفات شهر قزوین بررسی کردند و لکه‌های داغ متفاوتی را با توجه به مقیاس‌های زمانی مختلف مانند ساعت روز یا روز هفته به دست آوردند (Kashani & Zandi, 2020). در این مقاله با استفاده از تخمین چگالی کرنل و نمودار عنکبوتی، به بررسی مکانی و زمانی تصادفات درون‌شهری قزوین پرداخته‌شده و نقشه تصادفات و زمان‌های پر ریسک برای متغیرهای مختلف با توجه به گروه‌های سنی رانندگان شناسایی می‌شوند. درنهایت با تحلیل لکه‌های داغ، مکان‌ها و زمان‌های پر ریسک برای هر متغیر مشخص‌شده و ارتباط آن‌ها با بازه‌های سنی بررسی می‌شود. هدف دیگر این پژوهش، بررسی همه‌جانبه متغیرهای موجود به‌منظور شناسایی

نقاط اصلی و پر ریسک شهر قزوین بر اساس لکه‌های داغ به‌دست‌آمده در نقاط مختلف شهر خواهد بود.

۳- روش‌شناسی پژوهش

۳-۱- کلیات

رویکرد این پژوهش، تحلیل مکانی و زمانی تصادفات درون‌شهری و شناسایی لکه‌های داغ برای بازه‌های سنی متفاوت رانندگان است. سیستم اطلاعات مکانی (GIS) به‌صورت متداول برای تحلیل‌های مکانی مورداستفاده قرارمی‌گیرد. در این پژوهش نیز برای تحلیل‌های مکانی از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰,۶,۱ استفاده‌شده است. همچنین تحلیل‌های زمانی با استفاده از نمودار عنکبوتی[۷] در نرم‌افزار Excel انجام‌شده‌اند. ابتدا داده‌های دو منبع داده موجود، به‌منظور افزایش متغیرهای مورد بررسی باهم هماهنگ شدند و تعداد داده‌ها افزایش یافت. سپس همه متغیرهای موجود برای تصادف از ویژگی‌های تصادف مانند شدت تصادف و علت تامه، ویژگی‌های وسیله نقلیه مانند نوع وسیله و نوع پلاک، ویژگی‌های راننده مانند سن و جنسیت راننده، ویژگی‌های راه و شرایط جوی مانند نوع کاربری محل و هندسه مسیر تا ویژگی‌های عابر مانند سن و جنسیت عابر هم ازنظر مکانی و هم ازنظر زمانی به‌صورت تکی بررسی شدند و لکه‌های داغ مربوط به هر متغیر (در صورت وجود) شناسایی شدند. سپس متغیرها به‌صورت ترکیبی با بازه‌های مختلف سن راننده بررسی شدند و لکه‌های داغ هریک مشخص شد. در مرحله بعد سه نوع ناحیه CBD[۸] (و مسیرهای منتهی به آن‌ها)، مسیرهای فرعی درون‌شهری و مسیرهای حومه‌ای (و مسیرهای منتهی به آن‌ها) درنظرگرفته‌شد و عوامل معنادار در این سه نوع ناحیه توزیع شد و لکه‌های داغ هر متغیر مشخص و تحلیل شد. فلوچارت روش پژوهش در شکل ۱ ارائه شده است.

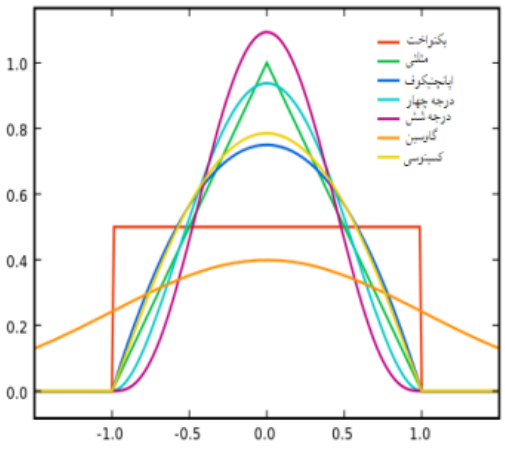


شکل ۱. فلوچارت روش تحقیق

۳-۲- تابع چگالی کرنل

روش‌های مختلفی برای شناسایی لکه‌های داغ وجود دارد که هرکدام به نحوی مفهوم فاصله را در نظر می‌گیرند. روش استفاده‌شده در این پژوهش تابع چگالی کرنل بوده است. تابع چگالی کرنل یکی از روش‌هایی است که در پیدا کردن لکه‌های داغ و الگوهای مکانی به‌طور متداول استفاده می‌شود. کرنل با وزن‌دهی به نقاط با توجه به فاصله آن‌ها از نقطه مورد بررسی یک نقشه ریسک ایجاد می‌کند (Hashimoto et al., 2016). کرنل با مفهوم چگالی کار می‌کند، به شکلی که یک تصادف یا حادثه را به یک سطح بسط می‌دهد. این روش به‌طورکلی یک روش تحلیل مستقیم نیست و بیشتر یک تکنیک درون‌یابی محسوب می‌شود. کاربرد اساسی این روش شناسایی الگوهای خوشه‌بندی تصادفات است (Ziakopoulos & Yannis, 2020). مزیت تخمین چگالی کرنل بسط یک تصادف به یک سطح است به‌طوری‌که تصادفات را یک نقطه در نظر نمی‌گیرد. منطقه‌ای که تصادف با توجه به شعاع درنظرگرفته‌شده، به آن بسط داده می‌شود، نشان‌دهنده ناحیه‌ای است که احتمال وقوع تصادف در آن بیشتر است و به‌نوعی ریسک تصادفات توزیع‌شده و درنتیجه همبستگی فضایی بین تصادفات لحاظ می‌شود. به همین دلیل کرنل ابزاری مناسب برای تهیه نقشه تصادفات محسوب می‌شود. بعد از ایجاد یک سطح متقارن حول نقطه مرجع، فاصله نقاط دیگر که در این سطح قرار می‌گیرند تا نقطه مرجع با استفاده از یک رابطه ریاضی ارزش‌دهی شده و سپس مقادیر مربوط به هر نقطه مرجع باهم جمع می‌شوند (Anderson, 2009). یک موضوع اساسی در استفاده از تخمین چگالی کرنل، تعیین شعاع جستجو خواهد بود. این شعاع در پژوهش‌های درون‌شهری و برون‌شهری بسیار متفاوت است و تأثیر مستقیم در نتایج پژوهش خواهد داشت. همچنین انتخاب آن بستگی کامل به نوع پژوهش دارد. لو همکاران به این نتیجه رسیدند که برای برون‌شهری که تصادفات کمتر هستند و فاصله بین تصادفات زیادتر است یا به‌اصطلاح توزیع مکانی متفاوتی دارند، تعیین شعاع یک مساله حیاتی خواهد بود و شعاع بزرگ‌تر نتایج بهتری ارائه می‌دهد (Loo et al., 2011). به‌طورکلی افزایش شعاع موجب بیشتر و بزرگ‌تر شدن لکه‌های داغ و کاهش حساسیت خواهند شد، از طرفی کاهش شعاع ریسک از دست دادن لکه‌های داغ را افزایش می‌دهد. بنابراین استفاده از شعاع مناسب بسیار ضروری خواهد بود (Kuter et al., 2011). مساله بعدی انتخاب تابع احتمال خواهد بود. در پژوهش‌های مختلف، توابع احتمال مختلفی ازجمله گاوسین، درجه چهار و اپانچنیکوف استفاده‌شده است.

تأثیر نوع تابع مورداستفاده، بسیار کمتر از تأثیر شعاع جستجو خواهد بود (Xie & Yan, 2008). در شکل ۲ توابع احتمال پرکاربرد نشان داده‌شده است. با توجه به شکل ۲ بیشترین مقدار که برابر یک است، مربوط به مرکز است و با دور شدن از مرکز احتمال موردنظر کاهش پیدا می‌کند تا در مرزها به مقدار صفر برسد.



شکل ۲. توابع احتمال متفاوت برای تابع کرنل (k)

صورت کلی تابع تخمین چگالی کرنل در رابطه (۱) نشان داده‌شده است که در آن $\lambda(s)$ چگالی در موقعیت s، r شعاع جستجو و K تابع کرنل است که وزن نقطه i را که در فاصله d_{is} از نقطه s قرارداد، محاسبه می‌کند. همچنین از تابع درجه چهارم (رابطه ۲) به‌عنوان تابع کرنل استفاده‌شده است (Xie & Yan, 2008).

$$\lambda(s) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\pi r^2} k\left(\frac{d_{is}}{r}\right) \quad (۱)$$

$$\mathrm{k}\left(\frac{d_{is}}{r}\right) = \frac{3}{\pi}\left(1 - \frac{{d_{is}}^2}{r^2}\right) \quad . 0 \le \frac{d_{is}}{r} \le 1 \quad (۲)$$

شعاع مورداستفاده در این پژوهش با استفاده از رابطه (۳) تعیین شده و به‌طور متوسط حدود ۶۰۰ متر بوده است. در این رابطه SD انحراف استاندارد، D_m فاصله‌ی میانه و n تعداد نقاط خواهد بود (Silverman, 2018).

$$r_{opt} = 0.9 * \min\left(SD\ \frac{1}{\sqrt{ln(2)}} * D_m\right) * n^{-0.2} \quad (۳)$$

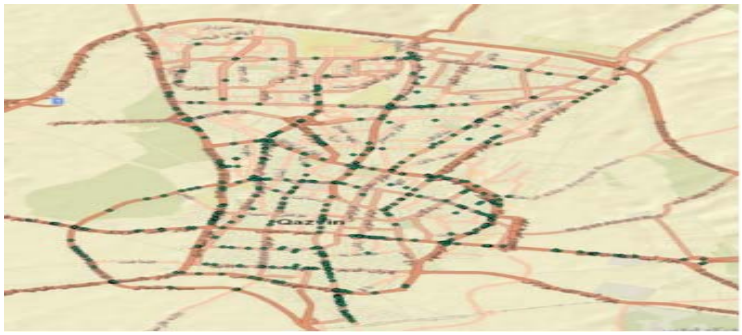
۳-۳- نمودار عنکبوتی

یکی از رایج‌ترین و مناسب‌ترین نمودارها برای نشان‌دادن توزیع زمانی تصادفات، نمودار عنکبوتی است. این نمودار را می‌توان بر اساس ساعات روز، روزهای هفته، ماه‌های سال یا موارد مشابه ترسیم نمود. در این پژوهش ساعات مختلف روز از ۱ بامداد تا ۲۴ (۰) نشان داده‌شده‌است. همچنین منظور از هر عدد، بازه یک ساعته‌ای است که آن عدد مرکز آن باشد یعنی منظور از عدد ۶ بازه (۶:۳۰ – ۵:۳۰) خواهد بود. همچنین اعداد استفاده‌شده به‌صورت اعداد صحیح (تعداد تصادفات) و اعداد اعشاری (نسبت تصادفات) بوده است.

۳-۴- محدوده مطالعاتی

شهر قزوین، مرکز استان قزوین واقع در شمال غربی ایران دارای یک درصد از مساحت کشور است. (شکل ۳) جمعیت استان قزوین بر پایه آمار سال ۱۳۹۵ برابر ۱/۳ میلیون نفر است که از این شمار ۶۰۰۴۰۰۰ نفر ساکن شهرستان قزوین هستند. این استان بین ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۵ درجه ۲۴ دقیقه تا ۳۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی نسبت به خط استوا قرار دارد. داده‌های تصادفات که در شکل (۴) نشان داده‌شده‌اند، مربوط به سه سال اخیر هستند.

شکل ۳. موقعیت استان قزوین



شکل ۴. داده‌های تصادفات

٤- نتایج

٤-١- تحلیل مکانی تصادفات

٤-١-١- شناسایی لکه‌های داغ

لکه‌های داغ متغیرهای مختلف با توجه به بازه‌های سنی رانندگان شناسایی شدند و سطوحی از متغیرها که دارای لکه داغ بودند در جدول ۱ نشان داده‌شده است. به‌طورکلی لکه‌های داغ با افزایش سن کاهش می‌یابد و رانندگان مسن‌تر سهم کمتری در لکه‌های داغ تصادفات دارند. متغیرهایی مانند تصادفات موتور، عابر و سرپیچی از قانون برای بازه‌های سنی جوان‌تر معنادار شده‌اند که سهم بیشتر این بازه سنی در این متغیرها را نشان می‌دهد.

٤-١-٢- توزیع لکه‌های داغ بین مناطق تعریف‌شده

در مرحله بعد، لکه‌های داغ به‌دست‌آمده از مرحله قبل، بین سه ناحیه CBD، حومه و فرعی که از پیش تعریف‌شده بودند، توزیع شدند که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده‌شده است. شدت تصادفات به دلیل کم بودن تعداد داده‌های فوتی در دو سطح تصادفات جرحی و فوتی و تصادفات خسارتی مورد بررسی قرار گرفت. تصادفات جرحی و فوتی برای همه بازه‌های سنی دارای لکه داغ بوده است. برای تصادفات جرحی و فوتی با افزایش سن از بازه زیر ۲٦ سال به بازه ۳٤-۲٦ سال لکه داغ تصادفات از حومه به سمت مسیرهای فرعی، CBDها و مناطق پرتراکم می‌رود اما بعد از بازه ۳٤-۲٦ سال دوباره تصادفات از مرکز به سمت حومه رفته و این روند افزایش درصد لکه‌های داغ حومه تا انتها ادامه دارد.

تصادفات خسارتی برای سه بازه سنی ابتدایی معنادار شده است و سهم بسیار بالای مسیرهای حومه‌ای برای این نوع تصادفات کاملاً مشخص است. برای تصادفاتی که عجله و شتاب بی‌مورد، عامل انسانی مؤثر در تصادف آن‌ها بوده است، لکه‌های داغ برای چهار بازه سنی اول وجود داشتند و در این دسته نیز سهم بالا و ثابت مسیرهای فرعی قابل‌مشاهده است. تصادفاتی که علت‌تامه‌های مرتبط با سرپیچی از قانون داشتند، تفکیک و بررسی شدند.

این نوع تصادفات در سه بازه سنی ابتدایی معنادار شدند که لکه‌های داغ هر سه مورد کاملا با هم متفاوت است. لکه‌های داغ بازه زیر ۲٦ سال مربوط به مسیرهای حومه‌ای، ۳٤-۲٦ سال مربوط به CBD و مناطق شلوغ شهری، و ۳۵-٤٤ سال مربوط به مسیرهای فرعی درون‌شهری بودند. انواع وسایل نقلیه شامل سواری، موتور وسیله سنگین بررسی شدند و از بین آن‌ها سواری برای همه بازه‌های سنی و موتور برای دو بازه سنی جوان معنادار شدند. برای سواری سهم غالب مسیرهای حومه‌ای نسبت به سایر مناطق مشابه است. همچنین برای موتور با افزایش سن بین دو بازه سنی جوان، لکه‌های داغ از مسیرهای حومه‌ای به سمت مسیرهای فرعی می‌رود. تصادفات عابر نیز فقط برای دو بازه سنی اول معنادار بودند که در بازه جوان‌تر، لکه‌های داغ در مسیرهای حومه‌ای و در بازه دیگر به نسبت متعادل است.

جدول ۱. لکه‌های داغ هر بازه سنی

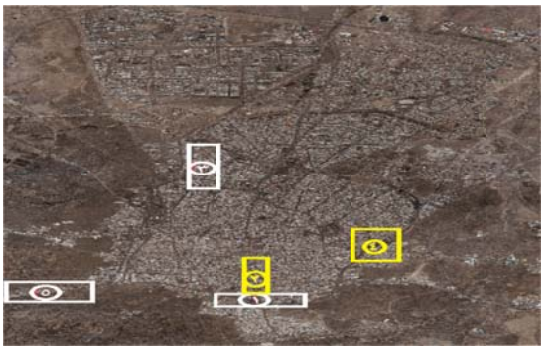
متغیرها	سطوح متغیرها	سن رانندگان				
		کمتر از ۲۶	۲۶-۳۴	۳۵-۴۴	۴۵-۵۴	بیشتر از ۵۴
شدت تصادفات	جرحی و فوتی	*	*	*	*	*
	خسارتی	*	*	*		
عامل انسانی موثر	عجله و شتاب بی‌مورد	*	*	*	*	
علت تامه	سرپیچی از قانون	*	*	*		
نوع وسیله نقلیه	سواری	*	*	*	*	*
	موتور	*	*			
مشخصات عابر	تعداد تصادف با عابر	*	*			

جدول ۲. توزیع لکه‌های داغ بین سه منطقه تعریف‌شده با توجه به سن رانندگان

متغیرها	سطوح متغیرها	سن رانندگان				
		کمتر از ۲۶	۲۶-۳۴	۳۵-۴۴	۴۵-۵۴	بیشتر از ۵۴
شدت تصادفات	جرحی و فوتی	حومه ۷۵٪ فرعی ۲۵٪	حومه ۲۵٪ فرعی ۲۵٪ ۵۰٪ CBD	حومه ۵۰٪ فرعی ۲۰٪ ۳۰٪ CBD	حومه ۷۰٪ فرعی ۱۰٪ ۲۰٪ CBD	حومه ۱۰۰٪
	خسارتی	حومه ۶۵٪ فرعی ۳۵٪	حومه ۱۰۰٪	حومه ۱۰۰٪		
عامل انسانی موثر	عجله و شتاب بی‌مورد	حومه ۸۰٪ فرعی ۲۰٪	حومه ۸۵٪ فرعی ۱۵٪	حومه ۷۵٪ فرعی ۲۵٪	حومه ۶۰٪ فرعی ۳۰٪ ۱۰٪ CBD	
علت تامه	سرپیچی از قانون	حومه ۷۵٪ ۲۵٪ CBD	حومه ۲۵٪ فرعی ۲۰٪ ۵۵٪ CBD	حومه ۲۰٪ فرعی ۷۰٪ ۱۰٪ CBD		
نوع وسیله نقلیه	سواری	حومه ۷۰٪ فرعی ۳۰٪	حومه ۶۵٪ فرعی ۱۵٪ ۲۰٪CBD	حومه ۷۰٪ فرعی ۱۰٪ ۲۰٪ CBD	حومه ۱۰۰٪	حومه ۵۰٪ فرعی ۱۰٪ ۴۰٪ CBD
	موتور	حومه ۵۰٪ فرعی ۲۵٪ ۲۵٪ CBD	حومه ۲۰٪ فرعی ۷۵٪ ۵٪ CBD			
مشخصات عابر	تعداد تصادف با عابر	حومه ۷۵٪ فرعی ۲۵٪	حومه ۴۰٪ فرعی ۳۰٪ ۳۰ CBD			

٤-١-٣- تحلیل لکه‌های داغ

با توجه به جدول ۲ می‌توان گفت مسیرهای حومه‌ای و مسیرهای اطراف آن‌ها بیشترین سهم را در لکه‌های داغ دارند و به‌طور خاص بزرگراه جمهوری اسلامی در اکثر متغیرها معنادار شده است. بزرگراه جمهوری اسلامی با شماره ۱ در شکل ۵ نشان داده‌شده است. منطقه بعدی که در رتبه‌ی بعدی لکه‌های داغ قرارمی‌گیرد، مسیر راه‌آهن–سپه (شهدا) از دسته مسیرهای فرعی است که در مجاورت بزرگراه جمهوری اسلامی قرار دارد و با شماره ۲ در شکل ۵ نشان داده‌شده است. بلوار نواب شمالی و منطقه هادی‌آباد که هم جزا CBD و هم مسیرهای فرعی می‌باشند، دیگر مناطق پر ریسک هستند که در شکل ۵ با شماره ۳ نشان داده‌شده است. مسیرهای پر ریسک بعدی پل قدس و بلوار شهید بهشتی هستند که جزو مسیرهای فرعی بوده و با شماره ٤ در شکل ۵ نشان داده‌شده است. لکه داغ آخر نیز بلوار تاکستان در خروجی شهر است که در گروه مسیرهای حومه‌ای قرارمی‌گیرد و با شماره ۵ در شکل ۵ نشان داده‌شده است.



شکل ۵. اولویت‌بندی لکه‌های داغ شناسایی‌شده

بازه سنی زیر ۲٦ سال که جوان‌ترین بازه سنی محسوب می‌شود دارای معناداری در همه متغیرها بوده که غالب آن‌ها مربوط به مسیرهای حومه‌ای می‌باشند. با توجه به شکل ۷ می‌توان گفت برای رانندگان زیر ۲٦ سال، لکه‌های داغ متغیرهای جرحی و فوتی (نوع تصادف)، موتور (وسیله نقلیه) و عابر مشترک است. بزرگراه جمهوری اسلامی که اشتراک سه متغیر بوده است، لکه داغ اصلی کل تصادفات رانندگان زیر ۲٦ سال نیز محسوب می‌شود. راهنمای نقشه‌های لکه‌های داغ در شکل ٦ نشان داده‌شده است.

شکل ٦. راهنمای شکل‌های ٦ تا ۸

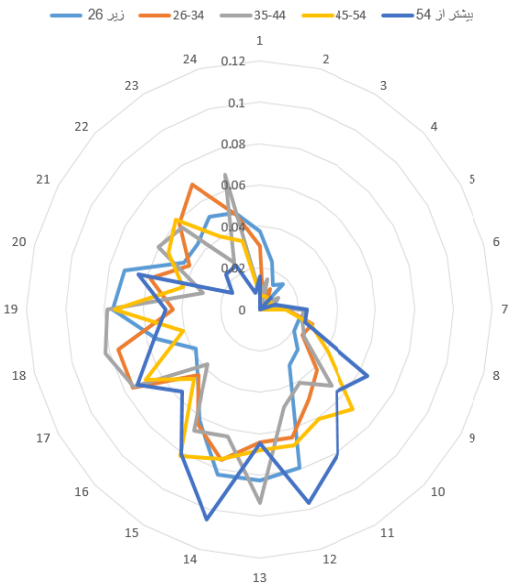
شکل ۷. تصادفات رانندگان زیر ۲۶سال

برای بازه ۳۴-۲۶ سال نیز شرایطی مشابه بازه اول وجود دارد، به‌طوری‌که برای این بازه نیز مسیرهای حومه‌ای بیشترین لکه داغ را دارند اما اهمیت CBD و مناطق شلوغ کمی بیشتر شده است. باتوجه به شکل ۸ برای رانندگان ۳۴-۲۶ سال، لکه داغ تصادفات خسارتی (نوع تصادف) و سواری (نوع وسیله) بزرگراه جمهوری اسلامی بوده است. بزرگراه جمهوری اسلامی برای بازه سنی ۳۴-۲۶ سال همانند بازه زیر ۲۶ سال لکه داغ اصلی کل تصادفات نیز محسوب می‌شود.

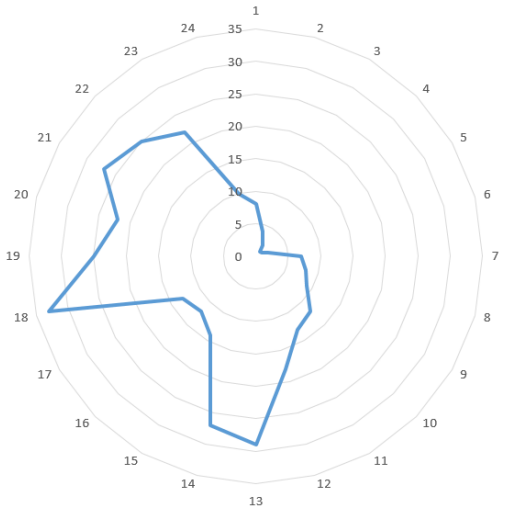
شکل ۸. تصادفات رانندگان ۳۴-۲۶ سال

بازه ٤٤-٣٥ سال دارای پنج لکه داغ بوده است که اکثر آن‌ها مربوط به مسیرهای حومه‌ای می‌باشند. باتوجه به شکل ۹ برای رانندگان ٤٤-٣٥ سال نیز لکه داغ تصادفات خسارتی (نوع تصادف) و سواری (نوع وسیله) مشترک بوده است. بلوار تاکستان در خروجی شهر که اشتراک دو متغیر بوده است، لکه داغ اصلی کل تصادفات رانندگان ٤٤-٣٥ سال نیز محسوب می‌شود.

شکل ۹. تصادفات رانندگان ٤٤-٣٥ سال



شکل ۱۰. تصادفات رانندگان بازه‌های سنی مختلف به‌طور نسبی



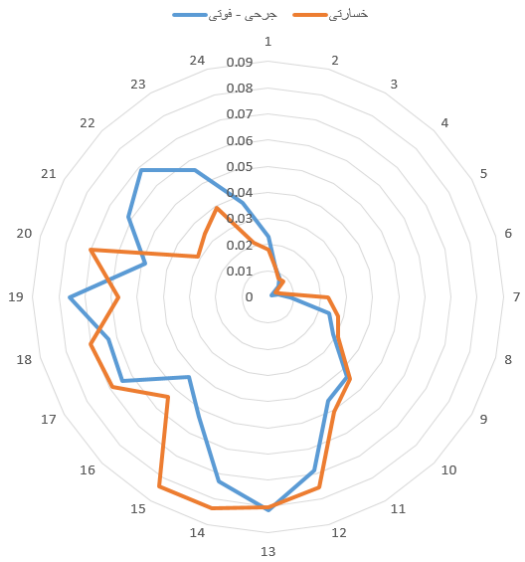
شکل ۱۱. تصادفات عابر

٤-۲- تحلیل زمانی تصادفات

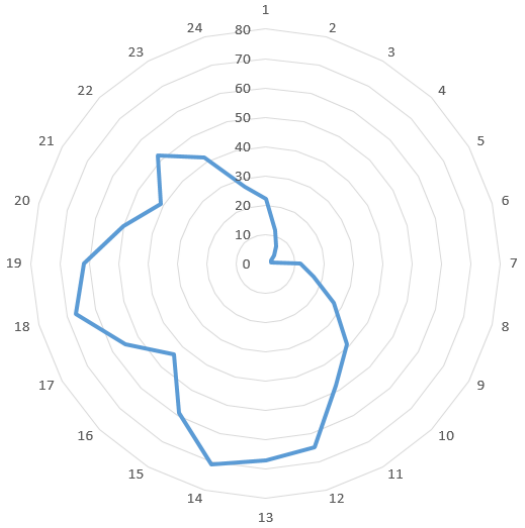
بعد از بررسی مکانی تصادفات، توزیع زمانی متغیرها را برای به دست آوردن زمان پر ریسک هر متغیر ایجاد کردیم که خلاصه نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۳ نشان داده‌شده است. در این جدول سطوحی از متغیرهای مختلف که دارای زمان پرتصادف بوده‌اند، نشان داده شده‌اند. با توجه به جدول ۳ می‌توان گفت اصلی‌ترین زمان شناسایی‌شده ساعت ۱۲ تا ١٤ روز است که تقریبا در همه‌ی متغیرها معنادار شده است. همچنین همبستگی زمانی بین زمان‌های پر ریسک قابل‌مشاهده است به‌طوری‌که ساعت‌های پر ریسک دنباله‌دار هستند. زمان‌های پر ریسک برای رانندگان زیر ۲٦ سال، تصادفات جرحی و فوتی، تصادفات عابر و عجله و شتاب بی‌مورد به‌عنوان عامل انسانی مؤثر، مشابه بوده و همگی حدود ١٤-۱۳ بعدازظهر و ۱۹ غروب بوده‌اند که در شکل‌های ۱۰ تا ۱۳ نشان‌داده‌شده‌اند.

جدول ۳. زمان‌های پر ریسک برای متغیرهای مختلف

متغیر	سطوح متغیر	زمان اوج
سن راننده	کمتر از ۲٦	۲۰و۱۹و١٤و۱۳و۱۲
	۳٤-۲٦	۱۸و۱۷و١٤
	٤٤-۳۵	۱۹و۱۸و۱۷و۱۳
	۵٤-٤۵	۱۹و۱۵و١٤
	بیشتر از ۵٤	۱۵و١٤و۱۲
شدت تصادفات	جرحی و فوتی	۱۹و١٤و۱۳
	خسارتی	۱۵و١٤و۱۳
عامل انسانی موثر	عجله و شتاب بی‌مورد	۱۹و۱۸و١٤و۱۳و۱۲
علت تامه	سرپیچی از قانون	۱۵و١٤
نوع وسیله نقلیه	سواری	١٤و۱۳
	موتور	١٤
	وسیله سنگین	۱۹و۱۸و۱۷
مشخصات عابر	تعداد تصادف با عابر	۲۱و۱۸و١٤و۱۳



شکل ۱۲. شدت تصادفات به‌طور نسبی



شکل ۱۳. تصادفات عجله و شتاب بی‌مورد

٤-۳- بحث و مقایسه نتایج

در پژوهش حاضر، از بین مسیرها و مناطق بررسی‌شده، مسیرهای حومه‌ای بیشترین لکه‌داغ را داشتند و مهم‌ترین مسیرهای شناخته‌شده بودند. پراساناکومار و همکارانش(۲۰۱۱) یک خوشه مکانی برای تصادفات نزدیک به مراکز آموزشی شناسایی کردند. مسیرهای اطراف و منتهی به این خوشه مکانی که دارای لکه‌های داغ بودند، غالبا مسیرهای حومه‌ای بوده‌اند (V. Prasannakumar et al., 2011).

یکی دیگر از نتایج این پژوهش، حساسیت بالای رانندگان جوان بود که پیش از این در پژوهش‌های متفاوتی به آن اشاره شده‌بود (Kaygisiz et al., 2015; Rahman et al., 2021). یکی از لکه‌های داغ مشترک، تصادفات مرتبط باعجله و شتاب بی‌مورد، سرپیچی از قانون و رانندگان جوان بوده است که ارتباط بین این متغیرها را نشان می‌دهد. در پژوهش رحمان و همکاران (۲۰۲۱) نیز عواملی مانند کم‌دقتی در رانندگی و عدم تسلیم در زمان سرپیچی از قانون برای رانندگان جوان معنادار شده‌اند (Rahman et al., 2021). همچنین در پژوهش اندرسون (۲۰۰۹)، کم‌دقتی رانندگان به‌عنوان عامل

موثر در خوشه‌های شناسایی‌شده، عنوان شده است (Anderson, 2009).

همبستگی مکانی سطوح مختلف شدت در پژوهش‌های متفاوتی نشان داده شده است، به‌طوری‌که یک سطح از شدت تصادفات، خطر وجود همان سطح را در همسایگی‌ها افزایش می‌دهد (Kuo & Lord, 2020; Munira et al., 2020). طبق نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، تصادفات جرحی-فوتی و تصادفات خسارتی هردو دارای لکه‌داغ برای بازه‌های سنی مختلف رانندگان بوده‌اند.

یکسان بودن لکه‌های داغ برای تصادفات جرحی-فوتی، موتور و عابر، ارتباط بین این متغیرها را نشان می‌دهد. در پژوهش‌های مختلفی ازجمله پژوهش مونیرا و همکاران (۲۰۲۰) وجود رابطه بین تصادفات جرحی-فوتی و عابر تایید شده است (Munira et al., 2020).

طبق نتایج به‌دست‌آمده، زمان‌های پر ریسک شناسایی‌شده برای رانندگان جوان در شهر قزوین ۱۲-۱۴ و ۱۹-۲۰ بوده، از طرفی بازه شناسایی‌شده در پژوهش رحمان و همکاران (۲۰۲۱)، ۱۸-۲۳ بوده است (Rahman et al., 2021). همچنین در تحقیق توران پور و همکاران (۲۰۱۷) زمان پر ریسک برای بازه سنی جوان، ۸ صبح و ۱۷-۱۸ شناسایی‌شده است (Toran pour et al., 2017). این تفاوت تا حدود زیادی مرتبط با طول بازه سنی درنظرگرفته‌شده می‌باشد. در تحقیق رحمان و همکاران(۲۰۲۱) بازه مربوط ٤ساله، در تحقیق توران پور و همکاران (۲۰۱۷) ١٦ساله و در پژوهش حاضر بازه سنی ۸ساله می‌باشد. همچنین سن شروع بازه دقیقا یکسان نمی‌باشد.

ارتباط معنادار بین تصادفات عابر پیاده و زمان تاریکی هوا در پژوهش‌های متفاوتی تایید شده است (Anderson, 2009; Ouni & Belloumi, 2018). در این پژوهش، همانند پژوهش اونی و بلاومی (۲۰۱۸) که در کشور تونس انجام شد، لکه‌های داغ مربوط به تصادفات عابر، مربوط به غروب و بعدازظهر بوده و زمان اوج صبح کمترین چگالی لکه‌داغ را داشته‌است که نشان‌دهنده تاثیر روشنایی در تصادفات عابر است. اختلاف جزئی در ساعات پر ریسک وجود دارد که می‌تواند مرتبط با طول بازه‌های زمانی درنظرگرفته‌شده و اختلاف در زمان تاریکی هوا در کشورهای مختلف باشد (Ouni & Belloumi, 2018).

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شد تا با بررسی همه متغیرهای موجود برای تصادفات درون‌شهری قزوین، لکه‌های داغ موجود شناسایی شوند و در مرحله بعد به‌صورت ترکیبی با سن راننده بررسی شوند. بخش مکانی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS انجام شد. به‌نحوی‌که روش‌های متداول در این نرم‌افزار موردبررسی قرار گرفت و در بعضی روش‌ها خروجی‌های ابتدایی نیز بررسی شد. سپس با توجه به اهداف پژوهش و نتایج به‌دست‌آمده، ابزار چگالی‌محور کرنل انتخاب شد و همچنین برای توزیع‌های زمانی از نمودار عنکبوتی Excel استفاده‌شده است. پس از شناسایی لکه‌های داغ و تقسیم‌بندی آن‌ها به دسته مسیرهای حومه‌ای، فرعی و CBD نتایج زیر را می‌توان به‌طورکلی بیان کرد. بر اساس نتایج تحلیل‌ها، نقش مسیرهای حومه‌ای پررنگ‌تر از سایر مسیرها بود که با توجه به کمتر بودن چگالی و حجم در این مسیرها می‌توان گفت این مسیرها نیاز به توجه بیشتری دارند. همچنین از بین مسیرهای حومه‌ای، بزرگراه جمهوری اسلامی سهم بیشتری از لکه‌های داغ را در اکثر متغیرها به خود اختصاص داده بود.

در بحث شدت تصادفات نکته قابل‌توجه وجود لکه‌های داغ بیشتر تصادفات شدیدتر در CBD و مناطق شلوغ و پرتراکم شهر بود درحالی‌که انتظار می‌رفت در چگالی بالا، تصادفات بیشتر خسارتی باشند اما سهم بسیار زیاد تصادفات خسارتی مربوط به مسیرهای حومه‌ای بوده است.

برای تصادفاتی که علت رخداد آن‌ها مرتبط باعجله و سرپیچی از قانون بود، بازه‌های سنی پایین‌تر تعداد و معناداری بیشتری داشتند. همچنین برای سرپیچی از قانون CBD سهم قابل‌ملاحظه‌ای دارد که نیاز به کنترل بیشتر در مسیرهای شلوغ و پرتراکم را نشان می‌دهد. مقدار زیاد و ثبات درصد لکه‌های داغ سواری برای مسیرهای حومه‌ای با توجه به سهم بالای این نوع وسایل نقلیه نشان‌دهنده لزوم بررسی کلی و دقیق‌تر ایمنی ترافیک در این نواحی خواهد بود.

یکسان بودن لکه‌های داغ تصادفات جرحی و فوتی، موتور و عابر برای بازه‌های سنی جوان، نشان‌دهنده ارتباط بین این متغیرها با سن کمتر راننده است. همچنین با افزایش سن، تعداد متغیرهای معنادار کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که بازه‌های سنی جوان با توجه به داشتن لکه‌های داغ قابل‌توجه در همه متغیرها،

از حساسیت بالایی برخوردار هستند و نیاز به آموزش و نظارت بیشتر بر دو گروه سنی جوان احساس می‌شود.

در بحث تحلیل زمانی تصادفات نیز، با توجه به زمان پر ریسک هر متغیر می‌توان گفت مهم‌ترین زمان ساعت ۱۲ تا ۱۴ بعدازظهر و بعدازآن ۱۷ تا ۱۹ غروب بوده است که اولی می‌تواند مرتبط با حضور کمتر نیروی پلیس و دومی مربوط به حجم بالاتر تردد در این ساعات باشد.

تحلیل‌های موجود با توجه بِا داده‌های موجود انجام شده است و پیشنهاد می‌شود در صورت امکان دو موضوع تصادفات در مسیرهای حومه‌ای و خروجی شهر قزوین در بحث تحلیل‌های مکانی و ساعات ۱۲ تا ۱۴ بعدازظهر در بحث تحلیل‌های زمانی با توجه به داده‌های حجم ترافیک و به‌صورت جزئی‌تر بررسی شود.

همچنین با توجه به نتایج تحلیل‌های انجام‌شده بر روی بازه‌های سنی، پژوهش با تمرکز بیشتر روی گروه‌های سنی جوان (دو بازه سنی اول) در صورت وجود داده‌های بیشتر توصیه می‌شود.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. World Health Organization
2. Accident Analysis & Prevention
3. Waldo R. Tobler
4. Hotspot
5. Cold Spot
6. Chi Square
7. Spider Plot
8.Central Business District

۷- مراجع

-Anderson, T. K. (2009). Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. *Accident Analysis & Prevention*, *41*(3), 359-364. **doi.org/10.1016/j.aap.2008.12.014**

-Asgary, A., Ghaffari, A., & Levy, J. (2010). Spatial and temporal analyses of structural fire incidents and their causes: A case of Toronto, Canada. *Fire Safety Journal*, *45*(1), 44-57.

-Cheng, W., Gill, G. S., Zhang, Y., Vo, T., Wen, F., & Li, Y. (2020). Exploring the modeling and site-ranking performance of Bayesian spatiotemporal crash frequency models with mixture components. *Accident Analysis & Prevention*, *135*, 105357.

-Geurts, K., Thomas, I., & Wets, G. (2005). Understanding spatial concentrations of road accidents using frequent item sets. *Accident Analysis & Prevention*, *37*(4), 787-799.

-Ghédira, A., Kammoun, K., & Saad, C. B. (2018). Temporal analysis of road accidents by ARIMA Model: Case of Tunisia. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, *24*(4), 1544-1553.

-Harirforoush ,H., Bellalite, L., & Bénié, G. B. (2019). Spatial and temporal analysis of seasonal traffic accidents. *American journal of traffic and transportation engineering*, *4*(1), 7-16.

-Hashimoto, S., Yoshiki, S., Saeki, R., Mimura, Y., Ando, R., & Nanba, S. (201 .٦). Development and application of traffic accident density estimation models using kernel density estimation. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, *3*(3), 262-270.

-Iragüen, P., & de Dios Ortúzar, J. (2004). Willingness-to-pay for reducing fatal accident risk in urban areas: an Internet-based Web page stated preference survey. *Accident Analysis & Prevention*, *36*(4), 513-524.

-Kashani, A. T., & Zandi, K. (2020). Influence of Traffic Parameters on the Temporal Distribution of Crashes. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *24*(3), 954-961.

-Kaygisiz, Ö., Düzgün, Ş., Yildiz, A., & Senbil, M. (2015). Spatio-temporal accident analysis for accident prevention in relation to behavioral factors in driving: The case of South Anatolian Motorway. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, *33*, 128-140.

-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. doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.07.020

-Rahman, M. A., Hossain, M. M., Mitran, E., & Sun, X. (2021). Understanding the contributing factors to young driver crashes: A comparison of crash profiles of three age groups. *Transportation Engineering*, *5*, 100076. doi.org/10.1016/j.treng.2021.100076

Ryder, B., Dahlinger, A., Gahr, B., Zundritsch, -P., Wortmann, F., & Fleisch, E. (2019). Spatial prediction of traffic accidents with critical driving events–Insights from a nationwide field study. *Transportation research part A: policy and practice*, *124*, 611-626.

-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.

-Silverman, B. W. (2018). *Density estimation for statistics and data analysis*. Routledge.

-Toran pour, A., Moridpour, S., Tay, R., & Rajabifard, A. (2017). Influence of Pedestrians' Age and Gender types on Spatial and Temporal Distribution of Pedestrian Crashes. *Traffic Injury Prevention*, *19*. doi.org/10.1080/15389588.2017.1341630

-Xie, Z., & Yan, J. (2008). Kernel density estimation of traffic accidents in a network space. *Computers, environment and urban systems*, *32*(5), 396-406.

-Yaghoobi, H. (2000). The role of human factors in car accidents in Iran.

-Ziakopoulos, A., & Yannis, G. (2020). A review of spatial approaches in road safety. *Accident Analysis & Prevention*, *135*, 105323.

-Zou, X., Vu, H. L., & Huang, H. (2020). Fifty years of accident analysis & prevention: a bibliometric and scientometric overview. *Accident Analysis & Prevention*, *144*, 105568.

-Kuo, P.-F., & Lord, D. (2020). Applying the colocation quotient index to crash severity analyses. *Accident Analysis & Prevention*, *135*, 105368.

-Kuter, S., Usul, N., & Kuter, N. (2011). Bandwidth determination for kernel density analysis of wildfire events at forest sub-district scale. *Ecological Modelling*, *222*(17), 3033-3040.

-Loo, B. P., Yao, S., & Wu, J. (2011). Spatial point analysis of road crashes in Shanghai: A GIS-based network kernel density method. 2011 19th international conference on geoinformatics,

-Mahata, D., Narzary, P. K., & Govil, D. (2019). Spatio-temporal analysis of road traffic accidents in Indian large cities. *Clinical Epidemiology and Global Health* ,*(4)7*, 586-591.

-Matkan, A. A., Mohaymany, A. S., Shahri, M., & Mirbagheri, B. (2013). Detecting the spatial–temporal autocorrelation among crash frequencies in urban areas. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *40*(3), 195-203.

-Munira, S., Sener, I. N. & ,Dai, B. (2020). A Bayesian spatial Poisson-lognormal model to examine pedestrian crash severity at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, *144*, 105679. doi.org/10.1016/j.aap.2020.105679

-Ouni, F., & Belloumi, M. (2018). Spatio-temporal pattern of vulnerable road user's collisions hot spots and related risk factors for injury severity in Tunisia. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, *56*, 477-495.

Plug, C., Xia, J. C., & Caulfield, C. (2011). Spatial and temporal visualisation techniques for crash analysis. *Accident Analysis & Prevention*, *43*(6), 1937-1946.

-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.

GIS-Based Spatial and Temporal Analysis of Drivers' Age in Accidents of Qazvin

Ali Tavakoli Kashani, Associate Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
Amirhamed Javan, Ph.D., Student, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
Kamran Zandi, Ph.D., Student, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: alitavakoli@iust.ac.ir

Received: June 2023- Accepted: November 2023

ABSTRACT

Spatial and temporal analyzes of accidents are considered essential in traffic safety in order to discover the relationship between variables more accurately and provide a solution to improve the current situation. In spatial analysis, a phenomenon is analyzed according to its position and surroundings. So that in addition to the phenomenon itself, the impact of neighborhoods and environment is also considered. The purpose of this study is to investigate the location and time of Qazvin urban accidents and to identify hotspots related to various variables according to the age range of drivers for the data of the recent three years. For spatial analysis, the kernel density function tool in ArcGIS software is used and for temporal distributions, the spider plot of Excel software is used. First, hotspots and hot-times for different variables were identified according to the age ranges of the drivers. In the next step, hotspots were distributed among the three defined urban areas, and high-risk areas of the city were introduced, respectively. According to the results, suburban roads and in particular the Islamic Republic Highway had the largest share in the hotspots of Qazvin accidents and the need to control the combination of vehicles on these routes is felt. 12 to 14 was also the most important time for accidents of different age groups, and the two younger age groups (fewer than 26 years old and 26-34 years old) played a greater role in hotspots and the need to educate and supervise these two age groups is felt.

Keywords: Traffic Safety, Temporal Analysis of Accidents, Spatial Analysis of Accidents, Hotspots Identification