

تهیه نقشه ریسک تصادفات رانندگی مبتنی بر اطلاعات مکانی مردم گستر با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه

مهرداد آهنگرکانی^۱

محمدرضا ملک^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۱/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۱/۲۱

چکیده

یکی از معضلات اجتماعی در جهان و به خصوص در کشورهای در حال توسعه که هر ساله تلفات انسانی و هزینه‌های اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی زیادی را به جامعه تحمیل می‌کند، تصادفات رانندگی است. بنابراین شناسایی نقاط حادثه خیز تصادفات امری بسیار ضروری است. هدف این مطالعه، تعیین نقاط حادثه‌خیز و تهیه نقشه حساسیت تصادفات رانندگی در شهر بابل با استفاده از اطلاعات مکانی مردم گستر می‌باشد. بدین منظور، با توجه به ویژگی‌های منطقه، از معیارهای فاصله از مراکز جمعیتی، نزدیکی به میدان‌های شهری، فاصله از پل عابر پیاده، نزدیکی به تقاطع استفاده شده است. نقاط حادثه‌خیز شناسایی شده توسط اطلاعات مکانی مردم گستر به همراه معیارهای تعیین شده با به کارگیری روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه به صورت زوجی مقایسه و وزن هر یک از آنها محاسبه گردید. نقشه نهایی حساسیت تصادفات رانندگی حاصل از هر دو روش متداول و اطلاعات مردم گستر تهیه شد. به منظور ارزیابی دقت نقاط حادثه‌خیز شناسایی شده حاصل از اطلاعات مکانی مردم گستر و همچنین نقشه‌های حساسیت، از داده‌های رسمی پلیس با استفاده از معیارهای منحنی تشخیص عملکرد سیستم و ضریب کاپا استفاده شده است. براساس نتایج به دست آمده، مرکز خرید مسجد جامع، مرکز خرید یکشنبه بازار (شهاب‌نیا)، تقاطع فرهنگ و میدان ولایت، به عنوان حادثه‌خیزترین نقاط در شهر بابل شناخته شدند. همچنین از بین ۴ معیار تعیین شده، فاصله از مراکز جمعیتی و فاصله از تقاطع، به ترتیب، مهمترین معیارها می‌باشند. نتایج حاصل از معیارهای ارزیابی نشان دادند که استفاده از اطلاعات مکانی مردم گستر با دقت خوبی می‌تواند در تعیین نقاط حادثه‌خیز تصادفات در شهر بابل موثر واقع شود. همچنین روش تحلیل شبکه نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی در تهیه نقشه حساسیت بهتر عمل کرده است.

واژه‌های کلیدی: اطلاعات مکانی مردم گستر، تصادفات رانندگی، تحلیل سلسله مراتبی، تحلیل شبکه، نقاط حادثه‌خیز، سامانه اطلاعات مکانی، منحنی مشخصه عملکرد سیستم و ضریب کاپا.

۱- دانشجوی دکتری سامانه اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (نویسنده مسئول) mahangar@mail.kntu.ac.ir

۲- دانشیار گروه سامانه‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی mrmalek@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

قلبی و عروقی به خود اختصاص داده‌اند (چراغی، عابدینی، خاکمی، ۱۳۸۹؛ صلاحی، فلاحی، شیرمحمدی ۱۳۹۴؛ کاشانی، *et al.* ۱۳۸۴). این مسئله در کشورهای در حال توسعه به دلیل وجود نقص در زیرساخت‌های حمل و نقل با توجه به تعداد بیشتر تصادفات حائز اهمیت است و در نتیجه هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم آن هم در مقایسه با سایر کشورها بیشترین می‌باشد. میزان تصادفات جاده‌ای در ایران ۲۰ برابر کشورهای صنعتی و ۵ برابر کشورهای هم سطح خود (مصر و ترکیه) می‌باشد و سالانه بیش از ۲۳ هزار نفر کشته بر جای می‌ماند (عفتی، رجبی، ۱۳۹۰، نظم‌فر، عشقی چهاربرج، علوی، جسارتی، ۲۰۱۷). تصادفات جاده‌ای علل گوناگون و خسارت‌های مادی و معنوی فراوان و گاهی جبران‌ناپذیر در پی دارد. امروزه برنامه‌ریزان می‌کوشند تا به نوعی از تعداد و شدت این سوانح بکاهند. لذا شناسایی علل وقوع تصادفات و پیشگیری از اینگونه حوادث امری بسیار مهم در کاهش اثرات زیانبار و غمبار آن می‌باشد (رحمانی، ۱۳۹۵، رضایی، ایمنی، مومنی، ۱۳۸۸). مهمترین گام در بهبود سطح ایمنی راه، شناسایی محل‌هایی است که نیاز ضروری به اصلاحات ایمنی دارند. اولویت‌بندی این نقاط از نظر اهمیت و ضرورت و اتخاذ اقدامات اصلاحی برای بالا بردن سطح ایمنی ترافیک راه است.

از اینرو، شناسایی نقاط حادثه‌خیز تصادفات به همراه اولویت بندی آنها به منظور مدیریت تخصیص مناسب منابع در راستای بهبود سطح ایمنی شبکه‌های حمل و نقل ضروری می‌باشد. با جمع‌آوری اطلاعات تصادفات به وقوع پیوسته و تحلیل آنها، مناطق حادثه‌خیز شناسایی شده و با مشخص شدن این مناطق، راه کارهای موردنیاز برای کاهش تعداد و شدت تصادفات اعمال می‌شود که در نهایت منجر به کاهش تلفات و خسارات ناشی از تصادفات رانندگی می‌گردد (Dong & Naumann, 2009; *et al.*, 1388).

در سال‌های اخیر سیستم‌های اطلاعات مکانی تحولات انکارناپذیری را در زمینه سازماندهی و مدیریت داده‌های مکانی ایجاد نموده است و به عنوان علمی که ارزش و

از میان حوادث مختلف مرتبط با شبکه حمل و نقل، تصادفات رانندگی به دلیل خصوصیات خاص خود از جمله فراوانی بالا، شدت زیاد و شانس درگیر شدن مستقیم تمامی افراد جامعه در آن از اهمیت بالایی برخوردار است که این نقش در کشورهای در حال توسعه نظیر کشور ایران از نمود بیشتری برخوردار می‌باشد (کاشانی، عسگری، دانش‌زاده، ۱۳۸۴). امروزه راه‌ها به عنوان یکی از دارایی‌های اصلی اقتصادی کشورها که در حکم رگ‌های آنها می‌باشند، به حساب می‌آیند. از اینرو، مدیریت صحیح این دارایی جهت توسعه اقتصادی بسیار حائز اهمیت است. یکی از مؤلفه‌هایی که هم اکنون در سراسر جهان مؤسسات و سازمان‌های مختلفی بر روی آن سرمایه‌گذاری می‌کنند، سامانه‌های مدیریت تصادفات جاده‌ای می‌باشد که شناسایی پهنه‌های حادثه‌خیز تصادفات در سطح جاده‌ها به عنوان هدف اصلی آن است (Xia & Leslie, 2004). کشورهای پیشرفته جهان جهت نیل به این هدف، اقدام به شناسایی عوامل و پارامترهای ایجاد کننده تصادفات جاده‌ای نموده و در نهایت با استفاده از ابزارها و روش‌های مختلف، معابری که دارای بیشترین احتمال تصادفات می‌باشند را مشخص نموده و در صدد مرتفع نمودن نواقص مترتب بر آن برمی‌آیند. از طرفی با توجه به نرخ بالای تصادفات جاده‌ای و تلفات ناشی از آن در ایران که از میانگین جهانی به میزان ۲ مرتبه بالاتر است، لزوم ایجاد مدلی که بتواند مناطق و پهنه‌های حادثه‌خیز را شناسایی نماید، بیش از پیش افزایش می‌یابد (Bennett, 2008; McPherson & Bennett, 2006; Xia & Leslie, 2004). جاده‌ای، از خطرات جدی در جهان و به خصوص در ایران بشمار می‌آید. تصادفات رانندگی یازدهمین علت مرگ و میر در جهان محسوب شده و سالانه حدود یک میلیون و دویست هزار نفر در تمامی نقاط دنیا در اثر سوانح رانندگی جان خود را از دست می‌دهند. همچنین بیست تا پنجاه میلیون نفر سالانه دچار آسیب می‌شوند. تصادفات رانندگی دومین علت مرگ و میر در ایران را بعد از بیماری‌های

ستنی هستند پرداخته‌اند و ترکیب روش تراکم تخمینی کرنل‌ها شاخص‌های همبستگی موران و گتیس را به عنوان روش پیشنهادی ارائه داده‌اند و با آزمایش آن در راه‌های کشور ترکیه به ارزیابی روش پرداخته‌اند. نتیجه این ارزیابی نشان داده است که ترکیب روش تراکم تخمینی کرنل با روش موران برای راه‌های مستقیم و ترکیب روش تراکم تخمینی کرنل با روش گتیس برای تقاطع‌ها کارایی بهتری دارد (Erdogan, Ilçi, Soysal, & Kormaz, 2015). صلاحی اسکویی و همکاران در سال ۱۳۹۴، به تعیین نقاط حادثه‌خیز محورهای مواصلاتی استان آذربایجان شرقی با کمک سیستم‌های اطلاعات مکانی پرداخته‌اند. در این تحقیق از روش تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین میزان اهمیت عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات استفاده شده است (صلاحی ۱۳۹۴، *et al.*). فرج زاده اصل و کرمی در سال ۲۰۰۵، در پژوهش خود به بررسی رابطه بین توزیع تصادفات و پدیده‌های اقلیمی در محور فیروزکوه- ساری پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که با افزایش تعداد روزهای برفی و یخبندان، افزایش معناداری در تصادفات از نظر فراوانی، شدت خسارت، تعداد کشته‌ها و مصدومان دیده می‌شود (Farajzadeh Asl & Karami, 2005). ترکاشوند و همکاران در سال ۱۳۹۳، در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که بیشترین فراوانی تصادفات جاده‌ای به لحاظ شرایط هندسی جاده اعم از شیب، جهت شیب، ارتفاع و نورگیری در فاصله کیلومتر ۲۰ تا ۳۵ محور از شهرستان مبداء (بروجرد) واقع گردیده‌اند (ترکاشوند، پروانه، مرادی، ۱۳۹۳). غریبی در سال ۱۳۸۸، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به تعیین عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات و نقاط حادثه‌خیز پرداخته است. ایشان در پژوهش خود دریافت که اشکالات جاده‌ای با توجه به ماهیت مکان محور بودن، به عنوان یکی از مهمترین المان‌های مؤثر در تصادفات جاده‌ای است که ناشی از دلایل متعددی همچون زیرساخت‌های جاده‌ای و عدم در نظر گرفتن استانداردهای مربوط به آن می‌باشد (غریبی، ۱۳۸۸). بیرانوند و ندیمی در سال ۱۳۹۷، با مدل‌سازی فراوانی

توانایی خود را در زمینه مدیریت داده‌های مکانی ثابت نموده، دارای پتانسیل بسیار بالایی جهت به خدمت‌گیری در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی حوادث است. این سیستم با داشتن قابلیت اخذ و تبادل داده‌ها از منابع مختلف، سازمان‌دهی اطلاعات، تلفیق داده‌های گوناگون و انجام تحلیل‌های مکانی، افق‌های جدیدی را بر روی محققان علوم مختلف گشوده است. سیستم‌های اطلاعات مکانی به عنوان علم و فناوری مهمی جهت پرداختن به امر دخالت دادن فاکتورهای مکانی در تصمیم‌گیری، می‌توانند جایگاه قابل ملاحظه‌ای در مدیریت تصادفات و تعیین نقاط حادثه‌خیز جاده‌ای داشته باشند (صلاحی *et al.*, 1394, غریبی, ۱۳۸۸, *et al.*, 2017). تصمیم‌گیری چند معیاره در کنار سیستم اطلاعات مکانی می‌تواند جهت تهیه نقشه خطرپذیری تصادفات استفاده شود. متنوع بودن معیارهای تأثیرگذار و نیاز به استفاده از دانش کارشناسان در چگونگی رتبه بندی این معیارها، از دلایل اصلی استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره است (Rajabi, Mansourian, & Bazmani, 2012).

مطالعات زیادی در مورد تعیین نقاط مستعد تصادفات رانندگی انجام شده است که در آنها از داده‌های رسمی به عنوان منبع اطلاعاتی استفاده شده است. رشدیه و همکاران در سال ۱۳۹۰، روش‌های ارزیابی ایمنی راه‌ها را بررسی کرده و یک مدل زمانمند جهت ذخیره سازی اطلاعات مربوط به ایمنی راه‌های برون شهری و تحلیل نقاط مستعد تصادفات برون شهری طراحی کرده‌اند (رشدیه، دلاور، شیران، محمدیان، ۱۳۹۰).

سلطانی و همکاران در سال ۲۰۱۴، به شناسایی نقاط حادثه‌خیز با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی در هر دو بعد مکان و زمان پرداخته‌اند که برای این منظور از روش تراکم تخمینی کرنل^۱ استفاده کرده‌اند (Soltani & Askari, 2014). اردوگان و همکاران در سال ۲۰۱۵، به تشریح کلی روش‌های تشخیص نقاط حادثه‌خیز مانند شمارش تعداد تصادفات، شدت تصادفات و نرخ تصادفات که روش‌های

درون‌شهری می‌باشند که با توجه به انجام پروژه‌های روان‌سازی ترافیک در میدان آزادی، محور خیابان مطهری (پارک مطهری تا ۳ راه طالقانی) به عنوان محور با بیشترین تصادفات انتخاب گردید (Hasani & Jahanbin, 2019).

در این مطالعات از داده‌های رسمی به عنوان منبع اطلاعات تصادفات استفاده شده است. داده‌های رسمی، داده‌های مربوط به دوربین‌های ترافیکی و اطلاعات ثبت شده توسط پلیس می‌باشند. با توجه به اینکه نصب دوربین‌ها و جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات حاصل از آنها هزینه بر است و این دوربین‌ها در تمام نقاط شهری موجود نمی‌باشند، در نتیجه دارای پوشش کاملی از کل شهر نمی‌باشند و گزارش‌های ثبت شده توسط پلیس در بیشتر موارد فاقد جزئیات است. علاوه بر این در تعداد زیادی از تصادفات به دلایل مختلف اعم از جزئی بودن تصادف، توافق طرفین تصادف، نداشتن گواهینامه، زمان طولانی انتظار برای حضور پلیس در صحنه تصادف، فرار مقصر تصادف و غیره، پلیس در صحنه تصادف حضور نداشته و در نتیجه گزارش رسمی تصادف در دسترس نمی‌باشد. از اینرو، در این تحقیق، از اطلاعات مکانی مردم گستر برای جمع‌آوری اطلاعات تصادفات استفاده شده است. همچنین در زمینه تهیه نقشه حساسیت (خطرپذیری) تصادفات رانندگی تاکنون از روش تصمیم‌گیری تحلیل شبکه استفاده نشده است و نتایج به دست آمده از این روش با سایر روش‌ها از جمله روش تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی مقایسه نشده است. در نتیجه، استفاده از اطلاعات مکانی مردم گستر به همراه روش تصمیم‌گیری تحلیل شبکه با تفکیک تصادفات بر اساس تعداد، علل وقوع و شدت آنها برای تعیین نقاط حادثه خیز و تهیه نقشه حساسیت تصادفات رانندگی و همچنین مقایسه با روش تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی، از نوآوری‌های تحقیق حاضر می‌باشند. از مزایای دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه نسبت به دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، مقایسه و تعیین اولویت شاخص‌های (معیار) اصلی تصمیم‌گیری است (Jelokhani Niyaraki & Hajiloo, 2016). بنابراین

و شدت تصادفات بزرگراه‌ها و آزادراه‌های برون‌شهری و درون‌شهری، به بررسی این موضوع در قالب نقش متغیرهای مربوط به طرح هندسی راه و جریان ترافیک در رخداد تصادفات کلان راه‌ها پرداختند. پژوهشگران در این تحقیق، به شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مربوط به جریان ترافیک شامل سرعت و حجم انواع خودروها و عوامل مربوط به طرح هندسی راه در رخداد تصادفات آزادراه‌ها با استفاده از تکنیک TOPSIS پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش سرعت، حجم خودروهای سنگین، سواری و غیر سواری سبک، تعداد خطوط، تعداد قوس‌های افقی و شیب طولی راه به ترتیب بیشترین تا کمترین اثرگذاری را در رخداد تصادفات آزادراه تهران- کرج دارند (بیرانوند، ندیمی، ۱۳۹۷). در سال ۱۳۹۷، شیرمحمدی و حدادی از سیستم هوشمند فازی به منظور پیش‌بینی و کنترل رفتار رانندگان و شرایط رانندگی آنها در محیط به صورت مطالعه موردی در شهرستان بروجرد استفاده نمودند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که سیستم هوشمند فازی با ایجاد ضریب ایمنی تصادفات تحت شرایط رانندگی، تعداد تصادفات را با ضریب ایمنی قابل توجهی پیش‌بینی می‌کند که در مقایسه با داده‌های میدانی، تعداد تصادفات کاهش پیدا می‌کند (شیرمحمدی، حدادی، ۱۳۹۷). اسلامی‌نژاد و دلاور در سال ۱۳۹۸، از روش‌های چگالی مبنای منظور شناسایی مکان‌های حادثه خیز تصادفات رانندگی درون‌شهری استفاده کردند. نتایج حاصل شده برای تصادفات خسارتی، فوتی و جرحی نشان داد که روش برآورد چگالی کرنل شبکه مناسب‌تر از روش برآورد چگالی کرنل مسطح برای برآورد چگالی تصادفات رانندگی می‌باشد (اسلامی‌نژاد، دلاور، ۱۳۹۸). حسنی و جهان‌بین در سال ۱۳۹۸، به بررسی تعداد کلی تصادفات به منظور تشریح مکان‌های حادثه‌خیز و ایجاد مدلی بر حسب شدت و تنوع تصادفات با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و مدل فازی در شهر کرمان پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ۳ محدوده میدان آزادی، خیابان مطهری و بلوار جهاد به ترتیب بیشترین مناطق مستعد تصادفات

با انتشار این مفهوم در مجامع علمی، محققان حوزه‌های فناوری اطلاعات و سامانه اطلاعات مکانی بر آن شدند تا از اطلاعات مکانی مردم گستر در کاربردهای مختلف مثل تولید نقشه‌های گردشگری، مدیریت بحران و به روز رسانی نقشه‌های شبکه راه‌های شهری استفاده کنند (S. Honarparvar & A. A. Alesheikh, 2015). در رابطه با مسئله تصادفات، با جمع آوری اطلاعات توسط مردم حاضر در صحنه تصادف، می‌توان اطلاعات کامل و جامعی از جزئیات حادثه را اخذ نمود. هزینه کم و زمان اندک برای جمع آوری این اطلاعات، امکان به روز رسانی سریع آنها، جزئیات و توصیفات بیشتر تصادفات و علل وقوع آنها و دسترسی راحت تر به این اطلاعات از مزیت‌های داده‌های (اطلاعات) مکانی مردم گستر می‌باشند که این مزایا استفاده از این نوع اطلاعات را برای داشتن یک منبع اطلاعاتی در مورد تصادفات توجیه می‌کند (Al-Bakri & Fairbairn, 2012).

۲-۲- نقاط حائزخیز و عوامل مؤثر بر تصادفات

نقاط حائزخیز به نقاطی از جاده اطلاق می‌شوند که خطر وقوع تصادفات در آنها بیشتر از سایر نقاط باشد و محل‌هایی که تعداد زیاد و غیر معمولی از تصادفات را دارند، به صورت نقاط تمرکز تصادف، پرخطر یا سانحه‌خیز توصیف می‌شوند. در واقع، نقاط حادثه‌خیز، نقاطی از جاده هستند که بیشترین نیاز به عملکرد صحیح راننده را دارند و در آن نقاط، عوامل ریسک طرح هندسی و ترافیکی، سهم زیادی را در تصادفات دارا می‌باشند (Cooper et al., 2011; Geurts & Wets, 2003; Meuleners, Hendrie, Lee, & Legge, 2008). طبق تحقیقات انجام شده، شناسایی، تحلیل و مدیریت نقاط حائزخیز روشی مؤثر در کاهش خسارات و تلفات رانندگی می‌باشند. بنابراین، شناسایی صحیح نقاط حائزخیز در ایمن‌سازی راه‌ها، حائز اهمیت است (چراغی، ۱۳۸۹، et al.). کاهش هدف دار و سیستماتیک تصادفات به مدیریت جامع ایمنی راه نیازمند است. معرفی نقاط حائزخیز گام اول در فرایند مدیریت ایمنی راه محسوب می‌شود. نقاط

مطالعه حاضر با هدف تهیه نقشه حساسیت تصادفات رانندگی مبتنی بر اطلاعات مکانی مردم گستر در استان مازندران، شهر بابل با استفاده از ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه انجام شد.

ساختار این تحقیق بدین صورت است که در بخش دوم به تعریف اطلاعات مکانی مردم گستر، نقاط حادثه‌خیز و عوامل مؤثر در تصادفات و روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره استفاده شده برای تهیه نقشه حساسیت تصادفات رانندگی در قالب مبانی نظری تحقیق پرداخته شده است. در بخش سوم روند انجام تحقیق بیان شده است. نتایج به دست آمده به همراه ارزیابی نتایج در بخش بعدی ارائه شده اند و در نهایت در بخش پنجم به نتیجه‌گیری از مباحث قبلی پرداخته شده است.

۲- مبانی نظری تحقیق

در این قسمت از تحقیق، توضیحاتی در مورد اطلاعات مکانی مردم گستر، نقاط حائزخیز و عوامل مؤثر بر تصادفات به همراه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد استفاده جهت تعیین اهمیت عوامل و تهیه نقشه حساسیت تصادفات رانندگی ارائه می‌شوند.

۲-۱- اطلاعات مکانی مردم گستر

در سایه پیشرفت حوزه فناوری و افزایش آگاهی جوامع نسبت به داده‌های مکانی، تحولی در الگوی تولید و مصرف داده‌های مکانی توسط مردم به وجود آمده است (S. Honarparvar & A. A. Alesheikh, 2015).

گودچایلد این تحول را با معرفی مفهوم جدیدی به نام اطلاعات مکانی مردم گستر تفسیر می‌کند (Goodchild, 2007). در واقع اطلاعات مکانی مردم گستر را می‌توان استفاده از ابزاری برای ایجاد، جمع‌آوری و انتشار داده‌های مکانی که به طور داوطلبانه توسط افراد تولید شده است تعریف نمود (Flanagin & Metzger, 2008).

نظر کارشناسی وزن هر عامل را به دست آورد. با استفاده از این روش، در مسئله تصمیم گیری، ابتدا ساختار داده شده، گزینه‌های مختلف براساس معیارهای مطرح در تصمیم گیری با هم مقایسه شده و در نهایت اولویت انتخاب هر یک از آنها مشخص می‌شود. در واقع با استفاده از این روش می‌توان، فرآیند تصمیم‌گیری را فرموله کرد، معیارهای کمی و کیفی مختلف را در نظر گرفت، گزینه‌های تصمیم گیری را وارد مسئله نمود و حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را تحلیل کرد. علاوه بر این، سازگاری و عدم سازگاری تصمیم را می‌توان با این روش به دست آورد که از ویژگی‌های ممتاز این فرآیند می‌باشد. در مجموع، این روش در مسائل رتبه‌بندی، انتخاب، ارزیابی و پیش بینی که همگی نیازمند تصمیم‌گیری هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ghodsipor, 2002; T Saaty, 1990).

۲-۴- روش تصمیم‌گیری تحلیل شبکه

یکی از محدودیت‌های جدی فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی این است که وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم، یعنی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها را در نظر نمی‌گیرد و ارتباط بین عناصر تصمیم را سلسله‌مراتبی و یکطرفه فرض می‌کند. از اینرو، ساعتی در سال ۱۹۹۶ روش تحلیل شبکه را معرفی کرد. روش فرآیند تحلیل شبکه، ارتباطات پیچیده میان عناصر تصمیم را از طریق جایگزینی ساختار سلسله‌مراتبی با ساختار شبکه‌ای در نظر می‌گیرد و به همین دلیل، استفاده از این روش در سال‌های اخیر به جای فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در اغلب زمینه‌ها افزایش پیدا کرده است (McConnachie & Shackleton, 2010; TL Saaty, 1996) 2010; TL Saaty, 1996.

۳- روش تحقیق

مطالعه حاضر با هدف تهیه نقشه حساسیت (خطرپذیری) تصادفات رانندگی مبتنی بر اطلاعات مکانی مردم گستر در شهر بابل واقع در استان مازندران انجام شده است. در ابتدا اطلاعات مکانی مردم گستر مربوط به تصادفات رخ

حادثه‌خیزگاهی با تعاریفی نظیر: موقعیت‌های خطرناک راه، مکان‌های با ریسک بالا، موقعیت‌های سانح پذیر، مکان‌های نیازمند بهسازی و غیره شناخته می‌شوند (Dong & Naumann, 2009; Montella, 2010). با مشخص شدن این نقاط و امکان شناخت عوامل مؤثر بر تصادفات، با رفع این عوامل می‌توان در جهت کاهش معضل تصادفات اقدام کرد. شناسایی نقاط حادثه‌خیز مستلزم شناخت عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات است (Cooper et al., 2011; Elvik, 2007). عوامل مؤثر در تصادفات به طور کلی به سه دسته‌ی عامل انسانی (عدم توجه به جلو، سبقت‌های غیرمجاز، عدم رعایت فاصله طولی و عرضی)، عامل وسیله نقلیه (مانند نقص در وسائل نقلیه) و عامل راه و محیط (شامل عرض و مشخصات هندسی مسیر، تقاطع‌ها، میدان‌ها، پل‌های عابر پیاده، تابلوها و دیگر ابزارهای کنترل مسیر، وضعیت روشنایی مسیر، موانع دید راننده، فقدان حفاظ، وجود مراکز جمعیتی و غیره) دسته‌بندی می‌شوند (فرجالی، دلاور، ۱۳۹۵)، که طبق تحقیقات انجام شده توسط آسترود^۱، تأثیرگذاری عامل انسانی در تصادفات ۹۵ درصد، عامل وسیله نقلیه ۵ درصد و عامل راه و محیط ۲۸ درصد می‌باشد (Austroads, 2002). عوامل محیطی و انسانی با مکان تصادفات در ارتباط هستند و با تعیین مکان‌های حادثه‌خیز می‌توان مشکلات و عوامل محیطی را که باعث تصادفات می‌شوند، کاهش داد. عوامل انسانی را می‌توان با نصب علائم هشدار خطر تا حد قابل قبولی کنترل کرد (فرجالی، دلاور، ۱۳۹۵).

۲-۳- روش تصمیم‌گیری تحلیل سلسله‌مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در سال ۱۹۷۰ توسط ساعتی^۲ ارائه شد. از مزایای این روش این است که اعمال نظر کارشناسی توسط افراد را تا حد زیادی آسان تر کرده و احتمال خطا را کاهش می‌دهد. همچنین در این روش می‌توان تعداد زیادی از عوامل را دخالت داد و با استفاده از

1- Austroad
2- Saaty

می‌باشند، که این معیارها شامل فاصله از مراکز جمعیتی (اعم از علمی، فرهنگی، مذهبی، گردشگری، درمانی و غیره)، نزدیکی به میدان‌های شهری، پل عابر پیاده (نزدیکی به پل عابر پیاده)، نزدیکی به تقاطع می‌باشند. اولین قدم برای مکانیابی و تهیه نقشه حساسیت، آماده سازی داده‌های مورد نیاز برای تولید لایه هر یک از معیارها می‌باشد. بعد از جمع آوری داده‌ها، لایه‌های مربوط به هر یک از معیارها در نرم افزار آرک جی آی اس^۲ نسخه ۱۰٫۳ تولید شدند. به منظور وزن‌دهی و تعیین اهمیت نسبی هر یک از معیارها، از روش‌های تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه به ترتیب در نرم افزارهای اکسپرت چویس^۳ و سوپر دسیژن^۴ استفاده شده است. در این تحقیق وزن هر عامل با توجه به آمار جمع آوری شده شدت تصادفات به وقوع پیوسته و نظر کارشناسان خبره محاسبه شده است. در نهایت تمامی لایه‌ها با توجه به وزن‌های به دست آمده در هر یک از روش‌ها، در محیط نرم افزار آرک جی آی اس با یکدیگر تلفیق شدند و نقشه‌های نهایی حساسیت (مناطق حادثه‌خیز) در ۴ طبقه برای هر دو روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه تهیه شدند. در نهایت نقاط حادثه‌خیز شناسایی شده و اولویت‌دهی شده توسط روش‌های تصمیم‌گیری و همچنین نقشه‌های تهیه شده از روش‌ها به منظور ارزیابی صحت و دقت نقشه‌ها، با استفاده از ماتریس خطا (مقایسه) و منحنی مشخصه عملکرد سیستم مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۴- نتایج و ارزیابی

۴-۱- نتایج حاصل از تحلیل سلسله مراتبی اطلاعات مکانی مردم گستر

اولین کار در اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تعیین نقاط حادثه‌خیز و تهیه نقشه حساسیت تصادفات رانندگی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی، انجام مقایسات زوجی بین عوامل است. به این منظور، با توجه به داده‌های تصادفات

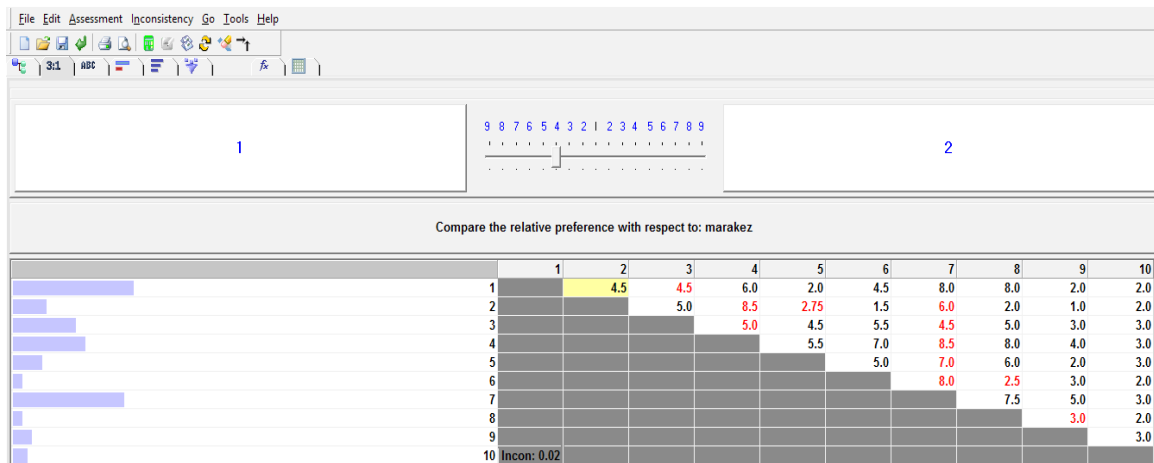
داده، از طریق پرسشنامه‌های توزیع شده بین افراد استخراج شده است. پرسشنامه‌ها در بین افراد مختلف توزیع شده و اطلاعات مورد نیاز تصادفات اعم از مکان و تعداد آنها، علل وقوع آنها و نوع و شدت تصادفات (خسارتی، جرحی و فوتی) از فرم‌های جمع آوری شده استخراج شده است. از آنجایی که علاوه بر مکان و فراوانی تصادفات، یکی از عواملی که در شناسایی یک محل به عنوان نقطه حادثه‌خیز اثر گذار است، شدت حوادث رخ داده در آن محل است، لذا در این تحقیق نوع و شدت تصادفات مد نظر قرار گرفته است. پژوهشگران مختلف ضرایب متفاوتی را در پژوهش‌های خود برای نسبت اهمیت با شدت تصادف‌های خسارتی، جرحی و فوتی ذکر کرده‌اند. وزارت حمل و نقل بلژیک از نسبت‌های ۱ و ۳ و ۵ برای تصادفات خسارتی، جرحی و فوتی (Geurts, Wets, Brijs, Vanhoof, & Karlis, 2006) و اداره راه پرتغال از ضرایب ۱ و ۱۰ و ۱۰۰ به ترتیب برای تصادفات خسارتی و جرحی و فوتی استفاده می‌کنند (Elvik, 2008). در پژوهش حاضر از نسبت‌های ۱ و ۳ و ۵ برای محاسبه شدت تصادفات استفاده شده است. در این تحقیق عوامل تأثیرگذار در حادثه‌خیزی جاده‌ها را استخراج کرده و طی فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره به وزن‌دهی معیارها پرداخته و با استفاده از آنالیزهای سیستم اطلاعات مکانی^۱ میزان اهمیت نقاط حادثه‌خیز تعیین شده‌اند. وزن هر عامل با توجه به آمار جمع‌آوری شده شدت تصادفات به وقوع پیوسته از اطلاعات مکانی مردم گستر و نظر کارشناسان خبره، محاسبه شده است و در نهایت با روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه نقاط حادثه‌خیز منطقه مورد مطالعه مشخص و اولویت‌دهی شده‌اند. سپس از طریق اطلاعات مکانی مردم گستر و با تحلیل این تصادفات و نظر کارشناسان خبره، معیارها و زیرمعیارهای (عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات) مورد استفاده به منظور تهیه نقشه حساسیت تصادفات در شهر بابل شناسایی شدند. منظور از عوامل (معیار) در این تحقیق، عواملی هستند که به موقعیت مکانی وابسته

2- ArcGIS

3- ExpertChoice

4- SupperDecision

1- Geospatial Information System (GIS)



نگاره ۱: نمونه‌ای از مقایسات زوجی بین نقاط حادثه خیز شناسایی شده توسط اطلاعات مکانی مردم گستر

(نگاره ۱). همچنین، پرسشنامه‌هایی که دربرگیرنده معیارهای مهم (عوامل تصادف) در راستای این تحقیق بود، طراحی و به منظور وزن‌دهی در اختیار افراد مختلف، کارشناسان و متخصصین امر اعم از مراکز آموزشی و علمی قرار گرفت. در پایان، پرسشنامه‌ها جمع‌آوری و هر یک از آنها به صورت جداگانه در نرم افزار اکسپرت چویس بر اساس مقایسات زوجی و جدول ترجیحات مورد آنالیز قرار گرفتند.

جدول ۲: ماتریس وزن‌دهی معیارهای اصلی (عوامل مؤثر بر

تصادفات) نسبت به یکدیگر با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

معیار	مراکز جمعیتی	پل عابر پیاده	میدان شهری	تقاطع
مراکز جمعیتی	۱	۶	۴	۳
پل عابر پیاده	-	۱	۱/۳	۱/۴
میدان شهری	-	-	۱	۱/۲
تقاطع	-	-	-	۱

ماتریس مقایسات زوجی عوامل اصلی مؤثر بر تهیه نقشه حساسیت در جدول (۲) ارائه شده است. در این جدول، میزان اهمیت و تأثیر عوامل مؤثر بر روی تصادفات نسبت به یکدیگر مشخص شدند. در نهایت با مشخص شدن وزن هر معیار (نگاره ۲) و همچنین وزن نقاط مختلف نسبت به هر یک از معیارها، میزان اهمیت هر یک از نقاط نسبت به یکدیگر مشخص شده است (نگاره ۳ و جدول ۳).

شهر بابل که از اطلاعات مکانی مردم گستر تهیه شده است، ۱۰ نقطه از شهر بابل به عنوان نقاطی که در آن تصادف رخ داده است، شناسایی شدند و شدت تصادفات برای این نقاط محاسبه شده است. در جدول (۱) مشخصات مناطقی که با استفاده از اطلاعات مکانی مردم گستر در آن نقاط تصادفات رانندگی اتفاق افتاده است، قرار داده شده است.

جدول ۱: مشخصات مناطق شناسایی شده حاصل از اطلاعات مکانی مردم گستر

شماره نقطه	نام نقطه	تعداد تصادفات		
		فوتی	جرحی	خسارتی
۱	مرکز خرید مسجد جامع	۳	۱۴	۲۳
۲	پارک ساحلی موزیرج	۲	۷	۲۶
۳	میدان ولایت	۲	۸	۲۸
۴	تقاطع (چهار راه فرهنگ)	۲	۹	۲۹
۵	تقاطع (چهار راه شهربانی)	۱	۷	۲۵
۶	ورزشگاه آزادی	۰	۵	۱۵
۷	مرکز خرید یکشنبه بازار (شهاب نیا)	۴	۸	۲۷
۸	میدان باغ فردوس	۰	۳	۱۴
۹	بیمارستان یحیی نژاد	۰	۸	۲۱
۱۰	تقاطع (چهار راه گنجینه)	۰	۷	۲۰

مقایسات زوجی بین نقاط مختلف نسبت به هر یک از عوامل مؤثر بر تصادف به صورت جداگانه انجام شده است

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)
تهیه نقشه ریسک تصادفات رانندگی مبتنی بر اطلاعات ... / ۱۰۷

بازار (شهاب نیا)، تقاطع فرهنگ و میدان ولایت می‌باشند، حادثه‌خیزترین نقاط در شهر بابل شناخته شدند. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده، از بین ۴ فاکتور اصلی، فاصله از مراکز جمعیتی و فاصله از تقاطع، به ترتیب، مهم ترین فاکتورهای تأثیرگذار در تهیه نقشه حساسیت تصادفات رانندگی هستند. در نهایت پس از تعیین وزن هر یک از عوامل، نقشه حساسیت تصادفات رانندگی در شهر بابل در محیط نرم افزار آرک جی آی اس تهیه گردید (نگاره ۴).

۴-۲- نتایج حاصل از تحلیل شبکه اطلاعات مکانی مردم گستر

مقایسات زوجی بین نقاط حادثه خیز شهر بابل به دست آمده از اطلاعات مکانی مردم گستر و همچنین معیارهای موردنظر مطابق روش تحلیل سلسله مراتبی، برای روش تحلیل شبکه در نرم افزار سوپر دسیژن انجام گرفت. بر اساس نتایج حاصل از وزن‌های به دست آمده از مقایسات

جدول ۳: حادثه خیزی نقاط مختلف شهر بابل

شماره نقطه حادثه خیز	نام نقطه حادثه خیز	وزن محاسبه شده
۱	مرکز خرید مسجد جامع	۰/۲۵۳
۲	پارک ساحلی موزیرج	۰/۰۶۸
۳	میدان ولایت	۰/۱۳۳
۴	تقاطع (چهار راه فرهنگ)	۰/۱۵۲
۵	تقاطع (چهار راه شهربانی)	۰/۰۵۶
۶	ورزشگاه آزادی	۰/۰۲۵
۷	مرکز خرید یکشنبه بازار (شهاب نیا)	۰/۲۳۲
۸	میدان باغ فردوس	۰/۰۲۰
۹	بیمارستان یحیی نژاد	۰/۰۳۵
۱۰	تقاطع (چهار راه گنجینه)	۰/۰۲۶

بر اساس خروجی نهایی نرم افزار اکسپرت چویس (نگاره ۳) و جدول (۳)، مناطق ۱، ۷، ۴ و ۳ که به ترتیب نمایانگر مرکز خرید مسجد جامع، مرکز خرید یکشنبه

Synthesis with respect to: Goal: Accident

Overall Inconsistency = .03



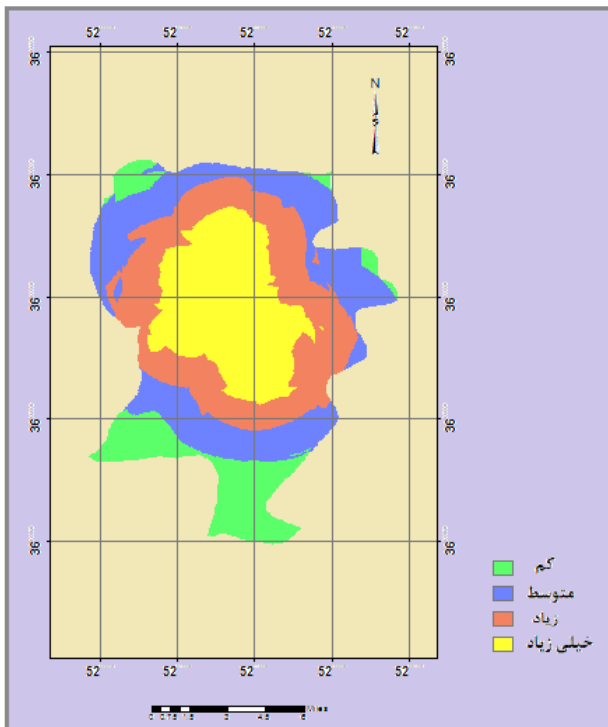
نگاره ۲: مقادیر وزن نهایی معیارهای اصلی و تعیین اولویت آنها

Synthesis with respect to: Goal: Accident

Overall Inconsistency = .04



نگاره ۳: میزان اهمیت نقاط حادثه خیز مختلف در منطقه مورد مطالعه



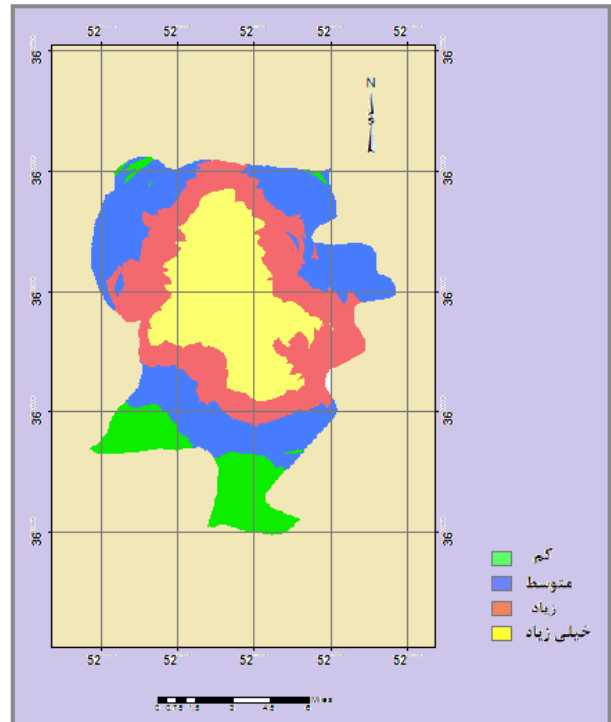
نگاره ۵: نقشه حساسیت تصادفات رانندگی با استفاده از روش تحلیل شبکه

جدول ۵: حادثه خیزی نقاط مختلف شهر بابل

شماره نقطه حادثه خیزی	نام نقطه حادثه خیزی	وزن محاسبه شده
۱	مرکز خرید مسجد جامع	۰/۲۴۸
۲	پارک ساحلی موزیرج	۰/۰۶۴
۳	میدان ولایت	۰/۱۳۵
۴	تقاطع (چهار راه فرهنگ)	۰/۱۴۹
۵	تقاطع (چهار راه شهربانی)	۰/۰۶۱
۶	ورزشگاه آزادی	۰/۰۲۷
۷	مرکز خرید یکشنبه بازار (شهاب نیا)	۰/۲۲۷
۸	میدان باغ فردوس	۰/۰۲۶
۹	بیمارستان یحیی نژاد	۰/۰۳۲
۱۰	تقاطع (چهار راه گنجینه)	۰/۰۳۱

و در نهایت پس از تعیین وزن هر یک از عوامل، نقشه حساسیت تصادفات رانندگی در شهر بابل در محیط نرم افزار آرک جی آی اس تهیه گردید (نگاره ۵).

زوجی بین نقاط حادثه خیز شناسایی شده توسط اطلاعات مکانی مردم گستر و همچنین معیارهای اصلی، مشابه با نتایج حاصل از تحلیل سلسله مراتبی، بیشترین وزن مربوط به فاصله از مراکز جمعیتی و فاصله از تقاطع می باشد (جدول ۴)



نگاره ۴: نقشه حساسیت تصادفات رانندگی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

جدول ۴: وزن های به دست آمده از معیارهای اصلی با استفاده از روش تحلیل شبکه

وزن	معیار
۰/۵۲۸	مراکز جمعیتی
۰/۲۲۷	تقاطع
۰/۱۵۶	میدان شهری
۰/۰۸۹	پل عابر پیاده

و همچنین مرکز خرید مسجد جامع، مرکز خرید یکشنبه بازار (شهاب نیا)، تقاطع فرهنگ و میدان ولایت به عنوان حادثه خیزترین نقاط در شهر بابل شناخته شدند (جدول ۵)

۳-۴- ارزیابی نتایج

هر یک از عناصر ماتریس به شرح زیر می‌باشند:

منفی درست: بیانگر تعداد رکوردهایی است که دسته واقعی آنها منفی بوده و الگوریتم دسته‌بندی نیز دسته آنها را به درستی منفی تشخیص داده است.

مثبت درست: بیانگر تعداد رکوردهایی است که دسته واقعی آنها مثبت بوده و الگوریتم دسته‌بندی نیز دسته آنها را به درستی مثبت تشخیص داده است.

مثبت نادرست: بیانگر تعداد رکوردهایی است که دسته واقعی آنها منفی بوده و الگوریتم دسته‌بندی دسته آنها را به اشتباه مثبت تشخیص داده است.

منفی نادرست: بیانگر تعداد رکوردهایی است که دسته واقعی آنها مثبت بوده و الگوریتم دسته‌بندی دسته آنها را به اشتباه منفی تشخیص داده است.

$$\text{TPR} = \frac{TP}{FN+TP} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{FPR} = \frac{FP}{TN+FP} \quad \text{رابطه (۲)}$$

منحنی مشخصه عملکرد سیستم یک منحنی دوبعدی می‌باشد که در آن، کسر مثبت درست روی محور عمودی و کسر مثبت نادرست روی محور افقی رسم می‌شوند. سطح زیر این منحنی برابر با احتمال قدرت تشخیص میان نقاط وجود و عدم وجود توسط یک مدل است. در واقع سطح زیر منحنی، بیانگر توانایی مدل در تخمین درست وقایع رخداد (وقوع تصادف) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع تصادف) می‌باشد. مقادیر مختلف سطح زیر منحنی بین ۰/۵ تا ۱ است. چنانچه سطح زیر منحنی برابر با ۰/۵ باشد بیان کننده تصادفی بودن مدل بوده و اگر مقدار برابر با ۱ باشد، مدل به بهترین نحو می‌تواند نقاط وجود و عدم وجود را از یکدیگر تفکیک نماید. سطح زیر منحنی بین ۰/۷ تا ۰/۸ بیانگر یک مدل خوب، مقادیر بین ۰/۸ تا ۰/۹ مدل خیلی خوب و سطح زیر منحنی بیش از ۰/۹ نشان دهنده قدرت تشخیص بسیار عالی مدل می‌باشد (Brown et al., 2003; Phillips, Anderson, & Schapire, 2006; Powers, 2011)

معیار دیگری که در این مطالعه برای ارزیابی نتایج مورد

پس از تهیه نقشه‌های نهایی حاصل از دو روش، نقشه‌های نهایی به ۴ کلاس کم تا خیلی زیاد تقسیم شدند. جهت ارزیابی دقت و صحت نقاط حادثه خیز حاصل از اطلاعات مکانی مردم گستر جمع‌آوری شده و نقشه‌های تهیه شده از دو روش تصمیم‌گیری، از ۱۰ مکان بر اساس داده‌های رسمی و ثبت شده که تصادفات در آن اتفاق افتاده است، (۱۰ نقطه حادثه خیز تهیه شده از پلیس راه) با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد سیستم و معیار ضریب کاپا (ماتریس خطا (مقایسه)) بهره گرفته شده است.

منحنی مشخصه عملکرد سیستم و معیار ضریب کاپا برای اولین بار در زمینه مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفتند (Hu & Lo, 2007; Pontius Jr & Schneider, 2001). منحنی مشخصه عملکرد سیستم ابزاری است که عمدتاً برای تعیین میزان کارایی روش‌های تشخیصی و الگوریتم‌های دسته‌بندی به کار می‌رود (Obuchowski, 2003). در این منحنی، کارایی تشخیص بر حسب دو شاخص ارزیابی می‌شود (جدول ۶) (Brown, Gedeon, & Groves, 2003).

۱- کسر مثبت درست^۱: به عنوان کسری از موارد وجود رویداد (داده) که به درستی تشخیص داده شده‌اند و از رابطه (۱) محاسبه می‌شوند.

۲- کسر مثبت نادرست^۲: به عنوان کسری از موارد عدم وجود رویداد (داده) که به اشتباه وجود رویداد (داده) تشخیص داده شده‌اند و از رابطه (۲) محاسبه می‌شوند.

جدول ۶: نمایش چگونگی عملکرد مدل دسته‌بندی

واقعی	پیش‌بینی شده (دسته‌بندی)	
	مثبت	منفی
مثبت	مثبت درست ^۴	منفی نادرست ^۳
	منفی	مثبت نادرست ^۶

1- True Positive Rate (TPR)

2- False Positive Rate (FPR)

3- False Negative (FN)

4- True Positive (TP)

5- True Negative (TN)

6- False Positive (FP)

جدول ۷: احتمال وقوع

	مدل					جمع
	کلاس	1	2	...	C	
واقعیت	1	P11	P12	...	P1C	P1T
	2	P21	P22	...	P2C	P2T

	C	PC1	PC2	...	PCC	PCT
جمع		PT1	PT2	...	PTC	1

آمار اخذ شده از پلیس راه بابل طبق آیین نامه‌های بخش ایمنی سازمان راهداری کشور اولویت‌بندی شده است. رابطه اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز بر اساس تعداد، نوع و شدت تصادفات می‌باشد و تصادفات به سه گروه تصادفات خسارتی، جرحی و فوتی طبقه‌بندی می‌شوند. رابطه اولویت‌بندی به رابطه P معروف می‌باشد. نحوه محاسبه مقدار P در رابطه (۴) ارائه شده است (رابطه ۴). (Geurts et al., 2006; صلاحی et al., 1394)

$$P = 5(A) + 3(B) + (C) \quad \text{رابطه (۴)}$$

که مقادیر متغیرهای ذکر شده در رابطه (۴) به شرح زیر می‌باشند:

A = تعداد تصادفات فوتی، B = تعداد تصادفات جرحی و C = تعداد تصادفات خسارتی.

در جدول (۸)، مشخصات مناطق شناخته شده به عنوان نقاط حادثه‌خیز حاصل از اطلاعات مکانی مردم‌گستر جمع‌آوری شده، ارائه شده است.

بر اساس رابطه (۴)، نقطه‌ای که در آن $P > 20$ باشد، یک نقطه حادثه‌خیز شناخته می‌شود (صلاحی et al., 1394). در این تحقیق به منظور ایجاد ماتریس خطا (مقایسه) و محاسبه ضریب کاپا و مساحت زیر منحنی مشخصه عملکرد سیستم، مقادیر P، برای هر دو مجموعه نقاط شناسایی شده حاصل از آمار و داده‌های رسمی و اخذ شده توسط پلیس راه بابل و همچنین اطلاعات مکانی مردم‌گستر (جدول ۸)، از بیشترین مقدار تا کمترین مقدار در ۴ کلاس طبقه‌بندی شدند. بازه‌های طبقه‌بندی شده مقادیر P در جدول (۹) ارائه شده است.

استفاده قرار گرفت، معیار ضریب کاپا (ماتریس خطا (مقایسه)) می‌باشد. ضریب کاپا (ماتریس خطا) یک روش آماری است که میزان سازگاری مدل دسته‌بندی کننده و واقعیت را نشان می‌دهد که در واقع درصد موفقیت یک مدل را با در نظر گرفتن حالت تصادفی بیان می‌کند (Pijanowski, Pithadia, Shellito, & Alexandridis, 2005). به عبارت دیگر به کمک این ضریب می‌توان میزان شباهت دو نقشه را در پخش مکانی اندازه گرفت (Sousa, Caeiro, & Painho, 2002).

برای محاسبه ضریب کاپا از جدول احتمال وقوع (جدول ۷) استفاده می‌شود که عناصر آن از ماتریس مقایسه (خطا) بدست می‌آیند. در واقع ضریب کاپا از کلیه عناصر ماتریس مقایسه (خطا) جهت بررسی سازگاری مدل دسته‌بندی کننده و واقعیت استفاده می‌کند، بنابراین روش دقیقی محسوب می‌گردد. ضریب کاپا با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Sousa et al., 2002):

$$Kappa = \frac{P(O) - P(E)}{1 - P(E)} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$P(O) = \sum_{i=1}^c P_{ii}$$

$$P(E) = \sum_{i=1}^c P_{i.} * P_{.i}$$

که در رابطه فوق، P(O) و P(E) به ترتیب بیانگر مجموع نسبت تعداد موارد دارای ارزش (کلاس) مشابه و متفاوت در دو مدل واقعی و دسته‌بندی کننده برای ارزش‌های متفاوت می‌باشند.

Pi.Pii و Pi به ترتیب بیانگر تعداد مواردی که در دو مدل دارای ارزش i می‌باشند، تعداد مواردی که در مدل واقعی دارای ارزش i و در مدل دسته‌بندی کننده دارای ارزش i می‌باشند، تعداد مواردی که در مدل دسته‌بندی کننده دارای ارزش i و در مدل واقعی دارای ارزش غیر i می‌باشند.

جدول ۸: مشخصات نقاط شناسایی شده توسط اطلاعات مکانی مردم گستر

مقدار P	تعداد تصادفات			نام نقطه	شماره نقطه
	خسارتی	جرحی	فوتی		
۸۰	۲۳	۱۴	۳	مرکز خرید مسجد جامع	۱
۵۷	۲۶	۷	۲	پارک ساحلی موزیرج	۲
۶۲	۲۸	۸	۲	میدان ولایت	۳
۶۶	۲۹	۹	۲	تقاطع (چهار راه فرهنگ)	۴
۵۱	۲۵	۷	۱	تقاطع (چهار راه شهربانی)	۵
۳۰	۱۵	۵	۰	ورزشگاه آزادی	۶
۷۱	۲۷	۸	۴	مرکز خرید یکشنبه بازار (شهاب نیا)	۷
۲۳	۱۴	۳	۰	میدان باغ فردوس	۸
۴۵	۲۱	۸	۰	بیمارستان یحیی نژاد	۹
۴۱	۲۰	۷	۰	تقاطع (چهار راه گنجینه)	۱۰

جدول ۱۰: نتایج معیارهای ارزیابی مربوط به اطلاعات مکانی مردم گستر جمع آوری شده

مقدار محاسبه شده	معیار ارزیابی
۰/۷۶۵۳	مساحت زیر منحنی
۰/۷۶۳۴	ضریب کاپا

منحنی مشخصه عملکرد سیستم و مقدار ضریب کاپا محاسبه شده نشان داده‌اند که استفاده از اطلاعات مکانی مردم گستر با دقت خوبی می‌تواند در تعیین نقاط حادثه خیز تصادفات در شهر بابل مؤثر واقع شود. همچنین، نمودار مشخصه عملکرد سیستم و معیار ضریب کاپا مربوط به دو روش تحلیل شبکه و سلسله مراتبی در جدول (۱۱) و نگاره‌های (۷) و (۸) نشان داده شده‌اند.

جدول ۱۱: نتایج معیارهای ارزیابی مربوط به روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره

روش تصمیم‌گیری چندمعیاره	مساحت زیر منحنی	ضریب کاپا
تحلیل سلسله مراتبی	۰/۷۵۱۶	۰/۷۵۲۱
تحلیل شبکه	۰/۸۰۱۴	۰/۸۰۲۷

جدول ۹: طبقه بندی مقادیر P

مقادیر P	ارزش بازه ها	ارزش توصیفی بازه ها
۲۰-۳۵	۱	حادثه خیزی کم
۳۵-۵۰	۲	حادثه خیزی متوسط
۵۰-۶۵	۳	حادثه خیزی زیاد
۶۵-۸۰	۴	حادثه خیزی خیلی زیاد

بعد از مشخص شدن بازه‌های مقادیر P، ماتریس خطا (مقایسه) تشکیل و همچنین پارامترهای مورد نیاز برای ترسیم منحنی مشخصه عملکرد سیستم و مساحت زیر منحنی محاسبه شده است.

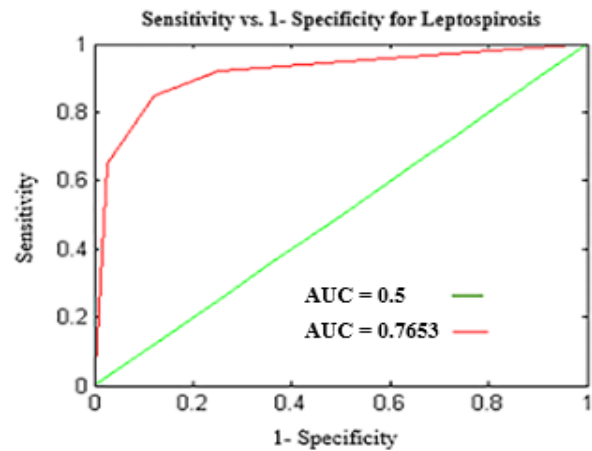
عناصر ستونی در ماتریس مقایسه بیانگر اطلاعات مرجع (آمار اخذ شده از پلیس راه بابل) می‌باشند و در مقابل، المان‌های سطری بیانگر اطلاعات مکانی مردم گستر جمع آوری شده هستند.

مقادیر ضریب کاپا و منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای نقاط حادثه خیز حاصل از اطلاعات مکانی مردم گستر جمع آوری شده در جدول (۱۰) و نگاره (۶) ارائه شده‌اند.

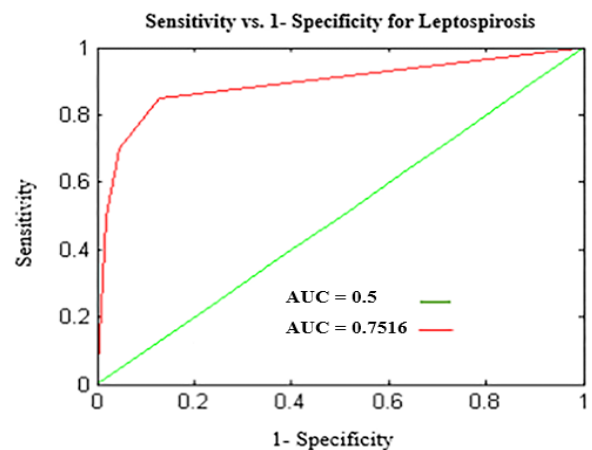
بر اساس جدول (۱۱) و نگاره (۸)، دقت به دست آمده از روش تحلیل شبکه، نشان دهنده دقت خیلی خوب این مدل در تهیه نقشه حساسیت تصادفات رانندگی می‌باشد. همچنین با توجه به جدول (۱۱) و نگاره (۷)، دقت حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی در تهیه نقشه حساسیت تصادفات رانندگی، نشان دهنده دقت خوب این مدل می‌باشد. نقشه‌های تهیه شده از دو روش نشان می‌دهند که وقوع تصادفات جاده‌ای در نواحی مرکزی شهر بابل به دلیل تراکم بالای وسایل نقلیه و جمعیت انسانی و ویژگی‌های محیطی و جاده‌ای، بیشتر از سایر نواحی است. همچنین با توجه به نتایج حاصل شده، روش تحلیل شبکه به دلیل لحاظ کردن وابستگی بین شاخص‌ها (معیارها) نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی دقت بالاتری دارد. در روش سلسله مراتبی، معیارها از هم مستقل فرض می‌شوند، در حالی که در روش تحلیل شبکه، شاخص‌ها وابسته به هم می‌باشند که از مزایای روش تحلیل شبکه نسبت به تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

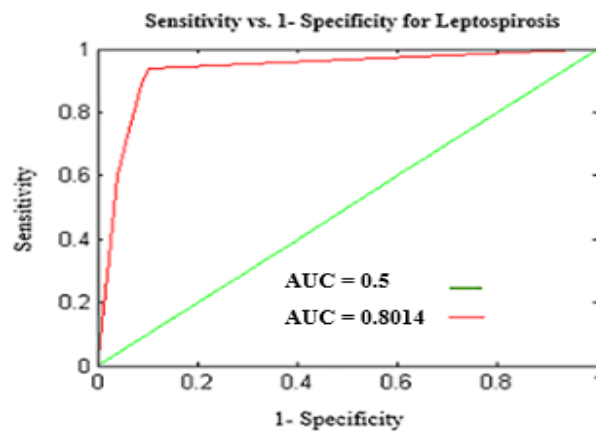
با توجه به موضوع تصادفات رانندگی در جهان و به خصوص در کشورهای در حال توسعه به دلیل تعداد زیاد تصادفات، تعیین نقاط حادثه‌خیز و تهیه نقشه حساسیت تصادفات از امور ضروری در تأمین ایمنی جاده هاست. در این مطالعه از اطلاعات مکانی مردم گستر به همراه روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه با تفکیک تصادفات براساس تعداد، علل وقوع و شدت آنها برای تعیین نقاط حادثه‌خیز و تهیه نقشه حساسیت تصادفات رانندگی در شهر بابل استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که در شهر بابل، ۴ نقطه‌ی مرکز خرید مسجد جامع (وزن بدست آمده در تحلیل سلسله مراتبی برابر با ۰/۲۵۳ و در تحلیل شبکه برابر با ۰/۲۴۸)، مرکز خرید یکشنبه بازار (شهاب نیا) (وزن بدست آمده در تحلیل سلسله مراتبی برابر با ۰/۲۳۲ و در



نگاره ۶: نمودار مشخصه عملکرد سیستم مربوط به اطلاعات مکانی مردم گستر جمع آوری شده



نگاره ۷: نمودار مشخصه عملکرد سیستم مربوط به روش تحلیل سلسله مراتبی



نگاره ۸: نمودار مشخصه عملکرد سیستم مربوط به روش تحلیل شبکه

منابع و مأخذ

- ۱- اسلامی نژاد و دلاور. سیداحمد و محمودرضا. (۱۳۹۸). مدل سازی مکان های حادثه خیز تصادفات رانندگی درون شهری با استفاده از روش چگالی مبنای شبکه ای، ششمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- ۲- بیرانوندو ندیمی. محمد و نوید. (۱۳۹۷). شناسایی و رتبه بندی عوامل موثر بر تصادفات رانندگی با استفاده از روش TOPSIS (مطالعه موردی: آزادراه تهران کرج)، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز، دانشگاه تبریز - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان - دانشگاه علمی کاربردی شهرداری تبریز.
- ۳- ترکاشوند، پروانه، مرادی؛ محمدقاسم، بهروز، ولی. (۱۳۹۳). تحلیل تصادفات جاده ای با رویکرد اقلیمی (مطالعه موردی محور بروجرد اراک)، سومین کنفرانس ملی تصادفات جاده ای، سوانح ریلی و هوایی. زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان.
- ۴- چراغی، عابدینی و خاکی. فریدالدین، عباس و مهدی. (۱۳۸۹). ثبت مکانی - زمانی تصادفات جاده ای و شناسایی نقاط حادثه خیز. مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، دوره ۲، شماره ۱، ۴۲-۳۵.
- ۵- رحمانی، محمد. (۱۳۹۵). پهنه بندی تصادفات جاده ای با هدف تعیین نقاط حادثه خیز با استفاده از GIS (نمونه موردی مسیر همدان - ملایر). جغرافیایی آمایش محیط، دوره ۹، شماره ۳۴، ۱۷۵-۱۵۵.
- ۶- رشیدی، دلاور، شیران و محمدیان. نوید، محمودرضا، غلامرضا و فرزاد. (۱۳۹۰). طراحی مدل داده زمان مند جهت مدل سازی اطلاعات ایمنی شبکه راه های برون شهری. علوم و فنون نقشه برداری، دوره ۱، شماره ۲، ۱۱۳-۱۰۵.
- ۷- رصافی، امینی و مؤمنی. امیرعباس، بهنام و فرشته. (۱۳۸۸). شناسایی نقاط حادثه خیز راه های درون شهری مطالعه موردی شهر قزوین، نهمین کنفرانس مهندسی حمل

تحلیل شبکه برابر با ۰/۲۲۷)، تقاطع فرهنگ (وزن بدست آمده در تحلیل سلسله مراتبی برابر با ۰/۱۵۲ و در تحلیل شبکه برابر با ۰/۱۴۹) و میدان ولایت (وزن بدست آمده در تحلیل سلسله مراتبی برابر با ۰/۱۳۳ و در تحلیل شبکه برابر با ۰/۱۳۵)، جزء حادثه خیزترین نقاط می باشند و همچنین از بین معیارها، فاصله از مراکز جمعیتی (وزن بدست آمده در تحلیل سلسله مراتبی برابر با ۰/۵۴۹ و در تحلیل شبکه برابر با ۰/۵۲۸) و فاصله از تقاطع (وزن بدست آمده در تحلیل سلسله مراتبی برابر با ۰/۲۳۹ و در تحلیل شبکه برابر با ۰/۲۲۷)، به ترتیب، مهم ترین معیارهای تأثیرگذار در تهیه نقشه حساسیت تصادفات رانندگی در شهر بابل شناسایی شدند.

با استفاده از معیارهای ارزیابی منحنی تشخیص عملکرد سیستم و ضریب کاپا، مشخص شد که استفاده از اطلاعات مکانی مردم گستر برای تعیین نقاط حادثه خیز با دقت خوبی جوابگو می باشد (مقادیر مساحت زیر منحنی و ضریب کاپا به ترتیب برابر با ۰/۷۶۵۳ و ۰/۷۶۳۴). همچنین ارزیابی روش های مورد نظر نشان دهنده دقت بالاتر روش تحلیل شبکه (مقادیر مساحت زیر منحنی و ضریب کاپا به ترتیب برابر با ۰/۸۰۱۴ و ۰/۸۰۲۷) نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی (مقادیر مساحت زیر منحنی و ضریب کاپا به ترتیب برابر با ۰/۷۵۱۶ و ۰/۷۵۲۱) در تهیه نقشه حساسیت تصادفات رانندگی در شهر بابل به دلیل در نظر گرفتن وابستگی بین معیارها می باشد.

روش پیشنهادی این مطالعه جهت تعیین نقاط حادثه خیز و تهیه نقشه های حساسیت تصادفات رانندگی قابل تعمیم به مناطق دیگر نیز می باشد و می توان با توجه به خصوصیات و ویژگی های مسیر، از معیارهای دیگری همچون شعاع قوس، شیب طولی و غیره استفاده نمود.

همچنین پیشنهاد می شود که از روش های دیگر برای بررسی نقاط حادثه خیز تصادفات رانندگی و تهیه نقشه های حساسیت با استفاده از اطلاعات مکانی مردم گستر استفاده شود و با نتایج به دست آمده از این مطالعه مورد مقایسه قرار گیرد.

15- Al-Bakri, M., & Fairbairn, D. (2012). Assessing similarity matching for possible integration of feature classifications of geospatial data from official and informal sources. *International Journal of Geographical Information Science*, 26(8), 1437-1456.

16- Austroads. (2002). *Road safety audit*. Austroads, Sydney, Second Ed.

17- Bennett, C. R. (2008). *Success Factors for Road Management Systems*. Infrastructure Reporting and Asset Management: Best Practices and Opportunities, 81.

18- Brown, W. M., Gedeon, T. D., & Groves, D. I. (2003). Use of noise to augment training data: a neural network method of mineral-potential mapping in regions of limited known deposit examples. *Natural Resources Research*, 12(2), 141-152.

19- Cooper, A. K., Coetzee, S., Kaczmarek, I., Kourie, D. G., Iwaniak, A., & Kubik, T. (2011). Challenges for quality in volunteered geographical information.

20- Dong, X. L., & Naumann, F. (2009). Data fusion: resolving data conflicts for integration. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 2(2), 1654-1655.

21- Elvik, R. (2007). State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks: *Transportøkonomisk institutt*.

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

23- Erdogan, S., Ilçi, V., Soysal, O. M., & Kormaz, A. (2015). A model suggestion for the determination of the traffic accident hotspots on the turkish highway road network: A pilot study. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 21(1), 169-188.

24- Farajzadeh Asl, M., & Karami, S. (2005). Road Accident Analysis by A Climatic Approach Using Geographic Information systems (GIS) Case Study: Firouz koh- Sari road. *The Journal of Spatial Planning*, 9(1), 151-167.

25- Flanagan, A. J., & Metzger, M. J. (2008). The credibility of volunteered geographic information. *GeoJournal*, 72(3-4), 137-148.

26- Geurts, K., & WETS, G. (2003). Black spot analysis methods: Literature review.

و نقل و ترافیک ایران، تهران، سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران، معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران.

۸- شیرمحمدی و حدادی. حمید و فرهاد. (۱۳۹۷). کاربرد منطق فازی در پیش‌بینی تصادفات رانندگی (مطالعه موردی: شهرستان بروجرد)، اولین کنفرانس ملی مهندسی زیرساخت‌ها، ارومیه، دانشگاه ارومیه.

۹- صلاحی، فلاحی و شیرمحمدی. سینا، غلامرضا و حمید. (۱۳۹۴). مکان یابی و اولویت‌بندی نقاط حادثه خیز محورهای حمل و نقل با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی، پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل و نقل ترافیک.

۱۰- عفتی و رجبی. میثم و محمدعلی. (۱۳۹۰). ارائه روشی نوین جهت شناسایی نقاط حادثه خیز جاده‌ای با استفاده از GIS و استنتاج فازی؛ مطالعه موردی محور کوهین - لوشان. علوم و فنون نقشه برداری، دوره ۱، شماره ۲، ۱۳-۱.

۱۱- غربی، آرش. (۱۳۸۸). ارائه مدلی در راستای مکان یابی پهنه‌های حادثه خیز تصادفات جاده‌ای با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی، اولین کنفرانس ملی تصادفات و سوانح جاده‌ای و ریلی، زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان.

۱۲- فرج‌الهی و دلاور. گلنوش و محمودرضا. (۱۳۹۵). ارائه مدلی جهت کنترل کیفیت اطلاعات مکانی مردم گستر برای تحلیل مکان‌های تصادفات رانندگی، دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۱۳- کاشانی، عسگری و داداش زاده. سعید، سیدمازیار و مسعود. (۱۳۸۴). طراحی مدل منطقی شناسایی و تحلیل عوامل تصادف جاده‌ای در ایران، اولین کنفرانس بین‌المللی حوادث رانندگی و جاده‌ای، تهران، دانشگاه تهران.

۱۴- نظم فر، عشقی چهار برج، علوی و جسارتی. حسین، علی، سعیده و علی. (۲۰۱۷). تحلیل پراکنش تصادفات جاده‌ای منجر به فوت با رویکرد اقلیمی مطالعه موردی: استان اردبیل. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، دوره ۲۶، شماره ۱۰۳، ۹۷-۸۳.

the Upper Midwest of the United States. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(2), 197-215.

40- Pontius Jr, R. G., & Schneider, L. C. (2001). Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1-3), 239-248.

41- Powers, D. M. (2011). Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation.

42- Rajabi, M., Mansourian, A., & Bazmani, A. (2012). Susceptibility mapping of visceral leishmaniasis based on fuzzy modelling and group decision-making methods. *Geospatial health*, 7(1), 37-50.

43- S. Honarparvar, & A. A. Alesheikh. (2015). Development of automatic updating spatial database by Volunteered Geographic Information. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 5(1), 43-53.

44- Saaty, T. (1990). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. The Analytic Hierarchy Process Series, vol. I: RWS Publications, Pittsburgh, USA.

45- Saaty, T. (1996). *Decision making with feedback: the analytical network process*. Pittsburg: RWS Publications.

46- Soltani, A., & Askari, S. (2014). Analysis of intra-urban traffic accidents using spatiotemporal visualization techniques. *Transport and telecommunication journal*, 15(3), 227-232.

47- Sousa, S., Caeiro, S., & Painho, M. (2002). Assessment of map similarity of categorical maps using Kappa statistics. ISEGI, Lisbon.

48- Xia, L., & Leslie, L. (2004). A GIS framework for traffic emission information system. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 87(1-3), 153-160.

27- Geurts, K., Wets, G., Brijs, T., Vanhoof, K., & Karlis, D. (2006). Ranking and selecting dangerous crash locations: Correcting for the number of passengers and Bayesian ranking plots. *Journal of safety research*, 37(1), 83-91.

28- Ghodsipor, H. (2002). *Issues on Multi Criteria Decision Making, Analytic Hierarchy Process*: Amirkabir University Publication, Tehran, Iran.

29- Goodchild, M. F. (2007). in the World of Web 2.0. *International Journal*, 2(2), 27-29. .

30- Hasani, V., & Jahanbin, N. (2019). Spatial-spatial analysis of the inland urban crash using spatial GIS and Fuzzy Model (Case study: Kerman city). *Journal of Urban Social Geography*, 6(1), 57-70.

31- Hu, Z., & Lo, C. (2007). Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(6), 667-688.

32- Jelokhani, N. M., & Hajiloo, F. (2016). Site Selection for Wind Power Plants Using ANP-OWA Model (Case Study of Zanjan Province, Iran). *JGST*, 6(1), 73-86.

33- McConnachie, M. M., & Shackleton, C. M. (2010). Public green space inequality in small towns in South Africa. *Habitat International*, 34(2), 244-248.

34- McPherson, K., & Bennett, C. R. (2006). Success factors for road management systems.

35- Meuleners, L. B., Hendrie, D., Lee, A. H., & Legge, M. (2008). Effectiveness of the black spot programs in Western Australia. *Accident Analysis & Prevention*, 40(3), 1211-1216.

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

37- Obuchowski, N. A. (2003). Receiver operating characteristic curves and their use in radiology. *Radiology*, 229(1), 3-8.

38- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259.

39- Pijanowski, B. C., Pithadia, S., Shellito, B. A., & Alexandridis, K. (2005). Calibrating a neural network based urban change model for two metropolitan areas of

