ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع تصادف رانندگی با استفاده از مدل Fuzzy-AHP (موردمطالعه: مناطق ۲ و ۶ شهر قم)

فخرالدین حاجیلو[۱]، محمدعلی علینژاد[۲]

پژوهشنامه جغرافیای انتظامی
سال ششم، شماره بیست و دوم، تابستان ۱۳۹۷

از صفحه ۸۵ تا ۱۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۷

چکیده

ارزیابی دقیق از خطر وقوع تصادف در معابر شهری، گامی اساسی در جهت انجام اقدامات عملی برای به حداقل رساندن تصادفات و ارتقاء سطح ایمنی سامانه حمل‌ونقل شهری است. پژوهش حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر تصادف، با استفاده از تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی، در مناطق (۲ و ۶) شهر قم انجام گرفته است. برای وصول این هدف، ابتدا معیارهای اثرگذار در بروز تصادفات درون‌شهری با توجه به نظرات کارشناسان این حوزه تعیین شدند، سپس با استفاده از روش وزن دهی ترکیبی Fuzzy-AHP، وزن معیارها محاسبه شد؛ درنهایت با استفاده از وزن‌های به‌دست‌آمده و نقشه‌های معیارها در محیط GIS، نقشه خطر تصادف به دست آمد. نتایج این روش نشان می‌دهد که معیارهای تراکم تصادفات پیشین، حجم ترافیک و تراکم جمعیت، بیشترین نقش را در بروز تصادفات دارند و معیارهای فاصله از کاربری‌های خاص، وضع کیفی راه و محدودیت‌های کالبدی، از اهمیت خیلی کمتری برخوردار هستند. همچنین نتیجهٔ پهنه‌بندی نشان می‌دهد که خیابان‌های محله‌های امامزاده شاه ابراهیم (ع)، نیروگاه و سعدگان دارای خطر بالای وقوع تصادفات هستند. متوسط خطر وقوع تصادف در محله‌های امین‌آباد، شیخ‌آباد، شهرک امام حسین (ع)، باغ شریعتی و مهرآباد مشاهده شد و همچنین محله‌های شادقلی، شهرک فاطمیه، محمدآباد و قلعه کامکار دارای کمترین خطر وقوع تصادفات رانندگی بودند.

کلید واژه‌ها: تصادف، تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، Fuzzy-AHP، قم.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران، (نویسنده مسئول)، f_hajiloo@ut.ac.ir.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی، بهسازی و نوسازی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

بیان مسئله

در نیم‌قرن اخیر، جامعه بشری شاهد گسترش سریع زندگی ماشینی و افزایش روزافزون تعداد وسایل نقلیه به‌خصوص در محیط‌های شهری بوده است. فارغ از افزایش سرعت جابجایی کالا و مسافر و دیگر فواید اقتصادی و رفاهی، با همه‌گیر شدن وسایل نقلیه موتوری بر تعداد و شدت تصادفات ترافیکی به‌سرعت افزوده‌شده و تصادف‌ها و صدمات جانی و ضایعات مالی ناشی از آن‌ها به بخشی از چالش‌های اصلی جوامع بشری تبدیل شده است. شهرها روزبه‌روز گسترده‌تر می‌شوند و مشکل ترافیک، تصادف و خسارت‌های جانی و مالی نیز به‌موازات آن گسترش می‌یابد (کاظمیان و همکاران، ۱۳۹۵). دراین‌بین در بخش مرکزی شهرها به دلیل بافت متراکم کالبدی و جمعیتی، قلب اقتصادی بودن و غیره، نقاط حادثه‌خیز از سایر نقاط شهرها بیشتر است (حجازی و علی پور، ۱۳۹۵).

در این راستا دستیابی به تردد ایمن وسایل نقلیه، همراه با آگاهی کافی از عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات و همچنین دستیابی به مدل‌های ایمنی صحیح با قدرت پیش‌بینی بالا همواره جزء نگرانی‌های اصلی متخصصان عمران، حمل‌ونقل، ترافیک و غیره بوده است (متکان و همکاران، ۱۳۹۰). شناسایی نقاط و نواحی حادثه‌خیز اهمیت زیادی برای انجام برنامه‌های عملی در جهت کاهش و به حداقل رساندن تصادفات و ارتقاء سطح ایمنی سامانه حمل‌ونقل شهری دارد. عدم پیش‌بینی دقیق نقاط پرخطر و عدم توجه به شاخص‌های زمینه‌ساز تصادف، می‌تواند هزینه را برای بخش عمرانی و مدیریتی کشور روزبه‌روز بالا ببرد. شناسایی معابر و کانون‌های حادثه‌خیز نیازمند شناخت دقیق از شاخص‌های تأثیرگذار در وقوع تصادفات و ارزیابی صحیح از وضعیت خطر تصادف در شبکه معابر شهری با استفاده از روش‌های به‌روز و دقیق است. برآورد وضعیت خطر تصادف در شبکه معابر، ازنظر اقتصادی، اجتماعی و مالی از اهمیت خاصی برخوردار بوده و پژوهش در این زمینه را ایجاب می‌کند.

روش‌های اولویت‌بندی نقاط حادثه‌خیز و تعیین خطر تصادف به‌طور عمده بر اساس روش‌های تک معیاره استوار است. ازجمله این معیارها می‌توان به تعداد تصادفات، شدت تصادفات، یکسان بودن تصادفات، هم سنگ بودن خسارت مالی و غیره اشاره کرد؛ اما همه این موارد شامل آمار بعد از تصادف می‌باشد و فرآیند برنامه‌ریزی آن‌ها بیشتر

مسئله گرا است (لی[1] و هالپین[2]، ۲۰۰۳)؛ بنابراین روشی لازم است که بتواند عامل‌های مؤثرتری را در تصادفات و شدت آن‌ها، در فرآیند پیش‌بینی خطر وقوع تصادف و شناسایی نقاط پرحادثه مورد ملاحظه قرار دهد. به‌طورقطع پیش‌بینی دقیق از خطر وقوع تصادفات می‌تواند یک برنامه‌ریزی پیشگیرانه موفق را به دنبال داشته باشد. سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS[3]) به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوین و توانمند در تحلیل مکانی- فضایی تصادفات درون‌شهری و برون‌شهری است. این سامانه‌ها با برخورداری از امکانات و ابزارهای متعدد تحلیل مکانی، امکان برآورد دقیق از خطر وقوع تصادفات و همچنین شناسایی نقاط حادثه‌خیز را فراهم می‌سازد (ساکومانو[4] و همکاران، ۱۹۹۷؛ نایرجس[5] و دیوکر[6]، ۱۹۸۹). این سامانه‌ها به همراه تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA[7]) به‌طور گسترده قابلیت به‌کارگیری در برنامه‌ریزی‌های مکانی و مباحث مربوط به برآورد خطرپذیری را دارا می‌باشند (مینایی، ۱۳۸۸)؛ بنابراین استفاده از GIS در کنار روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی، در جهت اتخاذ تصمیمات صحیح و برآورد دقیق از خطر وقوع تصادفات، بسیار سودمند خواهد بود.

پژوهش حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر وقوع تصادفات در شبکه معابر مناطق (۲ و ۶) شهر قم با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره Fuzzy-AHP[8] صورت گرفته است. بنا بر آگاهی نویسندگان این پژوهش برای اولین بار به پهنه‌بندی خطر تصادف درون‌شهری با استفاده از تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌پردازد. به‌طورکلی مراحل پژوهش بدین شرح است: (۱) شناسایی معیارهای مؤثر در وقوع تصادف؛ (۲) تهیه نقشه برای هر یک از معیارها با استفاده از داده‌های مکانی در نرم‌افزار ArcGIS؛ (۳) محاسبه وزن‌های هر یک از معیارها با استفاده از روش Fuzzy-AHP و نظرات کارشناسان در مورد ارجحیت معیارها و (۴) پهنه‌بندی خطر وقوع تصادفات با استفاده از وزن‌های به‌دست‌آمده و نقشه‌های معیارها در محیط GIS.

1- Lee
2- Halpin
3- Geographic Information Systems
4- Saccomanno
5- Nyerges
6- Dueker
7- Multi-Criteria Decision Making
8- Analytic Hierarchy process

پیشینه پژوهش

لی[1] و چان[2] (۲۰۰۴) در یک پژوهش، کاربردهای بالقوه فناوری اطلاعات جغرافیایی (GIS) در تسهیل تحلیل تصادفات جاده‌ای در هنگ‌کنگ را مورد بررسی قراردادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌تواند قابلیت‌های بصری و تحلیلی را گسترش دهد. اردوغان[3] و همکاران (۲۰۰۸) با هدف شناسایی نقاط حادثه‌خیز ناشی از تصادف در بزرگ‌راه‌های شهر افیون قره حصار ترکیه، از توابع تحلیلی GIS مانند تراکم کرنل و تکرارپذیری استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که نقاط داغ تعیین شده، نقاط بسیار حادثه‌خیز مانند جاده‌های متقاطع، نقاط اتصال و غیره را نشان می‌دهد. اندرسون[4] در سال (۲۰۰۹) یک روش برای مطالعه الگوهای فضایی تصادفات جاده‌ای، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و برآورد تراکم در شهر لندن (انگلستان) ارائه داد؛ و همچنین یک روش خوشه‌بندی با استفاده از داده‌های محیط‌زیست و نتایج بخش اول برای ایجاد طبقه‌بندی نقاط تصادف جاده‌ای پیشنهاد کرد. این خوشه‌ها مطابق با قدرت و استفاده بالقوه خود در ایمنی جاده مورد بحث و ارزیابی قرار گرفتند. گوندوغلو[5] (۲۰۱۰) جهت تهیه نقشه به‌منظور تعیین نقاط داغ ترافیک در شهر کنیای کشور ترکیه به استفاده از تحلیل خطی، توسط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداخت. هدف اصلی این مطالعه، تأکید بر اهمیت استفاده از معیارها، به‌جز تعداد کل تصادفات، برای نشان دادن نقاط داغ و ایجاد یک مدل از شدت و تنوع حادثه بود. پراساناکومار[6] و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی خوشه‌بندی فضایی سوانح تصادف و تراکم فضایی کانون‌ها بر اساس مدل همبستگی مکانی خودکار موران[7]، روش Getis-Ord Gi و توابع تراکم نقطه کرنل پرداختند. نتایج کار آن‌ها به‌طورکلی، سوانح طبیعت خوشه‌ای را نشان می‌دهند، درحالی‌که مقایسه فاصله‌های فضایی- زمانی نشان‌دهندهٔ توزیع تصادفی در کلاس‌های خاص است.

1- Lai
2- Chan
3- Erdogan
4- Anderson
5- Gundogdu
6- Prasannakumar
7- Moran I

اما در میان پژوهش‌های داخلی، مسگر و همکاران در سال (۱۳۹۳) با هدف ارزیابی عملکرد هر یک از عوامل مؤثر در تصادف، در محیط GIS از شبکه بیزین[1] استفاده کردند. در این پژوهش شبکه بیزین به‌منظور یادگیری روابط بین پارامترها و پیش‌بینی اثرگذاری هر یک از متغیرهای پیشنهادشده و نحوه تلفیق آن با محیط GIS ارزیابی و نتایج نهایی منجر به ارائه مدلی جامع و مکان‌مند به‌منظور پیش‌بینی محل وقوع تصادفات به همراه اعتبار سنجی نتایج شد. رحمانی (۱۳۹۵) طی یک پژوهش، با تعیین دقیق نقاط تصادف در سال‌های (۱۳۹۱) و (۱۳۹۲)، ابتدا به دسته‌بندی نوع تصادفات اقدام و سپس اطلاعات را دسته‌بندی و در پایگاه داده نرم‌افزار ArcGIS وارد نمود. در این پژوهش، نتایج تحلیلی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌صورت نقطه‌ای و پهنه‌ای، در قالب نقشه‌های کاربردی ترسیم شدند؛ که درنهایت مسیر همدان - ملایر در چهار طیف، امن، به نسبت امن، خطرناک و حادثه‌خیز پهنه‌بندی شد و راهکارهای لازم در کاهش تصادفات جاده‌ای ارائه شد.

پژوهش‌های ذکرشده نشان می‌دهد که تاکنون روش‌های گوناگونی برای تحلیل فضایی تصادفات و تعیین نقاط حادثه‌خیز به کار گرفته شده است؛ اما دراین‌بین تاکنون به روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی توجه خاصی نشده است. ازاین‌رو پژوهش حاضر به دنبال ترکیب تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (Fuzzy-AHP) با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، به‌منظور پهنه‌بندی خطر تصادفات درون‌شهری است.

تعریف واژه‌ها و اصطلاحات فنی و تخصصی

حمل‌ونقل از منظر اقتصاد به معنی تغییر مکانی اشخاص، حمل‌ونقل مسافر و حمل‌ونقل کالا بین مناطق جغرافیایی است. حمل‌ونقل جریان ترافیک و یا حرکت انسان و کالا و خدمت بین مناطق مسافر خیز و مسافر پذیر، با استفاده از تسهیلات حمل‌ونقل قابل حصول به نحو مقبول و نظام‌یافته است (محمودی، ۱۳۸۹).

راه‌های شریانی درجه (۱): راهی است که در طراحی و بهره‌برداری از آن، به جابه‌جایی وسایل نقلیه موتوری برتری داده می‌شود. برای رعایت این برتری، دسترسی وسایل نقلیه موتوری و همچنین عبور پیاده‌ها از عرض راه تنظیم می‌شود. راه‌های

1- Bayesian Network

شریانی درجه (۱)، به شبکه راه‌های برون‌شهری درجه (۱)، آزادراه، بزرگراه و راه عبوری دسته‌بندی می‌شوند (وزارت کشور، ۱۳۸۴).

آزادراه: راهی است که در تمام طول آن ترافیک دو طرف به‌طور فیزیکی از یکدیگر جداست و جریان ترافیک در آن بدون وقفه (آزاد) است یعنی وسایل نقلیه موتوری، جز در تصادف‌ها و راه‌بندان‌ها، ناچار به توقف نمی‌شوند. برای تأمین چنین وضعیتی، تقاطع هم‌سطح اجازه داده نمی‌شود و نحوه صحیح ورود و خروج وسایل نقلیه طراحی می‌شود (وزارت کشور، ۱۳۸۴).

بزرگراه: راهی است که ترافیک دو طرف آن به‌طور فیزیکی از یکدیگر جداست و در طول‌های قابل ملاحظه‌ای از آن می‌توان جریان ترافیک را پیوسته فرض کرد. برای تأمین چنین وضعیتی، نحوه صحیح ورود و خروج وسایل نقلیه طراحی می‌شود. بزرگراه می‌تواند تعداد معدودی تقاطع هم‌سطح داشته باشد به شرطی که فاصله آن‌ها از یکدیگر زیاد باشد (وزارت کشور، ۱۳۸۴).

راه‌های شریانی درجه (۲): راهی است که در طراحی و بهره‌برداری از آن، به جابه‌جایی و دسترسی وسایل نقلیه موتوری برتری داده می‌شود. برای رعایت این برتری، حرکت پیاده‌ها از عرض خیابان کنترل می‌شود؛ راه‌های شریانی درجه (۲) دارای عملکرد درون‌شهری‌اند و شبکه اصلی راه‌های درون‌شهری را تشکیل می‌دهند. (وزارت کشور، ۱۳۸۴).

تصادف و سوانح رانندگی: به انواع وقایع منجر به جرح، فوت، خسارت و یا ترکیبی از آن‌ها که در نتیجه برخورد یک یا چند وسیله نقلیه با یکدیگر و یا انسان، حیوان و شیء به وجود می‌آید، سوانح رانندگی یا تصادف گفته می‌شود. تصادف رانندگی به حادثه ترافیک خیابانی و یا جاده‌ای اطلاق می‌شود که در آن حداقل یک وسیله نقلیه خیابانی با یک وسیله نقلیه دیگر، یا با یک کاربر (استفاده‌کننده) دیگر، یا یک جسم ثابت در کنار جاده و یا با خودرو دیگر که به‌طورمعمول آسیب مالی یا جانی در پی دارد، برخورد کرده باشد (وزارت کشور و دیگران، ۱۳۸۷).

خطر تصادف: خطر تصادف نشان‌دهندهٔ میزان حادثه‌خیز بودن خیابان‌ها و جاده‌ها به لحاظ وقوع تصادفات است. یک نقشه خطر تصادف، خیابان‌ها را به لحاظ احتمال وقوع تصادف از یکدیگر تفکیک می‌کند (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۷).

شاخص‌های مؤثر بر تصادف: در بروز یک تصادف عوامل گوناگونی دخالت دارند. این عوامل به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند: عامل انسانی، عامل خودرو، عامل راه و محیط که مهم‌ترین آن‌ها عامل انسانی است (رحمانی، ۱۳۹۵).

روش پژوهش

پژوهش حاضر ازجمله پژوهش‌های کاربردی بوده و روش آن، به لحاظ هدف شناختی و ازنظر ماهیت، توصیفی- تحلیلی می‌باشد. ابزار گردآوری اطلاعات در این پژوهش شامل مشاهده میدانی، اسناد مطالعاتی، نقشه‌های پایه و غیره است. داده‌های مورد استفاده نیز شامل داده‌های سازمانی اخذشده از سازمان شهرداری‌ها و سازمان ترافیک شهری که شامل تصادفات به وقوع پیوسته است، می‌باشد. جدول شماره (۱) به جمعیت و داده‌های کالبدی (بلوک، خیابان و غیره) موجود در محدوده موردمطالعه اشاره کرده است. جامعهٔ آماری پژوهش حاضر شامل بلوک‌های مسکونی، راه‌ها، جمعیت، تصادفات و غیره در مناطق (۲ و ۶) است.

جدول شماره (۱). تصادفات رخداده در منطقه موردمطالعه در سال (۱۳۹۵)

نوع برخورد	خسارتی	فوتی	جرحی	جمع
برخورد وسیله نقلیه با موتورسیکلت	۲	۲	۴۲۵	۴۲۹
برخورد وسیله نقلیه با یک وسیله نقلیه	۲۶	۰	۵۲	۷۸
برخورد وسیله نقلیه با عابر	۰	۰	۲۰۰	۲۰۰
برخورد وسیله نقلیه با شیء ثابت	۶	۰	۶	۱۲
واژگونی و سقوط	۱	۱	۶	۸
برخورد موتورسیکلت با موتورسیکلت	۰	۰	۵۶	۵۶
برخورد وسیله نقلیه با دوچرخه	۰	۰	۱۱	۱۱
برخورد وسیله نقلیه با چند وسیله	۴	۰	۲۹	۳۳
برخورد موتورسیکلت با دوچرخه	۰	۰	۵	۵
برخورد موتورسیکلت با عابر	۰	۰	۱۱۲	۱۱۲
پرتاب سرنشین	۰	۰	۲	۲
چند برخوردی	۰	۰	۶	۶

نوع برخورد	خسارتی	فوتی	جرحی	جمع
نامشخص	۲	۰	۰	۲
جمع	۴۱	۳	۹۱۰	۹۵۴

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷.

مرحله اول پژوهش شناسایی و تعیین معیارهای مؤثر در وقوع تصادفات است. برای این کار ابتدا معدود مطالعات صورت گرفته در این زمینه مطالعه، سپس نظرات کارشناسان حمل‌ونقل و ترافیک و همچنین اساتید برنامه‌ریزان شهری جمع‌آوری شد؛ با جمع‌بندی نهایی، هشت معیار، به‌عنوان معیارهای مؤثر در خطر وقوع تصادفات شناسایی و انتخاب شدند. این معیارها شامل موارد زیر است:

حجم تردد وسایل نقلیه (وضعیت ترافیکی): این معیار گویای حجم وسایل نقلیه، ترکیب ترافیک (یکسان بودن وسایل نقلیه)، یک‌طرفه یا دوطرفه بودن مسیر می‌باشد.

وضعیت فیزیکی (پوشش و عرض راه): وضعیت فیزیکی نشان‌دهنده وضعیت توپوگرافی، روسازی، زهکشی، علائم افقی و عمودی و تجهیزات است.

تراکم جمعیت: با توجه به اینکه اکثر تصادفات در نزدیکی شهرها و مراکز جمعیتی اتفاق می‌افتد، تراکم زیاد جمعیت به‌طورقطع یکی از عوامل مهم در بالا بودن آمار تصادفات است.

تراکم فعالیت: تراکم فعالیت عبارت است از حجم فعالیت ناشی از تحرکات مردم، وسایل نقلیه و کاربرهای شهری که فعالیت خدماتی دارند.

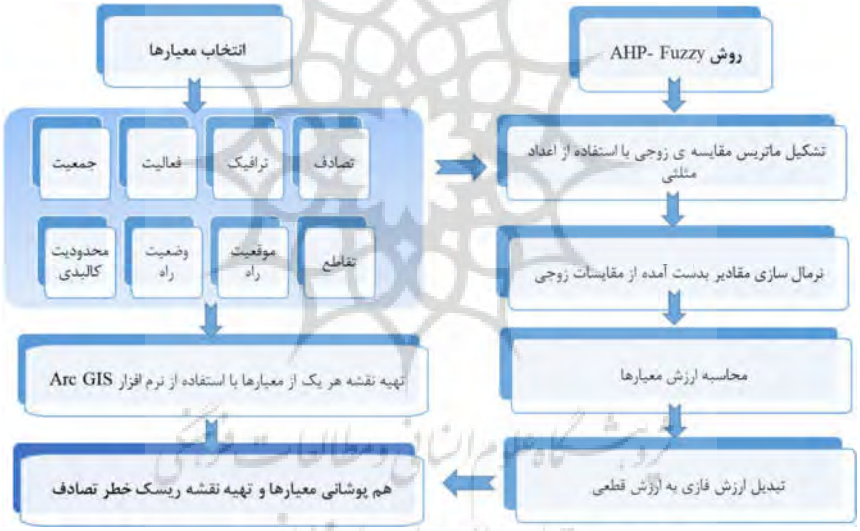
تراکم تقاطع‌ها: تراکم تقاطع‌ها عبارت است از تراکم تقاطع‌های هم‌سطح در واحد سطح. فراوانی تعداد تقاطع‌ها باعث برخوردهای بیشتر و در نتیجه تصادف ناشی از این تقاطع‌ها است.

محدودیت‌های کالبدی: محدودیت‌های کالبدی در پژوهش حاضر بیشتر متکی بر اصول فرسودگی بافت است و ازآنجایی‌که بافت‌های فرسوده به‌طورمعمول بافت‌های ارگانیک و قدیمی با راه‌های باریک و پرپیچ‌وخم و کالبد فرسوده را با خود دارند؛ بنابراین در بررسی خطر وقوع تصادف می‌بایست مورد توجه قرار گیرند.

فاصله از کاربری‌های خاص: در پژوهش حاضر منظور از مکان‌های خاص، کاربری‌های جاذب جمعیت است که این کاربری‌ها شامل آموزشی، بهداشتی، درمانی، اداری، ورزشی و فضای سبز است.

تراکم تصادفات رانندگی: این معیار نشان‌دهندهٔ میزان تراکم تصادفات است که با توجه به تصادفات رخ دادهٔ پیشین استخراج می‌شود. در یک محدوده هرچقدر میزان تصادفات بیشتری رخ داده باشد، نشان از خطرناک بودن آن محدوده دارد.

در مرحله بعد، این معیارها بر اساس روش تصمیم‌گیری چند معیاره (Fuzzy-AHP) وزن دهی شدند و در نهایت نقشهٔ معیارها، در محیط GIS هم‌پوشانی شدند و نقشهٔ نهایی وضعیت خطر وقوع تصادفات در مناطق (۲ و ۶) شهر قم به دست آمد. شکل شماره (۱) فرآیند پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۱). فرآیند پژوهش.

تصمیم‌گیری چند معیاره

تصمیم‌گیری را طریقه عمل یا حرکت در مسیر خاصی می‌توان تعریف کرد که با تأمل و به‌صورت آگاهانه برای نیل به یک هدف مطلوب، از بین روش‌های مختلف انتخاب شده است؛ بنابراین تصمیم‌گیری مستلزم انتخاب راهی از میان راه‌هاست. اگر

تنها یک راهکار وجود داشته باشد، دیگر تصمیم‌گیری معنا ندارد. برای تصمیم‌گیری قبل هر چیز به داده نیاز است. البته در تصمیم‌گیری نه‌تنها کیفیت داده‌ها و اطلاعات، بلکه مقدار اطلاعاتی که گردآوری و تحلیل می‌شود نیز حائز اهمیت است (مؤمنی، ۱۳۸۲).

عوامل مؤثر در انتخاب و اولویت‌بندی مکانی بسیار مهم، در همان حال متنوع و متعدد هستند. برخی از این عوامل ثابت و ایستا و برخی پویا و متغیرند، بدین معنا که با گذشت زمان، تغییراتی در آن‌ها ایجاد می‌شود که اهمیت کمتر یا بیشتری پیدا می‌کنند. درعین‌حال پاره‌ای از عوامل مؤثر بر اولویت‌بندی مکانی، عینی و قابل محاسبه و برخی ذهنی و جنبه سلیقه‌ای و شخصی دارند (ریموند، ۱۳۷۰).

یکی از روش‌های متداول اولویت‌بندی گزینه‌ها که در سال‌های اخیر بسط و توسعه زیادی یافته، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. در تصمیم‌گیری چند معیاره، گزینه‌های موردنظر با توجه به شاخص‌های مختلف که گاه ممکن است در تعارض با یکدیگر باشند، اولویت‌بندی می‌شوند. این مسائل بسیاری از پدیده‌های جهان واقعی را دربر می‌گیرد، بنابراین تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای در این زمینه به‌ویژه اولویت‌بندی پدیده‌های جغرافیایی صورت گرفته است. هر تصمیم‌گیری، تابع پاره‌ای از قواعد است تا بر اساس آن، تصمیم گیر به بهترین انتخاب دست یابد. بدین ترتیب شناخت انواع تصمیم‌گیری‌های چند شاخصه، روش‌های انتخاب تکنیک‌ها و مدل‌های تصمیم‌گیری، چگونگی انتخاب شاخص‌ها و مقیاس‌های اندازه‌گیری، از گام‌های اولیه کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در اولویت‌بندی پدیده‌های جغرافیایی محسوب می‌شوند (پور طاهری، ۱۳۹۳).

روش تصمیم‌گیری چند معیاره سلسله مراتبی- فازی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از معروف‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که اولین بار توسط توماس. آل. ساعتی در دهه ابداع شد (ساعتی[1]، ۱۹۹۰؛ ساعتی ۱۹۸۹). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی معمولی یک روش کلی است. در یک ساختار سلسله مراتبی متداول (که متشکل از هدف اصلی، معیار، مشخصه‌ها و

1- Saaty

گزینه‌ها است)، مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کلی، امتیاز ارزیابی کلی (امتیاز اولویت‌ها) را به‌صورت زیر (رابطه شماره ۱) تعریف می‌کند:

$$V(A_i) = \sum_{k=1}^{n} w_I w_{k(I)} v(a_{Ik})$$ رابطه شماره (۱)

بر این اساس $v(a_{ik})$ تابع ارزش است؛ w_I وزن مربوط به هدف I ام می‌باشد (I= 1, 2, …, p)، و $w_{k(I)}$ وزن مشخص k ام هدف I ام می‌باشد.

رویکردهایی برای ادغام سامانهٔ اطلاعات مکانی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی وجود دارد (مالچسکی[1]، ۲۰۰۶). این رویکردها به دو دسته تقسیم می‌شوند؛ دسته اول شامل ترکیب فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزاری برای محاسبه وزن‌های لایه‌های نقشه‌های معیار/ مشخصه است. پس از محاسبه وزن‌ها، با استفاده از قوانین ترکیب، نظیر ترکیب خطی وزن‌دار، این وزن‌ها با لایه‌های نقشه مشخصه‌ها ترکیب می‌شوند (ایستمن[2] و همکاران، ۱۹۹۳). این رویکرد برای حل مسائلی که تعداد زیادی گزینه دارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به‌ویژه هنگامی‌که مقایسه زوجی گزینه‌ها امکان‌پذیر نیست. در دسته دوم، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان ابزاری برای ترکیب اولویت‌ها در تمامی سطوح سلسله‌مراتب از جمله سطحی که گزینه‌ها در آن قرار دارند، به کار گرفته می‌شود (جانکوسکی[3] و ریچارد[4]، ۱۹۹۴). در این حالت، به نسبت ارزیابی گزینه‌های کمتری امکان‌پذیر است.

به‌رغم مقبولیت عمومی روش AHP، عدم توانایی این روش در وارد نمودن عدم قطعیت و ابهام کاربران در تصمیم‌گیری با اعداد دقیق، مورد انتقاد می‌باشد (دنگ[5]، ۱۹۹۹). جهت حل این مشکل بوکلی[6] در سال (۱۹۸۵)، روش Fuzzy-AHP را معرفی نمود. در این روش، هر کدام از رده‌های سلسله مراتبی می‌توانند با استفاده از اعداد فازی ارائه شوند. در این پژوهش، از اعداد فازی مثلثی جهت مقایسه‌های زوجی استفاده شده است. بر اساس این اعداد ترجیح معیار i نسبت به j در روابط (۲) و (۳) آورده شده‌اند:

1- Malczewski
2- Eastman
3- Jankowski
4- Richard
5- Deng
6- Buckley

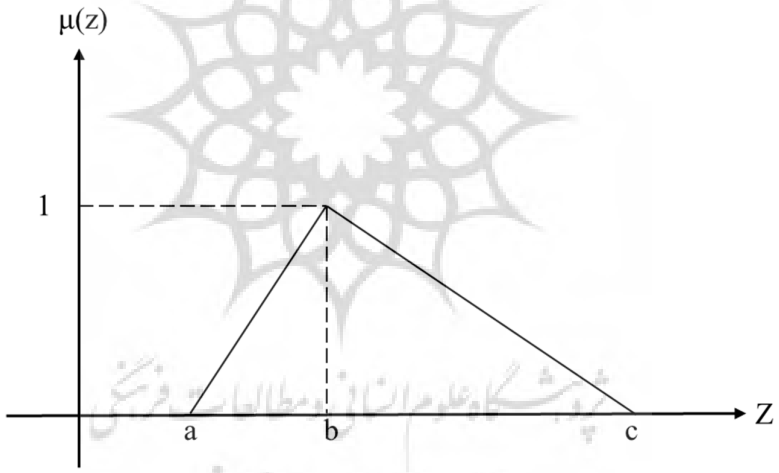
$$\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$$ رابطه شماره (۲)

$$\tilde{a}_{ij} = (1/c_{ij}, 1/b_{ij}, 1/c_{ij})$$ رابطه شماره (۳)

به‌عبارت‌دیگر، اگر ترجیح معیار i نسبت به j را به‌صورت عدد فازی $\tilde{a}_{ij}$ در نظر بگیریم، آنگاه ترجیح معیار j نسبت به i برابر عدد فازی $\tilde{a}_{ji}$ می‌شود (قادری و پهلوانی، ۱۳۹۴). هر عدد فازی نمایشی خطی دارد به‌طوری‌که تابع عضویت آن را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$\begin{cases} 0 & z < a \text{ or } z > c \\ \frac{z-a}{b-a} & a \le z \le b \\ \frac{z-b}{c-b} & b \le z \le c \end{cases}$$ رابطه شماره (۴)

که نمایش آن در شکل شماره (۲) نشان داده شده است.



شکل شماره (۲). نمایش یک عدد فازی مثلثی.

ماتریس مقایسه زوجی‌ای که در این روش با استفاده از اعداد مثلثی ایجاد می‌شود، به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{bmatrix} (a_{1\text{۱}}, b_{11}, c_{11},) & (a_{1n}, b_{1n}, c_{1n},) \\ (a_{n1}, b_{n2\text{۱}}\ c_{n2},) & (a_{nn,\text{۲}}\ b_{nn}, c_{nn},) \end{bmatrix}$$ رابطه شماره (۵)

استانداردهای مختلفی برای استفاده از اعداد فازی مثلثی در ماتریس مقایسه زوجی پیشنهاد شده‌اند. در این پژوهش، از اعداد فازی مثلثی استاندارد معرفی شده توسط پارکاش[1] (۲۰۰۳) که در جدول شماره (۲) نشان داده‌شده‌اند، جهت تشکیل ماتریس مقایسه زوجی استفاده شده است.

جدول شماره (۲). اعداد فازی مثلثی استاندارد

مقیاس‌های اهمیت در ماتریس مقایسه زوجی	امتیاز عددی	امتیاز متقابل
ترجیح مطلق	(۷،۹،۱۱)	(۱/۷ ،۱/۹ ،۱/۱۱)
ترجیح خیلی بیشتر	(۵،۷،۹)	(۱/۵ ،۱/۷ ،۱/۹)
ترجیح بیشتر	(۳،۵،۷)	(۱/۳ ،۱/۵ ،۱/۷)
ترجیح متوسط	(۱،۳،۵)	(۱ ،۱/۳ ،۱/۵)
یکسان تا بیشتر	(۱،۲،۴)	(۱ ،۱/۱ ،۱/۴)
ترجیح یکسان	(۱،۱،۱)	(۱ ،۱ ،۱)

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷.

برای نرمال‌سازی اعداد فازی از روش استانداردسازی که حداقل و حداکثر مقادیر از یک معیار را پیمایش می‌کند، استفاده می‌شود. بر اساس رابطه شماره (۶)، ارزش خام بیشتر، عملکرد بهتر به همراه دارد:

$$a_i = \frac{S_{ij} - S_j^{min}}{S_j^{max} - S_j^{min}}$$ رابطه شماره (۶)

در اینجا S_{ij} مقدار گزینه i برای معیار j، S_j^{min} کمترین مقدار برای معیار j و $sjmax$ بیشترین مقدار خام برای معیار j می‌باشد. a_{ij} مقدار نرمال شده برای معیار j گزینه i می‌باشد. مقادیر استاندارد شده برای تمام گزینه‌ها بین صفر و یک است (جلوخانی نیارکی، ۲۰۱۳).

1- Prakash

با روندی مشابه مقادیر b_i و c_i محاسبه می‌شوند. در نهایت مقدار ارزش معیار i و $\mu(z)$ را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$\mu_i(z) = (\frac{a_i}{c}, \frac{b_i}{b}, \frac{c_i}{a})$$ رابطه شماره (۷)

این اعداد فازی باید به اعداد قطعی تبدیل شوند. برای این کار روش‌های زیادی پیشنهاد شده که حال حاضر از روش مرکز جرم استفاده شده است، (رابطه شماره ۸).

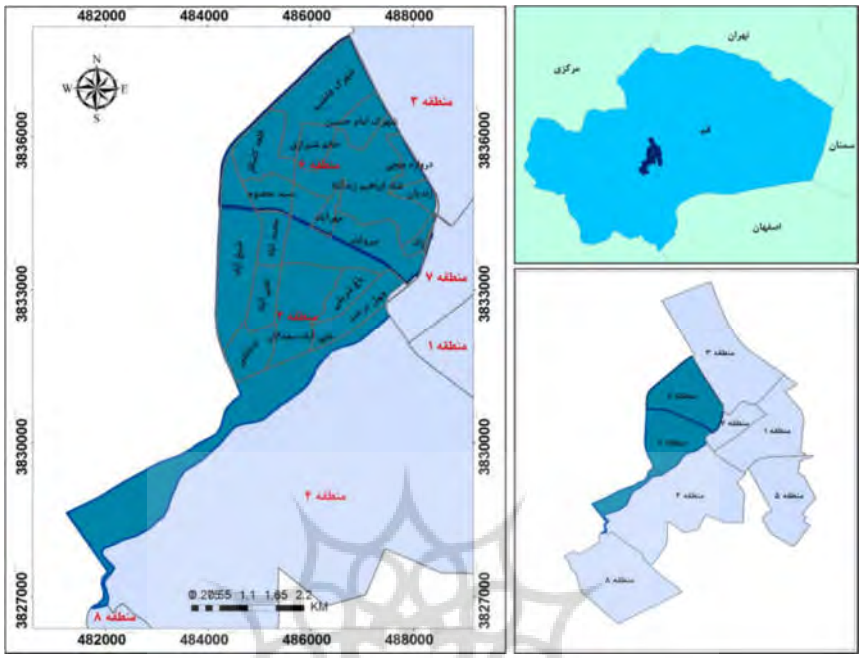
$$z_i = \frac{\int(\mu_i(z).z)dz}{\int(\mu_i(z))dz}$$ رابطه شماره (۸)

در این رابطه، z_i وزن نهایی معیار i ام می‌باشد.

معرفی منطقه موردمطالعه

مناطق (۲ و ۶) شهر قم از (۴) ناحیه و (۱۳) محله با جمعیتی حدود (۴۰۰) هزار نفر تشکیل شده است که تعداد خانه‌های مسکونی آن در حدود (۶۸) هزار واحد می‌باشد و ترکیب جمعیتی این مناطق بیشتر مهاجرانی از شهرهای آذربایجان شرقی، زنجان، اراک، همدان و شیراز می‌باشد. این مناطق از شمال هم‌مرز با منطقه سه، از شرق با منطقه هفت و از قسمت جنوب شرقی و جنوب هم‌مرز با منطقه چهار می‌باشند و کل بخش غربی آن‌ها توسط اتوبان امام علی (ع) محصور شده است. این مناطق جزء مناطق شلوغ و پرترافیک شهر قم محسوب می‌شوند؛ به همین دلیل به‌طورمعمول تراکم تصادفات در این مناطق بیشتر از سایر مناطق است. شکل شماره (۳) منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

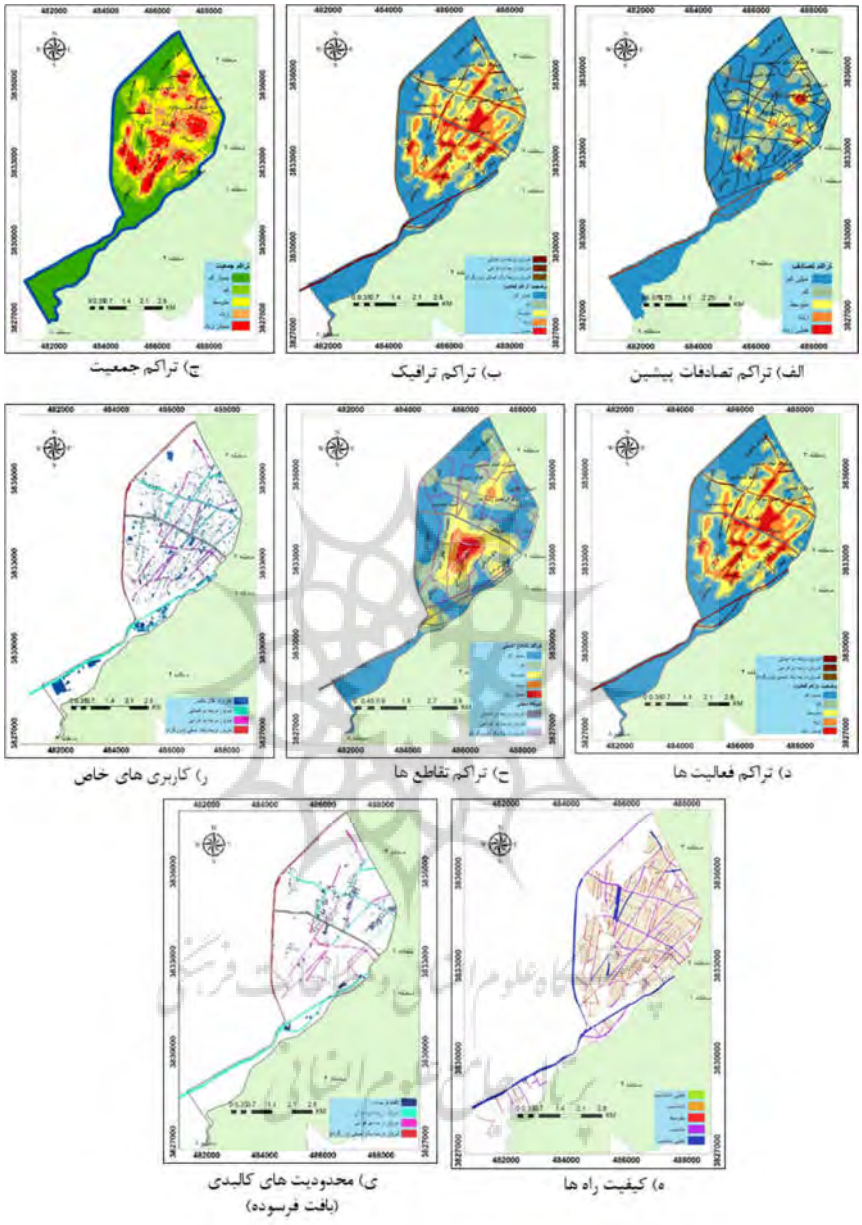


شکل شماره (۳). موقعیت مناطق موردمطالعه.

یافته‌های پژوهش

همان‌طور که قبلاً گفته شد، برای تهیه نقشه خطر تصادف، پس از تعیین معیارهای مؤثر در تصادفات، نقشه هر یک از آن‌ها در محیط GIS تهیه می‌شود. در شکل شماره (۴) لایه‌های مکانی معیارهای در نظر گرفته شده، برای خطر تصادف را نشان داده شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل شماره (۴). نقشه‌های معیارهای ارزیابی خطر تصادف.

به‌منظور تعیین اهمیت هریک از معیارهای مؤثر در خطر تصادف روش ترکیبی Fuzzy-AHP به کار گرفته شد. بدین منظور ابتدا ماتریس مقایسه‌های زوجی بر اساس روش مورد نظر تشکیل شد و مقایسه زوجی بین معیارها با استفاده از تجمیع نظرات کارشناسان حوزه ترافیک صورت گرفت. جدول مقایسه‌های زوجی حاصل از تجمیع نظرات در جدول شماره (۳) نمایش داده شده است.

جدول شماره (۳). ماتریس مقایسه‌های زوجی معیارها

معیارها	تراکم تصادف (۱)			تراکم ترافیک (۲)			تراکم جمعیت (۳)			تراکم فعالیت (۴)			تراکم تقاطع (۵)			نزدیکی به کاربری‌های خاص (۶)			کیفیت راه (۷)			محدودیت کالبدی (۸)		
(۱)	۱	۱	۱	۱/۲	۱/۶	۱/۱	۲	۱/۵	۱/۱	۲/۶	۲/۱	۱/۵	۳/۲	۲/۴	۱/۶	۲/۲	۲/۹	۱/۶	۲/۸	۲/۱	۱/۴	۳/۹	۳	۲/۱
(۲)	۰/۹	۰/۶	۰/۵	۱	۱	۱	۲/۳	۱/۷	۱/۲	۲/۳	۱/۷	۱/۲	۱/۹	۱/۴	۱	/۵	۱/۲	۱	۲/۶	۱/۹	۱/۲	۲/۸	۲/۱	۱/۵
(۳)	۰/۹	۰/۷	۰/۵	۰/۹	۱/۶	۰/۴	۱	۱	۱	۱/۷	۱/۳	۰/۹	۱/۲	۱/۵	۱	۱/۵	۲/۱	۱	۲/۳	۱/۸	۱/۲	۲/۱	۱/۵	۱
(۴)	۰/۷	۰/۵	۰/۴	۰/۹	۰/۶	۰/۴	۱/۱	۰/۸	۰/۶	۱	۱	۱	۲/۸	۲/۱	۱/۴	۱/۵	۲/۱	۱	۲/۱	۱/۵	۱	۲/۱	۱/۵	۱/۱
(۵)	۰/۶	۰/۴	۰/۳	۱	۰/۷	۰/۵	۱	۰/۷	۰/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۴	۱	۱	۱	۱	۲/۱	۱	۲/۱	۱/۵	۱	۲/۱	۱/۵	۱
(۶)	۰/۶	۰/۴	۰/۳	۱	۰/۷	۰/۵	۱	۰/۷	۰/۵	۱	۰/۷	۰/۵	۱	۰/۷	۰/۵	۱	۱	۱	۲/۴	۱/۸	۱/۳	۱/۶	۱/۲	۰/۸
(۷)	۰/۷	۰/۵	۰/۴	۰/۸	۰/۵	۰/۴	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۱	۰/۷	۰/۵	۱	۰/۷	۰/۵	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۱	۱	۱	۲/۴	۱/۸	۱/۲
(۸)	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۷	۰/۵	۰/۴	۱	۰/۷	۰/۵	۰/۹	۰/۷	۰/۵	۱	۰/۷	۰/۵	۱/۲	۰/۹	۰/۶	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۱	۱	۱

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷.

درنهایت وزن نهایی معیارها با استفاده از روش AHP Fuzzy محاسبه شد. شکل شماره (۵) وزن‌های نهایی معیارها را نشان می‌دهد.

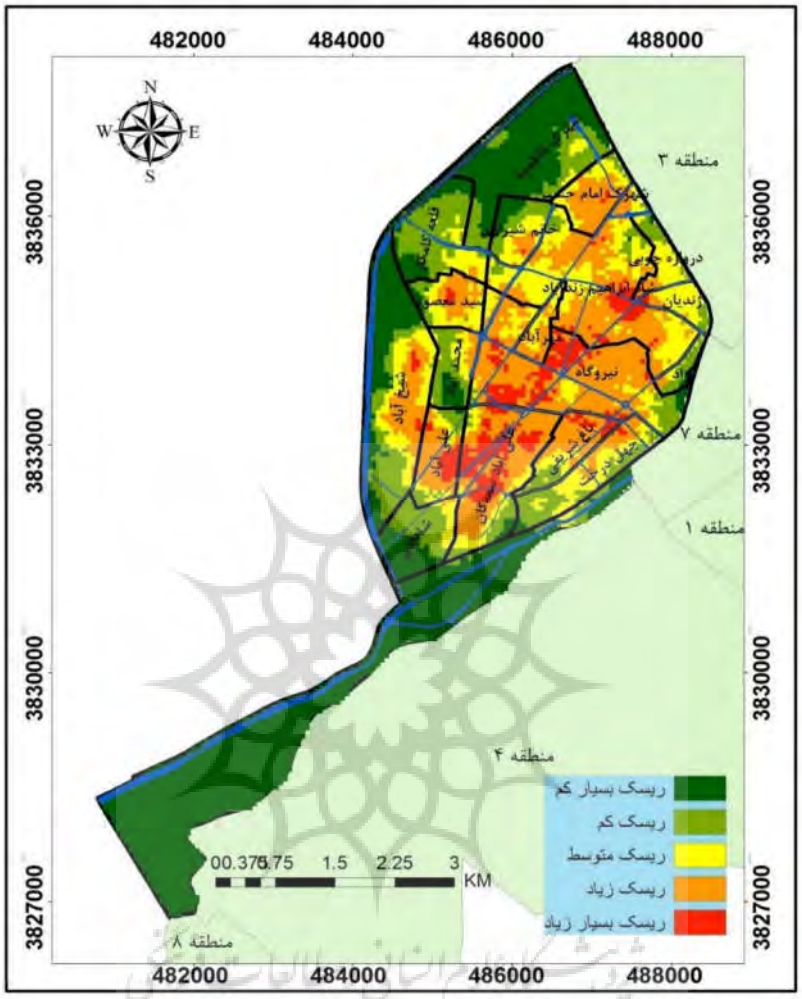
معیارها	اوزان
تراکم تصادف	۰/۲۵۱۲
حجم ترافیک	۰/۱۹۲۹
تراکم جمعیت	۰/۱۵۰۵
تراکم فعالیت	۰/۱۴۳۸
تراکم تقاطع	۰/۱۰۴۰
نزدیکی به کاربری-های خاص	۰/۰۸۱۰
کیفیت راه	۰/۰۵۶۵
محدودیت کالبدی	۰/۰۲۰۲

شکل شماره (۵). وزن‌های نهایی معیارها.

نتایج حاصل از روش Fuzzy-AHP نشان می‌دهد که بر اساس نظرات کارشناسان تصادفات رخ داده، بیشترین وزن را در خطر وقوع تصادف با وزن (۰/۲۵) دارد و حجم ترافیک با وزن (۰/۱۹) در رتبه دوم اهمیت و وزن قرار دارد. تراکم جمعیت با وزن (۰/۱۵)، تراکم فعالیت با وزن (۰/۱۴)، تراکم تقاطع با وزن (۰/۱)، فاصله از کاربری‌های خاص با وزن (۰/۰۸) و وضعیت کیفی راه با وزن (۰/۰۵) و تراکم محدودیت کالبدی با وزن (۰/۰۲) به ترتیب در وزن‌های بعدی اهمیت قرار دارند.

در مرحله پایانی، نقشه معیارها با استفاده از وزن‌های به‌دست‌آمده از روش Fuzzy-AHP وزن دهی شده و در محیط GIS هم‌پوشانی لایه‌ها صورت گرفت تا نقشه نهایی خطر تصادف به دست آید. شکل شماره (۶) نقشه خطر تصادف مناطق (۲ و ۶) شهر قم را نشان می‌دهد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل شماره (۶). نقشه نهایی خطر تصادف.

بر اساس نقشه نهایی به‌دست‌آمده، بیشترین خطر تصادف در بخش مرکزی منطقه موردمطالعه دیده می‌شود. معابر محله‌های شاه ابراهیم (تقاطع امامزاده شاه ابراهیم (ع)- آیت‌الله کاشانی)، محله نیروگاه (تقاطع جوادالائمه- بیست‌متری سواران، آیت‌الله کاشانی، خیابان مطهری، خیابان توحید) و محله علی‌آباد سعدگان (خیابان یادگار امام) به لحاظ خطر وقوع تصادف دارای بالاترین خطر می‌باشند. به‌عنوان یکی از عوامل اصلی

تصادفات، ترافیک و شلوغی بیشتر در خیابان یادگار امام، می‌توان به وجود بازار روز در این خیابان اشاره نمود. متوسط خطر وقوع تصادف را می‌توان در محله‌های امین‌آباد، شیخ‌آباد، شهرک امام حسین (ع)، باغ شریعتی و مهرآباد پیش‌بینی و کمترین خطر وقوع تصادف را می‌توان در معابر بخش محله‌های شادقلی، شهرک فاطمیه، محمدآباد و قلعه کامکار مشاهده نمود.

نتیجه‌گیری

شهرها روزبه‌روز گسترده‌تر و مشکل ترافیک، تصادف و خسارت‌های جانی و مالی نیز به‌موازات آن گسترش می‌یابد. ماهیت تصادف آن را امری اتفاقی و اجتناب‌ناپذیر معرفی می‌نماید. امروزه با تلاش‌های پژوهشگران و انجام پژوهش‌های مختلف، تغییر اساسی و روبه‌جلو جهت پیش‌بینی وقوع تصادفات صورت گرفته است. یکی از راه‌های پیش‌بینی تصادف تحلیل فضایی مناطق و معابر شهری با توجه به توجه به عوامل دخیل در وقوع تصادف و شاخص‌های تأثیرگذار در آن است. به‌عبارت‌دیگر در تحلیل فضایی، محدوده‌های شهری با توجه به شاخص‌های مختلف خطر وقوع تصادف تحلیل می‌شوند.

کلان‌شهر قم به‌ویژه مناطق (۲ و ۶) آن به دلیل بالا بودن تعداد وقوع تصادفات از اهمیت بالایی برخوردار هستند. ازاین‌رو در پژوهش حاضر سعی شد تا با به‌کارگیری تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی Fuzzy-AHP، نقشه خطر تصادف در مناطق مذکور تهیه‌شده و محدوده‌های بحرانی این مناطق شناسایی شوند. روش به‌کاربرده شده یک روش ترکیبی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی است که در برآورد ارجحیت معیارها نسبت به یکدیگر، ابهام و عدم قطعیت کاربر را نیز در نظر می‌گیرد. نتایج روش ذکرشده نشان داد، شاخص‌های تراکم تصادفات پیشین، حجم ترافیک و تراکم جمعیت از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هستند. درحالی‌که شاخص‌های فاصله از کاربری‌های خاص، وضع کیفی راه و محدودیت‌های کالبدی از اهمیت خیلی کمتری برخوردار هستند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نواحی پرجمعیت که با ترافیک سنگین نیز همراه هستند نقاط بحرانی در وقوع تصادفات به شمار می‌روند.

برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود از شاخص‌های بیشتری که ممکن است در وقوع تصادفات درون‌شهری نقش داشته باشند استفاده شود. با توجه به پژوهش‌های محدود در استفاده از تحلیل‌های تصمیم‌گیری مکانی برای برآورد خطر تصادف، پیشنهاد می‌شود از دیگر روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری مکانی نیز استفاده و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه شود. همچنین پیشنهاد می‌شود فناوری‌های نوینی که امروزه در حوزه سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در حال گسترش هستند مانند Web GIS، سامانه‌های GIS مشارکتی و غیره، جهت برآورد خطر به کار گرفته شوند.

پیشنهادها

به‌منظور ارتقاء سطح ایمنی مناطق موردمطالعه در این پژوهش موارد ذیل پیشنهاد می‌شود:

- جابه‌جایی مکان بازار روز خیابان یادگار امام (ره) به مکان دیگر برای جلوگیری از شلوغی و هرج‌ومرج؛
- بهبود ایمنی و کیفیت راه‌های درون‌شهری در نواحی مرکزی و هسته مرکزی این مناطق؛
- استفاده از روش‌های علمی جدید در دنیا برای افزایش کیفیت پوشش معابر درون‌شهری؛
- تمرکززدایی از بخش مرکزی برخی محله‌های منطقه و توزیع یکسان کاربری‌های جاذب سفر در تمام مناطق و سطوح شهر؛
- ایجاد و ساماندهی پارکینگ‌های عمومی در مکان‌های تجاری و اداری؛
- مدیریت و روان‌سازی ترافیک و نقاط متراکم مانند تقاطع‌های سوم خرداد و امامزاده شاه ابراهیم (ع)، میدان امینی، بیات، تقاطع بیست‌متری سواران- خیابان مالک اشتری؛
- فرهنگ‌سازی جهت استفاده بیشتر از وسایل حمل‌ونقل عمومی؛

- مدیریت ورودی‌ها و خروجی‌های کاربری‌های خاص و جلوگیری از ازدحام ترافیک در نقاط بحرانی مانند امامزاده شاه ابراهیم (ع)، زایشگاه الزهراء، درمانگاه امام صادق (ع) و درمانگاه امام سجاد (ع)؛
- ایجاد پارکینگ برای امامزاده شاه ابراهیم (ع) و زایشگاه الزهراء.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- پور طاهری، مهدی (۱۳۹۳). کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در جغرافیا (ویرایش دوم). تهران: انتشارات سمت.
- حجازی، سید جعفر؛ علی پور، مهدی (۱۳۹۵). اولویت‌بندی اصلاح نقاط حادثه‌خیز جاده‌ای بر اساس ممیزی ایمنی راه (موردمطالعه مسیر بین شهرستان‌های خرم‌آباد و الشتر استان لرستان). پژوهشنامه حمل‌ونقل، دوره ۱۳، شماره ۳.
- رحمانی، محمد (۱۳۹۵). پهنه‌بندی تصادفات جاده‌ای با هدف تعیین نقاط حادثه‌خیز با استفاده از GIS نمونه موردی مسیر همدان- ملایر. مجله آمایش محیط، دوره ۹، شماره ۳۴، ص ۱۵۵-۱۷۵.
- ریموند، مایر (۱۳۷۰). برنامه‌ریزی تولید و عملیات، ترجمه: حسین ابوالحسنی. تهران: نشر دی.
- قادری، فاضل؛ پهلوانی، پرهام (۱۳۹۴). یافتن پایدارترین مسیر چندحالته با استفاده از تلفیق روش Fuzzy-AHP با کمیت سنج‌های مفهومی و عملگرهای .OWA نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ۵، شماره ۲، ص ۶۷-۷۸.
- کاظمیان، غلامرضا؛ رسولی، افشین؛ رفیع پور، سعید (۱۳۹۵). مزیت‌های حمل‌ونقل ریلی درون‌شهری نسبت به جاده‌ای، بر اساس رویکرد توسعه پایدار، (موردمطالعه: خط ۴ متروی تهران). فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۶، شماره ۲۳، ص ۷۷- ۹۴.
- کلانتری خلیل‌آباد، حسین؛ پوراحمد، احمد؛ یمانی، مجتبی؛ رهنمایی، محمدتقی (۱۳۸۷). اصطلاحات و واژه‌شناسی مدیریت بحران حمل‌ونقل و طوفان ماسه. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۱۷، شماره ۶۸، ص ۵۷-۶۱.
- متکان، علی‌اکبر؛ شریعت مهیمنی، افشین؛ میرباقری، بابک؛ شهری، متین (۱۳۹۰). تحلیل مکانی تصادف‌های درون‌شهری با استفاده از رگرسیون وزنی مکانی. مجله سنجش‌ازدور و GIS ایران، دوره ۳، شماره ۳.
- محمودی، علی (۱۳۸۹). اقتصاد حمل‌ونقل تهران (ویرایش دوم). تهران: موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی.
- مسگر، علی؛ شاد، روزبه؛ صحاف، سید علی؛ مقیمی، راحیل (۱۳۹۳). آنالیز نقاط تصادف با توسعه شبکه احتمالاتی بیزین در محیط GIS . هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران. بابل: دانشگاه صنعتی نوشیروانی.
- مؤمنی، منصور (۱۳۸۲). انتخاب روش بهینه انتقال آب به مزارع نیشکر در استان خوزستان. پژوهش‌های مدیریت در ایران، دوره ۷، شماره ۳۰، ص ۱۲۳- ۱۳۶.
- مینائی، مسعود (۱۳۸۸). پیاده‌سازی مدل آمایشی کشاورزی با استفاده از منطق فازی و سامانه اطلاعات جغرافیایی :(GIS) (منطقه موردمطالعه: فریدون‌شهر). پایان‌نامه کارشناسی ارشد،دانشکده جغرافیا. تهران: دانشگاه تهران.

- وزارت کشور، وزارت راه و ترابری، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، وزارت صنایع و معادن، وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات وزارت امور اقتصادی و دارایی، جمعیت هلال‌احمر جمهوری اسلامی ایران (۱۳۸۷). آیین‌نامه مدیریت ایمنی حمل‌ونقل و سوانح رانندگی.
- وزارت کشور (۱۳۸۴). آیین‌نامه راهنمایی و رانندگی.
- Anderson, T. K. (2009), Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. Accident Analysis and Prevention, 41(3), 359-364.
- Buckley, J. J. (1985), Fuzzy hierarchical analysis. Fuzzy sets and systems, 17(3), 233-247.
- Deng, H. (1999), Multi-criteria analysis with fuzzy pairwise comparison. International journal of approximate reasoning, 21(3), 215-231.
- Eastman, J. R., Toledano, J., Jin, W. & Kyem, P. A. (1993), Participatory multi-objective decision-making in GIS. In Auto carto-conference- (pp. 33-33). ASPRS American society for photogrammetry.
- Erdogan, S., Yilmaz, I., Baybura, T., & Gullu, M. (2008), Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. Accident Analysis & Prevention, 40(1), 174-181.
- Gundogdu, I. B. (2010), Applying linear analysis methods to GIS-supported procedures for preventing traffic accidents: Case study of Konya. Safety Science, 48(6), 763-769.
- Jankowski, P. & Richard, L. (1994), Integration of GIS-based suitability analysis and multicriteria evaluation in a spatial decision support system for route selection. Environment and Planning B: Planning and Design, 21(3), 323-340.
- Jelokhani-Niaraki, M. (2013), Web 2.0-based collaborative multi-criteria spatial decision support system: a case study of human-computer interaction patterns. Electronic Thesis and Dissertation Repository, 1753.
- Lai, P. C. & Chan, W. Y. (2004), GIS for road accident analysis in Hong Kong. Geographic Information Sciences, 10(1), 58-67.
- Lee, S. & Halpin, D. W. (2003), Predictive tool for estimating accident risk. Journal of Construction Engineering and Management, 129(4), 431-436.
- Malczewski, J. (2006), GIS□based multi-criteria decision analysis: a survey of the literature, International Journal of Geographical Information Science, 20(7), 703-726.
- Nyerges, T. & Dueker, K. J. (1989), Geographic information systems in transportation, In Proceedings of the Geographic Information Systems (GIS) for Transportation Symposium Co-sponsored by American Association of State Highway and Transportation Officials. Federal Highway Administration, and Highway Engineering Exchange Program.
- Prakash, T. N. (2003), Land suitability analysis for agricultural crops: a fuzzy multi-criteria decision making approach. ITC.

- 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.
- Saaty, T. L. (1989), Group decision making and the AHP, The analytic hierarchy process, Berlin, Heidelberg, 59-67.
- Saaty, T. L. (1990), How to make a decision: the analytic hierarchy process. European journal of operational research, 48(1), 9-26.
- Saccomanno, F., Chong, K., & Nassar, S. (1997), Geographic information system platform for road accident risk modeling. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1581),18-26.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی