



پهنه‌بندی ریسک حریق در مناطق شهری با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: شهر کاشان)

مقاله پژوهشی

محمد امین وکیل الرعایا، سعید ملماسی، مژگان زعیم دار، مهناز میرزا ابراهیم طهرانی

دریافت: ۲۶ تیر ۱۴۰۰ / بازنگری: ۸ شهریور ۱۴۰۰ / پذیرش: ۱۲ مهر ۱۴۰۰

دسترسی اینترنتی: ۱۵ مهر ۱۴۰۰ / دسترسی چاپی: ۱۱ دی ۱۴۰۱

چکیده

هدف از مطالعه حاضر تعیین و شناسایی معیارهای شاخص جهت پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه، ایجاد نقشه خطر آتش‌سوزی بر اساس روش رگرسیون لجستیک و تطابق با نقشه واقعیت آتش و همچنین ارائه برنامه‌های مدیریتی و مدیریت بحران آتش‌سوزی در شهر کاشان است.

مواد و روش‌ها مراحل و تکنیک‌های مورد استفاده در این تحقیق در شش گام انجام گردید. اولین گام شناسایی معیارها و شاخص‌های تأثیرگذار است. با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، اطلاعات به‌دست‌آمده از مقالات معتبر و همچنین از طریق روش دلفی به‌منظور گردآوری نظر کارشناسان از مقیاس لیکرت استفاده شد. در گام دوم غربال‌گری معیارها متناسب باهدف انجام گرفت که معیارهای تأثیرگذار در این تحقیق عبارت‌اند از عوامل آسیب‌پذیر شامل (تراکم جمعیت، واحدهای صنعتی، تجاری-انبار، ساختمان مرتفع، بافت قدیمی و جایگاه سوخت) و همچنین ظرفیت عوامل کاهش شامل (ایستگاه آتش‌نشانی، جاده‌ها و شیرهای هیدرانت) است. در گام سوم آماده‌سازی داده‌ها و لایه‌ها جهت تحلیل در سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت. در مرحله بعد به استانداردهای لایه‌ها با استفاده از منطق فازی پرداخته شد.

پیشینه و هدف مدیریت خطر آتش‌سوزی یک مسئله جهانی است، جایی که سیاست‌های ایمنی شهری باید این موضوع را جدی بگیرند. یکی از زمینه‌های پژوهش برای کنترل آتش‌سوزی‌های شهری، شناسایی نقاط بحرانی آتش‌سوزی در منطقه است؛ زیرا عدم شناخت کافی این نقاط باعث وقوع و گسترش آتش در مناطق و کاربری‌های مختلف، تأخیر در مهار آن و وارد آمدن خسارات مالی و صدمه جانی و همچنین آلودگی‌های محیطی را در پی خواهد داشت. پهنه‌بندی ریسک حریق باهدف به‌کارگیری در برنامه‌ریزی و مدیریت در کنترل و حرائق شهری تاکنون در منطقه مطالعاتی این تحقیق مورد توجه نبوده و در قالب طرح تحقیقاتی و مطالعاتی، پژوهشی در این زمینه صورت نگرفته است.

محمد امین وکیل الرعایا^۱، سعید ملماسی^۲ (✉)، مژگان زعیم دار^۲، مهناز میرزا ابراهیم طهرانی^۲

۱. دانشجوی دکترای محیط زیست- آمایش محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
 ۲. استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
- پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: s_malmasi@iau-tnb.ac.ir

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2022.686395>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.4.3.7>

احتمالات بالاتر از ۰/۵ ارزش یک (وقوع آتش سوزی) و به احتمالات پایین تر از ۰/۵ ارزش صفر (عدم وقوع آتش سوزی) می دهد و بدین ترتیب نقشه بولین ریسک تولید می گردد. این احتمال پیش بینی شده در دامنه ۰ تا ۱ سبب می شود تغییر لگاریتمی پیوسته باشد و خروجی مدل به صورت یک نقشه پیش بینی مکانی احتمال تخریب ارائه شود. سپس در معادله رگرسیون لجستیک این لایه به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای مؤثر در پهنه بندی حریق به عنوان متغیر مستقل معرفی گردید پس از ورود داده ها به مدل آماری رگرسیون لجستیک، با استفاده از پارامترهای مؤثر در نرم افزار IDRISI، ضرایب مدل، استخراج گردید. پس از مشخص شدن اعتبار مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از شاخص های تعیین شده، نقشه پهنه بندی ریسک حریق شهر کاشان ترسیم گردید. در نهایت منطقه مورد مطالعه از نظر پتانسیل ریسک حریق به ۵ کلاس بسیار کم، ریسک کم، متوسط، بسیار زیاد، ریسک زیاد تقسیم گردید. مساحت هر یک از ۵ کلاس به دست آمده به هکتار و درصد به ترتیب ۸۷۴۷۵/۴۷، ۴۶۶۹/۰۳، ۱۳۲۱۱۵، ۱۱۱۶/۳۳، ۷۸۸/۹۶ هکتار و ۹۰/۹۴، ۴/۸۵، ۲/۱۹، ۱/۱۶، و ۰/۸۲ درصد به دست آمد.

نتیجه گیری مقدار ۰/۹۵ به دست آمده از راک ROC نشان دهنده همبستگی بسیار بالای بین متغیر مستقل و وابسته است. مقدار شاخص چی دو برابر با ۱۱۰۸۳۶/۰۷ است؛ با توجه به اینکه مقدار آن بسیار بیشتر از مقدار آستانه تعیین شده است در نتیجه فرض صفر تمام ضرایب نیز رد می گردد. مقدار آزمون PR2 در این پژوهش ۰/۴۷ می باشد، بنابراین مدل رگرسیون لجستیک برازش قابل قبولی را داشته است.

واژه های کلیدی: پهنه بندی ریسک آتش سوزی، فازی، رگرسیون لجستیک، تحلیل ارتباط فضایی، اعتبارسنجی

در ابتدا تابع فاصله (Distance) بر روی معیارها در محیط ادریسی سلوا اجرا گردید تا فاصله از هر پدیده مشخص شود. در ادامه به روش فازی همه معیارهای تعیین شده در بازه صفر تا ۲۵۵ استاندارد شدند. نوع تابع استفاده شده در رویکرد منطق فازی از نوع خطی (Linear) بوده که انتخاب نوع تابع و آستانه ها بر اساس مرور منابع و نظر کارشناسی انجام شد. به منظور تحلیل ارتباط فضایی بین حوادث آتش سوزی رخ داده در سطح شهر و نقش فاکتورهای مؤثر در وقوع آن تمامی نقاط آتش سوزی ۱۰ سال گذشته در سطح شهر از سال ۱۳۸۹ تا سال ۱۳۹۹ استخراج و به نقشه رستری تبدیل شد. در گام پنجم نقشه خطر آتش سوزی با استفاده از رگرسیون لجستیک تهیه شد که پس از مشخص شدن اعتبار مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از شاخص های تعیین شده، نقشه پهنه بندی ریسک حریق شهر کاشان ترسیم گردید. در گام آخر به منظور اعتبارسنجی مدل رگرسیون لجستیک از Chi Square، ROC و Pseudo R Square استفاده شد.

نتایج و بحث مزایای استفاده از مدل رگرسیون لجستیک علاوه بر مدل سازی مشاهده ها، امکان پیش بینی احتمال تعلق هر فرد به هر یک از سطوح متغیر وابسته و امکان محاسبه ی مستقیم نسبت به شانس متغیرها با استفاده از حداکثر در دستنمایی بیشینه ضرایب مدل است. همچنین نسبت به سایر تکنیک های آماری، چند متغیره مانند آنالیز رگرسیون چندگانه و آنالیز تشخیصی، متغیر وابسته می تواند تنها دو متغیر داشته باشد که یکی احتمال وقوع حادثه و دیگری عدم وقوع آن است. به منظور تحلیل ارتباط فضایی بین حوادث آتش سوزی رخ داده در سطح شهر و نقش فاکتورهای مؤثر در وقوع آن تمامی نقاط آتش سوزی ۱۰ سال گذشته در سطح شهر از سال ۱۳۸۹ تا سال ۱۳۹۹ استخراج و به نقشه رستری تبدیل شد. خروجی مدل رگرسیون لجستیک، ضریب هایی بین صفر و یک دارد که به

سال (۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲) از روزنامه‌ها استخراج شده است. جینگ و هوانگ (۳۰) در مقاله خود با عنوان ارائه مدل تحلیل خطر آتش‌سوزی ساختمان‌های مسکونی بر اساس خوشه‌های سناریو و کاربرد آن در مدیریت ریسک‌های آتش‌سوزی ساختمان به بررسی تصمیم‌گیری در مورد سطح خطر آتش‌سوزی پرداختند با این هدف که آیا اقدامات مناسب مدیریت ریسک در این حوزه انجام شده است یا خیر؛ بنابراین، تجزیه و تحلیل خطر ریسک به‌عنوان پایه‌ای برای مدیریت ریسک‌های آتش‌سوزی عمل می‌کند. چویکو و همکاران (۶) روش‌های تولید متغیرهای ورودی و یکپارچگی ریسک آتش در نقشه پروژه برای خطر آتش‌سوزی برای چندین منطقه اسپانیا را بررسی کردند. وکیل‌الرعا و همکاران (۲۷) در بررسی مدل‌های ارزیابی ریسک آتش‌سوزی در حوزه شهری، ابتدا مدل‌های موجود ارزیابی ریسک آتش‌سوزی را شناسایی و با مقایسه این مدل‌ها به بررسی و کاربرد آن‌ها پرداخته است. جولیا و همکاران (۱۷) عوامل مختلف مؤثر در وقوع و گسترش آتش‌سوزی شامل عوامل طبیعی و مصنوعی بوده که دارای درجه اهمیت متفاوت هستند. برخی از این عوامل صرفاً در وقوع آتش‌سوزی و برخی دیگر علاوه بر وقوع، در گسترش آتش‌سوزی حوزه خدمات شهری نیز تأثیر دارند. تراکم جمعیت از مهم‌ترین عوامل مصنوعی مؤثر در آتش‌سوزی‌های شهری محسوب می‌شود که از نظر نوع تعداد جمعیت، تراکم ساختمان، بافت قدیم، به‌کارگیری اصول ایمنی در ساخت‌وساز در وقوع و گسترش آتش تأثیر دارد. سومیا و سوماسکار (۲۵) عوامل مصنوعی (انسانی) مؤثر در وقوع آتش‌سوزی را شامل فاصله تا جاده، فاصله تا مناطق صنعتی، مراکز پرخطر و مرتفع، مراکز تجاری و انبارها و سکونتگاه‌ها بیان کرده‌اند. هوزمر و همکاران (۱۴) در مطالعه خود نشان داده است که تجزیه و تحلیل رگرسیون لجستیک اغلب برای پیش‌بینی و همچنین برای تعیین علت آتش‌سوزی ناشی از فعالیت‌های انسانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش یکی از محبوب‌ترین رویکردهای مدل‌سازی ریاضی است که می‌تواند برای توصیف رابطه چندین متغیر با یک متغیر وابسته استفاده شود. چویکو و

سازمان بهداشت جهانی آتش‌سوزی را پس از تصادفات جاده‌ای، سقوط و غرق شدن، چهارمین علت آسیب‌دیدگی تصادفی در سطح جهان معرفی کرده است. جنینگز (۱۵)، لی و همکاران (۲۱) مدیریت خطر آتش‌سوزی را یک مسئله جهانی دانسته‌اند، که بایستی سیاست‌های ایمنی شهری این موضوع را جدی بگیرند. مطابق با نظر وانگ و همکاران (۲۸) یکی از زمینه‌های پژوهش برای کنترل آتش‌سوزی‌های شهری، شناسایی نقاط بحرانی آتش‌سوزی در منطقه است؛ زیرا عدم شناخت کافی این نقاط باعث وقوع و گسترش آتش در مناطق و کاربری‌های مختلف، تأخیر در مهار آن و وارد آمدن خسارات مالی و صدمه جانی و همچنین آلودگی‌های محیطی را در پی خواهد داشت. خو و همکاران (۳۱) تهیه نقشه پتانسیل خطر آتش‌سوزی (مناطق بحرانی آتش‌سوزی) را در کاهش تعداد دفعات آتش‌سوزی و جلوگیری از وقوع آتش‌سوزی‌های مشابه در یک منطقه شهری ضروری دانسته‌اند. با توجه به وقوع آتش‌سوزی‌های مکرر در مناطق شهری به‌ویژه در شهر کاشان، انجام پژوهش‌های جدید برای کنترل و مهار آن‌ها بسیار ضروری است تا حتی‌الامکان از بروز و گسترش آن‌ها جلوگیری شده و با ارائه راهکارهای مدیریتی صحیح، زمینه‌های کنترل و مهار آن‌ها فراهم گردد. ژانگ (۳۳) به تجزیه و تحلیل خطر آتش‌سوزی در مناطق شهری بر اساس آنالیز فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی (AHP) انجام داد. تاریدال و همکاران (۲۶) نیز الگویی از خطر آتش‌سوزی شهری و ارزیابی محل ایستگاه آتش‌نشانی تهیه کرده‌اند. این مدل با استفاده از سیستم‌های خبره از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شده است. پهنه ریسک آتش‌سوزی در منطقه‌ای است که از نظر تراکم ساختمان زیاد با مواد قابل‌احتراق و بدون عبور جاده شریانی درجه یک است. یعقوب و جلیل (۳۲) تحقیقی با عنوان ارزیابی خطر آتش‌سوزی شهری انجام دادند، در این مطالعه، محققان برای نقشه‌برداری از ۲۲۰ حادثه آتش‌سوزی نمونه‌برداری در شهر شارجه امارات، از فناوری اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. این حوادث به مدت ۱۰

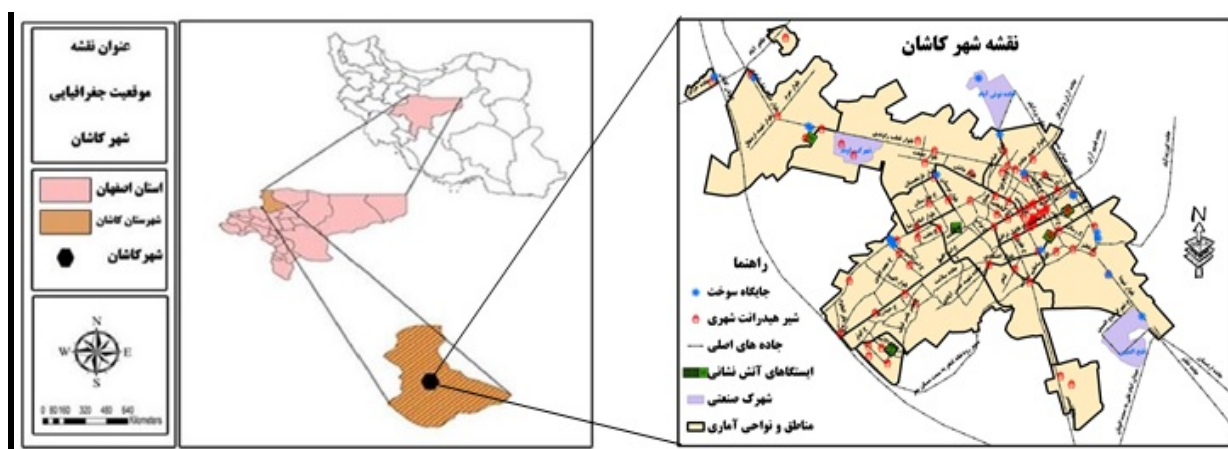
دومین شهرستان استان به حساب می‌آید. ۲۴۰ کیلومتری جنوب تهران، در فاصله ۹۰ کیلومتری جنوب شرقی قم و ۲۲۰ کیلومتری شمال اصفهان واقع شده و در بین طول ۵۱ و ۵۲ درجه و عرض‌های جغرافیایی ۳۳ و ۳۴ درجه قرار دارد. شهر کاشان در پهنه اقلیمی با زمستان‌های نسبتاً سرد و تابستان‌های خیلی گرم و خشک قرار گرفته و میزان بارندگی متوسط سالیانه در ناحیه کوهستانی ۱۷۵ میلیمتر و در دشت ۱۳۹ میلی‌متر است. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۸۰۰ متر و حداکثر ارتفاع ۳۶۱۷ متر و شهرکاشان در ارتفاع ۹۵۰ متری قرار دارد. نحوه توزیع پوشش گیاهی در مناطق کاشان بدین شکل است که در مناطق سه، چهار و پنج شهری بیشترین اراضی کشاورزی (زراعت و باغداری) و منطقه یک که بیشترین میزان بافت قدیمی و تاریخی را دارد و همچنین منطقه دو پوشش گیاهی کم تراکم و بعضاً دست کاشت را به خود اختصاص داده‌اند. این شهر تشکیل شده از ۵ منطقه و ۱۶ ناحیه شهرداری که در منطقه دو با تعداد ۱۱۷ هزار نفر و وسعت ۱۵/۰۸ کیلومترمربع دارای بیشترین جمعیت بین مناطق است؛ و همچنین منطقه یک با وسعت ۵/۱۴ کیلومترمربع دارای بیشترین مساحت بافت‌های تاریخی، قدیمی و فرسوده شهری است (شکل ۱).

کنگالتون (۷) و چویکو و سالاز (۸) به منظور بررسی تنوع فاکتورهایی که در شروع و گسترش آتش‌سوزی تأثیر دارند، ضرورت استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی را برای مکان-یابی مناطق بحرانی آتش‌سوزی روشن می‌سازد. وی (۲۹) با تعیین پهنه‌هایی از شهر که درصد ریسک حریق بالاتری دارند، می‌توان در این مناطق از رشد جمعیت و ایجاد کاربری‌های پرخطر جلوگیری کرد و در صورت نیاز از ابتدا راهکارهای مدیریتی جهت توسعه و ساخت‌وساز در این مناطق لحاظ کرد. پهنه‌بندی ریسک حریق باهدف به‌کارگیری در برنامه‌ریزی و مدیریت در کنترل و حرائق شهری تاکنون در منطقه مطالعاتی این تحقیق موردتوجه نبوده و در قالب طرح تحقیقاتی و مطالعاتی، پژوهشی در این زمینه صورت نگرفته است. هدف از مطالعه حاضر تعیین و شناسایی معیارهای شاخص جهت پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه، ایجاد نقشه خطر آتش‌سوزی بر اساس روش رگرسیون لجستیک و تطابق با نقشه‌ی واقعیت آتش و همچنین ارائه برنامه‌های مدیریتی و مدیریت بحران آتش‌سوزی در شهر کاشان است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان کاشان از توابع استان اصفهان بوده که با وسعت ۹۶۴۷ کیلومترمربع و جمعیت ۳۳۵۸۷۸ نفر، از نظر جمعیت



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر کاشان

Fig. 1. Location of the studied city

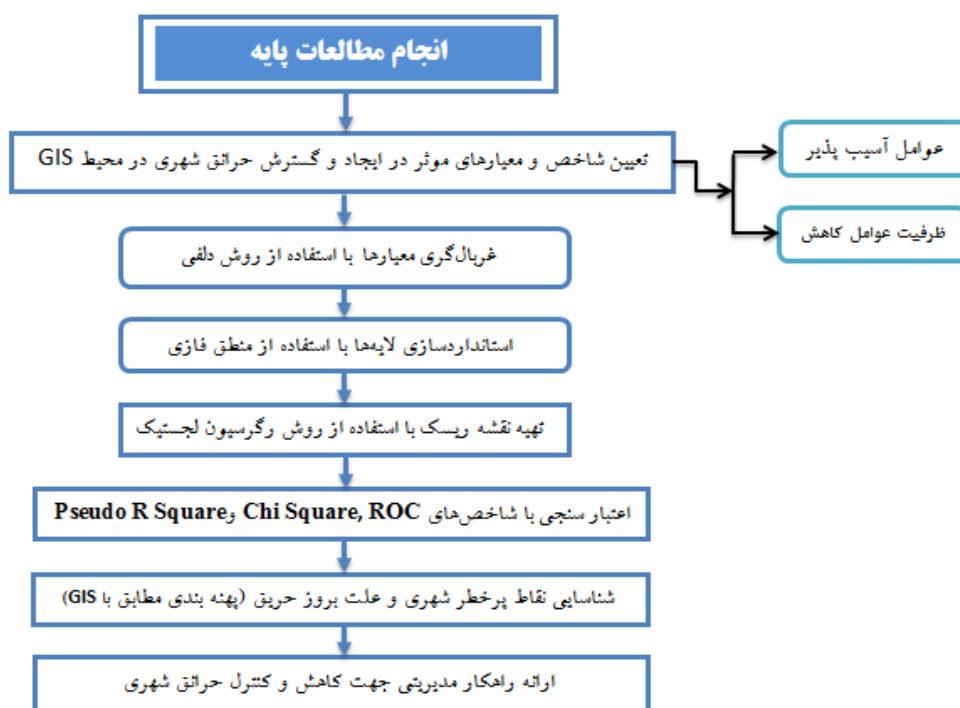
ابزارهای تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور آماده سازی لایه‌ها و استخراج نقشه‌ها و نمودارها و اجرای روش‌ها و مدل مورد استفاده در این تحقیق، از نرم افزارهای GIS استفاده شد (ArcView, ArcGIS, Idrisi Taiga) و ERDAS و توابع موجود در (Idrisi)، در تحلیل آماری از نرم‌افزارهای SPSS و Graphpad prism استفاده شد. تنظیم و طبقه‌بندی داده‌ها و نمایش ترسیمی با کمک روش آمار توصیفی انجام گرفت و سپس در بخش استنباطی، داده‌ها با

استانداردهای ملی و بین‌المللی مقایسه شده و رابطه آنها با هم بدست آمد.

روش تحقیق

جهت پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی در شهر کاشان ابتدا مراحل و تکنیک‌های مورداستفاده در این تحقیق جهت ایجاد درک بهتر و منسجم به تفصیل در شش گام به شرح شکل ۲ و جدول ۱ تشریح شده است.



شکل ۲. فلودیاگرام گام‌های انجام تحقیق

Fig. 2. Flow diagram Research steps

تعیین مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی

اولین گام جهت پهنه‌بندی ریسک آتش‌سوزی در مناطق شهری، شناسایی معیارها و شاخص‌های تأثیرگذار است. در این تحقیق با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، اطلاعات به‌دست‌آمده از مقالات معتبر و همچنین از روش دلفی که با تنظیم پرسشنامه و توزیع بین کارشناسان سازمان آتش‌نشانی و تعدادی از اعضای هیئت علمی دانشگاه‌ها (گروه آمایش شهری و برنامه‌ریزی شهری) و ارزیابان محیط زیست شاغل در

موسسات خصوصی تهران در سال ۱۳۹۹ با استفاده از مقیاس لیکرت به‌منظور گردآوری نظر کارشناسان استفاده شد. مقیاس لیکرت پنج امتیاز یا هفت نقطه مشترک است مقیاس ۷ نقطه‌ای ارتباط مستقیمی با نتایج آزمون t دارد (۱۰ و ۲۰). برای توسعه مقیاس هفت نقطه‌ای لیکرت، از دو مقیاس زبانی «کاملاً موافق» و «کاملاً مخالف» در هر دو انتهای طیف استفاده می‌شود. برای مقیاس‌های هفت مرحله‌ای، معیارهایی با میانگین پایین‌تر از پنج حذف می‌شوند (۱۳).

جدول ۱. مراحل و تکنیک‌های تحقیق

Table 1. Research steps and techniques

گام ششم Step 6	گام پنجم Step 5	گام چهارم Step 4	گام سوم Step 3	گام دوم Step 2	گام اول Step 1
ارزیابی صحت Accuracy assessment	شناسایی مناطق پرخطر Identify high risk areas	استانداردسازی لایه‌ها با استفاده از منطق فازی Standardization of layers using fuzzy logic	GIS ready (آماده) سازی داده‌ها برای تحلیل‌های فضایی (Preparation of data for spatial analysis)	غربال‌گری معیارها متناسب باهدف Screening criteria according to purpose	جمع‌آوری و انتخاب داده‌های موردنیاز Collect and select the required data
آزمون ROC آزمون Chi Square آزمون Pseudo R Squar	روی هم‌گذاری لایه‌ها Overlay layers رگرسیون لجستیک logistic regression	عملگرهای منطق فازی Linear Linear fuzzy logic operators الف (منطق کاهش‌ی A(Decreasing logic ب) منطق افزایشی B) incremental logic	۱- زمین مرجع کردن لایه‌ها 1- Ground reference of layers ۲- تبدیل سیستم مختصات به UTM و زون ۳۹ 2- Convert coordinate system to UTM and zone 39 ۳- تحلیل فاصله 3- Distance analysis ۴- طبقه‌بندی 4- Classification	تراکم جمعیت population density واحدهای صنعتی industrial units تجاری- انبار Commercial - Warehouse مرتفع - پرخطر High - high risk بافت قدیمی شهر old texture of the city جایگاه سوخت petrol station ایستگاه آتش‌نشانی station fire جاده‌ها roads شیرهای هیدرانت Hydrant valves	مطالعات کتابخانه‌ای Library Studies مقالات معتبر Authentic articles روش دلفی Delphi method (نقشه جمعیت شهر کاشان مربوط به سال ۱۳۹۵ (Population map of Kashan related to 2016)

جمع‌آوری داده‌ها و استانداردسازی آن‌ها

غربال‌گری معیارها متناسب باهدف انجام گرفت معیارهای ارزیابی شناسایی شده از مرحله قبل را می‌توان بر دو گروه عوامل آسیب‌پذیر شامل (تراکم جمعیت، واحدهای صنعتی، تجاری- انبار، ساختمان مرتفع - پرخطر، بافت قدیمی شهر و جایگاه سوخت) و همچنین ظرفیت عوامل کاهش شامل (ایستگاه آتش‌نشانی، جاده‌ها و شیرهای هیدرانت) تقسیم‌بندی کرد. به این ترتیب منبع تهیه لایه‌های نقشه‌ای کاربری‌های تجاری- انبار، بافت قدیمی، نقاط مرتفع- پرخطر و جمعیت از نقشه کاربری اراضی و جمعیت و لایه‌های

شهرک صنعتی، جاده‌ها، شیرهای هیدرانت، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و جایگاه‌های سوخت نیز از نقشه‌های موضوعی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ استخراج گردید. نقشه مکانی نقاط حریق طی ۱۰ سال گذشته به وسیله GPS و اطلاعات موجود در سازمان آتش‌نشانی کاشان تهیه گردید. برای کلیه لایه‌های نقشه‌ای اندازه پیکسل ۱۰×۱۰ متر در نظر گرفته شد. آماده‌سازی داده‌ها و لایه‌ها جهت تحلیل در سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت به این ترتیب عملیات زمین مرجع کردن لایه‌ها تبدیل سیستم مختصات لایه‌ها به utm و زون ۳۹ انجام شد. جهت تحلیل فاصله در محیط GIS از روش فاصله اقلیدسی

نوع تابع استفاده‌شده در رویکرد منطق فازی از نوع خطی (Linear) بوده که انتخاب نوع تابع و آستانه‌ها بر اساس مرور منابع و نظر کارشناسی طبق جدول ۲ انجام شد (۱۲). این روش یک تابع خطی بین مقادیر کمینه و بیشینه ارزش‌ها و مقادیر، بکار گرفته می‌شود (رابطه ۲). مقادیری که کمتر از ارزش کمینه باشند فاقد درجه عضویت خواهند بود و مقادیری که بالای ارزش بیشینه باشند درجه عضویت را به‌طور کامل می‌گیرند و ارزش ۱ دریافت می‌کنند.

$$\mu(x) = 0 \text{ if } x < \min, \mu(x) = 1 \text{ if } x > \max$$

$$\text{otherwise } \mu(x) = \left(\frac{(x - \min)}{(\max - \min)} \right) \quad [2]$$

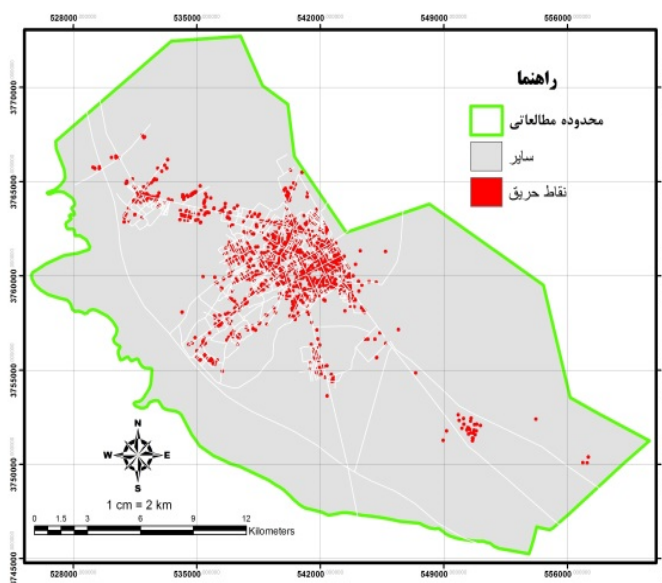
شناسایی نقاط آتش‌سوزی

به‌منظور تحلیل ارتباط فضایی بین حوادث آتش‌سوزی رخ داده در سطح شهر و نقش فاکتورهای مؤثر در وقوع آن تمامی نقاط آتش‌سوزی ۱۰ سال گذشته در سطح شهر از سال ۱۳۸۹ تا سال ۱۳۹۹ استخراج و به نقشه رستری تبدیل شد. (در شکل ۳ تمامی نقاط آتش‌سوزی جدول ۳ که به تفکیک نوع کاربری و تعداد در یک سال مشخص گردیده عدد ۱ و سایر نقاط وزن صفر دریافت نمودند). این داده‌ها از "نرم افزار مهار" سازمان آتش‌نشانی شهر کاشان در سال ۱۳۹۹ استخراج گردیده است.

استفاده‌شده است. فاصله اقلیدسی از رابطه ۱ قابل محاسبه است.

$$d(q, p) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2} \quad [1]$$

در این رابطه؛ فاصله اقلیدسی دو بردار q و p برابر است با مجموع ریشه دوم اختلاف مختصات بردارها در دستگاه مختصات است (۳). خروجی این محاسبات یک لایه رستری است که فاصله پیکسل‌ها یا نقاط موردنظر بر روی نقشه را نمایش می‌دهد. در مرحله بعد به استانداردسازی لایه‌ها با استفاده از منطق فازی پرداخته شد. استفاده از سیستم‌های فازی به گروه‌های متخصص به عنوان تصمیم‌گیرنده اجازه می‌دهد تا نظرات خود را به صورت کیفی بیان کنند این رویکرد بیان عدم قطعیت نظرات به دست آمده را امکان‌پذیر می‌سازد (۲۳) منطق فازی می‌تواند به عنوان یک پایه ریاضی برای بسیاری از متغیرها و سیستم‌ها مبهم و نادرست عمل کند. همچنین می‌تواند زمینه را برای استدلال، تفسیر، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط نامشخص فراهم آورد (۱ و ۲). در ابتدا تابع فاصله (Distance) بر روی معیارها در محیط ادریسی سلوا اجرا گردید تا فاصله از هر پدیده مشخص شود. در ادامه به روش فازی همه معیارهای تعیین‌شده در بازه صفر تا ۲۵۵ استاندارد شدند.



شکل ۳. نقاط حریق ۱۰ سال گذشته شهر کاشان

Fig. 3. Fire spots of the last 10 years in Kashan

جدول ۲. آستانه معیار، شکل و نوع تابع عضویت

Table 2. Criterion threshold, shape and type of membership function

مقدار عضویت Membership amount	استاندارسازی Standardization	شکل تابع عضویت Membership function form	معیارهای تاثیرگذار Influential criteria
۰	< ۱۵۰		
۰ - ۲۵۵	۱۵۰ - ۷۰۰	خطی - افزایشی Linear- Additive	جمعیت Population
۲۵۵	> ۷۰۰		
۲۵۵	۰ - ۴۰		
۰ - ۲۵۵	۴۰ - ۱۰۰۰	خطی - کاهش Linear- Additive	صنعتی و کارگاهی Industrial and workshop
۰	> ۱۰۰۰		
۲۵۵	۰ - ۲۵		
۰ - ۲۵۵	۲۵ - ۳۰۰	خطی - کاهش Linear- Additive	تجاری - انبار Commercial - Warehouse
۰	> ۳۰۰		
۲۵۵	۰ - ۱۵		
۰ - ۲۵۵	۱۵ - ۵۰۰	خطی - کاهش Linear- Additive	ساختمان مرتفع High-rise building
۰	> ۵۰۰		
۲۵۵	۰ - ۲۰		
۰ - ۲۵۵	۲۰ - ۶۰۰	خطی - کاهش Linear- Additive	بافت قدیمی old texture
۰	> ۶۰۰		
۲۵۵	۰ - ۵۰		
۰ - ۲۵۵	۵۰ - ۵۰۰	خطی - کاهش Linear- Additive	جایگاه سوخت petrol station
۰	> ۵۰۰		
۰	۰ - ۲۵۰۰	خطی - افزایش Linear- Additive	فاصله از ایستگاه آتش نشانی Distance from fire station
۲۵۵	> ۲۵۰۰		
۰	۰ - ۲۵		
۰ - ۲۵۵	۲۵ - ۱۵۰	خطی - افزایش Linear- Additive	فاصله از راه دسترسی Distance from access
۲۵۵	> ۱۵۰		
۰	۰ - ۶۰		
۰ - ۲۵۵	۶۰ - ۸۰۰	خطی - افزایش Linear- Additive	فاصله از هیدرانت Distance from hydrant
۲۵۵	> ۸۰۰		

جدول ۳. تعداد حرائق سالانه در شهر کاشان (در طول مدت ۱۰ سال)
Table 3. Number of annual fires in Kashan (during 10 years)

کاربری	۱۳۸	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹	۱۳۹
	۹	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
کارخانه Factory	۲۵	۵۸	۴۵	۵۱	۳۴	۳۳	۳۶	۳۱	۲۳	۳۲
مسکونی Residential	۸۶	۷۶	۸۹	۱۱۲	۶۴	۱۱۳	۱۰۹	۱۰۶	۷۲	۱۷۷
تجمع Aggregation	۱۱	۹	۵	۵	۵	۴	۳	۹	۷	۱۹
تجاری Commercial	۴۲	۴۸	۵۰	۵۶	۷۵	۵۱	۵۶	۵۰	۵۶	۶۸
درمانی Therapeutic	۱	۲	۱	۱	۴	۱	۲	۲	*	۱
انبار Store	۱۴	۲۳	۹	۲۶	۲۲	۱۰	۸	۳	۱۲	۱۲

معادله رگرسیون لجستیک این لایه به‌عنوان متغیر وابسته و پارامترهای مؤثر در پهنه‌بندی حریق به‌عنوان متغیر مستقل معرفی گردید. پس از ورود داده‌ها به مدل آماری رگرسیون لجستیک، با استفاده از پارامترهای مؤثر در نرم‌افزار IDRISI، ضرایب مدل، مطابق با جدول ۴ استخراج گردید (۱۱).

جدول ۴. ضرایب حاصل از رگرسیون لجستیک

Table 4. Coefficients obtained from logistic regression

	متغیرهای مستقل Independent variables	ضرایب Coefficients
X ₀	عدد ثابت constant number	-۴/۱۹
X ₁	جمعیت population	۰/۰۱
X ₂	فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی Distance from fire station	-۰/۰۰۱۵
X ₃	صنعتی - کارگاهی Industrial and workshop	۰/۰۰۲۴۵
X ₄	تجاری - انبار Commercial - Warehouse	۰/۰۱۴
X ₅	بافت قدیمی old texture	۰/۰۰۲۶
X ₆	فاصله از راه دسترسی Distance from access	-۰/۰۰۱۹
X ₇	جایگاه سوخت petrol station	-۰/۰۰۰۲۹
X ₈	ساختمان مرتفع High-rise building	۰/۰۰۳۹
X ₉	فاصله از شیر هیدرانت Distance from hydrant	-۰/۰۰۳۶

تلفیق معیارها به روش رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک یک روش آماری است که متعلق به گروه مدل‌های آماری خطی تعمیم‌یافته است که با استفاده از متغیرهای مستقل احتمال وقوع یک رویداد را پیش‌بینی می‌کند. در رگرسیون لجستیک متغیر وابسته یک متغیر دو حالتی است بدین‌صورت که صفر به‌منزله عدم وقوع و یک به‌منزله وقوع رویداد است. خروجی مدل ضرایب‌هایی بین صفر و یک دارد که به احتمالات بالاتر از ۰/۵ ارزش یک (وقوع آتش‌سوزی) و به احتمالات پایین‌تر از ۰/۵ ارزش صفر (عدم وقوع آتش‌سوزی) می‌دهد و بدین ترتیب نقشه بولین ریسک از رابطه ۳ تهیه گردید (۵ و ۱۱).

$$p\left(\frac{y-1}{x}\right) = \frac{\exp(\sum BX)}{1 + \exp(\sum BX)} \quad [3]$$

در این رابطه؛ P احتمال ۱ بودن متغیر وابسته، X متغیرهای مستقل و B مقدار ثابت برآورد شده و Y همان متغیر وابسته که در اینجا آتش‌سوزی است. به‌منظور خطی سازی رابطه بالا تغییر لگاریتمی روی آن صورت می‌گیرد و به‌صورت رابطه ۴ بیان می‌شود.

$$\text{Loge}\left(\frac{p}{1+p}\right) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_3 x_3 + \text{error term} \quad [4]$$

این تغییر لگاریتمی سبب می‌شود احتمال پیش‌بینی‌شده در دامنه ۰ تا ۱ پیوسته باشد و خروجی مدل به‌صورت یک نقشه پیش‌بینی مکانی احتمال تخریب ارائه شود. سپس در

پیش‌بینی شده‌اند (False positive)، ترسیم می‌گردد (۲۴). آماره PseudoR2 برابر ۰/۲ به‌عنوان برازش خوب در نظر گرفته می‌شود. لانگلویس (۱۸) مقدار ROC از ۰/۵ تا ۱ متغیر است؛ در این آزمون ۱ بیانگر تطابق کامل و ۰/۵ نشان‌دهنده تطابق اتفاقی است. آزمون Chi Square، برای رگرسیون لجستیک آزمودن معتبر و معمول است که از اختلاف بین $-2\ln(L)$ برای مدل بهترین برازش و $-2\ln(L0)$ برای فرضیه صفر به دست می‌آید. چنانچه این آماره در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار باشد ($\text{Chi Square} > 14.1$) فرضیه صفر (H_0) رد می‌شود. مقدار PR2 بر اساس رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

$$\text{PR2} = 1 - \ln(L) / \ln(L0) \quad [5]$$

آزمودن PR2 نشان می‌دهد که چگونه مدل لجستیک، مجموعه داده‌ها را برازش می‌دهد. چنانچه PR2 مساوی ۱ باشد بیانگر برازش کامل و اگر مقدار آن مساوی صفر باشد نشان‌دهنده عدم رابطه متغیرهای مستقل با متغیر وابسته است. همچنین اگر این مقدار بزرگ‌تر از ۰/۲ باشد نشان‌دهنده برازش نسبتاً خوب مدل است. اعتبارسنجی تمامی نتایج بدست آمده از شاخص‌ها طبق جدول ۵ مورد تحلیل قرار گرفت (۲۲).

اعتبارسنجی با شاخص‌های ROC، Chi Square، Pseudo و R Square

روش راک ROC در واقع روشی برای ارزیابی صحت یک نقشه پیوسته بر اساس نقشه خروجی از مدل به کار می‌رود. آماره ROC یک عامل نسبی است که برای ارزیابی صحت یک مدل‌سازی موقعیت وقوع از یک کلاس به‌وسیله مقایسه کردن با یک تصویر مناسب و عکس‌های خروجی که نشان می‌دهد دقیقاً در کدام مناطق اتفاق افتاده است و درست‌نمایی آن را در کلاس مشخص می‌کند. در این مطالعه با استفاده از IDRISI انجام شده است. در تجزیه و تحلیل ROC، مساحت زیر منحنی (AUC) نشان‌دهنده قدرت تشخیص یا درستی نتایج یک آزمون است. مقدار عددی AUC به وضوح عددی بین صفر تا یک است. اگر این عدد به یک نزدیک باشد، به معنای آن است که داده‌ها عموماً در بالای خط نیم‌ساز قرار گرفته‌اند و میزان نرخ مثبت صحیح بالا است و روش آزمون از قدرت تشخیص یا درستی مناسبی برخوردار است (۹ و ۱۹). این آماره به شکل نموداری است و در آن نسبت پیکسل‌هایی که توسط مدل به‌درستی تغییر پیش‌بینی شده‌اند (True Positive) در برابر مقدار مکمل آن یعنی پیکسل‌هایی که به نادرست تغییر

جدول ۵. مقایسه اعتبارسنجی بدست آمده با استانداردها

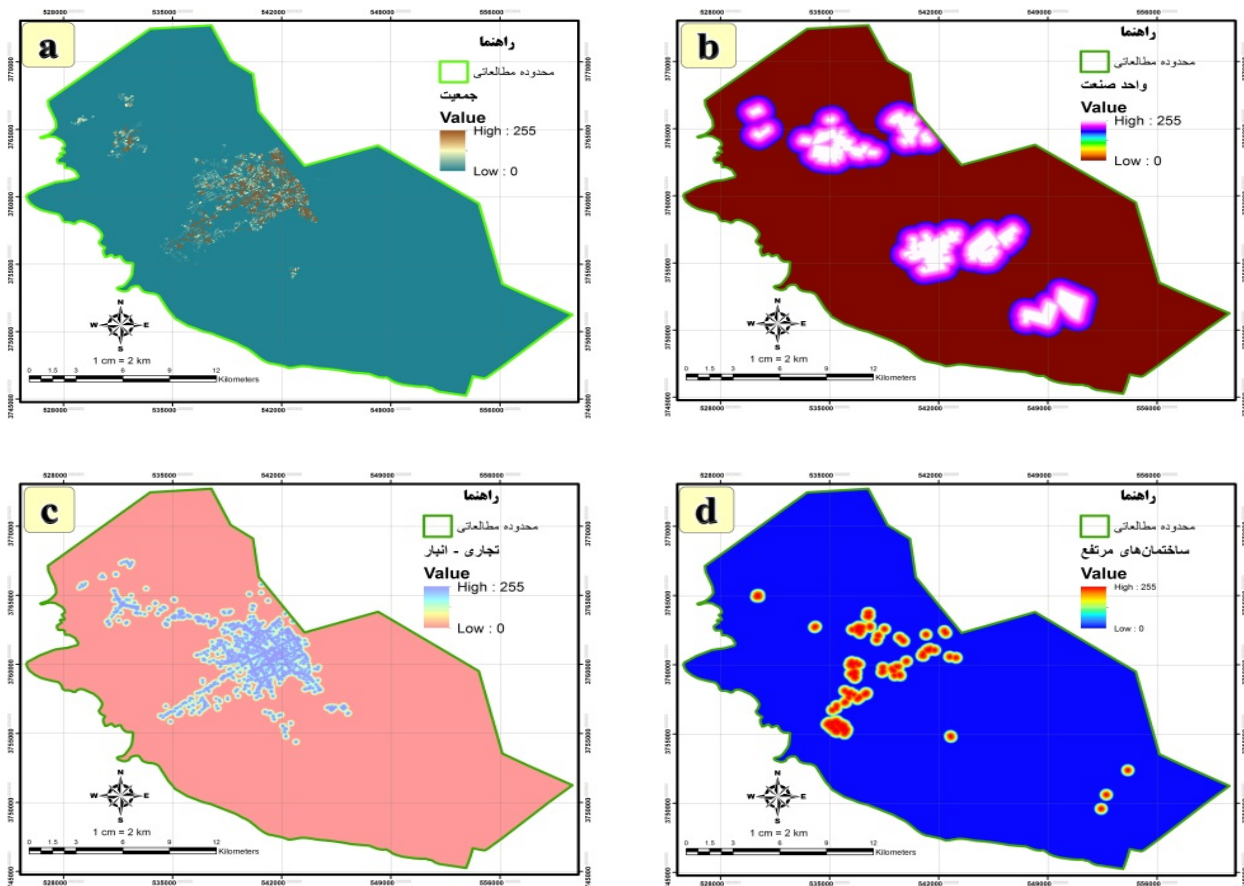
Table 5. Comparison of validation obtained with standards

ارزش بدست آمده Value obtained	اعتبارسنجی Validation	استاندارد Standard	آزمون (شاخص) Test (index)
۰/۹۵	تطابق کامل Full matching	ROC = 1	ROC
	تطابق اتفاقی Random matching	ROC = 0.5	
۰/۷۴	قابل قبول acceptable	AUC > 0.7	AUC
	بدون قدرت تشخیص No discernment	AUC = 0	
۱۱۰۸۳۶/۰۷	رد شدن فرضیه صفر (H_0) Rejection of Hypothesis Zero (H_0)	Chi Square > 14.1	Chi Square(-2Ln(L0))(-2Ln(L))
	برازش کامل (Perfect fit)	PR2 = 1	
۰/۴۷	عدم رابطه Lack of relationship	PR2 = 0	Pseudo R Squar(PR2)
	برازش نسبتاً خوب Relatively good fit	PR2 > 0.2	

نتایج

این روش دارای یک تابع خطی مثبت و یک تابع خطی منفی است. در روش مثبت، مقادیر زیر کمینه فاقد عضویت هستند و در روش خطی منفی، مقادیر بالای بیشینه فاقد درجه عضویت هستند. برای مثال از آنجا که شهرک‌های صنعتی یک شاخص با احتمال خطر بالا برای آتش‌سوزی محسوب می‌گردد و بافاصله از این مناطق احتمال خطر کاهش می‌یابد، در نتیجه منطق فازی که برای این لایه استفاده می‌شود منطق فازی Linear در حالت معکوس است. سپس پارامترهای تأثیرگذار در نرم‌افزار ArcGIS و IDRISI مطابق با شکل ۴ آماده‌سازی و نمودارهای تابع عضویت استانداردسازی هر یک از فاکتورهای مؤثر در ریسک آتش‌سوزی در شکل ۵ نمایش داده شد.

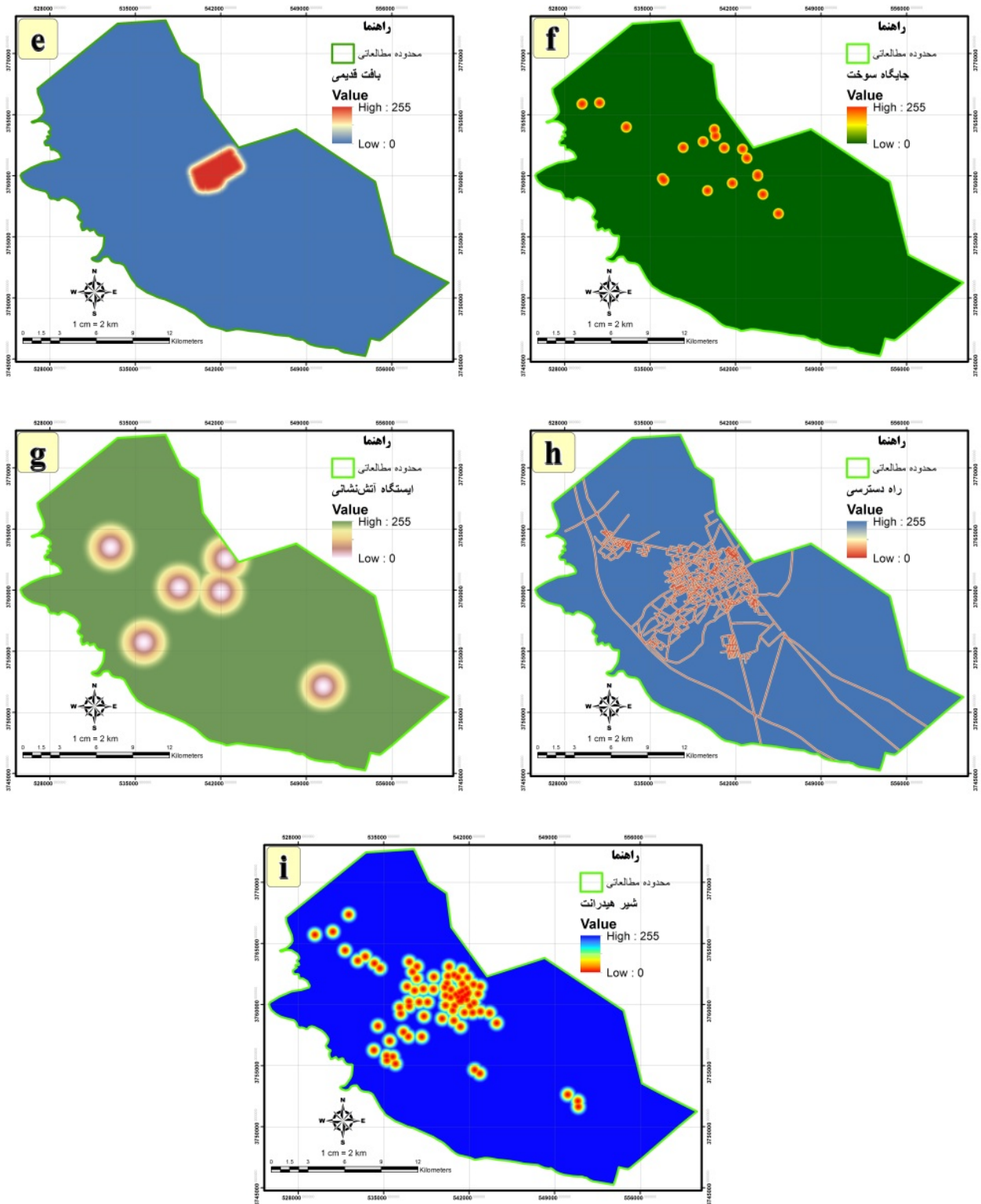
مزایای استفاده از مدل رگرسیون لجستیک علاوه بر مدل‌سازی مشاهده‌ها، امکان پیش‌بینی احتمال تعلق هر فرد به هر یک از سطوح متغیر وابسته و امکان محاسبه مستقیم نسبت به شانس متغیرها با استفاده از حداکثر درست‌نمایی بیشینه ضرایب مدل است (۱۶). همچنین نسبت به سایر تکنیک‌هایی آماری، چند متغیره مانند آنالیز رگرسیون چندگانه و آنالیز تشخیصی، متغیر وابسته با بکارگیری احتمال وقوع حادثه و دیگری عدم وقوع آن می‌تواند تنها دو متغیر داشته باشد (۱۹).



شکل ۴. نقشه‌های فازی تأثیرگذار در وقوع و کنترل آتش‌سوزی‌های شهری (a) جمعیت (b) واحد صنعتی (c) تجاری - انبار (d) ساختمان مرتفع

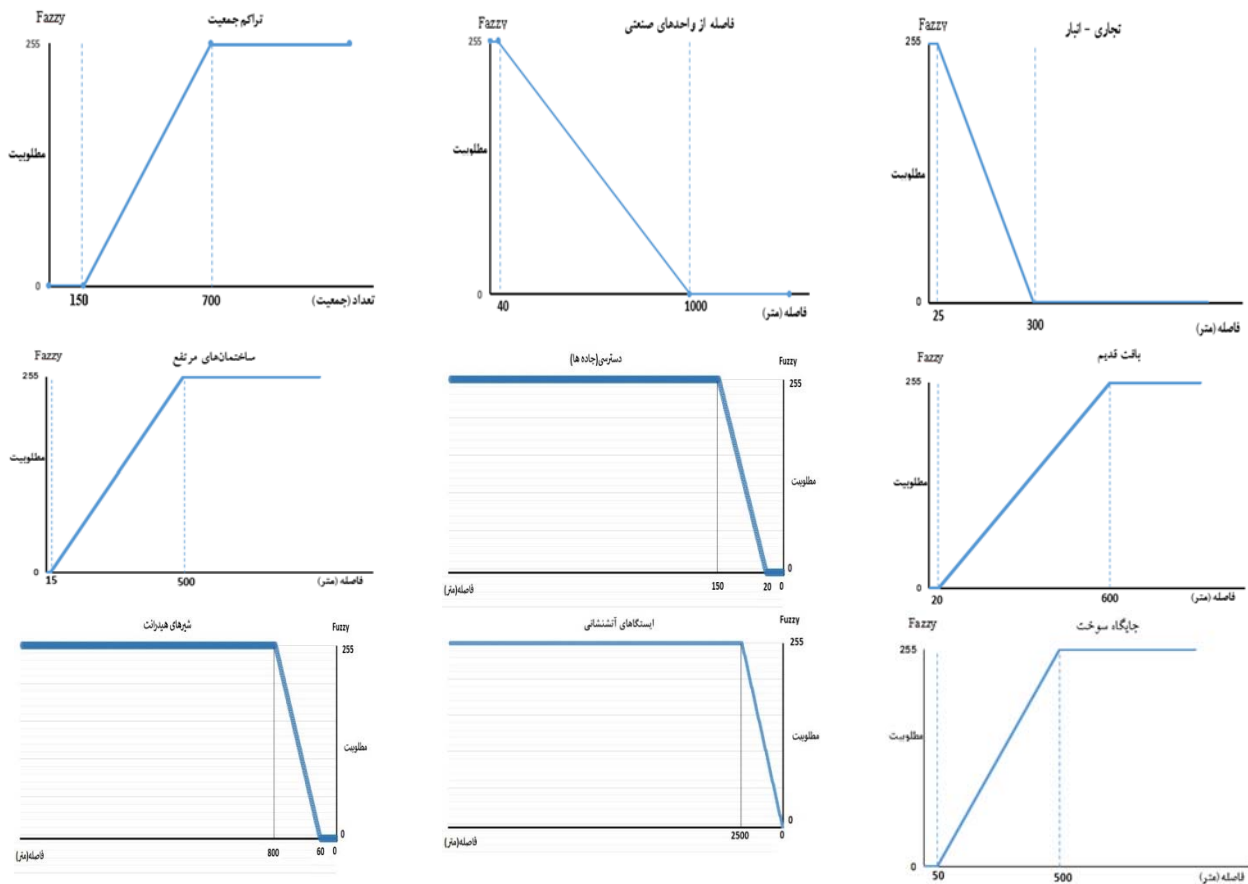
مرتفع

Fig.4. Effective fuzzy maps in the occurrence and control of urban fires a(population b) industrial unit c(commercial - warehouse d) high-rise building

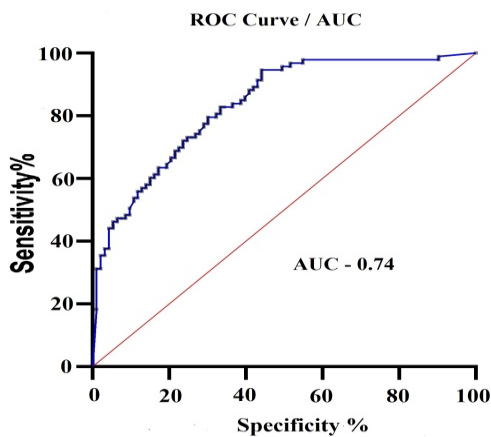


ادامه شکل ۴. نقشه‌های فازی تأثیر گذار در وقوع و کنترل آتش‌سوزی‌های شهری؛ e) بافت قدیمی f) جایگاه سوخت g) فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی h) فاصله از جاده i) فاصله از شیر هیدرانت

Fig.4. Effective fuzzy maps in the occurrence and control of urban fires; e) old texture f) fuel station g) distance from the fire station h) distance from the road i) distance from the hydrant valve



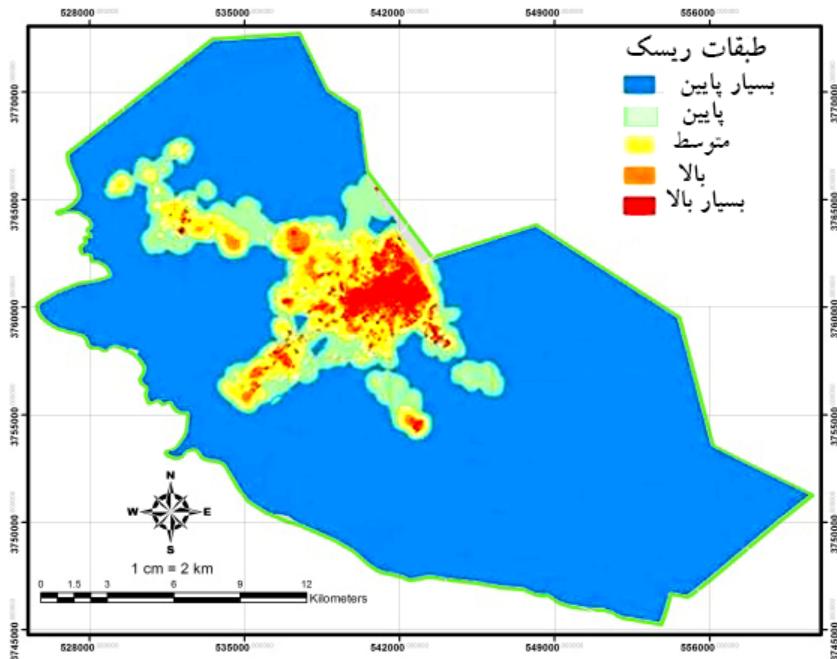
شکل ۵. نمودارهای تابع عضویت استانداردسازی فاکتورهای مؤثر در ریسک آتش‌سوزی
 Fig.5. Membership function diagrams for standardization of fire risk factors



شکل ۶. آماره راک ROC به دست آمده جهت صحت سنجی روش رگرسیون لجستیک

Fig. 6. ROC statistics obtained to validate the logistic regression method

در نهایت نقشه خطر آتش‌سوزی با استفاده از رگرسیون لجستیک در نرم‌افزار IDRISI و ArcGIS تهیه شد. پس از مشخص شدن اعتبار مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از شاخص‌های مورد استفاده (شکل ۶)، نقشه پهنه‌بندی ریسک حریق شهر کاشان ترسیم گردید (شکل ۷). در نهایت منطقه مورد مطالعه از نظر پتانسیل ریسک حریق به ۵ کلاس بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین تقسیم گردید. مساحت به هکتار و درصد هر یک از ۵ کلاس با توجه به جدول ۵ تعیین گردید.



شکل ۷. پهنه‌بندی ریسک حریق با روش لجستیک

Fig.7. Fire risk zoning by logistic method

جدول ۵. نتایج پهنه‌بندی ریسک حریق با روش لجستیک

Table 5. Results of fire risk zoning by logistic method

درصد Percentage	مساحت به هکتار Area per hectare	ارزش Value
۹۰/۹۶	۸۷۴۷۵/۴	ریسک بسیار کم Very low risk
۴/۸۵	۴۶۶۹/۰۳	ریسک کم Low risk
۲/۱۹	۲۱۱۵/۱	خنثی Neutral
۱/۱۶	۱۱۱۶/۳	ریسک زیاد Neutral High risk
۰/۸۲	۷۸۸/۹۶	ریسک بسیار زیاد risk Too much
۱۰۰	۹۶۱۶۴/۹	مجموع Total

و عدم حضور عوامل مختلف و معنی‌داری این حضور یا عدم حضور است (۳ و ۴). در این تحقیق از مدل رگرسیون لجستیک به منظور تحلیل ارتباط فضایی بین حوادث آتش-سوزی رخ داده در سطح شهر و نقش فاکتورهای مؤثر در وقوع آن استفاده گردید. استفاده از ضرایب حاصل از رگرسیون

بحث و نتیجه‌گیری

رگرسیون لجستیک یک مدل تحلیلی چند متغیره از گروه مدل‌های آماری خطی تعمیم‌یافته است که هدف اصلی از آن، مدل‌سازی احتمال وقوع یک رویداد دوحالتی متداول، حضور

حریق شهری هستند. با مقایسه برآورد مدل‌ها از میزان ریسک حریق با یکدیگر و با نقاط با سابقه آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه و همچنین نتایج به‌دست‌آمده از آزمون‌های می‌توان دید که مدل رگرسیون لجستیک برآورد مناسب‌تری نسبت به سایر مدل‌ها از منطقه داشته است. نتایج اعتبار سنجی با شاخص‌های مورد استفاده بیانگر آن است که مقدار $0/95$ به‌دست‌آمده از آزمون ROC نشان‌دهنده همبستگی بسیار بالای بین متغیر مستقل و وابسته است. سطح زیر منحنی (AUC) آزمون ROC در این مطالعه $0/74$ است. به معنای آن است که داده‌ها عموماً در بالای خط نیم‌ساز قرار گرفته‌اند و میزان نرخ مثبت صحیح بالا است و روش آزمون از قدرت تشخیص یا درستی مناسبی برخوردار است. این مقادیر با مطالعه دل‌هویو و همکاران (۹) مطابقت دارد.

مقدار شاخص چي دو به‌دست‌آمده از آزمون ChiSquare برابر با $110836/07$ است؛ در نتیجه فرض صفر تمام ضرایب نیز با توجه به اینکه مقدار آن بسیار بیشتر از مقدار آستانه تعیین‌شده است رد می‌گردد. در آزمون Pseudo R (PR2) Squar با استناد به توضیحات چون مقدار آزمون PR2 در این پژوهش $0/47$ بوده بنابراین مدل رگرسیون لجستیک برازش قابل قبولی را داشته است.

با توجه به نقشه خروجی از مدل رگرسیون لجستیک با وجود اسکان ۱۲ درصد از جمعیت شهری در منطقه یک، تراکم بالای جمعیت در وسعت کمتر نسبت به سایر مناطق و وجود مراکز تجاری، اداری، فرهنگی و همچنین وجود بافت فرسوده در این منطقه از شهر، از دلایل بالا بودن ریسک حریق در این منطقه است. پیشنهاد می‌شود جهت پوشش مناسب و رعایت زمان استاندارد کمتر از ۵ دقیقه‌ای حضور خودروهای آتش‌نشانی به محل آتش‌سوزی، ایستگاه آتش‌نشانی در مرکز شهر احداث گردد. طبق آمار بدست آمده از تعداد آتش‌سوزی‌های بوجود آمده در واحد صنایع طی بازه زمانی ۱۰ ساله، ۶۷ درصد در کارگاه‌ها و کارخانجات خارج از شهرک‌های صنعتی و حاشیه شهر و جاده‌های اصلی روی داده است. جلوگیری از پراکندگی احداث کارخانه‌ها و کارگاه‌ها با

لجستیک با توجه به کاهش نظر کارشناسی، دقت الگوی افزایش خوبی داشت. این تکنیک یکی از مشهورترین رویکردهای مدل‌سازی ریاضی است که می‌تواند برای توصیف رابطه چندین متغیر با یک متغیر وابسته باینری مورد استفاده قرار گیرد. این تحقیق نشان می‌دهد که مدل رگرسیون لجستیک و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تعیین منطقه خطر آتش‌سوزی شهری و در نتیجه مدیریت آن مناسب است. تجزیه و تحلیل نشان داده است که جمعیت، فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی، مراکز صنعتی، مراکز تجاری-انبار، بافت قدیمی و فاصله تا جاده ارتباط زیادی با ایجاد و گسترش آتش‌سوزی دارند. تاریدالا و همکاران (۲۶) نیز در مقاله خود در شهر کندی اندوزی با توسعه سیستم‌های خبره و سیستم اطلاعات جغرافیایی به بررسی خطر آتش‌سوزی شهری پرداختند. یافته‌های آنها حاکی از آن بود که خطر بالای آتش‌سوزی در ساختمان‌های با تراکم بالا و مناطق پرجمعیت، عدم دسترسی به جاده درجه یک است و بایستی این نکته در محل احداث ایستگاه‌های آتش‌نشانی مورد توجه قرار گیرد. پس از مشخص شدن اعتبار مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از شاخص‌های مختلف، نقشه پهنه‌بندی ریسک حریق شهر کاشان ترسیم گردید. بدین منظور تمامی نقاط آتش‌سوزی در سطح شهر از سال ۱۳۸۸ تا سال ۱۳۹۹ استخراج و به نقشه رستری تبدیل شد. در این نقشه تمامی نقاطی که در آن آتش‌سوزی رخ داده است عدد ۱ و سایر نقاط وزن صفر دریافت نمودند. سپس در معادله رگرسیون لجستیک این لایه به‌عنوان متغیر وابسته و پارامترهای مؤثر در پهنه‌بندی حریق به‌عنوان متغیر مستقل معرفی گردید. در نهایت منطقه مورد مطالعه از نظر پتانسیل ریسک حریق به ۵ کلاس بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین تقسیم گردید. نتایج نشان داد که از مجموع $87475/47$ هکتار مساحت منطقه مورد مطالعه، $96164/92$ هکتار معادل $90/96$ درصد دارای ریسک بسیار کم و $4669/03$ هکتار معادل $4/2$ درصد دارای ریسک کم و $1116/3$ هکتار معادل $1/16$ درصد دارای ریسک زیاد و $788/96$ هکتار معادل $0/82$ درصد دارای ریسک بسیار زیاد برای ریسک

روستاهای اطراف تشکیل می‌دهند و مشکلات عدیده‌ای در این نواحی در زمینه‌های فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی وجود دارد که می‌توانند از دلایل غیرمستقیم رخداد آتش‌سوزی باشند. اجرای طرح‌های آموزشی مختلف ایمنی برای شهروندان جهت ارتقاء سطح آگاهی آن‌ها در خصوص خطرات مختلف و راه‌های پیشگیری از حریق و شیوه‌های اطفاء حریق.

اختصاص مکان‌هایی به‌عنوان شهرک صنعتی در خارج از محدوده شهری می‌تواند در مدیریت و نظارت این کاربری‌ها کمک کند. با توجه به وسعت پهنه‌های ریسک آتش‌سوزی از نقشه خروجی در حاشیه شهر کاشان، بیشتر نواحی در این قسمت واقع شده‌اند که ترکیب جمعیتی آنها یک‌دست و یکسان نبوده و اکثریت جمعیت این نواحی را تبعه افغانی و یا خانواده‌های کم‌بضاعت مهاجر از سایر نقاط کشور و یا

References

1. Abedi Gheshlaghi H, Feizizadeh B, Blaschke T. 2020. GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(3): 481-499. <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1594726>.
2. Abedi Gheshlaghi H, Valizadeh Kamran K. 2018. Evaluation and zoning of forest fire risk using multi-criteria decision-making techniques and GIS. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(15): 49-66. <https://doi.org/10.22111/JNEH.2017.3204>. (In Persian).
3. Anton H, Rorres C. 2013. *Elementary linear algebra: applications version*. John Wiley & Sons, 800 p.
4. Ayalew L, Yamagishi H. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2): 15-31. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.010>.
5. Borna F, Tamrtash R, Tatian M, Gholami V. 2017. Habitat potential modeling of *Astragalus gossypinus* using ecological niche factor analysis and logistic regression (Case study: summer rangelands of Baladeh, Nour). *Journal of RS and GIS for Natural Resources (Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resources Science)*, 7(4): 45-61. (In Persian).
6. Chuvieco E, Aguado I, Yebra M, Nieto H, Salas J, Martín MP, Vilar L, Martínez J, Martín S, Ibarra P. 2010. Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*, 221(1): 46-58. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.11.017>.
7. Chuvieco E, Congalton RG. 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote sensing of Environment*, 29(2): 147-159. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90023-0).
8. Chuvieco E, Salas J. 1996. Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 10(3): 333-345. <https://doi.org/10.1080/02693799608902082>.
9. Del Hoyo Vilar L, Martín Isabel MP, Martínez Vega FJ. 2011. Logistic regression models for human-caused wildfire risk estimation: analysing the effect of the spatial accuracy in fire occurrence data. *European Journal of Forest Research*, 130(6): 983-996. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0488-2>.
10. Diefenbach MA, Weinstein ND, O'reilly J. 1993. Scales for assessing perceptions of health hazard susceptibility. *Health Education Research*, 8(2): 181-192. <https://doi.org/10.1093/her/8.2.181>.
11. Eastman JR. 2003. *IDRISI Kilimanjaro: guide to GIS and image processing*. Worcester, MA: Clark Labs, Clark University, 328 p. <https://academic.uprm.edu/~jchinea/cursos/gis/lectes/c/Kilimanjaro%20Manual.pdf>.
12. Erfani M, EhsanZadeh N. 2021. Recreation suitability zoning in part of the Oman sea coast. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(1): 107-123. <http://dori.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.1.6.7>. (In Persian).
13. Habibi A, Sarafrazi A, Izadyar S. 2014. Delphi technique theoretical framework in qualitative research. *The International Journal of Engineering and Science*, 3(4): 8-13.
14. Hosmer Jr DW, Lemeshow S, Sturdivant RX. 2013. *Applied logistic regression*, vol Volume 398 of *Wiley Series in Probability and Statistics*. John Wiley & Sons, 528 p.
15. Jennings CR. 2013. Social and economic characteristics as determinants of residential fire risk in urban neighborhoods: A review of the literature. *Fire Safety Journal*, 62: 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.07.002>.
16. Jobson JD. 2012. *Applied multivariate data analysis: volume II: Categorical and Multivariate Methods*. Springer Science & Business Media, 732 p.
17. Juliá PB, Ferreira TM, Rodrigues H. 2021. Post-earthquake fire risk assessment of historic urban

- areas: A scenario-based analysis applied to the Historic City Centre of Leiria, Portugal. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 60: 102287. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102287>.
18. Langlois A. 1987. Clark, WAV et Hosking, PL (1986) *Statistical Methods for Geographers*. New York, John Wiley and Sons. *Cahiers de géographie du Québec*, 31(82): 91-92.
19. Lee S, Pradhan B. 2006. Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia. *Journal of Earth System Science*, 115(6): 661-672. <https://doi.org/10.1007/s12040-006-0004-0>.
20. Lewis JR. 1993. Multipoint scales: Mean and median differences and observed significance levels. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 5(4): 383-392. <https://doi.org/10.1080/10447319309526075>.
21. Li S-y, Tao G, Zhang L-j. 2018. Fire risk assessment of high-rise buildings based on gray-FAHP mathematical model. *Procedia Engineering*, 211: 395-402. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.028>.
22. Martínez J, Vega-García C, Chuvieco E. 2009. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management*, 90(2): 1241-1252. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.005>.
23. Mrówczyńska M, Skiba M, Sztubecka M, Bazan-Krzywoszańska A, Kazak J, Gajownik P. 2021. Scenarios as a tool supporting decisions in urban energy policy: The analysis using fuzzy logic, multi-criteria analysis and GIS tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137: 110598. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110598>.
24. Schneider LC, Pontius Jr RG. 2001. Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1-3): 83-94. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00189-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00189-X).
25. Sowmya S, Somashekar R. 2010. Application of remote sensing and geographical information system in mapping forest fire risk zone at Bhadra wildlife sanctuary, India. *Journal of Environmental Biology*, 31(6): 969.
26. Taridala S, Yudono A, Ramli M, Akil A. 2017. Expert system development for urban fire hazard assessment. Study case: Kendari City, Indonesia. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol 1. IOP Publishing, pp 012035. <https://doi.org/012010.011088/011755-011315/012079/012031/012035>.
27. Vakialroaya MA, Malmasi S, Zayeem Dar M, Mirza Ebrahime Tehrani M. 2022. Fire risk zoning in urban areas using logistic regression method (Case study: Kashan city). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 13(4): 10-13. <https://doi.org/10.30495/GIRS.2022.685583>.
28. Wang K, Yuan Y, Chen M, Wang D. 2021. A POIs based method for determining spatial distribution of urban fire risk. *Process Safety and Environmental Protection*, 154: 447-457. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.08.039>.
29. Wei Y-y, Zhang J-y, Wang J. 2018. Research on building fire risk fast assessment method based on fuzzy comprehensive evaluation and SVM. *Procedia Engineering*, 211: 1141-1150. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.121>.
30. Xin J, Huang C. 2013. Fire risk analysis of residential buildings based on scenario clusters and its application in fire risk management. *Fire Safety Journal*, 62: 72-78. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.09.022>.
31. Xu D, Shao G, Dai L, Hao Z, Tang L, Wang H. 2006. Mapping forest fire risk zones with spatial data and principal component analysis. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 49(1): 140-149. <https://doi.org/10.1007/s11434-006-8115-1>.
32. Yagoub M, Jalil AM. 2014. Urban fire risk assessment using GIS: Case study on Sharjah, UAE. *International Geoinformatics Research and Development Journal*, 5(3): 1-8.
33. Zhang Y. 2013. Analysis on comprehensive risk assessment for urban fire: The case of Haikou City. *Procedia Engineering*, 52: 618-623. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.195>.



Original
paper

Fire risk zoning in urban areas using logistic regression method (Case study: Kashan city)

Mohammad Amin Vakil Alroaya, Saeed Malmasi, Mojgan Zayeem Dar, Mahnaz Mirza Ebrahime Tehrani

Received: 17 July 2021 / Received in revised form 30 August 2021 / Accepted: 4 October 2021

Available online 7 October 2021 / Available print 1 January 2023

Abstract

Background and Objective Fire risk management is a global issue, and urban safety policies must take it seriously. One of the fields of research for controlling urban fires is to identify critical fire points in the region; Insufficient knowledge of these points will cause the occurrence and spread of fire in various areas and uses, delays in controlling it, and causing financial losses and personal injury as well as environmental pollution. Fire risk zoning with the aim of being used in planning and management in urban fire control has not been considered in the study area of this research and no research has been done in this field in the form of research and study plan. The purpose of this study is to determine and identify the criteria for fire risk zoning in the study area, to create a fire risk map based on the logistic regression method and compliance with the fire reality map, and also to present fire management programs and fire crisis management in Kashan.

M. A. Vakil Alroaya¹, S. Malmasi^(✉)², M. Zayeem Dar²,
M. M. Ebrahime Tehrani²

1. PhD Student in Environment-Environmental Planning, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University of North Tehran Branch, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University of North Tehran Branch, Tehran, Iran

e-mail: s_malmasi@iau-tnb.ac.ir

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2022.686395>

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.4.3.7>

Materials and Methods The steps and techniques used in this study were performed in six steps. The first step is to identify the effective criteria and indicators. Using library studies, information obtained from authoritative articles, and also through the Delphi method in order to collect the opinions of experts, the Likert scale was used. In the second step, the screening of criteria was done in accordance with the purpose. The effective criteria in this study are vulnerable factors including (population density, industrial units, commercial-warehouse, high-rise buildings, old tissue, and fuel station) as well as the capacity of reducing factors. (Fire station, roads, and hydrant valves). In the next step, the layers were standardized using fuzzy logic. At first, the distance function was performed on the criteria in SELVA IDRISI to determine the distance from each phenomenon. Then, by the fuzzy method, all the criteria determined in the range of zero to 255 were standardized. The type of function used in the fuzzy logic approach is linear, and the selection of the function type and thresholds was based on a review of sources and expert opinion. In order to analyze the spatial relationship between fire incidents that occurred in the city and the role of effective factors in its occurrence, all fire points of the last 10 years in the city from 2010 to 2020 were extracted and turned into a raster map. In the fifth step, a Fire hazard map was prepared using logistic regression.

After determining the validity of the logistic regression model using the specified indicators, the fire risk zoning map of Kashan was drawn. In the last step, Chi-Square, ROC, and Pseudo R Square were used to validate the logistic regression model.

Results and Discussion Advantages of using the logistic regression model In addition to modeling observations, it is possible to predict the probability of each person belonging to each of the levels of dependent variables and the possibility of directly calculating the odds of variables using the maximum likelihood of maximum model coefficients. Also, compared to other statistical techniques, multivariate such as multiple regression analysis and diagnostic analysis, the dependent variable can have only two variables, one is the probability of an accident and the other is its non-occurrence. In order to analyze the spatial relationship between fire incidents that occurred in the city and the role of effective factors in its occurrence, all fire points of the last 10 years in the city from 2010 to 2020 were extracted and turned into a raster map. The output of the logistic regression model has coefficients between 0 and 1, with a probability higher than 0.5 of a value of one (occurrence of fire) and a probability of less than 0.5 of a value of zero (no occurrence of fire) and thus a boolean map of risk is generated. This logarithmic change causes the predicted probability to be continuous in the range of 0 to 1, and the output of the

model to be presented as a spatial prediction map of the probability of destruction. Then, in the logistic regression equation, this layer was introduced as a dependent variable and the effective parameters in fire zoning were introduced as an independent variable. After entering the data into the logistic regression statistical model, model coefficients were extracted using effective parameters in IDRISI software. After determining the validity of the logistic regression model using the specified indicators, a fire risk zoning map of Kashan was drawn. Finally, in terms of fire risk potential, the study area was divided into 5 classes: very low, low risk, medium, very high, and high risk. The area of each of the 5 classes was obtained in hectares and the percentages were 87475.47, 4669.03, 132115, 1116.33, 788.96 hectares, and 90.94, 4.85, 2.19, 1.16, 0.82 percent, respectively.

Conclusion The value of 0.95 obtained from ROC indicates a very high correlation between the independent and dependent variables. The value of the qi index is twice equal to 110836.07; Since its value is much higher than the threshold value, then the null hypothesis of all coefficients is also rejected. The value of the PR2 test in this study was 0.47, so the logistic regression model had an acceptable fit.

Keywords: Fire risk zoning, Fuzzy, Logistic regression, Spatial relationship analysis, Validation