

ارزیابی ریسک سیلاب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و داده‌کاوی (مطالعه موردی: منطقه چهار شیراز)

سارا ایوبی ایوبلو^۱، مهدی وفاخواه^{۱*} و حمیدرضا پورقاسمی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷)

چکیده

رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی و تغییر کاربری اراضی باعث افزایش رویداد سیلاب‌های ویرانگر شده است. ایران نیز در میان کشورهای با خطرپذیری بالای سیل قرار دارد، به طوری که سیلاب‌های ویرانگر بهار ۱۳۹۸ با مرگ و میر و خسارت‌های مالی چشمگیری در بیش از ده استان کشور از آخرین نمونه‌های خسارات سیلاب است. هدف از این پژوهش تهیه نقشه ریسک سیلاب شهری منطقه چهار شیراز است که برای این امر آسیب‌پذیری منطقه با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره COPRAS، PROMETHEE II و محدوده‌های خطر سیلاب شهری با مدل‌های حداقل مربعات جزئی (PLS) و رگرسیون ستیغی (RR) تهیه شد و با استفاده از حاصل ضرب آسیب‌پذیری در احتمال خطر در محیط نرم‌افزار ArcGIS نقشه ریسک به دست آمد. بر اساس نتایج پژوهش، پس از طبقه‌بندی میزان آسیب‌پذیری، بیشترین درصد منطقه مورد مطالعه در مدل PROMETHEE II و COPRAS مربوط به طبقه متوسط آسیب‌پذیری است. ارزیابی خروجی مدل‌های آسیب‌پذیری، با استفاده از منطق بولین و آماره‌های RMSE و MAPE نشان داد که مدل COPRAS نتایج بهتری نسبت به مدل PROMETHEE II ارائه کرده است. نتایج مدل‌های حداقل مربعات جزئی (PLS) و رگرسیون ستیغی (RR) در مدل‌سازی احتمال خطر سیلاب به وسیله دیاگرام تیلور مورد تحلیل قرار گرفت که نشان‌دهنده برتری مدل رگرسیون ستیغی (RR) و دقت این مدل در تهیه نقشه خطر سیلاب شهری است. بررسی نقشه ریسک نشان داد که ۳۴ درصد از منطقه (۹۷۳ هکتار) در محدوده خطر زیاد و بسیار زیاد سیلاب قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: خطر، آسیب‌پذیری، سیلاب شهری، رگرسیون ستیغی، COPRAS

۱. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
۲. گروه مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: vafakhah@modares.ac.ir

مقدمه

سیل یکی از مخاطرات طبیعی است که بر اساس گزارش پایگاه بین‌المللی داده‌های بلایای طبیعی (Emergency Events Database) بعد از طوفان و زلزله بالاترین رتبه را از نظر خسارات مالی و جانی دارد. شهرها به‌عنوان محل تمرکز سرمایه‌گذاری و فعالیت‌ها، همواره مورد توجه جمعیت انسانی بوده است و همین موضوع موجب رشد سریع این نقاط شده است به نحوی که در آینده علاوه بر رشد جمعیت و انباشت مداوم دارایی‌ها، فراوانی و بزرگی سیل، خطر این رخداد را در این مناطق تشدید خواهد کرد (۲). برای کاهش اثرات مخرب سیل در مناطق شهری نیاز به شناخت مناطق با آسیب‌پذیری (Vulnerability) و خطر (Hazard) بالا است. آسیب‌پذیری شهری از جنبه‌های مهم و قابل توجه در برنامه‌ریزی توسعه است که لازم است در کانون مباحث برنامه‌ریزی شهری قرار بگیرد تا با درک عواملی که منجر به خسارات سنگین حاصل از سیل می‌شود به تدوین برنامه‌های مناسب جهت پیشگیری و مقابله با بحران پرداخت. پژوهش‌ها گویای این است که نخستین گام کاهش پیامدهای زیان‌بار سیل، شناخت مناطق سیل‌گیر و پهنه‌بندی این مناطق از لحاظ آسیب‌پذیری و خطر است. در واقع برای مطالعه خطر (Risk) سیل در هر منطقه‌ای باید آن را به دو قلمرو از عوامل مستقل از یکدیگر تجزیه کرد و هر یک را جداگانه مورد مطالعه و بررسی قرار داد که سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌تواند در نشان‌دادن وضعیت دنیای واقعی با تلفیق لایه‌هایی از اطلاعات (نقشه‌ها) برای شناسایی اثرات یک خطر طبیعی با ایجاد اهمیت خطر به‌کار گرفته شود. در رابطه با آسیب‌پذیری سیل از معیارهای اقتصادی-اجتماعی و فیزیکی استفاده می‌شود (۲۶) و (۴۸). آسیب‌پذیری اجتماعی دارای مفهومی چندبعدی است که می‌تواند بیان‌گر شاخص‌های مختلفی مانند فقر (۱۸)، نژاد، قومیت، وضعیت اقتصادی و اجتماعی (۶ و ۲۵)، جنسیت (۱۶)، سن (۳۷)، درآمد (۵) و تراکم جمعیت باشد. آسیب‌پذیری فیزیکی نیز به خصوصیات فیزیکی یک بنا یا ساختمان اشاره دارد که در اثر یک حادثه دچار آسیب می‌شود (۱۳). پیشرفت‌های اخیر در فنون جغرافیایی نشان می‌دهد که هر دو

متغیر فیزیکی و اقتصادی-اجتماعی می‌توانند با یک سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ارزیابی آسیب‌پذیری یک‌پارچه شوند (۱۰، ۱۱ و ۳۳). عبدی و همکاران (۱) آسیب‌پذیری شهر ساری در برابر سیلاب را ارزیابی کردند. شاخص‌های تراکم جمعیت آسیب‌پذیر، نوع مصالح ساختمانی، نوع مسکن، نوع اسکلت مسکن، تراکم ساختمانی، تراکم معابر شاخص شهرسازی، ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین، درصد سطوح نفوذناپذیر و فاصله از آبراهه را در نظر گرفتند و از روش AHP برای وزن‌دهی شاخص‌ها استفاده کردند که در نقشه نهایی، بخش‌های مرکزی و حاشیه‌ای شهر ساری پتانسیل آسیب‌پذیری پایین تری نسبت به بقیه مناطق شهر دارند و بیشتر مساحت بلوک‌های شهر ساری از آسیب‌پذیری متوسط و پایینی برخوردارند. در دهه‌های اخیر در زمینه تهیه نقشه خطر سیل (۴، ۱۴ و ۳۸) با در نظر گرفتن معیارهای توپوگرافی، هیدرولوژی و کاربری اراضی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های داده‌کاوی، نقشه خطر سیل تهیه شد. اسلامی نژاد و همکاران (۱۷) با استفاده از مدل‌های درخت تئوری بیزین (NBTree)، درخت تصمیم متناوب (ADTree) و جنگل تصادفی (RF) به پیش‌بینی خطر وقوع سیل در شهرستان مانه و سملقان پرداختند. نتایج نشان داد مدل جنگل تصادفی (RF) دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها داشت و احتمال وقوع خطر سیل در مناطق مرکزی منطقه مورد مطالعه به‌دلیل ارتفاع و شیب کمتر، بیشتر از سایر مناطق است. اسمیت (۴۷) احتمال به‌وجود آمدن خطری بالقوه و احتمال آسیب آن را به‌عنوان ریسک تعریف می‌کند. تلقی افراد از ریسک، تأثیر منفی آن بر زمان‌بندی فعالیت‌ها، هزینه مالی و صدمات جانی آن بر جوامع است. در صورتی که ریسک می‌تواند دریچه‌ای بر فرصت‌ها، توسعه، بهبود و یا تفکر جدید نیز باشد. در زمینه تهیه نقشه ریسک (۹، ۲۰، ۲۱، ۲۸، ۳۱، ۳۴ و ۴۳) با در نظر گرفتن معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری و خطر منطقه در برابر سیلاب، نقشه ریسک سیل را تهیه کردند. کریمی فیروزجانی و نیسانی سامانی (۲۴) به پهنه‌بندی ریسک‌پذیری حوضه آبخیز نکارود ناشی از سیل با استفاده از روش

وسیع‌تری از مرکز و جنوب غربی آن هنوز در حال شکل‌گیری و ساخت و ساز سریع است. شبکه دفع آب‌های سطحی در این منطقه، شامل زه‌کشی زیرزمینی، کانال‌های سرپوشیده، جوی‌های سرباز در دو طرف خیابان‌های اصلی و جوی‌های فرعی در معابر شهر است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.

روش پژوهش

در این مطالعه پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، نقشه‌های آسیب‌پذیری با مدل‌های تصمیم‌گیری PROMETHEE II و COPRAS و نقشه‌های خطر با مدل‌های حداقل مربعات جزئی (PLS) و رگرسیون ستیغی (RR) تهیه شد. شکل ۲ نمودار جریان‌یابی مراحل پژوهش را نشان می‌دهد.

تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب شهری

انتخاب مهم‌ترین عوامل مؤثر جهت تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب شهری با استفاده از بررسی منابع، اطلاعات و نقشه‌های پایه غیر رقومی، گزارش‌های ضوابط و مقررات ساختمانی شهر شیراز، اطلاعات معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی و داده‌های آماری سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ صورت گرفت. پس از بررسی شرایط منطقه و داده‌های موجود، معیارهای تراکم جمعیت، سن ساختمان، طبقات اقتصادی-اجتماعی، تراکم ساختمان، نسبت محصلین دوره عالی، جمعیت سالمند و تعداد طبقات ساختمان مورد بررسی قرار گرفت (۱)، (۱۰، ۲۵). برای تحلیل عوامل تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری سیلاب شهری از مدل‌های PROMETHEE II و COPRAS استفاده شد.

معیارهای آسیب‌پذیری

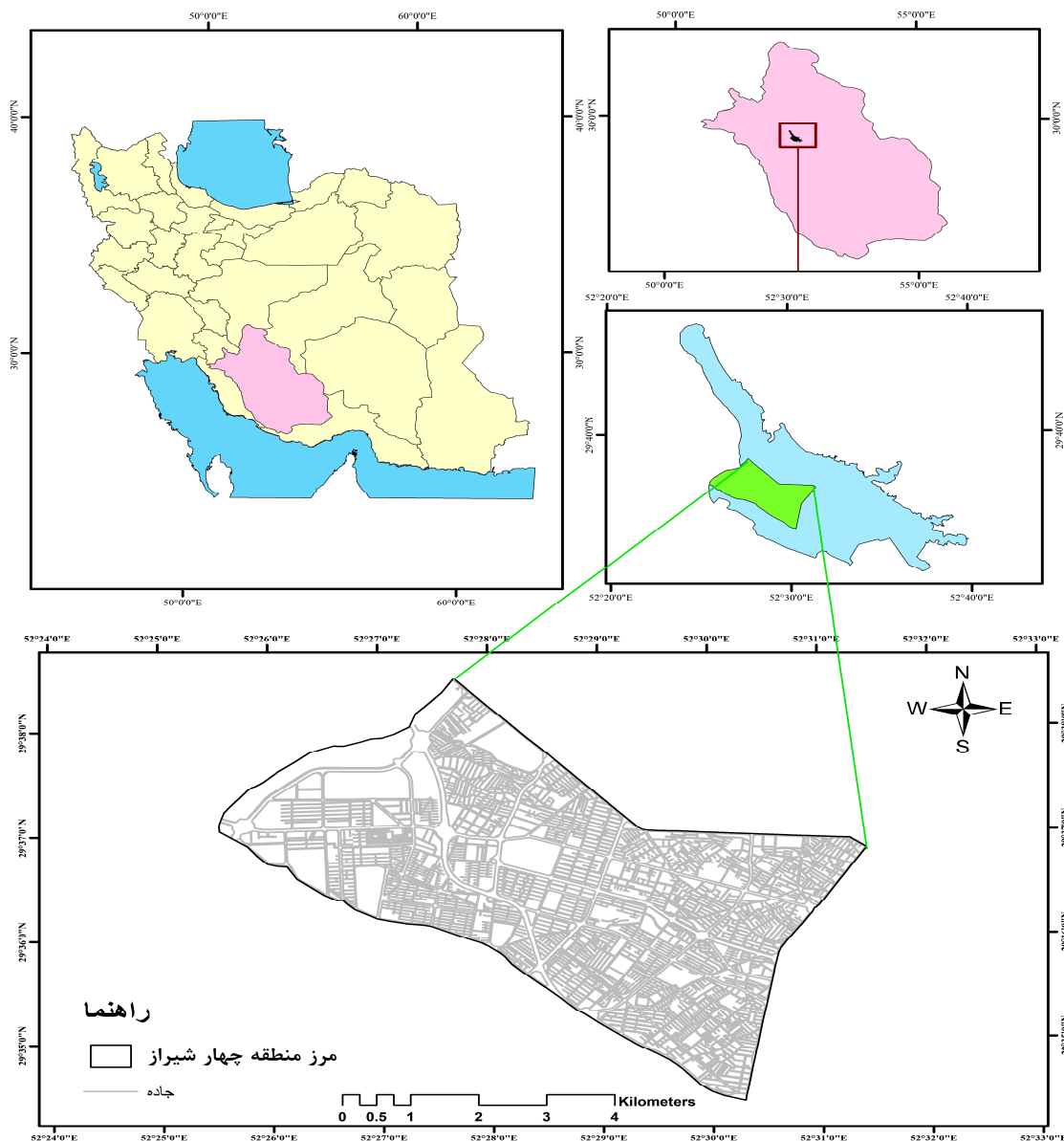
معیارهای متعددی به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب شهری وجود دارد، در این پژوهش معیارهایی که دارای ویژگی مکانی بودند انتخاب و از آنها استفاده شد. میزان تراکم جمعیت از

تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر استدلال شهودی پرداختند که بر اساس نتایج به دست آمده از بررسی طبقات مختلف ریسک‌پذیری، زیرحوضه پایاب نکا و سراب نکا به ترتیب بیشترین و کمترین مساحت مربوط به طبقه ریسک زیاد و خیلی زیاد را به خود اختصاص داده‌اند. شهر شیراز به علت تعدد رودخانه‌های فصلی و زیر حوضه‌های آبخیز و وجود ارتفاعات در منطقه از جمله شهرهای سیل‌خیز کشور است که در صد سال گذشته پنج بار شاهد باران‌های سنگین و سیل آسا بوده است که آخرین سیل در فروردین سال ۱۳۹۸ رخ داد که بیش از ۱۰۰ نفر مجروح و خسارات مالی قابل ملاحظه‌ای را در برداشت. در این مطالعه سعی بر آن است به منظور مدیریت سیلاب و کاهش هزینه‌ها به مدل‌سازی مکانی به عنوان یک چارچوب جامع در شناسایی و پیش‌بینی مناطق در خطر سیلاب پرداخته شود. همچنین، از یافته‌های این پژوهش در مدیریت بحران، آمایش سرزمین و مکان‌یابی زیرساخت‌های شهری و توسعه‌ای شهر شیراز استفاده و در طراحی الگوهای اقتصادی-اجتماعی و برنامه‌های توسعه‌ای به کار گرفته شود. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر بررسی خطر و آسیب‌پذیری سیلاب در منطقه چهار شهرداری شیراز با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و داده‌کاوی به صورت تلفیقی و تهیه نقشه ریسک است تا بتوان به الگوی مناسبی جهت کاهش آسیب‌پذیری و خطر سیلاب شهری رسید. در این مطالعه برای بررسی آسیب‌پذیری و خطر سیلاب برای اولین بار از مدل‌های COPRAS و حداقل مربعات جزئی (PLS) به منظور تهیه نقشه ریسک سیلاب استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

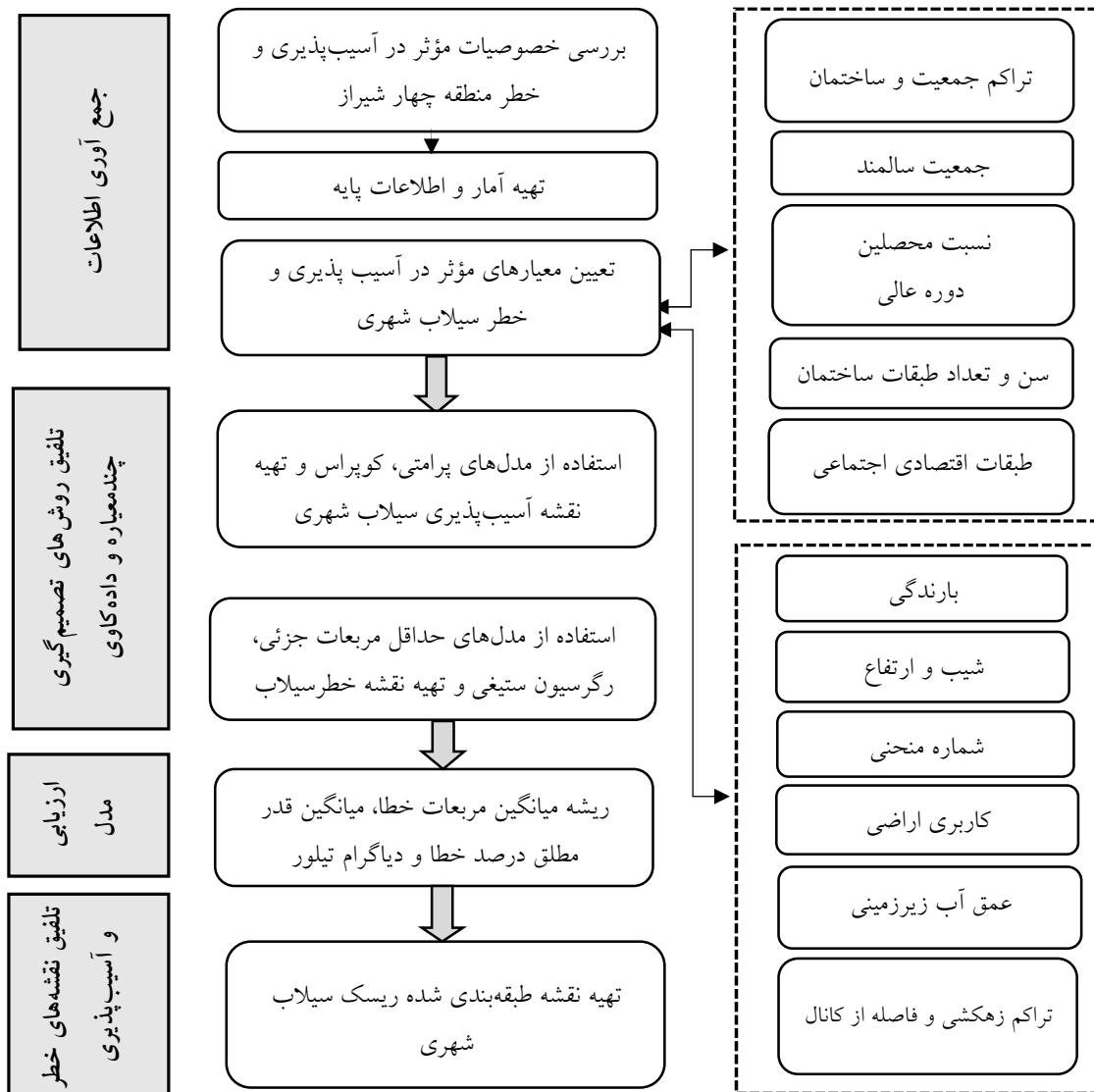
منطقه چهار شهرداری شیراز یکی از مناطق یازده‌گانه شهر است که در جنوب غربی شهر در مختصات ۵۲° ۲۵' و ۵۲° ۳۱' طول شرقی و ۲۹° ۳۴' و ۲۹° ۳۷' عرض شمالی واقع شده است. مساحت این منطقه در حدود ۲۸۶۲ هکتار است. این منطقه با مناطق یک در شمال و پنج در شرق همجوار است. هر چند بخش کوچکی از این منطقه از سابقه سکونت برخوردار است اما بخش‌های



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، استان و شهر شیراز

معیار جمعیت سالمند از تقسیم جمعیت سالمند منطقه (گروه سنی ۶۰ سال به بالا) به کل جمعیت محاسبه می‌شود. خانوارهای سالخورده ممکن است محدودیت‌های تحرک داشته باشند و به دنبال آن افزایش وابستگی و نیاز به مراقبت وجود دارد که باعث افزایش آسیب‌پذیری آنان می‌شود (۲۷). ساختارهای اقتصادی و اجتماعی، نقش بسیار مهمی در تعیین افراد در معرض خطر دارد (۱۵). معیار سن یا قدمت بنا در ارتباط با فرسودگی به لحاظ کالبدی است. افزایش

تقسیم جمعیت شهر به مساحت آن (برحسب هکتار) به دست آمد. تراکم جمعیتی در شهر به معنای خسارت‌های بیشتر به هنگام وقوع بحران است (۱۹). معیار نسبت محصلین دوره عالی از تقسیم تعداد دانشجویان و فارغ التحصیلان دوره‌های عالی (فوق دیپلم و بالاتر) به جمعیت باسواد بالای ۶ سال محاسبه می‌شود که بالابودن این شاخص باعث افزایش مهارت و آگاهی افراد در زمینه آمادگی برای مقابله با مخاطرات طبیعی می‌شود (۴۴).



شکل ۲. نمودار جریان‌ی مراحل انجام پژوهش

هنگام وقوع بحران و حادثه می‌شود (۱).

مدل‌های مورد استفاده در تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیل پیچیدگی مسئله تصمیم‌گیری به دلیل وجود معیارها و گزینه‌های متعدد، محدودیت‌های متعدد نظیر زمان و منابع موجود در یک فرآیند تصمیم‌گیری و در نهایت تضاد بسیاری از معیارها با یکدیگر همه از دلایل گرایش به این روش‌ها محسوب می‌شود (۴۱ و ۴۲). در مسائل مرتبط با آسیب‌پذیری سیل در این پژوهش به دلیل در نظر داشتن توأم فاکتورهای

سن ساختمان باعث می‌شود بنا در مسیر اُفت کیفیت ناشی از تأثیر آب و هوا، جابه‌جایی زمین، ارتعاشات ناشی از رفت و آمد اتومبیل‌ها یا نگهداری نامناسب و نامطلوب قرار گیرد (۳۶). تراکم ساختمان از تقسیم سطح ساخته شده در مجموع طبقات ساختمان (به استثناء پله، سر پله و آن قسمت از زیرزمین و پیلوت که جهت پارکینگ، انباری و سایر مشاعات تأسیسات استفاده می‌شود) به مساحت کل زمین محاسبه می‌شود. افزایش تراکم ساختمانی باعث افزایش تراکم جمعیتی، اختلال در تأسیسات زیربنایی و افزایش خسارت به

جریان‌های رتبه‌بندی مثبت و منفی را نشان می‌دهد. در این مدل، منطقه بر اساس سه جریان (مثبت، منفی و خالص) اولویت‌بندی می‌شود که جریان خالص بالاتر نشان‌دهنده گزینه ارجح‌تر است.

$$\phi^+ = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (2)$$

$$\phi^- = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (3)$$

$$\phi_a = \phi^+ - \phi^- \quad (4)$$

مدل تصمیم‌گیری COPRAS

کوپراس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که توسط زاوادسکاس و همکاران (۵۰) به منظور اولویت‌بندی و رتبه‌بندی گزینه‌ها توسعه یافت. در روش کوپراس بعد از تشکیل ماتریس نرمال وزن دار و مقدار معیارهای مثبت (افزایش) مقدار آنها میزان مطلوبیت‌شان را افزایش می‌یابد) و منفی (کاهش مقدار آنها میزان مطلوبیت‌شان را افزایش می‌دهد) اهمیت نسبی گزینه‌ها محاسبه می‌شود و در نهایت شاخص عملکرد گزینه‌ها بدست می‌آید (رابطه ۵) که درجه اهمیت گزینه‌ها بین صفر تا ۱۰۰ درصد متغیر است. U_j بالاتر حاکی از ارزش بالا و در اولویت بودن، یک گزینه نسبت به گزینه‌های دیگر است.

$$U_j = \left[\frac{c_j}{c_{\max}} \right] \times 100 \quad (5)$$

تهیه نقشه خطر سیلاب شهری منطقه چهار شیراز

در این پژوهش با توجه به اطلاعات موجود و سابقه پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه هشت عامل مؤثر بر سیلاب شهری شامل بارندگی، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب، شماره منحنی، فاصله از کانال، عمق آب زیرزمینی و تراکم زهکشی انتخاب شد (۴، ۱۴، ۱۵، ۳۰، ۳۸ و ۳۹) که در ادامه به تأثیر این عوامل بر وقوع سیلاب و چگونگی تهیه نقشه هر یک از این عوامل پرداخته شده است. بارش یکی از عوامل مهم و

اقتصادی-اجتماعی و فیزیکی استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به منزله فرآیندی است که در آن داده‌های مکانی و مقادیر ارزیابی‌ها ترکیب می‌شوند تا با بهره‌گیری از تخصص‌های مختلف بر اساس معیارهای چندگانه کمی و کیفی بتوان گزینه‌های مختلف مدیریتی را ارائه داد. مدل‌های بسیاری برای تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه شده‌اند که هر یک از آنها مزایا و محدودیت‌هایی دارند. مدل‌های PROMETHEE II و COPRAS از مدل‌های جبرانی در تصمیم‌گیری چندمعیاره هستند. در این روش‌ها بر اساس ماتریس تصمیم، اوزان معیارها و تعیین معیارهای مثبت (تراکم جمعیت و ساختمان، سن ساختمان، جمعیت سالمند) و منفی (نسبت محصلین دوره عالی، تعداد طبقات ساختمان و طبقات اقتصادی-اجتماعی) به اولویت‌بندی و انتخاب گزینه بهینه در محیط برنامه‌نویسی پایتون پرداخته شد.

مدل تصمیم‌گیری PROMETHEE

مدل PROMETHEE نخستین بار در سال ۱۹۸۲ توسط برانس توسعه داده شده است (۷ و ۸) که این روش برای ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌های گسسته و انتخاب بهترین گزینه بر اساس چندین معیار (با مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری) به‌کار می‌رود. در روش PROMETHEE II بعد از تشکیل ماتریس تصمیم، برای هر معیار تصمیم‌گیرندگان، باید یک تابع ترجیح انتخاب شود. تابع ترجیح (p_j) به هر یک از معیارهای (j) اختصاص داده می‌شود که این مقدار بین صفر و یک متغیر است. سپس میزان اولویت کلی $\pi(a, b)$ برای هر گزینه a بر روی گزینه b محاسبه می‌شود (رابطه ۱). (w_j) وزن معیار است که با استفاده از مدل AHP محاسبه شده است.

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k w_j p_j(a, b) \quad (1)$$

جریان‌های مثبت، منفی و خالص غیررتبه‌ای برای هر گزینه از روابط (۲، ۳ و ۴) محاسبه می‌شوند. که (ϕ^+) میزان ارجحیت a نسبت به $n-1$ گزینه دیگر، (ϕ^-) میزان ارجحیت $n-1$ گزینه دیگر را نسبت به گزینه a و (ϕ_a) جریان حاصل توازن میان

استفاده از تابع Line Density و اعمال روی نقشه کانال‌های زهکشی منطقه مورد مطالعه تهیه شد. اطلاعات مربوط به کانال‌های زهکشی منطقه از شهرداری شیراز تهیه شد.

ارزیابی مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

به منظور ارزیابی مدل تهیه شده، از مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE) استفاده شد، که به ترتیب طبق روابط (۶) و (۷) تعریف می‌شوند. کوچکی معیارهای خطا برای هر مدل نشانگر نزدیکی مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها به مقادیر واقعی هستند (۴۰).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (A_t - P_t)^2} \quad (6)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - P_t|}{A_t} \times 100 \quad (7)$$

n تعداد کل مشاهدات برای دوره پیش‌بینی، A_t و P_t به ترتیب ارزش پیش‌بینی شده و ارزش واقعی در زمان t است.

مدل‌سازی خطر سیلاب شهری

بر اساس پژوهش‌های انجام شده، الگوریتم‌های مختلف داده کاوی در حوزه‌های مختلف مرتبط با سیلاب مورد استفاده قرار گرفته و در سال‌های اخیر روند رو به رشدی داشته است. در این پژوهش برای تهیه نقشه خطر سیلاب شهری از مدل‌های حداقل مربعات جزئی و مدل رگرسیون ستیغی استفاده شده است. مدل حداقل مربعات جزئی (Partial Least Squares)، توسط وولد در سال ۱۹۹۶ ارائه و توسط لومولر در سال ۱۹۸۹ توسعه داده شد (۲۹). این مدل یک روش آماری نظارت‌شده است که ارتباط بین مؤلفه‌های اصلی و متغیر هدف را با استفاده از رابطه (۸) که نشان‌دهنده یک معادله رگرسیون خطی چند متغیره است را برقرار می‌کند.

$$Y = XB + \varepsilon \quad (8)$$

B بردار ضرایب رگرسیون، Y بردار نظیر متغیر وابسته، X ماتریس متغیرهای مستقل و ε ماتریس خطای برازش است. مدل حداقل مربعات جزئی امکان بررسی همزمان روابط

تأثیرگذار در رخداد سیلاب شهری است. برای تهیه نقشه بارندگی از داده‌های روزانه بارندگی ۲۸ ایستگاه باران‌سنجی در دوره زمانی ۲۰ ساله استفاده شد. پس از بررسی دقت روش‌های مختلف از روش درون‌یابی کریجینگ در نرم‌افزار ArcGIS پهنه بندی بارندگی انجام گرفت. نقشه کاربری اراضی از شهرداری شیراز تهیه شد که مهمترین کاربری‌های شهری منطقه شامل (مسکونی، تجاری، فضای سبز، ورزشی، صنعتی، فرهنگی و مذهبی، بهداشتی و درمانی خدمات شهری و آموزشی) است. در کاربری‌های فضای سبز وضعیت پوشش گیاهی باعث کاهش سرعت جریان و افزایش نفوذ می‌شود (۳۵). ارتفاع از عوامل بسیار مهم در پدیده‌های هیدرولوژیکی است. نقشه DEM با وضوح ۱۰ متر از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شیراز اخذ شد که ارتفاع منطقه مورد مطالعه از ۱۵۲۹ تا ۱۶۲۳ متر متغیر است. نقشه شیب از نقشه DEM با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر در محیط نرم‌افزار ArcGIS از تابع Slope استخراج شد. با افزایش شیب عمومی منطقه فرصت لازم برای نفوذ کاهش می‌یابد (۳۹). شماره منحنی (Curve Number) یک پارامتر تجربی است که برای پیش‌بینی رواناب مستقیم یا مقدار نفوذ حاصل از مازاد بارش استفاده می‌شود (۳۰). مقادیر شماره منحنی مناطق شهری از نسخه فنی SCS شماره ۵۵ (TR-55) و گروه هیدرولوژیکی خاک نیز با استفاده از نمونه‌برداری و تعیین بافت خاک به دست آمد. یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار در سیلاب شهری فاصله از کانال‌ها است (۴۶) که نقشه آن با استفاده از تابع Euclidean Distance لایه رقومی کانال در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. در مناطقی که سطح ایستابی آب زیرزمینی بالا است لایه زیرین خاک به سرعت با اولین بارش اشباع شده و باعث ایجاد سریعتر رواناب سطحی می‌شود. نقشه عمق آب زیرزمینی با استفاده از اطلاعات چاه‌های موجود در منطقه که از شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس تهیه شد، به دست آمد. لایه تراکم زهکشی از تقسیم طول کانال به سطح به دست می‌آید که هر چقدر تراکم زهکشی بیشتر باشد پتانسیل تولید رواناب منطقه بالاتر است (۳۰). این نقشه در نرم‌افزار ArcGIS و با

با توجه به محاسبات انجام شده، نرخ ناسازگاری ۰/۰۵ است که کمتر از ۰/۱ است و نتیجه قابل قبول است. وزن معیارهای به دست آمده نشان می‌دهد عامل تراکم جمعیت با وزن ۰/۲۸ و نسبت محصلین دوره عالی با وزن ۰/۶۰ به ترتیب بیشترین و کمترین وزن را در تعیین آسیب‌پذیری دارند. ارزش هر پیکسل از منطقه از نظر معیارهای آسیب‌پذیری استخراج و با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری در محیط برنامه‌نویسی پایتون اولویت‌بندی شدند و در نهایت با تلفیق نقشه معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری منطقه در نرم‌افزار ArcGIS نقشه نهایی مدل‌های PROMETHEE II و COPRAS در چهار طبقه تهیه شد. شکل ۵ نقشه نهایی آسیب‌پذیری سیلاب شهری منطقه چهار شیراز را نشان می‌دهد. جدول ۱ مساحت و درصد طبقات آسیب‌پذیری منطقه را در برابر سیلاب نشان می‌دهد. نتایج نشان داد طبقه آسیب‌پذیری متوسط بیشترین مساحت از منطقه چهار شهر شیراز را در بر گرفته است که معادل ۲۷ درصد از مجموع مساحت منطقه چهار است و ۲۴ درصد از مساحت شهر شیراز در طبقه آسیب‌پذیری کم واقع شده است که در مجموع می‌توان گفت منطقه از نظر آسیب‌پذیری در سطح بالایی قرار دارد.

نتایج ارزیابی مدل‌های PROMETHEE II و COPRAS

در ارزیابی مدل‌ها از مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE) استفاده شده است. دو طبقه از معیارها که بیشترین آسیب‌پذیری را داشتند در یک طبقه با ارزش یک و بقیه طبقات معیارهای آسیب‌پذیری ارزش صفر را به خود اختصاص داده و لایه‌های اطلاعاتی در قالب مدل Boolean در نرم‌افزار ArcGIS تلفیق شده سپس برای نقشه‌های هر مدل مقادیر RMSE و MAPE به دست می‌آید. شکل ۶ نقشه هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی را بر اساس مدل بولین نشان می‌دهد.

بر اساس جدول ۲ مدل COPRAS نسبت به مدل PROMETHEE II نتایج بهتری را در شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیلاب شهری دارد.

متغیرهای پنهان و قابل مشاهده را فراهم می‌آورد (۳۲) و زمانی که هم‌خطی شدیدی که بین متغیرهای اولیه وجود دارد را از بین می‌برد با برآورد تعداد پارامترهای کمتر بعد مسئله نیز کاهش می‌یابد (۲۳). مدل رگرسیون ستیغی (Ridge Regression) اولین بار توسط هورل و کنارد ارائه شد (۲۲). یکی از مشکلات اصلی در رگرسیون چندگانه خطی تعداد زیاد متغیرهای پیش‌بینی است که سبب بیش‌برازندگی (over fitting) و تعداد کم متغیرهای پیش‌بینی سبب کم‌برازندگی (under fitting) می‌شود که در این حالت از رگرسیون ستیغی استفاده می‌شود. زمانی که در مدل هم‌خطی وجود داشته باشد از برآوردگر زیر استفاده می‌شود که X' ترانهاده ماتریس X و I ماتریس همانی به ابعاد $p \times p$ است.

$$\beta_R = (X'X + \lambda I)^{-1} X'Y \quad (9)$$

در این معادله λ میزان جریمه (penalty) است. اگر λ را صفر انتخاب کنیم، روش برآورد به شیوه حداقل مربعات معمولی تبدیل خواهد شد. در نتیجه می‌توان روش حداقل مربعات معمولی را حالت خاصی از روش ستیغی در نظر گرفت.

تهیه نقشه ریسک سیلاب شهری منطقه چهار شیراز

بعد از آماده‌سازی نقشه آسیب‌پذیری و نقشه احتمال خطر، نقشه ریسک با استفاده از رابطه (۱۰) در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه می‌شود (۹، ۱۲، ۲۱ و ۴۷).

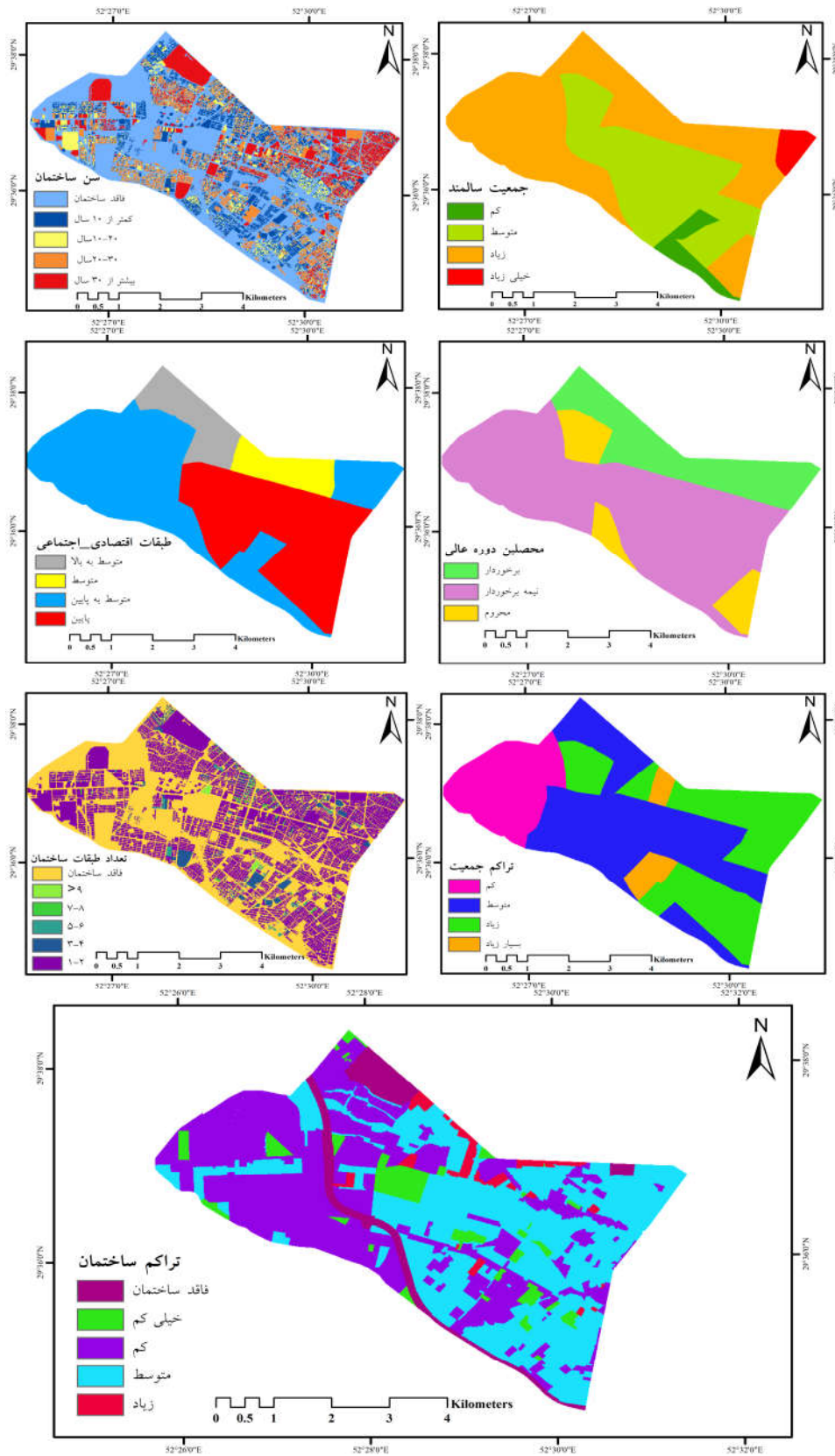
$$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Vulnerability} \quad (10)$$

نتایج

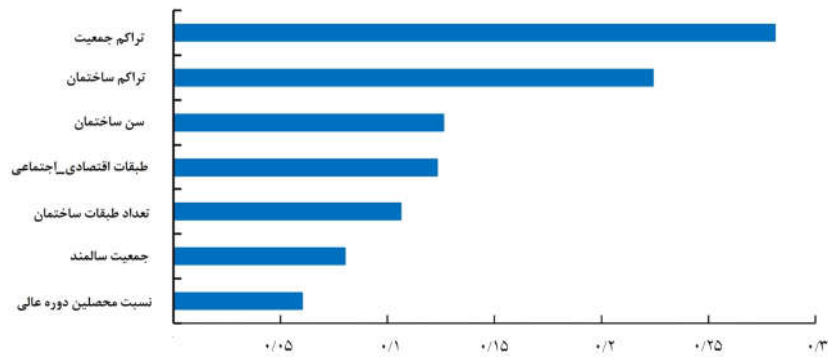
ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب شهری منطقه چهار شیراز

پس از تهیه نقشه‌های رستری معیارها که در شکل ۳ نشان داده شده است به مقایسه زوجی هفت معیار مورد بررسی در آسیب‌پذیری منطقه چهار شیراز بر اساس قضاوت کارشناسان خبره (۱۸ نفر)

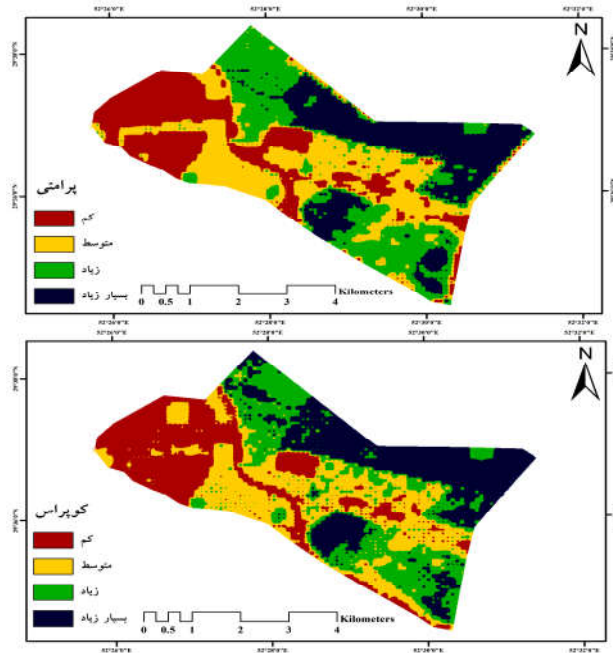
پرداخته شد، که وزن نسبی هر معیار با روش AHP در نرم‌افزار Expert Choice به دست آمد. نتایج در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۳. نقشه معیارهای آسیب‌پذیری سیلاب شهری منطقه چهار شیراز



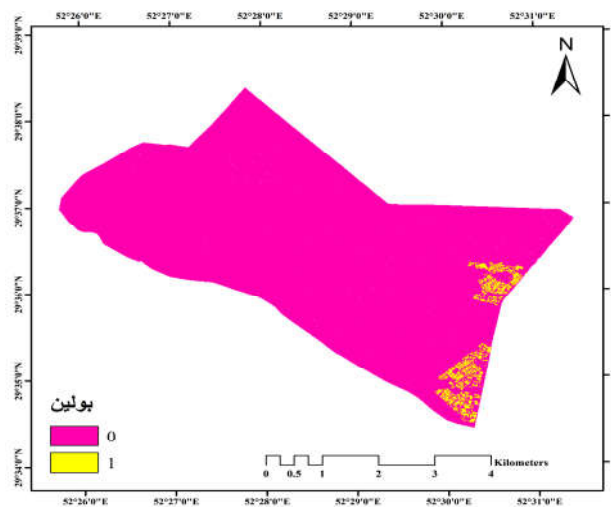
شکل ۴. نمودار وزن معیارها در ماتریس استاندارد نرم افزار Expert Choice



شکل ۵. نقشه نهایی آسیب پذیری سیلاب شهری منطقه چهار شیراز (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۱. مساحت طبقات آسیب پذیری سیلاب شهری با مدل های تصمیم گیری چندمعیاره

مدل	طبقات آسیب پذیری	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
پرامتی	بسیار زیاد	۶۶۶	۲۳/۳
	زیاد	۷۲۰	۲۵/۳
	متوسط	۷۸۷	۲۷/۵
	کم	۶۴۸	۲۳/۹
کوپراس	بسیار زیاد	۷۴۲	۲۵/۶
	زیاد	۶۷۰	۲۳/۳
	متوسط	۷۷۵	۲۷/۶
	کم	۶۷۶	۲۳/۵



شکل ۶. نقشه نهایی هم‌پوشانی لایه‌ها بر اساس منطق بولین (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۲. نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب شهری منطقه چهار شیراز

مدل	ریشه میانگین مربعات خطا	میانگین قدر مطلق درصد خطا
پرامتی	۰/۳۳	۲۶/۶
کوپراس	۰/۲۵	۲۴/۶

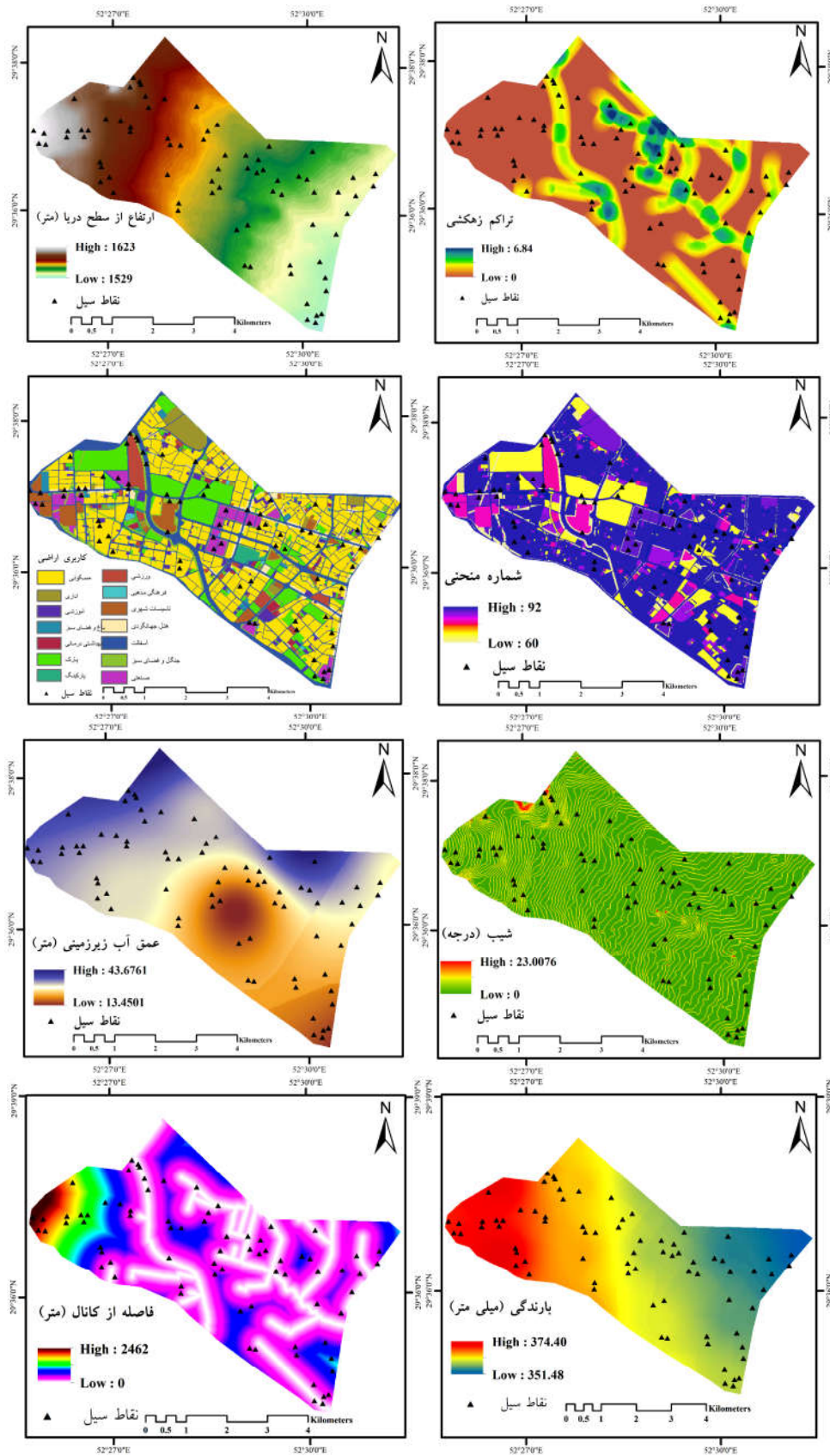
نقشه خطر سیلاب شهری منطقه چهار شیراز

در این پژوهش هفت متغیر از مهم‌ترین عوامل مؤثر در بحث سیلاب شهری شامل درصد شیب، تراکم زهکشی، شماره منحنی، بارندگی، مدل رقومی ارتفاع، فاصله از کانال، عمق آب زیرزمینی و کاربری اراضی با توجه به استفاده از تجربیات کارشناسان و پژوهشگران در نظر گرفته شد و لایه رستری مربوط به این عوامل در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. شکل ۷ نقشه معیارهای مورد استفاده خطر سیلاب شهری منطقه چهار شیراز را نشان می‌دهد.

نقاط سیلاب‌های گذشته بر اساس بازدید میدانی، نظرسنجی از افراد مطلع ساکن در منطقه، پژوهش‌های صورت‌گرفته در رابطه با سیلاب از شهرداری منطقه چهار شیراز و شرکت آب منطقه‌ای فارس و تصاویر ماهواره‌ای لندست جهت آشکارسازی مناطق سیل‌زده تهیه شده است.

پس از تهیه نقشه‌های رستری معیارهای خطر سیلاب شهری و نقاط سیلاب‌های گذشته از ۷۰ درصد نمونه‌ها جهت آموزش و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده شد. تمامی مراحل مدل‌سازی در نرم‌افزار R صورت گرفت که پس از مدل‌سازی نقشه‌های رستری تولید شده وارد نرم‌افزار ArcGIS شد. سپس نقشه خطر به چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تقسیم شد که جدول ۳ مساحت و درصد طبقات خطر سیلاب منطقه را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد طبقه بسیار زیاد در خطر سیلاب شهری بیشترین مساحت از منطقه چهار شهر شیراز را در بر گرفته است.

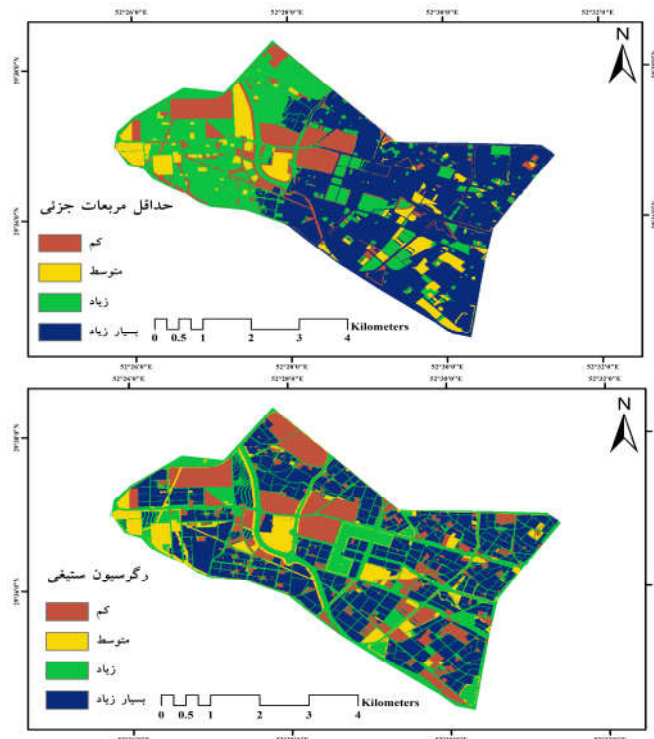
بر اساس جدول ۳ نواحی با خطر زیاد و بسیار زیاد سیلاب شهری بر اساس مدل‌های PLS و RR به ترتیب ۷۷ و ۷۱ درصد از مساحت منطقه را تشکیل داده‌اند. شکل ۸ نقشه خطر سیلاب شهری منطقه چهار شیراز را نشان می‌دهد.



شکل ۷. نقشه معیارهای مورد استفاده در خطر سیلاب شهری منطقه چهار شیراز (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۳. درصد مساحت طبقات خطر سیلاب شهری با مدل‌های داده‌کاوی

مدل	طبقات خطر	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
حداقل مربعات جزئی	بسیار زیاد	۱۳۳۳	۴۷
	زیاد	۸۴۷	۳۰
	متوسط	۲۸۶	۱۰
	کم	۳۹۶	۱۴
رگرسیون ستیغی	بسیار زیاد	۱۱۶۸	۴۱
	زیاد	۸۴۶	۳۰
	متوسط	۲۹۲	۱۰
	کم	۵۵۶	۱۹

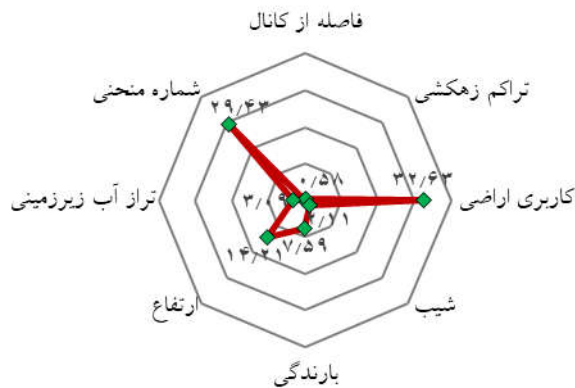


شکل ۸. نقشه نهایی خطر سیلاب شهری منطقه چهار شیراز (رنگی در نسخه الکترونیکی)

ارزیابی مدل‌های خطر سیلاب شهری

دیگرام تیلور، ابزاری مناسب برای ارزیابی روش‌های متنوع است. این دیگرام به صورت ربع دایره ارائه می‌شود که مقادیر ضریب همبستگی به صورت شعاع دایره روی قوس آن، مقادیر انحراف معیار به صورت دایره متحدالمرکز نسبت به مرکز دایره و مقادیر RMSD به صورت دایره متحدالمرکز نسبت به نقطه

در این مطالعه اولویت‌بندی فاکتورهای مؤثر بر سیلاب شهری در شکل ۹ نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل از مدل RR معیارهای کاربری اراضی (۳۲/۶۴)، شماره منحنی (۲۹/۴۳) و ارتفاع (۱۴/۲۲) به ترتیب بیشترین تأثیر را در تهیه نقشه خطر در منطقه مورد مطالعه دارند، بنابراین باید بر روی این عوامل و لایه‌های مربوط به آن دقت لازم صورت بگیرد.



شکل ۹. اهمیت معیارهای مورد استفاده در تهیه نقشه خطر سیلاب شهری

طبقات ریسک سیلاب منطقه را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد طبقه زیاد و بسیار زیاد بر اساس مدل های PLS و RR به ترتیب ۳۹ و ۳۴ درصد از منطقه را در بر گرفته است. شکل ۱۲ نقشه ریسک سیلاب شهری منطقه چهار شیراز را نشان می‌دهد.

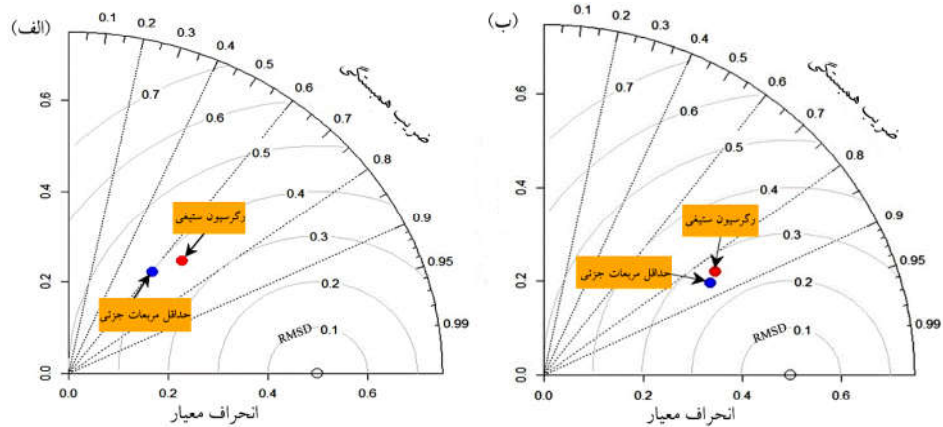
بحث و نتیجه گیری

هر ساله در نقاط مختلف کشور سیل باعث خسارات جانی و مالی زیادی می‌شود. برای افزایش آگاهی و برخورداری از توانمندی‌های لازم برای مهار و کاهش خسارات سیل نیاز به شناخت مناطق با ریسک بالا است. بدین منظور در این پژوهش تلاش شد برای دست‌یابی به الگویی در تحلیل آسیب‌پذیری و خطر منطقه چهار شهر شیراز از نظر سیلاب شهری از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره PROMETHEE II، COPRAS و مدل‌های داده‌کاوی PLS و RR استفاده شد. بر اساس جدول ۱ نواحی با آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد مساحت قابل توجهی از منطقه را تشکیل داده‌اند. نتایج تحلیل نقشه آسیب‌پذیری مدل های PROMETHEE II و COPRAS نشان داد که قسمت‌های شمالی و جنوب شرقی منطقه دارای پتانسیل بالاتری از نظر آسیب‌پذیری هستند این قسمت از منطقه از نظر تراکم جمعیت، ساختمان و جمعیت سالمند نسبت به سایر مناطق در سطح بالاتری قرار دارد که با نتایج (۴۵، ۴۶ و ۴۶)

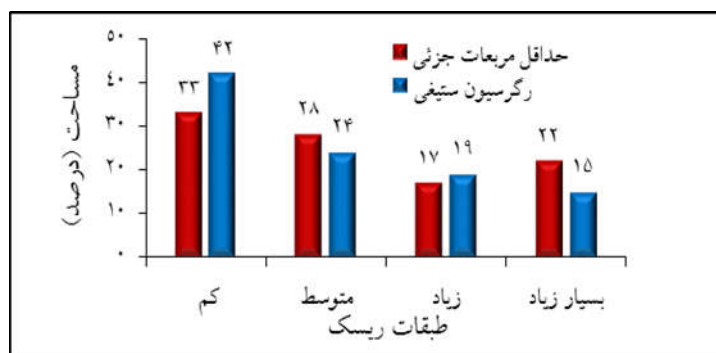
مرجع (دایره توخالی روی محور افقی) ترسیم می‌شود (۴۹). روش ارزیابی در این دیاگرام به این صورت است هر مدلی که موقعیت مکانی آن روی نمودار به نقطه مرجع (داده‌های مشاهداتی) نزدیک‌تر باشد با دقت بیشتری احتمال سیلاب شهری را برآورد می‌کند. مطابق شکل ۱۰ دیاگرام تیلور برای دو مدل در مرحله آموزش و آزمون ترسیم شده است. بر اساس نمودار تیلور مقدار ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و مدل PLS در مرحله آموزش و آزمون به ترتیب برابر ۰/۸۷ و ۰/۶۰ است و برای مدل RR، ۰/۸۵ و ۰/۶۸ است. مقدار RMSD برای مدل RR در مرحله آزمون بسیار نزدیکتر به داده‌های مشاهداتی است. از آنجایی که مدل RR در سه شاخص در مرحله آزمون نزدیکترین مدل به مقادیر مشاهداتی بود بنابراین، می‌توان عنوان کرد که این مدل دارای برتری نسبی در پیش‌بینی با دقت مناسب نسبت مدل PLS بر اساس دیاگرام تیلور و شاخص‌های ارزیابی موجود در آن است.

نقشه ریسک سیلاب شهری منطقه چهار شیراز

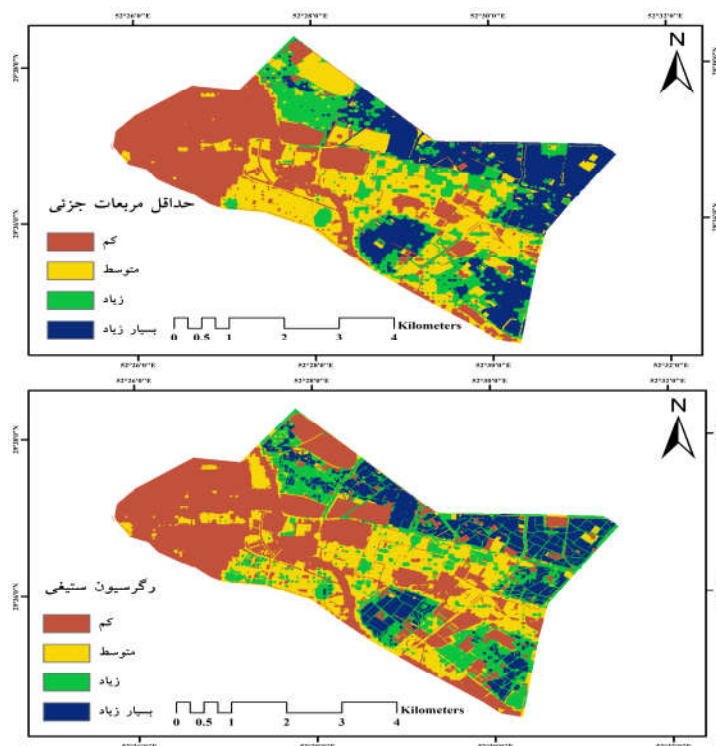
برای تهیه نقشه ریسک با استفاده از حاصل ضرب آسیب‌پذیری در احتمال خطر در محیط نرم‌افزار ArcGIS نقشه به‌دست آمد که برای آسیب‌پذیری از مدل COPRAS و برای خطر از مدل های PLS و RR استفاده شد. سپس نقشه ریسک به چهار طبقه کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تقسیم شد که شکل ۱۱ درصد



شکل ۱۰. دیاگرام تیلور برای اعتبارسنجی نتایج مدل‌های استفاده شده: (الف) آزمون و (ب) آموزش



شکل ۱۱. مساحت هر یک از طبقات ریسک سیل در منطقه چهار شیراز



شکل ۱۲. نقشه ریسک سیلاب شهری منطقه چهار شیراز (رنگی در نسخه الکترونیکی)

شهرسازی است که مشکلاتی در جهت انتقال آب‌های سطحی به وجود آورده است. اصلاح شبکه جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی از مهم‌ترین روش‌ها جهت کنترل سیلاب شهری است. در مناطق با ریسک بسیار زیاد پس از بازدیدها و بررسی‌های انجام گرفته، مشخص شد که شبکه جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی قابلیت افزایش ظرفیت را دارد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزان شهری به‌منظور ارزیابی، تدوین برنامه‌های مناسب پیشگیری و مقابله با سیلاب شهری با اجرای تمهیدات لازم برای ایمنی مناطق آسیب‌پذیر انجام شود. پیشنهاد می‌شود در قسمت‌هایی که ریسک سیلاب پیش‌بینی شده بسیار زیاد است اقدامات لازم جهت سیستم‌های هشداردهنده سیل، جلوگیری از احداث واحدهای مسکونی، مکان‌یابی صحیح مراکز امداد رسانی، بهبود وضعیت زیرساخت‌های شهری و مقاوم‌سازی، اصلاح ساختمان‌های فرسوده از طریق ایجاد انگیزه‌های مالی و استفاده از روش‌های نوین مدیریتی (LID-BMP) صورت گیرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود به‌منظور دستیابی به تحلیل دقیق‌تر ریسک سیلاب شهری علاوه بر استفاده از تعداد بیشتر معیارهای مؤثر در سیلاب و روش‌های ارزیابی متقابل (Cross Validation)، مدل‌های دیگر داده‌کاوی نیز بررسی و مقایسه شود.

مبنی بر تأثیر معیار تراکم جمعیت و ساختمان مطابقت دارد. قسمت غرب منطقه کمترین آسیب‌پذیری را در برابر وقوع سیلاب شهری دارد. عدم توزیع مناسب جمعیت در قسمت‌های غرب منطقه ناشی از استقرار انبارها، کارگاه‌ها و صنایع در امتداد راه‌های اصلی منطقه، وجود اراضی باز و به‌نسبت وسیع است که باعث عدم تعادل جمعیتی در سطح منطقه و شکل‌گیری نواحی کم‌تراکم غرب منطقه شده است. نتایج تحلیل نقشه خطر سیلاب شهری مدل‌های PLS و RR نشان داد که مناطق پایین‌دست به‌دلیل افزایش سطوح نفوذناپذیر، کاربری مسکونی، بالابودن تراز آب زیرزمینی، باعث افزایش خطر سیل‌گیری این نواحی شده است. قسمت مرکزی و غرب منطقه به‌علت کاربری فضای سبز افزایش سطوح نفوذپذیر و تراز آب زیرزمینی پایین در معرض خطر کمتری قرار دارد که با نتایج (۳ و ۱۷) مطابقت دارد. نتایج حاصل از بررسی طبقات مختلف ریسک نشان می‌دهد که ۳۴ درصد از منطقه در محدوده خطر زیاد و بسیار زیاد سیلاب است که نشان‌دهنده مستعد بودن منطقه در خصوص بروز سیلاب است. نتایج حاصل از این نقشه نشان می‌دهد شرق منطقه چهار شیراز از نظر ریسک سیلاب در طبقه بسیار زیاد قرار دارد که این امر به علت تراکم بالای جمعیت، ساختمان‌هایی با سن زیاد، وضعیت خاص معابر و طراحی‌های غیر منطبق با اصول

منابع مورد استفاده

1. Abdi, K., S. Kamyabi and M. Moghaddam. 2019. Integrated Assessment of Vulnerability, Resiliency and Space Risk Against Flood in Sari. *Physical Geography Research Quarterly* 51(3): 431-445 (In Farsi).
2. Alaghmand S., R. Bin-Abdullah, I. Abustan and B. Vosoogh. 2010. GIS-based river flood hazard mapping in urban area: a case study in Kayu Ara river basin, Malaysia. *International Journal of Engineering and Technology* 2: 488-500.
3. Azadi, F., S. H. Sadough, M. Ghahroudi and H. Shahabi. 2020. Zoning of flood risk in Kashkan River basin using two models WOE and EBF. *Journal of Geography and Environmental Hazards* 9(33): 45-60 (In Farsi).
4. Azadtab, M., H. Shahabi, A. Shirzadi and K. Chapi. 2021. Flood hazard mapping in Sanandaj using combined models of statistical index and evidential belief function. *Urban Studies* 9(36):27-40 (In Farsi).
5. Bolin, R. and L. Stanford. 1991. Shelter, housing, and recovery: A comparison of U.S. disasters. *Journal of Disasters* 15: 24-34.
6. Bolin, R. and L. Stanford. 2006. *The Northridge Earthquake: Vulnerability and Disaster*. New York, Routledge.
7. Brans, J. P. and Y. Smet. 2016. PROMETHEE methods. PP: 187-219. In: In: Greco, S., M. Ehrgott and J. Figueira (eds). *Multiple Criteria Decision Analysis*. International Series in Operations Research and Management Science, Springer, New York.
8. Brans, J. P., P. Vincke and B. Mareschal. 1986. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE

- method. *European Journal of Operational Research* 24(2): 228-38.
9. Darabi, H., B. Choubin, O. Rahmati, A. Torabi Haghighi and B. Pradhan. 2019. Urban flood risk mapping using the GARP and QUEST models: A comparative study of machine learning techniques. *Journal of Hydrology* 569: 142-154.
 10. Derafshi, K., F. Adeli Sardou and B. Malekmohammadi. 2020. Present hhe Pattern in Vulnerability Level Zoning and Analysis of Urban Areas at Flood Risk. *Emergency Management* 9(17): 5-16 (In Farsi).
 11. De Risi, R., F. Jalayer, F. De Paola, S. Carozza, N. Yonas, M. Giugni and P. Gasparini. 2020. From flood risk mapping toward reducing vulnerability: the case of Addis Ababa. *Natural Hazards* 100(1): 387-415.
 12. Dewan, A. 2013. Floods in a Megacity: Geospatial Techniques in Assessing Hazards, Risk and Vulnerability, Springer, New York.
 13. Ebert, A., N. Kerle and A. Stein . 2009. Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air and spaceborne imagery and GIS data. *Natural Hazards* 48(2): 275-294.
 14. Ebrahimi, L. 2020. Determining the priority of effective factors in flood occurrence and preparing a zoning map of flood occurrence using a new random forest algorithm(case study: Lavasanat watershed). *Environmental Hazards Management* 7(2):181-196 (In Farsi).
 15. Eini, M., H. S. Kaboli, M. Rashidian and H. Hedayat. 2020. Hazard and vulnerability in urban flood risk mapping: Machine learning techniques and considering the role of urban districts. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 50: 101687.
 16. Enarson, E. 2007. Identifying and Addressing Social Vulnerabilities. ICMA press, Washington.
 17. Eslaminezhad, S. A., M. Eftekhari, S. Mahmoodizadeh, M. Akbari and A. Haji Elyasi. 2021. Evaluation of Tree-Based Artificial Intelligence Models to Predict Flood Risk using GIS, Iran. *Water Resources Research* 17(2): 174-189 (In Farsi).
 18. Fothergill, A. and L. A. Peek. 2004. Poverty and disasters in the United States: a review of recent sociological findings. *Natural Hazards* 32(1): 89-110.
 19. Gao, Z., M. Ding, T. Huang and X. Hu. 2021. Geohazard vulnerability assessment in Qiaojia seismic zones, SW China. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 52: 101928.
 20. Ghosh, A. and S. K. Kar. 2018. Application of analytical hierarchy process (AHP) for flood risk assessment: a case study in Malda district of West Bengal, India. *Natural Hazards* 94: 349-368.
 21. Hazarika, N., D. Barman, A. K. Das, A. K. Sarma and S. B. Borah. 2016. Assessing and mapping flood hazard, vulnerability and risk in the Upper Brahmaputra River valley using stakeholders' knowledge and multicriteria evaluation (MCE). *Flood Risk Management* 11(2): 700-716.
 22. Hoerl, A. E. and R. W. Kennard. 1970. Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics* 12: 55-67.
 23. Jöreskog, K. G. and H. O. Wold. 1982. Systems under Indirect Observation: Causality, Structure, Prediction. Elsevier, Amsterdam.
 24. Karimi Firozjaei, M. and N. Neysani Samany. 2018. Assessment of flood risk of Nekarood basin using multi-criteria decision based on intuitive reasoning Dempster-Shafer. *Physical Geography Research Quarterly* 50(103): 177-194 (In Farsi).
 25. Karmakar, S. T., S. P. Simonovic, A. Peck and J. Black . 2010. An Information system for Risk-Vulnerability assessment to flood. *Journal of Geographic Information System* 2: 129-146.
 26. Kazmierczak, A. and G. Cavan. 2011. Surface water flooding risk in urban communities: analysis of vulnerability, hazard and exposure. *Landscape Urban Planing* 103(2): 185-197.
 27. Koks, E. E., B. Jongman, T. G. Husby and W. J. Botzen. 2015. Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. *Environmental Science and Policy* 4: 42-52.
 28. Lin, K., H. Chen, C. Y. Xu, P. Yan, T. Lan, Z. Liu and C. Dong. 2020. Assessment of flash flood risk based on improved analytic hierarchy process method and integrated maximum likelihood clustering algorithm. *Journal of Hydrology* 584: 124696.
 29. Lohmöller, J. B. 2013. Latent Variable Path Modeling with Partial Least Squares. Physica Verlag, Heidelberg.
 30. Madadi, A., S. Asghari, M. Badamaky and E. Ghaleh . 2020. Flood hazard zoning in Kurayim Ghorichai catchment in Ardabil province. *Quantitative Geomorphological Researches* 9(2): 81-97 (In Farsi).
 31. Masood, M., and K. Takeuchi. 2012. Assessment of flood hazard, vulnerability and risk of mid eastern Dhaka using DEM and 1D hydrodynamic model. *Natural Hazards* 61(2): 757-770.
 32. Matinfar, H., Z. Maghsodi, S. Mousavi and M. Jalali. 2021. Evaluation of machine learning methods in digital mapping of soil organic carbon (part of Khorramabad Plain). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 24(4): 327-342 (In Farsi).
 33. Meyer, V., S. Scheuer and D. Haase. 2009. A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. *Natural Hazards* 48(1):17-39.

34. Mishra, K. and R. Sinha. 2020. Flood risk assessment in the Kosi megafan using multi-criteria decision analysis: A hydro-geomorphic approach. *Geomorphology* 350:106861.
35. Mokhtari, D., M. Rezaei Moghaddam, T. Rahimpour and S. Moazzez. 2020. Preparing the Risk Map of Flood Occurrence in the Ghomnab Chai Basin Using ANP model and GIS Technique. *Iranian Journal of Ecohydrology* 7(2):497-509 (In Farsi).
36. Motawaf, S. and Z. Khodae. 2010. Patterns to bringing prosperity, reconstruction and improvement of the urban worn texture. *Urban Management Studies* (3):127-148 (In Farsi).
37. Ngo, E. B. 2001. When disasters and age collide: reviewing vulnerability of the elderly. *Natural Hazards Review* 2(2): 80-89.
38. Norollahi, M. and H. S. Kaboli. 2021. Urban flood hazard mapping using machine learning models: GARP, RF, MaxEnt and NB. *Natural Hazards* 106(1): 119-137.
39. Panahi, R., M. Hoseinzadeh and S. Khaleghi. 2021. Zonation of flood hazard probability in Gamasiab river banks from Sahneh to Bisetoon - Kermanshah province. *Journal of Natural Environmental Hazards* 10(28): 53-66 (In Farsi).
40. Paul, A. and P. Das. 2014. Flood prediction model using artificial neural network. *International Journal of Computer Applications Technology and Research* 3(7): 473-478.
41. Pouresmael, M., A. Salajegheh, A. Malekian and A. Keshtkar. 2021. Investigating Vulnerability of Urban Areas to Flood Using TOPSIS Method (Case study: Azimiyeh, Karaj). *Journal of Range and Watershed Management* 74(1):23-36 (In Farsi).
42. Qodsipoor, S. H. 2002. Analytical Hierarchy Process Technique. The Amirkabir University Press, Tehran. Iran (In Farsi).
43. Rincón, D., U. T. Khan and C. Armenakis. 2018. Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A greater Toronto area case study. *Geosciences* 8(8): 275.
44. Roy, S., A. Bose and I. R. Chowdhury. 2021. Flood risk assessment using geospatial data and multi-criteria decision approach: a study from historically active flood-prone region of Himalayan foothill, India. *Arabian Journal of Geosciences* 14(11): 1-25.
45. Safari, A., F. Sasanpour and J. Mosavand. 2011. Vulnerability Assessment of Urban Areas Against Flood Risk Using Fuzzy Logic and Gis. Case Study: The 3rd District of Tehran. *Journal of Geographical Sciences* 17(20):129-150 (In Farsi).
46. Shafapour Tehrani, S., B. Pradhan and M.N. Jebur. 2014. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights of evidence and support vector machine models in GIS. *Journal of Hydrology* 512: 332-343.
47. Smith, K. 2004. Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster, Routledge, London.
48. Tascon-Gonzalez, L., M. Ferrer-Julia, M. Ruiz and E. Garcia-Melendez. 2020. Social Vulnerability Assessment for Flood Risk Analysis. *Water* 12(2): 558.
49. Taylor, K. E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 106(D7) :7183-7192.
50. Zavadskas, E. K., A. Kaklauskas and V. Sarka. 1994. The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy* 1(3): 131-139.

Flood Risk Assessment using Multi-Criteria Decision-Making Models (MCDM) and Data Mining Methods (Case Study: Shiraz District 4)

S. Ayoubi Ayoublu¹, M. Vafakhah^{1*} and H. R. Pourghasemi²

(Received: November 25-2021 ; Accepted: January 17-2022)

Abstract

Population growth, urbanization, and land use change have increased disastrous floods. Iran is also among the countries at high risk of floods. The latest examples of flood damage are the devastating floods of the spring of 2019 with significant mortality and financial losses in more than ten provinces of the country. The purpose of this study is to prepare an urban flood risk map of District 4 City Shiraz. The vulnerability of the region was made using PROMETHEE □ and COPRAS multi-criteria decision-making models and urban flood hazard zones were prepared by partial least squares regression (PLSR) and ridge regression (RR) models and a risk map was obtained by multiplying the vulnerability and hazard in ArcGIS software. The highest percentage of the study area in the PROMETHEE □ and COPRAS models belongs to the moderate class of vulnerability. The evaluation of the vulnerability models using Boolean logic and RMSE and MAPE statistics, showed that the COPRAS model provided better results than the PROMETHEE model. The results of partial least square regression (PLSR) and ridge regression (RR) models in flood risk modeling were analyzed by the Taylor diagram, which showed the superiority of the ridge regression (RR) model and the accuracy of this model in preparing urban flood hazard maps. The risk map of the study area indicated that 34% of the area (973 ha) is in the range of high and very high flood risk.

Keywords: Hazard, Vulnerability, Urban flood, Ridge regression, COPRAS

1. Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.

2. Department of Natural Resources and Environmental Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

*: Corresponding author, Email: vafakhah@modares.ac.ir