



شناسایی و طبقه بندی معیارهای کمی و کیفی موثر در وقوع مخاطرات محیط زیستی (مطالعه موردی: خطر سیلاب در کلان شهر تهران)

گروه محیط زیست، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

گروه محیط زیست، مرکز تحقیقات محیط زیست دریایی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

گروه محیط زیست، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

گروه محیط زیست، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

علی اکبر کریمی پور

صابر قاسمی*

محسن دهقانی قناتغستانی

حسین پرورش

چکیده مبسوط

مقدمه: سیلاب به عنوان رایج ترین مخاطره طبیعی شناخته می شود. سیلاب های شهری به دلایل گوناگون رخ می دهند و سبب وارد آمدن خسارت های مالی و جانی متعددی می شوند. تعداد سیلاب های شهری در تهران در طی ۴۰ سال اخیر روند افزایشی داشته است. هدف از این تحقیق، شناسایی و طبقه بندی معیارهای کمی و کیفی موثر بر وقوع سیلاب و تعیین پهنه خطر است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۷

مواد و روش ها: برای شناسایی معیارهای موثر بر وقوع سیلاب از روش کتابخانه ای و مطالعه عمیق و نیز مراجعه به آرای خبرگان (پنل دلفی ۱۸ نفره) استفاده شد. جهت حصول اطمینان از همبستگی در ماتریس داده ها، از آزمون تحلیل عاملی استفاده شد. به منظور اولویت بندی معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شد. همچنین، با استفاده از نرم افزار Arc GIS SWMM پهنه بندی سیلاب شهری و در نهایت به کمک نرم افزار Arc GIS هم پوشانی و تحلیل نقشه ها انجام شد.

نتایج و بحث: معیار کاربری اراضی با وزن ۰/۵۲۱ بالاترین اهمیت را به خود اختصاص داد و پس از آن معیار میزان رواناب با اهمیت نسبی ۰/۱۸۶ قرار گرفت. همچنین، معیارهای تراکم پوشش گیاهی با وزن ۰/۱۰۳، شیب با وزن ۰/۰۹۷ و فاصله از مسیر و رودخانه با وزن ۰/۰۹۱ در اولویت های بعدی قرار گرفتند. در مجموع، ۲۵ زیرمعیار نیز شناسایی شد. نقشه نهایی رستری در پنج طبقه (از خطر خیلی زیاد تا خطر خیلی کم) حاصل شد که گویای خطر وقوع سیلاب در نقاط مختلف شهر تهران است. بیش ترین درصد و مساحت ریسک متعلق به طبقه ریسک کم با ۳۰/۹۴ درصد و کمترین آن نیز متعلق به طبقه ریسک خیلی بالا با ۸/۸ درصد بود.

واژه های کلیدی: سیلاب شهری، پهنه بندی خطر، کاربری اراضی، درصد شیب، شهر تهران

نتیجه گیری: در مرحله برنامه ریزی، استراتژی های مختلفی برای مدیریت سیلاب در نظر گرفته می شود. این استراتژی ها را می توان به سه دسته کلی طبقه بندی نمود. تلاش در جهت کنترل و مهار سیلاب، تلاش در جهت کاهش آسیب پذیری از سیلاب، و تلاش در جهت کاهش در معرض سیل بودن. اولین دسته بر مبنای حفاظت فیزیکی بوده و عموماً روش های سازه ای را در بر می گیرد. برخی از روش های رایج در این مورد عبارتند از: ساخت کانال، طرح های آبخیزداری در بالادست، احداث لاگون، لای رویی مسیل ها، ایجاد بافرهای جدید و غیره. همچنین، دو دسته دیگر معمولاً گروه روش های غیرسازه ای را شامل می شوند. از جمله این روش ها حفاظت از پوشش گیاهی، تسطیح شیب، اجتناب از ایجاد کاربری در کانون های خطر و توسعه برنامه های آموزشی می باشند.

نویسنده مسئول: صابر قاسمی

نشانی: گروه محیط زیست، مرکز تحقیقات محیط زیست دریایی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

تلفن: ۰۹۱۲۰۸۶۳۵۴۶

پست الکترونیکی: saberghasemi@gmail.com

استاد: کریمی پور علی اکبر، قاسمی صابر، دهقانی قناتغستانی محسن، پرورش حسین. شناسایی و طبقه بندی معیارهای کمی و کیفی موثر در وقوع مخاطرات محیط زیستی (مطالعه

موردی: خطر سیلاب در کلان شهر تهران). پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳: (۷) ۲۸-۱۴.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه http://creativecommons.org/licenses/by/4.0 در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

از بلایای هیدرولوژیکی در سال ۲۰۱۶ با ۷۴٪ بالاتر از میانگین سالانه افزایش یافته است (اداره کاهش خطر سوانح طبیعی سازمان ملل متحد ۲۰۱۵). لذا با توجه به گسترش شهرنشینی و تغییرات آب و هوایی، ساخت یک سیستم کنترل سیل مؤثر و مکانیسم زه‌کشی کارآمد در شهرها ضروری است (لوان و همکاران ۲۰۱۹).

طغیان شهری عموماً هنگامی اتفاق می‌افتد که بارندگی‌های شدید بلافاصله به دنبال آن با قابلیت سیستم زه‌کشی محدود رخ دهد (مانجوسری و سورواس ۲۰۱۹). بسته به سیستم زه‌کشی، ویژگی‌های خاص طرح زه‌کشی و محدودیت‌های محلی خاص، طغیان آبخیز در حوضه شهری ممکن است در مراحل مختلف اضافی هیدرولیک اتفاق بیفتد (رابوری و قضاوی ۲۰۱۸). سیل شهری ممکن است به سازه آسیب وارد کند، محیط زندگی روزمره مردم را تحت تأثیر قرار داده و در موارد شدید می‌تواند فاجعه بار باشد. در نتیجه، به همین دلیل مقامات جهانی به پیشگیری از سیلاب و کاهش آن علاقه دارند به این اثر ویرانگر بپردازند (سامسوری و همکاران ۲۰۱۸). مناطق شهری اگرچه به‌عنوان مراکز اقتصادی و جمعیتی خدمت می‌کنند، دارای تأثیرات منفی محیطی چه در داخل و چه در مرزهای شهری هستند. در قرن بیست و یکم، بیشتر مدل‌های آب‌وهوا و شواهد تجربی نشان می‌دهد که آب‌وهوای گرم باعث افزایش بخار آب اتمسفر می‌شود، که منجر به وقوع بارندگی شدیدتر و بیشتر می‌شود (برندسون و همکاران ۲۰۱۹).

از این‌رو آگاهی از میزان خطرپذیری مناطق مختلف شهر و توجه موضوع مدیریت سیلاب‌های شهری به منزله یکی از محورهای مهم توجه به مسائل شهری با تأکید بر حفظ محیط‌زیست شهری حائز اهمیت است (اموآکو و همکاران ۲۰۱۹). اگرچه برخی از شهرها در کشورهای مختلف هنوز رویکردهای قدیمی، خطی و سنتی را دنبال می‌کنند، بسیاری دیگر در حال تغییر از رویکردهای سنتی به استفاده از یک رویکرد یکپارچه، سازگار، هماهنگ و مشارکتی هستند که مورد نیاز مدیریت پایدار آب شهری است (ساهو و اس‌ریجا ۲۰۱۸). افزایش در هزینه خسارات و آسیب‌پذیری انسان، تصمیم‌گیرندگان محلی و دولت‌ها را ملزم ساخته است تا برای سرمایه‌گذاری در کنترل سیل‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت چاره‌ای بیندیشند. بر این اساس، آن‌ها استراتژی‌های مناسبی را بر اساس اقدامات ساختاری و غیرساختاری برای کاهش اثرات حوادث طبیعی اتخاذ نموده‌اند (اصغری عظیم ۱۴۰۲). بنا به نظر کارشناسان یکی از دلایل اصلی ایجاد سیل مدیریت شهری ناکارآمد می‌باشد (اموآکو و همکاران ۲۰۱۹). تغییرات در الگوی

خطر سیل شایع‌ترین خطر طبیعی است که تقریباً نیمی از کل بلایای طبیعی را در سراسر جهان تشکیل می‌دهد (سودهی و تانگ ۲۰۱۴). حداقل سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ میلادی ۲/۳ میلیارد نفر در اثر سیل متضرر شدند و ۵۶٪ از کل کسانی که در اثر بلایای مرتبط با آب‌وهوا آسیب دیده‌اند، تحت تأثیر سیل قرار گرفته‌اند (ان‌گانگ و همکاران ۲۰۱۷). حداقل یک‌سوم از همه ضرر و زیان ناشی از نیروهای طبیعی را می‌توان به جاری شدن سیل نسبت داد (آبه‌به و همکاران ۲۰۱۸). ناپایداری ناشی از سیلاب متغیر و پیچیده بوده و تولید سیلاب در یک حوزه آبخیز به معیارهای متعددی همچون ویژگی‌های حوزه آبخیز، میزان بار، نفوذپذیری خاک و شرایط پیشین بستگی دارد (واگ‌والا و آگنی‌هوتی ۲۰۱۹). ارزیابی ریسک سیل برای کاهش یا حذف خطرات فاجعه در تمام مناطق کشورهای مستعد سیل ضروری است. اثربخشی اقدامات سازگاری به نقش مدیران آب بستگی دارد و اجرای یک سیستم مدیریت مناسب برای آب در حداقل رساندن تأثیر سیل و هم‌بهنه‌سازی دسترسی به آب آشامیدنی و تصفیه فاضلاب‌ها می‌تواند نقش مهمی داشته باشد (جلیل‌اف و همکاران ۲۰۱۸). جمع‌آوری و دفع رواناب‌های ناشی از بارندگی در مسیر رودخانه درواقع نوعی از اقدامات ایمنی، بهداشتی و رفاهی تلقی می‌شود (ژایو و همکاران ۲۰۱۹). امروزه گسترش نامتناسب شهرها، باعث شده تا تغییرات شدیدی در مورفولوژی حوزه‌های آبخیز ایجاد شود (وال‌استروم و گوها سایپر ۲۰۱۵). همچنین تسطیح زمین، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها، باعث تغییر الگوی زه‌کشی طبیعی و جاری شدن رواناب در سطح شهرها می‌شود. با رشد سریع شهرسازی و ایجاد و توسعه زیرساخت‌ها، سیلاب در نواحی شهری بیشتر و شدیدتر شده است (بابایی و همکاران ۱۳۹۷). شهرنشینی منجر به افزایش مناطق ناپایدار و احداث شبکه‌های زه‌کشی آب طوفان می‌شود که زمان لازم برای غلظت و افزایش رواناب مستقیم را کاهش می‌دهد، در نتیجه باعث افزایش سریع‌تر جریان و کاهش سفره‌های آبی می‌شود (محمدی و همکاران ۱۴۰۲). علاوه بر این، آب‌های طبیعی مانند دریاچه‌ها، تالاب‌ها و آبراهه‌ها که می‌توانند مقدار قابل توجهی از آب سیل را مهار کنند، تا حد زیادی کاهش یافته یا پر شده‌اند، بنابراین میزان وقوع سیل افزایش یافته است (جلیل‌اف و همکاران ۲۰۱۸). فرکانس فزاینده حوادث فاجعه سیل شهری، جان و زیرساخت‌های انسان را تهدید کرده است و منجر به خسارات اقتصادی بیشتر گشته است. تخمین زده می‌شود که وقایع هیدرولوژیکی ۵۱/۷٪ از کل بلایای طبیعی را که در سال ۲۰۱۶ رخ داده است نشان می‌دهد. علاوه بر این، کل هزینه ناشی

فعلی (بازار یا منطقه تجاری) به منطقه کلان‌شهر تهران امروز تدریجی نبوده است. بخش بزرگی از رشد شهری در منطقه و جمعیت در ۵۰ سال گذشته رخ داده است. این شهر در مرکز حوضه تهران با مساحت ۲۰۶۴ کیلومتر مربع واقع شده است (صادقی‌نیا و همکاران ۱۳۹۱).

عمده‌ترین دلایل جاری شدن سیل در شهر تهران پیشرفت فیزیکی تا ارتفاع ۲۲۰۰ متر، دامنه‌های شیب‌دار در مناطق شمالی، اختلاف ارتفاع در حدود ۷۰۰ متر بین مناطق شمالی و جنوبی، ساخت‌وسازهای گسترده، بی‌توجهی به وضعیت اکوسیستم، کاهش جذب خاک، ناسازگاری شبکه فاضلاب و ساخت‌وساز در مناطق بافر رودخانه‌ها است. این امر آستانه بارش برای تولید سیل را نیز کاهش داده است (بناری و همکاران ۱۳۹۵). بررسی سیل‌های گذشته در تهران و بارش در این سیل‌ها نشان می‌دهد که حوادث سیل در تهران در آستانه بارش ۳۵ تا ۵۰ میلی‌متر رخ داده است. بر اساس مطالعات، تعداد حوادث سیل در شهر تهران طی چهار دهه اخیر (۱۴۰۰-۱۳۶۰) رو به افزایش بوده است (بهشتاش و همکاران ۱۴۰۰). به طور مشهود بخش‌هایی از شمال تهران به دلیل تأثیر حوضه‌های بالادست قابلیت بالای سیل‌خیزی دارد (بهروزی و همکاران ۱۳۹۴). از اینرو نیاز به توجه بیش‌تری به مناطق پایین‌دست این شهر الزامی می‌باشد دلیل این امر این است که کانال‌ها توانایی لازم برای عبور و دفع سیلاب شهری را ندارند (رفیعی امام و همکاران ۱۳۹۵). تأثیر زیرساخت‌های سطحی و زیرسطحی جمع‌آوری سیلاب از دیگر معیارها مهم در ایجاد سیلاب‌های شهری می‌باشد (احمدی شرف و همکاران ۱۳۹۶). اگرچه الگوهای توزیع بارش نیز می‌تواند باعث تسهیل سیلاب شهری شود. بنابراین، هدف اصلی از انجام این تحقیق شناسایی و طبقه‌بندی معیارهای کمی و کیفی در وقوع سیلاب در شهر تهران است. در اصل، سوال تحقیق آن است که معیارهای موثر بر وقوع سیلاب شهری در تهران کدامند؟ و اهمیت آن‌ها چگونه ارزیابی می‌شود؟ اهداف فرعی تحقیق عبارت بودند از اولویت‌بندی معیارهای موثر بر وقوع سیلاب شهری در تهران و تعیین سطح ریسک مربوط به هر کدام. فرضیه‌های مطرح شده در این تحقیق عبارت بودند از آنکه معیارهای موثر بر وقوع سیلاب در شهر تهران از وزن یکسانی برخوردار نیستند و همچنین سطح ریسک بالا ارزیابی می‌شود.

کاربری اراضی عمدتاً مسئول سیل است و منجر به خسارت و تلفات شده است (کریمی و همکاران ۱۳۹۴). عدم مدیریت سیل در مناطق شهری، به نوبه خود منجر به افزایش تلفات جانی شدیدی در شهرها خواهد شد (واگ‌والا و آگنی‌هوتتری ۲۰۱۹). اثرات خطر سیل از نظر عمق سیل و منطقه آبگرفتگی پارامترهای اجباری برای مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب سیلاب است (ساهو و اس‌راجا ۲۰۱۸). در گذشته رویکردهای مدیریت سیلاب بر اساس جمع‌آوری، انتقال و دفع سیلاب‌های شهری بوده است. در حالی که رویکردهای مدرن در مدیریت سیلاب‌های شهری بر روش‌هایی که حداکثر تطابق را با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی داشته باشد، تأکید دارد. هدف از رویکردهای مدرن در مدیریت سیلاب‌های شهری، کنترل و کاهش سیلاب و انتقال آلودگی ناشی از آن می‌باشد (بدیع‌زاده و همکاران ۱۳۹۴). این روش‌ها که در آن‌ها تأکید بر حداکثر تطابق با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی می‌باشد را اصطلاحاً روش‌های توسعه کم‌اثر می‌گویند. در روش کم‌اثر سعی بر حفظ و بازگردان شرایط هیدرولوژیکی طبیعی حوزه آبخیز و بهبود شرایط زیست‌محیطی در آن است. این روش عملاً شامل مجموعه‌ای از روش‌های برنامه‌ریزی اراضی و طراحی مهندسی است که به کار گرفته می‌شود و ابزاری برای مدیریت رواناب‌های سطحی و سیلاب‌های شهری حوزه آبخیز می‌باشد (احمدیان ۱۳۹۶). این روش تأکیدی بر حفاظت از سیمای طبیعی حوضه برای حفاظت از کمیت و کیفیت آب دارد و از فرصت‌های محیطی، در مدیریت رواناب‌های سطحی در راستای احیاء چرخه طبیعی آب حداکثر استفاده را می‌کند (چن و همکاران ۲۰۰۹).

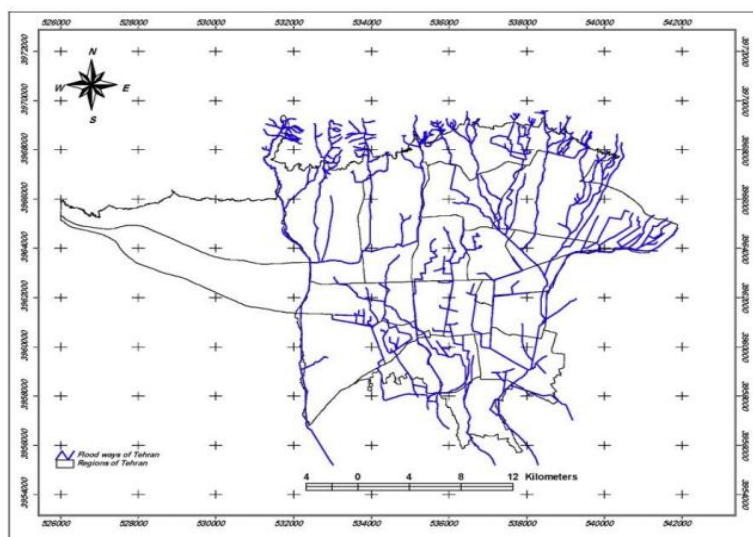
شهر تهران دارای ۲۲ منطقه و ۱۲۳ ناحیه می‌باشد. اگرچه کل ۱۲۳ ناحیه شهری تهران درگیر بحث آب گرفتگی نمی‌باشند، ولی در مناطق شمالی خطرات سیلاب و آب‌گرفتگی حاصل از حوضه بالادست و تغییر کاربری‌های انجام‌شده در آن منطقه می‌تواند احتمال وقوع سیلاب را افزایش دهد. در مناطق مرکزی و مخصوصاً جنوب شهر تهران به‌علت چالش‌های اقتصادی-اجتماعی، تراکم جمعیت بالا و عدم رعایت برخی دستورالعمل‌های مدیریت شهری توسط برخی شهروندان می‌تواند خطرات سیلابی شدن این نواحی را افزایش دهد. تهران، پایتخت ایران، ۲۰۰ سال قدمت دارد. تبدیل آن از یک دهکده کوچک در منطقه مرکزی

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

تهران متغیر است (دبیری و همکاران ۱۳۹۸). توسعه فیزیکی شهر تهران تا ارتفاع ۱۱۳۳ متری و تسطیح زمین، اشغال حریم آبراهه و مسیل‌ها، سبب افزایش رخداد سیلاب‌های شهری شده است. به‌طوری‌که آستانه‌های میزان بارش در تولید سیلاب تهران کاهش یافته است (شهرداری تهران ۱۳۹۴). شکل ۱ نقشه سیستم زه‌کشی شهر تهران را نشان می‌دهد.

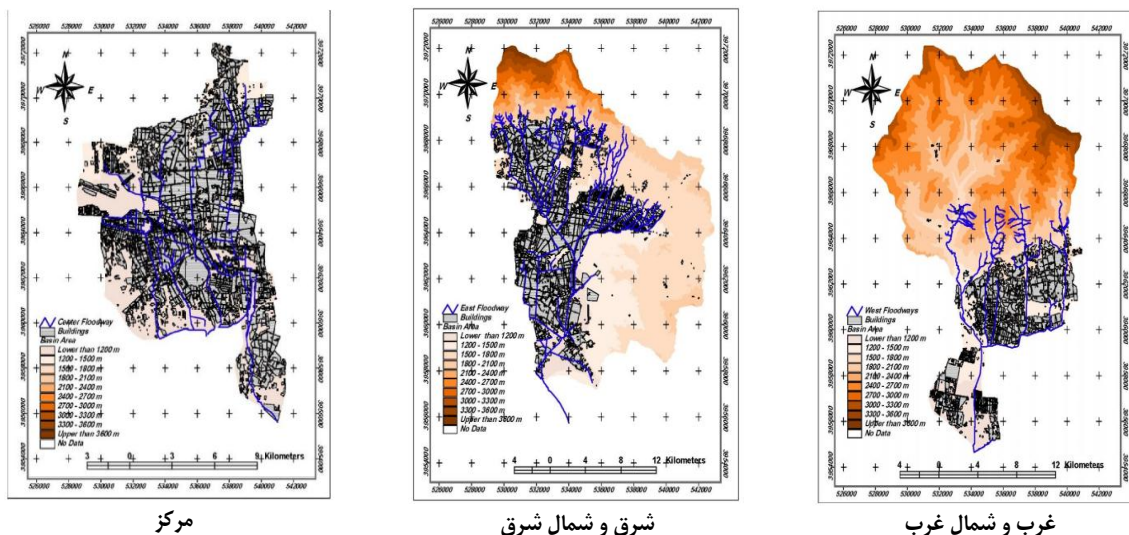
کلان‌شهر تهران در ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. حداقل ارتفاع منطقه ۱۰۳۲ متر در جنوبی‌ترین نقطه حوضه و حداکثر ارتفاع ۳۹۰۳ متر در بخش شمالی حوضه می‌باشد. بارش سالانه در محدوده شهر تهران عمدتاً متأثر از تغییرات ارتفاعی محدوده شهر بوده و بین حد بیشتر ۴۲۲ میلی‌متر در شمال تهران تا ۱۴۵ میلی‌متر در جنوب شرق



شکل ۱- نقشه سیستم زه‌کشی شهر تهران

برگردان غرب و شمال غرب (۱۴۷ کیلومترمربع) و سیل برگردان مرکزی (۱۶۵ کیلومترمربع) تقسیم می‌شوند (شکل ۲).

حوضه‌های درون‌شهری تهران به سه حوضه اصلی به نام‌های سیل برگردان شرق و شمال شرق (۲۲۰ کیلومترمربع)، سیل



شکل ۲- نقشه سیستم زه‌کشی در مناطق شهر تهران

روش پژوهش

درجه اهمیتشان رتبه دادند. به منظور ارزش‌گذاری پاسخ‌های ریسک‌های بالقوه از طیف لیکرت پنج درجه (از ۱: بسیار ضعیف تا ۵: بسیار قوی) استفاده شد (جدول ۱). برای روایی ظاهری و محتوایی پرسش‌نامه از نظر ۳ تن از اساتید بهره گرفته شد که در چند نوبت و به شکل رفت و برگشت اصلاحات انجام شد. برای تعیین اعتبار و پایایی پرسش‌نامه، از روش آلفای کرونباخ توسط نرم افزار SPSS, Version 21 استفاده شد که بر این اساس، آلفای کرونباخ ۰/۸۷۶ تعیین شد که نشان از پایایی قابل قبول داشت. پیل دلفی تحقیق شامل ۱۸ نفر از خبرگان حیطه مدیریت سیلاب، مدیریت محیط‌زیست و مدیریت شهری بود و روش نمونه‌گیری نیز از نوع گلوله برفی انتخاب شد که تا رسیدن به اجماع نهایی ادامه یافت. جهت حصول اطمینان از همبستگی در ماتریس داده‌ها، از آزمون تحلیل عاملی استفاده شد.

این تحقیق از نوع کاربردی است که به روش ترکیبی (کتابخانه‌ای و میدانی) انجام شده است. بازه زمانی داده‌های آماری تحقیق حداقل سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۱ بوده است. داده‌های پایه شهر تهران از سازمان‌های تخصصی نظیر هواشناسی، حفاظت محیط‌زیست، شهرداری، استانداری و سازمان جغرافیایی تهیه شدند. دستیابی به معیارهای موثر بر سیلاب شهری در تهران در طی دو مرحله صورت گرفت. در بخش اول، از طریق بررسی اسناد مکتوب (شامل گزارش‌ها، مقاله‌ها، کتاب‌ها و منابع اینترنتی معتبر) اقدام به تهیه فهرست اولیه از معیارهای موثر گردید. سپس، در مرحله دوم با مراجعه به آرای خبرگان نسبت به تایید و رد معیارهای تهیه شده اقدام شد. بدین‌منظور از پرسش‌نامه محقق‌ساخته استفاده شد تا در نهایت فهرست قطعی شکل گرفت. در این پرسش‌نامه پاسخ‌دهندگان به هر یک از معیارها مطابق با

جدول ۱- نمونه سوالات پرسش‌نامه طیفی لیکرت مورد استفاده در تحقیق

معیار نظردهی				سوال
بسیار ضعیف	ضعیف	متوسط	قوی	
				به نظر شما اثرگذاری معیار در وقوع سیلاب شهری در تهران چگونه است؟

استفاده گردید. اگر چه روش FAHP در هنگام تجزیه و تحلیل مشکلات پیچیده تصمیم‌گیری نیاز به محاسبات یکنواخت دارد، اما قادر است قضاوت عدم قطعیت‌های انسانی را به‌دست آورد

در گام بعد، برای محاسبه وزن معیارها با استفاده از الگوریتم‌های فرآیند سلسله مراتبی، اقدام به مقایسه زوجی شد. برای تعیین وزن معیارها و هم‌چنین طبقات هر معیار از روش Fuzzy AHP

میانگین حسابی به پاسخ‌های دقیق‌تری می‌رسد. این روش در سال ۱۹۹۲ ارایه شد و در سال ۱۹۹۶ توسط چانگ بهبود یافت. او در این روش، از اعداد مثلثی فازی استفاده کرد و برای تعیین وزن نهایی نیز از درجه امکان‌پذیری بهره گرفت. منظور از درجه امکان‌پذیری آن است که مشخص شود چقدر احتمال دارد یک عدد فازی بزرگتر از یک عدد فازی دیگر باشد (حیبی و آفریدی ۱۴۰۱).

در این ارتباط برای ارزیابی اهمیت معیارها متغیرهای زبانی به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شوند. با توجه به جدول ۲ وزن بالاتر یک پارامتر اهمیت بالایی از آن پارامتر نشان می‌دهد.

(یانگ و همکاران ۲۰۱۳). انعطاف‌پذیری، قاعده‌مند بودن محاسبات و امکان رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها با در نظر گرفتن عدم قطعیت از مزیت‌های اصلی Fuzzy AHP هستند (دبیری و همکاران ۱۳۹۸). برای پیاده‌سازی روش Fuzzy AHP، معیارها با توجه به سطح بالاتر به صورت دو به دو مقایسه می‌شوند. سپس در ادامه تحقیق براساس روش چانگ برای بیان ارجحیت یک معیار بر معیار دیگر یا یک کلاس بر کلاس دیگر از عبارت‌های زبانی استفاده شد و ماتریس مقایسات زوجی تشکیل گردید. یکی از مزیت‌های شناخته‌شده در روش چانگ آن است که این روش زمانی که تعداد پاسخ‌دهندگان بیش از ۵ نفر باشد، با محاسبه

جدول ۲- اصطلاحات زبانی و مقیاس فازی مثلثی مربوطه (یانگ و همکاران ۱۳۹۳)

مقیاس ساعتی	اصطلاحات زبانی	مقیاس فازی مثلثی (TFN)
۱	اهمیت برابر	(۱، ۱، ۱)
۳	اهمیت متوسط یکی بر دیگری	(۲، ۳، ۴)
۵	اهمیت قوی یا ضروری	(۴، ۵، ۶)
۷	اهمیت واضح	(۶، ۷، ۸)
۹	اهمیت شدید	(۸، ۹، ۹)
۲، ۴، ۶، ۸	مقادیر متوسط بین دو داور نزدیک	(۱، ۲، ۳) (۳، ۴، ۵) (۵، ۶، ۷) (۷، ۸، ۹)

SWMM از روش‌های ساده هیدرولوژیکی است که تنها به داده‌های محدود و قابل سنجش متکی است. جهت رسیدن به این هدف از نرم‌افزار SWMM 5.1.013 استفاده گردید. خروجی این نرم‌افزار این قابلیت را دارد که میزان بار آلودگی حاصل از رواناب‌های سطحی سیلاب‌های شهری، همچنین انتقال و روندیابی آلودگی حاصل از سیلاب شهری را مدل‌سازی کند. در نهایت به کمک پهنه‌بندی محدوده‌های با مخاطره مختلف شناسائی می‌گردد و برای هر پهنه بر اساس نوع کاربری اقدام موثر شناسائی می‌گردد.

در مرحله بعد، اقدام به نرمال‌سازی ماتریس اعداد فازی شد، از میانگین هندسی (براساس روش چانگ) به منظور محاسبه وزن‌ها استفاده گردید. در روش میانگین هندسی از قواعد ضرب فازی پیروی می‌کند که با ضرب معمولی متفاوت است. نهایتاً اوزان فازی هر یک از معیارها با استفاده از روش مرکز سطح به یک کمیت کلاسیک تبدیل شدند و به این ترتیب اوزان دیفازی‌سازی شده آماده به‌کارگیری در محیط GIS گردید. این محاسبات در محیط نرم‌افزار تحت اکسل انجام شد.

به کمک نرم‌افزار SWMM پهنه‌بندی سیلاب شهری و در نهایت به کمک نرم‌افزار Arc GIS تحلیل نقشه‌ها انجام شد. مدل

نتایج و بحث

فهرستی از معیارهای موثر بر وقوع سیلاب در شهر گردید (جدول ۳).

در بخش کیفی با استفاده از سوابق و پیشینه تحقیق، اقدام به تهیه

جدول ۳- معیارهای موثر بر وقوع سیلاب شهری استخراج شده از تحقیقات گذشته

مفهوم	معیارهای موثر	منابع
میزان رواناب	میزان رواناب	(قهرودی تالی و همکاران ۱۳۹۵) (ملایی و طیبیان ۱۳۹۹) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)
	بافت فرسوده	(قهرودی تالی و همکاران ۱۳۹۵)
کاربری اراضی	کاربری اراضی	(قهرودی تالی و همکاران ۱۳۹۵) (بهتاش و همکاران ۱۳۹۲) (قبادی و همکاران ۱۳۹۵) (قبادی و سپه‌وند ۱۳۹۸) (گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (منفرد و همکاران ۱۴۰۰) (ملایی و طیبیان ۱۳۹۹) (اژدری و رحیمی ۱۳۹۹) (نجیب و همکاران ۱۳۹۹) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵) (شیخ شریعتی کرمانی و همکاران ۱۴۰۰)
	توسعه شهرنشینی	(اژدری و رحیمی ۱۳۹۹) (دهقانی نژاد و همکاران ۱۴۰۰) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)
تراکم پوشش گیاهی	تراکم پوشش گیاهی	(قهرودی تالی و همکاران ۱۳۹۵) (بهتاش و همکاران ۱۳۹۲) (قبادی و سپه‌وند ۱۳۹۸) (گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (دهقانی نژاد و همکاران ۱۴۰۰) (شیخ شریعتی کرمانی و همکاران ۱۴۰۰)
	شیب	(قهرودی تالی و همکاران ۱۳۹۵) (بهتاش و همکاران ۱۳۹۲) (قبادی و همکاران ۱۳۹۵) (گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (منفرد و همکاران ۱۴۰۰) (ملایی و طیبیان ۱۳۹۹) (نجیب و همکاران ۱۳۹۹)
تراکم جمعیت	تراکم جمعیت	(قهرودی تالی و همکاران ۱۳۹۵) (قبادی و همکاران ۱۳۹۵) (قبادی و سپه‌وند ۱۳۹۸) (اژدری و رحیمی ۱۳۹۹) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)
	رشد جمعیت	(اژدری و رحیمی ۱۳۹۹) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)
بارندگی	بارندگی	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲) (گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (منفرد و همکاران ۱۴۰۰) (ملایی و طیبیان ۱۳۹۹) (نجیب و همکاران ۱۳۹۹) (شیخ شریعتی کرمانی و همکاران ۱۴۰۰)
	فرسایش خاک	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲)
میزان رطوبت خاک	میزان رطوبت خاک	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲)
	فاصله از مسیل، کانال و رودخانه	(قبادی و همکاران ۱۳۹۵) (دهقانی نژاد و همکاران ۱۴۰۰) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)
خاکشناسی	خاکشناسی	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲) (گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (شیخ شریعتی کرمانی و همکاران ۱۴۰۰)
	زمین شناسی	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲) (قبادی و همکاران ۱۳۹۵) (قبادی و سپه‌وند ۱۳۹۸) (گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (شیخ شریعتی کرمانی و همکاران ۱۴۰۰)
سنگ‌شناسی	سنگ‌شناسی	(منفرد و همکاران ۱۴۰۰)
	توپوگرافی و ارتفاع حوضه	(قبادی و سپه‌وند ۱۳۹۸) (منفرد و همکاران ۱۴۰۰) (ملایی و طیبیان ۱۳۹۹) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)
میزان رطوبت خاک	میزان رطوبت خاک	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲)
	درجه حرارت	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲)
تراز آب زیرزمینی	تراز آب زیرزمینی	(بهتاش و همکاران ۱۳۹۲)
	شبکه زهکشی	(گرامی و زیدی ۱۳۸۹)
شکل حوضه	شکل حوضه	(گرامی و زیدی ۱۳۸۹) (شیخ شریعتی کرمانی و همکاران ۱۴۰۰)
	شبکه فرسوده جمع‌آوری رواناب	(اژدری و رحیمی ۱۳۹۹)
میزان سطوح نفوذناپذیر	میزان سطوح نفوذناپذیر	(اژدری و رحیمی ۱۳۹۹) (نجیب و همکاران ۱۳۹۹) (دهقانی نژاد و همکاران ۱۴۰۰) (اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۵)

فصلنامه پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست

در مرحله بعد از تحلیل عاملی برای تایید یا رد معیارهای شناسایی شده استفاده شد و نتایج در جدول ۴ نشان داده شده است. ردیف‌هایی که مقدار ویژه آن‌ها کمتر از ۱ است، حذف شده‌اند. بلوک نخست شامل سه ستون با برچسب مقادیر ارزش ویژه اولیه است که مربوط به مقادیر ویژه ماتریس همبستگی است. مقدار

ویژه مقداری از واریانس آزمون کل است که با یک عامل خاص برآورد می‌شود و واریانس کل آزمون برابر ۱۰۰٪ است. ستون دوم سهم واریانس هر عامل از واریانس کل را نشان می‌دهد که از تقسیم مقدار ویژه هر عامل بر تعداد آزمون‌ها به دست می‌آید.

جدول ۴- جدول مقادیر ارزش ویژه

ردیف	مقادیر ویژه اولیه			مقادیر استخراجی مجدور بار عاملی			مجموع مربعات چرخش یافته		
	مجموع	واریانس	درصد	مجموع	واریانس	درصد	مجموع	واریانس	درصد
	مجموع	واریانس	درصد	مجموع	واریانس	درصد	مجموع	واریانس	درصد
۱	۵/۱۴۴	۲۲/۳۶۶	۲۲/۳۶۶	۵/۱۴۴	۲۲/۳۶۶	۲۲/۳۶۶	۳/۵۱۹	۱۵/۳۰۲	۱۵/۳۰۲
۲	۲/۷۷۸	۱۲/۰۸۰	۳۴/۴۴۶	۲/۷۷۸	۱۲/۰۸۰	۳۴/۴۴۶	۲/۹۳۳	۱۲/۷۵۱	۲۸/۰۵۳
۳	۲/۳۵۸	۱۰/۲۵۳	۴۴/۶۹۸	۲/۳۵۸	۱۰/۲۵۳	۴۴/۶۹۸	۲/۵۹۵	۱۱/۲۸۳	۳۹/۳۳۶
۴	۲/۰۲۵	۸/۸۰۴	۵۳/۵۰۲	۲/۰۲۵	۸/۸۰۴	۵۳/۵۰۲	۲/۵۲۹	۱۰/۹۹۶	۵۰/۳۳۱
۵	۱/۴۸۱	۶/۴۳۸	۵۹/۹۴۰	۱/۴۸۱	۶/۴۳۸	۵۹/۹۴۰	۲/۲۱۰	۹/۶۰۸	۵۹/۹۴۰

ملاک تصمیم‌گیری درباره دسته‌بندی سوالات، مقادیر ویژه بالاتر از ۱ و در جدول مقادیر ویژه بالاتر از ۱ نمایش داده شده‌اند. با توجه به جدول شماره ۳، پنج عامل اصلی با مقدار ویژه بالاتر از ۱ استخراج شدند که عبارت بودند از درصد شیب، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه و مسیل، میزان رواناب و پوشش گیاهی. بنابراین زیرمعیارهای موجود را می‌توان در پنج دسته طبقه‌بندی کرد. با توجه به نتایج به دست آمده، دسته‌بندی معیارها و زیرمعیارها در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- معیارها و زیرمعیارهای موثر بر وقوع سیلاب شهری

مفهوم	عامل اصلی	زیرمعیارها
درصد شیب		شیب $> ۵\%$
		شیب $۵-۱۰\%$
		شیب $۱۰-۲۰\%$
		شیب $< ۲۰\%$
کاربری اراضی		مسکونی
		تجاری و اداری
		کارگاهی و صنعتی
		معبر
		فضای سبز و باغ
		بایر و زمین خالی
مهم ترین معیارها موثر در وقوع سیلاب شهری	فاصله از رودخانه و مسیل	خدمات شهری
		کمتر از ۵۰۰ متر
		۵۰۰-۱۰۰۰ متر
		۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر
		۱۵۰۰-۲۵۰۰ متر
		بیشتر از ۲۵۰۰ متر
میزان رواناب		۲۴۶-۸۰ میلی متر
		۲۶۱-۲۵۶ میلی متر
		۲۷۱-۲۶۱ میلی متر
		۲۷۹-۲۷۱ میلی متر
		۲۸۷-۲۷۹ میلی متر
		۲۹۸-۲۸۷ میلی متر
تراکم پوشش گیاهی		مناطق به تراکم پوشش گیاهی پایین
		مناطق به تراکم پوشش گیاهی متوسط
		مناطق به تراکم پوشش گیاهی بالا

در ادامه، با استفاده از طیف‌های فازی AHP به سوالات پرسش‌نامه پاسخ داده شد. وزن‌دهی به هر پارامتر با توجه به اعداد جدول راهنما و بر اساس نظر متخصصان انجام شد. مقادیر وزنی شده با مقایسه عددی برای هر یک از معیارها موثر بر وقوع سیلاب در شهر اختصاص داده شد. متخصصان هر گروه با مقایسه مقیاس متغیرهای زوج با استفاده از مقیاس‌های مثلثی فازی مقایسه

پارامترها را مقایسه کردند. برای وارد کردن مقایسات زوجی بین مولفه‌ها، از اوزان فازی استفاده شده است. به این صورت که در پرسش‌نامه توزیع شده به جای هر کدام از مقیاس‌های نه‌گانه زبانی از طیف ۱ تا ۹ استفاده شد و سپس در نرم‌افزار اکسل اوزان مثلثی مربوط به هر کدام وارد شد. ماتریس مقایسات زوجی بین معیارها اصلی در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- مقایسه زوجی بین معیارهای اصلی موثر بر سیلاب شهری با توجه به هدف مسئله

تراکم پوشش گیاهی	میزان رواناب	فاصله از مسیل و رودخانه	کاربری اراضی	شیب	
(۱/۰۳، ۰/۸۵، ۰/۶۴)	(۱/۴۸، ۱/۳۸، ۱/۲۸)	(۱/۵۸، ۱/۳۶، ۱/۲۳)	(۱/۳۵، ۱/۱۲، ۱/۰۲)	(۱/۰۰، ۱/۰۰، ۱/۰۰)	شیب
(۱/۵۲، ۱/۲۶، ۱/۰۳)	(۲/۱۴، ۱/۸۶، ۱/۵۸)	(۴/۰۳، ۳/۶۵، ۳/۱۴)	(۱/۰۰، ۱/۰۰، ۱/۰۰)	(۰/۹۸، ۰/۸۹، ۰/۷۴)	کاربری اراضی
(۱/۶۴، ۱/۲۸، ۱/۱۵)	(۲/۶۴، ۲/۳۶، ۲/۱۴)	(۱/۰۰، ۱/۰۰، ۱/۰۰)	(۰/۳۱، ۰/۲۷، ۰/۲۴)	(۰/۸۱، ۰/۷۳، ۰/۶۳)	فاصله از رودخانه و مسیل
(۱/۸۹، ۱/۵۲، ۱/۲۳)	(۱/۰۰، ۱/۰۰، ۱/۰۰)	(۰/۴۶، ۰/۴۲، ۰/۳۷)	(۰/۶۳، ۰/۵۳، ۰/۴۶)	(۰/۷۸، ۰/۷۲، ۰/۶۷)	میزان رواناب
(۱/۰۰، ۱/۰۰، ۱/۰۰)	(۰/۸۱، ۰/۶۵، ۰/۵۲)	(۰/۸۶، ۰/۷۸، ۰/۶۰)	(۰/۹۷، ۰/۷۹، ۰/۶۵)	(۱/۵۶، ۱/۱۷، ۰/۹۷)	تراکم پوشش گیاهی

برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی، مقدار S که خود یک عدد مثلثی است، محاسبه می‌شود. پس از محاسبه S برای تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی، درجه اهمیت و وزن

نهایی با استفاده از روش میانگین هندسی محاسبه شد. درجه اهمیت و وزن نهایی برای معیارهای اصلی در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷- درجه اهمیت برای معیارهای اصلی

تراکم پوشش گیاهی	میزان رواناب	فاصله از مسیل و رودخانه	کاربری اراضی	شیب	
۰/۵۰	۰/۳۵	۰/۹۷	۱/۸۶	۱	شیب
۰/۱۹	۰/۳۷	۰/۱۷	۱	۰/۱۸	کاربری اراضی
۰/۵۱	۰/۳۶	۱	۰/۸۹	۱/۰۲	فاصله از رودخانه و مسیل
۱/۰۸	۱	۱/۵۷	۲/۴۰	۱/۶۰	میزان رواناب
۱	۰/۹۱	۱/۴۶	۲/۲۶	۱/۴۸	تراکم پوشش گیاهی
۰/۱۹۹	۰/۳۵	۰/۱۷	۱	۰/۱۸	مینیمم
۰/۱۰۳	۰/۱۸۶	۰/۰۹۱	۰/۵۲۱	۰/۰۹۷	وزن

همچنین، در جدول ۸ اولویت‌بندی عوامل اصلی موثر درج شده است.

جدول ۸- اولویت‌بندی معیارهای اصلی

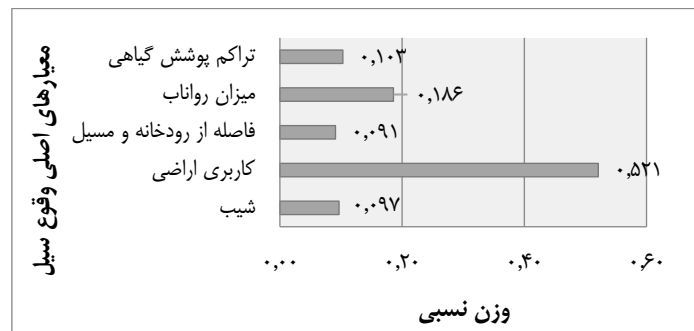
اولویت‌بندی	عامل اصلی موثر
۱	کاربری اراضی
۲	میزان رواناب
۳	تراکم پوشش گیاهی
۴	شیب
۵	فاصله از رودخانه و مسیل

یافته‌های این بخش بیانگر آن بوده است که معیار "کاربری اراضی" با وزن ۰/۵۲۱ بالاترین اهمیت را به خود اختصاص داده

است و پس از آن معیار "میزان رواناب" با اهمیت نسبی ۰/۱۸۶ قرار دارد. همچنین، معیارهای "تراکم پوشش گیاهی" با وزن

شکل ۳ نیز اوزان تمام معیارها در مقایسه با یکدیگر و هدف مسئله‌ای مورد بررسی مشخص گردیده است.

۰/۱۰۳، "شیب" با وزن ۰/۰۹۷ و "فاصله از مسیل و رودخانه" با وزن ۰/۰۹۱ در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند. وزن زیرمعیارهای هر کدام از معیارها اصلی نیز در جدول ۹ آورده شده است.



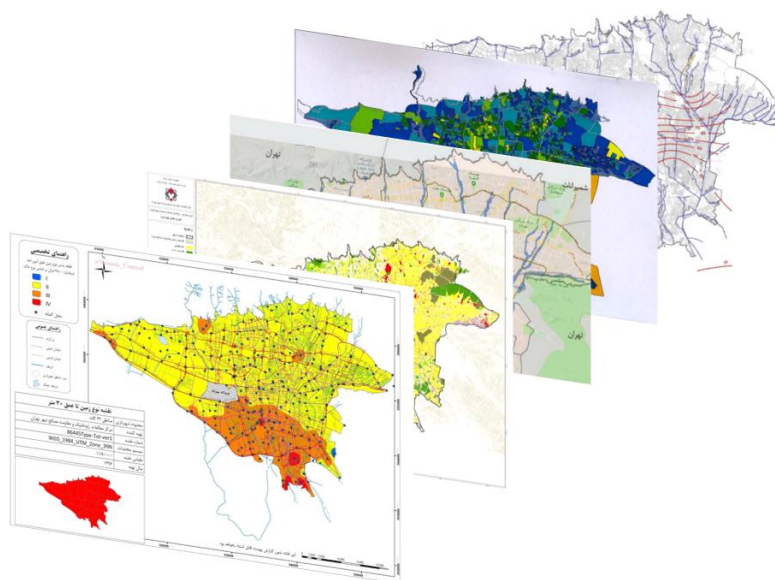
شکل ۳- نمودار مقایسه وزن نسبی و درجه اهمیت معیارهای موثر در وقوع سیلاب در شهر تهران

جدول ۹- اولویت‌بندی معیارها و زیرمعیارهای موثر بر وقوع سیلاب شهری در تهران

معیار	زیرمعیار	وزن	اولویت در هر معیار
رواناب	۲۸۷-۲۹۸ میلی متر	۰/۳۰۰	۱
	۲۷۹-۲۸۷ میلی متر	۰/۲۴۶۴	۲
	۲۷۱-۲۷۹ میلی متر	۰/۲۴۶۲	۳
	۲۶۱-۲۷۱ میلی متر	۰/۱۹۴	۴
	۲۵۶-۲۶۱ میلی متر	۰/۰۱	۵
	۸۰-۲۴۶ میلی متر	۰/۰۰۲	۶
فاصله از رودخانه و مسیل	کمتر از ۵۰۰ متر	۰/۲۸۹	۱
	۵۰۰-۱۰۰۰ متر	۰/۲۳۶	۲
	۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر	۰/۱۷۷	۳
	۱۵۰۰-۲۵۰۰ متر	۰/۱۶۷	۴
	بیشتر از ۲۵۰۰ متر	۰/۱۲۹	۵
تراکم پوشش گیاهی	مناطق به تراکم پوشش گیاهی پایین	۰/۵۵۵	۱
	مناطق به تراکم پوشش گیاهی متوسط	۰/۴۰۶	۲
	مناطق به تراکم پوشش گیاهی بالا	۰/۰۳۷	۳
کاربری اراضی	مسکونی	۰/۱۸۲	۱
	تجاری و اداری	۰/۱۶۹	۲
	معبر	۰/۱۶۲	۳
	کارگاهی و صنعتی	۰/۱۳۶	۴
	فضای سبز و باغ	۰/۱۱۹	۵
	بایر و زمین خالی	۰/۱۱۸	۶
	خدمات شهری	۰/۱۱۱	۷
شیب	شیب $< ۲۰\%$	۰/۵۱	۱
	شیب $۱۰-۲۰\%$	۰/۳۱۲	۲
	شیب $۵-۱۰\%$	۰/۱۲۶	۳
	شیب $> ۵\%$	۰/۰۵۲	۴

محركه‌ها با نقشه‌های پایه شهر تهران، پهنه‌بندی نهایی خطر وقوع سیلاب تولید شد. بدین منظور وزن معیارها در لایه‌های مربوط ضرب و همراه با آن عملیات تلفیق لایه‌ها صورت گرفت (شکل ۴).

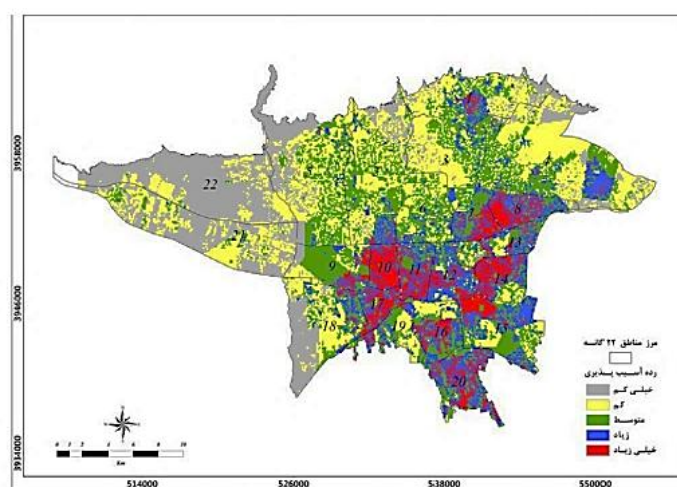
در بخش آخر تحقیق، طبقه‌بندی لایه‌ها با توجه به شرایط حاکم بر منطقه و نظر کارشناسی انجام یافت. براساس طبقه‌بندی ارایه شده در جدول شماره ۷، لایه‌های اطلاعاتی و طبقات مرتبط با آنها تهیه شدند با هم‌پوشانی‌اندازی نقشه‌های حاصل از نیرو



شکل ۴- فرآیند هم‌پوشانی لایه‌های تهیه شده در محیط GIS

که مشاهده می‌شود، بیشترین درصد و مساحت ریسک متعلق به "طبقه ریسک کم" و کمترین آن نیز متعلق به طبقه "ریسک خیلی بالا" است.

بدین ترتیب نقشه نهایی رستری در پنج کلاس (از خطر خیلی زیاد تا خطر خیلی کم) حاصل شد که گویای خطر وقوع سیلاب در نقاط مختلف شهر تهران می‌باشد (شکل ۵). مساحت طبقات ریسک سیلاب در جدول شماره ۱۰ آورده شده است. همان‌طور



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در شهر تهران

جدول ۱۰- مساحت طبقات ریسک سیلاب در تهران

درصد	کیلومتر مربع	کلاس‌های ریسک
۸/۸	۵۳/۳۶	ریسک خیلی بالا
۱۷/۱۸	۷۷/۴۳	ریسک بالا
۲۵/۱۱	۱۵۲/۳۳	ریسک متوسط
۳۰/۹۴	۱۸۷/۷۱	ریسک کم
۱۷/۹۷	۱۰۹/۱۲	ریسک خیلی کم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به رشد سریع شهرها در ایران، مشکلاتی از جمله آبرگرفتنی معابر سطح شهر و انتشار آلودگی‌های زیست‌محیطی به واسطه عدم وجود سیستم زه‌کشی مناسب و نابسامانی کانال‌ها و مسیل‌ها از معضلات اساسی بسیاری از حوزه‌های شهری به شمار می‌آیند. تجارب مطالعاتی و مدیریتی کشورهای مختلف نشان می‌دهد که اولین گام در جهت کاهش آثار زیان‌بار سیل، شناخت مناطق سیل‌گیر و پهنه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل‌گیری است. با شناسایی مناطق سیل‌گیر در شهرها می‌توان بر اساس نتایج به‌دست آمده با مدیریت یکپارچه و برنامه‌ریزی شهری جامع تا حد ممکن مانع از آثار زیان‌بار سیلاب‌های شهری شد (جیمز و همکاران ۲۰۱۱). امروزه در اغلب کشورها در مدیریت سیلاب به مباحث غیرسازه‌ای اهمیت بیشتری داده می‌شود تا به مباحث سازه‌ای. این امر به دلیل اهمیت ویژه حفظ اکوسیستم و محیط‌زیست می‌باشد، بنابراین پیشرفت پایدار، جامعیت در مدیریت، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری بسیار مهم است. جامعیت به معنای توجه به تمام معیارها تأثیرگذار بر سیستم یعنی معیارها اقتصادی، اجتماعی و قانونی و زیست‌محیطی در تمام حوضه و پایش اثرات و عواقب تصمیمات در آینده می‌باشد. براساس یافته‌های تحقیق، عوامل اصلی موثر بر وقوع سیلاب در شهر تهران به ترتیب اولویت عبارت بودند از: کاربری اراضی، میزان رواناب، تراکم پوشش گیاهی، درصد شیب و فاصله از رودخانه. عامل اصلی کاربری اراضی با اختلاف وزنی زیاد به عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی شد. همانطور که آبه و همکاران (۲۰۱۸) اعلام داشته‌اند، نوع کاربری اراضی در وقوع پدیده سیلاب بسیار موثر است. چرا که پوشیده شدن سطح زمین از مصالح نفوذناپذیر نظیر سیمان، آسفالت، بتن، سنگ و غیره توانایی نفوذ آب در زمین را کاهش داده و طبیعتاً روان‌آب شکل می‌گیرد.

البته نکته حایز اهمیت آن است که عامل شیب زمین نیز در این میان موثر است. به نحوی که هر چه درجه شیب بالاتر رود، سرعت روان‌آب افزایش می‌یابد. ولیکن، تراکم پوشش گیاهی به‌عنوان یک عامل محدودکننده عمل می‌کند به نحوی که حتی در شرایط شیب زیاد نیز پوشش گیاهی توانایی کاهش سرعت جریان را خواهد داشت و امکان نفوذ در زمین را فراهم می‌سازد. این مورد با مطالعه احمدیان (۱۳۹۶) و بناری و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد. طبق نتایج تحقیق عامل فاصله از مسیل و رودخانه در جایگاه آخر قرار داشته است. دلیل این امر آن است که همانطور که آموآکو و همکاران (۲۰۱۹) بیان کرده‌اند، با روش‌های مدیریتی و مهندسی می‌توان این عامل را کنترل کرد. بدین معنی که بین "فاصله از مسیل و رودخانه" با میزان تأثیر این معیار در احتمال وقوع سیل در شهر رابطه معکوس وجود دارد، به‌طوری‌که با افزایش فاصله از رودخانه و مسیل، احتمال وقوع سیل کم‌تر خواهد شد. یعنی هر چه فاصله از رودخانه و مسیل افزایش یابد احتمال وقوع سیلاب در شهر تهران کاهش می‌یابد.

از آنجا که هر یک از معیارهای اصلی پنجگانه، شامل تعدادی زیرمعیار فرعی نیز می‌باشد، مجموعاً ۲۵ زیرمعیار نیز در این امر موثر هستند. از بین کاربری‌های مختلف موجود در شهر تهران، کاربری مسکونی دارای بیش‌ترین وزن نسبی در وقوع سیل شناخته شده است و کاربری‌های تجاری و اداری و معابر در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. کم‌ترین وزن نیز به کاربری تاسیسات و خدمات شهری با ۰/۱۱۱ اختصاص داده شده است. اولویت‌بندی زیرمعیارهای "میزان رواناب" در تشدید وقوع سیلاب در شهر تهران نشان داد که با افزایش میزان رواناب در سطح معابر شهری، احتمال وقوع سیل بیشتر خواهد شد. یعنی هر چه میزان و حجم رواناب افزایش یابد احتمال وقوع سیلاب در

شهرداری تهران صورت گرفته است، متفاوت است. چرا که در آن تحقیق اشاره شده است که بخش‌های شمالی شهر تهران از درجه آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار هستند. در مرحله برنامه‌ریزی، استراتژی‌های مختلفی برای مدیریت سیلاب در نظر گرفته می‌شود. این استراتژی‌ها را می‌توان به سه دسته کلی زیر طبقه‌بندی نمود. اولین دسته بر مبنای حفاظت فیزیکی بوده و عموماً روش‌های سازه‌ای را در بر می‌گیرد. برخی از روش‌های رایج در این مورد عبارتند از: ساخت کانال، طرح‌های آبخیزداری در بالادست، احداث لاگون، لایروبی مسیل‌ها، ایجاد بافرهای جدید و غیره. همچنین، دو دسته دیگر معمولاً گروه روش‌های غیرسازه‌ای را شامل می‌شوند. از جمله این روش‌ها حفاظت از پوشش گیاهی، تسطیح شیب، اجتناب از ایجاد کاربری در کانون‌های خطر و توسعه برنامه‌های آموزشی می‌باشند.

شهر تهران افزایش می‌یابد. این مورد با نتایج تحقیقات بدیع‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد.

بررسی درجه اهمیت زیرمعیارهای تراکم پوشش گیاهی در میزان وقوع سیل در شهر نشان می‌دهد که مناطق با تراکم پوشش گیاهی بالا وزن نسبی کمتری در احتمال وقوع سیلاب شهری دارند. در این میان نوع پوشش گیاهی نیز مهم است. مناطق جنگلی و شبه‌جنگلی از توان بالاتری برای کنترل سیلاب برخوردار هستند. گیاهانی که ریشه افشان دارند، توان کمتری خواهند داشت. در نهایت، طبقات شیب و درجه اهمیت هر یک نشان می‌دهد که با افزایش درصد شیب در شهر تهران، وقوع سیل شدت بیشتری می‌یابد.

از سوی دیگر، مشخص شد که پهنه مرکزی و جنوبی شهر تهران از آسیب‌پذیری بیشتری در مورد جاری شدن سیلاب و رواناب برخوردار است که این مورد با تحقیقی که در گذشته توسط

References

- 1) Abebe YA, Ghorbani A, Nikolic I, Vojinovic Z, Sanchez A. A coupled flood-agent-institution modeling (CLAIM) framework for urban flood risk management. *Environmental Modelling and Software*, 2018, 1-28.
- 2) Ahmadian M. Evaluation of urban runoff by SWMM model to reduce flood Hazard (Hashgrd New Town). Master's thesis, Islamic Azad University Science and Research, Tehran, Iran, 2017. pp (In Persian).
- 3) Ahmadisharaf E, Kalyanapu AJ, Chung ES. Sustainability-Based Flood Hazard Mapping of the Swannanoa River Watershed. *Sustainability* 2017, 9, 1735.
- 4) Amoako C, Cobbinah P, Brandful D, Rhoda M. Complex twist of fate: The geopolitics of flood management regimes in Accra, Ghana. *Cities*, 2019, 89: 209-217.
- 5) Asghariazim L. Risk analysis of ammonia release in food refrigeration Using FTA technique and fuzzy logic, *APJ*, 2023, Vol. 7 (1), 64-75 pp.
- 6) Babaei S, Ghazavi R, Erfanian M. Urban flood simulation and prioritization of critical urban sub-catchments using SWMM model and PROMETHEE II approach. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2018, 9-1.
- 7) Badeizadeh S, Bahremand AA, Dehghani N. Surface runoff simulation through Urban flood management to Use SWMM model in Gorgan City, Golestan province, *Journal of Soil and Water Conservation*, twenty-second volume, the fourth number, 2015. (In Persian)
- 8) Bannari A, Kadhem A, El-Battay NA, Hameid R. Assessment of Land Erosion and Sediment Accumulation Caused by Runoff after a Flash-Flooding Storm Using Topographic Profiles and Spectral Indices. *Advances in Remote Sensing*, 2016, 05(04):315.
- 9) Berndtsson R, Becker P, Persson A, Aspegren H, Haghighatafshar S, Jönsson K, Larsson R, Mobini S, Mottaghi M, Nilsson J. Drivers of changing urban flood risk: A framework for action. *J. Environ. Manag.* 2019, 240, 47-56.
- 10) Darabi H, Choubin B, Rahmati O, Torabi Haghighi A, Biswajeet P. Urban Flood Risk Mapping Using the GARP and QUEST Models: A Comparative Study of Machine Learning Techniques. *Journal of Hydrology*, 2019, 569:142-54.
- 11) Habibi A, Afridi S. Multi-Criteria Decision Making, Tehran: Naroon Publications. 2022, 168 pp.
- 12) Jalilov M, Shokhruxh M, Kefi P, Kumar, Y. Sustainable Urban Water Management: Application for Integrated Assessment in Southeast Asia. *Sustainability*, 2018, 10, 122; doi:10.3390/su10010122.
- 13) Karimi VA, Solimani K, Habibnejad M, Shahedi K. Simulation of Flow in Open & Closed Conduits by EPA-SWMM Model (Case Study: Babolsar Urban Watershed). *Journal of Watershed Management*. 2015. (In Persian).
- 14) Kling H, Fuchs M, Paulin M. Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of

- climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, 2012, 424 -425 (6): 264-277.
- 15) Luan B, Yin R, Xu P, Wang X, Yang X, Zhang L, Tang X. Evaluating Green Storm water Infrastructure Strategies efficiencies in a Rapidly Urbanizing Catchment using SWMM-based TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 42-1.
 - 16) Manjusree P, Surwase T. Urban flood simulation- A case study of Hyderabad city. In *Proceedings of the National Conference on Flood Early Warning for Disaster Risk Reduction*, Hyderabad, India, 2019; pp. 133–143.
 - 17) Mohammadi J, Fataei E, Ojaghi A, Taghavi L. Investigation and determination of land use effects on surface water quality in semi-arid areas: Case study on Qarasu River in Iran, *APJ*, 2023, Vol. 7 (2), 1-7 pp.
 - 18) Ngang CP, Hashim HS, Pereira JJ. Climate change mitigation and adaptation as a sustainable regional development strategy: Lessons from the Selangor River basin, Malaysia. *Int. J. Malay World Civ.* 2017, 5, 43–52.
 - 19) Rafiei Emam A, Mishra BK, Kumar P, Masago Y, Fukushi K. Impact Assessment of Climate and Land-Use Changes on Flooding Behavior in the Upper Ciliwung River, Jakarta, Indonesia. *Water* 2016, 8, 559.
 - 20) Rabori AM, Ghazavi R. Urban flood estimation and evaluation of the performance of an urban drainage system in a semi-arid urban area using SWMM. *Water Environ. Res.* 2018, 90, 2075–2082.
 - 21) Rahmati O, Zeinivand H, Besharat M. 2016. Flood Hazard Zoning in Yasooj Region, Iran, Using GIS and Multi-Criteria Decision Analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2016, 7(3):1000–1017.
 - 22) Sadeghinia A, Alijani B, Ziaeiian-Firoozabadi P. Spatial-temporal analysis of the heat island of Tehran metropolis using remote sensing and geographic information system. *Geography and Environmental Hazards*, 2012, Year 1. Issue 4. pp. 1-17.
 - 23) Sahoo SN, Sreeja P. Detention ponds for managing flood risk due to increased imperviousness: A case study in an urbanizing catchment of India. *Nat. Hazards Rev., ASCE*, 2018, 19(1), 05017008–1 to 05017008–11. doi:10.1061/(ASCE)NH. 1527-6996.0000271.
 - 24) Samsuri N, Abu Bakar R, Unjah T. Flash flood impact in Kuala Lumpur–Approach review and way forward. *Int. J. Malay World Civ.* 2018, 6, 69–76
 - 25) Sodhi MS, Tang CS. Buttressing supply chains against floods in Asia for humanitarian relief and economic recovery. *Prod. Oper. Manag.* 2014, 23, 938–950.
 - 26) Tehran Municipality. Report of characteristics, problems and development strategies in north of Tehran, Tehran, Iran, 2014 (in Farsi).
 - 27) United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction, 2015–2030; UNISDR: Geneva, Switzerland, 2015.
 - 28) Waghwalwa R, Agnihotri K. Flood Risk Assessment and Resilience Strategies for Flood Risk Management: A Case Study of Surat City. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2019, 41-1.
 - 29) Wahlstrom M, Guha-Sapir D. The Human Cost of Weather-Related Disasters 1995–2015; United Nations International Strategy for Disaster Reduction: Geneva, Switzerland, 2015.
 - 30) Yang X, ling J, Ding H, Hui H. Application of a Triangular Fuzzy AHP Approach for Flood Risk Evaluation and Response Measures Analysis. *Natural Hazards*, 2023, 68(2):657-698.
 - 31) Zhao G, Xu Z, Pang J, Tu T, Xu L, Longgang D. An enhanced inundation method for urban flood hazard mapping at the large catchment scale. *Journal of Hydrology*, 2019, 29-1.



Evaluation and classification of quantitative and qualitative criteria effective in the occurrence of environmental hazards (Case study: Flood risk in Tehran metropolis)

Aliakbar Karimipour	Department of Environment, Bandarabbas Branch, Islamic Azad University, Bandarabbas, Iran
Saber Ghasemi*	Department of Environment, Marine Environmental Research Center, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran.
Mohsen Dehghani Ghanataghestani	Department of Environment, Bandarabbas Branch, Islamic Azad University, Bandarabbas, Iran
Hossein Parvaresh	Department of Environment, Bandarabbas Branch, Islamic Azad University, Bandarabbas, Iran

Extended Abstract

Received: 06 Nov 2024

Accepted: 16 Dec 2024

Keywords: Urban flooding, Risk zoning, Land use, Slope percentage, Tehran city

Introduction: Floods are known as the most common natural hazard. Urban floods occur for various reasons and cause numerous financial and human losses. The number of urban floods in Tehran has been increasing over the past 40 years. The aim of this research is to identify and classify the quantitative and qualitative criteria affecting the occurrence of floods and determine the risk zone.

Materials and Methods: To identify the criteria affecting the occurrence of floods, the library method and in-depth study were used, as well as referring to the opinions of experts (18-member Delphi panel). To ensure the correlation in the data matrix, a factor analysis test was used. The Fuzzy AHP method was used to prioritize the criteria. In addition, urban flood zoning was performed using SWMM software, and finally, the maps were superimposed and analyzed using Arc GIS software.

Results and Discussion: The criterion land use with a weight of 0.521 was assigned the highest importance, followed by the criterion runoff rate with a relative importance of 0.186. In addition, the criteria vegetation density with a weight of 0.103, slope with a weight of 0.097, and distance from stream and river with a weight of 0.091 were placed in the next priorities. In total, 25 sub-criteria identified. The final raster map was obtained in five classes (from very high risk to very low risk), which indicates the risk of flooding in different parts of Tehran. The highest percentage and area of risk belonged to the "low risk class" with 30.94 percent, and the lowest belonged to the "very high risk" class with 8.8 percent.

Conclusion: In the planning stage, various strategies are considered for flood management. These strategies can be classified into three general categories, Efforts to control and contain floods; Efforts to reduce vulnerability to floods; and Efforts to reduce exposure to floods. The first category is based on physical protection and generally includes structural methods. Some common methods in this case include: canal construction, upstream watershed management plans, lagoon construction, dredging of rivers, creation of new buffers, etc. In addition, the other two categories usually include the group of non-structural methods. These methods include vegetation protection, slope leveling, avoidance of land use in risk areas, and development of educational programs.

Corresponding author: Saber Ghasemi

Address: Department of Environment, Marine Environmental Research Center, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran **Tel:** +989120863546 **Email:** saberghasemi@gmail.com

Citation: Karimipour A, Ghasemi S, DehghaniGhanataghestani M, Parvaresh H. Evaluation and classification of quantitative and qualitative criteria effective in the occurrence of environmental hazards (Case study: Flood risk in Tehran metropolis). Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(7): 14-28



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.