

بررسی کارایی روش AHP در تعیین مناطق مستعد خطر سیلاب شهری (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهر تربت حیدریه)

محدثه قربان‌زاده- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه
مریم آذرخشی* - استادیار آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه
ابوالفضل مساعدی- استاد هیدرولیک، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
محمد رستمی خلج- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۱۷

چکیده

شتاب شهرنشینی و افزایش مناطق غیرقابل نفوذ در شهرها اهمیت پرداختن به مسئله سیلاب‌های شهری را بیش از پیش نمایان می‌کند. شهر تربت حیدریه در سال‌های اخیر تحت تأثیر سیلاب و خسارت‌های ناشی از آن قرار گرفته است. هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری به روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) است. هفت معیار برای اجرای این تحقیق انتخاب شد: ارتفاع، شیب منطقه، فاصله از کانال اصلی، تراکم کانال‌های زهکشی، کاربری اراضی، ظرفیت کانال‌های زهکشی، و وسعت مناطق تحت پوشش هر یک از کانال‌های اصلی. نتایج نشان داد پارامتر فاصله از کانال با وزن 0.328 بیشترین ارجحیت را در بین پارامترها دارد. در نقشه پتانسیل خطر، بیشترین مساحت مربوط به طبقه کم‌خطر ($126/8$ هکتار) و کمترین مساحت مربوط به طبقه خیلی پرخطر ($28/4$ هکتار) به دست آمده است. 99 درصد از منطقه خیلی پرخطر با طبقه شیب کمتر از 4 درصد و $53/6$ درصد از آن با طبقه تراکم زهکشی بیشتر از 325 متر در هکتار همپوشانی دارد. برای مقایسه نتایج حاصل از AHP، از عمق آب‌گرفتگی در سه رگبار منجر به آب‌گرفتگی استفاده شد. نتایج نشان داد بیشترین درصد قرارگیری صحیح نقاط شاخص در طبقات نقشه پتانسیل خطر سیلاب به ترتیب در شدت‌های بالا، متوسط، و کم است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، تربت حیدریه، سیلاب شهری، فاصله از کانال اصلی، نقشه پتانسیل خطر.

مقدمه

براساس گزارش سازمان ملل متحد، از میان بلایای طبیعی، سیل بیشترین خسارات را به انسان وارد کرده است؛ به طوری که یک سوم خسارات اقتصادی بلایای طبیعی مربوط به سیل است و دوسوم جمعیت کره زمین به طور مستقیم و غیرمستقیم از عواقب آن متأثرند (امیدوار و همکاران، ۱۳۸۵: ۳). جریان سیل در حوضه‌های شهری در سطوح صاف و غیرقابل نفوذ، که با سامانه زهکشی مصنوعی توسط بشر ساخته شده است، با سرعت بالا اتفاق می‌افتد. با توجه به این عامل و به دلیل تمرکز مناطق مسکونی و فعالیت‌های مختلف تجاری و صنعتی بشر در مناطق شهری، پتانسیل تخریب سیلاب افزایش یافته و افراد بیش از پیش در معرض خطر این پدیده مخرب قرار گرفته‌اند.

در کشور ما به طور سنتی، سیلاب‌های رودخانه‌ای و سیلاب‌های ناگهانی در سیلاب دشت‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است؛ در حالی که سیل‌گرفتگی در مناطق شهری به دلیل بعضی محدودیت‌ها و نبود داده‌های دقیق کمتر مورد

توجه قرار گرفته است (رستمی خلیج، ۱۳۹۰: ۲). اولین قدم در تحقیقات طرح‌های مدیریت سیلاب، تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیل از طریق شناسایی نقاط با خطر سیل‌گیری زیاد و بررسی احتمال سیل‌گرفتگی اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی و تجاری حاشیه کانال‌ها و رودخانه‌هاست. روش‌های ارزیابی چندمعیاره کاربرد وسیعی در علوم از جمله در ارزیابی محیط زیست دارد. یکی از این روش‌ها، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۱ (AHP) است. فرناندز و لاتز (۲۰۱۰: ۹۰) برای پهنه‌بندی خطر سیل شهری در آرژانتین، با استفاده از آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره، از معیارهای فاصله تا کانال زه‌کشی، توپوگرافی، عمق سطح آب زیرزمینی، و کاربری اراضی استفاده کردند و نقشه خطر سیلاب شهری را ارائه نمودند. این نقشه نشان‌دهنده خطر سیلاب شهری در بخش توسعه‌یافته جنوب شرقی این شهر بود که نتیجه‌ای است از پیوستگی زمین‌های پست با شیب کمتر از ۰/۶ درصد و وجود کانال‌های جریان شهری با ظرفیت نگهداری ضعیف. وانگ و همکاران (۲۰۱۱: ۳۴۶۵) برای ارزیابی خطر سیل در منطقه دریاچه دونگتینگ^۲ در مرکز چین رویکرد چندمعیاره مکانی مبتنی بر GIS را به کار بردند. نتایج نشان داد مناطق دارای خطر زیاد و بسیار پُرخطر به‌طور عمده در دشت‌های شمالی و مرکزی متمرکز شده است. چن و همکاران (۲۰۱۱: ۱۲۶۱) از یک ساختار سلسله‌مراتبی برای ارائه گزینه‌های موردنظر جهت تجزیه و تحلیل خطر وقوع سیل و تهیه نقشه خطر سیل شهر تای چونگ^۳ تایوان استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که ادغام AHP و GIS در ارزیابی خطر سیل می‌تواند اطلاعات دقیق و مفیدی برای مدیریت ریسک سیلاب فراهم کند. پاکوته و لاوری (۲۰۱۲: ۴۲) با استفاده از روش تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) و ترکیب آن با لایه‌های GIS به ارزیابی خطر سیل در غرب فیجی^۴ پرداختند. آنان به این نتیجه رسیدند که رویکرد MCDA استفاده ساده و مؤثر را برای مدل خطر سیلاب با استفاده از داده‌های اولیه GIS فراهم می‌کند. قنبرپور و همکاران (۲۰۱۳: ۱) به ارزیابی مقایسه گزینه‌های کاهش‌دهنده سیل با استفاده از GIS و مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه و آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره در رودخانه زارم‌رود در شمال ایران پرداختند. محدوده طغیان سیل، ارتفاع سیل، سرعت سیل، و قدرت جریان در پایین‌دست و خارج از انحنای رودخانه به‌عنوان معیارهای تصمیم‌گیری برای هر گزینه به حساب آمده‌اند. یافته‌های ایشان نشان می‌دهد که ساخت‌وساز خاکریز در سمت راست ساحل رودخانه، که مجاور با منطقه مسکونی نیز هست، نسبت به دو گزینه دیگر برتری دارد. استفانیدیز و استادیز (۲۰۱۳: ۵۶۹) ارزیابی خطرهای سیل بر اساس عوامل طبیعی و انسانی را با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام دادند. نتایج ایشان نشان داد که در بیشتر حوضه‌ها طبقه خطر متوسط بیشترین سهم را داشته است. نتایج حاصل و نقشه پتانسیل خطر با وقایع قدیمی سیلاب‌های اتفاق افتاده نیز هم‌گرایی داشته‌اند. رحمتی و همکاران (۲۰۱۶: ۱۰۰۰) پهنه‌بندی خطر سیل در بخشی از رودخانه یاسوج را با استفاده از GIS و روش تحلیل سلسله‌مراتبی انجام دادند. آنان برای ارزیابی کارایی روش AHP نتایج حاصل از آن را با نتایج مدل هیدرولیکی HEC-RAS مقایسه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش AHP می‌تواند پیش‌بینی دقیق و قابل اطمینانی برای میزان سیل‌گیری ارائه دهد. امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۰: ۱۷) از پارامترهای کاربری اراضی، تراکم جمعیت، مسیل‌ها، طبقات شیب، تراکم مسکونی، شماره منحنی (CN)، ضریب رواناب، فضای باز، و قدمت ابنیه برای وزن‌دهی و سپس پهنه‌بندی خطر سیل شهری در محدوده شهر سبزوار با کمک روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که پهنه‌های مشخص‌شده خطر سیلاب ۸۰ درصد منطبق با پهنه‌های مختلف از نظر شدت سیل‌گیری است. حمیدی و همکاران (۱۳۹۱: ۷) از تلفیق روش تصمیم‌گیری چندمعیاره با سامانه اطلاعات جغرافیایی برای سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مدیریت سیلاب شهری استفاده کردند. نقشه پتانسیل خطر نشان داد که مناطق با ریسک خطرپذیری بالا عمدتاً در مناطق نزدیک رودخانه با تراکم ساختمانی بالا واقع شده است. صالحی و همکاران (۱۳۹۲: ۱۷۹) برای توسعه پهنه‌بندی خطر سیل شهری بر پایه آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات

1. Analytical Hierarchy process

2. Dongting

3. Taichung

4. Fiji

جغرافیایی از پنج معیار- فاصله از شبکه زه‌کشی، تجمع جریان، شیب، ارتفاع، و سطح اراضی ساخته‌شده و نشده- استفاده کردند. نقشه پتانسیل خطر نشان داده است که آبراهه‌ها، حریم آن‌ها، و نواحی مرکزی تا جنوب شهر بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی را دارند.

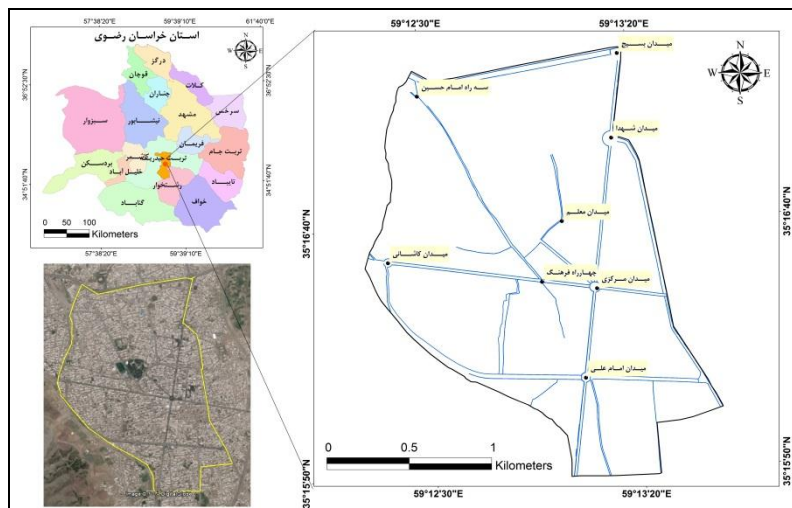
شهر تربت حیدریه، با توجه به موقعیت جغرافیایی خود، در مسیر جریان سیلاب قرار دارد. عواملی از جمله رعایت نکردن ضوابط شهرسازی، مسدودنمودن کانال‌ها یا تغییر مسیر آن‌ها و ورود نخاله‌های ساختمانی، زباله‌های منازل و سایر مواد زائد سبب گُندشدن انتقال جریان رواناب در زمان وقوع بارندگی می‌شوند. از طرفی، بخش مرکزی شهر عموماً با مشکل آب‌گرفتگی سطح معابر و آلودگی‌های ناشی از آن مواجه است. هدف از این مطالعه استفاده از داده‌های موجود برای ارزیابی روش تحلیل سلسله‌مراتبی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب در بخش مرکزی شهر تربت حیدریه است.

مواد و روش‌ها

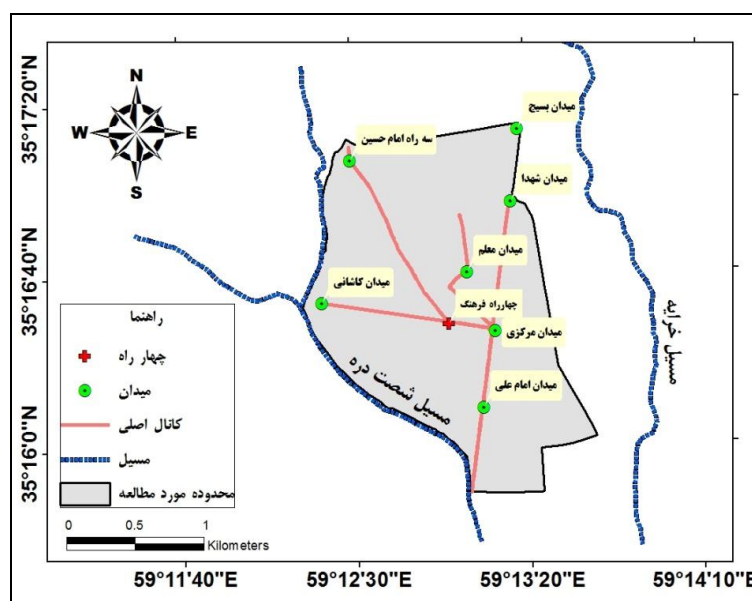
محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخش مرکزی شهر تربت حیدریه است. مرکز شهر تربت حیدریه در عرض شمالی $35^{\circ} 17'$ و طول شرقی $59^{\circ} 12'$ قرار گرفته است. بارش متوسط سالانه آن ۲۷۴ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه $13/7$ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم تربت حیدریه بر اساس روش اقلیمی دومارتن نیمه‌خشک است. شهرستان تربت حیدریه از شمال با شهرستان مشهد و نیشابور، از سمت غرب با شهرستان کاشمر و شهرستان بردسکن، از سمت شرق با شهرستان خواف و شهرستان تربت جام و از سمت جنوب با شهرستان گناباد همسایه است. بخش مرکزی شهر دارای مشکل آب‌گرفتگی است و منطقه‌ای با مساحت ۳۵۲ هکتار به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان خراسان رضوی و در شهر تربت حیدریه نشان می‌دهد.

مسئله‌های شصت دره و خرایه در اطراف منطقه مورد مطالعه قرار دارند و نقش ویژه‌ای در تخلیه آب‌های سطحی دارند. شکل ۲ موقعیت مسیل‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی و شهر تربت حیدریه



شکل ۲. موقعیت مسیل‌ها در اطراف منطقه مورد مطالعه

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

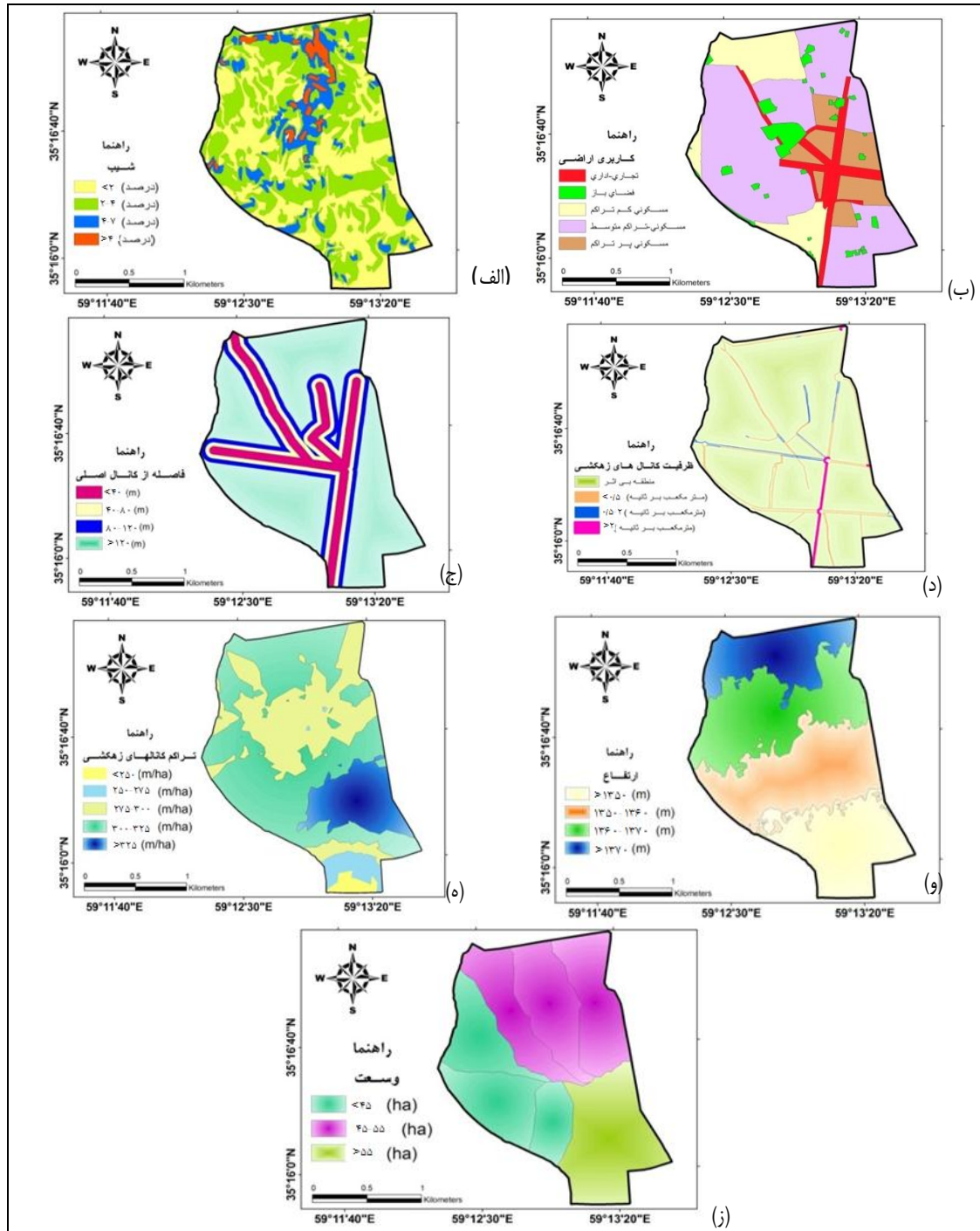
فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است؛ زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد. این فرایند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد. علاوه بر این، بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده، قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌کند. همچنین، میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چندمعیاره است. به علاوه، از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار است و بر اساس اصول بدیهی (axioms) بنا نهاده شده است. میزان اعتبار تصمیم اتخاذی در روش AHP از نظر کیفی و کمی به پرسش‌نامه وابسته است. این پرسش‌نامه با کمک متخصصان، افراد، و سازمان‌هایی که در فرایند تصمیم‌گیری دخالت دارند تنظیم و تکمیل می‌شود. طبق این پرسش‌نامه و اطلاعات جمع‌آوری شده از منابع مورد اطمینان، جداول ماتریس‌های زوجی تنظیم می‌شوند. در نهایت، از بین پرسش‌نامه‌هایی که ضریب ناسازگاری آن‌ها کمتر از ۰/۱ باشد از طریق فرمول ۱ میانگین هندسی به دست می‌آید (قدسی‌پور، ۱۳۸۴) که در آن μ_G میانگین هندسی، X_1 تا X_N درایه‌های ماتریس، و N نیز تعداد آن‌هاست.

$$\mu_G = (X_1 \times X_2 \times \dots \times X_N)^{\frac{1}{N}} \quad (1)$$

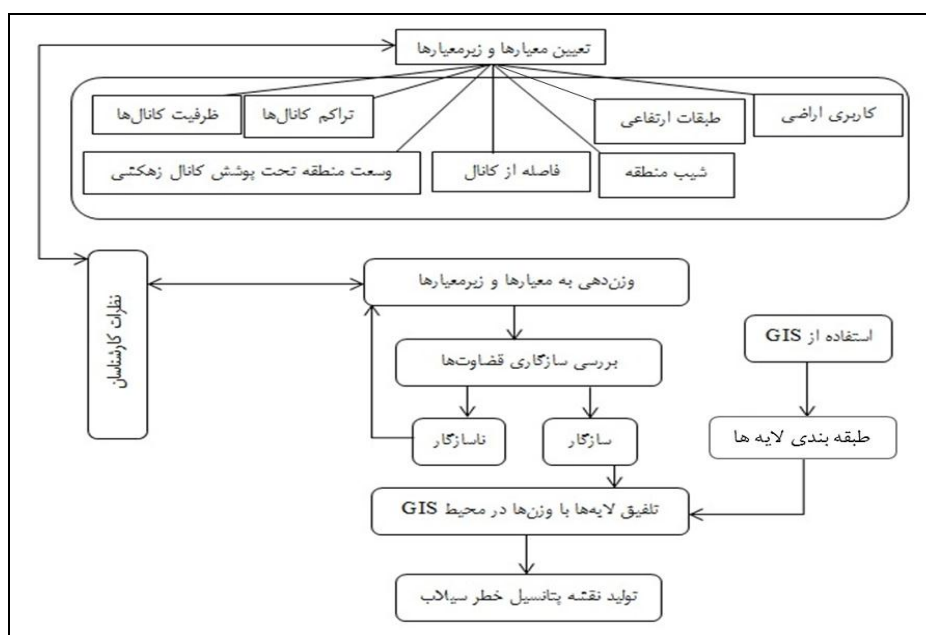
روش تحقیق

در این تحقیق نخست به شناسایی پارامترهای تأثیرگذار در سیلاب پرداخته شد. سپس، پرسش‌نامه اولیه‌ای از معیارها و اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه تنظیم و به کارشناسان شهرداری و نخبگان دانشگاهی ارسال شد. در مرحله اول سی پرسش‌نامه درباره معیارهای انتخابی و پیشنهادی بررسی شد. نهایتاً هفت معیار- ارتفاع، شیب منطقه، فاصله از کانال اصلی، تراکم کانال‌های زه‌کشی، کاربری اراضی، ظرفیت کانال‌های زه‌کشی، و وسعت مناطق تحت پوشش هر یک از کانال‌های اصلی- برای پرسش‌نامه مرحله دوم انتخاب شد. شکل ۳ لایه‌های اطلاعاتی تکمیلی توسط چهارده کارشناس خبره امتیازدهی و ماتریس مقایسه زوجی گروهی از طریق میانگین‌گیری هندسی محاسبه شد. ماتریس‌های مقایسه زوجی نهایی و زیرمعیارها برای تخمین

ناسازگاری و محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها وارد نرم افزار Expert choice 11 شد. وزن معیارها و زیرمعیارهای تعیین شده پس از محاسبه به لایه های تک تک معیارها در نرم افزار Arc Gis 9.3 وارد شد و نقشه پهنه بندی خطر سیلاب با چهار طبقه - مناطق کم خطر، مناطق دارای خطر متوسط، مناطق دارای خطر زیاد، و مناطق بسیار پرخطر- به دست آمد. شکل ۴ مراحل اجرای فرایند تحلیل سلسله مراتبی و به کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی را در این تحقیق نشان می دهد.



شکل ۳. نقشه معیارها و کلاس های آن ها در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴. مراحل اجرای فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و به‌کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی

برای مقایسه نتایج حاصل از روش تحلیل سلسله‌مراتبی با شرایط واقعی از آب‌گرفتگی سه واقعه رگبار در تاریخ‌های ۱۳۹۳/۰۸/۱۴، ۱۳۹۳/۱۰/۲۰ و ۱۳۹۳/۱۰/۲۰ در نقاط شاخص استفاده شد. نقاط شاخص از نظر عمق آب‌گرفتگی در دو گروه دارای آب‌گرفتگی و فاقد آب‌گرفتگی قرار داده شدند. سپس، صحت قرارگیری آن‌ها در طبقات نقشه پتانسیل خطر سیلاب بررسی شد. نقاط فاقد آب‌گرفتگی با طبقه کم‌خطر و نقاط دارای آب‌گرفتگی با یکی از طبقات خطر متوسط و یا متوسط به بالا بررسی شد. درصد صحت قرارگیری نقاط برداشت‌شده در طبقات نقشه پتانسیل خطر سیلاب محاسبه شد.

اندازه‌گیری سطح پوشیده از سیلاب

برای مشخص کردن سطح پوشیده از سیلاب مشخصات هندسی در نقاط شاخص و ظرفیت کانال‌های زهکشی بررسی شد. برای محاسبه ظرفیت کانال‌های زهکشی از فرمول مانینگ استفاده شد که در آن ضریب زبری مانینگ به‌طور متوسط ۰/۱۵ در نظر گرفته شد و برای محاسبه عرض و عمق کانال، علاوه بر در نظر گرفتن اطلاعات موجود پروفیل کانال‌ها، به دلیل قدیمی بودن این اطلاعات، اقدام به برداشت ۱۲۹ مقطع کانال روباز در سطح منطقه مورد مطالعه شد. نهایتاً ظرفیت کانال‌های زهکشی در مسیرهای مختلف زهکشی در سطح منطقه محاسبه شد.

برای ترسیم پهنه سیل با استفاده از عمق آب‌گرفتگی برداشت‌شده به اطلاعات شیب عرضی خیابان در هر دو بخش سواره‌رو و پیاده‌رو، شیب طولی خیابان، عرض پیاده‌رو و سواره‌رو و اختلاف ارتفاع پیاده‌رو از لبه کانال نیاز بود. شیب طولی خیابان‌ها در هر بخشی که شیب ثابت به‌نظر می‌رسید از تقسیم اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای آن بخش به فاصله بین آن‌ها تعیین شد. بدین منظور، از مقادیر ارتفاعی حاصل از مدل رقومی ارتفاع و داده‌های برداشت‌شده از GPS استفاده شد و شیب عرضی پیاده‌رو و سواره‌رو همچنین عرض خیابان و پیاده‌رو با استفاده از اطلاعات موجود و برداشت میدانی به‌دست آمد. اختلاف ارتفاع لبه پیاده‌رو از کانال زهکشی در محدوده‌هایی که سواره‌رو و پیاده‌رو هم‌سطح نبودند با خط‌کش اندازه‌گیری شد. نهایتاً عمق آب‌گرفتگی برداشت‌شده به ازای تغییرات شیب و در فواصل یک متری از مقادیر عمق آب‌گرفتگی کم شد و وسعت محدوده تحت پوشش آب‌گرفتگی محاسبه شد. در برخی از نقاط شاخص نیز، که علاوه بر عمق، عرض آب‌گرفتگی هم در زمان اندازه‌گیری برداشت‌شده بود، سطح آب‌گرفتگی با استفاده از اطلاعات برداشتی بررسی شد. شکل ۵ نمایی از آب‌گرفتگی در خیابان فردوسی را نشان می‌دهد.



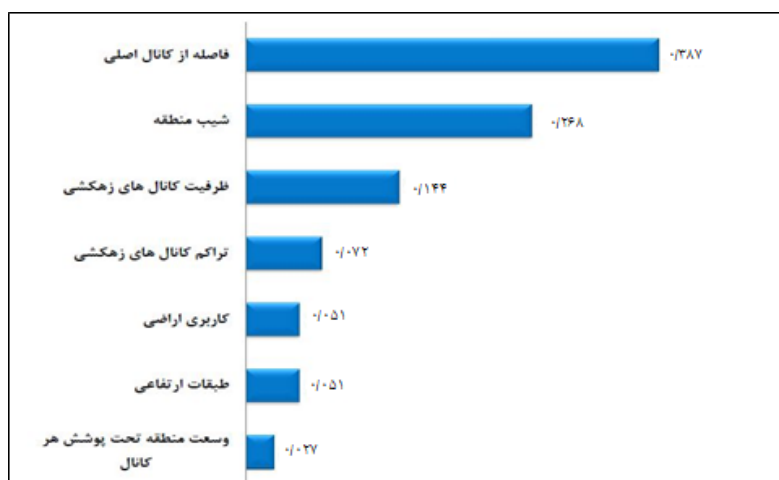
شکل ۵. نمایی از آب‌گرفتگی معابر در منطقه مورد مطالعه (خیابان فردوسی، تاریخ ۱۳۹۳/۸/۱۴)

یافته‌های تحقیق

ماتریس مقایسه زوجی نهایی در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۶ نمودار میله‌ای وزن معیارها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. ماتریس مقایسه زوجی نهایی

| معیار | شیب منطقه | فاصله از کانال | ظرفیت کانال‌های زه‌کشی | تراکم کانال‌های زه‌کشی | کاربری اراضی | طبقات ارتفاعی | وسعت منطقه تحت پوشش کانال زه‌کشی |
|----------------------------------|-----------|----------------|------------------------|------------------------|--------------|---------------|----------------------------------|
| شیب منطقه | ۱ | ۱ | ۲ | ۵ | ۶ | ۳ | ۷ |
| فاصله از کانال | * | ۱ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ |
| ظرفیت کانال‌های زه‌کشی | * | * | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۷ |
| تراکم کانال‌های زه‌کشی | * | * | * | ۱ | ۱ | ۲ | ۴ |
| کاربری اراضی | * | * | * | * | ۱ | ۱ | ۲ |
| طبقات ارتفاعی | * | * | * | * | * | ۱ | ۲ |
| وسعت منطقه تحت پوشش کانال زه‌کشی | * | * | * | * | * | * | ۱ |



شکل ۶. نمودار میله‌ای وزن معیارها

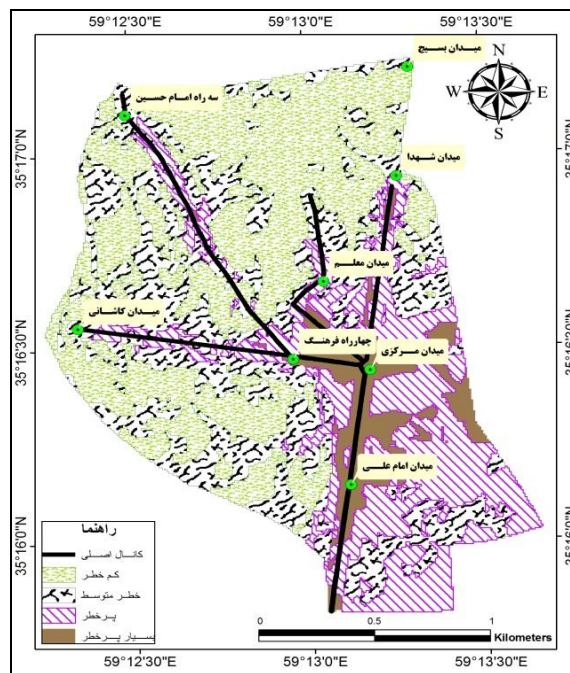
جدول ۲ وزن لایه‌ها و کلاس‌های هر لایه را با توجه به اهمیت آن‌ها در پتانسیل خطر سیلاب در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. ضریب ناسازگاری کل برای لایه‌ها در محدوده قابل قبول (کمتر از ۰/۱) قرار دارد. شکل ۶ نشان می‌دهد پارامتر فاصله از کانال (۰/۳۸۷) بیشترین وزن و وسعت منطقه تحت پوشش کانال زه‌کشی کمترین وزن (۰/۰۲۷) را داشته است.

جدول ۲. وزن کلاس‌ها و لایه‌ها در منطقه مورد مطالعه

| لایه‌ها | وزن | کلاس‌ها | وزن کلاس‌ها |
|----------------------------------|-------|------------------------------|-------------|
| شیب منطقه | ۰/۲۶۸ | کمتر از ۲ درصد | ۰/۵۹۹ |
| | | ۲-۴ درصد | ۰/۲۳۳ |
| | | ۴-۷ درصد | ۰/۱۰۹ |
| | | بیشتر از ۷ درصد | ۰/۰۵۸ |
| فاصله از کانال | ۰/۳۸۷ | ضریب ناسازگاری | ۰/۰۱ |
| | | کمتر از ۴۰ متر | ۰/۵۳۱ |
| | | ۴۰-۸۰ متر | ۰/۲۵۶ |
| | | ۸۰-۱۲۰ متر | ۰/۱۳۷ |
| طبقات ارتفاعی | ۰/۰۵۱ | بیشتر از ۱۲۰ متر | ۰/۰۷۶ |
| | | ضریب ناسازگاری | ۰/۰ |
| | | کمتر از ۱۳۵۰ متر | ۰/۳۷۹ |
| | | ۱۳۶۰-۱۳۵۰ متر | ۰/۳۵۸ |
| کاربری اراضی | ۰/۰۵۱ | ۱۳۶۰-۱۳۷۰ متر | ۰/۱۷۹ |
| | | بیشتر از ۱۳۷۰ متر | ۰/۰۸۵ |
| | | ضریب ناسازگاری | ۰/۰ |
| | | فضای باز | ۰/۰۳۵ |
| تراکم زه‌کشی | ۰/۰۷۲ | تجاری-اداری | ۰/۳۷۸ |
| | | مسکونی پُرتراکم | ۰/۳۲۰ |
| | | مسکونی تراکم متوسط | ۰/۱۸۱ |
| | | مسکونی کم‌تراکم | ۰/۰۸۶ |
| ظرفیت کانال‌های زه‌کشی | ۰/۱۴۴ | ضریب ناسازگاری | ۰/۰۳ |
| | | کمتر از ۲۵۰ (متر در هکتار) | ۰/۰۴۰ |
| | | ۲۵۰-۲۷۵ (متر در هکتار) | ۰/۰۸۷ |
| | | ۲۷۵-۳۰۰ (متر در هکتار) | ۰/۱۸۸ |
| وسعت منطقه تحت پوشش کانال زه‌کشی | ۰/۰۲۷ | ۳۰۰-۳۲۵ (متر در هکتار) | ۰/۳۰۴ |
| | | بیشتر از ۳۲۵ (متر در هکتار) | ۰/۳۸۲ |
| | | ضریب ناسازگاری | ۰/۰۳ |
| | | کمتر از ۰/۵ مترمکعب بر ثانیه | ۰/۶۱۵ |
| ضریب ناسازگاری | ۰/۰۹۳ | ۲-۰/۵ مترمکعب بر ثانیه | ۰/۲۹۲ |
| | | بیشتر از ۲ مترمکعب بر ثانیه | ۰/۰۹۳ |
| | | ضریب ناسازگاری | ۰/۰ |
| | | کمتر از ۴۵ هکتار | ۰/۱۴۳ |
| ضریب ناسازگاری | ۰/۰۲۷ | ۴۵-۵۵ هکتار | ۰/۲۸۶ |
| | | بیشتر از ۵۵ هکتار | ۰/۵۷۱ |
| | | ضریب ناسازگاری | ۰/۰ |
| | | کمتر از ۴۵ هکتار | ۰/۱۴۳ |

شیب کمتر از دو درصد با وزن (۰/۵۹۹)، طبقه فاصله از کانال کمتر از ۴۰ متر با وزن (۰/۵۳۱)، طبقه ارتفاعی کمتر از ۱۳۵۰ متر با وزن (۰/۳۷۹)، طبقه کاربری اراضی تجاری-اداری با وزن (۰/۳۷۸)، طبقه تراکم زه‌کشی بیشتر از ۳۲۵ متر در هکتار با وزن (۰/۳۸۲)، طبقه ظرفیت کانال زه‌کشی کمتر از نیم متر مکعب بر ثانیه با وزن (۰/۶۱۵)، و طبقه منطقه تحت پوشش کانال زه‌کشی با وسعت بیشتر از ۵۵ هکتار با وزن (۰/۵۷۱) بیشترین تأثیر را در خطر سیلاب در میان هر یک از طبقات معیارها داشته‌اند. وزن نهایی به‌دست‌آمده برای هر لایه در کلیه واحدهای نقشه اعمال شد و نقشه پتانسیل خطر سیل در چهار طبقه کم‌خطر، خطر متوسط، پرخطر، و خیلی پرخطر حاصل شد که در شکل ۷ نشان داده شده است. بر اساس موارد ذکرشده، مساحت طبقات به ترتیب کم‌خطر ۱۲۶٫۷۹ هکتار، خطر متوسط ۱۱۸٫۳۰ هکتار، پرخطر ۷۸٫۶۲ هکتار، و خیلی پرخطر ۲۸٫۴۲ هکتار به‌دست‌آمده است.

جدول ۳ نتایج همپوشانی طبقات نقشه معیارها و طبقه بسیار پرخطر در نقشه پتانسیل خطر را نشان می‌دهد. همپوشانی طبقات خطر در نقشه پتانسیل خطر منطقه و هر یک از معیارها به صورت جداگانه بررسی شد. نتایج نشان داد طبقه خیلی پرخطر ۹۹٫۰۸ درصد با شیب کمتر از چهار درصد همپوشانی داشته است.



شکل ۷. نقشه پتانسیل خطر منطقه مورد مطالعه

جدول ۳. درصد مساحت همپوشانی طبقه خیلی پرخطر با طبقات نقشه معیارها

| درصد مساحت نسبت به کل طبقه خیلی پرخطر | طبقه همپوشانی شده با طبقه خیلی پرخطر |
|---------------------------------------|--|
| ۵۶٫۴۸ | کاربری تجاری-اداری |
| ۹۹٫۰۸ | شیب کمتر از ۴ درصد |
| ۵۰٫۴۴ | فاصله از کانال کمتر از ۴۰ متر |
| ۵۰٫۹۳ | ارتفاع ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۰ متر |
| ۵۲٫۶۲ | تراکم کانال‌های زه‌کشی بیشتر از ۳۲۵ متر در هکتار |
| ۷۲٫۴۱ | وسعت منطقه تحت پوشش هر کانال بیشتر از ۵۵ هکتار |
| ۶٫۵۹ | ظرفیت کانال زه‌کشی کمتر از ۰/۵ متر مکعب بر ثانیه |

جدول ۴ انطباق وضعیت آب‌گرفتگی در رگبارهای مورد اندازه‌گیری و نقشه پتانسیل خطر سیلاب حاصل از روش تحلیل سلسله‌مراتبی را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴، در شدت زیاد بارندگی (تاریخ ۱۳۹۳/۱/۱۴)، بیشتر نقاطی که در آن‌ها آب‌گرفتگی اتفاق افتاده است در طبقات خطر متوسط به بالا قرار می‌گیرند. بیشترین درصد قرارگیری صحیح نقاط شاخص در طبقات نقشه پتانسیل خطر سیلاب به ترتیب در شدت‌های بالا، متوسط، و کم است.

جدول ۴. درصد انطباق عمق آب‌گرفتگی با نقشه پتانسیل خطر

| وضعیت نقاط برداشت‌شده | تعداد نقاط صحیح منطبق بر طبقات نقشه خطر سیلاب | | |
|------------------------------------|---|-----------|------------|
| | در تاریخ‌های وقوع بارندگی | | |
| طبقه خطر در نقشه پتانسیل خطر سیلاب | ۱۳۹۳/۱/۱۴ | ۱۳۹۳/۰/۱۴ | ۱۳۹۳/۱۰/۲۰ |
| نقاط فاقد آب‌گرفتگی | ۳ | ۳ | ۴ |
| نقاط دارای آب‌گرفتگی | ۳۸ | ۴۴ | ۱۶ |
| درصد انطباق با طبقات نقشه | ۸۷،۲۳ | ۷۹،۶۶ | ۳۶،۳۶ |
| میانگین (درصد) | ۶۷،۷۵ | | |

با بررسی نمودارهای آنالیز حساسیت در نرم‌افزار Expert choice 11 مشخص شد در صورتی که تأثیر هر یک از معیارها به میزان ۱۰ درصد افزایش یابد، تأثیر سایر پارامترها کاهش خواهد یافت. اگر تأثیر هر یک از پارامترهای کاربری اراضی، تراکم کانال‌های زه‌کشی، ارتفاع، شیب، وسعت منطقه تحت پوشش هر کانال، و ظرفیت کانال‌های زه‌کشی ۱۰ درصد افزایش یابد، بیشترین کاهش تأثیر در پارامتر فاصله از کانال اصلی اتفاق می‌افتد. ضمن اینکه اگر تأثیر پارامتر فاصله از کانال ۱۰ درصد افزایش یابد، آنگاه بیشترین کاهش در تأثیر پارامتر شیب دیده می‌شود.

نقاط پُر تکرار آب‌گرفتگی پس از ترسیم پهنه سیل با استفاده از عمق آب‌گرفتگی برداشت‌شده و وضعیت هندسی در نقاط شاخص به دست آمد که انطباق بسیار زیادی با مناطق بسیار پُرخطر در نقشه پتانسیل خطر سیلاب داشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این تحقیق، با ادغام تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان مکان‌های دارای خطر سیلاب در شهر را به طور نسبتاً دقیق مشخص کرد که با نتایج چن و همکاران (۲۰۱۱: ۱۲۷۵) و آقاهادی و آموسی (۱۳۸۹: ۵) مطابقت دارد. نتایج ارزیابی پتانسیل خطر سیلاب شهری تربت حیدریه با AHP نشان داد که به طور متوسط در ۶۷/۷۵ درصد موارد نتایج این روش با واقعیت همخوانی دارد و هر چه شدت بارش افزایش یابد درصد تطبیق بیشتر می‌شود. نتایج مشابهی فرناندز و لاتز (۲۰۱۰: ۹۷) ارائه کرده‌اند. در این تحقیق مهم‌ترین پارامتر در زمینه خطر سیلاب، از نظر کارشناسان، فاصله از کانال اصلی بوده است. در نقشه پتانسیل خطر نیز مناطق بسیار پُرخطر و پُرخطر اغلب در نزدیک کانال اصلی قرار دارند. در مطالعات رحمتی و همکاران (۲۰۱۶: ۱۰۰۸)، فرناندز و لاتز (۲۰۱۰: ۹۷)، صالحی و همکاران (۱۳۹۱: ۱۸۷)، امیراحمدی و همکاران (۳۰: ۳۹۰)، و حمیدی و همکاران (۱۳۹۱: ۷) نیز فاصله از کانال اصلی مهم‌ترین پارامتر مؤثر در سیلاب شهری معرفی شده است. اما در تحقیق پاکوته و لآوری (۲۰۱۲: ۳۸) پارامتر فاصله از کانال وزن کمتری از سایر معیارها به خود گرفته است و علت آن این است که ایشان، به جای فاصله از کانال، از فاصله تا رودخانه استفاده کرده‌اند. کاربری تجاری- اداری بیشترین وزن و فضای باز کمترین وزن را در میان کاربری‌های طبقه‌بندی شده به خود اختصاص داده‌اند. در نتایج چان و همکاران (۲۰۰۰: ۳۳۶)، فرناندز و لاتز (۲۰۱۰: ۹۴) نیز همین شرایط برقرار است. مناطق تجاری- اداری به دلیل تمرکز جمعیت و سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی پتانسیل خطر بیشتری از نظر اقتصادی دارند و در اثر وقوع سیلاب خسارت بیشتری متحمل می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه بخش درخور توجهی

از کاربری تجاری- اداری منطبق با مسیر کانال اصلی است و همچنین در محدوده مناطق بسیار پُرخطر قرار دارد؛ بنابراین، جزو مناطق حساس به آب‌گرفتگی در بارندگی‌ها به‌شمار می‌رود. در این تحقیق با مقایسه نقشه تراکم زه‌کشی و نقشه پتانسیل خطر نهایی به‌دست‌آمده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و همچنین برداشت‌های میدانی مشخص شده است که مناطق بسیار پُرخطر و پُرخطر هم‌پوشانی درخور توجهی با مناطق دارای تراکم زه‌کشی بالا دارند. با توجه به نقشه پتانسیل خطر، محدوده میدان مرکزی تا جنوب منطقه مورد مطالعه بیشترین پتانسیل خطر را دارا هستند. البته، سابقه آب‌گرفتگی در این مناطق نیز طبق برداشت‌های میدانی وجود دارد. تطابق مناطق بسیار پُرتراکم با مناطق بسیار پُرخطر در نقشه پتانسیل با نتایج حمیدی و همکاران (۱۳۹۱: ۷) و استفانیدیز و استادیز (۲۰۱۳: ۵۸۳) مطابقت دارد. آنالیز حساسیت پارامترها توسط نرم‌افزار EC نشان داد که پارامتر فاصله از کانال حساس‌ترین فاکتور در تحلیل است که با نتایج فرناندز و لاتز (۲۰۱۰: ۹۷) در مطالعه سیلاب در شهر یربوانا^۵ آرژانتین مطابقت دارد. در مرکز تربت حیدریه، از جمله ویژگی‌های مناطقی که در محدوده با ریسک خطرپذیری بالا واقع می‌شوند می‌توان به تراکم کانال‌های زه‌کشی، توپوگرافی پست، شیب کمتر از ۴درصد، و وسعت زیاد منطقه‌ای که کانال زه‌کشی آن را به‌عهده دارد اشاره کرد.

سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی در منطقه مورد مطالعه جواب‌گوی حجم رواناب موجود در سطح منطقه نیست و بخشی از خیابان‌ها حتی در یک بارندگی کوچک نیز دچار آب‌گرفتگی شدید می‌شوند و ضمناً بسیاری از خیابان‌ها و محله‌های جدید در منطقه فاقد کانال یا دارای کانال‌هایی با حجم کم هستند. مهم‌ترین دلایل وقوع آب‌گرفتگی عبارت‌اند از: کم‌بودن سطح مقطع کانال‌ها، شیب کم بعضی از کانال‌ها، عدم پوشش برخی خیابان‌ها به وسیله کانال، مسدودشدن کانال‌ها با زباله‌ها و نخاله‌های ساختمانی و دفع رواناب پشت بام‌ها و منازل به سمت خارج از منزل.

در مناطق شهری سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی زیادی انجام می‌گیرد و مدیریت مشکلات شهری و سامان‌دهی آن‌ها نیز به سرمایه‌گذاری‌های هنگفتی نیاز دارد. یک ابزار اصلی در استانداردهای مدیریتی استفاده از قضاوت خبرگان است که برای حل موضوعات شهری در قالب یک روش صحیح کمتر به آن توجه می‌شود. بنابراین، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری و مدیریتی در برنامه‌ریزی‌های شهری در کنار استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند راهگشای بسیار مناسبی در اولویت‌بندی‌های مربوط به اقدامات اجرایی باشد.

منابع

- آقاهادی، ع. و آموسی، ف. (۱۳۸۹). بررسی استفاده از سیستم GIS در کنترل سیلاب‌های شهری (مطالعه موردی بخش الموت استان قزوین)، کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری، تهران، ص ۸-۱.
- امیدوار، ب.؛ غضبان، ف.؛ امامی، ک. و خدایی، ه. (۱۳۸۵). مدیریت ریسک سیلاب با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در سه زیرحوضه استان گلستان، اولین همایش مقابله با سوانح طبیعی، ۵ دی، تهران.
- امیراحمدی، ا.؛ بهنیافر، ا. و ابراهیمی، م. (۱۳۹۰). ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزوار در راستای توسعه پایدار شهری، فصل‌نامه آمایش محیط، ۱۶: ۱۷-۳۲.
- حمیدی، ن.؛ وفاخواه، م. و نجفی، ا. (۱۳۹۱). تهیه نقشه خطر سیلاب شهری با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی، همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر، ۲۲ تا ۲۳ آذر، مشهد، صص ۸-۱.
- رستمی خلج، م. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از تلفیق مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آب‌خیزداری، استاد راهنما: دکتر محمد مهدوی، دانشگاه تهران.
- صالحی، ا.؛ رفیعی، ی.؛ فرزاد بهتاش، م. و آقابابایی، م.ت. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از GIS و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (مطالعه موردی: تهران)، مجله محیط‌شناسی، ۳۹(۳): ۱۷۹-۱۸۸.
- قدسی‌پور، س.ح. (۱۳۸۴). فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران).

- Aghafarhadi, A. and Amousi, f. (2011). The Consideration for Use of GIS System in the Control of City Flood Water, *National conference of urban floods management*, Tehran, Iran, PP.1-8.
- AmirAhmadi, A.; Behniafar, A. and Ebrahimi, M. (2013). Microzoniation of flood risk in sabzevar suburd with the aim of sustainable urban development, *Quarterly Journal of Environmental based territorial Planning*, 16: 17-32.
- Chan, F.; Chan, M. and Tang, N. (2000). Evaluation methodologies for technology selection, *Journal of Materials Processing Technology*, 107(1-3): 330-337.
- Chen, Y.-R.; Yeh, C.-H. and Yu, B. (2011). Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan, *Natural hazards*, 59(3): 1261-1276.
- Fernández, D. and Lutz, M. (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis, *Engineering Geology*, 111(1): 90-98.
- Ghanbarpour, M.; Salimi, S. and Hipel, K. (2013). A comparative evaluation of flood mitigation alternatives using GIS-based river hydraulics modelling and multicriteria decision analysis, *Journal of Flood Risk Management*, 6(4): 319-331.
- Ghodsipour, S.H. (2005). *Analytical Hierarchy Process*, the Second Edition, Published by Amir Kabir University (Tehran Polytechnic), Iran.
- Hamidi, N.; Vafakhah, M. and Najafi, A. (2013). Urban Flood Hazard Mapping Using GIS and Spatial Multi-criteria Decision-making Methods, *National Conference of Pond Systems*, 12-13 December, Mashhad, PP. 1-8.
- Omidvar, B.; Ghazaban, F.; Emami, K. and Khodaie, H. (2007). Flood Risk Management Using Multi-criteria decision-making Methods in Three Sub-basin in Golestan Province, The First Conference on Coping with Natural Disaster, 5 January, Tehran.
- Paquette, J. and Lowry, J. (2012). Flood hazard modelling and risk assessment in the Nadi River Basin, Fiji, using GIS and MCDA, *The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences*, 30(1): 33-43.
- Rahmati, O.; Zeinivand, H. and Besharat, M. (2016). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 17(3): 1000-1017.
- Rostami Khalaj, M. (2011). Mapping Urban Flood Hazard Using a Combination of Hydrological and Hydraulic Models, Ms.Thesis of Watershed Management Engineering, Supervisor: dr. Mahdavi, M., University of Tehran.
- Salehi, E.; Rafii, Y.; Farzad Behtash, M.R. and Aghababai, M.T. (2013). Urban Flood Hazard Zonation Using GIS and Fuzzy-AHP Analysis (Case study: Tehran city), *Journal of Environmental Studies*, 39(3): 179-188.
- Stefanidis, S. and Stathis, D. (2013). Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP), *Natural hazards*, 68(2): 569-585.
- Wang, Y.; Li, Z.; Tang, Z. and Zeng, G. (2011). A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, *Central China. Water resources management*, 25(13): 3465-3484.