

تحلیل و مدیریت خطر سیلاب‌های شهری با رویکرد ژئومورفولوژی (کلانشهر کرج)

عزت‌اله قنواتی*: دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران

امیر صفاری: دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران

علی احمدآبادی: استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران

شهرام وارسته: دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۲۷)



20.1001.1.22517812.1401.12.4.2.3

چکیده

این تحقیق با هدف تحلیل ژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلانشهر کرج برای مدیریت و کاهش خطر سیلاب انجام شد. ابتدا پهنه‌های سیل‌خیز و مناطق دارای توان آبگرفتگی شناسایی شد. کانال‌های طالقانی، موذن و دلمبر به ترتیب آب‌های سطحی حاصل از زیرحوضه‌های طالقانی، سیاه‌کلان و دلمبر را به سمت کلکتور جمع‌کننده بهشتی هدایت می‌کنند. ظرفیت این سه کانال برای دوره بازگشت پنجاه ساله به ترتیب ۰/۳۸، ۰/۶۸ و ۲/۵۳ مترمکعب بر ثانیه طراحی شده است. نتایج حاصل از مدل HecRAS نشان داد که سیلاب دوره بازگشت پنجاه ساله آبراهه‌های طالقانی، سیاه‌کلان و دلمبر به ترتیب ۰/۴۲، ۰/۸۱ و ۲/۶۴ مترمکعب بر ثانیه است. بنابراین با وقوع چنین سیلابی به علت عدم گنجایش ظرفیت انتقال کانال‌های مصنوعی موجود، آب مازاد سطحی به سیلاب‌های شهری منجر می‌شود. همچنین با اجرای مدل TOSIS مشخص شد که بیش از ۵۵ درصد از سطح کلانشهر کرج، توان آبگرفتگی خیلی زیاد و زیاد دارد. برای مدیریت سیلاب این مناطق نیز از سه روش شامل استخرهای مصنوعی به منظور پخش سیلاب، ایجاد زیرساخت‌های سبز و چاه‌های جذبی استفاده شد. با استفاده از روش WASPAS و بولین، چهار پهنه مستعد برای ذخیره سیلاب شناسایی شد که با فرض ذخیره آب به عمق دو متر در هر یک از پهنه‌ها، در مجموع بیست هزار متر مکعب از حجم آب سیلاب مهار خواهد شد. همچنین با استفاده از مدل MCE، شانزده موقعیت مناسب برای حفر چاه جذبی پیشنهاد شد. مجموع چاه‌های جذبی پیشنهادی با قطر حفاری دو متری می‌توانند ۱۶۸۸۰ مترمکعب از آب سطحی را ذخیره کنند. گزینه دیگری که از آن برای مدیریت سیلاب استفاده می‌شود، بهره‌گیری از زیرساخت سبز است. درصد تراکم پوشش گیاهی نیز با استفاده از مدل FCD به دست آمده است. پهنه‌های دارای تراکم پوشش - گیاهی کمتر از ۲۵ درصد در منطقه، دارای توان تولید رواناب سطحی بیش از ۲۵۰ میلی‌متر است. با افزایش زیرساخت‌های سبز در کرج، توان تولید رواناب سطحی به میزان پنجاه تا هفتاد میلی‌متر کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: ژئومورفولوژی، سیلاب، کلانشهر کرج، مدیریت، GIS، HecRAS.

۱- مقدمه

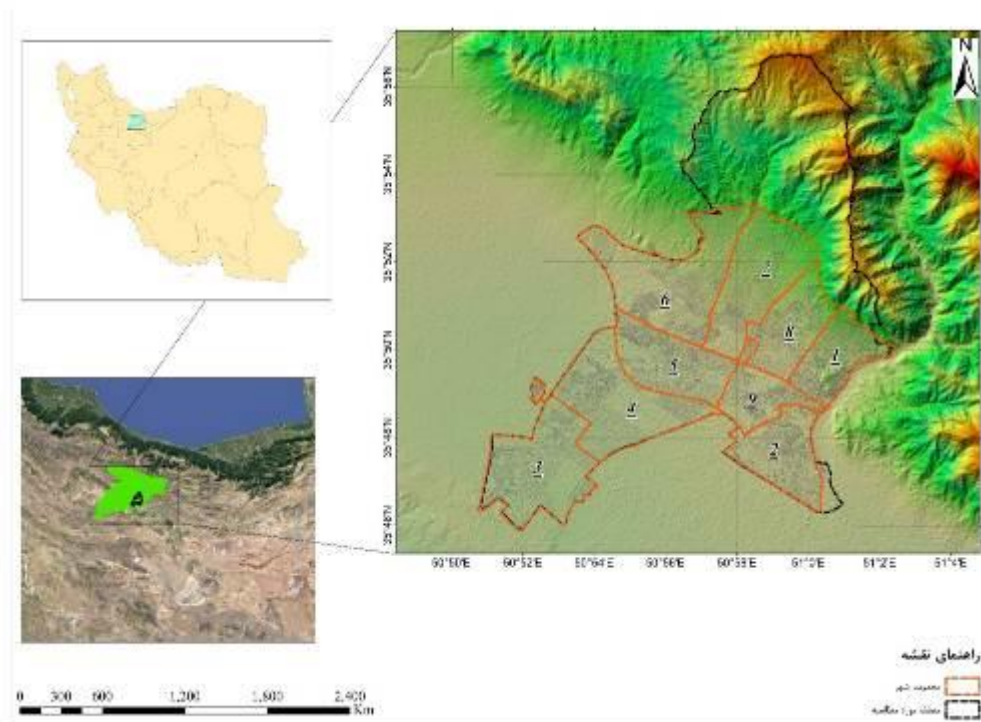
سیل، جریان آبی است با تراز نسبتاً بالای رودخانه که در نتیجه آن، آب از اراضی پست اطراف رودخانه تجاوز می‌کند و به غرقابی شدن آن منجر می‌شود. با این مفهوم، بالا آمدن آب و سرریز شدن از یک سازه آبی به اراضی اطراف را سیل می‌نامند (Imami, 2001). بر اساس نظر Yamani و همکاران (2014)، دلایل وقوع سیلاب بسته به اینکه در حوضه‌های شهری رخ دهد یا در حوضه‌های غیرشهری، متفاوت است. پارامترهای مورفومتریک حوضه‌های آبخیز، در پاسخ هیدرولوژیک و در نتیجه سیلاب نقش مهمی دارد (Diakakis, 2011).

چزگی و همکاران (2021) در پژوهشی با عنوان مکان‌یابی و اولویت‌بندی محل مناسب ساخت بندهای خاکی، با هدف مدیریت سیلاب‌های شهری و با استفاده از روش‌های فرایند تحلیل شبکه و ویکور صورت گرفت. در این پژوهش، ۴۳ محدوده دارای پتانسیل برای ساخت بند خاکی انتخاب و با استفاده از گوگل ارث و بازدید صحرایی، یازده محور مناسب برای ساخت این بند تعیین شد. این مکان‌ها، براساس معیارهای عوامل طبیعی (بارندگی، شیب، زمین‌شناسی، تراکم زهکشی و فرسایش‌پذیری) و عوامل اقتصادی اجتماعی (فاصله از شهر و روستا، فاصله از جاده، فاصله از منابع قرضه و نیاز آبی) اولویت‌بندی شد. نتایج نشان داد که معیار زمین‌شناسی با اهمیت نسبی ۰/۴۷۲، بیشترین تأثیر را در انتخاب محل بند داشته‌است. مهدویان و همکاران (2014) در پژوهشی تحت عنوان مکان‌یابی سدهای اصلاحی (سنگی ملاتی)، به کنترل و بررسی سیلاب در رودخانه‌های حوضه آبخیز دهسفيد پرداختند و از روش تحلیل چندمعیاره مکانی (MCES) استفاده کردند. قنواتی و همکاران (2014) در پژوهشی، تأثیر ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلان‌شهر تهران را بر سیل‌خیزی بررسی کردند. براساس نتایج این پژوهش، ویژگی‌های مورفومتریک و کوتاه شدن زمان تمرکز در تشدید سیلاب‌های منطقه نقش زیادی داشت. بر اساس پژوهش Ghanavati و همکاران (2009)، علاوه بر شرایط محیط طبیعی، فعالیت‌های انسانی و فقدان برنامه‌ریزی صحیح نیز به ایجاد، افزایش فراوانی و حجم سیلاب و خسارت‌های ناشی از آن منجر می‌شود. از جمله مهم‌ترین دلایل سیلاب‌های شهری، کمبود سیستم تخلیه فاضلاب‌ها بعد از توسعه ساختمان‌سازی و کمبود گنجایش بسیاری از سیستم‌های شبکه زهکشی شهری - که برای سیلاب‌هایی با دوره بازگشت کمتر از بیست سال طراحی شده - است (Gholami, 2012). بنابراین، بسیاری از سیستم‌های زهکشی شهری نمی‌توانند پاسخگوی حداکثر جریان‌های آب باشند و در نتیجه، آب مازاد به سطح انتقال می‌یابد (Koocheh Baghi, 2016). علاوه بر موارد بالا، ایجاد سطوح نفوذناپذیر مانند سقف‌ها و جاده‌ها نیز از نفوذ آب به درون زمین جلوگیری می‌کند؛ به طوری که میزان زیادی از باران‌های رگباری به صورت رواناب جریان می‌یابد (Chen et al, 2009). سطوح هموار هیدرولیک شهری - که با تراکم شبکه سطوح زهکشی و کانال‌های زیرزمینی، آب را با سرعت بیشتر به کانال انتقال می‌دهد - نیز به افزایش سرعت سیل منجر می‌شود (Baboo, 2011). همچنین، نتایج پژوهش Ghanavati و همکاران (2013)، آبراهه‌های رودخانه‌های طبیعی غالباً به وسیله پل‌هایی که با دوره بازگشت مناسبی طراحی نشده‌اند، محدود و به کاهش قابلیت حمل رواناب منجر می‌شوند و سیلاب‌های شهری را تشدید می‌کنند. فقدان مدیریت منابع طبیعی و وجود عملیات آبخیزداری صحیح و مناسب در حوضه‌های شمالی کلانشهر کرج نیز به ضعف پوشش گیاهی منجر می‌شود و در نتیجه کم بارشی‌های پی‌درپی در دو دهه اخیر، زمینه مساعدی را برای وقوع سیلاب‌های مخرب به وجود آورده‌است. سیلاب رخ داده در سال ۱۳۹۶ علاوه بر خسارت به

زیرساخت شهری، هشت کشته، ده مصدوم و دوازده مفقودی برجای گذاشت و به چهل خودرو آسیب رساند. از دیگر خیابان‌های بحرانی، خیابان طالقانی است که در گذشته مسیر انتقال آب به سمت شهریار بود؛ در حالی که اکنون به علت فقدان مدیریت شهری، جانمایی نامناسب خیابان مذکور و نادیده گرفتن انتقال آب سطحی، در صورت وقوع بارندگی سنگین تلفات جبران ناپذیری به همراه دارد. همچنین از دیدگاه ژئومورفولوژی، با توجه به مشخصات فیزیکی و شکل آبراهه‌ها، ضرایب هیدرولوژیکی زیرحوضه‌ها، بالا بودن رخنمون سنگی، شدت بالای رگبار و اهمیت حفظ اراضی و باغ‌های حاشیه رودخانه‌ها، وضعیت کشاورزی و وجود باغ‌ها در محدوده حوضه‌های کلانشهر کرج و از همه مهم‌تر، استقرار کلانشهر کرج در نقطه خروجی رودخانه از کوهستان، برآورد شد و مدیریت سیلاب و ذخیره آب در این حوضه نیز امری ضروری بود. در این مطالعه ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های کلانشهر کرج با تأکید بر سیل‌خیزی و سیل‌گیری بررسی و تحلیل مکانی شد که این امر، از طریق برآورد و بررسی خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه‌های آبخیز منتهی به کلانشهر کرج و محاسبه احتمال‌های وقوع سیلاب در دوره‌های زمانی مختلف صورت گرفت. همچنین برای مدیریت سیلاب‌های احتمالی، سناریوها و مکان‌های مناسبی - با توجه به ویژگی‌های لندفرمی حوضه - برای ذخیره و نگهداری آب مازاد و سیلاب‌ها شناسایی شد.

۲- منطقه مورد مطالعه

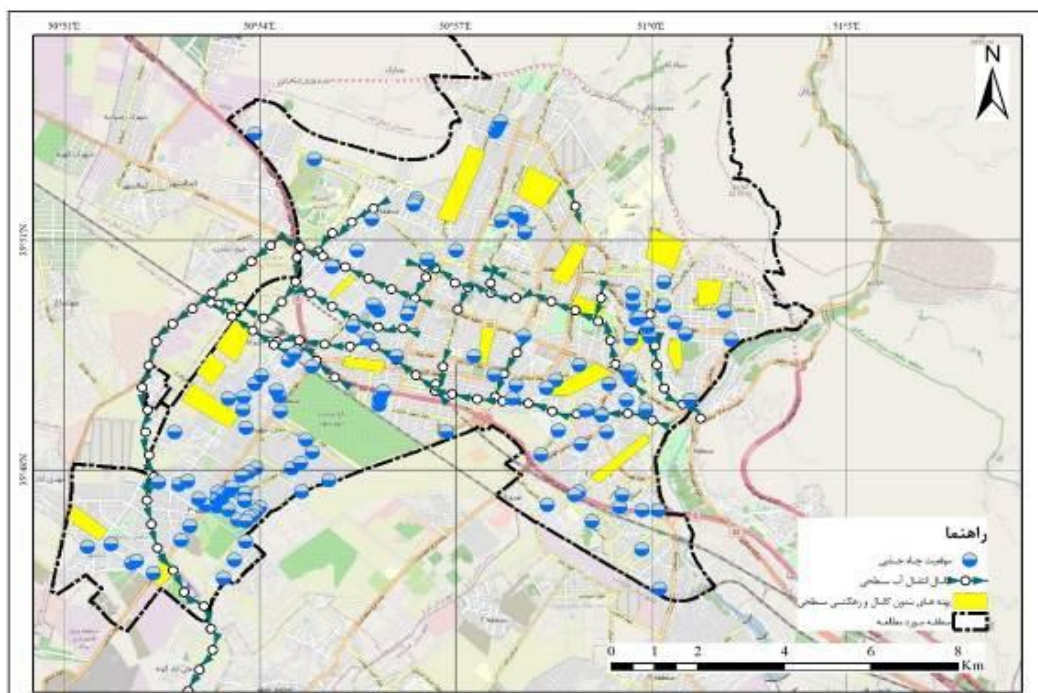
منطقه مورد مطالعه، محدوده کلانشهر کرج است که در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این منطقه در سمت جنوب غربی شیب ملایمی دارد و وجود ارتفاعات در جهت شمال و شرق نیز توسعه شهر را محدود کرده است. رودخانه کرج که در شرق و جنوب شرقی شهر واقع شده است نیز از عناصر مهم جغرافیایی منطقه به شمار می‌رود (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

از نظر اقلیمی، بارندگی سالانه با مقدار ۱۷۲/۳ میلی‌متر (۶۹/۷ درصد) در نیمه اول سال زراعی (پاییز و زمستان)، میزان ۶۹/۷ میلی‌متر (۲۸/۸ درصد) در سه ماهه سوم (بهار) و بقیه ۲/۵ میلی‌متر (۱/۲ درصد) نیز در فصل تابستان بود. همچنین بر اساس گزارش Alborz Meteorology Office در سال (2021)، بارندگی‌ها از مهر ماه شروع شده و تا اردیبهشت ماه ادامه دارند. با شروع فصل بهار از مقدار ریزش‌های جوی کاسته شد و کمترین مقدار ماهانه این ریزش‌ها نیز به ماه‌های تابستان اختصاص داشت. به طور کلی، رژیم بارندگی محدوده مطالعاتی از نوع مدیترانه‌ای است، حداکثر بارندگی‌ها در فصل زمستان است و فصل خشک نیز به تابستان اختصاص دارد.

خصوصیات لیتولوژی کلانشهر کرج و حوضه‌های بالادست آن شامل سنگ‌های سخت آهکی، ماسه‌ای، شیل، کنگلومرا و گاه آذرین با شیب حدود شصت درصد و عموماً بدون پوشش خاکی یا خاک‌های کم عمق و سنگریزه‌دار با بافت متوسط تا سنگین است که در مرز ارتفاعی بین دو حد ۱۵۰۰-۴۰۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. همچنین مورفولوژی کلانشهر کرج دارای کوه‌های کم‌ارتفاع تا نسبتاً مرتفع با بریدگی‌های بسیار زیاد است. بخش عمده شهر نیز روی مخروط افکنه گسترده شده‌است و از سنگ‌های گچی نمکی و مارن‌های رنگارنگ رسی و آهکی تشکیل می‌شود. همچنین براساس پژوهش Alaei Taleghani (2006)، این بخش‌ها بیشتر فاقد پوشش گیاهی است یا پوشش گیاهی بسیار پراکنده و تنک دارد. برخی از خیابان‌ها فاقد شبکه زهکشی، کانال‌های انتقالی و چاه‌های جذبی است همانند بلوار تربیت‌معلم، بوعلی غربی، خیابان نواب صفوی واقع در منطقه هشت شهرداری و خیابان‌های گودرزی، ندای شمالی و جنوبی که در شکل ۲ دیده می‌شود. این خیابان‌ها به دلیل سطح نفوذناپذیر، با کمترین بارش دچار آبگرفتگی می‌شوند؛ بنابراین، احداث کانال‌های زهکشی و انتقال آب‌های سطحی به سمت کلکتور جمع‌کننده در این مناطق امری ضروری است.



شکل ۲: موقعیت خیابان‌ها و مناطق فاقد شبکه زهکشی آب سطحی مناسب

یکی از موارد بسیار مهم در زمان بروز آب گرفتگی خیابان‌ها، عدم لایه‌روبی و جمع‌آوری مواد اضافی در منهول‌های کانال‌هاست که به مسدود شدن دهانه آنها منجر می‌شود و مانعی در برابر عبور آب است (شکل ۳).



شکل ۳: نمونه‌ای از مسدود بودن منهول‌های کانال‌های ساخته شده

۳- داده‌ها و روش

۳-۱- داده‌های مورد استفاده

منابع اصلی داده‌ها برای فراهم کردن لایه‌های اطلاعاتی به شرح زیر است:

مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه مورد مطالعه، از سنجنده Alos تهیه شد. نقشه زمین‌شناسی منطقه مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، از سازمان زمین‌شناسی ایران و نقشه رقومی کاربری اراضی، از نقشه‌های شهرداری استخراج شد. نقشه آبراه‌ها و مسیل-های منطقه نیز از سنجنده Alos و نقشه پوشش زمین، از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده OLI استخراج شد. داده‌های هیدرولوژی، از سازمان آب منطقه‌ای البرز و داده‌های اقلیمی نیز از هواشناسی استان تهیه شد. همچنین نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه، از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده OLI استخراج شد.

۳-۲- مدل‌های مورد استفاده

۳-۲-۱- شبکه‌های عصبی ماشین‌بردار پشتیبان^۱ (استخراج پوشش اراضی)

طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان، در نظریه یادگیری آماری ریشه دارد که در تشخیص الگوها مثل تشخیص دست خط و طبقه‌بندی تصویر دارای کاربردی گسترده است. این طبقه‌بندی، کلاس‌ها را با استفاده از یک سطح تصمیم‌گیری - که نواحی حاشیه‌ای کلاس‌ها را به حداکثر می‌رساند - جدا می‌کند. این فرایند، طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دوری را که معمولاً تفکیک‌پذیری کلاس‌ها در آن به صورت غیرخطی است، ممکن می‌سازد. در این طبقه‌بندی، ریسک تجربی خطای طبقه‌بندی با حداکثر سازی نقاط داده و مرز تصمیم‌گیری به حداقل می‌رسد (Marjanović, 2011).

^۱ SVM

۳-۲-۲- مدل SCS^۱ (تهیه نقشه رواناب)

سازمان حفاظت خاک آمریکا (۱۹۷۳)، روشی را برای تخمین رواناب از اطلاعات بارندگی، نوع کاربری، پوشش زمین و بافت خاک پیشنهاد کرده است. در این روش، بین مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده همبستگی خوبی وجود دارد (Nayak and Jaiswal, 2003). این روش در حوضه‌های آبریزی به کار می‌رود که اندازه‌گیری دبی رواناب در آن صورت نگرفته است. بنابراین، از بارش سالانه به‌عنوان ورودی بارش در مدل استفاده می‌شود (Alizadeh, 2004). در تحقیق حاضر برای برآورد رواناب حاصل شده از بارندگی، از روش SCS و از رابطه زیر استفاده شد:

رابطه ۱

$$R = \left[\frac{P - 0.25}{P + (0.8 \times S)} \right]^2$$

R = ارتفاع رواناب برحسب میلی‌متر مکعب؛

P = بارندگی برحسب میلی‌متر؛

S = عامل نگاهداشت آب در سطح زمین که از مقدار زیر به دست می‌آید:

$$S = 25400 / CN - 254$$

در رابطه بالا، پارامتر CN عبارت است از شماره منحنی و عددی بی‌بعد. دامنه عددی این پارامتر نیز از صفر تا صد است؛ به طوری که در عدد صد، تمام باران به رواناب تبدیل می‌شود مثل مخزن آب و در عدد صفر، روانابی تشکیل نمی‌شود.

رابطه بین بارندگی و رواناب همیشه رابطه‌ای خطی نیست، مگر اینکه نگاهداشت سطحی در حوضه ناچیز باشد (۱۰۰) (CN=) که در این صورت، منحنی (رابطه بارندگی رواناب) از مرکز مختصات نیز می‌گذرد. اما برای حوضه‌هایی که در آنها نگاهداشت سطحی زیاد است؛ نخست، این رابطه به صورت یک منحنی نمایی است و دوم اینکه با افزایش نمایه، S منحنی از مرکز مختصات فاصله می‌گیرد و بخش زیادی از بارندگی بدون اینکه جاری شود، در سطح حوضه نگاهداشته می‌شود. در عمل، ضریب رواناب حوضه به‌عنوان درصدی از بارندگی که به رواناب تبدیل می‌شود، مشخص و مقدار آن با فرمول ساده زیر حدس زده می‌شود:

$$C = R/P$$

که در آن C ضریب رواناب، R مقدار ارتفاع بارندگی و R مقدار ارتفاع رواناب است که با استفاده از روش SCS به دست آمده است. ضریب رواناب، به خصوصیات فیزیکی منطقه مورد مطالعه بستگی دارد.

همچنین به منظور تعیین مکان بهینه برای پهنه‌بندی، از مدل‌های وزن‌دهی، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) (GhodsiPour, 2011) و منطق‌فازی و مدل Waspas برای مکان‌یابی چاه (Momeni, 2014) و برای پهنه‌بندی و مکان‌یابی چاه جذبی، از مدل تاپسیس (PourTaheri, 2011) برای مکان‌یابی استخر مصنوعی استفاده شد.

¹ Soil Conservation Service

۳-۳- فرایند اجرای پژوهش

فرایند اجرای این پژوهش شامل محاسبه سیلاب در دوره بازگشت‌های چندساله، پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل آب‌گرفتگی و مدیریت و ارائه راهکار شامل مراحل زیر است. در شکل ۴، فرایند اجرای پژوهش نشان داده شد.

الف) تحلیل و مدیریت سیلاب

ب) شناسایی پهنه‌های سیل‌گیر

- محاسبه و پهنه‌بندی دوره‌های بازگشت مختلف (پهنه‌بندی با استفاده از مدل HecRAS)

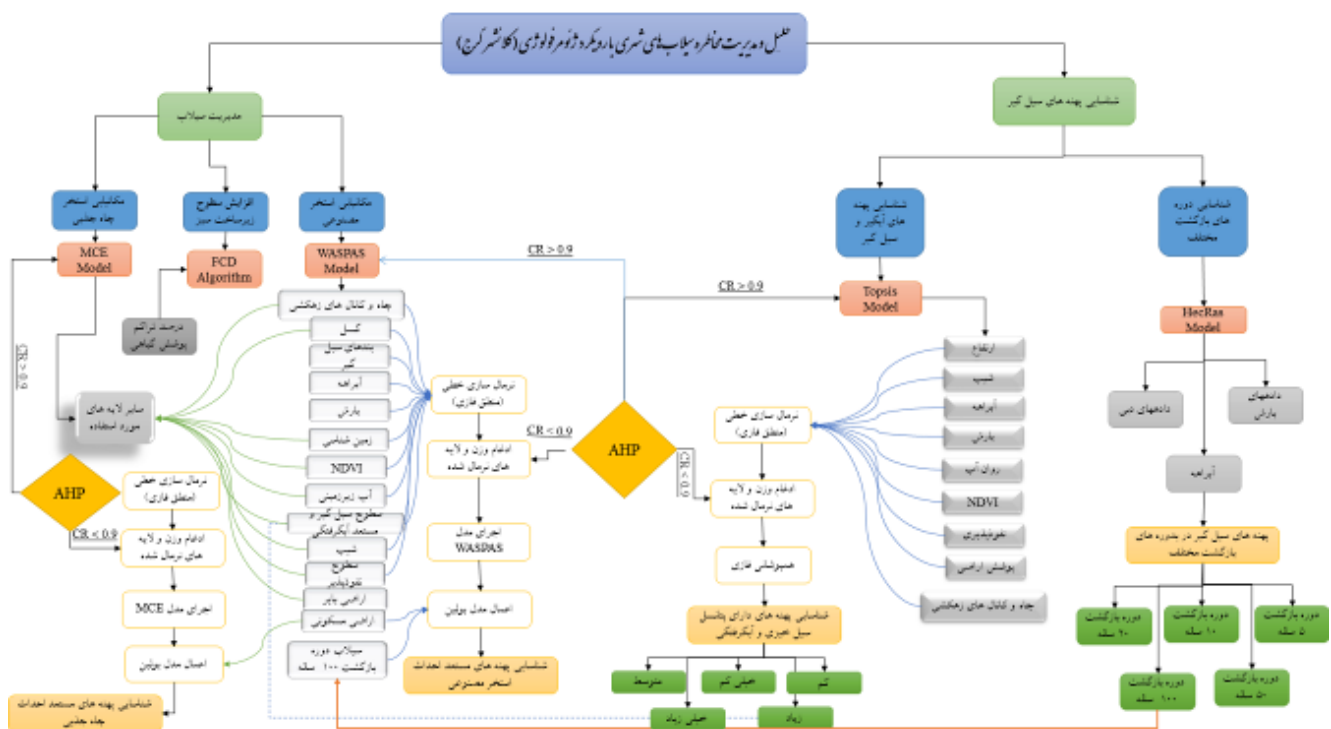
- شناسایی پهنه‌های آبگیر و سیل‌گیر (استفاده از مدل Topsis)

ج) مدیریت سیلاب

- مکان‌یابی استخر مصنوعی (WASPAS Model)

- مکان‌یابی استخر چاه (MCE Model)

- افزایش سطوح زیرساخت سبز (FCD Algorithm)



شکل ۴: فرایند اجرای پژوهش

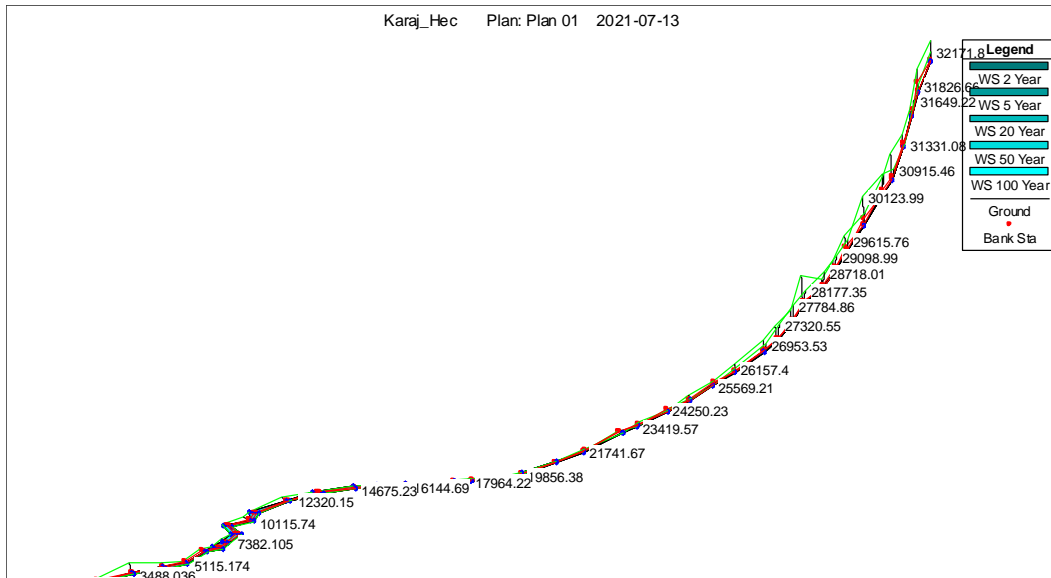
۴- یافته‌های پژوهش

۴-۱- پهنه‌بندی سیلاب و شناسایی پهنه‌های دارای توان آبگرفتگی

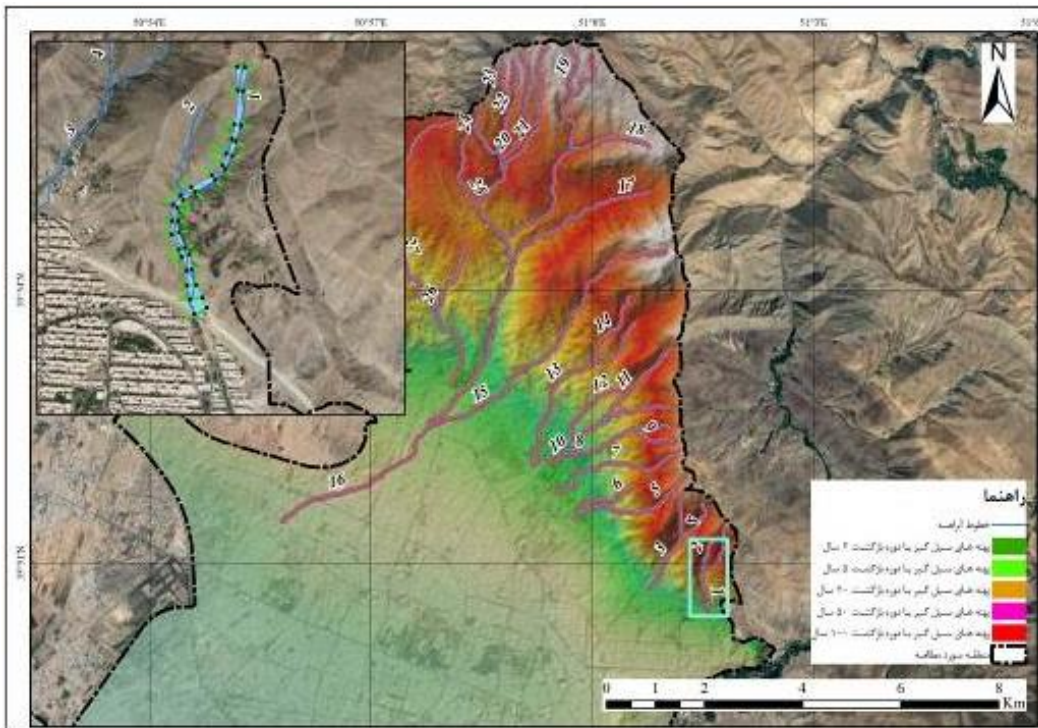
۴-۱-۱- پهنه‌بندی سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از HecRAS

پس از تعیین پارامترهای هندسی رودخانه و مشخصات موردنیاز برای شبیه‌سازی سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف شامل ضریب مانینگ و شرایط مرزی، دبی سیلاب طراحی و برای شبیه‌سازی هیدرولیکی و تعیین پهنه سیلاب

به مدل HEC-RAS معرفی شد. سپس پهنه سیلاب به صورت رقوم سطح آب و در محل مقاطع عرضی محاسبه شد (شکل ۵). با استفاده از رقوم سطح آب در هر یک از مقاطع عرضی و HEC-GeoRAS، لایه اطلاعات ارتفاعی به عنوان پایه استخراج خصوصیات هندسی بازه - که بتواند سطح آب گرفتگی را نشان دهد - تهیه شد. به طور کلی، بستر و حریم رودخانه برای سیلاب‌های با دوره بازگشت‌های مختلف طراحی شد. پس از اجرای محاسبات مربوط به تعیین رقوم سطح آب، به ترسیم نقشه پهنه سیل پرداخته شد (شکل ۶).



شکل ۵: نمودار سیلاب حاصل از مدل در دوره بازگشت‌های مختلف برای آبراهه دلمبر



شکل ۶: پهنه سیلاب گیر در دوره بازگشت‌های مختلف

حجم سیلاب برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، با استفاده از مدل HecRAS برای تمامی ۳۰ آبراهه واقع در حوضه‌های بالادست کلانشهر کرج محاسبه شد (جدول ۴). بررسی دبی سیلاب تولیدی نشان می‌دهد که در دوره بازگشت بیست ساله به میزان ۰/۲۷ مترمکعب بر ثانیه، در بزرگ‌ترین آبراهه واقع در عظیمه سیلابی تولید می‌شود که چهارده هکتار از اراضی اطراف آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین در آبراهه‌های طالقانی، سیاه کلان و دلمبر به ترتیب ۰/۳، ۰/۵۸ و ۱/۹۱ مترمکعب بر ثانیه سیلاب تولید می‌شود که به ترتیب مساحتی معادل با ۱۵/۸۲، ۲۲/۶۵، ۸۵/۵۱ هکتار از اراضی اطراف آن را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد.

جدول ۴: میزان دبی سیلاب‌های احتمالی در دوره‌های بازگشت مختلف و مساحت تأثیرگذاری آن

شماره آبراهه	نام حوضه	دوره بازگشت ۱۰۰ ساله		دوره بازگشت ۵۰ ساله		دوره بازگشت ۲۰ ساله		دوره بازگشت ۱۰ ساله		دوره بازگشت ۵ ساله		طول آبراهه (به متر)	طبقه بندی آبراهه
		مساحت تاثیر گذاری (هکتار)	میزان دبی (مترمکعب بر ثانیه)	مساحت تاثیر گذاری (هکتار)	میزان دبی (مترمکعب بر ثانیه)	مساحت تاثیر گذاری (هکتار)	میزان دبی (مترمکعب بر ثانیه)	مساحت تاثیر گذاری (هکتار)	میزان دبی (مترمکعب بر ثانیه)	مساحت تاثیر گذاری (هکتار)	میزان دبی (مترمکعب بر ثانیه)		
۱	عظیمه	۲۳.۷۸	۰.۴۴	۱۹.۶۵	۰.۳۷	۱۳.۹۶	۰.۲۷	۶.۷۶	۰.۱۳	۲.۵۰	۰.۰۵	۲۰۴۳.۷	۲
۲		۹.۰۲	۰.۱۵	۷.۴۰	۰.۱۲	۵.۱۹	۰.۰۹	۲.۴۸	۰.۰۴	۰.۹۱	۰.۰۲	۷۰۷.۶	۱
۳	طالقانی	۲۶.۵۲	۰.۵۰	۲۲.۰۶	۰.۴۲	۱۵.۸۲	۰.۳۰	۷.۷۷	۰.۱۵	۲.۹۱	۰.۰۶	۲۳۸۸.۱	۲
۴		۱۰.۲۷	۰.۱۴	۸.۴۵	۰.۱۱	۵.۹۶	۰.۰۸	۲.۸۵	۰.۰۴	۱.۰۵	۰.۰۱	۸۱۱.۰	۱
۵	سیاه کلان	۲۹.۰۸	۰.۵۹	۲۴.۲۳	۰.۵۰	۱۷.۴۲	۰.۳۶	۸.۵۵	۰.۱۸	۳.۱۹	۰.۰۷	۲۶۳۱.۵	۲
۶		۱۶.۴۹	۰.۴۱	۱۳.۷۱	۰.۳۴	۹.۸۳	۰.۲۴	۴.۸۱	۰.۱۲	۱.۷۹	۰.۰۴	۱۵۰۰.۳	۱
۷		۳۳.۷۳	۰.۷۱	۲۸.۱۲	۰.۵۹	۲۰.۲۲	۰.۴۳	۹.۹۲	۰.۲۱	۳.۷۰	۰.۰۸	۳۰۵۵.۸	۱
۸		۲۷.۶۹	۰.۵۹	۲۳.۰۷	۰.۴۹	۱۶.۵۹	۰.۳۶	۸.۱۶	۰.۱۸	۳.۰۵	۰.۰۷	۲۵۴۶.۹	۱
۹		۱۰.۴۲	۰.۱۵	۸.۵۸	۰.۱۲	۶.۰۷	۰.۰۹	۲.۹۲	۰.۰۴	۱.۰۷	۰.۰۲	۸۴۲.۸	۱
۱۰		۳۷.۷۱	۰.۸۶	۳۱.۴۶	۰.۷۲	۲۲.۶۵	۰.۵۲	۱۱.۱۶	۰.۲۶	۴.۱۷	۰.۱۰	۳۵۰۲.۹	۲
۱۱		۲۴.۷۴	۰.۴۵	۲۰.۵۲	۰.۳۸	۱۴.۶۴	۰.۲۷	۷.۱۴	۰.۱۳	۲.۶۶	۰.۰۵	۲۲۲۵.۱	۱
۱۲		۲۰.۶۸	۰.۵۰	۱۷.۲۲	۰.۴۱	۱۲.۳۷	۰.۳۰	۶.۰۶	۰.۱۵	۲.۲۶	۰.۰۵	۱۹۳۵.۵	۱
۱۳		۴۱.۷۱	۰.۹۷	۳۴.۷۷	۰.۸۱	۲۵.۰۲	۰.۵۸	۱۲.۳۰	۰.۲۹	۴.۵۹	۰.۱۱	۳۹۴۳.۹	۲
۱۴		۱۹.۱۷	۰.۳۳	۱۵.۹۰	۰.۲۸	۱۱.۳۴	۰.۲۰	۵.۵۰	۰.۱۰	۲.۰۴	۰.۰۴	۱۷۱۸.۶	۱
۱۵		۷۴.۰۵	۱.۵۲	۶۱.۷۸	۱.۳۸	۴۴.۴۹	۰.۹۲	۲۱.۹۰	۰.۴۶	۸.۱۸	۰.۱۷	۶۸۹۸.۳	۱
۱۶		۱۴۲.۱۷	۳.۱۵	۱۱۸.۶۸	۲.۶۴	۸۵.۵۱	۱.۹۱	۴۲.۱۲	۰.۹۵	۱۵.۷۵	۰.۳۶	۱۳۴۸۸.۹	۴
۱۷		۳۵.۷۹	۰.۶۴	۲۹.۷۱	۰.۵۳	۲۱.۲۴	۰.۳۹	۱۰.۳۷	۰.۱۹	۳.۸۶	۰.۰۷	۳۲۸۲.۰	۱
۱۸		۲۰.۲۷	۰.۱۸	۱۶.۸۵	۰.۱۵	۱۲.۰۶	۰.۱۱	۵.۸۹	۰.۰۵	۲.۱۹	۰.۰۲	۱۸۵۶.۹	۱
۱۹	۱۲.۱۱	۰.۴۷	۱۰.۰۱	۰.۳۹	۷.۱۲	۰.۲۸	۳.۴۴	۰.۱۴	۱.۲۷	۰.۰۵	۱۰۷۱.۶	۱	
۲۰	۵۱.۴۰	۰.۷۲	۴۲.۸۹	۰.۶۰	۳۰.۸۹	۰.۴۳	۱۵.۲۱	۰.۲۲	۵.۶۸	۰.۰۸	۴۸۳۳.۱	۳	
۲۱	۳۳.۲۵	۰.۳۳	۲۷.۷۳	۰.۲۷	۱۹.۹۴	۰.۲۰	۹.۷۹	۰.۱۰	۳.۶۵	۰.۰۴	۳۱۰۶.۸	۱	
۲۲	۲۵.۸۸	۰.۲۷	۲۱.۴۹	۰.۲۳	۱۵.۳۷	۰.۱۶	۷.۵۰	۰.۰۸	۲.۷۹	۰.۰۳	۲۳۶۱.۱	۲	
۲۳	۱۲.۰۷	۰.۱۰	۹.۹۶	۰.۰۸	۷.۰۵	۰.۰۶	۳.۳۹	۰.۰۳	۱.۲۵	۰.۰۱	۱۰۴۴.۸	۱	
۲۴	۱۱.۵۰	۰.۱۴	۹.۴۶	۰.۱۲	۶.۶۸	۰.۰۸	۳.۲۲	۰.۰۴	۱.۱۹	۰.۰۱	۹۹۶.۸	۱	
۲۵	۱۸.۵۲	۰.۳۱	۱۵.۳۷	۰.۲۵	۱۰.۹۸	۰.۱۸	۵.۳۵	۰.۰۹	۱.۹۹	۰.۰۳	۱۶۷۶.۱	۱	
۲۶	۱۷.۷۴	۰.۳۸	۱۴.۷۳	۰.۳۲	۱۰.۵۲	۰.۲۳	۵.۱۲	۰.۱۱	۱.۹۰	۰.۰۴	۱۶۰۷.۹	۱	
۲۷	۷۲.۱۳	۱.۵۴	۶۰.۱۵	۱.۳۹	۴۳.۳۰	۰.۹۳	۲۱.۳۲	۰.۴۶	۷.۹۶	۰.۱۷	۶۷۸۶.۵	۲	
۲۸	۱۸.۶۶	۰.۳۳	۱۵.۴۵	۰.۲۸	۱۱.۰۱	۰.۲۰	۵.۳۴	۰.۱۰	۱.۹۸	۰.۰۴	۱۶۸۲.۱	۱	
۲۹	۲۷.۱۴	۰.۶۱	۲۲.۶۹	۰.۵۱	۱۶.۴۰	۰.۳۷	۸.۱۱	۰.۱۹	۳.۰۳	۰.۰۷	۲۵۸۸.۷	۲	
۳۰	۱۶.۸۷	۰.۳۲	۱۴.۰۰	۰.۲۷	۱۰.۰۱	۰.۱۹	۴.۸۸	۰.۱۰	۱.۸۱	۰.۰۴	۱۵۳۴.۷	۱	

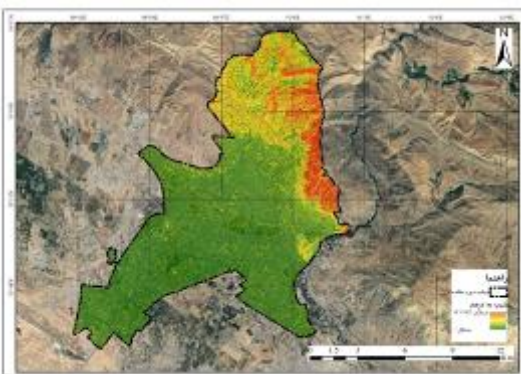
با توجه به طراحی و کانال‌های مصنوعی کارگذاری شده در سطح کلانشهر کرج، کانال‌های طالقانی، موزن و دلمبر به ترتیب آب‌های سطحی حاصل از زیرحوضه‌های طالقانی، سیاه کلان و دلمبر را به سمت کلکتور جمع‌کننده بهشتی هدایت می‌کنند. ظرفیت طراحی این سه کانال ذکر شده برای دوره بازگشت پنجاه ساله، به ترتیب ۰/۳۸، ۰/۶۸ و ۲/۵۳ مترمکعب بر ثانیه است؛ در حالی که نتایج مدل هکرس نشان می‌دهد که در دوره بازگشت پنجاه ساله، ظرفیت تولیدی آب سطحی آبراهه‌های طالقانی، سیاه کلان و دلمبر به ترتیب ۰/۴۲، ۰/۸۱ و ۲/۶۴ مترمکعب بر ثانیه است. در این صورت به دلیل عدم گنجایش ظرفیت انتقال کانال‌های مصنوعی کارگذاری شده در سطح کلانشهر، آب مازاد سطحی به خیابان‌های شهری وارد خواهد شد و سیلاب تولید خواهد کرد؛ در حالی که در مسیر آبراهه‌های زیرحوضه عظیمیه، کانال انتقال آب کارگذاری نشده است.

۴-۱-۲. پهنه‌بندی معابر آبگرفتگی با استفاده از مدل Topsis

در این روش، از ۹ معیار مؤثر در شناسایی پهنه‌های آبگرفتگی شامل شیب، ارتفاع، بارش، NDVI، رواناب، نفوذپذیری، چاه جذبی، کانال انتقال، آبراهه و کاربری اراضی استفاده شد که در شکل ۷، معیارهای مورد استفاده نشان داده شده است.



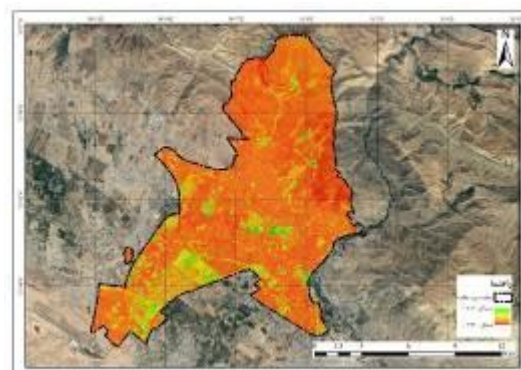
نقشه ارتفاع حوضه مورد مطالعه



نقشه شیب حوضه مورد مطالعه



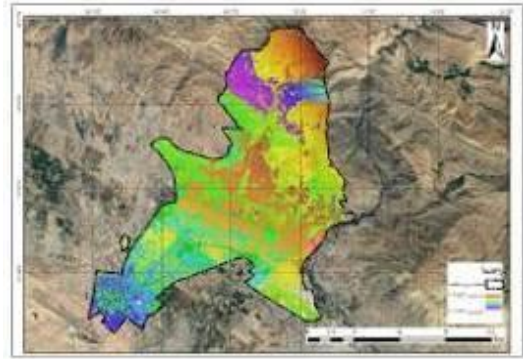
نقشه بارش حوضه مورد مطالعه



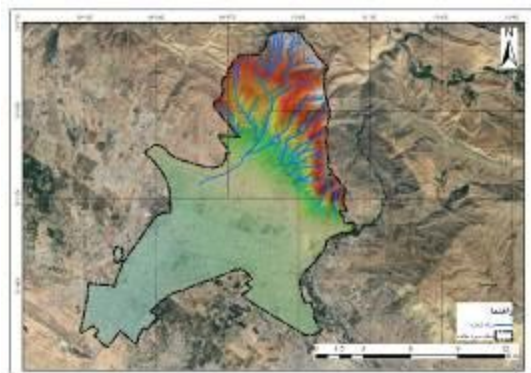
نقشه NDVI حوضه مورد مطالعه



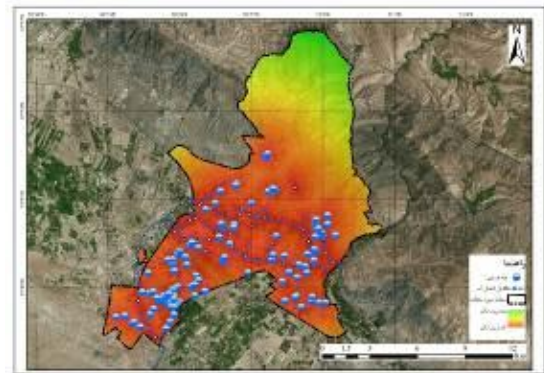
نقشه نفوذناپذیر حوضه مورد مطالعه



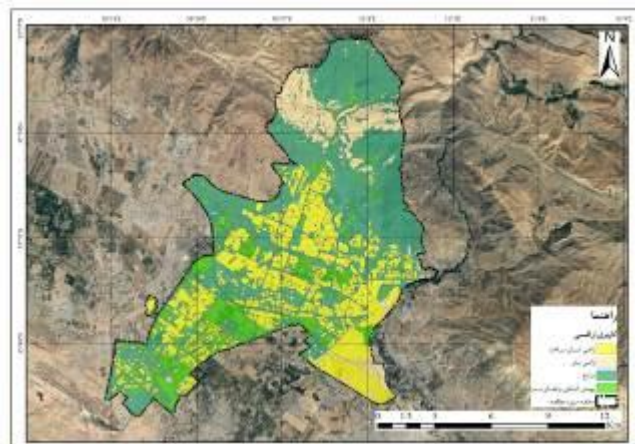
نقشه رواناب حوضه مورد مطالعه



نقشه آبراهه حوضه مورد مطالعه



نقشه چاه و کانال حوضه مورد مطالعه



نقشه چاه و کانال حوضه مورد مطالعه

شکل ۷: معیارهای مورد استفاده در شناسایی پهنه‌های مستعد آبگرفتگی

در جدول ۵، توابع و روش نرمال‌سازی هر یک از معیارهای ۹ گانه مورد استفاده در مدل تاپسیس بیان شد. همچنین برای وزندهی و تعیین درجه اهمیت هر یک از معیارهای مورد استفاده، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی - که در جدول ۶ بیان شده است - استفاده شد. عامل شیب و رواناب با درجه تأثیرگذاری ۰/۱۷ و ۰/۱۶ و با میزان ناسازگاری ۰/۰۶، در شکل‌گیری پهنه‌های آبگرفتگی بیشترین تأثیر را دارد.

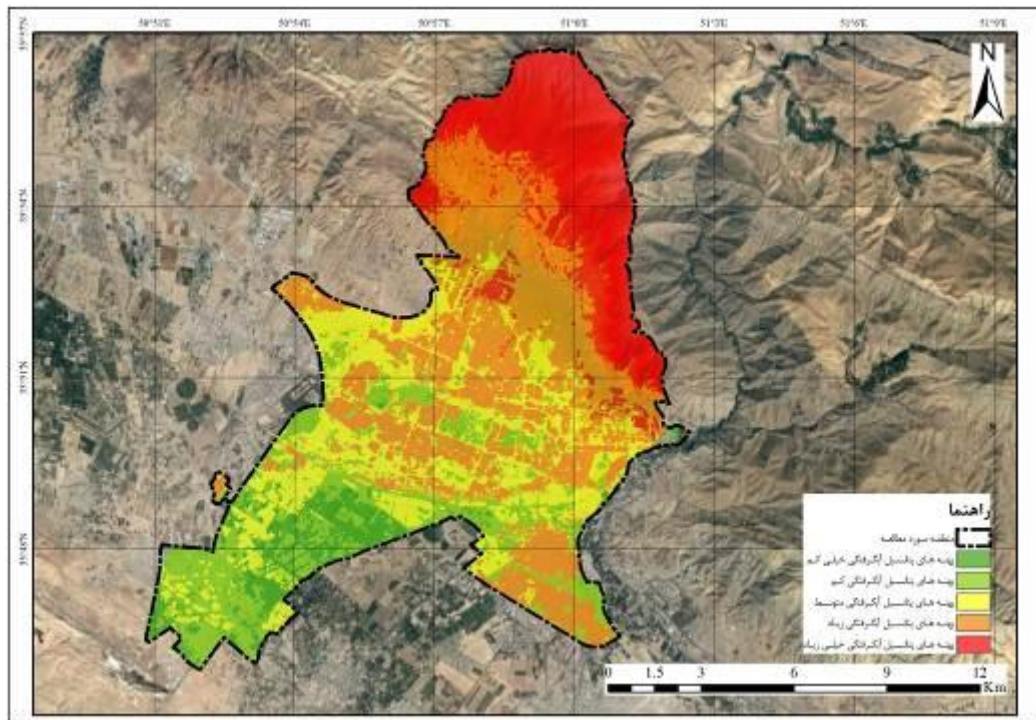
جدول ۵: معیارهای مورد استفاده در شناسایی پهنه‌های مستعد آبگرفتگی و روش محاسباتی آنها

معیار	روش نرمال سازی	نوع تاثیرگذاری	روش تهیه	رفرنس
ارتفاع	خطی مستقیم	کمترین ارتفاع، مناسب ترین محل	DEM 12.5m	سنجنده Alos
شیب	خطی مستقیم	کمترین شیب، مناسب ترین محل	DEM 12.5m	سنجنده Alos
بارش	خطی مستقیم	بیشترین بارش، مناسب ترین محل	IDW Interpolation	میانگین بارش سالیانه - سازمان هواشناسی
NDVI	خطی معکوس	کمترین پوشش گیاهی، مناسب ترین محل	معادله NDVI	سنجنده OLI
روان آب	خطی مستقیم	بیشترین روان آب، مناسب ترین محل	معادله SCS	سازمان حفاظت خاک آمریکا
نفوذپذیری	خطی معکوس	پیکسل های نفوذ ناپذیری، مناسب ترین محل	SUB Pixcl - Hybrid	سنجنده OLI
چاه و کانال	خطی مستقیم	دورتر از چاه و کانال، مناسب ترین محل	-	شهرداری کرج
آبراهه	خطی معکوس	نزدیک ترین فاصله به آبراهه مناسب ترین محل	Hydrology Algorithm	DEM 12.5m
کاربری اراضی	خطی مستقیم	کاربری های نفوذ ناپذیر، مناسب ترین محل	SVM Algorithm	سنجنده OLI

جدول ۶: مقایسه‌های زوجی و وزن هر یک از معیارهای مورد استفاده در شناسایی پهنه‌های مستعد آبگرفتگی

معیار	کاربری اراضی	آبراهه	چاه و کانال	نفوذپذیری	روان آب	NDVI	بارش	شیب	ارتفاع	weight
ارتفاع	۱/۲	۱/۵	۳	۵	۳	۱/۲	۱/۷	۱/۵	-	۰.۰۹۵۸۱
شیب	۶	۵	۴	۳	۵	۶	۷	-	۵	۰.۱۶۵۱۴
بارش	۴	۵	۴	۶	۴	۷	-	۱/۷	۷	۰.۱۳۲۸۵
NDVI	۱	۱/۳	۱/۵	۱/۵	۱/۴	-	۱/۷	۱/۶	۲	۰.۰۹۵۸۶
روان آب	۷	۱/۷	۱	۱	-	۴	۱/۴	۱/۵	۱/۳	۰.۱۵۷۹
نفوذپذیری	۱/۸	۱/۵	۱	-	۱	۵	۱/۶	۱/۳	۱/۵	۰.۰۸۶۵۵
چاه و کانال	۱/۴	۱/۵	-	۱	۱	۵	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۰.۱۲۳۵
آبراهه	۱/۵	-	۵	۵	۷	۳	۱/۵	۱/۵	۵	۰.۰۷۵۵۷
کاربری اراضی	-									۰.۰۶۷۵۳
نرخ ناسازگاری										۰.۰۶

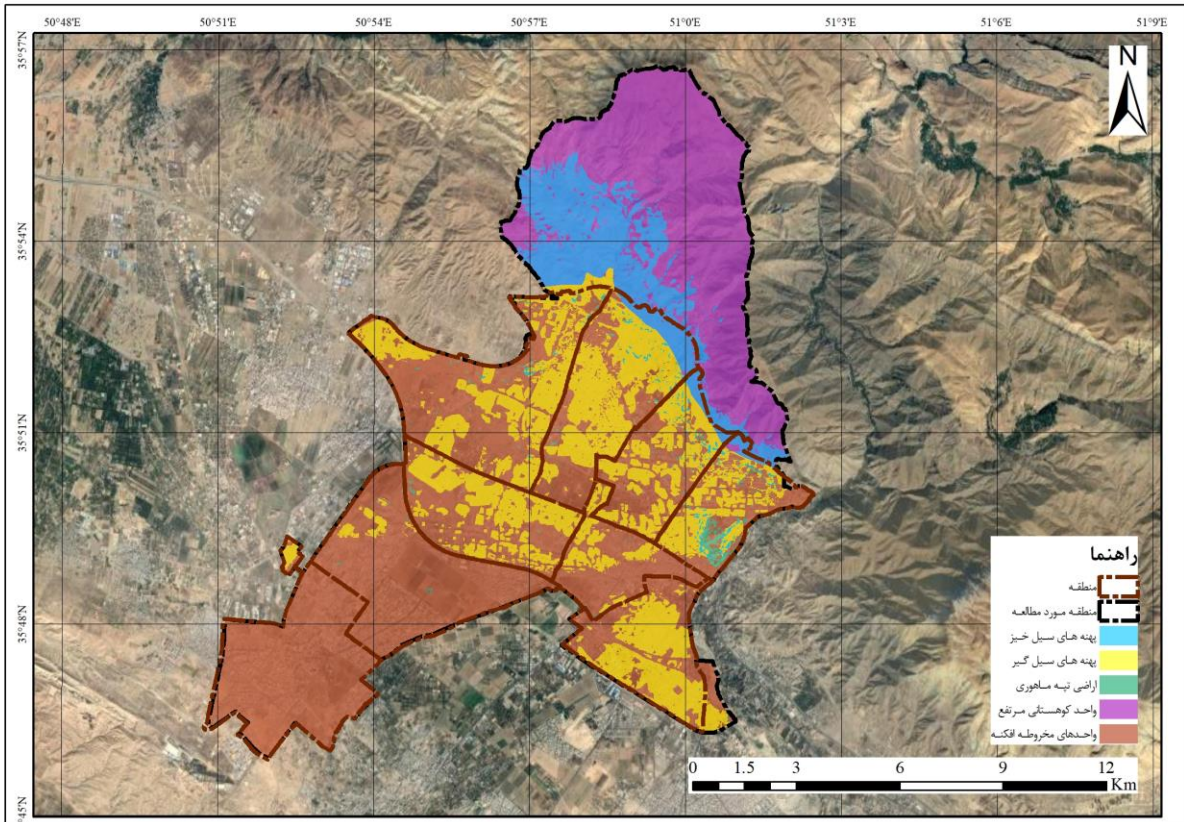
نتایج حاصل از پهنه‌بندی (شکل ۸) نشان می‌دهد که شمال شهر کرج و دامنه‌های مجاور آن - که دارای بیشترین شیب، ارتفاع و بارش است و پوشش گیاهی ضعیفی دارد - در طبقه پتانسیل سیل‌خیزی خیلی زیاد و زیاد آبگرفتگی قرار دارد؛ در حالی که در بخش جنوبی شهر به علت شیب ناچیز و انتقال آب‌های سطحی بخش‌های شمالی از طریق کانال-های انتقال آب‌سطحی به خارج از شهر و وجود تراکم زیاد پوشش گیاهی، پتانسیل سیل‌گیری و آبگرفتگی خیلی کم و کم است.



شکل ۸: نقشه پهنه‌های مستعد آبگرفتگی

۲-۴- ارتباط بین لندفرم‌های ژئومورفولوژی و پهنه‌های سیل‌گیر

کلانشهر کرج و حوضه‌های آبریز بالادست آن، سه لندفرم به نام‌های اراضی تپه‌ماهوری، واحد کوهستانی مرتفع و واحدهای مخروط افکنه دارد (شکل ۹) که به ترتیب ۱/۱، ۷۰ و ۲۹ درصد از کل مساحت منطقه را شامل می‌شود. کلانشهر کرج نیز در محدوده اطراف تپه‌ماهوری و مخروط‌افکنه‌های پایکوه واقع شده‌است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که در این منطقه، اراضی تپه‌ماهوری همانند اراضی اسلام‌آباد واقع در شرق کلانشهر کرج و واحدهای کوهستانی مرتفع واقع در بخش شمالی کلانشهر کرج، به عنوان پهنه‌های سیل‌خیز عمل می‌کند و مخروط‌افکنه‌های موجود به عنوان اراضی سیل‌گیر است.



شکل ۹: ارتباط بین پهنه‌های سیلابی و ژئومورفولوژی

۵- راهکارهای مدیریت سیلاب شهری در کلان شهر کرج

۵-۱- شناسایی محل‌های مناسب برای احداث استخر مصنوعی

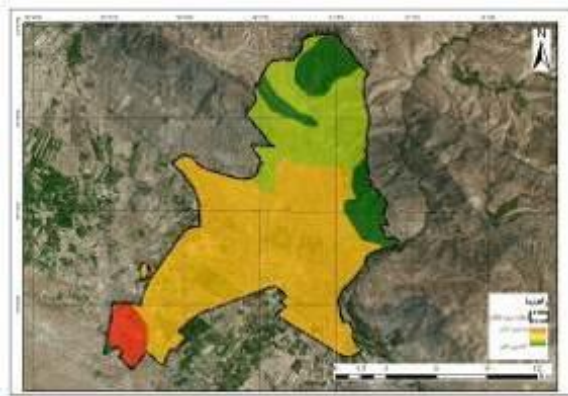
به منظور مکان‌یابی محل مناسب برای ساخت استخر مصنوعی، از چهارده متغیر استفاده شد که در جدول ۷، نحوه عملکرد و تابع نرمال‌سازی و در جدول ۸، شرایط استفاده از آنها شامل نوع مدل مورد استفاده و نحوه تأثیرگذاری آنها ذکر شد. پس از آماده‌سازی معیارهای موردنظر، از مدل ترکیبی ارزیابی وزنی (WASPAS) استفاده شد و در نهایت، وزن تأثیرگذاری هر یک از متغیرهای مورد بررسی به دست آمد. پس از اجرای وزن‌های به‌دست آمده در متغیرها در محیط نرم‌افزاری ArcGIS، عملیات همپوشانی انجام و محل‌هایی مناسب برای ساخت استخر مصنوعی پیشنهاد داده شد. برای شناسایی محل مناسب به منظور ساخت استخر مصنوعی و پخش سیلاب، از معیارهایی استفاده شد که در شکل ۱۰ به آنها اشاره شده‌است.

جدول ۷: معیارهای مورد استفاده در شناسایی پهنه‌های مستعد ذخیره سیلاب

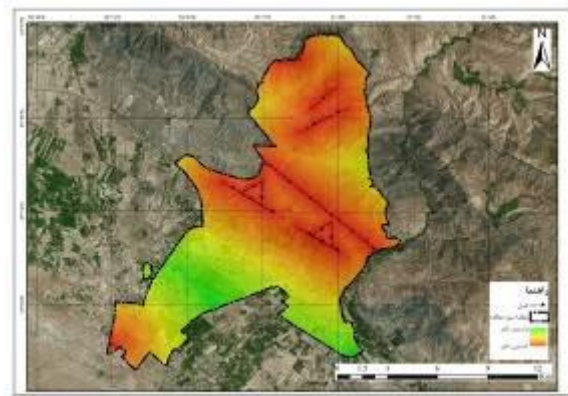
متغیر	روش تهیه	الگوریتم تابع نرمال سازی	نوع تاثیرگذاری در مکانیابی	مدل سیستم تحلیلی چندمعیاره
ارتفاع	DEM Alos 12.5 m	خطی معکوس	کمترین ارتفاع مناسب ترین محل	Fuzzy Logic & WASPAS
زمین شناسی	سازمان زمین شناسی	خطی مستقیم	سازندهای دارای نفوذپذیرتر مناسبترین محل	
آب زیرزمینی	سازمان آب و منطقه ای	خطی مستقیم	نواحی دارای عمق زیاد، مناسبترین محل	
گسل	سازمان زمین شناسی	خطی مستقیم	دوری به گسل، مناسبترین محل	
شیب	DEM Alos 12.5 m	خطی معکوس	نواحی دارای شیب کم، مناسبترین محل	
بندهای سیل گیر	بازدید محلی	خطی مستقیم	دوری به بندهای سیل گیر، مناسبترین محل	
کانال انتقالی و چاه جذبی	شهرداری کرج	خطی مستقیم	دوری از کانال ها و چاه های جذبی، مناسبترین محل	
آبراهه	DEM Alos 12.5 m	خطی معکوس	نزدیکی به آبراهه، مناسبترین محل	
پوشش گیاهی	OLI	خطی معکوس	زمین های بایر و بدون پوشش، مناسبترین محل	
بارش	سازمان هواشناسی	خطی مستقیم	بیشتر بارش، مناسب ترین محل	
سطوح سیل خیز	مدل تاپسیس	خطی معکوس	نزدیکی به پهنه های سیل خیز، مناسب ترین محل	
سطوح نفوذپذیر	Sub Pixl Algorithm	خطی معکوس	مناسب ترین محل	
اراضی مسکونی	OLI	تبدیل به صفر و یک	نواحی دارای اراضی مسکونی، نامناسب ترین محل	بولین
دوره بازگشت ۱۰۰ ساله	HecRAS	تبدیل به صفر و یک	مورد استفاده در اولویت بندی محدوده های پیشنهادی	

جدول ۷: مقایسه‌های زوجی معیارهای مورد استفاده در شناسایی پهنه‌های مستعد ذخیره سیلاب

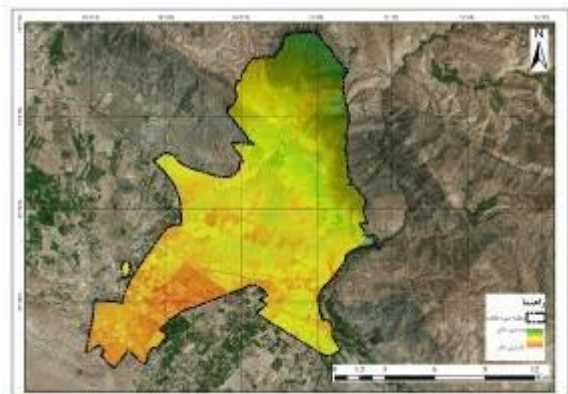
weight	ارتفاع	زمین شناسی	آب زیرزمینی	گسل	شیب	بندهای سیل گیر	کانال انتقالی و چاه جذبی	آبراهه	پوشش گیاهی	بارش	سطوح سیل خیز	سطوح نفوذپذیر	متغیر
۰.۰۴۴۱۲	۳	۷	۹	۵	۷	۷	۳	۳	۵	۷	۹	۳	ارتفاع
۰.۰۸۹۳	-	۱	۳	۱/۷	۱	۱/۳	۵	۱/۷	۳	۵	۷	۱/۹	زمین شناسی
۰.۱۰۷۸۰۸		-	۱	۱/۵	۱/۷	۱/۷	۱	۳	۳	۱/۳	۱/۹	۱/۹	آب زیرزمینی
۰.۱۰۷۸			-	۱/۵	۱/۳	۱/۳	۵	۳	۳	۱/۵	۱۹	۱/۷	گسل
۰.۰۷۸۷				-	۱	۳	۵	۵	۹	۳	۱	۱	شیب
۰.۱۴۴۲					-	۱	۵	۳	۵	۳	۳	۳	بندهای سیل گیر
۰.۰۷۹۵						-	۵	۳	۵	۵	۱/۳	۱/۵	کانال انتقالی و چاه جذبی
۰.۰۵۲۴۲۷							-	۱/۳	۱	۱/۵	۱/۹	۱/۷	آبراهه
۰.۰۵۲۴								-	۱	۱/۳	۱/۹	۱/۹	پوشش گیاهی
۰.۰۱۳۷									-	۱/۵	۱/۷	۱/۹	بارش
۰.۱۸۵۹										-	۱/۵	۱/۵	سطوح سیل خیز
۰.۰۴۴۱											-	۱	سطوح نفوذپذیر
													نرخ ناسازگاری



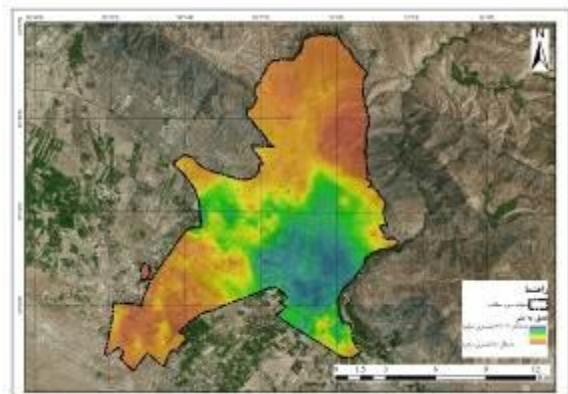
نقشه معیار زمین‌شناسی



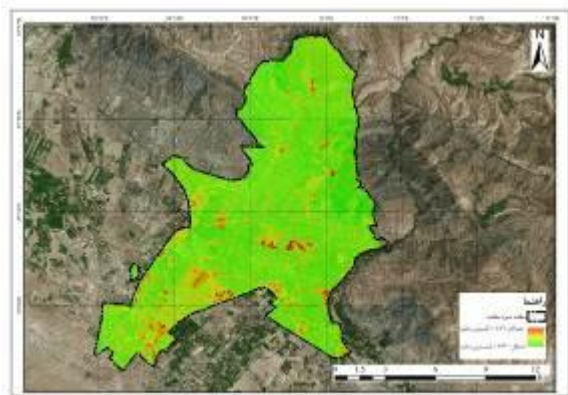
نقشه معیار گسل



نقشه معیار سطوح سیلاب خیز



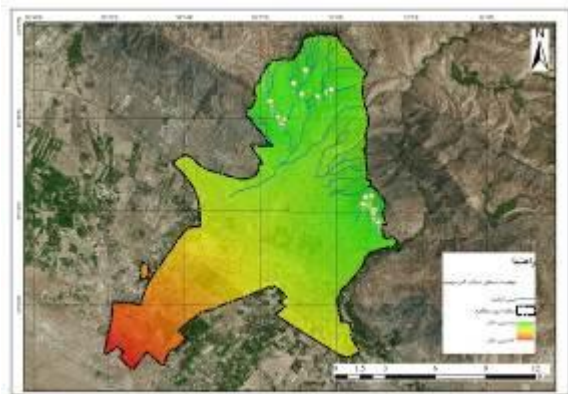
نقشه معیار عمق آب زیرزمینی



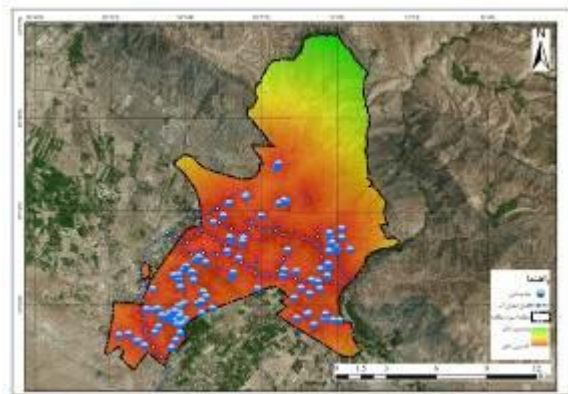
نقشه معیار پوشش گیاهی



نقشه معیار بارش



نقشه معیار نزدیکی به بندهای سیل گیر موجود



نقشه معیار کانال و چاه



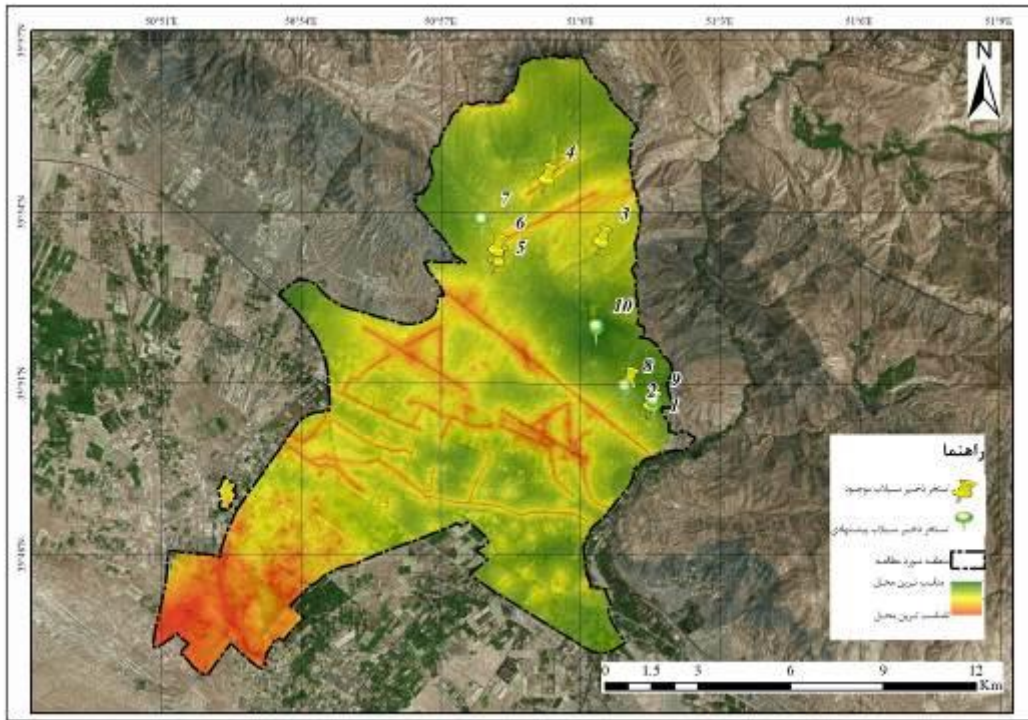
نقشه معیار کانال و چاه

شکل ۱۰: معیارهای مورد استفاده برای شناسایی محل مناسب برای استخر مصنوعی (ذخیره سیلاب)

نتایج به دست آمده از مدل بالا نشان می‌دهد که چهار پهنه مستعد برای پخش و ذخیره سیلاب به دست آمد. همان گونه که جدول ۸ نشان می‌دهد با فرض ذخیره آب به عمق دو متر در هر یک از پهنه‌های پیشنهادی، در مجموع بیست هزار متر مکعب از حجم آب سیلاب، از مسیر خود انحراف پذیر است که می‌توان با این روش بخشی از آب سیلاب را مدیریت کرد. در شکل ۱۱، موقعیت هر یک از استخرهای ذخیره سیلاب شناسایی شده نشان داده شد.

جدول ۸: ظرفیت هر یک از پهنه‌های ذخیره مصنوعی آب سیلاب پیشنهادی و موجود

شماره	موقعیت	حجم آب ذخیره سیلاب به مترمکعب	نوع
۱	قسمت شمالی دامنه عظیمیه	۲۶۶۰	استخر ذخیره سیلاب موجود
۲	بالای میدان کوهنوردی	۴۰۰۰	استخر ذخیره سیلاب موجود
۳	بخش شمالی روستای سیاه کلان	۷۸۰۰	استخر ذخیره سیلاب موجود
۴	ضلع شرقی آبراهه دلمبر - باغستان	۶۸۰۰	استخر ذخیره سیلاب موجود
۵	دهکده توریستی باغستان	۳۹۰۰	استخر ذخیره سیلاب موجود
۶	دهکده توریستی باغستان	۱۷۵۰۰	استخر ذخیره سیلاب موجود
۷	بخش شمالی دره ایسپنو	۳۰۰۰	استخر پیشنهادی
۸	انتهای بلوار طالقانی شمالی	۴۰۰۰	استخر پیشنهادی
۹	قسمت شمالی دامنه عظیمیه	۴۶۲۰	استخر پیشنهادی
۱۰	بخش شمالی خیابان انرژی اتمی	۸۴۰۰	استخر پیشنهادی



شکل ۱۱: پهنه‌های مستعد برای ذخیره آب سیلاب

۲-۵- شناسایی محل‌های مناسب برای ساخت چاه جذبی

یکی از مهم‌ترین راه‌حل‌های مناسب برای مدیریت آب‌های سطحی و کنترل سیلاب، هدایت آن به سمت چاه‌های جذبی است. این چاه‌ها - که به صورت عمیق و نیمه عمیق ساخته می‌شود - با جذب آب‌های سطحی، علاوه بر کنترل سیلاب به تغذیه آب زیرزمینی نیز کمک می‌کند. در این پژوهش پس از شناسایی موقعیت چاه‌های جذبی موجود، محل‌های مناسب برای حفر این چاه با استفاده از ده معیار و مدل MCE^۱ شناسایی شد. در جدول ۹، معیارهای مورد استفاده و نحوه تأثیرگذاری آنها و در جدول ۱۰، وزن تأثیرگذاری هر معیار با استفاده از مدل سیستم تحلیلی سلسله مراتبی بیان شد.

جدول ۹: معیارهای مورد استفاده برای شناسایی محل‌های مناسب حفر چاه

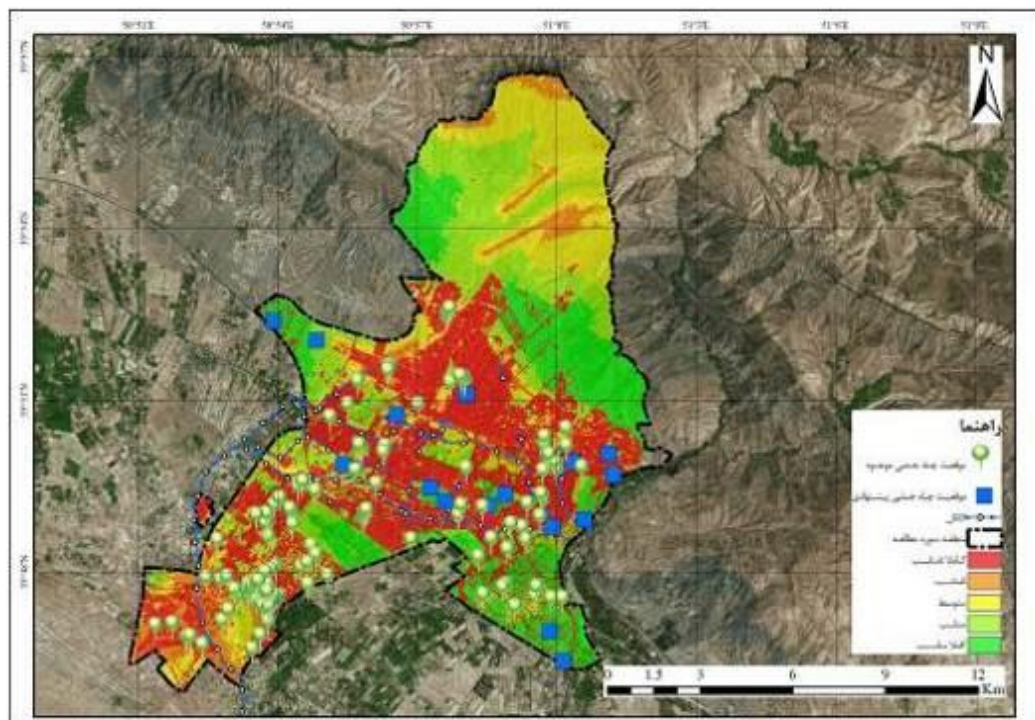
متغیر	روش تهیه	الگوریتم تابع نرمال سازی	نوع تأثیرگذاری در مکانیابی	مدل سیستم تحلیلی چندمعیاره
اراضی بایر شهری	OLI	خطی معکوس	نزدیکی به اراضی بایر، مناسبترین محل	MCE Model
زمین شناسی	سازمان زمین شناسی	خطی مستقیم	سازندهای دارای نفوذپذیرتر مناسبترین محل	
آب زیرزمینی	سازمان آب و منطقه ای	خطی مستقیم	نواحی دارای عمق زیاد، مناسبترین محل	
گسل	سازمان زمین شناسی	خطی معکوس	نزدیکی به گسل، مناسبترین محل	
شیب	DEM Alos 12.5 m	خطی معکوس	نواحل داری شیب کم، مناسبترین محل	
کانال انتقالی و چاه جذبی	شهرداری کرج	خطی مستقیم	دوری از کانال ها و چاه های جذبی، مناسبترین محل	
پوشش گیاهی	OLI	خطی معکوس	زمین های بایر و بدون پوشش، مناسبترین محل	
سطوح سیل خیز	مدل تاپسیس	خطی معکوس	نزدیکی به پهنه های سیل خیز، مناسب ترین محل	
سطوح نفوذپذیر	Sub Pixcl Algorithm	خطی معکوس	مناسب ترین محل	
اراضی ساخته شده	OLI	تبدیل به صفر و یک	نواحی دارای اراضی مسکونی، نامناسب ترین محل	بولین

¹ Multi Criteria Evaluation

جدول ۱۰: مقایسه‌های زوجی معیارهای مورد استفاده برای شناسایی محل‌های مناسب حفر چاه

معیارها	سطوح نفوذپذیر	سطوح سیل خیز	پوشش گیاهی	کانال انتقالی و چاه جذبی	شیب	گسل	آب زیرزمینی	زمین شناسی	اراضی بایر شهری	Weight
اراضی بایر شهری	۱/۷	۵	۳	۵	۱/۵	۱/۳	۱/۷	۱/۹	۱	۰.۱۱۹۸
زمین شناسی	۱/۶	۷	۱	۱/۶	۱/۷	۵	۳	۱		۰.۱۳۸۳
آب زیرزمینی	۱/۵	۲	۲	۲	۳	۷	۱			۰.۱۷۴۶
گسل	۱/۳	۱/۳	۳	۱	۴	۱				۰.۱۰۹۲
شیب	۱/۴	۱/۵	۵	۱/۳	۱					۰.۰۴۴۱
کانال انتقالی و چاه جذبی	۱/۵	۱/۳	۵	۱						۰.۱۰۹۹
پوشش گیاهی	۱/۵	۵	۱							۰.۰۸۳۹
سطوح سیل خیز	۱/۳	۱								۰.۰۸۳۹
سطوح نفوذپذیر	۱									۰.۱۳۸۳
نرخ ناسازگاری										۰.۰۱

نتایج مدل نشان می‌دهد که پهنه‌های مستعد برای حفر چاه، در زمین‌هایی واقع شده‌است که سطوح نفوذپذیر دارد و از نظر زمین‌شناسی دارای قابلیت نفوذ آب در زیرزمین است. در ادامه پس از بررسی هر یک از محل‌های تعیین شده توسط مدل MCE، شانزده محل برای ساخت و حفر چاه جذبی پیشنهاد شد که موقعیت آنها در شکل ۱۲ نشان داده شده‌است. این موقعیت‌ها در زمین‌های خالی، با فاصله از چاه‌ها و کانال‌های موجود قرار دارد.



شکل ۱۲: پهنه‌های مستعد برای حفر چاه جذبی

براساس اصول طراحی چاه جذبی (Monzavi, 2017)، عمق حفاری این چاه به نفوذپذیری سطح خاک و عمق آب-زیرزمینی بستگی دارد. برای آلوده نشدن سطح این آب لازم است کف این گونه چاه‌ها حداقل به میزان ۱/۵ تا ۳ متر از سطح آب زیرزمینی بالاتر باشد؛ زیرا آزمایش‌ها نشان داده‌است که میکروب‌های بیماری‌زا می‌توانند همراه فاضلاب تا عمق ۱/۵ متر در زمین فرو روند و اگر جریان فاضلاب دائمی باشد، به عمق سه متری نیز برسند. بنابراین در جدول ۱۰،

موقعیت چاه‌های جذبی پیشنهادی به همراه نوع سازند زمین‌شناسی، حجم ذخیره سازی و عمق آب زیرزمینی ذکر شده است. نتایج نشان می‌دهد که مجموع چاه‌های جذبی پیشنهادی با قطر حفاری دو متری، می‌تواند ۱۶۸۸۰ مترمکعب از آب سطحی را ذخیره کند.

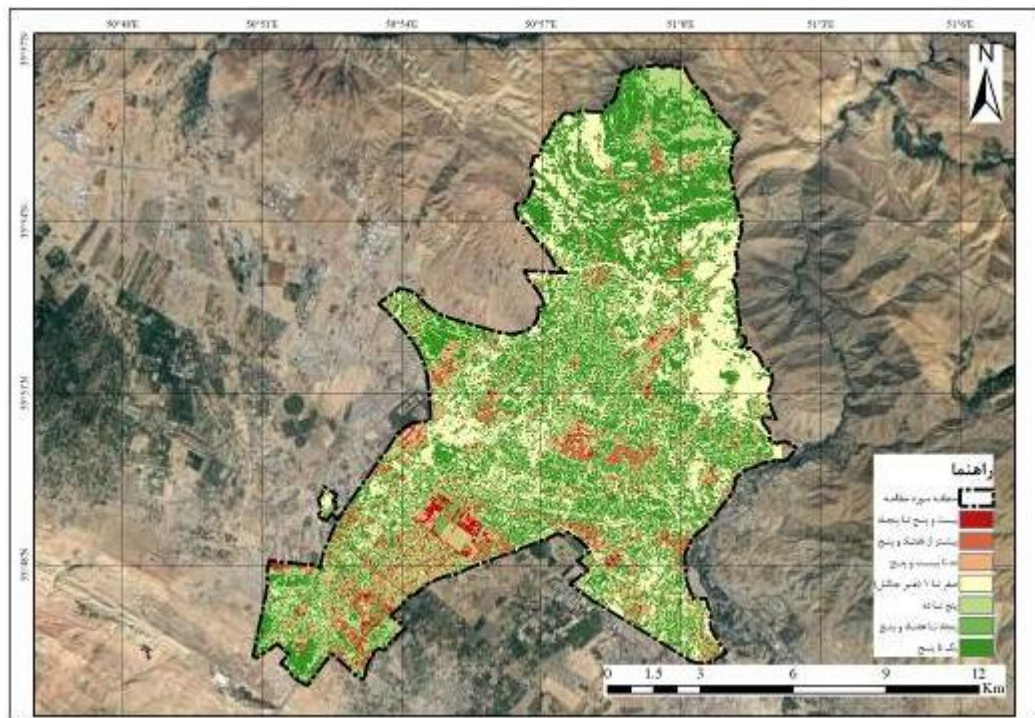
جدول ۱۱: مشخصات زمین‌شناسی و عمق آب زیرزمینی، حجم ذخیره‌سازی چاه جذبی پیشنهادی

شماره چاه	حجم آب ذخیره سازی	عمق پیشنهادی عمق آب زیرزمینی	نوع لیتولوژی
۱	۱۱۸۱.۲۴	۱۹۶.۸۷	ماسه سنگ و کنگلومرا
۲	۸۸۴.۱۴	۱۴۷.۲۶	ماسه سنگ و کنگلومرا
۳	۹۰۰.۹۲	۱۵۰.۱۵	ماسه سنگ و کنگلومرا
۴	۱۰۰۳.۱۵	۱۶۷.۱۹	ماسه سنگ و کنگلومرا
۵	۱۲۷۹.۴۳	۲۱۳.۲۴	ماسه سنگ و کنگلومرا
۶	۹۲۷.۴۲	۱۵۴.۵۷	ماسه سنگ و کنگلومرا
۷	۹۳۷.۳۹	۱۵۶.۲۳	ماسه سنگ و کنگلومرا
۸	۱۱۹۵.۷۲	۱۹۹.۲۹	ماسه سنگ و کنگلومرا
۹	۱۲۳۷.۵۲	۲۰۶.۲۵	ماسه سنگ و کنگلومرا
۱۰	۹۶۷.۳۵	۱۶۱.۲۳	ماسه سنگ و کنگلومرا
۱۱	۹۲۹.۱۵	۱۵۴.۸۶	ماسه سنگ و کنگلومرا
۱۲	۹۸۵.۵۲	۱۶۴.۲۵	ماسه سنگ و کنگلومرا
۱۳	۹۶۱.۵۴	۱۶۰.۲۶	ماسه سنگ و کنگلومرا
۱۴	۱۲۶۷.۹۵	۲۱۱.۳۳	ماسه سنگ و کنگلومرا
۱۵	۱۲۳۲.۷۰	۲۰۳.۷۸	ماسه سنگ و کنگلومرا
۱۶	۹۹۸.۶۴	۱۶۶.۴۴	ماسه سنگ و کنگلومرا

۳-۵- مدیریت رواناب سطحی با استفاده از زیرساخت سبز

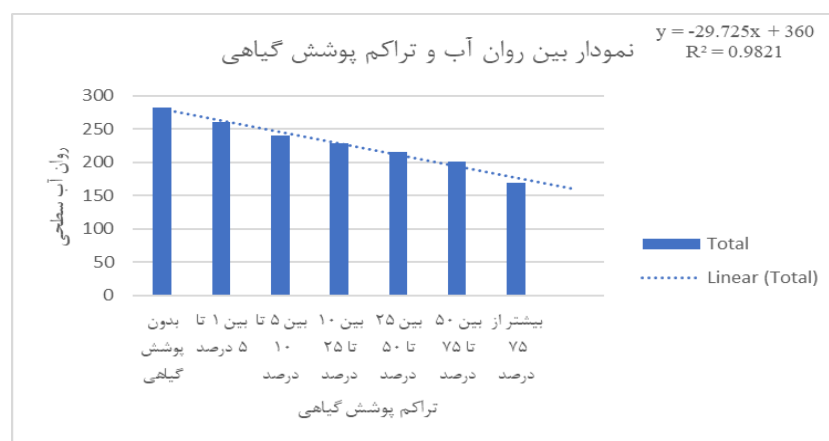
زیرساخت سبز، واژه‌ای است با مفاهیم کلی برای ساختار فضای سبز شهری که از آن در زمینه‌های مختلف شهرسازی و مدیریت شهری استفاده می‌شود. از مهم‌ترین موارد استفاده از آن، طراحی شهری، مدیریت رواناب سطحی، کمک به بهبودی شرایط آلودگی شهرها و غیره است که با افزایش میزان درصد تراکم فضای سبز شهری - به کمک روش‌هایی همانند کاشت گیاه زود رشد ویتور در فضاهای سبز شیب‌دار، ایجاد سنگ‌چین‌هایی با قابلیت نفوذ آب و کاشت فضای سبز بین آنها، و پشت بام‌های سبز - در کاهش سرعت جریان رواناب مؤثر می‌باشد. در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر جریان زیرساخت سبز بر کاهش رواناب که به مدیریت سیلاب کمک خواهد کرد، وضعیت درصد تراکم پوشش گیاهی در منطقه بررسی و رابطه همبستگی رگرسیونی بین تراکم پوشش گیاهی و میزان رواناب در کلانشهر کرج تحلیل شد. برای استخراج درصد تراکم پوشش گیاهی، از داده‌های سنسجش از دور و الگوریتم FCD^۱ استفاده شد که در شکل ۱۳ نشان داده شده‌است.

^۱ Forest Canopy Density



شکل ۱۳: درصد تراکم پوشش گیاهی FCD

پس از استخراج درصد تراکم پوشش گیاهی، طبقه‌بندی آن براساس طبقات پیشنهادی شورای عالی جنگل‌داری به صورت نمونه‌برداری تصادفی صورت گرفت؛ بدین صورت که از هر طبقه، ده نقطه انتخاب شد تا نوع همبستگی آن با رواناب حاصل از بارندگی - که به وسیله مدل پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا به دست آمده است - استخراج و رابطه آماری آن نشان داده شود. در شکل ۱۴ نیز رابطه همبستگی آن بیان شده است. نتایج نشان می‌دهد که بین تراکم پوشش گیاهی و میزان رواناب با میزان دقت همبستگی رگرسیونی 0.98 درصد رابطه مثبت معناداری وجود دارد؛ به طوری که در محدوده‌های دارای حداکثر تراکم پوشش گیاهی، حداقل رواناب در کلانشهر کرج مشاهده می‌شود. بنابراین، به منظور کاهش رواناب در محدوده‌هایی از کلانشهر کرج همانند اطراف نهر دلمبر و آبراهه‌های واقع در بالادست حوضه که فاقد پوشش گیاهی است، کاشت درختان و گونه‌های گیاهی دارای تاج پوشش و تراکم زیاد ضرورت می‌یابد.



شکل ۱۴: نمودار رابطه بین رواناب و تراکم پوشش گیاهی FCD

پهنه‌هایی که تراکم پوشش گیاهی کمتر از ۲۵ درصد دارد، در محدوده‌هایی از کلانشهر کرج واقع است که دارای پوشش اراضی بایر و مرتع است. در این محدوده‌ها، میزان پتانسیل تولید رواناب سطحی محاسبه شده براساس مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا^۱، بیش از ۲۵۰ میلی‌متر است و بیشترین مقدار آن، در حریم رودخانه دلمبر در درون محدوده شهر کرج و حوضه‌های بالادست آن دیده می‌شود. براساس معادله بالا، با افزایش زیرساخت‌های سبز و تراکم پوشش گیاهی در محدوده‌های ذکر شده، میزان پتانسیل تولیدی رواناب سطحی به پنجاه تا هفتاد میلی‌متر خواهد رسید. بنابراین یکی دیگر از راهکارهای مدیریت سیلاب در کلانشهر کرج، افزایش سطوح فضای سبز و تراکم پوشش گیاهی است که می‌تواند با کاهش حجم رواناب، بخشی از سیلاب را مدیریت کند.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

وقوع بحران‌های طبیعی در سطح شهر، سالیانه خسارت‌های زیاد و جبران‌ناپذیری را بر زیرساخت‌های شهری وارد کرده‌است که پیامدهای مالی و جانی زیادی را برای ساکنان شهری به همراه دارد. عواملی همانند کمبود سیستم تخلیه فاضلاب شهری بعد از توسعه ساختمان‌سازی، طراحی سیستم‌های زهکشی آب سطحی برای بارش‌هایی با دوره برگشتی کمتر از ده تا بیست سال، ایجاد سطوح نفوذناپذیر مانند سقف‌ها و جاده‌ها، محدود شدن مسیر آبراهه‌ها و رودخانه‌ها به وسیله پل‌ها، به کاهش قابلیت حمل رودخانه‌ها و آبراهه‌ها منجر می‌شود و در زمان بارندگی‌های نسبتاً شدید، سیلاب‌های مخربی را در سطح شهر به همراه دارد. مدیریت ریسک شهری، یکی از اصول اساسی توسعه پایدار است که جنبه‌های زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و سایر جنبه‌های ضروری شهری همانند مبحث سیلاب را نیز دربرمی‌گیرد و هدف آن، هدایت آب مازاد سطح شهر به خارج از محدوده‌های شهری یا محدوده‌های فاقد ساخت‌وساز انسانی براساس متغیرهای شیب رودخانه، نفوذپذیری زمین، پوشش گیاهی و غیره است. کمبود اقدامات مدیریتی و حفاظتی در حوضه‌های شمالی شهر کرج که به کاهش میزان پوشش گیاهی در دامنه‌های شمالی منجر می‌شود، شرایط را برای وقوع سیلاب‌های مخرب در کلانشهر کرج - که روی مخروطه‌افکنه و با فاصله اندک بین شهر و کوه‌های شمالی گسترده شده - فراهم کرده‌است. بنابراین، این پژوهش با هدف تحلیل ژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلانشهر کرج در راستای مدیریت و کاهش مخاطره سیلاب انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده، بخش عمده سیلاب‌های شهری کرج از عوامل زیر سرچشمه می‌گیرد:

- زهکشی نامناسب خیابان‌ها: نتایج بررسی وضعیت کانال‌های زیرسطحی که برای هدایت آب‌های حاصل از بارندگی و چاه‌های جذبی در سطح شهر کرج احداث شده‌است، نشان می‌دهد که در برخی از خیابان‌ها، زهکشی‌ای طراحی شده‌است که فاقد ظرفیت لازم برای انتقال رواناب‌های سطحی به کانال‌های پایین دست خود است، همچنین چاه‌های جذبی در آن منطقه وجود ندارد. این خیابان‌ها شامل بلوار تربیت معلم، بوعلی غربی و خیابان نواب صفوی واقع در منطقه هشت شهرداری، و خیابان‌های گودرزی و ندای شمالی و جنوبی که به علت وجود سطح نفوذناپذیر، بارندگی زیاد نسبت به بخش جنوبی شهر کرج و شیب تند (بیش از ۱۵ درصد)، شرایط برای ایجاد سطوح آب‌گرفتگی زیاد در آنها وجود دارد.

¹ Soil Conservation Service (ScS)

– ظرفیت جوی‌های کنار خیابان‌های شمالی شهر کرج، ابعادی کمتر از شصت سانتی‌متر دارد که توانایی انتقال آب با دبی ۰/۰۳ تا ۰/۰۴ مترمکعب بر ثانیه را دارد. با توجه به توانایی انتقال آب در دوره بازگشت پنجاه ساله در زیرحوضه‌های شمالی طالقانی، سیاه کلان و عظیمیه به میزان ۰/۴۲، ۰/۸۱ و ۲/۶۴ مترمکعب بر ثانیه، ظرفیت جوی‌های کناری خیابان‌های شمالی شهر امکان انتقال این حجم از آب را نداشت؛ بنابراین، سبب شد آب سطحی به درون خیابان سرازیر شود و خسارت‌های زیادی را به بار آورد. بنابراین، لازم است کانال‌های زهکشی و انتقال آب‌های سطحی به سمت کلکتور جمع‌کننده، با ظرفیت مناسب با دبی‌های ذکر شده احداث شود.

عدم لایروبی و جمع‌آوری مواد اضافی در منهول‌های کانال‌ها، به مسدود شدن دهانه آنها منجر می‌شود و مانعی در برابر عبور آب است. این مسئله که در پی مدیریت صحیح برطرف خواهد شد، یکی از موارد بسیار مهم در زمان بروز آب‌گرفتگی خیابان‌ها است که با استفاده از برنامه‌ریزی برای جمع‌آوری مواد مسدوده کننده در زمان‌هایی که بارشی وجود ندارد، حل خواهد شد.

نتایج نشان داد که ظرفیت طراحی کانال‌های طالقانی، موزن و دلمبر – که به ترتیب آب‌های سطحی حاصل از زیرحوضه‌های طالقانی، سیاه کلان و دلمبر را به سمت کلکتور جمع‌کننده بهشتی هدایت می‌کند – برای دوره بازگشت پنجاه ساله به ترتیب ۰/۳۸، ۰/۶۸ و ۲/۵۳ مترمکعب بر ثانیه است؛ در حالی که نتایج مدل هکرس نشان داد که در دوره بازگشت پنجاه ساله، ظرفیت تولیدی آب سطحی آبراهه‌های طالقانی، سیاه کلان و دلمبر به ترتیب ۰/۴۲، ۰/۸۱ و ۲/۶۴ مترمکعب بر ثانیه است. در این صورت به علت عدم گنجایش ظرفیت انتقال کانال‌های مصنوعی کارگذاری شده در سطح کلانشهر، آب مازاد سطحی به خیابان‌های شهری وارد خواهد شد و سیلاب را تولید خواهد کرد؛ در حالی که در مسیر آبراهه‌های زیرحوضه عظیمیه، کانال انتقال آب کارگذاری نشده است.

برای شناسایی پهنه‌هایی که توان آب‌گرفتگی دارد، از مدل‌های تاپسیس و سیستم وزن‌دهی سلسله‌مراتبی استفاده شد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی نشان داد که ۵۶/۸ درصد از مساحت کلانشهر کرج و حوضه‌های بالادست آن، در معرض آب‌گرفتگی و تولید سیلاب قرار دارد؛ به گونه‌ای که شمال شهر کرج و دامنه‌های مشرف به شهر – که بیشترین شیب، ارتفاع و بارش را داشت و از لحاظ پوشش گیاهی ضعیف بود – در طبقه پتانسیل سیل‌خیزی خیلی زیاد و زیاد قرار گرفت. بخش‌های جنوبی شهر نیز بیشترین خطر سیل‌گیری را داشت. به منظور مدیریت سیلاب‌های احتمالی در این پژوهش، از سه راهکار شامل استخرهای مصنوعی، ایجاد زیرساخت‌های سبز و چاه‌های جذبی استفاده شد. برای شناسایی محل‌های مناسب برای ساخت استخر مصنوعی و ذخیره آب، از چهارده معیار شامل ارتفاع، زمین‌شناسی، آب‌زیرزمینی، دوری از گسل، شیب، بندهای سیل‌گیر، کانال و چاه‌های جذبی سطح شهر، آبراهه، پوشش گیاهی، بارش، سطوح مستعد آب‌گرفتگی، سطوح نفوذپذیر (نرمال‌شده با استفاده از منطق‌فازی با توابع خطی مستقیم و معکوس)، اراضی مسکونی و سطوح پهنه‌های دوره بازگشت صد ساله (با استفاده از مدل بولین) استفاده شد. پس از آماده‌سازی معیارهای موردنظر، وزن تأثیرگذاری هر یک از متغیرهای مورد بررسی با استفاده از مدل ترکیبی ارزیابی وزنی (WASPAS) به دست آمد. پس از پهنه‌بندی، چهار موقعیت برای ساخت استخر مصنوعی شناسایی شد که عبارتند از: انتهای بلوار طالقانی – شمالی با حجم ذخیره آب ۴۶۲۰ مترمکعب، بخش شمالی دامنه عظیمیه با حجم ذخیره ۸۴۰۰ مترمکعب آب، بخش شمالی خیابان انرژی اتمی با حجم ذخیره ۸۴۰۰ مترمکعب و بخش شمالی دره افسینو با حجم ذخیره ۳۰۰۰ مترمکعب. همچنین با

فرض ذخیره آب به عمق دو متر در هر یک از پهنه‌های پیشنهادی، در مجموع بیست هزار متر مکعب از حجم آب سیلاب، از مسیر خود قابل انحراف بود که می‌توان با این روش، بخش دیگری از سیلاب‌ها را مدیریت کرد. به منظور شناسایی چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق برای جذب آب‌های سطحی، از ده معیار اراضی بایر، زمین‌شناسی، آب زیرزمینی، گسل، شیب، کانال و چاه‌های جذبی موجود، پوشش گیاهی، سطوح دارای پتانسیل آبگرفتگی، سطوح نفوذپذیر (نرمال‌سازی با استفاده از منطق‌فازی توابع خطی مستقیم و معکوس) و اراضی ساخته شده (با استفاده از مدل بولین) استفاده شد و با کمک مدل MCE، محل‌هایی که برای حفر چاه جذبی مناسب است، شناسایی شد. نتایج مدل نشان داد که پهنه‌های مستعد برای حفر چاه، در زمین‌های واقع شده‌است که سطوح نفوذپذیر دارد و از نظر زمین‌شناسی دارای قابلیت نفوذ آب در زیرزمین است. پس از بررسی هر یک از محل‌های تعیین شده توسط مدل MCE، شانزده محل برای احداث و حفر چاه جذبی پیشنهاد شد. نتایج حاصل شده با تحقیقات محمدی در سال ۲۰۱۹ و میناتور در سال ۲۰۱۲ مطابقت دارد.

برای ایجاد و گسترش فضاها و زیرساخت‌های سبز برای کاهش و مدیریت رواناب‌های سطحی، ابتدا درصد تراکم پوشش گیاهی با استفاده از الگوریتم سنجش‌ازدوری FCD به دست آمد. سپس بین تراکم پوشش گیاهی و رواناب سطحی، رابطه رگرسیونی برقرار شد و نتایج نشان داد که بین آنها، رابطه معناداری خطی معکوس وجود دارد؛ به طوری که در محدوده‌های دارای حداکثر تراکم پوشش گیاهی، حداقل رواناب در کلانشهر کرج مشاهده می‌شود. همچنین براساس نتایج به دست آمده، پهنه‌هایی که تراکم پوشش گیاهی کمتر از ۲۵ درصد دارد، در محدوده‌هایی از کلانشهر کرج واقع است که پوشش اراضی بایر و مرتع دارد. در این محدوده‌ها میزان پتانسیل تولید رواناب سطحی محاسبه شده براساس مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا^۱، بیش از ۲۵۰ میلی‌متر است که بیشترین مقدار آن، در حریم رودخانه دلمبر در داخل محدوده شهر کرج و حوضه‌های بالادست آن دیده می‌شود. براساس معادله بالا، با افزایش زیرساخت‌های سبز و تراکم پوشش گیاهی در محدوده‌های ذکر شده، میزان پتانسیل تولیدی رواناب سطحی به پنجاه تا هفتاد میلی‌متر کاهش می‌یابد. بنابراین، یکی دیگر از راهکارهای مدیریت سیلاب در کلانشهر کرج، افزایش سطح فضای سبز و تراکم پوشش گیاهی است.

منابع

1. Alizadeh, A., 2004. Principles of Hydrology, Mashhad, Imam Reza University, 16 editions. ArcGIS 10.5 software guide. (In Persian)
2. Alborz Meteorology Office, 2021. (In Persian)
3. Baboo, S. S., & M. R. Devi., (2011). Geometric Correction in Recent High Resolution Satellite Imagery: A Case Study in Coimbatore, Tamil Nadu. *International Journal of Computer Applications*. 14, 32-37.
4. Chen, J.; Hill, A. A.; & L. D. Urbano, 2009. A GIS-based model for urban flood inundation, *Journal of Hydrol*, 373, 184-19.
5. Chezli, J. N.; Fakhrabadi, H.; Tajbakhsh, S. M.; & I. Soheili, 2021. Site Selection and Prioritizing the appropriate Site for the construction of dams using Boolean and MADM models, *Journal of Watershed Management*, 11, 12. (In Persian)
6. Diakakis, M., 2011. A method for flood hazard mapping based on basin morphometry: application in two catchments in Greece, *Journal of Nat Hazards*, 56, 803-814.

¹ Soil Conservation Service (ScS)

7. Ghanavati, E.; Saffari, A.; Karam, A.; Najafi, I.; & Gh. H. Jahandar, 2017. Investigation of hydrogeomorphological characteristics of catchments of Tehran metropolis with emphasizing on flooding, *Journal of Hydrogeomorphology*, 33, 6. (In Persian)
8. Ghanavati, E.; Ghalami, Sh.; & A. Abdoli, 2010. Empowering urban crisis management to reduce natural disasters (earthquakes), Case Study of Khorramabad, *Quarterly Journal of Natural Geography*, 1, 4. (In Persian).
9. Ghanavati, E., 2014. Flood risk zoning of Karaj city using fuzzy logic, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, No 8. (In Persian)
10. Ghanavati, E.; Safari, A.; Javid, E.; & E. Mansorian, 2014. Zonation of flooding using CN hydrological model and AHP in GIS, case study: Balekhloo river basin, *Natural Geography Research*, 25, 67-80.
11. Geological Survey & Mineral Explorations of Iran (GSI), 2021. (In Persian)
12. GhodsiPour, 2011. Hierarchical analysis process, Amirkabir University of Technology.
13. Gholami, S.; Karam, A.; Saffari, A.; & E. Ghanavati, 2012. Assessment and zoning of geomorphological hazards with emphasizing on floods, landslides and earthquakes, Case Study: Shirvan Province, Master Thesis, Tarbiat Moallem University, Faculty of Geographical Sciences. (In Persian)
14. Imami, K.; Chavoshian, A.; Barkhordar, M.; Hydari, A.; Behnia, A.; Montazer Kalateh, A.; & M. H. Miri, 2001. Guide to non-structural flood management methods, First Edition, Tehran, *National Irrigation and Drainage Committee of Iran and National Committee for Natural Disaster Reduction*. (In Persian)
15. Koocheh Baghi, M.; Mokhtari, D.; & M. R. Nikjoo, 2016. Urban flood risk zoning using GIS techniques (Case study: Basmanj urban catchment), Master Thesis, Tabriz University, Faculty of Environmental Sciences . (In Persian)
16. Marjanović, M.; Kovačević, M.; Bajat, B.; & V. Voženílek - Engineering Geology, 2011. Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm – *Journal of Elsevier*.
17. Minator, M.; Khazei, M.; & M. Ataei, 2012. Earth dam site selection using the analytic hierarchy process (AHP) a case study in the west of Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 10 pp
18. Mohamadi, S., 2019. Prioritization of Sub-Catchments for Operation of Watershed Management Projects Via Multi-Criteria Decision-Making Techniques (Case Study: Asyabjofeth Watershed), *Journal of Watershed Management Research*, 9(18), 36-46.
19. Mahdavian Cheshmeh Gol, A. A., & A. A. Jamali., (2014). Site Selection of Rehabilitation Dams (Mortar Stone) in Deh Sefid Watershed by Multi-Spatial Criteria Analysis (SMCE) Using ILWIS Software, National Conference on the Application of Advanced Spatial Analysis Models in Landscaping, *Yazd Azad University*. (In Persian).
20. Momeni, Mansour, 2014. New Topics in Operations Research, Secend Editions, Tehran, *Faculty of Management*. (In Persian)
21. Monzavi, M. T., 2017. Municipal sewage, Secend Edition (Wastewater treatment), Tehran University. (In Persian)
22. Nayak, T. R., & R. K. Jaiswal., (2003). Rainfall-runoff modeling using satellite data and GIS for Bebas River in Modhaya Pradesh. *IE(I) Journal*. 84, 47-55.
23. PourTaheri, 2011. Application of multi-criteria decision methods in geography, Samt Publishers. (In Persian)
24. Yamani, M.; Rahimi, M.; & A. K. Veisi, (2014), Morphometry and comparison of transverse changes of Aras River during the last three decades Case study: Downstream of Mil Moghan dam, *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 74-86, (4), 3. (In Persian)

Risk Analysis and Management of Urban Floods with Geomorphological Approach (Karaj Metropolis)

Ezatollah Ghanavati¹: Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran

Amir Saffari: Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran

Ali Ahmadabadi: Assistant Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran

Shahram Varasteh: PhD Student, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran

Article History (Received: 2022/02/6

Accepted: 2022/05/17)



20.1001.1.22517812.1401.12.4.2.3

Extended abstract

1- Introduction

The water flow that is higher than the river level and penetrates the surrounding lowlands is called flood. In urban environments, due to high human density and its economic importance, the occurrence of floods is important and can lead to a lot of human and financial losses. In the metropolis of Karaj, in the floods that occurred in 2018, in addition to the damage to urban infrastructure, 8 individuals were dead, 10 injured and 12 missing and this phenomenon damaged 40 vehicles as well. Karaj metropolis from a geomorphological point of view, according to the physical characteristics and form of waterways, is characterized by hydrological coefficients of sub-basins, high rock outcrop, and high intensity of storms. Due to the importance of preserving lands and gardens along rivers, and its agricultural status and existence of gardens within its basins, and most importantly, the establishment of Karaj metropolis at the river outlet from the mountains, conducting flood estimation and management and water storage in this basin is necessary.

Therefore, due to the importance of floods in urban issues, a lot of research has been done based on data from 1: 50000 topographic maps and 1: 100000 geological maps, lithology, digital land model, land use, aerial photographs, satellite images and Google Earth in order to obtain flood-prone areas. Therefore, in this study, the hydro-geomorphological features of Karaj metropolitan basins with emphasis on flooding are investigated by estimating and studying the physiographic characteristics of watersheds leading to Karaj metropolis and calculating the probability of floods in different time periods and spatial analysis. In order to manage possible floods, appropriate scenarios and locations should be identified according to the landform characteristics of the basin for storing and maintaining excessive water and floods.

2- Methodology

In this research, the research steps are as follows:

Required data collection:

- ✓ Preparation of remote sensing data including:
- ✓ Digital terrestrial model data (altitude, slope and waterway data),
- ✓ Landsat 8 OLI sensors (land cover data, vegetation density index and FCD index),
- ✓ Ground data preparation including:
- ✓ Karaj Municipality data (absorption wells, drainage canals and urban lands),
- ✓ Geological Survey (fault and lithology) data,
- ✓ Regional water organization data (hydrometry and groundwater),

¹ Corresponding Author: Ghanavati@khu.ac.ir

- ✓ Meteorological organization data (climate data),
- ✓ Data from ground observations

3- Results

The upstream basins of Karaj metropolis consist of 5 sub-basins named Klak and Hesar (in the east of Karaj metropolis), Azimiyeh, Taleghani, Siah Kalan and Delmbar (in the north of Karaj metropolis). The flow of surface water in the Klak and Hesar basins, which is directed to the Karaj River, and due to the construction of the Karaj Dam upstream of this river, practically possible floods in this basin are directed out of the urban environment by using the mentioned river. Therefore, there are no flood hazards in this basin. However, the northern basins of the city, due to the diversion of all surface water into the urban environment of Karaj metropolis, and the location of this city in its waterway bed, such as Taleghani Street, has faced high flood risks. Therefore, the northern basins of the city have been studied in detail. In Azimiyeh, Delmbar and Taleghani basins, protection measures including diversion canals and water storage ponds have been constructed to control floods, but due to lack of protection and proper management, they have lost their function.

Drainage networks located in the city of Karaj are transferred using two canals and a metro collector, which are located in the bed of the old streams of Kamalabad (Beheshti canal) and Hosseinabad (metro collector). These two old streams have irrigated the lands of Kamalabad and Hosseinabad using the water of Karaj River, so the slope of these canals is from east to west, which collects surface water from the city and through Haftjaye leads to the Shore River.

The results of flood simulation in different return periods using HecRAS model show that in a 20-year return period, .27 cubic meters per second flood is produced in the largest waterway located in Azima, which affects 14 hectares of surrounding land. Also in Taleghani, Siah Kalan and Delmbar waterways, 0.3, 0.58 and 1.91 cubic meters per second of floods are produced, respectively, which affect the area equivalent to 15.82, 22.65, 85.51 hectares of the surrounding lands, respectively. In addition, by using the TOPSIS model and hierarchical weighting systems, the areas with flooding potential were identified. For this purpose, 9 criteria were used and normalized using fuzzy logic model and straight and inverse linear functions, and then using the AHP model, the effective weight of each of them was obtained. The results of zoning show that 56.8% of the area of Karaj metropolis and its upstream basins are exposed to flooding and the potential for flood production, to the extent that north of Karaj and the slopes overlooking the city of Karaj due to the highest slope, height, rainfall and poor in terms of vegetation, are categorized with high and very high flood potential. On the other hand, the southern part of the city, due to the slight slope and rainfall compared to the northern part and the slopes overlooking the city of Karaj, and the density of gardens and vegetation and agricultural lands, has the lowest risk of flooding potential.

With the aim of flood management and by using 14 criteria and a combination of weight assessment (WASPAS) locations to store flood water were identified: 4 locations (end of North Taleghani Boulevard with water storage volume of 4620 meters³, northern part of Azimiyeh slope with 8400 meters³ of water storage, northern part of the Atomic energy street with a storage volume of 8400 cubic meters of water and the northern part of the Epsino Valley with a storage volume of 3000 meters³ of water. Assuming a depth of 2 meters in each of the proposed zones, a total of 20 thousand cubic meters of flood water is self-sufficient through which flood water can be managed. Location of deep and semi-deep well drilling site is another way of managing surface runoff and flood that was located using 10 criteria and MCE model and the result is the identification of 16 sites for construction and drilling of absorption wells. Another measure for surface runoff and flood management is to increase vegetation density. The result of examining the relationship between surface runoff and vegetation density percentage obtained from the FCD distance sensing algorithm, shows that zones with maximum runoff have lower vegetation density. 25% of the area has the most runoff, So,

according to the coefficient correlation (98%) between runoff and vegetation density, increasing the area of green space and vegetation density from 25% to 75% reduces the runoff to less than 25 mm which prevents the area from causing floods.

4- Discussion & Conclusions

The results show that despite the construction of transmission canals and absorption wells in the city of Karaj, in some northern streets such as Tarbiat Moallem Boulevard, Bouali Gharbi and Nawab Safavi Street located in District 8 of the municipality, as well as Goodarzi and Nedaye Shomali streets in the south, no measures have been taken to control the flood, and due to the impermeability level, heavy rainfall compared to the southern part of Karaj and a steep slope (more than 15%), there are conditions to increase runoff on the street. Also, despite the construction of Taleghani, Moazen and Delmbar canals, which direct the surface water from the Taleghani, Siah Kalan and Delmbar sub-basins to the Beheshti collector, due to the lack of transmission capacity of the artificial canals implanted in at the metropolitan area, excessive surface water enters urban streets and generates floods. In order to manage floods and surface runoff in the city of Karaj, the identification of suitable locations for digging absorption wells and water storage pools has been considered, according to which 16 suitable locations for drilling wells and 4 suitable locations for constructing artificial pools had been identified for storing a total of 36,800 cubic meters of water. Also, increasing the surface infrastructure and vegetation from 25% of its density to 75% will reduce the amount of surface runoff by 75%, which leads to flood management.

Keywords: Flood Management, Karaj Metropolis, Flood Geomorphology, HecRAS, GIS