تحلیل فضایی ریسک رواناب‌های مسأله‌ساز با تکیه‌بر معیارهای برنامه‌ریزی شهری (مورد شناسی: شهر کرمان)

صادق کریمی* (استادیار آب و هواشناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران)
حسین غضنفرپور (دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران)
نجمه علی‌مرادی‌پور(کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران)

تاریخ دریافت: ۲۰ اسفند ۱۳۹۶
تاریخ پذیرش: ۲۴ آذر ۱۳۹۷

کلید واژه‌ها:
آسیب‌پذیری، رواناب، تحلیل سلسله‌مراتب فازی، شمارهٔ منحنی، عوامل زمینی.

چکیده

رشد فیزیکی روزافزون شهرهای امروزی، باعث افزایش ضریب نفوذناپذیری، سرعت و حجم رواناب حاصل از بارندگی شده‌است؛ بنابراین احتمال بروز رواناب در هنگام بارش‌های شدید بالا رفته‌است. هنگام وقوع بارندگی، هرچه میزان آسیب‌پذیری یک محدوده بیشتر باشد، آن محدوده بیشتر در معرض خطر قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه هدف اصلی طرح‌ها و اقدامات کنترل سیلاب، کاهش میزان آسیب‌پذیری است، پیش از هر اقدامی لازم است بخش‌های آسیب‌پذیر شهر مشخص شود. از نگاه سیستمی، لازم است کلیهٔ عواملی که در ایجاد رواناب‌های مسأله‌ساز شهری تأثیر دارد، شناسایی شود. هدف این پژوهش، دستیابی به شاخص‌های برنامه‌ریزی شهری مؤثر در ایجاد رواناب‌های سطحی شهر کرمان و همچنین، تهیهٔ نقشهٔ آسیب‌پذیری خطر مذکور است. روش به‌کاررفته در تحلیل معیارها، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی است؛ ازاین‌رو در این پژوهش مناطق شهر کرمان با توجه به آمار بارندگی، اطلاعات فیزیولوژیکی موجود و سایر عوامل تأثیرگذار، مورد مطالعه قرار گرفت. برآورد ارتفاع و حجم رواناب با روش SCS که در مقیاس زیرحوضه مورد استفاده قرار می‌گیرد، محاسبه شد. چگونگی نتایج به‌دست‌آمده از برآورد تبدیل بارندگی به بارندگی مازاد در زیرحوضه‌ها باعنوان شمارهٔ منحنی، مورد تحلیل قرار گرفت. در نهایت نقشه‌های شمارهٔ منحنی رواناب با استفاده از ابزار ArcCN-Runof در محیط ArcGIS تهیه شد. نتایج کلی حاکی از تأثیر عوامل جوّی، انسانی و زمینی بر این رخداد بود که عوامل زمینی بیشترین تأثیر را داشته است. همچنین، نقشهٔ پراکنش فضایی ارتفاع رواناب‌های مسأله‌ساز در سطح مناطق نشان داد که بخش‌های مرکزی شهر کرمان، بیشترین زمینهٔ خطرپذیری رواناب را دارد.

* نویسنده مسئول: صادق کریمی
پست الکترونیک: karimi.s.climatologist@uk.ac.ir

مقدمه

رشد فیزیکی روزافزون شهرها و افزایش خیابان‌های آسفالتهٔ عریض و دیگر عوامل، باعث غیرقابل‌نفوذ شدن اراضی طبیعی شده‌است و همین مسأله باعث پیدایش رونـاب‌هـای ناشـی از بـارش بـه‌خصـوص هنگـام بارندگی‌های شدید در سطح شهرها و تأسیسات شهری می‌شود. سطح روکش‌شدهٔ شهرها نظیر پشت‌بام ساختمان‌ها، آسفالت خیابان‌ها و پیاده‌روها، همانند مانعی در برابر نفوذ آب باران به داخل خاک و تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی عمل کرده و بخش اعظم بارندگی به رواناب سطحی تبدیل می‌شود.

رواناب‌های شهری، آب‌هایی است که در سطوح شهری در اثر بارندگی، یا آب حاصل از ذوب برف تولیدشده و بـه‌سـمت منـابع آب پذیرنـده سـرازیر مـی‌شـوند (عرب‌خدری، ۱۳۷۴: ۲۰۵).

بارندگی‌های با شدت زیاد، کاهش نفوذپذیری بـه‌دلیـل توسعهٔ مناطق شهری و همچنین، وجـود سیسـتم‌هـای جمع‌آوری رواناب قـدیمی و فرسـوده، از دلایـل عمـدهٔ وقوع سیلاب در مناطق شهری اسـت (رادمهـر، ۱۳۹۰: ۱)؛ به‌عبارت دیگر، توسـعهٔ روزافـزون منـاطق شـهری، ازبین‌رفتن اراضی کشاورزی و زمین‌های غیرقابـل‌نفـوذ توسعه‌یافته، موجب افزایش حجم و ارتفاع رواناب ناشی از بارش در حوضه‌های شهری شده‌است. ضـمن اینکـه جریان جاری‌شده در حوضه‌های شهری به‌دلیل عبور از مناطق مختلف در سطح، دارای کیفیت نامناسب بوده و همراه خود مقدار زیادی آلودگی حمل می‌کند (رازدار و همکاران، ۱۳۸۹: ۱).

در نواحی شهری، بخش زیادی از زمین بـــــــا مواد غیـــرقابل‌نفوذ پوشیده شده که ویژگی این مواد کاهش نفوذپذیری و تشکیل سریع رواناب سطحی است کـــه باعث ایجاد سیل، بدون ارتباط با دشت سیلابی می‌شود. البته باید توجه داشت که پیچیدگـــــــــی محیط‌های شهری و زیرساخت‌های مربوط به زهکشـی، تأثیر زیادی بـر تشـکیل روانـاب سـطحی دارد (چـن و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۸).

باید توجه داشت که کاهش سطوح غیرقابل‌نفوذ شهری در شـرایط فزایندهٔ رشد و گسترش شهرها، تقریباً امری محال است و در این بـین، مـدیریت کـاربری اراضـی و تهیـهٔ زیرسـاخت‌هـای لازم، مهـم‌تـرین ابـزار درجهـت کاهش مخاطرات سیل در بلندمدت است (کانگرس‌مـن و آشلی، ۱۹۹۹: ۸)؛ بنابراین هدف برنامه‌ریزی شـهری به‌منظور پیشگیری از مشـکلات ناشـی از سـیلاب‌هـای شـهری، تشـخیص فراینـد عناصـر ایجـاد جریـان‌هـای سطحی و تقویـت ایمنـی محـیط، بـه‌واسـطهٔ بهبـود و اصلاح شهر و شهرسازی است (عبدالهی، ۱۳۸۴: ۹۷).

سطوح شهر کرمان به‌عنوان شهر مورد مطالعـه نیـز، بـا هـر بارشـی شـاهد حرکـت روانـاب‌هـای مسـأله‌سـاز و درنتیجه آب‌گرفتگی معابر است. با توجـه بـه گسـترش هر سـالهٔ وسـعت ایـن شـهر، فراوانـی مکـانی و زمـانی رواناب‌ها نیز بیشتر می‌شـود. امـروزه تـأثیرات منفـی و مسائلی که این پدیده برای شهروندان کرمانی به‌وجـود آورده، بر همگان آشکار است؛ به‌طوری که شهروندان با کمترین میزان بارندگی، به‌وضوح شاهد جاری‌شدن آب در سـطح خیابـان‌هـا و معـابر هسـتند؛ بـه‌ویـژه بـروز سیلاب‌های شهری پس از رخداد رگبارهـای بـا شـدت نسبتاً بالا، با اختلال در رفت‌وآمد و تـأثیرات منفـی بـر چشم‌اندازهـای شـهری و اخـتلال در روابـط تجـاری و گردشگری، تأثیرات منفی اقتصادی و اجتماعی بسیاری را بر جای می‌گذارد؛ همچنین، ایـن روانـاب‌هـا کـه در سطح شهر جریان می‌یابند، با خود آلودگی‌های زیـادی را مخلوط و حمل‌کرده که باعث کاهش کیفیـت منـابع آب مـی‌شـود؛ بنـابراین شـناخت عوامـل تأثیرگـذار در رواناب‌های جریان‌یافته حـائز اهمیـت بـوده و ضـروری اسـت کـه بـه انجـام ایـن تحقیـق پرداختـه شـود تـا برنامه‌ریزان شهری برای این مسأله چاره‌ای بیاندیشند.

ایـن پـژوهش در پـی آن اسـت کـه بـا اسـتفاده از

قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و بهره‌گیری از تکنیک‌های برنامه‌ریزی شهری به بررسی، شناسایی و مدیریت آب‌های سطحی و سیلاب‌های شهری، به هنگام وقوع بارندگی در چهار منطقهٔ شهرداری شهر کرمان بپردازد. مسألهٔ اصلی اینجاست که گسترش سطوح نفوذناپذیر در سطح شهر کرمان باعث افزایش میزان رواناب شده‌است و از طرف دیگر، مسیل‌ها و حریم آن‌ها نیز مورد تعرض و ساخت‌وساز قرار گرفته‌اند و این خطر بالقوه‌ای است که بخش‌هایی از شهر را در معرض تهدید جدی قرار می‌دهد؛ ازاین‌رو چنین به‌نظر می‌رسد که مهم‌تر از عوامل طبیعی و جوّی، شهری‌شدن مناطق طبیعی (یعنی عوامل انسانی) باعث افزایش حجم و شدت رواناب ناشی‌از بارندگی در این شهر شده که علاوه‌بر ایجاد اختلال در عبور و مرور و فعالیت‌های عادی مردم، باعث وقوع سیلاب و درنتیجه خسارت به اماکن و تأسیسات شهری و به‌مخاطره‌انداختن مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی و تأسیسات زیربنایی پایین‌دست نیز می‌شود؛ بنابراین ضمن تحلیل‌های مبتنی‌بر تفسیرِ عوامل به‌وجودآورندهٔ رواناب از منظر شاخص‌های مؤثر برنامه‌ریزی شهری، به‌منظور رفع مشکلات ناشی از تجمع رواناب‌ها در این شهر، راهکارهای پیشنهادی ارائه شده‌است. به‌طور مشخص، این پژوهش به‌دنبال یافتن پاسخ سؤال‌های زیر است: عوامل ایجاد رواناب‌های مسأله‌ساز شهر کرمان براساس میزان ریسک کدام‌اند؟ توزیع و پراکنش فضایی رواناب‌های مسأله‌ساز مناطق مختلف شهر کرمان چگونه است؟ طبقه‌بندی مناطق به زیرحوضه‌ها در هر منطقه از شهر کرمان به‌منظور ارائهٔ مدل تخمین رواناب چگونه است؟ راهکارهای کاربردی برای مقابله با رواناب‌های مسأله‌ساز مناطق مختلف شهر کرمان کدام‌اند؟

به‌منظور بررسی علل وقوع رواناب‌های شهری، تاکنون پژوهش‌های متعددی با بررسی زیرحوضه‌ها و واحدهای کاری و برنامه‌ریزی موردنظر، به شناخت ویژگی‌های طبیعی و عمومی منطقه همچون اقلیم، زمین‌شناسی و توپوگرافی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی و شاخص‌های مربوط پرداخته و با شناخت این عوامل و متغیّرها، نقش آن‌ها در ظهور رواناب‌های سطحی و سیلاب‌های برون‌شهری و درون‌شهری با مقادیر مشخص در شهرهای مختلف خارج و داخل کشور تعیین شده‌است. در ادامه به شرح اجمالی برخی از مهم‌ترین این تحقیقات در داخل و خارج از کشور پرداخته می‌شود.

خلیقی سیگارودی و ثقفیان (۱۳۸۴) به بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی در دبی اوج و حجم سیلاب حوضهٔ آبخیز باراندوزچای در استان آذربایجان غربی پرداختند و بیان کردند که تغییرات کاربری اراضی موجب تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در پتانسیل تولید رواناب حوضه شده‌است.

قهرودی تالی (۱۳۸۸) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی مدل Scs-CN در تخمین رواناب مدل مذکور را در حوضهٔ آبریز سد امیرکبیر کرج توسط فنون سیستم اطلاعات جغرافیایی اجرا کرد و به این نتیجه رسید که استفاده از مدل وزنی در محاسبهٔ شمارهٔ منحنی، این امکان را فراهم می‌سازد که تمام عوامل مؤثر در تولید رواناب درنظر گرفته شود و درنتیجه تخمین درست‌تری از رواناب ناشی‌از بارندگی به‌دست آید.

روستایی و همکاران (۱۳۸۷) به مطالعهٔ رواناب حوضه‌های شهری شمال تهران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در ترکیب با مدل‌های بارش/رواناب در طراحی شبکهٔ سیلاب روی شهرها پرداختند. این شیوه، به روش آزمون و خطا برای رسیدن به آرایش و ابعاد بهینه انجام می‌گیرد و می‌تواند در کاهش زمان، هزینه و خسارت‌های ناشی از سیل بسیار مؤثر باشد.

بَزّی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی به نقش مدیریت

کاربری اراضی در کاهش سیل‌گرفتگی شهر قوچان پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با مدیریت صحیح تخصیص کاربری اراضی مناسب هر منطقه با شناخت عواملی ازجمله: توپوگرافی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و... می‌توان خسارات ناشی از سیلاب‌های شهری را در شهر قوچان به حداقل رساند.

رادمهر (۱۳۹۰) در پایان‌نامهٔ خود به تهیهٔ نقشه‌های خطرپذیری رواناب به‌منظور اتخاذ تصمیمات دقیق‌تر در مدیریت رواناب شهری با استفاده از تلفیق روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی در قالب یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری با هدف تهیهٔ نقشه‌های معیار و نقشهٔ نهایی پتانسیل سیل‌خیزی، از یک جعبهٔ ابزار توسعه‌داده‌شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده کرد.

دهلوی (۱۳۹۱) در پایان‌نامهٔ خود با بررسی مدیریت رواناب‌های شهری با استفاده از GIS و RS مناطق آسیب‌پذیر را شناسایی کرد. وی آسیب‌پذیری یک حوضهٔ شهری را ازنظر رواناب، از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار داد و با اولویت‌بندی مناطق مختلف یک حوضهٔ شهری به‌لحاظ میزان آسیب‌پذیری، شرایط را برای ارائهٔ طرح‌های هدفمندتر شهری و اثربخشی بالاتر فراهم کرد.

مافی و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله‌ای باعنوان «مدیریت و دفع رواناب‌های شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک River Tools در شهر اهواز» نشان دادند که در این شهر به‌علت شیب کم، امکان تخلیهٔ ثقلی و به‌علت هزینهٔ زیاد، امکان پمپاژ آب به رودخانهٔ کارون وجود ندارد. با استفاده از تحلیل‌های GIS بهترین مسیر طبیعی منطبق‌بر خیابان‌ها برای تخلیهٔ رواناب مشخص شد و درنهایت، نقشهٔ شبکهٔ پیشنهادی دفع آب‌های سطحی از منطقهٔ مورد مطالعه ارائه شد.

مرادی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی تأثیر هیدرولوژیکی حوضهٔ آبریز شهری با استفاده از مدل SWMM در شهر کرمان پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد، بیشترین حجم سیلاب مربوط به گِره‌های انتهایی حوضه بوده که مقدار حجم رواناب در این گِره‌ها به‌ترتیب برابر با ۰/۱۷، ۰/۱۱ و ۰/۰۵ متر مکعب بوده‌است. همچنین ملاحظه شد که دو ساعت پس از شروع شدیدترین سیلاب، حجم رواناب در داخل کانال‌ها به بیشترین میزان خود می‌رسد.

بوفو (۱۹۹۸) به توجیه نظری مدل SCS برای تخمین رواناب پرداخت و ارتباط بین بارش و رواناب در این مدل را با در نظر گرفتن توزیع نمایی تغییرات نفوذ با زمان، بررسی کرد. وی با آزمایش چگونگی تغییرات زمانی و مکانی شدت بارش و ظرفیت واقعی نفوذ، اساس علمی روش SCS را تأیید کرد.

کریک‌بای و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی نقش توزیع زمانی بارندگی و عوامل مورفولوژیکی بر تولید رواناب در آبخیزهای خشک حوضهٔ آبخیز گودالتین در اسپانیا پرداختند. آن‌ها با کاربرد مفهوم حد آستانهٔ رواناب در رابطهٔ اصلاح‌شدهٔ گرین-آمپت و تعیین دقیق مقادیر شمارهٔ منحنی در حوضهٔ مورد تحقیق، زمینه‌های افزایش‌دقت‌برآوردهای‌ناشی‌ازمدل SCS رافراهم آوردند.

اینسی تکلی و همکاران (۲۰۰۶) اعداد شمارهٔ منحنی را برای حوضهٔ گاونس در هندوستان با استفاده از GIS و RS مشخص کردند. آن‌ها در تعیین کاربری اراضی از نقشه‌های لندست TM و برای تعیین تراکم پوشش گیاهی نیز از شاخص NDVI استفاده کردند. مقادیر بارش و رواناب اندازه‌گیری از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۵ حوضهٔ آبریز به‌منظور محاسبهٔ دبی سیلاب برای دوره‌های بازگشت گوناگون استفاده شد؛ همچنین آن‌ها اعداد شمارهٔ منحنی را که با استفاده از تکنیک‌های GIS و RS تعیین شد، با شمارهٔ منحنی که با روش تناوبی (فراوانی S) به‌دست آمد، مقایسه کرده و اثر تغییرات بین این شمارهٔ منحنی‌ها را روی دبی

سیلاب حوضهٔ آبریز مشخص کردند.

سارانگی و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی به پیش‌بینی سطح رواناب حوضه‌های فاقد اندازه‌گیری در زیرحوضه‌های بانها در هند اقدام کردند. برای انجام این تحقیق از مدل‌های شمارهٔ منحنی و هیدروگراف واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژیکی (GIUH) استفاده شد. نتایج نشان داد که روش SCS برای پیش‌بینی سطح رواناب با بارش‌های طولانی بسیار مناسب است و برای حوضهٔ بدون اندازه‌گیری‌شده با داشتن ویژگی‌های ژئومورفولوژی یکسان کارآمدتر است.

آماتا و پورچلوان (۲۰۰۹) با استفاده از روش شمارهٔ منحنی به برآورد رواناب سطحی در زیرحوضهٔ مالاتار پرداختند. آن‌ها با گردآوری بارش روزانه و ماهانهٔ ایستگاه باران‌سنجی گادیاتام برای سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۷۱ به پیش‌بینی و برآورد رواناب روزانه، ماهانه و سالانهٔ حوضه اقدام کردند.

وانگ و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیق خود به این نتیجه دست یافتند که افزایش ۱۰، ۱۵ و ۳۰ درصدی سطوح غیرقابل‌نفوذ شهری معمولاً باعث ۲، ۳ و ۵ برابرشدن احتمال رخداد سیلاب‌هایی با دورهٔ بازگشت دو ساله خواهد شد. البته باید توجه داشت که کاهش سطوح غیرقابل‌نفوذ شهری با روند فزایندهٔ رشد و گسترش شهرها، تقریباً امری محال و دست‌نیافتنی است. در این میان، مدیریت کاربری اراضی و تهیهٔ زیرساخت‌های لازم، مهم‌ترین ابزار درجهت کاهش مخاطرات سیل در بلندمدت است.

براساس تحلیل نتایج مطالعات انجام‌شده، دلایل وقوع روناب را می‌توان به‌طور کلی به سه دسته طبقه‌بندی کرد: ۱- عوامل جوّی؛ ۲- عوامل زمینی؛ ۳- عوامل انسانی. یکی از عوامل اصلی جاری‌شدن روناب در شهرها، بارش نزولات جوّی با شدت بالاست؛ در صورتی که اقدامات جدی درجهت هدایت و انتقال رواناب پیش‌بینی نشده باشد، می‌تواند موجب آب‌گرفتگی و بروز صدمات جدی به تأسیسات شهری شود. از طرفی، به‌طور معمول عوامل زمینی یا بسترهای طبیعی، توانایی جذب و انتقال مقدار قابل‌توجهی از رواناب‌های ایجادشده را دارد؛ اما در مناطقی که نفوذپذیری خاک پایین و شرایط نیمه‌اشباع برقرار باشد، خاک توانایی جذب آن را نداشته و موجب افزایش رواناب در منطقه شده‌است که با تداوم بارندگی موجب آبگرفتگی و وقوع سیلاب می‌شود؛ ازاین‌رو گسترش ساخت‌های مصنوعی و تخریب هرچه بیشتر بسترهای طبیعی موجب کاهش نفوذپذیری خاک در مناطق مسکونی و شهری می‌شود که این مسأله در ایجاد رواناب‌های مسأله‌ساز نقش بسزایی دارد.

در مطالعات مرورشده، عموماً از مدل SCS برای برنامه‌ریزی، مدیریت رواناب شهری و افزایش سطح خدمات شهری استفاده شده‌است. نتایج نشان‌دهندهٔ کارایی لازم این مدل برای تخمین ارتفاع رواناب در مناطق شهری است و پس از شناخت مناطق دارای آبگرفتگی و بروز سیلاب می‌توان از این مدل برای مدیریت رواناب در مناطق شهری استفاده کرد. همچنین نتایج حاصل از پژوهش‌های محققان نشان داد، میزان و دفعات بروز سیلاب و ایجاد رواناب در هر منطقه، به عوامل بسیاری وابسته است. ویژگی‌های فیزیکی حوضه، ویژگی‌های هیدرولوژیکی و اقدامات ناشی از فعالیت‌های بشری در بروز و تشدید ایجاد سیلاب‌های شهری یا کاهش و افزایش میزان خسارت‌های ناشی از آن دخالت دارند. شناخت این عوامل و دسته‌بندی‌ها آن‌ها در هر منطقه‌ای، از اصول اولیهٔ مهار رواناب و کاهش خطرات ناشی از آن است. به این ترتیب در کنترل و ایجاد راه‌حل، شناخت عوامل مؤثر بر آن اهمیت بسیار زیادی دارد؛ به‌عبارت دیگر، پیش از هرگونه برنامه‌ریزی برای کنترل رواناب، باید رفتار فرایندهای آن را به‌خوبی شناخت.

در تحقیقات انجام‌شده، از انواع مدل‌های ریاضی برای انجام محاسبات هیدرولوژیکی حوضه‌ها استفاده شد که هرکدام از مدل‌های فوق با توجه به نوع حوضه و شرایط منطقهٔ مورد مطالعه انتخاب شد. با توجه به اینکه تحقیقات گسترده‌ای در زمینهٔ عوامل مؤثر بر افزایش خسارات سیلاب شهری مطرح شد؛ با این وجود، درنظرنگرفتن مدل‌های هیدرولوژیکی سبب می‌شود تا تحلیل مناسبی در زمان وقوع سیلاب ارائه نشود و فقط یک تحلیل قیاسی میان عوامل درنظر گرفته‌شده صورت گیرد. پس اجرای یک مدل ریاضی، معیار مناسبی برای تحلیل جریان آب ناشی از بارندگی و اراضی تحت‌تأثیر سیل به‌نظر می‌رسد. در تدوین پژوهش حاضر، از تجارب محققانی که قبلاً در این زمینه کار کردند، استفاده شده و سعی بر این بوده تا جنبه‌های کاربردی مطالب موردتأیید بیشتری قرار گیرد. در بین مدل‌های متعدد استفاده‌شده توسط محققان مختلف، مدل شمارهٔ منحنی برای این تحقیق مناسب دانسته‌شد. دلیل انتخاب این مدل، به‌سبب سادگی و دقیق‌بودن نتایج به‌دست‌آمده از آن، شرایط منطقهٔ مطالعاتی و آمارهای موجود بوده‌است. همچنین از این مدل معمولاً برای حوضه‌های کوچک شهری، حوضه‌های طبیعی متوسط و حوضه‌هایی که در آن‌ها داده‌های اندازه‌گیری دبی وجود ندارد (نظیر قلمرو این پژوهش)، استفاده می‌شود. علاوه‌بر این، شمارهٔ منحنی مدلی است پیش‌بینی‌کننده که ورودی‌های محیطی را به‌خوبی ثبت می‌کند و روش تأییدشده‌ای است که به‌طور گسترده در آمریکا و دیگر کشورها موردپذیرش قرار گرفته‌است (کومار و همکاران، ۲۰۱۰).

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر ازنظر هدف، کاربردی است و به‌لحاظ روش از نوع تحلیلی- آماری است. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات پژوهش حاضر، از مطالعات اسنادی، کتابخانه‌ای، میدانی، مراجعه به بانک اطلاعاتی شهرداری و سازمان هواشناسی آمار موجود در پایان‌نامه‌ها و مقاله‌های مرتبط استفاده شده‌است؛ بنابراین ابزارهای مورداستفاده در این تحقیق عبارت است از: مشاهده و فیش‌برداری.

از مدل SCS برای تخمین رواناب، از روش AHP-Fuzzy با کمک نرم‌افزار متلب برای وزن‌دهی معیارهای تأثیرگذار در ایجاد رواناب، از نرم‌افزار ArcGIS برای نشان‌دادن پراکنش فضایی رواناب و از نرم‌افزار SMADA برای تخمین دورهٔ بازگشت بارش استفاده شد که در ادامه به تشریح دقیق روش‌شناسی پژوهش حاضر پرداخته شده‌است.

الف- روش‌شناسی

- معرفی متغیّرهای پژوهش

متغیّر مستقل شامل شاخص‌های برنامه‌ریزی شهری و متغیّر وابسته شامل رواناب‌های سطحی شهر کرمان است. مؤلفه‌ها و شاخص‌های متغیّر مستقل در جدول (۳) آورده شده‌است. درواقع جدیدترین ابزارهای اندازه‌گیری برنامه‌ریزی شهری، معیارها (شاخص‌هایی) هستند که در تلاش برای پیوند بین ساختار طبیعی، ساختار فضایی- فیزیکی و ساختار انسانی مطرح می‌شوند؛ بنابراین چنین معیارهایی مجموعه‌ای از سنجه‌های مختلف بوده که به تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان برای اصلاح فعالیت‌ها و فرایندهای برنامه‌ریزی کمک کرده و می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای مدیریت برنامه‌های موجود و چارچوبی برای طراحی فعالیت‌های آینده عمل کند. برای سنجش و ارزیابی رواناب‌های سطحی قلمرو پژوهش، معیارهای جامع تأثیرگذار طبیعی و انسانی درنظر گرفته‌شد.

- معرفی روش تخمین رواناب (SCS)

روش SCS نخستین‌بار توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا برای تخمین رواناب از روی رگبارها، ویژگی‌های نفوذپذیری خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی ارائه

شد. این روش برای حوضه‌های کوچک و شهری، همچنین برای حوضه‌های متوسط، بسیار مناسب است. مراحل به‌کارگیری روش SCS به‌طور خلاصه شامل محاسبهٔ ارتفاع بارندگی در زمان تمرکز، محاسبهٔ شمارهٔ منحنی در هر یک از زیرحوضه‌های منطقه با استفاده از درصد وزنی سطوح انواع کاربری، محاسبهٔ ارتفاع رواناب، محاسبهٔ حداکثر سیلاب در دورهٔ بازگشت‌های مختلف است.

بنیان ریاضی روش SCS به این شکل است که هر رگبار در برآورد رواناب سطحی به دو مؤلفهٔ تلفات و جریان سطحی (رواناب یا باران خالص) تفکیک می‌شود. معمولاً ارتفاع باران عامل مهمی در جریان سطحی است. جنس زمین، شیب، پوشش گیاهی و رطوبت اولیهٔ خاک نیز از دیگر عوامل مهم هستند که معادلات خاص خود را دارند. رواناب یکی از متغیّرهای هیدرولوژیکی بسیار مهم و مورداستفاده در اکثر کاربردهای منابع آب است. پیش‌بینی قابل‌اطمینان از کیفیت و نسبت رواناب سطح زمین در داخل جریان‌های رودخانه‌ها دشوار بوده و برای حوضه‌های آبریز فاقد داده‌های اندازه‌گیری شده، زمان زیادی باید صرف شود تا این پیش‌بینی به‌دست آید. روش‌های مختلفی برای محاسبهٔ شدت رواناب وجود دارد، در روش SCS تعیین شمارهٔ منحنی که تابعی از ویژگی‌های خاک، کاربری اراضی، خصوصیات هیدرولوژیکی مانند رطوبت پیشین خاک می‌باشد، ضروری است (نایاک و جیسوال، ۲۰۰۳: ۴۷).

در این روش، ارتفاع به‌دست‌آمده از یک بارندگی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (علیزاده،۱۳۸۳: ۷۳۵):

رابطهٔ (۱): $P = S + Q$

رابطهٔ (۲): $s+= I_a + \mathrm{F}$

رابطهٔ (۳): $P = I_\mathrm{a} + F + Q$

در این روابط، P: ارتفاع بارندگی به‌دست‌آمده برحسب اینچ، S: حداکثر پتانسیل نفوذ تجمعی برحسب اینچ، Q: میزان رواناب ناشی از بارندگی برحسب اینچ، I_a: مقدار نگهداشت اولیه برحسب اینچ، F: مقدار نفوذ تجمعی حاصل از بارندگی برحسب اینچ است.

تفاوت بین بارندگی و رواناب با درنظر نداشتن میزان نگهداشت اولیه، برابر با مقدار نفوذ تجمعی (F) است و رابطهٔ ساده (۴) در این مورد قابل‌ارائه است:

رابطهٔ (۴): $F = P - Q$

رابطهٔ (۵): $I_{a=} 0.2s$

معادلهٔ نهایی به‌صورت رابطهٔ (۶) است:

رابطهٔ (۶): $\mathrm{Q} = \frac{(\mathrm{P}-0.2\mathrm{S})^2}{(P+0.8S)}$

رابطهٔ (۷): $-254\,S = \frac{25400}{\mathrm{CN}}$

در این روابط، s: ضریب نگهداشت سطحی، Q: ارتفاع رواناب، P: ارتفاع بارندگی، CN: شمارهٔ منحنی رواناب است که بین صفر تا صد متغیّر بوده و با توجه به جدولی که توسط سازمان حفاظت خاک ایالات‌متحده (SCS) براساس کاربری اراضی، پوشش، گروه‌های هیدرولوژیکی و شرایط رطوبت پیشین تهیه کرده، محاسبه می‌شود. شمارهٔ منحنی حوضهٔ آبریز از ۳۰ تا ۸۲ متغیّر است. در صورتی که شرایط حوضه ازنظر عوامل مؤثر بر CN یکنواخت نباشد، باید مقدار میانگین وزنی CN برای کل حوضه محاسبه شود (یعقوب‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹: ۶).

- معرفی ابزار Arc CN-Runof

در دهه‌های اخیر، توسعهٔ مدل‌های هیدرولوژی مبتنی‌بر سیستم اطلاعات جغرافیایی، مورد توجه محققان و دانشمندان قرار گرفته‌است. یکی از آن‌ها، ابزار ArcCN-Runof است که توسط ژان و همکاران (۲۰۰۴) به‌منظور تعیین ارتفاع و حجم رواناب براساس روش SCS ارائه شد. محاسبهٔ شمارهٔ منحنی و رواناب برای هر پلیگون به‌صورت جداگانه، از ویژگی‌های این ابزار است. ورودی‌های این ابزار به شرح زیر است: لایهٔ Landsoil، جدول شاخص (Index) و مقدار بارش (P).

- معرفی برآورد مقادیر شمارهٔ منحنی (CN)

در روش SCS نیاز به تخمین CN است که در اصطلاح به آن شمارهٔ منحنی گفته می‌شود. برای تعیین CN در سطح حوضه، ابتدا باید نوع خاک حوضه بسته به نفوذپذیری آن مشخص شود. در این رابطه حوضه به یکی از گروه‌های A، B، C یا D تقسیم می‌شود (جدول ۱).

جدول ۱. طبقه‌بندی خاک‌های حوضه برحسب نفوذپذیری

گروه	حداقل نفوذپذیری (میلی‌متر در ساعت)
A	۷/۵-۱۱/۵
B	۳/۸-۷/۵
C	۱/۳-۳/۸
D	۰-۱/۳

(منبع: یعقوب‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹)

در روش SCS خاک به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر رواناب، به چهار گروه هیدرولوژیکی A، B، C و D تقسیم می‌شود. مأخذ نقشهٔ اطلاعاتی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک از نقشهٔ مؤسسهٔ تحقیقات آب و خاک ایران است و توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا محاسبه و تعیین شد که یک روش استاندارد است. در این حالت با تلفیق اطلاعات محدودهٔ حوضه و زیرحوضه‌ها، موقعیت‌وپراکنش انواع خاک‌ها تعیین شد.

- محاسبهٔ ضریب رواناب (C)

در رابطهٔ فوق یکی از عوامل، C یا ضریب رواناب حوضه است و آن نسبتی از بارندگی است که بر سطح زمین جریان می‌یابد. ضریب رواناب هر حوضه به عواملی همچون میزان نفوذپذیری سطح حوضه، پوشش گیاهی، شیب زمین و شدت بارندگی بستگی دارد (اصغری‌مقدم، ۱۳۷۸: ۱۰۳).

- معرفی نرم‌افزار هیدرولوژی SMADA

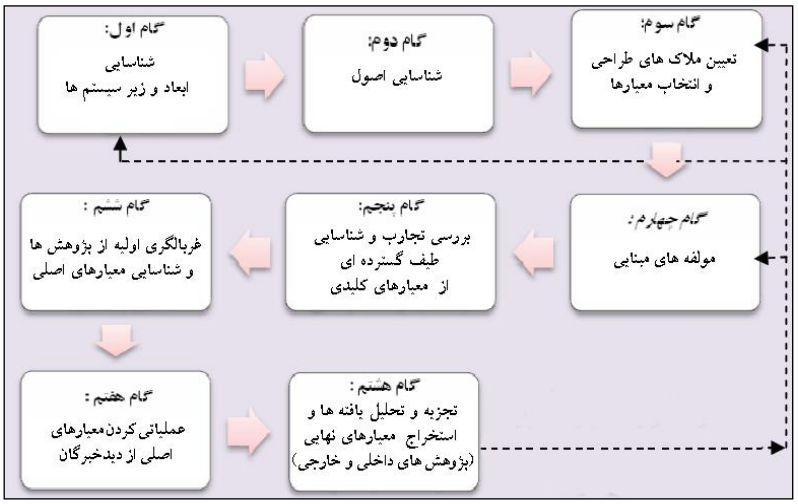
نرم‌افزار SMADA که نخستین‌بار در دانشگاه فلوریدا طراحی شد، از دیگر ابزار مورد استفاده در این پژوهش است که برای تحلیل آماره‌ها و همچنین، تخمین دورهٔ بازگشت بارش مورد استفاده قرار گرفت. این نرم‌افزار توزیع آماری Distrib2.0 است که به آن می‌توان سری زمانی داده‌ها را با پنج روش انجام داد و دورهٔ بازگشت سری آن‌ها را به‌دست آورد.

- معرفی روش تحلیل سلسله‌مراتبی AHP-Fuzzy

چانگ، با ادغام فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و منطق فازی، روش تحلیل توسعه‌ای (AHP-Fuzzy) را پیشنهاد کرد. این متدلوژی نسبتاً جدید بوده که توسط لارهوون و پدریچ توسعه داده شد و AHP را برای حالتی که به محیط‌های فازی و مبهم منجر می‌شد، بسط دادند. این متد، توانایی سروکار با موارد عدم‌اطمینان و نسبی‌بودن قضاوت‌های انسانی را دارد. به‌عبارت بهتر، استفاده از مجموعه‌های فازی، سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی و بعضاً مبهم انسانی دارد؛ پس بهتر است که با استفاده از مجموعه‌های فازی (به‌کارگیری اعداد فازی) به پیش‌بینی بلندمدت و تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت.

- فرایند کار

مطالعات در این پژوهش در سه سطح انجام‌شده که در ادامه فرایند آن ارائه‌می‌شود. ابتدا معیارهای مؤثر برنامه‌ریزی شهری بر رواناب‌های سطحی تعیین و وزن‌دهی شد؛ سپس در سطح کل شهر کرمان، میزان ریسک رواناب‌های سطحی محاسبه و در قالب نقشه مشخص شد. در گام آخر به‌صورت مجزا برای هر یک از مناطق شهر، پراکنش فضایی رواناب‌های سطحی و ارتفاع رواناب بر روی نقشه نمایش داده‌شد و به‌منظور بهبود مدیریت صحیح رواناب‌ها، راهکارهای اجرایی و مصادیق آن‌ها آورده شد. بدین‌ترتیب با توجه به مطالب فوق، همچنین روش‌شناسی پژوهش می‌توان فرایند طراحی و تبیین معیارها (چارچوب و فرایند) را با شکل (۱) و جدول (۲) تبیین کرد.



شکل ۱. فرایند انتخاب معیارهای برنامه‌ریزی شهری مؤثر بر رواناب‌های سطحی

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

جدول ۲. چارچوب فرایند بر مبنای شرایط شهر کرمان

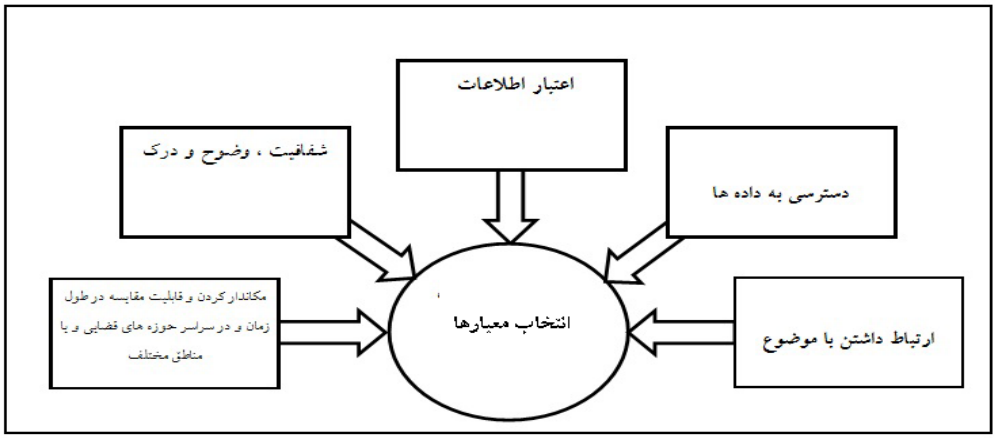
روش‌های جمع‌آوری اطلاعات	- میدانی (بررسی سایت و پرسشگری در منطقه مطالعه) - اسنادی (بررسی و مطالعهٔ اسناد و طرح‌های بالادستی) - پرسشگری (یا مصاحبه با گروه‌های هدف) برای صاحب‌نظران و گروه متخصصان		
عوامل و عوارض موردنیاز	محل و اطلاعات توصیفی عوامل و مؤلفه‌های مؤثر برنامه‌ریزی شهری بر رواناب‌های سطحی		
معیارها			
ابعاد	عوامل جوّی	عوامل زمینی (بستر زمین)	عوامل انسانی
سیستم ها	ساختار طبیعی		ساختار انسان‌ساخت
جامعه	قلمرو پژوهش		

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

در این میان، هدف این است که فرایند عملی بررسی رواناب‌های سطحی برحسب شرایط منطقه در محدودهٔ زمانی-مکانی مشخصی و به‌صورت یکپارچه ایجاد شود و نه در سطوح مطلق پایداری و مجزا. از طرف دیگر، با توجه به ویژگی‌ها و پیچیدگی‌های ساختار، تعیین سیستم‌ها و ابعاد می‌تواند در انتخاب متغیّرهای مناسب مؤثر بوده و در برنامه‌ریزی با روش‌های مناسب‌تر،- پاسخگوی‌ادارهٔسیستم‌های‌قلمروپژوهش‌باشد.

در فرایند تهیهٔ معیارها، نحوهٔ انتخاب شاخص‌ها و معرف‌ها موردنیاز است و پرسش اساسی این است که معیارها برای پوشش‌دادن اهداف و اصول تحقیق و همچنین همسویی با واقعیت‌های قلمرو پژوهش باید براساس چه ملاک‌هایی انتخاب شوند؟ بنابراین، ملاک‌های انتخاب بدین معناست که «چه چیزی نمایانگر معیارها و معرف‌های خوب است؟»؛ به همین علت، ملاک‌های انتخاب معیارها و معرف‌های تحقیق، می‌بایست دربرگیرندهٔ ویژگی‌های اساسی باشد که به‌ازای هر معیار و معرف، مدنظر قرار گیرد؛ ازاین‌رو با توجه به اینکه معیارهای انتخابی بایستی جامع باشند، تعداد آن‌ها نیز باید به اندازه‌ای باشد که علاوه‌بر پوشش کامل موضوع، ارزیابی را پیچیده و دشوار نکند؛ همچنین با توجه به ملاک‌های انتخاب معیار که از

سوی سازمان‌ها و مؤسسات جهانی و نیز سایر متخصصان ارائه شده، ملاک‌های ارزیابی عملیاتی‌کردن معیارها در پژوهش حاضر به شرح شکل (۲) است.



شکل ۲. ملاک‌های انتخاب معیارهای برنامه‌ریزی شهری مؤثر بر رواناب‌های سطحی

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

رویکرد زیربنایی که هم‌اکنون در برنامه‌ریزی شهری به‌کار می‌رود، رویکرد مبتنی‌بر داده‌های مکان‌دار است. بر این مبنا، در جمع‌بندی معیارها به عوامل و معیارهایی پرداخته شد که ماهیت مکانی دارند و امکان تهیهٔ لایه‌های مکانی، یا بررسی آن‌ها در محیط GIS وجود دارد.

ب- مبانی نظری تحقیق

- رواناب‌های شهری

با افزایش میزان آب حاصل از بارندگی و نفوذ آب، به‌تدریج نفوذپذیری خاک کاهش می‌یابد و به همان میزان به آب‌هایی که در سطح زمین جریان می‌یابد، افزوده می‌شود. آب‌های ناشی از بارندگی که بر سطح زمین جاری می‌شود، به طرف نقاط پست‌تر و گودتر جریان می‌یابد. این آب‌ها در طول مسیرشان به‌تدریج شبکه‌های فرعی را به‌وجود آورده و درنهایت به رودخانه یا مسیل اصلی می‌ریزد و از طریق آن از حوضه خارج می‌شود. آب‌هایی که از این طریق در سطح زمین جریان می‌یابند، رواناب نامیده می‌شود (اصغری‌مقدم، ۱۳۷۸: ۹۹).

منظور از رواناب‌های شهری آب‌هایی است که در سطوح شهری در اثر بارش باران، یا آب حاصل از ذوب برف تولید و به‌سمت منابع پذیرنده سرازیر می‌شود (عرب‌خدری، ۱۳۷۴: ۶۵). امروزه با توسعهٔ شهرنشینی و گسترش شهرها، موضوع مدیریت حوضه‌های شهری بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته‌است؛ زیرا شهرسازی باعث به‌هم‌زدن تعادل اکولوژیک حوضه‌ها، روند پایدار هیدرولوژیکی و افزایش نفوذناپذیری آنان شده‌است. به هر اندازه که سطح شهرها افزایش می‌یابد، به همان نسبت شبکهٔ هیدروگرافی حوضه و آب‌های سطحی حوضه در حال تغییر است (لگزیان و حجی‌پور، ۱۳۹۰:۱).

با تسریع روند توسعه و گسترش مناطق شهری و تخریب محیط زیست، نفوذپذیری زمین نیز کاهش یافته است. توسعهٔ یک منطقهٔ شهری شامل پوشاندن زمین با سطوح مصنوعی، اثر قابل‌ملاحظه‌ای بر فرایند جریان سطحی می‌گذارد (کاویان‌پور و همکاران، ۱۳۸۹: ۳)؛ به‌طوری که تولید رواناب اراضی شهری

نسبت‌به اراضی بکر و طبیعی ۲ تا ۶ برابر بیشتر است (سردشتی و سلطانی، ۱۳۸۹: ۳).

- حوضهٔ‌آبخیز شهری و دلایل اهمیت مطالعهٔ آن

قسمتی از شهر که به‌طور کامل در محدودهٔ شهری قرار داشته و کلیهٔ بارش واقع‌شده بر روی آن از یک نقطهٔ خروجی در داخل مرز شهر تخلیه می‌شود، «حوضهٔ آبخیز شهری»[1] نام دارد. بدین ترتیب کلیهٔ سطوح نفوذناپذیر اعم‌از پشت‌بام‌ها، سطح آسفالت معابر، سطوح آزاد بتنی، جوی‌های آب و آبگیرها و نیز شبکه‌های زهکشی و جمع‌آوری فاضلاب، ذیل تعریف این حوضه قرار می‌گیرد. از منظر طبیعی، این مجموعهٔ یگانه، بستر فعالیت زیست‌بوم به حساب می‌آید و مدیریت صحیح این سامانه بر محور آب، پایداری تمدّن بشر را در این کرهٔ خاکی تضمین خواهد کرد. توسعهٔ شهرسازی و جایگزین‌کردن تأثیر این پدیده بر روی رفتار حوضه‌های شهری را می‌توان به‌دلیل نسبت مستقیم رواناب با میزان نفوذناپذیری در موارد زیر خلاصه کرد:

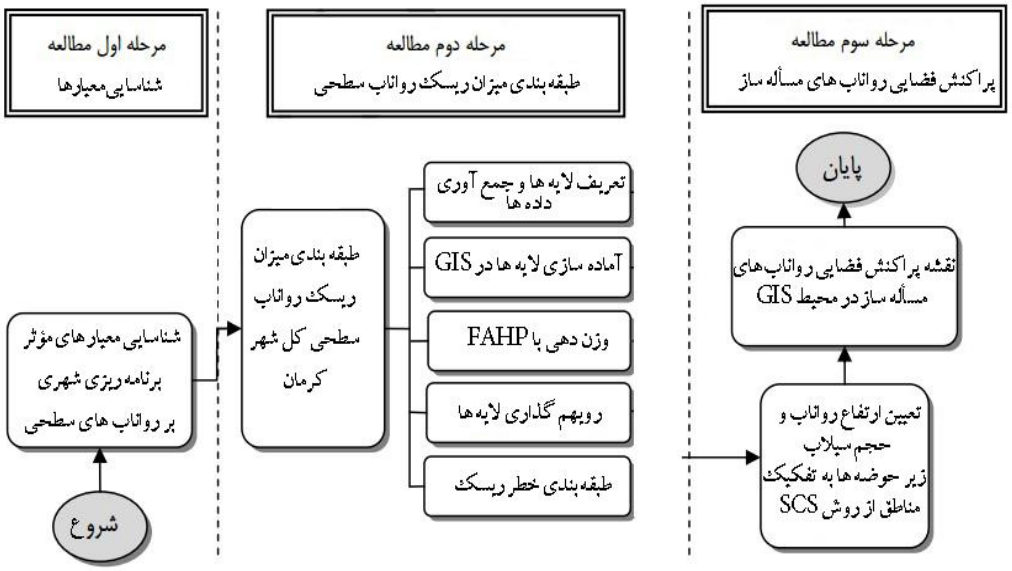
- ریسک افزایش سیلاب حوضه به‌دلیل تجمع ناگهانی جریان رواناب، کاهش حجم سفره‌های آب زیرزمینی.
- به خطر انداختن پایداری مجاری انتقال آب طبیعی نظیر نهرها و رودخانه‌ها با احداث پل‌ها، کالورت‌ها و یا پر کردن کامل آن‌ها.
- افزایش میزان رسوب ناشی از جابه‌جایی خاک و ریختن مواد شن و ماسه در خیابان‌ها.

از طرف دیگر گرمایش جهانی و تغییر اقلیم باعث شده سیکل یکنواخت هیدرولوژی جهانی تغییر یابد و درنتیجه در زمانی که انتظار بارندگی نمی‌رود، با وقوع بارش‌های خارج از حد نرمال، سیلاب‌های بحرانی به‌وجود آید. وقوع یک رویداد ناگهانی بارندگی می‌تواند سیستم‌های شهری را مختل کرده و هزینه‌های سنگینی را بر دوش مدیران بگذارد؛ بنابراین رواناب‌های ناشی از رگبارهای شدید، یکی از خطرات عمده در ایجاد اختلال نظم در حوضه‌های شهری به‌شمار می‌رود؛ به‌همین دلیل لازم است که درک صحیحی از رفتار این حوضه‌ها و رواناب‌های به‌وجودآمده در آن‌ها داشت. برای رسیدن به این منظور لازم است از مدل‌سازی این حوضه‌ها به‌منظور طراحی درست شبکه‌ها استفاده کرد. این مدل‌ها وسیلهٔ مناسبی برای شناخت رفتار حوضهٔ آبخیز در هنگام وقوع بارندگی است (اسکیلر و همکاران، ۱۹۸۷).

- مدل مفهومی پژوهش

همان‌طور که در روش‌شناسی تشریح شد، برای انتخاب مدل لازم است تا با توجه به وضعیت قلمرو پژوهش و توانایی‌هایی که مدل مناسب بایستی داشته باشد، مدل مدنظر را برای تحلیل اطلاعات انتخاب کرد. مهم‌ترین معیارهایی که در محاسبات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی رواناب شهری بایستی درنظر داشت، نوع محاسبات، آمار و ارقام موردنیاز و شرایط منطقه است. پس از مطالعهٔ مدل‌های فوق در زمینه‌های آبخیزداری شهری و رواناب‌های شهری، مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) برای تخمین عمق رواناب که مبتنی‌بر روش شمارهٔ منحنی است، انتخاب شد. هدف این روش، تعیین شمارهٔ منحنی رواناب حوضهٔ آبریز است که می‌تواند پتانسیل رواناب را مشخص کند. براساس این انتخاب، مدل مفهومی پژوهش به شرح شکل (۳) تبیین شد.

1 - Urban Catchment



شکل ۳. مدل مفهومی پژوهش

(دیاگرام تهیهٔ نقشهٔ ریسک رواناب در سطح شهر کرمان)

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

یافته‌های تحقیق

ازنظر پژوهش‌های انجام‌شده و نیز دیدگاه خبرگان داخلی، مهم‌ترین معیارها (شاخص‌های) برنامه‌ریزی شهری مؤثر بر رواناب‌های سطحی شهر کرمان در قالب جدول (۳) اکتشاف شد.

جدول ۳. نتایج آنالیز پرسشنامه برای تعیین معیارهای مؤثر برنامه‌ریزی شهری بر رواناب سطحی

معیارها	زیرمعیارها	فراوانی نظرات خبرگان (درصد)		
		کم	متوسط	زیاد
عوامل جوّی	۱- مدت بارش	۲۲/۴	۲۶	۵۰/۳
	۲- زمان بارش	۹/۱	۲۱/۷	۵۶/۷
	۳- شدت بارش	۱۳/۲	۲۴/۲	۶۱/۳
	۴- میزان بارش	۲۳	۲۰/۳	۵۵/۴
عوامل زمینی	۱- شیب طبیعی شهر	۱۵	۲۴/۲	۵۹/۵
	۲- توپوگرافی منطقه	۱۶/۴	۲۱/۶	۴۸/۲
	۳- میزان نفوذپذیری خاک	۱۱/۸	۲۹/۶	۵۷/۲
عوامل انسانی	۱- شکل فیزیکی شهر	۱۹/۱	۲۸/۸	۵۰/۸
	۲- شکل فیزیکی آبراهه‌ها	۱۲/۴	۱۰/۹	۶۵/۵
	۳- عرض خیابان‌ها	۱۲/۴	۲۰/۹	۵۵/۵
	۴- وجود یا نبود شبکهٔ زه‌کشی سطحی	۱۰/۹	۲۰/۹	۶۶/۸
	۵- پوشش اراضی شهری (فضاهای ساخته‌شده و ساخته‌نشده)	۱۳	۲۱/۶	۶۰/۸

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

- وزن‌دهی معیارها با استفاده از روش AHPFuzzy

جدول (۴) اعداد فازی را به‌همراه وزن‌های نهایی استخراج‌شده از نرم‌افزار مَتلب نشان می‌دهد.

طبق محاسبات جدول‌های (۵) تا (۷)، معیارهای (شاخص‌های) برنامه‌ریزی شهری مؤثر بر رواناب پس از فهرست‌شدن و غربال‌گری، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. نتایج وزن‌دهی معیارها نشان داد، درجهٔ اهمیت وزن شاخص‌های اصلی برنامه‌ریزی شهری مؤثر بر رواناب سطحی شهر کرمان به‌ترتیب عبارت است از: عوامل زمینی با وزن ۰/۴۱۱ به‌عنوان مهم‌ترین عامل، عوامل انسانی با وزن ۰/۳۲۸ و عوامل جوّی با وزن ۰/۲۶۱ (جدول ۴). درجهٔ اهمیت وزن زیرمعیارهای عوامل جوّی مؤثر بر رواناب سطحی شهر کرمان به‌ترتیب عبارت است از: میزان بارش با وزن ۰/۲۷۲، شدت بارش با وزن ۰/۲۵۶، مدت بارش با وزن ۰/۴۲۱ و زمان بارش با وزن ۰/۲۳۱ (جدول ۸)؛ همچنین، درجهٔ اهمیت وزن زیرمعیارهای عوامل زمینی مؤثر بر رواناب سطحی برای شهر کرمان به‌ترتیب عبارت است از: میزان نفوذپذیری خاک با وزن ۰/۴۳۲ به‌عنوان مهم‌ترین عامل، شیب طبیعی شهر با وزن ۰/۳۵۴ و توپوگرافی منطقه با وزن ۰/۲۱۴ (جدول ۶).

درجهٔ اهمیت وزن زیرمعیارهای عوامل انسانی مؤثر بر رواناب سطحی برای شهر کرمان به‌ترتیب عبارت است از: پوشش اراضی شهری با وزن ۰/۲۴۵ به‌عنوان مهم‌ترین عامل، شکل فیزیکی آبراهه‌ها با وزن ۰/۲۳۱، وجود یا نبود شبکهٔ زه‌کشی سطحی با وزن ۰/۲۱۱، عرض خیابان‌ها با وزن ۰/۱۷۸ و شکل فیزیکی شهر با وزن ۰/۱۳۵ (جدول ۷).

جدول ۴. ماتریس اعداد فازی عوامل اصلی به‌همراه وزن آن‌ها

معیارها	عوامل جوّی	عوامل زمینی	عوامل انسانی	وزن نهایی
عوامل جوّی	(۱، ۱، ۱)	(۳، ۱، ۱)	(۷، ۵، ۳)	۰/۲۶۱
عوامل زمینی	(۱/۳، ۱،۱)	(۱، ۱، ۱)	(۷، ۵، ۳)	۰/۴۱۱
عوامل انسانی	(۱/۷، ۱/۱،۵/۳)	(۱/۷، ۱/۱،۵/۳)	(۱، ۱، ۱)	۰/۳۲۸

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

جدول ۵. ماتریس اعداد فازی عوامل جوّی به‌همراه وزن آن‌ها

پارامتر	مدت بارش	زمان بارش	شدت بارش	میزان بارش	وزن
مدت بارش	(۱، ۱، ۱)	(۱/۵، ۱/۱،۳)	(۱/۷، ۱/۱،۵/۳)	(۱/۹، ۱/۱،۹/۷)	۰/۲۴۱
زمان بارش	(۵، ۳، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱/۵، ۱/۱،۳)	(۱/۷، ۱/۱،۵/۳)	۰/۲۳۱
شدت بارش	(۷، ۵، ۳)	(۵، ۳، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱/۵، ۱/۱،۳)	۰/۲۵۶
میزان بارش	(۹، ۹، ۷)	(۷، ۵، ۳)	(۵، ۳، ۱)	(۱، ۱، ۱)	۰/۲۷۲

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

جدول ۶. ماتریس اعداد فازی عوامل زمینی به‌همراه وزن آن‌ها

پارامتر	شیب طبیعی شهر	توپوگرافی شهر	میزان نفوذ پذیری خاک	وزن
شیب طبیعی شهر	(۱، ۱، ۱)	(۵، ۳، ۱)	(۷، ۵، ۳)	۰/۳۵۴
توپوگرافی شهر	(۱/۵، ۱/۱،۳)	(۱، ۱، ۱)	(۵، ۳، ۱)	۰/۲۱۴
میزان نفوذپذیری خاک	(۱/۷، ۱/۱،۵/۳)	(۱/۵، ۱/۱،۳)	(۱، ۱، ۱)	۰/۴۳۲

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

جدول ۷. ماتریس اعداد فازی عوامل انسانی به‌همراه وزن آن‌ها

معیارها	شکل شهر	شکل آبراهه‌ها	عرض خیابان‌ها	شبکه زه‌کشی	پوشش اراضی	وزن نهایی
شکل شهر	(۱، ۱، ۱)	(۳، ۱، ۱)	(۵، ۳، ۱)	(۹، ۷، ۵)	(۷، ۵، ۳)	۰/۱۳۵
شکل آبراهه‌ها	(۱/۳، ۱،۱)	(۱، ۱، ۱)	(۳، ۱، ۱)	(۷، ۵، ۳)	(۵، ۳، ۱)	۰/۲۳۱
عرض خیابان‌ها	(۱/۵، ۱/۱،۳)	(۱/۳، ۱،۱)	(۱، ۱، ۱)	(۷، ۵، ۳)	(۵، ۳، ۱)	۰/۱۷۸
شبکهٔ زه‌کشی	(۱/۹، ۱/۱،۷/۵)	(۱/۷، ۱/۱،۵/۳)	(۱/۷، ۱/۱،۵/۳)	(۱، ۱، ۱)	(۱/۳، ۱،۱)	۰/۲۱۱
پوشش اراضی	(۱/۷، ۱/۱،۵/۳)	(۱/۵، ۱/۱،۳)	(۱/۵، ۱/۱،۳)	(۳، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)	۰/۲۴۵

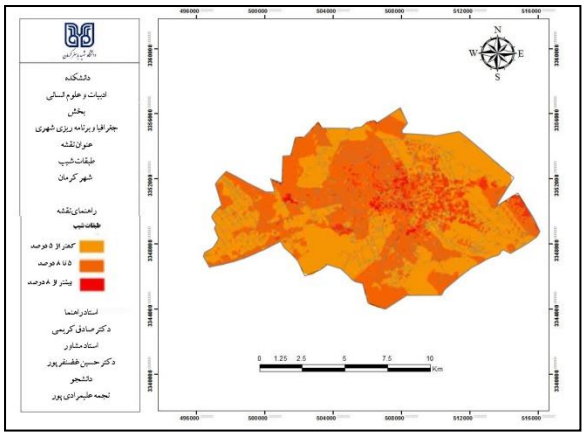
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

در گام بعدی، هر یک از لایه‌ها براساس وزن‌های به‌دست‌آمده از روش AHPFuzzy، در محیط ArcGIS پهنه‌بندی شد.

- جمع‌آوری، آماده‌سازی، پردازش و ساخت نقشهٔ معیارها

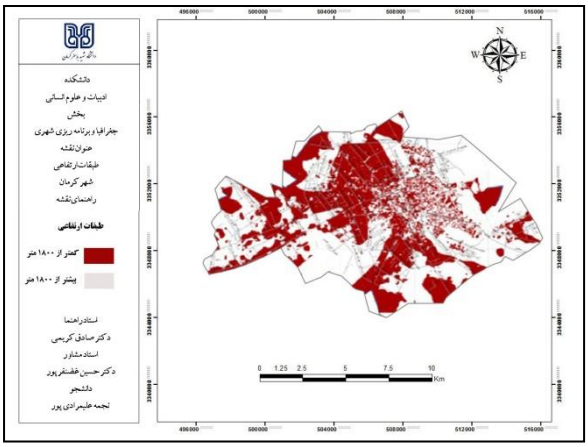
پس از مشخص‌شدن معیارهای مورداستفاده در فرایند پژوهش با توجه به موارد ذکرشده در مرحلهٔ قبل، اولین مرحله در طراحی یک سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، جمع‌آوری و آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی مربوط به عوارض و عوامل مربوط به هر معیار است تا بتوان براساس آن نقشه‌های معیار مربوط را ایجاد کرد. در این پژوهش تمامی لایه‌های اطلاعاتی عوامل و عوارض نقشه‌های معیار، براساس سیستم تصویر UTM زون ۴۰ شمالی و مبنای بیضوی WGS1984 زمین مرجع شد. بدین منظور در آغاز کار، مرز قلمرو پژوهش (شهر کرمان) براساس تقسیمات کشوری درنظر گرفته‌شد. با توجه به دردسترس‌بودن تصاویر Landsat 7 (با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر و ۳۰ متر) از این تصاویر برای بهنگام‌سازی برخی لایه‌های موردنیاز نقشه‌های ۱:۲۵,۰۰۰ استفاده شد.

با تعیین مجموعه‌ای از معیارها لازم است تا هر معیار به‌صورت یک لایهٔ نقشه در سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی نشان داده‌شود. از لایه‌هایی که معرف معیارهای برنامه‌ریزی شهری مؤثر بر رواناب سطحی هستند، با عنوان نقشه‌های معیار نام برده شده‌است. پس از مشخص‌شدن معیارها، نقشهٔ هرکدام از معیارها در محیط ArcGIS پردازش و آماده‌سازی شد (شکل‌های ۴ تا ۱۰).



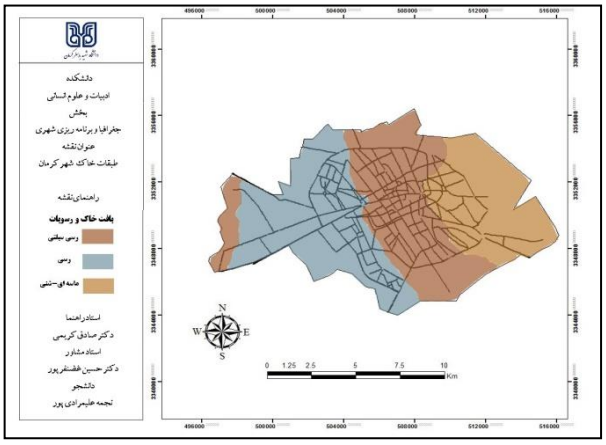
شکل ۴. نقشهٔ طبقات شیب شهر کرمان

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)



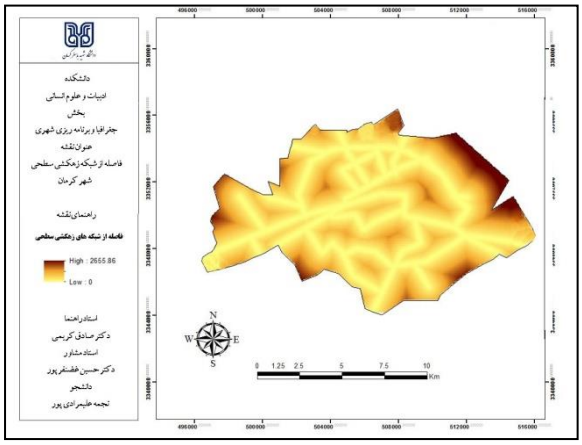
شکل ۵. نقشهٔ طبقات ارتفاع شهر کرمان

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)



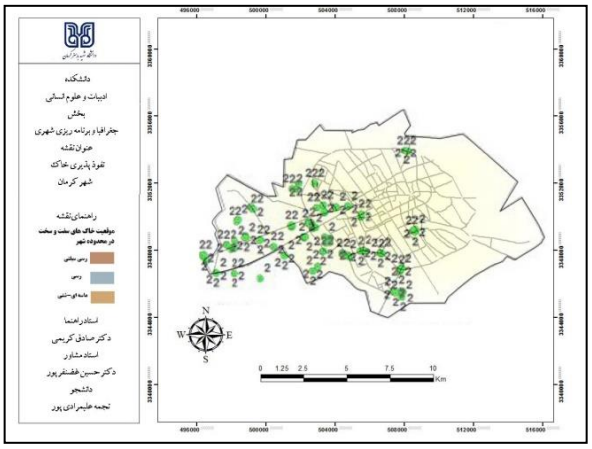
شکل ۶. نقشهٔ طبقات خاک در لایه‌های زیرین سطح شهر کرمان

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)



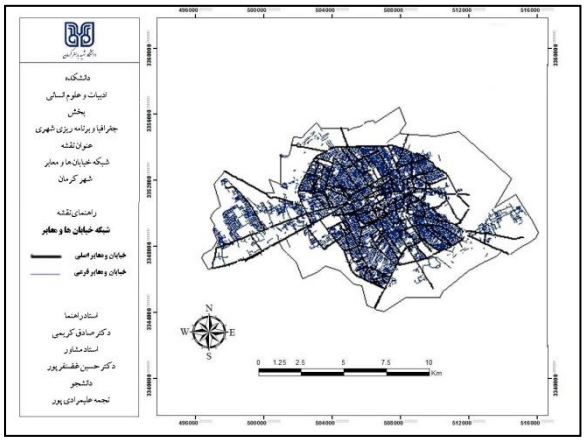
شکل ۹. نقشهٔ فاصله از شبکهٔ آبراهه‌ها و زه‌کشی شهر کرمان

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)



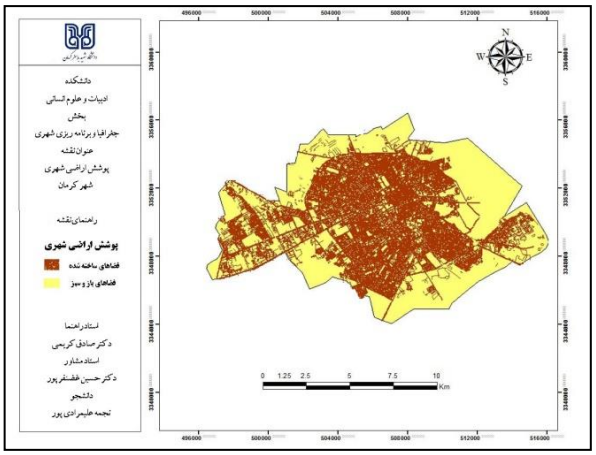
شکل ۷. نقشهٔ نفوذپذیری خاک شهر کرمان

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۱۰. نقشهٔ شبکهٔ خیابان‌های شهر کرمان

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۸. نقشهٔ شکل فیزیکی و پوشش اراضی شهر کرمان

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

- نتایج میزان ریسک رواناب سطحی شهر کرمان

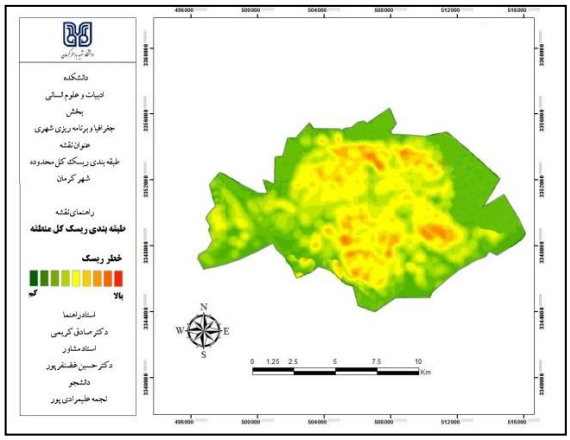
پس از آماده‌سازی و تهیهٔ لایه‌های اطلاعاتی از معیارهایی که قابلیت مکانی‌شدن به‌منظور نمایش پراکنش فضایی داشتند، لایه‌های اطلاعاتی به‌صورت رستری وارد محیط ArcGIS شد و تحلیل‌های ریسک اولیه بر روی آن‌ها انجام گرفت؛ سپس مقادیر پیکسل‌های مجموعه داده‌های رستری مرتبط با معیارهای ریسک سیلاب، استخراج و در پایگاه داده ذخیره شد. درنهایت با روی‌هم‌گذاری لایه‌ها در Raster Calculate و تأثیر وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها، نقشهٔ نهایی ریسک سیلاب ناشی از رواناب‌های سطحی شهر کرمان تهیه شد. در محاسبات Raster Calculate برای تعیین میزان ریسک، از کدهای- جدول (۸) استفاده شد:

جدول ۸. کدهای محاسباتی در ابزار Raster Calculate

لایه ها	توابع و کدها
Earth	[Slope]*0.354+[Topography]*0.214+[Soil]*0.432
Cilmate	[Du]*0.241+[Ti]*0.231+[Int]*0.256+[Mu]*0.272
Human	[Urban]*0.135+[Canal]*0.231+[Street]*0.178+[Drainage]*0.211+[Land use]*0.245
Risk	[Climate]*0.261+[Earth]*0.411+[Human]*0.328

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

در پنجرهٔ Raster Calculate در بخش Layer لایه‌های موجود در جدول (۱۱) نشان داده می‌شود. با استفاده از لایه‌های موردنظر روابط مذکور، نوشته و پیاده‌سازی شد و کلید Evaluate را زده و در مرحلهٔ سطوح ریسک با Classify طبقه بندی شد که نتایج در شکل (۱۱) آمده‌است.



شکل ۱۱. نقشهٔ طبقه‌بندی میزان ریسک رواناب در شهر کرمان

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۵)

همان‌طور که نقشهٔ نهایی به‌دست‌آمده (شکل ۱۱) نشان می‌دهد، بیشتر بخش‌های مرکزی مناطق چهارگانهٔ شهر کرمان که از تراکم پوشش‌های مصنوعی سطحی (آسفالت، سنگ‌فرش و...) بیشتری برخوردار است، ریسک رواناب بالاتری دارند (مناطق قرمز رنگ). به‌ترتیب مناطق زرد و سبز کم‌رنگ در مراتب بعدی ریسک برخوردار هستند. مناطق سبز پررنگ، شامل بخش‌هایی هستند که به دلایل مختلف، میزان نفوذپذیری رواناب در آن‌ها بیشتر است؛ بنابراین جزء مناطق کم‌خطر محسوب می‌شوند. بیشتر بخش‌های اخیر شامل حاشیهٔ نفوذپذیر شهر هستند.

نتیجه‌گیری

در شرایط بارندگی شدید با مسألهٔ آب‌گرفتگی معابر شهری بر اثر عدم‌کشش شبکهٔ انتقال آب‌های سطحی مواجه هستیم که در شرایطی می‌توان با تشخیص این نقاط و تصمیم‌گیری در زمینهٔ بهبود آن‌ها از زیان‌های ناشی از آن جلوگیری کرد.

نتایج بررسی معیارها (شاخص‌های) برنامه‌ریزی شهری مؤثر بر رواناب نشان داد، درجهٔ اهمیت وزن شاخص‌های اصلی برنامه‌ریزی شهری مؤثر بر رواناب سطحی شهر کرمان به‌ترتیب عبارت است از: عوامل زمینی با وزن ۰/۴۱۱ به‌عنوان مهم‌ترین عامل، عوامل انسانی با وزن ۰/۳۲۸ و عوامل جوّی با وزن ۰/۲۶۱ (جدول ۷).

از طرفی، پراکنش فضایی ریسک رواناب در نقشهٔ خروجی نشان داد، در بخش‌های مرکزی شهر و نقاطی که تمرکز سطوح نفوذناپذیر بیشتر است، وضعیت ریسک رواناب بسیار بالاتر است. علت این مسأله، تمرکز سطوح بیشتر نفوذناپذیر در این بخش از شهر است که شامل سطح آسفالت، موزائیک یا بتن‌شدهٔ خیابان‌ها، معابر، کوچه‌ها، پشت‌بام‌ها و حیاط منازل است که با شروع بارندگی به‌سرعت منجر به تولید جریان سطحی و رواناب می‌شود.

با توجه به اهمیت عوامل زمینی در بالابردن درصد ریسک‌پذیری بخش‌های مرکزی شهر کرمان ازنظر خطرپذیری و آسیب‌پذیری ناشی از رواناب، برای مهار پیامدهای منفی این مسأله، لازم است اقدامات سازمان‌یافته‌ای درجهت احیای چرخهٔ طبیعی آب در این بخش از حوضهٔ آبخیز شهر صورت پذیرد. تقلید از چرخهٔ آب شهر و فرایند احیای شرایط طبیعی در عمل به مفهوم آن است که عوامل مؤثر در تشدید حجم و اوج رواناب‌ها مهار و کنترل شود و از آلودگی محیط زیست به‌وسیلهٔ رواناب‌های شهری جلوگیری به‌عمل آید. رویکرد نوین به مدیریت رواناب‌های سطحی شهرها درجهت احیای مصنوعی چرخهٔ طبیعی آب در شهر عمل می‌کند؛ یعنی می‌کوشد حجم و اوج آب‌دهی رواناب‌ها و میزان آلودگی در آب‌های جاری ناشی از بارندگی در سطح شهر به حد و میزانی که پیش از توسعهٔ نواحی شهری در اراضی بایر پیرامون شهر قدیم وجود داشت، کاهش یابد. برخی از کشورها در این خصوص حتی فراتر رفته و سهم شرایط طبیعی پیش از توسعهٔ شهر را مشخص کرده و آن را به‌صورت یک سلسله از اهداف کمّی طرح‌های مدیریت رواناب‌های سطحی اعلام کرده‌اند. انتخاب و کاربرد روش‌های مدرن مدیریت رواناب و استفادهٔ مجدد از رواناب سطحی تابعی از عوامل زیر است:

شرایط اقلیمی، میزان فشار بر منابع آب موجود و نیاز به تأمین آب بیشتر در منطقه و در محدودهٔ طرح، وضعیت طرح موجود نظام شهری (شهرسازی، تراکم جمعیت و تراکم ساخت‌وسازها)، امکان ترکیب روش‌های منتخب پیشنهادی، میزان پذیرش اجتماعی و فرهنگی طرح‌ها از سوی مردم، دولت و دستگاه قانون‌گذار، نیاز به بهبود شرایط زیست‌محیطی، هزینه‌ها و پارامترهای اقتصادی طرح‌ها و بالأخره قوانین و استانداردهای موجود در زمینهٔ تأمین و مصرف آب و سیستم‌های دفع پسماندها و مواد زائد.

منابع

اصغری‌مقدم، محمدرضا. (۱۳۷۸). جغرافیای طبیعی شهر ۲ (هیدرولوژی و سیل‌خیزی شهر). تهران: نشر مسعی.

بَزّی، خدارحم؛ اسماعیل‌زاده، علی؛ امیری، میثم؛ سنچولی، سعیده. (۱۳۸۹). نقش مدیریت کاربری اراضی در کاهش سیل‌گرفتگی (مطالعهٔ موردی: قوچان). تهران: اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری

خلیقی‌سیگاوردی، شهرام؛ ثقفیان، بهرام. (۱۳۸۴). بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر سیل‌خیزی با مدل NRCS (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز باراندوزچای در آذربایجان غربی). نشریهٔ محیط زیست طبیعی (مجلهٔ منابع طبیعی ایران) (دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران). شمارهٔ ۵۸. صص ۷۴۲-۷۳۳.

دهلوی، الناز. (۱۳۹۱). مدل به‌هم‌پیوستهٔ سیلاب‌های شهری با استفاده از RS و GIS. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد هیدرولیک، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

رادمهر، احمد. (۱۳۹۰). مدیریت بهینهٔ رواناب سطحی شهری با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ مکانی. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

رازدار، بابک؛ قویدل، آریامن؛ ذوقی، جواد. (۱۳۸۹). آثار و دلایل وقوع سیلاب‌های شهری. مجموعه مقالات کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری، پژوهشکدهٔ محیط زیست جهاد دانشگاهی تهران.

روستایی، شهرام؛ ذوقی، ایوب؛ شهابی، هیوا. (۱۳۸۷). کاربرد سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی در کنترل سیلاب‌های شهری (مطالعهٔ موردی: بخش شمالی استان تهران). زابل: اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل.

سردشتی، ماهرخ؛ سلطانی، شکور. (۱۳۸۹). نقش مدیریت سیلاب در توسعهٔ پایدار شهرها. تهران: اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری.

عبدالهی، مجید. (۱۳۸۴). مدیریت بحران در نواحی شهری. تهران: انتشارات سازمان شهرداری‌های کشور.

عرب‌خدری، محمود. (۱۳۷۴). برآورد سیلاب‌های سطحی با استفاده از ویژگی‌های حوضه‌آبخیز. کرمان: مجموعهٔ مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب.

علیـزاده، امـین (۱۳۸۳). اصـول هیـدرولوژی کـاربردی، چـاپ هفدهم، مشهد: مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی.

قهرودی تالی، منیـژه. (۱۳۸۸). کـاربرد مـدل یکپارچـهٔ سـیلاب شهری در کلان‌شهرها (مطالعهٔ موردی: شـمال‌شـرق تهـران). دوفصلنامهٔ پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری (دانشگاه پیام نور)، پیش‌شمارهٔ پاییز و زمستان، صص ۱۷۸-۱۶۷.

کاویان‌پور، محمدرضا؛ مختارپور، اکبـر؛ طـاهری، اکـرم (۱۳۸۹). بررسی تأثیرات توسعهٔ سـاخت‌وسـاز شـهر تهـران بـر روانـاب شهری تهران. اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری.

لگزیان، رضـا؛ حجـی‌پـور، مجیـد؛ (۱۳۹۰). آبخیـزداری شـهری رویکردی نوین در مدیریت رواناب بـرای دسـتیابی بـه توسـعهٔ پایدار شهری. اولین همایش سامانهٔ سطوح آبگیر باران.

مـافی، عـزت‌الله؛ مـرادی، غلامرضـا؛ حیـاتی، سـلمان. (۱۳۹۳). مدیریت و دفـع روانـاب‌هـای شـهری بـا اسـتفاده از سیسـتم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک River Tools (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ یـک شـهر اهـواز). مجلـهٔ جغرافیـا و توسـعهٔ ناحیـه‌ای (دانشگاه فردوسی مشهد)، سال ۱۲، شمارهٔ ۲۲، صص ۱۴-۱.

مرادی، میلاد؛ رهنما، محمدباقر؛ ثمره‌هاشمی، مرضـیه. (۱۳۹۴). ارزیابی تأثیر هیدرولوژیکی حوضهٔ شهری بـا اسـتفاده از مـدل SWMM (مطالعهٔ موردی: شهر کرمـان). سـومین کنفـرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب با رویکرد سیلاب‌های شهری.

یعقـوب‌زاده، مصـطفی؛ صـاحبدل، شـیرین؛ جعفـری رودسـری، مسعود. (۱۳۸۹). تعیین شمارهٔ منحنی رواناب حوضهٔ آبریز بـا استفاده از GIS و RS. همایش ملی ژئوماتیک.

Amutha, R., Porchelvan, P (2009). Estimation of surface runoff in Malattar Sub-watershed using SCSCN method, Photonirvachak. J. Indian Soc, Remote Sense, No.37: pp.291–304.

Bofu, Y (1998). Theoretical justifica-tion of SCS method for runoff estimation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. No.124 (6), pp.306-310.

Chen, Jian, A. Hill, Arleen, D. Urbano, Lensyl (2009) A GIS-based Model for Urban Flood Inundation. Journal of Hydrology, Vol. 373, pp. 184–192.

Congressman, Thomas., L, Ashley (1999). Issues and Options in Flood Hazards Management. Congress of the United States Office of Technology Assessment, Vol. 1, pp. 98.

Inci Tekeli, Y., Akguül, S., Dengiz, O., Aküzüm, T.,(2006). Estimation of flood discharge for small watershed using SCS curve number and geographic information system. River Basin Flood Management Journal, pp: 527-538.

Krikby, M.J., L.J, Bracken., J, Shannon (2005). The influence of rainfall distribution and morphological factors on runoff delivery from dry land catchments in SE Spain. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, No.62(2), pp.136-156.

Kumar, S., Ranta, M.J., Praveen, T.V, Kumar, V (2010). Analysis of the Run off for Watershed Using SCS-CN Method and Geographic Information Systems. International Journal of Engineering Science and Technology, No. 2, pp.3947-3954.

Nayak. R.T., Jaiswal, R.K (2003). Rainfall-Runoff modeling using satellite data and GIS for Bebas river in Madhta Pradesh. Journal-CV, pp: 47-50

Schueler, T.R (1987). Controling urban runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs. Publication NO.87703.Metropolitan washington council of governments.

Srangi, A., Singh, D.K., Singh, A.K. (2008) Evaluation of curve number and geomorphology-based models for surface runoff prediction from ungauged watersheds. Water Technology Centre, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India, Current Science, No.94, pp.12-25.

Zhan, X., Huang, M.L (2004). ArcCN-Runoff: an ArcGIS Tool for Generating Curve Number and Runoff Maps. Environmental Modelling & Software, Vol.19, No.10, pp.875-879.