



مرکز تحقیقات و آموزش تخصصی مهندسی عمران و محیط‌های شهری

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

ارزیابی کارایی شبکه و گره‌های زهکشی سطحی به منظور مهار رواناب شهری با استفاده از نرم افزار SWMM در غرب منطقه‌ی شش تهران

یزدان یاراحمدی^{۱*}، رضا قضاوی^۲، هدی قاسمیه^۳

۱ - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۲ - استاد دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۳ - دانشیار دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

شبیه‌سازی در آبخیزهای شهری با توجه به مشکلات مدیریت منابع آب از جمله سیلاب و مهار آلودگی اهمیت یافته‌اند. بنابراین، در سال‌های اخیر رویکرد مهندسان به سمت و سوی نرم‌افزارهای کامپیوتری برآورد و شبیه‌سازی رواناب است. تاکنون نرم‌افزارهای بارش-رواناب فراوانی با قابلیت‌ها و پیچیدگی‌های مختلفی برای پیش‌بینی سیلاب توسعه یافته و به کار برده شده‌اند. رویکرد این پژوهش شبیه‌سازی رواناب سطحی و مشخص کردن گره‌های سیل‌گیر و بحرانی تحت تأثیر تغییر اقلیم و تعیین کارایی شبکه‌ی زهکشی سطحی غرب منطقه شش شهرداری تهران است.

مواد و روش

این پژوهش شامل دو بخش آب‌شناسی و آب‌جریان (هیدرولیکی) است. در بخش آب‌شناسی پس از محاسبه‌ی زمان تمرکز، به منظور محاسبه‌ی شدت بارش طرح و برای تحلیل بارش‌های حداکثری برای تداوم‌های مختلف دوره‌ی پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰)، دوره‌ی آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۱) و آینده‌ی دور (۲۱۰۰-۲۰۵۱) و تهیه‌ی منحنی IDF در زمان و تداوم‌های مختلف براساس سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 از رابطه‌ی آبخضر-قهرمان استفاده شد. در بخش آب‌جریان ارزیابی شبکه‌ی زهکشی و گره‌های سیل‌گیر در بخش غربی منطقه‌ی شش شهرداری تهران در دوره‌ی پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم (۲۰۵۰-۲۰۲۱)، (۲۱۰۰-۲۰۵۱) در سناریوهای RCP 2.6

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Yazdan.yarahmadi@ut.ac.ir

استناد: یاراحمدی، ی.، قضاوی، ر.، قاسمیه، ه. ۱۴۰۲. ارزیابی کارایی شبکه و گره‌های زهکشی سطحی به منظور مهار رواناب شهری با استفاده از نرم‌افزار SWMM در غرب منطقه‌ی شش تهران. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۲): ۱۲۰-۱۰۴.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmrj.2022.359788.1489

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۳۹، تابستان ۱۴۰۲، صفحه‌های ۱۰۴ تا ۱۲۰.

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

© نویسندگان



و RCP8.5 برای دوره‌ی بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که اندازه‌های شدت بارش در تداوم‌های بارش و دوره‌های بازگشت مختلف هر سه سناریو در مقایسه با منحنی شدت-مدت فراوانی دوره‌ی پایه افزایش داشت. همچنین بیشترین شدت بارش در پایه‌ی زمانی کوتاه مدت افزایش یافت و با گذشت زمان از شدت بارش حداکثری کاسته شد. منحنی‌های IDF تحت تأثیر بارش‌های کوتاه مدت بود. نتایج به‌دست آمده از واسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی آینده‌ی در پنج رخداد بررسی‌شده‌ی بارش، بین داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده انطباق خوبی است. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را بر تغییر آینده‌ی اوج خروجی داشتند. نتایج ارزیابی گره‌های سیل‌گیر نشان داد تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره‌ی پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۲۱-۲۰۵۰) برای دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله به ترتیب ۷، ۱۰ و ۱۲ بود. تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره‌ی پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۵۱-۲۱۰۰) برای دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله نیز به ترتیب ۹، ۱۴ و ۱۷ بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که تعداد گره‌های سیل‌گیر آبخیز در دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله در مقایسه با دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله در هر دوره افزایش داشته است. در منطقه‌ی پژوهش با توجه به شناسایی گره‌های بحرانی می‌توان با اعمال روش‌های نوین مهار رواناب شهری مانند ایجاد سطوح نفوذپذیر، جوی‌باغچه، چاهک‌های جذبی، آبگیرها و حوضچه‌های ذخیره، رواناب را در منشأ مهار کرد تا اندازه‌ی حجم و آینده‌ی اوج در پایین دست کاهش یابد و احتمال رخداد آبگرفتگی و بالا‌زدگی به حداقل برسد. از آنجایی که درصد مناطق نفوذناپذیر در منطقه‌ی بررسی‌شده زیاد است از این رو توصیه می‌شود در مواقع بارندگی در محل گره‌های فوق بحرانی ابعاد کانال‌ها به‌منظور عبور سیلاب افزایش پیدا کند و توانایی هدایت رواناب بیش‌تری داشته باشد و اندازه‌ی آینده‌ی اوج رواناب کاهش یابد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، سناریو، صحت‌سنجی، واسنجی

مقدمه

نرم‌افزار SWMM ابزار قدرتمند محاسبه‌های لازم برای طراحی زهکشی شهری و مدیریت رواناب است. قدرت و سادگی کار با آن در تحلیل و مدیریت کمی و کیفی سیلاب در آبخیزهای شهری از ویژگی‌های این نرم‌افزار به‌شمار می‌آید (جیروناس و همکاران ۲۰۱۰). نرم‌افزارهای آبخیز، به‌طور فزاینده‌ای، در فرآیند تصمیم‌گیری و تحلیل مسائل کیفی و کمی آب کاربرد دارند. نرم‌افزارهای شبیه‌سازی نقش اصلی در اجرای موفقیت‌آمیز برنامه‌های مدیریت آبخیز دارند که با پیشنهاد راه‌های مناسب ارزیابی مشارکت نسبی منابع مختلف را به همراه دارند (احمدی ۲۰۱۲). پژوهش‌های متعددی در داخل و خارج از کشور در رابطه با برآورد رواناب در آبخیزهای شهری و شبیه‌سازی جریان و همچنین ارزیابی شبکه‌ی جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی انجام شده است. گوان و همکاران (۲۰۱۴)، در جنوب فنلاند در پژوهشی در آبخیز اسپو (منطقه‌ای روستایی که به سرعت به منطقه‌ی مسکونی تبدیل شده بود) اثر توسعه‌ی شهری بر رواناب را با نرم‌افزار SWMM

در کشورهای در حال توسعه مانند ایران تاکنون به‌رغم توجه زیاد به پدیده‌ی سیلاب در بخش‌های غیرشهری، توجه به این رخداد در شهرها سابقه‌ی طولانی ندارد. برنامه‌ریزی مهار سیلاب شهری به‌وسیله‌ی مؤسسه‌های دولتی و بدون مشارکت نهادهای خصوصی و مردم انجام‌شده است که عمدتاً هم هماهنگی مناسبی ندارند. این موضوع از جنبه‌های گوناگونی به پیشرفت و توسعه‌ی شهرها آسیب می‌رساند و روند رشد آن‌ها را به تأخیر می‌اندازد (تینگسانچلی ۲۰۱۲). شبیه‌سازی در آبخیزهای شهری با توجه به مشکلات مدیریت منابع آب از جمله سیلاب و مهار آلودگی اهمیت یافته‌اند. بنابراین در سال‌های اخیر، رویکرد مهندسان به سمت و سوی نرم‌افزارهای کامپیوتری برآورد و شبیه‌سازی رواناب است. تاکنون نرم‌افزارهای بارش-رواناب فراوانی با قابلیت‌ها و پیچیدگی‌های مختلفی برای پیش‌بینی سیلاب توسعه‌یافته و به‌کار برده شده‌اند. از جمله این نرم‌افزارها، می‌توان به MIDUSS، RISURSIM و STORM، ILLUDASS و SWMM اشاره کرد.

نرم‌افزار در شبیه‌سازی رواناب هر زیرآبخیز و تعیین نقاط حساس، استفاده از این مدل در مناطق شهری فاقد ایستگاه‌های آب‌سنجی مفید است. کبارفرد و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی در دو شهر استان تبریز ارزیابی نبودن قطعیت نرم‌افزار سیلاب شهری SWMM را با روش GLUE انجام دادند. با توجه به نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌ی رخداد‌های مشاهده‌شده، ۲۰٪ از کل خروجی‌ها و سری سنج‌های تولید شده به‌عنوان شبیه‌سازی‌های قابل قبول جدا شدند. براساس نتایج ارزیابی نمودارهای توزیع پسین، سنج‌های ورودی شامل درصد نفوذناپذیری و ضریب زبری سطح نفوذناپذیر به‌عنوان سنج‌های حساس و تأثیرگذار بر شبیه‌سازی نرم‌افزار شناخته شدند و دامنه‌ی بهینه‌ی سنج‌ها تعیین شد.

آرمان و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی در شهرستان ایزه اثر توسعه‌ی شهری بر تولید رواناب را با استفاده از نرم‌افزار SWMM بررسی کردند. نتایج نشان داد که آبدی شبیه‌سازی شده انطباق خوبی با مشاهده‌ی داشت (NS < 75/0، 2500/0RMSE =، 85/1 = BIAS). بر این اساس از نرم‌افزار مزبور برای پیش‌بینی خطر آبگرفتگی، طراحی و برآورد اندازه و هزینه‌ی زهکشی، مدیریت آبخیزهای شهری و اولویت‌بندی مناطق به‌منظور رفع مشکل آب‌گرفتگی می‌توان استفاده کرد. جمشیدی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی سنج‌های مدل کمی-کیفی رواناب شهر شوشتر را با استفاده از واسنجی نرم‌افزار SWMM تعیین کردند. نتایج نشان داد واسنجی دقیق نرم‌افزار، توانایی آن را در پیش‌بینی سنج‌های کمی و کیفی در بارش‌های آتی منطقه‌ی پژوهش افزایش داد و براساس نتایج، شبیه‌سازی ابزار قدرتمند بهبود مدیریت رواناب است. صادقی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی در منطقه‌ی دو تهران ارزیابی عملکرد هیدرولوژیکی و احتمال خسارت وضع موجود شبکه‌ی دفع آب‌های سطحی را با استفاده از نرم‌افزار آب-شناسی SWMM انجام دادند. نتایج نشان داد که اندازه‌ی آبدی سیلاب‌ها از روش استدلالی بسیار بیشتر از روش موج پویا است. اندازه‌ی آبدی اوج از روش روندیابی موج پویا برابر ۰/۳۸ مترمکعب بر ثانیه و از روش استدلالی ۰/۴۵ مترمکعب بر ثانیه به‌دست آمد. این اختلاف ناشی از ساختار دو روش بود. همچنین ارزیابی خسارت در منطقه‌ی پژوهش نشان داد که اندازه‌ی خسارت واردشده به ساختمان‌ها به مساحت ۲۳۰ هکتار برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ به‌ترتیب ۷۰، ۹۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ است و با روش موج پویا ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰ است. سوراو و همکاران

بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش سطوح نفوذناپذیر از ۱/۵ به ۳۷٪، منجر به افزایش آبدی اوج جریان شد و در موقعیت شهری نسبت به موقعیت روستایی، آبدی اوج در مدت زمان کوتاه‌تری پس از بارش اتفاق افتاد. یو و همکاران (۲۰۱۴) در چین از نرم‌افزار SWMM برای برآورد رواناب شهر جینان استفاده کردند. آن‌ها از ۱۴ رخداد برای اعتبارسنجی و بررسی کارایی نرم‌افزار استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که این نرم‌افزار قابلیت استفاده در شهرهای بزرگ را دارد. ویلوویت و همکاران (۲۰۱۶)، در دوبلین ایرلند، اثرهای تغییر اقلیم و سناریوهای برنامه‌ریزی اقتصادی در الگوهای رواناب شهری را بررسی کردند. آن‌ها الگوهای رواناب شهری سناریوهای جدید اقلیمی را با استفاده از نرم‌افزارهای پویا شبیه‌سازی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که اندازه‌ی رواناب شهری سالانه ۳٪ کاهش، رواناب ماهانه در زمستان ۳۰٪ افزایش و رواناب ماهانه در تابستان ۲۸٪ کاهش یافت. همچنین، رشد شهری سالانه ۱۵٪ اندازه‌ی رواناب را افزایش داد و ترکیب اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری زمین‌ها ممکن است سبب افزایش تولید رواناب سالانه بین ۲/۹ تا ۲۱٪ و افزایش رواناب ماهانه تا ۵۷٪ شود. عینلو و همکاران (۲۰۱۶) در شهر زنجان اثر توسعه‌ی شهری را بر اندازه‌ی حجم رواناب با استفاده از نرم‌افزار SWMM ارزیابی کردند. در این پژوهش نقشه‌ی کاربری زمین‌ها برای سال‌های ۱۹۵۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۲ با استفاده از سنجنده‌ی TM ماهواره‌ی لندست تهیه شد و با توجه به توسعه‌ی شهری حجم رواناب سال‌های مزبور را محاسبه کردند. نتایج نشان داد حجم رواناب در سال ۲۰۱۲ در مقایسه با سال ۱۹۵۵ به اندازه‌ی ۵۸/۶۹٪ و در مقایسه با سال ۲۰۰۰ به اندازه‌ی ۶۴/۴۵٪ افزایش یافته است.

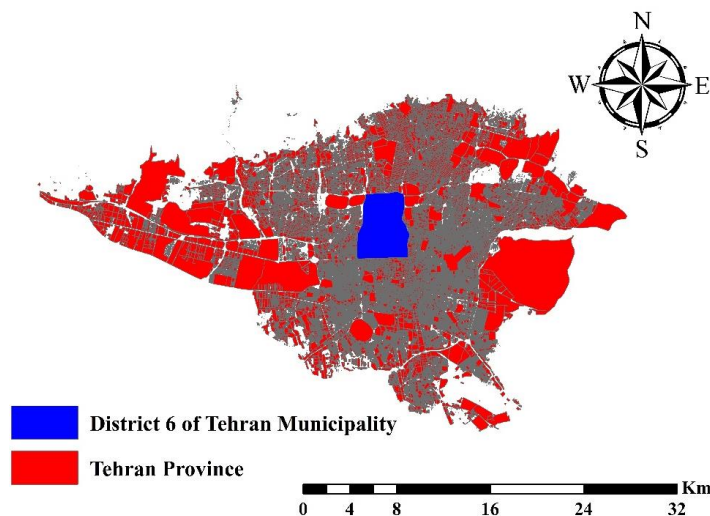
مرادی و دربندی (۲۰۱۷) سامانه‌ی رواناب شهری غرب شهر کرمان را از نظر کمی و کیفی بررسی کردند. هدف از این پژوهش تشخیص خطر آبگرفتگی سامانه‌های زهکشی شهری بود که با استفاده از نرم‌افزار SWMM و یک سامانه‌ی چند شاخصه تغییرهای مکانی خطر آبگرفتگی را محاسبه کردند. حیدرزاده و همکاران (۲۰۱۷) در شهر ساحلی بندرعباس ارزیابی و تحلیل حساسیت کمیت رواناب و سامانه‌ی زهکشی آبخیز شهری ساحلی را با استفاده از نرم‌افزار SWMM انجام دادند. یافته‌های به‌دست آمده از واسنجی نرم‌افزار (NS = ۰/۷۵ و R² = ۰/۸۳) نشان داد داده‌های مشاهده‌شده انطباق خوبی داشتند. نتایج اعتبارسنجی نشان داد (NS = ۰/۷۹ و R² = ۰/۹۲) نرم‌افزار مزبور برای این منطقه دقت زیادی داشت. با توجه به توانایی

تطبیقی به‌منظور سازگاری با پیامدهای ناشی از رواناب پیشنهاد داد.

مواد و روش‌ها منطقه‌ی پژوهش

منطقه‌ی پژوهش، قسمت غرب منطقه‌ی شش شهرداری تهران است. این منطقه با مساحت ۲۱/۵ کیلومتر مربع شامل ۳/۶۱٪ از مساحت کل شهر تهران است. منطقه‌ی شش از نظر موقعیت جغرافیایی در آبخیز مرکزی شهر تهران است که از سمت شمال به منطقه‌ی سه، از شرق به منطقه‌ی هفت و سه، از جنوب به منطقه‌های ۱۱ و ۱۲ و از غرب به منطقه‌ی دو محدود است (شکل ۱). براساس تقسیمات شهری، منطقه‌ی شش شهرداری تهران به شش ناحیه تقسیم‌بندی شده است. شیب عمومی منطقه از شمال به جنوب است. تغییر شیب در منطقه‌ی شش تهران به‌شکل یکنواخت نیست به‌طوری که شیب متوسط بخش‌های شمالی منطقه ۴/۷٪ و شیب متوسط بخش‌های جنوبی ۲/۳٪ است.

(۲۰۲۱) در پژوهشی حوادث سیلاب شهری را تحت تأثیر تغییر اقلیم و شهرنشینی پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد ذخیره‌سازی و استفاده از آب باران در مقیاس کوچک، رواناب و در نتیجه اندازه‌ی سیلاب شهری را ۲۰ تا ۳۵٪ کاهش داد. افزون‌براین، نیاز به استراتژی‌های مدیریتی مانند ارزیابی و به‌روزرسانی سامانه‌های زهکشی با روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر برجسته می‌شود. آبرگرفتنی در سطح خیابان‌ها و معابر عمومی و خسارت‌های ناشی از آن به‌خصوص تحت تأثیر تغییر اقلیم اهمیت دارد زیرا به تشدید رخداد سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف منجر می‌شود. بنابراین از آنجایی که پژوهشی در این زمینه در غرب منطقه‌ی شش تهران انجام‌نشده است، این پژوهش با رویکرد شبیه‌سازی رواناب سطحی و مشخص کردن گره‌های سیل‌گیر و بحرانی تحت تأثیر تغییر اقلیم و تعیین کارایی شبکه‌ی زهکشی سطحی غرب منطقه‌ی شش شهرداری تهران انجام می‌شود. شبیه‌سازی شرایط پس از رخداد تغییر اقلیم با در نظر گرفتن نبودن قطعیت‌ها سبب ایجاد دید کلی نسبت به وضعیت آبی منطقه خواهد شد و می‌توان این روش را در تصمیم‌های مدیریتی و راهبردهای



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی پژوهش.

Figure 1- Location of the Study Area.

نگهداری سامانه‌ی شدت آبدهی در دوره‌ی خشک، وضعیت تخلیه‌گاه‌ها، آمار و اطلاعات مربوط به بارندگی، آب‌نگارهای سیلاب‌ها و وضعیت کیفی جریان در سیلاب‌روهای مختلط است. نرم‌افزار مدیریت رواناب سطحی یک نرم‌افزار پویا شبیه‌سازی بارش-رواناب است و می‌توان برای یک رخداد و یا به‌شکل مداوم (تک رخداد و پیوسته)، کیفیت و کمیت رواناب را برای مناطق شهری شبیه‌سازی کرد و همچنین این نرم‌افزار برای پیشنهاد نتایج در آبخیز قابلیت ترکیب شدن با سایر نرم‌افزارها را دارد (سین و همکاران، ۲۰۱۴). از آنجایی

روش پژوهش مدل SWMM

نرم‌افزار ریاضی SWMM با مشارکت شرکت مهندسی متکالف و ادی و دانشگاه فلوریدا به سفارش سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده و به‌منظور شبیه‌سازی پدیده‌های کمی و کیفی مرتبط با سیلاب‌روهای مختلط، در سال‌های ۱۹۶۹ تا ۱۹۷۱ تهیه شد. داده‌های استفاده‌شده بسیار گسترده و شامل ویژگی‌های آبخیز و زیرآبخیزها، ویژگی‌های مربوط به سازه‌های سامانه، اطلاعات مربوط به

و تداوم‌های مختلف براساس سناریوهای RCP2.6 و RCP 8.5 از رابطه‌ی آبخیز- قهرمان استفاده شد. از آن جایی که رابطه‌ی (۳ و ۴)، ایران را به مناطق اقلیمی گوناگونی تقسیم کرده است و ایستگاه همدید مهرآباد در قسمت شمالی ایران است، از این رو شدت بارندگی دوره‌های بازگشت مختلف از رابطه‌های ۳ و ۴ تبعیت می‌کند.

$$R_t^T = At^B[a_1 + a_2 \ln(T - a_3)]R_{60}^{10} \quad (3)$$

$$R_{60}^{10} = 9/99 + 0/212 (R_{1440}^2) \quad (4)$$

شدت بارش یک ساعته با دوره‌ی بازگشت R_{60}^{10} ساله، میانگین بیشینه‌ی بارش روزانه، t دوره‌ی زمانی مربوطه، T دوره‌ی بازگشت و A ، B ، a_1 ، a_2 و a_3 ضریب‌های ثابت معادله هستند (قهرمان و آبخیز ۲۰۰۴). در بخش آب‌جریان برای شبیه‌سازی رواناب سطحی لازم است تا یک سری سنج‌ها به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار وارد شود. این سنج‌ها شامل عرض زیرآبخیزها، مساحت، شیب، درصد نفوذناپذیری، ضریب زبری مانینگ، ذخیره‌ی سطحی، طول شبکه، گره‌ها و اطلاعات بارش است. براساس بازدید میدانی و نقشه‌ی کاربری زمین‌هایی که از شهرداری منطقه‌ی شش شهرداری گرفته‌شد، خصوصیت‌های شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی مانند طول آبرو، ضریب زبری، شکل مقطع، عرض کف، سطح مقطع و محل اتصال آبروها ثبت شد و برای هر زیرآبخیز به‌شکل دستی وارد نرم‌افزار شد. ویژگی‌های زیر آبخیز پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است. در این پژوهش با استفاده از معادله‌ی نفوذ هورتن اندازه‌ی نفوذ تعیین شد. سنج‌های معادله‌ی نفوذ هورتن با استفاده از اطلاعات نفوذپذیری خاک منطقه و راهنمای نرم‌افزار SWMM به‌دست آمد.

که این نرم‌افزار به‌طور گسترده‌ای در طراحی، تحلیل و برآورد هزینه‌ی احداث سامانه‌ی شبکه‌ی زهکشی در مناطق شهری به‌کار گرفته می‌شود، در این پژوهش نیز از نرم‌افزار آب‌شناسی- آب‌جریان با دو روش روندیابی موج پویا و روش استدلالی برای برآورد رواناب استفاده شده است. معادله‌های سنت‌ونانت به‌دست آمده از معادله‌های بقای جرم و مومنتم است که با کاربرد آنها شبیه‌سازی آب‌جریان در مجراهای روباز و لوله‌ها امکان‌پذیر است (رابطه ۱ و ۲).

(۱)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$+ \partial A \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f + gAH_l = 0 \quad (2)$$

x فاصله از ابتدای مجرا، A سطح مقطع جریان، Q آبدهی، t زمان شبیه‌سازی، H بار آبی در مجرا، S_f شیب اصطکاکی، H_l افت موضعی انرژی در واحد تعیین طول و g شتاب ثقل است.

مرز آبخیز و زیرآبخیزها با استفاده از نقشه‌های پستی‌بلندی ۱:۲۰۰۰، نقشه‌های شهری (شامل خیابان‌ها، بلوارها، فضای سبز)، بازدیدهای میدانی، شیب، الگوی حرکت آب و خروجی مربوط به هر زیرآبخیز و با بهره‌گیری از نرم‌افزار AutoCad رسم شد. این پژوهش به‌طور کلی شامل دو بخش آب‌شناسی و آب‌جریان است. در بخش آب‌شناسی برای مشخص کردن بارندگی، ابتدا باید زمان تمرکز مشخص شود، چون که شدیدترین سیلاب از بارانی ایجاد می‌شود که تداوم آن برابر زمان تمرکز آبخیز باشد. پس از محاسبه‌ی زمان تمرکز به‌منظور به‌دست آوردن شدت بارش طرح و برای تحلیل بارش‌های حداکثری برای تداوم‌های مختلف دوره‌ی پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰)، دوره‌ی آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۱) و دوره‌ی آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۵۱) و تهیه‌ی منحنی IDF در زمان

جدول ۱- ویژگی‌های زیرآبخیز پژوهش.

Table 1- Characteristics of the Studied Sub-Basin.

Stream Trending	Flow Unit	Number of Channels	Number of output Nodes	Number of Nodes	Penetration Model	The Number of Sub-Basins	Rain Gauge	Latitude	Longitude
DYNWAVE	CMS	1069	58	924	CN	975	1	39.55	53.58

مانینگ مناطق نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذپذیر، بلندی ذخیره‌ی مناطق نفوذناپذیر، بلندی ذخیره‌ی مناطق نفوذپذیر، شیب، عرض زیرآبخیز و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره‌ی سطحی

تحلیل حساسیت مدل

برای تحلیل حساسیت مدل مانند روش استفاده‌شده‌ی مصطفی‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) از بین سنج‌ها هشت سنج شامل درصد زمین‌های نفوذناپذیر، ضریب زبری

با اندازه‌گیری پنج رخداد بارش و رواناب همانند آن در تاریخ‌های مختلف (۲۰۲۰/۱۰/۹، ۲۰۲۰/۱۲/۳، ۲۰۲۰/۱۲/۷، ۲۰۲۰/۱۲/۲۴ و ۲۰۲۰/۱۲/۲۴) انجام شد. برای واسنجی مدل سه رخداد و برای صحت‌سنجی مدل دو رخداد انتخاب شد. به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل از هشت سنجه‌ی مهم استفاده شد که اندازه‌های اولیه‌ی سنجه‌های مهم برای واسنجی نرم‌افزار SWMM در جدول ۲ نشان داده شده است.

انتخاب شد. آبدهی اوج سیلاب که موثرترین سنجه‌ی برآورد سیلاب است به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. با توجه به همگن بودن منطقه‌ی پژوهش، برای به‌حداقل رساندن زمان واسنجی و بالا بردن دقت، اندازه‌ی سنجه‌های تمام زیرآب‌خیزها، به یک اندازه در نظر گرفته شد و به اندازه‌ی اولیه، به اندازه‌ی ثابت افزوده و یا از آن کسر شد (تمپرانو و همکاران ۲۰۰۶).

واسنجی و صحت‌سنجی

در این پژوهش واسنجی و صحت‌سنجی نرم‌افزار

جدول ۲- اندازه‌های اولیه و سنجه‌های مهم برای واسنجی نرم‌افزار SWMM.

Table 2- Initial Values and Important Metrics for SWMM Software Calibration.

Calibration Parameters	Initial Values	Scale of Changes	Maximum Values
Percentage of impervious areas	-	±30	-
Slope (%)	-	±30	-
Equivalent width (meters)	-	±30	-
N – Impermeable	0.013	0.011 – 0.033	0.018
N – permeable	0.05	0.02 – 0.08	0.2
Storage height of impervious areas (mm)	1.778	0.3 – 2.5	2
Storage height of permeable areas (mm)	3.81	2.5 – 5.1	1.4
Percentage of impervious areas without surface storage	16	5 - 20	18

β نسبت میانگین اندازه‌های شبیه‌سازی به میانگین اندازه‌های اندازه‌گیری شده است. بهترین اندازه‌ی معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا عدد یک است که نشان‌دهنده‌ی تطابق کامل آب‌نگارها است (کلینگ و همکاران ۲۰۱۲). اندازه‌ی NS ممکن است مثبت یا منفی باشد و در بهترین شرایط اندازه‌ی آن برابر یک خواهد بود. کوچک‌ترین اندازه‌ی قابل قبول NS ۰/۵ است و هرچه اندازه‌ی NS نزدیک به یک شود نشان‌دهنده‌ی دقت بیشتر شبیه‌سازی است (سانتهی و همکاران ۲۰۰۱). هم‌چنین هرچه اندازه‌ی مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) کوچک‌تر باشد تفاوت داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده کمتر و دقت پیش‌بینی نرم‌افزار بیشتر خواهد بود. BIAS خطای کل در حجم جریان است و اندازه‌های مثبت و منفی این ضریب نشان‌دهنده‌ی بیشتر یا کمتر بودن متوسط حجم جریان شبیه‌سازی شده به‌وسیله‌ی نرم‌افزار در مقایسه با جریان مشاهده‌شده است (دونغوان و همکاران ۲۰۰۹).

تغییر اقلیم

ارزیابی شبکه‌ی زهکشی منطقه‌ی پژوهش تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده انجام شد. در این راستا داده‌های اقلیمی با استفاده از نرم‌افزار گردش عمومی جو HadGEM-ES از سری نرم‌افزار CMIP5 و براساس سناریوی جدید منتشرشده RCP2.6 و RCP8.5، با استفاده از نرم‌افزار ریزمقیاس‌نمایی آماری

شاخص‌های ارزیابی کارایی نرم‌افزار SWMM

از رایج‌ترین رابطه‌های ریاضی که برای ارزیابی کارایی نرم‌افزارها در اکثر پژوهش‌های آب‌شناسی شهری استفاده می‌شود عامل‌های ضریب ناش‌ساکلیف (رابطه‌ی ۷)، مجذور میانگین مربعات خطا (رابطه‌ی ۸)، بایاس (رابطه‌ی ۹) و معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا (رابطه‌ی ۱۰) است. در این پژوهش از چهار معیار مزبور برای بررسی صحت واسنجی و صحت‌سنجی نرم‌افزار استفاده شد (دونغوان و همکاران ۲۰۰۹، کلینگ و همکاران ۲۰۱۲).

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{av})^2} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2} \quad (8)$$

$$BIAS\% = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}} \quad (9)$$

$$KGE = \sqrt{(r - 1)^2 + (a - 1)^2 + (\beta - 1)^2} \quad (10)$$

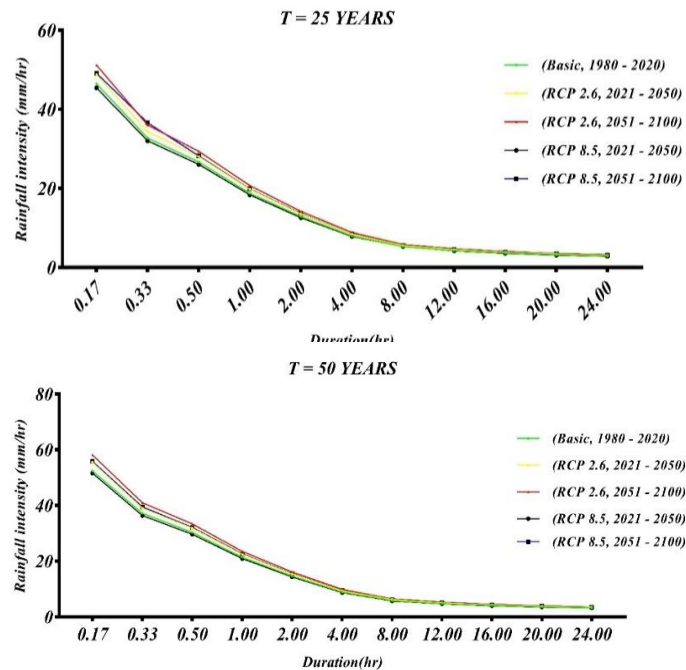
Q_{sim} آبدهی شبیه‌سازی شده، Q_{obs} آبدهی مشاهده‌شده در زمان Q_{av} ، i میانگین آبدهی مشاهده‌شده، n تعداد داده‌ها، r ضریب همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده، a نسبت انحراف معیار اندازه‌های شبیه‌سازی به انحراف معیار اندازه‌های اندازه‌گیری شده،

درهمه‌ی تداوم‌های بارش و دوره‌ی بازگشت‌های مزبور در سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به منحنی IDF دوره‌ی پایه، روند افزایشی داشت و فقط برای دوره‌ی آینده‌ی نزدیک ۲۰۲۱-۲۰۵۰ براساس سناریوی RCP 8.5 نسبت به دوره‌ی پایه روند کاهشی مشاهده شد. بنابراین نتایج بررسی منحنی‌های IDF نشان داد که بارش‌ها با تداوم کوتاه مدت شدت زیادی داشتند و خطر ایجاد سیل در آبخیز را افزایش داد. یعنی هرچه تداوم رگبار کم‌تر باشد اثر دوره‌ی بازگشت محسوس‌تر است. این اتفاق سبب می‌شود فاصله‌ی منحنی‌های IDF در نزدیکی مبدأ زیاد باشد و به تدریج با افزایش تداوم بارندگی فاصله‌ی منحنی‌ها کاهش یابد. بنابراین منحنی‌های IDF تحت تأثیر بارش‌های کوتاه مدت بودند.

LARS-WG پیش‌بینی شد. نتایج به‌دست آمده از پیش‌بینی به‌عنوان داده‌های ورودی نرم‌افزار SWMM استفاده شد.

نتایج و بحث

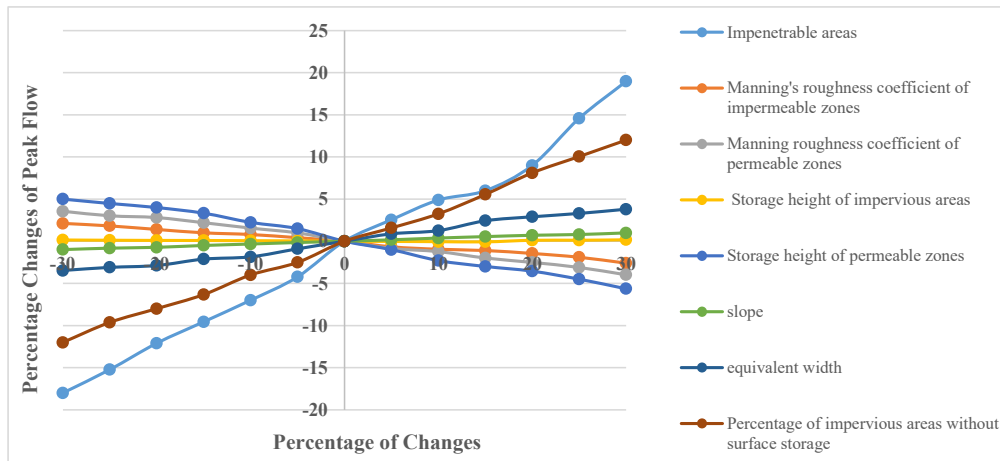
در این پژوهش برای تحلیل بارش‌های حداکثری در تداوم‌های مختلف و تهیه‌ی منحنی IDF از رابطه‌ی قهرمان-آبخیز استفاده شد. در این راستا دوره‌ی پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰)، تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده‌ی نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و آینده‌ی دور (۲۰۵۱-۲۱۰۰) براساس سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 برای دوره‌ی بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله به‌کار برده شد. منحنی IDF به‌دست آمده برای سه دوره‌ی مزبور در شکل ۲ نشان‌داده شده است. براساس نتایج به‌دست آمده، اندازه‌های شدت بارش



شکل ۲- منحنی IDF دوره‌ی پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰)، دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و دوره‌ی آینده‌ی دور (۲۰۵۱-۲۱۰۰).
Figure 2- The IDF Curve for the Base Period (1980-2020) and the Near Future Period (2021-2050) and the Far Future (2051-2100).

و تأثیر آن‌ها بر آبدهی اوج خروجی تعیین شد و سرانجام موثرترین سنجه مشخص شد. نتایج نشان داد که از بین سنجه‌ها، درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را بر تغییر آبدهی اوج خروجی نرم‌افزار داشت و به‌عنوان حساس‌ترین متغیر شناخته شد. بعد از آن سنجه‌ی درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره‌ی سطحی بیش‌ترین تأثیر را بر تغییر آبدهی اوج خروجی داشتند (شکل ۳).

در این پژوهش برای تعیین سنجه‌های اثرگذار بر خروجی‌های نرم‌افزار SWMM از روش تحلیل حساسیت جزئی یعنی تأثیر هر سنجه به‌شکل جداگانه با ثابت نگه‌داشتن سایر سنجه‌ها استفاده شد. دامنه‌ی تغییرات قابل قبول هر یک از سنجه‌ها در جدول ۲ آورده شده است. تغییر اندازه بر سنجه‌ها به‌روش تحلیل حساسیت جزئی اعمال شد و مدل اجرا و نتایج ثبت شد



شکل ۳- درصد تغییر سنجه‌های مؤثر بر آبدهی اوج .

Figure 3- The Percentage of Changes of Parameters Affecting the Peak Irrigation in Terms of Percentage.

۰/۶۹ به‌دست آمد. هم‌چنین اندازه‌های کلینگ - گوپتا (KGE) در مرحله‌ی واسنجی رویداد اول، دوم و سوم به ترتیب ۰/۷۴، ۰/۷۰ و ۰/۷۹ با میانگین ۰/۷۴ به‌دست آمد. این ضریب در مرحله‌ی اعتبارسنجی دو رویداد اندازه‌گیری شده به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۶۹ با میانگین ۰/۷۲ به‌دست آمد. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی نشان داد برای شبیه‌سازی رواناب سطحی، نرم‌افزار SWMM دقت لازم را دارد و می‌توان از این نرم‌افزار در طراحی شبکه‌ی زهکشی و مدیریت رواناب شهری منطقه‌ی پژوهش استفاده کرد که با نتایج بدیع‌زادگان و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد.

نتایج واسنجی و اعتبارسنجی نرم‌افزار SWMM نشان داد در شبکه‌ی زهکشی منطقه بین داده‌های مشاهده‌شده و اندازه‌گیری شده تطابق مناسبی است. به‌منظور ارزیابی کارایی نرم‌افزار در مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی از چهار شاخص ناش-ساتکلیف، مجذور میانگین مربعات خطا، خطای کل در حجم جریان و معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا استفاده شد. اندازه‌های این سه شاخص در جدول ۳ آورده شده است. اندازه‌ی ضریب ناش-ساتکلیف (NS) در مرحله‌ی واسنجی رویداد اول، دوم و سوم به ترتیب ۰/۷۴، ۰/۷۳ و ۰/۶۹ با میانگین ۰/۷۲ به‌دست آمد. این ضریب در مرحله‌ی اعتبارسنجی دو رویداد اندازه‌گیری شده به ترتیب ۰/۷۰ و ۰/۶۸ با میانگین

جدول ۳- اندازه‌ی شاخص‌های کارایی در دوره‌ی واسنجی و صحت سنجی نرم‌افزار SWMM.

Table 3- Values of Performance Indicators in the Calibration and Validation Period of SWMM Software.

Rain Event	Level	NS	RMSE	BIAS	KGE
2020. 10. 9	Calibrate	0.74	1. 66	6.21	0.74
2020. 12. 3	Calibrate	0.73	1. 58	8.88	0.70
2020. 12. 6	Calibrate	0.69	1. 54	11.02	0.79
2020. 12. 7	Validate	0.70	1. 51	10.86	0.75
2020.12. 24	Validate	0.68	1. 70	8.96	0.69

(۲۰۲۱-۲۰۵۰) برای دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله به ترتیب ۷، ۱۰ و ۱۲ است (شکل‌های ۵ تا ۹). تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره‌ی پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۵۱-۲۱۰۰) برای دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله به ترتیب ۹، ۱۴ و ۱۷ است. نتایج این پژوهش نشان داد که تعداد گره‌های سیل‌گیر آبخیز در دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله در مقایسه با دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله افزایش داشته است. نتایج نشان داد هم در دوره‌ی پایه و هم تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره‌ی بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله گره‌های سیل‌گیر وضعیت فوق بحرانی دارند اما دیگر گره‌ها و مجراهای شبکه‌ی زهکشی آبخیز وضعیت مطلوبی دارند (جدول‌های ۴ تا ۶).

گره‌های سیل‌گیر آبخیز

برای دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله در دوره‌ی پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم (۲۰۵۰-۲۰۲۱) و براساس سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 نرم‌افزار SWMM اجرا شد و در هر کدام از دوره‌های بازگشت، عملکرد اتصال‌ها، گره‌ها و مجراهای شبکه‌ی زهکشی ارزیابی شد. روندیابی سیل در مجراهای زهکشی با روش موج پویا انجام شد. نتایج نشان داد در دوره‌ی پایه و هم براساس سناریوهای اقلیمی، گره‌های سیل‌گیر در منطقه بودند، به‌طوری‌که تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره‌ی پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5

جدول ۴- وضعیت گره‌های سیل‌گیر فوق بحرانی در دوره‌ی پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰).
Table 4- The Status of Super-Critical Flooding Nodes in the Base Period (1980-2020).

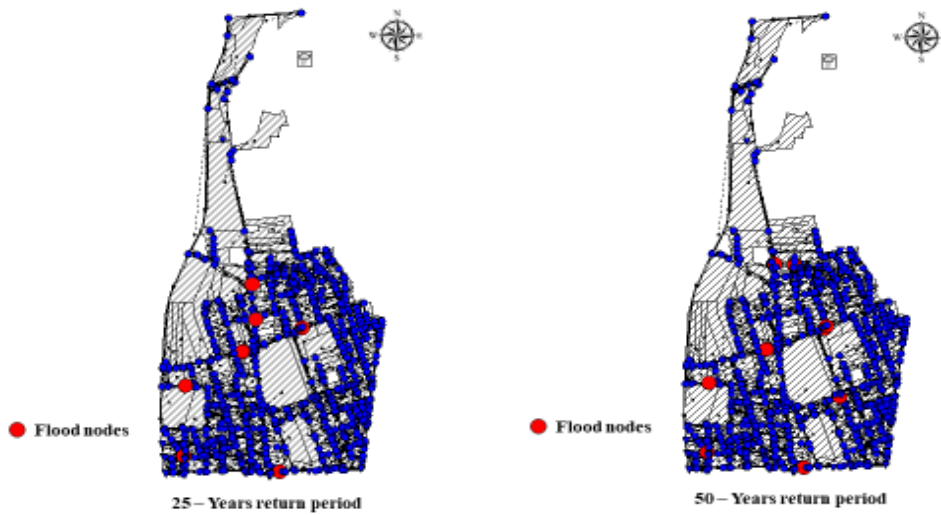
Supercritical Flooding nodes	Maximum Flow Rate (CMS)	Duration of Maximum Flooding (min)	Maximum Flow rate (CMS)	Duration of Maximum Flooding (min)		
					return period	
					25 years old	50 years old
NC06-2243	0.385	29	0.411	30		
NC06-2293	0.444	28	0.498	28		
NC06-7062	0.412	30	0.499	29		
NC06-7112	0.206	22	0.248	25		
NC06-2869	0.178	24	0.202	27		
NC06-2908	0.196	27	0.215	28		
NC06-2936	0.221	28	0.301	31		
NC06-4946	0.367	29	0.405	33		
NC06-4430	0.355	32	0.424	33		
NC06-4563	0.294	34	0.395	35		

جدول ۵- وضعیت گره‌های سیل‌گیر فوق بحرانی تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP 2.6.
Table 5- The status of Super-Critical Flooding Nodes under the Influence of Climate Change in the RCP 2.6 Scenario.

Supercritical Flooding Nodes	Near Future Period (2021-2050)				Far Future Period (2051-2100)						
	RCP 2.6		RCP 2.6		RCP 2.6		RCP 2.6				
	Maximum Flow Rate (CMS)	Duration of Maximum Flooding (min)	Maximum Flow Rate (CMS)	Duration of Maximum Flooding (min)	Maximum Flow Rate (CMS)	Duration of Maximum Flooding (min)	Maximum Flow Rate (CMS)	Duration of Maximum Flooding (min)			
return period											
25 years old			50 years old			25 years old			50 years old		
NC06-2243	0.421	30	0.465	31	0.498	30	0.502	29			
NC06-2293	0.402	22	0.451	22	0.464	28	0.498	25			
NC06-7062	0.457	23	0.497	24	0.495	27	0.542	27			
NC06-7112	0.382	25	0.412	26	0.420	22	0.439	30			
NC06-2869	0.252	26	0.289	30	0.295	24	0.325	31			
NC06-2908	0.199	26	0.205	32	0.222	30	0.254	28			
NC06-2936	0.181	28	0.209	29	0.230	29	0.247	30			
NC06-4946	0.101	30	0.121	30	0.154	31	0.184	28			
NC06-4430	0.154	31	0.174	32	0.185	31	0.192	32			
NC06-4563	0.173	33	0.198	29	0.199	27	0.202	29			

جدول ۶- وضعیت گره‌های سیل‌گیر فوق بحرانی تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP 8.5.
Table 6- The status of Super-Critical Flooding Nodes under the Influence of Climate Change in the RCP 8.5 Scenario.

Supercritical Flooding Nodes	Near Future Period (2021-2050)				Far Future Period (2051-2100)						
	RCP 8.5		RCP 8.5		RCP 8.5		RCP 8.5				
	Maximum Flow Rate (CMS)	Duration of Maximum Flooding (min)	Maximum Flow Rate (CMS)	Duration of Maximum Flooding (min)	Maximum Flow Rate (CMS)	Duration of Maximum Flooding (min)	Maximum Flow Rate (CMS)	Duration of Maximum Flooding (min)			
return period											
25 years old			50 years old			25 years old			50 years old		
NC06-2243	0.399	29	0.412	29	0.425	26	0.444	29			
NC06-2293	0.410	26	0.422	27	0.455	25	0.471	26			
NC06-7062	0.425	28	0.454	25	0.462	29	0.478	29			
NC06-7112	0.429	30	0.444	26	0.478	26	0.490	31			
NC06-2869	0.320	32	0.362	29	0.377	27	0.386	32			
NC06-2908	0.201	24	0.221	30	0.236	29	0.245	25			
NC06-2936	0.200	25	0.218	28	0.220	30	0.233	24			
NC06-4946	0.182	22	0.201	23	0.209	33	0.219	29			
NC06-4430	0.172	29	0.198	30	0.200	33	0.210	33			
NC06-4563	0.155	33	0.184	31	0.195	30	0.222	28			



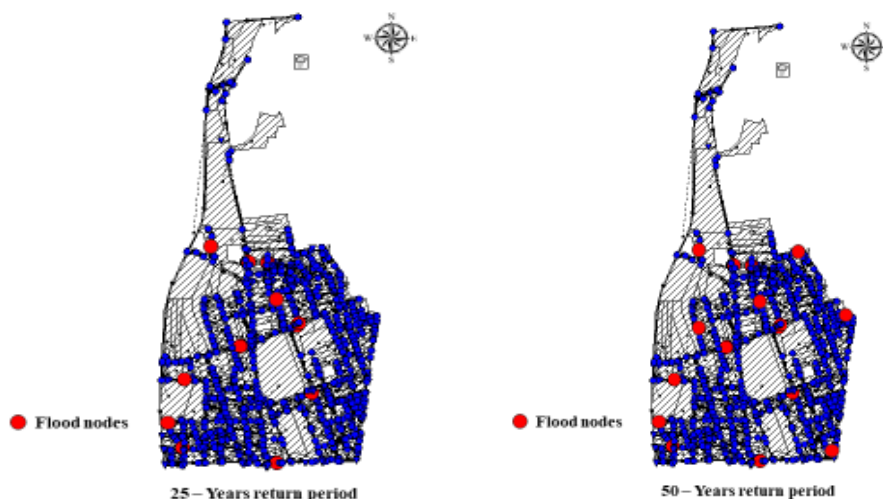
شکل ۵- گره‌های سیل‌گیر در دوره‌ی پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰).
Figure 5- Flooding Nodes of the Base Period (1980-2020).



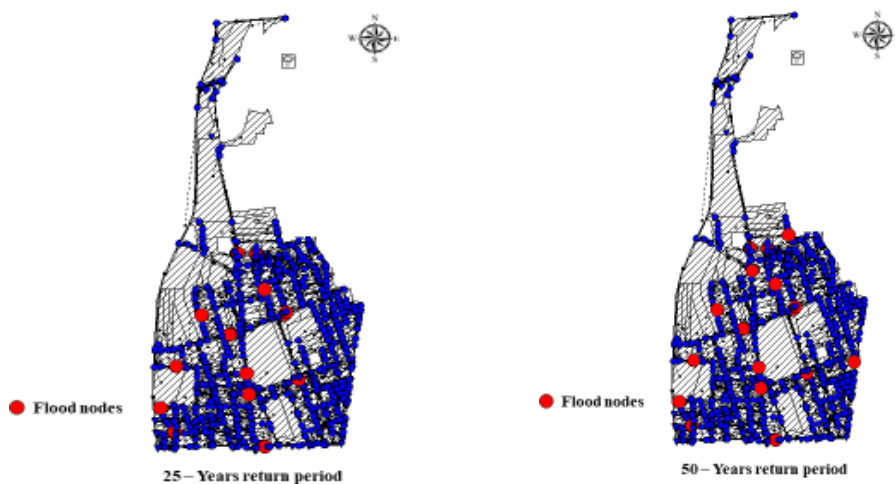
شکل ۶- گره‌های سیل‌گیر دوره‌ی آینده‌ی نزدیک سناریوی RCP 2.6 (۲۰۲۱-۲۰۵۰).
Figure 6 - Flooding Nodes in the near Future of the RCP 2.6 Scenario (2021-2050).



شکل ۷- گره‌های سیل‌گیر دوره‌ی آینده‌ی دور سناریوی RCP 2.6 (۲۰۵۱-۲۱۰۰).
Figure 7 - Flooding Nodes in the far Future of the RCP 2.6 Scenario (2051-2100).



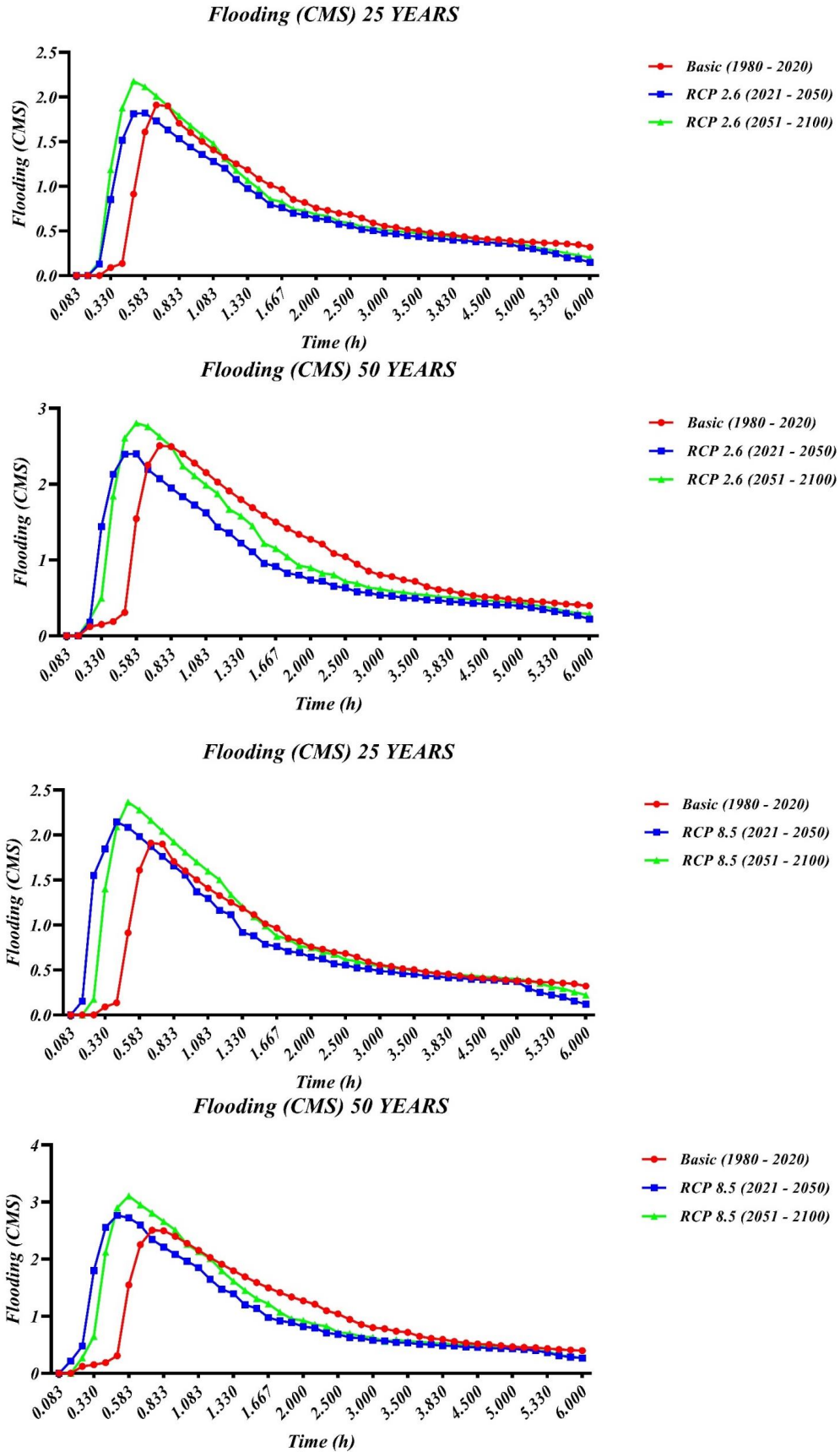
شکل ۸- گره‌های سیل‌گیر دوره‌ی آینده‌ی نزدیک سناریوی RCP 8.5 (۲۰۲۱-۲۰۵۰).
Figure 8 - Flooding Nodes in the near Future of the RCP 8.5 Scenario (2021-2050).



شکل ۹- گره‌های سیل‌گیر دوره‌ی آینده‌ی دور سناریوی RCP 8.5 (۲۰۵۱-۲۱۰۰).
Figure 9 - Flooding Nodes in the far Future of the RCP 8.5 Scenario (2051-2100).

منطقه در دوره‌های بازگشت مربوطه بیش‌تر بود، و باید کانال‌های سیل‌خیز با ابعاد مناسب طراحی شود. به‌عنوان مثال اندازه‌ی آبدهی اوج سناریوی RCP2.6 بعد از ۳۵ دقیقه بارش برای دوره‌ی پایه، دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و دوره‌ی آینده‌ی دور (۲۰۵۱-۲۱۰۰) با دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله به‌ترتیب ۱/۵۴۷، ۲/۴۰ و ۲/۸۰ و برای سناریوی RCP8.5 به‌ترتیب ۱/۵۴۷، ۲/۷۲۵ و ۳/۱۰۸ متر مکعب بر ثانیه به‌دست آمد. این یافته نشان‌دهنده‌ی این است که اندازه‌ی آبدهی اوج در سناریوی RCP 8.5 در مقایسه با دوره‌ی پایه و سناریوی RCP 2.6، ۱۵٪ افزایش داشت.

آب‌نگارهای سیل‌خیزی شبکه‌ی زهکشی
با استفاده از بارندگی طرح ۶ ساعته، اندازه‌ی زمان تمرکز ۱۵ دقیقه به‌دست آمد. برای دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله اقدام به تهیه آب‌نگارهای سیل‌خیزی شبکه زهکشی برای دوره پایه و تحت تأثیر تغییر اقلیم شد. آب‌نگارهای سیل‌خیزی شبکه‌ی زهکشی در دوره‌ی پایه و تحت تأثیر تغییر اقلیم در شکل ۱۰ نشان‌داده شده است. نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش دوره‌ی بازگشت، در دوره‌ی پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) و دوره‌ی تحت تأثیر تغییر اقلیم (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و (۲۰۵۱-۲۱۰۰) با سیل‌خیزی مجراهای زهکشی مواجه هستیم و مدت سیلابی‌بودن کانال‌های آبخیز افزایش می‌یابد. بنابراین، توان سیل‌خیزی



شکل ۱۰- آبنگارهای خروجی شبکه‌ی زهکشی در دوره‌ی پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و تغییر اقلیم (۲۰۲۱-۲۰۵۱)، (۲۰۵۱-۲۱۰۰)

براساس سناریوی RCP 2.6 و RCP 8.5

Figure 10- Drainage Network Output Hydrographs in the Base Period (1980-2020) and Climate Change (2021-2051), (2051-2100) under RCP 2.6 and RCP 8.5 scenarios.

نتیجه‌گیری

مدیریت رواناب شهری، کلیه اجزای سامانه‌ی زهکشی شهری مانند تأمین آب، فاضلاب و زهکشی را پوشش می‌دهد. رواناب‌ها ناشی از رخداد بارندگی دلیل اصلی سیلاب‌شهری است. بنابراین مدیران شهری باید بر مدیریت رواناب‌های شهری متمرکز شوند (براون و همکاران ۲۰۲۱). از این رو در طراحی شبکه‌ی زهکشی شهری، شبیه‌سازی رواناب شهری، پیش‌بینی سیلاب و برنامه‌ریزی به منظور مهار سیلاب به شکل گسترده‌ای از نرم‌افزار SWMM استفاده می‌شود. در این پژوهش ارزیابی شبکه‌ی زهکشی و گره‌های سیل‌گیر در بخش غربی منطقه‌ی شش شهرداری تهران در دوره‌ی پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم (۲۰۵۰-۲۰۲۱) و (۲۱۰۰-۲۰۵۱) در دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 برای دوره‌ی بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله انجام شد. برای تحلیل بارش‌های حداکثری در تداوم‌های مختلف و تهیه‌ی منحنی IDF از رابطه‌ی قهرمان-آبخضر استفاده شد. نتایج نشان داد که اندازه‌های شدت بارش در تداوم‌های بارش و دوره‌های بازگشت مختلف در هر سه سناریو در مقایسه با منحنی شدت-مدت فراوانی دوره‌ی پایه افزایش داشته است. هم‌چنین مشخص شد بیشترین شدت بارش در پایه‌ی زمانی کوتاه مدت افزایش یافت. با گذشت زمان از شدت بارش حداکثری کاسته شد. منحنی‌های IDF تحت تأثیر بارش‌های کوتاه مدت بودند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های حبیب‌نژاد و شکوهی (۲۰۱۹) و بختیاری و همکاران (۲۰۱۴) هماهنگی دارد. نتایج واسنجی مدل نشان داد که در شبیه‌سازی آینده‌ی پنج رخداد بررسی‌شده‌ی بارش، بین داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده انطباق خوبی است. به طوری که اندازه‌ی NS برای رخداد اول تا پنجم به ترتیب ۰/۷۴، ۰/۷۳، ۰/۶۹، ۰/۷۰ و ۰/۶۸ به دست آمد. هم‌چنین اندازه‌ی KGE نیز برای رخداد اول تا پنجم به ترتیب ۰/۷۴، ۰/۷۰، ۰/۷۹، ۰/۷۵ و ۰/۶۹ به دست آمد. این

نتایج نشان‌دهنده‌ی دقت نرم‌افزار SWMM برای شبیه‌سازی رواناب شهری است و می‌توان از این مدل برای طراحی شبکه‌ی زهکشی و مدیریت رواناب شهری استفاده کرد. این یافته با نتایج پژوهش‌های اروند و همکاران (۲۰۲۰) و کریمی و رشیدپور (۲۰۱۹) هماهنگی دارد. در منطقه‌ی پژوهش تحلیل حساسیت برخی از سنجه‌های مؤثر بر اندازه‌ی رواناب انجام شد و سرانجام مشخص شد سنجه‌ی درصد مناطق نفوذناپذیر بیش‌ترین تأثیر را بر تغییر آبدهی اوج خروجی نرم‌افزار داشته است و به‌عنوان حساس‌ترین متغیر شناخته شد. سنجه‌ی بعدی درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره‌ی سطحی که بیش‌ترین تأثیر را بر تغییر آبدهی اوج خروجی داشتند. نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار برای دوره‌ی پایه و تحت تأثیر تغییر اقلیم نشان داد که هم در دوره‌ی پایه و هم براساس سناریوهای اقلیمی، گره‌های سیل‌گیر و بالازدگی در منطقه وجود دارد، به طوری که به‌عنوان نمونه تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره‌ی پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۲۱-۲۰۵۰) برای دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله به ترتیب ۷، ۱۰ و ۱۲ به دست آمد. تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره‌ی پایه (۲۰۲۰-۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۵۱-۲۱۰۰) برای دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله نیز به ترتیب ۹، ۱۴ و ۱۷ به دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که تعداد گره‌های سیل‌گیر آبخیز در دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله در مقایسه با دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله افزایش داشته است. با توجه به شناسایی گره‌های بحرانی در منطقه‌ی پژوهش می‌توان با اعمال روش‌های نوین مهار رواناب شهری هم‌چون ایجاد سطوح نفوذپذیر و جوی‌باغچه، چاهک‌های جذبی و آبگیرها و حوضچه‌های ذخیره، رواناب را در منشا مهار کرد تا اندازه‌ی حجم و آبدهی اوج در پایین دست کاهش یابد و احتمال رخداد آبگرفتگی و بالازدگی به حداقل برسد.

فهرست منابع

- Ahmadi M. 2012. A multi criteria decision support system for watershed management under uncertain conditions, Ph.D. thesis, Colorado State University. 184 p.
- Arman N, Shahbazi A, Faraji M, Dehdari S. 2019. Effect of urban development on runoff generation by SWMM (Case study: Khuzestan Province, Izeh). *Watershed Engineering and Management*. 11(3): 750-758. (In Persian).
- Arvand S, Delghandi M, Ganji Z, Alipour A. 2020. Evaluation of storm water management Model (SWMM5. 0) in simulation of urban runoff (Case study: urban catchment of Neyshabur). *Irrigation and Water Engineering*. 10(3): 68-81. (In Persian).
- Bakhtiari B, Purmusavi S, Sayari N. 2014. Impact of climate change on intensity-duration-frequency curves of precipitation (Case study: Babolsar Station). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*. 8(4): 694-704. (In Persian).
- Badizadegan R, Khodashenas SR, Esmaili K. 2021. Calibration of swmm model in north catchment of Tehran. *Journal of Range and Watershed Management*. 73(4): 709-724. (In Persian).
- Browne S, Lintern A, Jamali B, Leitão JP, Bach P. M. 2021. Stormwater management impacts of small urbanising towns: The necessity of investigating the 'devil in the detail'. *Science of The Total Environment*. 757(14): 38-35.
- Dongquan Z, Jining C, Haozheng W, Qingyuan T, Shangbing C, Zheng S. 2009. GIS-based urban rainfall-runoff modeling using an automatic catchment-discretization approach (Case study: Macau). *Environmental Earth Sciences*. 59(2): 465-472.
- Einlo F, Malekian A, Ahadnejad M. 2016. Evaluation of urbanization effect on runoff volume by using Stormwater Management Model (Case Study: Zanjan City Watershed). *Iranian Journal Watershed Management Science*. 10(33): 37-46. (In Persian).
- Ghahraman B, Abkhezr H. 2004. Improvement in intensity-duration-frequency relationships of rainfall in Iran. *Journal of Water and Soil Science*. 8(2): 1-14. (In Persian)
- Gironas J, Roesner LA, Rossman LA, Dvis J. 2010. A new applications manual for the storm water management model (swmm). *Journal of Elsevier, Environmental modeling & software*. 25(6): 813-814.
- Habibnejad R, Shokoohi A. 2020. Evaluating intensity, duration and frequency of short duration rainfalls using a regional climate change Model (Case study: Tehran). *Iran Water Resources Research*. 15(4): 412-424. (In Persian).
- Heydarzadeh M, Nohegar A, Malekian A, Khurani A. 2017. Assessment and sensitivity analysis quantity of runoff and drainage system in coastal urban area (Case study: Bandar Abbas coastal city). *Journal of Water and Soil Conservation*. 24(3): 203-218. (In Persian).
- Jamshidi B, Tahmasebi Birgani Y, Jafarpour M, Alavi Bakhtiarvand N, Babaei AA, Haghghi A, Goudarzi G. 2020. Determining the parameters of quantitative-qualitative runoff model for Shushtar city using SWMM calibration. *Journal of Research in Environmental Health*. 6(3): 239-249. (In Persian).
- Karimi V, Rashidpour M. 2019. Evaluation of detention tanks for reducing urban flooding. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. 51(2): 197-204. (In Persian).
- Kling H, Fuchs M, Paulin M. 2012. Runoff conditions in the upper danube basin under an ensemble of climate change scenarios. *Journal of Hydrology*. 4(24): 264-277.
- Kobarfard M, Fazloulou R, Zarghami M, Akbarpour A. 2019. Assessment uncertainty of swmm urban flood model using GLUE meth-

- od (Case study: 2nd district municipality of Tabriz). *Iran-Water Resources Research*. 14(5): 103-117. (In Persian).
- Guan M, Sillanpää N, Koivusalo H. 2014. The response of runoff generation to urban development: modelling and understanding. In *EGU General Assembly Conference*. 6743 p.
- Moradi M, Darbandi S. 2017. Approach for appraising spate risks in urban drainage systems using stormwater management model. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 9(3): 276–291. (In Persian).
- Mostafazadeh R, Mirzaei S, Esmali A, Zabihi M. 2018. Sensitivity analysis of the flow hydrograph components due to changes in Clark's time-area model in Mohammad-Abad watershed, Gloestan Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 49(1): 91-99. (In Persian).
- Sadeghi S, Mohammad vali samani J, Mohammad vali saman H. 2020. Analyzing of hydraulic performance and possible damage to existing storm sewer networks tehran region 2 using swmm model. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. 14(50): 59-67. (In Persian).
- Santhi C, Arnold JG, Williams JR, Dugas WA, Srinivasan R, Hauck LM. 2001. Validation of the swat model on a large rwer basin with point and nonpoint sources 1. *Journal of the American Water Resources Association*. 37(5): 1169-1188.
- Sin J, Jun C, Zhu JH., Yoo C. 2014. Evaluation of flood runoff reduction effect of LID (low impact development) based on the decrease in CN (Case studies from Gimcheon Pyeonghwa district, Korea). *Procedia Engineering*. 70(1): 1531-1538.
- Saurav KC, Shrestha S, Ninsawat S, Chonwattana S. 2021. Predicting flood events in kathmandu metropolitan City under climate change and urbanisation. *Journal of Environmental Management*. 2(81): 111894 p.
- Temprano JO, Arango J, Cagiao J, Suarez I. 2006. Tejero. Storm water quality calibration by swmm (Case study: Northern Spain). *Water SA*. 32(1): 55-63.
- Tingsanchali, T. 2012. "Urban flood disaster management. *Procedia Engineering*. 32(1): 25-37.
- Willuweit L, O'Sullivan J, Shahumyan H. 2016. Simulating the effects of climate change, economic and urban planning scenarios on urban runoff patterns of a metropolitan region. *Urban Water Journal*. 13(8): 803-818.
- Yu H, Huang G. Wu C. 2014. Application of the storm water management model to a piedmont city: A case study of Jinan City, China. *Water Science & Technology*. 70(5): 858–864.



Evaluating the efficiency of the surface drainage network and nodes in order to contain urban runoff using SWMM software in the west of Tehran's Sixth District

Yazdan Yarahmadi^{*1}, Reza Ghazavi², Hoda Ghasemiyeh³

1- Ph.D., Student in Watershed Science and Engineering, Kashan University

2- Professor, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University

3- Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University

Extended Abstract

Introduction and Objective

Urban watersheds have become important due to the problems related to water resources management, including floods and pollution control. Therefore, the approach of engineers in recent years is toward computer software for estimating and simulating runoff. So far, many rainfall-runoff software with different capabilities and complexity have been developed and used for flood forecasting. The approach of the current research is to simulate the surface runoff and to identify the flood and critical nodes under the influence of climate change and to determine the efficiency of the surface drainage network in the west of six districts of Tehran municipality.

Materials and Methods

This research includes two parts of hydrology and water flow. In the hydrological department, after calculating the concentration time, in order to extract the rainfall intensity of the plan and to analyze the maximum rainfall for different durations of the base period (1980-2020), the near future period (2021-2050) and the far future (2051-2100) and preparing the IDF curve at different times and durations, based on the RCP2.6 and RCP8.5 scenarios, the Abkhezer-Qahraman method was used. In the water flow section, the assessment of the drainage network and flood control nodes in the

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: Yazdan.yarahmadi@ut.ac.ir

Citation: Yarahmadi, Y., Ghazavi, R., Ghasemiyeh, H. 2023. Evaluating the Efficiency of the Surface Drainage Network and Nodes in Order to Contain Urban Runoff Using the SWMM Model in West of Tehran's Sixth District. *Watershed Management Research*. 36(2):104-120.

DOI: 10.22092/wmrj.2022.359788.1489

Received: 24 June 2022, **Received in revised form:** 11 September 2022, **Accepted:** 21 September 2022,

Published online: 22 June 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No. 2, Ser. No: 139, Summer 2023, pp. 104-120.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)



western part of the six municipalities of Tehran in the base period (1980-2020) and under the influence of climate change (2021-2050), (2051-2100) in the RCP 2.6 and RCP8.5 scenarios for the period 25 and 50 year returns were made.

Results and Discussion

The results showed that the values of rainfall intensity in the duration of rainfall and different return periods in all three scenarios have increased compared to the frequency intensity curve of the base period, and the maximum rainfall intensity has increased in the short-term time base, and with the passage of time, the maximum rainfall intensity has decreased. and IDF curves are affected by short-term rainfall. The results of the model calibration showed that there is a good agreement between the observed and simulated data in the simulation of water runoff in the five investigated rainfall events. The results of the sensitivity analysis showed that the impervious areas have the greatest impact on the change of peak water discharge. The results of the evaluation of flood nodes showed that, for example, the number of flood nodes in the base period (1980-2020) and under the influence of climate change in the RCP2.6 and RCP8.5 scenarios (2021-2050) for the 25-year return period are 7, 10, and 12, respectively. The number of flood nodes in the base period (1980-2020) and under the influence of climate change scenario RCP2.6 and RCP8.5 (2051-2100) for the return period of 50 years are 9, 14 and 17, respectively.

Conclusion and Suggestions

The results of this research showed that the number of flood catchment nodes in the basin increased in the 25-year return period compared to the 50-year return period in each period. According to the identification of critical nodes in the research area, by applying modern methods of urban runoff control, such as creating permeable surfaces and gardens, absorption wells and reservoirs and storage ponds, the runoff can be controlled at the source to reduce the volume and peak water in the downstream, so that the probability of occurrence Minimize flooding and flooding.

Since the percentage of impervious areas in the study area is high, it is recommended to increase the dimensions of the channels in terms of the passage of flood during rains and to have the ability to direct more amount of runoff and reduce the amount of peak flow of runoff in the location of super critical nodes.

Keywords: Climate change, scenario, calibrate, validate