

ارزیابی عملکرد شبکه جمع‌آوری رواناب‌های شهری مناطق نیمه‌خشک تحت تأثیر تغییر اقلیم

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

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۲. استاد، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۳. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۲/۲۸؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۰۵/۲۸؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۹/۲۸)

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی عملکرد شبکه زهکشی و گره‌های سیل‌گیر در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم برای دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله در قسمت مرکزی منطقه ۶ تهران است. نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی مدل نشان از انطباق مناسب بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده را دارد، به طوری که مقدار ضریب (NS) در مرحله واسنجی برای رویداد اول تا سوم به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۷۲ و ۰/۶۴ و این ضریب در مرحله اعتبارسنجی برای دو رویداد به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۷۰ به دست آمد. پس از تأیید دقت مدل، ارزیابی شبکه زهکشی برای دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله صورت گرفت. نتایج نشان داد با افزایش دوره بازگشت در دوره پایه و آینده در برخی مجاری سیلاب‌رو و گره‌های شبکه زهکشی پرشدگی و سیلاب وجود دارد، طوری که تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۲۱-۲۰۵۰) برای دوره بازگشت ۲۵ ساله به ترتیب ۱۰، ۱۳ و ۱۵ است و تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۵۱-۲۱۰۰) برای دوره بازگشت ۵۰ ساله به ترتیب ۱۲، ۱۷ و ۱۹ است. افزایش ابعاد کانال‌ها و اجرای روش‌های (LID) یک راه‌حل عملیاتی برای رفع مشکل بالازدگی است.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، رواناب شهری، شبکه زهکشی، واسنجی.

مقدمه

با گسترش شهرنشینی و صنعتی شدن جوامع، سیلاب‌های شهری تشدید می‌شوند، زیرا درصد سطوح نفوذناپذیر افزایش می‌یابد و این امر موجب افزایش حجم رواناب می‌شود. به طور کلی، می‌توان گفت که از گسترده‌ترین اثرات توسعه شهری، تغییر در مقدار و شکل جریان حاصل از بارش است و در مقابل، مقدار نفوذ باران به سمت ذخیره عمقی کاهش و در نتیجه حجم و دبی اوج سیلاب افزایش می‌یابد [۷]. سیستم‌های جمع‌آوری و کنترل آب‌های سطحی ناشی از بارندگی از اجزای مهم برنامه‌ریزی و عمران مناطق شهری هستند و هرگونه سهل‌انگاری در طراحی صحیح آن‌ها می‌تواند برای جوامع شهری مشکل‌آفرین باشد. کاهش پیامدهای زیان بار سیلاب شهری معمولاً با برآورد دقیق رواناب شهری و انتخاب روش مناسب کنترل آن، طراحی صحیح و تأمین ظرفیت کافی شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی محقق می‌شود، به این منظور، لازم است میزان رواناب شهری به‌درستی برآورد شود [۹].

به منظور پیش‌بینی عملکرد هیدرولیکی کل سیستم زهکشی، نیاز به استفاده از روش‌های محاسباتی پیشرفته و مدل‌سازی‌های جدید و کارآمدتر وجود دارد. محققان طی سال‌های اخیر سعی داشته‌اند که رابطه هر چه دقیق‌تری بین بارش و رواناب ناشی از آن برقرار کنند. در همین راستا، مدل‌های هیدرولوژیکی مختلفی ارائه شده است. در این بین مدل SWMM یکی از مدل‌هایی است که دقت قابل قبولی دارد و طی چند سال اخیر بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است. بهرامی و همکاران (۱۳۹۶) به مدل‌سازی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی با استفاده از ابزارهای سلول نگهداشت ذخیره، شبکه باران، بام سبز، جوی باغچه و اعمال سناریوهای مختلف بارشی در دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله در شهر سنندج با استفاده از نرم‌افزار SWMM پرداختند. از مهم‌ترین نتایج این پژوهش می‌توان به تغییر شکل هیدروگراف، کاهش ۵۰ درصدی زمان تمرکز و کاهش ۳۵ تا ۵۰ درصدی دبی اوج سیلاب‌های منطقه با استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر در شهر سنندج اشاره کرد [۵].

Luan و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای در چین با استفاده از مدل SWMM و روش تصمیم‌گیری چندشاخصه TOPSIS، زیرساخت برخی از روش‌های LID در حوضه‌های شهری را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد

استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری می‌تواند کمک زیادی به تسریع در امور مدیریت رواناب سطحی کند [۱۲]. Jiang و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به شبیه‌سازی سیلاب شهر دونگوان در جنوب چین با کمک نرم‌افزار SWMM برای دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ سال پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد مدل SWMM برای پیش‌بینی سیلاب شهری مناسب است [۱۰]. میرعمادی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی میزان کاهش سیلاب در حوضه‌های شهری را در نتیجه اعمال روش‌های LID- BMPS با استفاده از مدل SWMM و انتخاب گزینه برتر با روش AHP-TOPSIS در منطقه شهرک گلستان سمنان ارزیابی کردند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد با استفاده از روش AHP- TOPSIS

بشکته‌های باران (استفاده از ۵۰ درصد سطح پشت‌بام)، با حدود ۸۱ درصد کاهش دبی پیک سیلاب برای دوره بازگشت طراحی ۵ سال و ۷۸ درصد کاهش دبی پیک سیلاب برای دوره بازگشت طراحی ۱۰ سال، رتبه نخست و اصلاح ابعاد کانال، آخرین رتبه را به خود اختصاص داده‌اند [۱۳]. طاعت‌پور و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای کانال‌های جمع‌آوری در حوضه شهری لیک در استان کهگیلویه و بویراحمد را با نرم‌افزار SWMM شبیه‌سازی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان‌دهنده عدم ظرفیت مجاری در انتقال رواناب برای دوره بازگشت‌های گوناگون و عملکرد مطلوب SWMM در مدل‌سازی دبی پیک و حجم سیلاب بود [۲۱].

ناصح‌پور و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به ارزیابی اثرات توسعه شهری بر رواناب با استفاده از مدل SWMM (مطالعه موردی: استان قم) پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد به منظور مدیریت بهینه رواناب در مناطق خشک باید اثرات میزان و موقعیت کاربری اراضی بر میزان رواناب شهری و همچنین، استفاده از ابزارهای ذخیره باران در این مناطق مد نظر قرار گیرد [۱۴]. Zhu و همکاران (۲۰۱۹) اثر بخشی روش‌های توسعه کم‌اثر را روی رواناب سطحی منطقه‌ای در چین بررسی کردند. در این مطالعه برای کالیبره کردن مدل از ۱۲ بارش اندازه‌گیری شده در مناطق مسکونی استفاده شد. آن‌ها برای دستیابی به شاخص‌های بهینه روش LID از روش PEST استفاده کردند. نتایج مطالعه یادشده نشان داد این روش می‌تواند استراتژی‌های مدیریت رواناب را بهینه‌سازی کند [۲۳]. Nicole و همکاران (۲۰۱۷) به برآورد رواناب

می‌شود، به نظر می‌رسد شهر تهران نیازمند بررسی پتانسیل موجود برای ارزیابی و ارتقای کارایی شبکه زهکشی موجود به منظور تخلیه رواناب شهری است. بنابراین، در این پژوهش بخشی از منطقه ۶ شهرداری تهران از نظر ظرفیت کانال زهکشی، گره‌های سیل‌گیر و تاب‌آوری در برابر سیلاب‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش

معرفی منطقه مطالعه شده

محدوده انجام مطالعات در پژوهش حاضر، محدوده منطقه ۶ شهرداری تهران است. این منطقه با مساحتی معادل ۲۱/۵ کیلومتر مربع حدود ۳/۶۱ درصد از سطح شهر را شامل می‌شود. منطقه ۶ به لحاظ موقعیت جغرافیایی در حوضه مرکزی شهر تهران واقع شده که از سمت شمال به منطقه ۳، از شرق به مناطق ۷ و ۳، از جنوب به مناطق ۱۱ و ۱۲ و از غرب به منطقه ۲ محدود می‌شود (شکل ۱). طبق تقسیمات شهری، منطقه ۶ شهرداری تهران به شش ناحیه تقسیم شده است. شیب عمومی منطقه از شمال به جنوب است. تغییرات شیب در منطقه ۶ تهران به صورت یکنواخت نیست، به طوری که نواحی شمالی منطقه دارای شیب متوسط برابر با ۴/۷ درصد و نواحی جنوبی دارای شیب متوسط ۲/۳ درصد است.

حاصل از رگبارها در شش زیرحوضه شهری واقع در حوضه دریاچه تاهو در ایالت کالیفرنیا پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد رواناب برآوردی برای پنج زیرحوضه با واقعیت منطبق است [۱۵]. بدیع‌زادگان و همکاران (۱۳۹۹) به واسنجی مدل SWMM در حوضه آبخیزی در شمال شهر تهران پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد عملکرد مدل SWMM در شبیه‌سازی رواناب‌های ناشی از بارندگی در این منطقه قابل قبول است و می‌تواند به جهت مدیریت و کنترل رواناب‌های شهری مورد استفاده قرار گیرد [۳]. امیدی ارجنکی و همکاران (۱۳۹۹) به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های بحرانی با استفاده از مدل SWMM و روش TOPSIS در شهرکرد پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی کفایت لازم را برای عبور رواناب سطحی در دوره بازگشت‌های مختلف را ندارد و مقایسه نتایج مدل SWMM و روش TOPSIS نیز نشان از تطابق ۸۰ درصدی در انتخاب زیرحوضه‌های بحرانی دارد. بنابراین، استفاده از الگوریتم‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای مانند روش TOPSIS می‌تواند دقت مدل SWMM را در انتخاب و اولویت‌بندی زیرحوضه‌های بحرانی افزایش دهد [۱].

از آنجا که سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی هنوز به عنوان مسئله مهمی در طراحی بافت شهری در نظر گرفته نشده و مسائل ناشی از آن به‌وضوح در سطح شهرها دیده



شکل ۱. منطقه مطالعه شده

روش تحقیق

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

که R_{60}^{10} شدت بارش یک‌ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله، R_{1440}^2 میانگین بیشینه بارش روزانه، t دوره زمانی مد نظر، T دوره بازگشت و A, B, a_1, a_2, a_3 ضرایب ثابت معادله هستند. در بخش هیدرولیکی، داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی کمی شبکه زهکشی آب‌های سطحی که در این پژوهش استفاده شده، عبارت از مشخصات فیزیوگرافی منطقه مورد مطالعه نظیر شیب، مساحت، نفوذپذیری، کاربری اراضی، طول شبکه و گره‌ها و اطلاعات بارش و هیدرولوژیکی است. با بهره‌گیری از نرم‌افزار Auto Cad و براساس توپوگرافی منطقه، وضعیت آبراهه‌ها و خیابان اصلی شهر حوضه‌بندی شده است. بر اساس بازدید میدانی و نقشه‌های موجود، خصوصیات شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی مانند طول آبرو، ضریب زبری، شکل مقطع، عرض کف و سطح مقطع و محل اتصال آبروها برداشت شد (جدول ۱). در نهایت، به منظور بررسی کارایی شبکه زهکشی منطقه در انتقال رواناب‌ها از مدل SWMM استفاده شد.

برای انجام این پژوهش، پس از تعیین محدوده مطالعه‌شده، اطلاعات زیر حوضه‌ها و حوضه اصلی شامل شبکه زهکشی، ابعاد آبراهه‌ها، گره‌ها، از طریق اندازه‌گیری‌های مستقیم در عرصه تدقیق شد. این پژوهش از دو بخش، هیدرولوژیکی و هیدرولیکی تشکیل شده است. در بخش هیدرولوژیکی روابط و منحنی‌های IDF بارش‌ها استخراج شده و مقادیر بارش‌های طرح براساس دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله برای دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و آینده دور (۲۰۵۱-۲۱۰۰) تحت سناریوی RCP2.6 و RCP 8.5 تهیه شده‌اند. در این پژوهش به منظور تحلیل بارش‌های حداکثری برای تداوم‌های مختلف و تهیه منحنی IDF از رابطه قهرمان - آب خضر استفاده شد [۸]. از آنجا که رابطه یادشده ایران را به مناطق اقلیمی مختلفی تقسیم کرده است و ایستگاه سینوپتیک مهرآباد در قسمت شمالی ایران قرار می‌گیرد، بنابراین شدت بارندگی برای دوره بازگشت‌های مختلف از روابط ۱ و ۲ تبعیت می‌کند.

$$R_t^T = At^B [a_1 + a_2 \ln(T - a_3)] R_{60}^{10} \quad (1)$$

جدول ۱. مشخصات زیرحوضه مطالعه‌شده

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	باران سنج	تعداد زیرحوضه‌ها	مدل نفوذ	تعداد گره خروجی	تعداد گره	تعداد کانال	واحد جریان	روندیابی جریان
۵۳/۵۱	۳۹/۵۵	۱	۹۵۴	CN	۸۹۰	۱۹	۹۶۷	CMS	DYNWAVE

مطالعه برای تعیین شماره منحنی از جدول‌های پیشنهادی توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا استفاده شده است.

$$R = \frac{(P - 0/2(S))^2}{(P + 0/8(S))} \quad (3)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

که در آن R ارتفاع رواناب برحسب میلی‌متر، P میزان بارندگی برحسب میلی‌متر و S پتانسیل تلفات برحسب میلی‌متر است.

کالیبراسیون مدل

در این پژوهش برای ارزیابی و واسنجی مدل پنج واقعه بارش و رواناب متناظر آن در تاریخ‌های مختلف

مدل SWMM یک مدل شبیه‌سازی هیدرولوژیکی - هیدرولیکی و کیفیت آب است که در سال ۱۹۷۱ توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) ارائه شد و تا کنون چندین مرتبه مورد ارزیابی و ارتقا قرار گرفته است. این نرم‌افزار توانایی شبیه‌سازی رواناب‌های حوضه‌های شهری به صورت تک‌رویداد و چند رویداد را دارد. معادلات مورد استفاده در این مدل معادله بقای جرم (پیوستگی) و معادله مومنتم است که به معادلات سنت و نانت معروف است. این نرم‌افزار با حل کردن این معادلات به سه روش، روندیابی جریان ماندگار، روندیابی موج سینماتیکی و روندیابی موج دینامیکی اقدام به شبیه‌سازی می‌کند [۱۷]. این مدل برای مدل‌سازی نفوذ آب در خاک از روش SCS شماره منحنی استفاده می‌کند (روابط ۳ و ۴). در این

شد. به منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل از هشت پارامتر مهم استفاده شد که پارامترهای اولیه و دامنه تغییرات آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر اولیه و پارامترهای مهم برای واسنجی مدل SWMM

مقادیر حداکثر	مقیاس تغییرات	مقادیر اولیه	پارامترهای کالیبراسیون
-	±۳۰	-	درصد مناطق نفوذناپذیر
-	±۳۰	-	شیب (/.)
-	±۳۰	-	عرض معادل (متر)
۰/۰۱۸	۰/۰۱۱ - ۰/۰۳۳	۰/۰۱۳	N - نفوذناپذیر
۰/۲	۰/۰۲ - ۰/۸	۰/۰۵	N - نفوذپذیر
۲	۰/۳ - ۲/۵	۱/۷۷۸	ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر (mm)
۱/۴	۲/۵ - ۵/۱	۳/۸۱	ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر (mm)
۱۸	۵ - ۲۰	۱۶	درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی

$$KGE = \sqrt{(r-1)^2 + (a-1)^2 + (\beta-1)^2} \quad (۸)$$

با توجه به همگن بودن منطقه مطالعه‌شده، برای به حداقل رساندن زمان واسنجی و بالا بردن دقت، مقادیر پارامترها برای تمام زیرحوضه‌ها، به مقدار یکسان در نظر گرفته شد و به مقدار اولیه، به میزان ثابت افزوده و یا از آن کاسته شد. از این روش به طور گسترده برای واسنجی مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود [۲۲]. نتایج حاصل از مدل واسنجی شده تطابق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد.

شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل SWMM از رایج‌ترین روابط ریاضی که برای ارزیابی کارایی مدل‌ها در بیشتر مطالعات هیدرولوژی شهری استفاده می‌شود عوامل ضریب ناش‌ساتکلیف (رابطه ۵)، مجذور میانگین مربعات خطا (رابطه ۶)، بایاس (رابطه ۷) و معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا (رابطه ۸) است. در این پژوهش از چهار معیار یادشده برای بررسی صحت واسنجی و صحت‌سنجی مدل استفاده شد.

زمان Q_{sim} دبی شبیه‌سازی شده، Q_{obs} دبی مشاهداتی در زمان i میانگین دبی مشاهداتی و n تعداد داده‌ها است. مقدار NS می‌تواند مثبت یا منفی باشد و بهترین حالت زمانی است که مقدار آن برابر یک باشد. پایین‌ترین مقدار قابل قبول NS ۰/۵ است و هرچه مقدار NS نزدیک به یک باشد، نشان‌دهنده زیاد بودن دقت شبیه‌سازی است [۱۹]. همچنین، هر چه مقدار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) کوچک‌تر باشد، تفاوت داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده کمتر و دقت پیش‌بینی مدل بیشتر خواهد بود. BIAS خطای کل در حجم جریان است و مقادیر مثبت و منفی این ضریب نشان‌دهنده بیشتر یا کمتر بودن متوسط حجم جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است [۶]. در رابطه ۱۰ ضریب همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده است. آلفا نسبت انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی به انحراف معیار مقادیر اندازه‌گیری است. بتا نسبت میانگین مقادیر شبیه‌سازی به میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است. بهترین مقدار برای معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا عدد یک است که نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف‌ها است [۱۱].

تغییر اقلیم

در این پژوهش برای ارزیابی شبکه زهکشی منطقه مطالعه‌شده تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده، داده‌های اقلیمی

در این پژوهش برای ارزیابی شبکه زهکشی منطقه مطالعه‌شده، برای به حداقل رساندن زمان واسنجی و بالا بردن دقت، مقادیر پارامترها برای تمام زیرحوضه‌ها، به مقدار یکسان در نظر گرفته شد و به مقدار اولیه، به میزان ثابت افزوده و یا از آن کاسته شد. از این روش به طور گسترده برای واسنجی مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود [۲۲]. نتایج حاصل از مدل واسنجی شده تطابق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد.

شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل SWMM

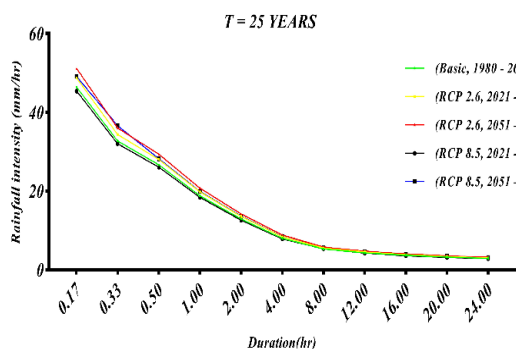
از رایج‌ترین روابط ریاضی که برای ارزیابی کارایی مدل‌ها در بیشتر مطالعات هیدرولوژی شهری استفاده می‌شود عوامل ضریب ناش‌ساتکلیف (رابطه ۵)، مجذور میانگین مربعات خطا (رابطه ۶)، بایاس (رابطه ۷) و معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا (رابطه ۸) است. در این پژوهش از چهار معیار یادشده برای بررسی صحت واسنجی و صحت‌سنجی مدل استفاده شد.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{av})^2} \quad (۵)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2} \quad (۶)$$

$$BIAS\% = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum_i Q_{obs}} \quad (۷)$$

دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله استفاده شد. شکل ۲ منحنی IDF استحصال شده را برای سه دوره یادشده نشان می‌دهد. براساس نتایج حاصل، مقادیر شدت بارش در تداوم‌های بارش و دوره بازگشت‌های مختلف در هر سه سناریوی تغییر اقلیم نسبت به منحنی IDF دوره پایه افزایش داشته است و فقط برای آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) تحت سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره پایه روند کاهشی در منطقه وجود دارد. همچنین، با مقایسه بیشینه شدت بارش در تداوم‌ها و دوره بازگشت‌های مختلف این نتیجه به دست آمد که حداکثر شدت بارش در پایه زمانی کوتاه مدت افزایش داشته و با گذشت زمان از شدت بارش حداکثری کاسته شده است و منحنی‌های IDF تحت تأثیر بارش‌های کوتاه مدت هستند.

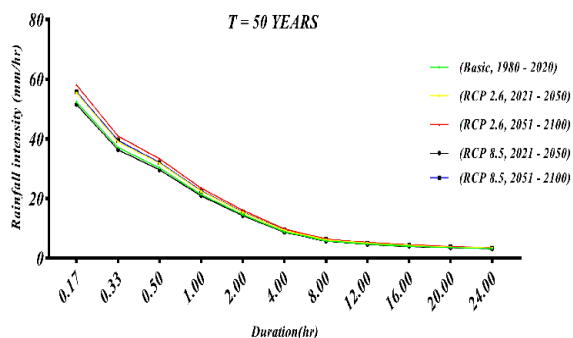


با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadGEM - ES سری مدل‌های CMIP5 تحت سناریوی جدید انتشار RCP2.6 و RCP8.5، با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS - WG پیش‌بینی شد و نتایج حاصل از پیش‌بینی به عنوان ورودی به مدل SWMM معرفی شد.

بحث و نتایج

منحنی شدت - مدت - فراوانی

در این پژوهش برای تحلیل بارش‌های حداکثری برای تداوم‌های مختلف و تهیه منحنی IDF از رابطه قهرمان - آب خضر برای دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و آینده دور (۲۰۵۱-۲۱۰۰) تحت سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 برای



شکل ۲. منحنی IDF را برای دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و آینده دور (۲۰۵۱-۲۱۰۰)

واقعۀ بارش برای اعتبارسنجی مدل انطباق خوبی با مقادیر مشاهده‌ای دارد. نتایج آماری حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل نظیر مقدار ناش ساتکلیف، مجذور میانگین مربعات خطا، خطای کل در حجم جریان و معیار ارزیابی کلینگ - گوپتا (KGE) برای واقعۀ بارش‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. مقدار ضریب ناش ساتکلیف (NS) در مرحلۀ واسنجی برای رویداد اول، دوم و سوم به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۷۲ و ۰/۶۴ و این ضریب در مرحلۀ اعتبارسنجی برای دو رویداد اندازه‌گیری شده به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۷۰ است. همچنین، مقادیر (BIAS) در مرحلۀ واسنجی برای رویداد اول، دوم و سوم به ترتیب ۵/۳۹، ۸/۴۲ و ۱۱/۵۲ و این ضریب در مرحلۀ اعتبارسنجی برای دو رویداد اندازه‌گیری شده به ترتیب ۱۰/۳۹ و ۹/۳۹ است.

آنالیز حساسیت مدل

برای بررسی حساسیت متغیرهای مدل SWMM از روش آنالیز حساسیت نسبی استفاده شد. به این ترتیب که از مقدار اولیه پارامترهای مؤثر ارائه شده در جدول ۲ با توجه به دامنه تغییرات قابل قبول ۳۰ درصد کاهش و افزایش، استفاده و مدل برای آن‌ها اجرا شد. نتایج به دست آمده نشان داد درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را بر دبی اوج خروجی مدل داشته و به عنوان حساس‌ترین متغیر شناخته شد. عرض معادل و درصد مناطق بدون ذخیره سطحی بعد از درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را در تغییرات دبی اوج داشتند.

شاخص‌های کارایی مدل

نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل نشان داد شبیه‌سازی دبی در سه واقعۀ بارش، برای واسنجی و دو

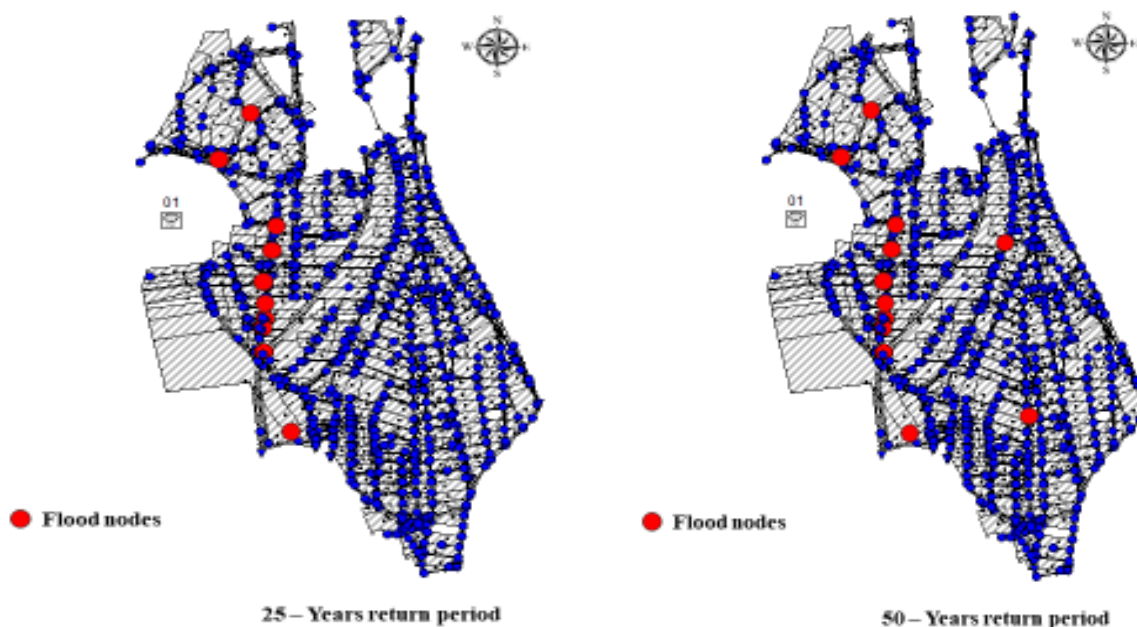
جدول ۳. مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWMM

واقعه بارش	مرحله	فاکتور	NS	RMSE	BIAS	KGE
۱۳۹۹ / ۷ / ۱۸	واسنجی	دبی	۰/۷۷	۰/۰۰۶۹	۵/۳۹	۰/۷۲
۱۳۹۹ / ۹ / ۱۳	واسنجی	دبی	۰/۷۲	۰/۰۰۵۷	۸/۴۲	۰/۷۴
۱۳۹۹ / ۹ / ۱۶	واسنجی	دبی	۰/۶۴	۰/۰۰۵۱	۱۱/۵۲	۰/۸۰
۱۳۹۹ / ۹ / ۱۷	اعتبارسنجی	دبی	۰/۷۲	۰/۰۰۰۴۸	۱۰/۳۹	۰/۷۶
۱۳۹۹ / ۱۰ / ۴	اعتبارسنجی	دبی	۰/۷۰	۰/۰۰۰۷۴	۹/۳۹	۰/۷۲

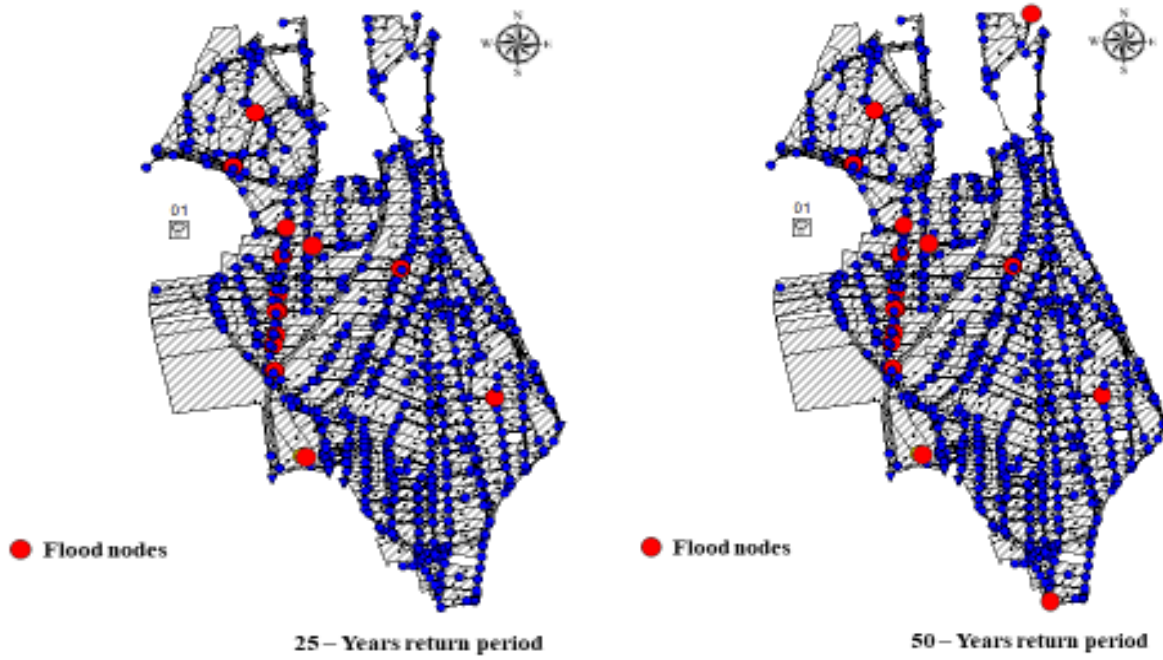
گره‌های سیل‌گیر حوضه

با تکمیل اطلاعات لازم، مدل برای دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله، برای دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم (۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۵۱-۲۱۰۰) تحت سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 اجرا شد و در هر یک از دوره بازگشت‌ها، عملکرد اتصالات و مجاری شبکه زهکشی مورد ارزیابی قرار گرفت. روندیابی سیل در مجاری زهکشی با روش موج دینامیکی انجام شد. با توجه به شکل‌های ۳-۷ مشخص می‌شود که هم در دوره پایه و هم تحت سناریوهای اقلیمی، گره‌های سیل‌گیر در منطقه وجود دارد، به طوری که تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۲۱-۲۰۵۰) برای دوره بازگشت

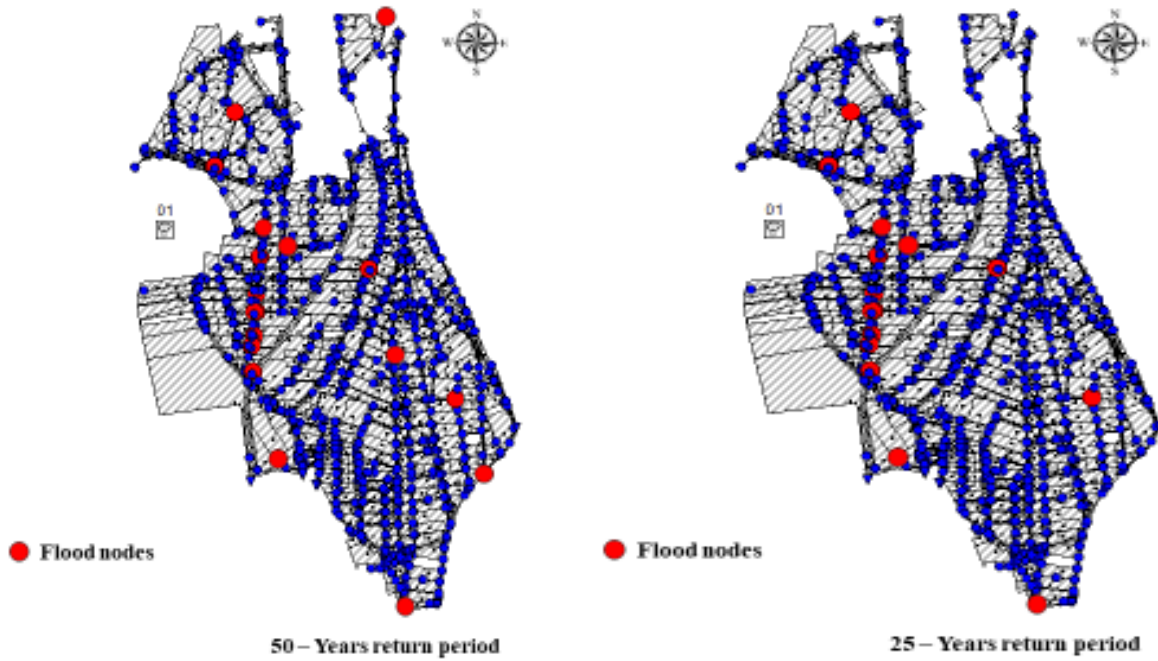
۲۵ ساله به ترتیب ۱۰، ۱۳ و ۱۵ است. تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۵۱-۲۱۰۰) برای دوره بازگشت ۵۰ ساله به ترتیب ۱۲، ۱۷ و ۱۹ است. همچنین، تعداد گره‌های سیل‌گیر حوضه نیز از دوره بازگشت ۲۵ ساله نسبت به دوره بازگشت ۵۰ ساله برای هر دوره روند افزایشی داشته است. با توجه به نتایج جدول‌های ۴-۶ گره‌های یادشده از نظر سیل‌گیری در وضعیت فوق بحرانی قرار دارند و چه در دوره پایه و چه تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله دچار مشکل هستند، اما باقی گره‌ها و مجاری موجود در شبکه زهکشی حوضه وضعیت مطلوبی دارند.



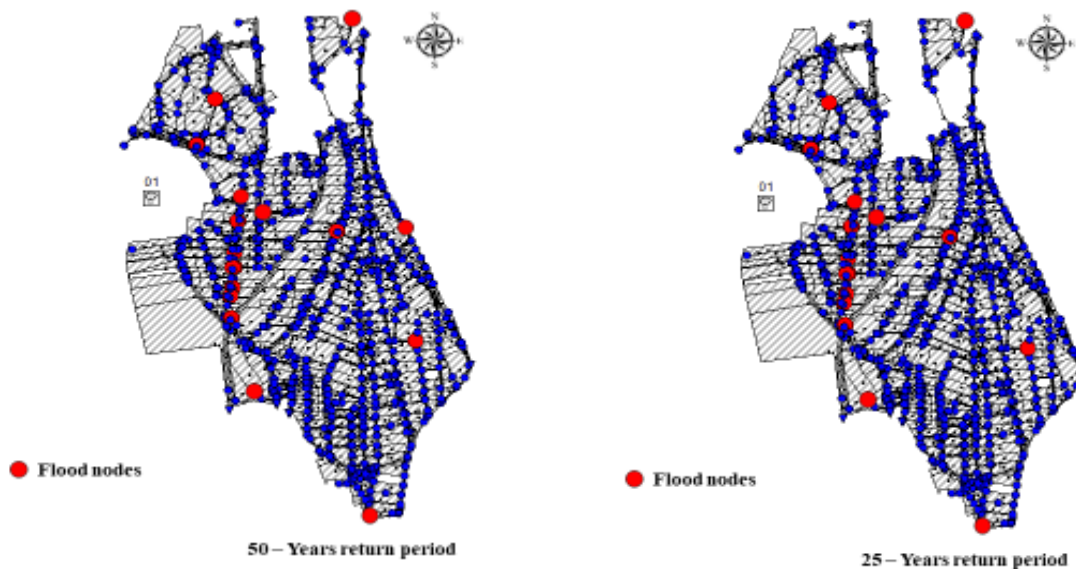
شکل ۳. گره‌های سیل‌گیر دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰)



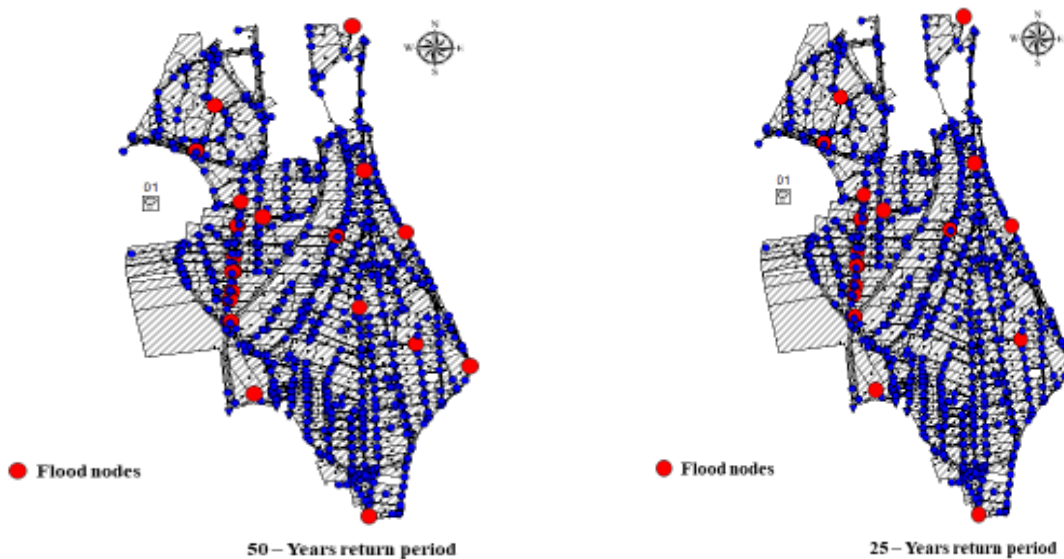
شکل ۴. گره‌های سیل‌گیر آینده نزدیک سناریوی RCP 2.6 (۲۰۲۱-۲۰۵۰)



شکل ۵. گره‌های سیل‌گیر آینده دور سناریوی RCP 2.6 (۲۰۵۱-۲۱۰۰)



شکل ۶. گره‌های سیل‌گیر آینده نزدیک سناریوی RCP 8.5 (۲۰۲۱-۲۰۵۰)



شکل ۷. گره‌های سیل‌گیر آینده دور سناریوی RCP 8.5 (۲۰۵۱-۲۱۰۰)

جدول ۴. وضعیت گره‌های سیل‌گیر فوق بحرانی در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰)

دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰)				گره‌های سیل‌گیر فوق بحرانی
مدت زمان بیشترین آب‌گرفتگی (min)	حداکثر دبی (CMS)	مدت زمان بیشترین آب‌گرفتگی (min)	حداکثر دبی (CMS)	
دوره بازگشت				
۵۰ ساله		۲۵ ساله		
۲۵	۰/۵۹۱	۲۶	۰/۴۹۲	NC06-4733
۲۴	۰/۵۴۵	۲۴	۰/۵۱۱	NC06-4911
۲۱	۰/۵۴۲	۲۲	۰/۵۲۹	NC06-4912
۲۰	۰/۱۳۹	۱۹	۰/۱۳۶	NC06-4914
۲۵	۰/۰۸۹	۲۶	۰/۰۲۱	NC06-4921
۲۲	۰/۱۳۹	۲۳	۰/۱۲۳	NC06-4922
۲۲	۰/۲۳۶	۲۳	۰/۲۲۸	NC06-4924
۲۳	۰/۰۷۸	۲۴	۰/۰۶۳	NC06-4940

جدول ۵. وضعیت گره‌های سیل‌گیر فوق بحرانی تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP 2.6

دوره آینده دور (۲۰۵۱-۲۱۰۰)				دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰)				گره‌های سیل‌گیر فوق بحرانی
RCP 2.6		RCP 2.6		RCP 2.6		RCP 2.6		
مدت زمان بیشترین آب‌گرفتگی (min)	حداکثر دبی (CMS)	مدت زمان بیشترین آب‌گرفتگی (min)	حداکثر دبی (CMS)	مدت زمان بیشترین آب‌گرفتگی (min)	حداکثر دبی (CMS)	مدت زمان بیشترین آب‌گرفتگی (min)	حداکثر دبی (CMS)	
دوره بازگشت								
۵۰ ساله		۲۵ ساله		۵۰ ساله		۲۵ ساله		
۳۱	۰/۵۵۵	۳۱	۰/۵۳۷	۳۱	۰/۶۶۰	۳۲	۰/۴۶۶	NC06-4733
۳۰	۰/۷۳۱	۲۳	۰/۶۵۹	۲۱	۰/۴۹۵	۲۶	۰/۴۸۵	NC06-4911
۲۱	۰/۶۳۵	۲۵	۰/۵۹۷	۲۸	۰/۵۹۷	۲۴	۰/۵۹۴	NC06-4912
۳۰	۰/۴۲۵	۲۰	۰/۲۵۹	۲۰	۰/۲۶۲	۲۰	۰/۲۵۷	NC06-4914
۱۹	۰/۲۶۳	۲۵	۰/۱۷۷	۲۵	۰/۱۴۶	۲۵	۰/۰۳۹	NC06-4921
۲۴	۰/۱۸۹	۲۳	۰/۱۵۵	۲۲	۰/۱۶۶	۲۴	۰/۱۴۹	NC06-4922
۲۲	۰/۱۷۳	۲۳	۰/۱۷۲	۲۲	۰/۱۷۸	۲۳	۰/۱۷	NC06-4924
۲۲	۰/۱۸۱	۲۳	۰/۱۳۶	۲۳	۰/۰۴۶	۲۳	۰/۰۳	NC06-4940

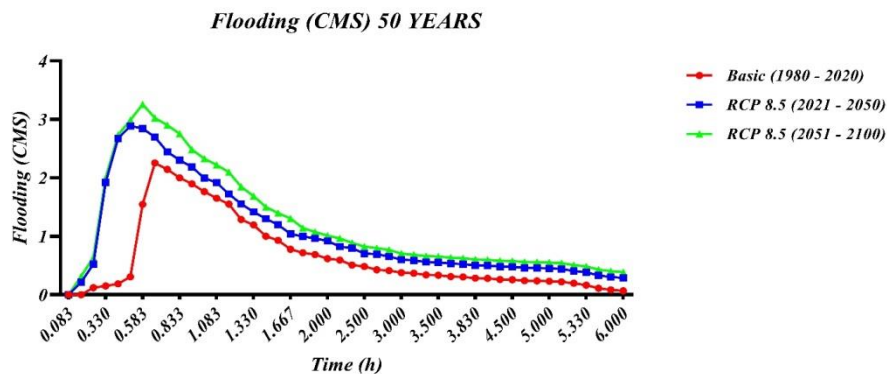
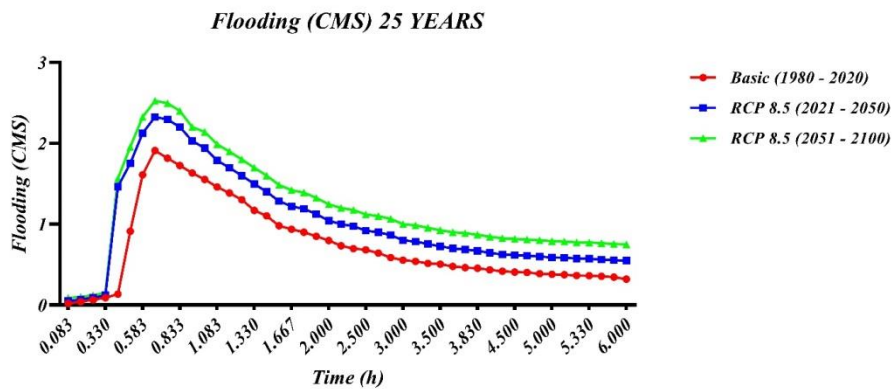
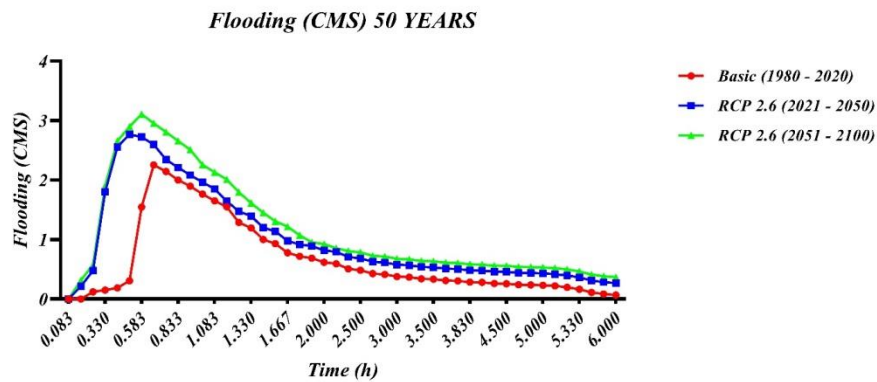
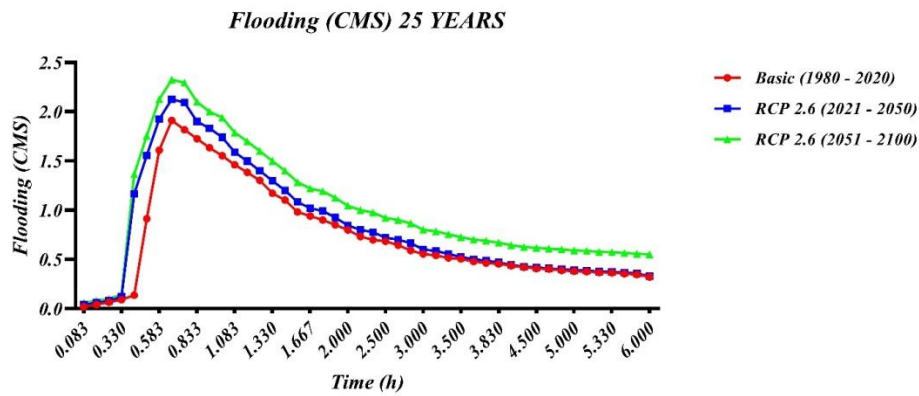
جدول ۶. وضعیت گره‌های سیل‌گیر فوق بحرانی تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP 8.5

دوره آینده دور (۲۰۵۱-۲۱۰۰)				دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰)				گره‌های سیل‌گیر فوق بحرانی
RCP 8.5		RCP 8.5		RCP 8.5		RCP 8.5		
مدت زمان بیشترین آب‌گرفتگی (min)	حداکثر دبی (CMS)	مدت زمان بیشترین آب‌گرفتگی (min)	حداکثر دبی (CMS)	مدت زمان بیشترین آب‌گرفتگی (min)	حداکثر دبی (CMS)	مدت زمان بیشترین آب‌گرفتگی (min)	حداکثر دبی (CMS)	
دوره بازگشت								
۵۰ ساله		۲۵ ساله		۵۰ ساله		۲۵ ساله		
۳۱	۰/۴۸۲	۳۲	۰/۴۷۶	۳۱	۰/۵۴۸	۳۲	۰/۳۶۶	NC06-4733
۲۹	۰/۴۲۵	۲۵	۰/۴۱۲	۲۲	۰/۵۷۲	۲۶	۰/۵۶۳	NC06-4911
۲۴	۰/۵۹۹	۲۶	۰/۵۸۹	۲۵	۰/۵۹۷	۲۶	۰/۵۶۲	NC06-4912
۲۵	۰/۲۷۴	۲۰	۰/۲۶۱	۲۰	۰/۲۵۹	۲۰	۰/۲۵۵	NC06-4914
۲۱	۰/۰۹۲	۲۵	۰/۰۸۱	۲۵	۰/۰۸۳	۲۵	۰/۰۴۹	NC06-4921
۲۰	۰/۱۶۵	۲۴	۰/۱۵۹	۲۳	۰/۱۵۶	۲۴	۰/۱۴۲	NC06-4922
۲۳	۰/۱۸۹	۲۳	۰/۱۷۸	۲۳	۰/۱۷۳	۲۴	۰/۱۶۵	NC06-4924
۲۵	۰/۰۴۸	۲۲	۰/۰۳۹	۲۳	۰/۰۳۷	۲۴	۰/۰۲۱	NC06-4940

هیدروگراف‌های سیل‌خیزی شبکه زهکشی

با استفاده از بارندگی طرح ۶ ساعته با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله اقدام به تهیه هیدروگراف خروجی و وضعیت شبکه جمع‌آوری رواناب در دوره پایه و تحت تأثیر تغییر اقلیم شد. شکل ۸ هیدروگراف‌های خروجی شبکه زهکشی را در دوره پایه و تحت تأثیر تغییر اقلیم نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، با افزایش دوره بازگشت چه در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و چه در دوره تحت تأثیر تغییر اقلیم (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و (۲۰۵۱-۲۱۰۰) با افزایش سیل‌خیزی مجاری زهکشی حوضه مواجهیم و مدت سیلابی بودن کانال‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین، پتانسیل سیل‌خیزی منطقه در دوره بازگشت‌های بالا بیشتر است و باید اقدام به طراحی ابعاد بهینه

برای کانال‌های سیل‌خیز شود. همچنین، در بازه زمانی ۳۰ تا ۴۵ دقیقه بعد از بارش، بیشترین مدت آب‌گرفتگی در شبکه جمع‌آوری رواناب ایجاد می‌شود و با گذشت زمان از شدت آن کاسته می‌شود. به عنوان مثال، مقدار دبی اوج سناریوی RCP 2.6 بعد از ۴۰ دقیقه بارش برای دوره پایه، دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) و آینده دور (۲۰۵۱-۲۱۰۰) با دوره بازگشت ۲۵ ساله به ترتیب ۱/۹۱۱، ۲/۱۲۵ و ۲/۳۲۵ و برای سناریوی RCP 8.5 به ترتیب ۱/۹۱۱، ۲/۳۳۱ و ۲/۵۴۲ متر مکعب بر ثانیه به دست آمد و نشان‌دهنده این است که در سناریوی RCP 8.5 مقدار دبی اوج نسبت به دوره پایه و سناریوی RCP 2.6 روند افزایشی دارد.



شکل ۸. هیدروگراف‌های خروجی شبکه زهکشی را در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و تغییر اقلیم (۲۰۲۱-۲۰۵۰)، (۲۰۵۱-۲۱۰۰) تحت سناریوی RCP 2.6 و RCP 8.5

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ارزیابی شبکه زهکشی و گره‌های سیل‌گیر در قسمت مرکزی منطقه ۶ شهرداری تهران در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم (۲۰۲۱-۲۰۵۰)، (۲۰۵۱-۲۱۰۰) در دو سناریوی RCP 2.6 و RCP 8.5 برای دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت. برای تحلیل بارش‌های حداکثری در تداوم‌های مختلف و تهیه منحنی IDF از رابطه قهرمان - آب خضر استفاده شد. نتایج این بخش از مطالعه نشان داد حداکثر شدت بارش در پایه زمانی کوتاه‌مدت افزایش داشته و با گذشت زمان از شدت بارش حداکثری کاسته شده و منحنی‌های IDF تحت تأثیر بارش‌های کوتاه‌مدت است. نتایج مطالعات حبیب‌نژاد و شکوهی [۲۰] و بختیاری و همکاران [۲] نیز نشان داده است در آینده و تحت سناریوهای مختلف، شدت بارش‌های کوتاه‌مدت در مناطق خشک و نیمه‌خشک افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از انجام آنالیز حساسیت مدل SWMM روی پارامترهای تأثیرگذار بر میزان رواناب سطحی، نشان داد پارامتر درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را بر دبی اوج خروجی مدل داشته و به عنوان حساس‌ترین متغیر برای این منطقه شناخته شد که با نتایج پژوهش صادقی و همکاران [۱۸] مطابقت دارد. نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل نشان داد انطباق مناسبی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی وجود دارد که کارایی مدل را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد مدل یادشده قابلیت شبیه‌سازی رواناب سطحی را در منطقه دارد. به طوری که مقدار ضریب ناش‌ساتکلیف (NS) در مرحله واسنجی برای رویداد اول، دوم و سوم به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۷۲ و ۰/۶۴ و این ضریب در مرحله اعتبارسنجی برای دو رویداد اندازه‌گیری شده به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۷۰ است. بدیعی‌زاده و همکاران [۴] و رضایی و همکاران [۱۶] نیز کارایی مدل را در برآورد رواناب‌های شهری تأیید کرده‌اند.

ارزیابی شبکه زهکشی و گره‌های سیل‌گیر تحت سناریوهای اقلیمی و برای دوره بازگشت‌های مختلف نشان داد با افزایش دوره بازگشت در برخی مجاری سیلاب‌رو و گره‌های شبکه زهکشی پرشدگی و سیلاب وجود دارد، به طوری که تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۲۱-۲۰۵۰) برای دوره بازگشت ۲۵ ساله

به ترتیب ۱۰، ۱۳ و ۱۵ است. تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۲۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۵۱-۲۱۰۰) برای دوره بازگشت ۵۰ ساله به ترتیب ۱۲، ۱۷ و ۱۹ است. در نهایت، با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان گفت که افزایش ابعاد کانال‌ها یک راه‌حل عملیاتی برای رفع مشکل بالازدگی رواناب سطحی است که در بیشتر مناطق شهر قابل اجراست، اما این کار علاوه بر هزینه‌بر بودن و ناسازگاری با محیط زیست، در برخی از مناطق با محدودیت‌هایی همراه است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود با به‌کارگیری روش‌های نوین مدیریت رواناب در منشأ، همچون استفاده از روش‌های LID، مقادیر حجم و دبی اوج رواناب را در پایین‌دست کاهش دهند تا امکان افزایش منطقی ابعاد در این مناطق فراهم شود.

منابع

- [1]. Arjenaki M O, Sanayei H, Heidarzadeh H. Urban Surface Runoff Simulation and Prioritization of Critical Sub Catchments Using SWMM Model and TOPSIS Method (Case Study: Shahrekord City). Journal of Water and Wastewater. 2020; 31(4): 99-113. (Persian).
- [2]. Bakhtiari B, Purmusavi S, Sayari N. Impact of Climate Change on Intensity-Duration-Frequency Curves of Precipitation (Case study: Babolsar station. Iranian Journal of Irrigation & Drainage. 2014; 8(4): 694-704. (Persian).
- [3]. Badizadegan R, Khodashenas S. R, Esmaili K. Calibration of SWMM Model in North catchment of Tehran. Journal of Range and Watershed Management. 2021; 73(4): 709-724. (Persian).
- [4]. Badizadegan S, Bahremand A, Ahmad D. A. Calibration and Evaluation of the Hydrologic-Hydraulic Model SWMM to Simulate Runoff (Case Study: Gorgan). jwmr. 2017; 7(14): 1-10. (Persian).
- [5]. Bahrami J, Faroghi F, Hosseini S, Rafiee D. Effects of low-impact development of infiltration and storage facilities on urban runoff management in city of Sanandaj. Journal of Water and Wastewater/Ab va Fazila. 2017; 28(5): 118 – 124. (Persian).
- [6]. Dongquan Z, Jining C, Haozheng W, Qingyuan T, Shangbing C, Zheng S. GIS-based urban rainfall-runoff modeling using an automatic catchment-discretization approach: a case study in Macau. Environmental Earth Sciences. 2009; 59(2): 465-472.

- [7]. Chen J, Hill A. A, Urbano L. D. A GIS-based model for urban flood inundation. *Journal of Hydrology*. 2009; 373(1 – 2): 184-192.
- [8]. Ghahraman B, Abkhezr H. Improvement in Intensity-Duration-Frequency Relationships of Rainfall in Iran. *JWSS*. 2004; 8(2): 1-14. (Persian).
- [9]. Gironas J, roesner L.A, rossman L.A, dVis, J. A new applications manual for the storm water management model (swmm). *journal of Elsevier, environmental modeling & software*. 2010; 25(6): 813-814.
- [10]. Jiang L, Chen Y, Wang H. Urban flood simulation based on the SWMM model. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*. 2015; 368: 186-191.
- [11]. Kling H, Fuchs M, Paulin M. Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios. *Journal of Hydrology*. 2012; 424: 264-277.
- [12]. Luan B, Yin R., Xu P, Wang X, Yang X, Zhang L. Evaluating green stormwater infrastructure strategies efficiencies in a rapidly urbanizing catchment using SWMM-based TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 223: 680-691.
- [13]. Miremadi S. Z, Karami H, Hosseini K, Hashemi S. A. A. Flood Reduction in Urban Basins Using LID-BMPs IN SWMM Model and Selecting the Best Option with AHP-TOPSIS (Case Study: Golestan Area in Semnan). *Iranian journal of Ecohydrology*. 2019; 6(4): 1003-1013. (Persian).
- [14]. Nasehpour M., Khozaymehnezhad H, Forootan E. Evaluation of Urban Development Impacts on Runoff Using SWMM Model (Case Study: Qom Province). *Journal of Environmental Science and Technolog*. 2021; 22(12): 79-89. (Persian).
- [15]. Nicole G, Beck G. C, Kanner LI M. "An urban runoff model designed to inform stormwater management decisions", *Journal of Environmental Management*. 2017; 193: 257-269.
- [16]. Rezayi F, Bahremand A, sheikh V B, dastorani M, tajbakhsh M. Determination of the Most Important Parameters Affecting the Urban Runoff using SWMM Model (Case Study: Mashhad City, District 9). *jwmr*. 2019; 9(18): 135-145. (Persian).
- [17]. Rossman L. R. *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*. United States Environmental Protection Agency (EPA). 2015.
- [18]. Sadeghi S, MV S. J, SAMANI H. Analyzing of Hydraulic Performance and Possible Damage to Existing Storm Sewer Networks Tehran Region 2 Using Swmm Model. 2020; 14(50): 59 – 67. (Persian).
- [19]. Santhi C, Arnold J. G, Williams J. R, Dugas W. A, Srinivasan R, Hauck L. M. Validation of the swat model on a large rwer basin with point and nonpoint sources 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 2001; 37(5): 1169-1188.
- [20]. Shokoohi A, Habibnejad R. Evaluating Intensity, Duration and Frequency of Short Duration Rainfalls Using a Regional Climate Change model (Case study: Tehran). *Iran-Water Resources Research*. 2019; 15(4): 412-424. (Persian).
- [21]. Taatpour F, Khorsandi Kouhanestani Z, Armin M. Evaluating the Performance of Collection and Disposal of Surface Runoff Network Using SWMM Model (Case Study: The City of Likak, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province). *Irrigation Sciences and Engineering*. 2019; 42(2): 33-48. (Persian).
- [22]. Temprano J, O. Arango J, Cagiao J, Suarez I. Tejero. Storm Water quality calibration by SWMM: a case study in Northern Spain. *Water SA*. 2006; 32(1): 55-63.
- [23]. Z. Zhu Z, Chen X, Chen G. Yu. An assessment of the hydrologic effectiveness of low impact development (LID) practices for managing runoff with different objectives, *Journal of environmental management*. 2019; 231: 504-514.