

ارزیابی کارایی مدل SWMM به منظور بررسی گره‌های سیل‌گیر شبکه زهکشی تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: شرق منطقه شش شهرداری تهران)

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: ۱۴۰۰/۰۵/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۰

چکیده

هدف پژوهش حاضر، ارزیابی عملکرد شبکه زهکشی و گره‌های سیل‌گیر در دوره پایه و تحت تأثیر تغییر اقلیم برای دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله در شرق منطقه شش تهران با استفاده از مدل SWMM و LARS - WG می‌باشد. پس از واسنجی مدل SWMM براساس وقایع بارش-رواناب مشاهداتی، نتایج واسنجی و صحت‌سنجی، تطابق بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را تأیید کرد. بطوریکه مقدار ضریب (KGE) در مرحله واسنجی برای رویداد اول، دوم و سوم به ترتیب ۰/۷۰، ۰/۶۶ و ۰/۷۴ و این ضریب در مرحله اعتبارسنجی برای دو رویداد اندازه‌گیری شده به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۶۵ است. شبیه‌سازی مدل برای دوره پایه و تحت تأثیر تغییر اقلیم با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله اجرا شد و نتایج نشان داد که تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره پایه (۲۰۲۰ - ۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP۲,۶ و RCP۸,۵ (۲۰۲۱ - ۲۰۵۰) برای دوره بازگشت ۲۵ ساله به ترتیب ۱۶، ۱۸ و ۲۰ و تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره پایه (۲۰۲۰ - ۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP۲,۶ و RCP۸,۵ (۲۰۵۱ - ۲۱۰۰) برای دوره بازگشت ۵۰ ساله به ترتیب ۲۰، ۲۶ و ۲۸ است. بنابراین، نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که سیستم جمع‌آوری رواناب سطحی موجود منطقه پژوهش نیاز به بهسازی و اصلاح شیب معابر و ابعاد کانال‌ها برای انتقال رواناب ناشی از سیلاب را دارد.

کلمات کلیدی: سیلاب شهری، SWMM، تغییر اقلیم، LARS - WG

گرم شدن کره زمین و به دنبال آن تغییرات اقلیمی باعث تغییر در میزان و پراکنش بارش می‌شود (شاو و همکاران، ۲۰۱۶). سیستم‌های زهکشی شهری موجود براساس داده‌های دوره های اقلیمی قبلی مشاهدات هواشناسی ساخته شده‌اند و ممکن است برای شرایط امروزی یا آب و هوایی آینده مناسب نباشد و این امر موجب سیلاب‌های شهری شود (کانگ و همکاران، ۲۰۱۶). سیلاب‌های مکرر شهری، بویژه در حوضه‌های آبخیز شهری با تراکم بالای ساخت و ساز و نسبت زیاد سطوح غیر قابل نفوذ، حاصل تغییر اقلیم و تغییرات حاصل از فعالیت‌های انسانی است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۸). ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی در حوضه‌های شهری ناشی از عدم اطمینان به شرایط اقلیمی مربوط به ارزیابی ریسک سیلاب در مدیریت رواناب شهری است (والش و همکاران، ۲۰۱۶). توسعه مداوم شهرنشینی باعث افزایش چشمگیر سطوح نفوذ ناپذیر و تغییر در سیستم‌های زهکشی طبیعی شده است. این تغییرات در ویژگی‌های طبیعی مناطق شهری اغلب منجر به افزایش دبی اوج و حجم بالاتر رواناب شهری و همچنین افزایش انتقال آلاینده‌ها در مقیاس آبخیز و اختلال در کیفیت آب در پایین دست حوضه می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۱۹).

بر اساس مطالعات انجام شده، اگرچه تغییرات اقلیمی میزان پراکنش بارش را تحت تاثیر قرار داده است، اما عوامل انسانی یا ساخت و سازهای بدون برنامه در آبرگرفتنی معابر و همچنین طراحی و احداث آبگذرها بدون در نظر گرفتن شیب و شکل زمین در آبرگرفتنی بالاترین نقش را دارا می‌باشد (افشاری آزاد و پولکی، ۱۳۹۱). در ادامه به بخشی از مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی شبکه‌های زهکش شهری و مدیریت سیلاب پرداخته شده است. براون و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی به بررسی تاثیر مدیریت رواناب در شهرهای کوچک پرداختند. نتایج نشان داد که تغییرات کاربری اراضی در شهرها، ممکن است منجر به تغییرات هیدرولوژیکی در منطقه شهری شوند و این تغییرات احتمالاً در سال‌های آینده با تغییر آب و هوا تشدید خواهند شد. یافته‌های این محققان بر ضرورت تحلیل‌های دقیق در مقیاس ریز در شهرهای کوچک تاکید

می‌کند، زیرا حتی تغییرات کم، پیامدهای قابل توجه آینده را در پی خواهد داشت و تصمیمات جدی برای برنامه‌ریزی در مقایسه با شهرهای بزرگ، به دلیل محدودیت‌های اقتصادی بیشتر که شهرهای کوچک با آن مواجه هستند حتی مهم‌تر هستند.

ژنگ و همکاران (۲۰۲۰)، به طراحی و پیاده سازی یک چارچوبی مبتنی بر SWMM برای مدیریت رواناب شهری در منطقه پرداختند. نتایج نشان داد که WEB - SWMM می‌تواند محاسبات را در زمان واقعی را به طور ثابت، سریع و دقیق ارائه دهد. به طور کلی، اجرای WEB - SWMM، SWMM سنتی را قادر می‌سازد تا با سرعت و به طور موثر در مدیریت لحظه‌ای رواناب‌های شهری به کار گرفته شود. علاوه بر این، چارچوب مدل هیدرولوژیکی مبتنی بر وب پیشنهاد شده در این مقاله برای بیشتر مدل‌های هیدرولوژیکی موجود نیز قابل اجرا است. شریعت و همکاران (۱۳۹۸)، به تحلیل ریسک شبکه‌های جمع‌آوری رواناب شهری با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی در منطقه ۱۱ شهرداری تهران پرداختند. نتایج نشان داد که اجرای روش ارائه شده در این پژوهش در مورد کانال‌های درجه ۳ و ۴ منطقه ۱۱ شهرداری تهران نشان دهنده ریسک آبرگرفتنی زیاد و خیلی زیاد برای ۶ تا ۹ درصد طول کل کانال است. رضایی و همکاران (۲۰۱۷)، در تحقیقی به کالیبراسیون و ارزیابی مدل SWMM در شبیه‌سازی رواناب منطقه نه شهرداری مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که مدل SWMM می‌تواند برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه‌زهکشی رواناب شهری در منطقه مورد مطالعه استفاده شود. نوحه گر و همکاران (۱۴۰۰)، در پژوهشی به شناسایی الگوهای جوی مولد سیلاب شهری و شبیه‌سازی رواناب ناشی از آن در شهر میناب پرداختند. نتایج این مدل نشان می‌دهد که سیستم دفع آب‌های سطحی شهر میناب نیاز به بهسازی و طراحی مناسب برای انتقال رواناب ناشی از سیلاب دارد. نظری و همکاران (۱۴۰۰)، در پژوهشی به مدیریت رواناب شهری با رویکرد بهینه‌سازی روش‌های توسعه کم‌اثر و تلفیق مدل‌های SWMM و SUSTAIN در منطقه ۱۱ شهرداری تهران پرداختند. نتایج نشان داد پاسخ‌های منتخب پیاده‌سازی

افزایش ۴۲، ۴۳ و ۴۹٪ مشاهده شد. قادری و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی با بهره‌گیری از مدل SWMM به تعیین قابلیت جمع‌آوری و استحصال رواناب شهر بابلسر پرداختند. نتایج نشان داد که ضریب رواناب با دوره بازگشت ارتباط مستقیم دارد و بارش‌های بزرگتر، ضریب رواناب بالاتری دارند. از طریق سامانه‌های جمع‌آوری، علاوه بر کاهش خطرات سیلاب شهر بابلسر، یک منبع مکمل آبی که جبران‌کننده بخشی از مصرف خانوارها در بخش غیرشرب است، به مدیریت منابع آب پرداخت. رفیعی و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی به تاثیر الگوی توزیع بارش و معادله نفوذ در شبیه‌سازی سیلاب شهری در حوضه عبدالسالم کنگان پرداختند. بر اساس نتایج حاصله، بیش‌ترین حساسیت مدل به طول گام‌های زمانی بارندگی تشخیص داده شد که در آن با تغییر گام زمانی از ۱۵ دقیقه به ۹۰ دقیقه، دامنه تغییرات نسبی دبی اوج به ۲۶/۵٪ و ۳۷/۵٪ هم رسید.

مواد و روش‌ها

محدوده انجام مطالعات در پژوهش حاضر، قسمت شرق محدوده منطقه شش شهرداری تهران است. این منطقه با مساحتی معادل ۲۱/۵ کیلومتر مربع حدود ۳/۶۱ درصد از سطح شهر را شامل می‌شود. منطقه شش به لحاظ موقعیت جغرافیایی در حوضه مرکزی شهر تهران واقع شده که از سمت

سناریوهای ۱ تا ۶ به ترتیب حجم رواناب را به میزان ۵۳، ۴، ۶۶، ۷۲، ۳۱ و ۳۴ درصد کاهش دادند. سناریوی ۴ ترکیبی از مخازن باران، معابر نفوذپذیر و جوی باغچه با ۷۲ درصد و هزینه ۱۲/۲ میلیون دلار، بهینه‌ترین عملکرد را نسبت به پاسخ‌های متناظر از سناریوهای دیگر نشان داد و سناریوی ۶ نیز با ۳۴ درصد کاهش حجم رواناب و هزینه ۷/۱ میلیون دلار در رتبه بعدی قرار گرفت. باقلانی و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی به شناسایی عوامل مؤثر بر بروز سیلاب شهری در حوزه آبخیز شهر ایلام پرداختند. نتایج نشان داد که مدل SWMM دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی سیلاب شهری در شهر ایلام را دارد و از این مدل می‌توان برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی استفاده کرد. احمدی و همکاران (۱۳۹۹)، در تحقیقی به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب آبخیز کن در دوره آینده پرداختند. نتایج نشان داد در شرایط اقلیمی آینده برای دوره‌ی زمانی ۲۰۰۶-۲۱۰۰ افزایش بارندگی و دما محتمل است، به طوری که دما ۰/۸ تا ۵/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد و بارش ۴ تا ۵۵٪ افزایش می‌یابد. کارکرد ANN با توجه به نوع ساختار بهتر از سوات است، و نتیجه‌ی بررسی رواناب نشان می‌دهد که در دوره‌ی آینده (۲۰۰۶-۲۰۴۰) در مدل ۲ تا ۴ درصد ANN کاهش در حالت ۲RCP/۵ و ۴RCP/۵، ۸٪ افزایش در حالت ۵RCP/۴ و در سوات به ترتیب در حالت ۲RCP/۵، ۴RCP/۵ و ۸RCP/۵



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات شبکه زهکشی منطقه پژوهش

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	باران سنج	تعداد زیر حوضه ها	مدل نفوذ	تعداد گره	تعداد گره خروجی	تعداد کانال	واحد جریان	روند بابی جریان
۵۳/۵۸	۳۹/۵۵	۱	۸۹۱	CN	۸۶۰	۵۰	۹۰۷	CMS	DYNWAVE

شمال به منطقه ۳، از شرق به منطقه ۷ و ۳، از جنوب به مناطق ۱۱ و ۱۲ و از غرب به منطقه ۲ محدود می‌شود (شکل ۱). بر طبق تقسیمات شهری، منطقه شش شهرداری تهران به شش ناحیه تقسیم‌بندی شده است. شیب عمومی منطقه از شمال به جنوب می‌باشد. 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.

الف: ساختار مدل SWMM

این مدل برای اولین بار در سال ۱۹۷۱ توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده ارائه شده و تاکنون چندین بار ارتقاء یافته است. این مدل دارای مبنای فیزیکی، نگاه توزیعی، امکان بررسی جداگانه نواحی نفوذپذیر، نفوذناپذیر و همچنین قابلیت شبیه‌سازی پاسخ غیرخطی حوضه به بارندگی اضافی می‌باشد. خروجی‌های این مدل به صورت جدول و گرافیکی بوده و اهم آن‌ها عبارتند از هیدروگراف سیلاب ورودی و میزان سیل گرفتگی در اتصالات، پروفیل سطح آب، میزان ظرفیت اشغال شده، عمق، سرعت و عدد فرود در زمان‌های مختلف در مجاری، نقاط و بازه‌های بحرانی براساس شاخص کاربر و همچنین هیدروگراف سیلاب خروجی از زیرحوضه‌ها. از آنجا که مدل SWMM، جریان رواناب را در قالب شبکه‌زهکشی زیر حوضه‌ها و کلیه مجاری عبور آب شبیه‌سازی کرده و در طول مجاری و در محل اتصال کانال‌ها پروفیل سطح آب را ارائه می‌دهد، می‌توان از آن در مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه زهکشی استفاده نمود (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۴).

ب: پارامترهای ورودی مدل SWMM

جهت شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب با دوره بازگشت‌های مختلف، ابتدا باید مرز حوضه و زیرحوضه را تعیین کرد. تعیین

مرز زیرحوضه‌ها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های شهری و بازدیدهای میدانی و با توجه به شیب در نقاط مختلف حوضه با بهره‌گیری از نرم افزار AutoCAD محدوده حوضه و زیرحوضه منطقه مورد پژوهش تهیه گردید. بعد از تعیین مرز حوضه و زیرحوضه‌ها پارامترهای مساحت زیرحوضه‌ها، عرض معادل، ضریب زبری مانینگ، شیب حوضه، ذخیره چالابی، درصد مناطق نفوذپذیر و ناپذیر، اطلاعات اتصالات و مجاری، اطلاعات هواشناسی و در نهایت زمان تمرکز حوضه که وارد کردن آن‌ها به مدل SWMM الزامی است تعیین و به صورت دستی این اطلاعات به مدل تعریف شد. بعد از تعریف پارامترهای مذکور، برای تعیین خصوصیات کانال‌ها در مدل شامل شکل مقطع، عرض کانال، طول کانال، حداکثر عمق کانال از بازدید میدانی و برای تعیین ضریب زبری کانال از بازدید میدانی و جداول مربوطه استفاده شد. در نهایت ۹۰۷ کانال به مدل معرفی گردید. مشخصات گره‌ها شامل رقم کف و حداکثر عمق گره از بازدیدهای میدانی و با به کارگیری نقشه رقم ارتفاعی منطقه به دست آمد و در نهایت ۸۶۰ گره به مدل معرفی شد. مشخصات مربوط به شبکه‌زهکشی منطقه پژوهش در جدول (۱) آورده شده است.

برای شبیه‌سازی و اجرای مدل نیاز به منحنی شدت-مدت- فراوانی و هایتوگراف بارش است. برآورد شدت رگبارها با مدت و فراوانی وقوع آنها از مهمترین بخش‌های یک مطالعات هیدرولوژی به حساب می‌آید و داشتن منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی بارندگی یا روابط دیگری که بتواند و شدت بارندگی با یک تداوم مشخص را تعیین کند از ملزومات طراحی در هر طرح هیدرولوژیکی است. به طور کلی برای تعیین شدت بارندگی در یک ایستگاه از دسته منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی استفاده می‌شود که از روی آمار استخراج شده از کاغذهای باران نگار تهیه می‌گردد. به منظور استخراج شدت بارش طرح و برای تحلیل بارش‌های حداکثری برای تداوم‌های

به شکل مجزا با ثابت نگه داشتن سایر پارامترهای محاسبه استفاده شد. به این ترتیب که از مقادیر اولیه هشت پارامتر مؤثر با توجه به دامنه تغییرات ۳۰ درصد کاهش و افزایش در نظر گرفته شد (رستمی خلیج و همکاران، ۱۳۹۱). از بین پارامترهای موجود، هشت پارامتر درصد مناطق نفوذناپذیر، شیب، عرض معادل، ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذناپذیر و نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی انتخاب گردید. با توجه به دامنه تغییرات قابل قبول مقدار اولیه این پارامترها تا ۳۰ درصد کاهش و افزایش یافت و مدل برای آن‌ها اجرا گردید. دبی اوج سیلاب که موثرترین پارامتر برآورد سیلاب است به عنوان متغیر وابسته برای بررسی در نظر گرفته شد.

د: واسنجی و صحت سنجی مدل

برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل پنج واقعه بارش و رواناب متناظر آن در تاریخ‌های مختلف (۱۳۹۹/۷/۱۸، ۱۳۹۹/۹/۱۳، ۱۳۹۹/۹/۱۶، ۱۳۹۹/۹/۱۷، ۱۳۹۹/۱۰/۴) اندازه‌گیری شد. از بین آن‌ها سه واقعه برای واسنجی و دو واقعه برای صحت‌سنجی مدل انتخاب گردید. 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.

ه: شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل SWMM

از رایج‌ترین روابط ریاضی که جهت ارزیابی کارایی مدل‌ها در اکثر مطالعات هیدرولوژی شهری استفاده می‌شود عوامل ضریب ناش‌ساتکلیف (رابطه ۷)، مجذور میانگین مربعات خطا

مختلف دوره پایه (۲۰۲۰ - ۱۹۸۰) و دوره آینده نزدیک (۲۰۵۰ - ۲۰۲۱) و آینده دور (۲۱۰۰ - ۲۰۵۱) و تهیه منحنی IDF در زمان و تداوم‌های مختلف تحت سناریوی RCP2.6 و RCP 8.5 از روش آبخضر - قهرمان استفاده گردید. از آن جایی که رابطه مذکور ایران را به مناطق اقلیمی مختلفی تقسیم کرده است و ایستگاه سینوپتیک مهرآباد در قسمت شمالی ایران قرار می‌گیرد، لذا شدت بارندگی برای دوره بازگشت‌های مختلف از روابط (۵) و (۶) تبعیت می‌کند (قهرمان و آبخضر، ۱۳۸۳).

$$R_t^{10} = At^B [a_1 + a_2 \ln(T - a_3)] R_{60}^{10} \quad ۵$$

$$R_{60}^{10} = 9/99 + 0/212 (R_{1440}^2) \quad ۶$$

که R_{60}^{10} شدت بارش یک ساعته 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 و a_3 ضرایب ثابت معادله هستند. تعیین میزان نفوذ در این پژوهش با استفاده از معادله نفوذ هورتن در نظر گرفته شد. پارامترهای معادله نفوذ هورتن با استفاده از اطلاعات نفوذپذیری خاک منطقه و جداول مربوط از راهنمای نرم افزار SWMM بدست می‌آیند. در این پژوهش، از روش موج دینامیک برای روندیابی جریان در داخل کانال‌ها استفاده شد.

ج: تحلیل حساسیت مدل

در این مطالعه برای بررسی حساسیت متغیرهای مدل SWMM از روش آنالیز حساسیت جزئی یعنی تأثیر هر پارامتر

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

پارامترهای کالیبراسیون	مقادیر اولیه	مقیاس تغییرات	مقادیر حداکثر
درصد مناطق نفوذ ناپذیر	-	±۳۰	-
شیب (/)	-	±۳۰	-
عرض معادل (متر)	-	±۳۰	-
N - نفوذ ناپذیر	۰/۰۱۳	۰/۰۳۳ - ۰/۰۱۱	۰/۰۱۸
N - نفوذ پذیر	۰/۰۵	۰/۰۸ - ۰/۰۲	۰/۲
ارتفاع ذخیره مناطق نفوذ ناپذیر (mm)	۱/۷۷۸	۲/۵ - ۰/۳	۲
ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر (mm)	۳/۸۱	۵/۱ - ۲/۵	۱/۴
درصد مناطق نفوذ ناپذیر بدون ذخیره سطحی	۱۶	۲۰ - ۵	۱۸

و: تغییر اقلیم

در این پژوهش برای ارزیابی شبکه‌زهکشی منطقه مورد پژوهش تحت تاثیر تغییر اقلیم آینده، داده‌های اقلیمی با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadGEM - ES از 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 گردید.

نتایج و بحث

در این پژوهش برای تحلیل بارش‌های حداکثری برای تداوم‌های مختلف و تهیه منحنی IDF از رابطه قهرمان - آبخضر برای دوره پایه (۲۰۲۰ - ۱۹۸۰) و تحت تاثیر تغییر اقلیم آینده نزدیک (۲۰۵۰ - ۲۰۲۱) و آینده دور (۲۱۰۰ - ۲۰۵۱) تحت سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 برای دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله استفاده گردید. شکل ۲ منحنی IDF استحصال شده را برای سه دوره مذکور نشان می‌دهد. براساس نتایج حاصل، مقادیر شدت بارش در همه 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 (۲۰۵۰ - ۲۰۲۱) 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 تاثیر بارش‌های کوتاه مدت می‌باشند.

برای انجام تحلیل حساسیت مدل از هشت پارامتر مهم استفاده شد. که نتایج تحلیل حساسیت مدل نشان داد که در بین تمام متغیرهای بررسی شده درصد مناطق نفوذناپذیر بیش‌ترین تأثیر را روی دبی اوج دارد و به عنوان حساس‌ترین متغیر شناخته شد. بعد از آن پارامتر عرض معادل و ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذ پذیر بیش‌ترین تأثیر را بر تغییر دبی اوج خروجی داشتند. و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی کم‌ترین تأثیر را روی دبی اوج در منطقه

(رابطه ۸)، بایاس (رابطه ۹) و معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا (رابطه ۱۰) است. در این پژوهش از چهار معیار ذکر شده برای بررسی صحت واسنجی و صحت‌سنجی مدل استفاده شد.

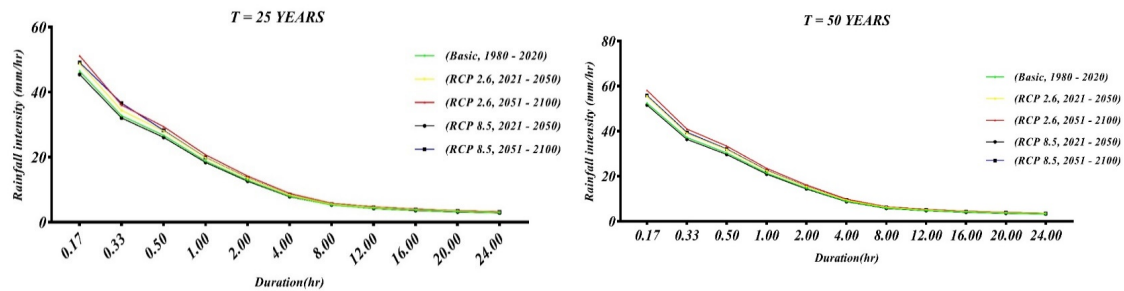
$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{av})^2} \quad (7)$$

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

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

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

Q_{sim} دبی شبیه‌سازی شده، Q_{obs} دبی مشاهداتی در زمان i ، میانگین دبی مشاهداتی و n تعداد داده‌ها می‌باشد. 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 نشان دهنده‌ی بالا بودن دقت شبیه‌سازی است (سانتهی و همکاران ۲۰۰۱). 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 نشان دهنده بیشتر یا کمتر بودن متوسط حجم جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است (دونگوان و همکاران ۲۰۰۹). در رابطه (۱۰)، r 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 است. بهترین مقدار برای معیار ارزیابی کلینگ-گوپتا عدد یک می‌باشد که نشان دهنده تطابق کامل هیدروگراف‌ها است (کلینگ و همکاران ۲۰۱۲).



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

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

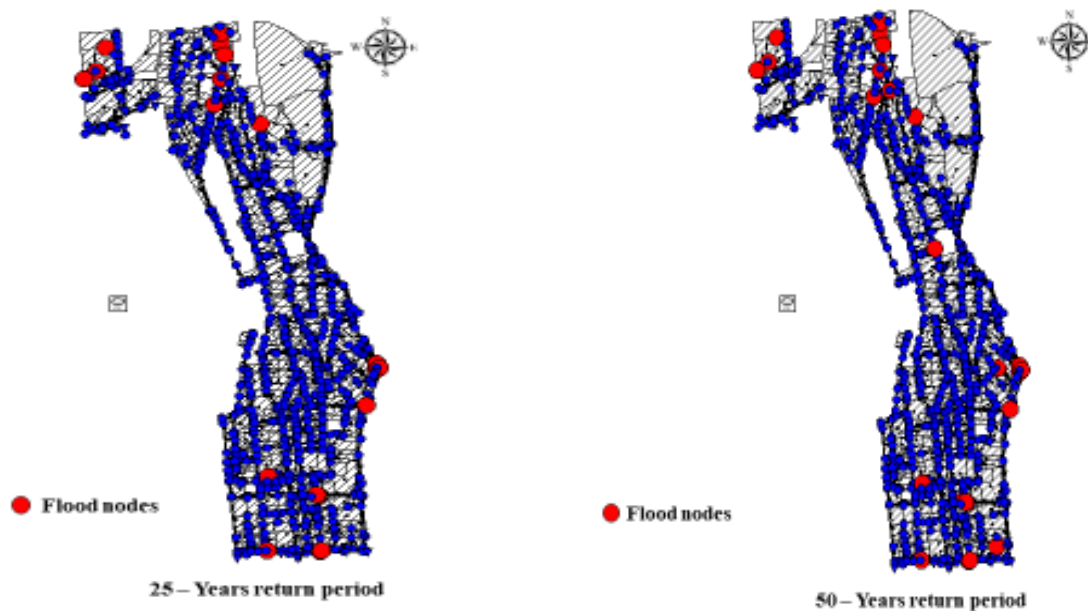
واقع بارش	مرحله	فاکتور	NS	RMSE	BIAS	KEGE
۱۳۹۹ / ۷ / ۱۸	واسنجی	دبی	۰/۷۰	۰/۰۰۶۲	۵/۹۸	۰/۷۰
۱۳۹۹ / ۹ / ۱۳	واسنجی	دبی	۰/۶۸	۰/۰۰۵۹	۸/۴۱	۰/۶۶
۱۳۹۹ / ۹ / ۱۶	واسنجی	دبی	۰/۶۹	۰/۰۰۵۶	۱۰/۸۸	۰/۷۴
۱۳۹۹ / ۹ / ۱۷	اعتبار سنجی	دبی	۰/۶۵	۰/۰۰۰۵۰	۱۰/۳۲	۰/۷۱
۱۳۹۹ / ۱۰ / ۴	اعتبار سنجی	دبی	۰/۶۴	۰/۰۰۰۶۸	۹/۱۹	۰/۶۵

رواناب شهری و طراحی شبکه زهکشی رواناب شهری منطقه مورد پژوهش استفاده نمود.

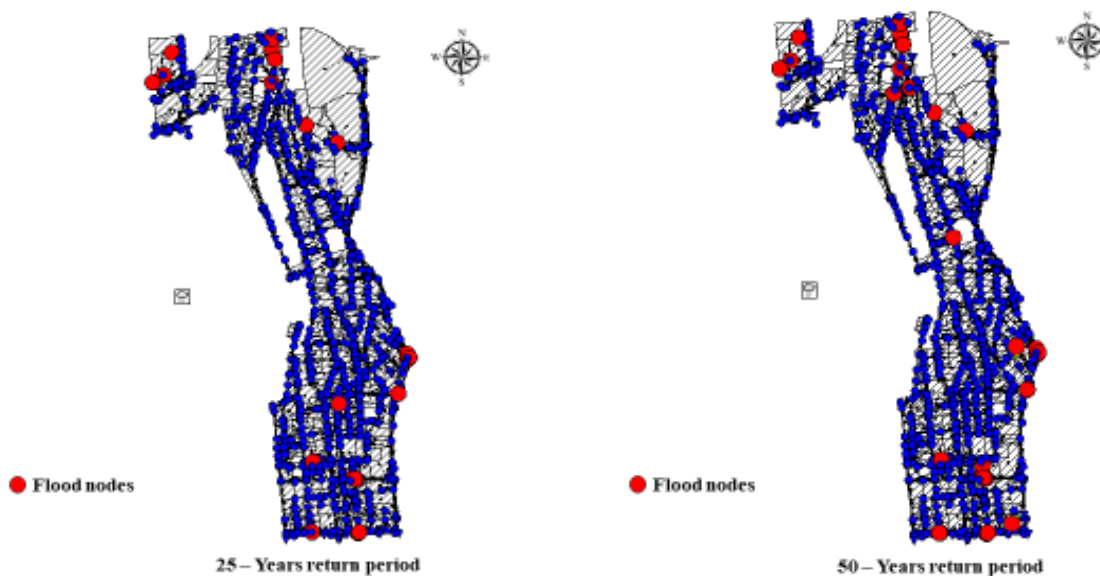
گره‌های سیل‌گیر شبکه زهکشی

مدل برای دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله برای دوره پایه (۲۰۲۰ - ۱۹۸۰) و تحت تاثیر تغییر اقلیم (۲۰۵۰ - ۲۰۲۱) و (۲۱۰۰ - ۲۰۵۱) تحت سناریو RCP2.6 و RCP8.5 اجرا شد و در هر کدام از دوره بازگشت‌ها، عملکرد اتصالات، گره‌ها و مجاری شبکه زهکشی مورد ارزیابی قرار گرفت. روندیابی سیل در مجاری زهکشی با روش موج دینامیکی انجام شد. با توجه به اشکال ۳ تا ۷ مشخص شد 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 (۲۰۲۰ - ۱۹۸۰) و تحت تاثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۵۰ - ۲۰۲۱) برای دوره بازگشت ۲۵ ساله به ترتیب ۱۶، ۱۸ و ۲۰ است. تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره پایه (۲۰۲۰ - ۱۹۸۰) و تحت تاثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۱۰۰ - ۲۰۵۱) برای دوره بازگشت ۵۰ ساله به ترتیب ۲۰، ۲۶ و ۲۸ است.

پژوهش داشت. جهت بررسی میزان انطباق بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در مدل از پنج واقعه بارش و رواناب متناظر آن استفاده شد. که سه واقعه برای واسنجی و دو واقعه برای صحت‌سنجی مدل انتخاب گردید. به منظور ارزیابی کارایی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از چهار شاخص ناش‌ساتکلیف، مجذور میانگین مربعات خطا، خطای کل در حجم جریان و معیار ارزیابی کلینگ - گوپتا استفاده شد که نتایج حاصل از کارایی مدل در دوره واسنجی و صحت‌سنجی مدل در جدول (۳) ارائه شده است. به طوریکه مقدار ضریب (KGE) در مرحله واسنجی برای رویداد اول، دوم و سوم به ترتیب ۰/۷۰، ۰/۶۶ و ۰/۷۴ و این ضریب در مرحله اعتبار سنجی برای دو رویداد اندازه‌گیری شده به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۶۵ است. هم‌چنین مقدار ضریب (RMSE) در مرحله واسنجی برای رویداد اول، دوم و سوم به ترتیب ۰/۰۰۶۲، ۰/۰۰۵۹ و ۰/۰۰۵۶ و این ضریب در مرحله اعتبار سنجی برای دو رویداد اندازه‌گیری شده به ترتیب ۰/۰۰۰۵۰ و ۰/۰۰۰۶۸ است. نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی نشان داد که مدل SWMM دقت مورد نیاز را برای شبیه‌سازی رواناب سطحی دارد و می‌توان از این مدل برای طرح‌های مدیریت



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



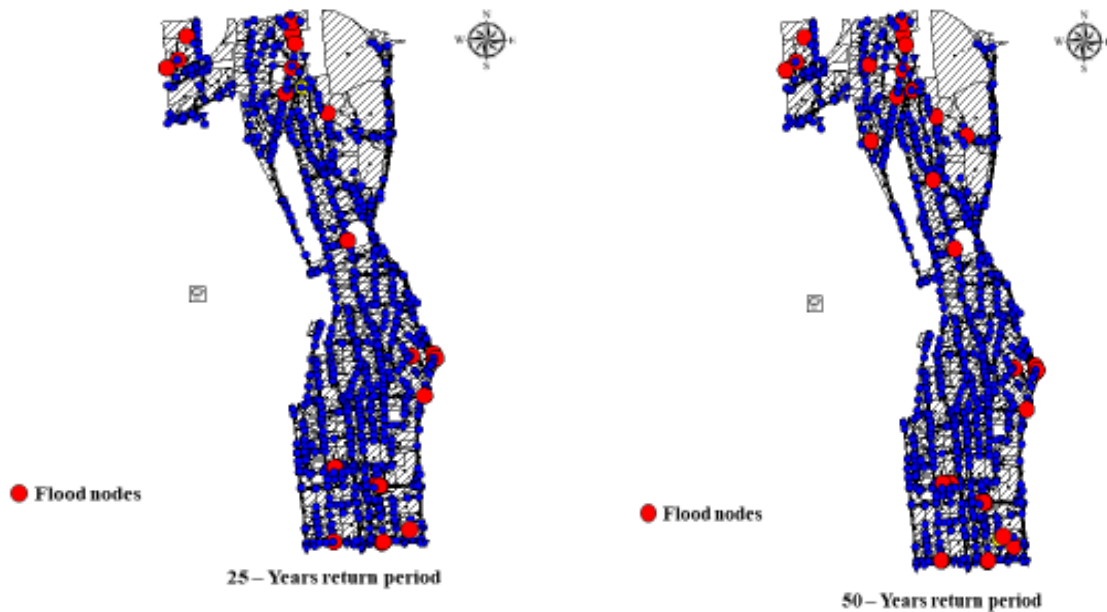
شکل ۴. گره‌های سیل‌گیر آینده نزدیک سناریو RCP 2.6 (۲۰۲۱ - ۲۰۵۰)

۲۵ و ۵۰ ساله اقدام به تهیه هیدروگراف خروجی و وضعیت شبکه سیل‌خیزی حوضه در دوره پایه و تحت تاثیر تغییر اقلیم گردید. شکل ۸ هیدروگراف‌های خروجی شبکه زهکشی را در دوره پایه و تحت تاثیر تغییر اقلیم نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است با افزایش دوره بازگشت چه در دوره پایه (۱۹۸۰ - ۲۰۲۰) و چه در دوره تحت تاثیر تغییر اقلیم (۲۰۵۰)

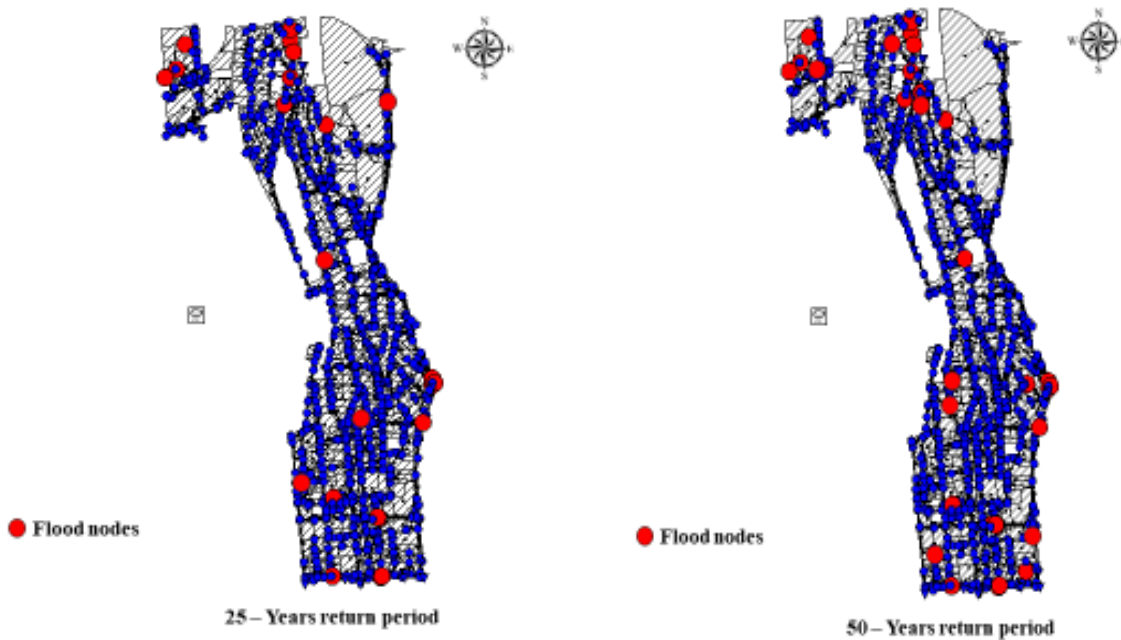
هم‌چنین تعداد گره‌های سیل‌گیر حوضه نیز از دوره بازگشت ۲۵ ساله نسبت به دوره بازگشت ۵۰ ساله برای هر دوره روند افزایشی داشته است.

هیدروگراف‌های سیل‌خیزی شبکه زهکشی

با استفاده از بارندگی طرح ۶ ساعته با دوره بازگشت‌های



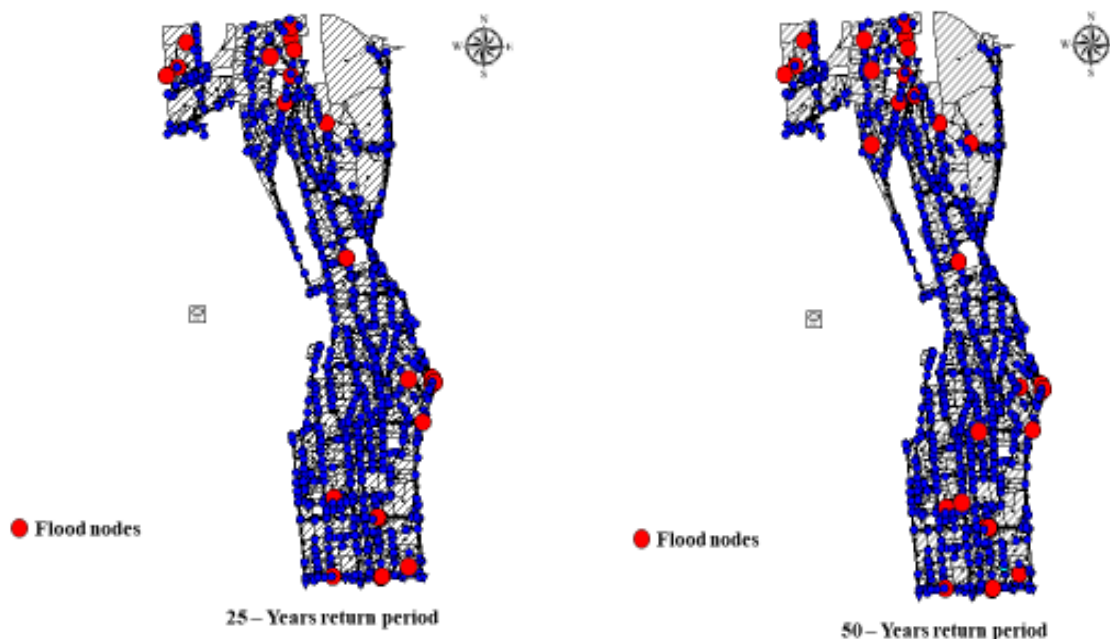
شکل ۵. گره‌های سیل‌گیر آینده دور سناریو RCP 2.6 (۲۰۵۱ - ۲۱۰۰)



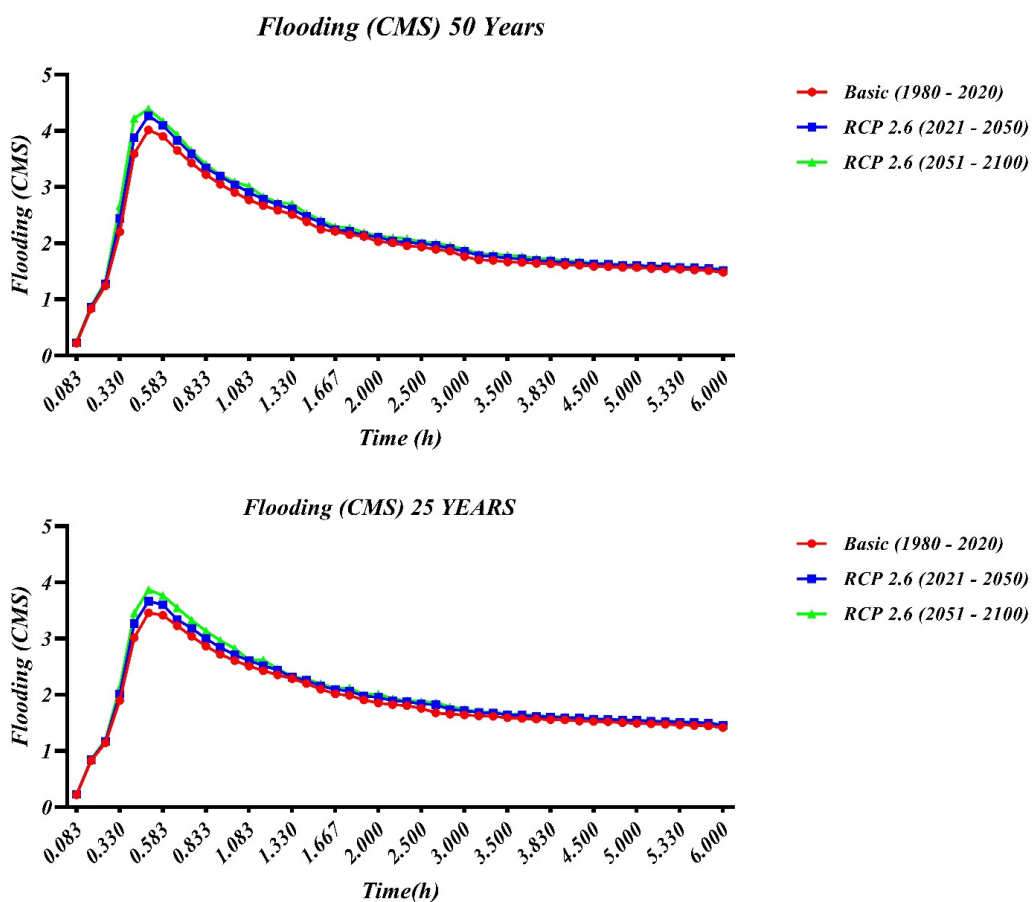
شکل ۶. گره‌های سیل‌گیر آینده نزدیک سناریو RCP 8.5 (۲۰۲۱ - ۲۰۵۰)

بهینه برای کانال‌های سیل‌خیز شود. به‌طوریکه مقدار دبی اوج سیل سناریوی RCP 2.6 بعد از ۳۰ دقیقه بارش برای دوره پایه، دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱ - ۲۰۵۰) و آینده دور (۲۱۰۰ - ۲۰۵۱) با دوره بازگشت ۲۵ ساله به ترتیب ۳/۴۵۶، ۳/۶۶۳ و

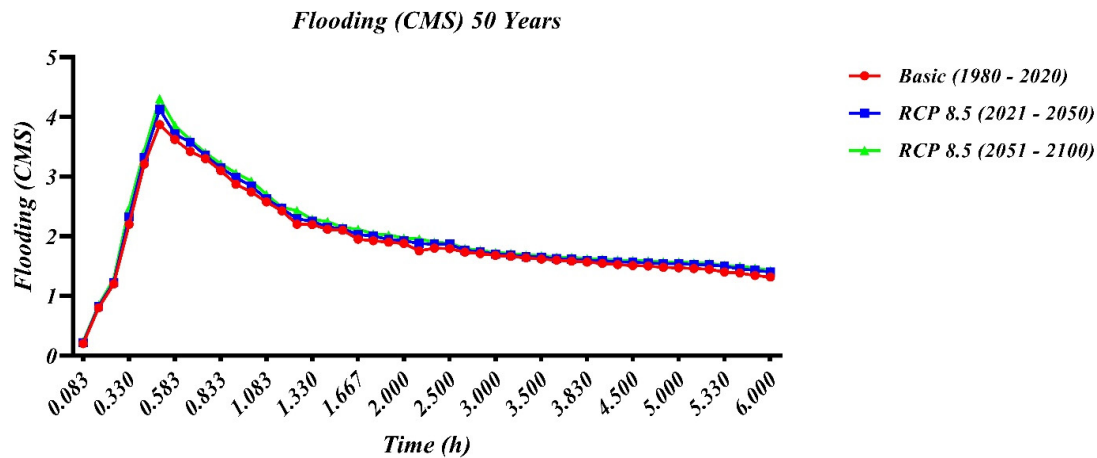
۲۰۲۱ - ۲۰۵۱) و (۲۰۵۱ - ۲۱۰۰) با افزایش سیل‌خیزی مجاری زهکشی حوضه مواجه هستیم و مدت سیلابی بودن کانال‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین، پتانسیل سیل‌خیزی منطقه در دوره بازگشت‌های بالا بیشتر است، و بایستی اقدام به طراحی ابعاد



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



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



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

حداکثری در تداوم‌های مختلف و تهیه منحنی IDF از رابطه قهرمان - آبخضر استفاده شد. نتایج نشان داد که مقادیر شدت بارش در همه تداوم‌های بارش و دوره بازگشت‌های مختلف در هر سه سناریو نسبت به منحنی شدت مدت فراوانی دوره پایه افزایش داشته است. همچنین 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 تاثیر بارش‌های کوتاه مدت می‌باشند که با نتایج (حبیب نژاد و شکوهی (۲۰۱۹) و بختیاری و همکاران (۲۰۱۴) تطابق دارد.

در فرآیند تحلیل حساسیت مدل از هشت پارامتر مهم

۳/۸۶۸ و برای سناریوی RCP 8.5 به ترتیب ۳/۲۸۸، ۳/۳۸۱ و ۳/۶۹۳ متر مکعب بر ثانیه به دست آمد. نشان دهنده این است که در سناریوی RCP 8.5 مقدار دبی اوج نسبت به دوره پایه و سناریوی RCP 2.6 روند افزایشی دارد.

جمع‌بندی

هدف از این پژوهش در واقع ارزیابی شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی، وضعیت گره‌ها و مجاری انتقال سیلاب برای دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله تحت تاثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP 2.6 و RCP 8.5 در بخش شرقی منطقه شش شهرداری تهران می‌باشد. ابتدا، برای تحلیل بارش‌های

استفاده شد. که نتایج نشان داد در بین تمام متغیرهای بررسی شده درصد مناطق نفوذناپذیر بیش‌ترین تأثیر را بر روی دبی اوج دارد و به عنوان حساس‌ترین متغیر شناخته شد که با نتایج شهبازی و همکاران (۱۳۹۶) و حیدرزاده و همکاران (۱۳۹۶) هم‌خوانی دارد. بعد از آن پارامتر عرض معادل و ضریب زبری مانینگ در مناطق نفوذ پذیر بیش‌ترین تأثیر را بر تغییر دبی اوج خروجی داشتند. و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی کم‌ترین تأثیر را روی دبی اوج در منطقه پژوهش داشت. جهت بررسی میزان انطباق بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در مدل از پنج واقعه بارش و رواناب متناظر آن استفاده شد. که سه واقعه برای واسنجی و دو واقعه برای صحت‌سنجی مدل انتخاب گردید. نتایج نشان از انطباق بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی دارد که با نتایج وانگ و همکاران (۲۰۲۰) و بای و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. به‌طوریکه مقدار ضریب (KGE) در مرحله واسنجی برای رویداد اول، دوم و سوم به‌ترتیب ۰/۷۰، ۰/۶۶ و ۰/۷۴ و این ضریب در مرحله اعتبار سنجی برای دو رویداد اندازه‌گیری شده به‌ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۶۵ است. هم‌چنین مقدار ضریب (RMSE) در مرحله واسنجی برای رویداد اول، دوم و سوم به‌ترتیب ۰/۰۰۶۲، ۰/۰۰۵۹ و ۰/۰۰۵۶ و این ضریب در مرحله اعتبار سنجی برای دو رویداد اندازه‌گیری شده به‌ترتیب ۰/۰۰۵۰ و ۰/۰۰۶۸ است. در مرحله بعد مدل برای دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله برای دوره پایه (۲۰۲۰ - ۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم (۲۰۵۰ - ۲۰۲۱ و ۲۱۰۰ - ۲۰۵۱) تحت سناریو RCP2.6 و RCP8.5 اجرا شد.

نتایج نشان داد که هم در دوره پایه و هم تحت سناریوهای اقلیمی، گره‌های سیل‌گیر در منطقه وجود دارد، به‌طوری‌که تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره پایه (۲۰۲۰ - ۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۵۰ - ۲۰۲۱) برای دوره بازگشت ۲۵ ساله به‌ترتیب ۱۶، ۱۸ و ۲۰ است. تعداد گره‌های سیل‌گیر در دوره پایه (۲۰۲۰ - ۱۹۸۰) و تحت تأثیر تغییر اقلیم سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 (۲۱۰۰ - ۲۰۵۱) برای دوره بازگشت ۵۰ ساله به‌ترتیب ۲۰، ۲۶ و ۲۸ 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. پتانسیل سیل‌خیزی منطقه در دوره بازگشت‌های بالا بیشتر است، و بایستی اقدام به طراحی ابعاد بهینه برای کانال‌های سیل‌خیز شود. به‌طوریکه مقدار دبی اوج سیل سناریوی RCP 2.6 بعد از ۳۰ دقیقه بارش برای دوره پایه، دوره آینده نزدیک (۲۰۵۰ - ۲۰۲۱) و آینده دور (۲۱۰۰ - ۲۰۵۱) با دوره بازگشت ۲۵ ساله به‌ترتیب ۳/۴۵۶، ۳/۶۶۳ و ۳/۸۶۸ و برای سناریوی RCP 8.5 به‌ترتیب ۳/۲۸۸، ۳/۳۸۱ و ۳/۶۹۳ متر مکعب بر ثانیه به‌دست آمد. و نشان دهنده این است که در سناریوی RCP 8.5 مقدار دبی اوج نسبت به دوره پایه و سناریوی RCP 2.6 روند افزایشی دارد. بنابراین اصلاح شیب معابر و ابعاد کانال‌ها در منطقه پژوهش الزامی است و مدیران و برنامه‌ریزان شهری برنامه‌ای جهت مدیریت سیلاب و رواناب شهری باید تنظیم و اجرا نمایند.

مراجع

- احمدی، م.، معتمدزیر، ب.، احمدی، ح.، معینی، ا.، زهتابیان، غ.، ۱۳۹۹، ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب آبخیز کن در دوره آینده. پژوهش‌های آبخیزداری، (۲): ۳۳ - ۸۱ - ۶۶.
- افشاری آزاد، م. ح.، پولکی، ه.، ۱۳۹۱، مورفولوژی شهر رشت و آب‌گرفتگی معابر رشت، فصل‌نامه آمایش محیط، ۱۷، ۲۵.
- بافلاتی، م.، رستمی، ن.، توکلی، م.، ۱۳۹۸، شناسایی عوامل مؤثر بر بروز سیلاب شهری در حوزه آبخیز شهر ایلام، مهندسی و مدیریت آبخیز، (۲): ۱۱ - ۲۳ - ۵۳۶.
- رضایی، ف.، بهره‌مند، ع.، شیخ، و.، دستورانی، م.، تاج‌بخش، م.، ۱۳۹۷، کالیبراسیون و ارزیابی مدل SWMM در شبیه‌سازی رواناب منطقه ۹ شهرداری مشهد، آب و توسعه پایدار، (۲): ۵ - ۱۰۰ - ۹۱.
- رفیعی، م.، قدم‌پور، ز.، سبزواری، ت.، ۱۳۹۹، تأثیر الگوی توزیع بارش و معادله نفوذ در شبیه‌سازی سیلاب شهری مطالعه موردی: حوضه عبدالسلام کنگان، فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، (۴۱): ۱۱ - ۱۹۶ - ۱۷۹.
- حیدرزاده، م.، نوحه‌گر، ا.، ملکیان، آ.، خورانی، ا.، ۱۳۹۶، ارزیابی و آنالیز حساسیت کمیت رواناب و سیستم زهکشی در حوضه شهری ساحلی با استفاده از مدل SWMM (مطالعه موردی: بخشی از شهر بندرعباس)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، (۳): ۲۴ - ۲۱۸ - ۲۰۳.
- سلیمانی، ک.، رشیدی‌پور، م.، کریمی، و.، خسروی، ک.، ۱۳۹۴، هیدرولوژی سیلاب شهری و مدل‌سازی کمی در محیط GIS و SWMM دانشگاه هراز، انجمن سنجش از دور و GIS ایران، ۳۰۱.
- شهبازی، ع.، خلیقی سیگارودی، ش.، ملکیان، آ.، سلاجقه، ع.، ۱۳۹۶، تجزیه و تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل مدیریت رواناب شهری SWMM (مطالعه موردی: شهر ماهدشت)، پژوهش‌های آبخیزداری، (۱): ۳۰ - ۷۵ - ۶۷.
- شریعت، ر.، روزبهانی، ع.، ابراهیمیان، ع.، ۱۳۹۸، تحلیل ریسک شبکه‌های جمع‌آوری رواناب شهری با استفاده از تصمیم‌گیری

- 2019, A fast and robust simulation-optimization methodology for stormwater quality management. *Journal of Hydrology*, 576, 520-527.
- 18) Shaw, T. A., Baldwin, M., Barnes, E. A., Caballero, R., Garfinkel, C. I., Hwang, Y. T., Voigt, A., 2016, Storm track processes and the opposing influences of climate change, *Nature Geoscience*, 9(9), 656-664.
- 19) Wang, M., Zhang, D.Q., Adhityan, A., Ng, W.J., Dong, J.W., Tan, S.K., 2018, Conventional and holistic urban stormwater management in coastal cities: a case study of the practice in Hong Kong and Singapore, *J Water Resour Dev*, 34(2), 192-212.
- 20) Walsh, C. J., Booth, D. B., Burns, M. J., Fletcher, T. D., Hale, R. L., Hoang, L. N., Wallace, A., 2016, Principles for urban stormwater management to protect stream ecosystems, *Freshwater Science*, 35(1), 398-411.
- 21) Wang, Y., Wang, H., Wang, M., Wu, Y., Liu, H., & Huang, H., 2020, Study on the Simulation and Evaluation of LID Adaptation Measures Based on SWMM, *Journal of Water Resources Research*, 9(1), 22-32.
- 22) Zeng, Z., Yuan, X., Liang, J., & Li, Y., 2021, Designing and implementing an SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time urban stormwater management. *Environmental Modelling & Software*, 135, 104887.
- چند معیاره مکانی (مطالعه موردی: منطقه ۱۱ تهران)، آب و فاضلاب، ۳۰(۱)، ۱۷ - ۱.
- ۱۰) قادری دهکردی، ن.، سلیمانی، کریم، کاویان، ع.، رشیدپور، م.، ۱۳۹۹، بهره‌گیری از مدل SWMM در تعیین قابلیت جمع‌آوری و استحصال رواناب شهر بابلسر، استان مازندران، مهندسی و مدیریت آب، ۱۲(۴)، ۱۰۶۴ - ۱۰۵۵.
- ۱۱) قهرمان، ب.، آبخضر، ح.، ۱۳۸۳، اصلاح روابط شدت - مدت - فراوانی بارندگی در ایران. *مجله علوم آب و خاک*، ۲۸(۲): ۱-۱۴.
- ۱۲) نظری، ا.، روزبهانی، ع.، هاشمی شاهدانی، م.، ۱۴۰۰، مدیریت رواناب شهری با رویکرد بهینه‌سازی روش‌های توسعه کم‌اثر و تلفیق مدل‌های SWMM و SUSTAIN. *مجله آب و فاضلاب*، ۳۲(۴): ۱۵۱ - ۱۳۶.
- ۱۳) نوحه گر، احمد، فوزی، م.، بهروزی، م.، ۱۴۰۰، شناسایی الگوهای جوی مولد سیلاب شهری و شبیه‌سازی رواناب ناشی از آن در شهر میناب، پژوهش‌های دانش زمین، ۱۲(۳)، ۱۸۴ - ۱۶۴.
- 14) Bai, Y., Zhao, N., Zhang, R., & Zeng, X., 2018, Storm water management of low impact development in urban areas based on SWMM, *Water*, 11(1), 33.
- 15) Browne, S., Lintern, A., Jamali, B., Leitão, J. P., & 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, 143835.
- 16) Kang, N., Kim, S., Kim, Y., Noh, H., Hong, S., Kim, H., 2016, Urban drainage system improvement for climate change adaptation. *Water*, 8(7), 268.
- 17) Liu, G., Chen, L., Shen, Z., Xiao, Y., & Wei, G,

Evaluating the efficiency of the SWMM model in order to investigate the flooding nodes of the drainage network under the influence of climate change (Case study: East of Six District of Tehran Municipality)

Yazdan Yarahmadi¹, Reza Ghazavi^{2*}, Hoda Ghasemiyeh³

¹ PhD 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

*Corresponding Author Email: ghazavi@kashanu.ac.ir

Received: 17 August 2021 , accepted: 11 November 2021

ABSTRACT

The aim of the current research is to evaluate the performance of the drainage network and flood control nodes in the base period and under the influence of climate change for the 25 and 50-year return periods in the east of Tehran's sixth district using the SWMM and LARS-WG models. After calibrating the SWMM model based on observed rainfall-runoff events, the calibrating and validation results confirmed the agreement between the observed and simulated data. So that the value of the coefficient(KGE) in the calibration stage for the first, second and third event is 0.70,0.66 and 0.74 respectively and this coefficient in the validation stage for the two measured events is 0.71 and 0.65 respectively. The model simulation for the base period and under the influence of climate change was carried out with a return period of 25 and 50 years and the results showed that the number of flood nodes in the base period(1980-2020)and under the influence of climate change scenario RCP2.6 and RCP8.5(2021- 2050) for the return period of 25 years, respectively 16,18 and 20 and 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 is 20,26 and 28 respectively. Therefore, the modeling results show that the surface runoff collection system of the research area needs to improve and modify the slope of the passages and the dimensions of the channels to transfer the runoff caused by the flood.

Keywords: Urban flooding, SWMM, climate change, LARS - WG

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Yarahmadi, Y.; Ghazavi, R.; Ghasemiyeh, H. (2021). Evaluating the efficiency of the SWMM model in order to investigate the flooding nodes of the drainage network under the influence of climate change (Case study: East of Six District of Tehran Municipality). *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 4(4): 326-338

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAs Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

