دوره (۱)
شماره (۲)
پیاپی (۲)
پاییز و زمستان (۱۴۰۱)
شماره صفحه: ۸۶-۷۵

نشریه علمی پژوهش‌های نوین در مهندسی آب پایدار

آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری شبکه جمع‌آوری رواناب منطقه ۱۰ شهرداری تهران در مواجه با سیلاب شهری

حسین حسین‌زاده کوهی*[۱]

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲
DOI: 10.22103/nrswe.2023.20409.1017

چکیده

افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی و به دنبال آن افزایش سطوح نفوذناپذیر موجب افزایش حجم رواناب شهری شده و این افزایش حجم، شبکه‌های جمع‌آوری رواناب که یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های اساسی کنترل سیلاب شهری می‌باشد را دچار مشکل می‌کند. در این پژوهش به کمک شاخص‌های آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری، عملکرد شبکه جمع‌آوری آب سطحی منطقه ده شهرداری تهران مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا با استفاده از مدل شبیه‌ساز سیلاب شهری SWMM ، منطقه مورد مطالعه از لحاظ هیدرولیکی و هیدرولوژیکی تحت داده‌های بارش تاریخی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد شبیه‌سازی گردید. سپس با استفاده از شاخص‌های آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری، عملکرد شبکه تحت دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است آسیب‌پذیری سیستم با افزایش دوره بازگشت بارش از ۱۰/۴ درصد به ۱۲/۲ درصد افزایش می‌یابد. همچنین کاهش قابلیت اطمینان‌پذیری سیستم با افزایش دوره بازگشت (از ۹۷/۵ درصد به ۹۵/۸درصد) حاکی از افزایش کانال‌های سیلابی می‌باشد.

واژگان کلیدی: شاخص آسیب پذیری، شاخص اطمینان پذیری، شبکه جمع آوری رواناب، دوره بازگشت، رواناب شهری، مدل SWMM

*[۱] - نویسنده مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران. تهران. ایران. ایمیل: Hosseinzade96@ut.ac.ir

مقدمه

امروزه بشر با گسترش شهرنشینی و تسطیح اراضی، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و مسیل‌های طبیعی باعث به وجود آمدن تغییر در الگوی زهکشی طبیعی ، اختلال در رفتار هیدرولیکی جریان آب و درنهایت جاری شدن سیلاب در سطح شهر شده است (Schilling et al. 2014). ازجمله پیامدهای حاصل از این تغییرات می‌توان به افزایش خطر سیلاب شهری و آب‌گرفتگی معابر و همچنین افزایش هزینه‌های شهری اشاره کرد که خسارت‌های جبران‌ناپذیر جانی و مالی بر زندگی شهری دارد. گسترش شهرسازی را می‌توان یکی از عوامل تأثیرگذار بر سیلاب برشمرد که به سبب افزایش سطوح نفوذناپذیر موجب افزایش حجم رواناب لحظه‌ای و کل و کاهش زمان تمرکز می‌گردد(Garner et al. 2019).

شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های کلیدی برای کنترل سیلاب شهری می‌باشد. ازآنجا که این زیرساخت‌ها تحت عواملی چون توسعه شهری و تغییرات اقلیمی قرار دارند، سازگار نمودن آن‌ها با چنین تغییراتی جهت بالا بردن پایایی و کاهش آسیب‌پذیری شبکه از اهمیت زیادی برخوردار است. در فصول پر بارش، برخی مناطق شهری ممکن است به دلیل کمبود ظرفیت شبکه جمع‌آوری رواناب و ناتوانایی شبکه جهت انتقال ایمن رواناب حاصل از بارش، در معرض خطر سیل قرار گیرند (Rao and Ramana 2015).

وجود یک شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی پایدار می‌تواند احتمال وقوع آب‌گرفتگی معابر و سیلاب شهری را کاهش دهد. مشکل اساسی این است که در حال حاضر شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی، بر اساس شرایط اقلیمی گذشته طراحی و ایجاد شده است و ممکن است قادر به تحمل رواناب حاصل از تغییرات زمان حال یا آینده نباشد (Berggren 2008).

این مسئله بدین معناست که حتی باوجود یک شبکه جمع‌آوری رواناب کارآمد و قابل‌قبول، عملکرد شبکه می‌تواند مدتی پس از ساخت آن و با نزدیک شدن به انتهای عمر سازه کاهش یابد. بنابراین، بررسی دوره‌ای آسیب‌پذیری چنین زیرساخت‌های شهری جهت ارتقاء سطح پایداری و عملکرد سیستم، ضروری به نظر می‌رسد.

بررسی عملکرد شبکه زهکشی و تعیین میزان آسیب‌پذیری سیستم نیازمند مدل‌سازی کامپیوتری می‌باشد. مدل‌های زیادی به شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری رواناب شهری پرداخته‌اند که یکی از بهترین و کارآمدترین این مدل‌ها SWMM می‌باشد. در این پژوهش نیز شبیه‌سازی و بررسی رواناب‌های شهری و تحلیل هیدرولیکی سیلاب توسط مدل SWMM انجام شده است. نرم افزار SWMM با استفاده از اطلاعات جغرافیایی زیر حوضه‌های شهری، داده‌های هواشناسی، توپوگرافی و شیب زیر حوضه، اطلاعات کانال‌های زهکشی، معادلات نفوذ و روند یابی جریان، میزان دبی خروجی از هر زیر حوضه و حجم سیلاب شهری را مدل‌سازی می‌کند (Jiang et al. 2015).

سنجش عملکرد شبکه جمع‌آوری آب سطحی از اهمیت بالایی برخوردار است. ازاین‌رو روش‌ها و مدل‌های متنوعی برای ارزیابی عملکرد شبکه جمع‌آوری آب سطحی ارائه شده است. مدل‌های بررسی آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری ازجمله مدل‌هایی است که امروزه درزمینه ارزیابی عملکرد شبکه مورد توجه قرار گرفته است. چارچوب آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری در ابتدا توسط (Hashimoto et al. 1982) برای توصیف عملکرد یک سامانه مخزن چندمنظوره ارائه شده است. در این روش قابلیت اطمینان تکرار یا احتمال وجود حوضه آبخیز در حالت رضایت‌بخش در کل دوره ارزیابی اندازه‌گیری می‌شود و در واقع، آسیب‌پذیری میزان نامطلوب بودن وضعیت و یا عوامل ایجادکننده را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. این دو شاخص با رویکردی جامع به تجزیه و تحلیل احتمال موفقیت یا شکست یک حوضه آبخیز و میزان بهبودی آن از حالت‌های نامطلوب می‌پردازند. ارزیابی شاخص‌های مذکور درک عمیقی در مورد عملکرد حوضه آبخیز در شرایط متغیر آب و هوایی را ایجاد می‌کند.

(French 2006) در تحقیقی به بررسی مطالعات انجام شده در خصوص علت‌های وقوع سیلاب با رویکرد تغییر اقلیم پرداخت. این مطالعه نشان داد که در بیشتر تحقیقات تغییر در شدت و مقدار بارندگی، علت وقوع سیلاب شهری خصوصاً شهرهای ساحلی است که این موضوع با افزایش سطح آب دریاها، افزایش در بروز توفان‌های استوایی ناشی از گرم شدن کره زمین و تغییرپذیری زمین در مقیاس‌های

مختلف همراه است و آسیب‌پذیری در مقابل خطرات سیلاب را افزایش می‌دهد. همچنین این پژوهش نشان داد که چالش‌های موجود در تحقیقات سیلاب شامل: جمع‌آوری اطلاعات در مناطق مختلف، تعریف‌های مختلف از مسائل و عدم قطعیت بین سیستم‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی، ترکیب مدل‌های اقلیمی و کاربری اراضی برای ارزیابی سیلاب و ارتباط بین آسیب‌های سیلاب حاصل از تغییر اقلیم با کاربری اراضی با استفاده از اطلاعات صریح و روشن اقتصادی اجتماعی می‌باشد. این محقق بیان نمود که روش‌های ارزیابی یکپارچه به‌منظور شفاف‌سازی تعامل‌های پیچیده در میان سیستم‌های بشری، زمینی و اقلیمی که منجر به خطرات سیل در مقیاس‌های مختلف می‌شوند مورد توجه قرار گیرد.

محققان مختلفی از نرم‌افزار SWMM به‌منظور شبیه‌سازی و بررسی وضعیت شبکه جمع‌آوری رواناب استفاده نموده‌اند. به عنوان‌مثال (Nahid et al. 2022) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل SWMM به شبیه‌سازی سیلاب ناشی از بارندگی برای منطقه ۴ تهران تحت دوره بازگشت‌هایی ۲، ۵ و ۱۰ سال پرداخته است. سپس دو طرح از بهترین راهکارهای مدیریتی (BMP) تحت سناریوی جوی باغچه و بام سبز و ترکیب هر دو سناریو، جهت کنترل حداکثر رواناب ازنظر کمی انجام گرفته است و درنهایت میزان کارایی آن‌ها در کاهش حجم کل رواناب خروجی از حوضه، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد استفاده از (BMP) در کاهش حجم دبی خروجی مؤثر می‌باشد.

در پژوهشی که توسط (Samim et al. 2022) صورت گرفته است، وضع موجود سیلاب‌های ناحیه هشتم شهر هرات با استفاده از مدل ریاضی EPA-SWMM، به لحاظ آب‌گرفتگی بررسی شد و با استفاده از دو روش توسعه کم اثر (LID)، به‌طور جداگانه و هم‌زمان مدل‌سازی شد. نتایج این پژوهش نشان داد با به‌کارگیری روش‌های توسعه کم اثر می‌توان اثرات منفی سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ سال را حداقل ۴۰ درصد کاهش داد.

(Behzadi et al. 2019) به بررسی شاخص پایداری شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی منطقه ۱۱ شهرداری تهران پرداخته‌اند. در این پژوهش، شبکه جمع‌آوری منطقه مورد مطالعه به‌وسیله مدل شبیه‌ساز SWMM و تحت دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال شبیه‌سازی شد. این شبیه‌سازی هم در شرایط فعلی و هم شرایط آتی با استفاده از داده‌های گزارش پنجم تغییرات اقلیمی صورت گرفت. نتایج نشان داد پایداری شبکه جمع‌آوری رواناب در شرایط فعلی ۷۷/۸۹ درصد و در شرایط آتی تحت سناریو RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب ۷۷/۷۳و ۷۷/۶۱درصد است.

در پژوهشی که توسط (Nazari et al. 2021) انجام شده است، از مدل SWMM به‌منظور شبیه‌سازی فرایند بارش رواناب در ناحیه یک منطقه ۱۱ شهرداری تهران استفاده شد. ۶ سناریو شامل ترکیبات مختلفی از انواع LID در نظر گرفته شد و نتایج نشان داد که پاسخ‌های منتخب پیاده‌سازی سناریوهای ۱ تا ۶ به ترتیب حجم رواناب را به میزان ۵۳، ۴، ۶۶، ۷۲، ۳۱ و ۳۴ درصد کاهش دادند. سناریوی ۴ با ترکیبی از مخازن باران، معابر نفوذپذیر و جوی باغچه با ۷۲ درصد و هزینه ۱۲/۲میلیون 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.

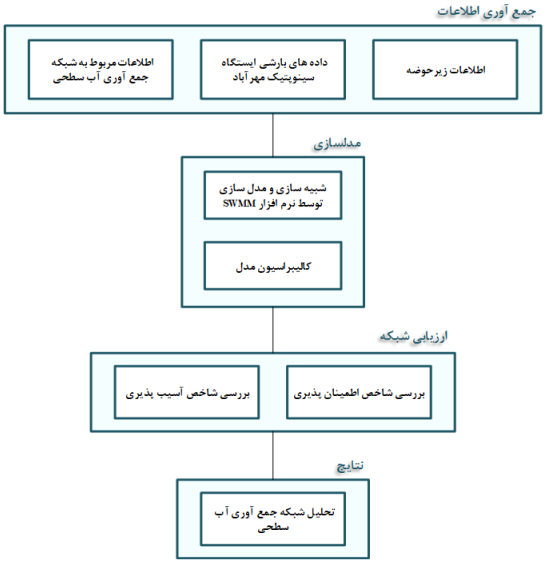
در پژوهشی (Zakizadeh et al. 2020) منطقه ۲۲ شهرداری تهران را با استفاده از مدل SWMM شبیه‌سازی کرده و مورد واسنجی قراردادند. مقدار نش ساتکلیف برابر ۰/۷۲و RSR مقدار ۰/۵۳ به دست آمد که مؤید کارایی و دقت مدل بوده و نشان می‌دهد که مدل مذکور قابلیت شبیه‌سازی رواناب سطحی را دارد و می‌توان از این مدل برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکهٔ زهکشی رواناب شهری منطقهٔ موردمطالعه استفاده نمود.

در مطالعه‌ای که توسط (Farokhzadeh et al. 2021) انجام شد با استفاده از پارامتر بارندگی و ویژگی‌های فیزیکی حوزه از طریق مدل هیدرولوژی – هیدرولیکی، SWMM میزان رواناب سطحی در دوره بازگشت‌های مختلف برای سه کانال خیام، شهرداری و ۱۷ شهریور در منطقه ۱۲ شهرداری تهران برآورد گردید. سپس مدل با استفاده از ۳ آماره نش-ساتکلیف، ریشه مربع خطا و BIAS مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج نشان از کارایی مدل در برآورد رواناب سطحی داشت. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت نشان داد که درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تأثیر و درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی کمترین تأثیر را در ایجاد دبی‌های اوج دارند. در این مطالعه نتیجه گرفته شد که مدل SWMM

دقت موردنیاز برای شبیه‌سازی رواناب شهری را دارد. در پژوهش انجام‌گرفته توسط (Hassani et al. 2022)، شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی منطقه ۱۰ شهرداری تهران تحت اطلاعات بارشی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد با استفاده از مدل SWMM شبیه سازی شد.

(Zahedi Khameneh and Khodashenas. 2021) با استفاده از مدل SWMM به بررسی سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی مناطق ۱۰ و ۱۱ شهر مشهد پرداختند. این مطالعات نشان داد که سیستم جمع‌آوری موجود توان عبور حدود ۸۰ درصد رواناب سطحی دارد و به ترتیب ۳۸/۲و ۲۹/۱درصد از کانال در مدل‌سازی با دوره بازگشت ۵۰ و ۵ ساله دچار پس‌زدگی و آب‌گرفتگی می‌شوند. نتایج حاکی از آن بود که به ترتیب درصد مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل و ضریب زبری در اراضی نفوذپذیر و نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را بر دبی خروجی دارد. بررسی‌ها نشان داد که تغییر کاربری، افزایش اراضی نفوذناپذیر، کاهش ضریب زبری و طراحی نامناسب و قدیمی کانال‌های موجود از دلایل اصلی کاهش عملکرد سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی محدوده موردمطالعه می‌باشد.

همانطور که اشاره شد مطالعات بسیاری در خصوص شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری رواناب شهری به‌وسیله نرم‌افزار SWMM صورت گرفته است که در اغلب آن‌ها مدل SWMM به‌عنوان ابزاری جهت تحقق اهداف پژوهش بکار گرفته می‌شود. در این پژوهش نیز شبکه جمع‌آوری رواناب شهری منطقه ۱۰ شهرداری تهران به‌وسیله نرم‌افزار SWMM تحت داده‌های بارشی ایستگاه سیوپتیک مهرآباد شبیه‌سازی شد و دو شاخص آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری با استفاده از نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری رواناب، محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت. این دو شاخص می‌توانند به‌عنوان معیاری برای سنجیدن عملکرد و کارایی شبکه جمع‌آوری آب سطحی منطقه ۱۰ شهرداری تهران استفاده شوند. مطالعاتی که در خصوص آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری در بحث سیلاب شهری وجود دارند، بیشتر از جنبه های اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و .... بوده، ولی در این پژوهش مشخصاً عملکرد شبکه جمع‌آوری رواناب از نگاه فنی و هیدرولوژیکی بررسی شده است. مراحل انجام پژوهش در فلوچارت شکل (۱) نشان داده شده است.

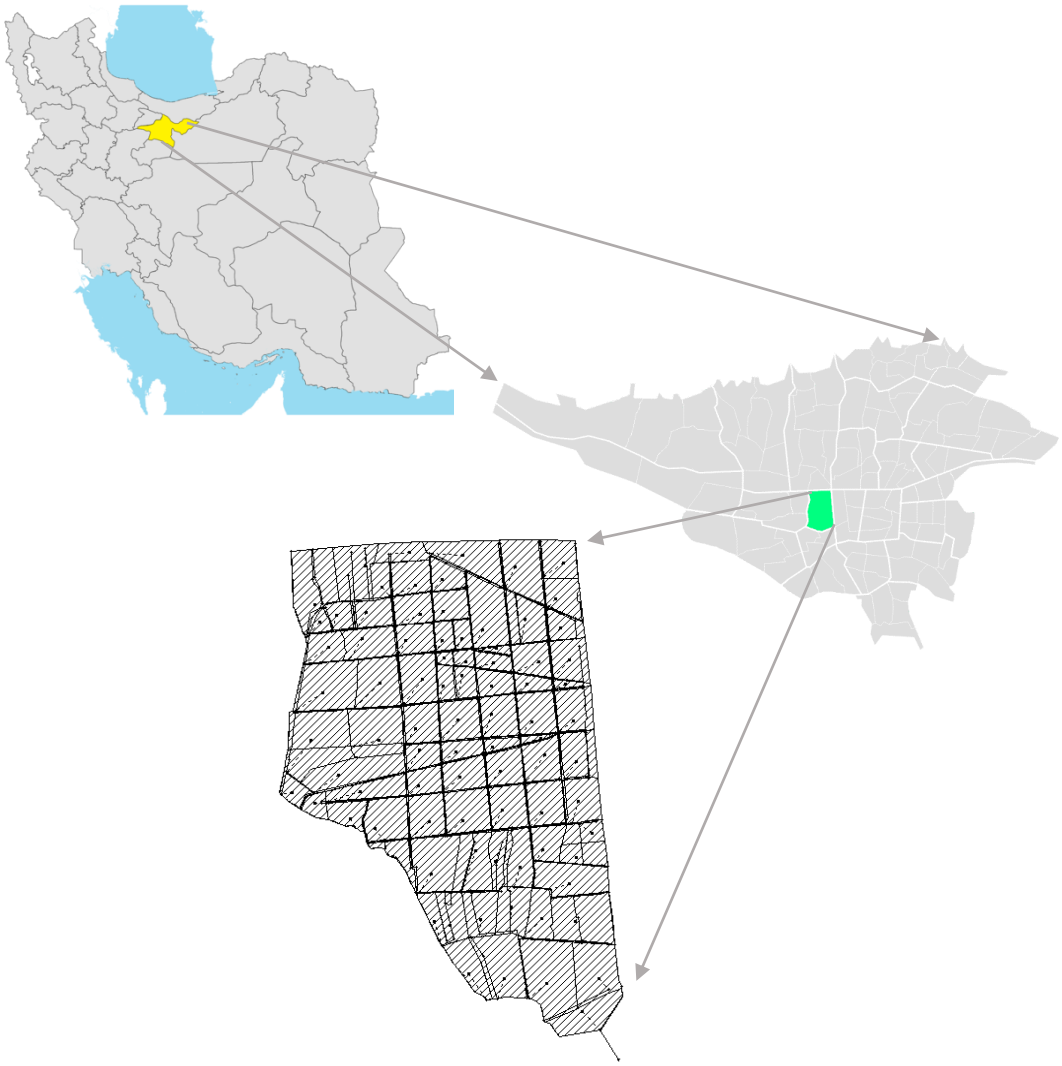


شکل (۱): فلوچارت پژوهش

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

با توجه به تمرکز پژوهش حاضر بر روی شاخص آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری و بررسی حجم رواناب، منطقه ده شهرداری تهران به‌عنوان منطقه مورد مطالعه برگزیده شد. این منطقه با جمعیت ۳۲۷۰۰۰ نفر در بافت تسبتا متراکم کلان‌شهر تهران قرار گرفته که مساحتی معادل ۸۰۷ هکتار را داراست و از این میزان ۵۷ درصد (۴۶۰هکتار) مناطق مسکونی، ۲۵ درصد (۲۰۲هکتار) معابر و ۱۸ درصد (۱۴۵ هکتار) به سایر کاربری‌ها اعم از فضای سبز و ... اختصاص دارد. تراکم جمعیتی منطقه ۱۰ و نیز کمبود فضای سبز و نفوذپذیر در این منطقه، خطرات ناشی از وقوع سیل‌های احتمالی را دوچندان کرده است. بررسی‌های میدانی حاکی از آن است که در بسیاری از نقاط این منطقه با بارش‌های نه‌چندان شدید نیز دچار آب‌گرفتگی می‌گردد که با توجه به شیب حدود ۲ درصد و شبکه زهکشی قدیمی امری منطقی به نظر می‌رسد. ازاین‌رو منطقه ۱۰ شهر تهران می‌تواند گزینه خوبی برای بررسی شاخص‌های آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری باشد. دو مسیل زیرسطحی کمیل و فیروزآبادی در این منطقه اصلی‌ترین کانال های عبور رواناب به شمار رفته و باعث جلوگیری از ورود رواناب حوضه های بالادست به شبکه های فرعی جمع آوری رواناب این منطقه شده است.



شکل (۲): منطقه ۱۰ شهر تهران به‌عنوان منطقه مورد مطالعه

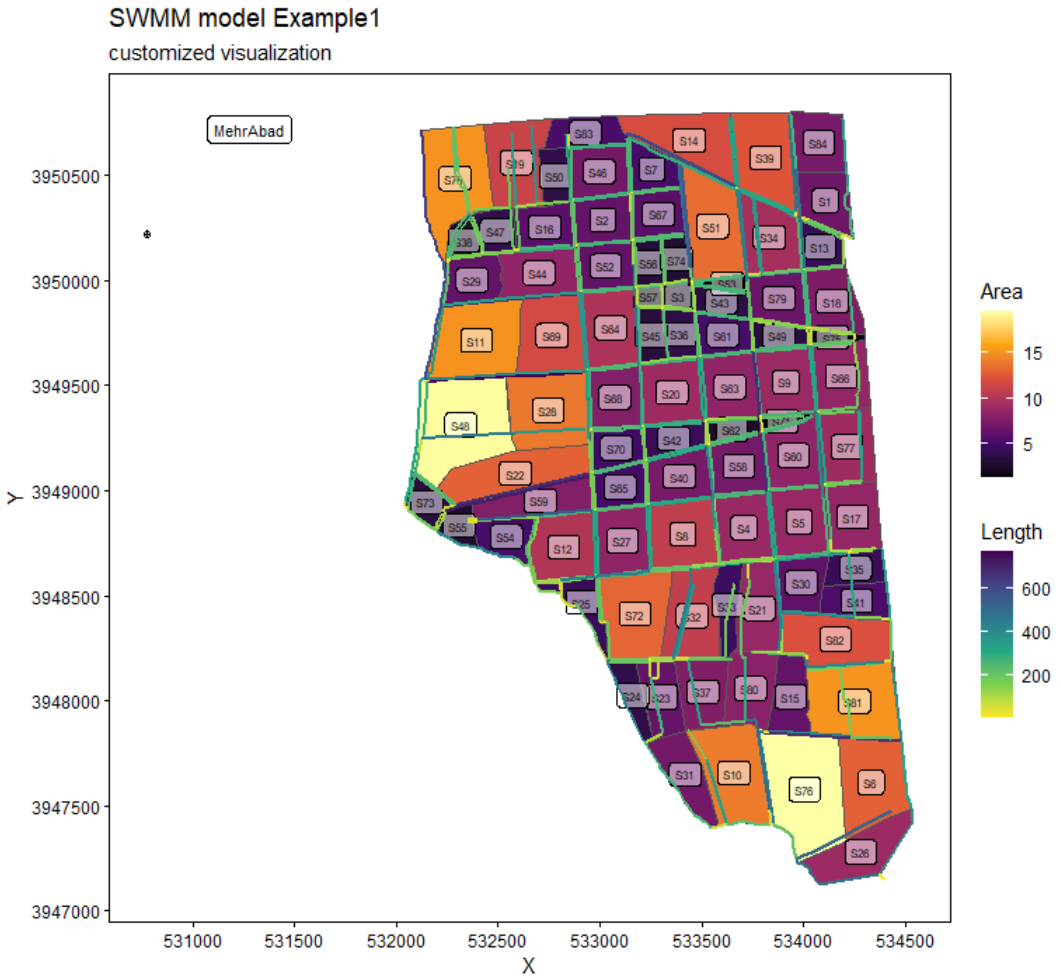
شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه

به جهت شبیه‌سازی سامانه جمع‌آوری آب سطحی از مدل SWMM استفاده شده است. مدل SWMM ابتدا در سال ۱۹۷۱ توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (EPA) ارائه شد. ولی طی سال‌های بعد به‌روزرسانی‌های گسترده‌ای بر روی این مدل صورت گرفت. امروزه این مدل در اغلب نقاط دنیا جهت طراحی، تحلیل، بهینه‌سازی شبکه جمع‌آوری رواناب و فاضلاب و یا شبکه‌ای مرکب از هر دو مورد استفاده قرار می‌گیرد. نسخه مورد استفاده در این پژوهش نسخه SWMM5.1 بوده که از سال ۲۰۱۵ به‌صورت رایگان در وب‌سایت EPA در دسترس قرار گرفته است.

مدل هیدرولیکی SWMM شامل مدل‌های بارش-رواناب، شبکه جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه آب می‌باشد. درعین‌حال، برای تحلیل‌های مختلف هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و کیفی آب نیز از این مدل استفاده می‌گردد. در این پژوهش نیز از مدل SWMM جهت شبیه‌سازی فرآیند بارش رواناب و تحلیل شبکه استفاده شده است که نمایی از شبیه‌سازی منطقه ۱۰ شهرداری تهران تحت این نرم افزار در شکل (۳) ارائه شده است.

شبکه های جمع‌آوری رواناب درون شهری عموماً برای سیلاب با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰ سال و گاهی تا ۲۰ سال طراحی می‌شوند (Chen et al. 2009). در این مطالعه با توجه به شبیه سازی کانال های فرعی تا درجه ۳ و همچنین عدم ورود رواناب حوضه های بالادست به محدوده مطالعاتی، دوره های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰سال استفاده شده است.

به‌منظور آنالیز شاخص‌های آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری شبکه زهکشی در بارش با دوره‌های بازگشت مختلف از داده‌های بارش شش‌ساعته ایستگاه سینوپتیک مهرآباد (۱۹۸۰ – ۲۰۲۰) استفاده شده است.



شکل (۳): نمای از شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه در مدل SWMM

معیارهای ارزیابی شبکه

بـه علت پیچیدگی‌های محیط شـــهری و زندگی اجتماعی بشر، پرداختن به تمامی مؤلفه‌های آسیب‌پذیر شهری امری دشـوار اسـت. آسـیب‌پذیری به معنی خصوصیات و شرایط یک جامعه، سیستم یا دارایی است که آن را در برابر اثرات مخرب یـک خطر حســـاس می‌کنـد. بـه بیـان دیگر آسـیب‌پذیری وضعیت حساسیت به آسیب است که از قرار گـرفـتـن در مـعـرض تـنـش‌هـای مرتبط بـا تغییرات زیسـت‌محیطی و اجتماعی و عدم وجود ظرفیت سـازگاری ایجاد می‌شود (Ahmad et al. 2022). با توجه به گستردگی تعاریف در بحث آسـیب‌پذیری، مطالعات بسیاری مرتبط با آسـیب‌پذیری درزمینه های اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی صـورت گرفته است. ازآنجایی‌که پژوهش حاضر متمرکز بر عملکرد هیدرولیکی شـبکه جمع‌آوری رواناب شهری بوده، شاخص آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری به کار برده شده در این مطـالعـات نیز در همین راســـتـا بـه ارزیـابی فنی و هیدرولیکی شبکه جمع‌آوری رواناب شهری پرداخته است. دو شـــاخص آســـیـب‌پـذیری و اطمینـان‌پـذیری ازجمله شـاخص‌های کلیدی در بررسـی عملکرد شبکه جمع‌آوری رواناب در خصـوص پایداری سـیسـتم به شمار رفته که در ادامه به آن پرداخته شده است.

شاخص آسیب‌پذیری

آسـیب‌پذیری بیانگر شکست‌های یک سیستم است که به‌صـورت میانگین شـکست‌ها (Loucks and Van Beek. 2005) و یا میانگین بیشـــینه کمبودها در یک دوره متوالی شکست در شبکه (Hashimoto et al. 1982) و احتمال بالا رفتن کمبود در یک یا چند دوره از حد معین (Menzoda et al. 1997) تعریف می‌شـود. در پژوهش صـورت گرفته توسط (Behzadi et al. 2018)، شاخص آسیب‌پذیری برابر ارتفاع رواناب ایجادشـــده در هر کانال به بیشـــترین عمق آب‌گرفتگی، در نظر گرفته شـــده اســـت. بیشـــینه عمق آب‌گرفتگی بر اسـاس مطالعه‌ای که توسـط (Mugume et al. 2014) صـورت گرفته، سـه متر لحاظ شـده اسـت. در مطالعه حاضـر نیز از این شـاخص که در رابطه (۱) نشـان داده شده، استفاده شده است.

$$Vul\ Index = \frac{H_x}{H_{max}} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) ، H_x ارتفاع رواناب تولیدشده و H_{max} بیشـــینـه عمق آب‌گرفتگی می‌بـاشـــد. شـــاخص کـل آسـیب‌پذیری شبکه برابر با میانگین شاخص آسیب‌پذیری همه کانال‌ها می‌باشد.

شاخص اطمینان‌پذیری

شاخص اطمینان‌پذیری با این مفهوم بیان شود که شبکه چه مقدار در حالت مطمئن و عدم شکست کار خواهد کرد. برای به دست آوردن این شاخص می‌بایست کانال‌های دارای توانایی مناسب جهت عبور رواناب را بر کل کانال‌های شبکه تقسیم نمود که از رابطه (۲) به دست می‌آید (Behzadi et al. 2019).

$$Rel\ Index = \frac{L_f}{L} * 100\ \% \qquad (۲)$$

$$0\% \leq Rel\ Index \leq 100\%$$

L_f بیـانگر طول کانال‌هایی اســـت که توانایی عبور رواناب ایجادشده را دارند و L_f برابر کل کانال‌های شبکه می‌باشد. ازآنجایی‌که در بیشتر منابع ۱۵ الی ۲۰ درصد فضای کانال به‌عنوان عمق آزاد در نظر گرفته می‌شـــود در این پژوهش نیز کانال‌های با درصـــد پرشـــدگی بیش از ۸۰ درصـــد ، به‌عنوان کانال‌های دارای کمبود ظرفیت به شـمار می‌روند. شـاخص اطمینان‌پذیری بازه‌ای بین صـفر تا صـد درصد را شـامل می‌شـود. بدیهی اسـت هرچه مقدار این شاخص به صـد درصـد نزدیک‌تر باشـد عملکرد شـبکه بالاتر بوده و کاهش این شـاخص بیانگر افزایش تعداد شـکست‌ها و عدم اطمینان شـبکه جمع‌آوری رواناب شـهری به شمار می‌رود (Behzadi et al. 2019).

در ادامه پس از شـبیه‌سـازی شـبکه جمع‌آوری رواناب در دوره‌های بازگشـت مختلف و با استفاده نتایج استخراج‌شده از مدل هیدرولیکی به بررسـی شاخص‌های آسیب‌پذیری و اطمینـان‌پـذیری شـــبکه در دوره‌های بازگشـــت مختلف پرداخته خواهد شد.

نتایج و بحث

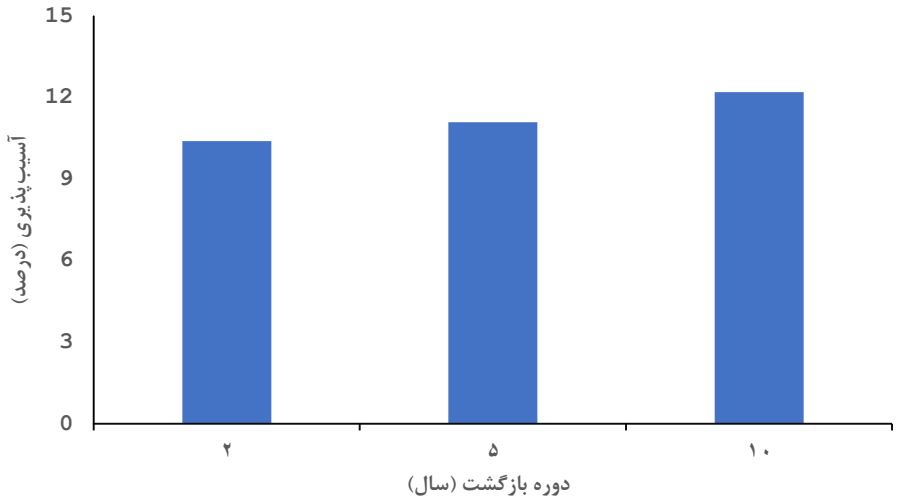
شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری رواناب منطقه ۱۰ شهرداری تهران با مدل SWMM تحت اطلاعات بارشی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد با دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال انجام شد. با توجه به اینکه محدوده مطالعاتی و اطلاعات بارشی این پژوهش با مطالعه (Hassani et al. 2022) یکسان است، می‌توان از نتایج این مطالعه به جهت کالیبراسیون و اطمینان از صحت عملکرد مدل شبیه‌ساز این پژوهش استفاده نمود. به همین منظور حجم رواناب خروجی به‌دست‌آمده در حالت پایه با حجم رواناب مدل کالیبره شده (Hassani et al. 2022) مقایسه شد. اختلاف ناچیز این مقایسه نشان داد مدل شبیه ساز از عملکرد قابل قبولی برخوردار است. پس از اطمینان از صحت عملکرد مدل شبیه‌ساز به بررسی شاخص‌های آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری شبکه جمع‌آوری رواناب در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال پرداخته شد.

ارزیابی شاخص آسیب‌پذیری

پس از اجرای مدل شبیه‌ساز SWMM می‌توان دریافت که حجم رواناب کل در نقطه خروجی حوضه در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰سال به ترتیب برابر $۴۵/۹ \times ۱۰^{۳}$ ، $۵۱/۱۴ \times ۱۰^{۳}$ و $۵۹/۷ \times ۱۰^{۳}$ مترمکعب می‌باشد و حجم رواناب با افزایش دوره بازگشت، افزایش پیدا کرده است. به طور مثال در بارش با دوره بازگشت ۱۰ سال، روانابی با حجم حدود ۳۰ درصد بیشتر از دوره بازگشت ۲ سال ایجاد کرده است. بدیهی است شاخص‌های آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری به تبعیت از افزایش رواناب حاصل از بارش دچار تغییر شده‌اند. به‌طوری‌که در دوره بازگشت ۱۰ ساله حجم رواناب دچار افزایش ۳۰ درصدی نسبت به حالت پایه گردیده و به دنبال آن شاخص آسیب‌پذیری شبکه جمع‌آوری رواناب نیز افزایش یافته است. این افزایش آسیب‌پذیری نشان‌دهنده افزایش تعداد نقاط آب‌گرفتگی بوده است. در جدول (۱) تغییرات شاخص آسیب‌پذیری به نمایش درآمده است.

جدول (۱): نتایج شاخص آسیب‌پذیری در دوره‌های بازگشت مختلف

دوره بازگشت (سال)	حجم رواناب کل (متر مکعب)	آسیب‌پذیری (درصد)
۲	$۴۵/۹ \times ۱۰^{۳}$	۱۰/۴
۵	$۵۱/۱۴ \times ۱۰^{۳}$	۱۱/۱
۱۰	$۵۹/۷ \times ۱۰^{۳}$	۱۲/۲



شکل (۴): نمودار نتایج شاخص آسیب‌پذیری شبکه جمع‌آوری رواناب در دوره‌های بازگشت مختلف

با توجه به جدول (۱) و شکل (۴) می‌توان دریافت که شاخص آسیب‌پذیری در دوره بازگشت ۱۰ساله ، افزایش ۱۷ درصدی نسبت به شاخص آسیب‌پذیری در دوره بازگشت ۲ ساله پیدا کرده است. افزایش شاخص آسیب‌پذیری با توجه به افزایش حجم رواناب و ثابت ماندن ظرفیت عبور دهی رواناب امری منطقی است.

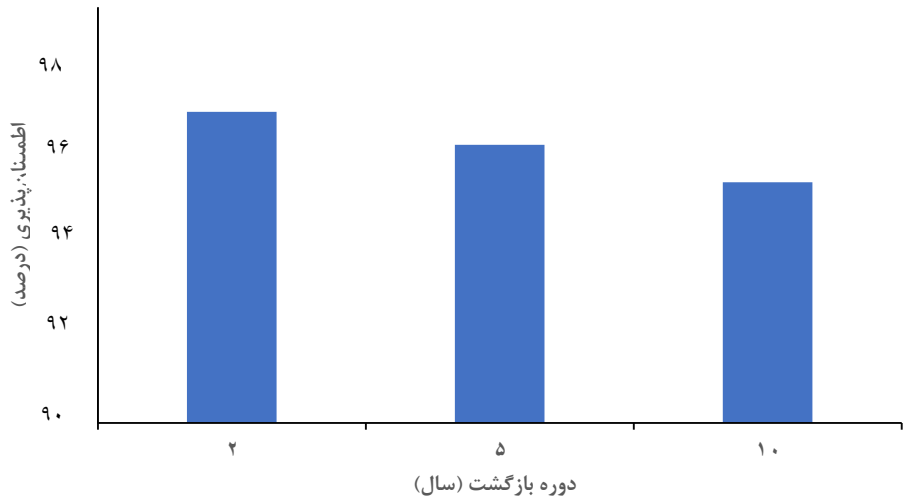
ارزیابی شاخص اطمینان‌پذیری

پس از شبیه‌سازی محدوده مطالعاتی به‌وسیله مدل SWMM تحت بارش با دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال و ارزیابی شاخص آسیب‌پذیری، به بررسی شاخص اطمینان‌پذیری با استفاده از نتایج مدل شبیه‌ساز و رابطه (۲) پرداخته شد و در جدول (۲) و شکل (۵) نشان داده شد.

همان‌طور که انتظار می‌رفت با افزایش حجم رواناب، طول کانال‌های دارای ظرفیت عبوردهی رواناب کاهش یافته که درنتیجه موجب کاهش شاخص اطمینان‌پذیری در دوره‌های بازگشت ۵ ساله و ۱۰ ساله نسبت به دوره بازگشت ۲ساله گردیده است. کاهش قابلیت اطمینان‌پذیری سیستم با افزایش دوره بازگشت (از ۹۷/۵ درصد به ۹۵/۸درصد) حاکی از افزایش کانال‌های سیلابی می‌باشد.

جدول (۲): نتایج شاخص اطمینان‌پذیری در دوره‌های بازگشت م ختلف

دوره بازگشت (سال)	طول کل کانال‌ها (کیلومتر)	طول کانال‌های سیلابی (کیلومتر)	طول کانال‌های دارای ظرفیت (کیلومتر)	اطمینان‌پذیری (درصد)
۲	۷۳/۰۶	۱/۷۹۹	۷۱/۲۶۱	۹۷/۵
۵	۷۳/۰۶	۲/۴۱۱	۷۰/۶۴۹	۹۶/۷
۱۰	۷۳/۰۶	۳/۰۶۹	۶۹/۹۹۱	۹۵/۸



شکل (۵): نمودار نتایج شاخص اطمینان‌پذیری شبکه جمع‌آوری رواناب در دوره‌های باز گشت مختل‌ف

نتیجه‌گیری

در این پژوهش عملکرد شـــبکه جمع‌آوری آب ســـطحی منطقـه ۱۰ شـــهرداری تهران مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راسـتا با استفاده از مدل SWMM منطقه موردمطالعه شـبیه‌سازی گردید. با توجه به شبیه‌سازی کانال‌های فرعی تـا درجـه ۳ و همچنین عـدم ورود روانـاب حوضـــه‌هـای بالادسـت به محدوده مطالعاتی، دوره‌های بازگشـت ۲، ۵ و ۱۰سال در این شبیه‌سازی استفاده شد. به جهت اطمینان از عملکرد مدل شـبیه‌سـاز، رواناب خروجی در دوره پایه با مدل کالیبره شـده (Hassani et al. 2022) مقایسه شد که اختلاف ناچیز بین این دو مقدار نشان از عملکرد قابل‌قبول مدل شبیه‌ساز داشت.

سپس دو شاخص آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری شبکه جمع‌آوری آب سطحی در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰سال محاسبه شد و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که در دوره‌های بازگشت تا ۱۰سال، حجم رواناب حاصل از بارش تا ۳۰ درصد افزایش پیدا کرد که منجر به افزایش شاخص آسیب‌پذیری تا ۱۷ درصد گردید. از سوی دیگر این افزایش حجم رواناب باعث شد تا کانال‌های بیشتری سیلابی شوند که درنتیجه موجب کاهش تا ۱/۷ درصدی اطمینان‌پذیری شبکه جمع‌آوری آب سطحی گردید. با توجه به افزایش آسیب‌پذیری شبکه، استفاده از رویکردهایی جهت کاهش فشار وارد بر شبکه مانند استفاده از ابزارهای توسعه کم اثر و یا بازطراحی شبکه توصیه می‌گردد. علیرغم مطالعات بسیاری که از نرم‌افزار SWMM جهت شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری رواناب استفاده شده است، پژوهش در خصوص آسیب‌پذیری و اطمینان‌پذیری فنی و هیدرولوژیکی در شبکه جمع‌آوری رواناب شهری بسیار اندک بوده است و این مطالعه می‌تواند مبنایی برای پژوهش‌های آتی باشد.

منابع

1. Ahmad I., Wang X., Waseem M., Zaman M., Aziz F., Khan R.Z.N. and Ashraf M. 2022. Flood management, characterization and vulnerability analysis using an integrated RS-GIS and 2D hydrodynamic hodelling approach: the case of Deg Nullah, Pakistan. Remote Sensing, 14(9):2138-2152.
2. Behzadi P., Roozbahani A. and Masah Bavani A. 2018. Assessment of climate change impacts on the reliability of surface water data (case study: district 11 of Tehran Municipality). Sixth Integrated Management and Flood Engineering Conference, Tehran (In Persian).
3. Behzadi P., Roozbahani A., and Massah Bavani A. 2019. Analysis of sustainability index in stormwater drainage systems under the climate change impacts (case study: district 11 of Tehran). Iranian Journal of Ecohydrology, 6(3), 631-649. doi: 10.22059/ije.2019.274672.1035 (In Persian).
4. Berggren K. 2008. Indicators for urban drainage system: assessment of climate change impacts. In International Conference on Urban Drainage, Oldenbourg Industrieverlag.
5. Chen W., Wang L., Xue Y. and Sun S. 2009. Variabilities of the spring river runoff system in East China and their relations to precipitation and sea surface temperature. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 29(10): 1381-1394.
6. Farokhzadeh B, Kiany A, and Bazrafshan O. 2021. Evaluation of SWMM hydrological-hydraulic model in urban runoff management (Case study: District 12 of Tehran Municipality). Urban Economics and Planning, 9(4): 243-251 (In Persian).
7. French J. 2006. Tidal marsh sedimentation and resilience to environmental change: exploratory modelling of tidal, sea-level and sediment supply forcing in predominantly allochthonous systems. Marine Geology, 235(1-4): 119-136.
8. Garner M., Sebastian A., Hakkenberg C.R., Juan A., Gori A., and Bedient P.B. 2019. Integrating annual landsat imagery in a hydrologic impact analysis of localized land use

change for a rapidly developing watershed in Houston, Texas. In AGU Fall Meeting 2019. AGU.
9. Hashimoto T., Stedinger J.R., and Loucks, D.P. 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. Water resources research, 18(1): 14-20.
10. Hassani M.R., Niksokhan M.H., Janbehsarayi S.F.M. and Nikoo M.R. 2022. Multi-objective robust decision-making for LIDs implementation under climatic change. Journal of Hydrology, 128954.
11. Jiang L.E.I., Chen Y., and Wang H. 2015. Urban flood simulation based on the SWMM model. IAHS-AISH Proceedings and Reports, 368(1): 186-191.
12. Nahid M., Zandmoghadam M., and Karkehabadi Z. 2022. Measuring and evaluating the resilience of urban areas against urban flooding (case study: Tehran zone 4). Journal of Environmental Science and Technology. doi: 10.22034/jest.2021.56185.5194. (In Persian).
13. Nazari A.H., Roozbahani A., and Hashemy Shahdany S.M. 2021. Urban stormwater management by optimizing low impact development techniques and integration of SWMM and SUSTAIN models. Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab, 32(4): 136-151. (In persian).
14. Rao Y.S., and Ramana R.V. 2015. Storm water flood modeling in urban areas. International. Journal of Research in Engineering and Technology, 4: 2319-2322.
15. Samim S., hajian F., and Moazami D. 2022. Flood management in the eighth district of Herat city using low impact development and their evaluation with EPA-SWMM model. Journal of Water and Sustainable Development, 8(4) (In Persian).
16. Schilling, K. E., Gassman, P. W., Kling, C. L., Campbell, T., Jha, M. K., Wolter, C. F., and Arnold, J. G. 2014. The potential for agricultural land use change to reduce flood risk in a large watershed. Hydrological processes, 28(8): 3314-3325.
17. Zahedi Khameneh H., and Khodashenas S.R. 2021. Performance evaluation of stormwater collection system and sensitivity analysis of parameters affecting it (study of districts 10 and 11 of Mashhad). Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 15(5): 1067-1080. (In persian).
18. Zakizadeh F., Moghaddam Nia A., Salajegheh A., and Ardeshir A. 2020. Evaluating the performance of SWMM model to simulate urban runoff hydrograph (case study: the part of district 22 of Tehran). Journal of Range and Watershed Managment, 73(2): 337-346. (In persian).
19. Loucks DP., van Beek E. 2005. Water resources systems planning and management, United Nations Educational, Scientefic and Cultural Organization (UNESCO), Paris, France.
20. Mugume S., Gomez D., and Butler D. 2014. Quantifying the resilience of urban drainage systems using a hydraulic performance assessment approach. 13th International Conference on Urban Drainage, Malaysia.
21. Menzoda VM., Villanuave EE., and Adem J. 1997. Vulnerability of basin and watershed in Mexico to global climate change. Climate Research Journal. 9:139-145.

Vol (1)
No (2)
Serial Number (2)
Autumn-Winter (2023)
Pages: 75-86

New Researches in Sustainable Water Engineering

Vulnerability and Reliability of the Runoff Collection Network of District 10 of Tehran Municipality in the Face of Urban Flooding

Hossein Hosseinzade Kuhi [*1]

DOI: 10.22103/nrswe.2023.20409.1017

Abstract

Population increase, urbanization and consequently increase of impervious surfaces has caused an increase in the volume of urban runoff and this increase in volume causes problems in the runoff collection networks, which are one of the most important infrastructures for urban flood control. In this research, with the help of vulnerability and reliability indicators, the performance of the surface water collection network in the district 10 of Tehran Municipality was evaluated. In this regard, by using SWMM urban flood simulation model, the studied area was simulated hydraulically and hydrologically under the historical precipitation data of Mehrabad synoptic station, then by using vulnerability and reliability indicators, the performance of the network under the return period 2, 5 and 10 years were evaluated. The results indicate that the system vulnerability increases significantly with increasing the return period of the design. Also, the decrease in reliability of system by increasing return period indicates the increase of flood channels.

Keywords: Vulnerability, Reliability, Surface water collection network, Return period, Urban runoff, SWMM model.

[1]* -Corresponding author, M.Sc Student, College of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: Hosseinzade96@ut.ac.ir