

Evaluation of the Efficiency of the SewerGEMS Model in Simulating the Hydraulic Performance of the Stormwater Collection Network (Case Study: Shahrekord)

Mohammad Amin Abdollahi, Jahangir Abedi-Koupai* and Mohammad Mehdi Matinzadeh¹

(Received: December 17-2024 ; Revised: February 14-2025 ; Accepted: April 7-2025)

1. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding author, Email: koupai@iut.ac.ir

Abstract

Urban floods and stormwater runoff are among the most significant environmental and social challenges in urban areas, caused by the accumulation of rainwater and the inadequacy of stormwater collection networks. The performance of the SewerGEMS software in analyzing rainfall events and evaluating the adequacy of the stormwater collection network in Shahrekord City under various conditions has been examined. Only two of the six observed rainfall events could be simulated. In the event of 06/11/1403 (Persian calendar), the observed peak discharge was approximately 1850 liters per second. In contrast, the simulated discharge for the two-sub-basin scenario was around 1750 liters per second, and for the eight-sub-basin scenario, about 1350 liters per second. The results of the two-sub-basin scenario are more reliable. In the event of 27/11/1403, the observed peak discharge was approximately 2000 liters per second, while the simulated discharge for the two-sub-basin scenario was around 1850 liters per second, and for the eight-sub-basin scenario, about 1400 liters per second. This demonstrates that the results for the two-sub-basin scenario are more accurate. The adequacy of the network was then evaluated for return periods of 2 years and 5 years. The results indicated that the stormwater collection network of Shahrekord is generally adequate; however, some areas, such as sections of the Bouali and 13 Aban canals, have deficiencies that lead to local flooding. Finally, recommendations such as identifying locations for artificial recharge basins and continuously monitoring and inspecting the canals, particularly before the rainy season, are proposed to improve the performance of the Shahrekord stormwater collection network and reduce flood-related risks.

Keywords: Stormwater runoff, Network adequacy, Urban flooding, Shahrekord, SewerGEMS

How to cite this article: Abdollahi, M.A., Abedi-Koupai, J and Matinzadeh, M.M. 2025. Evaluation of the Efficiency of the SewerGEMS Model in Simulating the Hydraulic Performance of the Stormwater Collection Network (Case Study: Shahrekord). *J. Water and Soil Sci.* 29(4): 1-16. DOI: [10.47176/jwss.29.4.49836](https://doi.org/10.47176/jwss.29.4.49836)

Copyright © 2025 Abdollahi et al. Published by Isfahan University of Technology.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

ارزیابی کارایی مدل SewerGEMS در شبیه‌سازی عملکرد هیدرولیکی شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی (مطالعه موردی: شهرکرد)

محمدامین عبداللهی، جهانگیر عابدی کوپایی*  و محمد مهدی متین‌زاده^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۲۷؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱/۱۸)

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: koupai@cc.iut.ac.ir

چکیده

سیلاب و رواناب شهری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی در مناطق شهری، ناشی از تجمع آب‌های باران و عدم کفایت شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی هستند. در این راستا، ارزیابی عملکرد نرم‌افزار SewerGEMS در تحلیل رخداد بارش و کفایت شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی در شهرکرد تحت حالت‌های مختلف بررسی شده است. از بین ۶ رخداد بارش مشاهده‌ای، تنها امکان شبیه‌سازی دو رخداد وجود داشت. در رخداد ۱۴۰۳/۱۱/۰۶ دبی اوج مشاهده‌ای حدود ۱۸۵۰ لیتر بر ثانیه دیده شد؛ درحالی‌که مقدار شبیه‌سازی شده برای سناریوی ۲ زیرحوضه، حدود ۱۷۵۰ و برای سناریوی ۸ زیرحوضه، حدود ۱۳۵۰ لیتر بر ثانیه است که نشان می‌دهد نتایج برای سناریوی ۲ زیرحوضه به واقعیت نزدیک‌تر است. در رخداد ۱۴۰۳/۱۱/۲۷ دبی اوج مشاهده‌ای حدود ۲۰۰۰ لیتر بر ثانیه دیده شد؛ درحالی‌که مقدار شبیه‌سازی شده برای سناریوی ۲ زیرحوضه، حدود ۱۸۵۰ و برای سناریوی ۸ زیرحوضه، حدود ۱۴۰۰ لیتر بر ثانیه است که نشان می‌دهد نتایج برای سناریوی ۲ زیرحوضه به واقعیت نزدیک‌تر است. سپس کفایت شبکه با دوره‌های بازگشت ۲ سال و ۵ سال بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهرکرد به‌طور کلی کفایت لازم را داراست؛ هرچند در برخی مناطق همچون نقاطی در کانال بوعلی و ۱۳ آبان، نارسایی‌هایی دارد که منجر به بروز آب‌گرفتگی‌های محلی می‌شود. درنهایت راهکارهایی از جمله ارائه چند مکان برای ایجاد حوضچه تغذیه مصنوعی و همچنین پایش مستمر کانال‌ها و نظارت بر آنها به‌ویژه قبل از فصل بارش، برای بهبود عملکرد شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی شهرکرد و کاهش خطرات ناشی از سیلاب، پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رواناب سطحی، کفایت شبکه، سیلاب شهری، شهرکرد، SewerGEMS

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. © ۱۴۰۴

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط به استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است: (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



مقدمه

شهرسازی با افزایش سطوح نفوذناپذیر همچون پشت‌بام خانه‌ها، جاده‌ها، تراکم خاک و غیره سبب افزایش دبی سیلاب می‌شود (۱۲). در پی ناکارآمدی سیستم‌های زهکشی شهری، سیل در منطقه‌های شهری خسارت‌های زیادی به ساختمان‌ها و زیرساخت‌های خصوصی و عمومی وارد می‌کند. همچنین با مختل کردن رفت‌وآمدها و تردد، می‌تواند سبب از دست‌رفتن فرصت‌های تجاری شود (۲۲).

در بحث مدیریت حوضه آبریز، جمع‌آوری و کنترل سیلاب از اساسی و مهم‌ترین موضوعات به شمار می‌رود. رویکرد مدیریت سیلاب شهری در بسیاری از کشورها در گذشته، رویکردی سنتی مبتنی بر جمع‌آوری، انتقال و دفع سیلاب بوده است؛ درحالی‌که امروزه رویکرد پیشنهادی، تکیه بر روش‌هایی دارد که بیشترین مطابقت را با فرایند طبیعی چرخه آب سطحی دارند که در اصطلاح به توسعه کم‌اثر (Low Impact Development) معروف هستند. استفاده از این روش در کشورهای توسعه‌یافته، راهبردی مهم در راستای مدیریت سیلاب شهری به‌شمار می‌رود. شکل‌گرفتن کلان‌شهرها و افزایش شهرنشینی در ایران نیز سبب شده تا مدیریت سیلاب شهری اهمیت زیادی پیدا کند. با توجه به اینکه راهکارهای سنتی و قدیمی هزینه زیادی در جمع‌آوری و دفع سیلاب دارند؛ بنابراین استفاده از این روش‌های نوین مورد توجه قرار گرفته است (۱۵). در مبحث مدیریت رواناب شهری، هدف اصلی آن است که رواناب در سطح شهر جمع‌آوری شده و از آن مجدداً استفاده شود. همچنین اثرهای مخرب محیط زیستی آن کم شود (۱۰). مدیریت رواناب سطحی، شامل مجموعه‌ای گسترده از خدمات برای حفاظت از محیط‌زیست، ارتقای منابع آبی و کنترل سیلاب است (۲۱). عدم اتخاذ تدابیر لازم برای کاهش خطرات ناشی از سیلاب از سوی مسئولین و عدم آگاهی مردم در مقابله با سیلاب می‌تواند خطرات ناشی از سیلاب شهری را تشدید کند. یک برنامه ریزی مناسب، آمادگی، اطلاع رسانی و پیشگیری می‌تواند منجر به کاهش خطرات و خسارات ناشی از سیلاب شود.

نرم‌افزارهای مختلفی در زمینه محاسبه و شبیه‌سازی رواناب شهری وجود دارد که به متخصصین این حوزه کمک بسیاری می‌کنند. نرم‌افزار EPA-SWMM به‌نوعی از شناخته‌شده‌ترین، معروف‌ترین و متداول‌ترین نرم‌افزارهایی است که از آن استفاده می‌کنند. نرم‌افزار ASSA یکی دیگر از نرم‌افزارهای قدرتمند این حوزه محسوب می‌شود که در مبحث رواناب‌های شهری مورد استفاده کارشناسان قرار می‌گیرد. نرم‌افزارهای جدید شرکت Bently همچون CivilStorm، StormCAD و SewerGEMS از جمله نرم‌افزارهای جدیدی هستند که مورد توجه کارشناسان این حوزه قرار گرفته‌اند و به‌نوعی در حال رقابت با نرم‌افزارهای قدیمی‌تری همچون EPA-SWMM و ASSA هستند.

نوآوری این پژوهش استفاده از نرم‌افزار SewerGEMS در شبیه‌سازی بارش - رواناب و بررسی کفایت شبکه برای محدوده مطالعاتی است که تاکنون بررسی نشده است.

کریمی و همکاران در سال ۱۳۹۴، با استفاده از مدل EPA SWMM، سیلاب ناشی از بارش در بابل‌سر را شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که شیب کم یا معکوس در برخی نقاط و کوچکی سطح مقطع مجاری از عوامل اصلی بروز آب‌گرفتگی در این منطقه بوده است (۱۱). طی پژوهشی جباری ملایری و عابدی کوپایی در سال ۱۳۹۵، به برآورد رواناب شهری با استفاده از دو مدل HEC-HMS و Civil Storm به‌منظور استفاده در فضای سبز شهری در منطقه ۶ اصفهان پرداختند. کل نیاز روزانه فضای سبز شهری در محدوده مد نظر حدود ۵۳۰ متر مکعب برآورد شد و مخزنی با حجم ۲۰۰۰ مترمکعب برای ذخیره و استفاده از آن پیشنهاد کردند. در انتها، عملکرد مدل HEC-HMS در محدوده مطالعاتی را نسبت به مدل Civil Storm بهتر دانستند (۷). زبردست و روشنی در سال ۱۳۹۸، با بهره‌گیری از نرم‌افزار CivilStorm، رواناب و هیدروگراف سیلاب را برای جنوب شهر مشهد محاسبه کرده و نتایج را برای گسترش فضای سبز شهری به کار بردند. نتایج نشان داد این نرم‌افزار قابلیت شبیه‌سازی رواناب سطحی را برای منطقه مورد نظر داراست (۲۳). رفیعی و همکاران در سال ۱۴۰۱، با ارزیابی

انجام شد. از این تحلیل مشخص شد که در برخی کانال‌ها، سرعت جریان بسیار کم و نزدیک به صفر است. همچنین مواردی همچون چگونگی دستیابی به کمترین سرعت لازم در تمامی کانال‌های زهکشی آب‌های سطحی و فاضلاب پیشنهاد شد تا از تجمع رسوبات در کانال‌ها جلوگیری شود (۱۴). جاداو و میشرا در سال ۲۰۲۳، به کمک نرم‌افزار CivilStorm و روش‌های تحلیلی، اقدام به برآورد رواناب و طراحی شبکه برای منطقه گاندیناگر در هند کردند. آنها حوضه آبریز، ضریب رواناب و شدت بارندگی را به عنوان عوامل کلیدی و تأثیرگذار در طراحی معرفی کردند (۸).

هدف از این پژوهش، بررسی مدل SewerGEMS در شبیه‌سازی عملکرد هیدرولیکی شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی شهرکرد است.

مواد و روش‌ها

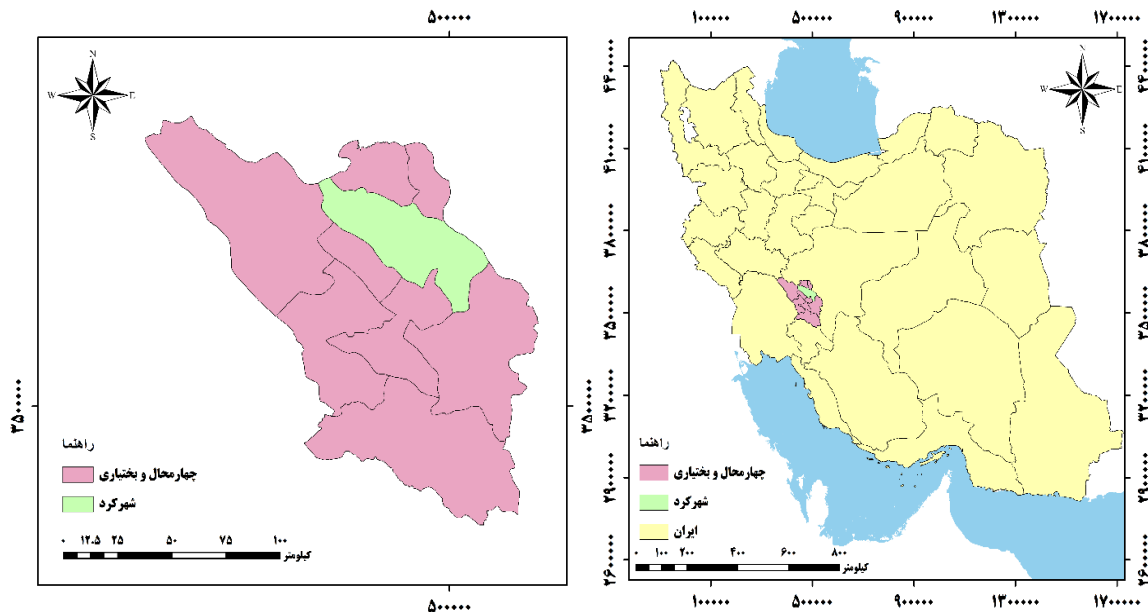
خصوصیات محدوده مورد مطالعه

شهرکرد، مرکز استان چهارمحال و بختیاری است. از لحاظ توپوگرافی در جهت شمال رشته‌کوه زاگرس قرار گرفته است (شکل ۱ و ۲) و میانگین دمای آن ۱۱/۵ سانتی‌گراد است. طبق روش دومارتن، چهار اقلیم نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب و بسیار مرطوب برای استان چهارمحال و بختیاری تشخیص داده شده است که شهرکرد دارای اقلیمی نیمه‌خشک است (۵). گفتنی است با توجه به اختلاف ارتفاع زیاد (حدود ۲۳۰۰ تا ۲۰۴۵ متر)، دارای شیب طولی زیاد است.

معرفی نرم‌افزار SewerGEMS

نرم‌افزار SewerGEMS امکان تحلیل و بررسی رواناب سطحی و حتی فاضلاب را به کاربر می‌دهد. برای تحلیل و بررسی می‌تواند از حل ضمنی معادلات کامل سنت - ونانت (Saint Venant) استفاده کند. همچنین از قابلیت‌های این نرم‌افزار این است که توانایی ارائه جامع‌ترین راه‌حل موجود برای طرح‌های بهترین روش‌های مدیریت (BMP یا Best Management Practices) را

عملکرد سه مدل SewerGEMS، EPA SWMM و ASSA در تحلیل سیلاب‌های شهری در شهر جدید لار نتیجه گرفتند که مدل EPA SWMM نسبت به دو مدل دیگر در شبیه‌سازی رواناب، دقت بیشتری در مدیریت رواناب حوضه‌های شهری از خود نشان می‌دهد (۱۶). طی پژوهشی روویری و همکاران، در سال ۲۰۱۴ با استفاده از نرم‌افزار SewerGEMS به بررسی سیلاب در منطقه‌ای در برزیل پرداختند. داده‌های میدانی جمع‌آوری شد و ناسازگاری‌ها اصلاح شدند. در نهایت سه سناریو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که کفایت شبکه زهکشی فعلی کمتر از حد انتظار است. با این حال، امکان اجرای اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای برای کاهش سیلاب در این منطقه وجود دارد (۱۹). طی پژوهشی، جیانگ و همکاران در سال ۲۰۱۵ در منطقه‌ای از چین، به پیش‌بینی سیلاب با استفاده از SWMM پرداختند و با دوره‌های بازگشت ۱، ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله، پیش‌بینی را انجام دادند. نتایج حاکی از آن بود که تنها در دوره بازگشت ۱ ساله، سیلاب و گرفتگی در محدوده مد نظر رخ نخواهد داد (۹). در پژوهش الحومید و همکاران در سال ۲۰۱۸، یک روش برای طراحی کل شبکه‌های زهکشی در دو حوضه آبریز شهری با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته مدل‌سازی مانند HEC-HMS و SewerGEMS توسعه داده شده است. این روش طراحی زیرشبکه‌های زهکشی را برای سیلاب‌های با دوره بازگشت بیشتر بازنگری می‌کند. نتایج مدل‌سازی هیدرولیکی نشان داد که استفاده از مدل ارتفاعی رقومی با وضوح ۳۰ متر، به‌ویژه زمانی که داده‌های واقعی و گران‌قیمت نقشه‌برداری زمینی در دسترس نیست، با دقت قابل قبولی امکان‌پذیر است (۲). موریلو و همکاران در سال ۲۰۲۰ در منطقه‌ای در برزیل، عملکرد نرم‌افزار SewerGEMS را بررسی کردند. نتایج نشان داد که شبکه فعلی کم‌ظرفیت است و استفاده از اقدامات جبرانی LID پیشنهاد شد (۴). مآخرج و همکاران در سال ۲۰۲۱ به تحلیل هیدرولیکی سیستم زهکشی با استفاده از نرم‌افزار SewerGEMS در منطقه‌ای در راجارهای پرداختند. منطقه به هفت زیرحوضه تقسیم شد و شبیه‌سازی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی، شهرکرد

که توسط شرکت بتلی بر اساس مدل FLDWAV که توسط سرویس آب و هوای ایالات متحده (National Weather Service) توسعه یافته، حل می‌کند. معادلات سنت - ونانت شامل دو معادله اصلی پیوستگی (معادله ۱) و اندازه حرکت (مومنتم، معادله ۲) است که به صورت تحلیلی و با استفاده از روش‌های عددی به حل آنها می‌پردازد (۱). برای تخمین دبی اوج از روش استدلالی (Rational Method) (معادله ۵) استفاده می‌شود که

دارد. این نرم‌افزار قابلیت استفاده از پنج حل‌کننده (Solver) عددی زیر به منظور شبیه‌سازی روندیابی جریان را به کاربر می‌دهد (۱):

1. 2D solver
2. Implicit (SewerGEMS Dynamic Wave)
3. Explicit (SWMM Solver)
4. GVF - Convex (SewerCad)
5. GVF - Rational (StormCad)

در این پژوهش از حل‌کننده دوم استفاده شده است که طبق آن، معادلات کامل سنت - ونانت را با استفاده از روش عددی ضمنی

که توسط سازمان هواشناسی کشور ارائه شده است، استفاده شد (۲۰). سازمان هواشناسی با استفاده از معادله شرمن (معادله ۳)، ضرایب آن را به صورت جدول ۱ ارائه داد.

شیب متوسط هر زیرحوضه با کمک نرم‌افزار GIS و نقشه‌های طرح تفصیلی و جامع شهر محاسبه شد. برای محاسبه زمان تمرکز هر زیرحوضه از چهار روش (Kirpich, SCSlag, Bransby Williams و Carter) که در نرم‌افزار SewerGEMS موجود است، استفاده شد (۱). در نهایت محدوده مطالعاتی به ۲ و ۸ زیرحوضه (شکل ۴) تقسیم شد (۱).

تعیین ضریب رواناب، شماره منحنی و ضریب زبری

در این پژوهش در ابتدا از جداول ضریب رواناب و شماره منحنی پیشنهادی توسط جامعه مهندسين عمران آمریکا و فدراسیون کنترل آلودگی آب (۱۳)، کمک گرفته شده است و بسته به شرایط حوضه و قضاوت در مورد وضعیت موجود، مقدار آن برای هر زیرحوضه انتخاب شد (۱) و مقدار آنها در جدول ۲ ارائه شده است. برای تخمین ضریب زبری، نیاز است تا عوامل موثر بر آن شناخته شود. عواملی همچون جنس کانال، نوع و میزان پوشش گیاهی، منظمی یا نامنظمی مقطع کانال و غیره بر آن موثر هستند (۶). رستمی خلیج و همکاران در سال ۱۳۹۱، ضریب زبری مانینگ را از جمله عوامل موثر بر تغییر دبی اوج دانسته‌اند (۱۸). با توجه به جنس مقاطع و مقدار پیشنهادی توسط نرم‌افزار (۳)، مقدار ۰/۰۱۳ برای همه مقاطع انتخاب شده است.

بررسی عملکرد نرم‌افزار با استفاده از رخداد بارش

در این بخش عملکرد نرم‌افزار با استفاده از رخداد بارش بررسی شده است. بدین منظور ۶ واقعه بارش در جدول ۳ بررسی شد. نرم‌افزار موفق به شبیه‌سازی رخداد شماره ۱ و شماره ۴ نشد (رخدادهای زیر ۱۰ میلی‌متر). همچنین داده برداشت‌شده برای رخداد شماره ۵ و شماره ۶ کم بوده است (زمان بارش به گونه‌ای بوده که امکان ثبت داده به خوبی رقم نخورد و امکان مقایسه بین نتایج مشاهده‌ای و شبیه‌سازی به وجود نیامد)؛ از این رو فقط

در آن، Q_p دبی اوج رواناب بر حسب مترمکعب بر ثانیه، C ضریب رواناب، I شدت بارندگی بر حسب میلی‌متر بر ساعت و A مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع است.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \text{معادله ۱}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gAi = 0 \quad \text{معادله ۲}$$

$$i = \frac{a}{(D+b)^c} \quad \text{معادله ۳}$$

$$s = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{A}} \quad \text{معادله ۴}$$

$$Q_p = 0.278 \text{ CIA} \quad \text{معادله ۵}$$

در معادله ۱، A سطح مقطع عرضی جریان، Q بار جریان، t زمان و x محور طولی جریان است. در معادله ۲، g شتاب گرانش، h عمق جریان و i شیب انرژی است. در معادله ۳، i شدت بارندگی بر حسب میلی‌متر بر ساعت و a ، b و c ضرایب ثابتی هستند که در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

تعیین زیرحوضه‌ها، مشخصات آنها و اطلاعات کانال‌ها

نظر به اینکه تشخیص میان‌آب (خط‌الرأس) و ژرفگاه (خط القعر) در حوضه‌های شهری بسیار مشکل است؛ بنابراین مرزبندی و تعیین زیرحوضه‌ها نیز بسیار مشکل خواهد بود. مرزبندی و تعیین زیرحوضه‌ها پس از انجام بازدیدهای میدانی متعدد، گرفتن نظر تعدادی از کارشناسان باتجربه محلی و استفاده از نرم‌افزارهایی همچون Google Earth Pro، GIS و AutoCad و همچنین نقشه‌های موجود در طرح تفصیلی و نقشه جامع شهری انجام شد (۱). شیب متوسط هر حوضه با استفاده از معادله ۴ محاسبه و در جدول ۲ نمایش داده شده است.

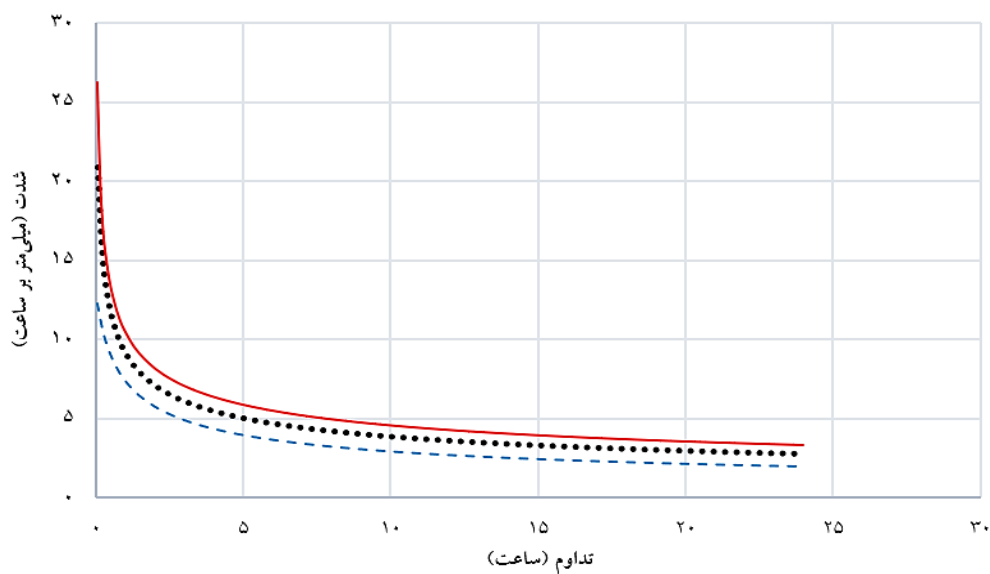
برای اطلاعات بارش، از تعدادی رخداد بارش و همچنین از ضرایب واسنجی‌شده نمودارهای شدت - مدت - فراوانی برای ایستگاه شهرکرد (شکل ۳) با دوره بازگشت‌های مختلف

جدول ۱. ضرایب ثابت معادله شدت - مدت - فراوانی

دوره بازگشت (سال)	a	b	c
۲	۵۹/۶۷	۲۳/۸	۰/۴۷
۵	۴۴/۱۵	۲/۲	۰/۳۸
۱۰	۴۷/۴۸	۰/۰۱۳	۰/۳۶۷

جدول ۲. شماره منحنی، ضریب رواناب و شیب هر حوضه

نام حوضه (سناریوی ۸ زیر حوضه)	شماره منحنی	ضریب رواناب	شیب (m/m)
CM-1	۹۰	۰/۵	۰/۰۱۸
CM-2	۸۵	۰/۵	۰/۰۸۴
CM-3	۸۰	۰/۴	۰/۱۳۶
CM-4	۹۱	۰/۸	۰/۰۷۵
CM-5	۸۵	۰/۶	۰/۰۶۴
CM-6	۸۸	۰/۵۵	۰/۰۰۷
CM-7	۸۵	۰/۵	۰/۰۸۲
CM-8	۸۴	۰/۵	۰/۱۱۵
نام حوضه (سناریوی ۲ زیر حوضه)	شماره منحنی	ضریب رواناب	شیب (m/m)
CM-1	۸۹	۰/۵	۰/۰۸
CM-2	۹۰	۰/۶	۰/۰۴۷



----- دوره بازگشت ۲ ساله دوره بازگشت ۵ ساله ————— دوره بازگشت ۱۰ ساله

شکل ۳. نمودارهای شدت - مدت - فراوانی استخراج شده برای ایستگاه شهرکرد



شکل ۴. تقسیم محدوده مطالعاتی به ۲ و ۸ زیرحوضه در نرم افزار

سناریوی ۸ زیرحوضه، حدود ۱۴۰۰ لیتر بر ثانیه است که نشان می‌دهد نتایج برای سناریوی ۲ زیرحوضه به واقعیت نزدیک‌تر است (شکل ۸). گفتنی است که خطای پیوستگی نرم‌افزار در سناریوی ۲ زیرحوضه حدود ۳ درصد و در سناریوی ۸ زیرحوضه حدود ۵ درصد است. همچنین حجم رواناب پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار نیز در جدول‌های ۴ و ۵ نمایش داده شده است. گفتنی است، نقطه اوج مشاهداتی لزوماً و قطعاً همان نقطه نیست. این امر به دلیل برداشت انسانی از دبی مشاهده‌ای است که با توجه به بازدیدهای انجام‌شده برداشت شده است.

بررسی کفایت شبکه موجود

همواره در مباحث رواناب و سیلاب شهری، دانستن نقاط بحرانی در شبکه دفع آب‌های سطحی، به‌منظور تشخیص نقاطی که دچار بالازدگی و آب‌گرفتگی می‌شوند، دارای اهمیت بوده و هست؛ از این رو با دانستن این نقاط و رفع نواقص موجود، می‌توان از بروز آب‌گرفتگی و سیلاب در شبکه موجود جلوگیری کرد. بدین منظور کفایت شبکه موجود در دو حالت، با ضرایب شدت - مدت - فراوانی ارائه‌شده توسط سازمان هواشناسی کشور و رخدادهای بارش اندازه‌گیری‌شده بررسی شد. نتایج بررسی رخدادهای بارش اندازه‌گیری‌شده نشان می‌دهد که برای هیچ‌کدام از رخدادهای

امکان استفاده از رخداد شماره ۲ و شماره ۳ وجود داشت. درنهایت از رخداد شماره ۲ و ۳، به‌منظور شبیه‌سازی استفاده شد و نتایج داده‌های برداشت‌شده با شبیه‌سازی نرم‌افزار مقایسه شد. شکل‌های ۵ و ۶ تصاویر ثبت‌شده از دو رخداد شماره ۱ و ۶ را نشان می‌دهند.

نتایج رخداد ۱۴۰۲/۱۱/۰۶ نشان می‌دهد که دبی اوج مشاهده‌ای از دبی اوج شبیه‌سازی‌شده توسط نرم‌افزار برای هر دو سناریوی ۲ و ۸ زیرحوضه کمی بیشتر است؛ به‌طوری که دبی اوج مشاهده‌ای حدود ۱۸۵۰ لیتر بر ثانیه دیده شد؛ درحالی که مقدار شبیه‌سازی‌شده برای سناریوی ۲ زیرحوضه، حدود ۱۷۵۰ و برای سناریوی ۸ زیرحوضه، حدود ۱۳۵۰ لیتر بر ثانیه است که نشان می‌دهد نتایج برای سناریوی ۲ زیرحوضه به واقعیت نزدیک‌تر است (شکل ۷). گفتنی است که خطای پیوستگی نرم‌افزار در سناریوی ۲ زیرحوضه حدود ۴ درصد و در سناریوی ۸ زیرحوضه حدود ۵ درصد است.

نتایج رخداد ۱۴۰۲/۱۱/۲۷ نشان می‌دهد که دبی اوج مشاهده‌ای از دبی اوج شبیه‌سازی‌شده توسط نرم‌افزار برای هر دو سناریوی ۲ و ۸ زیرحوضه کمی بیشتر است؛ به‌طوری که دبی اوج مشاهده‌ای حدود ۲۰۰۰ لیتر بر ثانیه دیده شد؛ درحالی که مقدار شبیه‌سازی‌شده برای سناریوی ۲ زیرحوضه، حدود ۱۸۵۰ و برای

جدول ۳. اطلاعات رخدادهای بارش

ردیف	تاریخ وقوع	مجموع ارتفاع بارش برحسب میلی‌متر
۱	۱۴۰۲/۱۰/۲۲	۶
۲	۱۴۰۲/۱۱/۰۶	۱۵
۳	۱۴۰۲/۱۱/۲۷	۱۷
۴	۱۴۰۲/۱۲/۲۱	۴
۵	۱۴۰۲/۱۲/۲۹	۲۱
۶	۱۴۰۳/۰۱/۰۵	۱۸



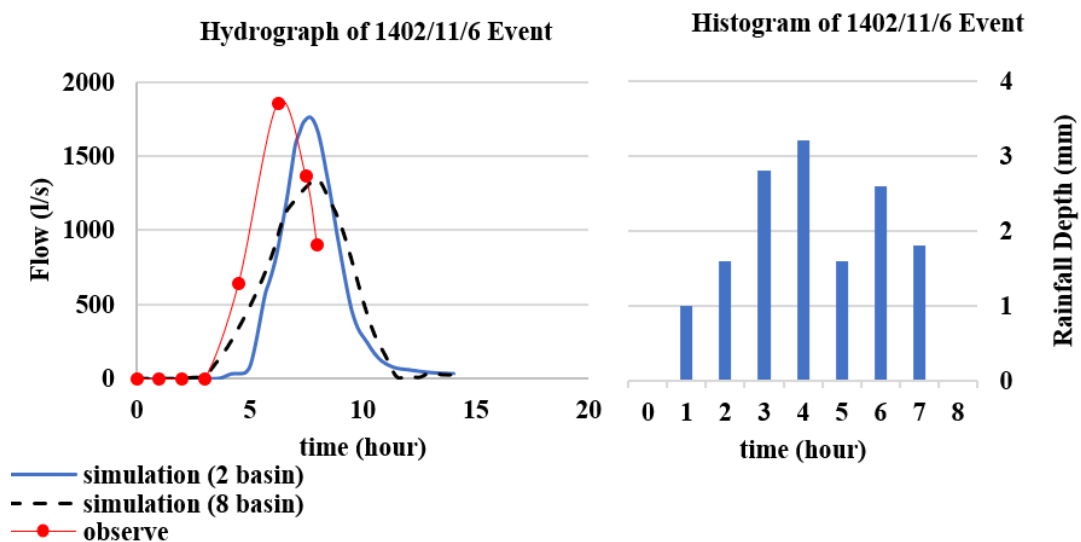
شکل ۵. برداشت داده مشاهداتی ۱۴۰۲/۱۰/۲۲ (رخداد ۱)



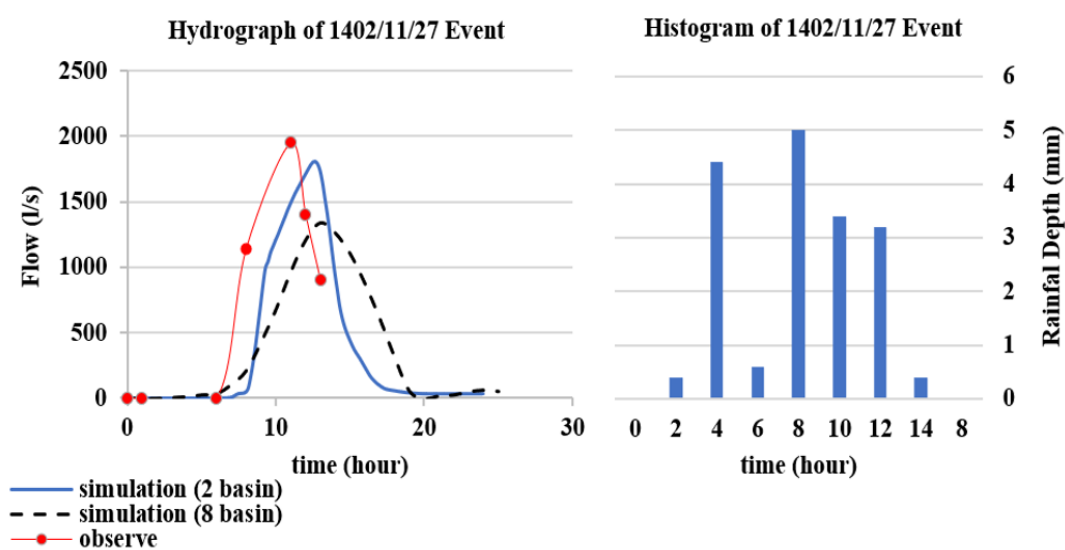
شکل ۶. برداشت داده مشاهداتی ۱۴۰۳/۰۱/۰۵ (رخداد ۶)

در این حالت، دو سناریوی ۸ زیرحوضه با دوره بازگشت ۲ سال و ۵ سال بررسی شد. در سناریوی ۸ زیرحوضه با دوره بازگشت ۲ سال، دو نقطه در کانال بوعلی، بحرانی و مستعد آب‌گرفتگی تشخیص داده شد. سپس دوره بازگشت به ۵ سال

شبیه‌سازی شده، بالازدگی آب در کانال‌ها رخ نداده و شبکه موجود کفایت لازم را در دفع رواناب داراست. نتایج بررسی کفایت شبکه با ضرایب شدت - مدت - فراوانی ارائه شده توسط سازمان هواشناسی برای ایستگاه سینوپتیک شهرکرد به صورت زیر است:



شکل ۷. مقایسه نتایج شبیه سازی شده با مشاهداتی واقعه ۱۴۰۲/۱۱/۶ و هیستوگرام مربوطه



شکل ۸. مقایسه نتایج شبیه سازی شده با مشاهداتی واقعه ۱۴۰۲/۱۱/۲۷ و هیستوگرام مربوطه

جدول ۴. حجم رواناب خروجی واقعه ۱۴۰۲/۱۱/۰۶ برای سناریوی ۲ زیرحوضه و ۸ زیرحوضه

ID	Label	Volume (Total Runoff) (m ³)
255	CM-2	14,729.20
256	CM-1	18,479.50
ID	Label	Volume (Total Runoff) (m ³)
637	CM-1	9,976.20
638	CM-2	3,351.10
639	CM-3	957.8
640	CM-4	8,346.70
641	CM-5	1,862.70
642	CM-6	3,042.10
643	CM-7	1,852.90
644	CM-8	992.2

جدول ۵. حجم رواناب خروجی واقعه ۱۴۰۲/۱۱/۲۷ برای سناریوی ۲ زیرحوضه و ۸ زیرحوضه

ID	Label	Volume (Total Runoff) (m ³)
255	CM-2	23,597.00
256	CM-1	30,831.40
ID	Label	Volume (Total Runoff) (m ³)
637	CM-1	14,540.00
638	CM-2	6,369.00
639	CM-3	2,068.90
640	CM-4	11,896.00
641	CM-5	4,211.50
642	CM-6	5,191.60
643	CM-7	3,927.50
644	CM-8	2,104.60

سال تغییر پیدا کرد و مجدد در شرایط مشابه، شبیه‌سازی انجام شد. در این حالت همچنان دو نقطه قبلی، بحرانی و مستعد آب‌گرفتگی تشخیص داده شد (شکل ۹). همچنین نقاطی از کانال ۱۳ آبان نیز در هر دو حالت بحرانی تشخیص داده شد. گفتنی است همواره کانال بوعلی از زمان‌های قدیم تا امروز با مشکل آب‌گرفتگی در نقاط مختلف مواجه بوده است. همچنین دو سناریوی ۲ زیرحوضه با دوره بازگشت ۲ سال و ۵ سال نیز بررسی شد که نقاط بیان‌شده در دو کانال یادشده همچنان بحرانی و مستعد آب‌گرفتگی تشخیص داده شد (شکل ۱۰).

بحث

به‌طور کلی نتایج این پژوهش حاکی از آن است که نرم‌افزار SewerGEMS توانایی لازم را در مدل‌سازی سیلاب شهری در محدوده مورد مطالعه، طبق حالت‌های بررسی‌شده را داراست. همچنین در بررسی شبکه مد نظر، کفایت شبکه را به جز در مناطقی خاص بیان می‌کند. رنجبری حاجی‌آبادی و همکاران در پژوهشی در سال ۱۴۰۳، کارایی نرم‌افزار SewerGEMS در شبیه‌سازی رواناب شهری را در شهر میناب بررسی کرده و بیان کردند که این نرم‌افزار کارایی لازم را در طراحی شبکه جمع‌آوری رواناب شهری دارد (۱۷). در پژوهشی دیگر تحلیل هیدرولیکی سیستم زهکشی با استفاده

از نرم‌افزار SewerGEMS در منطقه‌ای در راجارهاات انجام شد و منطقه به هفت زیرحوضه تقسیم شد تا مدیریت جریان آب‌های زائد بهبود یابد. نتایج، کارایی مناسب نرم‌افزار را در محدوده مد نظر نشان می‌دهد (۱۴). در مطالعه که در شهر مارینگا-پارانای برزیل انجام شد، داده‌های میدانی جمع‌آوری و ناسازگاری‌ها اصلاح شد. مدل با استفاده از نرم‌افزار SewerGEMS پیاده‌سازی شد و نتایج نشان داد که این نرم‌افزار از توانایی لازم در محدوده مد نظر برخوردار است (۱۹). در پژوهشی در منطقه‌ای در برزیل که با نرم‌افزار SewerGEMS انجام شد، از توانایی این نرم‌افزار در مدل‌سازی محاسباتی برای شبکه‌های زهکشی شهری در محدوده مد نظر نام برده شد و همچنین بیان شد که این نرم‌افزار می‌تواند از مدیریت شهری در اجرای یک سیستم مناسب و کارآمد آب‌های سطحی پشتیبانی کند (۴). در پژوهشی دیگر از نرم‌افزار SewerGEMS و HEC-RAS در طراحی زیرساخت‌های زهکشی شهری در مناطق خشکی همچون عربستان پرداخته شد. نتایج بیانگر آن است که این نرم‌افزار، کارایی لازم در محدوده مورد مطالعه را دارد (۲). مواردی که گفته شد، همگی کارایی این نرم‌افزار را بیان کردند. طی پژوهشی ارزیابی عملکرد سه مدل SewerGEMS، EPA SWMM و ASSA در تحلیل سیلاب‌های شهری در محدوده شهر لار انجام شد. نتایج نشان داد که مدل EPA SWMM نسبت به دو مدل دیگر در شبیه‌سازی رواناب، دقت بیشتری



شکل ۹. تشخیص آبگرفتی در دو نقطه در کانال بوعلی در شبیه سازی سناریوی ۸ زیر حوضه با دوره بازگشت ۵ ساله با ضرایب شدت - مدت - فراوانی ارائه شده برای ایستگاه سینوپتیک شهرکرد



شکل ۱۰. تشخیص آبگرفتی در کانال ۱۳ آبان در سناریوی ۲ زیرحوضه با دوره بازگشت ۲ سال و ۵ سال

بدین ترتیب نتایج پژوهش های یادشده نشان می دهد که برتری هر نرم افزار نسبت به نرم افزار دیگر در مدل سازی سیلاب شهری، بستگی به شرایط جغرافیایی منطقه مد نظر دارد و لازم است نتایج به دست آمده با داده های میدانی، اعتبارسنجی شود تا بهترین مدل انتخاب شود.

اعتبارسنجی مدل

با توجه به عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در محدوده مطالعاتی، اعتبارسنجی مدل با مقایسه بین نتایج حاصل از شبیه سازی

در مدیریت رواناب حوضه های شهری در محدوده مد نظر از خود نشان می دهد (۱۶). جباری ملایری و عابدی کوپایی در سال ۱۳۹۵، به برآورد رواناب شهری با استفاده از دو مدل HEC-HMS و Civil Storm به منظور استفاده در فضای سبز شهری در منطقه ۶ اصفهان پرداختند. نتایج آنها نشان داد عملکرد مدل HEC-HMS در محدوده مطالعاتی نسبت به مدل Civil Storm بهتر است (۷). در موارد یادشده کارایی این نرم افزار با نرم افزارهای مشابه بررسی شد که برتری سایر مدل ها نسبت به این مدل بیان شده است.



شکل ۱۱. مکان پیشنهادی تأسیس حوضچه تغذیه مصنوعی، انتهای کانال ۱۳ آبان



شکل ۱۲. مکان پیشنهادی تأسیس حوضچه تغذیه مصنوعی، جنب فرهنگسرای شهرکرد



شکل ۱۳. رشد درختچه در کانال بلوار شهر شادی

و نتایج مشاهده‌ای در رخدادهای یادشده انجام شد. همچنین دقت مدل با سعی و خطا و رسیدن به کمترین خطای پیوستگی (Continuity Error) صورت پذیرفت.

خطای پیوستگی

خطای پیوستگی نرم‌افزار، از نظر ریاضی، اختلافی در موازنه

جرم است که بر حسب درصد بیان می‌شود. این پارامتر معیاری برای پایداری نتایج از نظر هیدرولیکی است. هرچه این مقدار کوچک‌تر باشد، نتایج پایدارتر و دقت مدل بیشتر است. این خطا در مدل با استفاده از فرمول Continuity Error = $|(T_i - T_o - T_f - T_d)/T_i|$ محاسبه می‌شود که در آن

پیشنهادهای

مکان‌های پیشنهادی به منظور تأسیس حوضچه تغذیه مصنوعی

همواره استفاده از آبی که به عنوان رواناب از مناطق شهری هدر می‌رود، یکی از مباحث مهم در حوزه مدیریت منابع آبی به شمار می‌رود. احداث حوضچه‌های تغذیه مصنوعی، نه تنها به تغذیه منابع آب زیرزمینی منطقه کمک می‌کند، بلکه می‌تواند دبی اوج در نقاط خروجی شبکه را نیز کاهش دهد. علاوه بر این، آب ذخیره شده می‌تواند در مدیریت فضای سبز شهری استفاده شود. اگرچه عوامل متعددی مانند مساحت منطقه، شیب، نفوذپذیری، حجم و کیفیت آب، هزینه‌های تأسیس و غیره بر این موضوع تأثیرگذار هستند، در این پژوهش، فقط تمرکز بر ارائه چند مکان پیشنهادی با توجه به مسیر کانال‌ها و شبکه‌های

جمع‌آوری رواناب سطحی موجود و همچنین فضای کافی برای تأسیس این حوضچه‌ها قرار دارد.

شکل ۱۱، مکان پیشنهادی برای تأسیس حوضچه در انتهای کانال ۱۳ آبان است که حدوداً مساحتی بیش از ۶۰۰ متر مربع دارد. شکل ۱۲، مکان پیشنهادی برای تأسیس حوضچه تغذیه مصنوعی جنب فرهنگسرای شهرکرد است که حدوداً مساحتی بیش از ۷۰۰ متر مربع دارد.

پایش مستمر کانال‌های اصلی شهر

نظارت مداوم بر کانال‌های اصلی شهر پیش از آغاز فصل بارش، به منظور اطمینان از عدم مسدود بودن مسیرها، امری ضروری است. در صورت وجود موانع، باید اقدامات لازم برای رفع آنها انجام شود. برای نمونه، شکل ۱۳ رشد درختچه‌ای را در مسیر کانال بلوار شهر شادی نشان می‌دهد که می‌تواند روند دفع رواناب در این کانال را مختل کند.

Ti حجم کل ورودی، To حجم کل خروجی، Tf حجم کل سرریز و Td حجم کل تغییرات است (۳).

محدودیت‌های تحقیق

عدم وجود ایستگاه هیدرومتری و داده ثبت شده برای دبی کانال‌ها، از جمله محدودیت‌هایی هستند که می‌توان به آنها اشاره کرد.

نتیجه‌گیری کلی

سیلاب‌ها و رواناب‌های شهری یکی از چالش‌های جدی زیست

محیطی و اجتماعی در مناطق شهری به شمار می‌روند. این پدیده‌ها بیشتر به دلیل تجمع آب باران، نفوذ محدود در خاک به واسطه سطوح نفوذناپذیر و ناکارآمدی یا ظرفیت کم شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی رخ می‌دهند. این شرایط می‌تواند منجر به مشکلاتی مانند آب‌گرفتگی معابر، خسارت به زیرساخت‌های شهری و اختلال در زندگی روزمره مردم شوند. در این راستا در این پژوهش، ارزیابی عملکرد نرم‌افزار SewerGEMS، در بررسی تبدیل بارش به رواناب و همچنین بررسی کفایت شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی در شهرکرد انجام شد. در بررسی رخدادهای بارش، دیده شد نتایج شبیه‌سازی با نتایج مشاهداتی تقریباً مطابقت دارد که همچنین نتایج این پژوهش حاکی از آن است که نرم‌افزار SewerGEMS توانایی لازم در مدل‌سازی سیلاب شهری در محدوده مورد مطالعه، طبق حالت‌های مختلف بررسی شده را داراست. همچنین در بررسی شبکه مد نظر، کفایت شبکه را به جز در مناطقی خاص همچون کانال بوعلی و کانال ۱۳ آبان، به طور کلی بیان می‌کند. پیشنهادهایی همچون ارائه دو مکان پیشنهادی (جنب فرهنگسرا و جنب کانال ۱۳ آبان) به منظور تأسیس حوضچه تغذیه مصنوعی و نظارت مداوم و مناسب به‌ویژه قبل از فصل بارش بر کانال‌ها، ارائه شد.

References

منابع مورد استفاده

1. Abdollahi, M., J. Abedi Koupai and M. Matinzadeh. 2024. The Effect of the Sub-Basins Area and Methods of Calculating Concentration Time on the Simulation of Urban Runoff Volume Using SewerGEMS Software (Case Study: Shahrekord). *Journal of Water and Soil Science* 28(3): 1-15.
2. Alhumaid, M., A. R. Ghumman, H. Haider, I. S. Al-Salamah and Y. M. Ghazaw. 2018. Sustainability evaluation framework of urban stormwater drainage options for arid environments using hydraulic modeling and multicriteria decision-making. *Water* 10(5): 581.
3. Bentley OpenFlows SewerGEMS CONNECT Edition Help. Last updated: October 26, 2022.
4. Camilo, M., R. Takeshi Nakahashi, B. H. Toná Juliani, J. Vier Vieira and C. M. Passos Okawa. 2020. Computational modelling of urban drainage network using LID alternatives in a sub-basin in Maringá city, Paraná, Brazil. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* 24.
5. Fattahi, R., M. Shayanazadeh and K. Abdollahi. 2013. Estimation and Reconstruction of Annual Maximum 24-H Rainfall Data Using Combination of Genetic Algorithm and Artificial Neural Networks Models (Case Study: Chaharmahal va Bakhtiari Province). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 7(22): 53-62
6. Hosseini, S. M. and J. Abrishami. 2007. Open channel hydraulics. Seventh Printing. Iran University of Science and Technology Publications, Tehran (in Farsi).
7. Jabbari, M and J. Abedi Kopai. 2015. Estimation of urban runoff for use in urban green spaces using HEC-HMS software. (Case study: District 6 of Isfahan). *In: 2nd National Congress on Iran's Irrigation and Drainage Congress*, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
8. Jadav, D. and K. Mishra. 2023. Design of urban stormwater drainage at Gandhinagar tp area based on civilstorm software. *International Journal of Progressive Research in Engineering Management and Science* 3: 206-212.
9. Jiang, L., Y. Chen and H. Wang. 2015. Urban flood simulation based on the SWMM model. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences* 368: 186-191.
10. Karamouz, M., S. Nazif and Z. Zahmatkesh. 2013. Self-organizing Gaussian-based downscaling of climate data for simulation of urban drainage systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 139(2): 98-112.
11. Karimi, V., K. Solaimani, M. H. Roshan and K. Shahedi. 2015. Simulation of flow in open and closed conduits by EPA-SWMM model (case study: Babolsar urban watershed). *Journal of Watershed Management Research* 6(11): 162-170.
12. Leopold, L. B. 1968. Hydrology for urban land planning: A guidebook on the hydrologic effects of urban land use. In Geological Survey Circular (Vol. 554). US Geolgoical Survey.
13. Maidment, D. R. 1992. Handbook of hydrology. McGraw-Hill Inc., New York.
14. Mukherjee, B., P. Mukherjee, K. Chaudhuri and S. Das. 2021. A Feasibility Case Study of Storm and Sewer Drainage Systems of Rajarhat Gopalpur Municipality. *In: the International conference Sustainable Environmental Engineering and Science*.
15. Panahi, G. and K. Esmaili. 2018. Recommendation of new approaches for urban flood management. *Journal of Water and Sustainable Development* 5(1): 93-100.
16. Rafiee, M. R., D. Rasouli, M. Zolghadr and M. Mahbod. 2022. Evaluation of EPA SWMM, ASSA and Sewer GEMS Models in Analysis of Urban Flood Collected by Surface Drainage Network (Case Study: Lar New City). *Water Resources Engineering* 15(54): 107-124.
17. Ranjbari Hajiabadi, M., J. Abedi Koupai and M. M. Matinzadeh. 2025. Investigating the Performance of SewerGEMS Software in Simulating Urban Runoff for Small Basins (Case Study: Minab City). *Journal of Water and Soil Science* 28(4):1-22.
18. Rostami Khalaj, M., M. Mahdavi, S. Khalighi Sigarodi and A. Salajeghe. 2012. Sensitivity analysis of variables affecting on urban flooding using SWMM model. *Journal of Watershed Management Research* 5: 81-91
19. Roveri, S., S. Lautenschlager, F. De Andrade, O. Pereira, A. Jabur and C. Okawa. 2014. Urban Flooding Evaluation For The Osório Creek Sub-Basin Vicinity In The City Of Maringá-Pr .*In: 6th International Conference on Flood Management*. Brazil.
20. Samadi Borojeni, H., K. Emad and R. Fattahi. 2011. Evaluation Of Short Term Rainfall Analysis Methods (Case Study: Shahrekord Station). *Journal of Water Sciences And Engineering* 1(1): 7-19.
21. Sca, F. A., L. B. Assuncao and A. R. Finotti. 2018. International experiences in stormwater fee. *Water Science and Technology* 2018(1): 287-299.
22. Schmitt, T. G., M. Thomas and N. Ettrich. 2004. Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. *Journal of Hydrology* 299: 300-311.

-
23. Zebardast, M. and A. Roshani. 2019. Investigating the Use of Urban Rainfall for Green Space Usage using Civil Storm Software (Case Study: Southern Part of Mashhad City). *Journal of Water and Sustainable Development* 6: 51-60.