Research Paper

Design of urban stormwater drainage system using SWMM (Case study: Vali Asr town in Baghein of Kerman)

Zahra Mohammad Hassannejad [1], Mahnaz Ghaeini-Hessaroeyeh [2*], Ehsan Fadaei-Kermani [3]

[1] M.Sc. Graduate, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (Email: zahra.hasannezhad1996@gmail.com).
[2]* Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (Corresponding author, Email: mghaeini@uk.ac.ir).
[3] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (Email: e.fadaei@uk.ac.ir).

10.22125/IWE.2024.420970.1758

Received:
November 3, 2023
Accepted:
April 12, 2024
Available online:
June 29, 2024

Keywords:
Urban runoff, Stormwater management model, Hydraulic and hydrologic models, Urban hydrology, Green roof

Abstract

In recent decades, urban floods have gained special importance because they can cause irreparable human and financial losses if they are not controlled and managed. For this reason, the design of an efficient runoff collection system that can both collect the runoff resulting from heavy rainfall and optimally use the rainfall, especially in arid and semi-arid regions, becomes very important. In this research, the urban runoff of Valiasr town located in Baghin city of Kerman province was first simulated by analyzing rainfall data and location data in the SWMM software, and then the urban runoff collection system for the studied area for floods with a return period of 10 years according to the guideline number 118-3 was designed. The investigation to evaluate the efficiency of the system indicated that the system designed is efficient to pass the 25-year flood according to the mentioned guideline by making changes in the components of the system. The flow's Froude number in the system's links has not exceeded 1 and the maximum flow's speed has not exceeded from allowed speed determined in the guideline, which is 3 meters per second. In order to reduce the produced runoff and achieve a more optimal system, green roof was used as a low-impact development method, and the results indicated that using this method reduces the amount of system outflow by 30%.

1. Introduction

Surface runoff collection and transfer systems are important components of planning and construction of urban areas, and any error in their correct and principled design can cause life and financial damage. To reduce the mentioned problems, the correct design of surface runoff collection and transmission networks becomes especially important, which is achieved by simulation using mathematical models.

* **Corresponding Author:** Mahnaz Ghaeini-Hessaroeyeh
Address: Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
Email: mghaeini@uk.ac.ir

The SWMM model is one of the models that has attracted the attention of researchers in the last few years, and research has been done in different regions of the world to evaluate the efficiency of the mentioned model. In this research, the SWMM model has been used due to the appropriate efficiency of this model in quantitative and qualitative modeling of the urban runoff of Vali Asr town located in Baghin city of Kerman province.

2. Materials and Methods

In order to simulate rainfall-runoff in this study, the following steps have been taken:

Zoning of the studied area

Calculation of the equivalent width of the sub-basins

Determination of flow roughness coefficient on permeable surfaces, impermeable surfaces and channels

Information required for connections

Weather information

Runoff drainage information

Determine the slope of each subbasin

Hydrological information

Green roof information

3. Results

After the necessary information for the system components, including sub-basins, rain gauge station, conduits, nodes, etc., is defined, the model is executed. To run the model in order to adjust these parameters for the curve number method (CN) model for infiltration modeling, the kinematic wave method has been chosen for trending the flow and the entire duration of the model execution has been chosen based on the continuity of rainfall and also the time step for trending has been considered to be 30 seconds. Is. At first, the model was designed according to the contents mentioned in the publication No. 118-3 of the Program and Budget Management Organization of the surface runoff collection and transfer system of Wali Asr (AS) for floods with a return period of 10 years and then its efficiency for floods with a return period of 2, 5 and 25 years has been evaluated. Figure (1) shows the hydrograph of the outflow of the system with a 10-year return period. In the design of the system, it was always tried to put the flow in a sub-critical state and the flow speed does not exceed 3 meters per second, and the percentage of the section is filled from 0.75 has not gone beyond.

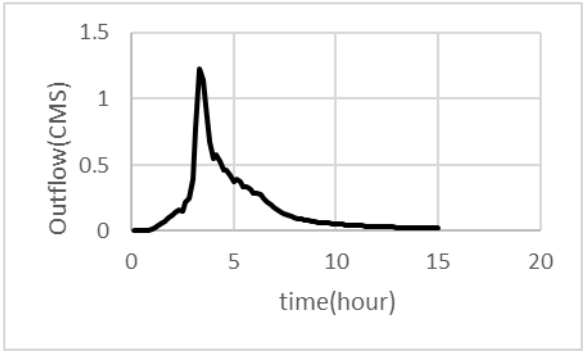


Figure (1) hydrograph of system outflow for floods with a return period of 10 years

In order to evaluate the efficiency of the system designed to pass the flood with a return period of 25 years, changes were made in the number of nodes and sections. Also, the hydrograph of the outflow of the system with a return period of 25 years is shown in Figure (2). In order to reduce the production runoff, a green roof with a thickness of 15 cm has been used for the sub-basins with high

impermeability, and as can be seen in Figure (3), the amount of production runoff has decreased by 30%.

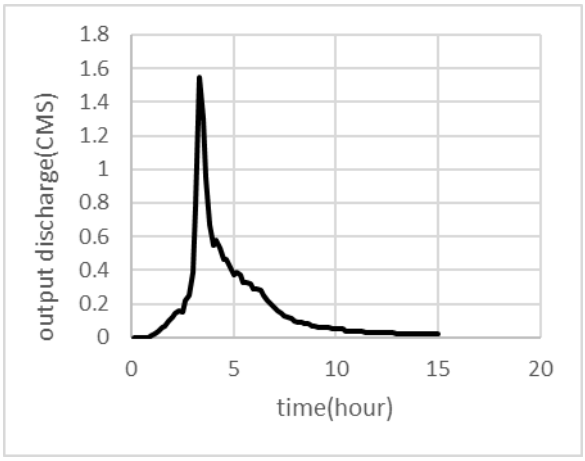


Figure (2) hydrograph of system output discharge for floods with a return period of 25 years

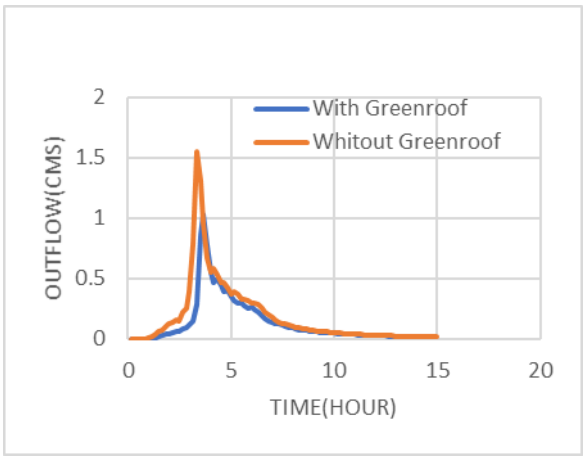


Figure (3) hydrograph of the system's outflow before and after the green roof

4. Discussion and Conclusion

In this research, the design of the surface runoff collection network of Vali Asr town located in Baghin city of Kerman was done for floods with a return period of 10 years, and then the efficiency of the system was evaluated for floods with a return period of 25 years. The results indicated that by making changes in the system components, the designed network has the necessary efficiency against 25-year floods. In this research, a green roof with a thickness of 15 cm was also used to reduce the runoff by 30%.

5. Six important references

1) Arjenaki, M.O., Sanayei, H.R.Z., Heidarzadeh, H. and Mahabadi, N.A., 2021. Modeling and investigating the effect of the LID methods on collection network of urban runoff using the SWMM model (case study: Shahrekord City). Modeling Earth Systems and Environment, 7(1):1-16.
2) Cheng, T., Xu, Z., Yang, H., Hong, S., & Leitao, J. P. 2020. Analysis of effect of rainfall patterns on urban flood process by coupled hydrological and hydrodynamic modeling. Journal of Hydrologic Engineering, 25(1), 04019061.
3) Gumbel, E. J. 1941. The return period of flood flows. The annals of mathematical
4) Lowe, S.A., 2010. Sanitary sewer design using EPA storm water management model (SWMM). Computer Applications in Engineering Education, 18(2):.203-212.

5) Zakizadeh, F., Moghaddam Nia, A., Salajegheh, A., Sañudo-Fontaneda, L. A., & Alamdari, N. 2022. Efficient Urban Runoff Quantity and Quality Modelling Using SWMM Model and Field Data in an Urban Watershed of Tehran Metropolis. Sustainability, 14(3), 1086.
6) Zhuang, Q., Li, M., & Lu, Z. 2023. Assessing runoff control of low impact development in Hong Kong's dense community with reliable SWMM setup and calibration. Journal of Environmental Management, 345, 118599.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال چهاردهم. شماره پنجاه و شش .تابستان۱۴۰۳

طراحی سیستم جمع آوری رواناب شهری با استفاده از مدلSWMM (مطالعه موردی: شهرک ولی عصر(عج) شهر باغین، کرمان)

زهرا محمد حسن نژاد [۱]، مهناز قائینی حصاروئیه [۲و*]، احسان فدائی کرمانی [۳]

تاریخ ارسال:۱۴۰۲/۰۸/۱۲
تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۰۱/۲۴

مقاله پژوهشی

چکیده

در دهه‌های اخیر سیلاب‌های شهری به دلیل اینکه می‌توانند در صورت عدم کنترل و مدیریت خسارت‌های جانی و مالی جبران‌ناپذیری را به بار بیاورند، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده اند. به همین دلیل طراحی سیستم جمع‌آوری رواناب کارآمد که هم بتواند رواناب حاصل از وقوع شدید بارش را جمع‌آوری کند و هم به‌صورت بهینه از نزولات جوی خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک بهره ببرد، اهمیت بالایی پیدا می‌کند. در این پژوهش ابتدا به آنالیز داده‌های بارش ۲۴ ساعته ایستگاه سینوپتیک کرمان با طول آماری ۳۰ سال و داده‌های مکانی شهرک ولیعصر (عج) واقع در شهر باغین استان کرمان پرداخته می شود. سپس سیستم جمع‌آوری رواناب شهری برای منطقه مورد مطالعه برای سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ ساله بر طبق نشریه شماره ۳-۱۱۸ در محیط نرم افزار SWMM طراحی می گردید. بررسی برای ارزیابی کارایی سیستم حاکی از آن بود که سیستم طراحی‌شده برای عبور سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله و ۱۰۰ ساله با توجه به نشریه مذکور با انجام تغییراتی در مولفه های سیستم کارآمد می‌باشد. به طوری که جریان همواره زیربحرانی و سرعت جریان از ۳ متر برثانیه طبق نشریه مذکور تجاوز ننموده است. به منظور کاهش رواناب تولید شده و رسیدن به سیستم بهینه تر، از بام سبز به عنوان روش توسعه کم اثر استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود استفاده از این روش میزان جریان خروجی سیستم را تا ۳۰ درصد کاهش می دهد.

واژه‌های کلیدی: رواناب شهری، مدل مدیریت سیلاب (SWMM)، روش های توسعه کم اثر، هیدرولوژی شهری، بام سبز

[۱] فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب و سازه های هیدرولیکی، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران (Email: zahra.hasannezhad1996@gmail.com)

[۲] استاد بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران (Email: mghaeini@uk.ac.ir) (نویسنده مسئول)

[۳] استادیار بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران (Email: e.fadaei@uk.ac.ir)

مقدمه

سیستم‌های جمع‌آوری و انتقال رواناب‌های سطحی از اجزا مهم برنامه‌ریزی و عمران مناطق شهری بوده و هرگونه خطا در طراحی صحیح و اصولی آن‌ها می‌تواند باعث ایجاد بروز حوادث جانی و مالی شود. از طرف دیگر با رشد جمعیت باعث به وجود آمدن تأثیرات نامطلوب بر هیدرولوژی حوضه آبخیز می‌شود که این امر موجب تشدید سیلاب‌ها و افزایش آلودگی در قسمت‌های پایاب جریان پایه می‌شود. برای کاهش مشکلات ذکرشده، طراحی صحیح شبکه‌های جمع‌آوری و انتقال آب‌های سطحی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند که این امر با شبیه‌سازی با استفاده از مدل‌های ریاضی محقق می‌گردد. محققان در طول سال‌های اخیر سعی بر این داشته‌اند که رابطه‌ای دقیق بین بارش و رواناب ناشی از آن برقرار سازند، بنابراین مدل‌های هیدرولوژیکی مختلفی را به کاربردند. مدلSWMM یکی از مدل‌هایی است در طی چند سال اخیر موردتوجه محققان قرارگرفته است و در مناطق مختلف جهان تحقیقاتی برای ارزیابی کارایی مدل مذکور صورت گرفته است.

SWMM برای نخستین بار در سال ۱۹۷۱ و توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا تولید شد و تا امروز که نسخه‌ی پنجم آن ارائه گردیده، تغییر و تحول بسیاری در آن ایجادشده است. ویرایش ۵ این مدل حاصل بازنویسی کامل ویرایش‌های قبل از آن بوده و به زبان Delphi نوشته‌شده است. در این ویرایش، مدل تحت سیستم‌عامل ویندوز به‌کاررفته شده و دارای یک محیط اختصاصی (شبه GIS) برای به‌کارگیری و ویراستاری اطلاعات ورودی، اجرای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، هیدرولیک و کیفیت آب و خروجی آن به دو صورت گرافیکی و جدولی می‌باشد. از دلایل ارجحیت این مدل بر مدل‌های دیگر قابلت ارزیابی وضعیت سیستم شبکه زهکشی منطبق با شرایط شهری و بنا به قابلیت شبیه‌سازی رواناب سطحی و توانایی ارزیابی و ارائه بهترین کارهای مدیریتی می‌باشد. مدل‌های بارش-رواناب یکی از روش‌های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای مطالعه فرایند های هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آبی میباشد.

جیانگ و همکاران (۲۰۱۵) شبیه سازی سیلاب شهر دونگوان در جنوب چین به کمک نرم افزار SWMM را برای دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰و ۲۰ سال مطالعه و نتیجه گرفتند که مدل SWMM برای پیش بینی سیلاب شهری با توجه به آنالیز حساسیت پارامتر ها و همبستگی آنها، مناسب و کارامد است. ژنگ و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خود به اثرات هیدرولوژیکی روش های توسعه کم اثر در یک منطقه مسکونی پرداختند. آن ها برای ارزیابی عملکرد بام های سبز، روسازی نفوذپذیر و مخزن‌های باران از مدل حفاظت خاک (SCS) استفاده کردند. نتایج بیانگر کاهش ۰/۶ الی ۳۶/۸ درصد سیلاب و افزایش جریان پایه به میزان ۶۰۹۳۰ متر مکعب بود. مرسی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش خود به بررسی اثرات استفاده از روش‌های توسعه کم اثر در کاهش سیلاب در یک حوضه شهری در شهر کلمبیا با استفاده از مدل SWMM پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از باغچه‌های باران‌زاد با ارتفاع خاکریز ۳۰ سانتی‌متر و سطح مقطعی برابر با ۲۰ درصد حوضه می‌تواند ذخیره کافی برای کاهش سیلاب ۱۰ ساله را فراهم کند. چن و همکاران (۲۰۲۰) برای تجزیه و تحلیل پاسخ سیلاب شهری به الگوهای مختلف بارش از ترکیب مدل SWMM و یک مدل هیدرودینامیکی دوبعدی استفاده کردند و دریافتند که الگوهای مختلف بارندگی منجر به الگوی متنوع پاسخ سیل می‌شود. اروند و همکاران (۲۰۲۰) رواناب یک زیرحوضه شهری نیشابور را برای ۹ رویداد بارش با استفاده از مدل SWMM شبیه سازی کردند و سپس عملکرد مدل را با استفاده از خطای میانگین مربعات، ضریب جرم باقیمانده و کارایی مدل ارزیابی کردند و نتایج حاکی از آن بود که که مدل SWMM می تواند شکل هیدروگراف، دبی اوج و زمان پیک را به دقت شبیه سازی کند.

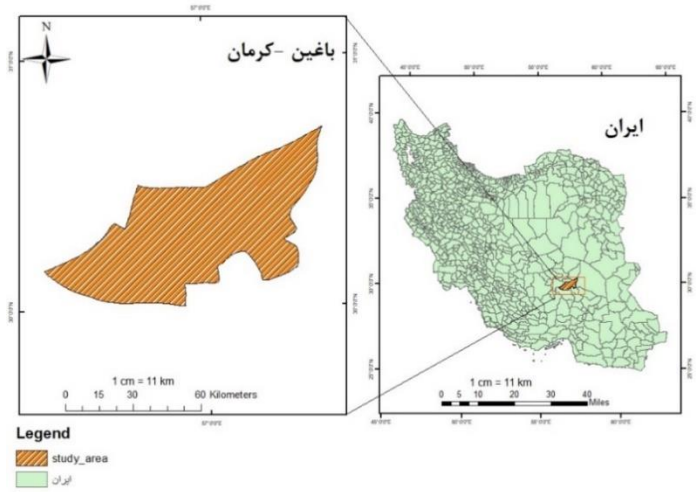
دل و همکاران (۲۰۲۱) از مدل SWMM برای طراحی یک سیستم جمع آوری رواناب شهری در چین استفاده نمودند. نتایج نشان داد که چهارچوب مدیریتی ارائه شده توسط آنها با بهره گیری از روش های توسعه کم اثر، توانایی قابل توجهی در مدیریت رواناب های شهری دارا می باشد. امیدی

و همکاران (۲۰۲۱) رواناب حاصل از بارش را با استفاده از SWMM انجام دادند و اعتبار سنجی آن را با استفاده از شاخص‌های آماری انجام دادند و همچنین استفاده از بام سبز را برای مدیریت رواناب حاصل از بارش در شهرکرد پیشنهاد دادند. زکی زاده و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی سه واقعه مهم وبا اندازه گیری نرخ جریان، مواد جامد معلق ، فسفر کل ونیتروژن کل درخروجی حوضه آبخیز کلانشهر تهران به کالیبراسیون مدل SWMM منطقه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل SWMM نتایج رضایت بخشی را برای مدل‌سازی کمی و کیفی رواناب شهری ارائه می‌کند. وانگ و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از نرم افزار SWMM به بررسی سناریوهای مختلف مدل سازی و مدیریت رواناب شهری در چین پرداختند. آنها در تحقیق خود به بررسی عوامل مختلف محیطی در میزان و شدت رواناب حاصل از بارش پرداختند. لی و لو (۲۰۲۳) عملکرد هیدرولوژیکی بام سبز با بسترهای طراحی شده و و پوشش گیاهی در آب و هوای نیمه مرطوب گرمسیری در شهر چونگ کینگ گشور چین بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که بسترهای شامل شیل و پرلیت در ترکیب با چمن بهترین عملکرد را درکاهش رواناب داشتند. ژوانگ و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی روش‌های توسعه کم اثر جهت کنترل رواناب شهر متراکم هنگ کنگ پرداختند و دریافتند که استفاده از روش های توسعه کم اثر حداکثر رواناب تولید شده را به میزان ۳۵ تا ۴۵ درصد برای بارش با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۵۰ ساله، کاهش می‌دهد. ژنگ و همکاران (۲۰۲۳) اتصال سیستم آب شهری شهر ژومادیان را از سه جنبه هیدرودینامیکی، کیفیت آب و اثرات اکولوژیکی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بعد از اتصال سیستم شهری و با بارندگی های با دوره بازگشت ۱۰ سال و ۲۰ سال، اوج جریان به ترتیب ۶/۶ و ۴/۶ درصد کاهش می یابد. نوری و همکاران (۱۳۹۷) مدل SWMM را برای شبیه‌سازی سیلاب شهری و از الگوریتم ژنتیک چند هدفه برای بهینه‌سازی مدل باهدف کنترل رواناب منطقه عظیمیه شهر کرج به کار بردند و دریافتند که با بکار گیری سناریوهای ارائه شده توسط الگوریتم ژنتیک چند هدفه میزان کمیت و کیفیت رواناب تولیدی به ترتیب ۴۱ و۲۳ درصد کاهش می یابد. ناصح پور و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از با استفاده از مدل SWMM به بررسی اثرات توسعه شهری بر میزان تولید رواناب در استان قم پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش سطح نفوذ ناپذیر منجر به افزایش ۳۰ درصدی رواناب می شود.

با مطالعه تحقیقات صورت گرفته و بررسی‌های انجام‌شده، در تحقیق حاضر مشخص گردید که در میان روش‌های مختلف برآورد رواناب سطحی، مناسب‌ترین و متداول‌ترین روش برآورد رواناب شهری استفاده از مدل SWMM می‌باشد که صحت و کارایی آن نیز از طرف پژوهشگران مورد تائید قرارگرفته است. همچنین طبق نتایج حاصل‌شده از انجام تحقیقات مختلف افزایش سطح نفوذپذیری اصلی‌ترین عامل در افزایش رواناب، سیلاب و آب‌گرفتگی معابر می‌باشد .بر این اساس در تحقیق حاضر از مدل SWMM به دلیل کارایی مناسب این مدل در مدل‌سازی کمی و کیفی رواناب شهری شهرک ولی‌عصر (عج) واقع در شهر باغین استان کرمان استفاده شده است.

مواد و روش

شهرک ولی‌عصر (عج) واقع در شرق شهر باغین واقع در استان کرمان با وسعت ۹۰ هکتار بین مختصات جغرافیایی ۵۷ درجه و ۰ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۵۷ درجه و ۱ دقیقه و ۱۱ ثانیه شرقی و عرض ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه و ۳۴ ثانیه تا ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه و ۴۶ ثانیه شمالی در دست ساخت قرار دارد (شکل ۱). داده های مورد استفاده در این تحقیق داده های بارش ۲۴ ساعته ایستگاه سینوپتیک شهر کرمان با طول آماری ۳۰ سال می باشند.



شکل (۱):موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

مدلسازی با استفاده از نرم‌افزار SWMM

نرم‌افزار SWMM با استفاده از معادلات پیوستگی و مومنتوم شبیه سازی و مدیریت رواناب را انجام داده وهمچنین قادر است شبیه‌سازی بارش – رواناب را به‌صورت دینامیکی و با در نظرگرفتن پدیده‌های تبخیر، ذوب برف، چالاب، نفوذ عمقی و جریان‌های زیرسطحی را انجام دهد (بدیعی زاده، ۱۳۹۴). مدل SWMM از معادله مانینگ(رابطه ۱) برای تغییرات نرخ دبی در تمام مجراها استفاده می‌کند.

$$Q = \frac{1}{n} * S^{0.5} * R^{0.67} * A \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) Q، دبی جریان، n ضریب زبری مانینگ، S درصد شیب مجرا، R شعاع هیدرولیکی مقطع مجرا و A سطح مقطع مجرا می‌باشد. درصورتی‌که جریان به‌صورت تحت‌فشار باشد استفاده از معادلات دارسی-ویسباخ و هیزن- ویلیامز الزامی است. معادله حاکم بر جریان‌های متغیر تدریجی و غیردائمی در آبگذرهای مدل SWMM همان معادلات مومنتوم (معادلات سنت-ونانت) است (مرادی، ۱۳۹۴). با حل هم‌زمان معادله پیوستگی و معادله اندازه حرکت به‌صورت تحلیلی یا عددی روندیابی سیل انجام می‌شود. باصرفه نظر کردن از جریان ورودی جانبی و بر اساس متغیرهای هیدرولیکی، شکل دیفرانسیلی معادله به‌صورت معادله پیوستگی (رابطه ۲) و معادله اندازه حرکت (رابطه ۳) نوشته می‌شود.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \qquad (۲)$$

$$\frac{1}{A}\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A}\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right) + g\frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0 \qquad (۳)$$

که در آن Q دبی جریان، y عمق جریان، A میانگین سطح مقطع عرضی آبراهه، g شتاب گرانش، S_0 شیب بستر، S_f شیب‌خط انرژی ناشی از مقاومت جریان عمق جریان می‌باشند.

روندیابی جریان در مدل SWMM به سه صورت یکنواخت، موج سینماتیک و موج دینامیک قابل انجام است.

SWMM هر زیرحوضه را مثل یک مخزن در نظر میگیرد که جریان های ورودی به این مخزن شامل باران و جریان ناشی از ذوب برف و جریان خروجی آن شامل تبخیر، نفوذ و رواناب سطحی خروجی می‌باشد. رواناب هنگامی تشکیل می‌شود که عمق آب در مخزن بیشتر از تلفات چالاب و نفوذ گردد و مقدار آن توسط معادله مانینگ تعیین می‌شود. عمق آب در سطح زیر حوضه نیز به‌طور پیوسته توسط حل عددی معادله اندازه حرکت و معادله بیلان آب محاسبه می‌گردد.SWMM برای محاسبه مقدار نفوذ آب به نواحی نفوذپذیر از سه معادله هورتون، گرین-امپ و روش

شماره منحنی استفاده می‌نماید. روندیابی جریان داخل مجرای آب توسط معادلات

بقای جرم و مومنتم برای جریان غیردائمی و متغیر تدریجی انجام می‌گیرد. بدین منظور مدل، یکی از معادلات روندیابی جریان دائمی، موج سینماتیک و موج دینامیک را مورداستفاده قرار می‌دهد (سید کابلی و همکاران، ۱۳۸۸). اولین قدم برای طراحی سیستم‌های زهکشی شهری انتخاب بارش طرح می‌باشد لذا مابقی خصوصیات سیستم مانند خصوصیات هندسی و فیزیکی منطقه و خصوصیات مجراها در مرحله دوم قرار می‌گیرد. ملاحظات خاصی را برای انتخاب بارندگی طرح باید در نظر گرفت که این ملاحظات شامل هزینه و درجه ایمنی طرح می‌گردد. انتخاب بارندگی طرح زمانی معقول است که بتواند بین دو عامل هزینه و درجه ایمنی طرح تعادل برقرار سازد. به دلیل تصادفی بودن پدیده بارندگی، بارندگی طراحی باید بر اساس احتمال وقوع انتخاب گردد؛ بنابراین ممکن است در صورت بروز بارانی شدیدتر از بارندگی مبنای طرح، شبکه طراحی‌شده قادر نباشد رواناب تولیدشده را جمع‌آوری و دفع کند. برای هر منطقه تغییرات شدت بارندگی نسبت به دوره بازگشت که یک تابع احتمالاتی است، مقادیر مختلفی دارد. در این تحقیق از روش گامبل برای تحلیل داده های بارش و همچنین رسم منحنی های شدت مدت فراوانی جهت اجرای مدل استفاده است. با در نظر گرفتن عواملی مانند نوع خیابان، حجم ترافیک و سرعت مجاز، برای تعیین دوره بازگشت بارندگی طرح، دوره بازگشت ۱۰ سال برای انتخاب بارندگی طرح جهت طراحی سیستم‌های جمع‌آوری رواناب‌های سطحی شهری در ایران توصیه‌شده است (نشریه ۱۱۸-۳، ۱۳۹۵). بنابراین در تحقیق حاضر سیستم جمع آوری رواناب شهری منطقه مورد مطالعه برای سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ ساله طراحی شده است.

به‌منظور شبیه‌سازی بارش- رواناب در این مطالعه مراحل زیر طی شده است:

حوضه بندی منطقه موردمطالعه

محاسبه عرض معادل زیرحوضه‌ها

تعیین شیب هر زیرحوضه

تعیین ضریب زبری جریان روی سطوح نفوذپذیر، سطوح نفوذناپذیر و مجاری

اطلاعات موردنیاز برای اتصالات و مجاری زهکشی رواناب

مطالعات هواشناسی و هیدرولوژیکی منطقه

مدل سازی و بررسی اثر بام سبز بر رواناب

داده های ورودی به مدل

داده‌های مکانی و مشخصات مربوط به زیرحوضه‌ها با استفاده از نقشه اتوکد دریافتی از سازمان مسکن و شهرسازی استان کرمان با مقیاس ۱:۲۰۰۰ منطقه موردمطالعه که در آن کدهای ارتفاعی و همچنین کاربری اراضی نیز مشخص می‌باشند استخراج‌شده و مورداستفاده قرارگرفته است. با توجه به نقشه در دسترس، کدهای ارتفاعی موجود، مسیرهای اصلی، کاربری اراضی، منطقه مورد مطالعه شیب بندی و همچنین به دوازده زیرحوضه تقسیم بندی شد که نتایج حوضه بندی و مشخصات واردشده در خصوص زیرحوضه‌ها به مدل در جدول(۱) آورده شده است.

جدول (۱): مشخصات مربوط به زیرحوضه ها

نام زیرحوضه	مساحت (هکتار)	گره خروجی	درصدنفوذناپذیری	عرض معادل (متر)	شیب (درصد)
S1	۳/۶۱	J8	۲۵	۱۳۱/۲	۰/۴۴
S2	۲۹/۱۶	J11	۱۰۰	۱۸۵/۷۷	۰/۱
S3	۱۰/۵۲	J62	۶۹/۷	۱۲۷/۹۱	۱/۳
S4	۷/۱۵	J71	۹۳/۶	۳۱۲/۷۲	۰/۹
S5	۳/۱۳	J14	۹۶	۸۶/۱۲	۰/۴۵
S6	۴/۷۵	J72	۱۰۰	۱۳۰/۲۶	۱/۱
S7	۶/۲۶	J59	۹۰/۷	۲۰۰/۵۴	۰/۶
S8	۳/۲۷	J60	۹۶	۱۷۳/۵۶	۱/۵۴
S9	۶/۷۹	J5	۴۲	۳۱۲/۷۳	۰/۹
S10	۲۱/۷۷	J16	۵	۴۱۶/۱۶	۱/۵۴
S11	۱۹/۱۴	J12	۵	۴۵۴/۹۲	۰/۸۷
S12	۳/۴۷	J23	۲۰	۱۱۴/۶۸	۰/۸۶

داده‌های مربوط به گره‌ها و مجرا ها

مدل دارای ۲۰ گره و یک گره خروجی می‌باشد. مشخصات گره‌ها در جدول (۲) و آورده شده است و همچنین سطح مقطع مجراها به صورت دایره ای و جنس آنها از بتنی با ضریب مانینگ ۰/۰۱۳ در نظر گرفته شده است. در جدول (۳) مشخصات مربوط به مجراها قابل مشاهده است.

جدول (۲) :مشخصات مربوط به گره‌ها

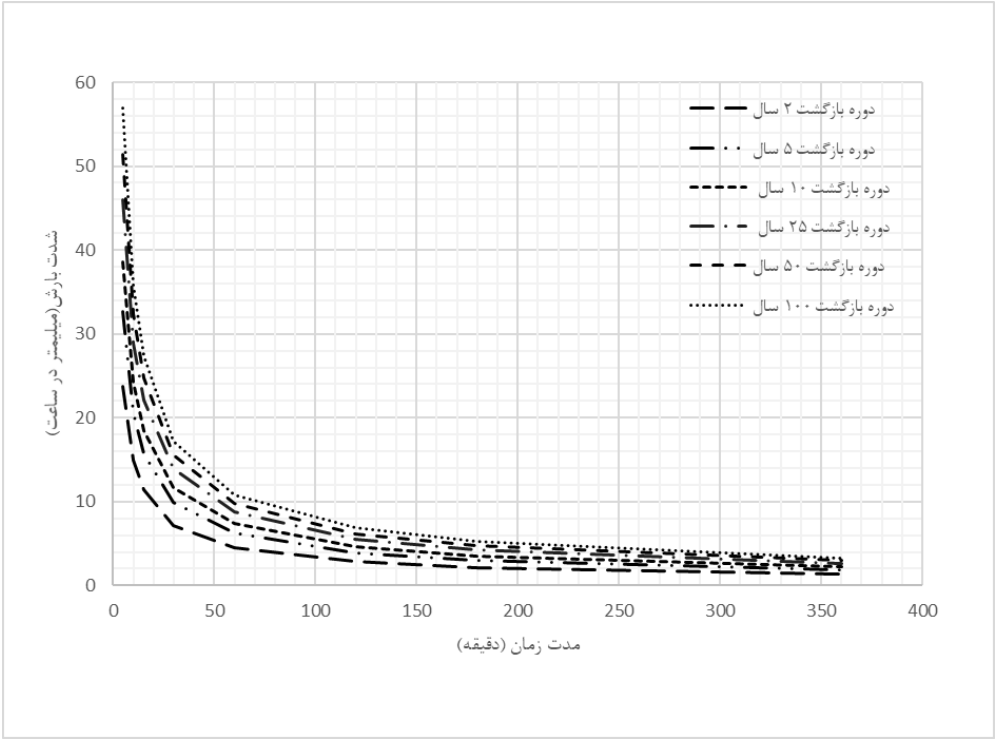
نام گره	رقوم گره (متر)
J8	۱۷۴۲/۹
J23	۱۷۴۲/۵
J44	۱۷۴۲/۸
J43	۱۷۴۳/۳
J41	۱۷۴۳/۵۵
J14	۱۷۴۳/۲۲
J13	۱۷۴۳/۷۱
J16	۱۷۴۳/۶۵
J17	۱۷۴۳/۶۰
J33	۱۷۴۳/۲۶
J31	۱۷۴۳/۳
J10	۱۷۴۳/۴
J11	۱۷۴۳/۶
J12	۱۷۴۳/۸۲
J5	۱۷۴۳/۲۹
J59	۱۷۴۲/۰۵
J60	۱۷۴۳/۲
J62	۱۷۴۱/۸۵
J71	۱۷۴۲/۷
J72	۱۷۴۲/۴
Outlet	۱۷۴۱/۲

جدول (۳) مشخصات مربوط به مجراها

نام مجرا	گره ابتدا	گره انتها	طول مجرا (متر)
C33	J16	J17	۱۱۵/۵۲
C32	J13	J16	۱۵۰/۲۶
C24	J31	J33	۷۲/۶۱
C25	J33	J14	۱۲۶/۰۸
C38	J17	J41	۸۴
C39	J41	J43	۸۶
C40	J43	J44	۸۶
C49	J44	J23	۵۵
C47	J23	J59	۲۰۰/۶۵
C45	J5	J60	۹۷/۱۲
C46	J60	J23	۱۳۵
C27	J12	J13	۹۱/۳۹
C75	J11	J10	۹۵/۳۵
C77	J10	J31	۱۲۵/۵۹
C79	J59	J62	۴۰۰
C80	J62	O1	۴۰۰
C83	J8	J71	۳۳۹/۵
C84	J71	J72	۱۷۰
C85	J72	J62	۳۲۳/۱۵
C86	J14	J71	۲۱۵/۵۴

مطالعات هواشناسی

داده های مورد استفاده در تحقیق حاضر داده های بارش ۲۴ ساعته ایستگاه سینوپتیک شهر کرمان با طول آماری ۳۰ سال (۱۳۷۱-۱۴۰۱) می باشد. با استفاده از روش توزیع گامبل (گامبل، ۱۹۴۱) که بر نظریه ارزش های افراطی تکیه دارد و با در نظرگرفتن مقادیر ۰/۵۴۲۴ برای پارامتر میانگین کاهش یافته (Y_n) و ۱/۱۳۶۳ برای پارامتر انحراف استاندارد کاهش یافته (S_n)، منحنی‌های شدت مدت فراوانی (شکل (۲)) رسم شده است. همچنین مقادیر رگبارها با تداوم ۶ ساعت و با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ ساله جهت مشخص شدن باران طرح و با توجه به منحنی های شدت مدت فراوانی جهت ساخت سری‌های زمانی ورودی به مدل بدست آمدند. توزیع زمانی بارش جهت ساخت سری‌های زمانی ورودی به مدل بر طبق توزیع زمانی پیشنهادی توسط سازمان هواشناسی جهانی صورت گرفت.

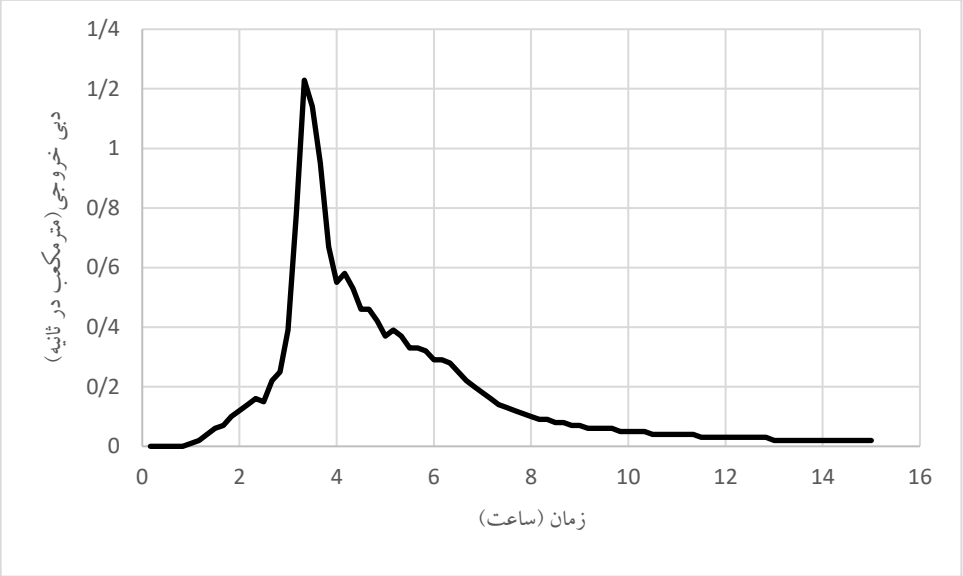


شکل (۲): منحنی‌های شدت مدت فراوانی منطقه مورد مطالعه

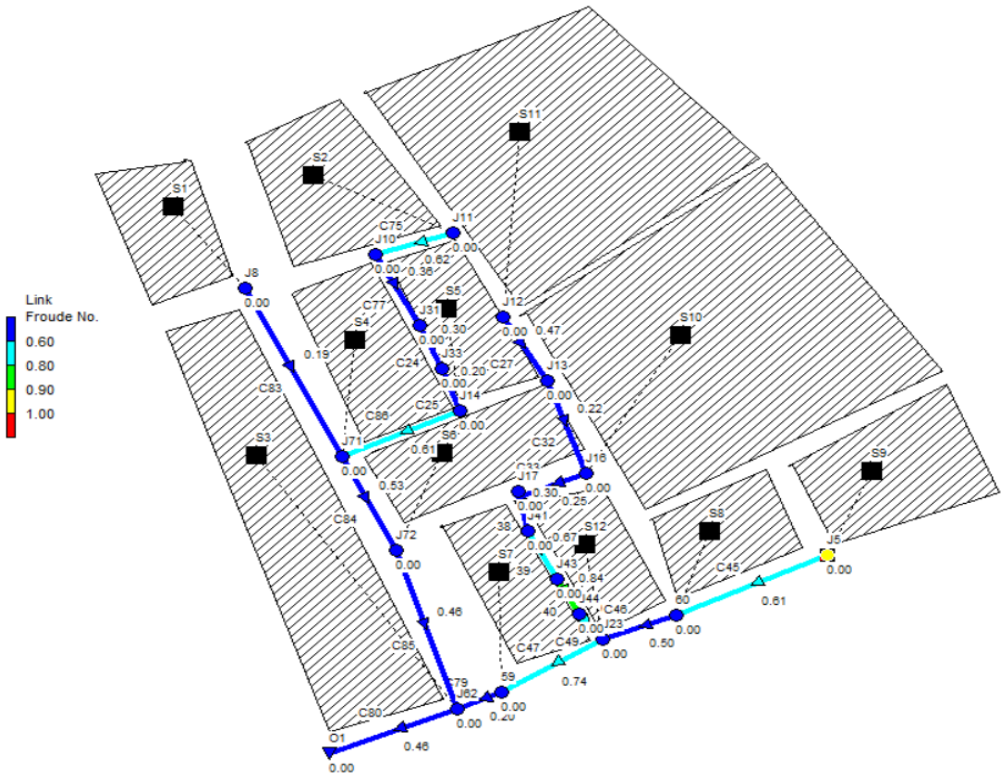
نتایج و بحث

پس از آنکه اطلاعات لازم برای اجزای سیستم شامل زیرحوضه‌ها، ایستگاه باران‌سنجی، مجراها، گره‌ها وگره خروجی تعریف شد، اجرای مدل صورت می‌گیرد. برای اجرای مدل به‌منظور تنظیم این پارامترها برای مدل روش شماره منحنی (CN^4) برای مدل‌سازی نفوذ، روش موج سینماتیکی برای روندیابی جریان و کل مدت زمان اجرای مدل بر اساس تداوم بارندگی انتخاب گردیده است و همچنین گام زمانی جهت روند یابی ۳۰ ثانیه در نظر گرفته‌شده است. در ابتدا مدل طبق مطالب گفته‌شده در نشریه شماره ۳-۱۱۸ سازمان مدیریت برنامه و بودجه سیستم جمع آوری و انتقال رواناب سطحی شهرک ولی عصر (عج) برای سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ سال طراحی شده و سپس کارایی آن برای سیلاب با دوره بازگشت ۲، ۵ و ۲۵ و ۱۰۰سال مورد ارزیابی قرارگرفته است. بدیهی است که سیستم کارایی مناسب برای عبور سیلاب با دوره بازگشت های ۲ و ۵ سال را دارا می‌باشد. شکل (۳) هیدروگراف دبی خروجی سیستم با دوره بازگشت ۱۰ ساله را نشان می‌دهد. در طراحی سیستم همواره سعی بر آن بود که جریان در حالت زیر بحرانی قرار گیرد (شکل (۴)) و سرعت جریان از ۳ متر در ثانیه تجاوز نکند و همانطور که در جدول (۴) نمایش داده شده است درصد پرشدگی مقطع از ۰/۷۵ (نشریه ۳-۱۱۸، ۱۳۹۵) فراتر نرفته است.

[4] Curve Number



شکل (۳) :هیدروگراف دبی خروجی سیستم برای سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ ساله



شکل (۴): الگوی عدد فرود جریان در مجراها در زمان اوج هیدروگراف سیلاب ۱۰ ساله

جدول(۴) : نتایج مدل‌سازی سیلاب ۱۰ ساله در مجاری

نام مجرا	حداکثر دبی (CMS)	حداکثرسرعت (m/s)	درصد پرشدگی
C33	۰/۱۰۱	۰/۵۴	۰/۳۵
C32	۰/۰۵۵	۰/۵	۰/۲۶
C24	۰/۲۰۶	۰/۶۶	۰/۴۲
C25	۰/۲۰۶	۰/۵۴	۰/۴۹
C38	۰/۰۹۹	۰/۵۷	۰/۲۸
C39	۰/۰۹۹	۱/۹۹	۰/۱۹
C40	۰/۰۹۸	۱/۱۶	۰/۱۷
C49	۰/۹۸	۱/۰۶	۰/۱۸
C47	۰/۳۶۱	۱/۴۸	۰/۳۱
C45	۰/۱۳۸	۰/۹۷	۰/۲۴
C46	۰/۲۷۳	۱/۰۵	۰/۳۷
C27	۰/۰۵۸	۰/۶۵	۰/۱۸
C75	۰/۲۰۶	۱/۰۷	۰/۲۹
C77	۰/۲۰۶	۰/۷۶	۰/۳۸
C79	۰/۴۹۱	۰/۸۵	۰/۵۳
C80	۱/۲۲۹	۱/۵۸	۰/۵۸
C83	۰/۰۳۷	۰/۴۷	۰/۱۶
C84	۰/۴۴۹	۱/۲۵	۰/۴۷
C85	۰/۵۸۶	۱/۳۲	۰/۵۵
C86	۰/۲۵۷	۱/۲	۰/۳۲

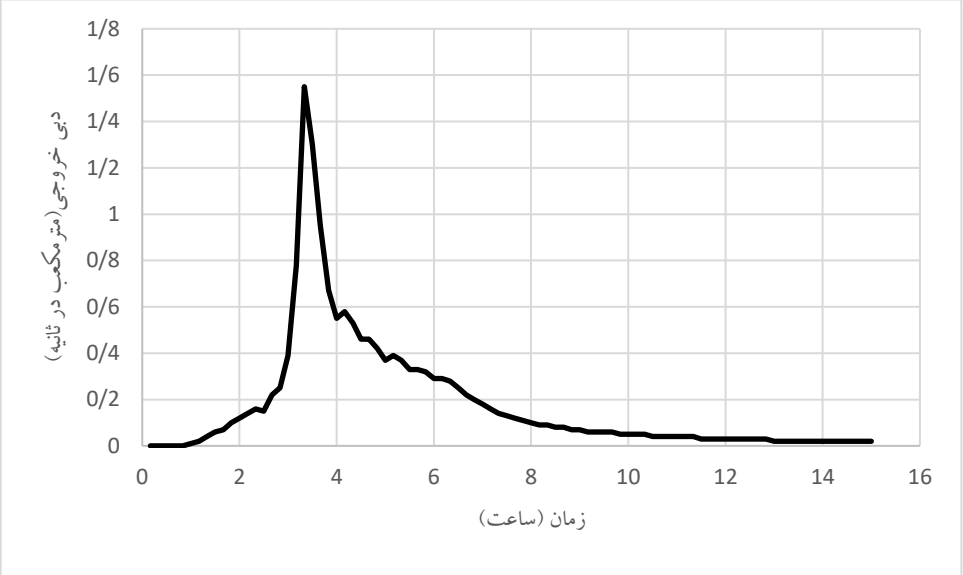
به منظور ارزیابی کارایی سیستم طراحی شده جهت عبور سیلاب ها با دوره های بازگشت طولانی تر، با تغییراتی در رقوم گره ها و مقاطع، مدل برای دوره بازگشت ۲۵ ساله و ۱۰۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت. مشخصات مربوط به رقوم گره ها و مقاطع در جدول‌های (۵) و (۶) آورده شده‌اند. همچنین هیدروگراف دبی خروجی سیستم با دوره بازگشت ۲۵ ساله و ۱۰۰ ساله به ترتیب در شکل های (۵) و (۶) نمایش داده شده است.

جدول (۵) تغییرات در رقوم گره‌ها جهت پاسخ به سیلاب ۲۵ ساله و ۱۰۰ ساله

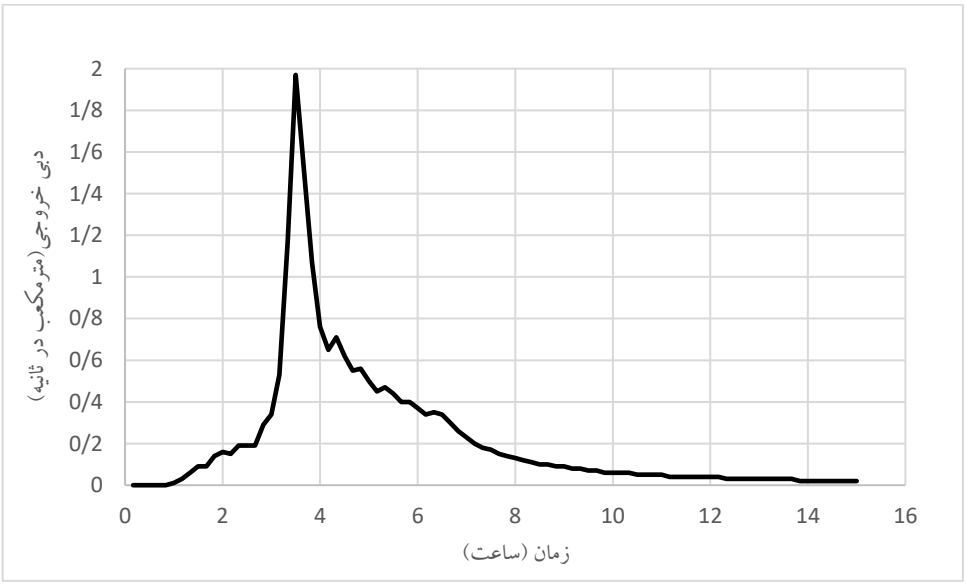
نام گره	رقوم در سیلاب ۱۰ ساله (متر)	رقوم در سیلاب ۲۵ ساله (متر)	رقوم در سیلاب ۱۰۰ ساله (متر)
J23	۱۷۴۲/۵	۱۷۴۲/۷	۱۷۴۲/۷
J44	۱۷۴۲/۸	۱۷۴۲/۹	۱۷۴۲/۹
J43	۱۷۴۳/۳	۱۷۴۳/۲	۱۷۴۳/۲
J41	۱۷۴۳/۵۵	۱۷۴۳/۴۵	۱۷۴۳/۴۵
J5	۱۷۴۳/۲۹	۱۷۴۳/۱	۱۷۴۳/۱
J60	۱۷۴۳/۲	۱۷۴۲/۹	۱۷۴۲/۹
J33	۱۷۴۳/۲۶	۱۷۴۳/۲۶	۱۷۴۳/۲۸
J59	۱۷۴۲/۰۵	۱۷۴۲/۰۵	۱۷۴۲/۳
J62	۱۷۴۱/۸۵	۱۷۴۱/۸۵	۱۷۴۱/۹۵
J72	۱۷۴۲/۴	۱۷۴۲/۴	۱۷۴۲/۸

جدول (۶) تغییرات در مقاطع مجراها جهت پاسخ به سیلاب ۲۵ ساله و ۱۰۰ ساله

نام مجرا	قطر مقطع در سیلاب ۱۰ ساله (متر)	قطر مقطع در سیلاب ۲۵ ساله (متر)	قطر مقطع در سیلاب ۱۰۰ ساله (متر)
C33	۰/۹۵	۰/۹	۰/۹
C32	۰/۹۵	۰/۹	۰/۹
C47	۱	۱/۱	۱/۱
C79	۱	۱/۲	۱/۲
C8	۱	۱/۳	۱/۳
C80	۱	۱	۱/۱
C84	۱	۱	۱/۴



شکل (۵) هیدروگراف دبی خروجی سیستم برای سیلاب ۲۵ ساله



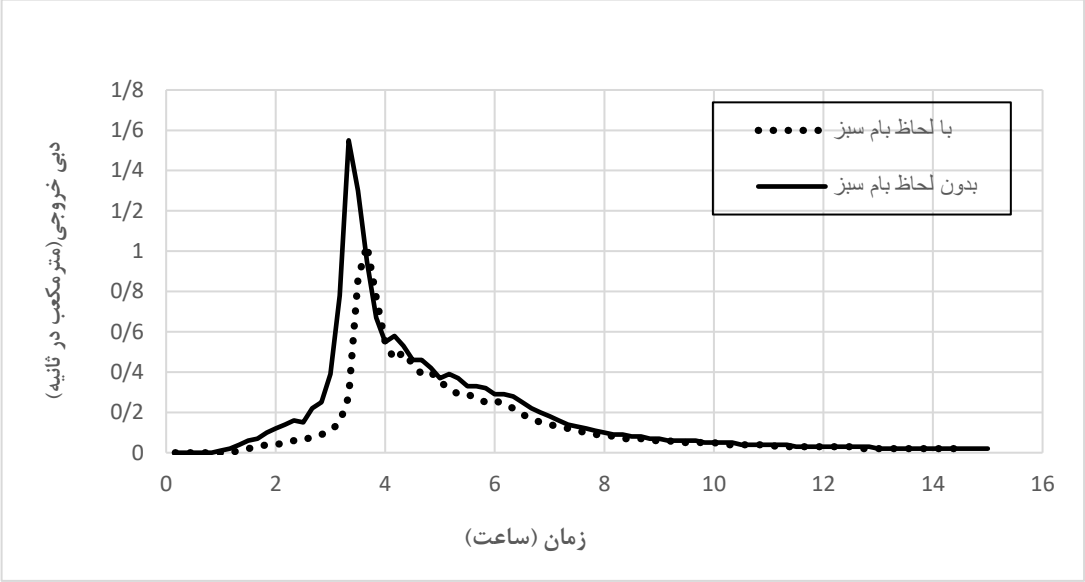
شکل (۶) هیدروگراف دبی خروجی سیستم برای سیلاب ۱۰۰ ساله

نتایج مدلسازی بام سبز

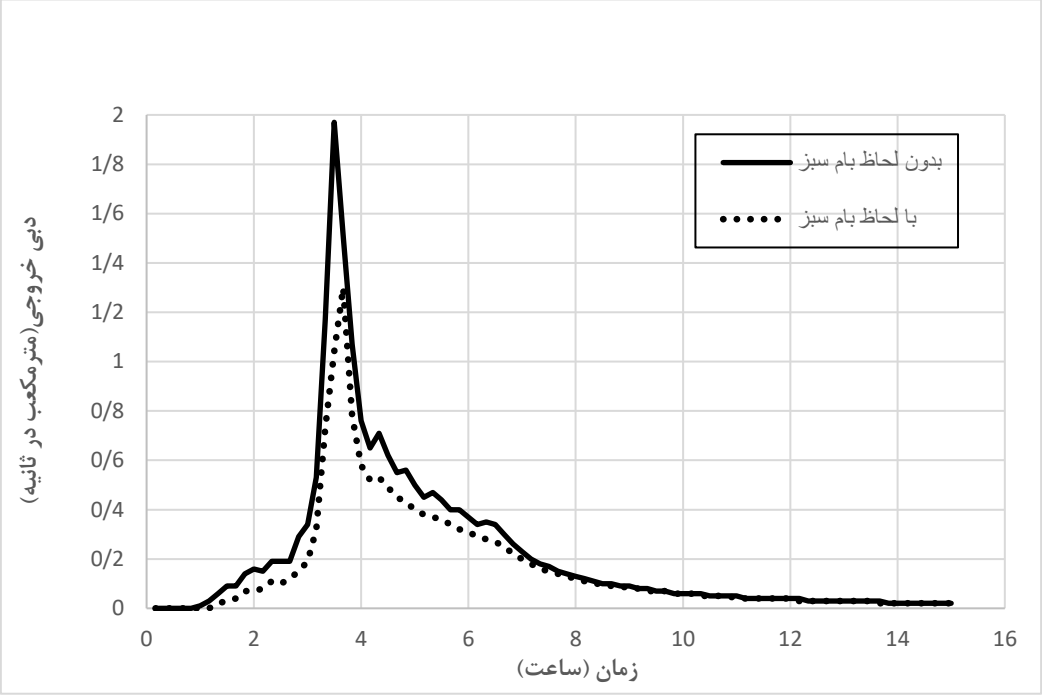
برای مدل‌سازی بام سبز زیرحوضه‌هایی که درصد نفوذناپذیری بالاتری نسبت به دیگر زیرحوضه‌ها دارند و رواناب بیشتری تولید می‌کنند، در نظر گرفته‌شده‌اند. از میان ۱۲ زیرحوضه موجود در مدل زیرحوضه‌های S_4، S_5، S_6، S_7 وS_8 بیشترین درصد نفوذناپذیری را به خود اختصاص داده‌اند که اغلب دارای کاربری مسکونی و تجاری می‌باشند. ضخامت لایه ی گیاهی به میزان ۲۵ میلی متر ، ضخامت لایه ی خاک برابر با ۱۰۰ میلی متر و ضخامت بستر زهکشی برابر با ۲۰ میلی متر در نظر گرفته شده است. پس از تعریف بام سبز برای مدل، به هرکدام از زیرحوضه‌های موردنظر با توجه به سطح قابل‌تعریف برای آن (مانند بام ساختمان‌ها)، اختصاص یافت. در جدول (۷)

مقادیر سطوح شامل بام سبز در هر زیرحوضه آورده شده است. همانطور که در شکل (۷) نمایش داده شده است، درهیدروگراف رواناب خروجی سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال بدون درنظر گرفتن بام سبز، حداکثر دبی خروجی $\frac{m^3}{s}$ ۱/۵۵ در زمان h ۳/۳۳ رخ می دهد و در حالتی که برای همان سیلاب زمانیکه بام سبز درنظر گرفته شده است حداکثر دبی خروجی $\frac{m^3}{s}$ ۱/۰۳ در زمان h ۳/۶۷ رخ می دهد. نتایج نشان می دهد که استفاده از بام سبز دبی اوج هیدروگراف رواناب سیستم را ۳۰ درصد کاهش و همچنین زمان رسیدن سیستم به اوج هیدروگراف را افزایش داده است.

در نهایت به منظور بررسی تاثیر نقش بام سبز در سیلاب های با دوره بازگشت طولانی، مدل برای سیلاب ۱۰۰ ساله بدون بام سبز و با در نظر گرفتن بام سبز مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل (۸) تاثیر بام سبز در کاهش پیک رواناب نمایش داده شده است. مجددا نتایج تاثیر کاهش دبی اوج رواناب را در حالت درنظر گرفتن بام سبز نشان می دهد.



شکل (۷): هیدروگراف رواناب خروجی سیستم قبل و بعد از لحاظ بام سبز (سیلاب ۲۵ ساله)



شکل (۸) : هیدروگراف رواناب خروجی سیستم قبل و بعد از لحاظ بام سبز (سیلاب ۱۰۰ ساله)

جدول (۷): مساحت بام سبز در هر زیرحوضه

نام زیرحوضه	مساحت سقف سبز (مترمربع)
S4	۱۶۴۴۵
S5	۷۱۹۹
S6	۱۰۹۲۵
S7	۱۴۳۹۸
S8	۳۲۷۰۰

نتیجه گیری

در این پژوهش طراحی شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی شهرک ولی‌عصر (عج) واقع در شهر باغین کرمان صورت گرفت. منطقه موردمطالعه با وسعت ۹۰ هکتار و با کاربری اراضی مسکونی، تجاری و فضای سبز می‌باشد. بر اساس کابری‌های اراضی موجود و مسیرهای اصلی، منطقه به ۱۲ زیرحوضه تقسیم‌شده و همچنین شبکه زهکشی ایجاد گردید. شبکه ایجادشده دارای ۲۰ مجرا، ۲۰ گره اتصال و یک گره خروجی می‌باشد. ضریب مانینگ برای مجراها برابر با ۰/۰۱۳ و مقطع آن‌ها به‌صورت دایره‌ای در نظر گرفته شد.

بر اساس استانداردهای موجود (نشریه ۳-۱۱۸، ۱۳۹۵) و همچنین بر اساس تحقیقات انجام‌شده طراحی سیستم جمع‌آوری رواناب بر اساس بارش با دوره بازگشت ۱۰ ساله صورت گرفت. همان‌گونه که انتظار می‌رفت سیستم قابلیت انتقال رواناب با دوره بازگشت ۲ سال و ۵ سال را دارا می‌باشد. با توجه به پیشینه پژوهش سیستم بایستی توانایی انتقال رواناب با دوره بازگشت ۲۵ را نیز دارا باشد که این امر با تغییر در مشخصات گره‌ها و سیستم محقق گردید و با بررسی مجدد سیستم یقین حاصل گشت که سیستم طراحی‌شده رواناب با دوره بازگشت ۲۵ ساله را عبور

می‌دهد به‌طوری‌که عدد فرود جریان در مجراها از ۱ کمتر (جریان زیربحرانی) و سرعت جریان از حد مجاز ارائه‌شده توسط نشریه مذکور که ۳ متر در ثانیه است، کمتر می‌باشد. نتایج حاکی از آن بود با اصلاح برخی از مولفه‌های سیستم، سیستم طراحی‌شده پاسخ قابل قبولی در برابر سیلاب ۲۵ ساله و ۱۰۰ ساله از خود نشان می دهد.

در این پژوهش همچنین از بام سبز به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر به‌عنوان روش توسعه کم اثر برای زیرحوضه‌هایی که درصد نفوذناپذیری بالاتری داشته و رواناب سطحی بیشتری تولید می‌کردند، استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود که در صورت در نظر گرفتن بام سبز برای زیرحوضه‌های مذکور حداکثر دبی رواناب تولید شده حدود ۳۰ درصد کاهش می یابد

منابع

بدیعی زاده، س.، بهره‌مند،ع.، دهقانی، ا.، نورا ،ن. ۱۳۹۴. مدیریت سیلاب شهری از طریق شبیه‌سازی رواناب سطحی با استفاده از مدل SWMM در شهر گرگان، استان گلستان. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۲، شماره۴.

سازمان برنامه و بودجه کشور، وزارت نیرو، "مبانی و ضوابط طراحی شبکه‌های فاضلاب و آب‌های سطحی "، بازنگری نشریه ۳-۱۱۸، ۱۳۹۵.

سید کابلی، ح.، معاضد، ه.، دلقندی، م و همتی، م. ۱۳۸۸. پیش بینی کمی و کیفی فاضلاب‌های سطحی در حوضه های شهری با ایتفاده از نرم افزار EPA SWMM. پنجمین همایش ملی علوم و حوضه آبخیزداری ایران، کرج، انجمن آبخیزداری ایران.

مرادی، م.، ۱۳۹۴. مقایسه روش های تحلیلی – احتمالاتی و شبیه سازی پیوسته برای محاسبه رواناب شهری(مطالعه موردی، شهرک شفا و باهنر کرمان)، پایان نامه کارشناسی ارشد منابع آب دانشگاه شهید باهنر کرمان.

ناصح پور، م.، خزیمه نژاد، ح.، فروتن، ا. ۱۳۹۹ ارزیابی اثرات توسعه شهری بر رواناب با استفاده از مدل SWMM (مطالعه موردی استان قم). نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست. جلد ۲۲ شماره ۱۲. ص ۸۹-۷۹.

نوری، ح.، فردین، س.، کرمی، ح. ۱۳۹۷. توسعه عملکرد روش های نوین با استفاده از بهینه سازی چند هدفه در کنترل رواناب شهری، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۴، شماره ۳.

Arjenaki, M.O., Sanayei, H.R.Z., Heidarzadeh, H. and Mahabadi, N.A., 2021. Modeling and investigating the effect of the LID methods on collection network of urban runoff using the SWMM model (case study: Shahrekord City). Modeling Earth Systems and Environment, 7(1):1-16.

Arvand, S., Delghandi, M., Ganji, Z., & Alipour, A. 2020. Evaluation of Storm Water Management Model (SWMM5. 0) in simulation of urban runoff (case study: urban catchment of Neyshabur). Irrigation and Water Engineering, 10(3), 68-81.

Cheng, T., Xu, Z., Yang, H., Hong, S., & Leitao, J. P. 2020. Analysis of effect of rainfall patterns on urban flood process by coupled hydrological and hydrodynamic modeling. Journal of Hydrologic Engineering, 25(1), 04019061.

Dell, T., Razzaghmanesh, M., Sharvelle, S. and Arabi, M., 2021. Development and application of a SWMM-Based simulation model for municipal scale hydrologic assessments. Water, 13(12), p.1644.

Gumbel, E. J. 1941. The return period of flood flows. The annals of mathematical statistics, 12(2): 163-190.

Jiang, L. E. I., Chen, Y. A. N. G. B. O., & Wang, H. U. A. N. Y. U. 2015. Urban flood simulation based on the SWMM model. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 368, 186-191.

Li, Y., & Liu, J. (2023). Green roofs in the humid subtropics: The role of environmental and design factors on stormwater retention and peak reduction. Science of The Total Environment, 858, 159710.

Morsy, M.M., Goodall, J.L., Shatnawi, F.M. and Meadows, M.E., 2016. Distributed stormwater controls for flood mitigation within urbanized watersheds: Case study of Rocky Branch Watershed in Columbia, South Carolina. Journal of Hydrologic Engineering, 21(11): 05016025.

Wang, S., Jiang, R., Yang, M., Xie, J., Wang, Y. and Li, W., 2023. Urban rainstorm and waterlogging scenario simulation based on SWMM under changing environment. Environmental Science and Pollution Research, pp.1-17.

Zakizadeh, F., Moghaddam Nia, A., Salajegheh, A., Sañudo-Fontaneda, L. A., & Alamdari, N. 2022. Efficient Urban Runoff Quantity and Quality Modelling Using SWMM Model and Field Data in an Urban Watershed of Tehran Metropolis. Sustainability, 14(3), 1086.

Zhang, X., Guo, X., & Hu, M. 2016. Hydrological effect of typical low impact development approaches in a residential district. Natural Hazards, 80, 389-400.

Zhang, X., Qiao, W., Huang, J., Li, H., & Wang, X.2023. Impact and analysis of urban water system connectivity project on regional water environment based on Storm Water Management Model (SWMM). Journal of Cleaner Production, 138840.

Zhuang, Q., Li, M., & Lu, Z. 2023. Assessing runoff control of low impact development in Hong Kong's dense community with reliable SWMM setup and calibration. Journal of Environmental Management, 345, 118599.