

## Research Paper

# Evaluation of EPA SWMM, ASSA and SewerGEMS Models in Analysis of Urban Flood Collected by Surface Drainage Network (Case Study: Lar New City)

Mohammad Rafie Rafiee<sup>1\*</sup>, Dariush Rasouli<sup>2</sup>, Masih Zolghadr<sup>3</sup>, Mehdi Mahbod<sup>4</sup>

1,3,4 Assistant Professor of Department of Water Sciences & Engineering, College of Agriculture; Jahrom University, Jahrom, I.R. Iran. Postal code: 74137-66171.

2 Former M.Sc. Student of Department of Water Sciences & Engineering, College of Agriculture; Jahrom University, Jahrom, I.R. Iran. Postal code: 74137-66171.

Received: 2020/06/30

Revised: 2021/04/15

Accepted: 2021/06/05

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2021.25316.2253](https://doi.org/10.30495/wej.2021.25316.2253)

### Keywords:

Agriculture, Urban runoff, Calibration and validation, urban flood simulation models, Sensitivity analysis

### Abstract

**Introduction:** Rainfall-runoff modeling is considered one of the important methods in the study of hydrology and environmental management, especially in urban areas, in which sudden floods lead to significant financial and human losses. Thereupon, various models have been developed for urban flood simulation, among which selecting the best, is of significant consideration in the literature.

**Methods:** Runoff peak flow and hydrographs measured in three nodes of an urban drainage network were applied for both spatial and temporal evaluation of the SWMM hydrological model in EPA SWMM, ASSA and Bentley SewerGEMS V8i softwares. Other rainfall-runoff models also evaluated were SCS TR-55, SCS TR-20, Rational, Dekalb Rational, Santabarbara UH models (in ASSA software) and SCS UH model (in SewerGEMS V8i software). The models were calibrated considering the measurements during three precipitation events, and then validated by the measured data of three other events. The Nash-Sutcliffe coefficient along with the BIAS coefficient, the Coefficient of Determination and the Root Mean Square Error were used as the efficiency indicators.

**Findings:** The measured runoff peak flow and hydrograph were most compatible with those simulated by SWMM models of EPA SWMM, SewerGEMS V8i and ASSA softwares, respectively. Regarding the results of the partial parameter and the Spearman correlation coefficient methods, model outputs were most sensitive to the percentage of impervious areas, equivalent width, roughness coefficient of impervious areas, the depth of depression of impervious and pervious areas, the percentage of impervious areas without surface storage and the curve number, respectively. The model was not sensitive to the roughness of the permeable areas. The results suggest EPA SWMM as the software with more reliable simulation results for runoff management projects in the study area and urban basins alike.

**Citation:** Rafiee MR, Rasouli D, Zolghadr M, Mahbod M. Evaluation of EPA SWMM, ASSA and SewerGEMS Models in Analysis of Urban Flood Collected by Surface Drainage Network (Case Study: Lar New City). Water Resources Engineering Journal. 2022; 15(54): 107-124..

**\*Corresponding author:** Mohammad Rafie Rafiee

**Address:** Department of water sciences & engineering, college of agriculture; Jahrom University, Jahrom, I.R. Iran. Postal code: 74137-66171.

**Tell:** +989173077681

**Email:** mrrafiee73@gmail.com

## Extended Abstract

### Introduction

Flood modeling in urban basins has become important due to the problems related to water resources management, including floods and pollution control. Therefore, the approach of researchers in recent years has been towards computer software in order to estimate and simulate runoff flow. However, the superiority of simulation models of urban flood networks is variable depending on the conditions of the catchment area. On the other hand, the performance of one or finally two models have been investigated in literature, most of which are focused on watershed outlets and the accuracy of the model's spatial simulation has not been a priority. In this research, the performance of three software EPA SWMM, ASSA and SewerGEMS V8i have been analyzed in different nodes of a network and therefore both temporal and spatial accuracy of each model in estimating flow hydrograph and peak discharge has been evaluated. In addition, the rainfall-runoff model suitable for using each of the three software is also identified. Accordingly, the accuracy of runoff estimation models SCS TR55, SCS TR20, SWMM, Santabarbara UH, Rational and Dekalb Rational in the form of ASSA software and SWMM and Unit Hydrograph models in the form of SewerGEMS V8i software and SWMM model in the form of EPA software itself SWMM has been investigated in the simulation of the general hydrograph characteristics and the peak flow of runoff in the studied area.

### Materials and Methods

The study area is a part of the new city of Lar in the south of Fars province with an area of 229 hectares. Apart from the outlet of the basin, two other nodes on the network have also been selected to assess the depth and velocity of runoff resulting from rainfall. The hydrological sub-basins were defined based on field survey, comprehensive urban maps of Lar city indicating elevation codes of the streets. The precipitation data as well as the sub-basins physiography information were given to the models. Only six rainfall events took place in the study area during the

research, of which three incidents were used for calibration and three were used to validate the models. The models were calibrated by trial and error method, considering eight parameters indicating basin width, percentage of impervious areas, pond storage of impervious and permeable areas, roughness coefficient of impervious and permeable areas, curve number and percentage of impervious areas without surface storage. In the validation phase, the models were run with the optimal parameters obtained from the calibration stage for a new series of data and the simulated and observed hydrographs were compared. For this purpose, common evaluation indices such as Nash-Sutcliffe index (NS), bias (BIAS), root mean square error (RMSE) and coefficient of determination (R<sup>2</sup>) were used. Also, the sensitivity of the model to eight parameters (percentage of impervious areas, equivalent width, roughness coefficient of permeable and impervious areas, pond storage of permeable and impervious areas, curve number and percentage of impervious areas without surface storage) was investigated. Sensitivity analysis was performed using two partial parameter methods and the Spearman's correlation coefficient

### Discussion

Regarding the evaluation indices, among all the investigated models, the SWMM models in the form of the three mentioned software were the most accurate in simulating the overall runoff hydrograph. This can be seen as a result of the possibility of entering finer spatial scales in the SWMM inputs, leading to a more accurate model understanding of the physics of the hydrological processes controlling the basin's response to rainfall. Other models in the form of ASSA software had low accuracy in simulating the overall runoff hydrograph, for which the lowest accuracy was found in the Rational model, and then the Dekalb Rational, Santabarbara UH, SCS TR-55, and SCS TR-20 models had the lowest accuracy, respectively. Also, in the SewerGEMS software, the unit hydrograph model was not accurate enough to simulate the general shape of the hydrograph. In addition to the total runoff hydrograph, the

observed and estimated peak discharges were compared in the three software, among which the EPA SWMM software revealed the highest values of the evaluation indices in estimating the peak discharge compared to the results of the ASSA and SewerGEMS V8i software. This can be attributed to the more accurate simulations of the EPA SWMM model than other models in the calibration phase. According to the sensitivity analysis, the flow peak discharge was mostly sensitive to the changes of the percentage of impervious areas, equivalent width, roughness coefficient of impervious areas, percentage of impervious areas without surface storage and curve number, respectively. On the other hand, the model output was not sensitivity to the roughness coefficient of the permeable areas, possibly due to the low area of the permeable zones.

### Conclusion

Among the three software EPA SWMM, ASSA and Bently SewerGEMS V8i, SWMM was recognized as the best runoff simulation model, regardless of the type of software, input parameters and hydraulic routing method. During the studied rainfall events, in all three selected nodes of the network in different locations (upstream, center and downstream of the network), the evaluation indices obtained in the EPA SWMM software indicated the closest estimates to the measured values. Despite the various studies regarding SWMM model calibration, none regarded ASSA and Bently SewerGEMS V8i models. The parameters used to calibrate the models were those identified as the most effective parameters in the hydrograph simulations for all three softwares in the model sensitivity analysis. Accordingly, the model was most sensitive to the input parameters of percentage of impervious areas, equivalent width, roughness coefficient of impervious areas and percentage of impervious areas without surface storage, respectively.

### Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

### Funding

No funding.

### Authors' contributions

Design and conceptualization: Mohammad Rafie Rafiee, Dariush Rasouli.

Methodology and data analysis: Mohammad Rafie Rafiee, Dariush Rasouli, Masih Zolghadr, Mehdi Mahbod.

Supervision and final writing: Mohammad Rafie Rafiee.

### Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

## مقاله پژوهشی

## ارزیابی عملکرد مدل‌های EPA SWMM و ASSA و SewerGEMS در تحلیل سیلاب شهری جمع آوری شده توسط شبکه زهکش‌های سطحی (مطالعه موردی شهر جدید لار)

محمد رفیع رفیعی<sup>۱\*</sup>، داریوش رسولی<sup>۲</sup>، مسیح ذوالقدر<sup>۳</sup>، مهدی مهید<sup>۴</sup>

۱، ۳ و ۴. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه چهرم، صندوق پستی ۷۴۱۳۵-۱۱۱، چهرم، ایران.  
۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه چهرم، صندوق پستی ۷۴۱۳۵-۱۱۱، چهرم، ایران.

## چکیده

**مقدمه:** مدل‌سازی بارش-رواناب یکی از روش‌های مهم در مطالعه هیدرولوژی و مدیریت زیست‌محیطی به‌ویژه در مناطق شهری است که در آن سیل‌های ناگهانی خسارات مالی و جانی قابل توجهی را به دنبال دارد. بر این اساس، مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی سیل شهری توسعه داده شده است که از بین آنها انتخاب بهترین آنها در ادبیات مورد توجه قرار گرفته است.

**روش:** دقت مکانی و زمانی مدل هیدرولوژیکی SWMM در قالب سه نرم‌افزار EPA SWMM و ASSA و Bently SewerGEMS V8i و مدل‌های SCS TR-20, SCS TR-55, Rational, Dekalb Rational, Santabarbara UH در قالب نرم‌افزار ASSA و مدل SCS UH در قالب نرم‌افزار Bently SewerGEMS V8i جهت برآورد هیدروگراف و دبی بیک رواناب در منطقه مطالعاتی بررسی گردید. مدل‌ها با به‌کارگیری داده‌های عمق و سرعت رواناب اندازه‌گیری شده در سه نقطه از شبکه در سه واقعه بارندگی، واسنجی و با استفاده از سه واقعه مجزای دیگر، اعتبارسنجی شده‌اند. شاخص‌های ارزیابی عبارتند از: ضریب ناش-ساتکلیف، ضریب بایاس، ضریب تعیین و ریشه مربع خطا.

**یافته‌ها:** از بین مدل‌های مورد بررسی، مدل‌های SWMM در قالب هر سه نرم‌افزار بیشترین دقت را در شبیه‌سازی رواناب داشته‌اند. مدل SWMM در قالب نرم‌افزار EPA SWMM بالاترین دقت را در شبیه‌سازی شکل کلی هیدروگراف و دبی اوج رواناب داشته و سپس به ترتیب مدل SWMM در قالب نرم‌افزار SewerGEMS V8i و ASSA دقت بیشتری داشته‌اند. بر اساس روش‌های پارامتر جزئی و ضریب همبستگی اسپیرمن، بیشترین حساسیت خروجی مدل به ترتیب در درصد مناطق نفوذ ناپذیر، عرض معادل، ضریب مانینگ مناطق نفوذ ناپذیر، عمق چالایی مناطق نفوذ ناپذیر، درصد مناطق غیرقابل نفوذ بدون ذخیره چالایی، عمق چالایی مناطق نفوذ پذیر و شماره منحنی نفوذ مشاهده گردید. مدل به ضریب زبری مناطق نفوذ پذیر حساسیت نشان نداد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج حاکی از آن است که مدل EPA SWMM نسبت به سایر مدل‌ها، دقت بیشتری در شبیه‌سازی رواناب در منطقه مطالعاتی داشته و می‌تواند جهت طرح‌های مدیریت رواناب حوضه‌های شهری مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۰

تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۰۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۵

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2021.25316.2253](https://doi.org/10.30495/wej.2021.25316.2253)

## واژه‌های کلیدی:

رواناب شهری، واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌های شبیه‌سازی سیلاب شهری، تحلیل حساسیت

\* نویسنده مسئول: محمد رفیع رفیعی

نشانی: گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه چهرم، صندوق پستی ۷۴۱۳۵-۱۱۱، چهرم، ایران.

تلفن: ۰۹۱۷۳۰۷۷۶۸۱

پست الکترونیکی: [mrrafiee73@gmail.com](mailto:mrrafiee73@gmail.com)

## مقدمه

توسعه سریع شهرنشینی با کاهش سطح نفوذ پذیر منجر به کاهش فرصت نفوذ، عکس‌العمل سریع‌تر رواناب، کاهش زمان فروکش و کوتاه‌تر شدن زمان تمرکز و افزایش دبی پیک هیدروگراف و حجم رواناب می‌شود که این امر می‌تواند موجب بروز خسارات مالی و حتی جانی در اثر آبگرفتگی معابر و مناطق مسکونی گردد (۲۷، ۲۹، ۳۴). سطوح غیر قابل نفوذ که به طور مستقیم به جمع‌کننده‌های آب متصل شده‌اند از طریق عملکرد هیدرولیکی مسیرهای زهکشی در حوضه‌های شهری منجر به جریان پیک بالاتر و شدت پسرقت سریعتر سیل می‌شود (۴۳). از سوی دیگر، تغییر اقلیم و افزایش چشمگیر تعداد و شدت سیلاب‌های شهری، طراحی سیستم‌های رواناب شهری مطمئن را دچار چالش کرده است (۴۲). در مدل‌سازی سیلاب‌های شهری، حوضه‌های آبریز از دو جنبه باید مورد بررسی قرار گیرند: از نقطه نظر هیدرولوژی (تبدیل بارندگی به رواناب) و هیدرولیک جریان سطحی. در مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز، پارامترهای متعددی می‌بایست مدنظر باشند نظیر اینکه چه مقدار از رگبار با توجه به تغییر نفوذ پذیر خاک تبدیل به رواناب می‌گردد. در مدل‌سازی هیدرولیکی و حرکت جریان در مجاری روباز سطحی و یا شبکه‌های زهکشی زیرزمینی، چگونگی انتقال جریان وارد شده به شبکه انتقال و نقطه خروجی بررسی می‌شود که در این قسمت شرایط فیزیکی شبکه انتقال نظیر سطح مقطع مجرا، شعاع هیدرولیکی، ضریب زبری و شیب مجرا و روش روندیابی هیدرولیکی جریان نقش اصلی را در انتقال جریان بر عهده دارند (۶). مدل‌سازی در حوضه‌های شهری با توجه به مشکلات مربوط به مدیریت منابع آب از جمله سیلاب و کنترل آلودگی اهمیت یافته است (۱۱). از این‌رو، رویکرد مهندسان در سال‌های اخیر به سمت و سوی مدل‌های کامپیوتری به منظور برآورد و شبیه‌سازی رواناب بوده‌است. مدل‌های ریاضی و کامپیوتری در عمل ابزار بسیار سودمندی برای تجزیه و تحلیل مشکلات کمی و کیفی ناشی از سیلاب در حوضه‌های شهری می‌باشند. در این مدل‌ها، روابط ریاضی بیان‌کننده رفتار سیستم به کمک کامپیوتر حل می‌شود. مدل‌های بارش-رواناب فراوانی با قابلیت‌ها و پیچیدگی‌های متفاوتی جهت پیش‌بینی سیلاب و رفتارهای آن توسعه و در قالب نرم‌افزارهای کامپیوتری به کار گرفته شده‌اند. از جمله این نرم‌افزارها می‌توان به MIDUSS، STORM، RISURSIM، URBAN، Mike Urban، EPA SWMM، Mike، SWMM، ASSA و غیره اشاره نمود. احمدصدیق و تانیس (۱۹) اثر باران‌های حدی بر یک شبکه دفع رواناب سطحی در کانادا را با مدل SWMM مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از کاهش عملکرد سیستم‌های ذخیره‌ای و شبکه‌های جمع‌آوری رواناب و در نتیجه عدم برخورداری از ظرفیت کافی برای انتقال سیلاب در آینده بود. سواتی و همکاران (۴۴) مجموعه روش‌های روندیابی سیلاب توسط SWMM را در یک حوضه آبریز در حیدرآباد هندوستان مورد بررسی قرار دادند. آنها ۶ پارامتر ضریب زبری مانینگ، عمق ذخیره چالابی، عرض حوضه، درصد سطح نفوذ ناپذیر، شماره منحنی و طول دوره خشکی خاک را بر اساس چهار واقعه بارندگی کالیبره کردند. بر اساس مشاهدات آنها، هم در سیلاب‌های بزرگ و هم در سیلاب‌های کوچک، روش‌های موج

کینماتیک و مخزن خطی به ترتیب از دقیق‌ترین و ضعیف‌ترین شبیه‌سازی‌های دبی اوج رواناب برخوردار بودند. گائو و همکاران (۲۸) تاثیر عدم قطعیت پارامترهای ورودی به SWMM را، علی‌الخصوص آنهایی که در مدل بارندگی - رواناب در محیط شهری موثرند، بر شبیه‌سازی مقادیر رواناب مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج حاکی از این بود که در نظر گرفتن عدم قطعیت در داده‌های بارش به مقادیر دقیق‌تر از برآورد دبی اوج رواناب منجر شده است. بای و همکاران (۲۳) با استفاده از نرم‌افزار SWMM، اثر ۴ تکنیک مختلف مدیریت رواناب شهری مبتنی بر توسعه تاثیر پایین (LID) را مورد مقایسه قرار دادند که بر اساس آن سناریو LID مبتنی بر ترکیب نفوذ و نگهداشت به بیشترین کاهش دبی اوج رواناب منجر گردید. رضایی و همکاران (۴۱) ترکیب ASSA و مدل‌های GIS در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰ و ۵۰ ساله را به منظور تعیین نقاط آبیگری و ناحیه شماره ۹ شهر مشهد را به کار گرفتند. تطابق نتایج حاصله از مدل با مناطق آبیگری در محدوده مطالعاتی و همچنین مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌ها با پارامترهای اندازه‌گیری شده نشانگر دقت بالای مدل بوده است.

مطالعات مشابهی توسط محققین مختلف بر روی کارکرد نرم‌افزارهای مختلف در تحلیل هیدرولیکی و هیدرولوژیکی حوضه‌های شهری در ایران و جهان صورت گرفته است (۱۶، ۳۲، ۳۳، ۴۷، ۱۴).

از جمع‌بندی مطالعات مذکور می‌توان به این نکته پی برد که برتری مدل‌ها نسبت به هم قطعی نیست بلکه بسته به شرایط حوضه آبریز می‌تواند متغیر باشد (۳۵). از طرفی در عمده تحقیقات صورت گرفته، عملکرد یک یا نهایتاً دو مدل مورد ارزیابی قرار گرفته است. از سوی دیگر اکثر این پژوهش‌ها بر نقاط خروجی زیر حوضه‌ها متمرکز شده‌اند و میزان دقت شبیه‌سازی مدل‌ها به لحاظ مکانی چندان در اولویت نبوده است. در پژوهش حاضر تلاش شده تا عملکرد سه نرم‌افزار EPA SWMM، ASSA و SewerGEMS V8i در گره‌های مختلف شبکه مورد آنالیز قرار گرفته و از این طریق علاوه بر دقت زمانی، دقت مکانی هر مدل در برآورد دبی هیدروگراف و دبی سیلاب ارزیابی گردد. از دلایل انتخاب این سه نرم‌افزار می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: الف) قابلیت ترکیب شدن با نرم‌افزارهای مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی و در نتیجه امکان دریافت و تحلیل داده‌های مکانی. ب) هر سه نرم‌افزار، پهنه‌های عمومی هستند و امکان دسترسی آزاد به موتور محاسباتی و GUI آنها برای همه فراهم است. از این روی سابقه نسبتاً طولانی در تحلیل پروژه‌های مطالعاتی و اجرایی شبکه‌های جمع‌آوری رواناب شهری در ایران و جهان دارند (۲۸، ۲۵، ۹). اما همچنان در خصوص برتری عملکرد نرم‌افزارها نسبت به هم پاسخ قطعی وجود ندارد. ج) زیرمدل‌های متعدد شبیه‌سازی رواناب. هر کدام از این نرم‌افزارها خود شامل تعدادی مدل جهت برآورد رواناب است که مختص به آن نرم‌افزار است و یا در دو نرم‌افزار دیگر نیز به طور مشترک گنجانده شده است. لذا در پژوهش حاضر، علاوه بر تصمیم‌گیری در خصوص برتری نرم‌افزارها در محدوده مطالعاتی، مدل بارندگی - رواناب مناسب جهت استفاده از هر یک از سه نرم‌افزار نیز شناسایی می‌گردد. از این نظر، در تحقیق حاضر دقت مدل‌های برآورد رواناب SCS TR55، SCS TR20، SWMM، Santabarbara UH، Rational و Dekalb



انتهای کانال ۱۲ (قبل از محل اتصال کانال ۱۲ به زهکش اصلی)  
 انتهای کانال ۷ (قبل از محل اتصال کانال ۷ به زهکش اصلی)  
 زیرپیل انتهای کانال ۱۱ (خروجی حوضه)  
 این نقاط با توجه به هدف این مطالعه که بررسی دقت مکانی مدل‌های مطالعاتی ذکر شده است، انتخاب گردیده اند. نقطه اول معرف رواناب زیر حوضه‌های ابتدایی و نقطه دوم معرف رواناب زیر حوضه‌های میانی منطقه مورد مطالعه و نقطه سوم نیز مربوط به رواناب کل حوضه (نقطه خروجی) است. عمق رواناب در بازه‌های زمانی ده دقیقه و به صورت همزمان سرعت رواناب (به روش جسم شناور) در سه نقطه‌ی مشخص شده، برداشت گردیده است.

#### جدول ۱ - مشخصات کلی رخدادهای بارندگی

ارتفاع کل بارندگی (mm)	تاریخ وقوع	ارتفاع کل بارندگی (mm)	تاریخ وقوع
۷,۵	۱۳۹۷/۰۸/۱۹	۱۰	۱۳۹۶/۱۲/۰۶
۸,۶	۱۳۹۷/۱۲/۱۰	۶,۱	۱۳۹۶/۱۲/۰۹
۴,۲	۱۳۹۸/۰۱/۰۶	۱۲,۹	۱۳۹۷/۰۷/۲۳

#### ۲-۲ - اطلاعات سیستم زهکشی شهری

با توجه به نقشه جامع شهری لار و بازدیدهای میدانی صورت گرفته مشخصات زهکش‌های اصلی و نیمه اصلی اندازه‌گیری و جمع‌آوری گردیده است. موقعیت هر کدام از زیرحوضه‌ها و کانال‌ها و گرہ‌ها و موقعیت زهکش اصلی و زهکش‌های نیمه اصلی مطابق شکل ۴ می‌باشد. مقدار ضریب زبری کانال‌های نیمه اصلی شبکه زهکشی موجود در تمام زیرحوضه‌ها مقدار ۰,۰۱۸ و برای کانال زهکش اصلی ضریب زبری ۰,۰۵ در نظر گرفته شد (۵).

#### ۳-۲ - تعیین زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه

تعیین مرز در زیرحوضه‌های شهری با توجه به اینکه در حوضه‌های شهری خط‌الرأس و خط‌القعر مشخصی جهت تعیین مرز حوضه وجود ندارد بسیار مشکل است. در کل از یک اصل کلی تبعیت می‌کند که در آن تعیین مرز براساس خط تقسیم آب است. این تقسیم‌بندی در نرم افزار ۲۰۱۶ Autocad و بر اساس نقشه جامع شهری لار که دارای کدهای ارتفاعی است، پیمایش میدانی و با توجه به نقشه شیب معابر و نحوه دفع آب‌های سطحی شهر لار در مقیاس ۱/۱۰۰۰۰ انجام گرفت و نتایج حاصل (پلیگون‌های مرز زیرحوضه‌ها) به نرم‌افزارهای ASSA و EPA SWMM و SewerGEMS معرفی گردیده‌است. به این ترتیب کل محدوده مورد مطالعه با مساحت ۲۲۹ هکتار، به دوازده زیر حوضه تقسیم گردید که از S1 تا S12 نام‌گذاری گردیده است (شکل ۴).

#### ۴-۲ - تعیین مقادیر ورودی و روش‌های مورد استفاده

##### در هر کدام از مدل‌ها جهت روندیابی جریان و نفوذ

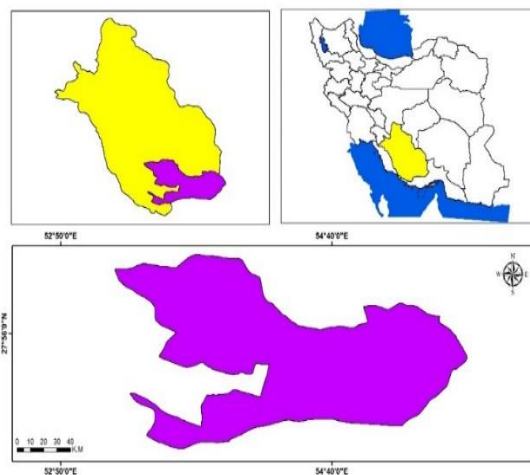
جهت شبیه‌سازی بارش-رواناب لازم است تا پارامترهایی به عنوان ورودی به نرم افزارها (EPA SWMM) و ASSA و (SewerGems)

Rational در قالب نرم‌افزار ASSA و مدل‌های SWMM و Unit Hydrograph در قالب نرم‌افزار SewerGEMS v8i و مدل SWMM در قالب خود نرم‌افزار EPA SWMM در شبیه‌سازی شکل کلی هیدروگراف و دبی اوج رواناب در منطقه مورد مطالعه بررسی گردیده است.

#### مواد و روش‌ها

##### ۱-۲ - منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از شهر جدید لار در جنوب استان فارس به مساحت ۲۲۹ هکتار می‌باشد که بافتی منظم دارد و به صورت بلوک به بلوک بوده و کف تمام خیابان‌ها آسفالت و تمام پیاده‌روها سنگ‌فرش می‌باشد و منطقه‌ای به شدت توسعه یافته است؛ به گونه‌ای که بخش نفوذ پذیر آن محدود به بخش‌های با مساحت کم فضای سبز بلوارها و باغچه‌های منازل می‌شود. شهر لار مرکز شهرستان لارستان است و در مختصات جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی و ۲۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده‌است (شکل ۱). بر اساس آمار نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ دارای ۱۸۵۷۸ خانوار و ۶۲۰۴۵ نفر جمعیت می‌باشد؛ با اقلیم خشک و بارش متوسط سالیانه ۲۰۵,۷ میلیمتر که اکثر بارندگی‌های آن رگباری و شدید است که حدود ۷۰ درصد نزولات به ترتیب در ماه‌های دی، بهمن، آذر، اسفند و فروردین می‌باشد. با توجه به وجود یک ایستگاه سینوپتیک در سطح منطقه (فرودگاه شهر لار) در فاصله پنج کیلومتری از منطقه مورد مطالعه که مجهز به یک دستگاه باران‌نگار می‌باشد، لذا اطلاعات مربوط به رخدادهای بارندگی از این ایستگاه تهیه گردیده است (به صورت داده‌های پردازش شده و آماده) که مشخصات رخدادهای بارندگی به شرح جدول ۱ می‌باشد.



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی شهر جدید لار

هیستوگرام بارش‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده‌است. مطابق شکل ۳ سه نقطه جهت اندازه‌گیری عمق و سرعت رواناب حاصل از بارندگی انتخاب گردیده است:

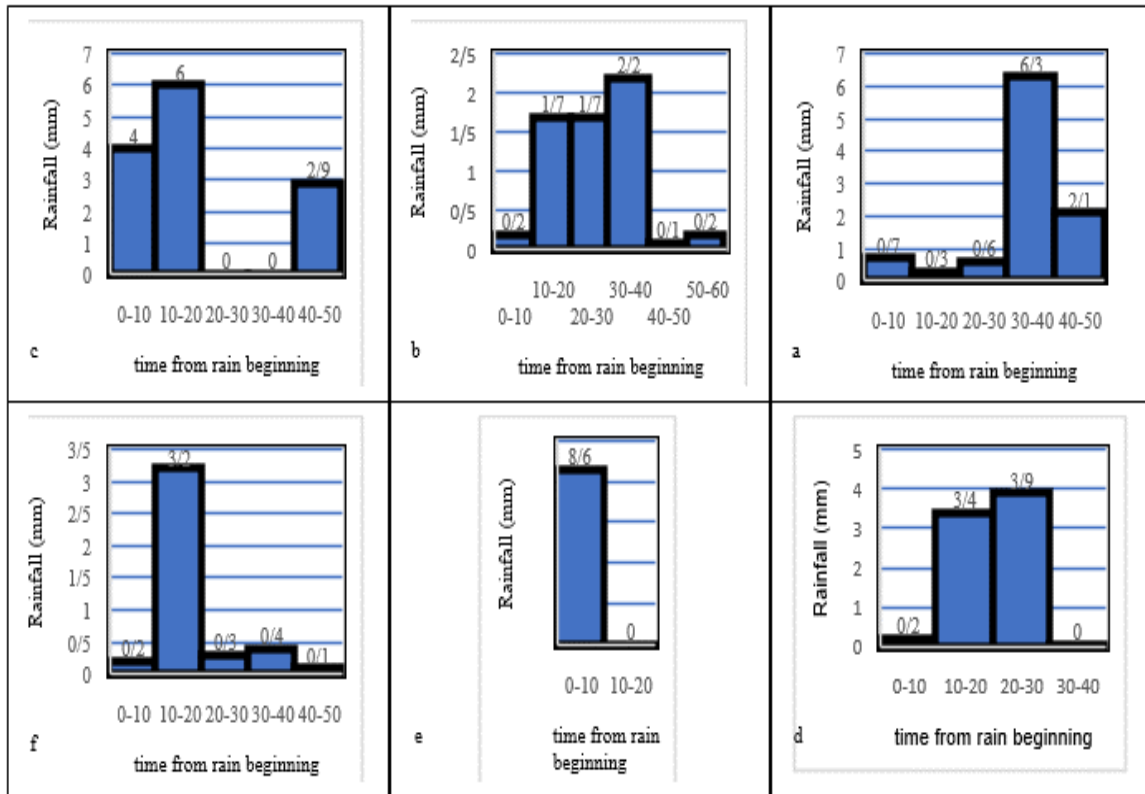
معرفی شود. پارامترهای ورودی شامل عرض معادل زیرحوضه‌ها، مساحت، شیب، درصد نفوذ ناپذیری، درصد نفوذ ناپذیر بدون ذخیره سطحی، ضریب زبری مانینگ و ذخیره سطحی می‌باشد. در ادامه به روش تعیین هر کدام از این پارامترها پرداخته می‌شود.

شیب متوسط زیرحوضه‌ها از فرمول (۱) به شکل ذیل محاسبه می‌شود

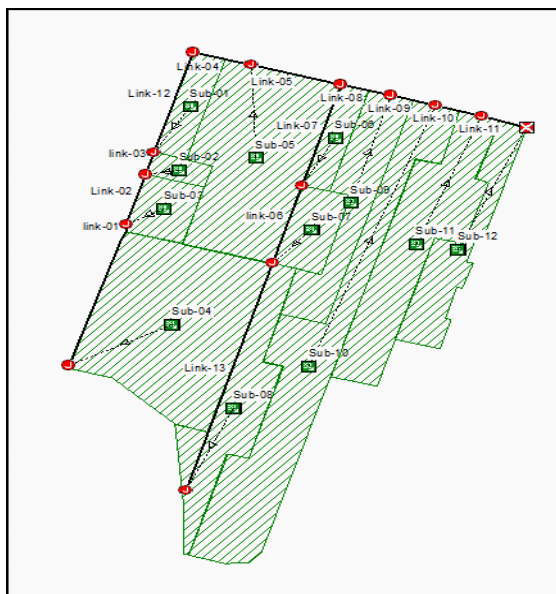
$$(۱۲)$$

$$S=(Hmax-Hmin)/\sqrt{A}$$

(۱)



شکل ۲- هیستوگرام بارندگی‌ها (a): مورخ ۱۳۹۶/۱۲/۰۶ b: مورخ ۱۳۹۶/۱۲/۰۹ c: مورخ ۱۳۹۷/۰۷/۲۳ d: مورخ ۱۳۹۷/۰۸/۱۹ e: مورخ ۱۳۹۷/۰۱/۰۶ f: مورخ ۱۳۹۷/۱۲/۱۰



شکل ۳- موقعیت سه نقطه انتخاب شده از شبکه زهکش در منطقه مورد مطالعه جهت اندازه‌گیری صحرائی



شکل ۴- موقعیت سه نقطه انتخاب شده از شبکه زهکش در منطقه مورد مطالعه جهت اندازه‌گیری صحرائی

برای تعیین درصد مناطق نفوذ ناپذیر هر زیر حوضه، ابتدا نقشه رقومی کاربری اراضی در قالب فایل اتوکد، به تفکیک مناطق مسکونی، تجاری، پارک و فضای سبز، اراضی بایر، سطوح روکش شده (خیابان، آسفالت، سنگ فرش) بررسی گردیده و مناطق نفوذ پذیر و نفوذ ناپذیر از هم تفکیک شده است. در نهایت مقادیر به دست آمده با بازدهی میدانی و تصاویر گوگل ارث اصلاح گردیده است. در منطقه مورد مطالعه مناطق نفوذ پذیر محدود به قسمت های با مساحت کم چمن کاری شده در بلوارها و باغچه حیاط خانه ها و اراضی بایر می باشد. لذا مساحت هر بخش از روی نقشه رقومی اتوکدی کاربری اراضی و همچنین نقشه جامع شهری بدست آمده است (جدول ۲).

نفوذ سطحی:

در این پژوهش روش شماره منحنی (SCS) برای برآورد میزان نفوذ انتخاب گردیده است (۱۸، ۱۷، ۱۵، ۳). شماره منحنی هر کدام از زیر حوضه ها از جداول مربوطه در مراجع مختلف استخراج و اصلاح گردیده است که به صورت جدول ۲ می باشد.

عرض مستطیل معادل از فرمول (۲) محاسبه می شود (۱۲):

$$B = (C\sqrt{A} - \sqrt{C^2A - 1.2544A}) / 1.12 \quad (2)$$

که ضریب گراویلیوس از رابطه (۳) بدست می آید:

$$C = (0.28P / \sqrt{A}) \quad (3)$$

ضریب زبری سطوح نفوذ پذیر و نفوذ ناپذیر و کانال ها و عمق ذخیره چالایی در مناطق نفوذ ناپذیر و نفوذ پذیر و درصد مناطق غیرقابل نفوذ بدون ذخیره سطحی:

برای تعیین این پارامترها با توجه به عدم وجود هر گونه اطلاعات، از مقادیر پیشنهادی در مطالعات گذشته استفاده گردیده است. بدین ترتیب برای ضریب زبری مایننگ مناطق نفوذ ناپذیر و نفوذ پذیر به ترتیب مقادیر ۰،۰۱۳ و ۰،۰۵ و عمق چالایی مناطق نفوذ ناپذیر و نفوذ پذیر به ترتیب مقادیر ۱،۷ و ۳،۸ میلیمتر و درصد مناطق نفوذ ناپذیر بدون ذخیره سطحی ۱۶ درصد به عنوان مقادیر اولیه در نظر گرفته شد. همچنین برای زهکش های اصلی و نیمه اصلی به ترتیب ضریب زبری ۰،۰۵ و ۰،۱۸ در نظر گرفته شد (۴۵، ۴۶، ۳۱).

تعیین درصد مناطق نفوذ ناپذیر:

جدول ۲ - مساحت، درصد بخش نفوذ ناپذیر و شماره منحنی زیر حوضه ها در محدوده مطالعاتی

زیر حوضه	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
مساحت کل (m <sup>2</sup> )	۶۲۹۸	۲۶۳۲	۶۷۴۸	۴۶۲۷۶	۳۸۰۸۳	۵۵۹۷	۷۵۸۷	۲۰۲۷۲	۱۶۷۱۳	۴۰۸۷۱	۲۸۳۶۵	۹۵۰۴
درصد نفوذ ناپذیر	۱۷،۷۱	۳۸،۹۴	۲۴،۰۸	۸۸،۳۵	۸۱،۸۲	۶۳،۴۷	۷۳،۴۴	۸۸،۷۸	۸۱،۱۵	۸۵،۰۱	۸۱،۹۵	۶۹،۰۲
شماره منحنی	۸۴	۸۷	۸۵	۹۶	۹۵	۹۲	۹۳	۹۶	۹۵	۹۵	۹۵	۹۳

ساتکلیف (NS) به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد. نتایج همچنین با توجه به سایر شاخص های مقایسه ای که در ادامه معرفی می گردند تدقیق گردید .

لازم به ذکر است بسته به میزان دسترسی به داده های میدانی و اهداف پژوهش، انتخاب پارامترهای مختلف SWMM به منظور واسنجی ممکن است متفاوت باشد (۴۶). به عنوان مثال مولتا و همکاران (۳۶) در تحقیق خود، تنها با استفاده از آمار ۴ واقعه بارندگی، از ۱۱ پارامتر مختلف به منظور واسنجی و تحلیل عدم قطعیت SWMM استفاده کردند و نتیجه گرفتند که درصد سطح نفوذ ناپذیر، ضریب زبری، ذخیره چالایی مناطق نفوذ ناپذیر و نفوذ پذیر، و درصد مناطق نفوذ ناپذیر بدون ذخیره سطحی از میزان تاثیر بسزایی برخوردار هستند. همچنین گائو و همکاران (۲۸) از ۲ واقعه بارندگی در واسنجی مدل SWMM استفاده کردند. در مطالعات حاضر واسنجی مدل ها به روش آزمون و خطا و با در نظر گرفتن هشت پارامتر ( عرض حوضه، درصد مناطق نفوذ ناپذیر، ذخیره چالایی مناطق نفوذ ناپذیر و نفوذ پذیر، ضریب زبری مناطق نفوذ ناپذیر و نفوذ پذیر، شماره منحنی و درصد مناطق نفوذ ناپذیر بدون ذخیره سطحی) صورت گرفت .

بر اساس روش پتیل و همکاران (۳۹) مقادیر هر یک از پارامترهای مذکور، مستقل از سایر پارامترها، به روش آزمون و خطا و مطابق دامنه تغییرات پیشنهادی در جدول ۳ به نحوی تغییر داده شدند که

روش روندیابی جریان :

در این پژوهش روش روندیابی در کلیه مدل ها به روش موج دینامیک صورت گرفته است (۱۸، ۱۷، ۱۵، ۳). با توجه به اینکه روندیابی موج دینامیک معادلات کامل سینت-وانانت یک بعدی جریان را حل می کند، بنابراین نتایج تئوری دقیق تری تولد می کند. این معادلات شامل معادلات پیوستگی و مومنتم برای مجراها و معادله پیوستگی حجم در گره هاست .

## ۲-۵- واسنجی مدل ها

در طول دوره پژوهش تنها شش واقعه رگبار در محدوده مطالعاتی رخ داد که از بین آنها، سه واقعه به منظور واسنجی و سه واقعه نیز جهت اعتبارسنجی مدل ها استفاده شده است. با توجه به پیچیدگی نسبی نرم افزارها علی الخصوص SWMM و همچنین عدم وجود برنامه کالیبراسیون در ساختار آنها، روش آزمون و خطای دستی همچنان به عنوان یکی از روش های متداول کالیبراسیون SWMM به کار می رود (۲۸، ۴۳). در تحقیق حاضر، روش واسنجی مورد استفاده بر اساس روش پیشنهادی پتیل و همکاران (۳۹) می باشد. بر اساس این روش عملیات سعی و خطا تا زمانی که انطباق داده های مشاهداتی و محاسباتی صورت گیرد انجام شده است. از دبی و سرعت جریان اندازه گیری شده در سه گره شبکه به منظور واسنجی مدل استفاده گردید. شاخص ناش-



$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n Q_{oi}} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2} \quad (6)$$

که در آن،  $n$  تعداد اندازه‌گیری‌ها،  $Q_{oi}$  و  $Q_{si}$  به ترتیب مقدار دبی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در واقعه بارندگی  $i$  ام می‌باشند.

## ۷-۲- آنالیز حساسیت

در این تحقیق به منظور تحلیل حساسیت بهترین مدل انتخابی، از دو روش تحلیل حساسیت جزئی و آنالیز همبستگی بر اساس توصیه (۱۰) استفاده شده است. حساسیت مدل نسبت به هشت پارامتر (درصد مناطق نفوذ ناپذیر، عرض معادل، ضریب زبری مناطق نفوذ پذیر و نفوذ ناپذیر، ذخیره چالایی مناطق نفوذ پذیر و نفوذ ناپذیر، شماره منحنی و درصد مناطق نفوذ ناپذیر بدون ذخیره سطحی مورد بررسی قرار گرفته است (۱۳، ۲۴، ۲۸، ۳۹).

روش آنالیز حساسیت جزئی، وابستگی متغیر  $Y$  به پارامتر  $X$  به صورت مشتق  $\frac{\partial Y}{\partial X}$  (تغییرات دبی بیک به تغییرات هر کدام از هشت پارامتر) یا همان ضریب حساسیت ( $S$ ) بیان می‌شود. مقادیر اولیه هر کدام از پارامترهای ورودی، همان پارامترهای بهینه حاصل از واسنجی مدل هستند که هر بار با ثابت بودن باقی پارامترها به مقدار توصیه شده توسط تسیحیرینتزیس و هوپر و دیکینسون (۳۱) و تمبرانو و همکاران (۴۵) به پارامتر ورودی مد نظر اضافه یا کم می‌شود و تاثیر آن بر خروجی (دبی اوج) بررسی می‌گردد. در روش‌های آنالیز همبستگی (CA)، به منظور تحلیل حساسیت مدل EPA SWMM به مقادیر پارامترهای ورودی از ضریب همبستگی مرتبه‌ای اسپیرمن (SPEA) استفاده شده است. این ضریب که با عبارت  $\rho$  نشان داده می‌شود به صورت فرمول (۷) تعریف می‌گردد (۱۰).

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

که در آن  $X_i$  متغیر مستقل  $i$  ام و  $Y_i$  متغیر وابسته  $i$  ام می‌باشد.

هیدروگراف شبیه‌سازی شده در سه نقطه انتخابی شده، بر اساس شاخص‌های ارزیابی بیشترین انطباق را با هیدروگراف اندازه‌گیری شده داشته باشد. در چنین شرایطی مقادیر پارامتر مذکور به عنوان مقادیر بهینه (واسنجی شده) ثبت گردید و پارامتر بعدی مورد واسنجی قرار داده شد. در این میان پارامترهای درصد مناطق نفوذ ناپذیر و شماره منحنی نفوذ، به دلیل ماهیت وابسته‌شان، هم‌زمان واسنجی شده‌اند. به این ترتیب که با تغییر در پارامتر درصد مناطق نفوذ ناپذیر، میزان شماره منحنی متناظر با آن نیز از جدول استخراج شده است. این روند برای هر یک از سه واقعه بارندگی ۱۳۹۶/۱۲/۰۶ و ۱۳۹۶/۱۲/۰۹ و ۱۳۹۷/۰۷/۲۳ به انجام رسید و در پایان متوسط مقادیر بهینه حاصل به عنوان نتایج نهایی واسنجی انتخاب گردید. این شیوه در بسیاری از مطالعات دربرگیرنده واسنجی SWMM مورد استفاده قرار گرفته است (۲۴، ۴۱، ۴۵، ۲۲، ۸، ۲، ۱۱).

## ۶-۲- اعتبارسنجی و ارزیابی مدل‌ها

در فرایند اعتبارسنجی، مدل‌ها با پارامترهای بهینه حاصل از مرحله واسنجی برای سری جدیدی از داده‌ها اجرا شدند و هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار گرفتند. بدین منظور از شاخص‌های ارزیابی متداول همچون شاخص ناش - ساتکلیف (NS)، بایاس (BIAS)، ریشه مربع خطا (RMSE) و ضریب تعیین ( $R^2$ ) استفاده گردید (۴۵، ۸، ۱۱، ۱، ۹). در این پژوهش از سه واقعه بارندگی دیگر (۱۳۹۷/۰۸/۱۹ و ۱۳۹۷/۱۲/۱۰ و ۱۳۹۸/۰۱/۰۶) جهت اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده شده است. ضریب تعیین یا ضریب تشخیص، نشان دهنده درصد تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل می‌باشد که در معادلات رگرسیونی با علامت  $R^2$  نشان داده می‌شود و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی شباهت بیشتری به هم دارند. سایر شاخص‌ها به صورت فرمول‌های (۴) و (۵) و (۶) قابل محاسبه هستند (۳۰، ۲۲، ۲۶، ۲۴، ۳۹).

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{avo})^2} \times 100 \quad (4)$$

جدول ۳ - مقادیر اولیه و دامنه تغییرات پارامترهای مورد استفاده در واسنجی مدل

ردیف	پارامتر	مقدار اولیه	دامنه تغییرات	منابع
۱	عرض معادل زیر حوضه‌ها	طبق جدول (۴)	$30 \pm$	(۴۵)
۲	درصد مناطق نفوذ ناپذیر	طبق جدول (۵)	$20 \pm$	(۴۵)
۳	ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذ ناپذیر	۰.۱۳.۰	۰.۳۳-۰.۱۱.	(۳۱)
۴	ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذ پذیر	۰.۵.۰	۸-۰.۲.	(۴۵، ۳۱)
۵	عمق ذخیره چالایی مناطق نفوذ ناپذیر (mm)	۷.۱	۵.۲-۳.	(۳۱)
۶	عمق ذخیره چالایی مناطق نفوذ پذیر (mm)	۸.۳	۷-۵.۲	(۴۶)
۷	درصد مناطق نفوذ ناپذیر بدون ذخیره سطحی	۱۶	٪۲۰-۵	(۳۱)
۸	شماره منحنی	طبق جدول (۶)	بر اساس تغییر در درصد مناطق نفوذ ناپذیر از جداول مربوطه استخراج می‌شود	

نرم افزارهای ASSA و Bently SewerGEMS V8i برآوردهای غیرمطمئن تری از دبی حداکثر سیلابی ارائه دادند. این امر مشابه یافته‌های خانی و همکاران (۳۳) می‌باشد که مقادیر دبی حداکثر سیلاب را در حوضه اقبال شرقی مشهد با سه مدل EPA SWMM، ASSA و HEC-1 برآورد کرده بودند. در تصاویر ۵ و ۶ بهترین هیدروگراف شبیه سازی شده و ارتفاع رواناب متناظر با آن برای کانال نیمه اصلی ۷ در واقعه بارندگی ۱۳۹۶/۱۲/۰۹ به صورت موردی نمایش داده شده است. مقادیر پارامترهای واسنجی شده در جدول ۸ نمایش داده شده است. سپس همانگونه که بیان شد، تحلیل حساسیت به دو روش پارامتر جزئی و ضریب همبستگی اسپیرمن انجام شد که نتایج حاصل به شرح جدول ۹ می‌باشد. با استفاده از تحلیل حساسیت به روش پارامتر جزئی مشخص گردید که نتایج مدل (دبی اوج) به تغییرات پارامتر ورودی درصد مناطق نفوذ ناپذیر، بیشترین حساسیت را دارد و سپس به ترتیب پارامترهای ورودی عرض معادل، ضریب زبری مناطق نفوذ ناپذیر، عمق چالایی مناطق نفوذ ناپذیر، عمق چالایی مناطق نفوذ پذیر، درصد مناطق نفوذ ناپذیر بدون ذخیره سطحی و شماره منحنی بیشترین ضرایب حساسیت را دارند. همانگونه که رابری و همکاران (۴۰) نیز نشان دادند، در مناطق با اقلیم نیمه خشک، دبی اوج و حجم رواناب بیشتر از همه به پارامترهای مربوط به نفوذناپذیری به ویژه درصد مناطق نفوذناپذیر و ضریب زبری حساس می‌باشد. که این امر با نتایج پژوهش حاضر کاملاً سازگار است. از طرفی خروجی مدل نسبت به پارامتر ضریب زبری مناطق نفوذ پذیر حساسیتی نشان نداده است که دلیل آن پایین بودن مساحت مناطق نفوذ پذیر می‌باشد. این نتایج با بخشی از یافته‌های حسین زاده و جهادپور (۴)، توسی و بوداوپور (۱۳)، رستمی خلیج و همکاران (۸)، مغفوری و احمدی (۱۷)، رضایی و همکاران (۹)، بارکو و همکاران (۲۲)، بلینگ و همکاران (۲۴)، اکدوگان و دون (۲۰)، پتیل و همکاران (۳۹) مطابقت دارد. نتایج آنالیز حساسیت به روش آنالیز همبستگی اسپیرمن حساسیت یکسانی برای اکثر پارامترها داشت (۱+۱-) و به ترتیب برای پارامترهای شماره منحنی نفوذ و عمق چالایی مناطق نفوذ پذیر کمترین ضریب همبستگی حاصل گردید. همچنین در راستای محاسبه زمان تمرکز با توجه به اینکه برای کانال خروجی در نرم افزار EPA SWMM و SewerGEMS در رخداد مورخ ۱۳۹۷/۰۷/۲۳ بیشترین دقت در برآورد هیدروگراف رواناب حاصل گردیده است لذا از شبیه سازی در این رخدادها در برآورد زمان تمرکز کل حوضه استفاده گردیده است که زمان تمرکز کل حوضه مورد مطالعه به ترتیب ۶۰، ۵۸ و ۶۲ دقیقه بدست آمده است که به طور متوسط یک ساعت در نظر گرفته شد.

همانگونه که بیان گردید در این پژوهش هفت مدل در قالب سه نرم افزار بررسی گردیده است که شامل مدل SWMM در قالب نرم افزار EPA SWMM و مدل‌های هیدرولوژیک EPA SWMM، Rational، Dekalb Rational، Santabarbara UH، SCS TR-20 و SCS TR-55 در قالب نرم افزار ASSA و مدل‌های SWMM و هیدروگراف واحد در قالب نرم افزار Bently SewerGEMS V8i می‌باشد. با توجه به شاخص‌های ارزیابی، از بین تمام مدل‌های مورد بررسی، مدل‌های SWMM در قالب سه نرم افزار یاد شده بیشترین دقت را در شبیه سازی هیدروگراف کلی رواناب داشت (جدول ۴). از بین این سه نرم افزار هر کدام که ضریب ناش-ساتکلیف بالاتر و خطای بایاس پایین تری در هر کدام از شش رخداد بارندگی برای هر کدام از سه محل اندازه گیری داشته اند مشخص گردیده است. در نهایت مشخص گردید که روش SWMM در قالب نرم افزار EPA SWMM با ۱۲ مورد برتری در شاخص‌های یاد شده، بهترین مدل جهت تخمین بارش-رواناب در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. این امر را می‌توان ناشی از امکان وارد کردن مقیاس‌های مکانی ریزتر در ورودی‌های SWMM دانست که این امر به دریافت دقیق‌تر مدل از فیزیک فرآیندهای هیدرولوژیکی کنترل کننده عکس العمل حوضه به بارندگی منجر می‌گردد (نایب یزدی و همکاران (۳۷)). نتایج بدست آمده با یافته های رستمی خلیج و همکاران (۸) و بدیعی زاده و همکاران (۲) و طاعت پور (۱۱) و رضایی و همکاران (۹) مطابقت دارد. همچنین سایر مدل‌ها در قالب نرم افزار ASSA دقت پایینی در شبیه سازی هیدروگراف کلی رواناب داشتند که کمترین دقت مربوط به مدل Rational بوده (مطابق جدول ۵) و سپس به ترتیب مدل‌های Dekalb Rational و Santabarbara UH و SCS TR-55 و SCS TR-20 کمترین دقت را داشتند. همچنین در نرم افزار SewerGEMS نیز مدل هیدروگراف واحد دقت لازم در شبیه سازی شکل کلی هیدروگراف را نداشت (جدول ۶). از آنجایی که دبی اوج هیدروگراف سیلاب مؤثرترین پارامتر در طراحی شبکه‌های دفع آب های سطحی می‌باشد علاوه بر کل هیدروگراف رواناب، دبی اوج مشاهداتی با دبی اوج برآورد شده به روش SWMM نیز در سه نرم افزار با هم مقایسه گردیده است (مطابق جدول ۷) تا از این نظر نیز بهترین نرم افزار انتخاب شود (چون ممکن است شکل کلی هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده انطباق خوبی داشته باشد ولی دبی اوج که مؤثرترین پارامتر است انطباق خوبی نداشته باشد). با توجه به جدول ۷، بالاترین مقادیر شاخص‌های ارزیابی باز هم مربوط به نرم افزار EPA SWMM می‌باشد (در ۱۳ مورد از ۱۸ مورد، نسبت به نتایج نرم افزار ASSA و Bently SewerGEMS V8i شاخص‌های ارزیابی برتری دارد). این نتایج موید یافته‌های رستمی خلیج و همکاران (۸)، بدیعی زاده و همکاران (۲)، طاعت پور (۱۱)، رضایی و همکاران (۹)، بدیعی زاده و همکاران (۱) و نیون کورو (۳۸) می‌باشد که همگی بر دقت بالایی نرم افزار SWMM در تخمین دبی اوج هیدروگراف رواناب اذعان داشتند. بنابراین تمام تجزیه و تحلیل‌های بعدی بر روی این مدل انجام خواهد گرفت. بخشی از این برتری را می‌توان به شبیه‌سازی‌های دقیق‌تر مدل EPA SWMM نسبت به سایر مدل‌ها در مرحله کالیبراسیون دانست. در همان مرحله نیز بر اساس شاخص‌های NSE، BIAS و RMSE،

جدول ۴ - مقایسه بهترین نتایج حاصل از مدل‌ها برای شکل کلی هیدروگراف رواناب بر اساس شاخص‌های ارزیابی

بخش	نقطه اندازه‌گیری	روش SWMM با نرم افزار GEMS		روش SWMM با نرم افزار ASSA		روش SWMM با نرم افزار	
		BIAS	NSE	BIAS	NSE	BIAS	NSE
۱۳۹۶/۲/۰۶	انتهای کانال ۱۲	۰,۰۱۴	۰,۹۶۴	۰,۰۱۴	۰,۹۶۲	۰,۰۰۵	۰,۹۸۷
	انتهای کانال ۷	۰,۰۴۰	۰,۹۸۴	۰,۰۰۴	۰,۹۸۴	۰,۰۰۷	۰,۹۷
	کانال ۱۱	۰,۰۴۶	۰,۹۵۴	۰,۰۵۱	۰,۹۴۹	۰,۰۳۲	۰,۹۶۸
۱۳۹۶/۲/۰۹	انتهای کانال ۱۲	۰,۰۰۷	۰,۹۷۵	۰,۰۰۹	۰,۹۶۸	۰,۰۱۱	۰,۹۶۱
	انتهای کانال ۷	۰,۰۰۱	۰,۹۹۴	۰,۰۰۱	۰,۹۹۵	۰,۰۰۰۴	۰,۹۹۸
	کانال ۱۱	۰,۰۴۶	۰,۹۲۱	۰,۰۵۳	۰,۹۰۹	۰,۰۶۰	۰,۸۹۸
۱۳۹۷/۰۷/۳۳	انتهای کانال ۱۲	۰,۰۱۰	۰,۹۷۴	۰,۰۱۱	۰,۹۷۲	۰,۰۰۴	۰,۹۹
	انتهای کانال ۷	۰,۰۶۰	۹۷۲,۰	۰,۰۵۰	۹۷۵,۰	۰,۰۲۰	۹۹۰,۰
	کانال ۱۱	۰,۱۸,۰	۹۸۵,۰	۰,۱۸,۰	۹۸۵,۰	۰,۲۳,۰	۹۸۱,۰
۱۳۹۷/۰۸/۱۹	انتهای کانال ۱۲	۰,۱۰,۰	۹۷۱,۰	۰,۱۲,۰	۹۶۶,۰	۰,۰۸,۰	۹۷۷,۰
	انتهای کانال ۷	۰,۱۳,۰	۹۴۱,۰	۰,۱۴,۰	۹۳۵,۰	۰,۰۶,۰	۹۷۳,۰
	کانال ۱۱	۰,۴۷,۰	۹۳۸,۰	۰,۰۴,۰	۹۴۸,۰	۰,۳۹,۰	۹۴۸,۰
۱۳۹۷/۱۲/۱۰	انتهای کانال ۱۲	۰,۱۸,۰	۹۵۶,۰	۰,۱۹,۰	۹۵۵,۰	۰,۰۷,۰	۹۸۴,۰
	انتهای کانال ۷	۰,۱۱,۰	۹۵۷,۰	۰,۱۴,۰	۹۴۵,۰	۰,۱۴,۰	۹۴۲,۰
	کانال ۱۱	۱۳۱,۰	۸۹۲,۰	۱۲۹,۰	۸۹۵,۰	۱۰۰,۰	۹۱۸,۰
۱۳۹۷/۰۱/۰۶	انتهای کانال ۱۲	۰,۱۶,۰	۸۰۱,۰	۰,۱۹,۰	۷۵۳,۰	۰,۰۵,۰	۹۳۵,۰
	انتهای کانال ۷	۰,۱۵,۰	۷۰۵,۰	۰,۰۵,۰	۸۹۶,۰	۰,۰۸,۰	۸۵۵,۰
	کانال ۱۱	۰,۰۱,۰	۹۹۴,۰	۰,۰۴,۰	۹۷,۰	۰,۰۱,۰	۹۹۵,۰

جدول ۵ - نتایج مدل Rational برای شکل کلی هیدروگراف در نرم افزار ASSA (ضعیف ترین دقت در این نرم افزار)

بخش	محل نمونه‌گیری	NSE			BIAS			RMSE			R <sup>2</sup>		
		کارته	ای ای	کارته	کارته	ای ای	کارته	کارته	ای ای	کارته	کارته	ای ای	کارته
۹۶/۲/۰۶	کانال ۱۲	۰,۱۵۷	۰,۲۳۶	۰,۱۴۵	۰,۳۱۹	۰,۲۸۹	۰,۳۲۳	۰,۲۱۴	۰,۲۰۴	۰,۲۱۶	۰,۳۷	۰,۳۸	۰,۳۶
	کانال ۷	۰,۱۰۶	-۰,۴	۰,۲۴	۰,۲۴۵	۰,۳۱۱	۰,۱۶۸	۰,۱۶۸	۰,۱۹	۰,۱۴۰	۰,۲۷	۰,۰۱۴	۰,۸۱
	کانال ۱۱	-۰,۲	۰,۲۶	۰,۲	۱,۱۹	۱,۲۵	۰,۷۸۹	۰,۸۹	۰,۹۱	۰,۷۳	۰,۷۲	۰,۷۷	۰,۹۳
۹۶/۲/۰۹	کانال ۱۲	۰,۳۸	۰,۲۶	۰,۴۲	۰,۱۷۲	۰,۲۰۶	۰,۱۶۲	۰,۱۳۸	۰,۱۵۱	۰,۱۳۴	۰,۵۷	۰,۴۴	۰,۶۱
	کانال ۷	۰,۱۹۷	۰,۷۴۴	۰,۲۰۱	۰,۱۴۹	۰,۰۴۸	۰,۱۴۹	۰,۰۹۷	۰,۰۵۵	۰,۰۹۷	۰,۳۰	۰,۸۱	۰,۲۹
	کانال ۱۱	۰,۱۹۴	۰,۳۰۹	۰,۳۲۶	۰,۴۷۳	۰,۴۰۶	۰,۳۹۵	۰,۴۴۴	۰,۴۱۱	۰,۴۰۶	۰,۳۳	۰,۵۲	۰,۴۱
۹۶/۰۷/۳۳	کانال ۱۲	۰,۰۱۸	۰,۶۵	۰,۰۷۴	۰,۳۹۴	۰,۱۳۹	۰,۳۷۱	۰,۲۶	۰,۱۵۴	۰,۲۵۲	۰,۲۲	۰,۶۷	۰,۲۵
	کانال ۷	۰,۲۲۸	۰,۰۹۴	۰,۲۴۷	۰,۲۸۲	۰,۲۰۸	۰,۲۸۶	۰,۱۷۳	۰,۱۴۸	۰,۱۷۴	۰,۱۲	۰,۳	۰,۱۱
	کانال ۱۱	-۱,۰۵	۱,۳۷	۰,۹۴۴	۲,۴۶	۲,۸۴	۲,۳۴	۱,۵۵	۱,۶۶	۱,۵۱	۰,۰۰۶	۰,۱۹	۰,۰۳

جدول ۶ - نتایج مدل هیدروگراف واحد برای شکل کلی هیدروگراف در نرم افزار SewerGEMS (ضعیف ترین دقت در این نرم افزار)

۱۳۹۷/۷/۲۳		۱۳۹۶/۱۲/۹		۱۳۹۶/۱۲/۶		رخداد			
کانال ۱۱	کانال ۷	کانال ۱۲	کانال ۱۱	کانال ۷	کانال ۱۲	کانال ۱۱	کانال ۷	محل نمونه گیری	
۰,۷۶۸	۰,۸۵۹	۰,۸۲۶	۰,۲۹۶	۰,۷۱۲	۰,۶۳	۰,۵۷۷	۰,۴۳	۰,۷۷۵	NSE
۰,۲۷۸	۰,۰۳۲	۰,۰۷	۰,۴۱۳	۰,۰۵۳	۰,۱۰۳	۰,۴۲۱	۰,۱۲۶	۸۵	BIAS
۰,۵۲	۰,۰۵۸	۰,۱۰۹	۰,۴۱۵	۰,۰۵۸	۰,۱۰۷	۰,۵۲۷	۰,۱۲۱	۰,۱۱۱	RMSE
۰,۸۲	۰,۹	۰,۹	۰,۵۶۲	۰,۸۳۷	۰,۷۷	۰,۶۶	۰,۵۷	۰,۸۹۵	R <sup>2</sup>

جدول ۷ - شاخص‌های ارزیابی مربوط به دبی پیک مشاهداتی و شبیه سازی شده به روش SWMM در قالب سه نرم افزار

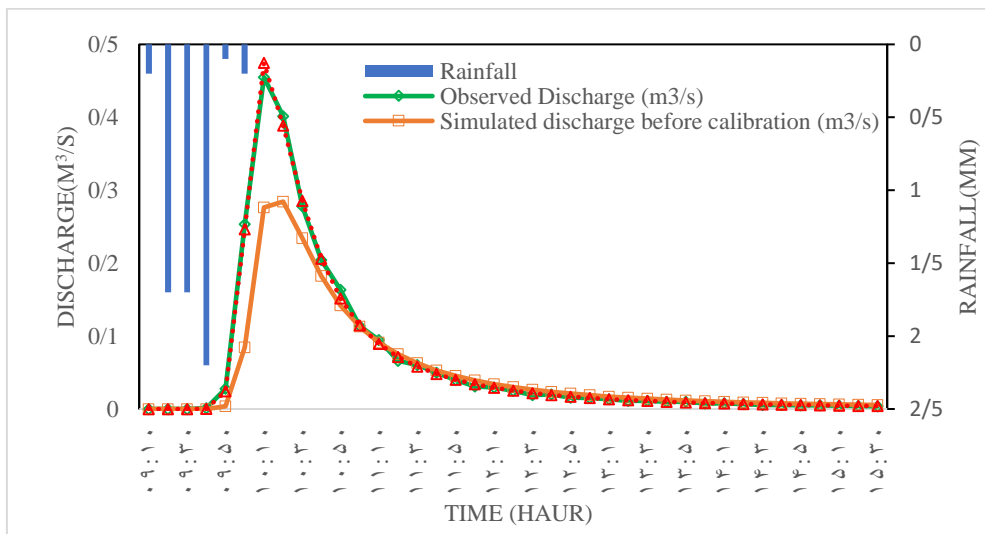
بخش	روش SWMM با نرم افزار SEWER		روش SWMM با نرم افزار ASSA		روش SWMM با نرم افزار SWMM		نقطه اندازه گیری	رخداد
	BIAS	NSE	BIAS	NSE	BIAS	NSE		
۱۳۹۶/۱۲/۰۶	۱۴۷.۰	۰.۲۷.۰	۹۴۸.۰	۰.۴.۰	۰.۲.۰	۹۹۶.۰	انتهای کانال ۱۲	۱۳۹۶/۱۲/۰۶
	۰.۰۷۶.۰	۰.۶۱.۰	۹۶۹.۰	۰.۱۶.۰	۰.۰۰۵.۰	۹۹۸.۰	انتهای کانال ۷	
	۴۶۸.۰	۰.۷۶.۰	۹۷۱.۰	۲۷۱.۰	۰.۲۶.۰	۹۹.۰	کانال ۱۱	
۱۳۹۶/۱۲/۰۹	۰.۰۹۹.۰	۰.۸۵.۰	۹۷۹.۰	۰.۷.۰	۰.۰۷.۰	۹۸۶.۰	انتهای کانال ۱۲	۱۳۹۶/۱۲/۰۹
	۰.۰۲۳.۰	۰.۳۲.۰	۹۸۹.۰	۰.۲.۰	۰.۰۰۹.۰	۹۹۶.۰	انتهای کانال ۷	
	۵۱.۰	۱۳۱.۰	۹۲۴.۰	۳۷.۰	۱۱۴.۰	۸۷۷.۰	کانال ۱۱	
۱۳۹۷/۰۷/۲۳	۱۶۵.۰	۰.۳۴.۰	۹۳۸.۰	۰.۲۲.۰	۰.۰۰۶.۰	۹۹۹.۰	انتهای کانال ۱۲	۱۳۹۷/۰۷/۲۳
	۰.۸.۰	۰.۱۲۵.۰	۹۵۲.۰	۰.۰۳.۰	۰.۰۰۰۰۱.۰	۹۹۹۹.۰	انتهای کانال ۷	
	۲۹۷.۰	۰.۳.۰	۹۸۹.۰	۳۸۱.۰	۰.۴۹.۰	۹۸۲.۰	کانال ۱۱	
۱۳۹۷/۰۸/۰۹	۱۳۴.۰	۰.۲۳.۰	۹۵۵.۰	۰.۵۳.۰	۰.۰۳۶.۰	۹۹۳.۰	انتهای کانال ۱۲	۱۳۹۷/۰۸/۰۹
	۰.۹۹.۰	۰.۱۸۵.۰	۹۳۴.۰	۰.۲۷.۰	۰.۰۱۴.۰	۹۹۵.۰	انتهای کانال ۷	
	۱۸.۰	۰.۱۶۲.۰	۹۹.۰	۱۳۸.۰	۰.۰۹۵.۰	۹۹۴.۰	کانال ۱۱	
۱۳۹۷/۱۲/۱۰	۲۱۸.۰	۰.۵۵.۰	۹۰۸.۰	۰.۳۱.۰	۰.۰۱.۰	۹۹۸.۰	انتهای کانال ۱۲	۱۳۹۷/۱۲/۱۰
	۱.۰	۰.۱۸۸.۰	۹۳۳.۰	۰.۲۳.۰	۰.۰۱.۰	۹۹۶.۰	انتهای کانال ۷	
	۷۳.۰	۱۸۶.۰	۹۲۸.۰	۶۲.۰	۱۳۴.۰	۹۴۸.۰	کانال ۱۱	
۱۳۹۸/۰۱/۰۶	۰.۹۱.۰	۰.۳۸.۰	۴۸.۰	۰.۴۱.۰	۰.۰۸.۰	۶۲۳.۰	انتهای کانال ۱۲	۱۳۹۸/۰۱/۰۶
	۰.۴۱.۰	۰.۰۷۴.۰	۷۵۵.۰	۰.۴۸.۰	۰.۱۰۲.۰	۶۶۴.۰	انتهای کانال ۷	
	۰.۵۹.۰	۰.۰۶.۰	۹۸.۰	۰.۲۱.۰	۰.۰۰۸.۰	۹۹۸.۰	کانال ۱۱	

جدول ۸- مقادیر پارامترهای بهینه شده حاصل از مرحله واسنجی در نرم افزار EPA SWMM

C	عرض	درصد مناطق غیر قابل نفوذ	ضریب مانینگ مناطق غیر قابل نفوذ	ضریب مانینگ مناطق قابل نفوذ	عمق چالابی مناطق نفوذ پذیر	عمق چالابی مناطق نفوذ ناپذیر	درصد مناطق غیر قابل نفوذ بدون ذخیره چالابی	ضریب حوضه
S1	۵.۱۳۳	۳۴.۲۰	۰.۱۱۷.۰	۰.۵.۰	۲۶۷.۱	۸.۳	۶۷.۱۰	۲.۸۴
S2	۴.۱۲۵	۶۷.۴۵	۰.۱۱۷.۰	۰.۵.۰	۲۶۷.۱	۸.۳	۶۷.۱۰	۴۷.۸۸
S3	۹.۲۸۵	۲۸	۰.۱۱۷.۰	۰.۵.۰	۲۶۷.۱	۸.۳	۶۷.۱۰	۴۷.۸۵
S4	۵۹۴	۹۰	۰.۱۱۷.۰	۰.۵.۰	۲۶۷.۱	۸.۳	۶۷.۱۰	۵.۹۶
S5	۳.۴۵۱	۹۰	۰.۱۳۴.۰	۰.۶۷.۰	۴.۱	۰.۳۴.۴	۱۳	۵.۹۶
S6	۸.۱۱۰	۶۴.۷۳	۰.۱۲۴.۰	۰.۵.۰	۹۳۴.۰	۳۶۷.۳	۳۴.۱۵	۴۴.۹۲
S7	۱.۱۹۱	۳۷.۷۸	۰.۱۲۴.۰	۰.۵.۰	۹۳۴.۰	۳۶۷.۳	۳۴.۱۵	۲۷.۹۴
S8	۹.۱۳۲	۶۷.۸۳	۰.۱۲۴.۰	۰.۵.۰	۹۳۴.۰	۳۶۷.۳	۳۴.۱۵	۳۴.۹۵
S9	۹.۱۵۳	۶۷.۸۹	۰.۱۳۴.۰	۰.۶۷.۰	۴.۱	۰.۳۴.۴	۱۴	۴.۹۶
S10	۱.۱۸۳	۹۰	۰.۱۳۴.۰	۰.۶۷.۰	۴.۱	۰.۳۴.۴	۱۴	۵.۹۶
S11	۸.۲۲۴	۹۰	۰.۱۳۴.۰	۰.۶۷.۰	۴.۱	۰.۳۴.۴	۱۴	۵.۹۶
S12	۰.۴۰۸۴	۶۷.۸۰	۰.۱۳۴.۰	۰.۶۷.۰	۴.۱	۰.۳۴.۴	۱۴	۷.۹۴

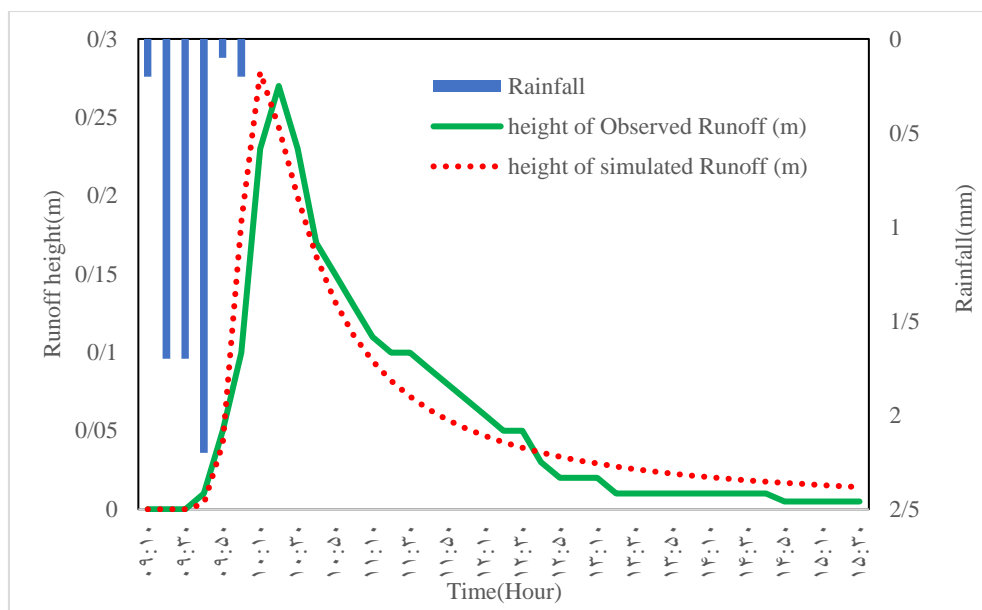
جدول ۹ - نتیجه تحلیل حساسیت به روش پارامتر جزئی و ضریب همبستگی اسپیرمن

پارامتر وابسته	پارامتر متغیر	ضریب حساسیت (S)	ضریب همبستگی اسپیرمن
دبی	درصد مناطق نفوذ ناپذیر	۰,۹۷۷۸	۰,۷۷۵
	عرض معادل	۰,۴۰۴۲	۱
	ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذ ناپذیر	-۰,۳۵۳۴	-۱
	عمق چالابی مناطق نفوذ ناپذیر	-۰,۲۵۸۵	-۱
	ضریب زبری مانینگ مناطق نفوذ پذیر	۰	-
	عمق چالابی مناطق نفوذ پذیر	-۰,۰۰۵۷	-۰,۹۸۲
	درصد مناطق نفوذ ناپذیر بدون ذخیره سطحی	۰,۰۳۵۶	۱
	شماره منحنی	۰,۰۰۱۶	۰,۷۷۵



شکل ۵ - بهترین هیدروگراف شبیه سازی شده برای کانال نیمه اصلی ۷ در واقعه بارندگی ۱۳۹۶/۱۲/۰۹





شکل ۶- ارتفاع رواناب متناظر با بهترین هیدروگراف شبیه سازی شده برای کانال نیمه اصلی ۷ در واقعه بارندگی ۱۳۹۶/۱۲/۰۹

نرم افزار EPA SWMM همچنین به لحاظ دقت مکانی نیز برتری خود را نسبت به دو نرم افزار دیگر نشان داد. بدین ترتیب که در تمامی وقایع بارندگی مورد مطالعه در هر سه گره انتخابی شبکه در موقعیت‌های مکانی متفاوت (بالادست، مرکز و پایین دست شبکه) شاخص‌های ارزیابی به دست آمده در نرم افزار EPA SWMM نشانگر نزدیک‌ترین برآوردها به مقادیر اندازه‌گیری شده بودند که دلیل آن می‌تواند بازخوانی متفاوت اطلاعات ورودی توسط این نرم افزارها و گرد کردن برخی ارقام و محاسبه خودکار طول و ابعاد توسط این نرم افزارها باشد. علیرغم وجود مطالعات متعدد در خصوص واسنجی مدل SWMM، مطالعات شایهی در رابطه با مدل‌های ASSA و Bently SewerGEMS v8i صورت نگرفته است. لذا در پژوهش حاضر از پارامترهایی به منظور واسنجی مدل‌ها استفاده شد که پیش‌تر برای مدل SWMM پیشنهاد شده بودند. همین پارامترها در ادامه، در مرحله تحلیل حساسیت مدل‌ها، به عنوان موثرترین پارامترها در شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب تشخیص داده شدند. بر این اساس، بیشترین حساسیت مدل به ترتیب نسبت به پارامترهای ورودی درصد مناطق نفوذ ناپذیر، عرض معادل، ضریب زبری مناطق نفوذ ناپذیر، عمق چالایی مناطق نفوذ ناپذیر، عمق چالایی مناطق نفوذ پذیر و درصد مناطق نفوذ ناپذیر بدون ذخیره سطحی مشاهده گردید.

زمان تمرکز کل حوضه مورد مطالعه با توجه به خروجی مدل SWMM در قالب سه نرم افزار به طور متوسط ۶۰ دقیقه بدست آمده است. هر چند لازم به ذکر است، مشخصه‌های بارش در وقایع بارندگی شش‌گانه مورد بررسی به گونه‌ای بود که در هیچ یک از وقایع مذکور، طغیان آب از مقطع کانال‌های شبکه هدایت آب‌های سطحی مشاهده نگردید تا بتوان عملکرد نرم‌افزارها را در شبیه‌سازی شرایط طغیان و نیز تاثیر آن در زمان تمرکز اندازه‌گیری شده، مورد مقایسه و ارزیابی قرار داد. چرا که علیرغم موارد موفق گزارش شده از شبیه‌سازی طغیان توسط مدل

### بحث و نتیجه‌گیری

نرم‌افزارهای مختلف شبیه‌سازی هیدرولوژی و هیدرولیک رواناب شهری از جمله سه نرم‌افزار مورد بررسی در این پژوهش از مدل‌های متنوعی به منظور مدلسازی رواناب استفاده می‌کنند. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، در هر سه نرم‌افزار EPA SWMM، ASSA و Bently SewerGEMS v8i - پارامترهای ورودی و پارامترهای خروجی - همواره مدل SWMM به عنوان بهترین مدل شبیه‌ساز رواناب تشخیص داده شد. بدین ترتیب که هر سه نرم‌افزار در صورت انتخاب مدل SWMM به عنوان شبیه‌ساز رواناب از بارندگی، نزدیک‌ترین برآوردها از هیدروگراف و دبی اوج سیلاب را به دست دادند. در این میان مدل SWMM در قالب نرم افزار EPA SWMM، با توجه به بررسی نتایج شاخص‌های ارزیابی، از بالاترین دقت در شبیه‌سازی هیدروگراف و دبی اوج سیلاب برخوردار بود. هیدروگراف خروجی نرم افزار ASSA در صورت استفاده از مدل بارندگی-رواناب SWMM نیز از نظر شکل کلی هیدروگراف انطباق خوبی با هیدروگراف‌های اندازه‌گیری شده داشت ولی با این وجود، اختلاف بین دبی پیک هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نسبت به نرم افزار EPA SWMM زیادتر بود و لاقفل در یک نقطه از شبکه کارایی لازم را نداشت. از میان سایر مدل‌های شبیه‌ساز بارندگی-رواناب کمترین دقت برآورد به ترتیب در Rational، Dekalb Rational، Santabarbara UH، SCS TR-55 و Bently SewerGEMS v8i مشاهده گردید. همچنین در نرم‌افزار Bently SewerGEMS v8i به کارگیری مدل بارندگی رواناب SWMM و UH به ترتیب از بهترین و بدترین برآوردهای هیدروگراف سیلاب در خروجی برخوردار بود. هر چند دقت برآوردها نسبت به دو نرم‌افزار EPA SWMM و ASSA به طور چشمگیری پایین‌تر تشخیص داده شد. به گونه‌ای که می‌توان از توصیه مدل مذکور در شبیه‌سازی رواناب شهری چشم‌پوشی نمود.

SWMM، چنین ارزیابی در خصوص دو نرم‌افزار دیگر صورت نگرفته است.

### پیشنهادها

پیشنهاد می‌گردد برای مطالعات مشابه آتی به جای روش جسم شناور جهت بدست آوردن سرعت رواناب، از روش‌های دقیق‌تری مانند میکرو مولینه استفاده گردد. همچنین پیشنهاد می‌گردد در شهرها و علی‌الخصوص کلان‌شهرها، تجهیزاتی برای ثبت خودکار اطلاعات رواناب در شبکه دفع آب‌های سطحی در نقاط مختلف شبکه در نظر گرفته شود تا در مطالعات آتی و جهت مدیریت سیلاب شهری، سری داده‌های متنوع‌تر و دقیق‌تری در دسترس پژوهشگران و طراحان قرار گیرد.

### ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

### حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

### مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: محمد رفیع رفیعی، داریوش رسولی؛ روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: محمد رفیع رفیعی، داریوش رسولی، مسیح ذوالقدر، مهدی مهدی؛ نظارت و نگارش نهایی: محمد رفیع رفیعی.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

### References

1. Badieizade, S., Bahrehmand A., and Dehghani, A.A. 2016. Calibration and Evaluation of the Hydrologic- Hydraulic Model SWMM to Simulate Runoff (Case Study: Gorgan). Journal of Watershed Management Research Vol. 7, No. 14: 1-10 [In Persian].
2. Javaheri, M. A. and Nazif, Sara. 2014. Calibration of urban runoff drainage model based on sensitivity analysis. 2nd national conference on flood management and engineering with the approach of urban floods. Tehran. [In Persian].
3. Hoseinzadeh, R. and Jahadi, T. 2007. The effects of Mashhad city expansion on the natural drainage pattern and the intensification of Urban floods. Geographical research. Vol. 61 (39):145-160. [In Persian].
4. Chow, V.T. 1959. Open Channel Hydraulics.
5. Khani, S and Faghfour Maghrebi, M. 2017. Comparison of runoff design discharge estimation based on SWMM and HEC-HMS models using ASSA software (Study area: East Iqbal River). 16th National Hydraulic Conference, Ardabil, Iran [In Persian].
6. Pornaby Darzi, S., Vafakhah, M. and Rajabi, R. 2021. Flood hazard zoning using HEC-RAS Hydraulic Model and ArcGIS (Case Study: CheshmehKileh River in Tonekabon County). Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.10 (28): 15-28. [In Persian].
7. Rostami Khalaj, M., Mahdavi, M., Khalighi Sigarodi Sh. and Salajeghe A. 2012. Sensitivity Analysis of Variables Affecting on Urban Flooding Using SWMM Model. Journal of Watershed Management. Vol 5: 81-91. [In Persian].
8. Rezayi, E., Bahremand, A., Berdi Shaikh, V., Dasturani. M.T. and Tajbakhsh. S.M. 2019. Calibration and Evaluation of the SWMM Model in Runoff Simulation in District 9 of Mashhad City. Journal of Water and Sustainable Development. Vol. 5 (2): 91-100. [In Persian].
9. Rafiee, M.R., Ghadampour, Z., Sabzvari, T. 2020. Effect of rainfall distribution pattern and infiltration equation on urban flood simulation (case study: Kangan Abdossalam basin). Journal of Research and Urban Planning. Vol. 11(41):179-195. [In Persian].
10. Taatpour, F., Khorsandi Koohestani, Z., Armin, M. 2019. Evaluating the efficiency of the surface water collection and disposal network using the SWMM model (case study: Likkak city, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad provinces). Irrigation Science and Engineering. Vol 42: 33-48. [In Persian]
11. Alizadeh, A. 2006. Principles of Applied Hydrology. Astan Ghods, Emam Reza Publications. 20th edition [In Persian].
12. Alishahi Toosi, M.R., Boudaghpour, S. 2010. Investigation and sensitivity analysis of EPA-SWMM model in

- modeling urban basins. 2nd National Conference on Comprehensive Management of Water Resources Exploitation, Kerman, Iran. [In Persian].
13. Ghobadi, F. and Khodashenas, S., Mosaedi, A. 2019. A Comparison of Uniform Rainfall Method and Alternative Block Method in Assessing Runoff Collecting System in order to Control Flood in urban Areas with ASSA Software (case study: Chehel Bazeh Golestan Basin). *Indian Journal of Irrigation and Drainage*. Vol. 13 (5): 1491-1503. [In Persian].
  14. Karimi, V., Solaimani, K., Habibnejad Roshan M. and Shahedi K. 2015. Simulation of Flow in Open & Closed Conduits by EPA-SWMM Model (Case Study: Babolsar Urban Watershed). *Journal of Watershed Management Research* Vol. 6 (11): 162-170. [In Persian].
  15. Mohamadi, M., Mamizadeh, J. and Ehsanzadeh, E. 2020. The Application of Rainfall-Runoff Methods in The Hydrological Investigation of Runoff Collection Systems in Eyalam City. *Journal of Watershed Engineering and Management*. Vol. 12(2): 428-440. [In Persian].
  16. Maghfouri Farsangi, M. and Ahmadi, M.M. 2017. Modeling surface runoff of Kerman metropolis using SWMM software. The 14th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman, Iran. [In Persian].
  17. Hashemimofared S.A., Aziziyan, Gh. And Derakhshan Alamdarloo, P. 2018. Investigating of the Existing Urban Drainage Systems for the Passage of Floods and the Possibility of Its Modification Using SWMM5 (Case Study: Darab county). *Journal of Natural Environmental Hazards*, Vol. 7(15):219-237. [In Persian].
  18. Ahmed, S., Tsanis, I., 2016. Climate change impact on design storm and performance of urban storm water management system (A case study on West central mountain drainage area in Canada). *Hydrol. Curr. Res.* 7, 229.
  19. Akdoğan, Z. and Güven, B., 2016. Assessing the sensitivity of SWMM to variations in hydrological and hydraulic parameters: a case study for the city of Istanbul. *Global Nest Journal*, 18(4): 831-841.
  20. Babaei S, Ghazavi, R, Erfanian M. 2018. Urban flood simulation and prioritization of critical urban sub-catchments using SWMM model and PROMETHEE II approach. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*.
  21. Barco J, Wong K M, and Stenstrom, M. K. 2008. Automatic Calibration of the U.S. EPA SWMM Model for a Large Urban Catchment, *Journal of Hydraulic Engineering*. 134(4): 466-474.
  22. Bai Y, Zhao N, Zhang R, Zeng X. 2019. Storm Water Management of Low Impact Development in Urban Areas Based on SWMM. *Water*, 11, 33; doi:10.3390/w11010033
  23. Beling F A, Garcia J I B, Paiva E M C D, Bastos G A P, Paiva J B D. 2011. Analysis of the SWMM Model Parameters for Runoff Evaluation in Periurban Basins from Southern Brazil. 12nd International Conference on Urban Drainage. Porto Alegre. Brazil.
  24. Bisht, D.S., Chatterjee, C., Kalakoti, S., Upadhyay, P., Sahoo, M. and Panda, A., 2016. Modeling urban floods and drainage using SWMM and MIKE URBAN: a case study. *Natural Hazards*, 84:749-776.
  25. Donquan Z, Jining C, Haozheng W, Qingyuan T, shangbing C, Zheng S. 2009. GIS-based urban rain fall-run off modeling using an automatic catchment-discretization approach: a case study in Macaa, *Environ Earth Sci.* 59: 465-472.
  26. Fletcher TD, Andrieu H, Hamel P. 2013. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters, a state of the art, *Adv Water Resours*, 51: 261-279.
  27. Gao, X., Yang, Z., Han, D., Huang, G. and Zhu, Q., 2020. A Framework for Automatic Calibration of SWMM Considering Input Uncertainty. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, pp.1-25.
  28. Goonetilleke, A., Thomas, E., Ginn, S. and Gilbert, D., 2005. Understanding the role of land use in urban stormwater quality

- management. *Journal of environmental management*, 74(1): 31-42.
29. Henriksen H J, Troldborg L, Nyegaard P, Obel Sonnenborg T, Refsgaard J C, Madsen B. 2003. Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for Denmark. *Journal of Hydrology*. 280: 52-71.
  30. Huber W C, Dickinson R E. 1992. Storm water management model user's manual, version 4. Environmental Protection Agency. Georgia. 266.
  31. Jain Gaurav, V., Agrawal, R., Bhanderi, R.J., Jayaprasad, P., Patel, J.N., Agnihotri, P.G., Samtani, B.M. 2015. Estimation of Sub-Catchment Area Parameters for Storm Water Management Model (SWMM) Using Geo-Informatics. *Geocarto International*. 31(4):1-28.
  32. Khani S, Ghobadi F, Maghrebi M. F, Charmchi A. T. 2018. Estimating peak flow Based on EPA SWMM and HEC1 method Using ASSA (Case Study: East Eghbal Catchment, Mashhad, Iran). *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 20, EGU2018-2160-3
  33. Marsalek J, Jime'nez-Cisneros BE, Malmquist PA, Karamouz M, Goldenfum J, Chocat B. 2006. Urban water cycle processes and interactions, IHP-VI Technical Document in Hydrology. 78. (UNESCO, Paris)
  34. Merz, R., & Tarasova, L. B. S. (2019). Towards regional consistent parameters of distributed hydrological models. *Geophysical Research Abstracts*, 21, 1-1.1
  35. Muleta M.K., McMillan J., Amenu G.G., Burian S.J.(2012). Bayesian approach for uncertainty analysis of an urban storm water model and its application to a heavily urbanized watershed, *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(10): 1360-1371.
  36. Nayeb Yazdi M., Ketabchy M., Sample D. J. Scott D. and Liao H. 2019. An evaluation of HSPF and SWMM for simulating streamflow regimes in an urban watershed. *Environmental Modelling & Software* (118):211-225.
  37. Niyonkuru P, Sang J. K, Nyadawa M O, Munyaneza O. 2018. Calibration and validation of EPA SWMM for stormwater runoff modelling in Nyabugogo catchment, Rwanda, *Journal of Sustainable Research in Engineering*. 4 (4): 152-159.
  38. Patil N S, patil V S, vijaykumar H. 2016. Calibration & Validation of SWMM Model for Urban Watershed, *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 09(06): 2457-2465.
  39. Rabori A.M, Ghazavi R, Ahadnejad Reveshty M. 2017. Sensivity Analysis of SWMM model parameters for urban runoff estimation in semi-arid area, *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*. 10(5): 284-294.
  40. Rezayi F, Bahremand A, Shaik V.B. 2019. ASSA Models and GIS Integration in the Determination of Flooding Point in Different Return Periods. *Cercetări Agronomice în Moldova Vol. LII, No. 1 (177) / 2019: 91-105. DOI: 10.2478/cerce-2019-0010.*
  41. Roozbahani A, Behzadi P, Bavani A.M. 2020. Analysis of performance criteria and sustainability index in urban stormwater systems under the impacts of climate change. *J. of Cleaner Production*. 271 (2020) .doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.12272
  42. Rose S, Peters NE. 2001. Effects of urbanization on streamflow in the Atlanta area (Georgia, USA), a comparative hydrological approach, *Hydrol Process*. 15:1441-1457
  43. Swathi V, Srinivasa Raju & K, Murari R. R. Varma. 2020. Addition of overland runoff and flow routing methods to SWMM model application to Hyderabad, India. *Environ Monit Assess*. 192:643.
  44. Temprano J, Arango O, Cagiao J, Suarez, J. and Tejero, I. 2006. Storm Water quality calibration by SWMM: a case study in Northern Spain. *Water SA*. 32(1): 55-63
  45. Tsihrintzis V, Hamid R. 1998. Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM. *Hydrol Process*. 12(2): 311-329.
  46. Wang, M., Zhang, D.Q., Su, J., Trzcinski, A.P., Dong, J.W., Tan, S.K. 2017. Future Scenarios Modeling of Urban Storm Water Management Response to Impacts

of Climate Change and Urbanization.  
Journal of Clean Soil Air Water. 45(10).