

Research Paper



Evaluating Flooding Nodes of Drainage Network in Hamedan City Using the SWMM Model



Sepideh Siyouti,¹ Alireza Ildoromi,^{2,*} Behnoush Farrokhzadeh³

1. M.A. of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.
ildoromi@gmail.com
2. Professor of Natural Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.
sepidesiyooti72@gmail.com
3. Assistant Professor, Natural Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.
sepidesiyooti72@gmail.com

Keywords

precipitation -runoff modeling ,
SWMM model,
urban watershed,
SCS method,
Hamadan city.

Received: 2024/05/18
Accepted: 2024/07/06
Published: 2024/10/21

ABSTRACT

Te Currently, one of the major problems of industrial and urban societies is the occurrence of floods and the collection of urban runoff, which requires the calculation of the amount of runoff from urban watersheds and the use of advanced models. In this research, the flood control nodes of the drainage network in Khako (Faquireh-Khizr) urban area of Hamedan were measured and evaluated using the SWMM model. First, the equivalent width parameters, the percentage of impervious areas, pond storage, the roughness coefficient of the areas within the range of permissible range changes, were calculated in the soil area, and then in order to simulate and calibrate the model in the SCS and Horton methods, in the conditions before and after calibration, the coefficient Nash-Sutcliffe efficiency was used. The results showed that the infiltration and runoff height of the project in SCS method are equal to 50.86 and 16.14 mm, respectively and indicates that the SCS method evaluates the values of infiltration and runoff for Hamedan urban watershed more accurately and has an acceptable efficiency. The results show that out of the total rainfall of 120 mm, 33 mm is related to infiltration losses and 87 mm is related to surface runoff, and the volume of flow is equal to 2.41 million cubic meters, of which 1.98 million cubic meters is related to Faquireh sub-basin and 0.43 million cubic meters is related to Khizr sub-region. According to the efficiency coefficient of NS, which is calculated for the peak flow rate of 0.66 and for the flood volume of 0.73, these numbers are acceptable. The results showed that the highest amount of project rainfall runoff with 1.28 million cubic meters is related to Faquireh sub-basin due to the physical development of Hamadan city in recent years in this sub-basin and the lowest amount with 0.46 million cubic meters is related to Khizrkhako sub-basin. In addition, for the decrease in runoff production in the Khako urban watershed, we can point out the presence of natural cover, increased infiltration, and pond storage. The results of this research showed that residential uses have the largest share in the flood potential of the study area.

* Corresponding Author: Alireza Ildoromi

E-mail: ildoromi@gmail.com

How cite to this article: Siyouti, Sepideh; Ildoromi, Alireza; Farrokhzadeh, Behnoush; (2024). Evaluating Flooding Nodes of Drainage Network in Hamedan City Using the SWMM Model. *Hydrogeomorphology*, 11(40): 143–164.

DOI: [10.22034/hyd.2024.61703.1740](https://doi.org/10.22034/hyd.2024.61703.1740)



Introduction

The development of urban watershed basins results in more complex hydrological behaviors compared to natural basins; for this, understanding their hydrological responses would provide a better flooding control design (Ghaderi-Dehkordi et al., 2020). Moreover, integrated watershed basin management will ensure the optimal use of water and soil resources in natural and unnatural ecosystems. To meet this goal, there is a need for comprehensive data from different management and executives, as well as ecological approaches to watershed basins (Yar Ahmadi et al., 2019). Over the last decades, the fast pace of population growth and urban development has led to increased urban runoff and caused various bio-environmental problems, such as pathway flooding and inundation across cities. Currently, understanding the factors involved and sensitivity analysis is a method to demonstrate which model input parameters will have greater impacts on results (Shahbazi et al., 2017). In a natural watershed basin, a larger part of the land surface is pervious and covered by vegetation; in an urban watershed basin, however, the basin's impervious surface increases due to urbanization, consequently causing an increase in the volume of runoff and peak discharge, erosion and water quality degradation (Nasehpour et al., 2020). In this connection, urban runoff modeling is a major stride to understanding urban flooding. Zeng et al. (2020) designed and implemented a SWMM model-based framework for managing urban runoffs. Findings showed that the model can present the calculations in real time, accurately and consistently, and be effectively applied in the momentary management of urban runoffs. Brown et al. (2021) investigated the effects of runoff management in small cities using the SWMM model, demonstrating that land use changes would lead to hydrological changes within the city and thus aggravate climatic changes.

Methodology

Iran's Hamedan City is situated in the foothills of the Alvand mountain, whose most important inter-city sub-basin is the Khakou River, which includes a major intra-city district of Khizr and an inter-regional district of Faqirah. In this study, the flooding nodes of the drainage network in the Khakou urban basin (Faqirah-Khizr) of Hamedan were calibrated and evaluated by using the SWMM model. At first, equivalent width parameters, impervious area percentages, depression storage, and the roughness coefficient of areas within allowable range changes in the Khakou basin were calculated; then the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient was used to simulate and calibrate the model in two SCS and Horton methods before and after calibration.

Results and Discussion

Findings indicated that the values of permeation and the precipitation-runoff height in the area under study in the SCS method were 50.86 and 16.14 mm, respectively, suggesting that the SCS method can evaluate the values of permeation and runoff of Hamedan's urban watershed more accurately and thus enjoy acceptable efficiency. Results showed that out of the total 120-mm precipitation, 33 mm pertained to permeation losses and 87 mm to surface runoff, with the equivalent flow volume being 2.41 million m³, 1.98 million m³ of which pertains to the Faqirah sub-basin and 0.43 million m³ pertains to the Khizr sub-basin. According to the NS efficiency coefficient, calculated to be 0.66 and 0.73 for the peak discharge and the volume of flooding, respectively, which show acceptable results, the findings indicated that the highest volume of precipitation runoff in the area under study pertained to the Faqirah sub-basin at 1.28 million m³ due to the physical development of Hamedan City over the last years. Meanwhile, the lowest volume pertained to the Khizr-Khakou sub-basin at 0.46 million m³. In this connection, the decreased runoff production at the Khakou urban watershed is due to the presence of vegetation, increased permeation, and depression storage.

Conclusions

Integrated watershed management involves numerous measures which eventually lead to sustainable development. This requires an all-out and accurate approach to the processes inside and outside the watershed basin. For this, it is essential to take an appropriate approach to runoff management, especially at the changed and developed levels of land uses, including urban land uses, using a combination of goals and strategies. As one of the most advanced methods in flooding analysis, the SWMM model was developed for Hamedan's Khakou urban sub-basin. Findings indicated that residential land uses contributed most to the area's flooding potential, as the impervious area of the urban watersheds of Faqirah and Khizr accounted for 65% and 50%, respectively. This study concluded that in the urban watershed of Faqirah around 35% of the precipitation pertained to permeation and evapotranspiration. Therefore, as the impervious surface, including construction land uses and asphalt of roads and streets, increased, the potential of runoff production increased. Field observations suggested that in recent years the physical development of Hamedan City has been one of the causes of increased impervious surfaces and increased runoffs. In sum, findings showed that the growing expansion of Hamedan's urban districts and the loss of agricultural lands, as well as the increased area of impervious lands, could increase the volume and height of the runoffs caused by precipitation in the urban area.

مقاله پژوهشی



ارزیابی گره‌های سیل‌گیر شبکه زهکشی شهر همدان با استفاده از مدل SWMM



سپیده صیوتی^۱، علیرضا ایلدرمی^۲، بهنوش فرخ زاده^۳

^۱ - کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. sepidesiyooti72@gmail.com

^۲ - استاد گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. Ildoromi@gmail.com

^۳ - استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. be_farokhzadeh@yahoo.com

چکیده

در حال حاضر یکی از مشکلات عمده جوامع صنعتی و شهری، وقوع سیلاب و جمع‌آوری رواناب‌های شهری است، که مستلزم محاسبه میزان رواناب از آبریزهای شهری و بکارگیری مدل‌های پیشرفته است. در این پژوهش گره‌های سیل‌گیر شبکه زهکشی در حوضه شهری خاکو (فقیره - خضر) همدان با استفاده از مدل SWMM واسنجی و ارزیابی شد. ابتدا پارامترهای عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی، ضریب زبری مناطق در بازه تغییرات دامنه مجاز، در حوضه خاکو محاسبه و سپس به منظور شبیه‌سازی و واسنجی مدل در دو روش SCS و هورتون در شرایط قبل و بعد از واسنجی نیز از ضریب کارایی ناش-ساتکلیف استفاده گردید. نتایج نشان داد مقادیر نفوذ و ارتفاع رواناب بارش طرح در روش SCS به ترتیب برابر ۵۰/۸۶ و ۱۶/۱۴ میلی‌متر می‌باشد و بیانگر این است که روش SCS مقادیر نفوذ و رواناب را برای آبریز شهری همدان دقیق‌تر ارزیابی نموده و از کارایی قابل قبولی برخوردار است. نتایج نشان می‌دهد که از کل بارش ۱۲۰ میلی-متری، مقدار ۳۳ میلی‌متر مربوط به تلفات نفوذ و ۸۷ میلی‌متر مربوط به رواناب سطحی بوده و حجم جریان معادل ۲/۴۱ میلیون مترمکعب می‌باشد که ۱/۹۸ میلیون مترمکعب مربوط به زیرحوضه فقیره و ۰/۴۳ میلیون مترمکعب مربوط به زیرحوضه خضر است. با توجه به ضریب کارایی NS که برای دبی اوج ۰/۶۶ و برای حجم سیلاب ۰/۷۳ محاسبه شده و اعداد قابل قبولی است. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار حجم رواناب بارش طرح با ۱/۲۸ میلیون متر مکعب مربوط به زیرحوضه فقیره به دلیل توسعه فیزیکی شهر همدان در سال‌های اخیر در این زیرحوضه و کمترین مقدار با ۰/۴۶ میلیون مترمکعب مربوط به زیرحوضه خضرخاکو است که از دلایل کاهش تولید رواناب در آبریز شهری خاکو می‌توان به وجود پوشش طبیعی، افزایش نفوذ و ذخیره چالابی اشاره نمود. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربری‌های مسکونی بیشترین سهم را در پتانسیل سیل-خیزی محدوده مطالعاتی دارد.

کلیدواژه‌ها

مدلسازی بارش-رواناب، مدل SWMM، آبریز شهری، روش SCS، شهر همدان.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰

ارجاع به این مقاله: صیوتی، سپیده؛ ایلدرمی، علیرضا؛ فرخزاده، بهنوش (۱۴۰۳). ارزیابی

گره‌های سیل‌گیر شبکه زهکشی شهر همدان با استفاده از مدل SWMM

هیدروژئومورفولوژی، ۱۱ (۴۰): ۱۶۴ - ۱۴۳.

DOI:10.22034/hyd.2024.61703.1740

*نویسنده مسئول: علیرضا ایلدرمی

رایانامه: Ildoromi@gmail.com



Copyright: ©2024 by the authors.

Publisher: University of Tabriz

مقدمه

پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک علاوه بر ایجاد سیلاب‌های مخرب موجب هدر رفتن آب‌های سطحی می‌شود که مهار و بهره‌برداری مناسب از آن می‌تواند راهکار مناسبی برای جلوگیری از هدر رفت خاک و آب باشد (احمدزاده و همکاران، ۲۰۱۴: ۳). در این میان آب‌گرفتگی در مناطق شهری در نتیجه ایجاد نقص و یا هر نوع ناکارآمدی در سیستم‌ها و گره‌های زهکشی شهری موجب وارد شدن خسارات زیادی به ساختمان‌ها و دیگر زیرساخت‌های عمومی و خصوصی می‌شود (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۴: ۵). علاوه بر دهه‌های اخیر رشد سریع شهرها به سمت حوضه‌های آبریز بالادست، فرآیندهای بارش-رواناب را در حوضه‌های شهری به شدت تحت تاثیر قرار داده است. به‌همین دلیل، برای نشان دادن این فرآیندها، یا ارزیابی سیستم‌های شبکه زهکشی شهری موجود به مدل‌های رایانه‌ای توجه خاصی شده است (پایک و همکاران، ۲۰۱۱: ۲). از طرف دیگر وضعیت ظاهری پیچیده مناطق شهری، فقدان داده هیدرولوژیکی دقیق، نیاز به نقشه‌های با قدرت تفکیک بالا و نبود نقشه‌های شبکه زهکشی مناسب، شبیه‌سازی فرآیندهای آب‌گرفتگی شهری را مشکل کرده است. لذا استفاده از روش‌هایی که با صرف وقت و هزینه کمتر و عدم نیاز به اطلاعات ورودی زیاد بتوان به نتایج قابل قبولی دست یافت ضروری است (روسمن و همکاران، ۲۰۱۳: ۴).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که حوضه‌های آبریز شهری به دلیل توسعه، دارای رفتار هیدرولوژیکی پیچیده‌تری نسبت به حوضه‌های طبیعی هستند که شناخت پاسخ هیدرولوژیکی آن‌ها به طراحی مناسب و کنترل سیلاب کمک خواهد کرد (قادی دهکردی و همکاران، ۲۰۱۹: ۴). علاوه بر مدیریت یکپارچه حوضه‌های آبریز، تضمین‌کننده استفاده بهینه از منابع آب و خاک در اکوسیستم‌های طبیعی و غیرطبیعی بوده که برای رسیدن به این هدف، به اطلاعات جامعی از رویکردهای متفاوت مدیریتی و اجرایی و نیز ویژگی‌های فیزیکی، اقتصادی - اجتماعی و اکولوژیک حوضه‌های آبریز نیاز است (یاراحمدی و همکاران، ۲۰۲۰: ۳). در طی چند دهه گذشته با توجه به رشد سریع جمعیت و توسعه ی شهری، رواناب شهری افزایش یافته و منجر به مشکلات محیط زیستی مختلفی از جمله آب‌گرفتگی معابر سطح شهر، انتشار آلودگی‌های زیست‌محیطی و خطرات ناشی از گسترش سیلاب شده است. در این رابطه تحلیل حساسیت روشی است برای نشان دادن این که کدام یک از پارامترها ورودی مدل تأثیر بیشتری بر نتایج اعمال می‌کند (شهبازی و همکاران، ۲۰۱۶: ۶). در بررسی‌ها مشخص شده در یک حوضه آبریز طبیعی بیشتر سطح زمین نفوذپذیر و به وسیله پوشش گیاهی پوشیده شده، به‌همین جهت مقدار زیادی از بارش از طریق نفوذ در خاک و تبخیر و تعرق از دست می‌رود. اما در یک حوضه آبریز شهری به‌دلیل شهرسازی، سطح نفوذ ناپذیر حوضه افزایش می‌یابد که افزایش حجم رواناب و دبی اوج، فرسایش و کاهش سطح آب زیرزمینی را به دنبال دارد (ناصح‌پور و همکاران، ۲۰۱۹: ۴). در حال حاضر ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی در حوضه‌های شهری ناشی از عدم اطمینان به شرایط اقلیمی مربوط به ارزیابی ریسک در مدیریت رواناب شهری است (والش و همکاران، ۲۰۱۶: ۵) و از طرف دیگر توسعه شهرنشینی در حال حاضر باعث افزایش سطوح نفوذناپذیر و تغییر در سیستم زهکشی طبیعی شده و این تغییرات در ویژگی‌های مورفولوژی مناطق شهری منجر به افزایش دبی اوج و رواناب شهری شده است (لیو و همکاران، ۲۰۱۹: ۷). در دهه اخیر به دلیل بروز مشکلات ناشی از سیلاب شهری، شبیه‌سازی صحیح فرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی شهری و پیش‌بینی احتمال خطر سیلاب شهری برای بهبود طراحی زهکشی و اجرای فعالیت‌های کمک رسانی سریع امری مهم و ضروری و بسیار مورد توجه قرار گرفته و تحقیقات و پژوهش‌هایی نیز در این رابطه انجام شده که از جمله می‌توان به برخی از آن‌ها اشاره نمود.

تجزیه و تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل SWMM نشان می‌دهد که حساس‌ترین پارامترها در رخداد سیلاب مربوط به درصد اراضی نفوذناپذیر و کم‌حساس‌ترین پارامتر مربوط به ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر است. شهبازی و همکاران (۲۰۱۶: ۱۲) در تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر میزان رواناب شهری با استفاده از مدل SWMM بررسی‌ها نشان می‌دهد، که انطباق خوبی بین رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد. رضایی و همکاران^۱ (۲۰۱۷: ۶) در ارزیابی عملکرد شبکه جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی با استفاده از مدل هیدرولیکی-هیدرولوژیکی با استفاده از مدل SWMM نتایج نشان می‌دهد که با وجود ظرفیت کافی کانال که مدل نیز آن را تأیید می‌کند، آبگرفتگی وجود دارد، که دلیل آن هم مربوط به انباشت زباله در این کانال‌هاست. یاراحمدی و همکاران (۲۰۱۹: ۵) در ارزیابی اثرات توسعه شهری بر رواناب با استفاده از مدل SWMM نشان داده شده که افزایش سطوح نفوذناپذیر موجب افزایش مقدار رواناب می‌شود. ناصح پور و همکاران^۱ (۲۰۱۹: ۷) در بهره‌گیری از مدل SWMM در تعیین قابلیت جمع‌آوری و استحصال رواناب شهری نتایج نشان می‌دهد که ضریب رواناب با دوره بازگشت ارتباط مستقیم دارد و بارش‌های بزرگ‌تر، ضریب رواناب بالاتری خواهند داشت. قادری دهکردی و همکاران^۲ (۲۰۱۹: ۸) در بررسی عملکرد سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی و تحلیل حساسیت پارامترهای مؤثر بر آن بررسی‌ها نشان می‌دهد که به ترتیب درصد مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل و ضریب زبری در اراضی نفوذپذیر و نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را بر دبی خروجی دارد. زاهدی‌خامنه و همکاران^۳ (۲۰۲۱: ۹) در ارزیابی کارایی مدل SWMM به‌منظور بررسی گره‌های سیل‌گیر شبکه زهکشی تحت تأثیر تغییر اقلیم تحقیقات محققین نشان می‌دهد که سیستم جمع‌آوری رواناب سطحی گاه‌ها نیاز به بهسازی دارد و اصلاح شیب معابر و ابعاد کانال‌ها برای انتقال رواناب ناشی از سیلاب ضروری است. یاراحمدی و همکاران (۲۰۲۰: ۸) در پهنه‌بندی حساسیت زیرحوضه‌ها نسبت به سیل‌خیزی، نتایج نشان می‌دهد که حساسیت سیلاب در زیرحوضه‌های رودخانه متفاوت می‌باشد و از میان عوامل محیطی مؤثر در مبحث سیل‌خیزی عوامل ارتفاع و تراکم آبراهه تأثیرگذارترین عوامل در خطر رخداد سیلاب می‌باشند. حسین‌زاده و همکاران^۴ (۲۰۲۳: ۹) محققین در شبیه‌سازی رواناب رودخانه با استفاده از مدل WetSpa نشان دادند که مدل در وضعیت و شرایط واقعی مکانی بر اساس ۳ نقشه توپوگرافی، کاربری و نوع خاک قادر به در نظر گرفتن بارش، رطوبت پیشین و فرآیندهای تولید رواناب می‌باشد که باعث می‌شود مدل مقادیر جریان‌های زیاد و روند هیدرولوژیکی عمومی را به خوبی برآورد نماید. شاهدی و همکاران^۵ (۲۰۲۲: ۷) در مقایسه روش‌های تبدیل بارش مؤثر به رواناب سطحی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل حوضه بررسی‌ها نشان می‌دهد که در مجموع روش SCS برای تخمین مولفه‌های هیدروگراف بهتر می‌باشد، چون از پارامترهای مورفومتریک مانند شیب حوضه و شماره منحنی که تابعی از ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی حوضه استفاده می‌کند. اسفندیاری و همکاران^۶ (۲۰۲۲: ۱۱) در حال حاضر ضرورت کاربست روش‌های نوین در مدیریت رواناب‌های شهری با رویکرد افزایش تاب‌آوری در برابر سیلاب شهری بسیار مورد توجه قرار گرفته و تحقیقات در این رابطه نشان می‌دهد که در شاخص مناظر و فضاها بازمعمومی؛ روش ذخیره‌سازی سیلاب و حفاظت از آن و در شاخص منازل و فضاها اختصاصی؛ سیستم تصفیه و بازیافت آب نسبت به سایر روش‌ها به‌عنوان روش‌های مناسب برای اجرا در شهر مناسب می‌باشند. نوری و همکاران^۷ (۲۰۲۳: ۱۰) در تحقیقی که به شبیه‌سازی سیلاب شهری با استفاده از مدل SWMM پرداخته شده، نتایج شبیه‌سازی نشان داد که برای بارندگی با دوره بازگشت یک ساله سیلابی اتفاق نخواهد افتاد. در حالی که برای دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله، سیلاب رخ خواهد داد. جیانگ و همکاران^۸ (۲۰۱۵: ۸) در پژوهشی دیگر اثر شهری شدن بر سیلاب‌های شهر بررسی و نشان داده شده که افزایش رواناب ناشی از توسعه مناطق نفوذناپذیر شهری به‌طور قابل توجهی خطر سیل را افزایش می‌دهد. هانگ و همکاران^۹ (۲۰۱۶: ۶) در بررسی دیگری نیز در رابطه با مدیریت جامع سیلاب شهری نشان داده شده که مدیریت کلی سیلاب شهری می‌تواند منجر به کارایی اقتصادی، پایداری و سازگاری با محیط‌زیست در مقایسه با مدیریت معمولی سیلاب شهری شود. وانگ و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۸: ۸) همچنین در مطالعه شبیه‌سازی و ارزیابی اقدامات تطبیقی با مدل SWMM نتایج بیانگر این است که بین وقایع بارش داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در مدل انطباق خوبی وجود دارد وانگ و همکاران (۲۰۲۰: ۹). در یک بررسی دیگر به

1 . Rezaei et al
2 . Hosseinzadeh et al
3 . Shahedi et al
4 . Esfandiari et al

5 . Nouri et al
6 . Jiang et al
7 . Hong et al
8 . Wang et al

طراحی و پیاده‌سازی یک چاقوب مبتنی بر SWMM برای مدیریت رواناب شهری پرداخته شده و نتایج نشان بیانگر این بوده که مدل می‌تواند محاسبات را در زمان واقعی، به‌طور ثابت، سریع و دقیق ارائه دهد و می‌تواند به‌طور موثر در مدیریت لحظه‌ای رواناب شهری به کار گرفته شود. ژانگ و همکاران^۱ (۲۰۲۰: ۸) در پژوهشی دیگر به بررسی تاثیر مدیریت رواناب در شهرهای کوچک پرداخته شده نشان داده شده که تغییرات کاربری اراضی منجر به تغییرات هیدرولوژیکی در شهر می‌شود و با تغییرات اقلیمی تشدید خواهد شد (براون و همکاران^۲، ۲۰۲۱: ۹).

با توجه به مرور منابع هدف از این پژوهش بررسی وضعیت سیلاب شهری بخشی از شهر همدان در زیرحوضه برون شهری خاگو با استفاده از مدل SWMM به‌منظور ارزیابی و کارایی مدل SWMM در شبیه‌سازی حجم رواناب در گره‌های شبکه زهکشی حوضه‌های کوچک شهری برای پیش‌بینی و تخمین جریان حاصل از بارندگی و تاثیر عوامل مختلف بر رواناب و شبیه‌سازی هیدروگراف جریان شهر همدان است (شکل ۱).

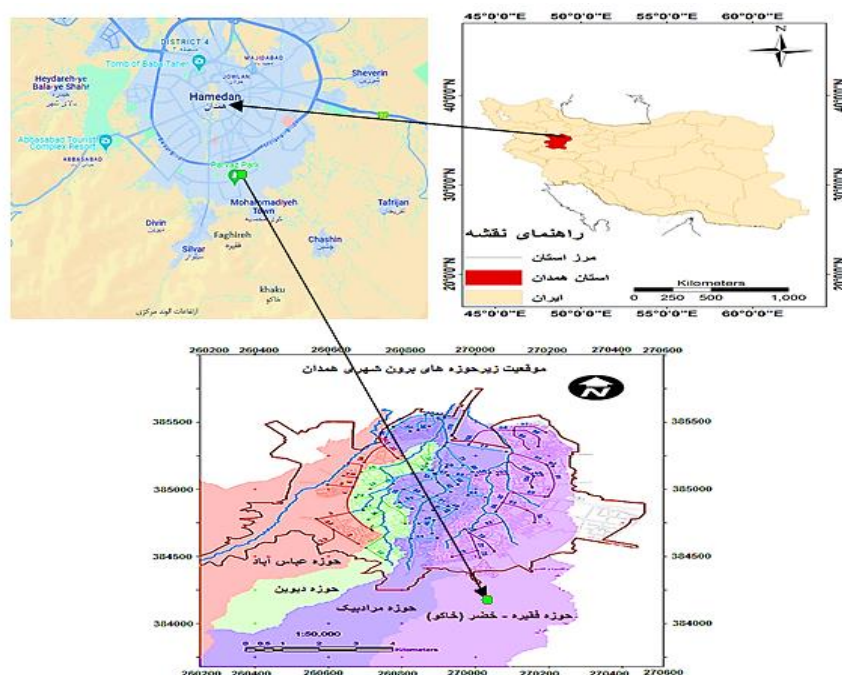


شکل (۱): سیلاب در ابتدای ورودی و گره ابتدای به شهر همدان از زیر حوضه برون شهری خاگو (۱۳۹۴)

Figure (1): Flooding at the beginning of the entrance and junction to the city of Hamedan from under the suburban Khako watershed (2014)

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر همدان، در دامنه کوهستان الوند و در ارتفاع ۱۷۴۰ متری از سطح دریا واقع شده و شامل ۴ زیر حوضه برون‌شهری خاگو، عباس آباد، دره مرادیبک و دیوین می‌باشد، که مهم‌ترین زیرحوضه برون‌شهری آن رودخانه خاگو است که از دو منطقه درون‌شهری مهم خضر و برون‌منطقه‌ای فقیره تشکیل شده است. رودخانه خاگو از ارتفاعات الوند سرچشمه گرفته و از قسمت شرق همدان در مسیر خود از داخل شهر همدان عبور می‌کنند که در این بررسی حوضه خاگو به دلیل تاثیر در تکرار و فراوانی وقوع سیلاب شهری همدان انتخاب و ارزیابی شده است. متوسط بارش منطقه حدود ۳۱۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه منطقه ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد است. همچنین شهر همدان دارای آب و هوای سرد کوهستانی سرد می‌باشد (شکل ۲).



شکل (۲): موقعیت جغرافیایی استان، شهر و حوضه‌های آبریز (فقیره - خضر) شهری همدان

Figure (2): Geographical location of the province, city and watersheds (Faqira-Khider) of Hamedan city

مواد و روش

در این پژوهش کارایی مدل SWMM با استفاده از گره‌های سیل‌گیر شبکه زهکشی در شبیه‌سازی حجم رواناب در حوضه‌های کوچک شهری برای پیش‌بینی و تخمین جریان حاصل از بارندگی ارزیابی شده است. بعلاوه تأثیر عوامل مختلف بر رواناب و هیدروگراف جریان در زیرحوضه برون شهری خاگو همدان که دارای زیرحوضه‌های درون شهری فقیره و برون شهری خضر می‌باشد، واسنجی و ارزیابی شده است.

معرفی مدل

مدل SWMM یک مدل شبیه‌سازی رواناب و پویا می‌باشد، که کمیت و کیفیت رواناب را در مناطق عمدتاً شهری محاسبه می‌کند. از کاربردهای بسیار مهم این مدل که می‌تواند حائز اهمیت باشد محاسبه رواناب برای هر دو شرایط قبل و بعد از توسعه شهری است. همچنین مدل SWMM کمیت و کیفیت رواناب تولید شده در هر زیرحوضه را اعم از سرعت جریان، عمق جریان و کیفیت جریان در هر کانال در طی یک دوره را در چند مرحله زمانی به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. با توجه به اهداف تحقیق، در این مدل رواناب سطحی هر زیرحوضه مانند یک مخزن عمل کرده و محاسبه می‌شود. جریان ورودی در این مدل شامل نزولات جوی و ذوب برف و جریان خروجی شامل تبخیر، نفوذ و رواناب سطحی خروجی (Q) می‌باشد. رواناب (Q) هنگامی اتفاق می‌افتد که عمق آب در مخزن بیشتر از تلفات چالاب (dp) باشد که در این مدل مقدار آن توسط معادله مانینگ تعیین و عمق آب در سطح زیرحوضه نیز به‌طور پیوسته توسط حل عددی و معادله بیلان آب محاسبه می‌گردد. مدل ریاضی SWMM از معادلات نفوذ استفاده نموده و جهت تعیین میزان CN عدد منحنی نفوذ در این مدل از معادله نفوذ هورتن گرین آمپت استفاده می‌شود. پارامترهای معادله نفوذ هورتن نیز با استفاده از اطلاعات نفوذپذیری SWMM و خاک منطقه و جداول مربوط از راهنمای نرم‌افزار تعیین می‌گردد. در این مدل 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 کنیما تیک و موج دینامیک را مورد استفاده قرار می‌دهد.

مفهوم مخزن غیر خطی

یک مخزن خطی به منبعی اطلاق می‌گردد که میزان حجم و ذخیره آب در آن با دبی خروجی از مخزن رابطه خطی داشته باشد به این معنی که:

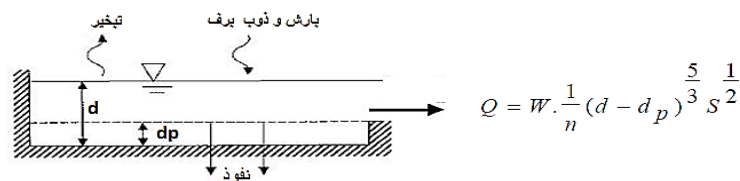
$$S = KQ \quad (1)$$

در رابطه فوق:

S: مخزن ذخیره با حجم نگهداشت m^3 ، Q: دبی (متر مکعب بر ثانیه) خروجی از مخزن، K: مقدار ثابت از بعد زمان

چنانچه نسبت میزان حجم آب ذخیره شده در یک مخزن در طول زمان مشخص، به میزان جریان خروجی از آن مقدار ثابتی نباشد به آن مخزن غیر خطی اطلاق می‌گردد. در مدل SWMM، هر زیرحوضه آبریز شهری به شکل یک مخزن غیرخطی به صورت شکل ۳ فرض می‌شود که در این روش عمق و میزان تبخیر و نفوذ محاسبه می‌گردد. منظور از چالاب، گودال‌هایی در سطح زیرحوضه یا مخزن است که رواناب در آن محصور می‌گردد و لذا عملاً از میزان رواناب جاری در زیرحوضه کسر می‌گردد. لذا کلیه پارامترهای ممکن مانند ذوب برف، بارندگی (به صورت مقدار بارش یا شدت مدت)، داده‌های تبخیر، اطلاعات زهکش‌ها یا کانال‌ها و اطلاعات زیرحوضه‌ها به طور کامل در مدل SWMM دریافت و پس از اعمال بر روی مدل مخزن غیرخطی، دبی زیرحوضه‌ها به صورت هیدروگراف واحد استخراج و در نهایت هیدروگراف با روش موج سینماتیک تا انتها یعنی محل خروج دبی از زیرحوضه، روندیابی می‌شود.

(۲)



شکل (۳): مدل مفهومی انجام محاسبات رواناب سطحی توسط بلوک رواناب از مدل SWMM

Figure (3): Conceptual model of performing surface runoff calculations by runoff block from SWMM model

در این رابطه (S) شیب زیرحوضه بر حسب متر که فرض می‌شود برابر با شیب اصطکاکی یا انرژتی باشد، (W) عرض جریان بر روی زیرحوضه یا عرض جریان سطح الارضی بر حسب متر (d)، عمق آب روی زیرحوضه بر حسب متر dp، عمق حداکثر ذخیره چالابی بر حسب متر است.

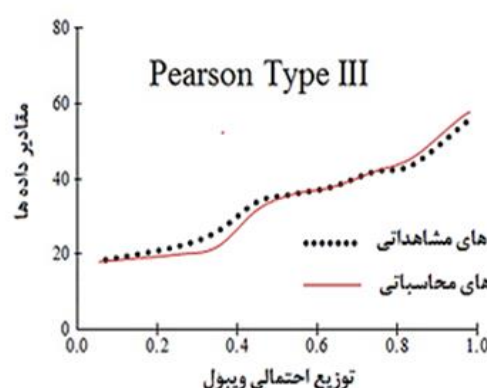
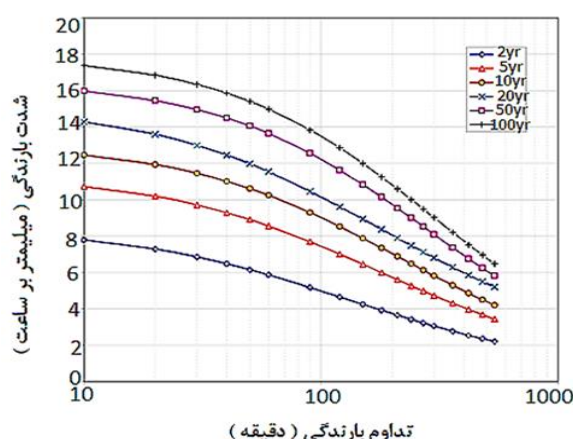
تفکیک زیرحوضه‌ها و استخراج پارامترها

جهت تفکیک گره‌ها و تحلیل مسیرهای حرکت جریان درحوضه خاکو همدان از مدل رقومی DEM و با استفاده از توابع تحلیلی در نرم‌افزار GIS استفاده و حوضه مورد مطالعه به ۲۴ زیرحوضه (S) ۲۴ کانال (J) و ۹ آبراهه انتقالی و یک خروجی جهت ورود به مدل SWMM تفکیک و بررسی شد. در ابتدا پارامترهای عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی، ضریب زبری مناطق در بازه تغییرات دامنه مجاز، تلفات بارش و هیدرولیک جریان، در حوضه با جمع‌آوری جریان‌های سطحی، رواناب درون مجاری مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور شبیه‌سازی دقیق جریان سطحی در بالاترین حد ممکن، مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر با روش میانمایی وزنی فاصله برای منطقه با استفاده از نرم‌افزار (ArcGIS 21.9) مطالعه و استخراج شد. نقاط ارتفاعی و خطوط کنترل محدوده شهری همدان با استفاده از نقشه‌های شهری موجود در شهرداری همدان با مقیاس ۱:۲۰۰۰ و همچنین نقاط برداشتی از CAD نقشه عملیات نقشه‌برداری زمینی شامل رقوم کف کانال‌ها، سطح مقطع خیابان‌ها و لبه جداول، رقوم سطح پیاده‌روها و موقعیت منهول‌ها استخراج و وارد مدل شد.

برای محاسبه پارامترهای مورد نیاز مدل، نقشه‌های کاربری اراضی، نقاط ارتفاعی با دقت پنج متر و با استفاده از DEM ArcMap منطقه استخراج و تهیه شد. سپس پارامترهای مورد نیاز مدل شامل مساحت، درصد مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر شیب و طبقات ارتفاعی با استفاده از نقشه کاربری اراضی، DEM منطقه و بازدهی‌های میدانی محاسبه شدند. با توجه به راهنمای مدل، برای محاسبه عرض معادل از عرض مستطیل معادل استفاده شد. شایان ذکر است که مطابق با مطالعات مرحله اول جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی شهر همدان برای محاسبه مشخصات زیرحوضه‌ها، زمان تمرکز در حوضه‌های درون‌شهری فقیر به روش کریپچ (با احتساب ضریب ۰/۴) و در حوضه برون‌شهری خضر ضریب رواناب با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی (بر اساس مقادیر شماره منحنی) بدست آمد.

وارد نمودن مشخصات ایستگاه باران سنجی

از آن جایی که حوضه‌های آبریز شهری اغلب کوچک هستند و از نظر اندازه از چند هکتار تا چند صد هکتار تغییر می‌کنند؛ لذا فرض می‌گردد که بارش بر روی حوضه آبریز شهری با این اندازه از طریق یک بارش نقطه‌ای بیان می‌گردد. به این منظور در این تحقیق از آمار بارش ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان استفاده شد. با توجه به اینکه حوضه آبریز مطالعاتی از نوع غیرطبیعی (توسعه یافته شهری) بوده و فاقد رویداد سیل مشاهده‌ای است، لذا از آمار بارش، هایتوگراف دو رویداد بارش منفرد استفاده و به مدل SWMM تعریف گردید. لذا منحنی شدت-مدت-فراوانی برای شهر همدان و نواحی اطراف آن، بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان تهیه گردید (اشکال ۴ و ۵).



شکل (۴): نمودار توزیع پیرسون تیپ ۳ جهت برآورد بارش طرح

شکل (۵): منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش

Figure (4): Pearson type 3 distribution chart to estimate project precipitation
Figure (5): Intensity-duration-frequency curves of precipitation

تحلیل رویدادها با دوره بازگشت‌های مختلف

از آن جایی که حوضه‌های شهری کوچک و فاقد ایستگاه‌های سنجش بارش و رواناب می‌باشند؛ لذا به منظور افزایش دقت ارزیابی و بررسی شدت و حجم رواناب بارش طرح، رگبار ۲۴ ساعته با دوره بازگشت‌های مختلف برای شبیه‌سازی سیل مدنظر قرار گرفت. در این رابطه برای تعیین مقدار بارش طرح، ابتدا مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته در هر سال از آمار ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان استخراج و سپس با انتقال داده‌ها به نرم‌افزار SMADA، بهترین توزیع آماری برای تعیین مقادیر بارش ۲۴ ساعته در دوره بازگشت‌های مختلف انتخاب شد، که پس از بررسی داده‌های خروجی، توزیع پیرسون تیپ ۳ مناسب‌ترین توزیع آماری انتخاب و استفاده شد. سپس بر اساس توزیع آماری مذکور و الگوی زمانی بارش مستخرج از منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی، اطلاعات بارش طرح تهیه شد که در جدول ۱ آمده است. در این بررسی مقدار تجمعی بارش انتخاب والگوی زمانی بارش بر اساس ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان در فواصل زمانی سه ساعته بر حسب درونیابی تعریف شد. بعلاوه واحد بارش بر حسب سیستم متریک برابر میلی‌متر تعریف شد. همچنین مقادیر بارش

رگبارهای منفرد و نیز مقدار بارش طرح (بارش ۱۲ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال) در نهایت پس از تعریف و تعیین مقادیر و پارامترهای مدل بارش- رواناب در نرم‌افزار SWMM شبیه‌سازی شد.

جدول (۱): مقدار و الگوی زمانی بارش طرح محدوده مطالعاتی

Table (1): The amount and temporal pattern of precipitation in the study area

الگوی زمانی (میلی‌متر)				مقدار بارش (میلی‌متر)	دوره بازگشت (سال)
چارک اول	چارک دوم	چارک سوم	چارک چهارم		
۸/۴	۱۱/۸	۱۶/۴	۲۱/۷	۵۸.۳	۲
۱۱/۷	۱۶/۵	۲۲/۹	۳۰/۳	۸۱.۴	۵
۱۴	۱۹/۸	۲۷/۵	۳۶/۴	۹۷.۷	۱۰
۱۶/۱	۲۲/۶	۳۱/۵	۴۱/۷	۱۱۱.۹	۲۰
۱۹/۷	۲۷/۷	۳۸/۵	۵۱	۱۳۶.۹	۵۰
۲۲/۳	۳۱/۴	۴۳/۷	۵۷/۸	۱۵۵.۳	۱۰۰

مدل هیدروگراف سیل

رواناب اراضی شهری برابر است با میزان کل بارندگی منهای قسمتی از باران که در داخل گودی‌ها و ناهمواری‌های سطوح ذخیره شده یا به داخل زمین نفوذ می‌کند. لذا رواناب، پیش از جاری شدن روی سطوح و حرکت از نقطه‌ای به نقطه دیگر موقتاً روی سطوح مربوط ذخیره می‌شود. در این بررسی میزان رواناب از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$R = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{P + 0.8 * S} \quad (3)$$

R: رواناب ناشی از بارش (میلی‌متر)، P: مقدار بارندگی با تداوم و دوره بازگشت مورد نظر (میلی‌متر)، این مقدار از روی منحنی توزیع زمانی بارش بدست می‌آید، S: میزان جذب آب حوضه یا تلفات برحسب میلی‌متر که به شرح زیر محاسبه می‌گردد. CN: شماره منحنی رواناب حوضه که با توجه به جنس خاک، نوع کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی برای شرایط رطوبتی متوسط استخراج می‌شود.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

گروه خاک که بر مبنای تقسیم‌بندی سازمان حفاظت خاک آمریکا می‌باشد، خاک‌ها را به چهار گروه A، B، C و D مبتنی بر مینی‌مم شدت نفوذپذیری خاک لخت که کاملاً خیس بررسی و حداکثر آبدهی لحظه‌ای هیدروگراف واحد از رابطه زیر قابل محاسبه است.

q_p : حداکثر آبدهی لحظه‌ای هیدروگراف واحد (m^3/sec)، A: مساحت حوضه (km^2)، R: میزان رواناب (mm)، t_p : زمان اوج‌گیری سیلاب. معمولاً این زمان را برابر هفتاد درصد زمان تمرکز حوضه در نظر می‌گیرند.

$$q_p = \frac{0.208A * R}{t_p} \quad (5)$$

$$t_p = 0.7t_c$$

واسنجی مدل SWMM

برای واسنجی مدل SWMM، شش پارامتر مهم شامل، عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر، مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر استفاده شد. به منظور ارزیابی مدل در شرایط قبل و بعد از واسنجی نیز از ضریب کارایی مدل (ناش - ساتکلیف) مطابق رابطه زیر استفاده شده است: که P مقدار برآوردی، O مقدار مشاهده‌ای، n تعداد داده‌ها و Av متوسط مقادیر مشاهده‌ای است.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P-O)^2}{\sum_{i=1}^n (O-Av)^2} \quad (6)$$

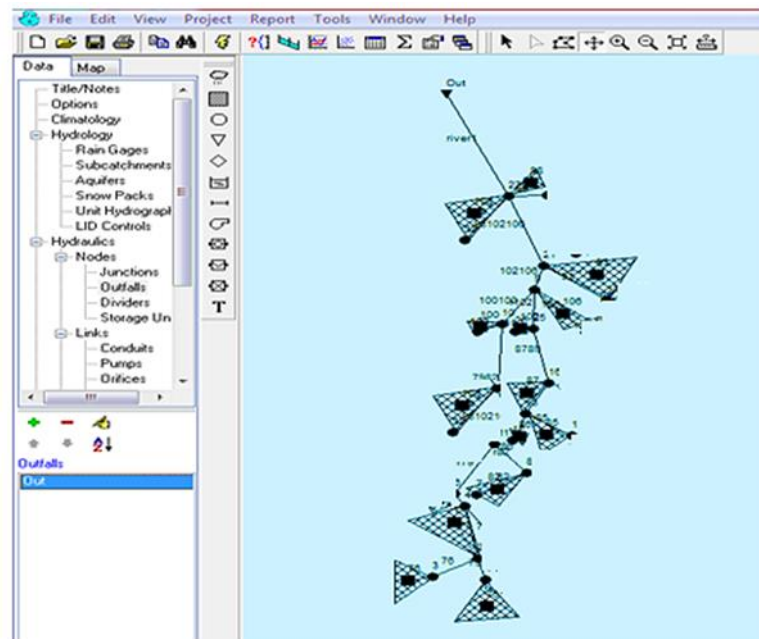
نتایج

در این بررسی قالب مدل SWMM برای محدوده مطالعاتی حوضه خاکو همدان به صورت جدول ۲ تعریف و مدل‌سازی بارش - رواناب به روش مخزن غیرخطی، بر اساس روش نفوذ شماره منحنی و روندیابی موج سینماتیک انجام شده است.

جدول (۲): قالب مدل SWMM برای محدوده مطالعاتی
Table (2): SWMM model template for the study area

واحد جریان	فرایندهای	بارش - رواناب	ذوب برف	آب زیرزمینی	روندیابی جریان	کیفیت جریان	روش نفوذ	روش روندیابی
مترمکعب بر ثانیه	مدل سازی	*	----	----	*	----	شماره منحنی	موج سینماتیک

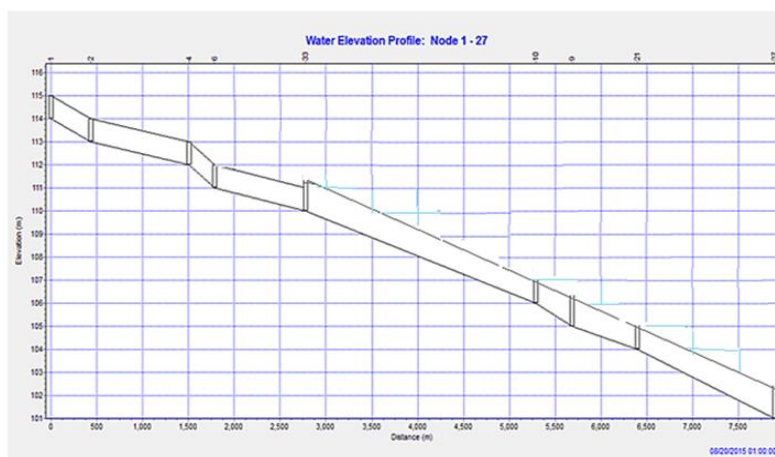
بر این اساس ابتدا موقعیت زیرحوضه‌ها، کانال‌ها و گره‌های اتصالاتی تعیین و مشخص شد. شکل ۶ موقعیت زیرحوضه‌ها، کانال‌ها و گره‌های اتصالاتی در زیرحوضه خاکو همدان در مدل SWMM در محدوده مطالعاتی را ارائه می‌دهد. بر این اساس، تعداد ۲۴ زیرحوضه یا واحد هیدرولوژیک شهری تشکیل و تفکیک شد که مساحت آن‌ها از ۵/۴ تا ۳۵۸/۶ هکتار متغیر است. همچنین عرض واحد هیدرولوژیک با توجه به داده‌های موجود و بررسی میدانی و گاه‌ها متر کشی و بررسی شرایط آبریزهای شهری همدان به طور متوسط برابر ۵۰۰ متر در نظر گرفته شده است. بررسی به عمل آمده حاصل از آزمایشات میدانی و داده‌های موجود در طرح جمع‌آوری آبگرفتگی شهر همدان، متوسط سطح نفوذپذیر محدوده مطالعاتی نیز ۶۶ درصد و درصد شیب متوسط واحدها نیز ۰/۵ درصد محاسبه و در نظر گرفته شد. بر اساس بررسی‌های میدانی مشخص شد که بعضی از واحدهای هیدرولوژیک دارای گره خروجی مشترک می‌باشند. مانند، واحدهای هیدرولوژیک ۸۷ و ۸۹ و هر دو به گره خروجی شماره ۱۶ منتهی می‌شوند، که در ورودی مدل مورد توجه قرار گرفت. طبق نتایج، کوچک‌ترین واحدهای هیدرولوژیک ۵/۴ هکتار مربوط به زیرحوضه کد ۸۶ و بزرگترین واحد هیدرولوژیک ۳۵۸/۶ هکتار مربوط به زیرحوضه کد ۷۹ می‌باشد. همچنین کمترین سطح نفوذناپذیر با ۶۲ درصد مربوط به زیرحوضه کد ۱۰۲ و بیشترین سطح نفوذناپذیر با ۷۱ درصد مربوط به زیرحوضه‌های کد ۸۲ و ۸۴ می‌باشد.



شکل (۶): موقعیت زیرحوضه ها، کانال ها و گره های ارتباطی در زیر حوضه خاکو همدان

Figure (6): Location of sub-basins, Channels and connecting nodes under Khako Hamedan basin

پس از تعیین و ترسیم واحدهای هیدرولوژیکی، مشخصات زیرحوضه‌ها برای هر زیرحوضه در مدل SWMM تعریف گردید. طبق بررسی‌های انجام شده از مشخصات گره‌ها، تعداد ۳۳ گره و یک خروجی برای مدل منطقه مطالعاتی تعریف شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ارتفاع فرضی گره‌ها از ۱۰۰ تا ۱۰۴ متر با توجه به شیب کانال‌ها و زیرحوضه‌ها تغییر می‌کند. در بیشتر گره‌ها عمق حداکثر برابر یک متر می‌باشد، که با توجه به بازدیدهای میدانی در گره‌های ۹، ۱۰، ۲۱، ۲۷، ۳۳ و خروجی، حداکثر عمق برابر دو متر لحاظ شده است و فاقد مقدار عمق اولیه آب و سطح ماندابی می‌باشند. در مرحله بعد با توجه به نقشه شبکه زهکشی، مشخصات گره‌ها (محل تقاطع جریان) در مدل SWMM تعریف شد. بعلاوه در مدل، حداکثر عمق محل تقاطع برابر یک متر فرض شد و از مقدار عمق اولیه آب و سطح ماندابی به دلیل بی‌تاثیر بودن در شبیه‌سازی سیلاب صرف نظر گردید. در این تحقیق از روش موج سینماتیک برای روندیابی جریان در داخل کانال‌ها استفاده شد. همچنین شکل هندسی آبگذر مستطیل باز^{۲۱} انتخاب گردید، که نمایانگر شکل و وضعیت هیدرولیک جوی آب‌ها محدوده شهری همدان می‌باشند. همچنین طبق بررسی‌های میدانی جنس کلیه کانال‌ها، بتنی در نظر گرفته شد و برای لحاظ نمودن اثرات فرسایش‌های احتمالی آبی بر روی اصطکاک جداره‌های کانال‌ها، ضریب زبری مانینگ مابین ضریب مربوط به کانال‌های بتنی نو و قدیمی (برابر ۰/۱۵) لحاظ گردید. نتایج بررسی نشان می‌دهد که در کانال‌های مذکور با توجه به رابطه دبی (سطح مقطع در سرعت جریان)، مقادیر حداکثر دبی عبوری از ۱ تا ۶ مترمربع در تغییر است. براساس اندازه‌گیری میدانی از کانال‌ها شعاع هیدرولیکی بیشتر کانال‌ها نیز برابر ۰/۳۳ متر است. طبق نتایج، پتانسیل جریان حداکثر مربوط به کانال کد ۱۰۰۱۰۰ با ظرفیت ۲۷/۰۷ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. همچنین به دلیل ذخیره جریان در مسیر رودخانه، پتانسیل جریان حداکثر در کانال خروجی برابر ۱۲/۸۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. شکل ۷ پروفیل ارتفاعی مسیر جریان را نشان می‌دهد و مشاهده می‌شود، که در واحدهای هیدرولوژیک بالادست، ارتفاع فرضی کانال با توجه به شیب منطقه برابر ۱۱۵ متر و در خروجی منطقه این ارتفاع به ۱۰ متر کاهش یافته است، که اختلاف ارتفاع قابل توجهی است.



شکل (۷): پروفیل ارتفاعی مسیر جریان رودخانه خاکو همدان
Figure (7): Elevation profile of Khako river flow path in Hamadan

در این تحقیق از روش موج سینماتیک برای روندیابی جریان در داخل کانال‌ها استفاده شد. نتایج حاصل از مدل در روندیابی جریان داخل کانال‌ها نشان می‌دهد، که تعداد ۳۳ کانال در محدوده تحقیق شکل گرفته که گرہ‌ها را به یکدیگر متصل می‌کند. حداقل طول برابر ۲۴۲ متر مربوط به کانال شماره ۱۰۵ و حداکثر نیز برابر ۲۵۱۳ متر مربوط به کانال شماره ۷۹۸۲ است؛ در حالی که بیشترین شیب در کانال شماره ۱۰۵ برابر ۰/۴ درصد است، حداقل درصد شیب در کانال منتهی به خروجی است که برابر ۰/۰۵ درصد می‌باشد.

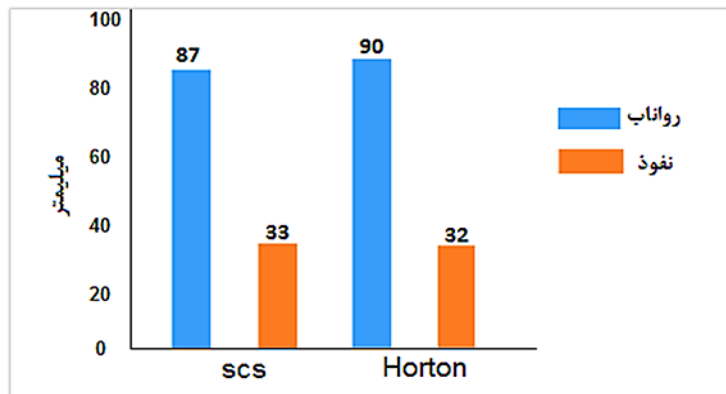
نتایج واسنجی مدل SWMM

در این پژوهش پارامترهای عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی، ضریب زبری مناطق در بازه تغییرات دامنه مجاز به منظور واسنجی ارزیابی شدند (جدول ۳). بعلاوه با توجه به اینکه سیلاب مشاهده‌ای مختص پهنه‌های آبرگیر محدوده مطالعاتی است و در دسترس نبود، بنابراین بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال معادل ۱۲۰ میلی‌متر در ایستگاه سینوپتیک همدان (که دارای بیشترین تکرار و فراوانی و تاثیر در وقوع سیلاب را دارد) برای واسنجی مدل انتخاب شد. جدول ۳ مقادیر اولیه و پارامترهای مهم برای واسنجی مدل SWMM را نشان می‌دهد. بر اساس واسنجی مدل در جدول ۳، عرض معادل در مدل بهینه تغییر نداشت، متوسط درصد مناطق نفوذناپذیر منطقه مطالعاتی با دو درصد افزایش از ۶۰ به ۶۲ درصد افزایش و ذخیره چالابی سطوح نفوذپذیر نیز از ۵/۰۸ به ۴/۸۱ میلی‌متر کاهش یافت. در حالی که برای سطوح نفوذناپذیر این مقدار از ۱/۲۷ به ۱/۳۳ میلی‌متر افزایش پیدا کرده است. همچنین ضریب زبری سطوح نفوذ پذیر تغییری نداشت؛ ولی برای ضریب نفوذناپذیر این مقدار از ۰/۰۱ به ۰/۱۳ افزایش پیدا کرده است. بر این اساس و داده‌های محاسباتی و با لحاظ کردن تغییرات فوق، مدل بهینه شده SWMM برای منطقه مطالعاتی آماده شد. در مرحله بعد با روش‌های مختلف نفوذ که در مدل SWMM تعریف شده‌اند، مقدار نفوذ برآورد شد تا مقایسه‌ای بین روش‌ها انجام شود. مطابق با روش انجام تحقیق، برای برآورد حجم رواناب از روش نفوذ SCS استفاده شد. یک روش معمول دیگر در مدل SWMM عبارت است از روش هورتون که بر اساس مشاهدات تجربی تغییرات نفوذ را به صورت نمایی نشان می‌دهد. پارامترهای ورودی مورد نیاز با این روش شامل حداکثر و حداقل سرعت نفوذ، ضریب کاهش سرعت نفوذ و تعداد روزهای لازم برای خشک شدن خاک اشباع می‌باشد. بر این اساس حداکثر و حداقل سرعت نفوذ به ترتیب برابر ۷۶/۲ و ۱۲/۷ میلی‌متر در ساعت و ضریب کاهش سرعت نفوذ نیز برابر ۴ در نظر گرفته شده است. همچنین تعداد روزهای لازم برای خشک شدن خاک اشباع با توجه به اقلیم منطقه برابر ۷ روز فرض شده است. شکل ۸ مقادیر نفوذ و ارتفاع رواناب را برای بارش طرح زیرحوضه خاکو شهر همدان نشان می‌دهد. سپس بر اساس داده‌های محاسباتی هیدروگراف سیل قبل و بعد از واسنجی برای بارش طرح زیرحوضه خاکو شهر همدان تهیه و مقادیر ضریب کارایی مدل با شاخص (ناش-ساتکلیف) محاسبه شد (شکل ۹).

جدول (۳): مقادیر اولیه و پارامترهای مهم برای واسنجی مدل SWMM

Table (3): Initial values and important parameters for calibration of SWMM model

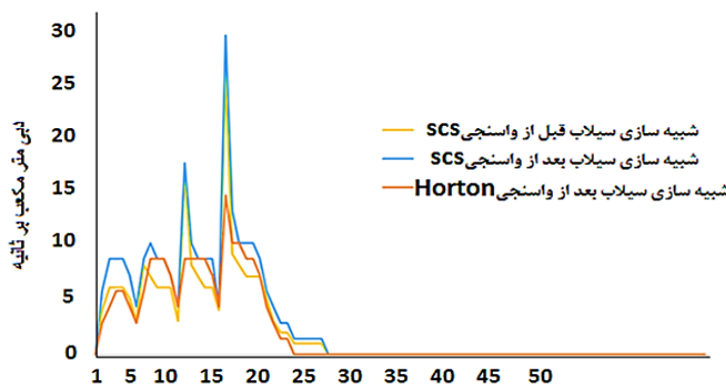
پارامتر	مقادیر اولیه	مقیاس تغییرات	مقادیر بهینه
عرض معادل	۵۰۰ متر	۳۰ درصد	-
درصد مناطق نفوذناپذیر	۶۰ درصد	۳۰ درصد	۶۲
ذخیره چالابی سطوح نفوذ پذیر	۵/۰۸ میلی متر	۳۰ درصد	۴/۸۱
ذخیره چالابی سطوح نفوذ ناپذیر	۱/۲۷ میلی متر	۳۰ درصد	۱/۳۳
ضریب زبری سطوح نفوذ پذیر	۰/۱	۰/۰-۰۲/۸	۰/۱
ضریب زبری سطوح نفوذناپذیر	۰/۰۱	۰/۰-۰۱/۰۳۳	۰/۰۱۳



شکل (۸): مقادیر نفوذ و ارتفاع رواناب بارش طرح

Figure (8): Infiltration values and height of rainfall runoff of the design

نتایج نشان می‌دهد ضریب کارایی مدل در مورد سیل واسنجی با مدل SCS عملکرد بهتری دارد؛ چراکه مقادیر NS نزدیک‌تر به عدد یک هستند. لذا این حالت از مدل برای شبیه‌سازی در ادامه پژوهش استفاده می‌شود. شکل ۹ نیز نشان می‌دهد، هیدروگراف سیل قبل و بعد از واسنجی برای مدل SCS تطابق بهتری با حالت قبل از واسنجی نسبت به مدل هورتون دارد. بر اساس بررسی جدول ۴ و مشخصات رواناب بارش طرح مشاهده می‌شود از کل بارش ۱۲۰ میلی‌متری، مقدار ۳۳ میلی‌متر مربوط به تلفات نفوذ و مقدار ۸۷ میلی‌متر مربوط به رواناب سطحی است (جدول ۵). همچنین حجم جریان معادل ۲/۴۱ میلیون مترمکعب است که ۱/۹۸ میلیون مترمکعب مربوط به جریان درون منطقه‌ای حوضه فقیره و ۰/۴۳ میلیون مترمکعب مربوط به جریان برون منطقه‌ای خضر است. نتایج نشان می‌دهد که ضریب کارایی مدل NS برای دبی اوج با مقدار ۰/۶۶ و برای حجم سیلاب با مقدار ۰/۷۳ اعداد قابل قبولی است.



شکل (۹): هیدروگراف سیل قبل و بعد از واسنجی

Figure (9): Flood hydrograph before and after recalibration

جدول (۴): ضریب کارایی مدل برای ارزیابی مدل واسنجی شده SWMM
Table (4): Model efficiency coefficient for evaluating the recalibrated SWMM model

ضریب کارایی مدل NS		نوع رویداد
حجم سیل	دبی اوج	
۰/۷۳	۰/۶۶	سیل پیش‌بینی شده بعد از واسنجی با مدل SCS
۰/۰۲۱	-۰/۱۱	سیل پیش‌بینی شده بعد از واسنجی با مدل هورتون

جدول (۵): مشخصات رواناب بارش طرح
Table (5): Project rainfall runoff specifications

کل بارش	تلفات نفوذ	رواناب سطحی	حجم جریان منطقه‌ای	حجم جریان برون منطقه‌ای
۱۲۰ میلی‌متر	۳۳ میلی‌متر	۸۷ میلی‌متر	۲/۴۱ میلیون مترمکعب	۱/۹۸ میلیون مترمکعب
			۰/۴۳ میلیون مترمکعب	

بررسی مشخصات رواناب زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین ارتفاع نفوذ به ترتیب در زیرحوضه‌های ۸۴ و ۹۸ با ۲۰/۷۷ و ۳۸/۳۴ و کمترین و بیشترین ارتفاع رواناب به ترتیب در زیرحوضه‌های ۹۸ و ۸۴ با ۸۳/۴۶ و ۱۰۲/۲۲ میلی‌متر است. بیشترین حجم رواناب مربوط به زیرحوضه کد ۷۹ با ۳۰۶ هزار مترمکعب است، که دبی اوج آن معادل ۲۷ مترمکعب در ثانیه است. همچنین کمترین حجم رواناب مربوط به زیرحوضه کد ۸۶ با ۵/۴ هزار مترمکعب است، که دبی اوج آن معادل ۰/۵۹ مترمکعب در ثانیه است. طبق نتایج، بیشترین عمق رواناب مربوط به گره خروجی با ۰/۳۳ و کمترین عمق رواناب مربوط به گره کد ۱۲ با ۰/۰۲ متر است. همچنین در ۱۳ گره نیز عمق رواناب ناچیز و در حد صفر بود که اکثر این گره‌ها در زیرحوضه برون شهری خضر قرار دارند. جدول ۶ نتایج بررسی نشان می‌دهد که کمترین مقادیر ارتفاع رواناب، کمترین حجم رواناب و کمترین عمق رواناب مربوط به گره‌های زیرحوضه برون شهری خضر است و نشان می‌دهد که این زیرحوضه تأثیر کمتری نسبت به زیرحوضه فقیره در رخداد سیلاب شهری همدان دارد. طبق نتایج، بیشترین حجم رواناب مربوط به گره ۲۷ با حجم جریان کل ۹۲۷/۱ در زیر حوضه فقیره و کمترین مربوط به گره کد ۱۲ با ۵/۳۷۷ مترمکعب در ثانیه مربوطه به زیرحوضه خضر است.

جدول (۶): مشخصات عمق و حجم رواناب در محل گره‌ها
Table (6): Specifications of the depth and volume of runoff at the location of nodes

گره	عمق متوسط جریان (m)	عمق حداکثر جریان (m)	زمان رخداد دبی اوج	جریان حداکثر جانبی m ³ /sec	جریان حداکثر کل m ³ /sec	حجم جریان جانبی m ³ /sec	حجم جریان کل m ³ /sec
۱	۰/۱۱	۱	۰۱:۴۹	۱۴/۷۲۶	۱۴/۷۲۶	۱۴۵/۸۹۸	۱۴۵/۸۹۸
۲	۰/۱۹	۱	۰۱:۱۵	۲۲/۳۳۷	۲۶/۳۶۸	۴۱/۹۲۱	۳۱۵/۳۵۴
۳	۰/۰۷	۱	۰۲:۳۴	۴/۵۶۳	۴/۵۶۳	۴۱/۹۲۱	۴۱/۹۲۱
۴	۰/۱۹	۱	۰۱:۲۴	۰	۲/۸۰۱	۰	۸۳/۴۹
۵	۰/۰۸	۱	۰۱:۴۶	۶/۵۳۱	۶/۵۳۱	۶۰/۹۲۷	۶۰/۹۲۷
۶	۰/۱۹	۱	۰۱:۳۵	۲۷/۹۶۸	۳۰/۷۶۸	۳۰۶/۴۰۲	۳۸۹/۸۹۲
۷	۰	۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۸	۰/۰۹	۱	۰۲:۰۲	۸/۹۲۶	۸/۹۲۶	۸۵/۲۴۳	۸۵/۲۴۳

۴۸۶/۸۳۵	۱۲۹/۳۱۹	۲۹/۳۵۱	۱۳/۱۹۷	۰.۳:۱۲	۲	۰/۲۳	۹
۲۲۱/۸۸۳	۲۸/۶۷۲	۹/۳۸۴	۳/۱۵۳	۰.۵:۰۰	۰/۹۱	۰/۱۴	۱۰
.	.	.	.	۰۰:۰۰	.	.	۱۱
۵/۳۷۷	۵/۳۷۷	۰/۵۹۱	۰/۵۹۱	۰.۵:۰۰	۰/۳۹	۰/۰۲	۱۲
۱۴۸/۱۱۳	۱۱۷/۲۹۳	۱۴/۳۲۶	۱۲/۰۵۲	۰.۱:۳۰	۱	۰/۱۱	۱۳
۳۵/۵۷۱	۳۵/۵۷۱	۳/۸۳۶	۳/۸۳۶	۰.۲:۲۳	۱	۰/۰۷	۱۴
.	.	.	.	۰۰:۰۰	.	.	۱۵
۲۳۴/۱۵۸	۱۹۳/۷۵۷	۲۱/۵۷	۱۹/۸۵۶	۰.۱:۳۲	۱	۰/۱۲	۱۶
.	.	.	.	۰۰:۰۰	.	.	۱۷
.	.	.	.	۰۰:۰۰	.	.	۱۸
۱۸۸/۷۶۸	۱۸۸/۷۶۸	۱۹/۶۱۵	۱۹/۶۱۵	۰.۱:۱۹	۱	۰/۱۲	۱۹
.	.	.	.	۰۰:۰۰	.	.	۲۰
۶۶۱/۴۴۶	۱۷۷/۵۶۳	۳۹/۲۵۲	۱۷/۵۶۱	۰.۲:۳۴	۲	۰/۲۴	۲۱
.	.	.	.	۰۰:۰۰	.	.	۲۲
۷۴/۵۸۳	۷۴/۵۸۳	۸/۱۰۱	۸/۱۰۱	۰.۱:۳۷	۱	۰/۰۸	۲۳
.	.	.	.	۰۰:۰۰	.	.	۲۴
۱۱۰/۰۶۲	۱۸/۹۳۷	۵/۸	۲/۱۱۶	۰.۱:۴۰	۱	۰/۱۲	۲۵
.	.	.	.	۰۰:۰۰	.	.	۲۶
۹۲۷/۱۰۲	۳۱۵/۱۲۸	۵۶/۹۷	۳۰/۷۳۵	۰.۱:۴۰	۲	۰/۳۳	۲۷
۲۵۱/۴۶۹	۲۵۱/۴۶۹	۲۶/۲۶۱	۲۶/۲۶۱	۰.۱:۲۰	۱	۰/۱۲	۲۸
.	.	.	.	۰۰:۰۰	.	.	۲۹
.	.	.	.	۰۰:۰۰	.	.	۳۰
.	.	.	.	۰۰:۰۰	.	.	۳۱
.	.	.	.	۰۰:۰۰	.	.	۳۲
۱۹۲/۶۷۳	.	۶/۲۳۱	.	۰.۱:۴۰	۱	۰/۱۹	۳۳
۴۲۹/۶۷۳	.	۱۲/۸۲۴	.	۰.۱:۴۸	۲	۰/۳۳	Out

مقادیر رواناب و تلفات حوضه خاگو

بررسی مقادیر رواناب و تلفات حوضه برای بارش دوره بازگشت‌های مختلف در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد که در کمترین بارش با دوره بازگشت ۲ سال با ۵۸/۳ میلیمتر بارش ۱/۸ میلیون مترمکعب و در بیشترین بارش با دوره بازگشت ۱۰۰ سال با ۱۵۵/۳ میلی‌متر بارش، ۳/۱ میلیون مترمکعب دبی خروجی منطقه تحقیق را شامل می‌شود (جدول ۷).

جدول (۷): مقادیر ارتفاع بارش، رواناب و تلفات نفوذ بارش دوره بازگشت‌های مختلف

Table (7): Precipitation height values, Runoff and rainfall infiltration losses of different return periods

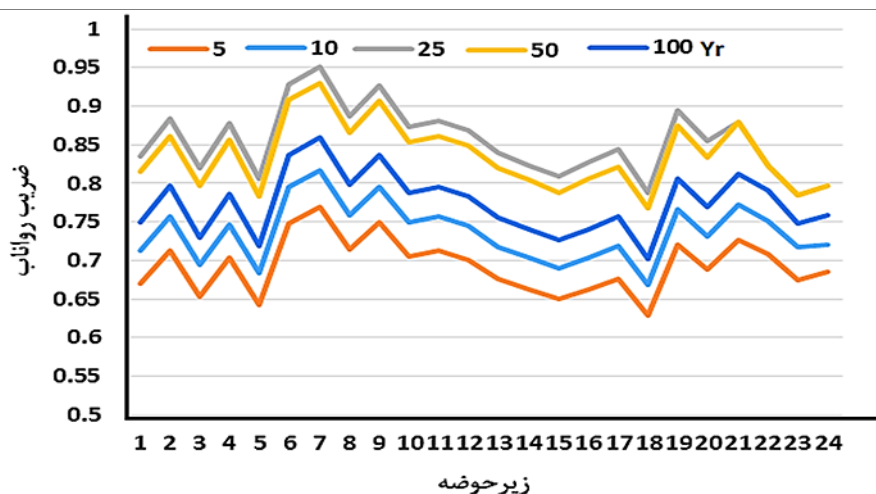
دوره بازگشت	ارتفاع بارش (میلی متر)	ارتفاع نفوذ (میلی متر)	ارتفاع رواناب (میلی متر)	حجم رواناب خروجی (میلیون مترمکعب)
۲	۵۸/۳	۱۶	۴۲/۳	۱/۸
۵	۸۱/۴	۲۲/۴	۵۹	۲/۱
۱۰	۹۷/۷	۲۶/۹	۷۰/۸	۲/۳
۲۵	۱۱۱/۹	۳۰/۸	۸۱/۱	۲/۳
۵۰	۱۳۶/۹	۳۷/۶	۹۹/۳	۲/۸
۱۰۰	۱۵۵/۳	۴۲/۷	۱۱۲/۶	۳/۱

از آنجا که ضریب رواناب (نسبت ارتفاع رواناب به ارتفاع بارش) به خوبی بیانگر پتانسیل سیل خیزی است، می توان با مقایسه مقادیر ضریب رواناب واحدهای هیدروژئومورفولوژیکی محدوده مطالعاتی، به تحلیل قدرت تولید رواناب پرداخت. جدول ۸ مقادیر ضریب رواناب بارش در دوره بازگشت‌های مختلف و شکل ۱۰ مقایسه مقادیر ضریب رواناب‌ها را نشان می‌دهد. نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که کمترین ضریب رواناب در دوره بازگشت ۲ سال و بیشترین ضریب رواناب در دوره بازگشت ۲۵ سال است.

جدول (۸): مقادیر ضریب رواناب بارش در دوره بازگشت‌های مختلف

Table (8): Rainfall runoff coefficient values in different return periods

کد	دوره بازگشت					
زیرحوضه	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
کل	۰/۷۰	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۸۱



شکل (۱۰): مقایسه ضرایب رواناب‌ها برای بارش در دوره بازگشت‌های مختلف

Figure (10): Comparison of runoff coefficients for precipitation in different return periods

هیدروگراف سیل‌های شبیه‌سازی شده

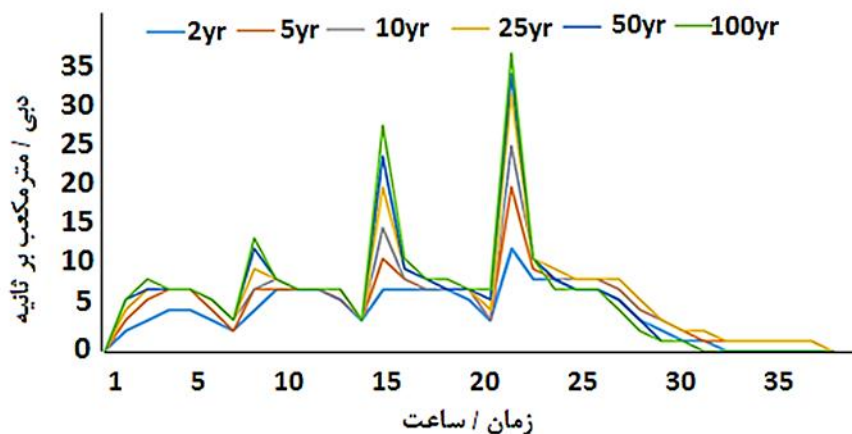
با اجرای مدل SWMM، هیدروگراف سیل‌های ناشی از بارش دوره بازگشت‌های مختلف در شکل ۱۱ آمده است. در جدول ۹ نیز حداکثر دبی اوج خروجی از سیستم آمده است. طبق نتایج، در دوره بازگشت ۲ سال، دبی برابر ۱۰/۳ مترمکعب در ثانیه و در دوره بازگشت ۱۰۰ سال به ۲۹/۲ مترمکعب در ثانیه افزایش یافته است.

جدول (۹): دبی اوج بارش در دوره بازگشت های مختلف

Table (9): The peak discharge of precipitation in the period of different returns

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
m ³ /sec دبی اوج	۱۰/۳	۱۶/۱	۲۰/۱	۲۵/۵	۲۷/۳	۲۹/۲

نتایج نشان داد مقادیر نفوذ و ارتفاع رواناب بارش طرح (بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال) در روش SCS به ترتیب برابر ۵۰/۸۶ و ۱۶/۱۴ میلی‌متر است. یعنی ۲۴ درصد بارش طرح تبدیل به نفوذ و ۷۶ درصد تبدیل به رواناب شده است. اما در روش هورتون، مقادیر نفوذ و ارتفاع رواناب بارش طرح به ترتیب برابر ۳۶/۲۴ و ۳۰/۷۶ میلی‌متر است. یعنی ۴۶ درصد بارش طرح تبدیل به نفوذ و ۵۴ درصد تبدیل به رواناب شده است. هر چند توسعه کاربری‌های نفوذپذیر نظیر جنگل دست کاشت، پارک، سنگ‌فرش نفوذپذیر و... در بطن کاربری‌های ساختمانی می‌تواند پتانسیل تولید رواناب را به میزان قابل توجهی کاهش دهد و ضریب رواناب را حتی نسبت به کاربری‌های طبیعی بالادست شهر کم کند، اما پتانسیل سیل‌خیزی آبریزهای شهری به مراتب بیشتر از آبریزهای غیرشهری است. لذا می‌توان اذعان نمود که روش SCS مقادیر نفوذ و رواناب را برای آبریز شهری دقیق‌تر از روش هورتون نشان می‌دهد. از طرفی، روش SCS مقدار نفوذ را بر مبنای پارامتر شماره منحنی برآورد می‌کند که عامل نوع کاربری و پوشش و نیز واحد هیدرولوژیک خاک در آن دخیل است. اما روش هورتون بیشتر برای آبریزهای غیرشهری است، که به نوع کاربری و پوشش امتیاز نمی‌دهد. همچنین مطابق با نتایج هیدروگراف سیل قبل و بعد از واسنجی مشخص شد بعد از بهینه‌سازی پارامترها، ضریب کارایی مدل (ناش - ساتکلیف) با ۰/۶۶ و ۷۳/ به ترتیب برای دبی اوج و حجم سیل روش SCS عملکرد بهتری نسبت به روش هورتون دارد. لذا از این مدل برای شبیه‌سازی در ادامه پژوهش استفاده شده است.



شکل (۱۱): هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده مدل SWMM حاصل از بارش با دوره بازگشت‌های مختلف

Figure (11): Simulated hydrographs of the SWMM model resulting from precipitation with different return periods

پتانسیل تولید رواناب در زیرحوضه فقیره و خضر خاکو همدان

طبق مشخصات فیزیوگرافی، مساحت نفوذناپذیر در آبریز شهری فقیره برابر ۶۵ درصد و در آبریز شهری خضر برابر ۵۰ درصد است. این نتیجه نشان می‌دهد که در آبریز شهری فقیره حدود ۳۵ درصد بارش مربوط به بخش نفوذ و تبخیر و تعرق است. بنابراین با افزایش سطح نفوذناپذیر شامل کاربری‌های ساختمانی و آسفالت جاده‌ها و خیابان‌ها، پتانسیل تولید رواناب افزایش یافته است که در سال‌های

اخیر توسعه فیزیکی شهر همدان در این عرصه یکی از علل افزایش سطوح نفوذ ناپذیر و افزایش رواناب شده است. اما در آبریز شهری خضر تبدیل ۵۰ درصد از رواناب حاصله به بخش تلفات (نفوذ و تبخیر و تعرق) پتانسیل تولید رواناب را کاهش یافته است. مهم‌ترین دلایل ضعف تولید رواناب در این آبریز شهری مربوط به عدم وجود شبکه زهکشی مصنوعی، وجود پوشش طبیعی در سطح زمین، هدر رفت ناشی از نفوذ، گیرش گیاهی و ذخیره چالابی می‌باشد که باعث شده این کاربری جزء سطوح نفوذپذیر قلمداد شود. با مقایسه دوره بازگشت‌های بارش ۲۴ ساعته نیز مشخص شد که در دوره بازگشت ۲۵ سال، حداکثر پتانسیل تولید رواناب و کمترین در دوره بازگشت ۲ سال ایجاد شده است. بنابراین با توجه به اهمیت جمع‌آوری رواناب‌ها در مناطق شهری، می‌توان بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال را به عنوان بارش طرح معرفی کرد. این نتیجه دقیقاً مطابق با انتخاب بارش مذکور برای واسنجی مدل می‌باشد، که نشان می‌دهد برای بهینه‌سازی پارامترهای مدل SWMM، بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال از کارایی بیشتری برای تجزیه و تحلیل‌ها برخوردار است. لذا نتایج نشان داد که حجم رواناب تولیدی از سیستم برابر ۳/۵۲ مترمکعب است و با توجه به مقادیر ضریب رواناب و مساحت واحد هیدرولوژیک مشخص شد که بیشترین مقدار حجم رواناب بارش طرح با ۱/۲۸ میلیون مترمکعب آبریز شهری فقیر و کمترین مقدار حجم رواناب بارش طرح با ۰/۴۶ میلیون مترمکعب مربوط به آبریز شهری خضر است و نشان می‌دهد که حوضه خضر سهم کمتری در تولید رواناب و رخداد سیلاب شهری همدان دارد.

نتیجه‌گیری

مدیریت جامع آب‌خیز در برگیرنده اقدامات متعددی است که در نهایت به توسعه پایدار آن ختم می‌شود. دستیابی به این امر مستلزم نگرش همه‌جانبه و دقیق به فرآیندهای داخل و خارج حوضه آب‌خیز می‌باشد. لذا رویکرد صحیح در بخش مدیریت رواناب مخصوصاً در سطوح توسعه و تغییر یافته کاربری‌ها از جمله کاربری‌های شهری بر اساس آمیزه‌ای از اهداف و استراتژی‌ها ضروری بنظر می‌رسد. مدل SWMM یکی از پیشرفته‌ترین روش‌ها به منظور تحلیل سیلاب محسوب می‌شود که در این تحقیق برای زیرحوضه شهری خاکو همدان به اجرا در آمد. به منظور برآورد حجم جریان رواناب سطحی در آبریزهای شهری، استفاده از داده‌های باران‌نگار و رواناب مشاهده‌ای در مقیاس‌های زمانی کوچک (۱۰ دقیقه یا ۳۰ دقیقه) ضروری است تا بتوان با هیدروگراف واقعی و مشاهده‌ای، مدل SWMM را واسنجی نمود. اما در این پژوهش به دلیل نبود آمار مشاهده‌ای رواناب، از مقادیر بارش طرح با دوره بازگشت‌های مختلف برای تحلیل عملکرد بارش‌های مختلف و پیش بینی جریان‌های سطحی استفاده شد. با این حال نتایج نشان داد که مدل SWMM می‌تواند با مدلسازی بارش- رواناب، ارتفاع و حجم رواناب آبریزهای شهری همدان را با دقت قابل قبولی برآورد کند. نتایج نشان داد روش SCS در مدل SWMM برای شبیه‌سازی بارش طرح و ارائه خصوصیات هیدرولوژیکی آبریزهای شهری از کارایی قابل قبولی برخوردار است. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر این است که کاربری‌های مسکونی بیشترین سهم را در پتانسیل سیل‌خیزی محدوده مطالعاتی دارد. چنانچه مساحت نفوذناپذیر در آبریز شهری فقیر برابر ۶۵ درصد و در آبریز شهری خضر برابر ۵۰ درصد است. این نتیجه نشان می‌دهد که در آبریز شهری فقیر حدود ۳۵ درصد بارش مربوط به بخش نفوذ و تبخیر و تعرق است. بنابراین با افزایش سطح نفوذناپذیر شامل کاربری‌های ساختمانی و آسفالت جاده‌ها و خیابان‌ها، پتانسیل تولید رواناب در زیرحوضه فقیر خاکو افزایش یافته است. مشاهدات میدانی بیانگر این است که در سال‌های اخیر توسعه فیزیکی شهر همدان در این عرصه یکی از علل افزایش سطوح نفوذناپذیر و افزایش رواناب شده است. از این‌رو نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که توسعه روز افزون مناطق شهری همدان و از بین رفتن اراضی کشاورزی و افزایش زمین‌های غیرقابل نفوذ، موجب افزایش حجم و ارتفاع رواناب ناشی از بارش در حوضه شهری همدان شده است. لذا پیشنهاد می‌شود زیرحوضه‌های شهری همدان به خوبی ارزیابی و در جهت کاهش اثرات سیلابی آن‌ها مدیریت مناسب و طرح‌های حفاظتی و آمایش سرزمین اجرا شود.

References

- Ahmadzadeh, H., Saeedabadi, R., & Nouri, A. (2014). Investigation and zoning of flood-prone areas. With an emphasis on urban floods (case study: Every Baku). *Hydrogeomorphology Quarterly*, 5(2).
- Browne, S., Lintern, A., Jamali, B., Leitão, J. P., & Bach, P. M. (2021). Stormwater management impacts of small urbanising towns: The necessity of investigating the ‘devil in the detail’. *Science of the Total Environment*, 757, 143835.
- Esfandiari, F., Pourganji, Z., Mostafazadeh, R., Aghaei, M. (2022) Comparison of effective precipitation conversion methods to surface runoff in the simulation of flood hydrograph of Nenekaran basin, Ardabil province, *Hydrogeomorphology Journal*, Volume 9, Number 32, November 1401, page 63-86.
- Ghaderi Dehkordi, N., Soleimani, K., Kaviani, A., & Rashidpour M. (2019). Using the SWMM model in determining the ability to collect and exploit the runoff of Babolsar city, Mazandaran province, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 4.
- Hosseinzadeh, M. M., Salehipour, A.R., Rezaian Zarandini, F. (2023) Zonificación de la sensibilidad de lassubcuencasdela cuenca Nakarood a las inundaciones, Neka-Mazandaran, *Hydrogeomorphology Journal*, Volumen 10, Número 34, mayo de 1402, páginas 75-100.
- Liu, G., Chen, L., Shen, Z., Xiao, Y., & Wei, G. (2019). A fast and robust simulation-optimization methodology for stormwater quality management. *Journal of Hydrology*, 576, 520-527.
- Nasehpour, M., Khozaimenejad, H., Fortun, E. (2019). Evaluation of the effects of urban development on runoff using the SWMM model (case study: Qom province), *Environmental Science and Technology*, 22(12), 79-89.
- Nouri, Hosseini, S. M., Mansourian, H. (2023). Explaining the necessity of using new methods in the management of urban runoff with the approach of increasing resilience against floods (case example: Shiraz city), *urban planning geography research*, 38, 27 – 49.
- Pyke, C., Warren, M.P., Johnson, T., James, Jr., LaGro, J.Jr., Scharfenberg, J., Groth, P., Freed, R., Scheoeer, W., & Main, E. (2011). Assessment of low impact development for managing storm water with changing precipitation due to climate change. *Landscape Urban Plan*, 103, 166-173.
- Rezaei, F., Beherland, A., Vahad Bardi Sheikh, Dasturani, M., & Taj Bakhsh, M. (2017). Determining the most important parameters affecting the amount of urban runoff using the SWMM model (case study: Mashhad city, region 9). *research paper Watershed management*. 9(18), 135 -145.
- Rossmann, L.A. (2013). *Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.0*. EPA/600/R-05/040, National Risk Management Research Laboratory. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Shahbazi, A., Khalighi Sigarodi, S., Malekian, A., & Selajgeh, A. (2016). Sensitivity analysis of the input parameters of SWMM urban runoff management model (Case study: Mahdasht city (watershed studies) research and construction, 30(14), 67 - 75.
- Shahedi, K., Froutan Danesh, M. (2022) Simulation of river runoff using the WetSpa model in the Ghorchai catchment, *Hydrogeomorphology Journal*, Volume 9, Number 32, November 1401, page 25-42.
- Smith, D., Li, J., & Banting, D. (2005) A PCSWMM/GIS-based water balance model for the ReesorCreek watershed, *Atmospheric Research*, 77, 388–406.
- Walsh, C. J., Booth, D. B., Burns, M. J., Fletcher, T.D., Hale, R. L., Hoang, L. N., & Wallace, A. (2016). Principles for urban stormwater management to protect stream ecosystems, *Freshwater Science*, 35(1), 398-411.

- Wang, M., Zhang, D.Q., Adhityan, A., Ng, W.J., Dong, J.W., & Tan, S.K. (2018). Conventional and holistic urban stormwater management in coastal cities: a case study of the practice in Hong Kong and Singapore, *J Water Resour Dev*, 34(2), 192–212.
- Wang, Y., Wang, H., Wang, M., Wu, Y., Liu, H., & Huang, H. (2020). Study on the Simulation and Evaluation of LID Adaptation Measures Based on SWMM, *Journal of Water Resources Research*, 9(1), 22-32.
- Yar Ahmadi, Y., Qadawi, R., & Ghasemieh, H. (2020). Evaluating the efficiency of the SWMM model in order to investigate the flood nodes of the drainage network under the influence of climate change (Case study: East of six districts of Tehran municipality), 4(4), 326 – 338.
- Zahedi Khamene, H., & Khodashanas, E. (2021). Investigating the performance of the surface water collection system and analyzing the sensitivity of the parameters affecting it (studying the 10th and 11th regions of Mashhad), *Irrigation and Drainage Journal*, Volume 15, Number 5 - serial number 89 Azar and 1400, pp, 1067-1080.
- Zeng, Z., Yuan, X., Liang, J., & Li, Y. (2021). Designing and implementing an SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time urban stormwater management. *Environmental Modelling & Software*, 135, 104887.