Research Paper

Evaluation of SWAT in Hydrological Modeling and Comparison of Model Accuracy in Using of Daily and Monthly Data, Case Study of Maroon Basin

Mostafa Mirmehdi[1], Mojtaba Shourian [2]*, Ahmad Sharafati [3]
1. Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Associate Prof., Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
3. Associate Prof., Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 2023/10/19
Revised: 2023/11/02
Accepted: 2024/02/02

Use your device to scan and read the article online

DOI:
10.30495/wej.2024.32618.2399

Keywords:
Calibration, Validation, Maroon, SWAT, SUFI-2 algorithm

Abstract

Introduction: In recent years, basins hydrological modeling has been one of the important issues, which its results have a significant impact on water resource planning. One of the tools in basins hydrological modeling is SWAT (Soil and Water Assessment Tools), this tool can be used as an extension in GIS software. The purpose of this research is to evaluate the accuracy of SWAT in Maroon basin hydrological modeling.

Methods: The calibration and validation of model, used from the flow data measured at the Idenak and Tange-Takab stations in the period of 1991 to 2017.

Findings: The results showed that the accuracy of the model in using daily data is lower than monthly data. The reason of the reduction of the accuracy in using of daily data compared to using of monthly data is that the daily calibrated data in each hydro-station is 3450 numbers and for the monthly data is 108 numbers. The simulation results show that the SWAT has an acceptable ability in the basins hydrological simulation with a mountainous nature and the process of flow changes in the calibration and validation stage is simulated with acceptable accuracy.

Citation: Mirmehdi M, Shourian M, Sharafati A. Evaluation of SWAT in hydrological modeling and comparison of model accuracy in using of daily and monthly data, case study of Maroon basin. Water Resources Engineering Journal. 2024; 17 (62): 29- 39.

***Corresponding author:** Mojtaba Shourian
Address: Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
Tell: +989123259857
Email: m_shourian@sbu.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

The correct management of basin in the country is one of the most important issues in the use of water and soil resources. In this regard, comprehensive reports of different management and implementation methods are needed. Most of the basin in our country, especially the mountainous and inaccessible basin, do not have enough hydrometer measurement stations. Since the statistics and information of these stations are needed for the protection and management programs of catchment basins, the simulation of hydrological phenomena in basins is the optimal solution for this lack and often the only practical method of evaluating the changes made in the basins and they are managerial scenarios. Therefore, according to the importance of the subject and with the aim of helping the management of water resources in the region, in this research, the hydrological model of the Maroon basin was developed with the help of the semi-distributive SWAT model using meteorological information, soil characteristics, topography, observed discharge from the basin, land use changes. Lands and types of vegetation have been prepared. In general, the purpose of this research is the application of the SWAT model, its calibration and evaluation to predict the amount of runoff in the Maroon basin.

Materials and Methods

The Maroon basin is located in the southwestern part of Iran, with an area of 3808 square kilometers, in the province of Khuzestan, Kohgiluyeh, and Boyer-Ahmad, in the range of the Zagros slopes. Maroon River located in the Maroon basin is one of the important and major branches of Jarrahi River. This river is formed after connecting the branches of Shabliz, Ludab and Saqaweh and after traveling a distance of 120 km, it reaches Maroon dam lake, and after passing through the Takab gorge, it enters the Behbahan plain and through the Shahada diversion dam, the Behbahan irrigation network. and through the Jayzan diverting dam, it drinks the Jayzan plain and Fajr. Determine the hydrology separately and then calculate its value for the entire target basin. To simulate the hydrological cycle in the SWAT model, in the first step, by defining the Dem map with an accuracy of 30 meters to the model and generating the flow network by the model itself, based on the threshold limit of 15,000 hectares. As the minimum drainage level and specifying the Idank and Tang-Takab Behbahan hydrometric stations as the outlets of the basin, the Maroon basin was divided into 15 sub-basins.

Findings

In this research, the Nash-Sutcliffe coefficient was used as the objective function for optimization. The uncertainty of the model simulation results was also calculated by the uncertainty of 95% estimation. The coefficient of explanation (R^2) and Nash-Sutcliffe (N-S) indices were also used to evaluate the efficiency of the SWAT model in the calibration and validation stages. The parameter of infiltration curve number in medium humidity conditions (CN2) has had the greatest effect on the outflow from the basin, which is greatly influenced by the land use and soil type of the region. Therefore, it has a major effect on the water balance components. After the CN2 parameter, the SMTMP and SMFMN parameters, which are the snow melting base temperature and the snow melting factor, respectively, are ranked next. Considering that the study area is mountainous, the SMTMP and SMFMN parameters showed more sensitivity than other parameters, and by changing this parameter in the calibration process, optimal values were obtained, Therefore, this parameter shows higher values during calibration.

Discussion

In these simulations, the parameters of the SWAT model have been obtained independently. The results of the simulation show that the SWAT tool has an acceptable ability in the hydrological simulation of large basin with a mountainous nature, and the process of flow changes in the calibration and validation stage has been well

simulated. Also, the results showed that the prepared model is not able to accurately simulate the maximum flows, and during peak times, the amount of runoff is estimated to be less than its actual value. Among the reasons for the weakness of the model in simulating the maximum flow in some months, we can mention the weak snow melting simulation of the SWAT model for this mountainous basin and the assumptions of the model in the transfer of flow in frozen and saturated layers, in general, in addition to the weaknesses that each model in the simulation of the real world, in this research, there are other reasons for the difference between the model simulations and the observed values. Among these cases, we can mention the relatively large climatic changes, especially from the north to the south of the basin, which adds to the uncertainty of the climatic input parameters of the model, the presence of water-filled springs in the catchment basin, the lack of sufficient information about them, the lack of information about harvesting unauthorized use of water from the water resources of the catchment basin, the short statistical period of most stations and the lack of hydrometric stations are also the reasons. On the other hand, watershed simulation models show poor performance in estimating low flow values. This problem can be attributed to the simplifications of such models in simulating and the complex interaction between runoff and subsurface flow in rainfall events with low altitude.

Conclusion

The results showed that the statistical parameters using daily data had lower accuracy than monthly data. The reason for the reduction of the accuracy factor of using daily data compared to monthly is that the daily calibrated data in each station is much more than the monthly calibrated data, in other words, on average, daily data can be up to 30 times the daily data. The NRMSE coefficient shows the highest level of calibration and validation error. This parameter shows a low and acceptable error range in the monthly and daily calibration stage of the identical hydrometric station. The accuracy of the SWAT model increases with the passage of time in the runoff simulation. In other words, the more runs the model has and the more stages and statistical periods the model is run and the results are compared, naturally the performance of the model under control is better. The results are obtained with higher accuracy. This is due to the fact that with the passage of time, the initial conditions that are needed for the simulation in later times become closer to their real values, and this increases the accuracy of the model.

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: Mostafa Mirmehdi, Mojtaba Shourian, Ahmad Sharafati.
Methodology and data analysis: Mostafa Mirmehdi, Mojtaba Shourian, Ahmad Sharafati.
Supervision and final writing: Mojtaba Shourian.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

ارزیابی مدل SWAT در مدلسازی هیدرولوژیکی حوضه های آبریز و مقایسه دقت مدل در استفاده از داده های روزانه و ماهانه – مطالعه موردی حوضه آبریز مارون

مصطفی میرمهدی[۱]، مجتبی شوریان[۲*]، احمد شرافتی[۳]
۱. دانشجوی دکتری تخصصی عمران-آب گروه مهندسی عمران ، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات ، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۷
تاریخ داوری: ۱۴۰۲/۰۸/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۳

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

DOI:
10.30495/wej.2024.32618.2399

واژه‌های کلیدی:
واسنجی، اعتبارسنجی، مارون، ابزار SWAT، الگوریتم SUFI-2.

چکیده

مقدمه: در سال های اخیر مدلسازی هیدرولوژیکی حوضه های آبریز از جمله مسائل مهمی بوده که نتایج آن تاثیر قابل توجهی در برنامه ریزی منابع آب و استحصال منابع آب شیرین در حوضه های آبریز دارد. یکی از ابزارهای کاربردی در مدلسازی هیدرولوژیکی حوضه های آبریز، ابزار SWAT(Soil and Water Assessment Tools) است این ابزار به صورت یک Extension در نرم افزار GIS قابل استفاده است. هدف از این تحقیق بررسی دقت ابزار SWAT مدلسازی هیدرولوژیکی حوضه های آبریز است. حوضه آبریز مورد مطالعه، حوضه آبریز سد مخزنی مارون به عنوان بخش مهمی از حوضه آبریز زهره و جراحی است.

روش: برای انجام واسنجی از داده‌های جریان اندازه‌گیری شده در ایستگاه ایدنک و تنگ تکاب بازه زمانی سال های آبی ۷۱-۱۳۷۰ لغایت ۷۹-۱۳۷۸ و برای اعتبارسنجی ایستگاه ایدنک بازه زمانی سال های آبی ۸۰-۱۳۷۹ لغایت ۹۶-۱۳۹۵و در ایستگاه تنگ تکاب بازه زمانی سال های آبی ۸۰-۱۳۷۹ لغایت ۸۵-۱۳۸۴ استفاده شد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد دقت مدل در استفاده از داده های روزانه نسبت به استفاده از داده های ماهانه کمتر است. دلیل کاهش ضریب دقت روزانه نسبت به ماهانه این است که داده های کالیبره شده روزانه در هر ایستگاه ۳۴۵۰ عدد بوده و برای حالت ماهانه ۱۰۸ عدد است. نتایج شبیه سازی بیانگر آن است که از یک سو ابزار SWAT در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه های آبریز بزرگ با ماهیت کوهستانی توانایی قابل قبولی داشته و روند تغییرات جریان در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به خوبی شبیه‌سازی شده است.

* **نویسنده مسئول:** مجتبی شوریان
نشانی: دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
تلفن: ۰۹۱۲۳۲۵۹۸۵۷
پست الکترونیکی: m_shourian@sbu.ac.ir

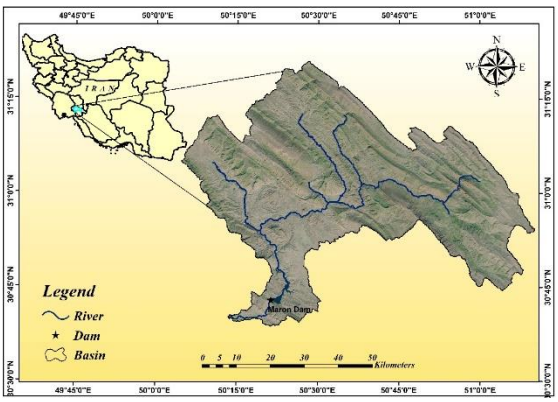
مقدمه

مدیریت صحیح حوضه های آبریز کشور یکی از مهمترین موضوعات در استفاده از منابع آب و خاک می باشد در این خصوص، گزارشاتی جامع از روشهای متفاوت مدیریتی و اجرایی موردنیاز است. اکثر حوضه های آبریز کشور ما، به ویژه حوضه های آبریز کوهستانی و صعب العبور، فاقد ایستگاههای اندازه گیری آب سنجی به میزان موردنیاز هستند. از آنجا که آمار و اطلاعات این ایستگاهها برای برنامه های حفاظتی و مدیریت حوضه های آبریز مورد نیاز است، شبیه سازی پدیده‌های هیدرولوژی در حوضه های آبریز راه حل بهینه ای برای این فقدان است و غالباً تنها روش عملی ارزیابی تغییرات ایجاد شده در حوضه ها و سناریوهای مدیریتی می باشند (۹، ۲، ۳) به طور کلی درک و پیش بینی فرآیندهای تولید و انتقال جریان به خروجی حوضه یکی از اساسی ترین مباحث در علم هیدرولوژی محسوب می شود مدلهای هیدرولوژیکی برای شبیه سازی حوضه های آبریز به وجود آمده اند و در سطح حوضه های آبریز دنیا به کار گرفته شده اند، و با استفاده از مدلهای هیدرولوژیکی تغییرات مؤلفه های زیادی از چرخه پیچیده آب بررسی شده است لذا مدلسازی فرآیندهای مختلف در حوضه های آبریز برای مدیریت آنها بسیار ضروری است . در سالهای اخیر مدلهای ریاضی مختلفی در زمینهٔ فرآیندهای هیدرولوژی در حوضه های آبریز ایجاد شده و مورد استفاده قرار گرفته اند. در این میان مدل SWAT یکی از مناسب ترین مدلها است که توسط سرویس تحقیقات کشاورزی و حفاظت از منابع طبیعی وزارت کشاورزی آمریکا و دانشگاه ای اند ام تگزاس توسعه یافت (٦، ١٣) از مزایای این مدل آن است که در حوضه های آبریز فاقد داده های برداشت شده نیز قابل کاربرد است؛ به کمک آن تأثیر نسبی عوامل مختلف (مانند روشهای مختلف مدیریتی، آب و هوا، پوشش گیاهی و ....) بر روی کیفیت آب، تولید رسوب و بار آلاینده ها در حوضه های آبریز قابل کمی کردن می باشند؛ از پارامترهای ورودی آسان و قابل دسترس استفاده میکند و کاربر را قادر به مطالعهٔ بلندمدت تأثیرات می کند. همچنین شبیه سازی حوضه های بزرگ و پیچیده با شیوه های مختلف مدیریتی بدون صرف زمان و هزینه زیاد با آن قابل اجرا است (١١) مدل SWAT در حوضه های آبریز سرتاسر جهان در شرایط مختلف مدیریتی با موفقیت بکار گرفته شده است. به عنوان مثال، از مدل SWAT برای شبیه سازی تمام فرآیندهای تأثیرگذار بر روی میزان رواناب، رسوبات و عناصر غذایی از دست رفته در یک حوضه آبخیز در سوییس استفاده کردند. این مطالعات نتایج بسیار خوبی را برای برآورد میزان رواناب و نیترات و نتایج نسبتاً خوبی را برای برآورد بار رسوبات و فسفر کل نشان داد .به دلیل آنکه مدلهای هیدرولوژیکی در معرض عدم قطعیت بالایی قرار دارند توصیف و کمی کردن عدم قطعیت این مدلها در سالهای اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. بدین منظور پژوهشگران تکنیکهای مختلفی را برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت این مدلها ارائه کرده اند. این روشها عبارتند از GLUE، SUFI-2، MCMC، ParaSol. از آنجا که هر کدام از این روشها برای شرایط خاصی کاربرد دارند (١). این روشها را به صورت یک بستهٔ نرم افزاری تحت عنوان CUP SWAT گردآوری کرده اند. حوضه آبریز مارون در جنوب غرب کشور ایران واقع شده و سد مارون در پایین دست این حوضه قرار دارد که این سد بعنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده انرژی کشور، در سال‌های اخیر دچار کمبود آب شده و میزان حجم آورد جریان از حوضه آبریز مارون به سمت مخزن سد مارون روندی کاهشی داشته است. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و با هدف کمک به مدیریت منابع آب منطقه، در این پژوهش مدل هیدرولوژیکی حوضه آبریز مارون به کمک مدل نیمه توزیعی SWAT با استفاده از اطلاعات هواشناسی، مشخصات خاک، توپوگرافی، دبی مشاهده ای خروجی از حوضه، تغییرات کاربری اراضی و انواع پوشش گیاهی تهیه شده است. بطور کلی هدف از این پژوهش کاربرد مدل SWAT، واسنجی و ارزیابی آن برای پیش بینی میزان رواناب در حوضه آبریز مارون است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز مارون در قسمت جنوب غربی ایران، با مساحت ۳۸۰۸ کیلومترمربع در استان خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد در محدوده دامنه‌های زاگرس واقع شده است. رودخانه مارون واقع در حوضه آبریز مارون یکی از شاخه‌های مهم و عمده رودخانه جراحی می‌باشد. این رودخانه پس از اتصال شاخه‌های شب لیز، لوداب و سقاوه تشکیل می‌گردد و پس از طی مسافت ۱۲۰ کیلومتر به دریاچه سد مارون می‌رسد و پس از عبور از تنگه تکاب وارد دشت بهبهان می‌شود و توسط سد انحرافی شهدا، شبکه آبیاری بهبهان و از طریق سد انحرافی جایزان دشت جایزان و فجر را مشروب می‌کند (١١) سد مخزنی مارون بر روی رودخانه مارون با حجم کل مخزن حداکثر ۱۲۷۴ میلیون مترمکعب در فاصله سالهای ۱۳۶۸تا ۱۳۷۸ احداث گردیده و آبگیری آن در سال ۱۳۸۴ آغاز گردید (١٦). شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی را در ایران را نشان می‌دهد.



شکل ۱– موقعیت حوضه آبریز مارون

مدل سازی شرایط هیدرولوژیکی با استفاده از مدل SWAT

مـدل SWAT جزو مدل‌های پیوســـته، نیمه توزیعی و دارای مبنای فیزیکی می‌بـاشـــد (۷، ۸) این مـدل می‌توانـد با اســـتفاده از چرخه هیدرولوژی حوضه و فرموله کردن تمام فرآیندهای فیزیکی آن، جریان را برای هر واحد پاسخ هیدرولوژی به‌صـورت جداگانه معین و سپس مقدار آن را برای کل حوضـــه موردنظر محاســـبه نماید (۴، ۱۲) برای شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژیکی در مدل SWAT، در مرحله نخست با تعریف نقشـه Dem با دقت ۳۰ متری به مدل و تولید شـبکه جریان توسط خود مدل، بر اساس حد آستانه ۱۵۰۰۰ هکتار به عنوان حداقل سـطح زهکشـی و مشخص نمودن ایستگاه‌های هیدرومتری ایدنک و تنگ تکاب بهبهان به عنوان خروجی های حوضه، حوضه آبریز مارون به ۱۵ زیرحوضه تقسیم‌بندی شد. در مرحله بعد، نقشه خاک FAO[1] با دقت ۱۰ کیلومتری به همراه نقشه کاربری اراضی GLCC[2] (پوشش زمین بر اسـاس ماهواره NOAA) برای سـال ۱۹۹۲ به مدل وارد شـــده و طبقـات شـــیب نیز تعریف گردید و با ترکیب آنها واحدهای واکنش هیدرولوژی (HRU[3]) در هر زیرحوضـــه تولید شـــدند. در این تحقیق سه کلاس شیب (۲۱-۰، ۴۱-۲۱، ۴۱< درصد) به مدل معرفی گردید. در شـکل (۲) اطلاعات نقشه‌های کاربری اراضی، خاک، نقشه رقومی ارتفاعی و زیرحوضـه ها نشـان داده شـده است. در گام بعدی نوبـت به تعریف داده‌های اقلیمی به مدل اســـت. اطلاعات مربوط به بارش و درجه حرارت روزانه به مدل وارد شـده و از روش هارگریوز-سامانی برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده شده است. برای روندیابی جریان از روش ضریب ذخیره متغیر استفاده گردید. همچنین اطلـاعـات مدیریتی از جمله کاشـــت، میزان کوددهی، زمان آبیاری و برداشت محصولات غالب حوضه مورد مطالعه شامل گندم، جو، یونجه و برنج به عنوان محصولات زراعی و سیب و گردو به عنوان محصولات بـاغی بـه مـدل معرفی گردیـد. در این تحقیق، از آمـار مـاهانه دبی ایسـتگاه‌های ایدنک و تنگ تکاب بهبهان اسـتفاده شد. در جدول (۱) مشـخصات ایستگاه‌های هیدرومتری و در جدول (۲) خلاصه آماری از داده های جمع آوری شده ارائه شده است. این آمار از سامانه اطلاعات ایستگاه های هیدرومتری و کلیماتولوژی وزارت نیرو اخذ شد.

جدول۱- ویژگی های ایستگاه های منطقه مورد مطالعه

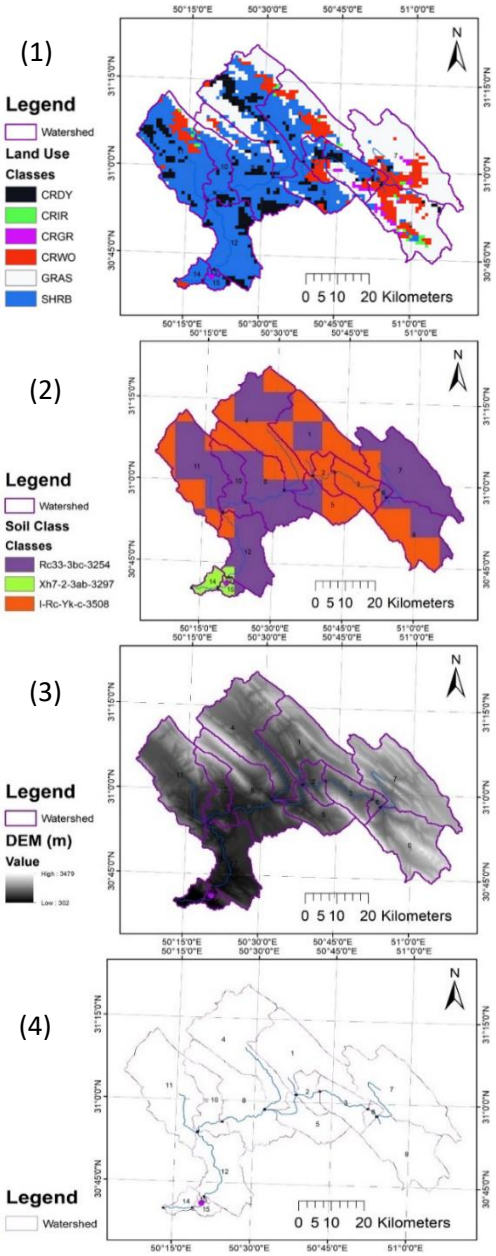
تیپ ایستگاه	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر از سطح دریا)
هیدرومتری و کلیماتولوژی	ایدنک	۳۰,۹۵	۵۰,۴۲	۵۶۰
هیدرومتری	تنگ تکاب	۳۰,۶۸	۵۰,۳۳	۲۸۰

جدول ۲- خلاصه آماری از داده های جمع آوری شده

نام ایستگاه	پارامتر	دوره آماری	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
ایدنک	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	۱۳۷۰-۱۳۹۶	۱۲	۱۸,۳	۵۱,۵	۶۳,۴	۷۶,۲	۸۶,۷	۸۷,۱	۴۸	۲۶,۴	۱۶,۴	۱۱,۷	۹,۸
تنگ تکاب	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	۱۳۷۰-۱۳۹۶	۲۹,۹	۲۹,۷	۳۰,۳	۴۵,۳	۴۷,۵	۵۷,۴	۴۱,۴	۲۶,۸	۲۳,۴	۳۱,۸	۳۳۴,۵	۳۲,۱
ایدنک	بارش (میلیمتر)	۱۳۷۰-۱۳۹۶	۰	۵۲,۵	۱۲۹,۳	۱۲۶,۲	۹۰,۶	۵۳	۵۲,۴	۱۱,۸	۰	۰	۲	۱,۲
ایدنک	دما (درجه سانتیگراد)	۱۳۷۰-۱۳۹۶	۳۰,۲	۲۱,۵	۱۴,۲	۱۲,۴	۱۳,۲	۱۷,۳	۲۳,۶	۳۰,۸	۳۸,۳	۴۱	۴۰,۸	۳۷,۶
ایدنک	تبخیر (میلیمتر)	۱۳۷۰-۱۳۹۶	۲۶۴	۱۳۰	۶۳	۴۷	۶۱	۸۹	۱۴۹	۲۴۷	۳۸۸	۴۶۸	۴۵۵	۳۷۳

مرجع : سامانه اطلاعات ایستگاه های هیدرومتری و کلیماتولوژی وزارت نیرو

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations
[2] Global Land Cover Characterization
[3] Hydrological Response Unit



شکل ۲- نقشه (1) کابری اراضی، (2) خاکشناسی، (3) توپوگرافی و (4) زیرحوضه ها

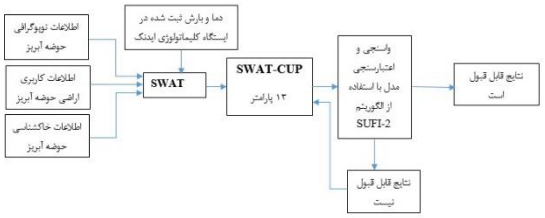
جدول ۳ - ویژگی های کاربری اراضی در حوضه آبریز مارون

نام کلاس	درصد پوشش	کاربری اراضی
CRDY	9	زمین زراعی دیم
CRIR	1	زمین زراعی آبی
CRGR	1	علفزار
CRWO	11	جنگلی
GRAS	32	مراتع
SHRB	46	بوته زار

مرجع : نقشه کاربری اراضی GLCC (Global Land Cover Characterization)- پوشش زمین بر اساس ماهواره NOAA

جدول ۴- خصوصیات خاک در منطقه طرح

گروه خاک در مدل SWAT	تیپ خاک	گروه هیدرولوژیکی
Rc33-3bc-3254	LOAM	D
Xh7-2-3ab-3297	CLAY-LOAM	D
I-Rc-YK-c-3508	LOAM	D



شکل ۳- نمایش روند تحقیق

نتایج و بحث

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

در این مطالعه ابتدا توسط نرم‌افزار SWAT-CUP و با انجام تحلیل حساسیت ، پارامترهایی که بیش‌ترین تأثیر را بر دبی خروجی از حوضه داشتند، بدست آمدند هر چند که شرط اصلی اعتبار یک مدل آن است که پارامترهای آن بطور مستقیم برآورد شوند با این حال با ملاحظه اینکه در حوضه مورد مطالعه، داده های هیدرومتری در دسترس هستند می توان مدل SWAT را به کمک آنها واسنجی کرده و دقت مدل را به مراتب افزایش داد. در این تحقیق واسنجی مدل بر اساس پارامترهایی که مدل بیشترین حساسیت را نسبت به آنها داشت صورت پذیرفت. از میان پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق، مدل نسبت به ۱۳ پارامتر حساسیت نشان داده و به عنوان متغیرهای مؤثر بر شبیه‌سازی جریان مشخص شدند. روش‌های کالیبراسیون و آنالیز عدم قطعیت ارتباط نزدیکی با هم دارند و هیچ کالیبراسیون نباید بدون تعیین میزان عدم قطعیت مرتبط با پیش‌بینی مدل انجام شود. از آنجایی که حوضه مورد مطالعه کوهستانی بود و به دست آوردن نتایج بسیار دشوار بود، پارامترهای ورودی برای هر زیرحوضه به طور جداگانه در نظر گرفته شد. در این تحقیق، از میان پنج الگوریتم موجود در این نرم‌افزار، الگوریتم SUFI-2 انتخاب گردید. برای انجام واسنجی از داده‌های جریان اندازه‌گیری شده در ایستگاه ایدنک و تنگ تکاب بازه زمانی سال های آبی ۷۱-۱۳۷۰ لغایت ۷۹-۱۳۷۸ و برای اعتبارسنجی ایستگاه ایدنک بازه زمانی سال های آبی ۸۰-۱۳۷۹ لغایت ۹۶-۱۳۹۵و در ایستگاه تنگ تکاب بازه زمانی سال های آبی ۸۰-۱۳۷۹ لغایت ۸۵-۱۳۸۴ استفاده شده و از ضریب نش-ساتکلیف به عنوان تابع هدف برای بهینه سازی استفاده گردید. عدم قطعیت نتایج شبیه‌سازی مدل نیز توسط عدم قطعیت تخمین ۹۵ درصد

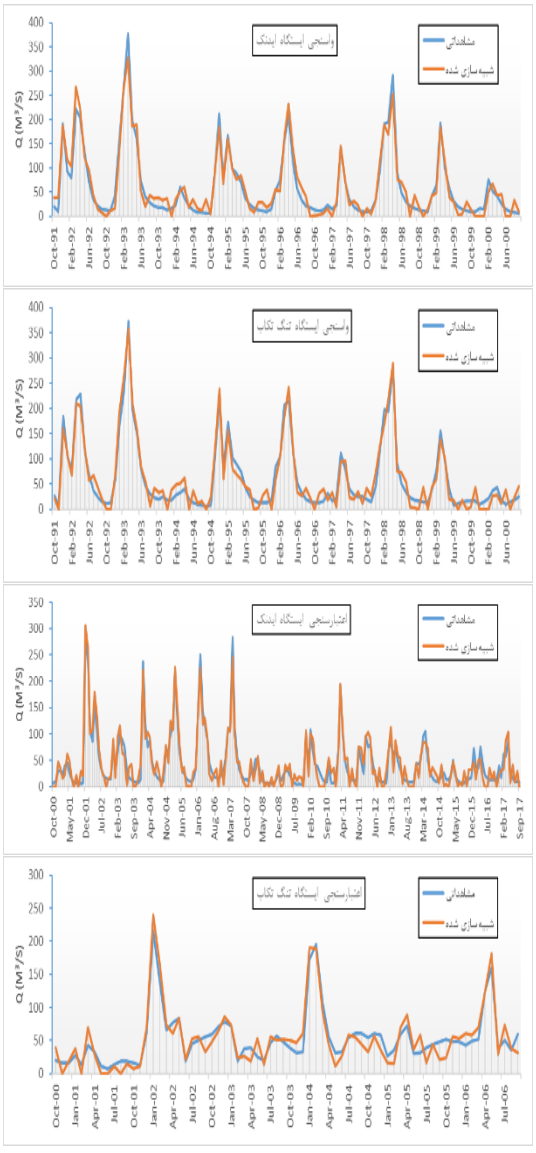
(ppu ۹۵) محاسبه گردید. از شاخص های ضریب تبیین (R^2) و ضریب نش–ساتکلیف (N-S) نیز جهت ارزیابی کارایی مدل SWAT در مرحله‌های واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مدل SWAT، در جدول (۵) ارائه شده است. پارامتر شمارهٔ منحنی نفوذ در شرایط متوسط رطوبتی (CN2) بیش‌ترین تأثیر را بر دبی خروجی از حوضه داشته است که این پارامتر به میزان زیادی تحت تأثیر کاربری اراضی و نوع خاک منطقه است. بنابراین، تأثیر عمده‌ای بر مؤلفه های بیلان آب دارد. پس از پارامتر CN2، پارامترهای SMTMP و SMFMN، که به ترتیب دمای پایه ذوب برف و فاکتور ذوب برف هستند، در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه کوهستانی می باشد، پارامترهای SMTMPو SMFMN ، حساسیت بیشتری نسبت به سایر پارامترها نشان داد که با تغییر این پارامتر در پروسه واسنجی، مقادیر بهینه بدست آمد که با یافته های (۱۴،۱۵) همخوانی دارد. مقادیر بالاتر این پارامترها افزایش ذوب برف را در پی دارد. لذا این پارامتر در طی واسنجی مقادیر بیشتری را نشان می دهد. جدول ۶ مقایسه بین شاخص های آماری (R2، NS و PBIAS)را برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی دبی با استفاده از روش کالیبراسیون نیمه اتوماتیک SWAT-CUP نشان می دهد. مقادیر R2 از ۰,۶۲ تا ۰,۸۵ برای کالیبراسیون جریان روزانه و ماهانه و از ۰,۵۴ تا ۰,۷۳ برای اعتبارسنجی متغیر بود. ضریب NS از ۰,۵ تا ۰,۶۹ برای کالیبراسیون ماهانه و از ۰,۵۱ تا ۰,۵۹ برای کالیبراسیون روزانه متغیر بود. دلیل کاهش ضریب دقت روزانه نسبت به ماهانه این است که داده های کالیبره شده روزانه در هر ایستگاه ۳۴۵۰ عدد بوده و برای حالت ماهانه ۱۰۸ عدد است. ضریب NRMSE بالاترین میزان خطای کالیبراسیون و اعتبارسنجی را نشان می دهد. این پارامتر در مرحله کالیبراسیون ماهانه و روزانه ایستگاه هیدرومتری ایدنک به ترتیب ۱۸,۳ و ۱۰,۸ درصد برآورد شده است. در این شبیه سازی ها پارامترهای مدل SWAT بطور مستقل (مستقیم) بدست آمده اند نتایج شبیه سازی بیانگر آن است که ابزار SWAT در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه های آبریز بزرگ با ماهیت کوهستانی توانایی قابل قبولی داشته و روند تغییرات جریان در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به خوبی شبیه‌سازی شده است همچنین نتایج نشان داد که مدل تهیه شده قادر به شبیه‌سازی دقیق جریان‌های حداکثر نیست و در زمانهای اوج مقدار رواناب کمتر از مقدار واقعی آن برآورد شده است. از علت‌های ضعف مدل در شبیه‌سازی جریان حداکثر در بعضی از ماه‌ها می‌توان به شبیه‌سازی ضعیف ذوب برف مدل SWAT برای این حوضه کوهستانی و فرضیات مدل در انتقال جریان در لایه های یخ زده و اشباع اشاره کرد بطور کلی علاوه بر نقطه ضعفهایی که هر مدل در شبیه سازی دنیای واقعی دارد، در این پژوهش علل دیگری هم سبب اختلاف شبیه سازی های مدل با مقادیر مشاهده ای شده است. ازجمله این موارد میتوان به تغییرات نسبتاً زیاد اقلیمی بویژه از شمال به جنوب حوضه که این مسأله بر عدم قطعیت پارامترهای ورودی اقلیمی مدل می افزاید، اشاره کرد وجود چشمه های پرآب در حوضه آبریز، نبود اطلاعات کافی در مورد آنها، عدم اطلاعات مربوط به برداشت های غیر مجاز آب از منابع آبی حوضه آبریز، کوتاه بودن دوره آماری اکثر ایستگاهها و کمبود تعداد ایستگاههای هیدرومتری نیز مزید بر علت می باشد. از طرف دیگر مدلهای شبیه سازی حوضه آبریز عملکرد ضعیفی در برآورد مقادیر کم جریان از خود نشان می دهند. این مشکل را میتوان به ساده سازیهای این گونه مدلها در شبیه سازی و تعامل پیچیده بین رواناب و جریان زیر سطحی در وقایع بارندگی با ارتفاع کم دانست. این نتایج با مطالعات انجام شده توسط (۵، ۱۰) همخوانی دارد.

جدول ۵- نتایج تحلیل حساسیت مدل SWAT

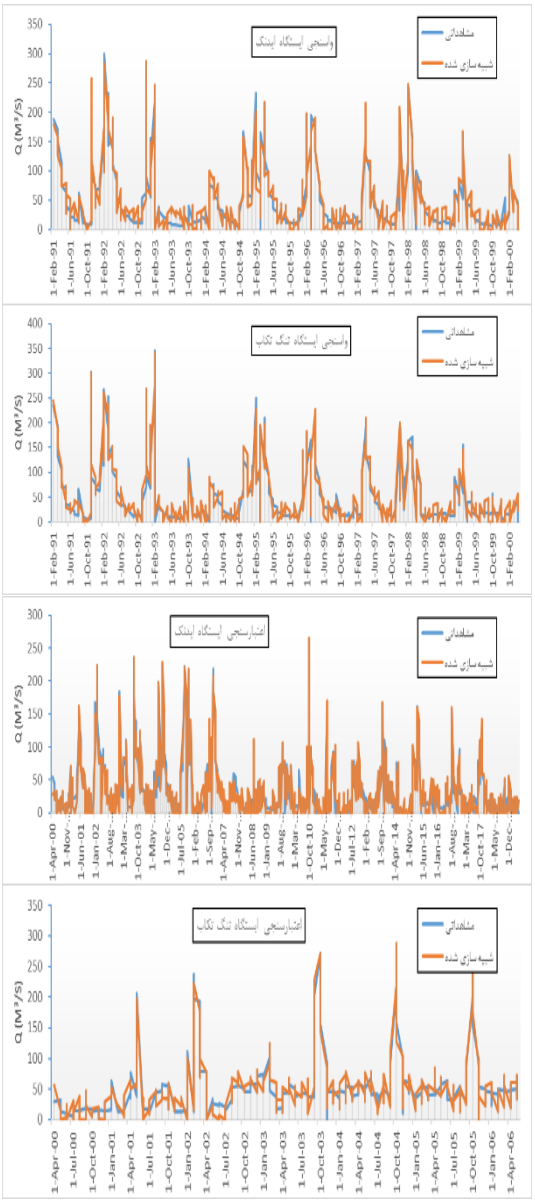
پارامتر	دامنه پارامتر	مقادیر کالیبره شده	توضیحات
CN2	32-89	63	Curve Number, moisture condition
RCHRG_DP	0-1	0.8	Deep aquifer percolation fraction
v__SLSUBBSN.hru	15-2000	48	Average slope length
GW_DELAY	4.1-47.3	29.5	delay, Groundwater days
CH_K2	0.01–400	66.43	hydraulic Effective conductivity in main channel alluvium
HRU_SLP	0-2	1.3	Average slope steepness
ALPHA_BF	0.6-.89	0.65	Baseflow alpha factor (days)
SOL_BD	0.9-2.6	1.3	Moist bulk density
SOL_AWC	-0.6–0.6	-0.13	soil Available moisture capacity, mm mm_1
SOL_K	0–2000	458	Saturated hydraulic conductivity, mm h_1
GWQMN	0–3500	280	water in Depth of shallow aquifer required for return flow, mm
SURLAG	1–35.0	16	runoff lag Surface time
CH_N2	0.016–0.2	0.06	n'' '' Manning's value for the main channel

جدول ۶: مقادیر شاخص های ارزیابی عملکرد مدل در شبیه سازی رواناب در مدل های اجرا شده

آمار	ایستگاه ایدنک		ایستگاه تنگ تکاب	
	روزانه	ماهانه	روزانه	ماهانه
واسنجی				
R2	0.76	0.85	0.62	0.63
NS	0.69	0.59	0.5	0.51
PBIAS	11.3	26.5	17.8	20.15
RMSE	0.498	0.425	0.511	0.612
NRMSE	18.30%	10.84%	19.30%	15.38%
اعتبارسنجی				
R2	0.67	0.73	0.56	0.54
NS	0.57	0.51	0.46	0.49
PBIAS	-12.2	-12.4	-9.5	-14.2
RMSE	0.425	0.472	0.425	0.512
NRMSE	11.90%	8.20%	14.31%	8.50%



شکل ۴- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده های ماهانه در ایستگاه های هیدرومتری ایدنک و تنگ تکاب



شکل ۵- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده های روزانه در ایستگاه های هیدرومتری ایدنک و تنگ تکاب

نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل ویژگی های جریان رودخانه و شبیه سازی هیدرولوژیکی، برای تصمیم گیری مناسب در مورد مسائل مربوط به سیستم های ارزیابی و برنامه ریزی حوضه حیاتی است. حوضه آبریز مارون، از حوضه های مهم کشور بوده که ماهیت کوهستانی دارد مدل SWAT به خوبی منطقه مورد مطالعه را شبیه سازی کرده است، اما در شبیه سازی پیک رواناب از دقت پایین تری برخوردار بوده است اما این ضعف مانعی برای مطالعه و شبیه سازی هیدرولوژیکی که هدف اصلی این تحقیق است، نبوده و در چهارچوب عدم قطعیت مطالعات هیدرولوژیکی توجیه پذیر است. مطالعه حاضر با استفاده از الگوریتم SUFI2 برای ارزیابی رواناب های روزانه و ماهانه ثبت شده در ایستگاه های هیدرومتری ایدنک و تنگ تکاب صورت پذیرفت. یکی از کاربردهای ویژه مدل SWAT توانایی بررسی مؤلفه های مختلف چرخه هیدرولوژیکی در شبیه سازی حوضه های آبریز می باشد. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان می دهد در برنامه SUFI2 ، پارامتر شماره منحنی (CN) حساسیت بالاتری نسبت به سایر پارامترها دارد. نتایج بدست آمده نشان داد که حتی در صورتی که پارامترهای مدل بصورت مستقل برآورد شوند مدل از کارایی قابل قبولی برای شبیه سازی رواناب برخوردار است همچنین نتایج نشان داد که مدل تهیه شده قادر به شبیه‌سازی دقیق جریان‌های حداکثر نیست و در زمانهای اوج مقدار رواناب کمتر از مقدار واقعی آن برآورد شده است. از دلایل ضعف مدل در شبیه سازی رواناب می توان به ضعف شبیه سازی ذوب برف، فقدان اطلاعات در مورد برداشت آب از سفره های آب زیرزمینی و یا تغذیه آنها اشاره کرد. همچنین نتایج نشان داد پارامترهای آماری در استفاده از داده های روزانه از دقت پایین تری نسبت به داده های ماهانه برخوردار بوده است. دلیل کاهش ضریب دقت استفاده از داده های روزانه نسبت به ماهانه این است که داده های کالیبره شده روزانه در هر ایستگاه بسیار بیشتر از داده های کالیبره شده ماهانه می باشد به عبارتی بطور میانگین داده های روزانه می تواند تا ۳۰ برابر داده های روزانه باشد. ضریب NRMSE بالاترین میزان خطای واسنجی و اعتبارسنجی را نشان می دهد. این پارامتر در مرحله کالیبراسیون ماهانه و روزانه ایستگاه هیدرومتری ایدنک محدوده خطای پایین و قابل قبولی را نشان می دهد. افزایش دقت مدل SWAT با گذشت زمان در شبیه سازی رواناب، افزایش می یابد به عبارت دیگر هرچه مدل تعداد ران های بیشتری داشته و در چند مرحله و دوره آماری مدل ران شده و نتایج مورد مقایسه قرار بگیرد بطور طبیعی عملکرد مدل تحت کنترل بهتری بوده و نتایج با دقت بالاتری حاصل می گردد این موضوع ناشی از آن است که با گذشت زمان شرایط اولیه که برای شبیه سازی در زمانهای بعدی مورد نیاز است به مقادیر واقعی خود نزدیکتر میگردد و همین امر دقت مدل را افزایش می دهد. بطور کلی علاوه بر نقطه ضعفهایی که هر مدل در شبیه سازی حوضه های آبریز دارد در این تحقیق علل دیگری هم سبب اختلاف مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر مشاهده ای وجود دارد. از آن جمله می توان به کوهستانی بودن منطقه، کمبود تعداد ایستگاههای هیدرومتری و تغییرات اقلیمی ایجاد شده در دوره آماری داده های ثبت شده در ایستگاه های آب سنجی اشاره کرد که این مسأله بر عدم قطعیت پارامترهای ورودی اقلیمی مدل می افزاید. بطور کلی مدل SWAT، ماهیت استوکاستیک داشته بدین معنا که نتایج حاصل از مدل SWAT در تکرارهای زیاد به مقادیر واقعی نزدیکتر است و به بیان دیگر دقت مدل SWAT برای تک رخدادها کمتر است و معمولاً حداکثر وقایع را کمتر از مقدار اندازه گیری شده تخمین می زند. به دلیل عدم قطعیت در مدل، پیش‌بینی داده‌های آب و هوا و سایر ورودی‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی، شرایط هیدرولوژیکی آینده را نمی‌توان به‌طور کامل پیش‌بینی کرد. با این حال، نتایج این مطالعه می تواند در برنامه‌ریزی منابع آب و حفظ پایداری منابع آب در مواجهه با تقاضای مداوم برای آب برای اهداف کشاورزی و سایر منابع مصرف گنجانده می‌شود. این مطالعه همچنین نشان داد ابزار SWAT می تواند به عنوان یک ابزار شبیه‌سازی قدرتمند در مدلسازی هیدرولوژیکی حوضه های آبریز در راستای مدیریت پایدار منابع آب عمل نماید.

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: مصطفی میرمهدی، مجتبی شوریان، احمد شرافتی؛

روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: مصطفی میرمهدی، مجتبی شوریان، احمد شرافتی؛

نظارت و نگارش نهایی: مجتبی شوریان.

تعارض منافع

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

References

1. Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., Srinivasan, R. and Reichert, P. (2007). Modelling of hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. Journal of Hydrology. 333, 413–430.
2. Ahl, R. S., Woods, S. W. and Zuuring, H. R. (2008). Hydrologic calibration and validation of SWAT in a snow-dominated Rocky Mountain watershed, Montana, USA. Journal of the American Water Resources Association, 44(6), 1411–1430.
3. Arabi, M., Govindaraju, R. S., Engel, B. and Hantush, M. (2007). Multiobjective sensitivity analysis of sediment and nitrogen processes with a watershed model. Water Resources Research, 43(6), 1–11.
4. Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R., Williams, J.R., Haney, E.B. and Neitsch, S.L., (2011). Soil and water assessment tool input/output file documentation version 2009. Texas Water Resources Institute.
5. Boithias, L., Sauvage, S., Lenica, A., Roux, H., Abbaspour, K.C., Larnier, K., Dartus, D. and Sánchez-Pérez, J.M. (2017). Simulating flash floods at hourly time-step using the SWAT model. Journal of Water, 9(12), 929.
6. Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., Bezak, N., Biddoccu, M., Cerda, A., Chalise, D., Chen, S., Chen, W., De Girolamo, A. M., Gessesse, G. D., Deumlich, D., Diodato, N., Efthimiou, N., Erpul, G., Fiener, P., . . . Panagos, P. (2021). Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. Science of the Total Environment, 780, 146494-146512.
7. Demirel, M.C., Venancio, A. and Kahya, E., (2009). Flow forecast by SWAT model and ANN in Pracana basin, Portugal. Advances in Engineering Software, 40(7), pp.467-473.
8. Shourian, M., Zomorodyan, M.A., (2013). Hydrological simulation of Firoozabad basin by SWAT. Journal of Irrigation and Water Engineering.
9. Fohrer, N., Haverkamp, S., Eckhardt, K. and Frede, H. G. (2001). Hydrologic response to land use changes on the catchment scale. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere, 26(7–8), 577–582.
10. Moriasi, D. N. Arnold, J. G. Van Liew, M. W. Bingner, R. L. Harmel, R. D. and Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Journal of Transactions of the ASABE, 50(3), 885–900.
11. Naghshine, M.H., Raof, F.F. and Khoshrftar, A., (2013). The study of flood hydraulics before the building of Maroon Dam by HEC-RAS, Maskingam and Muskingum-Cunge method.
12. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R., (2011). Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute.
13. Panagos, P., & Katsoyiannis, A. (2019). Soil erosion modelling: The new challenges as the result of policy developments in Europe. Environmental Research, 172, 470-474.
14. Rahman, K. Maringanti, C. Beniston, M. Widmer, F. Abbaspour, K. and Lehmann, A. (2013). Streamflow modeling in a highly managed mountainous glacier watershed using SWAT: the Upper Rhone River watershed case in Switzerland. Journal of Water resources management, 27(2), 323-339.
15. Tuo, Y., Marcolini, G., Disse, M. and Chiogna, G. (2018). A multi-objective approach to improve SWAT model calibration in alpine catchments. Journal of hydrology, 559, 347-360.
16. Zalaki-Badil, N., Eslamian, S., Sayyad, G.A., Hosseini, S.E., Asadilour, M., Ostad-Ali-Askari, K., Singh, V.P. and Dehghan, S. (2017). Using SWAT Model to determine runoff, sediment yield in maroon-dam catchment. Int J Res Studies Agri Sci, 3, pp.31-41.