

## 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<sup>1</sup>, Mojtaba Shourian<sup>2\*</sup>, Ahmad Sharafati<sup>3</sup>

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](https://doi.org/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](mailto: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 monthly 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<sup>۱</sup>، مجتبی شوریان<sup>۲\*</sup>، احمد شرافتی<sup>۳</sup>

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

## 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 داده های جریان اندازه گیری شده در ایستگاه ایذنگ و تنگ تکاب بازه زمانی سال های آبی ۷۱-۱۳۷۰ لغایت ۷۹-۱۳۷۸ و برای اعتبارسنجی ایستگاه ایذنگ بازه زمانی سال های آبی ۸۰-۱۳۷۹ لغایت ۹۶-۱۳۹۵ و در ایستگاه تنگ تکاب بازه زمانی سال های آبی ۸۰-۱۳۷۹ لغایت ۸۵-۱۳۸۴ استفاده شد.

**نتیجه گیری:** 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 شبیه سازی هیدرولوژیکی حوضه های آبریز بزرگ با ماهیت کوهستانی توانایی قابل قبولی داشته و روند تغییرات جریان در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به خوبی شبیه سازی شده است.

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](https://doi.org/10.30495/wej.2024.32618.2399)

## واژه های کلیدی:

واسنجی، اعتبارسنجی، مارون، ابزار SWAT، الگوریتم SUFI-2

\* 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](mailto:m_shourian@sbu.ac.ir)

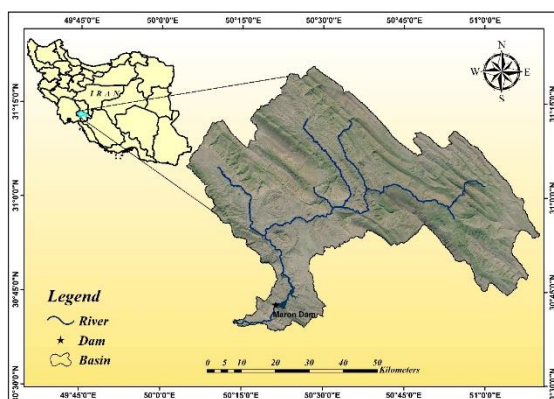
## مقدمه

در پایین دست این حوضه قرار دارد که این سد بعنوان یکی از مهم ترین منابع تأمین کننده انرژی کشور، در سال های 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 روش ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز مارون در قسمت جنوب غربی ایران، با مساحت ۳۸۰۸ کیلومترمربع در استان خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد در محدوده دامنه های زاگرس واقع شده است. رودخانه مارون واقع در حوضه آبریز مارون یکی از شاخه های مهم و عمده رودخانه جراحی می باشد. این رودخانه پس از اتصال شاخه های شب لیز، لوداب و سقاوه تشکیل می گردد و پس از طی مسافت ۱۲۰ کیلومتر به دریاچه سد مارون می رسد و پس از عبور از تنگه تکاب وارد دشت بهبهان می شود و توسط سد انحرافی شهدا، شبکه آبیاری بهبهان و از طریق سد انحرافی جایزان دشت جایزان و فجر را مشروب می کند (۱۱) سد مخزنی مارون بر روی رودخانه مارون با حجم کل مخزن حداکثر ۱۲۷۴ میلیون مترمکعب در فاصله سالهای ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۸ احداث گردیده و آبیگری آن در سال ۱۳۸۴ آغاز گردید (۱۶). شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی را در ایران را نشان می دهد.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز مارون

## مدل سازی شرایط هیدرولوژیکی با استفاده از مدل SWAT

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 مورد نیاز است. اکثر حوضه های آبریز کشور ما، به ویژه حوضه های آبریز کوهستانی و صعب العبور، فاقد ایستگاههای اندازه گیری آب سنجی به میزان مورد نیاز هستند. از آنجا که آمار و اطلاعات این ایستگاهها برای برنامه های حفاظتی و مدیریت حوضه های آبریز مورد نیاز است، شبیه سازی پدیده های 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 مدل های 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 مدل های هیدرولوژیکی تغییرات مؤلفه های زیادی از چرخه پیچیده آب بررسی شده است لذا مدل سازی فرآیندهای مختلف در حوضه های آبریز برای مدیریت آنها بسیار ضروری است. در سالهای اخیر مدل های ریاضی مختلفی در زمینه 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 (۷، ۱۳) 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 مطالعه 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 (۱۱) 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 سوئیس 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 مدل های 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، MCMC، ParaSol، SUFI-2. از آنجا که هر کدام از این روشها برای شرایط خاصی کاربرد دارند (۱). این روشها را به صورت یک بسته نرم افزاری تحت عنوان CUP SWAT گردآوری کرده اند. حوضه آبریز مارون در جنوب غرب کشور ایران واقع شده و سد مارون

اطلاعات مدیریتی از جمله کاشت، 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 باغی به مدل معرفی گردید. در این تحقیق، از آمار ماهانه دبی ایستگاه‌های ایدنک و تنگ تکاب بهیمن استفاده شد. در جدول (۱) مشخصات 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.

#### جدول ۱- ویژگی های ایستگاه های منطقه مورد مطالعه

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

مدل SWAT جزو مدل‌های پیوسته، نیمه توزیعی و دارای مبنای فیزیکی می‌باشد (۷، ۸) این مدل می‌تواند با استفاده از چرخه هیدرولوژی حوضه و فرموله کردن تمام فرآیندهای فیزیکی آن، جریان را برای هر واحد پاسخ هیدرولوژی به صورت جداگانه معین و سپس مقدار آن را برای کل حوضه مورد نظر محاسبه نماید (۴، ۱۲) برای شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژی در مدل SWAT، در مرحله نخست با تعریف نقشه Dem با دقت ۳۰ متری به مدل و تولید شبکه جریان توسط خود مدل، بر اساس حد آستانه ۱۵۰۰۰ هکتار به عنوان حداقل سطح زهکشی و مشخص نمودن ایستگاه‌های هیدرومتری ایدنک و تنگ تکاب بهیمن به عنوان خروجی های حوضه، حوضه آبریز مارون به ۱۵ زیرحوضه تقسیم‌بندی شد. در مرحله بعد، نقشه خاک FAO با دقت ۱۰ کیلومتری به همراه نقشه کاربری اراضی (GLCC ۲) پوشش زمین بر اساس ماهواره (NOAA) برای سال ۱۹۹۲ به مدل وارد شده و طبقات شیب نیز تعریف گردید و با ترکیب آنها واحدهای واکنش هیدرولوژی (HRU) در هر زیرحوضه تولید شدند. در این تحقیق سه کلاس شیب (۲۱-۴۱، ۴۱-۶۱، >۶۱ درصد) به مدل معرفی گردید. در شکل (۲) اطلاعات نقشه‌های کاربری اراضی، خاک، نقشه رقومی ارتفاعی و زیرحوضه‌ها نشان داده شده است. در گام بعدی نوبت به تعریف داده‌های اقلیمی به مدل است. اطلاعات مربوط به بارش و درجه حرارت روزانه به مدل وارد شده 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

#### 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

<sup>1</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations

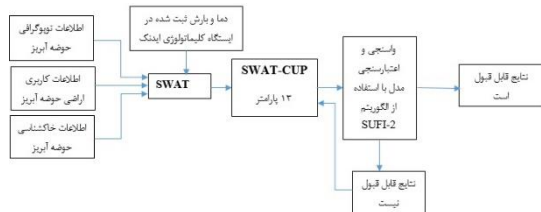
<sup>2</sup> Global Land Cover Characterization

<sup>3</sup> Hydrological Response Unit



جدول ۴- خصوصیات خاک در منطقه طرح

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

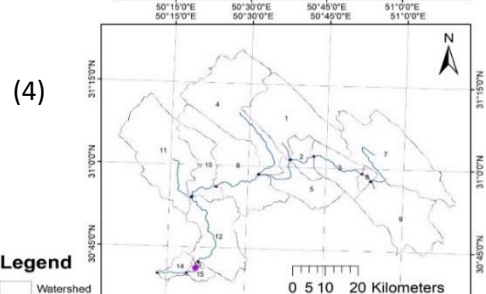
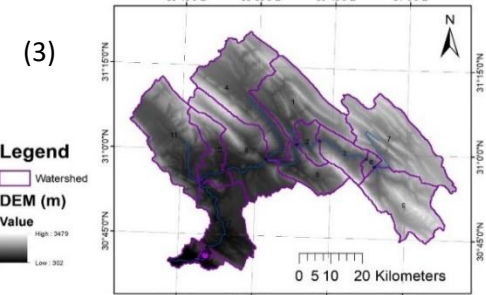
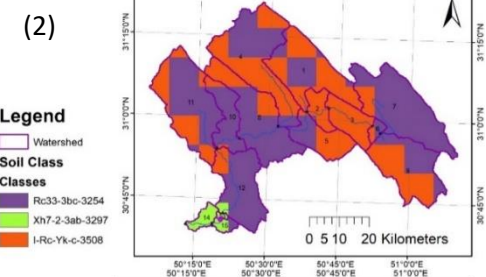
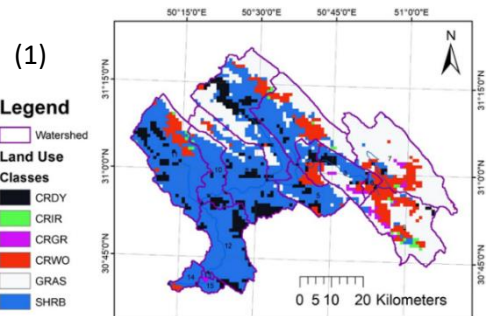


شکل ۳- نمایش روند تحقیق

### نتایج و بحث

#### واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

در این مطالعه ابتدا توسط نرم افزار 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 شبیه سازی جریان مشخص شدند. روش های کالیبراسیون و آنالیز عدم قطعیت ارتباط نزدیکی با هم دارند و هیچ کالیبراسیون نباید بدون تعیین میزان عدم قطعیت مرتبط با پیش بینی 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 نرم افزار، الگوریتم SUFI-2 انتخاب گردید. برای انجام واسنجی از داده های جریان اندازه گیری شده در ایستگاه ایدنک و تنگ تکاب بازه زمانی سال های آبی ۷۱-۱۳۷۰ تا لغایت ۷۹-۱۳۷۸ و برای اعتبارسنجی ایستگاه ایدنک بازه زمانی سال های آبی ۸۰-۱۳۷۹ تا لغایت ۹۶-۱۳۹۵ و در ایستگاه تنگ تکاب بازه زمانی سال های آبی ۸۰-۱۳۷۹ تا لغایت ۸۵-۱۳۸۴ استفاده شده و از ضریب نش-ساتکلیف به عنوان تابع هدف برای بهینه سازی استفاده گردید. عدم قطعیت نتایج شبیه سازی مدل نیز توسط عدم قطعیت تخمین ۹۵ درصد



شکل ۲- نقشه (1) کاربری 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

شبهه سازی دنیای واقعی دارد، در این پژوهش علل دیگری هم سبب اختلاف شبهه سازی های مدل با مقادیر مشاهده ای شده است. از جمله 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 مدل های شبهه 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 شبهه 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

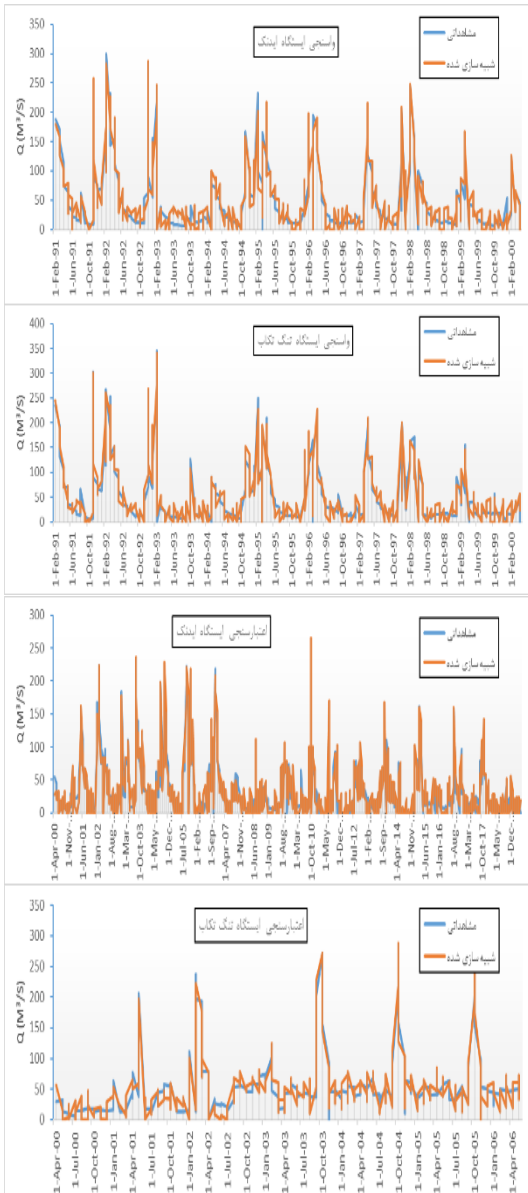
توضیحات	مقادیر کالیبره شده	دامنه پارامتر	پارامتر
Curve Number, moisture condition	63	32-89	CN2
Deep aquifer percolation fraction	0.8	0-1	RCHRG_DP
Average slope length	48	15-2000	v__SLSUBBSN.hru
delay, Groundwater days	29.5	4.1-47.3	GW_DELAY
hydraulic Effective conductivity in main channel alluvium	66.43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

(۹۵ ppu) محاسبه گردید. از شاخص های ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضریب نش-ساتکلیف (N-S) نیز جهت ارزیابی کارایی مدل SWAT در مرحله های واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مدل SWAT، در جدول (۵) ارائه شده است. پارامتر شماره 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 عمده ای 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 رتبه های بعدی قرار می گیرند. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه کوهستانی می باشد، پارامترهای SMTMP و 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 ( $NS$ ،  $R2$ ) 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 شبهه سازی ها پارامترهای مدل SWAT بطور مستقل (مستقیم) بدست آمده اند نتایج شبهه سازی بیانگر آن است که ابزار SWAT در شبهه سازی هیدرولوژیکی حوضه های آبریز بزرگ با ماهیت کوهستانی توانایی قابل قبولی داشته و روند تغییرات جریان در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به خوبی شبهه سازی شده است همچنین نتایج نشان داد که مدل تهیه شده قادر به شبهه سازی دقیق جریان های حداکثر نیست و در زمانهای اوج مقدار رواناب کمتر از مقدار واقعی آن برآورد شده است. از علت های ضعف مدل در شبهه سازی جریان حداکثر در بعضی از ماهها می توان به شبهه سازی 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

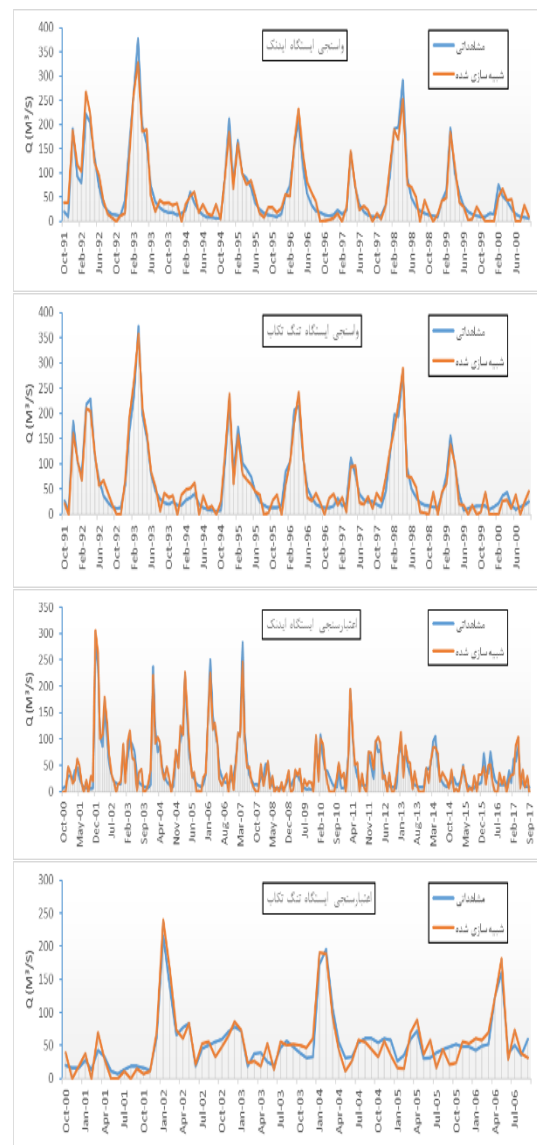


جدول ۶: مقادیر شاخص های ارزیابی عملکرد مدل در شبیه سازی رواناب در مدل های اجرا شده

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



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

## نتیجه‌گیری

همین امر دقت مدل را افزایش می‌دهد. بطور کلی علاوه بر نقطه ضعفهایی که هر مدل در شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز دارد در این تحقیق علل دیگری هم سبب اختلاف مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده‌ای وجود دارد. از آن جمله می‌توان به کوهستانی بودن منطقه، کمبود تعداد ایستگاههای هیدرومتری و تغییرات اقلیمی ایجاد شده در دوره آماری داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های آب‌سنجی اشاره کرد که این مسأله بر عدم قطعیت پارامترهای ورودی اقلیمی مدل می‌افزاید. 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 اندازه‌گیری شده تخمین می‌زند. 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 می‌تواند در برنامه‌ریزی منابع آب و حفظ پایداری منابع آب در مواجهه با تقاضای مداوم برای آب برای اهداف کشاورزی و سایر منابع مصرف‌گنجانده می‌شود. این مطالعه همچنین نشان داد ابزار SWAT می‌تواند به عنوان یک ابزار شبیه‌سازی قدرتمند در مدلسازی هیدرولوژیکی حوضه‌های 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.

تجزیه و تحلیل ویژگی‌های جریان رودخانه و شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، برای تصمیم‌گیری مناسب در مورد مسائل مربوط به سیستم‌های آریزایی و برنامه‌ریزی حوضه‌های حیات است. حوضه آبریز مارون، از حوضه‌های مهم کشور بوده که ماهیت کوهستانی دارد مدل SWAT به خوبی منطقه مورد مطالعه را شبیه‌سازی کرده است، اما در شبیه‌سازی پیک رواناب از دقت پایین تری برخوردار بوده است اما این ضعف مانعی برای مطالعه و شبیه‌سازی 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 آریزایی رواناب‌های روزانه و ماهانه ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری آیدنک و تنگ تکاب صورت پذیرفت. یکی از کاربردهای ویژه مدل SWAT توانایی بررسی مؤلفه‌های مختلف چرخه هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز می‌باشد. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد 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 شبیه‌سازی 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 شبیه‌سازی رواناب می‌توان به ضعف شبیه‌سازی ذوب برف، فقدان اطلاعات در مورد برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی و یا تغذیه آنها اشاره کرد. همچنین نتایج نشان داد پارامترهای آماری در استفاده از داده‌های روزانه از دقت پایین تری نسبت به داده‌های ماهانه برخوردار بوده است. دلیل کاهش ضریب دقت استفاده از داده‌های روزانه نسبت به ماهانه این است که داده‌های کالیبره شده روزانه در هر ایستگاه بسیار بیشتر از داده‌های کالیبره شده ماهانه می‌باشد به عبارتی بطور میانگین داده‌های روزانه می‌تواند تا ۳۰ برابر داده‌های روزانه باشد. ضریب NRMSE بالاترین میزان خطای واسنجی و اعتبارسنجی را نشان می‌دهد. این پارامتر در مرحله کالیبراسیون ماهانه و روزانه ایستگاه هیدرومتری آیدنک محدوده خطای پایین و قابل قبولی را نشان می‌دهد. افزایش دقت مدل SWAT با گذشت زمان در شبیه‌سازی رواناب، افزایش می‌یابد به عبارت دیگر هرچه مدل تعداد ران‌های 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 می‌گردد این موضوع ناشی از آن است که با گذشت زمان شرایط اولیه که برای شبیه‌سازی در زمانهای بعدی مورد نیاز است به مقادیر واقعی خود نزدیکتر میگردد و

## 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 Khoshrtar, 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.