



## Flood Prioritization of Sarbaz River Sub-Basins Using the SWAT Model

Javad Chezgi<sup>1\*</sup>, Ehsan Hamedi<sup>2</sup>

1. Assistant Professor, Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran.

2. MSc student, Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjan, Iran.

\*Corresponding Author: [chezgi@birjand.ac.ir](mailto:chezgi@birjand.ac.ir)

### Keywords:

Prioritization, Runoff, Sarbaz river, SWAT model, Watershed Management

### Extended Abstract

#### Introduction

Flooding is one of the most important threats to human society, which has increased in recent decades with population growth and climate change. To prevent such harmful phenomena, it is currently impossible to change the factors and elements of the atmosphere. Therefore, any fundamental solution should be sought on the ground, especially in watersheds. From this point of view, areas with a high potential for flooding should be properly identified. Of course, to do this, it is necessary to identify the flood-prone areas inside the watershed, because due to the large size and extent of the country's watersheds, it will not be possible to carry out implement and correct operations in principle. Therefore, studying the features of basins related to flooding levels can help to properly manage this risk. Nowadays, several methods such as morphological characteristics, decision-making methods and hydrological models are used to prioritize watershed sub-basins.

#### Materials and methods

This research was carried out using SWAT hydrological model in 21 sub-basins of Sarbaz basin located in Sistan and Baluchistan province. After preparing the parameters and input data, while considering two years of warming, the model was recalibrated for a 17-year period from 1999 to 2016 and then validated during a five-year period from 2017 to 2021. The first step in watershed simulation is to divide the watershed into several sub-basins and hydrological response units (HRU). The necessary inputs

### Received:

13 Jun 2023

### Revised:

21 Aug 2023

### Accepted:

26 Aug 2023

### How to cite this article:

Chezgi, J., & Hamedi, E. (2023). Flood prioritization of Sarbaz river sub-basins using SWAT model. *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(3), 73- 86. [10.22077/JDCR.2023.6478.1026](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.6478.1026).



for the watershed configuration are: GIS maps of the basin, which include: digital elevation map (DEM), land use map, soil map, digitized stream map, study area map. Meteorological data includes: precipitation, minimum and maximum temperature, solar radiation, wind speed and relative humidity during the desired time period. Hydrometric data includes discharge statistics and information in the desired time period that was used in this monthly research. After entering the required information for the model, the database was completed and the model was prepared for simulating the watershed. It should be noted that the warm up period was used for model preparation, calibration and validation in SWAT-CUP software.

### **Results and discussion**

The results obtained in the calibration stage were  $NS=0.76$  and  $R^2=0.86$  and in the validation stage  $NS=0.56$  and  $R^2=0.58$ . The initial curve number parameter for medium humidity conditions and the alpha parameter in the return flow had the greatest effect on the sensitivity analysis. The initial curve number parameter for medium humidity conditions and the alpha parameter in the return flow had the greatest effect in the sensitivity analysis, which is consistent with the results of Saraei et al. (2019) and Haydari et al. (2019). According to table (4), sub-basin 20 ranks first among 21 sub-basins with an average runoff of 2.46, and sub-basin 10 has the lowest amount of runoff with an average of 0.06. The results of prioritization show that the south and southwest basins are prioritized, due to the reduction of vegetation and permeability.

### **Conclusion**

This research was carried out using SWAT hydrological model in 21 sub-basins of Sarbaz watershed located in Sistan and Baluchistan province. The results obtained in the calibration stage were  $NS=0.76$  and  $R^2=0.86$  and in the validation stage  $NS=0.56$  and  $R^2=0.58$ . It can be concluded that the SWAT model has performed well in the simulation of the Sarzab watershed and this model can be used to simulate large watersheds with complex and heterogeneous conditions such as the Sarzab watershed with an area of 6850 square kilometers, provided that the input data is accurate. However, subbasins have been prioritized less than this model. Hydrological methods also allow the application of scenarios and different managements in land management. In the continuation of this research, by applying flood management scenarios, the amount of destructive floods that always cause river flooding and cause irreparable damages in the studied area can be minimized, and these scenarios can be used to reduce possible risks in the future.



## اولویت‌بندی سیلخیزی زیر حوضه‌های رودخانه سر باز با استفاده از مدل SWAT

جواد چزگی\*<sup>۱</sup>، احسان حامدی<sup>۲</sup>

۱. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.  
 ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.  
 \*نویسنده مسئول: chezgi@birjand.ac.ir

### واژه‌های کلیدی:

آبخیزداری، اولویت‌بندی، رواناب، رودخانه سر باز، مدل SWAT.

### چکیده

سیل یکی از مهم‌ترین مخاطرات تهدیدکننده جامعه بشری محسوب می‌شود، که در دهه‌های اخیر با افزایش جمعیت و تغییر اقلیم اثرات این مخاطره بیشتر شده است. بنابراین مطالعه ویژگی‌های حوضه‌ها که با میزان سیل‌خیزی مرتبط می‌باشد می‌تواند به مدیریت صحیح این مخاطره کمک نماید. امروزه برای اولویت‌بندی زیر حوضه‌های آبخیز از روش‌های متعددی مانند خصوصیات مورفولوژیکی، روش‌های تصمیم‌گیری و مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌گردد. این تحقیق با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در ۲۱ زیر حوضه آبخیز سر باز واقع در استان سیستان و بلوچستان انجام گرفت. پس از آماده‌سازی پارامترها و داده‌های ورودی، ضمن در نظر گرفتن دو سال برای گرم کردن، مدل برای یک دوره ۱۷ ساله از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۶ واسنجی و سپس طی یک دوره پنج ساله از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ صحت‌سنجی گردید. نتایج بدست آمده در مرحله واسنجی  $NS = 0.76$  و  $R^2 = 0.86$  و در مرحله صحت‌سنجی  $NS = 0.56$  و  $R^2 = 0.58$  بدست آمد. همچنین پارامتر شماره منحنی اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط و پارامتر آلفا در جریان برگشتی بیشترین تأثیر را در آنالیز حساسیت داشتند. نتایج نشان داد که در اولویت‌بندی سیل‌خیزی منطقه مورد مطالعه، زیر حوضه ۲۰ با میانگین ارتفاع رواناب ۲/۴۶ در اولویت اول و زیر حوضه ۱۰ با ارتفاع رواناب ۰/۰۶ در اولویت آخر قرار گرفت. براساس معیار ضریب تبیین و نش-ساتکلیف می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل در شبیه‌سازی حوضه آبخیز سر باز به خوبی عمل کرد و می‌تواند برای مدل‌سازی در حوضه استفاده گردد. کنترل سیل با اولویت‌بندی سیلخیزی زیر حوضه‌ها و با اعمال مدیریت‌های بهبود پوشش مراتع و احداث سازه‌های آبخیزداری در حوضه رودخانه سر باز میزان دبی سیلاب را کاهش می‌دهد و از خسارات ناگهانی پیشگیری می‌نماید.

### تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۳/۲۳

### تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۰۵/۳۰

### تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۶/۰۴

## مقدمه

سیل یکی از بزرگترین بلایای طبیعی است که تقریباً در همه کشورهای جهان رخ می‌دهد و منجر به خسارات جانی و مالی و خسارات ساختاری می‌شود (Mukherjee and Singh, 2019). سیل و فراوانی آن تحت کنترل عوامل متعددی از جمله آب و هوا، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، شیوه‌های مهندسی نادرست در بستر رودخانه‌ها، تخریب دشت سیلابی، زمین‌های کشاورزی و جنگل‌ها به دلیل شهرنشینی و افزایش جمعیت و غیره قرار دارد (Skilodimou et al., 2019; Komolafe et al., 2020). در ایران نیز به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص از جمله اقلیم خشک و نیمه‌خشک، رگبار شدید، وجود کوهستان‌های متعدد با شیب تند و اراضی غیرقابل نفوذ، شرایط برای وقوع سیلاب کاملاً فراهم شده است. بیشتر مناطق ایران با قرارگیری مرکز پرفشار جنب حاره‌ای در ماه‌های متوالی از ریزش‌های جوی محروم می‌باشند و در ماه‌های دیگر سال، ممکن است میزان قابل توجهی باران در مدت چند روز یا گاهی چند ساعت ریزش کرده و سیلاب‌های مخربی را به وجود آورد (Male-kian et al., 2012). سیل و حوادث مرتبط با آن یکی از مهمترین بلایای طبیعی بوده که همه ساله در کشور باعث بروز خسارت‌های عمده‌ای به تأسیسات، راه‌ها و از دست رفتن آب و خاک می‌شود. رواناب در اقلیم خشک و نیمه‌خشک سبب ایجاد سیلاب‌های خطرناکی می‌گردد. بنابراین تجزیه و تحلیل مکانی رواناب برای مدیریت بحران ضروری به نظر می‌رسد (Khosravi et al., 2022). علاوه بر این، افزایش سریع جمعیت جهان و گشودن دشت‌های سیلابی به روی سکونتگاه‌ها با شیوه‌های مهندسی اشتباه در حاشیه رودخانه‌ها، تخریب پوشش گیاهی و جنگلی و برداشت‌های بی‌رویه زمین از مهم‌ترین عوامل وقوع سیل است (Aydin and Raja, 2020). ایجاد رواناب در سطح زمین مشکلاتی مانند فرسایش خاک، وقوع سیلاب، کاهش حاصلخیزی خاک و پوشش گیاهی و حتی کاهش منابع آب زیرزمینی را دربر خواهد داشت. با اطلاع از سطوحی از یک حوضه آبخیز که پتانسیل تولید رواناب و سیل‌خیزی بالاتری دارند

می‌توان تدابیری برای کاهش رواناب در نظر گرفت (Derakhshan, 2009). برای جلوگیری از بروز اینگونه پدیده‌های زیانبار در حال حاضر نمی‌توان در عوامل و عناصر جوی تغییری ایجاد نمود بنابراین هر گونه راه حل اصولی و چاره‌ساز را باید در روی زمین و اختصاصاً در حوضه‌های آبخیز جستجو کرد. از این نظر مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند باید به طریقی شناسایی شوند. مسلماً برای انجام این کار نیاز به شناسایی مناطق سیل‌خیز در داخل حوضه می‌باشد، زیرا به دلیل وسعت زیاد و گستردگی حوضه‌های آبخیز کشور انجام عملیات اجرایی و اصلاحی به صورت اصولی امکان‌پذیر نخواهد بود (Arbabi et al., 2007). تجارب مطالعاتی و مدیریتی کشورهای مختلف نشان می‌دهد که اولین گام در راستای کاهش آثار زیان‌بار سیل، شناخت مناطق سیل‌گیر و پهنه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل‌گیری است تا بتوان بر اساس نتایج به‌دست آمده با مدیریت یکپارچه و برنامه‌ریزی شهری جامع تا حد ممکن مانع از آثار زیان‌بار سیلاب‌های شهری گردید. ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبخیز، ویژگی‌ها و اقدامات ناشی از فعالیت‌های بشری، از جمله عواملی است که شناخت و دسته‌بندی آن‌ها در هر منطقه‌ای از اصول اولیه مهار سیلاب و خطرات آن است (Razavi, 2007). اخیراً به دلیل افزایش فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی، سیل هر سال در سرتاسر جهان به دفعات بیشتر اتفاق می‌افتد. بنابراین نیاز به توسعه مدل‌های دقیق برای پیش‌بینی و نقشه‌برداری حساسیت سیل احساس می‌گردد که می‌تواند در توسعه برنامه‌های مدیریت سیل مؤثر و مفید باشد (Luu et al., 2021). بنابراین، درک صحیح از فرآیندهای دخیل در زمان وقوع، بزرگی و تداوم سیلاب‌ها برای طراحی و مدیریت سازه‌های آبی و پروژه‌های کنترل سیلاب از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. با مشخص کردن نواحی از نظر خطر سیل‌خیزی می‌توان برای مناطق مختلف، کاربری‌های متناسب با همان مناطق را تعریف نمود و تا آن‌جا که ممکن است پیشگیری‌های لازم را انجام داد. بنابراین اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز باعث هدایت صحیح و مؤثر بودجه،

منابع انسانی، تجهیزات و سایر منابع درون حوضه‌ای می‌شود که توان و پتانسیل بیشتر برای اقدام مشابه به سایر حوضه‌ها در منطقه را دارد. همچنین یکی از ابزارهای مهم آبخیزداری و تصمیم‌گیری بهینه، اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز است که می‌تواند در حفظ آب و خاک و مدیریت سیلاب مؤثر باشد (Na- siri Khiavi et al., 2022).

در سال‌های اخیر، توسعه فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور منجر به پیدایش روش‌های بسیاری به منظور درک و پیشگیری از حوادث سیل شده است. بسته به این توسعه، مدل‌ها یا روش‌های آماری مانند مطالعات خطر و ریسک سیل، مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی سیل، حساسیت و اولویت سیل بر اساس مورفومتری حوضه زهکشی برای درک دینامیک سیل پدیدار شده‌اند (Luu et al., 2021); (El-Fakharany and Mansour, 2021). روش‌های مختلفی برای تعیین میزان رواناب و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی وجود دارد، که اکثر این روش‌ها بر پایه روش‌های نموداری و استفاده از فرمول‌های تجربی، تحلیل آماری داده‌های سیلاب، تفکیک حوضه به زیرحوضه‌ها، مدل‌های تصمیم‌گیری، داده‌های دورسنجی و GIS و تلفیق آن‌ها با آنالیزهای مورفومتریک می‌باشد (Tajbakhsh and Chezgi, 2023) بطوریکه که کمتر از روش هیدرولوژیکی SWAT در اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز استفاده شده است.

پژوهشگران در تحقیقی به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز سردآبرود از نظر سیل‌خیزی با استفاده از مدل SWAT پرداختند. برای واسنجی مدل از داده سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ و برای اعتبارسنجی از آمار سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ استفاده کردند. نتایج واسنجی براساس شاخص‌های آماری  $R^2$ ،  $BR^2$  و ضریب نش ساتکلیف تعیین گردید که بترتیب معادل ۰/۷۷، ۰/۶۳ و ۰/۷۷ و در مرحله اعتبارسنجی آن به ترتیب معادل ۰/۷۹، ۰/۷۶ و ۰/۷۱ برآورد شد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد پارامترهای ثابت تخلیه آب زیرزمینی، زمان تاخیر آب زیرزمینی و حداقل مقدار ذخیره آب لازم برای ایجاد جریان پایه به ترتیب حساسیت بیشتری داشتند. در نهایت زیرحوضه شماره ۶ با ارتفاع رواناب

۱۲۳,۰۵ در رتبه اول قرار گرفت (Sarai et al., 2019). محققان در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب سطحی حوضه مزلقان با استفاده از مدل SWAT پرداختند. در این تحقیق جهت شبیه‌سازی رواناب از داده‌های آماری سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۵ و جهت ارزیابی توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی رواناب از شاخص‌های نش-ساتکلیف و  $R^2$  استفاده نمودند. نتایج مدل نشان‌دهنده توانایی مدل با نش-ساتکلیف و  $R^2$  بترتیب ۰/۶ و ۰/۶۱ در مرحله واسنجی و ۰/۵۸ و ۰/۵۸ در مرحله اعتبارسنجی می‌باشد. نتایج بدست آمده از مدل LARS\_WG نشان از قابل قبول بودن پیش‌بینی تغییرات اقلیم بر متوسط رواناب می‌باشد (Haji Ghasemi et al., 2021). در تحقیقی دیگر محققان با هدف ایجاد یک مدل هیدرولوژیکی پایدار، شبیه‌سازی جریان را با حداقل عدم قطعیت در بین پارامترهای کالیبراسیون انجام دادند. در این تحقیق از مدل SWAT 2012 برای شبیه‌سازی جریان حوضه Lidder واقع در بخش جنوب شرقی دره کشمیر برای دوره‌های (۲۰۰۷-۲۰۱۵) و از الگوریتم SWAT-CUP به نام برازش عدم قطعیت متوالی (SUFI-2) برای کالیبراسیون مدل چند سایتی و اعتبارسنجی برای مراحل زمانی ماهانه استفاده شده است. نتایج کالیبراسیون برای شبیه‌سازی ماهانه برای دوره (۲۰۰۹-۲۰۱۲) عملکرد مدل را عالی برای نرخ جریان با  $R^2$  ۰/۸۹، ۰/۸۵، و ۰/۸۹ نشان می‌دهد و مقادیر NSE معادل ۰/۷۳، ۰/۷۲، و ۰/۸۳ به دست آمد. با این حال، نتایج اعتبارسنجی برای شبیه‌سازی ماهانه برای دوره (2013-2015) و همچنین عملکرد خوب مدل برای نرخ‌های جریان با مقادیر  $R^2$  به دست آمده است (Malik et al., 2022).

پژوهش حاضر به اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های رودخانه سرابز با استفاده از مدل SWAT در جنوب استان سیستان و بلوچستان پرداخته است زیرا اکثر بارندگی‌های این حوضه بصورت رگبار و اتفاقی است که همواره موجب طغیان و سیلاب در این رودخانه می‌شود و خسارت‌های زیادی را متوجه مناطق مسکونی، راه‌ها، جاده‌ها و کشاورزان حاشیه رودخانه می‌نماید. بنابراین ارائه روشی مناسب برای

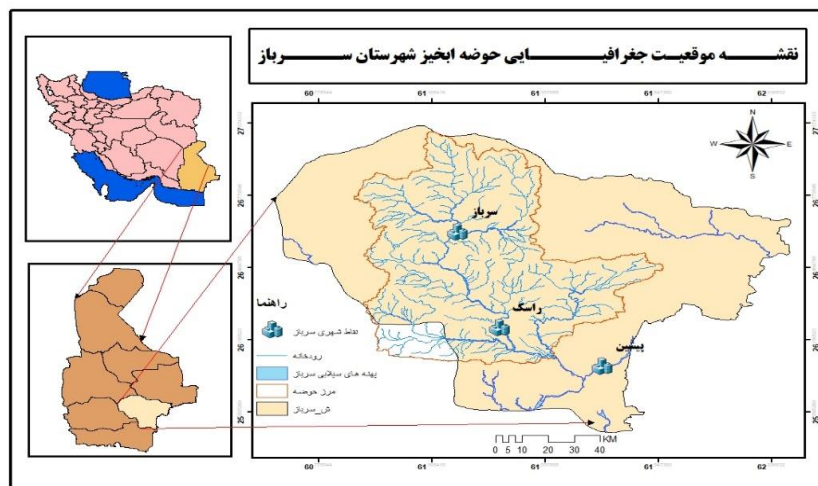
مدیریت این مناطق می‌شود از روش‌های بیولوژیکی و مکانیکی آبخیزداری استفاده نمود.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سربز در قسمت‌های جنوبی استان سیستان و بلوچستان و در جنوب شرقی ایران در محدوده‌ی بین ۶۰ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۲۶ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است و از زیر حوضه‌های دریای مکران محسوب می‌شود (شکل ۱). این حوضه از شمال به حوضه آبخیز زابلی و هامون و جازموریان، از جنوب به حوضه آبریز باهوکلان و از غرب به حوضه آبریز قصر قند محدود می‌گردد. رودخانه سربز قسمتی از رودخانه باهوکلان می‌باشد.

کاهش خسارت‌های ناشی از سیل در حوضه ضرورت پیدا کرده است (Gorgij, 2018). با توجه به شرایط توپوگرافی و آب و هوایی حوضه آبخیز سربز طرح‌های آبخیزداری می‌تواند کمک شایانی به جلوگیری از بروز این مشکلات نماید. در این تحقیق سعی بر آن است تا با استفاده از سناریوهای پروژه‌های مختلف آبخیزداری بهترین روش‌ها انتخاب و در اجرا استفاده گردد. تعیین مناطق مستعد سیل از اولین و مهمترین بخش‌های پروژه‌های آبخیزداری است که می‌تواند به کنترل و مدیریت سیلاب در مراحل اولیه تشکیل کمک نماید. تحقیق حاضر با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در ۲۱ زیرحوضه آبخیز سربز واقع در استان سیستان و بلوچستان انجام گرفته است، تا زیرحوضه‌های بحرانی از نظر سیل‌خیزی را تعیین نماید. بعد از تعیین زیرحوضه‌های سیل‌خیز برای



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه در ایران و در استان سیستان و بلوچستان

Fig 1. Map of the study area in Iran and in Sistan and Baluchistan province

اقیانوس هند می‌باشد پس از طی کشورهای هند و پاکستان نهایتاً از مرز جنوب شرقی وارد شده و مناطق جنوب شرقی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که در در فصل تابستان بسته به شرایط آب و هوایی بصورت رگباری و شدید و گاهی سیل آسا ایجاد ریزش می‌نماید. متوسط بارندگی این منطقه ۹۰ میلی‌متر در سال و دمای متوسط نیز بین ۳،۱۳ الی ۳۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است.

### روش تحقیق

در این تحقیق اولویت زیرحوضه‌های آبخیز رودخانه

با توجه به قرار گرفتن حوضه آبخیز شهرستان سربز در عرض ۲۶ تا ۲۷ درجه شمالی تقریباً این حوضه در بین قلمرو آب و هوای خشک و نیمه خشک واقع گردیده است. این منطقه از دو رژیم بارندگی تبعیت می‌کند. ۱- رژیم بارندگی سیستماتیک که منشأ آن دریای مدیترانه و دریای سرخ می‌باشد ناحیه جنوب شرقی کشور را در بر گرفته و در فصل پاییز و زمستان در این منطقه تولید ریزش می‌نماید، بطوریکه بیش از ۹۰ درصد باران منطقه بر اثر این رژیم بارندگی رخ می‌دهد. ۲- رژیم بارندگی مانسون که منشأ آن

چندین HRU<sup>2</sup> تقسیم می‌کند. HRU از ترکیب نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک و نقشه طبقات شیب حاصل می‌شود. رواناب سطحی، رسوب، آب موجود در خاک و عناصر شیمیایی ابتدا در هر HRU و سپس در هر زیر حوضه و در آخر در کل حوضه آبخیز محاسبه می‌گردد (Arnold, 2001).

### ورودی‌های مدل

#### ورودی‌های پایه حوضه آبخیز

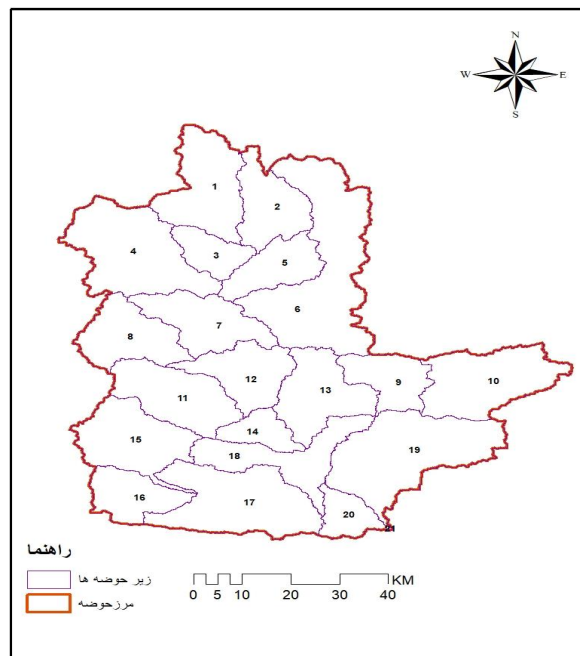
اولین مرحله شبیه‌سازی حوضه آبخیز، تقسیم حوضه به چندین زیر حوضه و واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) است. ورودی‌های لازم برای پیکربندی حوضه آبخیز عبارتند از: نقشه‌های GIS حوضه که شامل: نقشه رقومی ارتفاعی (DEM)، نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک، نقشه آبراه‌های رقومی شده و نقشه محدوده مورد مطالعه می‌باشد (Karami, 2017) که در این تحقیق منطقه مورد مطالعه به ۲۱ زیر حوضه تقسیم گردید (شکل ۲).

نقشه DEM، نقشه شیب، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک به ترتیب در شکل‌های (۳) تا (۴) نشان داده شده‌اند.

سرزاب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT تعیین گردید. در این راستا ابتدا داده‌های مورد نیاز از سازمان‌های مربوطه تهیه شد و سپس جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT مورد استفاده قرار گرفت.

#### مدل SWAT<sup>1</sup>

مدلی فیزیکی می‌باشد که به‌جای ضمیمه کردن روابط رگرسیونی برای تشریح روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی، نیازمند اطلاعاتی در مورد آب‌وهوا، مشخصات خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های مدیریت و کاربری اراضی در سطح حوضه می‌باشد. فرآیندهای فیزیکی مرتبط با حرکت آب، حرکت رسوبات، رشد گیاه، چرخه مواد مغذی و مشابه آن در این مدل به‌طور مستقیم از روی پارامترهای ورودی شبیه‌سازی می‌شوند. مدل SWAT می‌تواند تغییرات در واکنش هیدرولوژیکی حوضه، کیفیت آب و فرسایش را مدل‌سازی و همچنین اثرات تغییرات کاربری زمین و تنوع آب و هوا بر روی یک حوضه را به خوبی تخمین نماید. این مدل به منظور مدل‌سازی بهتر، حوضه آبخیز را به چندین زیر حوضه و هر زیرحوضه را به

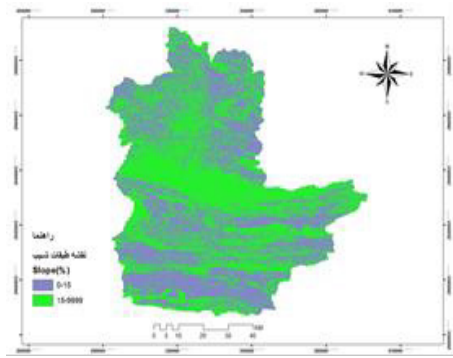


شکل ۲. نقشه زیرحوضه‌های حوضه آبخیز منطقه مورد مطالعه

Fig 2. Map of the watershed sub-basins of the study area

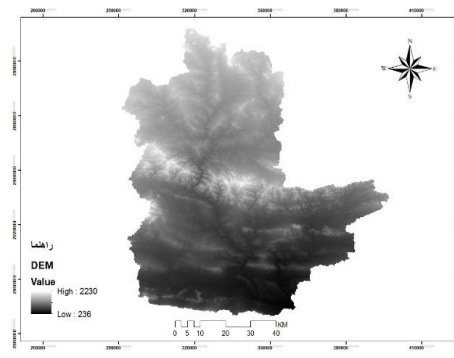
<sup>2</sup> Hydrologic Response Unit

<sup>1</sup> Soil and Water Assessment Tool



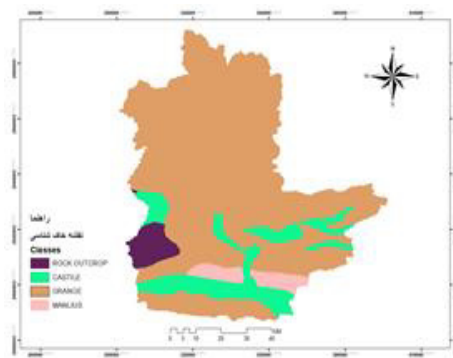
شکل ۴. نقشه طبقات شیب

Fig 4. Map of slope



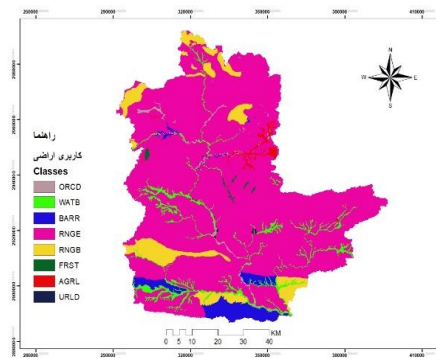
شکل ۳. نقشه DEM (مدل رقومی ارتفاعی)

Fig 3. Dighital Elevation Model (DEM)



شکل ۶. نقشه طبقات خاکشناسی

Fig 6. Map of Soil



شکل ۵. نقشه کاربری اراضی

Fig 5. Land use map

### داده‌های هیدرومتری

شامل آمار و اطلاعات دبی در بازه زمانی مورد نظر که در این تحقیق به صورت ماهانه و براساس راهنمای مدل (Neitsch et al., 2011) مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱).

### داده‌های هواشناسی

شامل: بارش، دمای حداقل و حداکثر، تشعشع خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی در طی دوره زمانی مورد نظر می‌باشد (Sedighi Hamidi et al., 2017).

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of the studied stations

| ارتفاع<br>Height | عرض جغرافیایی<br>latitude | طول جغرافیایی<br>Longitude | نوع ایستگاه<br>Station type | نام ایستگاه<br>Station name |
|------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 880              | 26° 37' 59"               | 61° 15' 0"                 | باران سنج<br>Rain gauge     | سرباز (کچدر)<br>Sarbaz      |
| 120              | 25° 41' 59"               | 61° 24' 55"                | تبخیرسنج<br>Evaporator      | باهوکلات<br>Bahokalal       |
| 257              | 26° 07' 0"                | 61° 37' 0"                 | هیدرومتری<br>Hydrometry     | پیشین<br>Pishein            |

به منظور آماده‌سازی مدل، واسنجی مدل (Calibra- tion) و اعتبارسنجی (Validation) در نرم افزار SWAT- CUP انجام گردید.

پس از ورود اطلاعات مورد نیاز مدل، بانک اطلاعاتی تکمیل و مدل برای شبیه‌سازی حوضه آبخیز آماده شد. لازم به ذکر است که دوره گرم کردن (Warm up)



ضمن در نظر گرفتن دو سال برای warm up (۱۹۹۷ تا ۱۹۹۹) با استفاده از داده‌های میانگین دبی و رسوب ماهانه ایستگاه پیشین واقع در خروجی حوضه اجرا و پس از اتمام واسنجی، اعتبارسنجی مدل همانند دوره واسنجی با استفاده از دامنه پارامترهای بهینه شده از مرحله واسنجی انجام گردید. این مرحله با طول دوره آماری ۵ سال از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ با استفاده از داده‌های میانگین دبی و رسوب ماهانه ایستگاه پیشین انجام گرفت که نتایج مطلوبی بدست آمد و خلاصه نتایج در جدول (۲) ارائه گردید.

جدول ۲. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی میانگین دبی ماهانه ایستگاه پیشین

Table 2. The results of calibration and validation of the average monthly discharge of the Pisheh station

| R <sup>2</sup> | NS   |                       |
|----------------|------|-----------------------|
| 0.86           | 0.76 | واسنجی (FLOW-OUT)     |
| 0.58           | 0.56 | اعتبارسنجی (FLOW-OUT) |
| 0.58           | 0.53 | واسنجی (SED-OUT)      |
| 0.53           | 0.53 | اعتبارسنجی (SED-OUT)  |

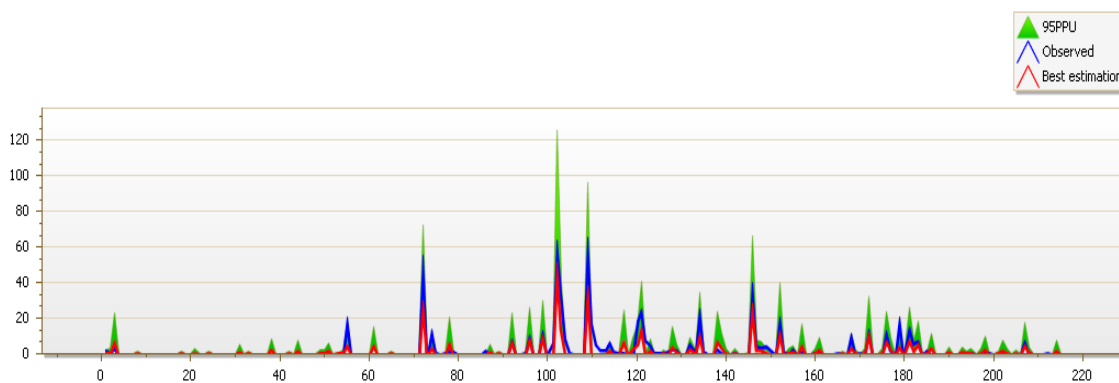
میانگین رسوب ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب در شکل‌های (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.

نرم افزار SWAT-CUP که توسط Abbaspour et al., 2011 ارائه شد، مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT را دریافت کرده و با مقادیر مشاهداتی که توسط کاربر به این نرم افزار معرفی می‌شود، کالیبراسیون مدل را انجام می‌دهد. الگوریتم SUFI2 قادر است واسنجی را با استفاده از معیارهای دقتی که در خود دارد، ارزیابی نماید (Nazari et al., 2018).

### نتایج و بحث

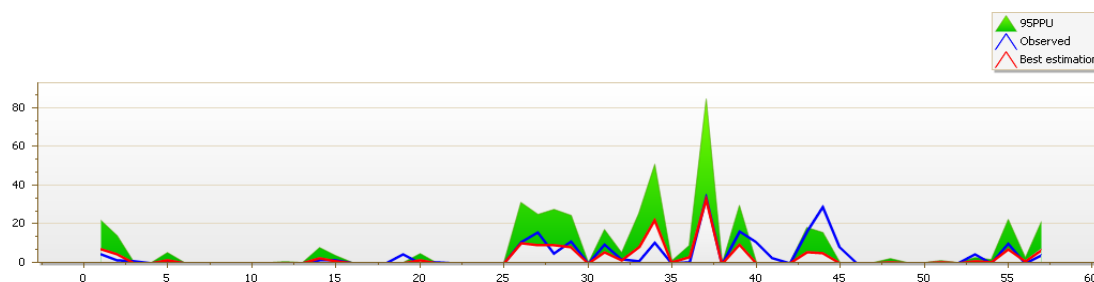
پس از تهیه پارامترهای حساس، مدل SWAT جهت واسنجی به مدت ۱۷ سال از سال ۱۹۹۹ تا سال ۲۰۱۶

نمودار میانگین دبی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پیشین به ترتیب در شکل‌های (۷) و (۸) و نمودار



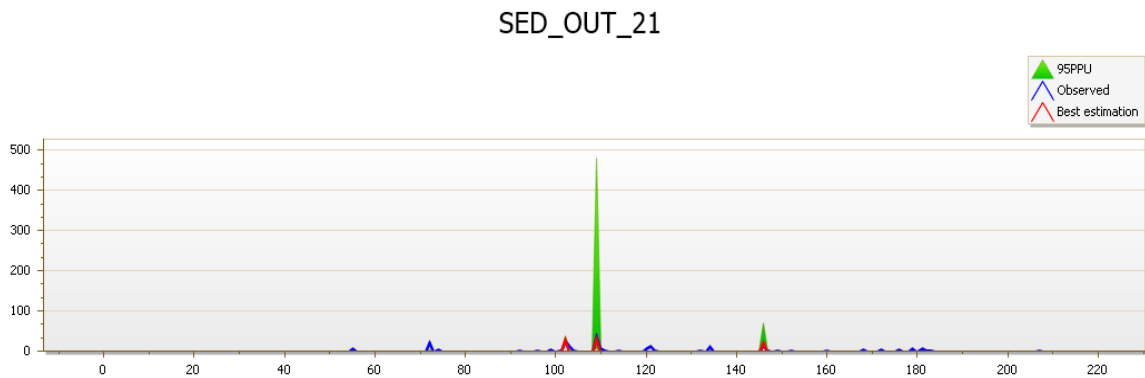
شکل ۷. نمودار میانگین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پیشین در واسنجی مدل

Fig 7. The graph of the average observed and simulated discharge of the Pisheh station in model calibration



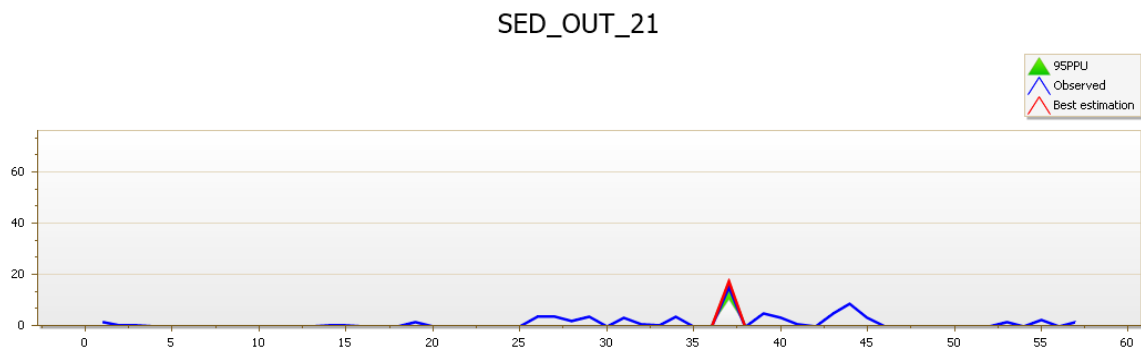
شکل ۸. نمودار میانگین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پیشین در اعتبارسنجی مدل

Fig 8. The graph of the observed and simulated average discharge of the Pisheh station in the validation model



شکل ۹. نمودار میانگین دبی رسوب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پیشین در واسنجی مدل

Fig 9. The graph of the average observed and simulated sediment discharge of the Pishin station in model calibration



شکل ۱۰. نمودار میانگین دبی رسوب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پیشین در اعتبارسنجی مدل

Fig 10. The graph of the average observed and simulated sediment discharge of the Pishin station in the validation model

با استفاده از داده‌های میانگین دبی و رسوب ماهانه ایستگاه پیشین انجام گرفت که نتایج بدست آمده در کلاس قابل قبول قرار دارد. با توجه به نتایج بدست آمده از مرحله صحت‌سنجی و سایر تحقیقات انجام شده مشابه (Gorgij, 2018; Aghakhani et al., 2018; Barati et al., 2019; Zarezadeh Mehrizi et al., 2016) دقت مدل شبیه‌سازی قابل قبول و نتایج بدست آمده با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت دارد. براساس آنالیز حساسیت موثرترین پارامترها بترتیب در جدول (۳) ارائه شده است.

طبق طبقه‌بندی توصیفی ارائه شده توسط (موریاسی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷) مقدار معیار نش-ساتکلیف بین ۰/۷۵ تا ۱ در کلاس خیلی خوب، از ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ در کلاس خوب و از ۰/۵۰ تا ۰/۶۵ در کلاس قابل قبول قرار دارد. که با توجه به نتایج بدست آمده از واسنجی (NS=0.76) معیار نش-ساتکلیف در کلاس خیلی خوب قرار گرفته است. پس از اتمام واسنجی، صحت‌سنجی مدل با استفاده از دامنه پارامترهای بهینه شده از مرحله واسنجی انجام گردید. این مرحله با طول دوره آماری ۵ سال از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱

<sup>1</sup> Moriasi

جدول ۳. پارامترهای انتخابی براساس آنالیز حساسیت جهت انجام مرحله واسنجی

Table 3. Selected parameters based on sensitivity analysis to carry out the calibration stage

| پارامتر<br>Parameter  | شماره ردیف<br>Row |
|---|-------------------|
| v_ALPHA_BF.gw<br>پارامتر آلفا در جریان برگشتی   | 1                 |
| r-CN2.mgt<br>اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط SCS شماره منحنی  | 2                 |
| r_SOL_AWC().sol<br>مقدار آب قابل دسترس (mm)   | 3                 |
| v_CH_K2.rte<br>هدایت هیدرولیکی موثر بستر در کانال اصلی (mm/h)   | 4                 |
| r_HRU_SLP.hru<br>شیب متوسط زمین در هر میلی متر  | 5                 |
| v_GW_DELAY.gw<br>زمان تاخیر برای تغذیه آبخوان (روز)   | 6                 |
| v_GW_REVAP.gw<br>ضریب تبخیر آب زیر زمینی  | 7                 |
| v_EPCO.hru<br>فاکتور جریان برداشت آب گیاه   | 8                 |
| v-REVAPMN.gw<br>حداقل مقدار ذخیره آب در سفره کم عمق که برای شروع تبخیر آب زیر زمینی از طریق مویبگی یا تغذیه سفره عمیق لازم است (mm) | 9                 |
| v_RCHRG_DP.gw<br>ضریب انتقال از سفره کم عمق به عمیق   | 10                |

بر اساس معیارها و متغیرهای مختلف هیدرولوژی مشخص شد (جدول ۴). مطابق جدول (۴) زیر حوضه ۲۰ با میانگین رواناب تولیدی ۲.۴۶ میلی‌متر رتبه اول در تولید رواناب را از بین ۲۱ زیر حوضه دارد و همچنین زیر حوضه ۱۰ با میانگین ۰.۰۶ میلی‌متر رواناب تولیدی کمترین میزان رواناب را به خود اختصاص داده است. نتایج اولویت‌بندی نشان داد که حوضه‌های جنوب و جنوب غربی در اولویت می‌باشند که علت آن کاهش پوشش گیاهی و نفوذپذیری می‌باشد.

پارامتر شماره منحنی اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط و پارامتر آلفا در جریان برگشتی بیشترین تأثیر را در آنالیز حساسیت داشتند که با نتایج Sar- (aei et al., 2019; Heidary et al., 2020) همخوانی و با نتایج (Haji Ghasemi et al., 2021) که پارامتر ضریب تعیین نفوذ به سفره عمیق از سفره کم عمق را به عنوان پارامتر تأثیرگذار مطرح نمودند، مطابقت ندارد. با استفاده از SWAT رتبه هریک از زیرحوضه‌های موجود در یک حوضه آبخیز بر اساس مشارکتی که در سیلاب خروجی زیرحوضه و کل حوضه آبخیز دارند

جدول ۴. رتبه زیر حوضه‌ها بر اساس میزان رواناب (میلی‌متر)

Table 4. The ranking of sub-basins based on the amount of runoff (mm)

| زیر حوضه<br>Subbasin | میانگین رواناب<br>Runoff Average | رتبه<br>Rank |
|----------------------|----------------------------------|--------------|
| 20                   | 2.46                             | 1            |
| 16                   | 1.89                             | 2            |
| 17                   | 1.79                             | 3            |
| 15                   | 1.23                             | 4            |
| 18                   | 0.54                             | 5            |
| 21                   | 0.42                             | 6            |
| 14                   | 0.30                             | 7            |
| 11                   | 0.291                            | 8            |
| 19                   | 0.29                             | 9            |
| 2                    | 0.27                             | 10           |
| 1                    | 0.254                            | 11           |
| 6                    | 0.237                            | 12           |
| 4                    | 0.227                            | 13           |
| 5                    | 0.22                             | 14           |
| 13                   | 0.191                            | 15           |
| 3                    | 0.181                            | 16           |
| 9                    | 0.12                             | 17           |
| 8                    | 0.115                            | 18           |
| 12                   | 0.106                            | 19           |
| 7                    | 0.084                            | 20           |
| 10                   | 0.06                             | 21           |

### نتیجه‌گیری

اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی از مباحث مهم در تصمیم‌گیری اولیه برای کنترل سیل و اجرای پروژه‌های آبخیزداری است که در این راستا از روش‌های متعددی مانند خصوصیات مورفولوژیکی، روش‌های تصمیم‌گیری و مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌گردد. این تحقیق با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در ۲۱ زیرحوضه آبخیز سرریز واقع در استان سیستان و بلوچستان انجام گرفته‌است. نتایج در دو مرحله‌ی واسنجی و صحت‌سنجی معادل  $R^2=0.86$  و  $NS=0.76$  در مرحله واسنجی و در  $R^2=0.58$  و  $NS=0.56$  در مرحله صحت‌سنجی به دست آمد. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل SWAT در شبیه‌سازی حوضه آبخیز سرریز به خوبی عمل کرده‌است و می‌توان از این مدل برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبخیز بزرگ با شرایط پیچیده و ناهمگن همچون حوضه آبخیز سرریز با مساحت ۶۸۵۰ کیلومتر مربع به شرط داشتن داده‌های ورودی با دقت مناسب استفاده

کرد. از توانایی‌های مهم دیگر روش‌های هیدرولوژیکی اعمال سناریو و مدیریت‌های مختلف در مدیریت سرزمین است. در ادامه این تحقیق می‌توان با اعمال سناریوهای مدیریت سیلاب، میزان سیلاب‌های مخرب که همواره موجب طغیان رودخانه‌ها گردیده و خسارت‌های جبران‌ناپذیری را در منطقه مورد مطالعه بوجود می‌آورند را به حداقل رساند و از این سناریوها برای کاهش مخاطرات احتمالی در آینده بهره جست.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان این تحقیق از شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان بابت حمایت‌ها و همکاری در تامین داده‌های مورد نیاز کمال تقدیر و تشکر را دارند.

### منابع

Abbaspour, K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang H., & Klove, B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. Jour-

- on Watershed Runoff and Sedimentation Using SWAT and WEPP Models (Case Study: Dehbar Basin). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(4), 1027-1040. doi: 10.22059/ijswr.2020.287152.668293. [In Persian].
- Karami, Sh., & Karami, A. (2017). Reviewing the required input data and various SWAT model calibration methods, the first conference on the use of water and soil management tools (SWAT) in the country's water resources management, Isfahan. [In Persian].
- Komolafe, A. A., Awe, B.S., Olorunfemi, I. E., & Oguntunde, P.G. (2020). Modelling flood-prone area and vulnerability using integration of multi-criteria analysis and HAND model in the Ogun River Basin, Nigeria. *Hydrol Sci J*, 65(10), 1766-1783.
- Luu, Ch., Thai Pham, B., Van Phong, T., Costache, R., Duy Nguyen, H., Amiri, M., Duy Bui, Q., Thanh Nguyen, L., Van Le, H., Prakash, I., & Trong, T. (2021). GIS-based ensemble computational models for flood susceptibility prediction in the Quang Binh Province, Vietnam, *Journal of Hydrology*, 599(4), 126500.
- Malekian, A., Oftadegan Khuzani, A., & Ashurnejad, G. (2012). Flood Hazard Zoning in Watershed Scale using Fuzzy Logic (Case study: Akhtar Abad Watershed). *Physical Geography Research Quarterly*, 44(4), 131-152. doi: 10.22059/jphgr.2012.30246. [In Persian].
- Malik, M.A., Dar, A.Q., & Jain, M.K. (2022). Modelling streamflow using the SWAT model and multi-site calibration utilizing SUFI-2 of SWAT-CUP model for high altitude catchments, NW Himalaya's. *Model. Earth Syst. Environ*, 8, 1203-1213.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., & Veith, T.L. (2000). Hydrological simulation of Sarbaz watershed using SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524, 733-752.
- Aghakhani, M., Nasrabadi, T., & Vafainejad, A. (2018). Hydrological simulation of Taleghan watershed using SWAT model of environmental science and technology. *Journal of Environmental Science and Technology (JESst)*, 21(9), 147-159. doi: 10.22034/jest.2020.26325.3576 [In Persian].
- Arnold, J.G. (2001). Soil and water Assessment tool (Appendix A: Model fact sheets), <http://www.brc.tamus.edu/SWAT/index.htm>.
- Barati, F., Hosseini, M., Sarmi, A., & Mokhtari, A. (2019). Simulation of hydrological balance of Eskandari watershed using SWAT model and SUFI algorithm. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 14(48), 90-99 [In Persian].
- Derakhshan, Sh. (2009). Studying the flood potential of the Kasilian watershed using geographic information system. *Journal of applied research of geographical sciences*, 13(1), 51-63. [In Persian].
- El-Fakharany, M.A., & Mansour, N.M. (2021). Morphometric analysis and flash floods hazards assessment for Wadi Al Aawag drainage Basins, southwest Sinai, Egypt. *Environ Earth Sci* 80, 168. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09457-1>.
- Gorgij, Kh. (2018). Hydrological simulation of Sarbaz watershed using SWAT model. Master's thesis, Zabul University. [In Persian].
- Haji Ghasemi, Sh., Zakari Neiri, M., & Najafi Jilani, A. (1400). Investigating the impact of climate change on surface runoff with the SWAT model. Study: Mazalghan River. *Iran Irrigation and Drainage Journal*, 15(1), 121-137 [In Persian].
- Heidary, H., Mousavi, M., esmaili, K., & Golkarian, A. (2020). The Impact of Climate Change

- itis, K., Youssef, A. M., & Pradhan, B. (2019). Multi-hazard assessment modeling via multi-criteria analysis and GIS: a case study. *Environ Earth Sci*, 78(2), 47–87.
- Tajbakhsh, S. M., & Chezgi, J. (2023). Prioritization of flooding sub-basins in the north of the Birjand Plain using morphometric factors and VIKOR model. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(3), 240-255. doi: 10.22098/mmws.2022.11855.1179. [In Persian].
- Zarezadeh Mehrizi, Sh., Khorani, A., Bazarafshan, J., & Bazarafshan, A. (2016). Evaluating the effectiveness of SWAT model in simulating the runoff of Gamasiab watershed. *Pasture and Watershed (Natural Resources of Iran)*, 70(4), 881-893. doi: 10.22059/jrwm.2018.243898.1174. [In Persian].
- (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the Asabe*, 50(3), 885–900.
- Mukherjee, F., & Singh, D. (2019). Detecting flood prone areas in Harris County: a GIS based analysis. *GeoJournal*, 85(3), 647–663.
- Nash, J.E., & Sutcliffe, T.E. (1970). River flow forecasting through Conceptual model, Part I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290.
- Nasiri Khiavi, A., Vafakhah, M., & Sadeghi, S.H. (2022). Comparative prioritization of sub-watersheds based on Flood Generation potential using physical, hydrological and co-managerial approaches. *Water Resour Management*, 36, 1897–1917.
- Nazary, B., Batoukhteh, F., Mohamadi Ghale Ney, M., & Ababaei, B. (2018). The estimated volume of runoff and sediment in the Gerahty dam basin using the SWAT model. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(4), 321-330. doi: 10.22069/jwsc.2018.12580.2733. [In Persian].
- Razavi, A. (2007). The principles of determining the privacy of water resources, first edition. Publications of Tehran University of Water and Electricity Industry. [In Persian].
- Saraei, B., Talebi, A., Muzhesi, A., & Parvizi, S. (2019). Prioritization of Sardabroud watershed in terms of flooding using SWAT model. *Natural environment hazards*, 9(23), 85-98. doi: 10.22111/jneh.2019.29033.1500. [In Persian].
- Sedighi Hamidi, P., Besharat, S., & Verdinijad, V. (2017). Introduction to the SWAT model and its application, the 7th National Conference on Water Resources Management of Iran, Yazd, [In Persian].
- Skilodimou, H. D., Bathrellos, G. D., Chousian-