

Assessment of the impact of watershed management practices on hydrological variables in the mohammadabad watershed using the SWAT model

Yahya Fathollahnejad Damghani ^{1*}, Ataollah Kavian ², Leila Gholami ³

¹ Ph.D. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

² Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

³ Associated Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Abstract

Introduction

Hydrological processes in watersheds are dependent on atmospheric processes and the physical characteristics of the watershed, playing a key role in the planning and management of water resources. In recent years, watershed management practices have gained attention as a managerial approach to improve ecosystem performance. These practices positively impact the hydrological parameters of water bodies, including reducing flood risk, increasing soil permeability, and enhancing water quality. Additionally, by decreasing surface runoff, groundwater resources are also bolstered. Furthermore, reducing evaporation and improving water distribution throughout different seasons aid in optimizing water resource management, contributing to the sustainability of the environment and ecosystems. Therefore, assessing the impacts of these practices is essential for enhancing their efficiency. However, due to the complexity and high costs of these evaluations, the process can be challenging. Consequently, hydrological models are often utilized to simplify natural conditions and assist in water resource management, enabling the planning and prediction of changes in the hydrological cycle. In this study, the effectiveness of these practices was evaluated using the SWAT model in the Mohammadabad watershed of Golestan.

Materials and Methods

For this study, the required data, including climatic, physiographic, hydrological, land use, geological, and soil data, were obtained from relevant authorities and organizations. After gathering the necessary data, a database was created and data were analyzed using, SPSS 26, ArcGIS 10.8, and TerrSet 18.21 software. To simulate the climatic variables of the study area, daily data on rainfall, minimum and maximum temperatures, solar radiation, relative humidity, and wind speed from the Mohammadabad station for the years 1988 to 2017 were utilized. To examine the elevation of the study area, contour lines from 1:25,000 scale maps were imported into the GIS system, and a Digital Elevation Model (DEM) with 10×10 m pixels was created, correcting any potential outlier cells using a LOW filter. The land use of the study area was initially prepared using 1:25,000 scale maps from the National Cartographic Organization, then refined and finalized using satellite images and field visits for high accuracy. For the SWAT model implementation, some necessary soil parameter data were obtained. The data were provided by the Golestan Natural Resources and Watershed Management Department. However, some parameters were unavailable. Data for those parameters were sourced from FAO soil maps. Various algorithms and objective functions for calibration and validation were utilized using the SWAT-CUP software, and after evaluating the model performance in simulation and obtaining acceptable results, the model was prepared for the implementation of water and soil conservation measures.

Results and Discussion

The results indicate that the calibration and validation results demonstrate the acceptable performance of the SWAT model for simulating the hydrology of the Mohammadabad watershed. Specifically, the coefficient of determination during calibration and validation was found to be 0.93 and 0.98, respectively. Additionally, the Nash-Sutcliffe efficiency index was 0.90 for calibration and 0.96 for validation. Surface runoff would decrease significantly with the implementation of watershed management practices. These practices include stone check dams, gabion walls, dry stone walls, afforestation, and seeding. The reductions observed were 36.36%, 22.73%, 18.18%, 18.18%, and 4.55%, respectively, compared to the scenario without these practices. Evaporation and transpiration were also observed to increase when these interventions were applied. The increases were recorded

as 85.69%, 53.87%, 29.87%, 10.11%, and 1.64%, respectively. The implementation of watershed management practices in the Mohammadabad watershed has led to a reduction in peak flood discharge, decreasing from 181.5 m³.s before the practices to 156 m³.s afterward. The analysis of the 25-year flood discharge in the study watershed revealed a decrease of 13.13 m³.s, dropping from 93.47 m³.s before the management practices to 80.34 m³.s after. According to the results, mechanical projects in the Mohammadabad watershed have successfully reduced surface runoff and flooding, subsequently decreasing soil material loss, erosion, and the transport of eroded particles from channels. This has also led to a reduction in sediment transfer from slopes to waterways, and from waterways to rivers and eventually to reservoirs and agricultural lands. In this context, the implementation of all watershed management practices in the Mohammadabad watershed has resulted in a 16.34% reduction in the 25-year flood discharge.

Conclusion

Overall, the findings suggest a significant positive impact of these practices within the examined watershed. The results showed the impact of watershed management measures on hydrological variables including surface runoff, peak discharge and flood volume of the Mohammadabad watershed, which will reduce the destruction and damage caused by floods in the study area. Based on the results of the watershed management operations in the study area, it was determined that biological operations are difficult to implement due to the high slope and shallow soil depth (mountainous nature of the area). Therefore, since the Mohammadabad watershed is near the city of Fazelabad and has a mostly touristic aspect and since the local economy is not dependent on livestock farming, management operations will be more effective. Also, mechanical operations will be prioritized over biological programs due to conditions such as high slope, shallow soil depth (mountainous nature of the area), low concentration time, high peak discharge (basin shape coefficient) and consequently the presence of debris sediments and, most importantly, the presence of a flood history in the study watershed. Finally, it can be acknowledged that watershed management measures, in addition to helping reduce damage caused by floods and sediment, can also turn the threat of floods into an opportunity to nourish groundwater aquifers and provide water in springs, canals, and wells during droughts, at the lowest cost and in accordance with the ecological conditions of the region.

Keywords: Conceptual Modeling of Water and Soil Assessment, Hydrological Modeling, Prioritization, Semi-distributed Model, Soil Conservation, Watershed Management Practices.

Article Type: Research Article

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement:

We have no permission to release data and codes.

Authors' contribution

Yahya Fathollahnejad: Analysis; Software; Writing-original draft preparation; **Ataollah Kavian:** Conceptualization; Editing and revision of the manuscript; **Leila Gholami:** Investigation; Editing and revision of the manuscript.

*Corresponding Author, E-mail: a.kavian@sanru.ac.ir

Citation: Fathollahnejad Damghani, Y., Kavian, A., & Gholami, L. (2025). Assessment of the impact of watershed management practices on hydrological variables in the mohammadabad watershed using the SWAT model. *Water and Soil Management and Modelling*, 5(3), 156-172.

doi: 10.22098/mmws.2025.16959.1566

Received: 10 March 2025, Received in revised form: 26 May 2025, Accepted: 27 May 2025, Published online: 23 September 2025.

Water and Soil Management and Modeling, Year 2025, Vol. 5, No. 3, pp. 156-172.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر متغیرهای هیدرولوژیک در حوزه آبخیز محمدآباد استفاده از مدل SWAT

یحیی فتح‌الله نژاد دامغانی^۱، عطاله کاویان^{۲*} و لیلا غلامی^۳

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
^۲ استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
^۳ دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

چکیده

برنامه‌ریزی و پیش‌بینی تغییرات در چرخه هیدرولوژیکی، معمولاً از مدل‌های هیدرولوژیکی بهره گرفته می‌شود که شرایط طبیعی را ساده‌سازی کرده و در مدیریت منابع آب یاری می‌رسانند. بر همین اساس در پژوهش حاضر به ارزیابی اثربخشی این اقدامات با مدل SWAT در حوزه آبخیز محمدآباد گلستان پرداخته شد. برای انجام پژوهش حاضر، به‌منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی منطقه مورد مطالعه از داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل و حداکثر، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی و سرعت باد از سال (۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶) ایستگاه محمدآباد استفاده شد. به‌منظور بهره‌گیری از الگوریتم‌ها و توابع هدف گوناگون برای واسنجی و اعتبارسنجی از نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شد و پس از ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی و کسب نتایج قابل قبول با استفاده از معیارهای ارزیابی مدل برای اعمال اقدامات حفاظت آب و خاک آماده‌سازی شد. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی نشان‌دهنده کارایی قابل قبول مدل SWAT برای شبیه‌سازی هیدرولوژیک آبخیز محمدآباد است. مقدار ضریب تبیین در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب برابر ۰/۹۸ و ۰/۹۸ بوده است. همچنین مقدار شاخص نش-ساتکلیف برای مرحله واسنجی برابر ۰/۹۰ و برای مرحله اعتبارسنجی نیز ۰/۹۶ بوده است. میزان رواناب سطحی در صورت اجرای عملیات آبخیزداری به‌صورت سنگی ملاتی، توری سنگی، خشکه‌چین، نهال کاری و بذرکاری به‌ترتیب به میزان ۳۶/۳۶، ۲۲/۷۳، ۱۸/۱۸ و ۴/۵۵ درصد نسبت به حالت بدون اجرای عملیات آبخیزداری کاهش پیدا کرده است. مطابق نتایج، پروژه‌های مکانیکی در منطقه باعث کاهش رواناب سطحی، سیل و متعاقباً کاهش هدررفت مواد سطحی خاک، فرسایش و در نهایت حمل ذرات فرسایش یافته از آبراهه به خارج از آن شده است. نتایج کلی نشان‌دهنده تأثیر قابل قبول این اقدامات در سطح حوزه آبخیز مورد بررسی بوده است. در نهایت می‌توان اذعان نمود با اقدامات آبخیزداری علاوه بر این که می‌توان به کاهش خسارات ناشی از سیل و رسوب کمک نمود می‌توان تهدید سیلاب را به فرصت تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و وجود آب در چشمه‌ها، قنوات و چاه‌ها در زمان خشک‌سالی، با کم‌ترین هزینه و منطبق با شرایط اکولوژیکی منطقه تبدیل نمود.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، حفاظت خاک، عملیات آبخیزداری، مدل مفهومی ارزیابی آب و خاک، مدل نیمه توزیعی، مدل سازی هیدرولوژی.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.kavian@sanru.ac.ir

استناد: فتح‌الله نژاد دامغانی، یحیی، کاویان، عطاله، و غلامی، لیلا (۱۴۰۴). ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر متغیرهای هیدرولوژیک در حوزه آبخیز محمدآباد استفاده از مدل SWAT. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۵(۳)، ۱۵۶-۱۷۲.

doi: 10.22098/mmws.2025.16959.1566

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۶، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۳، صفحه ۱۵۶ تا ۱۷۲.

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

امروزه حوزه‌های آبخیز به‌طور ویژه‌ای به‌عنوان واحدهای برنامه‌ریزی و اجرا موردتوجه و اهمیت قرار گرفته‌اند (Sadeghi et al., 2017). حوزه‌های آبخیز از زیست‌بوم‌های مختلفی از جمله مرتعی، محیط آبی و جنگلی تشکیل شده‌اند. در حال حاضر ساختار و عملکرد بسیاری از زیست‌بوم‌ها در اثر فعالیت‌ها و دخالت‌های بشری دچار تغییر شده است (Ding et al., 2008). حوزه‌های آبخیز می‌توانند مزایایی را برای انسان فراهم کنند که به‌عنوان خدمات حوزه آبخیز تعریف می‌شود. خدمات حوزه آبخیز برای انسان ضروری است و از تأمین آب تا کاهش امروزه حوزه‌های آبخیز به‌عنوان واحدهای کلیدی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع طبیعی موردتوجه قرار گرفته‌اند و نقش مهمی در توسعه پایدار دارند (Sadeghi et al., 2017).

این حوزه‌ها شامل زیست‌بوم‌های متنوعی از جمله مناطق مرتعی، محیط‌های آبی و جنگل‌ها هستند که هرکدام دارای عملکردهای خاصی در تنظیم چرخه‌های اکولوژیکی هستند. بااین‌حال، در حال حاضر ساختار و عملکرد بسیاری از زیست‌بوم‌ها در اثر فعالیت‌های انسانی و دخالت‌های غیرمستقیم بشر دستخوش تغییرات قابل‌توجهی شده‌اند (Ding et al., 2008). حوزه‌های آبخیز طیف گسترده‌ای از مزایا را برای جوامع انسانی فراهم می‌کنند، که تحت عنوان «خدمات حوزه آبخیز» شناخته می‌شود. این خدمات شامل تأمین آب، کاهش خطرات ناشی از سیلاب‌ها، مزایای فرهنگی، و بهبود عملکردهای زیست‌محیطی است (Hazbavi et al., 2018). جریان آب در چرخه هیدرولوژیکی حاصل تعامل فرآیندهای جوی، زمین‌شناسی و توپوگرافی است و نقش حیاتی در برنامه‌ریزی، توسعه و مدیریت منابع آبی ایفا می‌کند. به همین دلیل، در دهه‌های اخیر اقدامات آبخیزداری به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر مدیریتی برای ارتقای عملکرد زیست‌بوم‌ها موردتوجه قرار گرفته است. این اقدامات تأثیرات مثبتی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز داشته و شامل کاهش شدت سیلاب‌ها، افزایش نفوذپذیری خاک و ارتقای کیفیت آب می‌شود (Eiledmi et al., 2006). همچنین، این اقدامات منجر به کاهش رواناب سطحی می‌شود، که در نتیجه، به تغذیه منابع زیرزمینی کمک کرده و موجب افزایش ذخیره آب در لایه‌های زیرین زمین می‌شود. علاوه بر این، با کاهش میزان تبخیر و بهینه‌سازی توزیع آب در طول فصول مختلف، زمینه‌ای مناسب برای مدیریت منابع آبی فراهم شده و پایداری اکوسیستم‌ها تضمین می‌شود (Sun et al., 2023).

لذا ارزیابی میزان اثربخشی اقدامات حفاظت خاک و آب، برای افزایش کارایی و بهینه‌سازی این اقدامات، ضروری و

اجتناب‌ناپذیر است. بااین‌حال، به‌دلیل پیچیدگی‌های موجود، زمان‌بر بودن و هزینه‌های بالا، فرآیند ارزیابی اثربخشی این اقدامات چالش‌برانگیز محسوب می‌شود. ازاین‌رو، برای مدیریت بهتر و پیش‌بینی دقیق تغییرات در چرخه هیدرولوژیکی، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی امری رایج است. مدل‌های هیدرولوژیکی به ساده‌سازی سیستم‌های پیچیده طبیعی مانند رفتار خاک، جریان‌های سطحی و زیرزمینی، و توزیع منابع آب کمک کرده و درک، پیش‌بینی و مدیریت مؤثر منابع آبی را تسهیل می‌کنند (Upadhyay et al., 2022).

در سال‌های اخیر، مدل‌های هیدرولوژیکی متعددی برای شبیه‌سازی جریان آب، تحلیل روابط بارش-رواناب، و بررسی فرآیندهای مرتبط با چرخه هیدرولوژیکی توسعه یافته‌اند (Nikolic et al., 2019). به‌ویژه، مدل‌های هیدرولوژیکی مبتنی بر اصول فیزیکی، در سطح جهانی به‌عنوان ابزارهای معتبر مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفته و محبوبیت زیادی کسب کرده‌اند (Mtibaa and Asano, 2022). در میان تمامی مدل‌ها، مدل مفهومی ارزیابی آب و خاک (SWAT) به‌عنوان یک مدل هیدرولوژیک نیمه‌توزیعی برای شبیه‌سازی پیوسته فرآیندهای هیدرولوژیک به‌کار می‌رود (Jang et al., 2017). در این زمینه، پژوهش‌های مختلفی از جمله (Mtibaa, Zhang et al., 2020) and Asano, (2022) و Abuhay et al. (2023) et al. (2023) به بررسی کارایی مدل SWAT در برآورد رواناب تحت شرایط مختلف پرداخته و این کارایی را تأیید کرده‌اند. Dolatabadi et al. (2013) با استفاده از SWAT به شبیه‌سازی شدت جریان رودخانه در آبخیز فیروزآباد فارس پرداخته و خاطرنشان کردند که یکی از نقاط ضعف مدل، استفاده از رابطه SCS برای برآورد جریان است که دقت آن را در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف کاهش می‌دهد. در مطالعه‌ای دیگر، Ahmadabadi et al. (2017) از SWAT برای شبیه‌سازی عملیات آبخیزداری در حوزه ارس استفاده کردند و نشان دادند که اجرای این عملیات باعث کاهش ۱۹ تن در هکتار رسوب ویژه حوزه شده است. Basu et al. (2022) اهمیت تغییر پوشش زمین را در فرآیند هیدرولوژیک آبخیز رودخانه دودر در ایرلند موردبررسی قرار داده و دقت بالای مدل در شبیه‌سازی این فرآیند را تأیید کردند. همچنین، Singh et al. (2023) اثرات کاربری زمین و تغییرات توپوگرافی بر رواناب سطحی در آبخیز جامونیا در هند را شبیه‌سازی کردند و بر افزایش قابل‌توجه رواناب سطحی در طول دوره مورد مطالعه تأکید کردند. Ghavimippanah et al.

۸۷۴/۶۰۱۰۵۴ میلیون ریال برآورد شده است. در همین راستا، به منظور کنترل فرسایش و رسوب و کاهش خسارات ناشی از سیلاب‌ها، عملیات آبخیزداری گسترده‌ای در سطح این حوزه اجرا شده است. مطالعه‌ای جامع در زمینه بررسی اثربخشی اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز محمدآباد انجام نشده است. بر همین اساس، این پژوهش با شبیه‌سازی اقدامات حفاظت خاک و آب و تحلیل نتایج حاصل از این مدل‌سازی، تلاش می‌کند تا اثرات اجرای این اقدامات را بر متغیرهای کلیدی هیدرولوژیکی بررسی کند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند مبنایی علمی برای بهینه‌سازی برنامه‌های مدیریت حوزه‌های آبخیز و تدوین استراتژی‌های پایدارتر در کاهش مخاطرات سیل و رسوب در مناطق حساس باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز محمدآباد به عنوان بخشی از حوزه آبریز گرگانرود با مساحتی معادل ۴۴۴۳۱ هکتار در دهستان استرآباد از بخش کمالان شهرستان علی‌آباد کتول و در جنوب غربی این شهرستان واقع شده است. این حوزه دارای ارتفاع متوسط ۱۸۸۸/۸ متر، ارتفاع حداقل ۳۱۰/۳ متر، ارتفاع حداکثر ۳۷۹۳/۷ متر و شیب متوسط وزنی ۵۵/۲ درصد است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را در کشور و استان گلستان نشان می‌دهد.

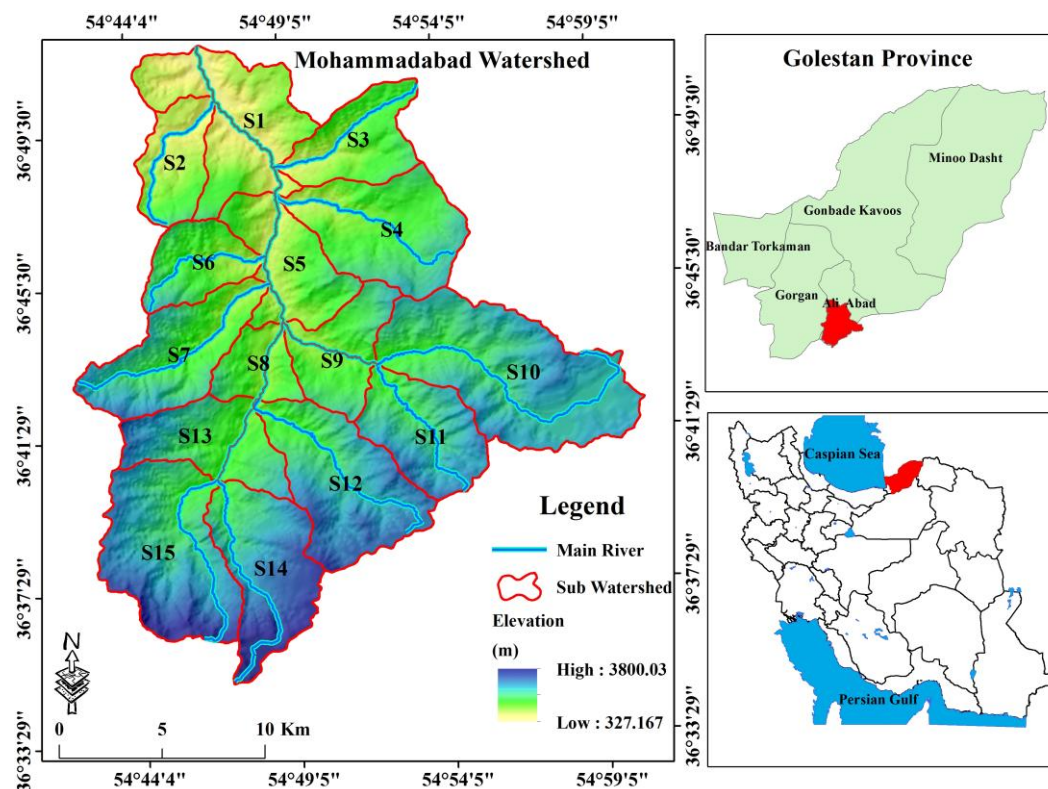
(2024) به شبیه‌سازی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر متغیرهای هیدرولوژیک، با استفاده از مدل SWAT در آبخیز کن در استان تهران پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش نشان‌دهنده کارایی قابل قبول مدل برای شبیه‌سازی هیدرولوژیک آبخیز مورد مطالعه بود. (Darabi et al. (2024) به شبیه‌سازی اثر اقدامات آبخیزداری بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز بهشت‌آباد با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین پرداختند. نتایج نشان داد اقدامات بیولوژیک حجم دبی جریان را کاهش داده و اثر کمتری بر مقدار دبی اوج داشته است. مقایسه نتایج دو مدل ماشین بردار پشتیبان^۱ (SVM) و جنگل تصادفی^۲ (RF) نشان داد که مدل SVM عملکرد بهتری نسبت به مدل RF در پیش‌بینی دبی جریان رودخانه داشته است.

(Ghavimippanah et al. (2024) با استفاده از داده‌های دوره زمانی ۱۳۷۶-۱۳۹۵ ایستگاه آب‌سنجی سولقان، به ارزیابی تأثیر عملیات حفاظت خاک و آب بر رسوب‌دهی حوزه آبخیز کن در استان تهران پرداخته است. نتایج حاکی از کاهش رسوب، در صورت اجرای اقدامات آبخیزداری بود به نحوی که مقدار رسوب با شبیه‌سازی اقدامات بانک‌بندی، سنگی‌ملاتی، توری‌سنگی، خشکه‌چین، بذرکاری و نهال‌کاری به ترتیب ۴۴/۶۵، ۲۶/۷۲، ۲۶/۷۰، ۸/۰۳، ۴/۹۷ و ۹/۷۳ درصد کاهش یافت.

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که مدل‌های هیدرولوژیکی مانند SWAT و روش‌های داده‌محور نظیر یادگیری ماشین به طور گسترده‌ای برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی اثربخشی اقدامات مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مطالعات مختلف تأکید دارند که تغییرات پوشش زمین، اجرای اقدامات حفاظت خاک و آب، و بهره‌گیری از مدل‌های داده‌محور تأثیر قابل‌توجهی در کاهش رواناب سطحی، مدیریت سیلاب‌ها، و کنترل فرسایش و رسوب دارند. با این حال، همچنان چالش‌هایی نظیر دقت مدل‌ها در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف، عملکرد مدل‌های عددی در پیش‌بینی دبی جریان، و اثرگذاری واقعی اقدامات آبخیزداری بر متغیرهای هیدرولوژیکی، نیازمند بررسی‌های دقیق‌تر است که در پژوهش حاضر در ارائه یک چارچوب تحلیلی برای ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر فرآیندهای هیدرولوژیکی، با استفاده از مدل‌سازی عددی در نرم‌افزار SWAT اقدام شده است. تاکنون بر اساس اطلاعات استخراج‌شده از بانک سیل اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۹، حوزه آبخیز محمدآباد در این بازه زمانی ۲۵ رخداد سیلاب را تجربه کرده است که میزان خسارت ناشی از این رخدادهای معادل

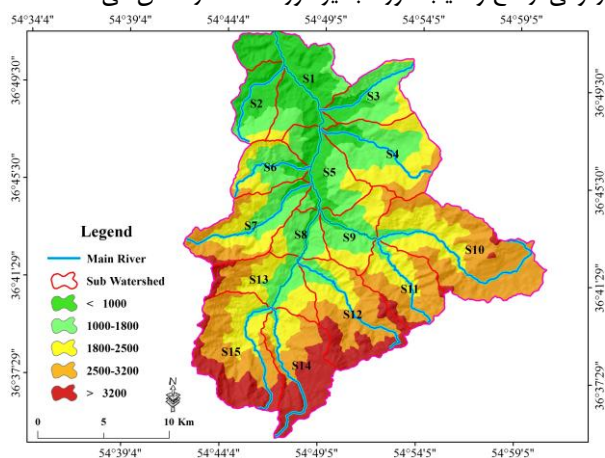
¹ Support Vector Machine

² Random forest



شکل ۱- موقعیت آبخیز محمدآباد در ایران و استان گلستان
Figure 1- General view of Mohammadabad Watershed, Golestan Province, Iran

نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS) شده و مدل رقومی ارتفاع (DEM) محدوده با پیکسل‌های ۱۰×۱۰ مترمربع تهیه و با اعمال فیلتر (LOW) سلول‌های غیرعادی احتمالی اصلاح شد. پس از تهیه مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه، با استفاده از فیلترهای مناسب و دستورات موجود در نرم‌افزار ArcGIS نقشه شیب محدوده تهیه شد که بیش‌ترین میزان شیب ۴۲ درصد و کم‌ترین شیب نیز ۹ درصد بود. شکل ۲ و ۳ به ترتیب نقشه مدل رقومی ارتفاع و شیب حوزه آبخیز مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه
Figure 2 - Digital Elevation Model Map of the Study Area

۲-۲- داده‌های پژوهش

برای انجام پژوهش حاضر، داده‌های موردنیاز شامل داده‌های اقلیمی، فیزیوگرافی، هیدرولوژیک، کاربری اراضی، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی از مراجع و سازمان‌های مربوطه تهیه شد. پس از تهیه داده‌های موردنیاز در محیط نرم‌افزارهای SPSS 26، ArcGIS 10.8 و TerrSet 18.21 اقدام به ایجاد بانک اطلاعاتی و تجزیه و تحلیل داده‌ها شد.

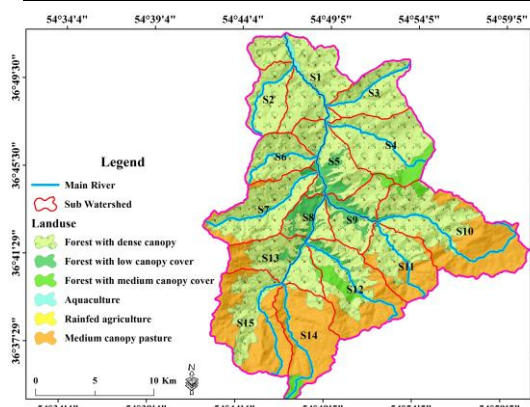
۲-۲-۱- داده‌های اقلیمی

در این پژوهش برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی منطقه مورد مطالعه از داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل و حداکثر، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی و سرعت باد از سال (۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶) ایستگاه محمدآباد استفاده شد. لازم به ذکر است به دلیل ارائه آمار به صورت ماه شمسی و سال آبی از طرف وزارت نیرو و شرکت مدیریت منابع آب ایران، سعی شده است حتی‌الامکان برای این پژوهش از داده‌های این سازمان استفاده شود.

۲-۲-۲- داده‌های توپوگرافی

در پژوهش حاضر نیز به منظور بررسی ارتفاع منطقه مورد مطالعه خطوط منحنی میزان موجود در نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ رقومی وارد

¹ Geopgraphic Information system

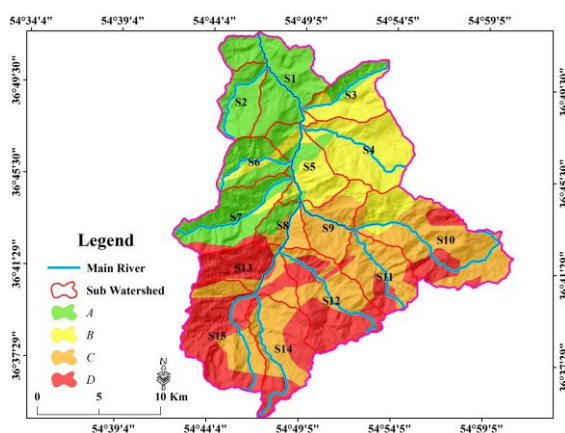


شکل ۵- نقشه کاربری اراضی/پوشش زمین حوزه آبخیز مورد مطالعه

Figure 5 - Land Use / Land Cover Map of the Study Watershed

۲-۲-۴- خاک‌شناسی

برای اجرای مدل SWAT برخی از داده‌های مورد نیاز از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان اخذ شد و به دلیل عدم اندازه‌گیری برخی از پارامترهای مورد نیاز، داده مربوط به پارامترهایی که اطلاعات آن در دسترس نبود از طریق نقشه‌های خاک فائو اقدام به تهیه آن‌ها شد که در محدوده مورد مطالعه چهار گروه هیدرولوژیکی اصلی خاک وجود دارد. شکل ۶ نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک محدوده مورد مطالعه و مشخصات مورد نیاز برای فایل خاک برای اجرای مدل را نشان می‌دهند.

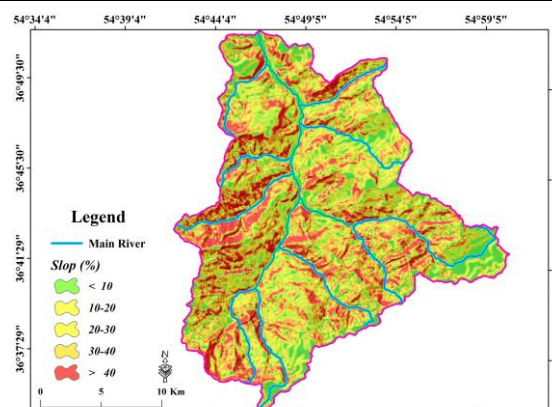


شکل ۶- نقشه گروه هیدرولوژیک خاک حوزه آبخیز مورد مطالعه

Figure 6 - Soil Hydrological Group Map of the Study Watershed

۲-۳- اجرا، واسنجی و اعتبارسنجی مدل

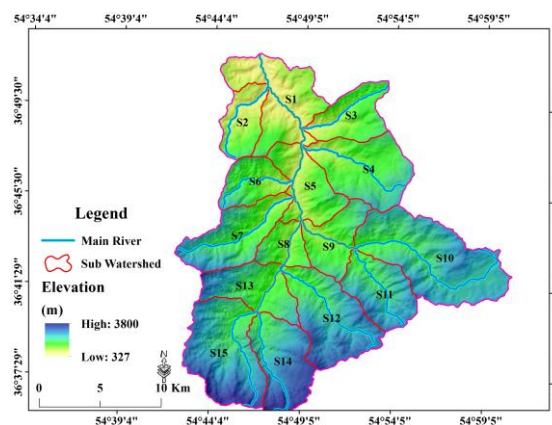
در پژوهش حاضر برای بهره‌گیری از الگوریتم‌ها و توابع هدف گوناگون برای واسنجی و اعتبارسنجی از نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شد. برای انجام مراحل تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل، نیاز به داده‌های مشاهداتی دبی است که در پژوهش حاضر از اطلاعات برداشت شده در ایستگاه محمدآباد



شکل ۳- نقشه شیب حوزه آبخیز مورد مطالعه

Figure 3 - Slope Map of the Watershed Under Study

پس از تهیه مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه، به کمک ابزارهای Arc SWAT 2012 مرز زیرآبخیزها استخراج شد (Ghavimippanah et al., 2024) و به منظور به حداقل رساندن خطای توپولوژی با کمک تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث اقدام به بازبینی و اصلاح نقطه خروجی بعضی از زیرحوزه‌ها شد. شکل ۴ نقشه زیرآبخیزهای حوزه آبخیز محمدآباد را نشان می‌دهد.



شکل ۴- نقشه زیرآبخیزهای حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

Figure 4 - Sub-watershed Map of the Study Area

۲-۳-۳- کاربری اراضی

کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه در پژوهش حاضر با استفاده از نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور به صورت اولیه تهیه شد. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدید میدانی از حوزه اقدام به تدقیق و تهیه نقشه نهایی کاربری اراضی با دقت بالا شد. شکل ۵ نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز مورد مطالعه ارائه شده است.

۲-۴- اقدامات آبخیزداری

پس از ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی و کسب نتایج قابل‌قبول با استفاده از معیارهای ارزیابی باید مدل را برای اعمال اقدامات حفاظت آب و خاک باشد آماده‌سازی نمود. در پژوهش حاضر نیز، پس از واسنجی مدل و اطمینان از صحت و دقت مناسب مدل، به‌منظور ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز مورد مطالعه، اقدامات مختلفی متناسب با شرایط فیزیکی حوزه آبخیز شبیه‌سازی شد. جدول ۱ مشخصات و شکل ۷ تصاویر برخی از اقدامات آبخیزداری اجرا شده در سطح حوزه آبخیز مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

استفاده شد. با استفاده از الگوریتم SUFI-2 که اولین بار توسط Abbaspour et al. (2007) در سال ۱۹۹۷ ارائه شده است، عملیات تحلیل حساسیت صورت پذیرفت. پس از آماده‌سازی اطلاعات مدل، برای اجرای مدل یک سال ابتدایی بازه آماری، برای متعادل‌سازی شرایط محیطی مدل مورد استفاده قرار گرفت و پس از این بازه شبیه‌سازی رواناب و سایر پارامترهای هیدرولوژیک توسط در محل ایستگاه هیدرومتری انجام شد (Mohammadivand et al., 2019). در این مطالعه از معیارهای ضریب تعیین و ضریب کارایی انجام واسنجی به‌منظور بهبود عملکرد مدل استفاده شد (Goodarzi et al., 2017).

جدول ۱- اقدامات آبخیزداری و نحوه معرفی در مدل برای حوزه آبخیز محمدآباد

Table 1 - Watershed management practices and their definitions in the model for the Mohammadabad Watershed		
ردیف	اقدامات آبخیزداری	اعمال در مدل
Item No.	Type	Apply to the model
1	بند سنگی ملاتی Masonry check dams	Terracing
2	بانکت و تراس‌بندی Terracing	Terracing
3	خشکه‌چین loose- stone check dams	Terracing
4	بند توری‌سنگی Gabion check dams	Terracing
5	نهاد کاری Planting seedlings	Plant Param Update
6	بذرکاری و بذرپاشی Sowing Seeds	Plant Param Update
7	کپه کاری Pit-seeding	Plant Param Update



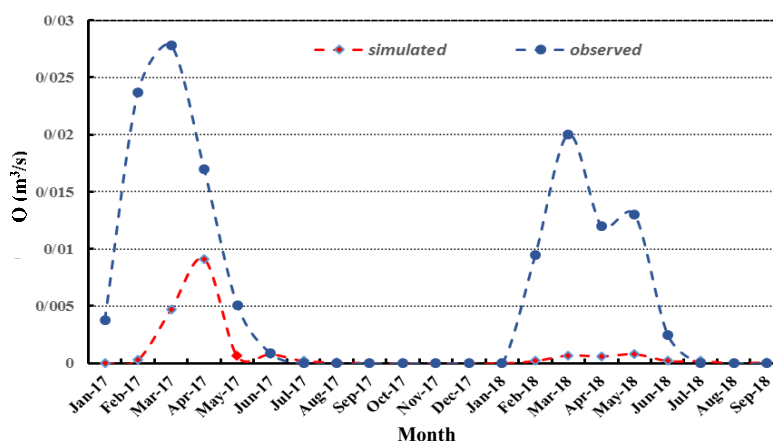
شکل ۷- تصاویر برخی از سازه‌های آبخیزداری اجراشده در سطح حوزه آبخیز محمدآباد

Figure 7 - Images of Some Watershed Management Structures Implemented in the Mohammadabad Watershed Area

۳- نتایج و بحث

پس از تشریح کامل مدل SWAT و شرایط طبیعی حوزه آبخیز و آماده‌سازی و بررسی داده‌های در دسترس اقدام به اجرای مدل شد. پس از اجرای مدل، تمام ضرایب موردنیاز برای بررسی واسنجی و صحت‌سنجی با استفاده از SWAT-CUP به‌دست آمد و در نهایت اقدام به شبیه‌سازی عملیات آبخیزداری در حوزه

آبخیز مورد مطالعه شد. در مقایسه‌ای که بین مقادیر ماهانه دبی مشاهداتی و اجرای اولیه مدل انجام شد، مشخص شد که دبی‌های اوج تا حدود زیادی هم‌زمان با ماه‌های پرباران اتفاق افتاده است. شکل (۸) مقایسه مقدار مشاهداتی و نتیجه اجرای اولیه برای دبی جریان را نشان می‌دهد.



شکل ۸- مقایسه مقدار مشاهداتی و اجرای اولیه دبی جریان

Figure 8 - Comparison of Observed Values and Initial Implementation Streamflow

همین اساس با استفاده از تحلیل حساسیت اقدام به تعیین ورودی‌هایی که تأثیر بیش‌تری در تغییر خروجی داشتند و این‌که کدام پارامتر همبستگی بیش‌تری با خروجی داشت. پارامترهای مهم و حساس تعیین شد و با تمرکز بر آن‌ها واسنجی مدل صورت گرفت. مجموعه پارامترهای انتخابی به همراه مقدار t -stat و p value در جریان تحلیل حساسیت ارائه می‌شوند که در جدول ۲ Error! Reference source not found. قابل مشاهده است.

بر اساس نتایج ارزیابی، عملکرد اجرای اولیه مدل نشان‌دهنده اختلاف زیاد بین میزان مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی مقدار دبی جریان بود. به نحوی که ضریب تبیین و شاخص نش-ساتکلیف حاصل از این شبیه‌سازی به ترتیب برابر 0.3 و -0.2 بود. مقادیری که R^2 می‌تواند اختیار کند بین صفر و یک است و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد قابل قبول‌تر است. از طرف دیگر اگر شاخص نش-ساتکلیف بیش‌تر از 0.75 باشد مدل عالی و کامل و اگر بین 0.36 تا 0.75 باشد رضایت‌بخش و اگر کم‌تر از 0.36 باشد غیرقابل قبول فرض می‌شود (Zhao and Huang, 2022). بر

جدول ۲- پارامترهای انتخاب‌شده در مرحله آنالیز حساسیت

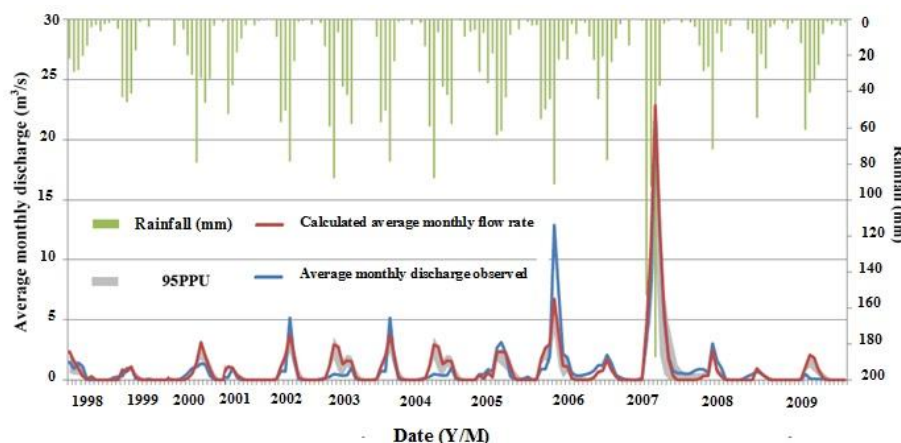
Table 2- Selected Parameters in the Sensitivity Analysis Phase

ردیف	نام پارامتر	شرح پارامتر	آماره T	آماره P
Num	Variable	Parameter description	T Stat	P value
1	USIE_P.mgt	فاکتور ضریب معادله کاربری زمین	2.01	0.8
2	USIE_K.sol	ضریب فرسایش‌پذیری خاک	2.6	0.95
3	USIE_C.sol	حداقل فاکتور پوشش گیاهی و حفاظت خاک	2.5	0.92
4	ROCK	درصد سنگ در لایه فوقانی	1.9	0.84
5	GW_REVAP.gw	ضریب تعیین نفوذ به سفره آب زیرزمینی	-1.7	0.02
6	SOL_BD(1).sol	چگالی حجمی لایه اول خاک (گرم در سانتی‌متر مکعب)	1.27	0.05
7	SOL_AWC(1).sol	ظرفیت آب قابل‌دسترس لایه اول خاک (میلی‌متر آب بر میلی‌متر خاک)	1.9	0.09
8	SURLAG.bsn	ضریب تأخیر رواناب سطحی (روز)	1.67	0.09
9	SOL_K(2).sol	هدایت هیدرولیکی لایه دوم خاک (میلی‌متر بر ساعت)	1.76	0.1
10	ALPHA_BNK.rte	ضریب آلفا جریان پایه ذخیره	1.45	0.2
11	ALPHA_BF.gw	ضریب آلفا برای جریان پایه (روز)	1.2	0.3

ردیف	نام پارامتر	شرح پارامتر	آماره T	آماره P
Num	Variable	Parameter description	T Stat	P value
12	GW_DELAY.gw	زمان تأخیر انتقال آب از آخرین پروفیل لایه خاک به سطح آب زیرزمینی (روز)	-1.1	0.3
13	SFTMP.bsn	متوسط دمای هوا برای تبدیل باران به برف (سانتی‌گراد)	-0.91	0.45
14	TIMP.bsn	عامل تأخیر دمای برف	-0.71	0.54
15	CN2.mgt	شماره منحنی SCS برای شرایط رطوبتی	-0.63	0.63
16	CH_K2.rte	هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر رودخانه (میلی‌متر بر ساعت)	0.61	0.68
17	SOL_AWC(2).sol	ظرفیت آب قابل‌دسترس لایه دوم خاک (میلی‌متر آب بر میلی‌متر خاک)	0.56	0.68
18	SMFMN.bsn	حداقل نرخ ذوب برف در طول سال (میلی‌متر آب بر روز در درجه سانتی‌گراد)	-0.53	0.71
19	CH_N2.rte	ضریب مانینگ برای آبراهه اصلی	0.51	0.77
20	GWQMN.gw	حداقل مقدار ذخیره آب در سفره که برای رخ دادن جریان پایه لازم است (میلی‌متر آب)	-0.41	0.79
21	ESCO.hru	ضریب تیخیر خاک	-0.46	0.8
22	SOL_K(1).sol	هدایت هیدرولیکی لایه اول خاک (میلی‌متر بر ساعت)	0.45	0.82
23	SMTMP.bsn	دمای ذوب توده برف (درجه سانتی‌گراد)	0.29	0.89
24	SOL_BD(2).sol	چگالی حجمی لایه دوم خاک (گرم در سانتی‌متر مکعب)	0.01	1

(2015) و Briak et al. (2016) نیز به‌عنوان پارامترهای حساس شناخته شده است. پس از بررسی حساسیت مدل، مؤثرترین پارامترها به همراه حدود معنی‌دار اولیه برای انجام واسنجی مدل مشخص شدند و از آن‌ها برای واسنجی دبی جریان استفاده شد که نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی دبی جریان در شکل‌های **Error!** **Reference source not found.** و ۱۰ نشان داده شده است.

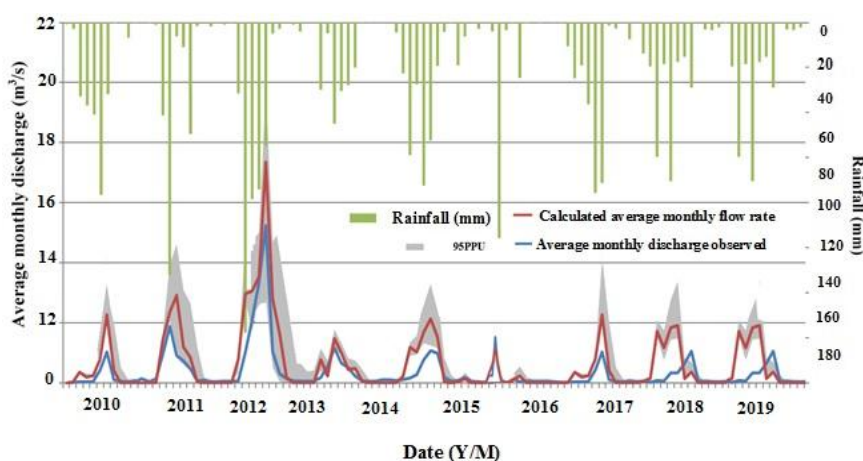
در پژوهش حاضر از ۲۴ پارامتر برای تحلیل حساسیت مدل استفاده شد، پارامترهای با بیش‌ترین آماره t و کم‌ترین سطح معنی‌داری به‌عنوان حساس‌ترین پارامترها برای واسنجی شناسایی شدند. از این‌رو، پارامترهای RFINC، TMPINC، PLAPS، SLSOIL، EPCO، TLAPS، CN2، HRU_SLP.hru حساس‌ترین پارامترها در پژوهش حاضر بودند که در واسنجی مدل از آن‌ها استفاده شد. این پارامترها در پژوهش‌های Vilaysane et al. (2009)، Duan et al. (2009) و



شکل ۹- مقایسه مقدار مشاهداتی و نتیجه واسنجی دبی جریان
Figure 9 - Comparison of Observed Values and Results from Streamflow

است. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با پژوهش‌های مشابه بیانگر نزدیکی بودن آماره‌های به‌دست‌آمده با پژوهش‌های Teshager et al. (2016) و Briak et al. (2016) هم‌سو است. با توجه به بالا بودن دقت مدل در شبیه‌سازی دبی جریان حوزه آبخیز موردبررسی در گام بعدی اقدام به اعمال عملیات آبخیزداری در مدل شد؛ و اثر تمام عملیات آبخیزداری اجراشده بر متغیرهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز محمدآباد موردبررسی قرار گرفت.

طبق نتایج به‌دست آمده، نتایج واسنجی و اعتبارسنجی نشان‌دهنده کارایی قابل‌قبول مدل SWAT برای شبیه‌سازی هیدرولوژیک آبخیز محمدآباد است. به‌نحوی که طبق نتایج به‌دست‌آمده مقدار ضریب تبیین در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب برابر ۰/۹۳ و ۰/۹۸ بوده است. همچنین مقدار شاخص نش-ساتکیف برای مرحله واسنجی برابر ۰/۹۰ و برای مرحله اعتبارسنجی نیز دارای نش-ساتکیف ۰/۹۶ بوده

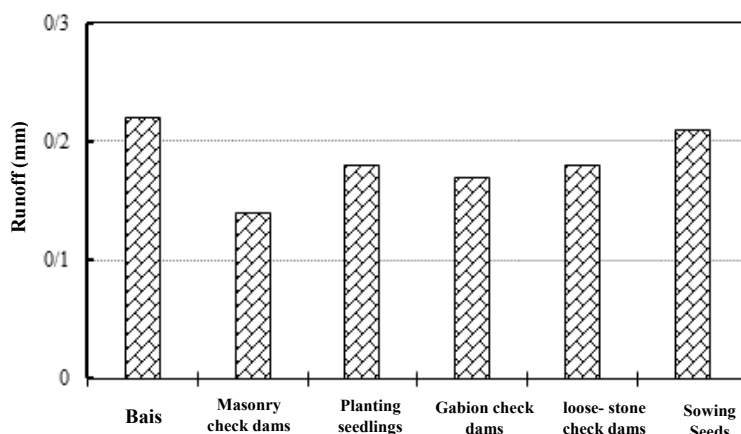


شکل ۱۰- نتایج اعتبارسنجی مدل در برآورد دبی جریان
Figure 10 - Model Validation Results in Estimating Streamflow

تدریجی از خسارات وارده ناشی از سیل جلوگیری کنند. شکل ۱۱ تغییرات متوسط رواناب در اثر اجرای اقدامات آبخیزداری نسبت به شرایط پایه را نشان داده است.

۱-۳- رواناب

با توجه به نتایج حاصل، اقدامات آبخیزداری انجام شده در محدوده مورد مطالعه توانسته‌اند به‌طور میانگین رواناب را در کل بازه ۲۲ ساله کاهش دهد و با رهاسازی این رواناب به‌صورت



شکل ۱۱- تغییرات متوسط رواناب در اثر اجرای اقدامات آبخیزداری نسبت به شرایط پایه
Figure 11 - Average Runoff Changes Due to Watershed Management Practices Compared to Baseline Conditions

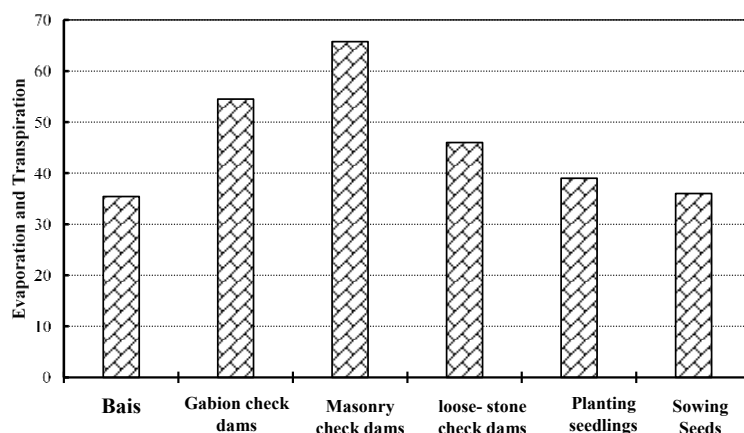
۳۶/۳۶، ۲۲/۷۳، ۱۸/۱۸، ۱۸/۱۸ و ۴/۵۵ درصد نسبت به حالت بدون اجرای عملیات آبخیزداری کاهش پیدا نمود.

۲-۳- تبخیر و تعرق

بر اساس یافته‌های این پژوهش شبیه‌سازی سناریوهای مختلف عملیات آبخیزداری موجب افزایش تبخیر و تعرق از سطح حوزه آبخیز موردبررسی شده است. به‌نحوی که بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق در صورت اجرای عملیات بند سنگی ملاتی رخ داد و کم‌ترین میزان تبخیر و تعرق نیز در حالت بدون عملیات آبخیزداری بوده است. شکل (۱۲) تغییرات متوسط تبخیر و تعرق

طبق نتایج نشان داده شده در شکل ۱۱ تمامی سناریوهای عملیات آبخیزداری، جریان سطحی نسبت به دوره پایه کاهش پیدا نمود. این کاهش به‌صورتی است که در عملیات آبخیزداری بندهای توری‌سنگی و بندهای سنگی ملات در کاهش جریان سطحی به میزان حداکثر خود رسیده و عملیات بذرکاری نیز نسبت به سایر عملیات تأثیر کم‌تری در کاهش رواناب‌های سطحی را داشته است. به‌نحوی که میزان رواناب سطحی در صورت اجرای عملیات آبخیزداری به‌صورت سنگی ملاتی، توری سنگی، خشکه‌چین، نهال‌کاری و بذرکاری به‌ترتیب به میزان

در اثر اجرای اقدامات آبخیزداری نسبت به شرایط پایه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- تغییرات متوسط درصد تبخیر و تعرق در اثر اجرای اقدامات آبخیزداری نسبت به شرایط پایه

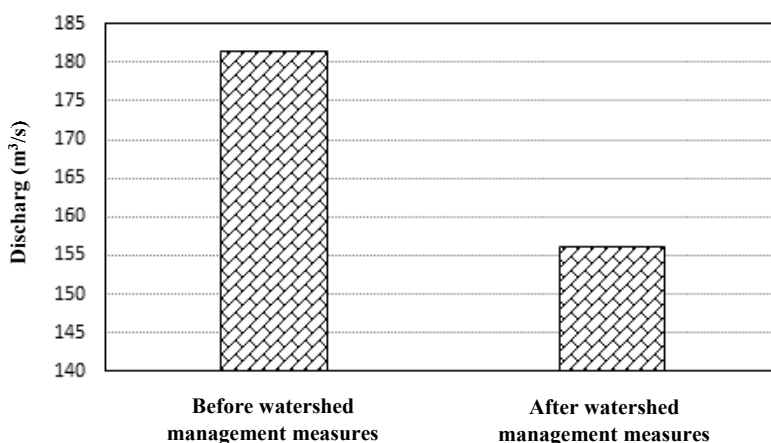
Figure 12 - Average Evapotranspiration Changes Due to Watershed Management Practices Compared to Baseline Conditions

خشکه‌چین، نهال‌کاری و بذرکاری به ترتیب به میزان ۸۵/۶۹، ۵۳/۸۷، ۲۹/۸۷، ۱۰/۱۱ و ۱/۶۴ درصد نسبت به حالت بدون اجرای عملیات آبخیزداری افزایش پیدا کرد که نتایج پژوهش حاضر با نتایج Pyo et al. (2017) و Xing et al. (2018) هم‌سو بود.

۳-۳- دبی پیک واحد سیلاب

با توجه به تغییرات حاصل از زمان تمرکز و زمان تا اوج، میزان تغییرات حاصله در دبی پیک واحد سیلاب در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

همان‌طوری که در شکل ۱۲ نشان داده شده است در صورت اعمال عملیات آبخیزداری به دلیل افزایش پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق افزایش پیدا می‌کند؛ زیرا که باوجود افزایش نفوذ آب در خاک، رشد پوشش گیاهی در منطقه نمود پیدا خواهد کرد و با افزایش پوشش، میزان تبخیر و تعرق از سطح گیاه افزایش پیدا کرده و بدین گونه اقدامات آبخیزداری بر افزایش تبخیر و تعرق بالاخص در مورد سنگی ملاتی، توری سنگی و خشکه‌چین اثر می‌گذارد. همچنین اثر تبخیر از سطح آب در مخازن سازه را نمی‌توان نادیده گرفت. نتایج حاصل از بررسی میزان تبخیر و تعرق منطقه مورد مطالعه نشان داد در صورت اجرای عملیات آبخیزداری به صورت سنگی ملاتی، توری سنگی،



شکل ۱۳- تغییرات دبی پیک واحد در اثر اجرای اقدامات آبخیزداری

Figure 13 - Changes in Peak Flow Due to Watershed Management Practices

واحد سیلاب شده است به نحوی که میزان دبی پیک واحد در محدوده مورد مطالعه به میزان ۲۵/۵ مترمکعب بر ثانیه (از ۱۸۱/۵ مترمکعب بر ثانیه

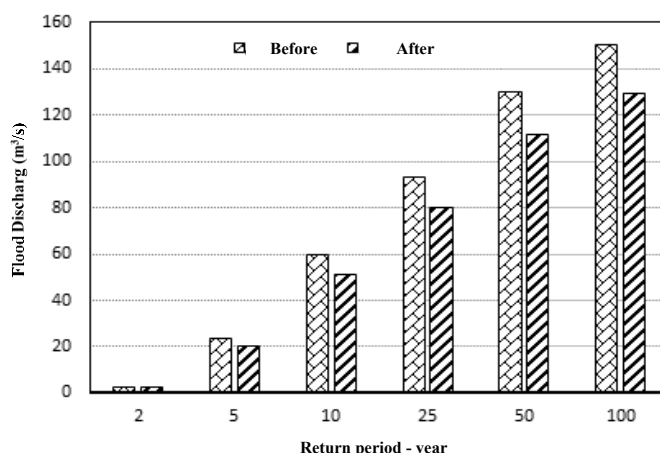
همان‌طوری که در شکل ۱۳ نشان داده شده است اجرای اقدامات آبخیزداری در سطح حوزه آبخیز محمدآباد سبب کاهش میزان دبی پیک

حاصل با یافته‌های پژوهش (Zarei ghorkhodi et al. (2022) همخوانی دارد.

۳-۴- دبی پیک سیلاب

با توجه به تغییرات حاصل از رواناب و دبی پیک واحد، میزان تغییرات حاصله در دبی پیک سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

قبل از اقدامات آبخیزداری به ۱۵۶ مترمکعب بر ثانیه بعد از اقدامات آبخیزداری) کاهش پیدا کرده است. با توجه به اینکه عملیات آبخیزداری سبب نفوذ رواناب به داخل خاک می‌شود و از طریق جریان آب زیرزمینی به چرخه آب باز می‌شود و یا از طریق تخییر و تعرق این عمل انجام می‌شود. لذا طبق نتایج کاهش آب در دسترس در تمام حالت‌های اعمال شده در شبیه‌سازی، طی اقدامات حفاظتی مشاهده شد؛ که نتایج



شکل ۱۴- تغییرات دبی‌های سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف ۱۳۹۷

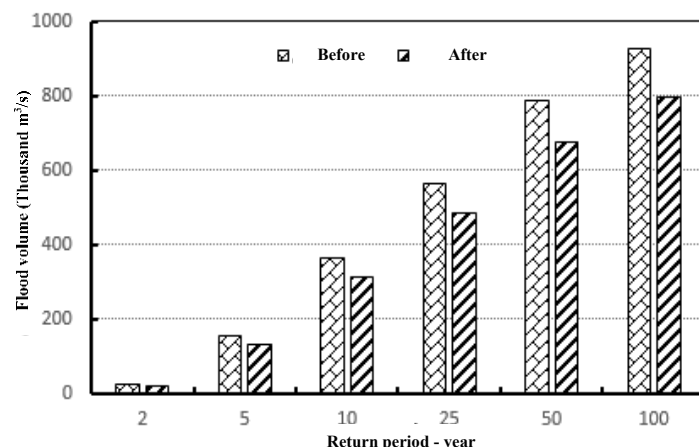
Figure 14 - Changes in Flood Flows with Various Return Periods

همچنین اراضی کشاورزی شده است. (Mehri et al. (2023) و (Golzari et al. (2020) نیز در پژوهش‌های خود تأثیر اجرای اقدامات آبخیزداری بر کاهش رواناب سطحی، سیل و متعاقباً کاهش هدررفت مواد سطحی خاک، فرسایش را تأیید کردند که نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر با نتایج ایشان هم‌سو بود.

۳-۵- حجم سیلاب

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در سطح حوزه میزان تغییرات حجم سیلاب در کل حوزه در دوره بازگشت‌های مختلف در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از شکل ۱۴ نشان‌دهنده کاهش دبی پیک سیلابی در دوره بازگشت‌های مختلف است. بررسی دبی سیلاب ۲۵ ساله در حوزه آبخیز مورد مطالعه حاکی از کاهش دبی سیلاب به مقدار ۱۳/۱۳ مترمکعب بر ثانیه بوده است به‌نحوی که مقدار دبی سیلابی از مقدار ۹۲/۴۷ مترمکعب بر ثانیه قبل از اقدامات آبخیزداری به ۸۰/۳۴ مترمکعب بر ثانیه بعد از اقدامات آبخیزداری کاهش پیدا کرده است. بر اساس نتایج پژوهش حاضر پروژه‌های مکانیکی در حوزه آبخیز محمدآباد توانسته است باعث کاهش رواناب سطحی، سیل و متعاقباً کاهش هدررفت مواد سطحی خاک، فرسایش و درنهایت حمل ذرات فرسایش یافته از آبراهه به خارج از آن را شود و همین مسئله سبب کاهش انتقال رسوب از دامنه‌ها به آبراهه و از آبراهه به رودخانه اصلی و درنهایت سدهای ذخیره‌ای و



شکل ۱۵- تغییرات حجم سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف
Figure 15 - Changes in Flood Volume for Different Return Periods

منطقه) امکان اجرا سخت است. لذا از آنجایی که حوزه آبخیز محمدآباد نزدیک شهر فاضل‌آباد بوده و بیش‌تر جنبه توریستی داشته و اقتصاد اهالی نیز به دامداری وابسته ناست لذا انجام عملیات مدیریتی مؤثرتر خواهد بود. هم‌چنین اجرای عملیات مکانیکی، به‌دلیل شرایطی چون شیب بالا، عمق کم خاک (کوهستانی بودن منطقه)، زمان تمرکز پائین، بالا بودن دبی پیک (ضریب شکل حوضه) و در نتیجه وجود رسوبات واریزه‌ای و از همه مهم‌تر وجود سابقه سیلاب در حوزه آبخیز مورد مطالعه اولویت با اجرای برنامه‌های مکانیکی خواهد بود. در نهایت می‌توان اذعان نمود با اقدامات آبخیزداری علاوه بر اینکه می‌توان به کاهش خسارات ناشی از سیل و رسوب کمک نمود می‌توان تهدید سیلاب را به فرصت تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و وجود آب در چشمه‌ها، قنوات و چاه‌ها در زمان خشک‌سالی، با کم‌ترین هزینه و منطبق با شرایط اکولوژیکی منطقه تبدیل نمود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

منابع

دارابی، فریبا، نجفی نژاد، علی، پورقاسمی، حمیدرضا، و سعدالدین، امیر (۱۴۰۳). پیش‌بینی اثر اقدامات بیولوژیک بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز بهشت‌آباد با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۵(۱)، ۷۹-۹۶. doi: 10.22034/iwm.2024.2032264.1159

نتایج حاصل از شکل ۱۵ نشان‌دهنده کاهش حجم سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف پس از اقدامات آبخیزداری صورت گرفته در حوزه آبخیز مورد مطالعه است. با توجه به این که عملیات آبخیزداری به‌خصوص عملیات مکانیکی سبب افزایش زمان تمرکز آبخیز از طریق تعدیل شیب آبراهه و کاهش سرعت آب یا ذخیره آب در مخزن بندهای اصلاحی خواهد شد لذا همین امر موجب افزایش میزان تبخیر و تعرق در سطح آبخیز می‌شود که بر اساس یافته‌های این پژوهش نیز شبیه‌سازی سناریوهای مختلف عملیات آبخیزداری موجب افزایش تبخیر و تعرق از سطح آبخیز موردبررسی شده است؛ که نتایج به‌دست‌آمده با نتایج (Kerr et al. 2000) و Eiledmi et al. (2006) هم‌راستا بود و نقش عملیات آبخیزداری را بر مهار رواناب‌های سطحی مثبت دانسته‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

اقدامات آبخیزداری، باهدف اعمال مدیریت جامع آبخیز، حفاظت خاک و آب و بهبود سلامت بوم‌سازگان یکی از راهکارهای مؤثر در کاهش آسیب‌ها و خسارات ناشی از عوامل طبیعی است. نقش اقدامات آبخیزداری به‌صورت بیولوژیک و سازه‌های احداث‌شده در آبخیزها در کاهش میزان رواناب سطحی و اثرگذاری آن بر متغیرهای هیدرولوژیک، از طریق تأثیر آن‌ها بر شیب، زمان تمرکز و شماره منحنی آبخیز امری غیرقابل‌انکار است. از طرفی بررسی میزان تأثیر این اقدامات بر فرایندهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز اجتناب‌ناپذیر است که در پژوهش حاضر به این مهم پرداخته شد که نتایج حاصل نشان‌دهنده تأثیر اقدامات آبخیزداری بر متغیرهای هیدرولوژیک ازجمله رواناب سطحی، دبی پیک و حجم سیلاب حوزه آبخیز محمدآباد شد که این امر سبب کاهش تخریب و خسارات ناشی از سیلاب در منطقه مورد مطالعه خواهد شد. بر اساس نتایج بررسی عملیات آبخیزداری در حوزه مورد مطالعه مشخص شد اجرای عملیات بیولوژیکی، به‌دلیل شیب بالا و عمق کم خاک (کوهستانی بودن

doi: ۹۴-۸۳: (۳۸) ۱۱/ ایران، 20.1001.1.20089554.1396.11.38.5.1
 گلزاری، ساحره، زارع ایبانه، حمید، دلاور، مجید، و مبرقی
 دینان، نغمه (۱۳۹۶). بررسی کارایی مدل در شبیه‌سازی
 کمی و کیفی رواناب و اقدامات آبخیزداری در حوزه
 زرینه‌رود. مدیریت حوزه آبخیز، ۱۱(۲۲)، ۱۱۱-۱۲۰. doi:
 20.1001.1.22516174.1399.11.22.18.4
 محمدی‌وند، محمدرضا، عراقی نژاد، شهاب، ابراهیمی، کیومرث،
 و مدرس، فرشته (۱۳۹۸). ارزیابی عملکرد مدل‌های
 AWBM، Sacramento و SimHyd در شبیه‌سازی
 رواناب حوزه امامه با استفاده از بهینه‌ساز واسنجی
 خودکار الگوریتم ژنتیک. تحقیقات آب و خاک ایران،
 ۵۰(۷)، ۱۷۶۹-۱۷۵۹. doi:
 10.22059/ijswr.2019.258701.667923
 مهری، سونیا، مرادی، حمیدرضا، و مصطفی‌زاده، رئوف (۱۴۰۲).
 شبیه‌سازی و تعیین مؤلفه‌های رواناب در بالادست سد
 قشلاق با استفاده از مدل SWAT، محیط‌زیست و
 مهندسی آب، ۴۸(۴)، ۴۸۵-۴۹۸. doi:
 10.22034/ewe.2023.360340.1805

References

- Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R.,
 Bogner, K., Mieleitner, J., Srinivasan, R.
 (2007). Modelling hydrology and water
 quality in the pre-alpine/alpine Thur
 watershed using SWAT. *Journal of hydrology*,
 333(2-4), 413-430. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.09.014.
- Abuhay, W., Gashaw, T., & Tsegaye, L. 2023.
 Assessing impacts of land use/land cover
 changes on the hydrology of Upper Gilgel
 Abbay watershed using the SWAT model.
Journal of Agriculture and Food Research, 12,
 100535. doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100535.
- Ahmadaadi, E., Ghafarpour, P. (2017). Evaluation
 of the effects of watershed management on the
 hydrogeomorphological characteristics of the
 Anbar basin by using the semi-distributed
 SWAT. *Space planning and design*, 21(2), 35-
 55.
- Anteneh, Y., Alamirew, T., Zeleke, G., Kassawmar,
 T. (2023). Modeling runoff-sediment influx
 responses to alternative BMP interventions in
 the Gojeb watershed, Ethiopia, using the
 SWAT hydrological model. *Environmental
 Science and Pollution Research*, 30(9),
 22816-22834. doi: 10.1007/s11356-022-
 23711-4
- Basu, A.S., Gill, L.W., Pilla, F., Basu, B. (2022).
 Assessment of Variations in Runoff Due to
 Landcover Changes Using the SWAT Model
 in an Urban River in Dublin, Ireland.
Sustainability, 14(1), 534. doi:
 10.3390/su14010534
- Briak, H., Moussadek, R., Aboumaria, K., Mrabet
 R. (2016). Assessing sediment yield in Kalaya
 gauged watershed (Northern Morocco) using
 GIS and SWAT model. *International Soil and
 Water Conservation Research*, 4(3), 177-185.
 doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.08.002.
- Darabi, F., Najafinejad, A., Pourghasmi, H., &
 Sadoddin, A. (2024). Predicting the Effect of
 Biological Measures on Flood Generation in
 the Behesht Abad Watershed using Machine
 Learning Methods. *Integrated Watershed
 Management*, 5(1), 79-96. doi:
 10.22034/iwm.2024.2032264.1159 [In Persian]
- Ding, Y., W. Wang, X., Cheng, S., Zhao. (2008).
 Ecosystem Health Assessment in Inner
 Mongolia Region based on Remote Sensing
 and GIS. *The International Archives of the
 Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial
 Information Sciences*, XXXVII. Part B1:
 1029-1034.
- Dolatabadi, S., Mohamadian, M.E. (2013).
 Hydrological simulation of Firoozabad basin
 using SWAT model. *Journal of Irrigation and
 Water Engineering*, 14(29), 48-38.
- Duan, Z., Song, X., Liu, J. (2009). Application of
 SWAT for sediment yield estimation in a
 mountainous agricultural basin. In

زارعی قورخودی، علیرضا، شاهنظری، علی و محمدی، فاطمه
 (۱۴۰۱). ارزیابی تأثیر آبیندان‌ها بر دو پارامتر رواناب و
 رسوب با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوزه
 آبخیز رودخانه تجن، مازندران). آبیاری و زهکشی ایران،
 ۱۶(۲)، ۳۰۷-۲۹۴. doi:
 20.1001.1.20087942.1401.16.2.3.2
 قویمی پناه، محمدحسین، غلامی، لیلا، کاویان، عطاله، و
 صادقی، سیدحمیدرضا (۱۴۰۳). تأثیر اقدام‌های آبخیزداری
 بر متغیرهای آب‌شناختی با استفاده از مدل SWAT در
 آبخیز کن. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷(۲)، ۹۳-۱۰۹.
 doi: 10.22092/WMRJ.2023.362356.1542
 قویمی پناه، محمدحسین، غلامی، لیلا، کاویان، عطاله، و
 صادقی، سیدحمیدرضا (۱۴۰۳). ارزیابی تأثیر اقدامات
 حفاظت خاک و آب بر تغییرات رسوب‌دهی حوزه آبخیز
 کن، استان تهران. مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۴(۳)،
 ۵۶-۴۲. doi: 10.22125/iwe.2023.403278.1726
 گودرزی مسعود، معتمد وزیری، بهارک، و میرحسینی، محمدرضا
 (۱۳۹۶). ارزیابی کاربست مدل IHACRES به‌منظور
 شبیه‌سازی رواناب سطحی در شرایط تغییر اقلیم: مطالعه
 موردی حوزه آبخیز کن. علوم و مهندسی آبخیزداری

- Geoinformatics, 2009 17th International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
- Eiledmi, A., Norri, H., & Falahi, B. (2006). Evaluate the effect of Watershed Management projects to reduce erosion and sedimentation in Magnavy and Gholi Kandi of Hamadan. In *The first regional conference exploitation of water resources in Karoun and Zayandehrood basin*.
- Ghavamipannah, M. H., Gholami, L., Kavian, A., & Sadeghi, S. H. R. (2024). Effect of Watershed Practices on Hydrological Variables using SWAT Model in Kan Watershed. *Watershed Management Research*, 37(2), 93-109. doi: 10.22092/WMRJ.2023.362356.1542 [In Persian]
- Ghavamipannah, M. H., Gholami, L., Kavian, A., & Sadeghi, H. (2024). Impact Assessment of Soil and Water Conservation Practices on Sediment Yield Changes in Kan Watershed, Tehran Province. *Irrigation and Water Engineering*, 14(3), 42-56. doi: 10.22125/iwe.2023.403278.1726 [In Persian].
- Golzari, S., zareabyaneh, H., delavar, M., & Mobargaei Dinan, N. (2020). Performance of SWAT Model in Quantitative and Qualitative Simulation of Runoff and Watershed Protective Measures in Zarrinehrood Basin. *Jwmr*, 11(22), 111-120. doi: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.18.4 [In Persian]
- Goodarzi, M., Motamed Vaziri, B., & Mir hoseini, M. (2017). Assessment of IHACRES Model in Surface Run-off Simulation in Climate Change Status: A case study Kan Basin. *Jwmseir*, 11(38), 83-94. doi: 20.1001.1.20089554.1396.11.38.5.1 [In Persian]
- Hazbavi, Z., Keesstra, S.D., Nunes, J.P., Baartman, J.E., Gholamalifard, M. & Sadeghi, S.H.R. (2018). Health comparative comprehensive assessment of watersheds with different climates. *Ecological Indicators*. 93, 781-790. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.078>
- Jang, S.S., Ahn, S.R., & Kim, S.J. (2017). Evaluation of executable best management practices in Haeen highland agricultural catchment of South Korea using SWAT. *Agricultural Water Management*, 180, 224-234. doi: 10.1016/j.agwat.2016.06.008
- Kerr, J. M., George, P. S., Pangare, G., & Pangare, V. (2000). An evaluation of dryland watershed development projects in India. (No. 581-2016-39504).
- Mehri, S., Moradi, H.R., & Mostafazadeh, R. (2023). Simulation and determination of hydrological balance components in the upstream of Gheshlagh dam using SWAT model. *Environment and Water Engineering*, 9(4), 485-498. doi: 10.22034/ewe.2023.360340.1805 [In Persian]
- Mohammadivand, M.R., Araghinejad, S., Ebrahimi, K., & Modaresi, F. (2019). Performance Evaluation of AWBM, Sacramento and SimHyd models in Runoff Simulation of the Amameh Watershed using Automatic Calibration Optimization Method of Genetic Algorithm. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(7), 1759-1769. doi: 10.22059/ijswr.2019.258701.667923 [In Persian]
- Mtibaa, S., & Asano, S. (2022). Hydrological evaluation of radar and satellite gauge-merged precipitation datasets using the SWAT model: Case of the Terauchi catchment in Japan. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 42, 101-134. doi: 10.1016/j.ejrh.2022.101134
- Nikolic, G., Spalevic, V., Curovic, M., Darvishan, A. K., Skataric, G., Pajic, M., & Tanaskovik, V. (2019). Variability of soil erosion intensity due to vegetation cover changes: Case study of Orahovacka Rijeka, Montenegro. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(1), 237-248. doi: 10.15835/nbha47111310
- Pyo, J., Baek, S. S., Kim, M., Park, S., Lee, H., Ra, J. S., & Cho, K. H. (2017). Optimizing agricultural best management practices in a Lake Erie watershed. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 53(6), 1281-1292. doi: 10.1111/1752-1688.12571
- Sadeghi, S.H.R., & Hazbavi, Z. (2017). Spatiotemporal variation of watershed health propensity through reliability-resilience-vulnerability based drought index (case study: Shazand Watershed in Iran). *Science of the Total Environment*, 587, 168-176. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.098
- Singh, V., Karan, S. K., Singh, C., & Samadder, S. R. (2023). Assessment of the capability of SWAT model to predict surface runoff in open cast coal mining areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(14), 40073-40083. doi: 10.1007/s11356-022-25032-y.
- Sun, G., Wei, X., Hao, L., Sanchis, M. G., Hou, Y., Yousefpour, R., & Zhang, Z. (2023). Forest hydrology modeling tools for watershed management: A review. *Forest Ecology and Management*, 530, 120755. doi: 10.1016/j.foreco.2022.120755
- Teshager, A. D., Gassman, P. W., Secchi, S., Schoof, J. T., & Misgna, G. (2016). Modeling agricultural watersheds with the soil and water assessment tool (SWAT): Calibration and validation with a novel procedure for spatially explicit hrus. *Environmental management*, 57, 894-911. doi: 10.1007/s00267-015-0636-4