Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Estimating the water balance of the Kowsar Dam watershed using the SWAT hydrological model and satellite data

Ali Talebi [1]*, Sara Parvizi [2], Somayeh Talebi Esfandarani [3], Jamal aghayari[3], Arash Zare Garizi[4], Hamid Reza Pourghasemi[5]

[1] Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University, and Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
[2] PhD in Watershed Management Engineering, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran
[3] Assistant Professor, Iranian Space Research Center, Tehran, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Gorgan, Iran
[5] Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Extended Abstract

Introduction

Estimating the water balance is a key factor in water resource management and environmental planning. The main objective of this study was to evaluate the efficiency of the SWAT model in determining the water balance components of the region. The water balance refers to the equilibrium between water inputs and outputs in a specific area, including factors such as precipitation, evaporation, runoff, and water withdrawal. The most important elements of the water balance from the perspective of water resource management are precipitation, evapotranspiration, surface runoff, groundwater flow, and lateral flow. A correct understanding of this balance can help optimize water resource use, predict climate change, and assess human impacts on ecosystems. Given the increasing population and the growing need for water, accurate estimation of the water balance has become crucial for informed management decisions and sustainable development in the agricultural, industrial, and urban sectors. Therefore, dynamic and coherent planning, along with the implementation of appropriate management and conservation measures, is essential for the optimal use of the country's water and soil resources. In this context, employing mathematical models and field data can enhance the analysis of water resource status and future planning. Today, hydrological models are utilized to study and plan for the sustainable and effective comprehensive management of watersheds. An example of a physically based hydrological model is SWAT, which simulates large-scale processes and monitors them based on the characteristics of the watershed and its climatic conditions.

Materials and Methods

In this study, to model the hydrological conditions of the Kowsar Dam basin using the SWAT model, we first imported a digital elevation model with a resolution of 30 meters into the model software environment (ArcSWAT). The output location was then specified, and the watershed boundary was established. Next, we overlaid land use, soil, and slope class maps to obtain hydrological response units (HRUs) for the region. At this stage, the basin was divided into 35 sub-basins and 184 HRUs. To run the model, we utilized daily climatic data from the meteorological stations, which included precipitation, maximum and minimum temperatures, and relative humidity. The model was calibrated using the SUFI2 program, based on the data from 2007 to 2019. Initially, to identify the parameters influencing runoff in the region, a sensitivity analysis was conducted using the One Parameter at a Time (OAT) method, which helped identify the sensitive parameters for model calibration. By implementing the SUFI2 algorithm, we determined the optimal values for these sensitive parameters. Model validation was carried out using the modified parameter values obtained during the calibration stage. To evaluate model performance during both the calibration and validation phases, we used the coefficient of determination (R^2) and the Nash-Sutcliffe coefficient (NS).

Results and Discussion

The results showed that the SWAT model simulated the water balance components of the Kowsar Dam watershed with acceptable accuracy. For this reason, the values of the R^2 (0.55-0.62) and NSE (0.54-0.6) indices were relatively high. Based on the results, it was also determined that in the studied basin, most of the precipitation occurred in the fall and winter seasons, with the maximum occurring in November and the lowest precipitation in June. The amount of surface runoff in November gradually began with the onset of autumn and winter precipitation, so that the highest amounts of surface runoff were observed in November and February. The temporal changes in base flow throughout the year showed that its highest amount was related to late winter and its lowest amount was related to October. Actual evapotranspiration gradually increased from November with the onset of precipitation, so that from late winter, as the weather warms up, the actual evapotranspiration rate

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

increased and reached its maximum in May. In relation to potential evapotranspiration, unlike actual evapotranspiration, this parameter would increase with increasing temperature and decreasing precipitation. The lowest potential evapotranspiration rate was in January due to the sharp decrease in temperature in this month, and the highest rate was in early summer, that is, July.

Conclusion

By implementing the SWAT model in the Kowsar Dam basin, we were able to simulate the monthly flow for the studied period. Statistical comparisons of this modeling demonstrated acceptable results. The comparison of the simulated and observed hydrographs showed a good correlation according to the Nash-Sutcliffe criterion. Therefore, we can conclude that the SWAT physical model performs acceptably in the Kowsar Dam basin, based on the simulation results. By comparing the appearance and statistics of the observed hydrograph with those of the simulated hydrograph, we found a high similarity between the two during the study period. There is good agreement between the hydrographs regarding important characteristics such as peak discharge, runoff volume, and time to reach peak discharge. Overall, the results indicate that the SWAT model has the ability and acceptable accuracy to simulate the monthly runoff discharge of the Kowsar Dam watershed. In this study, the model's calibration and validation results showed its efficiency in estimating the water balance in the Kowsar Dam watershed. The final results showed that on average, about 51 percent of precipitation entered the atmosphere as evaporation and transpiration, about 21 percent as surface runoff, 5 percent as lateral flow, and 16 percent as return flow directly into waterways. In total, about 26 percent of water entered the soil layers and the aquifer. The results indicate the effectiveness of the SWAT model in simulating the water balance of the Kowsar Dam watershed.

Keywords: Kowsar Dam watershed; Remote sensing; Surface runoff; SWAT model; Water balance.

Article Type: Research Article

Conflicts of interest

There is no conflict of interest.

Data Availability Statement:

All information and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution

Ali Talebi: Formal Analysis and Investigation, Conceptualization; **Sara Parvizi:** Writing Original Draft Preparation, Formal Analysis and Investigation, Resources, Visualization; **Somayeh Talebi Esfandarani:** Manuscript Editing; **Jamal Aghayari:** Manuscript Editing; **Arash Zare Garizi:** Methodology, Conceptualization, Formal Analysis and Investigation; **Hamid Reza Pourghasemi:** Manuscript Editing

*Corresponding Author, E-mail: Ali Talebi, talebisf@yazd.ac.ir

Citation: Talebi, A., Parvizi, S., Talebi Esfandarani, S., Aghayari, J., Zare Garizi, A., & Pourghasemi, H. (2026). Estimating the water balance of the Kowsar Dam watershed using the SWAT hydrological model and satellite data. *Soil and Water Modeling and Management*, 6(1), 226-240.

doi: 10.22098/mmws.2025.18378.1685

Received: 17 September 2025, Received in revised form: 17 October 2025, Accepted: 17 October 2025, Published online: 21 March 2026

Water and Soil Management and Modeling, Year 2026, Vol. 6, No. 1, pp. 226-240

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

برآورد بیلان آب حوزهٔ آبخیز سد کوثر با استفاده از مدل هیدرولوژیک SWAT و داده‌های ماهواره‌ای

علی طالبی[۱*]، سارا پرویزی[۲]، سمیه طالبی اسفندارانی [۳]، جمال آغایاری[۳]، آرش زارع گاریزی[۴]، حمید رضا پورقاسمی[۵]

[۱] استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

[۲] دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد، یزد، ایران

[۳] استادیار مرکز تحقیقات فضایی، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، ایران

[۴] استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۵] استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

چکیده

بیلان آب نشان‌دهندهٔ تعادل بین ورودی و خروجی آب در یک منطقه است و نقش مهمی در مدیریت منابع، توسعه پایدار و کاهش اثرات انسانی بر اکوسیستم دارد. با افزایش جمعیت و تقاضای آب، تخمین دقیق آن برای کشاورزی، صنعت و شهرها ضروری است. بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی و داده‌های میدانی ابزار مؤثری برای تحلیل وضعیت و برنامه‌ریزی آینده منابع آبی محسوب می‌شود. در این پژوهش، مؤلفه‌های بیلان آبی حوزهٔ آبخیز سد کوثر با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT و سنجش از دور شبیه‌سازی شد. هدف این پژوهش، آزمون کارایی مدل و قابلیت استفاده از آن به‌عنوان شبیه‌ساز بیلان آب در حوزهٔ آبخیز سد کوثر است. در این پژوهش برای به‌دست آوردن نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ی سنتینل-۲ سال (۲۰۲۰) استفاده شد. برای واسنجی مدل از الگوریتم SUFI2 در نرم‌افزار SWAT CUP استفاده شد. فرآیند انجام مدل برای بازهٔ زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۸ انجام شد. دقت شبیه‌سازی رواناب ماهانه با استفاده از شاخص ضریب تعیین (R^2) و نش-ساتکلیف (NSE) در ایستگاه نازمکان و سید آباد به‌ترتیب ۰/۵۵، ۰/۵۴ و ۰/۶۲، ۰/۶ به‌دست آمد. نتایج نهایی نشان داد که به‌طور متوسط حدود ۵۱ درصد بارش به‌صورت تبخیر و تعرق وارد اتمسفر می‌شود، حدود ۲۱ درصد آن به‌صورت رواناب سطحی، ۵ درصد به‌صورت جریان جانبی و ۱۶ درصد به‌صورت جریان بازگشتی مستقیماً به آبراهه‌ها وارد می‌شود. در مجموع حدود ۲۶ درصد آب وارد لایه‌های خاک و آبخوان می‌شود. نتایج حاصل نشان‌دهندهٔ کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی بیلان آبی حوزه آبخیز سد کوثر است.

واژه‌های کلیدی: بیلان آب، حوزه آبخیز سد کوثر، رواناب سطحی، مدل SWAT، سنجش از دور

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: علی طالبی، talebisf@iut.ac.ir

استناد: طالبی، علی، پرویزی، سارا، طالبی اسفندارانی، سمیه، آغایاری، جمال، زارع گاریزی، آرش، پورقاسمی، حمیدرضا (۱۴۰۵). برآورد بیلان آب حوزه آبخیز سد کوثر با استفاده از مدل هیدرولوژیک SWAT و داده‌های ماهواره‌ای. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۶ (۱)، ۲۲۶ – ۲۴۰.

doi: 10.22098/mmws.2025.18378.1685

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۵، تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۵، دوره ۶، شماره ۱، صفحه ۲۲۶ تا ۲۴۰

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱-مقدمه

تخمین بیلان آب به‌عنوان یکی از ابزارهای اساسی در مدیریت منابع آب حوضه‌های آبریز، نقش کلیدی در حفظ و بهره‌برداری بهینه از این منابع حیاتی ایفا می‌کند. بیلان آب به تعادل بین ورودی‌ها و خروجی‌های آب در یک حوضهٔ خاص اشاره دارد و شامل عواملی چون بارش، تبخیر، رواناب، و برداشت آب می‌شود. تعیین مؤلفه‌های بیلان آب در سال‌های آبی و دوره‌های زمانی متفاوت حائز اهمیت بوده است و با بررسی آن می‌توان اندازه و درجهٔ تأثیر هر یک از این مولفه‌ها در بیلان آب یک سامانه هیدرولوژیکی را شناسایی و بررسی کرد (Amini et al., 2019). در دنیای امروز که با چالش‌های جدی نظیر تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت و رشد سریع شهرنشینی مواجه هستیم، اهمیت تخمین دقیق بیلان آب دوچندان شده است. بنابراین، برنامه‌ریزی پویا و منسجم و اجرای اقدامات مدیریتی و حفاظتی مناسب به‌منظور بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک کشور ضروری است. در سال‌های اخیر مدل‌هایی با ماهیت نیمه‌توزیعی ارائه شده‌اند که در شبیه‌سازی حوضه‌های وسیع موفق عمل کرده‌اند. یکی از این مدل‌های نیمه توزیعی که در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفته، مدل هیدرولوژیکی SWAT[1] است (Dowlatabadi and Zomorodian, 2014). با توجه به گستردگی استفاده از مدل SWAT در شبیه‌سازی اجزاء بیلان آب حوزه‌های آبخیز، مطالعات زیادی در داخل و خارج کشور انجام شده است که در این رابطه می‌توان به چندین مورد اشاره کرد. Santra and Das (2013) از مدل SWAT برای شبیه‌سازی رواناب در مقیاس ماهانه در حوزهٔ آبخیز رودخانهٔ Chilika در کشور هند استفاده کردند. ضرایب نش–ساتکلیف و مربعات خطا در دورهٔ واسنجی به‌ترتیب ۷۲ و ۵۴۵ و در دورهٔ اعتبارسنجی به‌ترتیب ۱۱ و ۶۶۱ به‌دست آمد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که در حدود ۶۹ درصد بارش در این حوزهٔ آبخیز به رواناب تبدیل می‌شود. Havrylenko et al., (2016) آب موجود در خاک را توسط مدل SWAT مورد ارزیابی قرار دادند، آن‌ها دریافتند که این مدل با توجه به مقدار محک‌های آماری ضریب تعیین (R^2) و نش–ساتکلیف (NSE) که به‌ترتیب اعداد ۷۷ درصد و ۷۵ درصد گزارش شده بود، یک ابزار مناسب برای تخمین مقدار آب موجود در خاک در مناطق با اطلاعات ضعیف است. Rivas-Tabares et al., (2019) در پژوهشی از مدل SWAT برای بررسی بیلان آب حوزهٔ آبخیز Adaja-Eresma-Cega استفاده کردند. ضریب نش–ساتکلیف برای دورهٔ واسنجی ۱۶ درصد و برای دورهٔ اعتبارسنجی ۶۷ درصد به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده حاکی از عملکرد بالای مدل در شبیه‌سازی شرایط هیدرولوژیکی حوضه‌های بزرگ مقیاس به‌خصوص مناطقی با شرایط نیمه‌خشک سرد است. Colín-García et al. (2024) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر تعادل آب حوضهٔ رودخانهٔ Mixtec با استفاده از مدل هیدرولوژیکی (SWAT) پرداختند. در این پژوهش دما و بارش با استفاده از پیش‌بینی‌های مدل‌های اقلیم جهانی (GCMs) حاصل از فاز ششم پروژه مقایسه مدل‌های جفت‌شده (CMIP6) برآورد شد. نتایج نشان داد بر اساس مدل اقلیمی MPI-ESM1-2-LR، بارش ممکن است بین ۸۳/۷۱ تا ۲۲۵/۸۳ میلی‌متر کاهش یافته و دما بین ۲/۵۷ تا ۴/۷۷ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یابد، که این امر موجب تغییر تعادل هیدرولوژیکی MRB خواهد شد. در داخل کشور، Hosseini (2014) در پژوهشی بیلان آبی حوزهٔ آبخیز قره‌سو، واقع در استان کرمانشاه را با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. دقت شبیه‌سازی ماهانه با استفاده از شاخص نش– ساتکلیف در دورهٔ واسنجی ۵۶ درصد و با شاخص R^2 معادل ۶۹ درصد و در دورهٔ اعتبارسنجی به‌ترتیب برابر ۶۹ درصد و ۶۵ درصد به‌دست آمد. نتایج حاکی از کارایی مناسب مدل SWAT درشبیه‌سازی بیلان آبی و بررسی اثرات اقدامات مختلف مدیریتی و یا تغییرات اقلیمی بر دبی جریان آبخیز قره‌سو است. Raoof et al., (2017) در مطالعه‌ای معادلهٔ بیلان آب و پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی حوزهٔ آبخیز رودخانه بالخلوچای با استفاده از مدل SWAT بررسی کردند. داده‌های مورد نیاز شامل نقشه‌های توپوگرافی، کاربری اراضی، خاک، بارش، دما، رطوبت و دبی جریان بود. حساس‌ترین پارامترها شمارهٔ منحنی، ضریب تبخیر، آب قابل‌دسترس خاک، بارش، دمای ذوب برف و زمان تأخیر در تغذیهٔ آبخوان شناسایی شدند. واسنجی مدل برای سال‌های ۱۳۸۱–۱۳۸۵ و اعتبارسنجی برای سال‌های ۱۳۸۸–۱۳۸۶ انجام شد. پارامترهای برآورد شده شامل شمارهٔ منحنی (۷۰–۸۰)، زمان تأخیر تغذیهٔ آبخوان (۳۰ روز) و هدایت هیدرولیکی اشباع (۱۲–۲۴ میلی‌متر/ساعت) بودند. شاخص‌های عملکرد مدل در دورهٔ واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب R^2= ۰/۸۱–۰/۶۳، ۰/۹۸– RMSE= ۰/۸۹ و RE= ۰/۰۷–۰/۰۸ به‌دست آمدند. نتایج نشان داد که مدل SWAT جریان رودخانه را به‌خوبی شبیه‌سازی کرده و پارامترها با دقت قابل‌قبول برآورد شده‌اند. Raoof et al., (2018) در پژوهش خود، تراز آب حوزهٔ آبخیز اهرچای با مدل نیمه‌توزیعی و مفهومی SWAT شبیه‌سازی کردند و کارآیی مدل با نرم‌افزار SWAT-CUP و الگوریتم PSO ارزیابی شد. واسنجی در دورهٔ (۱۹۸۲–۲۰۰۲) و اعتبارسنجی در دورهٔ (۲۰۰۳–۲۰۱۰)

[1] Soil and Water Assessment Tool

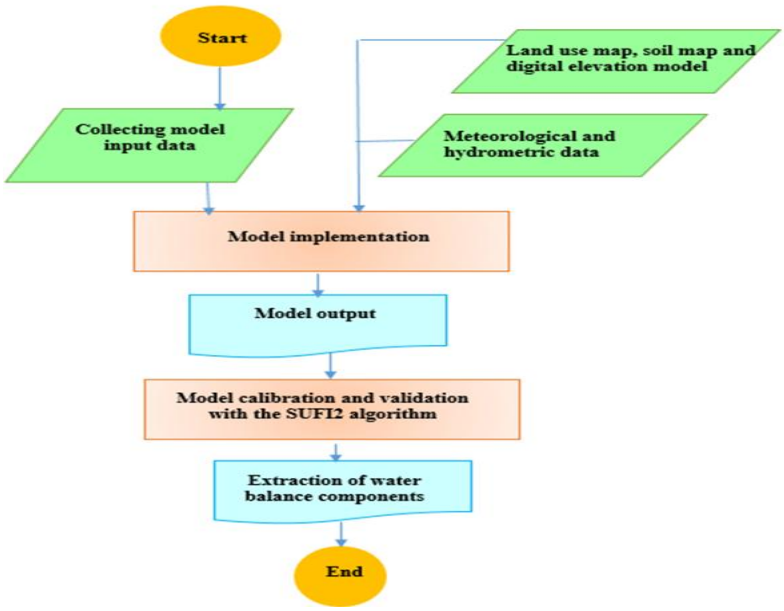
انجام شد. نتایج نشان داد که میانگین بارندگی و تبخیر–تعرق به‌ترتیب ۵۵۹.۸ و ۲۹۹.۱ میلی‌متر بوده و NSE برای جریان آب در واسنجی ۰/۳۹ و در اعتبارسنجی ۶/۷- به‌دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که مدل در شبیه‌سازی آب‌دهی جریان عملکرد مناسبی ندارد که به‌دلیل نابسندگی داده‌ها و تفاوت داده‌های دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی است. Nouri et al., (2019) در مطالعه‌ای بررسی کارایی مدل SWAT در تعیین مؤلفه بیلان آبی حوزهٔ آبخیز سمیرم پرداختند. پس از واسنجی و اعتبارسنجی R^2 و NSE به‌ترتیب ۰/۷۳، ۰/۶۹، ۰/۷۱ و ۰/۵۸ مشاهده شد که نتایج نشان‌دهندهٔ کارایی مدل در تعیین مؤلفهٔ بیلان آبی حوضه بود. Zare Garizi and Talebi (2020) در پژوهشی از مدل SWAT برای شناسایی و اولویت‌بندی مناطق بحرانی از نظر فرسایش و رسوب در حوضهٔ قره‌سو استان گلستان استفاده کردند. پس از واسنجی، اعتبارسنجی و تحلیل عدم‌قطعیت مدل با روش نیمه‌خودکار SUFI2 از خروجی‌های مدل واسنجی شده، برای بررسی تغییرات مکانی فرسایش و رسوب در سطح حوضه استفاده کردند. برای این کار، چهار شاخص شامل رسوب‌دهی در واحد سطح، غلظت رسوب، بار رسوب و شاخص کلی براساس خروجی‌های مدل تعریف و تحلیل شد. نتایج نشان داد که علی‌رغم کمبود و عدم‌قطعیت داده‌های موجود، کارایی مدل SWAT برای شبیه‌سازی فرسایش و رسوب در حوضهٔ قره سو نسبتاً قابل‌قبول است. Parvizi et al., (2020) در مطالعه‌ای بررسی تغییر اقلیم بر پارامترهای هیدرولوژیکی حوزهٔ آبخیز جامیشان با مدل SWAT و مدل چرخش عمومی جو HadCM3 انجام گرفت. نتایج نشان داد رواناب در دورهٔ آماری ۲۰۱۵ و دورهٔ آماری ۲۰۲۶ افزایش می‌یابد. نتایج مطالعات Ghafari and Gorji (2021) در ارزیابی اثر فرسایش خاک بر عملکرد گندم با استفاده از مدل نشان داد که به ازای هر سانتی‌متر فرسایش خاک، عملکرد گندم دیم به مقدار ۱۱ کیلوگرم در هکتار معادل ۰/۵ درصد کاهش یافت. Parvizi et al., (2022) در مطالعه‌ای به بررسی بیلان آبی حوزهٔ آبخیز فخرآباد با مدل SWAT پرداختند. پس از واسنجی و اعتبار سنجی R^2 و NSE به‌ترتیب ۰/۷۳، ۰/۷۱، ۰/۵۴ و ۰/۵۳ مشاهده شد نتایج نهایی نشان داد که ۶۷ درصد به‌صورت تبخیر و تعرق وارد اتمسفر می‌شود، ۲۳ درصد به‌صورت رواناب سطحی و جریان زیرسطحی به آبراهه‌ها وارد می‌شود. نتایج حاصل نشان‌دهندهٔ کارایی مدل SWAT درشبیه‌سازی بیلان آبی حوزهٔ آبخیز فخرآباد است. Sheikhroodi et al., (2024) بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب و رسوب حوزهٔ آبخیز فریزی واقع در استان خراسان رضوی پرداختند. پس از اجرای مدل SWAT، برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر فرسایش حوزهٔ آبخیز مورد مطالعه برای دورهٔ آینده (۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰) از خروجی مدل اقلیمی فاز ششم پروژهٔ مقایسهٔ مدل‌های جفت شده و دو سناریوی انتشار متوسط و خیلی بدبینانه استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان رواناب در دورهٔ آینده کاهش و میزان رسوب افزایش خواهد یافت. Bayesteh, and Zarei (2025) در پژوهشی به بررسی اثر همزمان تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر جریان آیندهٔ رودخانه کر و سیوند با استفاده از مدل SWAT پرداختند. برای بررسی تغییر اقلیم سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 برای دورهٔ ۲۰۵۰–۲۰۲۱ استفاده شد. تغییرات کاربری اراضی پس از دریافت تصاویر منطقه از سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI ماهوارهٔ لندست با مدل LCM پیش‌بینی شد. برای شبیه‌سازی رواناب رودخانه‌ها از مدل هیدرولوژیکی SWAT استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل HadGEM3-GC31-LL افزایش دما و بارش زمستانی در دورهٔ ۲۰۵۰–۲۰۲۱ پیش‌بینی می‌کند. مدل MPI-ESM1-2-LR آینده‌ای خشک‌تر با کاهش چشم‌گیر بارش در فصول سرد و افزایش نسبی دما نشان می‌دهد. بررسی تغییرات کاربری منطقه نشان می‌دهد پوشش جنگلی و مرتعی کاهش یافته و کاربری‌های کشاورزی، باغی و مسکونی به‌ترتیب ۳/۲، ۸/۱۰ و ۴۵/۸ برابر نسبت به دورهٔ پایه بیش‌تر است. مدل HadGEM3-GC31-LL تحت هر دو سناریو و اثر تغییر کاربری اراضی به تبع افزایش بارش، افزایش دبی در فصل زمستان پیش‌بینی کرده است به‌طوری‌که ایستگاه چمریز در دی ماه دبی ۱۴۵ درصد نسبت به دورهٔ پایه افزایش داشته است. Fathollahnejad et al., (2025) در پژوهشی به ارزیابی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر متغیرهای هیدرولوژیک در حوزهٔ آبخیز محمدآباد با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی نشان‌دهندهٔ کارایی قابل‌قبول مدل SWAT برای شبیه‌سازی هیدرولوژیک آبخیز محمدآباد بود. 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. با توجه به نقش حیاتی بیلان آب در مدیریت پایدار منابع آب و چالش‌های جدی ناشی از تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت و بهره‌برداری بی‌رویه، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی نظیر SWAT به‌عنوان ابزاری کارآمد در تخمین و تحلیل اجزای بیلان آب، اهمیت فراوانی دارد. مرور پژوهش‌های داخلی و خارجی نشان می‌دهد که این مدل در مقیاس‌های مختلف و در شرایط اقلیمی متنوع، کارایی مناسبی در شبیه‌سازی رواناب، رطوبت خاک، رسوب، و سایر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی داشته است. با وجود برخی محدودیت‌ها همچون کمبود داده یا تفاوت شرایط واسنجی و اعتبارسنجی، نتایج اغلب مطالعات، توانایی مدل در ارائه برآوردهای قابل اعتماد را تأیید

کرده‌اند. از سوی دیگر، ترکیب مدل SWAT با داده‌های سنجش از دور به‌عنوان رویکردی نوین، دقت نتایج را افزایش داده و افق‌های تازه‌ای برای بهبود مدیریت منابع آب گشوده است. با توجه به فقدان پژوهش مشابه در حوزهٔ آبخیز سد کوثر و اهمیت بالای این منطقه از نظر منابع آب، انجام مطالعهٔ حاضر می‌تواند به‌عنوان گامی نو به‌منظور شناخت بهتر مؤلفه‌های بیلان آب و ارائهٔ راهکارهای مدیریتی مؤثر برای بهره‌برداری پایدار از این حوزه به شمار آید. در این مطالعه ترکیب مدل SWAT با داده‌های سنجش از راه دور استفاده شده است که در مطالعات قبلی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته شده است، این‌کار می‌تواند دقت برآورد بیلان آب حوزه‌های آبخیز را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد و به مدیران منابع آب کمک کند تا تصمیمات بهتری در زمینهٔ مدیریت پایدار منابع آب اتخاذ کنند. باتوجه به این‌که در سال‌های اخیر بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور با مسأله کمبود آب به واسطهٔ مدیریت نادرست مواجه بودند، بر اساس نیازسنجی انجام پذیرفته حوزهٔ آبخیز سد کوثر به‌دلیل مشکلات عدیده‌ای که در این زمینه داشت و هم‌چنین به‌دلیل اهمیت حوضهٔ مورد مطالعه و سد کوثر در تأمین آب شرب بیش از دو میلیون نفر در پایین‌دست، با هدف بررسی کارایی مدل SWAT برای تعیین مؤلفه‌های بیلان آب انتخاب شد تا از این طریق شرایط هیدرولوژیکی حوزهٔ آبخیز بهتر مورد ارزیابی قرار گیرد. به بیان دیگر هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی کارایی مدل SWAT در تعیین مؤلفه‌های بیلان آب این منطقه بوده است و بیش‌تر جنبهٔ کاربردی دارد. با توجه به بررسی انجام شده تاکنون در این حوزهٔ آبخیز هیچ‌گونه مطالعه‌ای از حیث بررسی بیلان آب با استفاده از این مدل انجام نشده است. این پژوهش می‌تواند زمینه‌ای برای مطالعات بیش‌تر مرتبط با مباحث بیلان آب در منطقهٔ مورد نظر را فراهم کند.

۲- مواد و روش‌ها

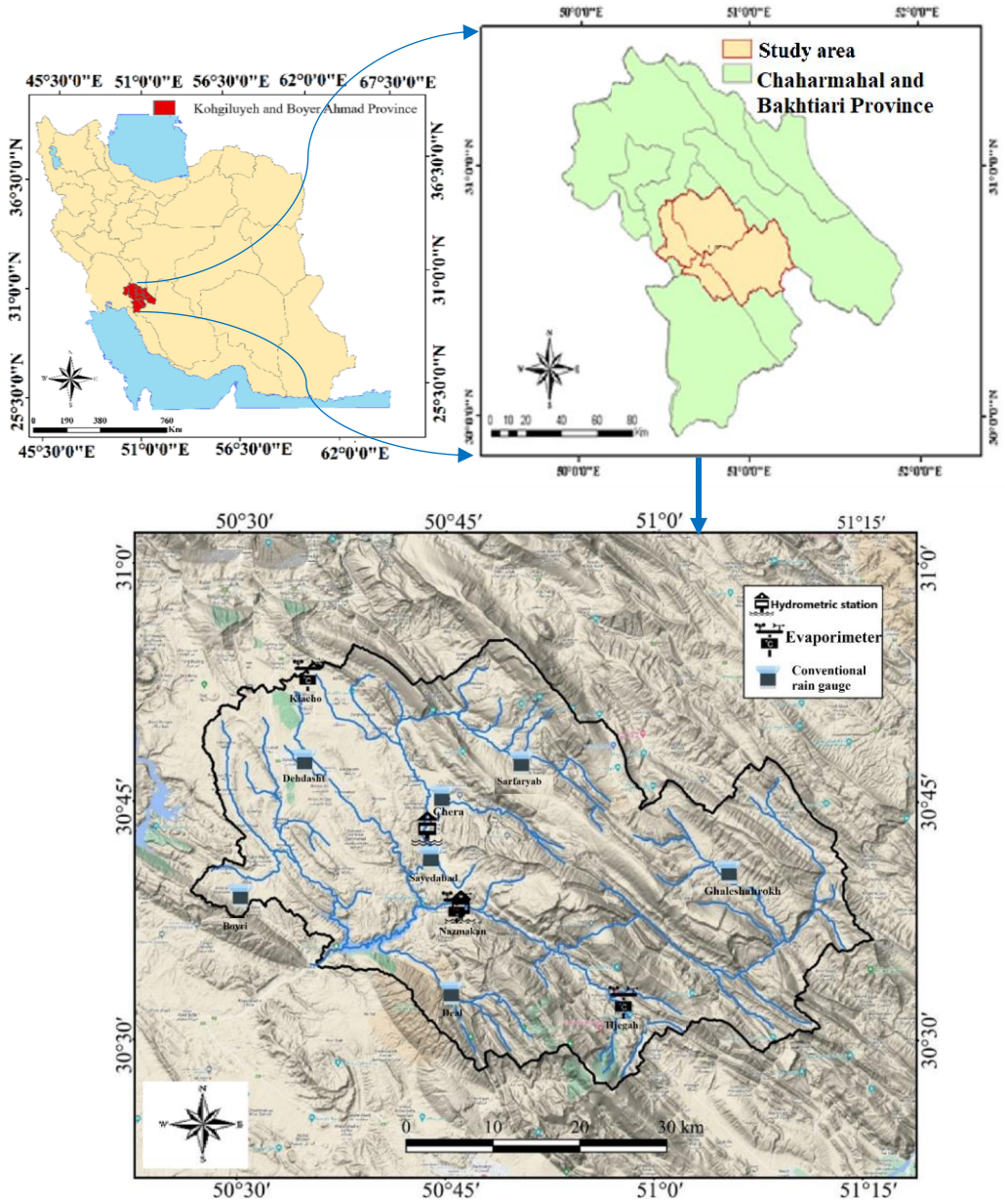
۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه در سیستم مختصات جغرافیایی UTM WGS 1984 و زون ۳۹ و بلوک‌های ۸۷ بهبهان و ۸۸ یاسوج قرار گرفته است این منطقه در استان کهگیلویه و بویراحمد و در مختصات ′ ۳۰ °۵۰ تا ′ ۱۰ °۵۱ طول شرقی و ′ ۳ °۳۰ تا ′ ۵۰ °۳۰ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۲). در منطقهٔ مطالعاتی ایستگاه دوگنبدان با کمینهٔ بارش ۳۹۳/۵۶ میلی‌متر دارای کم‌ترین میزان بارندگی و ایستگاه دهنو با میانگین بارش ۹۴۰/۳۲ میلی‌متر دارای بیش‌ترین مقدار بارندگی است. میانگین بارش سالانه ۷۰۰ میلی‌متر است. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان متوسط آبدهی سالانهٔ ایستگاه‌ها در دورهٔ شاخص به‌ترتیب ۷/۲۸ مترمکعب بر ثانیه در ایستگاه سیدآباد و ۱۷/۶۲ مترمکعب بر ثانیه مربوط به ایستگاه تنگ بریم است. بیشینهٔ آبدهی سالانه ایستگاه‌ها در دورهٔ شاخص ۴۷/۴۶ مترمکعب بر ثانیه مربوط به تنگ بریم در سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ بوده است. هم‌چنین متوسط آبدهی ایستگاه بلربیشه طی ۹ سال آماری، با ضریب تغییرات ۴۶/۶۰ درصد، برابر با ۱/۷۳ مترمکعب بر ثانیه است که بیش‌ترین متوسط آبدهی آن در سال ۹۲ و کم‌ترین متوسط آبدهی سالانه در این ایستگاه در سال ۹۴ اتفاق افتاده است. مساحت محدودهٔ مطالعاتی برابر با ۲۴۲۸/۰۸ کیلومترمربع و محیط آن برابر با ۶۴۷/۵۹ کیلومتر است. مشخصات مورفومتری محدوده مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۱ نمودار جریانی پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۱- روند نمای مربوط به مراحل انجام پژوهش

Figure 1. Overview of the research steps



شکل۲ – موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه ایران و استان کهگیلویه و بویراحمد

Figure 2. Location of the study area on the map of Iran and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province

جدول ۱- مشخصات مساحت و محیط زیرحوضه‌ها و کل حوزه آبخیز سد کوثر

Table 1. Area and perimetercharacteristics of sub-basins and the entire Kowsar Dam watershed

Sub-basins	Area (Km2)	Average height (meters)	Circumference (Km)
Deal (1)	230.97	1271.51	112.33
Nazmakan (2)	1038.93	1967.94	229.22
Sayeda bad (3)	121.8	808.03	138.40
Boyer (4)	836.37	1326.55	167.64
The entire basin	2428.08	1526.85	647.59

۲-۲-روش کار

۲-۲-۱- معرفی مدل SWAT

SWAT یک مدل جامع و فرآیندمحور در مقیاس حوزهٔ آبخیز است که از لحاظ مقیاس مکانی، نیمه‌توزیعی و از نظر زمانی مدلی پیوسته است. کوچک‌ترین واحد کاری در این مدل، واحد واکنش هیدرولوژیک (HRU) [2] است که از روی‌هم‌گذاری نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی، خاک و طبقات شیب حاصل می‌شود. آب موجود در خاک، رواناب سطحی، رسوب و عناصر شیمیایی ابتدا برای

[2] Housing Reconstruction Unit

هر HRU و سپس هر زیرحوضه و در نهایت کل حوزهٔ آبخیز محاسبه می‌شود. شبیه‌سازی سیستم آبخیز در مدل SWAT را می‌توان به دو بخش کلی تقسیم نمود: فاز زمینی و فاز آبی. فاز زمینی مربوط به فرآیندهای سطح زمین و ورود آب، رسوب و عناصر شیمیایی به آبراهه اصلی هر زیرحوضه است. فاز آبی (روندیابی)، فرآیندهای آبراهه‌ها و کانال‌های جریان از جمله حرکت آب، رسوب و مواد شیمیایی را شبیه‌سازی می‌کند. شبیه‌سازی بخش زمینی چرخه هیدرولوژیک در مدل SWAT، بر پایهٔ رابطهٔ بیلان آبی رابطهٔ ۱ صورت می‌گیرد (Nitsch et al., 2011).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw} \qquad (۱)$$

در رابطهٔ فوق، SW_t مقدار نهایی آب در خاک (میلی‌متر)، SW_0 مقدار اولیهٔ آب در خاک (میلی‌متر)، Rday مقدار بارندگی در روز i ام (میلی‌متر)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i ام (میلی‌متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (میلی‌متر)، W_{seep} مقدار آبی که در روز i ام از پروفیل خاک به ناحیهٔ غیراشباع وارد می‌شود و Q_{gw} مقدار جریان برگشتی (میلی‌متر) در روز i ام است.

۲-۲-۲- نقشه کاربری اراضی

به‌منظور یافتن مناسب‌ترین نقشهٔ پوشش/کاربری اراضی برای استفاده در این پروژه، نقشه‌های مختلف ملی و جهانی مورد بررسی قرار گرفت. در مقیاس ملی تاکنون چندین نقشه پوشش/کاربری اراضی برای کشور تهیه شده که اصلی‌ترین آن‌ها عبارتند از :

- نقشه پوشش/کاربری که توسط پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری کشور در قالب طرح ملی اطلس سیمای حوزه‌های آبخیز کشور تهیه شده است. این نقشه با استفاده از تصاویر سنجنده +ETM ماهوارهٔ لندست ۷ برای سال ۲۰۰۲ میلادی تهیه شده است (Norouzi et al., 2021).
- نقشهٔ پوشش اراضی تهیه شده توسط سازمان فضایی ایران برای سال ۲۰۱۶ (۱۳۹۵ هجری شمسی) با استفاده از تصاویر سنجندهٔ MODIS با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر

-نقشهٔ پوشش اراضی تهیه شده توسط گروه فتوگرامتری و سنجش از دور دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی برای سال ۲۰۱۷ (۱۳۹۶ هجری شمسی) با استفاده از تصاویر ماهوارهٔ سنتینل با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر

در مقیاس جهانی، یکی از جدیدترین و دقیق‌ترین داده‌های پوشش اراضی، نقشهٔ تهیه شده توسط شرکت Esri است که با استفاده از تصاویر ماهوارهٔ سنتینل-۲ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر برای سال ۲۰۲۰ (۱۳۹۹ هجری شمسی) تهیه شده است. برای تهیهٔ این نقشه از پیشرفته‌ترین الگوریتم‌های یادگیری عمیق و هوش مصنوعی و حجم عظیمی از داده‌های مشاهداتی (به‌منظور تعلیم و یا ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها) استفاده شده است.

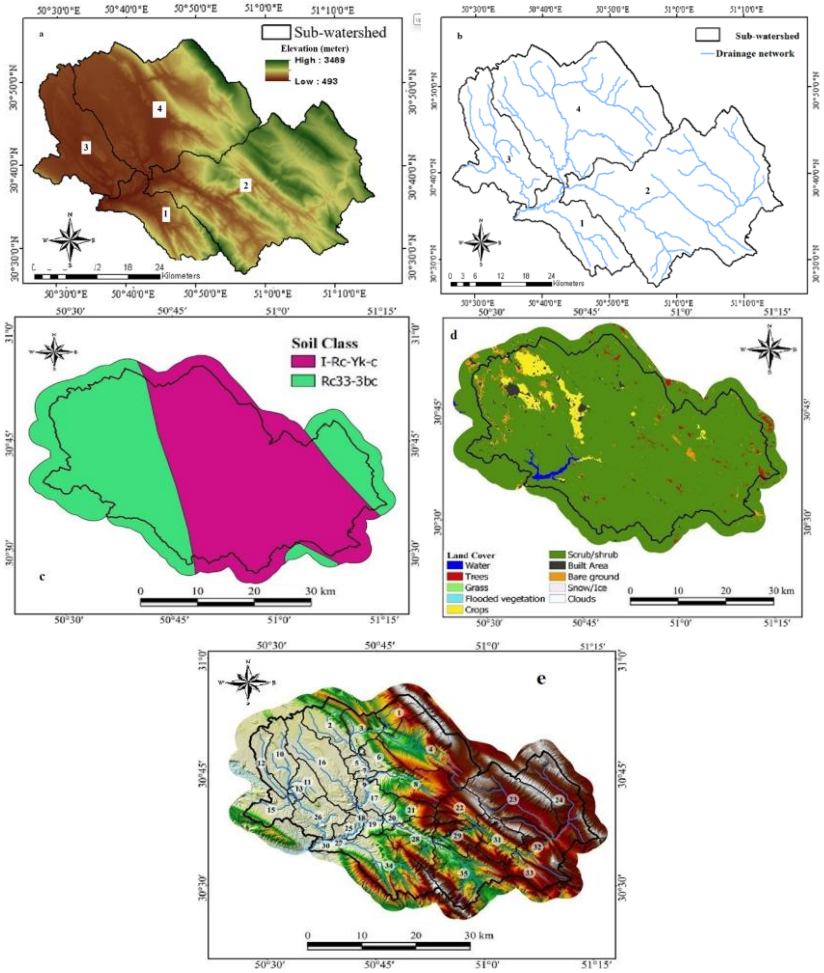
برای انتخاب نقشهٔ پوشش/کاربری اراضی ورودی مدل SWAT، نقشه‌های تهیه شده توسط پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، دانشگاه خواجه نصیر و شرکت Esri روی تصاویر با وضوح بالا ماهواره‌ای از جمله Google Earth و Bing مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نقشهٔ Esri هم از نظر دقت و هم از نظر تناسب با مدل SWAT برای این پروژه مناسب‌تر است.

۲-۲-۳- نقشهٔ خاک

در این پژوهش، برای اجرای اولیهٔ مدل SWAT از داده‌های خاک FAO (نقشهٔ جهانی خاک FAO است. این نقشه ۵۰۰۰ نوع خاک را در سطح دنیا مشخص می‌کند و برای هر نوع خاک، پارامترهای مورد نیاز مدل SWAT برای آن فراهم شده است) استفاده شد (به‌دلیل فراهمی نقشهٔ کامل و یکپارچهٔ انواع خاک و اطلاعات پارامترهای خاکِ مورد نیاز مدل). در ادامه، از نقشه رده‌بندی خاک‌های استان و نقشه/اطلاعات اجزای واحدهای اراضی و پروفیل‌های خاک موجود برای بخشی از حوضه به‌عنوان اطلاعات تکمیلی در مدل استفاده شد.

۲-۲-٤- مدل سازی شرایط هیدرولوژیکی با استفاده از مدل SWAT

به‌منظور مدل سازی شرایط هیدرولوژیکی حوضه با مدل SWAT، ابتدا مدل رقومی ارتفاع با تفکیک‌پذیری ۳۰ متر حوضهٔ سد کوثر، به محیط نرم‌افزار مدل (ArcSWAT) فراخوانده شد و محل خروجی به مدل معرفی و مرز حوزهٔ آبخیز تشکیل شد. سپس، با استفاده از روی هم‌گذاری نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و طبقات شیب، واحدهای واکنش هیدرولوژیکی (HRU) برای منطقه به‌دست آمد. در این مرحلهٔ حوضه به ۳۵ زیرحوضه و ۱۸۴ واحد واکنش هیدرولوژیک تقسیم شد. برای اجرای مدل، از داده‌های روزانهٔ اقلیمی ایستگاه هواشناسی که شامل بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل و رطوبت نسبی بود به‌صورت روزانه استفاده شد. جدول ۲ موقعیت ایستگاه‌های کلیماتولوژی در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل۳- الف-نقشه رقومی ارتفاع، ب-شبکه آبراهه ، ج-نقشه خاک، د- نقشه کاربری اراضی ه-نقشه زیرحوزه‌های حوزه آبخیز سد کوثر

Figure 3. A. Digital elevation model, B. Stream network, C. Soil map, D. Land use map, E. Sub-basin map of the Kowsar dam watershed

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی اطراف منطقه مورد مطالعه

Table 2. Characteristics of meteorological stations in the study area

Year of establishment	Station type	Height	Width	Length	Station name	Station code
1984	Evaporimeter	826	3372588	469203	Abchirak	104-22
1976	Conventional rain gauge	1031	3368887	504296	Abdehgah	048-22
1983	Conventional rain gauge	852	3391191	452351	Boyri	116-22
1997	Evaporimeter	1110	3378629	496499	Tljegah	102-22
1981	Conventional rain gauge	801	3406878	459740	Dehdasht	036-22
1996	Evaporimeter	1345	3427618	488033	Dehno	215-22
1960	Conventional rain gauge	740	3358728	478230	Dogonbadan	403-22
1991	Conventional rain gauge	837	3379875	476629	Deal	400-22
1995	Conventional rain gauge	1134	3406657	484715	Sarfaryab	304-22
1981	Conventional rain gauge	650	3395572	474302	Sayedabad	069-22
1984	Conventional rain gauge	2026	3393937	508590	Tasuj	110-22
2000	Evaporimeter	966	3418008	460686	Klacho	049-21
1982	Evaporimeter	707	3389641	477314	Nazmakan	523-22

۲-۲-۵- واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT

در این پژوهش واسنجی مدل برای سال‌های (۱۳۹۴-۱۳۸۶) با استفاده از برنامه SUFI2 و اعتبارسنجی برای سال‌های (۱۳۹۸-۱۳۹۵) انجام شد. در ابتدای اجرای مدل به‌منظور مشخص کردن پارامترهای مؤثر بر رواناب منطقه، آنالیز حساسیت با استفاده از روش هر بار یک پارامتر (OAT) برای مدل انجام شد و پارامترهای حساس برای واسنجی مدل تعیین شد. با اجرای الگوریتم SUFI2 مقادیر بهینهٔ پارامترهای حساس مدل تعیین شد. الگوریتم SUFI2 یک روش بهینه‌سازی معکوس است که در آن تمام منابع عدم‌قطعیت در دامنه معرفی شده برای هر پارامتر لحاظ می‌شود. به این صورت که محدودهٔ اولیهٔ پارامترها بعد از هر بار تکرار به‌وسیلهٔ محدودهٔ جدید پارامترها به‌دست آمده توسط مدل جایگزین شده و یک دامنه عدم‌قطعیت محدودتری از پارامترها به‌دست می‌آید (Abbaspour et al., 2004). برای

واسنجی مدل این الگوریتم چندین بار انجام می‌شود و در هر بار اجرا در صورت قابل‌قبول بودن نتایج بهینه‌سازی، از مقادیر بهینهٔ پارامترها در مرحلهٔ اعتبارسنجی استفاده می‌شود و در صورت غیرقابل‌قبول بودن نتایج بهینه‌سازی دوباره انجام می‌شود تا نتایج مطلوب به‌دست آید. اعتبارسنجی مدل با استفاده از مقادیر پارامترهای اصلاح شده در مرحلهٔ واسنجی انجام شد. به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی، از R^2 و NSE استفاده شد. دامنه‌های این ضرایب در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- دامنهٔ ضرایب تعیین و نش ساتکلیف (R^2 و NSE)

Table 3. Range of coefficients of determination (R^2) and the Nash–Sutcliffe efficiency (NSE)

	Poor	Middle	Good	Very Good
R^2	<0.60	0.60-0.70	0.70-0.80	>0.80
NSE	<0.50	0.50-0.65	0.65-0.75	>0.75

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{n}(A_t - F_t)^2}{\sum_{t=1}^{n}(A_t - \bar{A}_t)^2} \quad (۲)$$

$$NS = 1 - [\frac{\sum_{i=1}^{n}(A_t - F_t)^2}{(A_t - \bar{A}_t)^2}] \quad (۳)$$

در رابطه‌های ۲ و ۳، A_t به غلظت رسوب معلق اندازه‌گیری شده، F_t به غلظت رسوب معلق محاسبه شده و N به اندازهٔ نمونه اشاره دارد.

۳- نتایج و بحث

نتایج اجرای مدل SWAT برای حوضهٔ سد کوثر در ادامه ارائه شده است. مقادیر ارائه شده برای متغیرهای مختلف هیدرولوژیک، مقادیر متوسط مربوط به کل حوضه و کل دورهٔ شبیه‌سازی (سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۸) است. به‌منظور ارزیابی نتایج مدل، تعدادی از متغیرها و شاخص‌های بیلان هیدرولوژیک حوضه بر اساس داده‌های دبی اندازه‌گیری شده در دو ایستگاه هیدرومتری به‌دست آمد و با خروجی‌های مدل مقایسه شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. به‌طور کلی، هم‌خوانی خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد.

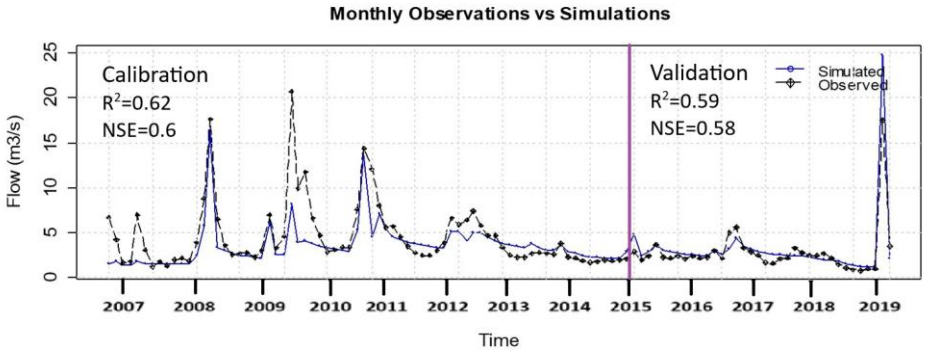
جدول٤- مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شدهٔ برخی از متغیرها و شاخص‌های بیلان هیدرولوژیک حوضه

Table 4. Measured and simulated values of selected variables and indicators of the watershed's hydrological balance

Hydrometric station	Upstream basin area (hectares)	Average basin precipitation (millimeters)	Average flow rate (cubic meters/second)	Specific water flow (mm)	Runoff coefficient	Baseline flow indicator
Sayedabad	60305	520	4.31	225	0.43	0.67
Nazmakan	101559	750	7.71	239	0.32	0.61
SWAT model for the entire basin	242809	580	*	252	0.43	0.51

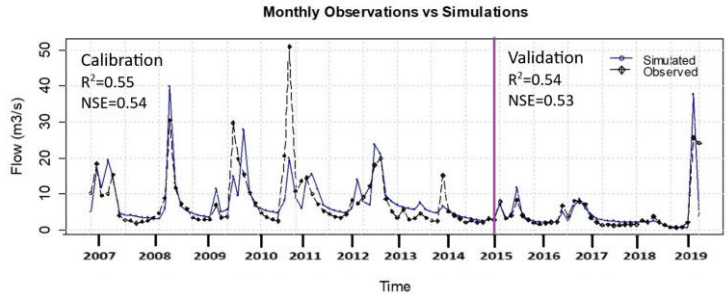
۳-۱-نتایج اجرای مدلSWAT

هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی جریان رودخانه در ایستگاه‌های هیدرومتری سیدآباد و نازمکان به‌همراه شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل در (شکل‌های ۴ و ۵) نمایش داده شده است.



شکل٤- هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در ایستگاه هیدرومتری سیدآباد (کد ۲۲-۰٦۹) به‌همراه شاخص‌های ارزیابی

Figure 4. Simulated and observed hydrographs at the Seyyedabad hydrometric station (code 22-069), along with evaluation indicators



شکل۵- هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در ایستگاه هیدرومتری نازمکان (کد ۲۲-۵۲۳) به‌همراه شاخص‌های ارزیابی

Figure 5. Simulated and observed hydrographs at the Nazmakan hydrometric station (code 22-523), along with evaluation

جدول۵- مقادیر بهینهٔ پارامترهای حساس حوزهٔ آبخیز سد کوثر بعد از واسنجی

Table 5. Optimal values of sensitive parameters of the Kowsar Dam watershed after calibration

Optimal parameter value	Parameter	Row	Optimal parameter value	Parameter	Row
0.11	R_SOL_AWC	6	-0.04	CN2	1
0.01	V__ALPHA_BF	7	1.4	R__SOL_BD	2
199.09	V__GW_DELAY	8	0.93	V-ESCO	3
57.5	V__GWQMN	9	0.68	R__SOL_K	4
2.15	V__SMFMX	10	-7.45	V__TLAPS	5

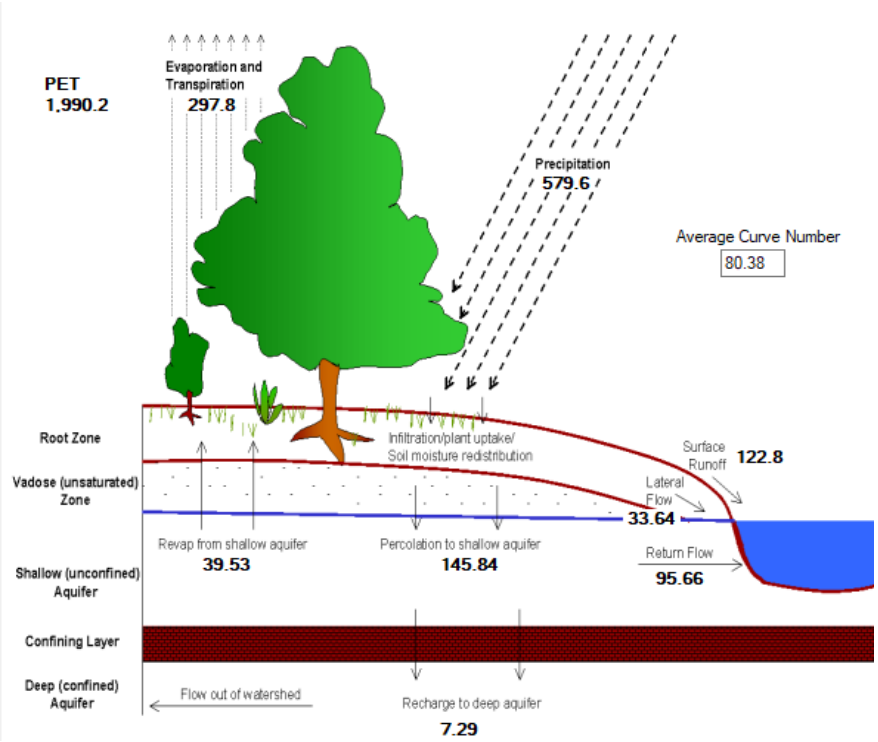
جدول ٦- شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل برای شبیه‌سازی جریان ماهانه در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه

Table 5. Evaluation indicators for model performancefor simulating monthly flow at the watershed's hydrometric stations

Evaluation index	Seyed Abad Station - Calibration	Seyed Abad Station - Validation	Nazmakan Station - Calibration	Nazmakan Station - Validation
R^2	0.62	0.59	0.55	0.54
bR^2	0.49	0.45	0.45	0.43
NSE	0.6	0.58	0.54	0.53
PBIAS	-12.8	-10.2	0.7	0.66
RSR	0.63	0.59	0.68	0.65
P-factor	0.94	0.90	0.73	0.67
R-factor	1.05	0.94	0.72	0.64

به‌طور کلّی در شکل‌های ۴ و ۵ و جدول ۶ نتایج واسنجی دبی رودخانه بیانگر این است که مدل SWAT برای شبیه‌سازی هیدرولوژیک حوضهٔ سد کوثر کارایی نسبتاً خوبی دارد. بر اساس شاخص P- فاکتور بیش از ۷۰ درصد داده‌های مشاهداتی در باند عدم‌قطعیت ۹۵ درصد قرار گرفتند و پهنای باند عدم‌قطعیت نیز قابل‌قبول است. طبق نظر Abbaspour et al. (2007) در صورت دسترسی و استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده با کیفیت بالا، R- فاکتور برابر یا کوچک‌تر از ۱ بیانگر عدم‌قطعیت نسبتاً کم و یک واسنجی مطلوب است. بررسی شکل ظاهری هیدروگراف‌های مشاهداتی و بهترین شبیه‌سازی و شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل نشان می‌دهد که به‌طور کلی تطابق زمانی نقاط اوج و فرود هیدروگراف خوب است و مقادیر نظیر به نظیر دبی در دو هیدروگراف نیز با یکدیگر تطابق خوبی دارند، به‌همین دلیل مقادیر شاخص‌های R^2 و NSE نسبتاً بالا به‌دست آمد. یافته‌های این پژوهش ، نتایج مطالعات (Xu et al., 2009; Zahedi, 2013; Parvizi, 2017) که به‌طور کلی توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوزه‌های مورد مطالعه را رضایت‌بخش اعلام کردند، تأیید می‌کند. یافته‌های این پژوهش ، نتایج مطالعات (Xu et al., 2009; Zahedi, 2013; Parvizi, 2020) که به‌طور کلی توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوزه‌های مورد مطالعه را رضایت‌بخش اعلام کردند، تأیید می‌کند.

بررسی نقاط عدم تطابق فاحش در هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی نشان داد که دلیل اصلی عملکرد ضعیف مدل در این نقاط می‌تواند مربوط به داده‌های بارش ورودی مدل و یا داده‌های دبی مشاهداتی ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری باشد. بخشی از خطا و عدم قطعیت مدل نیز می‌تواند به‌دلیل گسترگی حوضه و تغییرات شرایط اقلیمی (به‌ویژه بارش)، زمین‌شناسی و اکولوژیکی حوضه باشد. هم‌چنین، نبود اطلاعات کافی در خصوص برداشت آب‌ها در سطح حوضه و عدم لحاظ آن در مدلسازی نیز می‌تواند یک منشاء خطا محسوب شود. در پژوهش‌های قبلی از جمله Faramarzi et al. (2009) نیز اشاره شده است که هر چقدر نقش برداشت و مدیریت منابع آب در حوضه بیش‌تر باشد، نتایج مدل ضعیف‌تر خواهد بود. با توجه به این‌که SWAT مدلی فرآیندمحور است، فاکتورها و فرآیندهای اصلی مؤثر بر رواناب و تولید رسوب و برهم‌کنش آنها در سطح حوزهٔ آبخیز را در نظر می‌گیرد. از این رو، مدل واسنجی شده برای حوضهٔ سد کوثر، معرف فرایندهای هیدرولوژیک در سطح این حوضه است.



شکل ٦-اجزای مختلف بیلان آبی حوضهٔ سد کوثر بر اساس شبیه‌سازی اول مدل SWAT (واحدها بر حسب میلی‌متر)

Figure 6. Various components of the water balance of the Kowsar Dam watershed based on the first simulation of the SWAT model (units in millimeters)

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود میانگین بارش حوزهٔ آبخیز مطالعاتی ۵۷۹/۶ میلی‌متر است؛ به‌طور متوسط حدود ۵۱ درصد بارش از طریق تبخیر و تعرق وارد اتمسفر می‌شود، حدود ۲۱ درصد آن به‌صورت رواناب سطحی، ۵ درصد به‌صورت جریان جانبی و ۱۶ درصد به‌صورت جریان بازگشتی مستقیماً به آبراهه‌ها وارد می‌شود. در مجموع حدود ۲۶ درصد آب وارد لایه‌های خاک و آبخوان می‌شود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدل SWAT با دقت قابل‌قبولی اجزای بیلان آبی حوزه آبخیز سد کوثر را شبیه‌سازی کرده است.

جدول ۷- مقادیر متوسط ماهانه متغیرهای هیدرولوژیک برای حوضهٔ سد کوثر بر اساس شبیه‌سازی مدل SWAT

Table 6. Monthly average values of hydrological variables for the Kowsar Damwatershed based on the SWAT model simulation

Mon	Rain(mm)	Snow Fall(mm)	Surface runoff(mm)	Lateral flow(mm)	Base flow(mm)	Real ET (mm)	Potential ET (mm)
Jan	88.54	0.00	18.15	4.55	29.66	24.83	53.22
Feb	92.38	0.00	24.97	5.02	42.88	27.99	58.21
Mar	91.62	0.00	19.11	5.25	44.03	35.62	92.02
Apr	56.38	0.00	6.54	5.29	34.76	46.22	128.94
May	22.88	0.00	1.36	3.64	26.88	59.87	219.64
Jun	0.45	0.00	0	1.27	11.71	30.61	286.99
Jul	1.21	0.00	0	0.46	2.60	7.95	306.69
Aug	4.27	0.00	0	0.27	0.9	6.23	287.46
Sept	2.19	0.00	0	0.18	0.61	4.62	233.91
Oct	14.76	0.00	0.05	0.18	0.54	4.77	165.55
Nov	130.32	0.00	33.46	2.55	36.24	21.23	79.34
Dec	80.66	0.00	21.07	4.76	27.49	24.67	60.06

متوسط ماهانهٔ اجزای بیلان آبی حوزهٔ آبخیز سد کوثر برای دورهٔ پایه (۱۳۹۸-۱۳۸۶) در جدول ۷ ارائه شده است. ارقام ذکر شده در این جدول تغییرات زمانی اجزای بیلان آبی حوزهٔ آبخیز در طول سال را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که در حوضهٔ مورد مطالعه بیش‌تر بارش در فصل پاییز و زمستان رخ می دهد و در ماه نوامبر (آبان) حداکثر بارش رخ داده است و کم‌ترین میزان بارش در ماه ژوئن (خرداد) بوده است. میزان رواناب سطحی نوامبر (آبان) به‌تدریج با آغاز بارش‌های پاییزه و زمستانه شروع می‌شود به‌طوری‌که بیش‌ترین مقادیر رواناب سطحی در ماه‌های نوامبر (آبان) و فوریه (بهمن) مشاهده می‌شود. تغییرات زمانی جریان پایه در طول سال نشان داد که بیش‌ترین مقدار آن مربوط به اواخر زمستان بوده است و کم‌ترین میزان آن مربوط به ماه اکتبر (مهر) است. تغییرات تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل در طول سال با میزان آب در دسترس

برای تبخیر و دما در ارتباط است. تبخیر و تعرق واقعی به‌تدریج از ماه نوامبر (آبان) با شروع بارش، افزایش می‌یابد به‌طوری که از اواخر زمستان و با گرمتر شدن هوا به میزان تبخیر و تعرق واقعی افزوده می‌شود و در ماه می (اردیبهشت) به حداکثر خود می‌رسد. این مسأله ناشی از وجود رطوبت کافی و دمای نسبتاً زیاد برای انجام این فرآیند است. پس از آن به واسطهٔ کاسته شدن از میزان نزولات جوی و افزایش درجهٔ حرارت منطقه از میزان این پارامتر کاسته خواهد شد به‌طوری‌که در ماه سپتامبر (شهریور) به شدت کاهش می‌یابد. در ارتباط با تبخیر و تعرق پتانسیل بر خلاف تبخیر و تعرق واقعی با افزایش دما و کاسته شدن از میزان بارش شاهد افزایش این پارامتر خواهیم بود. کم‌ترین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل مربوط به ماه ژانویه (دی) به‌دلیل کاهش شدید درجهٔ حرارت در این ماه و بیش‌ترین میزان آن مربوط به اوایل تابستان یعنی ماه جولای (تیر) است.

٤- نتیجه‌گیری

با اجرای مدل SWAT در حوضهٔ سد کوثر امکان شبیه‌سازی جریان ماهانهٔ دورهٔ مورد مطالعه در این حوضه فراهم شد. مقایسهٔ آماری این مدل‌سازی نتایج تقریباً قابل‌قبولی را نشان داده است به‌طوری‌که مقایسهٔ آماری هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی به‌کار رفته در این پژوهش با معیار نش–ساتکلیف همبستگی خوبی را نشان داد. بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که مدل فیزیکی SWAT با توجه بـه نتایج حاصل از شبیه‌سازی، در حوزهٔ سد کوثر کارایی قابل‌قبولی دارد. با مقایسه ظاهری و آماری هیدروگراف مشاهداتی و هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل، مشخص شد شباهت زیادی بین هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دورهٔ شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه وجود دارد و در مورد ویژگی‌های مهم هیدروگراف از قبیل دبی پیک ، حجم رواناب و زمان رسیدن به دبی اوج ، بین دو هیدروگراف تطابق مناسبی وجود دارد. به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده نشان‌دهندهٔ توانایی و دقت قابل‌قبول مـدل SWAT در شبیه‌سازی دبی رواناب ماهانهٔ حوزهٔ آبخیز سد کوثر می‌باشد. در این پژوهش نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل نشان از کارایی قابل‌قبول آن در برآورد بیلان آبی در حوزهٔ آبخیز سد کوثر دارد. نتایج نهایی نشان داد که به‌طور متوسط حدود ۵۱ درصد بارش به‌صورت تبخیر و تعرق وارد اتمسفر می‌شود، حدود ۲۱ درصد آن به‌صورت رواناب سطحی، ۵ درصد به‌صورت جریان جانبی و ۱۶ درصد به‌صورت جریان بازگشتی مستقیماً به آبراهه‌ها وارد می‌شود. در مجموع حدود ۲۶ درصد آب وارد لایه‌های خاک و آبخوان می‌شود. نتایج این پژوهش می‌تواند در مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی بهره‌برداری از آب‌های سطحی و زیرزمینی، طراحی سازه‌های کنترل رواناب و ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر حوزهٔ آبخیز استفاده شود. کمبود داده‌های دقیق و طولانی‌مدت هواشناسی و هیدرولوژی، تفاوت‌های زمانی داده‌ها و عدم دسترسی به برخی اطلاعات مکانی با دقت بالا از محدودیت‌های اصلی این مطالعه بودند.

تضاد منافع نویسندگان

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

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

علی طالبی: تجزیه و تحلیل و بررسی ، مفهوم‌سازی؛

سارا پرویزی: نگارش پیش‌نویس اصلی ، تجزیه و تحلیل و بررسی ، منابع، تهیه نقشه‌ها؛

سمیه طالبی اسفندارانی: ویرایش و بازبینی مقاله؛

جمال آقایاری: ویرایش و بازبینی مقاله؛

آرش زارع گاریزی: روش کار، مفهوم‌سازی، تجزیه و تحلیل و بررسی؛

حمیدرضا پورقاسمی: ، ویرایش و بازبینی مقاله

منابع:

امینی، محمدامین، ترکان، غزاله، اسلامیان، سعید، زارعیان، محمد جواد و بسالت‌پور، علی‌اصغر (۱۳۹۷). ارزیابی مدل هیدرولوژیک SWAT در شبیه‌سازی بیلان آب در حوضه‌های آبریز مناطق نیمه–خشک (مطالعه موردی: حوضه آبریز زاینده‌رود). *آب و خاک*، ۳۲ (۵)، ۸۴۹-۸۶۳. doi: 10.22067/jsw. v32i5.68815

بایسته، مصطفی، و زارعی، حیدر (۱۴۰۴). بررسی اثر همزمان تغییراقلیم و تغییرکاربری اراضی بر جریان آینده رودخانه کر و سیوند با استفاده از مدل SWAT (e228712). *مهندسی آبیاری و آب ایران*. doi: 10.22125/iwe.2025.533564.1889

پرویزی، سارا (۱۳۹۶). مکان‌یابی سد زیرزمینی با استفاده از مدل شبیه‌ساز بیلان آب (SWAT) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز جامیشان، استان کرمانشاه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی–آبخیزداری، دانشگاه یزد.

پرویزی، سارا، طالبی، علی، ملکی‌نژاد، حسین، و صادقی، مریم (۱۳۹۹). بررسی تغییرات اقلیمی بر برخی پارامترهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز جامیشان با استفاده از مدل SWAT. *مهندسی محیط زیست و آب*، ۴: ۴۳۰-۴۴۳. doi: 10.22034/jewe.2020.238651.1383

پرویزی، سارا، طالبی، علی، و ماندگار، علیرضا (۱۴۰۱). بررسی بیلان آب حوزه آبخیز فخرآباد مهریز با استفاده از مدل SWAT. *خشک بوم*، ۱۲(۱)، ۲۱-۳۳. doi: 10.29252/aridbiom.2022.16619.1852

حسینی، مجید (۱۳۹۳). شبیه‌سازی بیلان آب در حوزه آبخیز قره‌سو، کرمانشاه با استفاده از مدل SWAT. *مهندسی و مدیریت آبخیزداری* ۶ (۱): ۶۳-۷۳. doi: 10.22092/ijwmse.2014.101737

دولت آبادی، سپیده، و زمردیان، سید محمد علی (۱۳۹۳). شبیه سازی هیدرولوژیکی حوضه فیروزآباد با استفاده از مدل SWAT، *مهندسی آبیاری و آب*، ۴ (۱۴)، ۴۸ ۳۸. doi: 10.1007/s12205-015-0354-8

زارع گاریزی، آرش، و طالبی، علی (۱۳۹۵).). شبیه‌سازی بیلان آب حوضه آبخیز با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوضه قره سو استان گلستان). *مهندسی منابع آب*ۀ ۹(۳۰), ۳۷.

زاهدی، احسان (۱۳۹۲). تعیین مناطق مستعد احداث سد یازرزمینی با استفاده از شبیه‌ساز بیلان آب (مدل SWAT) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز درنگار درگز). پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی-آبخیزداری، دانشگاه یزد.

رئوف، مجید، حسینی، یاسر، عطفی، غلامرضا و اسمعلی عوری، اباذر (۱۳۹۶). شبیه‌سازی بیلان آب اهرچای با استفاده از مدل SWAT. تحقیقات مدیریت حوزه آبخیز، ۳۱(۲)، ۵۰-۶۳. doi: 10.22092/wmej.2018.104570.1032

رئوف، مجید، عزیزی مبصر، جوانشیر، و سلحشور، آیت (۱۳۹۵). تخمین پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی حوزه آبخیز با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بالوخلوچای). علوم آب و خاک، ۲۶(۴.۲)، ۱۷۳-۱۸۵.

شیخ رودی، الهه، گلکاریان، علی، زرین، آذر و راشکی، علیرضا (۱۴۰۳). بررسی و تحلیل اثر تغییر اقلیم بر رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT (مطالعۀ موردی: حوزۀ آبخیز فریزی). مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۴(۴)، ۲۸۳-۲۹۸. doi: 10.22098/mmws.2023.13722.1361

غفاری, حیدر و گرجی, منوچهر . (۱۴۰۰). ارزیابی اثر فرسایش خاک بر عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل SWAT. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۱(۳)، ۵۳-۶۶. doi: 10.22098/mmws.2021.9267.1029

فتح الله نژاد دامغانی، یحیی، کاویان، عطااله، 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

نوری، زهرا، طالبی، علی، و اسدی، محمد، امین (۱۳۹۸). بررسی کارایی مدل SWAT در تعیین مؤلفه‌های بیلان آب حوضه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز مهرگرد سمیرم). *تحقیقات منابع آب ایران*, ۱۵(۳), ۱۳۳-۱۴۳. doi: 20.1001.1.17352347.1398.15.3.10.1

نوروزی، علی اکبر، شعاعی، ضیا الدین، مهدیان، محمد حسین، قیومیان، جعفر، عرب خدری، محمود، قرمزچشمه، باقر، جعفری اردکانی، علی، بیات، رضا، پرحمت، جهانگیر، شریفی، فرود، و نیک کامی، داود (۱۳۹۰). اطلس نقشه‌های اساسی حوضه های آبخیز ملی و رتبه دوم ایران. تهران: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. (۵۶ ص). doi: 10.29252/aridbiom.2022.16619.1852

References

Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, 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: 10.1016/j.jhydrol.2006.09.014

Amini, M.A., G.H. Torkan, S.S. Eslamian, M.J. Zareian and A.A. Besalatpour. 2019. Assessment of SWAT hydrological model in catchments' water balance simulation located in semi-arid regions, case study: Zayandeh-Rud River Basin. *Journal of Water and Soil,* 32(5): 849-863. doi: 10.22067/jsw. v32i5.68815 [In Persian].

Abbaspour, K.C., Johnson, C.A., & van Genuchten, M.T. (2004). Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure (SUFI-2). *Vadose Zone Journal,* 3(4), 1340–1352. doi: 10.2113/3.4.1340

Bayesteh, M. & Zarei, H. (2025). Investigation the Effect of Climate Change and Land Use Change on the Future Flow of the Kor and Sivand Rivers Using the SWAT Model. (e228712). *Irrigation and Water Engineering*, e228712 doi: 10.22125/iwe.2025.533564.1889. [In Persian]

Colín-García, G., Palacios-Vélez, E., López-Pérez, A., Bolaños-González, M. A., Flores-Magdaleno, H., Ascencio-Hernández, R., & Canales-Islas, E. I. (2024). Evaluation of the Impact of Climate Change on the Water Balance of the Mixteco River Basin with the SWAT Model. *Hydrology*, *11*(4), 45. doi: 10.3390/hydrology11040045

Dowlatabadi, S., & Zomorodian, S.M.A. (2014) Hydrological simulation of Firoozabad basin by SWAT. *Journal of Irrigation & Water Engineering* 4(14):38-48. [In Persian].

Faramarzi, M., Abbaspour, K. C., Schulin, R., & Yang, H. (2009). Modelling blue and green water resources availability in Iran. *Hydrological Processes: An International Journal,* 23(3), 486-501 .doi: 10.1002/hyp.7160

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 [In Persian].

Ghafari, H. & Gorji, M. (2021). Evaluation of soil erosion effects on rainfed wheat (Triticum aestivum) yield using SWAT model. *Water and Soil Management and Modelling*, *1*(3), 53-66.

doi: 10.22098/mmws.2021.9267.1029 [In Persian].

Havrylenko, SB., Bodoque, JM., Srinivasan, R., Zucarelli, G.V., & Mercuri P (2016) Assessment of the soil water content in the Pampas region using SWAT. *Catena* 137:298-309 .doi: j. catena.2015.10.001

Hosseini, M. (2014). Simulation of water balance in Qarasu watershed, Kermanshah using SWAT model. *Journal of Watershed Management Engineering and Management* 6 (1): 63-73. doi: 10.22092/ijwmse.2014.101737.[In Persian]

Nouri, Z., Talebi, A. & Asadi, M. A. (2019). Study of the efficiency of SWAT model in determining the components of the water balance of the basin (Case study: Mehrgerd watershed of Semirom). *Iranian Journal of Water Resources Research*. 3: 133-143. doi: 20.1001.1.17352347.1398.15.3.10.1 [In Persian].

Neitsch, S.L., Williams, J.R., Arnold, J.G. & Kiniry, J.R. (2011) Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. *Texas Water Resources Institute, College Station.*

Norouzi, A., Shoaee, Z., Mahdian, M.H., Ghiyoumian, J., Arab Khodari, M., Ghermezcheshmeh, B., Jafari Ardekani, A., Bayat, R., Parhamat, J., Sharifi, F., & Nik-Kami, D. (2021). *Atlas of Basic Maps of National and Second-Rank Watersheds of Iran*. Tehran: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. (56 p.). doi: 10.29252/aridbiom.2022.16619.1852 [In Persian].

parvizi, S., Talebi, A. & Mandegar, A. (2022). Investigation of the water balance of Fakhrabad watershed using SWAT model. *Journal of Arid Biome*, 12(1), 21-33. doi: 10.29252/aridbiom.2022.16619.1852 [In Persian].

Parvizi, S. (2017). Location of Yazrzamini Dam using Model Water Balance Simulator (SWAT) and Network Analysis Process (ANP) of the study area: Jamishan Basin, Kermanshah Province). Master Thesis in Natural Resources Engineering-Watershed Management, Yazd University. [In Persian].

Parvizi, S., Talebi, A., Malekinejad, H & Sadeghi, M. (2020). Investigation of climate change on some hydrological parameters of Jamishan watershed using SWAT model. *Journal of Environment and Water Engineering*. 4: 443-430.doi: 10.22034/jewe.2020.238651.1383[In Persian].

Rivas-Tabares, D., Tarquis, A N., Willaarts, B., & Miguel, A. (2019). An accurate evaluation of water availability in sub-arid Mediterranean watersheds through SWAT: Cega-Eresma-Adaja. *Journal of Agricultural Water Management* 212:211-225. doi: 10.1016/j.agwat.2018.09.012.

Raoof, M., Hosseini, Y., Atfi, G. & Esmaliouri, A. (2018). Simulation of the AharChay Water Balance Using the SWAT Model. *Watershed Management Research*, *31*(2), 50-63. doi: 10.22092/wmej.2018.104570.1032 [In Persian].

Raoof, M., Azizi Mobaser, J., & Salahshour, A. (2017). Estimating Hydrological and Hydrogeological Parameters of Watershed Using SWAT Model (Case study: Balukhlu-chay Basin). *Water and Soil Science*, 26(4.2), 173-185. [In Persian].

Santra P., & Das B. S. (2013). Modeling runoff from an agricultural watershed of western catchment of Chilika Lake through Arc SWAT. *Journal of HydroEnvironment Research* 7:261-269 .doi: 10.1016/j.jher.2013.04.005

Setegn, S. G., Dargahi, B., Srinivasan, R., & Melesse, A. M. (2010). Modeling of sediment yield from anjeni-gauged watershed, Ethiopia using SWAT model 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 46(3), 514-526. doi: 10.1111/j.1752-1688.2010. 00431.x

Sheikhroodi, E., Golkarian, A., Zarrin, A. & Rashki, A. (2024). Investigating and analyzing the effect of climate change on the runoff and sediment using SWAT model (Case study: Ferizi Watershed). *Water and Soil Management and Modelling*, *4*(4), 283-298. doi: 10.22098/mmws.2023.13722.1361 [In Persian].

Xu, Z. X., Pang, J. P., Liu, C. M. & Li, J. Y. (2009). Assessment of runoff and sediment yield in the Miyun Reservoir catchment by using SAWT *model. Hydrological Processes*, 23, 3619-3630. doi: 10.1002/hyp.7475.

Zare Garizi, A., & Talebi, A. (2017). Water balance simulation for the Ghare-Sou Watershed, Golestan, using the SWAT model. *Water Resources Engineering*, *9*(30), 37-50. [In Persian].

Zahedi, E. (2013). Determination of susceptible areas for construction of Yazrzmini dam using water balance simulator (SWAT model) and network analysis process (ANP) (study area: Darngar Dargaz watershed). Master Thesis in Natural Resources Engineering-Watershed Management, Yazd University. [In Persian].