

Research Paper



Comparative assessment of a semi-distributed hydrological model with an integrated model to simulate the runoff of Gomanab Chai basin



Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam¹, Davoud Mokhtari², Meysam Skandari³



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI:10.22034/hyd.2024.59474.1715

Reference to this article: Rezaei Moghaddam, M.H; Mokhtari, D; Skandari, M. (2024) Evaluation of a semi-distributed hydrological model with an integrated model to simulate the runoff of Gomanab Chai basin. *Hydrogeomorphology*, 11(40): 22 – 39.

Keywords

SWAT;
AWBM;
simulation;
hydrological processes;
validation;
hydrograph;
Gomanab Chai;
Iran.

ABSTRACT

Hydrological models serve as effective tools for managing water sources and assessing water components. Although basin hydrological models have been developed, selecting suitable software for modeling specific areas remains challenging. Hence, it's essential to opt for software capable of simulating the hydrological cycle with a simple structure and minimal input parameters. In northwest Iran, AWBM and ARCSWAT software were employed for simulation. AWBM is a simplistic program estimating runoff using precipitation and evaporation indicators, while ARCSWAT is a semi-distributed software for continuous flow simulation. ARCSWAT necessitates various inputs, including geological, land use, and slope maps, along with precipitation, temperature, relative humidity, and radiation statistics. The runoff simulation results during calibration and validation periods were assessed using two statistical indices: Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) and the coefficient of determination (R²). A comparison of the statistical indicators revealed NSE values of 0.83 and 0.7 for calibration and validation periods, respectively, and R² values of 0.83 and 0.8 for calibration and validation periods, respectively, for the semi-distributed SWAT model. In contrast, for the AWBM integrated model in the basin, NSE values were 0.63 and 0.48, and R² values were 0.48 and 0.48 for calibration and validation periods, respectively, indicating better results in runoff simulation at the monthly time scale.

Receive Date: 2023/12/10

Accept Date: 2024/04/09

Available: 2024/10/21

* Corresponding Author: Rezaei Moghaddam, M.H.

E-mail: rezmogh@tabrizu.ac.ir

1. Professor of Geomorphology, Department of Geomorphology, University of Tabriz, tabriz, Iran rezmogh@tabrizu.ac.ir

2. Professor of Geomorphology, Department of Geomorphology, University of Tabriz, tabriz, Iran d_mokhtari@tabrizu.ac.ir

3. PhD student of Geomorphology, Department of Geomorphology, University of Tabriz, tabriz, Iran skandarimeysam@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Runoff simulation and the estimation of river flow are pivotal concerns within water engineering and hydrology, crucial for managing runoff and addressing water scarcity crises (Ghoreishi Ghareh Takan et al., 2022). Simulating precipitation and runoff entails grappling with complex, nonlinear hydrological phenomena influenced by temporal, spatial, morphological, geomorphological, vegetation, and climatic factors (Vidyarathi and Jain, 2022). Researchers commonly employ various software tools for this purpose, including the RRL suite, encompassing programs like AWBM, Sacramento, SimHyd, SMAR, and the Tank model, which specialize in daily runoff simulation (Yonesi et al., 2020). Additionally, the SWAT software is utilized for simulating rainfall and runoff in areas with intricate characteristics. SWAT integrates with ArcGIS, leveraging soil maps, land use data, slope information, and climatic/hydrometric station records to simulate and extract runoff (Sommerlot et al., 2013). Previous studies have highlighted the efficacy of both AWBM and SWAT models in runoff simulation. AWBM boasts a simpler structure and parameterization, requiring only rainfall and evaporation data for runoff simulation. In contrast, the semi-distributed SWAT model necessitates numerous inputs and parameters for calculating runoff and other hydrological processes. This research aims to assess and compare the accuracy of the integrated AWBM and semi-distributed SWAT models in simulating monthly runoff in the Gomanab Chai catchment area.

Methodology

The AWBM model, a conceptual rainfall-runoff model, generates daily-scale runoff based on input data including precipitation, potential evaporation, and transpiration (Boughton, 2004). It features three distinct surface reservoirs with varying capacities and an unlimited capacity subsurface reservoir (Boughton, 2004, Yu and Zu 2015). Input data for the AWBM model include daily discharge, potential evaporation, transpiration, and precipitation. In this study, precipitation and potential evaporation data were obtained from a meteorological station within the basin, while discharge data came from a hydrometer station at the basin outlet, sourced from the provincial water resources management department. The model's warm-up period spanned from January 1, 2000, to September 1, 2001, with calibration from September 1, 2001, to December 2013, and validation from 2014 to 2018. General automatic recalibration was performed using the Sutcliffe-Nash coefficient as the objective function for model optimization.

SWAT, a process-based distributed parameter simulation model, operates on a daily time step, dividing watersheds into subwatersheds treated as single units. Integrated with the USEPA BASINS framework, SWAT enables automatic watershed descriptions based on a Digital Earth Model (DEM). Meteorological data, including rainfall and temperature from three stations, were entered into the SWAT model daily for runoff simulation. The data spanned from 2000 to 2018 and included specifications and long-term statistical parameters from meteorological reference stations.

Results and Discussion

Following the input of daily rainfall, temperature, evaporation, and runoff data into the model, along with the specification of calibration and validation periods, runoff simulation for the Gomanab Chai basin was conducted using the AWBM model. Evaluation results of the AWBM and SWAT models during the recalibration phase, considering the Nash Sutcliffe coefficient and coefficient of determination (R^2), revealed that the SWAT model outperformed the AWBM model in terms of accuracy during the recalibration period. Specifically, the Nash Sutcliffe coefficient and R^2 determination coefficient for the SWAT model were determined to be 0.83 and 0.83, respectively. In contrast, the corresponding values for the AWBM model during this period were calculated as 0.7 and 0.63, respectively.

Conclusions

This research aimed to investigate and evaluate the performance of two hydrological models, AWBM and SWAT, in simulating monthly runoff in the Gomanab Chai basin. The validation period spanned from 2001 to 2013, with further validation conducted from 2014 to 2018. Based on the analysis of two statistical indicators and comparison of simulated and observed runoff hydrographs, the following conclusions are drawn:

1. The Nash Sutcliffe coefficient and coefficient of determination (R^2) for the SWAT model were calculated as 0.83 and 0.83, respectively, during the validation period, and as 0.7 and 0.8, respectively, during the calibration period. In contrast, for the AWBM model, these indices were determined as 0.7 and 0.63, respectively, during the validation period and as 0.5 and 0.48, during the calibration period
2. The semi-distributed SWAT model, which divides the basin into multiple sub-basins and considers various parameters such as soil type, land use, basin slope, rainfall, and temperature, exhibited superior performance compared to the integrated AWBM model in the Gomanab Chai basin. This enhanced performance resulted in a more accurate simulation of runoff, particularly on a monthly time scale.

References

- Boughton W. 2004. The Australian Water Balance Model. *Environmental Modelling & Software* 19(10): 943–956. DOI: 10.1016/j.envsoft.2003.10.007
- Ghoreishi GharahTikan, S.K., Gharechelou, S., Mahjoobi, E., Golian, S., & Salehi, H. (2022). Evaluation of available surface water resources in Qarah Tikan border basin using satellite products and GIS. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(1), 1-13 (in Persian).
- Sommerlot A., Nejadhashemi A., Woznicki S., Giri S. and Prohaska M. (2013). Evaluating the capabilities of watershed-scale models in estimating sediment yield at field-scale. *J. Environ. Manag.*, 127, 227-236.
- Vidyarthi, V.K., & Jain, A.)2022(. Incorporating non-uniformity and non-linearity of hydrologic and catchment characteristics in rainfall–runoff modeling using conceptual, data-driven, and hybrid techniques. *Journal of Hydroinformatics*, 24(2), 350-366.
- Yonesi, H.A., yousefi, H., Arshia, A., & yarahmadi, Y.)2020(. Runoff rainfall simulation using RRL Toolkit (case study: Rahim Abad station - Silakhor Plain). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(4), 1348-1361 (in Persian).
- Yu, b. and Z. Zhu. 2015. A comparative assessment of AWBM and SimHyd for forested watersheds. *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques*, 60 (7–8) 2015 <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.961924>

مقاله پژوهشی



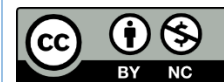
ارزیابی تطبیقی مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی با مدل یکپارچه در جهت شبیه سازی رواناب حوضه گمناب چای



محمدحسین رضائی مقدم^{۱*}، داود مختاری^۲، میثم اسکندری^۳



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کپی‌رایتو کامنز قابل استفاده است.



ارجاع به این مقاله: رضائی مقدم، محمد حسین؛ مختاری، داود؛ اسکندری، میثم (۱۴۰۳). ارزیابی تطبیقی مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی با مدل یکپارچه در جهت شبیه سازی رواناب حوضه گمناب چای. هیدروژئومورفولوژی، دوره ۱۱ (۴۰): ۲۲ – ۳۹.

DOI:10.22034/hyd.2024.59474.1715



چکیده

مدل های هیدرولوژی ابزار موثری برای کنترل منبع آب و همچنین شاخص های اجزای آبی از اساسی ترین روش پژوهش است. امروزه مدل های هیدرولوژی حوضه توسعه یافته اند، اما انتخاب نرم افزار مناسب جهت مدل سازی یک محدوده خاص همیشه یک چالش بوده است. بنابراین، انتخاب نرم افزاری که بتواند چرخه فرایند هیدرولوژی را در عین ساختار ساده و با استفاده از حداقل عوامل، به خوبی شبیه سازی کند امری ضروری می باشد که در این راستا در پژوهش حاضر رواناب ماهانه حوضه گمناب چای (کومور چایی) واقع در استان آذربایجان شرقی و در شمال غرب ایران به وسیله دو نرم افزار AWBM و ARCSWAT شبیه سازی شد. نرم افزار AWBM یک برنامه لامپ می باشد که برآورد رواناب را در محدوده مورد مطالعاتی با بهره گیری از دو شاخص بارش و تبخیر انجام می دهد و از طرف دیگر نرم افزار ARCSWAT یک نرم افزار نیمه توزیعی بوده که بصورت پیوسته جریان را شبیه سازی می کند. این نرم افزار در این راستا نیازمند یکسری اطلاعات ورودی از جمله نقشه و آمار (خاکشناسی، کاربری اراضی، شیب) منطقه بوده است. همچنین جهت استخراج جریان و سایر شاخص ها نیازمند آمار بارش، دما، رطوبت نسبی و تابش می باشد. نتایج شبیه سازی رواناب در دوره های واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از دو شاخص آماری ناش ساتکلیف (NSE) و ضریب تعیین R^2 مورد ارزیابی قرار گرفت. با مقایسه نتایج شاخص های آماری مورد استفاده در مطالعه مشخص شد که مدل نیمه توزیعی SWAT بنا به مقادیر NSE برای بازه کالیبراسیون ۰.۸۳ و صحت سنجی ۰.۷ بوده همچنین مقدار R^2 نیز برای کالیبره ۰.۸۳ و صحت سنجی ۰.۸ بوده که نسبت به مدل یکپارچه AWBM در حوضه گمناب چای با در نظر گرفتن مقادیر NSE برای بازه کالیبراسیون ۰.۷ و صحت سنجی ۰.۵، بوده همچنین مقدار R^2 نیز برای کالیبره ۰.۶۳ و صحت سنجی ۰.۴۸، نتایج بهتری در شبیه سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه می باشد.

کلیدواژه‌ها

SWAT
شبیه سازی،
AWBM
فرآیندهای هیدرولوژیکی،
اعتبار سنجی،
هیدروگراف،
گمناب چای

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰

*نویسنده مسئول: محمدحسین رضائی مقدم

رایانامه: rezmogh@tabrizu.ac.ir

۱- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران rezmogh@tabrizu.ac.ir

۲- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران d_mokhtari@tabrizu.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران skandarimeysam@gmail.com

یکی از مهم ترین مسائل که همواره در مهندسی آب و هیدرولوژی مورد توجه پژوهشگران بوده است، شبیه سازی رواناب و برآورد دبی رودخانه به منظور مدیریت رواناب و برنامه ریزی در جهت کنترل بحران کم آبی بوده است. کاهش منابع آب شیرین قابل در دسترس، پیش بینی دقیق رفتار هیدرولوژی منطقه و برآورد دبی رودخانه را از اهمیت زیادی برخوردار کرده است. یک مبحث مهم در راستای پیش بینی رواناب و مدیریت جریان، بررسی و پیش بینی فرایند بارش و رواناب بوده است. اگر نرم افزارهایی که ارائه شده اند دارای الگوی مناسب جهت شبیه سازی باشند که مقدار آن ها واقع بینانه باشد، تخمین ها و پیش بینی ها نیز دقیق تر خواهند بود که به تبع آن اثرات اقتصادی معنی داری به همراه خواهند داشت (بلواسی ۱۳۹۹: ۳۳۲، اسدی، ۱۳۹۰: ۴۲). لازم به ذکر است که بخشی از رواناب ناشی از ذوب برف است و در صورتی که ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیش تر باشد بر روی زمین جریان یافته و به منابع آب سطحی می پیوندد (نوری ۱۳۹۷: ۷۷۵، علیزاده ۱۳۸۴: ۲۴۵). مدلسازی چرخه بارش و رواناب حاصل از آن یکی از پیچیده ترین و پویاترین پدیده غیرخطی هیدرولوژی بوده که تحت تأثیر عواملی چون تغییرات زمانی، مکانی، مورفولوژی، ژئومورفولوژی، پوشش گیاهی و ویژگی های اقلیمی حوضه قرار دارد (ویدیارتی^۱ و همکاران ۲۰۲۲: ۱). یکی از مسائل مهم هیدرولوژی دانستن رابطه بین بارش و رواناب است (نوری ۱۳۹۷: ۷۷۵، ادیب ۲۰۱۰: ۱) از این جهت که کاربرد ویژه ای در پیش بینی های مربوط به سیلاب داشته است. با افزایش دقت و کارآمدی مدل های کامپیوتری در جهت پیش بینی رواناب رودخانه باعث بهبود مدل سازی پیش بینی رواناب، مدیریت و کارآمدی مدل های کامپیوتری در جهت پیش بینی رواناب رودخانه فرایند هیدرولوژی با توان بالقوه خود، ابزارهای کارآمدی به ویژه در شرایط تغییرات آب و هوایی هستند (احمدی و همکاران ۲۰۲۰: ۱). یکی از نرم افزارهای مورد استفاده پژوهشگران در راستای برآورد بارش رواناب حوضه آبریز بهره گیری از نرم افزار Rainfall Runoff است. این برنامه که استرالیایی بوده و از چند مجموعه برنامه شامل Sacramento, AWBM, SimHyd, SMAR و مدل Tank می باشد که داده های روزانه رواناب را شبیه سازی می کند (یونسی و همکاران ۲۰۲۰). یکی دیگر از برنامه های مناسب در راستای مدلسازی فرایند بارش رواناب مناطق حساس با خصوصیات پیچیده منطقه استفاده از نرم افزار SWAT می باشد که قابلیت کاربرد در نرم افزار Arc GIS داشته به نحوی که با بکارگیری نقشه خاک، کاربری اراضی، شیب و تعداد زیاد ایستگاه اقلیمی و هیدرومتری قابلیت شبیه سازی و استخراج رواناب را داشته است (نظری پویا ۱۳۹۴: ۱۰۰، سومرلات^۲، ۲۰۱۳: ۱). تا کنون پژوهش های زیادی در زمینه شبیه سازی رواناب و پیش بینی آن با استفاده از مدل هیدرولوژیکی انجام شده که در ادامه به بیان نتایج پرداخته شده است. در بررسی های انجام شده در مقایسه کارایی مدل های بارش-رواناب AWBM, SACRAMENTO, SIMHYD, SMAR و TANK بسته نرم افزار RRL در شبیه سازی رواناب خروجی حوضه آبریز نود گلستان، امامه بکار برده شده است. نتایج تحقیق محققان نشان داد که مدل awbm بهترین کارایی را در بین این مدل ها دارا است (مدرسی ۱۳۹۸: ۵۰، رستمی خلیج و همکاران، ۱۳۹۵: ۱). در پژوهشی در جهت ارزیابی توانایی دو مدل AWBM و SimHyd در مدل سازی جریان روزانه دو حوضه کوچک جنگلی (حوضه Fernow در غرب ویرجینیا آمریکا و حوضه Rimbaud در آلپ فرانسه) به کاربردن؛ نتایج نشان داد که کارکرد مدل AWBM در شبیه سازی بیلان آب در هر دو حوضه بهتر از مدل SimHyd بود و کاربرد هیچ کدام از دو مدل برای حوضه Fernow موفقیت آمیز نبود (یو^۳ و ژو^۴ ۲۰۱۵: ۱). رواناب زیرحوضه های زاینده رود و کارون با بهره گیری از یکی برنامه های Rainfall Runoff به نام AWBM مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و جهت برآورد رواناب داده هایی که بکار

1- Vidyarthi
2-Sommerlot
3- Yu
4-Zhu

بردند شامل اطلاعات بارش و تبخیر منطقه برای یک دوره آماری ۲۰ ساله بوده است. از آنجایی که می بایست خروجی مدل بهینه باشد و به نتایج مناسب دست یابند با بهینه سازی پارامترهای این نرم افزار، دقت و کارایی آن را در جهت برآورد رواناب با در نظر گرفتن شاخص ارزیابی نتایج شبیه سازی با برآوردی به نام ضریب همبستگی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان از دقت مناسب مدل بوده است (شریفی ۲۰۰۶:۱). کارایی مدل AWBM و SimHyd در مدل سازی بارش-رواناب منطقه ای به نام نازلوچای واقع در استان آذربایجان غربی مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفت (بهمنش ۲۰۱۴:۱). برای ارزیابی نتایج بدست آمده از مدل ها، شاخص نش ساتکلیف (NSE) و ضریب همبستگی (R^2) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج خروجی مدل ها، حاکی از دقت مناسب برنامه با شرایط منطقه مورد مطالعه دارند. در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، در تحقیقی مرتبط با موضوع این مقاله در بررسی بارش-رواناب منطقه از مدل AWBM استفاده گردیده است. در نهایت نتایجی که به دست آمد نشان داد که این مدل به علت سهل الوصل بودن پارامترهای ورودی از سایر مدل های بارش-رواناب کارآمدتر می باشد (شاهویی ۱۴۰۱: ۵۳-۵۹). عدم قطعیت معیار ها و پارامترهای مدل AWBM در حوضه های بدون آمار و دارای آمار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاکی از این بوده است که عدم قطعیت در خروجی مدل AWBM می تواند متغییر بوده از ۱٫۳ درصد تا ۷۰ درصد ناشی از داده های بارش متفاوت، از ۵٫۷ درصد تا ۱۱ درصد ناشی از طول داده های واسنجی متفاوت و از ۰٫۲ درصد تا ۶ درصد ناشی از به کارگیری روش های بهینه سازی متفاوت در واسنجی مدل باشد (قربانی فرد ۱۴۰۰: ۱، هاگ ۲۰۱۴: ۱). در تحقیقی عملکرد سه مدل هیدروولوژی SWAT، IHACRES و SimHyd در جهت برآورد رواناب قره سو در آذربایجان غربی استفاده شده است. معیارهای ارزیابی در این مطالعه، ضریب نش ساتکلیف، ضریب همبستگی و جذر مربعات خطا بود. شبیه سازی نشان داد مدل SWAT با ضریب نش ساتکلیف ۰٫۸ و معیار خطا ۱٫۲ برای دوره واسنجی و ضریب نش ساتکلیف ۰٫۷۳ و معیار خطای ۱٫۱ برای دوره اعتبار سنجی بهترین عملکرد را نسبت به سایر مدل دارد (گودرزی ۲۰۱۲: ۱). ارزیابی نتایج خروجی از تحقیقی با عنوان، رواناب ماهانه محدوده مطالعاتی روانسر سنجایی، واقع در استان کرمانشاه با دو مدل AWBM و SWAT بیانگر آن بود که مدل SWAT دارای نتایج بهتری در شبیه سازی رواناب ماهانه حوضه مورد نظر است؛ به نحوی که میزان شاخص ارزیابی نش ساتکلیف برای این مدل در دوره کالیبراسیون و صحت نتایج به ترتیب ۰٫۷ و ۰٫۸ و برای مدل AWBM به ترتیب ۰٫۶۳ و ۰٫۵ تعیین شد (شاهویی و پرهمت ۱۳۹۸: ۱). نرم افزار ARCSWAT جهت استخراج جریان و آورد رسوبی محدوده بهشت آباد واقع در کارون شمالی استفاده شده است. خروجی این نرم افزار جهت برآورد مقدار متوسط جریان به صورت ماهانه در مرحله کالیبراسیون و صحت نتایج بسیار مناسب بود به نحوی که مشخص گشت که مدل در برآورد جریان خیلی مناسب تر از استخراج رسوب عمل کرده است (رستمیان و همکاران ۲۰۰۸: ۱). با بهره گیری از ۱۵ مدل و نرم افزار شاخص هیدروکلیماتولوژیکی، نرم افزار ARCSWAT به عنوان مناسب ترین نرم افزار انتخاب شده است (ضیایی ۱۳۹۸: ۷۲، حسینی ۲۰۱۱: ۱). جهت برآورد رواناب ماهانه، در مقاله پژوهشی خود جهت استخراج رواناب حوضه قره سو واقع در استان کرمانشاه با بهره گیری از نرم افزار ARCSWAT طبق اطلاعات آماری جمع آوری شده به صورت ماهیانه انجام داد. خروجی این نرم افزار بیانگر کارایی مناسب این نرم افزار جهت استخراج بیلان آبی و همچنین تاثیر اقدامات کنترلی و همچنین تغییر اقلیم بر میزان جریان در حوضه قره سو هست. (حسینی و اشرف ۲۰۱۵: ۱) در مقاله پژوهشی خود با استفاده از نرم افزار ARCSWAT جهت شبیه سازی رواناب حوضه طالقان نشان داد که این نرم افزار برای دوره های سالانه و ماهانه کارایی مناسبی دارد اما برای دوره های روزانه از کیفیت خوبی برخوردار نیست. رضائی مقدم و همکاران (۱۴۰۰: ۱) در پژوهشی تحت بررسی بیلان جریان و انتقال رسوب محدوده مورد مطالعاتی شهرچای با بهره گیری از نرم افزار ARCSWAT و همچنین الگوریتم SUFI2 در نرم افزار SWAT نشان

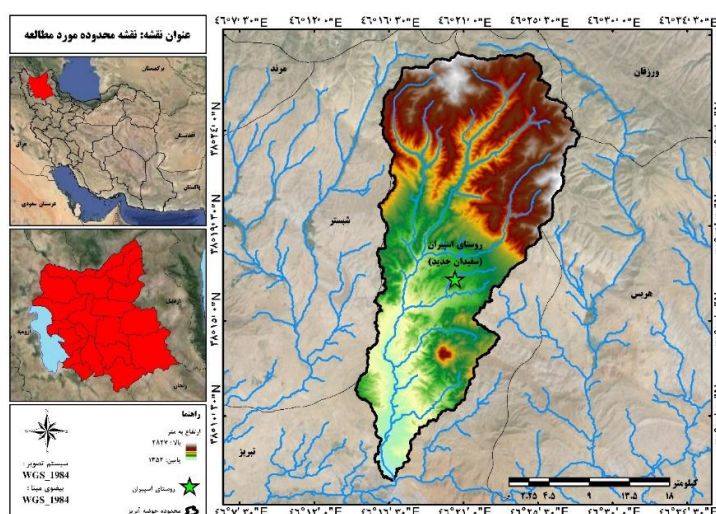
دادند که مدل توانایی خوبی در جهت شبیه سازی دبی جریان و انتقال رسوب را دارد. در پژوهشی دیگر توسط رضایی مقدم و همکاران در سال (۱۴۰۱) با بررسی تاثیر پوشش گیاهی بر میزان جریان و آورد رسوبی برای یک دوزه آماری ۲۹ ساله توسط نرم افزار ARCSWAT در جهت شبیه سازی منطقه مطالعاتی اوجان چای نشان دادند که تغییر کاربری و پوشش گیاهی باعث ازدیاد رواناب و به دنبال آن رسوب می گردد. بعد از اجرای مدل SWAT در بالادست حوضه آبریز خنچه (بالادست رودخانه سوک چم) شبیه سازی رواناب حوضه های فاقد آمار مبتنی بر خصوصیات فیزیکی حوضه و با رویکرد منطقه بندی فراهم گردید (صیاد و همکاران ۱۳۹۹:۱)

براساس تحقیق و مرور بر پژوهش های انجام شده در زمینه نرم افزارهای AWBM و SWAT به این نتیجه دست یافتیم که دو نرم افزار ذکر شده جهت برآورد رواناب دارای دقت مناسبی می باشند. اصول کار با نرم افزار AWBM و همچنین پارامترهای این نرم افزار در راستای استخراج بارش رواناب بسیار ساده تر از نرم افزار SWAT بوده است. به نحوی که تنها داده های مورد نیاز آن جهت استخراج جریان میزان اطلاعات بارش و تبخیر می باشد. این در حالی است که نرم افزار SWAT نیازمند اطلاعات بیش تر از منطقه مورد مطالعاتی و آمارهای اقلیمی می باشد تا بتواند رواناب و سایر شاخص های هیدرولوژیکی را استخراج کند. هدف از انجام این پژوهش بررسی و ارزیابی دقت مدل های یکپارچه AWBM و نیمه توزیعی SWAT در شبیه سازی رواناب ماهیانه در حوضه آبریز گمناب چای می باشد.

اصول و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

منطقه ای که تحقیق حاضر در آن انجام گرفته است، حوضه آبریز گمناب چای (کومور چایی) است که از نظر موقعیت سیاسی و جغرافیایی در استان آذربایجان شرقی و در شمال غرب ایران قرار دارد. این حوضه بین مختصات $38^{\circ} 06' 58''$ تا $38^{\circ} 28' 38''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 15' 12''$ تا $46^{\circ} 28' 02''$ طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). حوضه آبریز گمناب چای با مساحت حدود ۴۲۰ کیلومترمربع یکی از زیرحوضه های حوضه آبریز دریاچه ارومیه محسوب می شود. طبق طبقه بندی اقلیمی دومارتن، نیمه خشک واقع بوده و میانگین بارش سالانه آن حدود ۳۰۰ میلی متر (اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی) است که حداکثر مقدار آن در بهار و حدود ۱۰۰ میلی متر نیز در زمستان اتفاق می افتد. حداکثر ارتفاع منطقه ۲۷۷۴ متر در ارتفاعات شمالی منطقه و حداقل ارتفاع نیز در خروجی حوضه برابر ۱۳۸۴ متر از سطح دریاست.



شکل (۱) منطقه مورد بحث و پژوهش

Fig. (1): The area under discussion and research

نرم افزار AWBM

نرم افزار AWBM یک نرم افزار براساس اصول مفهومی شبیه سازی بارش در جهت استخراج جریان است؛ این برنامه با بهره گیری از اطلاعات آماری میزان بارش و همچنین مقدار تبخیر-تعرق، دبی جریان را در مقیاس روزانه تولید می کند (باتون ۲۰۰۴:۱). این مدل دارای سه مخزن سطحی مختلف و غیرمرتبط با مساحت های متفاوت و یک مخزن زیرسطحی با گنجایش نامحدود است (یو و ژون ۲۰۱۵:۴). گنجایش رطوبت مخازن سطحی با (C1، C2 و C3) و مساحت جزئی هرکدام از مخازن سطحی با (A1، A2 و A3) نشان داده می شود. میانگین گنجایش مخازن سطحی تنها پارامتری است که مقدار رواناب حوضه را تعیین می کند. با توجه به داده های بارش و تبخیر، بیلان آب در هر گام زمانی برای هرکدام از این مخازن به شکل جداگانه محاسبه می شود، اگر میزان آب در هر مخزن بیشتر از گنجایش مخزن باشد؛ مقدار مازاد تبدیل به رواناب می شود (شکل ۲). بخشی از این رواناب جریان پایه را شارژ می کند و بخشی به رواناب سطحی تبدیل می شود. مقدار جریان پایه و رواناب سطحی توسط شاخص جریان پایه (BFI) تخمین زده می شود؛ که مقداری بین (۰-۱) دارد. تخلیه از مخزن رواناب سطحی و جریان پایه از روابط زیر تعیین می شود (هاگ و همکاران ۲۰۱۴:۱).

$$\text{Baseflow recharge} = \text{BFI} \times \text{Excess} \quad (1)$$

$$\text{Surface runoff recharge} = (1 - \text{BFI}) \quad (2)$$

مقادیر جریان پایه و رواناب سطحی به ترتیب با استفاده از معادلات شماره (۳) و (۴) تخمین زده می شود.

$$\text{Baseflow discharge} = (1 - k_b) \times B_s \quad (3)$$

$$\text{Surface runoff discharge} = (1 - k_s) \times S_s \quad (4)$$

منظور از B_s و S_s مقدار رطوبت در مخزن جریان پایه و جریان سطحی است. k_b و k_s به ترتیب ثابت کاهش رواناب سطحی و جریان پایه می باشند (هاگ و همکاران ۲۰۱۴:۱). مدل AWBM دارای ۹ پارامتر است؛ که در جدول شماره ۱ نشان داده شده اند. دو پارامتر اول آن نشان دهنده مساحت جزئی هرکدام از مخازن سطحی می باشند و از آنجا که جمع اجزاء مساحتها برابر ۱ است؛ بنابراین تنها دو پارامتر مربوط به مساحت در طول واسنجی ارزیابی می شود و سومی به صورت خودکار تعیین می گردد. سه پارامتر دیگر مدل مربوط به گنجایش مخازن هرکدام از این سه مخزن است و سه پارامتر باقی مانده (k_b ، k_s و BFI) زمان رواناب را تعیین می کنند. برای به دست آوردن مقادیر نهایی این پارامترها باید مدل با استفاده از سریهای زمانی دبی واسنجی شود. پارامترهای مدل AWBM را می توان به دو روش دستی و خودکار واسنجی کرد. برای واسنجی خودکار این مدل دو گزینه سفارشی، عمومی وجود دارد. در روش واسنجی خودکار عمومی این مدل ۷ الگوریتم بهینه سازی وجود دارد. در این روش می توان دو هدف برای واسنجی انتخاب کرد برای هدف اولیه ۸ گزینه تابع هدف وجود دارد این ۸ گزینه تابع شامل؛ ضریب ناش ساتکلیم، مجموع مربعات خطا، جذر مربعات خطا ($RMSE$)، جذر میانگین مربعات اختلاف انحراف، مقدار قدر مطلق انحراف، جمع مربعات ریشه، جمع مربعات تفاضل از جذر مربعات و جمع تفاضل قدر مطلق از سیستم. همچنین برای هدف ثانویه ۴ گزینه تابع هدف وجود دارد شامل: بدون انتخاب، درصد تفاضل رواناب، منحنی تداوم جریان، روش جریان پایه تعریف می شود، هنگامیکه طبق این معادله میزان رطوبت در یک از سه ذخیره سطحی منفی شود، نشاندهنده بالا بودن میزان تبخیر و تعرق نسبت به آب در دسترس میباشد، میزان ذخیره سطحی به وسیله مدل صفر میگردد و هنگامی که میزان رطوبت در ذخیره

سطحی بیشتر از ظرفیت آن گردد، میزان مازاد بر ظرفیت ذخیره به رواناب تبدیل میشود و ذخیره سطحی مجدد به میزان ظرفیت رطوبتی آن تنظیم میشود (پودگر: ۲۰۰۴).

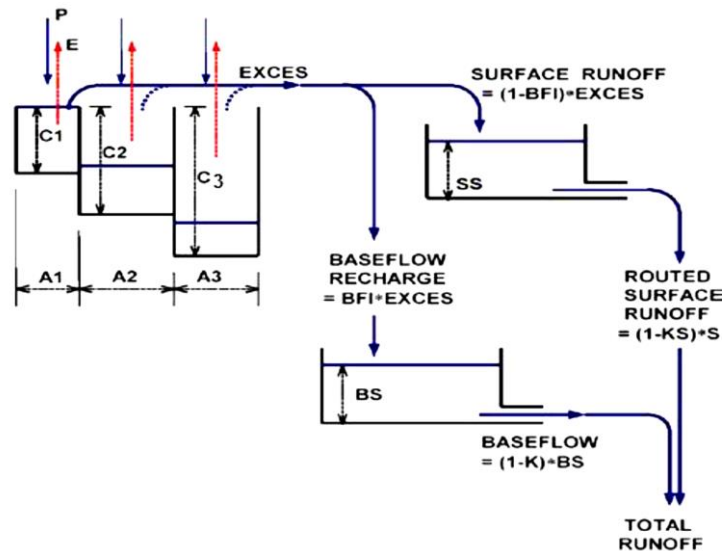
جدول ۱. مقادیر اولیه و نهایی پارامترهای مدل AWBM برای حوضه گمناب چای

Table 1. Initial and final values of AWBM model parameters for Gonnab Chai basin

پارامتر	توضیحات	حد پایین	حد بالا	مقدار نهایی
A1	مساحت جزئی کوچکترین مخزن	۰	۱	۰/۹۵
A2	مساحت جزئی مخزن متوسط	۰	۰/۷۱	۰/۰۳
BFI	شاخص جریان پایه	۰	۱	۰/۴۴
C1	گنجایش مخزن سطحی کوچکترین مخزن (mm)	۰	۵۰	۱۸/۲۳
C2	گنجایش مخزن سطحی متوسط (mm)	۰	۲۰۰	۱۹۹/۲۱
C3	گنجایش مخزن سطحی (mm)	۰	۵۰۰	۳۳۵/۲۹
K _b	ثابت کاهش جریان پایه	۰	۱	۰/۴۱
K _s	ثابت کاهش جریان سطحی	۰	۱	۱

تنظیم، واسنجی و صحت‌سنجی مدل AWBM

داده‌های ورودی مدل AWBM داده‌های روزانه دبی، تبخیر و تعرق پتانسیل و بارش می‌باشند. در این تحقیق داده‌های بارش و تبخیر پتانسیل ایستگاه هواشناسی موجود در حوضه و داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری که در خروجی حوضه واقع شده است مورد استفاده قرار گرفت؛ این داده‌ها از اداره مدیریت منابع آب استان اخذ گردید. دوره گرم کردن مدل از اول ژانویه ۲۰۰۰ تا اول سپتامبر ۲۰۰۱ انتخاب شد. واسنجی مدل AWBM با استفاده از مجموعه نرم افزار بارش رواناب میتواند به دو صورت دستی و خودکار صورت پذیرد. نحوه واسنجی دستی مدل بدین صورت است که پس از حصول نتایج اولیه به وسیله مدل با تغییر پارامترها و کاربر هیدروگراف شبیه سازی شده جریان دچار تغییرات میشود و میتوان با این سعی و خطا و همچنین مقایسه هیدروگراف های شبیه سازی شده و مشاهدهای به مقادیر بهینه پارامترها دست یافت. نحوه دیگر واسنجی مدل AWBM به صورت خودکار میباشد که در این مطالعه پس از واسنجی دستی و همچنین استفاده از سایر الگوریتم های موجود در مجموعه نرم‌افزاری بارش رواناب با استفاده از الگوریتم SCE-2UA و به صورت خودکار اقدام به واسنجی مدل در سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ در مقیاس زمانی روزانه شد. اعتبار سنجی مدل نیز با استفاده از داده‌های رواناب روزانه حوضه گمناب چای در سالهای ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ صورت گرفت.



شکل ۲: ساختار مدل AWBM

Figure 2: AWBM model structure

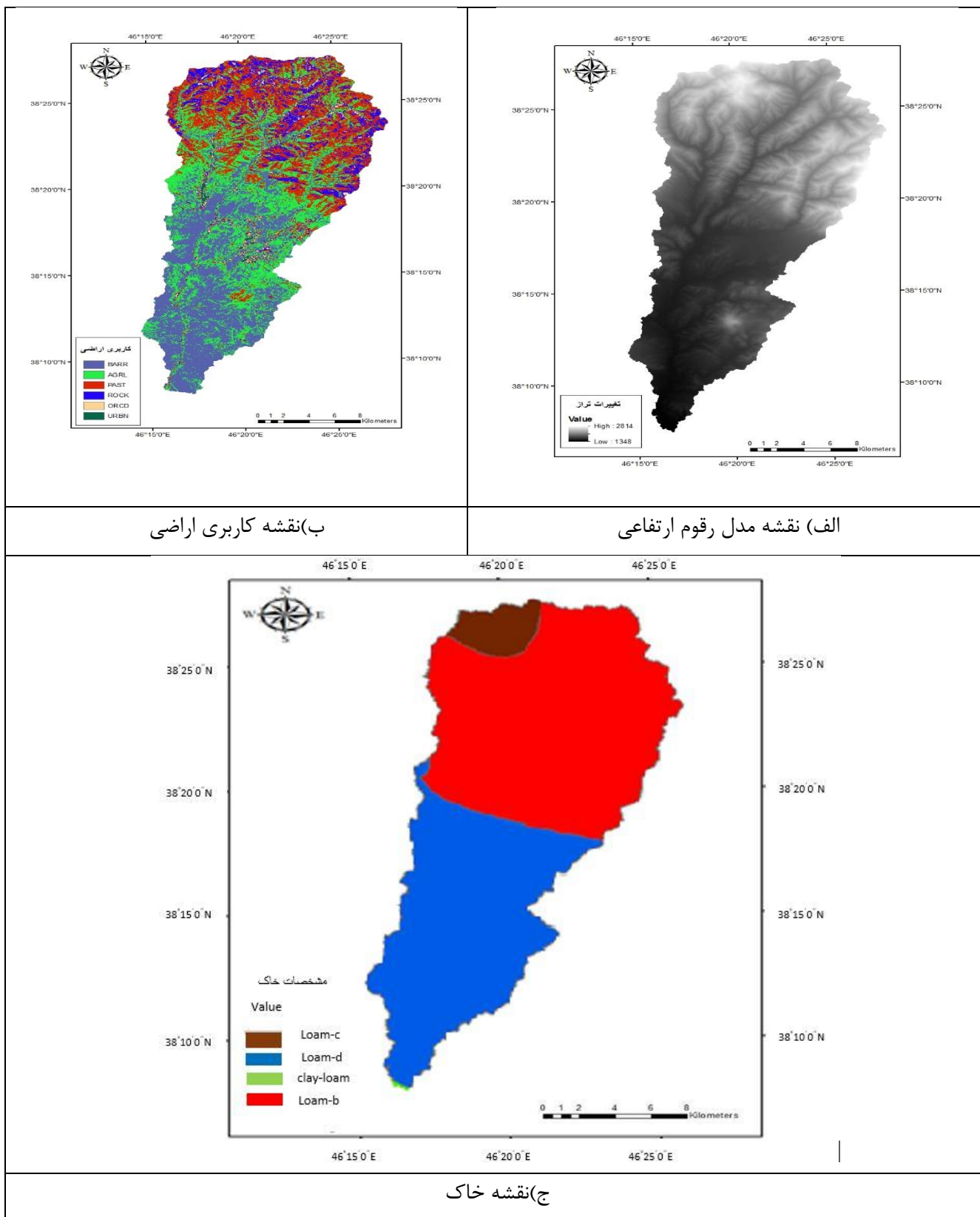
نرم افزار SWAT

SWAT اساس شبیه سازی این نرم افزار بر پایه نیمه توزیعی بودن است. اطلاعات آماری داده های اقلیمی در این مدل بصورت گام زمانی روزانه می باشد. SWAT حوضه مورد مطالعاتی را به تعداد زیرحوضه دسته بندی می کند که با هر کدام به عنوان یک واحد مجرد رفتار می کند. مدل همچنین با پیکرندی مدل سازی USEPA برای منابع غیر نقطه ای و نقطه ای (BASINS) یکپارچه شده است. این چهارچوب برای کاربران یک ابزار توصیف حوضه آبریز ایجاد می کند که به کاربران این امکان را میدهد که به طور اتوماتیک حوضه آبریز را براساس مدل رقومی زمین (DEM) توصیف کند. مدل SWAT نیاز دارد که برای حوضه مورد مطالعه جهت تضمین این که پارامترهای مدل نماینده ای برای ناحیه مطالعه هستند، واسنجی و اعتبارسنجی گردد مدل SWAT در شبیه سازی چرخه هیدرولوژیکی از معادله توازن هیدرولوژیکی زیر استفاده می کند:

$$\Delta SW = \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (5)$$

در این رابطه: ΔSW : آب ذخیره شده در خاک، R_{day} : بارش روزانه، Q_{surf} : رواناب سطحی، E_a : تبخیر و تعرق واقعی، W_{seep} : آبی که از پروفیل خاک به منطقه غیر اشباع وارد می شود، Q_{gw} : جریان آب زیرزمینی خروجی به رودخانه می باشد.

در مدل SWAT زیرحوضه ها به بخش های پاسخ هیدرولوژیکی تقسیم میشوند که بخش هایی از زیرحوضه ها با پوشش ها، مدیریت و خصوصیات خاک می باشد. SWAT از روش عدد معنی اصلاح شده (USDA Soil Conservation Service 2001) یا روش نفوذ Green and Ampt جهت محاسبه حجم رواناب سطحی برای هر HRU استفاده می کند (آرنولد و فوهرر ۲۰۰۲) تقسیمات زیرحوضه ها برای حوضه گمناب چای در شکل شماره ۳ نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود شیب حوضه به پنج طبقه (۰-۱۵)، (۱۵-۳۰)، (۳۰-۴۵)، (۴۵-۶۰) و (>۶۰) صورت گرفته است. همچنین نقشه مدل رقوم ارتفاعی، خاک و کاربری اراضی حوضه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران تهیه شد.



شکل ۳: نقشه های حوزه آبریز گمناب چای
 Figure 3: Maps of Gommab Chai catchment area

باتوجه به شکل (۳) منطقه مورد بررسی دارای ۴ نوع خاک و ۶ کاربری اراضی است که اطلاعات مربوط به هر کدام از آن ها در جدول (۲) و (۳) آورده شده است.

جدول ۲ مشخصات خاک های موجود در حوضه

Table 2. Characteristics of soils in the basin

شماره خاک	بافت خاک	گروه هیدرولوژیکی	تعداد لایه های خاک
3129	LOAM	C	2
3254	LOAM	D	2
3290	CLAY-LOAM	D	2
3506	LOAM	B	2

جدول ۳ کاربری اراضی و نوع پوشش سطح زمین در حوضه

Table 3 land use and type of land cover in the basin

کاربری	نوع کاربری	کاربری	نوع کاربری
BARR	بایر	ROCK	سنگلاخ
AGRL	زمین کشاورزی	ORCD	باغ
PAST	مرتع	URBN	شهری

داده هواشناسی که به منظور شبیه سازی رواناب به وسیله مدل SWAT وارد مدل شدند، عبارت است از مشخصات و پارامترهای آماری بلند مدت مورد نیاز ایستگاه مرجع هواشناسی شامل ۳ ایستگاه به صورت روزانه عامل بارش و دما منطقه در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ وارد مدل گردید. لازم به ذکر است که پارامترهای اقلیمی شامل بازش، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشید بصورت میانگین ماهانه در قالب یک فایل wgn به مدل معرفی شد تا بتوان خروجی رواناب بصورت ماهانه استخراج شود.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

در این مطالعه به منظور واسنجی مدل SWAT از الگوریتم SUFI2 در نرم افزار SWATCUP استفاده شد (عباسپور و همکاران ۲۰۰۴). دوره واسنجی داده های رواناب ماهانه، سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ انتخاب گردید. برای واسنجی مدل از ۱۷ پارامتر مختلف استفاده شد مطابق جدول (۴). همانند دوره اعتبارسنجی در مدل AWBM، به منظور اعتبارسنجی مدل SWAT نیز ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ در نظر گرفته شد.

جدول ۴: پارامترهای مورد استفاده در مرحله واسنجی مدل SWAT در منطقه مورد مطالعه

Table 4: Parameters used in SWAT model calibration stage in the study area

شماره	نام پارامتر	شماره	نام پارامتر
۱	CN2	۱۰	SOL_AWC (1)
۲	ALPHA_BF	۱۱	SOL_K (1)
۳	GW_DELAY	۱۲	SFTMP
۴	GWQMN	۱۳	SOL_BD (1)
۵	GW_REVAP	۱۴	SMTMP
۶	ESCO	۱۵	SMFMX
۷	CH_N2	۱۶	SMFMN
۸	CH_K2	۱۷	TIMP
۹	ALPHA_BNK		

معیارهای آماری در ارزیابی
ضریب تبیین (R^2)

از این ضریب برای نشان دادن همخوانی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی با به کار بردن روش تجزیه رگرسیونی استفاده می‌شود.

$$R^2 = \left[\frac{(\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o}) \times (p_i - \bar{p}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}} \right]^2 \quad (6)$$

که در آن: n : تعداد مشاهدات، O_i : مقادیر مشاهده شده، P_i : مقادیر شبیه‌سازی شده، \bar{O} : میانگین مقادیر مشاهده شده، \bar{P} : میانگین مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد.

ضریب ناش-ساتکلیف (NS)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{mean})^2} \quad (7)$$

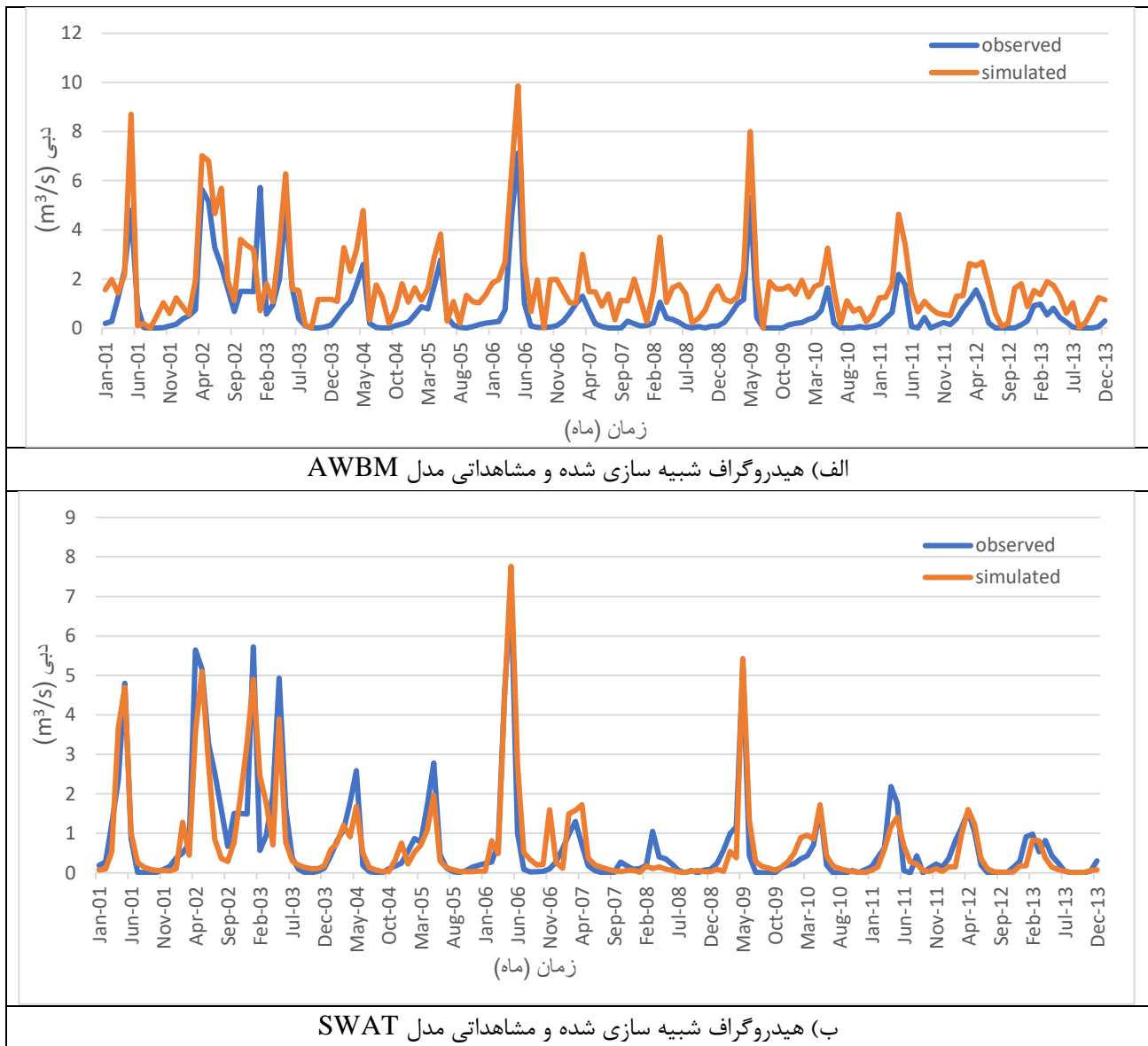
که در آن: y_i^{obs} : مقادیر مشاهده شده، y_i^{sim} : مقادیر شبیه‌سازی شده، y_i^{mean} : میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشد. ضریب ناش - ساتکلیف (NS) بیانگر اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده می‌باشد. مقدار این فاکتور بین یک تا منفی بی نهایت متغیر می‌باشد. ضریب ناش - ساتکلیف تغییرات مقادیر مشاهده‌ای را که در طول زمان رخ می‌دهد و مورد توجه مدل SWAT می‌باشد را تفسیر می‌کند (گرین و ون گرینسون، ۲۰۰۷). دو حالت کلی وجود دارد حالت اول: اگر ضریب منفی شود، تخمین مدل بسیار بدتر از تخمینی است که با استفاده از میانگین کل مقادیر مشاهده‌ای بدست می‌آید. حالت دوم: مقدار بیشتر از ۰/۵ ضریب ناش - ساتکلیف (NS) نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب انجام شده توسط مدل می‌باشد. تفاوت اساسی بین ضریب ناش و R^2 در این است که ضریب ناش قادر است که با تکرار داده‌های مشاهداتی عملکرد مدل را تفسیر نماید. در صورتی که ضریب R^2 این توانایی را ندارد (گرین و ون گرینسون، ۲۰۰۷).

یافته‌ها و بحث‌ها

واسنجی مدل‌های SWAT و AWBM

بعد از وارد کردن داده‌های بارندگی، دما، تبخیر و رواناب (همگی در مقیاس زمانی روزانه) به مدل و مشخص کردن دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی برای آن، شبیه‌سازی رواناب در حوضه گمناب چای با استفاده از مدل AWBM صورت گرفت. نتایج ارزیابی مدل‌های AWBM و SWAT در مرحله واسنجی با در نظر گرفتن دو شاخص آماری ضریب ناش ساتکلیف و ضریب تعیین R^2 نشان داد که

مدل SWAT دارای شبیه‌سازی دقیق‌تری نسبت به مدل AWBM در دوره واسنجی می‌باشد طوری که ضرایب ناش ساتکلیف و تعیین R^2 برای مدل SWAT به ترتیب $0/۸۳$ و $0/۸۳$ تعیین شد در حالی که مقادیر این شاخص‌ها برای مدل AWBM در این دوره به ترتیب $0/۷$ و $0/۶۳$ محاسبه شد. هیدروگراف‌های رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی مدل‌های مورد بررسی در پژوهش در دوره واسنجی در شکل (۴) نشان داده شده است.



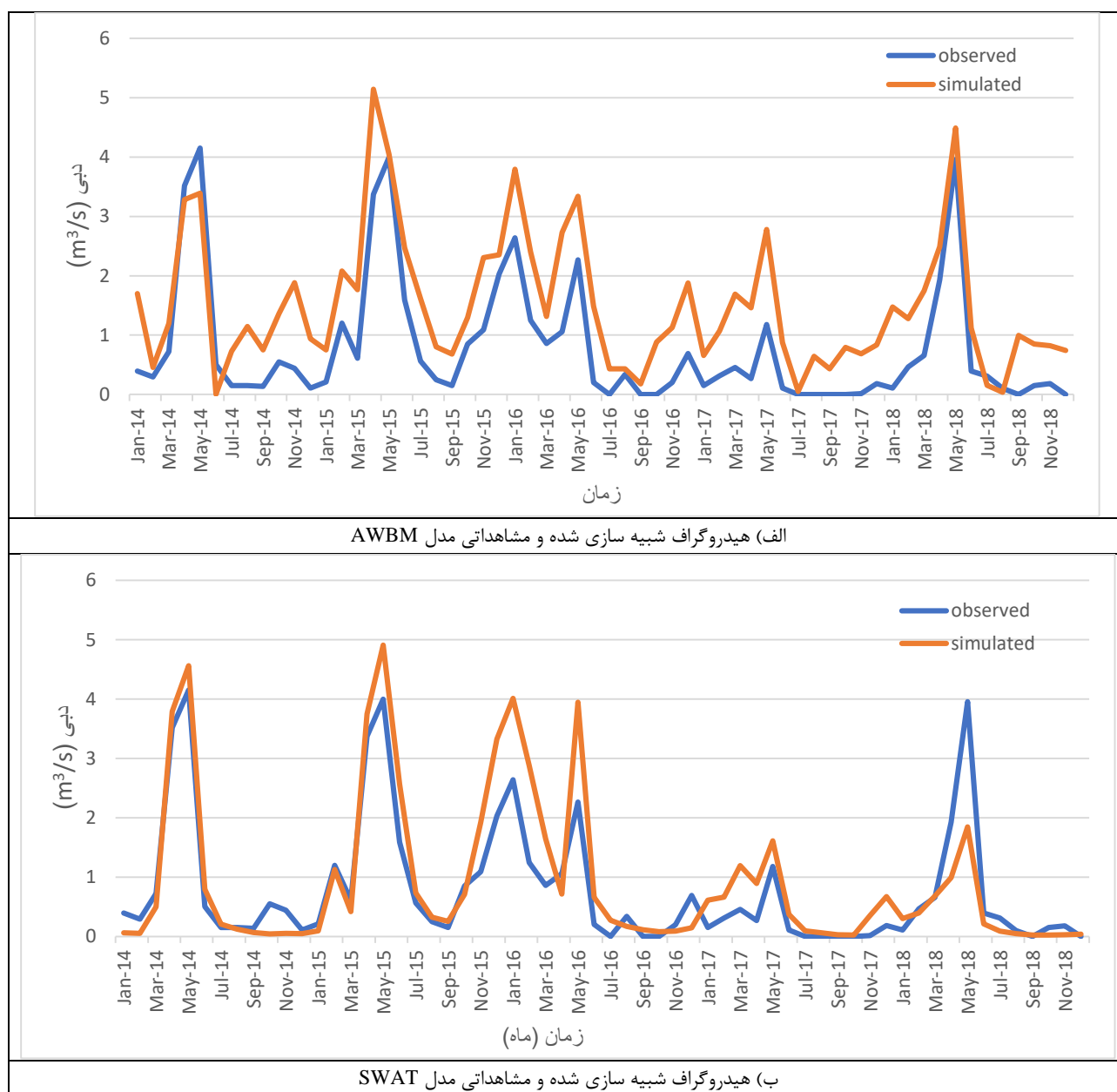
شکل ۴: هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی - رواناب ماهیانه در حوضه گمناب چای در دوره واسنجی مدل‌های مورد مطالعه

Figure 4: Simulated and observed hydrographs - monthly runoff in Gomanab Chai basin during the calibration period of the studied models

همانگونه که از نمودار شکل (۴) نیز مشخص می‌باشد، مدل AWBM در اکثر ماه‌ها در دوره واسنجی مقادیر حداکثری رواناب را خیلی بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند در حالی که مدل SWAT در اکثر ماه‌ها در طول دوره آماری، رواناب ماهانه را به خوبی شبیه‌سازی کرده است به طوری که با توجه به شکل (۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده به وسیله مدل SWAT نسبت به هیدروگراف شبیه‌سازی شده به وسیله مدل AWBM، برآزش به مراتب بهتری با مقادیر رواناب مشاهده‌ای در دوره واسنجی مدل‌ها دارد.

صحت‌سنجی مدل‌های SWAT و AWBM

در این بخش از پژوهش نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل‌های SWAT و AWBM با توجه به مقادیر پارامترهای بهینه محاسبه شده در مرحله واسنجی مدل‌ها و برای دوره آماری ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ آورده شده است. در مرحله اعتبارسنجی مدل AWBM، مقادیر ضرایب ناش ساتکلیف و تعیین R^2 به ترتیب ۰/۵ و ۰/۴۸ محاسبه گردید و این ضرایب برای مدل SWAT در این دوره به ترتیب ۰/۷ و ۰/۸ تعیین شد. بیش‌تر بودن ضرایب آماری مورد بررسی در مدل SWAT نشان دهنده مناسب‌تر بودن شبیه‌سازی انجام گرفته به وسیله این مدل نسبت به مدل AWBM می‌باشد. هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی جریان در دوره صحت‌سنجی مدل‌ها در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵: هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی - رواناب ماهیانه در حوضه گمناب چای در دوره صحت‌سنجی مدل‌های مورد مطالعه

Figure 5: Simulated and observed hydrographs - monthly runoff in Gomanab Chai basin during the validity period of the studied models

همانگونه که از شکل (۵) نیز مشخص می‌باشد مدل SWAT در دوره اعتبارسنجی خیلی بهتر از مدل AWBM رواناب مشاهداتی را شبیه‌سازی نموده است طوری که بازوهای بالارونده و پایین‌رونده و همچنین نقاط اوج هیدروگراف شبیه‌سازی شده به وسیله مدل SWAT

نسبت به هیدروگراف شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل AWBM دارای انطباق بهتری با هیدروگراف مشاهداتی می‌باشد.

نتایج مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهیانه در حوضه گمناب چای هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی باتوجه به ضریب ناش ساتکلیف و ضریب تعیین R^2 برای مدل SWAT در دوره واسنجی به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۸۳ و برای دوره اعتبارسنجی آن ۰/۷ و ۰/۸ و محاسبه شد و مقادیر این شاخص‌ها در دوره واسنجی مدل AWBM به ترتیب ۰/۷ و ۰/۶۳ و در دوره اعتبارسنجی آن ۰/۵ و ۰/۴۸ تعیین شد. که نشان از بهتر بودن کاربرد مدل نیمه توزیعی SWAT نسبت به مدل یکپارچه AWBM در حوضه گمناب چای می‌باشد.

هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی دارای تطابق مناسبی با هیدروگراف مشاهداتی جریان می‌باشد در حالی که هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل AWBM هم در دوره واسنجی و هم اعتبارسنجی نسبت به مدل SWAT دارای انطباق کم‌تری با هیدروگراف مشاهداتی جریان می‌باشد به‌طوری‌که در اکثر ماه‌ها رواناب بیش‌تر از مقدار مشاهده‌ای شبیه‌سازی شد.

نتیجه‌گیری

باتوجه به قابلیت‌ها و محدودیت‌های هر دو مدل SWAT و AWBM بنابه نیازها و اهداف مورد انتظار از مدل‌سازی هیدروولوژی در هر حوضه، در نهایت باید مدل انتخاب گردد که پاسخ مناسبی به اهداف مسئله داشته باشد. به عنوان مثال از آنجایی که منطقه مورد مطالعاتی در این تحقیق، کوهستانی بوده و در مناطق مرتفع دارای رخداد برف بوده مدل SWAT در این زمینه کاربرد مناسبی داشته که علت اصلی آن در نظر گرفتن پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی و دما (ماکزیمم و حداقل)، مدل رقوم ارتفاعی DEM، نقشه خاک، نقشه کاربری اراضی، کلاس شیب منطقه که موجب نزدیک‌تر شدن مدل با شرایط محیط پژوهشی و استخراج دقیق خصوصیات هیدروولوژی حوضه می‌شود. شاید با بررسی دیگر تفاوت این مدل با مدل AWBM باتوجه به شرایط مسئله بهترین تصمیم اتخاذ شود. به عنوان نمونه ای دیگر مدل SWAT این امکان را برای کاربر فراهم نموده که تغییرات تراز ارتفاعی در جهت جداسازی عامل بارش، برف، ذوب شدن برف و یخ در ارتفاعات که مهم‌ترین عامل در جهت دقت شبیه‌سازی است فراهم نموده است. عملکرد مدل ساده‌ای چون AWBM نسبت به مدل‌های پیچیده در بعضی مناطق بهتر است (همانند حسینی ۲۰۱۱، گودرزی ۲۰۱۲، سامرلات ۲۰۱۳). اگرچه انتخاب مدل‌های یکپارچه به جهت سادگی ساختار و حداقل داده‌های مورد نیاز و نیز کاربردی آسان آن در اولویت قرار بگیرد اما باید توجه داشت انتخاب مدل مناسب‌تر، همچون مدل نیمه توزیعی مورد توجه قرار گیرد.

منابع:

- Adib, A., Salarijazi, M., & Najafpour, K. (2010). Evaluation of synthetic outlet runoff assessment models. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 14(3), 13-18.
- Ahmadi, M., Dadashi Roudbari, A., & Deyrmajai, A., (2020). Runoff estimation using IHACRES model based on CHIRPS satellite data and CMIP5 models (case study: Gorganroud basin-Aq Qala area). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(3), 659-671 (in Persian).
- Alizadeh, A. (2006). Principles of applied hydrology. 19th Edition: Publications of Imam Reza University, 942 pages (in Persian).
- Asadi, A. 2011. Development a conceptual model of Tank-Hybrid-Channel to Simulate Rainfall – Runoff process in Navroudbasinin Gilan province. Ph.D.Dissertation. Faculty of Agriculture. Tabriz University. 153 pages. (In Persian).

- Behmanesh, J. Jabari, A. Montaseri, M. and Rezaei, H. 2014. Comparing AWBM and SimHyd models in rainfall-runoff modeling, Nazlou-Chay catchment in west Azarbaijan. *Geography and Environmental Planning Journal*. 52(4), 155- 168. (In Persian).
- Belvasi, Iman Ali, Asghari Saraskanroud, Sayad, Esfandiari Dar Abad, Fariba, Zinali, Betul (2019). The role of land use changes on the characteristics of runoff and flooding in Do Ab catchment, *Ecohydrology*, Vol. 7, No. 2, pp. 344-331, (in Persian).
- Boughton W. 2004. The Australian Water Balance Model. *Environmental Modelling & Software* 19(10): 943–956. DOI: 10.1016/j.envsoft.2003.10.007.
- Ghorbani Fard, M., 2021. Comparison and evaluation of AWBM and IHACRES models in rainfall-runoff modeling (Case study: catchment), 10th International Conference on Rainwater Catchment System, ICRWC, 24-25 November 2021, University of Kurdistan, Iran. <https://civilica.com/doc/1411242> (in Persian).
- Ghorbani, Kh., Naeimi Kalourazi, Z., Salarijazi, M., & Dehghani, A.A. (2016). Estimation of monthly discharge using climatic and physiographic parameters of ungauged basins. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(3), 207-224 (in Persian).
- Ghoreishi GharahTikan, S.K., Gharechelou, S., Mahjoobi, E., Golian, S., & Salehi, H. (2022). Evaluation of available surface water resources in Qarah Tikan border basin using satellite products and GIS. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(1), 1-13 (in Persian).
- Goodarzi, M.R. Zahabiyoun, B. MassahBavani, A. and Kamal, A.R. 2012. Performance comparison of three hydrological models SWAT, IHACRES and SimHyd for the runoff simulation of Gharesou basin, *Journal of Water and Irrigation Management*. 2(1), 20-45. (In Persian).
- Green, C.H., Greensoun, J.G., Williams, J.R., Haney, R., and Harmel, R.D. (2007). Soil and water assessment tool hydrologic and water quality evaluation of poultry litter application to small scale sub watershed in Texas, *Transactions of the ASABE*, Vol. 50(4): 1199-1209
- Haque, MD., Rahman, M., Hagare1, A.D. and Kibriha, G. 2014. Parameter uncertainty of the AWBM model when applied to an ungauged catchment, *Hydrological processes hydrol.* (2014), DOI: 10.1002/hyp.10283.
- Hosseini M. (2011). Effect of Landuse Changes on Surface runoff and Suspended Sediment Yield of Taleghan Catchment, Iran. PhD Thesis, UPM University, Serdang, Malaysia.
- Hosseini M. (2014). Water balance simulation of Garahsou basin of Kermanshah province by using SWAT model. *J. atershed Eng. Manag.*, 6, 63–73 (in Persian).
- Hosseini M. and Ashraf M.A. (2015). Application of the SWAT Model for Water Components Separation in Iran. Springer, 97–98.
- Khodakhah, H., Ghorbani, K., Salarijazi, M., & Abdolhosseini, M. (2022). Monthly and seasonal runoff estimation using time series, decision tree, and multivariable linear regression. *Journal of Water and Soil Conservation*, 28(4), 27-52 (in Persian).
- Mohammadivand; M , 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*. 1759-1769 (in Persian).
- Nazari Pooya; H, Kordavani; P, Faraji Rad; A (2014). Recalibration and Performance Evaluation of IHACRES and SWAT Hydrological Models in Runoff Simulation, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, Year 2, Number 2, pp. 9112-999 (in Persian).
- Nouri; H, Ilderami; A, Naderi; M, Agha Beigi Amin; S (2017). Comparison of the effect of land use change and climate on the runoff of a small mountain watershed (case study: Green watershed), *Physical Geography Research*, Volume 50, Number 4, pp. 775-790. (in Persian).

- Parvaz; M, Shahoui; S.V (2022). Investigation Using AWBM Model for Monthly Runoff Simulation of Urmia Lake Basin in Kurdistan Province, Sonate station. *Journal of Environmental Sciences Studies*.575-856.
- Podger, G.M. 2003. Rainfall–runoff Library user guide [online]. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. Available from: www.toolkit.net.au/rrl.
- Rezaei Moghadam; M.H., Mokhtari Kashki; D, Samandar; N, ۲۰۲۲, the effect of land use change on changes in discharge and sedimentation in the Ojanchai watershed using the SWAT model in the Ojanchai watershed, *Hydrogeomorphology*, 9, 1-24(in Persian).
- Rezaei Moghadam; M.H., Mokhtari Kashki; D. Shafieimehr M. ۲۰۲۱, calibration and validation of SWAT model in simulation of runoff and sediment in the catchment area of Chai Miane city, *Geography and Planning*, 25, 129-139 (in Persian).
- Rezaie, H., Jabbari, A., Behmanesh, J., & Hessari, B.)2017(. Modelling the daily runoff of Nazloo Chai watershed at the west side of Urmia Lake. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(6), 123-141 (in Persian).
- Rostami Khalaj, M., Moghadamnia, A., Salmani, H. Sephovand, A.2016. Comparative study of the performance of AWBM, Sacramento, SimHyd, SMAR and Tank rainfall models. *Iranian Natural Ecosystems Quarterly*.
- Rostamian R., Jaleh A., Afyuni M., Mousavi S. F., Heidarpour M., Jalalian A. and Abbaspour K. C. (2008). Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. *J. Hydrol.*, 53, 977–988.
- Sayyad; D, Gazavi; R, Omidvar; E, ۲۰۲۱, Investigating the effectiveness of the SWAT model in estimating the daily discharges of basins without statistics with the zoning approach in dry areas, *Hydrogeomorphology*, 7, 161-182 (in Persian).
- Shahavi, S.V. and Porhemat J. 2018. Evaluation and comparison of two integrated AWBM and semi-distributive SWAT models in simulating the monthly runoff of Qarasu River in Kermanshah province. *Journal of environment and water engineering*.
- Sharifi, F. Namdrust, J. and Zarrin, H. 2006. Assessment the AWBM model in some sub catchments of Karoon watershed. *First Regional Conference on Optimum Utilization of Water Resources in Karoon and Zayandehrud watersheds*, 14-15 Aug. Iran. Pp. 823-832. (In Persian).
- Sommerlot A., Nejadhashemi A., Woznicki S., Giri S. and Prohaska M. (2013). Evaluating the capabilities of watershed-scale models in estimating sediment yield at field-scale. *J. Environ. Manag.*, 127, 227-236.
- Vidyarthi, V.K., & Jain, A.)2022(. Incorporating non-uniformity and non-linearity of hydrologic and catchment characteristics in rainfall–runoff modeling using conceptual, data-driven, and hybrid techniques. *Journal of Hydroinformatics*, 24(2), 350-366.
- Yonesi, H.A., yousefi, H., Arshia, A., & yarahmadi, Y.)2020(. Runoff rainfall simulation using RRL Toolkit (case study: Rahim Abad station - Silakhor Plain). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(4), 1348-1361 (in Persian).
- Yu, b. and Z. Zhu. 2015. A comparative assessment of AWBM and SimHyd for forested watersheds. *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques*, 60 (7–8) 2015 <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.961924>
- Ziyai;D, Zare Bidaki;R, Basaltpour;A. 2018. A comparative study of the role of land use on sediment production and surface runoff using a model (case study: Behesht Abad watershed). *Pasture and Watershed, Journal of Natural Resources of Iran*. Volume 72, Number 3. (in Persian).