



Research Paper

## Simulation and Determination of Hydrological Balance Components in The Upstream of Gheshlagh Dam using SWAT Model

Sonia Mehri<sup>1</sup>, Hamid Reza Moradi<sup>2</sup> and Raof Mostafazadeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D Scholar, Department of Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modarress University, Noor City, Mazandaran, Iran

<sup>2</sup>Professor, Department of Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modarress University, Noor City, Mazandaran, Iran

<sup>3</sup>Assoc. Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

### Article information

**Received:** September 03, 2022

**Revised:** January 21, 2023

**Accepted:** January 23, 2023

### Keywords:

Resource Management

SUFT-2 Algorithm

Water Balance

Watershed Hydrology

\*Corresponding author:

[hmradi@modares.ac.ir](mailto:hmradi@modares.ac.ir)



### Abstract

The aim of this study was to simulate the runoff in the upstream of Chehlgezi hydrometry station in the Gheshlagh Dam watershed, Kurdistan province using SWAT hydrological model. In addition, the results have been evaluated using selected efficiency criteria in the calibration and validation stages, then the performance of the SWAT model is evaluated in simulating the monthly runoff in upland of Gheshlagh Dam. The input model parameters were optimized using the SWAT-CUP optimizer. The calibration and validation of the model was done using SUFI-2 algorithm during 1989-2016 and 2016-2018 periods, respectively. The sensitivity analysis shows that the SCS runoff curve number, Manning's "n" value for overland flow, minimum and maximum yearly rate of snowmelt, minimum water depth in the shallow aquifer for "revap" were sensitive parameters in flow simulation. The Nash-Sutcliffe and  $R^2$  values were 0.62 and 0.65 in the calibration stage, and 0.61 and 0.68 in validation stage, respectively. The results proved the efficiency of the SWAT in monthly flow simulating. According to the results, 55% of the total rainfall entering the watershed has been converted to evapotranspiration, 30% infiltrated into soil and stored as soil moisture, and 15% converted into surface flow component. The results provide useful information on watershed water balance. Flow simulation in different climatic conditions and land-use scenarios in the future can help to sound water resources management.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



### Introduction

Heterogeneous spatio-temporal distribution of fresh water and rapid population growth have caused issues in water resources management. Therefore, mathematical models have been developed to study complex hydrological

processes. The processes related to the water cycle have relatively complex relationships, as well as very extensive and different temporal and spatial changes. Therefore, the relationship between hydrologic components and the recognition of their temporal-spatial changes in



different scales, have always been of interest to managers and researchers, especially in the watershed scale. Models as important tools provide the possibility of simulating and predicting how the water cycle changes in nature and estimating the components of the water balance. Hydrological models are used for planning the sustainable use of water resources. In addition, through model implementation, it is possible to evaluate different management scenarios without spending funds and in a short time and make the best decision for watershed management. Simulation models are the latest approaches to evaluate the environmental effects of human activities, land use, and climate changes on watershed response, therefore, the dynamics of the model can increase the capacities of the model in modelling purposes. The SWAT model as a computer-based model can be considered as one of the possible solutions to improve the water resource management and environmental protection, especially the reduction of the time required for scenario analysis. The SWAT model as a semi-physical and semi-distributed hydrological model is widely used in recent years. The aim of this study was to simulate the runoff in the upstream of Chehlgezi hydrometry station in the Geshlagh Dam watershed, Kurdistan province, Iran using SWAT hydrological model. In addition, the results have been evaluated using selected efficiency criteria in the calibration and validation stages, then the performance of the SWAT model is evaluated in simulating the monthly runoff in upland of Geshlagh Dam.

### Material and Methods

The Geshlagh dam watershed is located in Kurdistan province, northwest Iran, at a 12-km distance to Sanandaj city. There are 36 villages in the study area. The predominant land use in the area is pasture and dry agricultural land. The surface runoff of this watershed enters the Geshlagh dam reservoir through Chehlgezi and Khalifa Tarkhan rivers. Based on the division of the country's comprehensive water plan, this area is a part of the Sirvan river basin. The area of the Geshlagh dam watershed leading to the dam outlet is 1062.12 km<sup>2</sup>. Therefore, it is important to measure the spatial variability in hydrological components and to know the hydrological processes of the watershed. The modeling of large-scale watersheds causes different hydrological responses due to their complexity and heterogeneity compared to small watersheds.

To run the SWAT model, the terrain data, soil, land use, hydrological and meteorological data of the study area are needed. These data include rainfall and minimum and maximum temperature, relative humidity and wind speed on a daily time interval. Also, river flow data is needed for model calibration and validation which helps to increase simulation accuracy. In this research, the required information including soil map, land use and digital elevation model was received from the General Department of Natural Resources and Watershed Management of Kurdistan Province. Regarding the meteorological data, the daily rainfall data of three rain gauge stations of Chehlgezi, Khalife Tarkhan, and Hossein Abad and the temperature data of Sanandaj synoptic station for the period of 1987-2018 were obtained from the Regional Water Company and the website of the Meteorological Organization of Kurdistan Province. The input model parameters of SWAT model were optimized using the SWAT-CUP optimizer. The calibration and validation of the model was done using SUFI-2 algorithm during 1989-2016 and 2016-2018 periods, respectively. The second destructive debris flow happened in April 2019 through a 122 mm intense rainfall and thawing of snow. Consequently, check dams were filled with coarse grain sediments, and the Sijan stream morphology has notably changed in forms of erosional and depositional features. Filed observations indicated the high performance of check dams to control and manage flash floods and relevant debris flow and protect the village from damages.

### Results

The sensitivity analysis shows that the SCS runoff curve number, Manning's "n" value for overland flow, minimum and maximum yearly rate of snowmelt, minimum water depth in the shallow aquifer for "revap" were sensitive parameters in flow simulation. The Nash-Sutcliffe and R<sup>2</sup> values were 0.62 and 0.65 for the calibration period and 0.61 and 0.68 for the validation period, respectively. The results proved the efficiency of the SWAT in monthly flow simulating. The results of the uncertainty test in the period of calibration (1989 to 2016) and validation (2016 to 2018) of the monthly runoff at Chehlgezi hydrometric station are presented in Table 1.

Table 1 Evaluation criteria of SWAT model for the calibration and validation periods in Chelgazi hydrometry station

Variable	Calibration				Validation			
	P-factor	R-factor	R <sup>2</sup>	NS	P-factor	R-factor	R <sup>2</sup>	NS
Runoff	0.45	0.57	0.65	0.62	0.42	0.65	0.68	0.61

The rainfall and runoff water balance components of Chelgazi station are shown in Fig. 1.

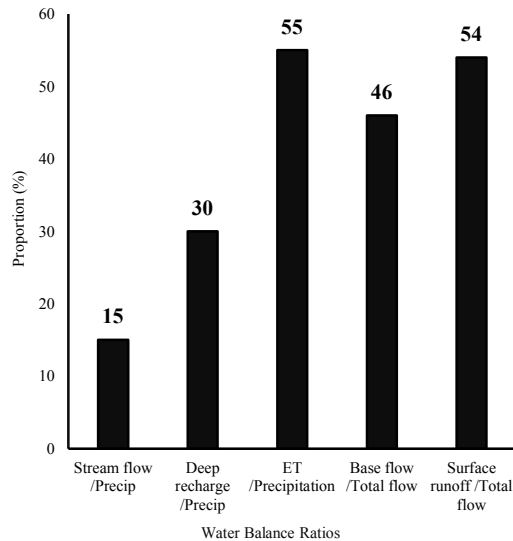


Fig. 1 The ratio of precipitation and runoff components in the water balance of Chelgazi river gauge station (1987-2018)

According to the results, 55% of the total rainfall entering the watershed has been converted to evapo-transpiration, 30% infiltrated into soil and stored as soil moisture, and 15% converted into surface flow component (Fig 1). Also, based on the results, it was found that 54% of the total runoff generated in the Chehalgezi watershed was surface runoff and 46% was converted into base flow (Fig 1). As a concluding remark, the results of the research indicate that the SWAT model has the ability to simulate the runoff of watersheds with complex and heterogeneous conditions with appropriate accuracy. It should be noted that the input data with appropriate accuracy will lead to acceptable results in river flow modeling and watershed response. Carrying out the sensitivity analysis and the appropriate calibration of the model will also have a great impact on increasing the accuracy of hydrological modeling.

## Conclusions

Despite the appropriateness of the values of the model evaluation criteria in the Gheshlagh Dam watershed, in some years the simulated flow has been overestimated or underestimated compared to the observed flow and the base flow has been underestimated in some years, while there is no specific trend in the results. These inconsistencies between the simulated and observed flow are related to the complex nature of the dominant hydrological processes in the region, as well as human activities and interventions in the hydrological cycle in the study area. The results provide useful information on watershed water balance. The Gheshlagh dam watershed is of vital importance in terms of supplying drinking water to the city of Sanandaj as well as irrigation of the lands downstream of the dam. Also, the occurrence of land use change in the study area as well as the effects of climate change are some of the driving forces that make it necessary to estimate the changes in the river regime in this area. Flow simulation in different climatic conditions and land-use scenarios in the future can help to sound water resources management.

## Acknowledgment

The meteorological and hydrometric data of the current research were received from the Regional Water Company of Kurdistan Province, which greatly appreciated.

## Data Availability

The daily discharge data were obtained from the Regional Water Company of Kurdistan province and some data used (or produced) in this research are presented in the text of the article.

## Conflicts of interest

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



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

مقاله پژوهشی

## شبیه سازی و تعیین مؤلفه های رواناب در بالادست سد قشلاق با استفاده از مدل SWAT

سونیا مهری<sup>۱</sup>، حمیدرضا مرادی<sup>۲\*</sup> و رؤف مصطفی زاده<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، شهرستان نور، مازندران، ایران

<sup>۲</sup> استاد، گروه علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، شهرستان نور، مازندران، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۶/۱۲]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۱۱/۰۱]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۱۱/۰۳]

### واژه های کلیدی:

الگوریتم SUFI-2

بیان آب

مدیریت منابع

هیدرولوژی آبخیز

### \*نویسنده مسئول:

[hmradi@modares.ac.ir](mailto:hmradi@modares.ac.ir)


هدف این پژوهش ارزیابی کارایی مدل SWAT در شبیه سازی جریان و تعیین مؤلفه های رواناب در آبخیز سد قشلاق است. با استفاده از بهینه ساز SWAT-CUP اقدام به بهینه سازی پارامترها شد. بدین منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از الگوریتم SUFI-2 به ترتیب برای سال های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶ و ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ انجام شد. براساس نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای از جمله، شماره منحنی رواناب، ضریب مانینگ برای جریان سطحی در بالادست، حداقل و حداکثر ذوب برف در طول سال، کمینه عمق آب بیشترین تأثیر را در کارایی مدل در شبیه سازی جریان داشتند. نتایج نشان داد که مقدار NS و ضریب  $R^2$  به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۶۵ برای دوره واسنجی و ۰/۶۱ و ۰/۶۸ برای دوره اعتبارسنجی به دست آمد. نتایج حاکی از کارایی بالایی مدل در شبیه سازی جریان ماهانه حوضه سد قشلاق است. نتایج نشان داد که از مجموع بارش ورودی، مقدار ۵۵٪ بارش صرف تبخیر و تعرق، ۳۰٪ تبدیل به نفوذ عمقی و مقدار ۱۵٪ به جریان سطحی تبدیل شده است. نتایج این پژوهش می تواند ضمن ارائه اطلاعات مفیدی در مورد بیان آبی حوضه، کارایی مدل SWAT را در شبیه سازی جریان در شرایط مختلف اقلیمی و کاربری اراضی در آینده فراهم نموده و به برنامه ریزی دقیق تر منابع آب، در این حوضه کمک نماید.

### ۱- مقدمه

توجه مدیران و محققین بوده است (Mehri et al. 2017). یکی از مهم ترین و در عین حال پیچیده ترین فرآیندها در حوزه های آبخیز شناخت و پیش بینی تغییرات آب سطحی است (Zorratipour et al. 2021; Naseri et al. 2018).

فرآیندهای مرتبط با چرخه آب در طبیعت دارای ارتباطات نسبتاً پیچیده و هم چنین تغییرات زمانی و مکانی بسیار گسترده و متفاوتی هستند. به طوری که همواره شناخت تغییرات زمانی-مکانی آن ها در مقیاس حوزه آبخیز مورد



در این زمینه مدل‌ها از مهم‌ترین ابزارهایی هستند که امکان شبیه‌سازی و پیش‌بینی چگونگی تغییرات چرخه آب در طبیعت و برآورد مؤلفه‌های بیلان آب را مهیا می‌سازند (Kundu et al. 2017). در همین راستا، استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک<sup>۱</sup> یا مدل‌های رایانه‌ای دیگر به دلیل کاهش هزینه عملیات میدانی، به‌ویژه کاهش زمان موردنیاز برای تحلیل مسائل، می‌تواند جزء راهکارهای ممکن به‌منظور ارتقای سطح مدیریت منابع آب و حفظ محیط‌زیست قلمداد شود. مدل‌های هیدرولوژیکی متعددی با هدف شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه مورد استفاده قرار گرفته است. در برخی مطالعات صورت گرفته، نتایج حاصل از شبیه‌سازی رواناب و رسوب مدل SWAT با دیگر مدل‌ها مانند مدل برآورد آلاینده‌های غیر نقطه‌ای کشاورزی با شبکه عصبی مصنوعی<sup>۲</sup>، اچ اس پی اف<sup>۳</sup>، اکهارت<sup>۴</sup> مقایسه شده است که نتایج، دلالت بر برتری نسبی این مدل دارد (Golshan et al. 2015, Teshager et al. 2016, Parajuli et al. 2009). مدل SWAT به اطلاعات ویژه‌ای در مورد آب و هوا، ویژگی‌های خاک، پوشش گیاهی و عملیات مدیریت زمین نیازمند است که در حوضه آبخیز رخ می‌دهد. هم‌چنین SWAT قابلیت ارائه نتایج در بازه‌های زمانی سالانه، ماهانه، روزانه و ساعتی را نیز دارا است. (Aghakhani et al. 2019; Abbaspour et al. 2015; Heidary et al. 2020). مطالعات مختلفی در این خصوص انجام شده است از جمله (Duan et al. 2009) در رودخانه چائوهی<sup>۵</sup> چین به برآورد رواناب با استفاده از مدل SWAT پرداختند. ضریب نش-ساتکلیف و ضریب تعیین، در شبیه‌سازی دبی جریان به‌ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۹۳ برای دوره واسنجی، هم‌چنین این ضرایب برای دوره اعتبارسنجی رواناب ۰/۵۱ و ۰/۷۸ به‌دست آمد. مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده است از جمله: (Tyagi et al. 2014) کاربرد مدل SWAT را در شبیه‌سازی دبی و رسوب حمل‌شده در دو حوضه در هند مورد بررسی قرار دادند. واسنجی و اعتبارسنجی مدل نشان داد که مدل توانایی بسیار خوبی در شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه دارد و می‌توان با استفاده از این مدل

سناریوهای مدیریتی مختلف را در حوضه مورد مطالعه قرار داد. (Fukunaga et al. 2015) کارایی مدل SWAT را در حوضه آبخیز ایتامپرمیریم<sup>۶</sup> از مناطق استوایی برزیل ارزیابی نمودند. نتایج ارزیابی این محققان نشان داد که مدل در واسنجی اولیه به جریان پایه بسیار حساس است. (Das et al. 2019) به ارزیابی عملکرد مدل SWAT در حوضه رودخانه گمتی<sup>۷</sup> در هند پرداختند. به‌طوری‌که مقادیر ضریب  $R^2$  و NS در دوره واسنجی به‌ترتیب معادل ۰/۸۷ و ۰/۸۵ و برای دوره اعتبارسنجی ۰/۷۹ و ۰/۷۶ محاسبه شد. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که مدل SWAT هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی عملکرد خوبی در شبیه‌سازی رواناب داشته است. (Zuo et al. 2016) تأثیر تغییرات اقلیم و کاربری اراضی بر روی رواناب و رسوب حوضه رودخانه فلات لس<sup>۸</sup> در کشور چین را با استفاده از مدل SWAT مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه حاکی از کاهش رواناب و رسوب سالانه در این حوضه در نتیجه تغییرات بارندگی، درجه حرارت و تغییرات کاربری اراضی است. (Kumar Himanshu et al. 2017) بیلان آب در رودخانه هند را با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند، که نتایج بیلان برآورد شده ۴۴/۶٪ از بارش سالانه را به تبخیر-تعرق اختصاص داده است و سهم رواناب و نفوذ به آبخوان عمیق به‌ترتیب ۷/۳۴ و ۵/۱۹٪ بود. (Fatehi et al. 2018) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT اقدام به شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه در حوضه روانسر سنجایی استان کرمانشاه کردند. نتایج نشان داد که مدل SWAT هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی دارای نتایج قابل‌قبولی در شبیه‌سازی رواناب ماهانه است. به‌طوری‌که مقادیر در دوره واسنجی به‌ترتیب معادل ۰/۷ و ۰/۸۰ و برای دوره اعتبارسنجی ۰/۸۱ و ۰/۹ محاسبه شد. (Nasiri et al. 2020) کاربرد مدل SWAT را در شبیه‌سازی جریان حوضه سملقان با مساحت ۱۱۴۸ km<sup>2</sup> بررسی کردند. نتایج نشان داد که مقدار شاخص نش-ساتکلیف و ضریب  $R^2$  در محدود ۰/۶۵ تا ۰/۸۰ برای دوره واسنجی و ۰/۴۰ تا ۰/۶۵ در دوره اعتبارسنجی است. (Diriba 2021) به ارزیابی کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب سطحی رودخانه دابوس در کشور اتیوپی پرداخت. نتایج ضرایب آماری  $R^2$  و NS در

در این زمینه مدل‌ها از مهم‌ترین ابزارهایی هستند که امکان شبیه‌سازی و پیش‌بینی چگونگی تغییرات چرخه آب در طبیعت و برآورد مؤلفه‌های بیلان آب را مهیا می‌سازند (Kundu et al. 2017). در همین راستا، استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک<sup>۱</sup> یا مدل‌های رایانه‌ای دیگر به دلیل کاهش هزینه عملیات میدانی، به‌ویژه کاهش زمان موردنیاز برای تحلیل مسائل، می‌تواند جزء راهکارهای ممکن به‌منظور ارتقای سطح مدیریت منابع آب و حفظ محیط‌زیست قلمداد شود. مدل‌های هیدرولوژیکی متعددی با هدف شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه مورد استفاده قرار گرفته است. در برخی مطالعات صورت گرفته، نتایج حاصل از شبیه‌سازی رواناب و رسوب مدل SWAT با دیگر مدل‌ها مانند مدل برآورد آلاینده‌های غیر نقطه‌ای کشاورزی با شبکه عصبی مصنوعی<sup>۲</sup>، اچ اس پی اف<sup>۳</sup>، اکهارت<sup>۴</sup> مقایسه شده است که نتایج، دلالت بر برتری نسبی این مدل دارد (Golshan et al. 2015, Teshager et al. 2016, Parajuli et al. 2009). مدل SWAT به اطلاعات ویژه‌ای در مورد آب و هوا، ویژگی‌های خاک، پوشش گیاهی و عملیات مدیریت زمین نیازمند است که در حوضه آبخیز رخ می‌دهد. هم‌چنین SWAT قابلیت ارائه نتایج در بازه‌های زمانی سالانه، ماهانه، روزانه و ساعتی را نیز دارا است. (Aghakhani et al. 2019; Abbaspour et al. 2015; Heidary et al. 2020). مطالعات مختلفی در این خصوص انجام شده است از جمله (Duan et al. 2009) در رودخانه چائوهی<sup>۵</sup> چین به برآورد رواناب با استفاده از مدل SWAT پرداختند. ضریب نش-ساتکلیف و ضریب تعیین، در شبیه‌سازی دبی جریان به‌ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۹۳ برای دوره واسنجی، هم‌چنین این ضرایب برای دوره اعتبارسنجی رواناب ۰/۵۱ و ۰/۷۸ به‌دست آمد. مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده است از جمله: (Tyagi et al. 2014) کاربرد مدل SWAT را در شبیه‌سازی دبی و رسوب حمل‌شده در دو حوضه در هند مورد بررسی قرار دادند. واسنجی و اعتبارسنجی مدل نشان داد که مدل توانایی بسیار خوبی در شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه دارد و می‌توان با استفاده از این مدل

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

<sup>2</sup>Annualized Agricultural Non-Point Source, Ann AGNPS

<sup>3</sup>Hydrologic Simulation Program Fortran, HSPF

<sup>4</sup>Identification of Hydrographs and Components for Rainfall, Evapotranspiration and Stream Flow, IHACRES

<sup>5</sup>Chaohe

<sup>6</sup>Itamperrim

<sup>7</sup>Gomti

<sup>8</sup>Loess Plateau



بررسی نتایج با استفاده از شاخص‌های آماری منتخب در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی می‌باشد. سپس با بررسی نتایج و شاخص‌های آماری میزان توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری چل‌گری مورد ارزیابی قرار گرفت.

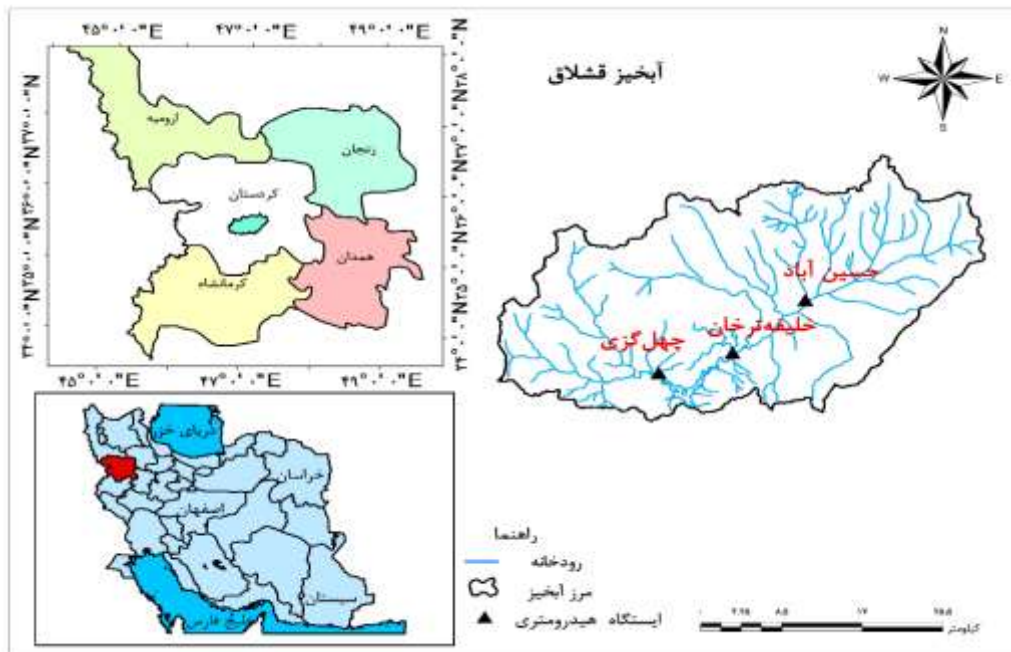
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سد قشلاق در استان کردستان و در شمال غربی ایران در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال شهر سنندج واقع شده است. این حوضه بین مختصات  $46^{\circ} 46'$  تا  $47^{\circ} 20'$  طول جغرافیایی شرقی و  $35^{\circ} 24'$  تا  $35^{\circ} 43'$  عرض جغرافیایی شمالی قرار دارد که ۳۶ روستا را در برمی‌گیرد. رواناب‌های سطحی این حوضه از طریق دو رودخانه اصلی چل‌گری و خلیفه‌ترخان وارد دریاچه سد قشلاق می‌شود. این منطقه براساس تقسیم‌بندی طرح جامع آب کشور، بخشی از حوزه آبخیز رودخانه مرزی سیروان است که در شمال و شرق آن واقع شده است. مساحت حوزه آبخیز سد قشلاق منتهی به خروجی سد،  $1062/12 \text{ km}^2$  است. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز سد قشلاق در ایران و استان کردستان، در شکل (۱) نمایش داده شده است.

دوره واسنجی  $0/82$ ،  $0/70$  و دوره اعتبارسنجی  $0/78$  و  $0/71$  به‌دست آمدند. نتایج نشان داد که مدل SWAT دارای عملکرد قابل‌قبولی در شبیه‌سازی رواناب سطحی است. Zeiaei et al. (2021) در حوضه آبریز اهل ایمان با مساحت  $7771 \text{ ha}$  تغییرات روند هیدرولوژیکی جریان با سناریو و تغییر کاربری اراضی واقع در قسمت غربی استان اردبیل با استفاده از مدل SWAT بررسی نمودند. نتایج ضرایب آماری  $R^2$  و NS در دوره واسنجی  $0/75$ ،  $0/71$  و دوره اعتبارسنجی  $0/71$  و  $0/68$  به‌دست آمدند که حاکی از عملکرد قابل‌قبول مدل در شبیه‌سازی رواناب است.

با توجه به اینکه حوضه سد قشلاق، از نظر تأمین آب شرب شهر سنندج و نیز آبیاری اراضی پایین‌دست سد مذکور دارای اهمیت حیاتی است. هم‌چنین وجود سابقه تغییر کاربری اراضی در محدود مذکور و نیز اثرات ناشی از تغییرات اقلیمی از مواردی است که برآورد تغییرات رژیم رودخانه را در این منطقه ضروری نموده است. در این پژوهش در همین راستا، از نرم‌افزار SWAT برای مدل‌سازی حوزه آبخیز قشلاق واقع در شمال غرب کردستان که یکی از مهم‌ترین منابع آب استان کردستان است، استفاده شد. هدف از این پژوهش شبیه‌سازی رواناب در محدود بالادست ایستگاه هیدرومتری چل‌گری در حوزه آبخیز سد قشلاق در استان کردستان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT و هم‌چنین ارزیابی و

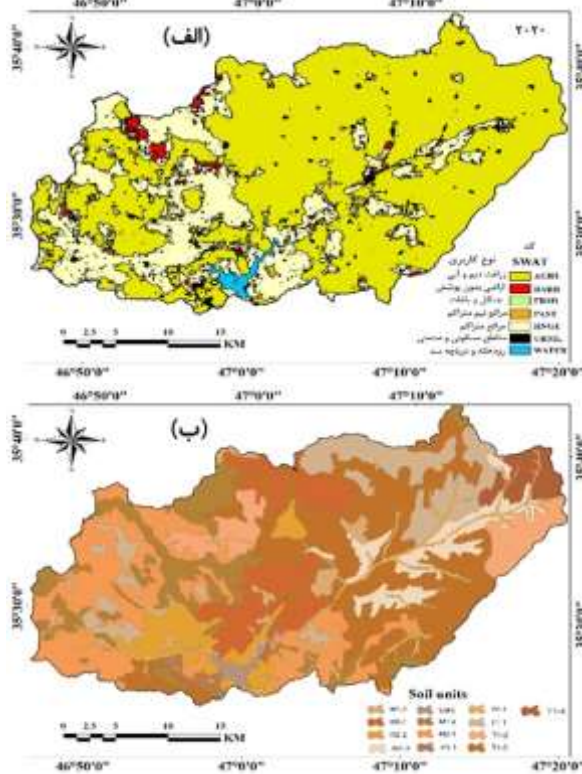


شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز سد قشلاق در ایران و استان کردستان

Fig. 1 The location of the Gheslagh dam watershed in Kurdistan province, Iran

## ۲-۲- مدل SWAT

مسکونی در مدل ArcSWAT کاربری‌های مشابه موجود در جداول ArcSWAT، جهت معرفی خصوصیات هر کاربری به صورت کدهای چهار حرفی استفاده شد. به‌طور کلی کاربری‌های اراضی منطقه به هفت گروه شامل مراتع، نیمه‌متراکم، مراتع متراکم (همراه با بوته‌زار و درختچه)، جنگل دست‌کاشت و باغات، زراعت آبی و دیم، رودخانه و دریاچه سد، مناطق مسکونی و صنعتی، اراضی بدون پوشش و تأسیسات تقسیم شدند.



شکل ۲- الف- نقشه کاربری اراضی و ب- اجزای واحدهای اراضی خاک در حوضه سد قشلاق

Fig. 2 a) Land use map and b) Land use map in Gheshlagh dam basin

## ۴-۲- اجرای مدل

مدل SWAT قابلیت اتصال به سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارد. هم‌چنین نرم‌افزار ArcSWAT یک رابط گرافیکی برای مدل SWAT می‌باشد. در این مدل ابتدا از روی نقشه مدل رقومی ارتفاع، حوزه آبخیز اصلی به تعدادی زیرحوضه تقسیم می‌شود (Ghafari and Gorji, 2021; Nasiri et al. 2020). برای شروع کار با مدل SWAT، ابتدا مدل ارتفاع رقومی به افزونه ArcSWAT 2012 در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 معرفی و با تعریف مرز حوضه و شبکه آبراهه زیر حوضه‌ها تعیین شد. با تعیین محل ایستگاه هیدرومتری چل-گزی به‌عنوان خروجی حوضه، پنج زیر حوضه تفکیک شد.

مدل SWAT، یک مدل حوضه‌ای، نیمه‌توزیعی و پیوسته-زمانی است. این مدل، برای پیش‌بینی تأثیر مدیریت اراضی بر هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز پیچیده و بزرگ با خاک، کاربری اراضی و شرایط مختلف مدیریتی طراحی شده است. کوچک‌ترین واحد کاری در این مدل، واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (HRUs)<sup>۱</sup> است. هر یک از این واحدها ترکیب منحصر به فرد از کاربری زمین، خاک و شیب در زیر حوضه است (Arnold et al. Rezaei moghaddam et al. 2021). مطابق با هدف پژوهش و هم‌چنین مطالعات پیشین (2012)، در این پژوهش برای تخمین رواناب سطحی و برآورد دبی رواناب خروجی به‌صورت ماهانه از روش شماره منحنی مطابق رابطه (۱) در مدل SWAT استفاده شد.

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.25)^2}{(R_{day} + 0.85)} \quad (1)$$

که،  $Q_{surf}$  رواناب سطحی (mm)،  $R_{day}$  عمق بارش روزانه (mm)، و  $S$  پارامتر نگهداشت رطوبت (mm) است.

## ۳-۲- آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی و داده‌ها

برای آماده‌سازی و اجرای مدل SWAT نیاز به نقشه و اطلاعات مدل ارتفاع رقومی، خاک، کاربری اراضی، داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی از جمله بارندگی و دمای حداقل و حداکثر در مقیاس روزانه، رطوبت نسبی و سرعت باد است. هم‌چنین داده‌های دبی جریان به‌منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل نیز به افزایش دقت پیش‌بینی کمک می‌کند. در این پژوهش، به‌منظور شبیه‌سازی حوضه، اطلاعات مورد نیاز از جمله نقشه خاک، کاربری اراضی و مدل رقومی ارتفاع از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان دریافت شد. در شکل (۲) نقشه‌های کاربری اراضی، نقشه اجزاء واحد اراضی خاک نشان داده شده است (Gaffari (2018). در بخش هواشناسی نیز، داده‌های بارش روزانه سه ایستگاه باران‌سنجی چل‌گزی، خلیفه‌ترخان و حسین‌آباد و داده‌های دما مربوط به ایستگاه سینوپتیک سنندج برای دوره زمانی ۲۰۱۸-۱۹۸۷ از شرکت آب منطقه‌ای و سایت سازمان هواشناسی استان کردستان اخذ و در شبیه‌سازی استفاده شد (جدول ۱). با توجه به وجود انواع کاربری‌ها و جداول کامل خصوصیات انواع کاربری‌های و پوشش‌های گیاهی مانند گیاهان زراعی، مرتعی، علوفه‌ای، درختان میوه و اراضی و

<sup>1</sup>Hydrologic Response Units

جدول ۱ - مشخصات ایستگاه‌های سینوپیتک، باران‌سنجی و هیدرومتری حوضه سد قشلاق

Table 1 Specifications sinopitec, rain gauge and hydrometric stations of the Gheshlagh dam basin

Station Name	Station Type	Longitude	Latitude	Height(m)	Statistical period
Sanandaj	Sinopitec	47-0	20-35	1373/4	2018-1987
Chelgazi		57-46	27-35	1567	1397-1361
Khalifetarkhan		0-47	29-35	1600	1397-1352
Hossein-Abad	Hydrometric	07-47	33-35	1687	1397-1371
Chelgazi		46-57	27-35	1567	1397-1361
Khalifetarkhan		0-47	29-35	1600	1397-1352

#### ۲-۴-۱- تعیین HRUs

با ترکیب سه نقشه کاربری اراضی، نوع خاک و نقشه رقومی ارتفاع و طبقه‌بندی شیب زیرحوضه‌ها نیز به واحدهای کوچکتری تقسیم می‌شوند که به هر کدام از این واحدها یک واحد هیدرولوژیکی گفته می‌شود (Neitsch et al. 2011; Abbaspour et al. 2015). در مرحله بعد، به منظور تعیین HRUs حوضه، نقشه خاک در ۱۳ طبقه، نقشه کاربری اراضی حوضه با هفت طبقه و نقشه شیب با پنج طبقه به صورت ۰-۳، ۳-۸، ۸-۱۵، ۱۵-۲۵ و بیش‌تر از ۲۵ به مدل معرفی و حوضه به ۱۰۴ HRUs تقسیم شد.

#### ۲-۴-۲- اطلاعات هواشناسی ورودی مدل

بعد از تهیه نقشه HRUs، در بخش اقلیم داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی و دمای حداکثر و حداقل از ایستگاه سینوپیتک تهیه شدند. در ادامه، داده‌های به‌دست آمده طبق فرمت مدل به تاریخ میلادی تهیه و در بخش ایستگاه‌های هواشناسی منطقه نیز به مدل معرفی شدند و مدل برای دوره زمانی ۲۰۱۸-۱۹۸۷ اجرا شد. دوره واسنجی و اعتبارسنجی داده‌های ماهانه رواناب به‌ترتیب برای سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶ و سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ انتخاب شد. لازم به ذکر است که دو سال ابتدایی دوره آماری برای آموزش مدل در نظر گرفت شد (Rezaei Moghaddam et al. 2021). در این پژوهش از روش شماره منحنی، هارگریوز<sup>۱</sup> و ماسکینگام<sup>۲</sup> به‌ترتیب برای محاسبه رواناب سطحی، تبخیر و تعرق و روندیابی جریان رودخانه استفاده شد. هم‌چنین جهت اطمینان از صحت عملکرد مدل در تعیین وضعیت سطح ایستابی سفره‌های زیرزمینی حوضه، اقدام به بررسی منطقه از نظر میزان و محل آبدی برخی از چاه‌ها و چشمه‌های مهم شد و آبدی چشمه‌ها و چاه‌ها در مدل به‌وسیله افزایش دادن

تخلیه سفره آب زیرزمینی (کاهش پارامتر حداقل ذخیره آب زیرزمینی برای تولید جریان پایه) به‌صورت جریان پایه در نظر گرفت شد. لازم به ذکر است که مخزن سد قشلاق در پایین‌دست حوضه و بعد از ایستگاه هیدرومتری چهل‌گزی قرار گرفته است، از این‌رو در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل آب خروجی سد دخالت داده نشد (Gaffari 2018).

۲-۵- آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل  
به‌منظور آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی SWAT، از الگوریتم SUFI-2 (Sao et al. 2015; Abbaspour et al. 2021) استفاده شد. الگوریتم نیمه‌خودکار SUFI-2 یک مدل معکوس است و داده‌های خروجی مدل SWAT را به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند و مقدار بهینه پارامترهای مؤثر در واسنجی را برآورد می‌نماید. این الگوریتم، برای ارزیابی عدم قطعیت از دو معیار P-factor و R-factor استفاده می‌کند. شرایط ایده‌آل در یک شبیه‌سازی زمانی است که P-factor به یک و R-factor به صفر نزدیک شود (Shahoei et al. 2018; Abbaspour 2009).

در ادامه، به‌منظور آنالیز حساسیت پارامترهای مدل، با توجه به منابع مختلف (Rezaei Moghaddam et al. 2021; Tang et al. 2021) اقدام به انتخاب پارامترهای مؤثر بر دبی در منطقه مورد مطالعه شد. سپس آنالیز حساسیت به روش کلی بر روی ۲۶ پارامتر انتخاب‌شده برای انجام شد. تعداد ۲۳ پارامتر حساس براساس نقش و اهمیت این عوامل در ایجاد و تولید رواناب مشخص شد. در بخش واسنجی مدل، آمار شبیه‌سازی‌شده رواناب در سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶ با آمار مشاهده‌ای ایستگاه هیدرومتری چل-گزی (در همین سال‌ها) واسنجی شد. پس از اجرای واسنجی مدل، از داده‌های مشاهداتی سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. در نهایت برای به‌دست

<sup>1</sup>Warm up<sup>2</sup>Hargreaves<sup>3</sup>Muskingum<sup>4</sup>GWQMN



ضریب NS ارائه شده است (Mostafazadeh et al. 2017; Zeiaei et al. 2021).

$$R^2 = \frac{\sum_i^n Q_{obs} - Q_{sim}}{\sqrt{\sum_i^n Q_{obs}^2 \cdot \sum_i^n Q_{sim}^2}} \quad (2)$$

$$NS = 1 - \left[ \frac{\sum_i^n (Q_{sim_i} - Q_{obs_i})^2}{\sum_i^n (Q_{obs_i} - Q_{avg_i})^2} \right] \quad (3)$$

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل

برای واسنجی، و آنالیز حساسیت و اعتبارسنجی مدل SWAT از نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شد. نتایج آنالیز حساسیت و واسنجی با استفاده از مدل SUFI-2 نشان می‌دهد که مدل نسبت به ۲۳ پارامتر حساسیت بیشتری دارد. در نتیجه از این پارامترها برای واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد که در جدول (۲) نشان داده شده است.

آوردن بهترین واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT از دو شاخص آماری،  $R^2$  و ضریب NS استفاده شد. مقدار ضریب نش-ساتنکلیف از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است. هرچه این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد، مدل از کارایی بالاتری برخوردار است، در روابط (۲) و (۳) نحوه محاسبه  $R^2$  و  $Q_{sim_i}$  = دبی شبیه‌سازی شده، که در آن‌ها  $n$  = تعداد داده‌ها،  $Q_{obs_i}$  = دبی مشاهده‌ای و  $Q_{avg}$  = متوسط دبی مشاهده‌ای در مدت‌زمان شبیه‌سازی است. ضریب  $R^2$  نشان می‌دهد که خط رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای تا چه میزان به حداکثر مقدار هماهنگی بین این دو سری مقدار نزدیک است و از ۰ تا ۱ متغیر است. Moriasi et al. (2007) پیشنهاد می‌کنند که مقادیر NS بهتر است بزرگ‌تر از ۰/۵ باشد تا بتواند در مقیاس ماهانه، نتایج مدل برای مطالعات هیدرولوژیک و هم‌چنین شبیه‌سازی فرایندهای مرتبط قابل‌قبول منظور شوند.

جدول ۲- مقادیر حد بالا و پایین و بهینه محدود پارامترها در مرحله شبیه‌سازی رواناب زیرحوضه چل‌گری

Table 2 The optimum values of the parameters in the simulation of runoff in sub basin Chelgazi

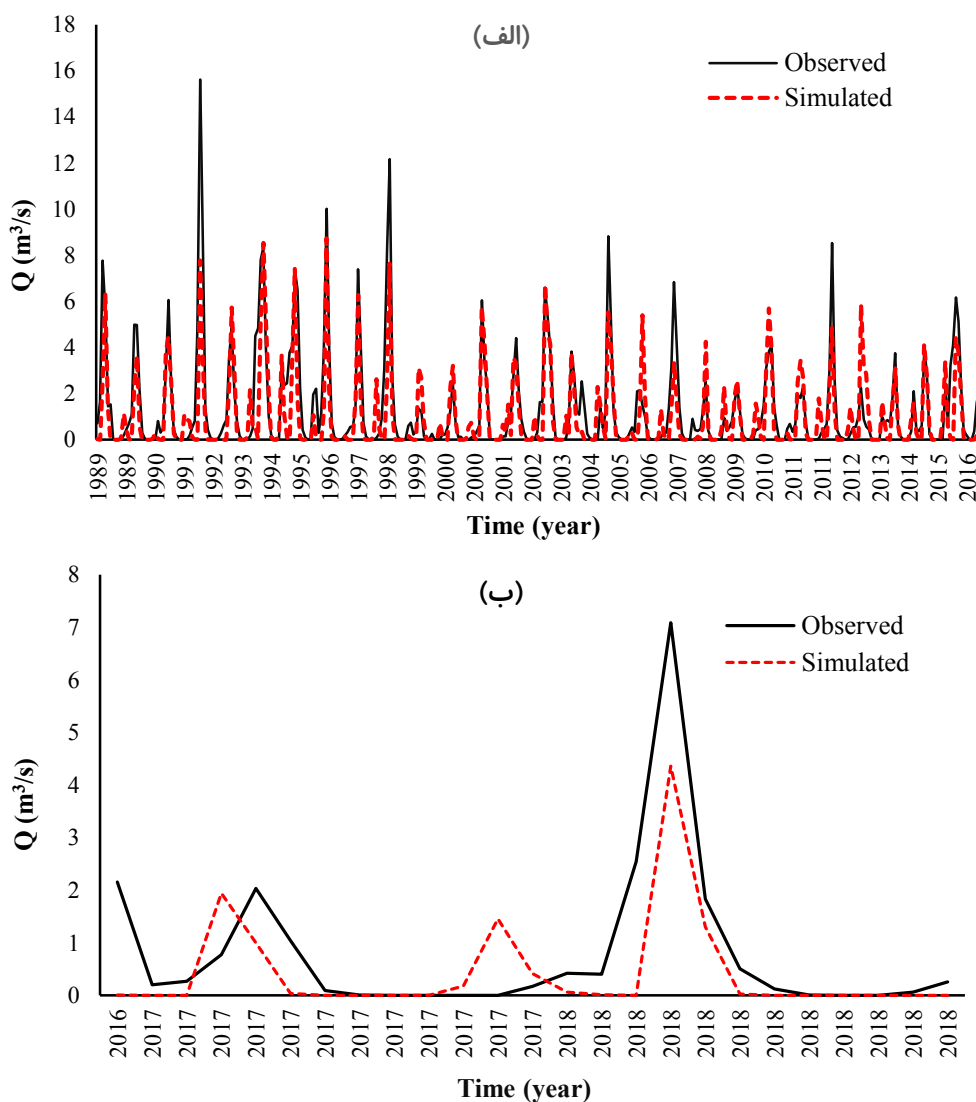
No	Parameter	Parameter name	Lower limit	Upper limit	Best Values
1	CN2.mgt	SCS runoff curve number	-0.400	0.400	0.253
2	ALPHA_BF.gw	Base flow alpha factor	0.777	0.895	0.826
3	SFTMP.bsn	Snowfall temperature	9.05	11.29	10.81
4	SMFMX.bsn	Maximum melt rate for snow during year	4.836	6.957	6.003
5	SMFMN.bsn	Minimum melt rate for snow during the year	0.048	0.580	0.181
6	GW_DELAY.gw	Groundwater delay	261.25	266.69	264.06
7	GW_REVAP.gw	Groundwater "revap" coefficient	0.151	0.188	0.171
8	RCHRG_DP.gw	Deep aquifer percolation fraction	0.797	0.851	0.823
9	ESCO.bsn	Soil evaporation compensation factor	0.773	0.936	0.879
10	SOL_K.sol	Saturated hydraulic conductivity	0.486	0.528	0.513
11	SOL_AWC.sol	Available water capacity of the soil layer	0.153	0.167	0.159
12	GWQMN.gw	Threshold depth of water in the shallow aquifer	0.001	0.244	0.200
13	HRU_SLP.hru	Average slope steepness	-0.788	-0.716	-0.731
14	OV_N.hru	Manning's "n" value for overland flow	3.262	5.573	4.379
15	SMTMP.bsn	Snow melt base temperature	-5.949	-4.550	-5.833
16	PLAPS.sub	Precipitation lapse rate	330.96	338.86	337.41
17	SURLAG.bsn	Surface runoff lag coefficient	2.731	13.45	11.84
18	SLSUBBSN.hru	Average slope length	68.21	150.78	91.61
19	RFINC.sub	Rainfall adjustment	0.92	2.78	2.50
20	REVAPMN.gw	Threshold depth of water in the shallow aquifer for "revap" to occur	33.51	101.48	77.69
21	LAT_TTIME.hru	Lateral flow travel time	75.31	180.00	115.44
22	CH_S2.rte	Average slope of main channel	-0.001	6.15	1.94
23	TMPINC.sub	Temperature adjustment	0.00	1.16	0.87

در جدول (۲)  $I$  و  $V$  کدهایی هستند که نوع تغییراتی را که برای پارامتر به کار برده می‌شود تعیین می‌کنند.  $V$  به این معنی است که مقدار پارامتر با مقدار جدید جایگزین شود و  $I$  یعنی مقدار پارامتر در (مقدار جدید +) ضرب شود.

مطابق با جدول (۲) تحلیل حساسیت پارامترها نشان داد که مدل به پارامترهای شماره منحنی رواناب به روش SCS، عمق آستانه آب در آبخوان عمیق، ضریب مانینگ برای جریان سطحی در بالادستی، کمینه میزان ذوب برف در طول

درصد نفوذ به سفره آب زیرزمینی عمیق، کمینه عمق آب سفره کم عمق برای شروع جریان برگشتی، هدایت هیدرولیکی مؤثر در آبراهه اصلی و نرخ کاهش دما را به عنوان پارامترهای حساس معرفی نمودند. همچنین نتایج این پژوهش در خصوص پارامتر شماره منحنی رواناب به روش SCS، به عنوان پارامتر حساس با پژوهش‌های قبلی مانند Shirzadi et al. (2018) و Ghaffari (2018) در حوزه آبخیز سد قشلاق مطابقت دارد. نتایج حاصل از واسنجی در دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶ و اعتبارسنجی در دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ ماهانه رواناب در ایستگاه هیدرومتری چل‌گری در شکل (۳) ارائه شده است.

سال، بیشینه میزان ذوب برف در طول سال، کمینه عمق آب در سفره کم عمق برای شروع تبخیر، به ترتیب حساسیت بیشتری نسبت به سایر پارامترها دارند، در حالی که، در پژوهش‌های Nasiri et al. (2020) در حوزه آبخیز سلمقان پارامترهای درصد نفوذ به سفره آب زیرزمینی عمیق، عمق آستانه آب در آبخوان عمیق، عامل آلفا جریان پایه، آب قابل دسترس خاک و شماره منحنی رواناب به روش SCS و Gholami et al. (2017) در ارزیابی کارایی مدل نیمه‌توزیعی SWAT در شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای، حوزه آبخیز تالار پارامترهای شماره منحنی رواناب به روش SCS، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، زمان تأخیر برای تغذیه آبخوان،



شکل ۳- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی ماهانه رواناب در ایستگاه هیدرومتری چل‌گری (الف) واسنجی (ب) اعتبارسنجی  
Fig 3. The results of monthly calibration and validation of the runoff in Chelgazi hydrometric station a) Calibration b) Validation

نتایج آزمون مدل در دوره واسنجی (سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶) و اعتبارسنجی (سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸) ماهانه رواناب در ایستگاه هیدرومتری چل‌گری، در جدول (۳) ارائه شده است. در محدود مطالعاتی سد قشلاق با توجه به وجود ایستگاه

معیارهای ضریب تعیین و ضریب نش-ساتکلیف، P-factor و R-factor مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش از ضرایب NS و R<sup>2</sup> بزرگ‌تر از ۰/۵ به‌عنوان استاندارد قابل‌قبول بودن شبیه‌سازی‌ها استفاده شد (Abbaspour 2009).

جدول ۳- معیارهای ارزیابی مدل SWAT در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در ایستگاه هیدرومتری چل‌گری

Table 3 Evaluation criteria of SWAT model for the calibration and validation periods in Chelgazi hydrometry station

Runoff	Calibration				Validation			
	P-factor	R-factor	R <sup>2</sup>	NS	P-factor	R-factor	R <sup>2</sup>	NS
	0.45	0.57	0.65	0.62	0.42	0.65	0.68	0.61

شرایط پیچیده و ناهمگن را با دقت مناسب دارا است. البته به‌شرط اینکه داده‌های ورودی با دقت مناسب در مدل‌سازی استفاده شوند و نیز دقت و توجه کافی در واسنجی مدل صورت گیرد تا مدل هر چه بیش‌تر معرف شرایط واقعی حوضه باشد. این مطالعه اطلاعات مفیدی را در مورد جریان رودخانه حوضه سد قشلاق فراهم نموده و به برنامه‌ریزی دقیق‌تر پروژه‌های منابع آب کمک می‌نماید. براساس نتایج، مدل SWAT می‌تواند در پیش‌بینی تغییرات جریان رودخانه ناشی از تغییر کاربری اراضی مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، پیش‌بینی تغییرات هیدرولوژی با اعمال سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی از دیگر مواردی است که می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد.

### ۳-۲- بیان آبی

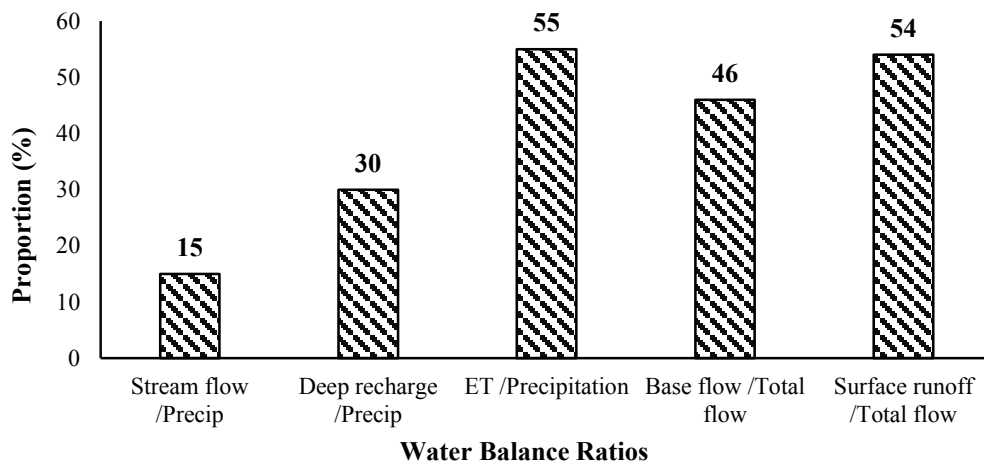
نسبت مؤلفه‌های بارش و رواناب در بیان آبی ایستگاه چل-گری واقع در حوزه آبخیز سد قشلاق در شکل (۴) ارائه شده است. بعد از واسنجی مدل، نتایج بیان آبی در ایستگاه چل-گری مطابق شکل (۴) نشان داد که از مجموع بارندگی ورودی به حوضه، مقدار ۵۵٪ از بارش صرف تبخیر و تعرق، ۳۰٪ تبدیل به نفوذ عمقی و ذخیره رطوبت خاک و مقدار ۱۵٪ به جریان سطحی تبدیل شده است. نتایج ارائه شده با یافته‌های مطالعات (Kumar Himanshu et al. (2017) و Zorratipour et al. (2021) در خصوص برآورد بیان آبی که عمده تلفات ناشی از تبخیر و تعرق است، مطابقت دارد. هم‌چنین در این مطالعات بیان آبی، مثبت عنوان شده است زیرا مجموع تبخیر و تعرق، جریان جانبی، نفوذ و رواناب سطحی از مجموع بارش کمتر است، که با این بخش از پژوهش حاضر همخوانی دارد. هم‌چنین، براساس اطلاعات ارائه شده در شکل (۴) مشخص شد که از کل جریان رواناب ایجاد شده در حوضه چل‌گری، مقدار ۵۴٪ به‌صورت رواناب

سنجش جریان رودخانه در محدوده، مدل برای کل محدوده مطالعاتی برای ایستگاه هیدرومتری چل‌گری، طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶ واسنجی و سپس برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ اعتبارسنجی شد. عملکرد واسنجی مدل توسط

براساس جدول (۳) ضرایب R<sup>2</sup>، NS، R-factor و P-factor برای دوره واسنجی رواناب ماهانه در ایستگاه چل‌گری به‌ترتیب ۰/۶۵، ۰/۶۲، ۰/۵۷ و ۰/۴۵ و برای دوره اعتبارسنجی ۰/۶۸، ۰/۶۱، ۰/۶۵ و ۰/۴۲ برآورد شد. به‌طور کلی نتایج نهایی واسنجی و اعتبارسنجی جریان رودخانه ماهانه قابل‌قبول بود. این ضرایب در ایستگاه هیدرومتری افزایش و مقادیر آن‌ها بهبود یافت که از جمله دلایل آن علاوه بر تعداد کافی و قدمت ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی و اقلیم‌شناسی می‌توان به امکان واسنجی مناسب نتایج با وجود ایستگاه هیدرومتری چل‌گری در انتهای رودخانه اصلی حوضه اشاره کرد. در ارزیابی نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مشاهده شد که معیارهای کنترلی در تمام موارد در دامنه مجاز و قابل‌قبولی قرار دارند و مدل در مجموع در ایستگاه هیدرومتری چل‌گری، در خروجی حوضه توانسته است تغییرات جریان را به‌خوبی شبیه‌سازی نماید.

نتایج این بخش از پژوهش با مطالعات Nasiri et al. (2020) و Ebrahimi et al. (2018) با توجه به ضرایب R<sup>2</sup> و NS در خصوص توانایی مدل در شبیه‌سازی رواناب هم‌خوانی دارد. علیرغم مناسب بودن مقادیر معیارهای ارزیابی مدل در حوزه آبخیز سد قشلاق، در برخی از سال‌ها مقدار جریان شبیه‌سازی شده نسبت به جریان مشاهده‌ای بیش برآورد و یا کم برآورد شده است و در برخی از سال‌ها نیز مقدار دبی پایه، کم برآورد شده است که البته روند مشخصی در این خصوص مشاهده نمی‌شود. لذا این عدم تطابق‌ها میان جریان شبیه‌سازی و مشاهده‌ای مرتبط با ماهیت پیچیده فرایندهای غالب هیدرولوژیک در منطقه و هم‌چنین فعالیت‌ها و دخالت‌های انسانی در چرخه هیدرولوژیکی در حوضه است. در مجموع نتایج پژوهش حاکی از این است که مدل SWAT قابلیت شبیه‌سازی رواناب حوضه‌های آبخیز با

سطحی در حوضه جریان پیدا کرد و ۴۶٪ نیز به جریان پایه تبدیل شده است.



شکل ۴- نسبت مؤلفه‌های بارش و رواناب در بیلان آبی ایستگاه هیدرومتری چل‌گری در دوره سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱۸  
Fig. 4 The ratio of precipitation and runoff components in the water balance of Chelgazi river gauge station (1987-2018)

در حوضه چل‌گری، مقدار ۵۴٪ به صورت رواناب سطحی در حوضه جریان پیدا کرد و ۴۶٪ نیز به جریان پایه تبدیل شده است.

### سپاسگزاری

داده‌های هواشناسی و هیدرومتری پژوهش حاضر از شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان دریافت شده است که از همکاری آن اداره تقدیر به عمل می‌آید.

### دسترسی به داده‌ها

داده‌های مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری از شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان اخذ شده است و برخی داده‌های استفاده شده (یا تولید شده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

## References

- Abbaspour, K. C. (2009). User manual for SWAT-CUP2, SWAT calibration and uncertainty analysis programs. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Duebendorf, Switzerland. 95 pp. DOI: [10.4236/ns.2020.127035](https://doi.org/10.4236/ns.2020.127035)
- Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., & Kløve, B. (2015). Continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *J. Hydrol.*, 524, 733-752. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2015.03.027](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.027)
- Aghakhani, M., Nasrabadi, T., & Vafaei Nejad, A. (2019). Hydrological simulation of Taleqan watershed using SWAT. *J. Environ.*



- Sci. Tech.*, 21(9), 149-159. DOI: [10.22034/JEST.2020.26325.3576](https://doi.org/10.22034/JEST.2020.26325.3576)
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., & Kannan, N. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transact. ASABE.*, 55(4), 1491-1508. DOI: [10.13031/2013.42256](https://doi.org/10.13031/2013.42256)
- Das, B., Jain, S., Singh, S., & Thakur, P. (2019). Evaluation of multisite performance of SWAT model in the Gomti River basin, India. *Appl. Water. Sci.*, 9(134). 1-10 DOI [10.1007/s13201-019-1013-x](https://doi.org/10.1007/s13201-019-1013-x)
- Diriba, B.T. (2021). Surface runoff modeling using SWAT analysis in Dabus watershed, Ethiopia. *J. Sustain. Water. Res. Manage.*, 7(96), 1-11. DOI: [10.1007/s40899-021-00573-1](https://doi.org/10.1007/s40899-021-00573-1)
- Duan, Z., Song, X., & Liu, J. (2009). Application of SWAT for sediment yield estimation in a mountainous agricultural basin, In *Geoinformatics, 2009 17<sup>th</sup> Int. Conf on IEEE.*, 1-5. DOI: [10.1109/GEOINFORMATICS.2009.5293447](https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2009.5293447)
- Ebrahimi, P., Salimi Kouchi, J., & Mohseni Saravi, M. (2018). Calibration and validation of SWAT model in runoff simulation, Case study: Neka watershed. *J. Watershed. Eng. Manage.*, 10 (3), 266-279. DOI: [10.22092/ijwms.2018.117332](https://doi.org/10.22092/ijwms.2018.117332)
- Fatehi, Z., & Shahoei, S.V. (2020). SWAT model application for simulating monthly runoff, Lake Urmia watershed, Kurdistan province, Iran. *Environ. Water. Eng.*, 3(6), 293-303. DOI: [10.22034/jewe.2020.218842.1346](https://doi.org/10.22034/jewe.2020.218842.1346)
- Fukunaga, D. C., Cecilio, R. A., Zanetti, S. S., Oliveira, T. L., & Caiado, M. A. C. (2015). Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. *Catena.*, 125, 206-213. DOI: [10.1016/j.catena.2014.10.032](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.032)
- Gaffari, G. (2018). Erosion intensity zoning by using SWAT model in Gheshlagh dam basin. *J. Geog. Dev.*, 50, 55-74. DOI: [10.22111/GDIJ.2018.3553](https://doi.org/10.22111/GDIJ.2018.3553)
- Ghafari, H., & Gorji, M. (2021). Evaluation of soil erosion effects on rainfall wheat (*Triticum aestivum*) yield using SWAT model. *J. Water. Soil. Mgmt. Model.*, 1(3), 53-66. DOI: [10.22098/MMWS.2021.9267.1029](https://doi.org/10.22098/MMWS.2021.9267.1029)
- Gholami, A., Shahedi, K., Habibnejad Rooshan, M., Vafakhah, M., & Soleimani, K. (2017). Assesment about efficiency of SWAT semi-distribution model for simulation of stream flow (Case study in Talar Watershed, Mazandaran Province). *J. Soil. Water. Res.*, 48(3), 463-688. DOI: [10.22059/IJSWR.2017.63414](https://doi.org/10.22059/IJSWR.2017.63414)
- Golshan, M., Kavian, A., Ruohani, H., & Esmali Ouri, A. (2016). Effect of scale on SWAT model performance in simulation of runoff (case study: Haraz catchment in Mazandaran province). *J. Soil. Water.*, 46(2), 293-303. DOI: [10.22059/IJSWR.2015.55934](https://doi.org/10.22059/IJSWR.2015.55934)
- Heidary, H., Mousavi, M., Esmaili, K., & Golkarian, A. (2020). The Impact of climate change on watershed runoff and sedimentation using SWAT and WEPP models (Case Study: Dehbar basin). *J. Soil. Water.*, 51(4), 1027-1040. DOI: [10.22059/IJSWR.2020.287152.668293](https://doi.org/10.22059/IJSWR.2020.287152.668293)
- Kumar Himanshu, S., Pandey, A., & Shrestha, P. (2017). Application of SWAT in an Indian river basin for modeling runoff, sediment and water balance. *J. Environ. Earth. Sci.*, 76(1), 3. DOI: [10.1007/s12665-016-6316-8](https://doi.org/10.1007/s12665-016-6316-8)
- Kundu, S., Khare, D., & Mondal, A. (2017). Past, present and future land use changes and their impact on water balance. *J. Environ. Manag.*, 197, 582-596. DOI: [10.1016/j.jenvman.2017.04.018](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.018)
- Mehri, S., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., & Ghorbani, A. (2017). Spatial and temporal variations of base flow index (BFI) for the Ardabil province river, Iran. *J. Earth. Space. Phys.*, 43(3), 623-634. DOI: [10.22059/JESPHYS.2017.60293](https://doi.org/10.22059/JESPHYS.2017.60293)
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transact. ASABE.*, 50(3), 885-900. DOI: [media/90109/moriasimodelevel](https://doi.org/10.22059/media/90109/moriasimodelevel)
- Mostafazadeh, R., Sadoddin, A., Bahremand, A., and Sheikh, V. B., & ZareGarizi, A. (2017). Scenario analysis of flood control structures using a multi-criteria decision making technique in Northeast Iran. *Nat. Hazard.*,

- 87(3), 1827-1846. DOI: [10.1007/s11069-017-2851-1](https://doi.org/10.1007/s11069-017-2851-1)
- Naseri, F., Azari, M., & Dastoorani, M. T. (2018). Simulation of stream flow and sediment yield in Fariman dam watershed using SWAT model and genetic algorithm. *J. water. Soil.*, 32(3), 447-462. DOI: [10.22067/jsw.v32i3.68900](https://doi.org/10.22067/jsw.v32i3.68900)
- Nasiri, Sh., Ansari, H., & Ziaei, A. N. (2020). Simulation of stream flow in Samalqan watershed using SWAT hydrological model. *Water. Res. Eng.*, 13(43), 39-56. DOI: [10.1007/s12517-020-05366-y](https://doi.org/10.1007/s12517-020-05366-y)
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R., & King, K. W. (2011). Soil and water assessment tool theoretical documentation—version 2009, soil and water research laboratory, Agricultural Research Service. Blackland Research Center-Texas AgriLife Research.
- Parajuli, P. B., Nelson, N. O., Frees L. D., & Mankin, K. R. (2009). Comparison of Ann AGNPS and SWAT model simulation results in USDA-CEAP agricultural watersheds in south-central Kansas. *Hydrol. Process.*, 23, 748–763. DOI: [10.1002/hyp.7174](https://doi.org/10.1002/hyp.7174)
- Rezaei Moghaddam, M. H., Mokhtari, D., & Shafieimehr, M. (2021). Calibration and validation the SWAT model in the simulation of runoff and sediment in Shahr Chai of Miyaneh. *Geog. Plan.*, 25(76), 129-139. DOI: [10.22034/GP.2020.40775.2656](https://doi.org/10.22034/GP.2020.40775.2656)
- Sao, D., Kato, T., Tu, L. H., Thouk, P., Fitriyah, A., & Oeurng, Ch. (2021). Evaluation of different objective functions used in the SUFI-2 calibration process of SWAT-CUP on water balance analysis: A case study of the Pursat river basin, Cambodia. *Water.*, 12(10), 2901. DOI: [10.3390/w12102901](https://doi.org/10.3390/w12102901)
- Shahoei, S. V., Porhemmat, J., Sedghi, H., Hosseini, M., & Saremi, A. (2018). Monthly runoff simulation through SWAT hydrological model and evaluation of model in calibration and validation periods, case study: Ravansar Sanjabi basin in Kermanshah province, Iran. *Watershed. Eng. Manage.*, 10(3), 464-477. DOI: [10.22092/ijwmse.2017.109516.1273](https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.109516.1273)
- Shirzadi, G., & Ghaffari, S. (2018). The Soil Nutrient Loss Simulation in Gheshlagh dam basin using SWAT model. *J. Soil. Manage. Sust. Prod.*, 8(3), 96-79. DOI: [10.22069/EJSMS.2018.11859.1679](https://doi.org/10.22069/EJSMS.2018.11859.1679)
- Tang, X., Zhang, J., Wang, G., Jin, J., Liu, C., Liu, Y., He, R., & Bao, Z. (2021). Uncertainty analysis of SWAT modeling in the Lancang river basin using four Different algorithms. *Water.*, 13(3), 341. DOI: [10.3390/w13030341](https://doi.org/10.3390/w13030341)
- Teshager, A. D., Gassman, P. W., Secchi, S., Schoof, J. T., & Misgna, G. (2016). Modeling agricultural watersheds with the soil and water assessment tool (SWAT): Calibration and validation with a novel procedure for spatially explicit hrus. *Environ. Manage.*, 57(4), 894-911. DOI: [10.1007/s00267-015-0636-4](https://doi.org/10.1007/s00267-015-0636-4)
- Tyagi, J. V., Rai, S. P., Qaz, N., & Singh, M. P. (2014). Assessment of discharge and sediment transport from different forest cover types in lower Himalaya using Soil and Water Assessment Tool (SWAT). *Int. J. Water. Res. Environ. Eng.*, 6(1), 49-66. DOI: [10.5897/IJWREE2013.0448](https://doi.org/10.5897/IJWREE2013.0448)
- Zeiaei, Kh., Esmali, A., Mostafazadeh, R., & Golshan, M. (2021). Assessing the effects of various land use change scenarios on runoff using SWAT model in the AhlIman watershed. *Hydrogeomorphol.*, 8(27), 123-138. DOI: [10.22034/HYD.2021.44819.1578](https://doi.org/10.22034/HYD.2021.44819.1578)
- Zorratipour, M., Zarei, H., Sharifi, M., and Radmanesh, F. (2021). Hydrological simulation of Bakhtegan basin in Iran using the SWAT model. *Irriga. Sci. Eng.*, 44(2). DOI: [10.22055/jise.2021.36821.1964](https://doi.org/10.22055/jise.2021.36821.1964)
- Zuo, D., Xu, Z., Yao, W., Jin, S., Xiao, P., & Ran, D. (2016). Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. *Sci. Total. Environ.*, 544, 238-250. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2015.11.060](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.060)

### How to cite this paper:

Mehri, S., Moradi, H. R. and Mostafazadeh, R. (2023). Simulation and determination of hydrological balance components in the upstream of Gheshlagh Dam using SWAT model. *Environ. Water Eng.*, 9(4), 485-498. DOI: [10.22034/ewe.2023.360340.1805](https://doi.org/10.22034/ewe.2023.360340.1805)