

The effect of climate change and gabion check dams on the amount of sediment yield of basin, case study: Dehbar

Hamed Hariri¹, Seyed Abbas Hosseini^{2*} and Amir Khosrojerdi³

¹ PhD Student, Water Structures, Department of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Associate Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Department of Agricultural Sciences and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 09 January 2023

Accepted: 29 May 2023

Extended abstract

Introduction

Predicting changes due to climate change and its possible consequences on hydrological processes of the watershed helps to solve the challenges facing managers and water resources planners in the coming period. The effects of this phenomenon and gabion check dams simultaneously on the sedimentation of Dehbar Basin have not been studied so far, so the aim of this study is to investigate this with the perspective of the next 30 years, using SWAT and LARS-WG models and the ability of these two models to simulate climate change and remove gabion check dams.

Materials and methods

In this research, the performance of gabion dams as a reservoir in the Dehbar Basin, 10 km west of Mashhad and south of the city of Torghabeh, which has a cold semi-arid climate, is compared to the amount of sediment output from the basin for the next 30 years with the LARS-WG statistical model and SWAT hydrological simulation model has been evaluated. There are five gabion dams in this area. To predict the meteorological variables of the upcoming period at the level of Dehbar Watershed, after recalibrating the LARS-WG model, the HadGEM2 model and three scenarios of RCP8.5, RCP4.5 and RCP2.6 were used for the microscaling of meteorological data in the period of 2050- 2020. Kolmogorov Smirnov (K-S), t and F statistical tests were used to check the performance of the simulation results in this model. To prepare and implement the SWAT model, the map and digital model information of elevation, soil, land use, hydrological and meteorological data were used. The tank was used to introduce gabion dams to the model. In order to analyze the sensitivity, calibration and validation of the SWAT model, SUFI-2 semi-automatic algorithm was used.

Results and discussion

The average values of the simulated precipitation are in good conformity with the observed values and the biggest difference is related to the months of February and April. Regarding the standard deviation values of monthly rainfall, the biggest difference belongs to the months of February and March. The average simulated minimum temperature is also in very good agreement with the observed values. Also, for the maximum temperature, a trend similar to the minimum temperature is seen. Also, the p-value obtained from the t-test for the aforementioned variables, there is no significant difference between the average temperature and precipitation data produced and the observed data, and the LARS-WG model has been able to calculate the average temperature and precipitation very well. To simulate monthly precipitation in all scenarios (RCP8.5, RCP4.5 and RCP2.6) in the horizon of 2050 in the first seven months of the year is lower than the monthly precipitation in the base period, but an increase in precipitation is observed for the second five months of the year. Also, in the horizon of 2050, the temperature will increase on average compared to the base period. To draw the curve of the sediment gauge, the method of batch average with modified FAO coefficient was used. The amount of observed sediment was calculated as 2.14 $\text{tha}^{-1}\text{yr}^{-1}$. For the calibration and validation of the SWAT model, at first, using CUP_SWAT software, the parameters that had a greater effect on the discharge and sediment output from the basin were identified. In order to

* Corresponding author: abbas_hoseyni@srbiau.ac.ir

analyze the sensitivity, calibration and validation of SWAT model, SUFI-2 semi-automated algorithm was used. After that, the effects of climate change on the amount of runoff and sediment in the basin were investigated using the validated SWAT model. The results show a decrease in rainfall, an increase in temperature and a decrease in runoff in the horizon of 2050. The precipitation changes for RCP4.5 and RCP2.6 scenarios are +9.3% and +3.1%, respectively, and -4.6% for RCP8.5 scenario. On average, gabion dams reduce 57.09% of sediment exit from the basin.

Conclusion

In this research, the effects of climate change on the sediment output from Dehbar Basin in the period from 2020 to 2050 and the effect of gabion dams in the existing conditions (presence of dams) and in the conditions of removal of these dams were investigated. In all scenarios, the minimum and maximum temperature increased in the 2020-2050 period compared to the base period. One of the negative effects of temperature increase is change in the amount and time-spatial pattern of precipitation. The results indicate that the SWAT model is capable of simulating hydrological processes and sedimentation in relatively small to medium watersheds with complex conditions such as Dehbar Basin, even with limited observational data, with acceptable accuracy. The increase in the amount of sediment at the outlet point of the watershed, despite the decrease in rainfall and runoff, indicates short-term rainfall with high intensity, which increases the occurrence of flooding conditions. From the changes in the amount of erosion and sedimentation in the horizon of 2050 and with different scenarios, it can be concluded that the climate change will affect the erosion of the basin in the future and the simulation model can be effective in predicting the erodibility. Therefore, the results obtained from the SWAT model provide the possibility of recommending its use in the region.

Keywords: HadGEM2, Hydrologic simulator, LARS-WG, Precipitation, Runoff, SWAT

Cite this article: Hariri, H., Hosseini, S.A., Khosrojerdi, A., 2024. The effect of climate change and gabion check dams on the amount of sediment yield of basin, case study: Dehbar. *Watershed Engineering and Management* 15 (4), 535–553.

© 2024, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



تأثیر تغییر اقلیم و بندهای گابیونی بر میزان رسوب خروجی از حوضه،

مطالعه موردی: دهبار

حامد حریری^۱، سید عباس حسینی^۲ و امیر خسرو جردی^۳

^۱ دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ دانشیار، دانشکده عمران هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۳ دانشیار، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹

چکیده مبسوط

مقدمه

پیش‌بینی تغییرات فرایندهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز، ناشی از پدیده تغییر اقلیم و پیامدهای احتمالی آن، کمک موثری به رفع چالش‌های فراروی مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب در دوره‌های آتی می‌کند. اثرات پدیده تغییر اقلیم و بندهای گابیونی به صورت همزمان، بر مقدار رسوب خارج شده حوضه دهبار تا کنون بررسی نشده است. لذا، بررسی آن با چشم‌انداز ۳۰ سال آینده و با استفاده از مدل‌های SWAT و LARS-WG و ارزیابی توانایی این دو مدل در شبیه‌سازی تغییر اقلیم و حذف بندهای گابیونی، هدف اصلی این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، عملکرد بندهای گابیونی به صورت مخزن در حوضه دهبار در ۱۰ کیلومتری غرب مشهد و در جنوب شهر طرقله که دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است، نسبت به میزان رسوب خروجی از حوضه برای ۳۰ سال آینده با کمک مدل آماری LARS-WG و مدل شبیه‌ساز هیدرولوژیکی SWAT، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این حوضه، پنج بند گابیونی وجود دارد. برای پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی دوره آتی در سطح حوزه آبخیز دهبار، پس از واسنجی مدل LARS-WG از مدل HadGEM2 و سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های هواشناسی در دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ استفاده شد. برای بررسی عملکرد نتایج شبیه‌سازی در این مدل، از آزمون‌های آماری کولموگروف اسمیرنوف (K-S)، t و F استفاده شد. برای آماده‌سازی و اجرای مدل SWAT، از نقشه و اطلاعات مدل رقومی ارتفاع، خاک، کاربری اراضی، داده‌های هیدرولوژیک و هواشناسی و از مخزن، برای معرفی بندهای گابیونی به مدل استفاده شد. به منظور تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT، از الگوریتم نیمه‌خودکار SUFI-2 استفاده شد.

نتایج و بحث

مقادیر میانگین بارش شبیه‌سازی شده، انطباق خوبی با مقادیر مشاهده‌ای داشتند و بیشترین اختلاف مربوط به ماه‌های فوریه و آوریل بود. در خصوص مقادیر انحراف معیار بارش‌های ماهانه نیز بیشترین اختلاف به ماه‌های فوریه و مارس تعلق داشت. میانگین دمای کمینه شبیه‌سازی شده نیز تطابق خیلی خوبی با مقادیر مشاهده‌ای داشت. همچنین، برای دمای بیشینه نیز روندی مشابه دمای کمینه دیده شد. همچنین، مقادیر p-value حاصل از آزمون t برای متغیرهای فوق‌الذکر هیچ اختلاف معنی‌داری بین میانگین داده‌های دما و بارش تولید شده و داده‌های مشاهده‌ای وجود نداشت و مدل LARS-

WG به خوبی توانست میانگین‌های دما و بارش را شبیه‌سازی کند. بارش ماهانه در تمامی سناریوها (RCP4.5, RCP8.5 و RCP2.6) در افق ۲۰۵۰ در هفت ماه ابتدای سال، کمتر از میزان بارش ماهانه در دوره پایه نشان داد ولی برای پنج ماه دوم سال، افزایش بارش مشاهده شد. همچنین، در افق ۲۰۵۰ دما به‌طور متوسط نسبت به دوره پایه افزایش یافت. برای ترسیم منحنی سنج رسوب از روش متوسط دسته‌ها با ضریب FAO اصلاح شده استفاده شد. مقدار رسوب مشاهده‌ای ۲/۱۴ تن در هکتار در سال، برای هر هکتار محاسبه شد. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT، در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SWAT_CUP پارامترهایی که تاثیر بیشتری بر دبی و رسوب خروجی از حوضه داشتند، مشخص شدند. به‌منظور تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT، از الگوریتم نیمه خودکار SUFI-2 استفاده شد. پس از آن، با استفاده از مدل واسنجی و اعتبارسنجی شده SWAT، اثرات تغییر اقلیم بر میزان رواناب و رسوب حوضه بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده کاهش بارندگی، افزایش دما و کاهش رواناب در افق ۲۰۵۰ است. تغییرات رسوب برای دو سناریوی RCP4.5 و RCP2.6 به ترتیب، ۳/۹+ و ۱/۳+ درصد و برای سناریوی RCP8.5 برابر ۶/۴- درصد است. بندهای گابیونی به‌طور متوسط، ۵۷/۰۹ درصد خروج رسوب از حوضه را کاهش می‌دهند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثرات تغییر اقلیم بر رسوب خروجی از حوضه دهبار در دوره ۲۰۲۰ الی ۲۰۵۰ و تاثیر بندهای گابیونی در شرایط موجود (وجود بندها) و در شرایط حذف این بندها مورد بررسی قرار گرفت. در کلیه سناریوها دمای کمینه و دمای بیشینه در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرد. از اثرات منفی افزایش دما، ایجاد تغییر در مقادیر و الگوی زمانی-مکانی بارش است. نتایج حاکی از آن است که مدل SWAT قابلیت شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی و رسوب در حوزه‌های آبخیز نسبتاً کوچک تا متوسط با شرایط پیچیده مانند حوضه دهبار را حتی با محدودیت داده مشاهده‌ای، با دقتی قابل قبول دارد. افزایش مقدار رسوب در نقطه خروجی حوضه با وجود کاهش بارندگی و رواناب، نشان‌دهنده بارش‌های کوتاه مدت با شدت زیاد بوده است که باعث افزایش شرایط سیلابی می‌شود. از تغییرات میزان فرسایش و رسوب در افق ۲۰۵۰ و با سناریوهای متفاوت می‌توان نتیجه گرفت که تغییر اقلیم بر فرسایش حوضه در آینده تاثیرگذار است و مدل شبیه‌سازی می‌تواند در پیش‌بینی فرسایش‌پذیری کارایی داشته باشد. لذا، نتایج به‌دست آمده از مدل SWAT امکان توصیه کاربرد آن را در منطقه فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بارش، رواناب، شبیه‌ساز هیدرولوژیک، HadGEM2, LARS-WG, SWAT

مقدمه

به نوبه خود موجب بروز خطرات و خسارات عدیده‌ای برای اراضی مجاور رودخانه‌ها می‌شود، به‌طوری که سالانه میلیون‌ها تن از خاک‌های با ارزش اراضی حاشیه رودخانه‌ها دچار فرسایش شده که علاوه بر هدر رفتن خاک با ارزش، موجب از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و پر شدن مخازن سدها و کاهش عمر مفید آن‌ها و همچنین، ایجاد مشکلات زیادی در بهره‌برداری از تاسیسات آبیگری و انتقال آب می‌شود. احداث بندهای گابیونی، یکی از مهمترین روش‌های رسوب‌گیری و کنترل فرسایش در کوتاه‌مدت و بلندمدت است (Boix-Fayos et al., 2008). بندهای گابیونی، سازه‌های کوچکی هستند که به‌طور وسیعی در حوزه‌های آبخیز به‌منظور حفاظت فرسایش آبراهه‌ها و کنترل رسوب

برای استفاده بهینه از منابع آب، مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز کشور مطرح می‌شود که شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژیک می‌تواند راه حل بهینه‌ای برای مدیریت مناسب آن‌ها باشد. فرسایش خاک یکی از مهمترین مسائل محیط زیستی است که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. این تاثیرهای محیط زیستی شامل آلودگی‌های غیر نقطه‌ای و جابجایی مواد آلی و مغذی و فرسایش خاک است (Berhe et al., 2018; Liu et al., 2018 and 2019).

رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، تحت تاثیر عوامل طبیعی و یا دخالت‌های انسان، دچار فرسایش بستر، فرسایش کناره‌ها و جابه‌جایی عرضی می‌شوند. فرسایش رودخانه‌ای،

استان کرمانشاه، (Mahzari et al., 2016) در حوضه رودخانه گرگانرود، بیانگر کارایی خوب مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب و رسوب است.

نتایج پژوهش (Mishra et al., 2007)، قدرت بالای مدل SWAT را برای ارزیابی توانایی بندهای گابیونی در حوزه‌های آبخیز کوچک نشان داد. Xu et al., (2013) در ارزیابی تأثیرات هیدرولوژیکی بندهای گابیونی نشان دادند، این بندها توانایی کاهش رواناب سالانه تا ۱۴/۳ درصد و کاهش میزان رسوب خروجی تا بیش از ۸۵/۵ درصد را از حوضه دارند. Norman and Niraula (2016)، به تحلیل اثرات بندهای گابیونی با استفاده از مدل SWAT در درازمدت پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد، این مدل به‌خوبی توانایی شبیه‌سازی تأثیر گابیون‌ها بر میزان ترسیب رسوب و رواناب در حوضه را در بلندمدت دارد.

تحقیقات (Li et al., 2016)، نشان داد، با افزایش توزیع بندهای گابیونی در حوضه، میزان رواناب بیش از ۶۵/۲ درصد و رسوب تا بیش از ۷۸/۳ درصد کاهش می‌یابد. همچنین، در این پژوهش، از مدل SWAT برای مدل‌سازی رواناب و رسوب استفاده شده بود. Samad et al., (2016)، با استفاده از مدل SWAT به ارزیابی بار رسوب وارد شده به حوضه سد راوال و تعیین بهترین مکان برای احداث بندهای گابیونی پرداختند. Yuan et al., (2019)، کاهش میزان خروجی رسوبات از حوضه تا میزان ۸۳/۹۲ درصد را در نتیجه عملکرد گابیون‌های حوزه آبخیز گزارش دادند. در این پژوهش، از مدل‌های MIKE SHE و MIKE 11 استفاده شد. تحقیقات Bai et al., (2020) در حوضه‌ای لسی در چین نشان داد، این حوضه با وجود فرسایش زیاد به‌دلیل وجود بندهای گابیونی، دارای رسوب خروجی مناسبی است. Albaji et al., (2020)، تأثیر سازه‌های گابیونی بر کاهش فرسایش در حوزه آبخیز کوثر را به کمک روش پسیاک مطالعه و بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که سازه‌های گابیونی توانسته‌اند تا حدود ۵۹ درصد رسوب تولیدی در سطح حوضه را در داخل حوضه نگهداری کرده و از خروج آن‌ها جلوگیری کنند. Vaezi et al., (2021)، در بررسی اثربخشی بندهای گابیونی بر

مورد استفاده قرار می‌گیرند. این بندها، به خوبی توانایی حذف ذرات درشت، متوسط و ریز را از رواناب سطحی دارند (Stovin et al., 2002). در این پژوهش، از مدل هیدرولوژیکی نیمه‌فیزیکی و نیمه‌توزیعی SWAT^۱ برای ارزیابی اثر گابیون‌ها و تغییر اقلیم بر میزان رسوب خروجی از حوضه دهبار استفاده شده است.

مدل SWAT، یک شبیه‌ساز هیدرولوژیکی، یک مدل پیوسته زمانی و نیمه‌توزیعی مکانی با پایه فیزیکی است که برای سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه شد و از آن زمان به‌طور پیوسته در حال توسعه بوده است (Neitsch et al., 2005؛ Arnold et al., 1998). در این مدل، تنوع مکانی منطقه ابتدا با تقسیم حوزه آبخیز به زیرحوضه‌ها و سپس تقسیم زیرحوضه‌ها به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی^۲، بر اساس نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و نقشه طبقات شیب، بیان شده و شبیه‌سازی فرایند بارش و رواناب برای هر یک از این واحدها به‌صورت جداگانه انجام می‌شود (Alansi et al., 2009).

در این مدل، ترکیبات اصلی بر اساس معادلات فیزیکی و تجربی بوده، متغیرهای ورودی آن مقادیر متوسط روزانه بارندگی و دمای هوا است (Burns et al., 2004). مدل SWAT، از معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک^۳ برای شبیه‌سازی فرسایش خاک و بار رسوب استفاده می‌کند و قابلیت ارائه نتایج در بازه‌های زمانی سالانه، ماهانه، روزانه و ساعتی را نیز دارا است (Arnold et al., 1998).

محققان متعددی در مطالعات خود از مدل SWAT استفاده کرده‌اند که (Golshan et al., 2016)، در مقایسه با مدل IHACRES؛ (Goodarzi et al., 2012)؛ در مقایسه با مدل‌های IHACRES و SIMHYD، (Kliment et al., 2008) و (Parajuli et al., 2009)، در مقایسه با مدل نیمه‌توزیعی AnnAGNPS و (Saleh and Du (2004) در مقایسه مدل HSPF، مدل SWAT را در شبیه‌سازی رواناب و رسوب برتر دانستند. نتایج تحقیقات (Naseri et al., 2018)، در حوزه آبخیز سد فریمان، (Kiani et al., 2017)، حوضه تمر استان گلستان، (Hosseini et al., 2016)، در حوضه قره‌سو

^۲ Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)

^۱ Soil and Water Assessment Tool

^۲ Hydrologic Response Units (HRUs)

HadGEM2^۲ و سناریوی RCP4.5^۴ از گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، به ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر بیلان آب سطحی در منطقه توپسکان پرداختند. نتایج ارزیابی به عملکرد خوب مدل در برآورد بارندگی و دما اشاره می‌کند و پیش‌بینی بارندگی در ۱۰ سال آینده (چشم‌انداز ۲۰۲۵-۲۰۱۶) نشان از کاهش بارندگی در بیشتر بخش‌های حوضه را دارد (Taheri et al., 2018).

Ahmadi et al., (2019) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش فصلی تا افق ۲۰۹۰ در مناطق سردسیر پرداختند. نتایج نشان دادند که مدل HadGEM2-ES از بین مدل‌های BCC-CSM1.1، HadGEM2-ES، MIROC-ESM و GFDL-CM3، از وزن و توانایی بالاتری نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار است. همچنین، این پژوهش نشان داد که بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 تغییر اقلیم بر توزیع زمانی-مکانی بارش مناطق سردسیر ایران تاثیر خواهد داشت و آینده‌ای با بارش کمتر و متغیر را نشان خواهد داد. تحقیقات برخی از محققین در داخل کشور نشان می‌دهد که بارش در دوره آینده، کاهش خواهد یافت (Daneshfaraz and Abbasi et al., 2011)؛ Razzaghpour, 2014؛ Goudarzi et al., 2015).

حوضه دهبار، بزرگ‌ترین زیرحوضه تامین‌کننده آب سد گلستان است که به علت‌های مختلف مانند کاربری اراضی غیراصولی و شیب زیاد، همواره در معرض فرسایش بوده است (Mousavi Herami et al., 2003). از آنجا که تاثیر پدیده تغییر اقلیم و بندهای گابیونی بر مقدار رسوب خروجی حوضه دهبار مورد مطالعه قرار نگرفته است، لذا، هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی مطلب مذکور در دوره آتی (با چشم‌انداز ۳۰ سال آینده) با استفاده از مدل‌های SWAT و ارزیابی توانایی این مدل در شبیه‌سازی تغییر اقلیم و حذف بندهای گابیونی است و با تعمیم نتایج حوضه دهبار به دو حوضه مجاور، می‌توان راهکارهای مناسب برای مقابله احتمالی و یا سازگاری با تغییر اقلیم مانند احداث تعداد بیشتری بند

میزان و اندازه رسوبات خارج شده از حوزه آبخیز رازین به این نتیجه رسیدند که عملکرد سدهای گابیونی در به دام انداختن رسوبات موثر است و همچنین، در مقاطع مختلف آبراهه متفاوت است. بندهای ساخته شده در بالادست آبراهه شن و ماسه بیشتر اما رس و سیلت کمتری نسبت به بندهای پایین‌دست دریافت می‌کنند.

ارزیابی پدیده تغییر اقلیم و پیامدهای احتمالی آن بر فرایندهای هیدرولوژیک حوضه، کمک فراوانی به چالش‌های مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب در دوره‌های آتی خواهد کرد. اثر تغییر اقلیم، به‌وسیله شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیک با مدل فیزیکی و منابع بارش-رواناب مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌های هیدرولوژی، چارچوبی را برای بررسی رابطه بین هواشناسی و مهندسی و مدیریت منابع آب فراهم می‌کنند. اهمیت این موضوع به حدی است که سازمان جهانی هواشناسی^۱ در سال ۱۹۸۷، بر لزوم پژوهش پیرامون تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آب تاکید کرده است و پیرو آن در سال ۱۹۸۸، اجلاس بررسی مشکلات احتمالی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب در استرالیا برگزار شد. مدل LARS-WG، یکی از مدل‌های مولد داده‌های تصادفی هواشناسی است که با استفاده از بارش روزانه تابش خورشیدی، دمای بیشینه و دمای کمینه روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم کنونی آن ایستگاه، برای پیش‌بینی این متغیرها در آینده به کار می‌رود (Sanikhani et al., 2013). مبنای مدل LARS-WG، برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه‌تجربی^۲ است.

تحقیقات مختلفی در زمینه تغییر اقلیم صورت گرفته است که مواردی از آن در ادامه بررسی می‌شود. در بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان آبدهی رودخانه‌ها، نشان داده شد که سناریوی B2 از مدل HadCM3، مناسب‌ترین سناریو و مدل برای حوزه آبخیز گرگان‌رود است و در ۳۰ سال آتی، کاهش حجم سالانه رودخانه به‌وسیله این سناریو پیش‌بینی شده است (Modaresi et al., 2011). همچنین، با استفاده از مدل اقلیمی

^۲ Hadley Centre Global Environment Model version 2 (HadGEM2)

^۴ Representative Concentration Pathways

^۱ World Meteorological Organization (WMO)

^۲ Semi-Empirical Distribution (SED)

برای انجام مطالعات هواشناسی حوضه، از ایستگاه باران‌سنجی حصار که در خروجی حوضه مورد مطالعه قرار دارد، در تعیین متغیرهای بارش و از ایستگاه تخیرسنجی زشک که از نظر ارتفاعی و بعد مسافت مشابه منطقه است، در مطالعات حرارتی و تعیین متغیرهای مورد نیاز دیگر، به‌عنوان معرف منطقه استفاده شده است. در این حوضه، پنج بند گابیونی در امتداد رود دهبار احداث شده است. موقعیت این بندها در شکل ۲، مشاهده می‌شود.



شکل ۱- موقعیت حوضه دهبار و ایستگاه‌های حصار و زشک در استان خراسان رضوی

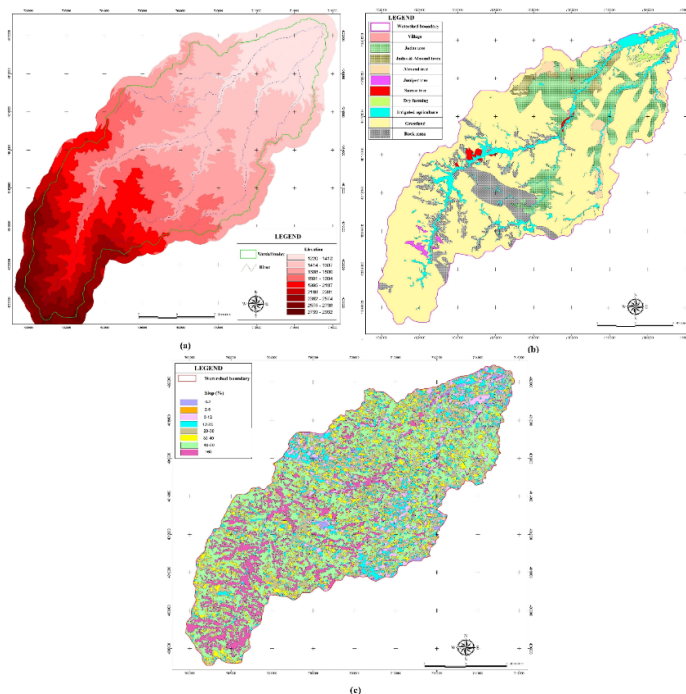
Fig. 1. Location of Dehbar Basin and Hesar and Zoshk stations in Khorasan Razavi Province

گابیونی و رسوب‌گیر مورد بررسی قرار گیرد تا در صورت امکان اجرایی شوند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز دهبار، در شهرستان طرقبه-شاندیز قرار دارد که در بخش طرقبه و در ۱۰ کیلومتری غرب مشهد و در جنوب شهر طرقبه واقع شده است. روستاهای کلاته آهن و دهبار، در داخل این حوضه هستند. وسعت حوضه دهبار مشهد، ۱۱۵/۷۳ کیلومتر مربع است. مختصات جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۲۴ دقیقه و ۱۳ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه و ۴۴ ثانیه است.

شکل ۱، موقعیت حوزه آبخیز دهبار را نشان می‌دهد. متوسط بارندگی سالانه حوضه دهبار ۳۴۲/۵ میلی‌متر و بیشترین بارندگی ماهانه حوضه مربوط به اسفندماه است. این حوضه دارای متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۰/۹، متوسط کمینه و بیشینه درجه حرارت سالانه به ترتیب ۴/۷ و ۱۷، کمینه و بیشینه مطلق سالیانه به ترتیب ۲۲/۸- و ۳۹/۱ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۲- a: نقشه طبقات ارتفاعی، b: کاربری اراضی و c: شیب حوزه آبخیز دهبار

Fig. 2. a: DEM, b: Land use, c: Slope across Dehbar Catchment area

جدول ۱، برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در حوضه دهبار و جدول ۲، عوامل اندازه‌گیری شده برای خاک را نشان می‌دهد. در حوضه دهبار، پنج بند گابیونی وجود دارد که موقعیت قرارگیری این بندها در شکل ۳، آورده شده است.

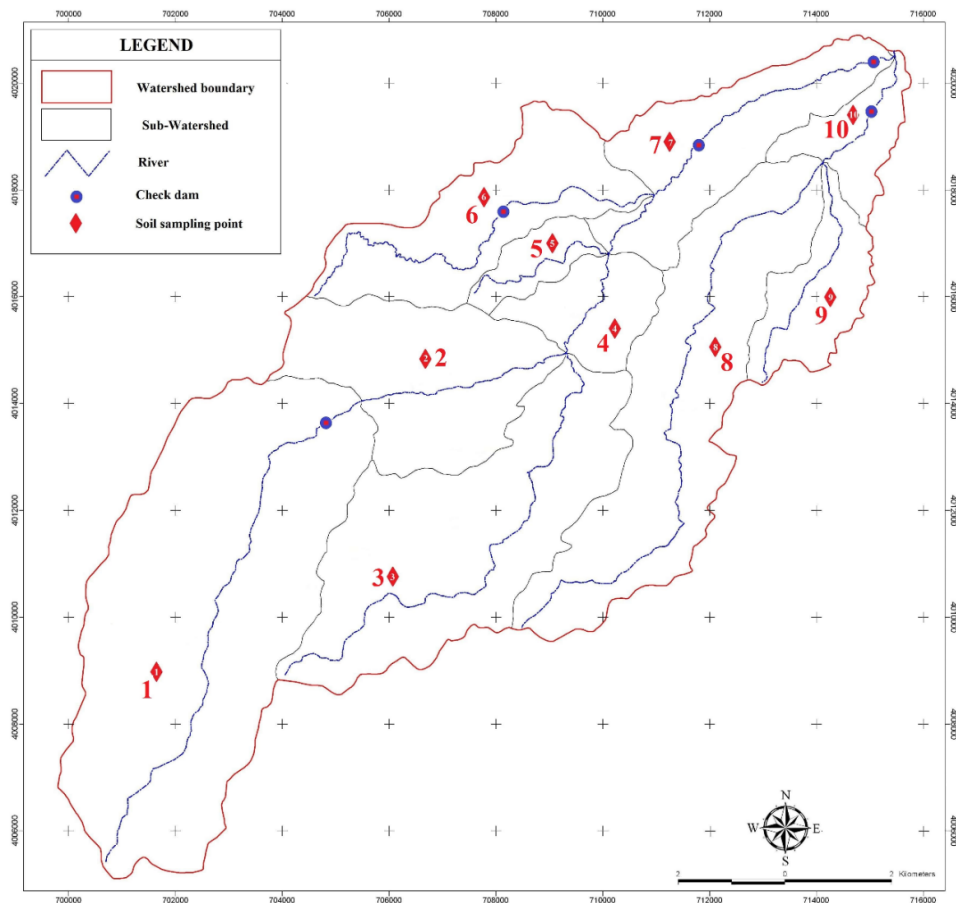
جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 1. Physical and chemical properties of soil

Profile	Depth (mm)	Sand (%)	Clay (%)	Organic (%)	CEC (meq/100gr)	Rock (%)
1	250	34	28	0.75	7.68	23
	350	38	23	0.63	6.85	25
	550	39	23	0.61	6.71	28
2	200	48	26	0.46	5.69	45
	400	51	20	0.39	5.20	51
3	80	62	12	0.46	5.65	32
	280	62	10	0.12	3.32	33
4	200	38	20	1.36	11.83	35
	500	33	25	0.89	8.63	30
	700	35	30	0.97	9.19	32
5	100	54	24	0.48	5.82	38
	220	59	22	0.32	4.72	46
6	420	46	14	0.93	8.87	40
	780	48	15	0.88	8.53	44
7	300	52	18	0.60	6.61	43
	500	51	29	0.52	6.11	39
8	700	36	36	0.47	5.79	21
	170	55	26	0.71	7.40	36
	240	45	17	0.36	4.98	42
9	210	44	19	0.63	6.83	31
	390	39	31	0.57	6.46	23
10	230	58	17	0.76	7.72	41
	430	37	26	0.29	4.53	37

جدول ۲- عوامل اندازه‌گیری شده برای خاک

Table 2. Measured factors for soil

Profile	Soil texture	Albedo (%)	Initial saturation (%) level	Interrill Erodibility (kg.s.m ⁴)	Rill Erodibility (s.m)	Critical Shear (N.m ²)	Effective hydraulic conductivity (mm.hr)
1	Clay loam	0.22	27.06	1645658	0.0013	2.1233	12.58
2	Clay loam	0.73	28.47	1619547	0.0021	3.6842	15.31
3	Clay loam	0.37	29.44	1687022	0.0014	2.5436	13.25
4	Sandy clay loam	0.43	22.36	2167170	0.0033	3.4218	21.48
5	Sandy loam	0.32	18.97	2836485	0.0018	3.2015	23.84
6	Sandy loam	0.29	15.93	2397643	0.0011	2.6678	16.56
7	Loam	0.15	26.05	1637020	0.0010	1.0364	15.17
8	Loam	0.39	16.98	1693571	0.0012	1.6958	26.35
9	Sandy clay loam	0.43	20.41	3167076	0.0019	3.5178	22.19
10	Clay loam	0.19	24.28	2547931	0.0017	3.2163	22.96



شکل ۳- موقعیت بندهای گابیونی و نقاط برداشت نمونه‌های خاک
 Fig. 3. Gabion check dam and soil-profile sampling locations

هر آزمون دارای یک مقدار P است که احتمال اینکه هر دو مجموعه از داده‌ها متعلق به همان توزیع احتمال برابر باشند، یکسان است. بنابراین، برای یک مقدار P خیلی پایین، فرض صفر رد می‌شود، به این معنی که اختلاف بین اقلیم واقعی و اقلیم شبیه‌سازی شده برای آن متغیر معنی‌دار است و شباهت بین آن‌ها غیرمحمول است. برعکس، یک مقدار P بزرگ بیانگر آن است که فرض صفر مورد قبول است. به این معنی که تفاوت‌ها به اندازه کافی کوچک هستند و اختلاف معنی‌دار نیست. به‌طور معمول، برای این آزمون‌ها سطح اطمینان پنج درصد در نظر گرفته شده است. بنابراین برای $P \geq 0.05$ می‌توان فرض صفر را پذیرفت.

در این پژوهش، تغییرات متغیرها در افق ۲۰۵۰ نسبت به دوره مبنا (۲۰۱۸-۱۹۷۹) مورد بررسی قرار گرفت. سپس، داده‌های پیش‌بینی شده تحت سه سناریو

مدل LARS-WG: در این پژوهش، از ویرایش شش مدل LARS-WG و نسخه دوم مدل محیطی جهانی مرکز هلدی و سه سناریو RCP4.5، RCP8.5 و RCP2.6، از گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شد. برای بررسی عملکرد نتایج شبیه‌سازی در این مدل، از آزمون‌های آماری کولموگروف اسمیرنوف $(K-S)$ و t و F استفاده می‌شود. این آزمون‌ها بر اساس این فرض هستند که داده‌های هواشناسی مشاهده و تولید شده، نمونه‌های تصادفی از توزیع‌های موجود هستند. این آزمون‌ها فرض صفر را بررسی می‌کنند که فرض صفر به این معنی است که هر دو توزیع مشابه هستند و اختلاف معنی‌داری ندارند. به این معنی که اختلافی بین اقلیم واقعی و اقلیم شبیه‌سازی شده برای آن متغیر وجود ندارد و دو مجموعه از داده‌ها می‌توانند از توزیع یکسان به‌دست آیند.

واسنجی و اعتبار سنجی مدل SWAT، از الگوریتم نیمه خودکار SUFI-2 استفاده شد (Yang et al., 2008؛ Yesuf et al., 2016).

در این پژوهش، برای ارزیابی شبیه‌سازی‌های مدل از دو شاخص آماری ضریب تبیین^۱ و معیار نش-ساتکلیف^۲ بهره گرفته شد. سپس با معرفی سری‌های روزانه دما و بارش ریزمقیاس شده به‌وسیله مدل LARS-WG، تحت سه سناریو RCP4.5، RCP8.5 و RCP2.6 به مدل SWAT، سری‌های زمانی ماهانه رواناب و رسوب حوضه دهبار در ایستگاه هیدرومتری حصار برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ با و بدون در نظر گرفتن بندهای گابیونی، شبیه‌سازی شد.

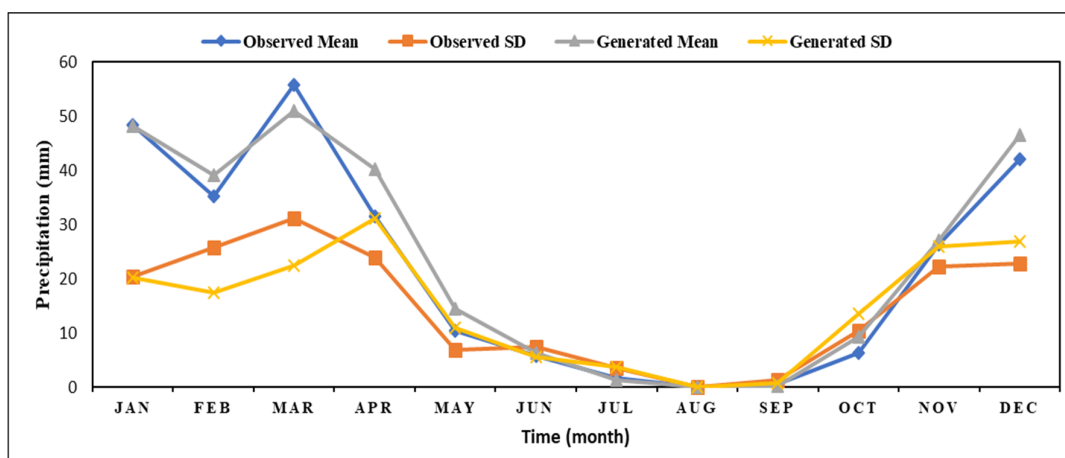
نتایج و بحث

نتایج مدل LARS-WG: برای تایید روند ریزمقیاس نمایی، نمودارهای میانگین و انحراف معیار مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل LARS-WG6، در دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۸ مربوط به متغیرهای بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه در مقیاس ماهانه در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است. همچنین، مقادیر p-value حاصل از آزمون t برای متغیرهای ذکر شده در جدول ۳، مشاهده می‌شود.

RCP8.5، RCP4.5 و RCP2.6 به مدل SWAT معرفی شد.

مدل SWAT: برای آماده‌سازی و اجرای مدل SWAT، از نقشه و اطلاعات مدل رقومی ارتفاع، خاک، کاربری اراضی، داده‌های هیدرولوژیک و هواشناسی استفاده شد. در ابتدا، مدل رقومی ارتفاع به افزونه ArcSWAT در نرم‌افزار ArcGIS 10.3.1 معرفی شد و با اضافه کردن یک خروجی در محل ایستگاه هیدرومتری حصار، حوضه دهبار به ۱۰ زیرحوضه تفکیک شد. از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۰، برای واسنجی و از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۸، برای دوره صحت‌سنجی مدل انتخاب شد. در این پژوهش، سه سال قبل از دوره انتخاب شده برای واسنجی مدل یعنی سال‌های ۱۹۸۱-۱۹۷۹ به‌عنوان دوره گرم کردن انتخاب شد (Arnold et al., 1993؛ Eckhardt et al., 2003).

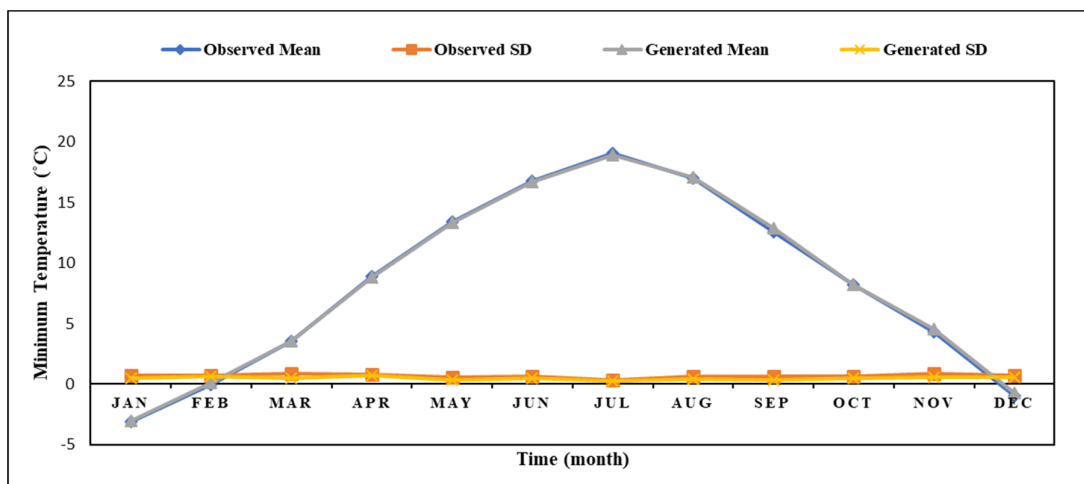
در مدل SWAT، به چهار روش می‌توان بند را مدل‌سازی کرد. این روش‌ها شامل برکه، تالاب، چاله و مخزن هستند. از مخزن، برای معرفی بندهای گابیونی به مدل استفاده شد. این بخش در مدل SWAT برای شبیه‌سازی مخازن کوچک کنترل نشده که حجم آب اضافه با سرعت مشخصی در طول یک روز از آن خارج می‌شود، طراحی شده است. به‌منظور تحلیل حساسیت،



شکل ۴- میانگین و انحراف معیار مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بارش ماهانه
Fig. 4. The mean and standard deviation of observed and generated monthly precipitation

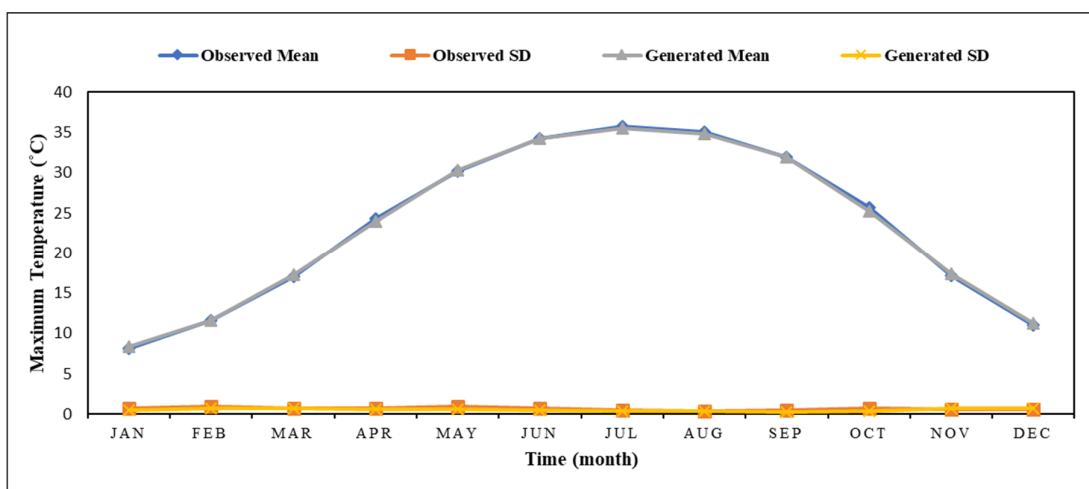
^۲ Nash-Sutcliffe Efficiency coefficient (NSE)

^۱ Coefficient of determination (R^2)



شکل ۵- میانگین و انحراف معیار مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده دمای کمینه ماهانه

Fig. 5. The mean and standard deviation of observed and generated monthly minimum temperature



شکل ۶- میانگین و انحراف معیار مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده دمای بیشینه ماهانه

Fig. 6. The mean and standard deviation of observed and generated monthly maximum temperature

جدول ۳- مقادیر p-value حاصل از آزمون t برای مقایسه میانگین‌های ماهانه بارش و کمینه و بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده‌ای

Table 3. p-value results of the t-test for comparing the average monthly precipitation and minimum and maximum temperatures generated based on observed data

Month	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
Precipitation (mm)	0.21	0.78	0.62	0.13	0.17	0.76	0.62	0.78	0.18	0.30	0.89	0.18
Minimum temperature (°C)	0.20	0.37	0.95	0.63	0.79	0.92	0.17	0.76	0.21	0.81	0.23	0.73
Maximum temperature (°C)	0.15	0.71	0.26	0.16	0.56	0.80	0.21	0.13	0.99	0.15	0.15	0.19

در خصوص مقادیر انحراف معیار بارش‌های ماهانه نیز بیشترین اختلاف به ماه‌های فوریه و مارس تعلق دارد. میانگین دمای کمینه شبیه‌سازی شده نیز تطابق بسیار

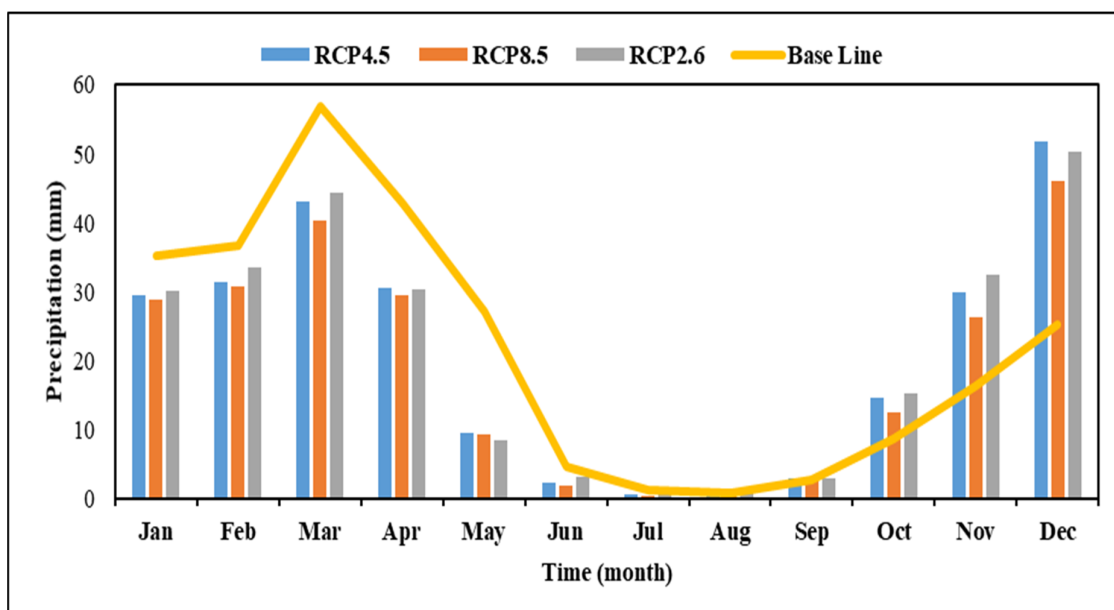
با توجه به شکل ۴، مقادیر میانگین بارش شبیه سازی شده، انطباق خوبی با مقادیر مشاهده‌ای دارند و بیشترین اختلاف مربوط به ماه‌های فوریه و آوریل است.

هفت ماه ابتدای سال، کمتر از میزان بارش ماهانه در دوره پایه نشان می‌دهد ولی برای پنج ماه دوم سال، افزایش بارش مشاهده می‌شود. کاهش بارندگی و برهم خوردن توزیع زمانی بارش در نتایج Modaresi et al., (2011)، Sanikhani et al., (2013)، Taheri Tizro et al., (2018) و al., (2019) نیز دید می‌شود. در تحقیقاتی نظیر Farmanbar et al., (2018) و Kaboosi and Kordjazi (2017)، افزایش بارندگی گزارش شده است. در شکل ۸ نیز اختلاف دما در سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ تحت سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه نشان داده شده است. با توجه به این نمودارها، به‌طور کلی پیش‌بینی می‌شود که در افق ۲۰۵۰ دما به‌طور متوسط نسبت به دوره پایه افزایش یابد.

خوبی با مقادیر مشاهداتی دارد (شکل ۵). همچنین، برای دمای بیشینه نیز روندی مشابه دمای کمینه دیده می‌شود که در شکل ۶، کاملاً مشهود است.

انطباق بیشتر مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده دما نسبت به مقادیر بارش به علت ماهیت پیوسته بودن عامل دما است. در جدول ۳، هیچ اختلاف معنی‌داری بین میانگین داده‌های دما و بارش تولید شده و داده‌های مشاهده‌ای وجود ندارد و مدل LARS-WG به خوبی توانسته است میانگین‌های دما و بارش را شبیه‌سازی کند. به‌طور معمول، برای این آزمون سطح اطمینان پنج درصد در نظر گرفته شده است، بنابراین، برای $P \geq 0.05$ می‌توان فرض صفر را پذیرفت.

شکل ۷ نیز بارش ماهانه در تمامی سناریوها (RCP4.5، RCP8.5 و RCP2.6) در افق ۲۰۵۰ را در

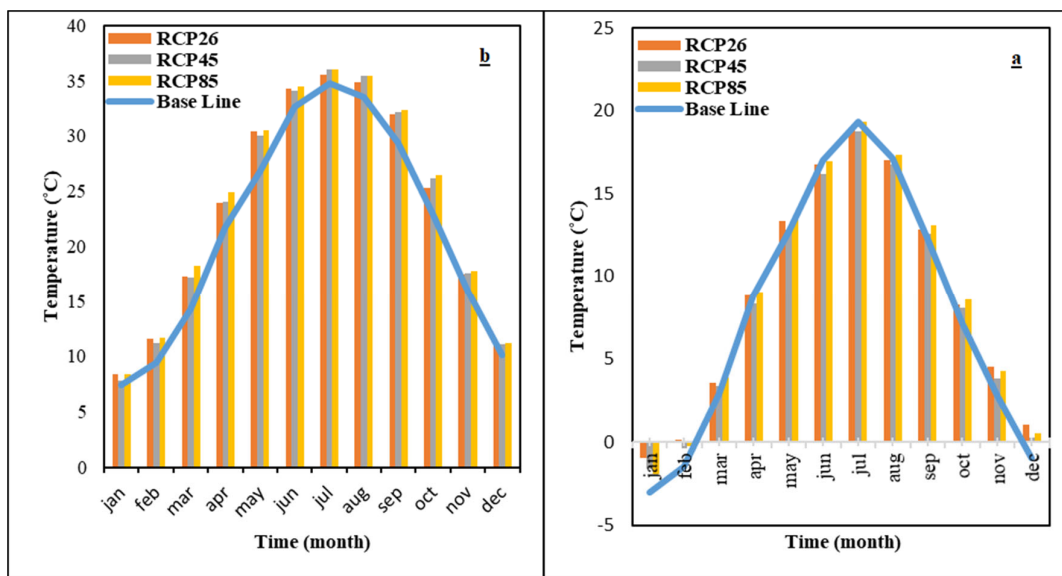


شکل ۷- میانگین بارش ماهانه در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ به ازای سناریوهای مختلف در مقایسه با دوره پایه

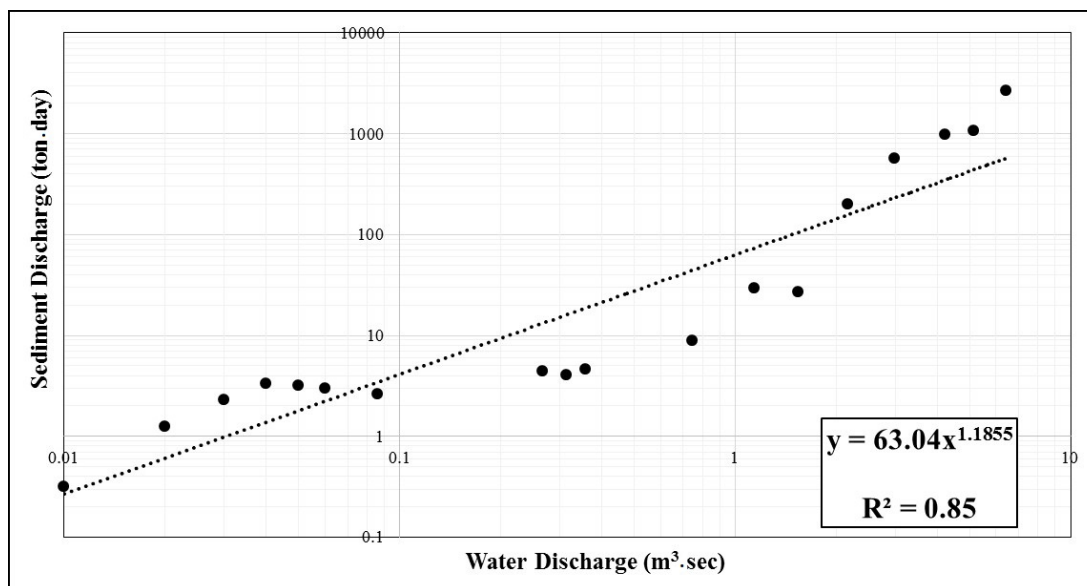
Fig. 7. Average monthly precipitation compared to the reference period during the 2020–2050 interval under different scenarios

منحنی سنج رسوب از روش متوسط دسته‌ها با ضریب FAO اصلاح شده، استفاده شد. شکل ۹، نمودار سنج رسوب حوزه آبخیز دهبار را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار، مقدار رسوب مشاهده‌ای ۲/۱۴ تن در هکتار در سال محاسبه شد.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT: در ابتدا، برای بررسی صحت پیش‌بینی‌های انجام شده، از داده‌های ایستگاه هیدرومتری حصار، دوره آماری ۴۰ ساله استفاده شد. اطلاعات این ایستگاه شامل داده‌های روزانه دبی و داده‌های موردی رسوب است. برای ترسیم



شکل ۸- میانگین a: دمای کمینه و b: دمای بیشینه در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ به ازای سناریوهای مختلف در مقایسه با دوره پایه
 Fig. 8. Average monthly a) minimum temperature and b) maximum temperature compared to the reference period during the 2020–2050 interval under different scenarios



شکل ۹- منحنی سنجه رسوب حوزه آبخیز دهبار
 Fig. 9. Sediment rating curve of the Dehbar Catchment area

می‌شوند. مقادیر اولیه برای هر پارامتر در برگزیده حدود نسبتاً زیاد و در عین حال مجاز است. برای تعیین آن دسته از پارامترهایی که بیشترین تأثیر را در نتایج خروجی داشتند، تمام پارامترها به جز یکی از آنها، ثابت فرض می‌شود و حدود آن به پنج قسمت تقسیم و هر بار میانگین هر قسمت انتخاب و سپس مدل اجرا می‌شود. پس از اجرای مدل، نتایج خروجی در مقابل مقادیر مشاهده شده رسم می‌شود. حدودی که بیشترین

برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT، در ابتدا، با استفاده از نرم‌افزار SWAT_CUP پارامترهایی که تأثیر بیشتری بر دبی و رسوب خروجی از حوضه داشتند، مشخص شدند. به منظور تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT، از الگوریتم نیمه خودکار SUFI-2 استفاده شد.

روش کار به این صورت است که ابتدا پارامترهای زیادی برای حصول به خروجی‌های مورد نظر انتخاب

خروجی از زیرحوضه‌ها با مقادیر p-value و t-stat مشخص شده است. هر متغیر که مقدار قدر مطلق t-stat بیشتری داشته، همچنین، مقدار p-value آن نزدیک صفر باشد، تاثیر بیشتری بر روی دبی و رسوب دارد. پس از آن، مدل با داده‌های دبی و بار رسوب ماهانه ایستگاه هیدرومتری حصار واسنجی و اعتبارسنجی شد.

تغییرات در نتایج خروجی را ایجاد می‌کند، به‌عنوان حساس‌ترین بازه انتخاب و در ادامه برای عملیات واسنجی استفاده می‌شوند.

تحلیل حساسیت بر روی ۲۷ متغیر انتخاب شده برای دبی و ۱۴ متغیر برای رسوب انجام شد. نتایج حاصل از انجام تحلیل حساسیت برای رواناب و رسوب در جدول ۴، نشان داده شده است. در این جدول، درجه تاثیر پارامترهای مهم در شبیه‌سازی دبی و رسوب

جدول ۴- نتایج تحلیل حساسیت مدل و مقادیر t-stat و p-value مربوط به پارامترهای منتخب رواناب و رسوب

Table 4. Sensitivity analysis results, the t-statistic, and the p-value of the selected runoff and sedimentation parameters.

Rank	Parameter*	Description	Dimension	t-stat	p-value
1	r_CN2.mgt	SCS runoff curve number for moisture condition II	dimensionless	5.21	0.00
2	v_SMFMX.bsn	Melt factor for snow on 21 June	mm/(°C.day)	4.43	0.00
3	v_ALPHA_BF.gw	Baseflow alpha factor	days	3.88	0.00
4	r_USLE_K(1).sol	USLE equation soil erodibility (K) factor	dimensionless	2.69	0.00
5	v_CH_N2.rte	Manning's n value for main channel	dimensionless	2.68	0.01
6	v_PRF.bsn	Peak factor for sediment routing channel	dimensionless	1.91	0.05
7	v_SPCON.bsn	Linear parameter for calculating the maximum amount of sediment that can be retrained during channel sediment routing	dimensionless	1.89	0.06
8	v_ESCO.hru	Soil evaporation compensation factor	dimensionless	1.48	0.15
9	v_SPEXP.bsn	Exponent parameter for calculating sediment retrained in channel sediment routing	dimensionless	1.47	0.13
10	r_OV_N.hru	Manning's "n" value for overland flow	dimensionless	1.45	0.15
11	v_TIMP.bsn	Snow pack temperature lag factor	dimensionless	1.35	0.18
12	r_SOL_AWC(1).sol	Available water capacity of the soil layer	mm H ₂ O /mm soil	1.33	0.27
13	v_CH_K2.rte	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium	mm/hr	0.86	0.39
14	r_SOL_K(1).sol	Saturated hydraulic conductivity	mm/hr	0.81	0.42
15	v_GW_DELAY.gw	Groundwater delay	days	0.73	0.49

* v: the parameter value would be replaced by the given value; r: the parameter value would be multiplied by 1 the given value

دوره پایه است و برای سناریوی RCP8.5 کاهش رواناب و رسوب پیش‌بینی شده است. در جدول ۶، درصد تغییرات رواناب و رسوب در دوره آتی نسبت به دوره پایه برای هر سه سناریوی اقلیمی و با حضور بندهای گابیونی مشاهده می‌شود.

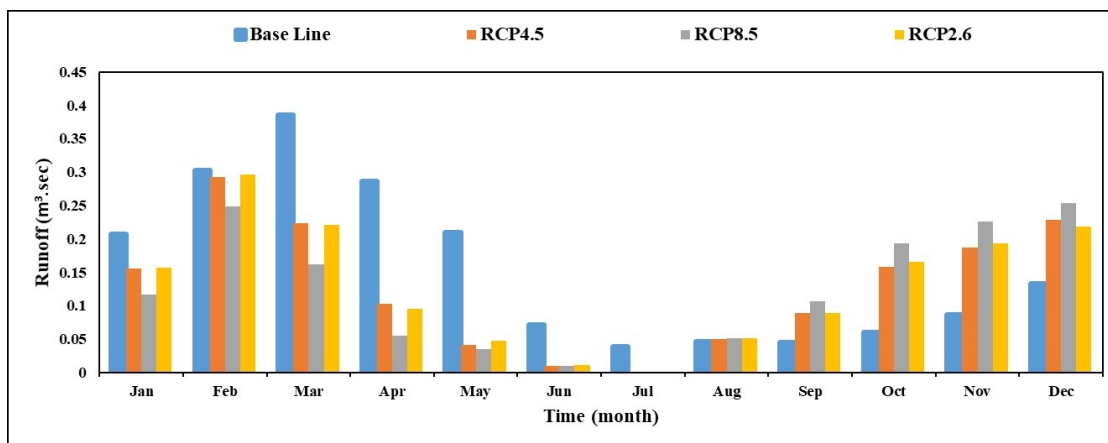
کاهش میزان رواناب که در نتیجه کاهش میانگین ماهانه بارندگی است، به‌وسیله محققانی همچون Mansouri et al., (2015) و Naseri et al., (2016) نیز گزارش شده است.

نتایج این بخش در جدول ۵، ارائه شده است. پس از اطمینان از کارایی مدل، داده‌های ریزمقیاس شده به وسیله مدل LARS-WG تحت سه سناریوی RCP8.5، RCP4.5 و RCP2.6 به مدل SWAT معرفی شد. در صورت وجود بندهای گابیونی، نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان‌دهنده افزایش رواناب و رسوب در پنج ماه انتهایی سال نسبت به نیمه اول است. نتایج نشان‌دهنده کاهش رواناب و افزایش رسوب برای سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 در دوره آتی نسبت به

جدول ۵- معیارهای ارزیابی مدل SWAT برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی

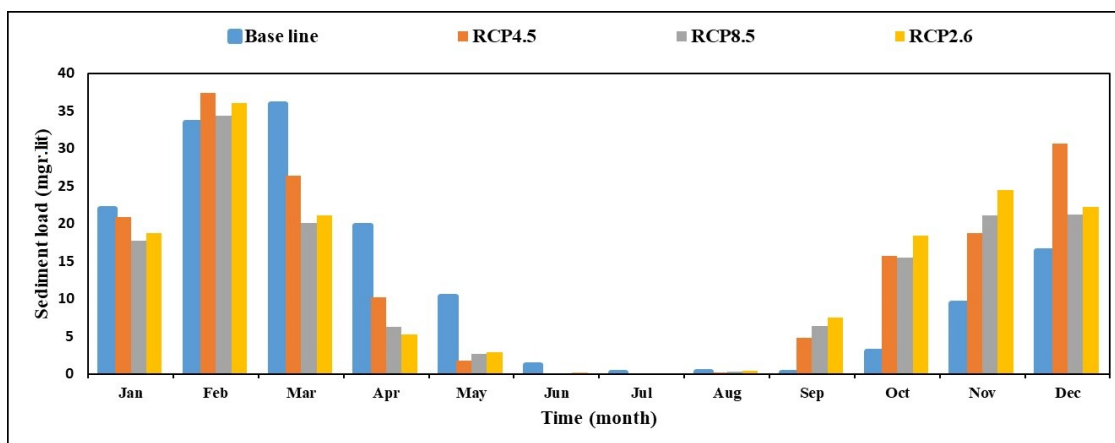
Table 5. SWAT evaluation criteria for calibration and validation periods.

Variable	Period	NSE	R ²	p-factor	r-factor	
Runoff	Calibration	1982-2010	0.92	0.91	0.66	0.48
	Validation	2011-2018	0.68	0.93	0.55	0.29
Sediment load	Calibration	1982-2010	0.63	0.85	0.42	1.46
	Validation	2011-2018	0.73	0.84	0.46	1.35



شکل ۱۰- میانگین رواناب ماهانه دوره پایه و دوره آتی

Fig. 10. The mean monthly runoff during the reference and projected periods



شکل ۱۱- میانگین رسوب ماهانه دوره پایه و دوره آتی

Fig. 11. The mean monthly sediment load during the reference and projected periods

جدول ۶- میزان درصد تغییر میانگین رواناب و رسوب دوره آتی نسبت به دوره پایه

Table 6. Mean annual runoff and sediment load changes in the projected period compared to the reference period

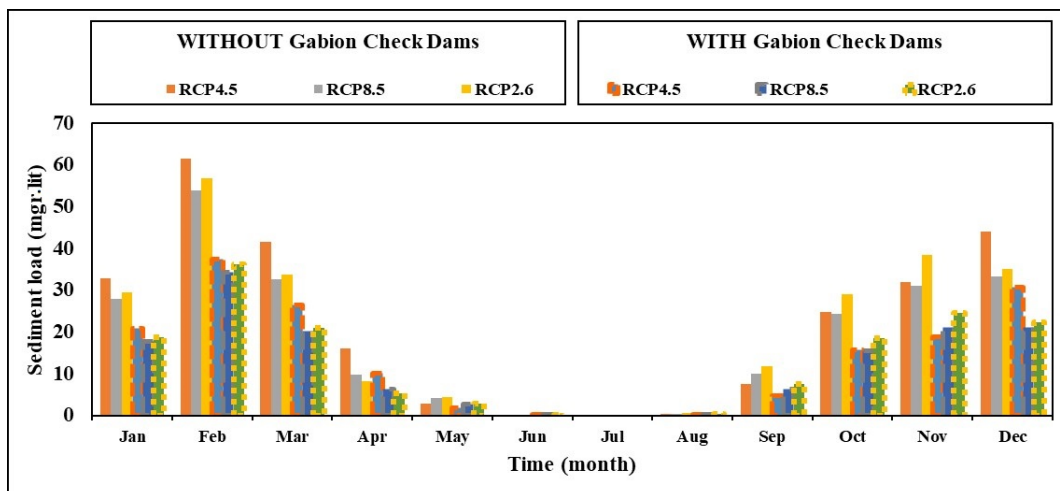
Variable	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Runoff	-17.1	-17.5	-21.8
Sediment load	3.1	9.3	-4.6

با حذف بندهای گابیونی از مسیر رودخانه دهبار، میزان رسوب خروجی از حوضه برای تمام سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5، RCP8.5 افزایش را نشان می‌دهد (شکل ۱۲). با توجه به جدول ۷، به‌طور میانگین در

میزان رسوب خروجی از حوضه برای تمام سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5، RCP8.5 افزایش را نشان می‌دهد (شکل ۱۲). با توجه به جدول ۷، به‌طور میانگین در

al., (2008) در جنوب اسپانیا توانایی بندهای گابیونی را در کاهش رسوبات خروجی از حوضه تا ۷۷ درصد و Mishra et al., (2007) در حوضه بانها^۲ در شمال هندوستان بین ۵۳ تا ۶۴ درصد، گزارش دادند.

صورت عدم وجود بندهای گابیونی میزان رسوب خارج شده از حوضه ۵۷ درصد افزایش خواهد یافت. Li et al., (2016) نشان دادند که بندهای گابیونی توانایی کاهش رسوبات خروجی از حوضه هونگپوچان^۱ را تا میزان ۷۸/۳ درصد دارند. همچنین، Boix-Fayos et



شکل ۱۲- مقایسه میانگین رسوب ماهانه با حذف بندهای گابیونی

Fig. 12. The monthly sediment load after removing the gabion check dams

جدول ۷- میزان درصد تغییر میانگین رسوب دوره آتی با حذف بندهای گابیونی

Table 7. Average sediment load variations in the projected period after removing the gabion check dams

Variable	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Sediment load	57.43	57.62	56.23

رواناب و رسوب حوزه آبخیز دهبار از مدل SWAT استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که مدل SWAT، قابلیت شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی و رسوب در حوزه‌های آبخیز نسبتاً کوچک تا متوسط، با شرایط پیچیده مانند حوضه دهبار را حتی با محدودیت داده مشاهده‌ای، با دقتی قابل قبول دارد. البته با این شرط که داده‌های ورودی با دقت مناسب در مدل‌سازی استفاده شوند و نیز دقت و توجه کافی در واسنجی مدل، به شرایط ویژه منطقه صورت گیرد تا مدل‌ها هر چه بیشتر معرف شرایط واقعی حوضه باشند.

واسنجی، تحلیل حساسیت و اعتبارسنجی این مدل در نرم‌افزار SWAT_CUP انجام پذیرفت. با جای‌گذاری داده‌های خروجی مدل HadGEM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در مدل SWAT، برآورد

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثرات تغییر اقلیم بر رسوب خروجی از حوضه دهبار در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ و تاثیر بندهای گابیونی در شرایط موجود (وجود بندها) و در شرایط حذف این بندها، مورد بررسی قرار گرفت. برای ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای اقلیمی مدل HadGEM2 از ویرایش ششم مدل آماری LARS-WG تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد و تغییرات بارندگی و درجه حرارت به عنوان دو متغیر معرف اقلیم بررسی شد.

در کلیه سناریوها دمای کمینه و دمای بیشینه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرد. از اثرات منفی افزایش دما، ایجاد تغییر در مقادیر و الگوی زمانی-مکانی بارش است. برای شبیه‌سازی

² Banha

¹ Huangpuchuan

هستند و تعمیم نتایج حوضه دهبار به این دو حوضه بایستی راهکارهای مناسب برای مقابله احتمالی و یا سازگاری با تغییر اقلیم مانند احداث بندهای گابیونی و رسوبگیر مورد بررسی قرار گیرد تا در صورت امکان اجرایی شوند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از کلیه افرادی که در ارتقای کیفیت مقاله نقش موثری ایفا کردند، صمیمانه قدردانی می شود.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مساله مورد تایید همه نویسندگان است.

رسوب در افق ۲۰۵۰ انجام پذیرفت و در دو سناریوی RCP2.6 و RCP4.5 افزایش مقدار رسوب با وجود کاهش رواناب مشاهده شد. افزایش مقدار رسوب در نقطه خروجی حوضه با وجود کاهش بارندگی و رواناب، نشان دهنده بارش های کوتاه مدت با شدت زیاد بوده که باعث افزایش ایجاد شرایط سیلابی می شود. همچنین، بندهای گابیونی توانایی کاهش ۵۷ درصدی رسوبات خروجی از حوضه را در دوره آبی دارند.

از تغییرات میزان فرسایش و رسوب در افق ۲۰۵۰ و با سناریوهای متفاوت می توان نتیجه گرفت که تغییر اقلیم بر فرسایش حوضه در آینده تاثیرگذار است و مدل شبیه سازی می تواند در پیش بینی فرسایش پذیری کارایی داشته باشد. لذا، نتایج به دست آمده از مدل SWAT امکان توصیه کاربرد آن را در منطقه فراهم می کند. با قرارگیری حوضه دهبار در میان دو حوضه مایان و جاغرق که تامین کنندگان آب بند گلستان

منابع مورد استفاده

- Abbasi, F., Habibi Nokhandan, M., Goli Mokhtari, L., Malbousi, Sh., 2011. Climate change assessment over Iran in the future decades using MAGICC-SCENGEN model. *J. Phys. Geogr. Res.* 42(72), 91-109.
- Ahmadi, H., Fallah Ghalhari, Gh., Baaghdeh, M., 2019. Projection of climate change impacts on seasonal precipitation in Iranian cold regions based on Radiative Forcing Scenarios (RCP). *J. Earth Space Phys.* 45(1), 177-196.
- Alansi, A.W., Amin, M.S.M., Abdul Halim, G., Shafri, H.Z.M., Aimrun, W., 2009. Validation of SWAT model for stream flow simulation and forecasting in upper Bernam humid tropical river basin, Malaysia. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 6(6), 7581-7609.
- Albaji, M., Ershadian, B., Noori Nejad, A., Mohammadi, E., Ghorban Dashtaki, S., 2020. Determination of water erosion in Kowsar Catchment area and evaluation of gabion structures in its control. *Environ. Earth Sci.* 79(22), 505.
- Arnold, J.G., Allen, P.M., Bernhardt, G., 1993. A comprehensive surface groundwater flow model. *J. Hydrol.* 47-69.
- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 34(1), 73-89.
- Bai, L., Wang, N., Jiao, J., Chen, Y., Tang, B., Wang, H., Chen, Y., Yan, X., Wang, Z., 2020. Soil erosion and sediment interception by check dams in a watershed for an extreme rainstorm on the loess plateau, China. *Int. J. Sediment Res.* 35(4), 408-416.
- Berhe, A.A., Barnes, R.T., Six, J., Marín-Spiotta, E., 2018. Role of soil erosion in biogeochemical cycling of essential elements: carbon, nitrogen, and phosphorus. *Annu. Rev. Earth Planet Sci.* 46(1), 521e548.
- Boix-Fayos, C., Vente, D.J., Martínez-Mena, M., Barbera, G.G., Castillo, V., 2008. The impact of land use change and check-dams on catchment sediment yield. *Hydrol. Process.* 22(25), 4922e4935.
- Burns, I.S., Scott, S., Levick, L., Hernandez, M., Goodrich, D.C., Semmens, D.J., Kepner, W.G., 2004. Automated Geospatial Watershed Assessment (AGWA)- a GIS based hydrologic modeling tool, documentation and user manual version 1.4. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-1446.
- Daneshfaraz, R., Razzaghpour, H., 2014. Evaluation of climate change impacts on potential evapotranspiration in the West Azerbaijan Province. *J. Geog. Space* 14(46), 199-211.
- Eckhardt, K., Breuer, L., Frede, H.G., 2003. Parameter uncertainty and the significance of simulated land use change effects. *J. Hydrol.* 164-176.

- Farmanbar, Z., Delavar, M., Imani Amir Abad, S., 2018. The Effects of climate change on water resources and agricultural systems in the context of regional risk assessment, case study: Lakes Basin Zeribar. *Iran-Water Resour. Res.* 13(4), 75-88.
- Golshan, M., Esmaeli Ouri, A., Shahedi, K., Jahanshahi, A., 2016. Evaluation of the efficiency of SWAT and IHACRES models in runoff simulation of Khoramabad Basin. *J. Water Soil Sci.* 26(1/2), 29-42.
- Goodarzi, M.R., Zahabioun, B., Masah Boani, A., Kamal A., 2012. Comparison of performance of three hydrological models SWAT, IHACRES and SIMHYD in simulation of Ghareh Sou Basin runoff. *J. Water Manage. Irrig.* 2(1), 25-40.
- Goudarzi, M., Salahi, B. and Hoseini, A., 2015. Study on effects of climate changes on surface runoff changes case study: Urmia Lake Basin. *J. Eco hydrol.* 2(2), 175-189.
- Hosseini, M., Ghafouri, M., Tabatabaei, M., Nadergholi, E., Zare Garizi, A., 2016. Estimation of hydrologic budget for Ghareh Sou Watershed, Iran. *J. Ecopersia* 4(3), 1455-1469.
- Kaboosi, K., Kordjazi, M., 2017. The effect of climate change on meteorological parameters and drought in Golestan Province. *Iran-Water Resour. Res.* 13(3), 205-213.
- Kiani, F., Behtarinejad, B., Najafinejad, A., Kaboli, R., 2017. Evaluation theerosion and sediment in different land uses of Tamer Watershed, Golestan Province using SWAT model. *J. Water Soil* 31(5), 1383-1395.
- Kliment, Z., Kadlec, J., Langhammer, J., 2008. Evaluation of suspended load changes using AnnAGNPS and SWAT semi-empirical erosion models. *Catena* 73, 286-299.
- Li, E.H., Mu, X.M., Zhao, G.J., Gao, P., Sun, W., 2016. Effects of check dams on runoff and sediment load in a semi-arid river basin of the Yellow River. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 31(7), 1791-1803.
- Liu, C., Li, Z.W., Berhe, A.A., Zeng, G.M., Xiao, H.B., Liu, L., Wang, D.Y., Peng, H., 2019. Chemical characterization and source identification of organic matter in eroded sediments: role of land use and erosion intensity. *Chem. Geol.* 506, 97e112.
- Liu, C., Li, Z.W., Chang, X.F., He, J.J., Nie, X.D., Liu, L., Xiao, H.B., Wang, D.Y., Peng, H., Zeng, G.M., 2018. Soil carbon and nitrogen sources and redistribution as affected by erosion and deposition processes: a case study in a loess hilly-gully catchment, China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 253, 11e22.
- Mahzari, S., Kiani, F., Khormali, F., Azimi, M., 2016. Using SWAT model to determine runoff, sediment yield and nitrate loss in Gorganroud Watershed, Iran. *J. Ecopersia* 4(2), 1359-1377.
- Mansouri, B., Ahmadzadeh, H., Massah Bavani, A., Morid, S., Delavar, M., Lotfi, S., 2015. Assessment of climate change impacts on water resources in Zarrinehrud Basin using SWAT model. *J. Water Soil* 28(6), 1191-1203 (in Persian).
- Mishra, A., Froebrich, J., Gassman, P.W., 2007. Evaluation of the SWAT model for assessing sediment control structures in a small watershed in India. *Trans ASABE* 50(2), 469e477.
- Modaresi, F., Araghinejad, Sh., Ebrahimi, K., Kholghi, M., 2011. Assessment of climate change effects on the annual water yield of rivers: a case study of Gorganroud River, Iran. *J. Water Soil* 25(6), 1365-1377.
- Musavi Herami, R., Mahbubi, A., Ghafuri, M., Khanebad, M., 2003. Sedimentology and fine-scale studies downstream of Golestan Dam Basin, southwest of Mashhad. *J.Sci.I.R.I.* 5(1).
- Naseri, E., Shahidi, A., Farzaneh, M.R., 2016. the assesment of climate change on runoff by SWAT model. *J. Rainwater Catchment Syst.* 3(4), 27-38.
- 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.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., 2005. SWAT theoretical documentation version 2005. Grassland. Soil and Water Research Laboratory. Agricultural Research Service. Temple, Texas, USA.
- Norman, L.M., Niraula, R., 2016. Model analysis of check dam impacts on long-term sediment and water budgets in Southeast Arizona, USA. *Ecohydrol. Hydrobiol.* 16(3), 125-137.
- Parajuli, P.B., Nelson, N.O., Frees, L.D., Mankin, K.R., 2009. Comparison of AnnAGNPS and SWAT model simulation results in USDA-CEAP agricultural watersheds in south-central Kansas, *Hydrol. Process* 23, 748-763.
- Saleh, A., Du, B., 2004. Evaluation of SWAT and HSPF within BASINS program for the upper North Bosque River Watershed in central Texas. *Trans ASABE* 47(4), 1039.
- Samad, N., Chauhdry, M.H., Ashraf, M., Saleem, M., Hamid, Q., Babar, U., Tariq, H., Farid, M.S., 2016. Sediment yield assessment and identification of check dam sites for Rawal Dam Catchment. *Arab. J. Geosci.* 9, 466.
- Sanikhani, H., Dinpajoh, Y., Pouryusef, S., Ghavidel, S.Z., Soltani, B., 2013. The impacts of climate change on runoff in watersheds, case study: Ajichay Watershed in East Azerbaijan Province, Iran. *J. Water Soil* 27(6), 1225-1234.
- Stovin, V.R., Grimm, J.P., Saul, A.J., 2002. Fine sediment retention in storage chambers: an assessment of time-dependent effects. *Water Sci. Tech.* 45(7), 123-131.

- Taheri Tizro, A., Khodamoradpour, M., Mashhadian, M.J., 2018. Evaluation of RegCM4 regional climate model simulations for the land surface water budget components, a case study in Toyserkan Plain, Hamedan Province. *J. Soil Water Conserv.* 24(5), 1-24.
- Vaezi, A., Rostam, K., Sadeghi, S.H., 2021. Investigation on the effectiveness of gabion check dams in amount and grain size of sedimentation in the Razin Watershed, west of Iran. *J. Soil Water Conserv.* 27, 201-216 (in Persian).
- Xu, Y.D., Fu, B.J., He, C.S., 2013. Assessing the hydrological effect of the 942 check dams in the Loess Plateau, China, by model simulations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17(6), 2185-2193.
- Yang, J., Reicher, P., Abbaspour, K.C., Xia, J., Yang, H., 2008. Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe Basin in China. *J. Hydrol.* 358(1-2), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.05.012>
- Yesuf, H.M., Melesse, A.M., Zeleke, G., Alamirew, T., 2016. Streamflow prediction uncertainty analysis and verification of SWAT model in a tropical watershed. *Environ. Earth Sci.* 75(9), 806. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5636-z>
- Yuan, S., Li, Z., Li, P., Xu, G., Gao, H., Xiao, L., Wang, F., Wang, T., 2019. Influence of check dams on flood and erosion dynamic processes of a small watershed in the Loess Plateau. *Water* 11, 834.