



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۲ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

صفحه‌های ۵۸-۴۵

DOI: 10.22059/jwim.2022.333974.945

مقاله پژوهشی:

چشم‌انداز آثار تغییر اقلیم بر میزان جریان ورودی به مخزن سد مارون

مصطفی میرمهدی^۱، مجتبی شوریان^۲، احمد شرافتی^۳، سعید لطفی^۴

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. استادیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳. استادیار، دانشکده مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴. کارشناس، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا، وزارت نیرو، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۰۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۲۴

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان جریان ورودی به سد مارون با استفاده از مدل SWAT تحت دو سناریو اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 در سه دوره بیست‌ساله در آینده می‌باشد. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل از داده‌های جریان اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های ایدناک و تنگ‌تکاب استفاده شد. شاخص نش-ساتکلیف ایستگاه ایدناک برابر با ۰/۶۹ و ۰/۶۵ و ایستگاه تنگ‌تکاب بهمان برابر با ۰/۶۷ و ۰/۵۹ در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی به‌دست آمد. بیش‌ترین افزایش دما در دوره انتهایی و تحت سناریوی اقلیمی RCP8.5 خواهد بود. برای شبیه‌سازی جریان در دوره‌های آینده، بارش و دمای هوا تحت دو سناریو ذکر شده با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس شد و با ورود داده‌ها به مدل SWAT، جریان ورودی به سد برای سه دوره آینده شبیه‌سازی شد. نتایج پیش‌بینی جریان ورودی به سد نشان داد که اگر چه میزان بارش در منطقه افزایش داشته اما افزایش دما در این حوضه اثر و کارایی بیش‌تر بیش‌تری در کاهش میزان جریان خواهد داشت. بیش‌ترین میزان کاهش میانگین جریان ورودی به سد مارون در دوره آینده نزدیک در سناریوی میانه RCP4.5 در ماه‌های فوریه و مارس با میزان ۲۱/۹۱ و ۲۶ درصد و در سناریوی بدبینانه RCP8.5 با میزان به ترتیب ۱۹ و ۲۲/۳۶ درصد نسبت به شرایط پایه می‌باشد. در نتیجه بیش‌ترین میزان کاهش جریان ورودی به سد مارون نسبت به شرایط پایه در سناریوهای انتشار RCP4.5 می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازبرآورد رواناب، تغییر اقلیم، جریان ورودی به مخزن، مدل‌سازی حوضه آبریز.

Projection of the Effects of Climate Change on the Inflow to Maroon Dam

Mostafa Mirmehdi¹, Mojtaba Shourian², Ahmad Sharafati³, Saeed Lotfi⁴

1. Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4. Bureau of Water and Wastewater Macro-Planning, Ministry of Energy, Tehran, Iran.

Received: November 15, 2021

Accepted: March 27, 2022

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effects of climate change on the inflow of Maroon Dam using the SWAT model under two climatic scenarios RCP4.5 and RCP8.5 in the next three twenty-year periods. Flow data measured at Idnak and Tang-e-Takab stations were used to calibrate and validate the model. The Nash-Sutcliffe index of Idnak station was equal to 0.69 and 0.65 and Tang-e-Takab station of Behbahan was equal to 0.67 and 0.59 in the calibration and validation stages. The highest temperature increase will be in the final period and under the RCP8.5 climate scenario. To simulate the flow in future periods, precipitation and air temperature under the two scenarios were micro-scaled using the LARS-WG model and by entering the data into the SWAT model, the inflow to the dam was simulated for the next three periods. The results of forecasting the inflow to the dam showed that although the amount of rainfall in the area has increased, but increasing the temperature in this basin will have a greater effect and efficiency in reducing the amount of flow. The highest decrease in the average inflow to the Maroon Dam in the near future is in the middle scenario of RCP4.5 with 21.91 and 26 percent and in the pessimistic scenario of RCP8.5 with 19 and 22.36 percent in February and March respectively. As a result, the maximum reduction of the inflow to the Maroon Dam compared to the baseline conditions is in the RCP4.5 release scenarios.

Keywords: Climate change, Reservoir inflow, Runoff estimation, Watershed modeling.

مقدمه

را ایفا کرده و جریان موردنیاز را در زمان معین به پایین دست هدایت می‌کنند. از طرفی دیگر، یکی از مهم‌ترین نتایج تغییر اقلیم، میزان تغییرات حجم آبدهی رودخانه‌ها می‌باشد که مدل‌های گردش عمومی جو به مانند LARS-WG تنها قادر به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی هم‌چون بارش و دما بوده و برای شبیه‌سازی میزان آبدهی حوضه‌های آبریز نیازمند استفاده از مدل‌های بارش-رواناب است. مدل SWAT² به‌عنوان یکی از قوی‌ترین ابزارهای تحلیل هیدرولوژیکی، فرایند شبیه‌سازی رواناب حوضه‌های آبریز را انجام داده و برای حوضه‌هایی که پیچیده و فاقد آماربرداری منظم می‌باشند، بسیار مناسب است (Gassman et al., 2001). به‌طوری‌که محققان بسیاری در داخل و خارج برای طراحی سناریوهای تغییر اقلیم نیز از این ابزار بهره گرفته‌اند.

Khalilian et al. (2018) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه دشت ورامین با استفاده از مدل SWAT پرداختند. آنان آثار ناشی از تغییر اقلیم بر دما، بارش و رواناب را به کمک مدل LARS-WG در دوره‌های آتی پیش‌بینی نمودند و از مدل SWAT تحت سناریوهای اقلیمی A1B، A2، B1 کمک گرفتند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد، رواناب در فصل پاییز و زمستان کاهش و در بهار افزایش می‌یابد که این جابه‌جایی فصلی رواناب ناشی از تأثیرات تغییر اقلیم به‌صورت افزایش دما، تغییر در الگوهای بارشی و ... است. Didovets et al. (2019) در مطالعه خود به بررسی اثر اقلیم بر ریسک سیل در منطقه و عدم قطعیت مرتبط با مدل هیدرولوژی، از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی استفاده نمودند. بدین منظور آنان از پنج مدل GCM³ و هم‌چنین مدل SWIM بهره گرفتند. Rabezanahary Tantelinaiina et al. (2021) در پژوهشی به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم آینده بر هیدرولوژی رودخانه

تغییر اقلیم از دیدگاه جغرافی‌دانان و صاحب‌نظران در این شاخه از علم، با مفهوم پیدایش تغییر تدریجی و غیرقابل بازگشت در تمام مقادیر میانگین متغیرها و الگوهای اقلیمی، مشروط بر طولانی‌مدت بودن مقطع زمانی آن تعریف می‌شود که در اثر افزایش تدریجی متغیرهای دیگری، درجه حرارت کره زمین (گرمایش جهانی) افزایش یافته و باعث وقوع پدیده‌های ناگوار اقلیمی، بی‌نظمی در وضعیت آب‌وهوایی، ریزش‌های جوی سیل‌آسا، خشکسالی‌ها، طوفان‌های قدرتمند در دریاها و خشکی‌ها و... می‌شود (Sourinejad, 2020) نهاد بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC)¹ در طی ارائه گزارشی، اعلام کرده است که در قرن بیست و یکم به‌دنبال فعالیت‌های انسانی در هر دهه با ۰/۳ الی ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش دما مواجه خواهیم بود. از آنجایی‌که افزایش دما موجب افزایش بخار آب موجود در جو شده و عملکرد چرخه هیدرولوژیکی آب را تسریع می‌بخشد، می‌توان انتظار داشت نواحی مختلف حوضه‌های آبریز از نظر سیل‌خیزی در معرض خطر بیش‌تری قرار می‌گیرند. هم‌چنین Houghton et al. (2001) معتقدند که تغییر اقلیم بر کمیت و کیفیت منابع آبی تأثیرگذار بوده و مناطقی نظیر خاورمیانه و شمال آفریقا که دارای منابع آبی محدودی هستند، با بیش‌ترین آسیب در تأمین آب مواجه خواهند بود (IPCC, 2013). در کشور ایران نیز به‌دلیل قرارگیری در کمربند خشکی و اقلیم گرم و خشک حاکم بر آن و در نهایت دسترسی محدود به منابع آبی، مسئله توسعه برنامه‌های وابسته به مدیریت منابع آب و کنترل حوضه‌های آبریز در اولویت برنامه‌ریزی‌ها قرار گرفته و از حساسیت بالایی برخوردار است. در این بین سدها نیز به‌عنوان راه‌کاری مهم و مؤثر در میان سیستم‌های ذخیره آب، نقش تنظیم توزیع مناسب مکانی و زمانی جریان آب

نزدیک تغییرات اقلیمی با تغییرات جریان رودخانه را نشان می‌دهد که می‌تواند زمینه را برای مبنای علمی قرارداد آن جهت مدیریت تطبیقی فراهم نماید. با توجه به مقدمه بالا و نقش تغییر اقلیم در چرخه هیدرولوژی و تغییرات در روند میزان بارش و دما و تأثیر آن بر میزان جریان، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان جریان ورودی به سد مارون واقع در استان خوزستان می‌باشد که این سد به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده انرژی کشور، در سال‌های اخیر دچار کمبود آب شده و میزان حجم آورد جریان از حوضه آبریز مارون به سمت مخزن سد مارون روندی کاهشی داشته است. با توجه به تنش‌های شدید آبی در حوضه مارون و این‌که تاکنون مطالعات کامل و دقیقی در این حوضه صورت نگرفته، این حوضه در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این پژوهش می‌تواند میزان تأثیرگذاری تغییر اقلیم بر حوضه مارون را بررسی و برای سازگاری با این شرایط راه‌کارهای مربوطه را با توجه به حجم قابل توجه بهره‌برداری توسط مدیران اتخاذ کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز مارون با مساحتی بالغ بر ۳۸۰۸ کیلومتر مربع، که رودخانه آن از کوه‌های نیل و چشمه‌های دامنه‌ی کوه‌های سادات در زاگرس سرچشمه گرفته و به هور شادگان منتهی می‌شود. میزان نزولات جوی در بالادست این حوضه آبریز بسیار فراوان بوده و وجود چشمه‌های کارستی از ویژگی‌های آن به‌شمار می‌آید. با کاهش ارتفاع در نواحی پایین‌دست این حوضه، اقلیم خشک و نیمه‌خشک حاکم شده و میانگین بارندگی به ۲۵۰ میلی‌متر و کم‌تر روندی نزولی می‌یابد. از جمله دیگر ویژگی‌های این رودخانه، عبور آن از دو استان کهگیلویه و

مانگوکوکی در ماداگاسکار پرداخته و از مدل‌های ANP و SWAT بهره گرفته‌اند. نتایج آنان نشان می‌دهد که حداکثر و حداقل دما در آینده افزایش یافته و این افزایش در اواخر قرن ۲۱ با سرعت بیش‌تری رخ خواهد داد. این تغییرات ناگهانی در دما و بارندگی در آینده بر میزان رواناب و به‌طورکلی بر منابع آب، تأثیر چشمگیری خواهد گذاشت. (Saade et al. 2021) در حوضه نیمه‌خشک ال‌کلب لبنان تأثیر تغییر اقلیم بر دسترسی به آب سطحی را به‌وسیله مدل SWAT مدل‌سازی کردند. نتایج حاکی از آن بود که میانگین دبی سالانه رودخانه ال‌کلب در آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در حدود ۲۸-۲۹ درصد تحت سه سناریو RCP کاهش خواهد یافت. پیش‌بینی‌های پایان قرن (۲۰۸۱-۲۱۰۰) نیز نشان دادند که جریان به‌ترتیب ۲۳، ۲۸ و ۴۵ درصد تحت RCP2.6، RCP4.5، و RCP8.5 کاهش می‌یابد. (Touseef et al. 2021) در دسترس‌بودن آب‌های سطحی تحت تأثیر تغییر اقلیم را با استفاده از مدل SWAT-WEAP جفت‌شده در رودخانه هانگشویی چین مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج شبیه‌سازی آنان نشان داد که در صورت افزایش جزئی بارندگی، منابع آب موجود تا سال ۲۰۵۰ برای رفع نیازهای موجود کافی خواهد بود. البته اگر تغییر اقلیم کم یا متوسط باشد، دچار کمبود آب نخواهند شد، اما در شرایط افزایش تغییرات آب‌وهوایی، حوضه آبریز با کمبود آب مواجه خواهد بود.

(Li & Fang, 2021)، در مقاله‌ای اثرات تغییر اقلیم بر رودخانه مون در مکزیک آسیای شرقی را با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. تحت سه سناریوی اقلیمی به این نتیجه رسیدند که افزایش دما در فصل خشک بیش‌تر از فصل مرطوب بوده و باعث کاهش جریان فصلی رودخانه می‌شود این درحالی است که بارندگی در فصل مرطوب افزایش یافته و باعث افزایش جریان رودخانه خواهد شد. نتایج این پژوهش ارتباط

آن، جریان را برای هر واحد پاسخ هیدرولوژی به صورت جداگانه معین و سپس مقدار آن را برای کل حوضه مورد نظر محاسبه نماید (Arnold et al., 2009; Neitsch et al., 2011). برای شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژیکی در مدل SWAT، در مرحله نخست با تعریف نقشه Dem با دقت ۳۰ متری به مدل و تولید شبکه جریان توسط خود مدل، براساس حد آستانه ۱۳۰۰۰ هکتار به‌عنوان حداقل سطح زهکشی و مشخص نمودن ایستگاه‌های هیدرومتری ایدنک و تنگ‌تکاب به‌بهبان به‌عنوان خروجی های حوضه، حوضه آبریز مارون به ۱۵ زیرحوضه تقسیم‌بندی شد. در مرحله بعد، نقشه خاک FAO با دقت ۱۰ کیلومتری به همراه نقشه کاربری اراضی GLCC^۱ برای سال ۱۹۹۲ به مدل وارد شده و طبقات شیب نیز تعریف شد و با ترکیب آن‌ها واحدهای واکنش هیدرولوژی (HRU)^۲ در هر زیرحوضه تولید شدند. در این پژوهش سه کلاس شیب (۰-۲۱، ۲۱-۴۱، ۴۱ > درصد) به مدل معرفی شد. در شکل (۲) اطلاعات نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و نقشه رقومی ارتفاعی نشان داده شده است.

بویراحمد و استان خوزستان می‌باشد. ایجاد جریان‌های سطحی فراوان در این حوضه آبریز به دلیل پیوند شاخه‌های فرعی در ارتفاع ۳۵۰ متری دشت بهبهان و وجود ارتفاعات بیش از ۱۰۰۰ متر در ۲۰ درصد از مساحت حوضه مورد مطالعه است. همچنین به دلیل کمبود پوشش گیاهی در ارتفاعات این حوضه آبریز، وجود شیب بالا و ساختار زمین‌شناسی مرکب از رسوبات تبخیری و مارن، از لحاظ فرسایش بسیار آسیب‌پذیر بوده و در نتیجه افزایش حمل رسوبات رودخانه را به دنبال می‌آورد (Maroufi et al., 2011). شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی را در ایران را نشان می‌دهد.

مدل‌سازی شرایط هیدرولوژیکی با استفاده از مدل SWAT

مدل SWAT جزو مدل‌های پیوسته، نیمه توزیعی و دارای مبنای فیزیکی می‌باشد (Demirel et al., 2009; DolatAbadi et al., 2013). این مدل می‌تواند با استفاده از چرخه هیدرولوژی حوضه و فرموله کردن تمام فرایندهای فیزیکی

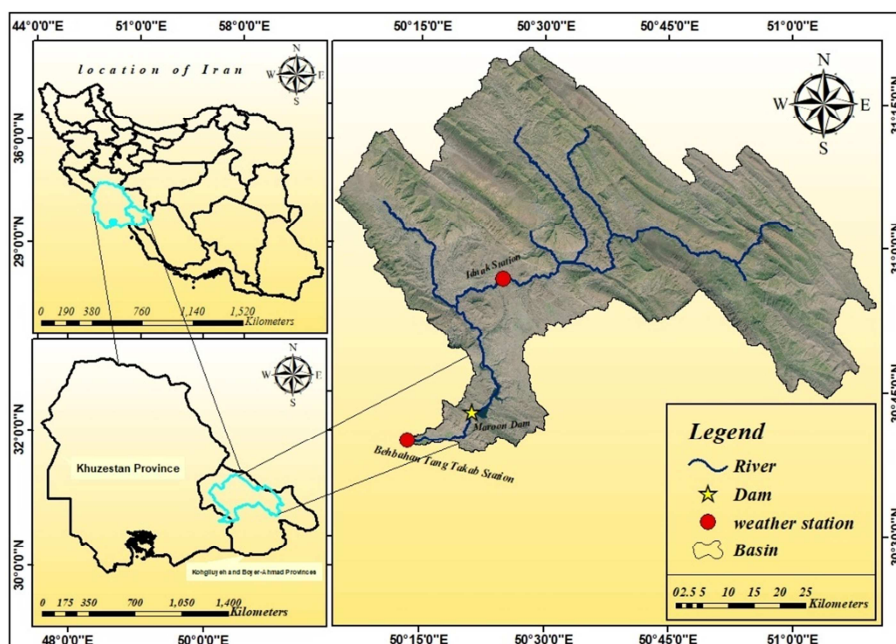


Figure 1. Location of the study area in Iran

چشم‌انداز آثار تغییر اقلیم بر میزان جریان ورودی به مخزن سد مارون

به‌عنوان محصولات زراعی و سیب و گردو به‌عنوان محصولات باغی به مدل معرفی شد. در گام پایانی، مدل برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه از سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۷ با در نظر گرفتن سه سال آموزش برای مدل، اجرا شد. هم‌چنین جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌سازی از آمار ماهانه دبی ایستگاه‌های ایدنک و تنگ‌تکاب به‌بهبان استفاده شد. در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی به‌کار گرفته‌شده در مدل SWAT ارائه شده است.

در گام بعدی نوبت به تعریف داده‌های اقلیمی به مدل است. اطلاعات مربوط به بارش و درجه حرارت روزانه به مدل وارد شده و از روش هارگریوز-سامانی برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده شده است. برای روندیابی جریان از روش ضریب ذخیره متغیر استفاده شد. هم‌چنین اطلاعات مدیریتی از جمله کاشت، میزان کوددهی، زمان آبیاری و برداشت محصولات غالب حوزه مورد مطالعه شامل گندم، جو، یونجه و برنج

Table 1. The character of meteorological stations in the Maroon catchment area

Rank	Weather Station	Station Type	Longitude	latitude	Elevation	Years
1	Idenak	Climatological	50° 25' 39"	30° 56' 57"	612	1981-2018
2	Idenak	Hydrometric	50° 25' 39"	30° 56' 57"	612	1981-2018
3	Tang-e-Takab	Hydrometric	50° 00' 13"	30° 00' 40"	308	1981-2018

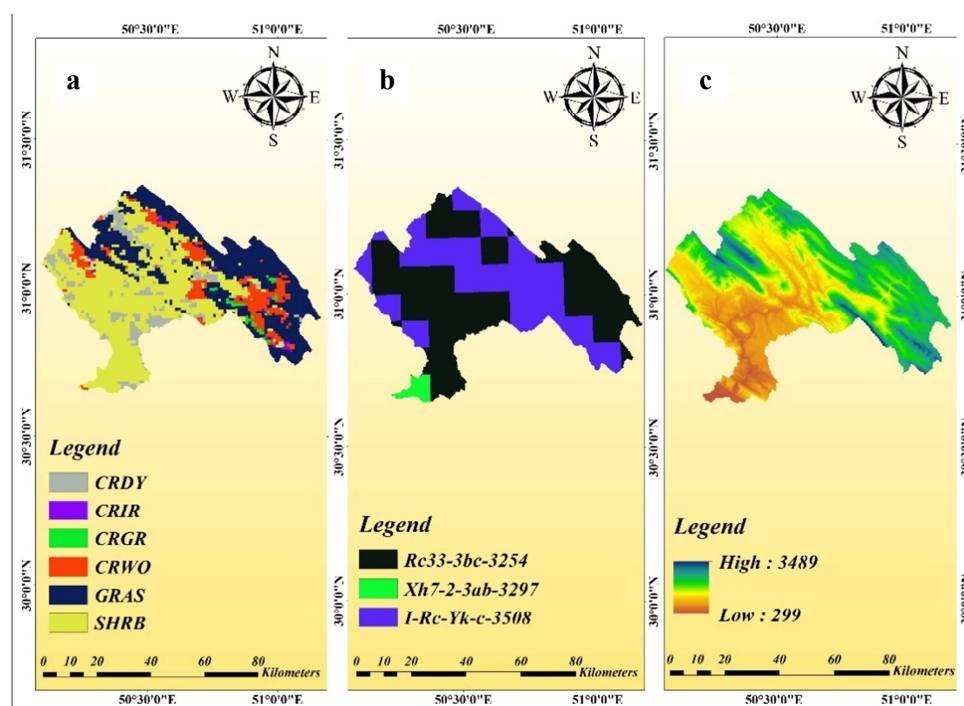


Figure 2. a) Land Use, b) Soil map and c) DEM of the Maroon catchment area

Table 2. The attribute table of land use

Class Name	Area (km ²)	Percentage	Type
CRDY	340.38	8.9	Dryland Cropland
CRIR	29.88	0.78	Irrigated Cropland
CRGR	37.15	0.97	Cropland/ Grassland mosaic
CRWO	401.08	10.53	Cropland/Woodland mosaic
GRAS	1246.87	32.74	Grassland
SHRB	1752.62	46.02	Shrubland

Table 3. The character of soils in soil map

Rank	Soil Type to SWAT	Soil Type	Hydrologic Type
1	Rc33-3bc-3254	LOAM	D
2	Xh7-2-3ab-3297	CLAY-LOAM	D
3	I-Rc-YK-c-3508	LOAM	D

مدل‌های گردش عمومی جو گزارش IPCC که تحت عنوان گزارش پنجم CMIP^۶ استخراج شده، استفاده شده است. برای دریافت خروجی این مدل‌ها نیاز به انتخاب سناریوهای انتشار می‌باشد که گزارش پنجم تحت چهار سناریوی انتشار ارائه شده است و در این بین، سناریوی RCP2.6 سناریو خوشبینانه و RCP8.5 سناریوی بدبینانه می‌باشند (Massah Bavani et al., 2006). در این پژوهش به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش، دما و جریان ورودی به سد مارون در سه دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و (۲۰۶۱-۲۰۸۰) از پنج مدل گردش عمومی جو MIROC-ESM، MPI-ESM-MR، HadGEM2-ES، EC-EARTH و GFDL-ESM2M تحت تأثیر دو سناریو انتشار گاز گلخانه‌ای RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. در این پژوهش دیتای بارش و دمای آینده برای سال‌های ذکر شده به عنوان دوره آینده، توسط روش KNN وزن‌دهی خروجی مدل‌های GCM انجام گرفته است. در این روش که براساس اختلاف مقادیر متغیرهای اقلیمی دوره تاریخی و دوره مشاهداتی عمل می‌کند، وزن هر مدل در تغییرات بارش و دمای دوره آینده نسبت به دوره پایه ضرب می‌شود. به این ترتیب تغییرات دما و بارش در دوره آینده به دست می‌آید؛ این روش به مدل GCMی که تطابق بهتری با داده‌های دوره مشاهداتی دارند وزن بیش‌تری می‌دهد (Moghadam et al., 2019; Devak et al., 2016). با ترکیب پنج مدل GCM، پنج سری زمانی در هر ماه با روش وزن‌دهی به یک سری زمانی تبدیل می‌شود بدین صورت که پنج سری زمانی برای هر ماه با روش وزن‌دهی k-

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

در این مطالعه ابتدا توسط نرم‌افزار SWAT-CUP و با انجام تحلیل حساسیت، پارامترهایی که بیش‌ترین تأثیر را بر دبی خروجی از حوضه داشتند، به دست آمدند که از میان ۳۴ پارامتر مورد بررسی در این پژوهش، مدل نسبت به ۲۰ پارامتر حساسیت نشان داده و به عنوان متغیرهای مؤثر بر شبیه‌سازی جریان در حوضه آبریز مارون مشخص شدند. پس از پردازش مرحله تحلیل حساسیت به کمک نرم‌افزار SWAT-CUP، از میان پنج الگوریتم موجود در این نرم‌افزار با توجه به مطالعات انجام شده توسط Abbaspour et al. (2007)، Schuol et al. (2008) و Shokouhifar et al. (2021) روش SUFI-2 برای واسنجی کارایی بهتری دارد. بنابراین از روش SUFI-2 برای تجزیه و تحلیل حساسیت پارامترها، واسنجی و اعتبارسنجی مدل استفاده شد. برای انجام واسنجی از داده‌های دبی ماهانه اندازه‌گیری شده در ایستگاه ایدنک (۱۳۷۸-۱۳۶۰) و ایستگاه تنگ‌تکاب (۱۳۷۸-۱۳۶۰) و برای اعتبارسنجی ایستگاه ایدنک (۱۳۹۷-۱۳۷۹) و ایستگاه تنگ‌تکاب (۱۳۸۷-۱۳۷۹) استفاده شد و از ضریب نش-ساتکلیف به عنوان تابع هدف برای بهینه‌سازی استفاده شد. عدم قطعیت نتایج شبیه‌سازی مدل نیز توسط عدم قطعیت تخمین ۹۵ درصد (۹۵ ppu) محاسبه شد. از شاخص‌های ضریب تبیین (R^2) و ضریب نش-ساتکلیف (N-S) نیز جهت ارزیابی کارایی مدل SWAT در مرحله‌های واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد.

مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی

در این پژوهش، برای پیش‌بینی دو پارامتر دما و بارش از

تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به مدل LARS-WG معرفی و با در نظر گرفتن داده‌های مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۸۲-۲۰۰۵)، برای دوره‌های آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و (۲۰۶۱-۲۰۸۰) داده‌های روزانه تولید شد.

Table 4. The character of GCM models

Model	Resolution	Developer
EC-EARTH	1.125°×1.125°	EC-Earth consortium
HadGEM2-ES	1.25°×1.25°	MOHC (UK)
MIROC-ESM	2.8°×2.8°	MIROC (Japan)
GFDL-ESM2M	2.02°×2.5°	NOAA GFDL (USA)
MPI-ESM-MR	1.875°×1.875°	MPfM (Germany)

نتایج و بحث

تحلیل حساسیت پارامترها، واسنجی و اعتبارسنجی مدل

براساس نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مدل SWAT، ۲۰ پارامتر به‌عنوان حساس‌ترین پارامترها شناسایی شدند که نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است. پارامتر شمارهٔ منحنی نفوذ در شرایط متوسط رطوبتی (CN2) بیش‌ترین تأثیر را بر دبی خروجی از حوضه داشته است، که این پارامتر به میزان زیادی تحت تأثیر کاربری اراضی و نوع خاک منطقه است. بنابراین، تأثیر عمده‌ای بر مؤلفه‌های بیلان آب دارد. پس از پارامتر CN2، پارامترهای SMTMP و SMFMN، که به ترتیب دمای پایه ذوب برف و فاکتور ذوب برف هستند، در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه کوهستانی می باشد، پارامترهای SMTMP و SMFMN، حساسیت بیش‌تری نسبت به سایر پارامترها نشان داد که با تغییر این پارامتر به‌صورت دستی طی واسنجی مقادیر بهینه به‌دست آمد. مقادیر بالاتر این پارامترها افزایش ذوب برف را در پی دارد. لذا این پارامتر در طی واسنجی مقادیر بیش‌تری را نشان می‌داد. بعد از مرحلهٔ تحلیل حساسیت، به‌کمک نرم‌افزار SWAT CUP و هم‌چنین آمار ماهیانه دبی در ایستگاه‌های ایدنک و تنگ‌تکاب، واسنجی و اعتبارسنجی

نزدیک‌ترین همسایه (KNN) وزن‌گذاری شده و در نهایت به یک سری زمانی تبدیل می‌شوند. روش وزن‌دهی k -نزدیک‌ترین همسایگان (KNN) براساس تفاوت بین میانگین متغیرهای آب‌وهوایی پیش‌بینی‌شده در طول دوره پایه و میانگین داده‌های مشاهده‌شده عمل می‌کند، وزن هر مدل در تغییرات بارش و دمای دوره آینده نسبت به دوره‌پایه ضرب می‌شود. به این ترتیب تغییرات دما و بارش در دوره آینده به‌دست می‌آید (Moghadam et al., 2019).

$$W_{m,i} = \frac{\frac{1}{CV_{m,i}}}{\sum_{i=1}^I \frac{1}{CV_{m,i}}} \quad (1)$$

که در این معادله $CV_{m,i}$ اختلاف بین میانگین متغیرهای اقلیمی (دما و بارندگی) شبیه‌سازی شده در شرایط پایه با مدل i و میانگین مربوطه برای ماه m از میانگین داده‌های مشاهده‌شده؛ $W_{m,i}$ وزن هر مدل i مربوط به میانگین بلندمدت ماه m است؛ I تعداد کل مدل‌های GCM است. نتایج به‌دست‌آمده از خروجی‌های GCM تنها تغییرات دما و بارش را نشان می‌دهند و این ویژگی به‌خاطر بزرگ‌مقیاس بودن GCM است (Doulabian et al., 2021). با توجه به بزرگ‌مقیاس بودن نتایج به‌دست‌آمده از خروجی‌های مدل‌های GCM از ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌شود. ریزمقیاس‌سازی به معنای ایجاد ارتباط بین پیش‌بینی‌کننده‌های جوی بزرگ‌مقیاس و متغیرهای پیش‌بینی‌شونده (عموماً دما و بارش) در مقیاس ناحیه‌ای است. در این پژوهش، از مدل LARS-WG به‌عنوان یکی از مشهورترین weather generatorها برای این منظور استفاده شد. مدل LARS-WG یک ریزمقیاس آماری است که این مدل بر پایه‌ی توابع توزیع نیمه‌تجربی ایجاد شده که قادر به پیش‌بینی دوره‌های مرطوب و خشک آینده هستند و صحت این تولید داده را با ارائه آزمون‌های KS، t و F اعلام می‌کند (Semenov et al., 1998). در این مدل تغییرات دمای حداقل، دمای حداکثر و میزان بارندگی

شده است. هم‌چنین نتایج نشان داد که مدل تهیه‌شده قادر به شبیه‌سازی دقیق جریان‌های حداکثر نیست. از علت‌های ضعف مدل در شبیه‌سازی جریان حداکثر در بعضی از ماه‌ها می‌توان به شبیه‌سازی ضعیف ذوب برف مدل SWAT برای این حوضه کوهستانی و کمبود ایستگاه‌های باران‌سنجی با آمار بلندمدت اشاره کرد.

مدل صورت گرفت و در نهایت ارزیابی مدل با استفاده از دو شاخص ضریب تبیین (R^2) و ضریب نش-ساتکلیف (N-S) انجام شد که نتایج آن در جدول (۶) نشان داده شده است. نتایج شبیه‌سازی بیانگر آن است که مدل در شبیه‌سازی رواناب توانایی قابل‌قبولی داشته و روند تغییرات جریان در مرحله واسنجی به‌خوبی شبیه‌سازی

Table 5. Model sensitivity analysis results

Rank	Parameter	Minimum	Maximum	Fitted	Description
1	r_CN2.mgt	-0.864	-0.284	-0.503	SCS runoff curve number
2	v_SMTMP.bsn	-1.854	3.445	-1.276	Snow melt base temperature
3	v_SMFMN.bsn	3.822	5.303	4.146	Minimum melt rate for snow during the year (occurs on winter solstice)
4	v_REVAPMN.gw	196.877	294.428	215.509	Threshold depth of water in the shallow aquifer for " revap " to occur (mm)
5	v_RCHRG_DP.gw	0.699	0.9	0.858	Deep aquifer percolation fraction
6	v_SLSUBBSN.hru	13.101	40.857	20.845	Average slope length
7	v_GW_DELAY.gw	5.646	42.167	28.69	Groundwater delay (days)
8	v_CH_K2.rte	29.616	105.522	66.43	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium
9	v_ESCO.hru	0.228	0.683	0.409	Soil evaporation compensation factor
10	r_HRU_SLP.hru	0.324	0.714	0.499	Average slope steepness
11	v_ALPHA_BF.gw	0.635	0.878	0.642	Baseflow alpha factor (days)
12	r_SOL_BD().sol	0.442	0.884	0.505	Moist bulk density
13	r_SOL_AWC().sol	-0.446	0.083	-0.185	Available water capacity of the soil layer
14	r_SOL_K().sol	-0.050	0.601	0.442	Saturated hydraulic conductivity
15	v_SFTMP.bsn	3.279	6.009	4.122	Snowfall temperature
16	v_ALPHA_BNK.rte	0	0.182	0.044	Baseflow alpha factor for bank storage
17	v_LAT_TTIME.hru	0	37.56	18.066	Lateral flow travel time
18	v_PLAPS.sub	90.983	142.258	132.567	Precipitation lapse rate
19	v_TLAPS.sub	-5.931	-0.840	-4.561	Temperature lapse rate
20	r_PCPMM().wgn	0.111	0.491	0.34	Average amount of precipitation falling in month (mm/dd)

Table 6. Values of model performance evaluation indicators in runoff simulation in implemented models

	Idenak station		Tange-takab station	
	calibration	validation	calibration	validation
NS	0.69	.65	0.67	0.59
R2	0.7	0.73	0.68	0.61
r-factor	0.79	0.72	0.99	0.79
p-factor	0.81	0.78	1.3	0.89

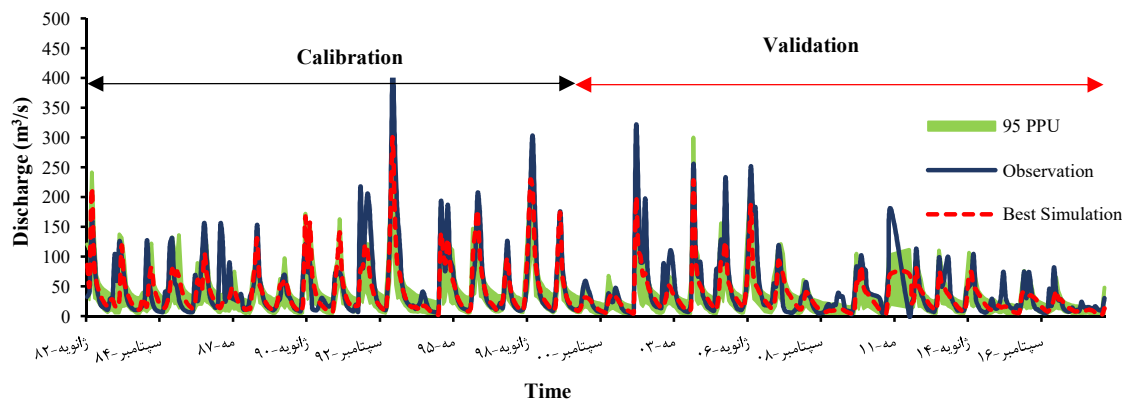


Figure 3. Results of calibration and validation of Idenak station using SUFI-2 algorithm

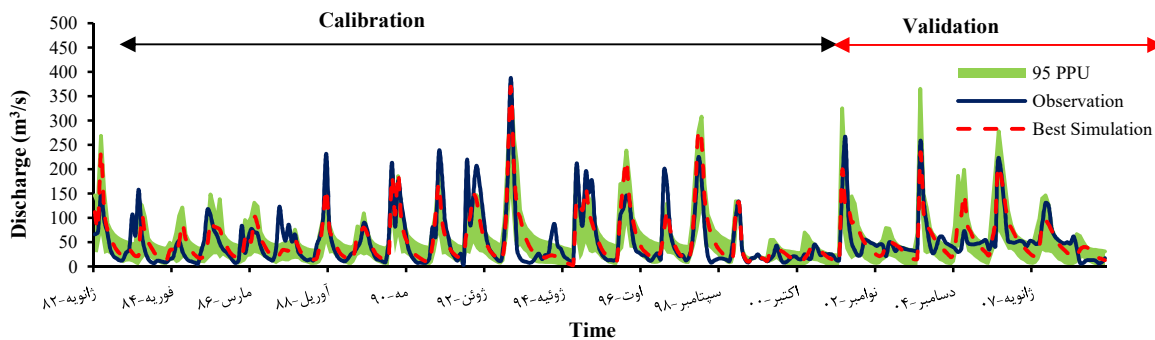


Figure 4. Calibration and validation results of Tang-e-Takab Behbahan station using SUFI-2 algorithm

میانگین دما در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر (دی، بهمن، اسفند و آذر) به ترتیب به میزان ۱۴/۸۵، ۱۵/۵۷، ۱۳ و ۱۶/۸۸ درصد در دوره آینده نزدیک، ۲۵/۱۴، ۲۴/۸۲، ۲۰/۶۶ و ۲۲/۵۵ درصد در دوره آینده میانی و ۳۴، ۳۴/۳۵، ۲۸/۳۸ و ۲۸/۲۱ درصد در دوره آینده دور نسبت به شرایط پایه افزایش یافته است. همچنین بیش‌ترین افزایش میانگین دما در سناریوی RCP4.5 در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر (دی، بهمن، اسفند و آذر) به ترتیب به میزان ۱۴/۸۵، ۱۳/۷۷، ۹/۷۴ و ۱۳/۳۹ درصد در دوره آینده نزدیک، ۱۹، ۱۷/۴۷، ۱۳ و ۱۵/۷۲ درصد در دوره آینده میانی و ۲۲، ۲۰/۲۰، ۱۵ و ۱۷/۴۳ درصد در دوره آینده دور نسبت به شرایط پایه افزایش یافته است. تغییرات بلندمدت ماهانه میانگین دما نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار افزایش دما در ماه‌های فصل زمستان رخ خواهد داد. این در حالی است که حوضه آبریز سد مارون دارای بیش‌ترین حجم بارش در ماه‌های فصل زمستان می‌باشد.

اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی به سد مارون

پس از ارزیابی مدل هیدرولوژیکی SWAT و ارزیابی دقت نتایج به دست آمده، به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان جریان ورودی به سد مارون، مدل برای سناریوهای موجود اجرا شد.

تغییر اقلیم بر اساس خروجی GCM

میانگین ماهانه بارش در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)، دوره آینده میانی (۲۰۴۱-۲۰۶۰) و دوره آینده دور (۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت سناری RCP8.5 در همه ماه‌ها به‌جز ماه فوریه (بهمن) نسبت به شرایط پایه افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که بیش‌ترین افزایش در ماه‌های ژانویه، نوامبر و دسامبر (دی، آبان و آذر) به ترتیب به میزان ۷/۵، ۱۸/۴ و ۵/۴ درصد در دوره آینده نزدیک، ۸/۲، ۱۸/۸ و ۵/۸ درصد در دوره آینده میانی و ۹، ۱۹/۱۹ و ۶/۳۲ درصد در دوره آینده دور نسبت به شرایط پایه افزایش یافته است. همچنین میانگین بارش ماهانه تحت سناریو RCP4.5 نسبت به شرایط پایه در همه ماه‌ها به‌جز ماه ژانویه افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که بیش‌ترین افزایش در ماه‌های اکتبر و نوامبر (مهر و آبان) به ترتیب به میزان ۱۵ و ۱۱/۵ درصد در دوره آینده نزدیک، ۱۵/۵۴ و ۱۱/۶۶ درصد در دوره آینده میانی و ۱۶ و ۱۲ درصد در دوره آینده دور نسبت به شرایط پایه افزایش یافته است. میانگین دمای سالانه تحت سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در همه ماه‌های دوره‌های آینده نسبت به شرایط پایه افزایش یافته است. افزایش دما در سناریوی بدبینانه RCP8.5 نسبت به سناریوی میانه RCP4.5 بیش‌تر می‌باشد. بالاترین درجه حرارت دما تحت سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۳۶ و ۳۷ درجه سلسیوس در ماه جولای در فصل تابستان است. بیش‌ترین افزایش



Figure 5. Changes in the average monthly precipitation of Idenak station in future periods under RCP4.5 and RCP8.5 climatic scenarios

چشم‌انداز آثار تغییر اقلیم بر میزان جریان ورودی به مخزن سد مارون

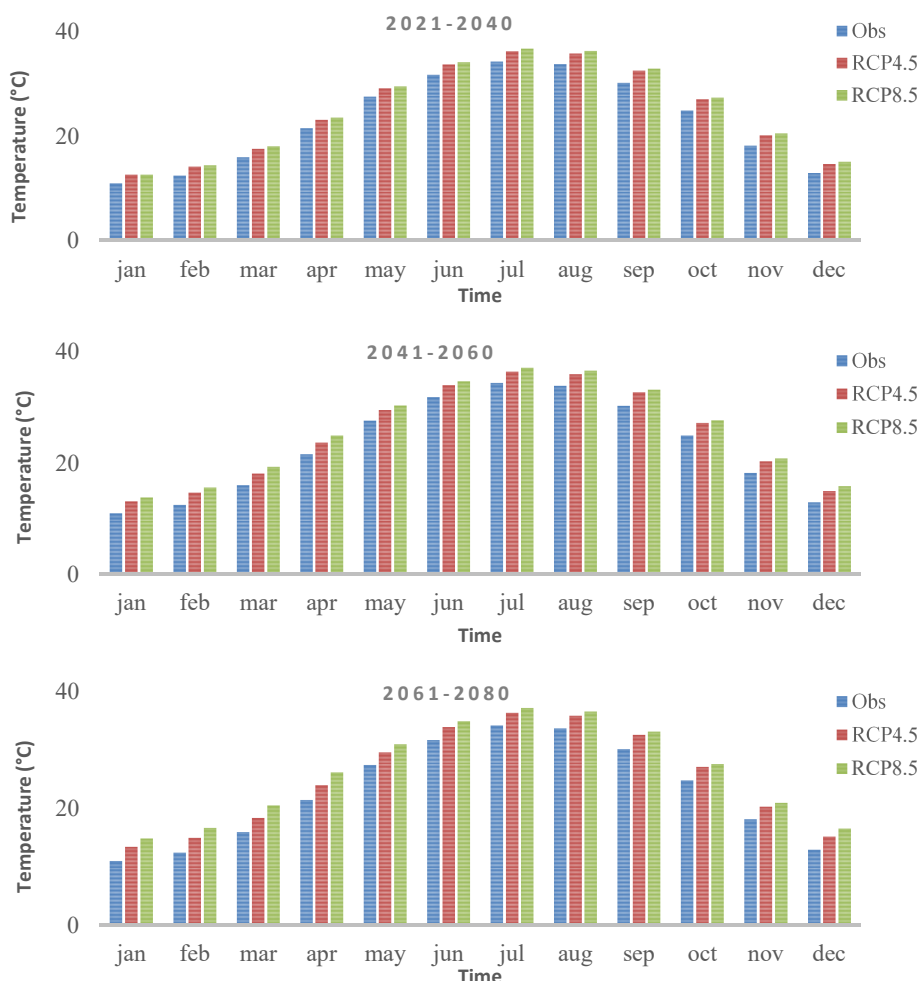


Figure 6. Changes in the average monthly temperature of Idenak station in future periods under RCP4.5 and RCP8.5 climatic scenarios

آینده دور بیش‌ترین میزان کاهش میانگین دبی در سناریوی میانه RCP4.5 در ماه‌های فوریه و مارس مشاهده می‌شود. در ماه‌های سپتامبر تا ماه دسامبر نیز میزان دبی میانگین در هر سه دوره آینده تحت هر دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به شرایط پایه کاهش یافته است. تغییرات بلندمدت ماهانه دما نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار افزایش دما در ماه‌های فصل زمستان رخ خواهد داد. این در حالی است که حوضه آبریز سد مارون دارای بیش‌ترین مقدار بارش‌ها در ماه‌های فصل زمستان می‌باشد. بنابراین تحت چنین شرایطی افزایش دمای فصل زمستان منجر به کاهش

با ورود داده‌های بارش و دمای ریزمقیاس شده به مدل کالیبره‌شده SWAT، جریان ورودی برای سه دوره آینده تحت تأثیر سناریوهای ذکرشده پیش‌بینی شده بود. جریان ماهانه نشان داد که جریان میانگین در ماه‌های گرم (جولای تا اوت) دارای تغییرات ناچیزی در هر دو سناریو نسبت به شرایط پایه داشته است. بیش‌ترین میزان کاهش میانگین دبی در دوره آینده نزدیک در سناریوی میانه RCP4.5 در ماه‌های فوریه و مارس با میزان کاهش ۲۱/۹۱ و ۲۶ درصد و در سناریوی بدبینانه RCP8.5 با میزان کاهش به ترتیب ۱۹ و ۲۲/۳۶ درصد می‌باشد. هم‌چنین در دو دوره آینده میانی و

انجام فرایند تبخیر و تعرق در اختیار قرار خواهد گرفت که نتیجه نهایی آن کاهش دبی رودخانه و جریان ورودی به سد می باشد. یک علت دیگر این است که کاهش دبی در زمستان و بهار می تواند به جابه جایی فصل کشت به سمت زمستان و همچنین طولانی شدن زمان کشت منجر شود. از آنجاکه محصولات می مانند برنج در این حوضه کشت می شود، در سال های اخیر آمادگی خزانه برای کشت برنج و به طور کلی آماده سازی زمین برای کشت و کار به اواخر زمستان انتقال یافته و این روند در آینده با شدت بیش تری ادامه خواهد داشت، لذا می تواند یکی از دلایل کاهش رواناب در شرایط اقلیم آینده باشد.

ذخیره برف در ارتفاعات این حوضه خواهد شد و بنابراین در آینده باید انتظار مشکلات کمبود آب بیش تری نسبت به شرایط پایه انتظار می رود. بررسی ها نشان می دهد که اگرچه میزان بارش در منطقه تحت سناریوهای انتشار اغلب افزایش داشته است، اما با توجه به افزایش دما میزان رواناب و میزان آب ورودی به سد مارون کاهش یافته و بیش ترین میزان کاهش جریان ورودی به مخزن سد مارون مربوط به سناریوی انتشار RCP4.5 است. با توجه به گرمایش جهانی، معمولاً نیاز آبی پوشش گیاهی و همچنین مقدار تبخیر و تعرق افزایش می یابد. زیرا تبخیر و تعرق نیازمند انرژی است و با گرم تر شدن هوا این انرژی به مقدار بیش تری برای

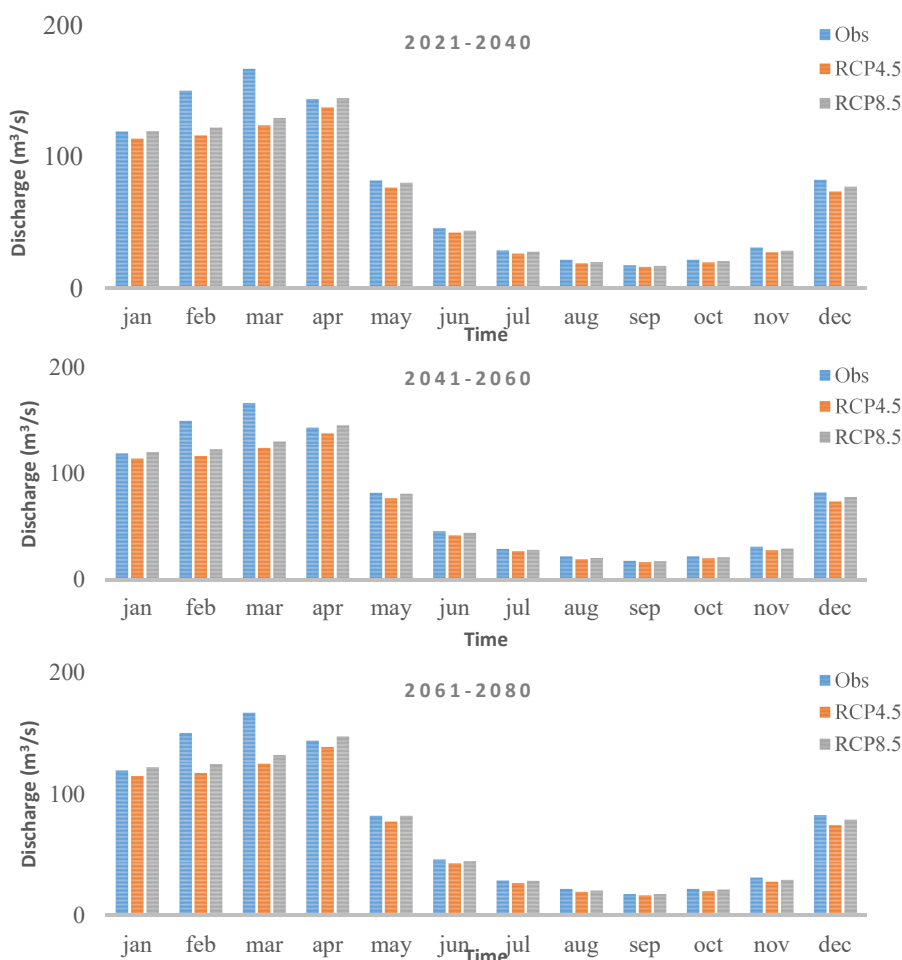


Figure 7. Changes in the average simulated monthly inflow to the Maroon Dam under climatic and baseline conditions

نتیجه‌گیری

سه دوره آینده تحت هر دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به شرایط پایه کاهش یافته است. در نتیجه بیش‌ترین میزان کاهش جریان ورودی به سد مارون نسبت به شرایط پایه در سناریوهای انتشار RCP4.5 می‌باشد. این کاهش جریان در آینده باعث افزایش کمبود منابع آب در مناطق پایین‌دست سد نیز خواهد شد و بحران آب را تشدید خواهد کرد. نتایج این مدل نشان می‌دهد که استفاده از رویکردهای مدیریتی می‌باید برای مواجهه با تغییر اقلیم و سناریوهای انتشار به‌کار برده شود.

پی‌نوشت‌ها

1. Intergovernmental Panel on Climate Change
2. Soil & Water Assessment Tool
3. Global Circulation Model
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations
5. Global Land Cover Characterization
6. Hydrological Response Unit
7. Coupled Model Intercomparison Project

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., & Srinivasan, R. (2007). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333(2-4), 413-430.
2. Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R., Williams, J.R., Haney, E.B., & Neitsch, S.L. (2011). Soil and water assessment tool input/output file documentation version 2009. Texas Water Resources Institute.
3. Demirel, M.C., Venancio, A., & Kahya, E., (2009). Flow forecast by SWAT model and ANN in Pracana basin, Portugal. *Advances in Engineering Software*, 40(7), 467-473.
4. DolatAbadi, S., & Zomorodyan, M.A., (2013). Hydrological simulation of Firoozabad basin using SWAT model. *Journal of Irrigation and Water Engineering*. (In Persian).

در این پژوهش اثر تغییر اقلیم بر میزان جریان ورودی به سد مارون تحت دو سناریو اقلیمی برآورده شد. به‌منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه از پنج مدل گردش عمومی جو تحت تأثیر دو سناریو انتشار گاز گلخانه‌ای RCP4.5 و RCP8.5 در سه دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱)، (۲۰۶۰-۲۰۴۱) و (۲۰۸۰-۲۰۶۱) استفاده شد. با استفاده از مدل نیمه‌توزیعی SWAT شبیه‌سازی جریان ورودی به سد مارون انجام گرفت. پس از ارزیابی مدل و واسنجی و اعتبارسنجی پارامترهای مدل هیدرولوژیکی، با ورود داده‌های بارش و دمای ریزمقیاس شده به مدل کالیبره‌شده SWAT، جریان ورودی به سد برای سه دوره آینده تحت تأثیر سناریوهای ذکرشده پیش‌بینی شد. نتایج تغییر اقلیم نشان داد که اثر سناریوهای انتشار در منطقه متفاوت بوده و باعث افزایش دما و بارش می‌شوند. بیش‌ترین میزان افزایش در سناریوی RCP8.5 مشاهده شد که با ذات این سناریوی انتشار که بیش‌ترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و دی‌اکسیدکربن است نیز مطابقت داشت. نتایج پیش‌بینی جریان ورودی به سد توسط مدل SWAT تحت دو سناریو نشان داد که اگرچه میزان بارش در منطقه افزایش داشته است، اما افزایش دما در این حوضه اثر و کارایی بیش‌تری را در کاهش میزان جریان داشته است. بیش‌ترین میزان کاهش میانگین دبی در دوره آینده نزدیک در سناریوی میانه RCP4.5 در ماه‌های فوریه و مارس با میزان کاهش ۲۱/۹۱ و ۲۶ درصد و در سناریوی بدبینانه RCP8.5 با میزان کاهش به‌ترتیب ۱۹ و ۲۲/۳۶ درصد می‌باشد. هم‌چنین در دو دوره آینده میانی و آینده دور بیش‌ترین میزان کاهش میانگین دبی در سناریوی میانه RCP4.5 در ماه‌های فوریه و مارس مشاهده می‌شود. در ماه‌های سپتامبر تا ماه دسامبر نیز میزان دبی میانگین در هر

5. Devak, M., & Dhanya, C.T., (2016). Downscaling of precipitation in Mahanadi Basin, India using support vector machine, K-nearest neighbour and hybrid of support vector machine with K-nearest neighbour. In Geostatistical and geospatial approaches for the characterization of natural resources in the environment (pp. 657-663). Springer, Cham.
6. Didovets, I., Krysanova, V., Bürger, G., Snizhko, S., Balabukh, V., & Bronstert, A., (2019). Climate change impact on regional floods in the Carpathian region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22, 100590.
7. Doulabian, S., Golian, S., Toosi, A.S., & Murphy, C., (2021). Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. *Journal of Water and Climate Change*, 12(1), 166-184
8. Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H., & Arnold, J.G., (2007). The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASABE*, 50(4), 1211-1250.
9. Houghton, J.T., Ding, Y.D.J.G., Griggs, D.J., Noguier, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., & Johnson, C.A., (2001). *Climate change 2001: the scientific basis*. The Press Syndicate of the University of Cambridge.
10. IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change, (2013). Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections Supplementary Material RCP4. 5.
11. Khalilian, S., shahvari, N., Mosavi, N., & Mortazavi, S.A., (2018), Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources in Varamin Plain Basin Using SWAT Model, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(2), 354-366. (In Persian).
12. Li, C., & Fang, H., (2021). Assessment of climate change impacts on the streamflow for the Mun River in the Mekong Basin, Southeast Asia: Using SWAT model. *CATENA*, 201, p.105199.
13. Massah Bavani, A., & Morid, S., (2006). Study effects of climare change on zayande rood discharge. *Journal of Water and Soil Science*, 4, 17-27. (In Persian).
14. Maroufi, S., & Tabari, H., (2011). Detection of Maroon River discharge trend using parametric and non-parametric methods, *Geographical Research Quarterly*, 26(2), 939. (In Persian).
15. Moghadam, S. H., Ashofteh, P.-S., & Loáiciga, H.A. (2019). Application of Climate Projections and Monte Carlo Approach for Assessment of Future River Flow: Khorramabad River Basin, Iran. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(7), 05019014
16. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., & Williams, J.R., (2011). Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute.
17. Rabezanahary Tantelinaiaina, M.F., Rahaman, M., & Zhai, J., (2021). Assessment of the Future Impact of Climate Change on the Hydrology of the Mangoky River, Madagascar Using ANN and SWAT. *Water*, 13(9), p.1239.
18. Schuol, J., Abbaspour, K. C., Yang, H., Srinivasan, R., & Zehnder, A. J. B. (2008). Modeling blue and green water availability in Africa. *Water Resources Research*, 44(7).
19. Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., & Richardson, C.W., (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate research*, 10(2), 95-107.
20. Sourinejad, A., (2020), Assessment of Climate Change Effects on Renewable Surface Water Resources due to 30 Basins in IRIR, *Natural Geography Research*, 52(3), 351-373. (In Persian).
21. Shokouhifar, Y., Zarei, H., Akhondali, A. M., & Khoramian, A. (2021). Assessment of effects of changes of land-use on the water balance components using SWAT (Case study: Doroudzan dam basin). *Irrigation Sciences and Engineering*.
22. Saade, J., Atieh, M., Ghanimeh, S., & Golmohammadi, G., (2021). Modeling Impact of Climate Change on Surface Water Availability Using SWAT Model in a Semi-Arid Basin: Case of El Kalb River, Lebanon. *Hydrology*, 8(3), 134.
23. Touseef, M., Chen, L., & Yang, W., (2021). Assessment of Surface Water Availability under Climate Change Using Coupled SWAT-WEAP in Hongshui River Basin, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(5), 298.
24. Vaghefi, S.A., Mousavi, S.J., Abbaspour, K.C., Srinivasan, R., & Arnold, J.R., (2015). Integration of hydrologic and water allocation models in basin-scale water resources management considering crop pattern and climate change: Karkheh River Basin in Iran. *Regional environmental change*, 15(3), 475-484.