



Institute of Geography



Research Paper

Evaluation of changes in reservoir volume and inflow to Dez Dam under climate change conditions

Elaheh Asgari ^a, Mohammad Baaghdeh ^{b*}, Alireza Entezari ^b, Majid Hosseini ^c, Asghar Kamyar ^d

^a. Department of Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

^b. Department of Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

^c. Department of Watershed Management, Soil Conservation and Watershed Management Institute, Tehran, Iran

^d. Department of Climatology, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Extended Abstract

Introduction

Worries about how to plan and exploit water resources in confronting new conditions have increased as evidence of climate change becomes more apparent. This issue has led a significant portion of recent meteorological research to examine climate change's consequences on water resources. One of the most important developments is the change in the inflows to the dam's reservoirs. The Dez Dam was built over the Dez river and is located in southwestern Iran, within 23 kilometers of distance from Andimeshk. Its maximum capacity is 3.3 billion m³. As one of the most important water supply sources in the agricultural and electric energy sector of Khuzestan province, this dam has faced severe droughts in recent years, and the flow to the reservoir has been decreasing. The purpose of this study is to evaluate the amount of inflow and reservoir volume of the dam under the conditions of climate change.

Materials and methods

To simulate basin temperature and precipitation, the accuracy of 17 Regional Climate Models of the CORDEX - WAS project (South Asia) was evaluated based on the skill score (SS). Then, a combination of ten with the lowest skill score was used to simulate the climatic parameters of temperature and precipitation for future periods. Also, the bias correction of simulated monthly precipitation and temperature data in the historical period and then the future period was done in each station and for each parameter using the change factor method. Simulations of these parameters were conducted for three 20-year periods 2020s (2020-2039), 2050s (2050-2069), and 2080s (2080-2099) under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios for selected stations. In this research, the SWAT semi-distributed hydrological and MODSIM models was used to simulate the inflow and reservoir volume, respectively.

Results and Discussion

The results of the downscale of the selected models and climatic scenarios indicate an increase in minimum and maximum temperatures in all months of the year and decreased average rainfall in the future. Predictions considered the range of minimum and maximum temperature increase under selected models in the RCP4.5 scenario from 1.5 - 4.2 °C and 1.5 - 3 °C, respectively, and in the RCP8.5 scenario from 2.7 - 5.3 °C, and 1.6 - 5.8 °C probable. The models also predicted the range of precipitation change to be

*. Corresponding author (m.baaghdeh@hsu.ac.ir)

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.347398.1007721>

11 up 17% under the RCP4.5 scenario and 8 to 18% under the RCP8.5 scenario. After ensuring the hydrological model's accuracy and the general circulation models (RCM) output, the SWAT model was implemented under different scenarios. The outflows indicate a significant reduction in the flow of the Dez River in the future. The reduction rate can be between 49 and 52% in the RCP4.5 scenario and the RCP8.5 scenario was more, especially in the last decade of the 21st century, about 44 to 64%. The highest decrease will occur in the colder months of the year. In other words, the inflow decreases in December and even further decreases in April and March. One of the main reasons for the decrease in the volume of flow in the region in these months (March, April, and May) is changes in the precipitation pattern, in addition to the decrease in precipitation. In other words, in these months, the water of snow melting is associated with an increase in the river's discharge in the current climate, but such conditions will change in the future. The decrease in the flow rate entering the dam has caused a decrease in the reservoir volume of the dam, and its volume has decreased under RCP4.5 and RCP8.5 release scenarios. In the RCP4.5 scenario, the average annual volume of the reservoir will reach 1184.4, 1179.8, and 1138.8 billion m³ for the three decades of 2020-2039, 2050-2069, and 2080-2099, respectively. In the RCP8.5 scenario, this average value equals 1293.8, 1070.4, and 1008.9 billion m³, respectively. Therefore, under the two selected scenarios, the reservoir volume was reduced between 47 to 50% for the future decades. This significant decrease in volume in the future decades, which has affected the volume of water discharge of the dam, that is indicate Dez Dam will face significant challenges in come cross with downstream needs (environmental needs, agriculture, drinking, industry, and electric energy).

Conclusion

This study evaluated the effect of climate change on the amount of inflow and the reservoir volume of Dez Dam under two climate scenarios. Using the semi-distributed SWAT model, the water flow simulation to the dam is done. After evaluating the model and calibrating and validating the parameters of the hydrological model, by entering the future precipitation and temperature data into the calibrated SWAT model, the flow was simulated for the three future periods under the above scenarios. The results of the climate models illustrated that the average minimum and maximum annual temperature would have increased by 3 and 3.5 degrees Celsius, respectively, for the future decades. The average annual precipitation for the study area will have decreased by 14%. The prediction of the inflow to the dam by the SWAT model under two scenarios indicate a significant decrease in the discharge of the Dez River in the future; The amount of this decrease in the RCP4.5 scenario will be between 49 to 52%, and in the RCP8.5 scenario and especially in the last decade of the 21st century, it will be more and around 44 to 64%. The decrease in the flow rate entering the dam has caused a decrease in the volume of the reservoir of the dam, and its volume will have decreased between 47 and 54 percent under the two selected scenarios for the future decades. In general, the results obtained from this study indicate that this region will move towards a climate with lower humidity and higher temperature in the future decades. This situation will increase the shortage of water resources in the basin and will intensify the water crisis in the downstream areas. Therefore, it seems that the water resources management in this basin requires a review for its sustainable development and exploitation. Since, the flow rate of Dez in the future decades will significantly decrease due to, the expected of the climate changes, the Dez dam's primary goals to meet the needs of agriculture, electricity, drinking, etc. will have face significant shortages. It is recommended to implement the policy of reducing demand, changing the cultivation pattern, recommending and developing the cultivation of low water-demanding plants, using new irrigation methods, and using unconventional waters.

Keywords :Hydrological modeling, scenario RCP, CORDEX-WAS, MODSIM.

تحلیل تغییرات حجم مخزن و جریان ورودی به سد دز تحت شرایط تغییر اقلیم

الهه عسگری - دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
محمد باعقیده^۱ - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
علیرضا انتظاری - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
مجید حسینی - دانشیار آبخیزداری، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران
اصغر کامیار - دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم‌های هیدرولوژی به منظور ایجاد استراتژی‌های تطبیقی جهت مدیریت منابع آب، کنترل خطر سیل، کاهش و حفاظت از محیط‌زیست امری ضروری است. این مطالعه با هدف ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر جریان ورودی و حجم مخزن سد دز با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای (RCM) بر اساس رویکرد IPCC-AR5 انجام شد. در این راستا جهت پیش‌نگری دما و بارش حوضه، دقت ۱۷ مدل پروژه - CORDEX WAS (جنوب آسیا) مورد ارزیابی قرار گرفت و بعد از همادی کردن مدل‌ها، متغیرهای دما و بارش برای سه دوره ۲۰ ساله (۲۰۹۹ - ۲۰۸۰، ۲۰۶۹ - ۲۰۵۰ و ۲۰۳۹ - ۲۰۲۰) تحت دو سناریو اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 شبیه‌سازی گردید. از مدل هیدرولوژیک نیمه توزیعی SWAT و MODSIM به ترتیب جهت شبیه‌سازی جریان ورودی و حجم مخزن استفاده شد. پیش‌نگری‌ها، محدوده افزایش دمای حداقل و حداکثر را تحت مدل‌های انتخابی در سناریو RCP4.5 به ترتیب از ۱/۵ تا ۴/۲ و ۱/۵ تا ۳ درجه سلسیوس و در سناریو RCP8.5 به ترتیب از ۲/۷ تا ۵/۳ و ۱/۶ تا ۵/۸ درجه سلسیوس محتمل دانسته‌اند. همچنین مدل‌های مذکور محدوده کاهش تغییرات بارش را ۱۱ تا ۱۷ درصد تحت سناریو RCP4.5 و ۸ تا ۱۸ درصد تحت سناریو RCP8.5 پیش‌بینی کردند. نتایج پیش‌بینی جریان ورودی به سد حکایت از کاهش ۴۹ تا ۵۲ درصدی در سناریو RCP4.5 و ۴۴ تا ۶۴ درصد در سناریو RCP8.5 دارد. با کاهش بارش و افزایش دما حجم مخزن تحت دو سناریو منتخب بین ۴۷ تا ۵۴ درصد برای دهه‌های آتی کاهش خواهد یافت که باعث تشدید بحران آب در مناطق پایین‌دست خواهد شد.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی هیدرولوژیک، سناریو RCP، پروژه WAS - CORDEX، MODSIM.

مقدمه

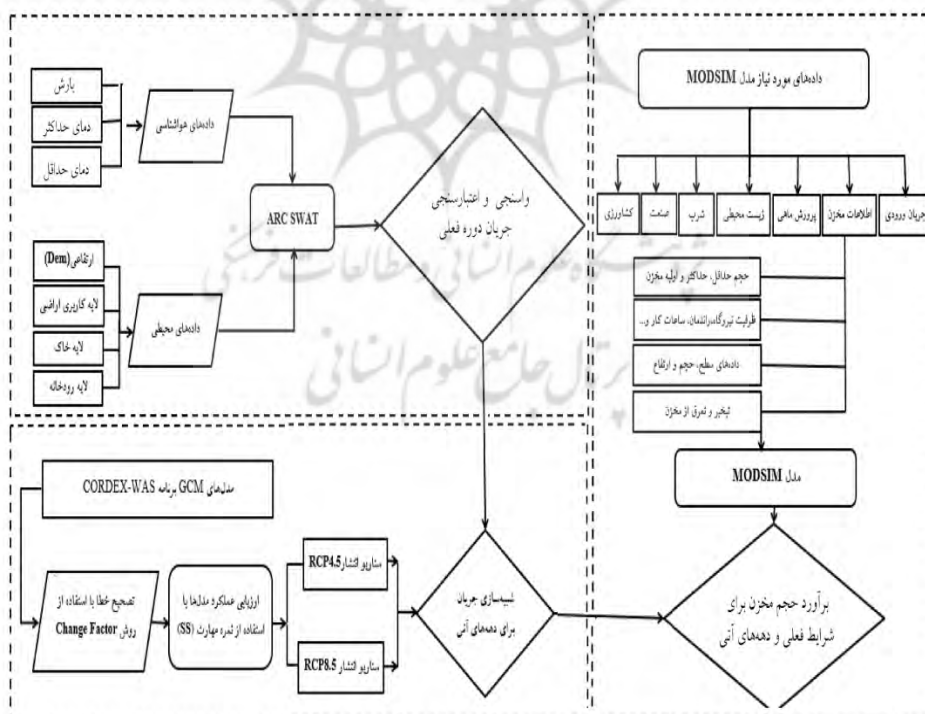
اقلیم کنونی زمین، در نتیجه فرایندهای دینامیکی زمین و عوامل بیرونی در حال تغییر است؛ این تغییرات موجب افزایش دما، تغییرات بارندگی، افزایش سرعت تبخیر و ذوب شدن بیشتر یخچال‌ها می‌شود (شراسا و همکاران، ۲۰۱۶: ۲۸، یانگ و همکاران ۲۰۱۶: ۱۱۸۵). بررسی‌ها نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی، تغییرات هیدرولوژیکی را تشدید می‌کند و بر توزیع مکانی و زمانی جریان رودخانه‌ها و حجم آب اثر می‌گذارد (کین و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۲۳۹۲۲). از آنجایی که متغیرهای اقلیمی به‌عنوان یکی از ورودی‌های اصلی در چرخه هیدرولوژی محسوب می‌شوند، لذا هرگونه تغییر در مقدار میانگین و انحراف معیار آن‌ها می‌تواند بر کمیت آب رودخانه‌ها تأثیر بگذارد. تخمین‌ها حاکی از آن است که متوسط تغییرات جریان بر اثر پدیده تغییر اقلیم در مناطق خشک مانند خاورمیانه و شمال آفریقا بیشتر از مناطق با آب‌وهوای مرطوب است و منابع آبی در این مناطق بحران شدیدتری را تجربه می‌کنند (هیراباشی و همکاران، ۲۰۱۳: ۸۱۸ و IPCC, 2014). کشور ایران نیز با توجه به قرارگیری در کمربند جنب حاره و داشتن اقلیم گرم و خشک از این قاعده مستثنی نبوده و از آنجایی که میزان دسترسی محدودی به منابع آبی دارد، توسعه برنامه‌های وابسته به مدیریت منابع آب و کنترل حوضه‌های آبریز آن از حساسیت بالایی برخوردار است.

یکی از مهم‌ترین نتایج تغییر اقلیم، میزان تغییرات حجم آبدی رودخانه‌ها می‌باشد که بر ورودی به سدها تأثیر می‌گذارد؛ به نظر می‌رسد که بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی منابع آب جهت مدیریت پایدار بسیار ضروری است. تحقیقاتی در زمینه اثر تغییر اقلیم بر روی آب ورودی به مخازن سد و تغییرات حجم آن انجام شده است: برای نمونه هوانگ و همکاران (۲۰۱۳: ۱۵۲) با استفاده از دو مدل REMO و CCLM به بررسی اثر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌ای در آلمان پرداختند نتایج نشان داد که در بازه‌های زمانی (۲۰۲۱-۲۰۶۰ و ۲۱۰۰-۲۰۶۱) جریان نسبت به دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۰) کاهش پیدا می‌کند. سوندهراجن و همکاران (۲۰۱۶: ۶۲۵) به ارزیابی تغییرات در عملکرد مخزن سطحی تحت شرایط اقلیم آینده در حوضه رودخانه بیز در هند پرداخته‌اند. نتایج حاکی از تغییر در میزان حجم ذخیره موردنیاز مخزن در دهه‌های آتی می‌باشد. بررسی اثرات خشک‌سالی‌های آتی بر تأمین آب مخزن پانجیاکن در چین نشان داد که روند خشک‌سالی در آینده سبب کاهش شاخص‌های اعتمادپذیری و انعطاف‌پذیری خواهد شد که این امر آسیب‌پذیری سیستم را افزایش می‌دهد (لی و همکاران، ۲۰۱۹: ۹۳). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر جریان و رسوب حوضه کرادویوم در برزیل نشان داد در آینده رسوب حوضه بین ۳۳/۳- تا ۵۵/۲ درصد متغیر است و جریان به میزان ۲۷/۶ تا ۷۵ درصدی کاهش می‌یابد و این کاهش مشکلات جدی را از نظر آب قابل‌دسترس برای ساکنان در پی خواهد داشت (د اولیورا و همکاران، ۲۰۱۹: ۲۰). پرس و همکاران (۲۰۱۹: ۲۵۳۱) در پژوهشی به بررسی عملکرد مخزن پوزیلو، واقع در سیسیل (ایتالیا) تحت شرایط اقلیم آینده پرداختند نتایج شبیه‌سازی مخزن نشان داد که با کاهش جریان ورودی به مخزن ناشی از تغییرات آب‌وهوایی، پیش‌بینی می‌شود که عملکرد آن در آینده به‌ویژه در سناریو RCP8.5 به‌طور قابل‌توجهی کاهش یابد. در پژوهشی دیگر روچا و همکاران (۲۰۲۰: ۱۰۷۹) اثرات تغییر اقلیم را بر عملکرد دو مخزن مونت ونا و ویجیا در جنوب پرتغال بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات آب‌وهوایی بر میزان دسترسی به آب در هر دو مخزن، به‌ویژه تحت RCP8.5 تأثیر منفی خواهد گذاشت و مناطق پایین‌دستی را در تأمین نیاز آبیاری و آب شرب با مشکلات فراوانی روبرو خواهد کرد. ایشان استراتژی‌های سازگاری مانند اجرای فناوری پیشرفته (کاوشگر رطوبت خاک و تنش آب گیاه) و همچنین تجدید شبکه آبیاری و انتخاب محصول مناسب را جهت کاهش اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آبی پیشنهاد دادند. کرزتون و همکاران (۲۰۲۲: ۱۵۴۶) در مقاله‌ای به بررسی پیامدهای احتمالی تغییر اقلیم بر آب ذخیره‌شده در مخازن سدها در جهان پرداختند؛ خروجی‌ها نشان داد بیشترین افزایش دمای پیش‌نگری شده برای مخازن سدهای واقع در عرض‌های جغرافیایی بالا نیمکره شمالی است و انتظار می‌رود تغییر

اقلیم بیشترین تأثیر بر مخازن این سدها داشته باشد. در مطالعات داخل کشور نیز کارآموز و همکاران (۱۳۸۸: ۵۲۰) نحوه بهره‌برداری از سد ستارخان را در شرایط تغییر اقلیم بررسی کردند و دریافتند آبدهی مطمئن این سد در آینده با کاهش ۱۱ تا ۳۲ درصدی روبرو خواهد شد. مدل‌سازی فرایندهای هیدرولوژیک و پروژه‌های مهندسی بر روی حوضه رودخانه کرخه و تالاب‌های آن با استفاده از نرم‌افزار SWAT نشان می‌دهد که پس از احداث سد کرخه حجم جریان سالانه رودخانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است که این امر سبب خشک شدن تالاب هورالعظیم شده و این خود عامل مؤثری بر انتشار گردوغبار خواهد بود (قبادی و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۴۴). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر اطمینان‌پذیری تأمین آب پایین‌دست سد کرخه و راهکارهای سازگاری با آن با استفاده از مدل WEAP نشان داد که ساخت سدهای جدید به دلیل افزایش تخصیص آب در بالادست، می‌تواند اطمینان‌پذیری تأمین آب کشاورزی پایین‌دست سد کرخه را تا کمتر از ۷۰ درصد کاهش دهد. استفاده مجدد از آب با اطمینان‌پذیری ۹۱ درصد نیز به‌عنوان مؤثرترین راهکار برای سازگاری با تغییرات اقلیمی شناخته شد (فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳: ۴۹). بررسی آثار تغییر اقلیم بر میزان رواناب رودخانه نازلوچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از شبکه عصبی - مصنوعی تحت تأثیر دو سناریو A2 و B2 نشان داد که دما به ترتیب در دوره ۲۰۹۹ - ۲۰۰۰ به میزان $0.35 - 0.45$ درجه سانتی‌گراد و بارندگی ۹ تا ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. برآوردها حاکی از افزایش رواناب رودخانه در دوره آتی به میزان ۴۸ و ۴۹ درصد بوده است (لگژائیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۸۳). بنی‌حبیب و همکاران (۱۳۹۵: ۱) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی به مخزن سد شاه‌چراغی پرداختند. آنان دریافتند میزان جریان ورودی به مخزن در مقیاس سالانه حدود $2/1$ تا $4/1$ درصد تحت سناریوهای (A1B، A2، B1) کاهش می‌یابد. قدمی و همکاران (۱۳۹۷: ۸۵) از مدل هیدرولوژیک IHACRES برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه سزار استفاده کردند؛ نتایج حکایت از کاهش ۲۹ درصدی دبی برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ دارد. نادری (۱۳۹۷: ۲۵۹) در پژوهشی دیگر به بررسی اثر تغییر اقلیم بر دبی ورودی و حجم مخزن سد درودزن در استان فارس پرداخت؛ نتایج نشان داد با کاهش ۱۷ درصدی بارش و افزایش ۱۶ درصدی تبخیر و تعرق، متوسط سالانه دبی ورودی مابین ۴۸ تا ۵۰ درصد کاهش خواهد یافت که این امر کاهش ۲۸ تا ۵۳ درصدی حجم مخزن را در پی خواهد داشت. پورکریمی و همکاران (۱۳۹۷: ۱۱۵۷) در پژوهشی به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی‌های هیدرولوژیک و کشاورزی حوضه زرينه‌رود با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج نشان داد واکنش خشک‌سالی‌های هیدرولوژیک و کشاورزی به تغییرات اقلیمی یکسان نخواهد بود و خشک‌سالی‌های کشاورزی نسبت به تغییرات اقلیمی حساسیت بیشتری دارند. صالح‌پور و همکاران (۱۳۹۸: ۱۱۴۰) در تحلیل تأثیرات تغییر اقلیم در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ بر آبدهی حوضه حبله‌رود نتیجه گرفتند آبدهی سالانه در سطح حوضه به‌طور متوسط تا ۱۵ درصد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. آقاییگی و همکاران (۱۳۹۸: ۱۸۱) از مدل هیدرولوژیک IHACRES برای شبیه‌سازی رواناب برخی از حوضه‌های آبریز استان اردبیل در دهه‌های آتی استفاده کردند، خروجی‌ها حکایت از کاهش 0.16 درصد این پارامتر در آینده دارد. بررسی رفتار جریان ورودی به سد سیمره در مواجهه با اثرات تغییر اقلیم نشان داد میزان جریان ورودی به سد در دوره آتی حدود $5/2$ تا $13/4$ درصد کاهش خواهد داشت (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۶۹). کونانی و همکاران (۱۳۹۹: ۱) در مقاله‌ای به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبریز سیلاخور - رحیم‌آباد در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۵ با استفاده از مدل SIMHYD پرداختند؛ نتایج نشان داد با افزایش دما و کاهش بارش، دبی و مؤلفه‌های آن کاهش می‌یابد. کتک لاهیجانی و همکاران (۲۰۱۹: ۶۶۹) عدم قطعیت‌های ناشی از سناریوهای انتشار RCP، مدل‌های اقلیمی و مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی بر جریان ورودی به مخزن سد کرج را بررسی کردند و نتیجه گرفتند هر سه عامل تأثیر بسزایی بر عدم قطعیت رواناب ورودی به مخزن دارند که باید در پیش‌بینی جریان تحت سناریوهای اقلیمی موردتوجه قرار گیرند. زبردست رستمی و همکاران (۱۴۰۰: ۲۰۵) آبدهی رودخانه نکارود را تحت شرایط تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار

دادند. نتایج نشان داد جریان رودخانه تحت سناریو RCP2.6 به‌طور متوسط ۷/۷ درصد و در سناریو RCP8.5 به مقدار ۱۸ درصد نسبت به دوره مشاهده کاهش می‌یابد. نتایج پیش‌بینی جریان ورودی به سد مارون نشان داد که برخلاف افزایش بارش حوضه در دهه‌های آتی، افزایش دما در این حوضه اثر و کارایی بیشتری در کاهش میزان جریان خواهد داشت (میرمهدی و همکاران، ۱۴۰۱: ۴۵). همین‌طور در رابطه با اثرات تغییر اقلیم بر دبی جریان می‌توان به مطالعات کاویان و همکاران (۱۳۹۶: ۸۹)، گودرزی و فاتحی‌فر (۱۳۹۸: ۹۹) و باغبانان و همکاران (۱۴۰۰: ۲۷) و... اشاره کرد.

سد دز در جنوب غرب ایران، در استان خوزستان و در ۲۳ کیلومتری شمال شرق اندیمشک، بر روی رودخانه دز ساخته شده و حداکثر حجم ذخیره‌ای آن ۳/۳ میلیارد مترمکعب می‌باشد. این سد از نوع سدهای بتنی چندمنظوره بوده و هدف اصلی از احداث آن تأمین نیروی لازم جهت تولید برق، کنترل سیلاب‌ها و تنظیم آب برای مصارف آبیاری و کشاورزی است. بر اساس مطالعه ادیب و گرجی‌زاده (۱۳۹۵) بیشترین وقوع خشک‌سالی‌های شدید مربوط به ایستگاه تله زنگ بوده و طبق مطالعه‌ای موسوی و معروفی (۱۳۹۵) آورد سالانه حوضه تا بیش از یک میلیارد مترمکعب در آینده کاهش خواهد یافت. اگرچه این مطالعات در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر جریان ورودی به سد دز است اما اثرات آن را بر حجم مخزن مورد ارزیابی قرار نداده‌اند. از این‌رو هدف پژوهش حاضر این است که: (۱) با استفاده از نتایج ۱۷ مدل منطقه‌ای برنامه CORDEX - WAS (جنوب آسیا) عدم قطعیت در پیش‌بینی و نتایج مدل‌های تغییر اقلیم برای محدوده مورد مطالعه کاهش یابد (۲) با استفاده از قابلیت مدل SWAT جریان ورودی به سد دز و استجی و حجم مخزن به‌وسیله مدل MODSIM برای افق زمانی آینده برآورد گردد. یافته‌های پژوهش حاضر نقش مؤثری در جهت ارائه راهکارهای سازگار با شرایط تغییر اقلیم و انتخاب تصمیمات مناسب سازمان‌های ذی‌ربط با توجه به حجم بهره‌برداری از مخزن در اقلیم آتی دارد. شکل ۱ چارچوب اجرای کلی اتخاذشده برای این مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. ساختار کلی پژوهش

روش پژوهش

جهت انجام این پژوهش ابتدا داده‌های اقلیمی مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک موردنظر طی بازه زمانی (۲۰۱۶-۱۹۸۴) از شرکت مدیریت منابع آب و سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید (جدول ۱). همچنین داده‌های ریز گردانی شده مدل‌های آب‌وهوای منطقه‌ای (RCM) مربوط به پروژه CORDEX-WAS از پایگاه www.cordex.org استخراج شد.

جدول شماره ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

ایستگاه	نوع پارامتر	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نوع ایستگاه
دزفول	دما-بارش	۳۲/۴	۴۸/۳۸	سینوپتیک
خرم‌آباد	دما-بارش	۳۳/۴۴	۴۸/۲۸	سینوپتیک
بروجرد	دما-بارش	۳۳/۵۵	۴۸/۴۵	سینوپتیک
اراک	دما-بارش	۳۴/۰۷	۴۹/۷۸	سینوپتیک
الیگودرز	دما-بارش	۳۳/۲۴	۴۹/۴۲	سینوپتیک
کوه‌رنگ	دما-بارش	۳۲/۴۵	۵۰/۱۳	سینوپتیک
زردفهره	بارش	۳۳/۰۱	۴۹/۸۱	باران‌سنجی
کشور	بارش	۳۳/۱۴	۴۸/۶۳	باران‌سنجی
بروجرد سازمان آب	بارش	۳۳/۷۸	۴۸/۸	باران‌سنجی
ونایی	بارش	۳۳/۹۱	۴۸/۵۹	باران‌سنجی
دره تخت	بارش	۳۳/۳۸	۴۹/۳۸	باران‌سنجی

پژوهش موردنظر طی چند مرحله انجام گرفت: مرحله نخست داده‌های RCM مدل‌های مورد مطالعه با استفاده از روش مقیاس‌کاهی دلتا (Change factor) ریز گردانی آماری شد (جدول ۲) و با کاربرد نمره مهارت (Skill Score) و روش همادی (Ensemble) مناسب‌ترین ترکیب جهت پیش‌نگری تغییرات اقلیمی آتی انتخاب گردید. در این راستا مدل همادی ده‌تایی به‌عنوان بهترین ترکیب برگزیده شد. شایان‌ذکر است پیش‌نگری برای سه دوره ۲۰ ساله (۲۰۸۰-۲۰۹۹، ۲۰۶۹-۲۰۵۰ و ۲۰۲۰-۲۰۳۹) در قرن ۲۱ تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 اجرا گردید.

جدول شماره ۲. مشخصات مدل‌ها و مؤسسات آماده‌سازی پروژه CORDEX

شماره مدل	مدل	مؤسسات تحقیقاتی تدوین‌کننده مدل‌ها
M1	SMHI.IPSL-IPSL-CM5A-MR	IPSL, Institute Pierre Simon Laplace, France
M2	SMHI.CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
M3	SMHI.MOHC-HadGEM2-ES	MOHC, Met Office Hadley Center, UK
M4	SMHI.EARTH	European community Earth-System Model
M5	SMHI.NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M	NOAA, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA
M6	SMHI.MPI-M-MPI-ESM-LR	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center, Max Planck Institute for Meteorology
M7	SMHI.MIROC-MIROC5	MIROC, Center for Climate System Research, Japan
M8	SMHI.NorESM1-M	NCC, Norwegian Climate Center, Norway
M9	SMHI.CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	Météo-France / Centre National de Recherches Météorologiques
M10	SMHI.CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia

M11	IITM.CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia
M12	IITM.IPSL-IPSL-CM5A-LR	Institutes Pierre-Simon Laplace
M13	IITM.CCCma-CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
M14	IITM.MPI-M-MPI-ESM-MR	Institute for Atmospheric and Environmental Sciences (IAES), Goethe University, Frankfurt am Main (GUF), Germany
M15	IITM.NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M	NOAA, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA
M16	IITM.CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	Météo-France / Centre National de Recherches Météorologiques
M17	MPI-M-MPI-ESM-LR	Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center Germany

مرحله دوم: در ادامه به منظور شبیه‌سازی جریان ورودی به سد دز از مدل هیدرولوژیکی SWAT استفاده شد. مدل SWAT یک مدل فیزیکی، نیمه توزیعی و پیوسته زمانی است که برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه ارائه شده است (آرنولد و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۴۹۷). اطلاعات ورودی برای ساخت این مدل شامل نقشه کاربری اراضی، نقشه (DEM) با دقت مکانی ۹۰ متر و نقشه خاک FAO می‌باشد (شکل ۲). SWAT حوضه بر اساس نوع خاک، کاربری اراضی و کلاس‌های شیب به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) تفکیک می‌شود که امکان شبیه‌سازی در مقیاس مکانی بالا را ارائه می‌کند. مدل هیدرولوژی هر HRU را با استفاده از رابطه ۱ پیش‌بینی می‌کند:

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

SW_t = مقدار آب موجود در خاک در زمان حاضر (میلی‌متر)، SW_0 = مقدار اولیه آب موجود در خاک (میلی‌متر)، R_{day} = مقدار بارندگی روز i ام (میلی‌متر)، Q_{surf} = رواناب سطحی روز i ام (میلی‌متر)، E_a = تبخیر و تعرق روز i ام (میلی‌متر)، W_{seep} = مقدار آب وارد شده از پروفیل خاک به ناحیه غیراشباع روز i ام (میلی‌متر)، Q_{gw} = مقدار جریان برگشتی روز i ام (میلی‌متر) و i = روز مشخص است. در این پژوهش برآورد ارتفاع جریان، تبخیر و تعرق و روند یابی کانال به ترتیب از روش‌های شماره منحنی، هارگریوز و ماسکینگام استخراج شده است. برای واسنجی، آنالیز عدم قطعیت و همچنین اعتبارسنجی مدل، از الگوریتم SUFI-2 در محیط نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شد (عباسپور، ۲۰۱۱: ۲۵ و عباسپور و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۱۹). ارزیابی مدل توسط شاخص‌های ضریب تعیین، نش ساتکلیف و فاکتورهای P و R صورت گرفته است.

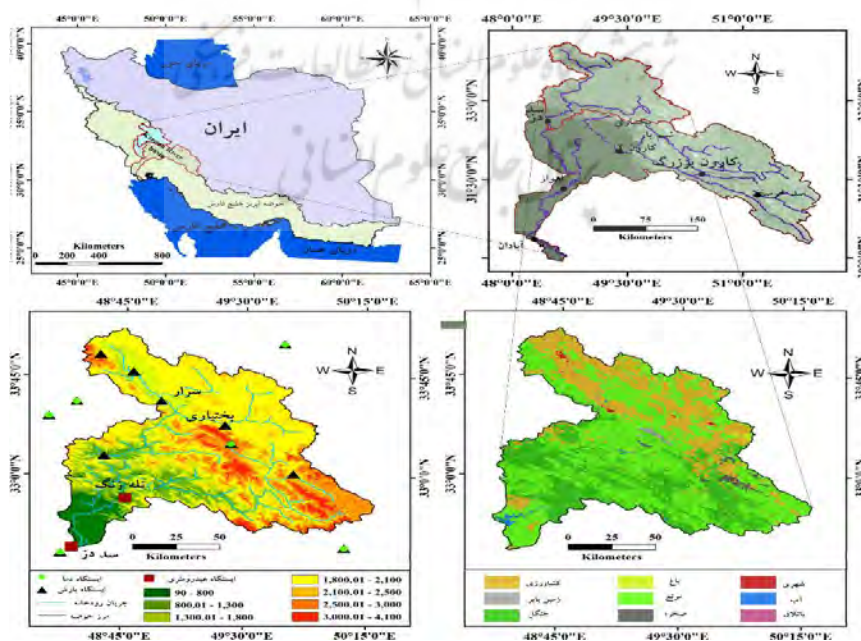
در فرآیند اجرای مدل، حوضه آبریز با استفاده از DEM به ۱۰۴ زیر حوضه تقسیم و در نهایت تعداد ۳۱۲ واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) تولید شد. داده‌های هیدرولوژیکی روزانه ایستگاه تله‌زنگ برای دوره زمانی ۲۰۱۶-۱۹۸۴ از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه گردید. برای کاهش اثرات ناشی از شرایط مرزی و مقادیر اولیه ۲ سال اول، به‌عنوان دوره گرم شدن مدل در نظر گرفته شد. بازه زمانی (۲۰۰۵ - ۱۹۸۶) برای واسنجی و دوره (۲۰۱۶ - ۲۰۰۶) جهت اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت.

مرحله سوم: علاوه بر جریان ورودی، در پژوهش موردنظر به بررسی حجم مخزن نیز پرداخته شده است. از مدل MODSIM جهت برآورد حجم استفاده شد. MODSIM یک سیستم جامع تصمیم‌سازی برای مدیریت حوضه آبریز بر اساس شبیه‌سازی جریان شبکه رودخانه و عملکرد مخازن است. این مدل ابتدا در سال ۱۹۷۸ در دانشگاه ایالت کلرادو توسط شفر و لبادی طراحی گردید و تنها مدل مدیریت حوضه رودخانه است که به‌طور مداوم مورد استفاده و توسعه قرار گرفته است (شفر و لبادی، ۱۹۸۷). MODSIM از یک الگوریتم بهینه‌سازی جریان شبکه و اولویت‌هایی که به‌صورت

یک وزن برای هر جز در مدل هستند، استفاده می‌کند و این اولویت‌ها به‌عنوان یک سازوکاری برای نحوه توزیع آب در سیستم رودخانه عمل می‌کند. این مدل فرآیند بارش - رواناب را شبیه‌سازی نمی‌کند و بنابراین ورودی آن جریان است. MODSIM مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده را از طریق تبدیل حوضه رودخانه به شبکه‌ای از گره‌ها و کمان‌ها تسهیل می‌کند. اطلاعات مربوط به مخزن، نیروگاه و نیازهای پایین‌دست از سازمان آب و برق استان خوزستان استخراج گردید. تاریخ شروع شبیه‌سازی برای دوره پایه مطابق با داده‌های هواشناسی است. گام‌های زمانی تعیین شده برای این مدل به‌صورت ماهانه بوده و واحد اعداد بر حسب $1000 \text{ m}^3/\text{month}$ می‌باشد. بعد از واردکردن داده‌های مربوط به نیازها، در MODSIM مدل برای تأمین هر کدام از نیازهای خود عددی را به‌عنوان اولویت (priority) در نظر خواهد گرفت. این عدد مشخص خواهد کرد که این نیاز با چه اولویتی نسبت به دیگر نیازها تأمین گردد. بر اساس نظام‌نامه تخصیص منابع آب، اولویت نیازها به ترتیب عبارت‌اند از: شرب، صنعت، نیاز زیست‌محیطی، کشاورزی و مخزن. خروجی مهم MODSIM سری زمانی حجم هیدرولوژیکی و متغیرهای جریان در مکان‌های مختلف حوضه است که در پژوهش حاضر فقط به حجم مخزن پرداخته شده است.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، حوضه آبریز دز از زیر حوضه‌های کارون بزرگ است که با مساحت 17365 کیلومترمربع در دامنه‌های غربی و جنوب غربی زاگرس واقع شده است. بخش عمده بارش‌های جوی این حوضه به شکل برف بوده که ذوب آن از اواخر فصل زمستان تا اواخر بهار، بیش از 70% درصد آب سالانه جریان سطحی این حوضه را تأمین می‌کند (جاماب، 1394). سد دز نخستین سد از رشته سدهای چندمنظوره است که در سال 1341 مورد بهره‌برداری قرار گرفت. این سد آب موردنیاز کشاورزی برای حدود 125000 هکتار از اراضی پایین‌دست و همچنین قسمتی از آب شرب و مصارف صنعتی استان خوزستان را تأمین می‌کند. کنترل سیلاب و تولید انرژی برقی از سایر اهداف ساخت این سد می‌باشد. حداکثر تراز آب و حداکثر حجم نرمال مخزن به ترتیب 360 متر و 3361 میلیون مترمکعب است. ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری انتخاب‌شده برای این مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. موقعیت حوضه بالادست سد دز

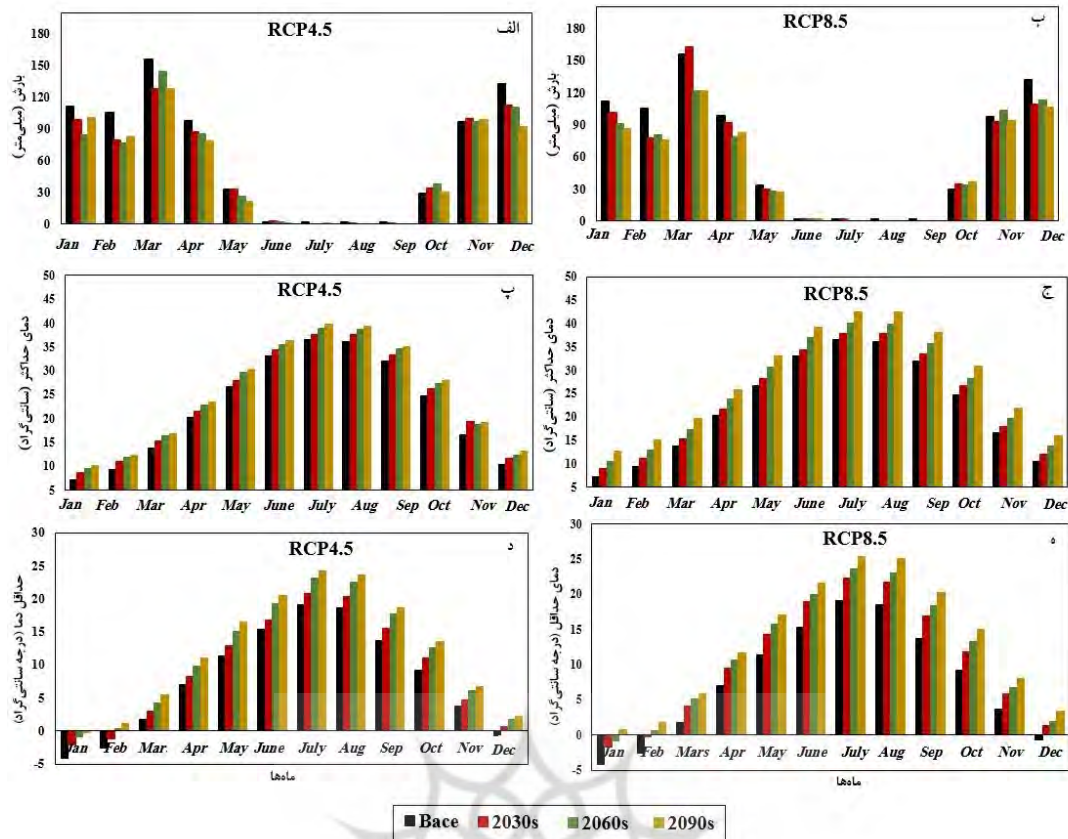
بحث و یافته‌ها

تغییر اقلیم در محدوده مورد مطالعه

شکل ۳ (الف و ب) میانگین ماهانه بارش حوضه را در سه دوره آینده نزدیک (۲۰۳۹-۲۰۲۰)، دوره آینده میانی (۲۰۶۹-۲۰۵۰)، دوره آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۸۰) تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در سناریو RCP4.5 بارش به‌جز دو ماه اکتبر و نوامبر در بقیه ماه‌ها کاهش داشته است؛ بیشترین کاهش مربوط به ماه‌های مارس، فوریه، دسامبر و ژانویه می‌باشد. پیش‌نگری‌ها در سناریوی RCP8.5، کاهش میزان بارندگی را برای ماه‌های گرم و کم بارش تابستان (ژوئیه، اوت و سپتامبر) برآورده کرده است. به‌طوری‌که میزان بارش در این ماه‌ها نزدیک صفر است هرچند که ماه‌های مذکور در دوره پایه نیز از میانگین بارش قابل‌توجهی در حوضه برخوردار نبوده است. در مورد ماه‌های سرد و پر بارش (دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس) پیش‌بینی‌ها متفاوت بوده است؛ و اکثر ماه‌ها کاهش بارش را پیش‌بینی می‌کنند و وجه اشتراک هر سه دوره در این سناریو افزایش بارش ماه اکتبر است. به‌طور کلی بارش حوضه روند کاهشی داشته است این کاهش با نزدیک شدن به پایان قرن افزایش می‌یابد.

تحلیل خروجی مدل‌های منطقه‌ای پایگاه CORDEX در منطقه مورد مطالعه برای حداکثر درجه حرارت بیانگر افزایش این پارامتر در همه ماه‌های سال است. بیش‌ترین مقدار افزایش درجه حرارت مربوط به ماه‌های می، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر در دوره ۲۰۸۰ - ۲۰۹۹ و در سناریو RCP8.5 است. کمترین نوسانات دما در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۹ - ۲۰۲۰) و در سناریو تابشی RCP4.5 می‌باشد که برای تمامی ماه‌های سال تقریباً مشابه یکدیگر و به‌اندازه ۱/۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. این در حالی است که در آینده دور به‌ویژه برای سناریو RCP8.5 این نوسانات در فصول پاییز و زمستان کمتر و در بهار و تابستان به اوج خود می‌رسد. به‌طور کلی در حوضه دز، افزایش دمای حداکثر نسبت به دوره پایه برای سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب مابین ۵/۸ تا ۱/۶ و ۳ تا ۱/۵ درجه سلسیوس متغیر است (شکل ۳ پ و ج).

نتایج پیش‌نگری مدل‌های انتخابی برنامه CORDEX برای دمای حداقل به‌مانند دمای حداکثر است. مطابق شکل ۳ (د و ه) مقادیر دمای حداقل در تمام ماه‌های سال برای هر دو سناریو افزایش پیدا کرده، هرچند مقدار این تغییرات در ماه‌های مختلف با هم متفاوت بوده است. تغییرات افزایشی دما در دوره ۲۰۸۰ - ۲۰۹۹ نسبت به دوره دیگر در سناریو انتشار RCP8.5 بخصوص در فصول گرم سال با شدت بیشتری اتفاق افتاده است. آنچه از خروجی دمای حداقل و حداکثر برمی‌آید این است که مقدار افزایش دما در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد می‌باشد. افزایش دمای حداقل نسبت به دوره پایه برای سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب مابین ۱/۵ تا ۴/۲ و ۲/۷ تا ۵/۳ درجه سلسیوس است. خروجی‌های این بخش با تحقیقات سیدکابلی (۱۳۹۵: ۱۰۱)، کاویان و همکاران (۱۳۹۶: ۱۰۴) و زبردست رستمی و همکاران (۱۴۰۰: ۲۰۵) به ترتیب برای حوضه‌های دز، هراز و گلورد مطابقت دارد.



شکل ۳. میانگین ماهانه بارش (الف و ب)، حداکثر دما (پ و ج) و دمای حداقل کل حوضه (د و ه) برای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب در طول دهه‌های ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ نسبت به دوره پایه.

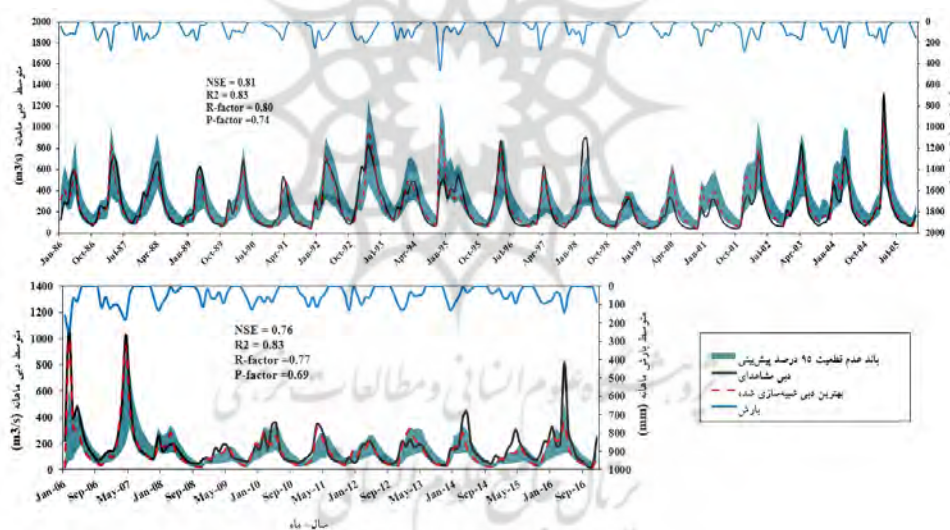
مدل هیدرولوژیک (SWAT)

در پژوهش حاضر با استفاده از تحلیل حساسیت به روش سراسری از بین ۲۳ پارامتر اولیه ورودی با معیار قرار دادن دو شاخص P-Value و T-Stat، تعداد ۱۴ پارامتر که جریان خروجی حوضه بیشترین حساسیت را نسبت به آن‌ها داشت شناسایی گردید. در این بین پارامترهای شماره منحنی (CN2)، ضریب آلفا جریان پایه (ALPHA_BNK) و قابلیت هدایت هیدرولیکی (CH_K2) به ترتیب بیشترین اثر را در شبیه‌سازی جریان حوضه داشتند. مقادیر بهینه به‌دست‌آمده برای پارامترهای موثر در مرحله واسنجی در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی جریان ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NS) و ضریب تبیین (R^2) در دوره واسنجی بزرگ‌تر از ۰/۸۰ می‌باشد که بر مبنای قاعده موریاوسی و همکاران (۲۰۰۷)، این نتایج حاکی از عملکرد خیلی خوب مدل در شبیه‌سازی جریان دارد. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده در این بخش با نتایج پژوهش‌های سان و همکاران (۲۰۲۲: ۱۷۷۸)، لی و فانگ (۲۰۲۱: ۱۰۵۱۹۹)، نگو و ساراما (۲۰۲۱: ۵۰۲) و رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۹: ۱۲۹) هم‌سو بوده است.

جدول ۳. مقادیر بهینه به دست آمده برای پارامترهای موثر در مرحله واسنجی

نام پارامتر	توضیحات	بازه نهایی
r_CN2.mgt	شماره منحنی نفوذ (SCS) برای شرایط اولیه رطوبت	۰ - ۰/۲
v_ALPHA_BNK.rte	ضریب آلفا جریان پایه برای ذخیره کناری (روز)	۰/۰۵ - ۰/۲۵
v_CH_K2.rte	قابلیت هدایت هیدرولیکی موثر (میلی متر بر ساعت)	۱۰۴ - ۱۲۲
v_CH_N2.rte	ضریب مانینگ رودخانه اصلی	۰/۱ - ۰/۱۶
v_SFTMP.bsn	متوسط دمای هوا برای تبدیل باران به برف (سانتی گراد)	۱/۵
v_SMTMP.bsn	دمای ذوب برف (سانتی گراد)	۳/۵
v_RCHRG_DP.gw	درصد تغذیه سفره عمیق از سفره کم عمق یا غیر محصور	۰/۷ - ۰/۹
v_CANMX.hru_	ذخیره حداکثر پوشش گیاهی (مرتج)	۷۹
v_EPCO.hru	ضریب تصحیح جذب گیاهی	۰/۷ - ۰/۹
v_SMFMN.bsn	حداقل نرخ ذوب برف در اثر یک درجه سانتی گراد تغییر دما	۲/۵
v_SLSUBBSN.gw	متوسط شیب زمین	۱۱۰ - ۱۲۸
v_GWQMN.gw	حداقل عمق مورد نیاز سطح ایستابی در سفره‌های کم عمق برای وقوع جریان بازگشتی	۶۰۰ - ۹۰۰
v_GW_REVAP.gw	ضریب تعیین نفوذ به سفره آب زیرزمینی عمیق یا صعود موئینگی از سفره آب کم عمق	۰/۱ - ۰/۵
v_ESCO.hru	فاکتور جبران کننده تبخیر از خاک	۰/۷ - ۰/۹

r: نشان دهنده تغییر نسبی در مقدار اصلی پارامتر (ضریب مقدار پارامتر به صورت درصد) و v نشان دهنده تغییر مطلق مقدار پارامتر (جایگزین شدن با مقدار اصلی پارامتر) می باشد.



شکل شماره ۴. مقایسه سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه سازی شده برای دوره واسنجی (۲۰۰۵-۱۹۹۴) و صحت سنجی (۲۰۰۶-۲۰۱۶) به همراه شاخص‌های ارزیابی

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر مؤلفه‌های بیلان آب حوضه آبریز دز

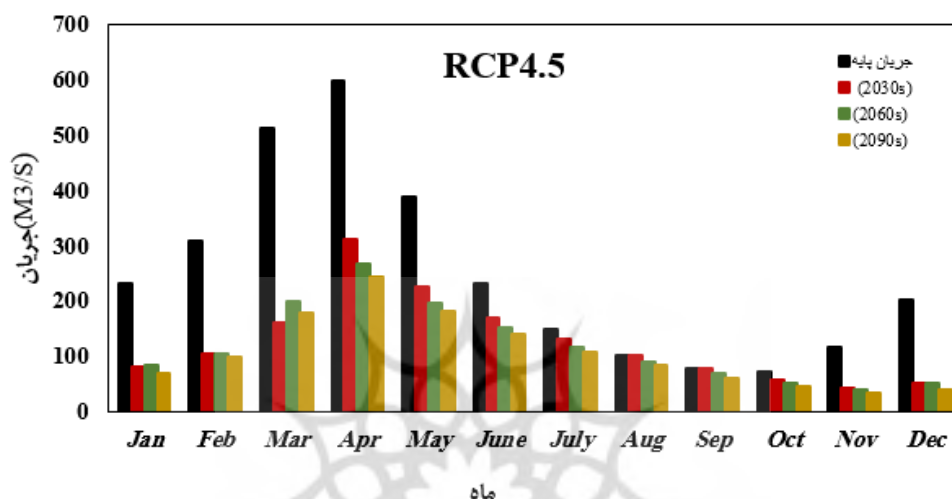
پس از اطمینان یافتن از صحت مدل هیدرولوژیک و خروجی مدل‌های آب‌وهوای منطقه‌ای (RCM)، مدل SWAT تحت سناریوهای مختلف اجرا شد تا با بررسی نتایج آن بتوان اثر تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه را ارزیابی کرد. پیش‌نگری جریان در شرایط تغییر اقلیم حاکی از کاهش چشمگیر دبی رودخانه دز در آینده می‌باشد. متوسط سالانه دبی رودخانه دز در ایستگاه هیدرومتری تله زنگ برابر با ۲۴۹/۸ مترمکعب بر ثانیه در دوره مشاهداتی (۲۰۰۵-۱۹۸۶) است، ولی مقدار آن به ترتیب ۱۲۷، ۱۱۹ و ۱۰۷/۹ مترمکعب در ثانیه برای سه دهه ۲۰۳۹-۲۰۲۰، ۲۰۶۹-۲۰۵۰ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ در سناریوی

RCP4.5 خواهد رسید که منجر به کاهش ۴۹، ۵۰ و ۵۲ درصدی در این ایستگاه خواهد شد. متوسط سالانه دبی در تله‌زنگ در سناریوی RCP8.5 حدود ۴۴، ۵۶ و ۶۴ درصد کاهش خواهد یافت؛ بنابراین دبی ورودی به سد دز تحت دو سناریوی منتخب بین ۵۰ تا ۵۴ درصد برای دهه‌های آتی کاهش خواهد یافت. شکل ۵ و ۶ تغییرات میانگین ماهانه جریان ورودی به سد دز برای سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد. پیش‌بینی می‌شود بیشترین میزان کاهش در جریان ورودی مربوط به ماه‌های سرد سال باشد؛ به عبارتی از دسامبر جریان ورودی کاهش پیدا می‌کند و در ماه‌های آوریل و مارس این کاهش به اوج خود می‌رسد. یکی از دلایل اصلی کاهش حجم جریان در منطقه در این ماه‌ها (مارس، آوریل و می) علاوه بر کاهش مقدار بارش، تغییر رژیم بارشی است. به عبارت دیگر در ماه‌های مذکور آب حاصل از ذوب برف‌های منطقه موجب افزایش دبی در شرایط فعلی گردیده که این مهم در شرایط آینده مشاهده نمی‌گردد.

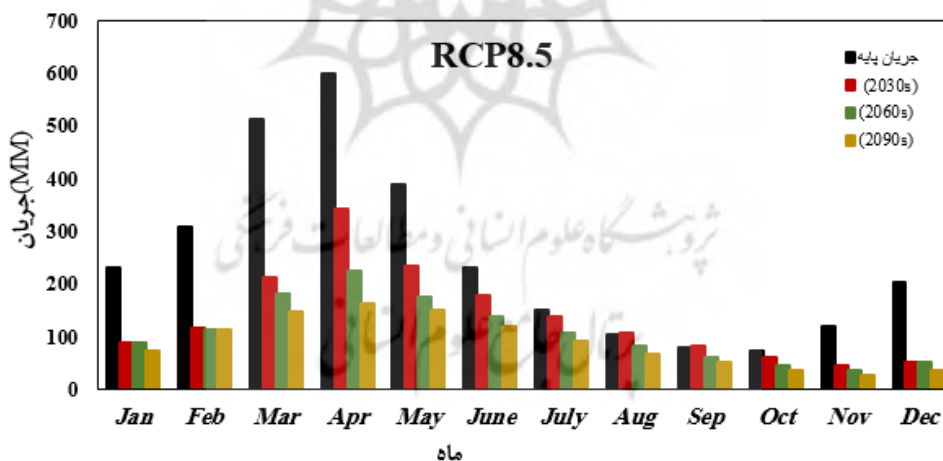
جهت واکاوی خروجی مدل، در ابتدا مؤلفه‌های بیلان آب محاسبه شده توسط مدل SWAT بررسی می‌شود و در ادامه نتایج تحقیقات انجام شده در حوضه‌های مشابه ارائه می‌گردد تا بتوان مقایسه‌ای دقیق‌تر انجام داد. در جدول ۴ مؤلفه‌های بیلان آب برای دوره مشاهداتی و همچنین دو سناریو ارائه شده است. در دوره پایه مقدار بارش ۷۶۵ میلی‌متر در سال بوده که ۲۶۵ میلی‌متر آن از طریق تبخیر و تعرق به جو بازگشته، ۹۹/۵ میلی‌متر در خاک ذخیره شده، ۱۰۸/۷۳ میلی‌متر به آب زیرزمینی نفوذ کرده و ۳۲۷/۱۳ میلی‌متر نیز رواناب را تشکیل داده است. همچنین مقدار ۶۹/۷ مترمکعب بر ثانیه از آب تغذیه شده به آبخوان‌ها به صورت جریان پایه وارد رودخانه می‌شود. تحت شرایط تغییر اقلیم و در سناریو RCP4.5، مقدار بارش از ۷۶۵ میلی‌متر در سال به ۶۷۸، ۶۶۳/۸ و ۶۳۳ میلی‌متر کاهش می‌یابد. از طرف دیگر مقدار تبخیر و تعرق افزایش یافته، به طوری که از ۲۶۵ به ۴۲۹، ۴۳۰ و ۴۳۱ میلی‌متر رسیده که بیانگر افزایش حدود ۱۶۶ میلی‌متری است. این امر موجب کاهش ذخیره رطوبت خاک تا ۷۹/۲ میلی‌متر، کاهش تغذیه به آب زیرزمینی تا ۸۰/۸۹ میلی‌متر و کاهش رواناب تا ۹۱/۴۵ میلی‌متر خواهد شد. جریان پایه رودخانه نیز به مقدار ۵۵/۳۵ مترمکعب بر ثانیه در سال خواهد رسید. در نهایت مقدار میانگین سالانه دبی رودخانه از ۲۴۹/۸ میلی‌متر در سال به ۱۲۷، ۱۱۹ و ۱۰۷ مترمکعب بر ثانیه کاهش خواهد یافت. کاهش این مؤلفه‌ها در سناریوی RCP8.5، به‌ویژه برای دوره متوسط و دور با شدت بیشتری اتفاق افتاده؛ به طوری که بارش به ترتیب به ۷۰۰، ۶۴۹ و ۶۲۷ میلی‌متر در سال رسیده است. تبخیر و تعرق افزایش ۱۸۵ میلی‌متری داشته و در اواخر قرن به حدود ۴۵۰/۶ میلی‌متر در سال خواهد رسید. به دنبال کاهش بارش و افزایش تبخیر و تعرق، پارامترهای مقدار ذخیره رطوبت خاک، تغذیه به آب زیرزمینی و رواناب کاهش یافتند. مقدار جریان پایه رودخانه نیز به مقدار ۵۳/۶۸ مترمکعب در سال کاهش خواهد یافت. در نهایت مقدار دبی سالانه رودخانه به ۸۹/۵ مترمکعب بر ثانیه در دهه پایانی خواهد رسید. پژوهش‌های انجام شده در زمینه تغییر اقلیم بر روی دبی در سایر حوضه‌ها نشان می‌دهد که بعضی مناطق کاهش قابل توجه جریان را تجربه خواهند کرد. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه سزار نشان داد که با افزایش ۱/۷ درجه سانتی‌گراد دما و کاهش ۲۴ درصدی بارش، مقدار دبی در آینده تا ۲۹ درصد کاهش می‌یابد (قدمی و همکاران، ۱۳۹۷: ۸۵). محمد و سوزل (۲۰۱۷: ۳۵۵۷) در بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی دبی ورودی به مخزن سد دوکان در عراق دریافتند که با کاهش ۴۰ درصدی بارش و افزایش ۳۰ درصدی تبخیر و تعرق در آینده، دبی ورودی مخزن به میزان ۶۰ درصد کاهش خواهد داشت. جریان رودخانه‌های فرات (قسمت مدیترانه‌ای) در شرایط اقلیم آینده ۳۸ درصد کاهش می‌یابد (نوهارا و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۰۷۶). با توجه به نتایج به دست آمده از مؤلفه‌های بیلان آب حوضه و مقایسه نتایج پژوهش‌های انجام شده در حوضه‌های مشابه، کاهش حدود ۵۰ تا ۵۴ درصدی دبی ورودی به مخزن سد دز در دهه‌های آتی محتمل به نظر رسیده و دور از ذهن نیست.

جدول شماره ۴. پارامترهای بیلان آبی در حوضه آبریز دز در دوره پایه و دهه‌های آتی

ماه‌ها	پایه	RCP8.5			RCP4.5		
		(2090s)	(2060s)	(2030s)	(2090s)	(2060s)	(2030s)
بارش	۷۶۵/۲۹	۶۷۸	۶۶۳/۸	۶۳۳/۴	۷۰۰	۶۴۹	۶۲۷/۳
تبخیر و تعرق	۲۶۵/۳	۴۲۹	۴۳۰/۲	۴۳۲/۲	۴۲۷/۹	۴۳۳/۸	۴۵۰/۶
رطوبت ذخیره‌شده در خاک	۹۹/۵	۹۰/۶۹	۹۰	۷۹/۲	۹۰	۸۶	۸۰/۱
آب زیرزمینی	۱۰۸/۷۳	۹۷/۸۸	۹۴/۱۷	۸۰/۸۹	۱۱۰/۶۲	۸۷/۰۷	۶۸/۱۲
رواناب	۳۲۷/۱۳	۱۱۴/۴۷	۱۰۲/۱۵	۹۱/۴۵	۱۲۱/۷	۹۲/۸	۷۵/۹۸
جریان پایه	۱۲۶/۵۸	۱۱۹/۱۷	۱۱۷/۵۱	۱۰۰/۵۳	۱۲۷/۸	۱۰۶/۴۹	۹۷/۵۲
دبی	۲۴۹/۸	۱۲۷	۱۱۹	۱۰۷/۹	۱۳۸	۱۰۸/۴	۸۹/۵



شکل ۵. تغییرات ماهانه جریان به سد دز در سناریو RCP4.5

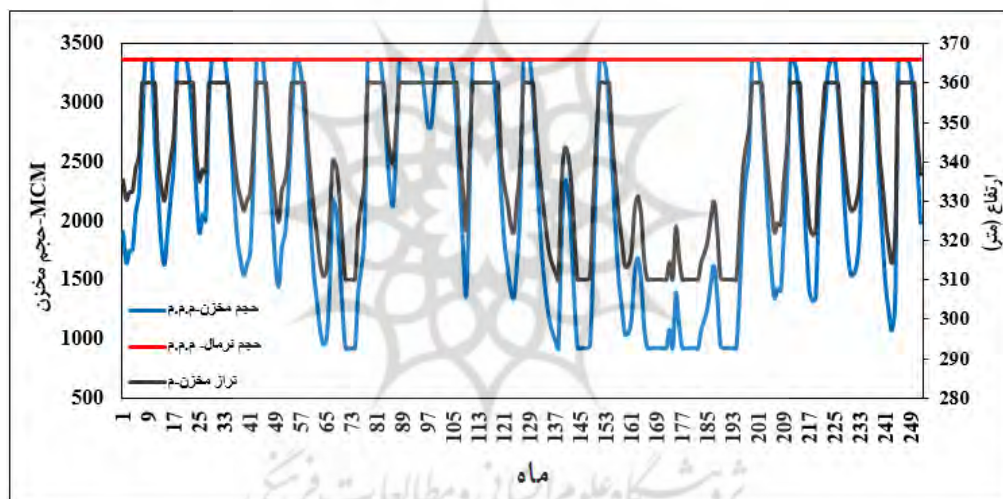


شکل ۶. تغییرات ماهانه جریان ورودی به سد دز در سناریو RCP8.5

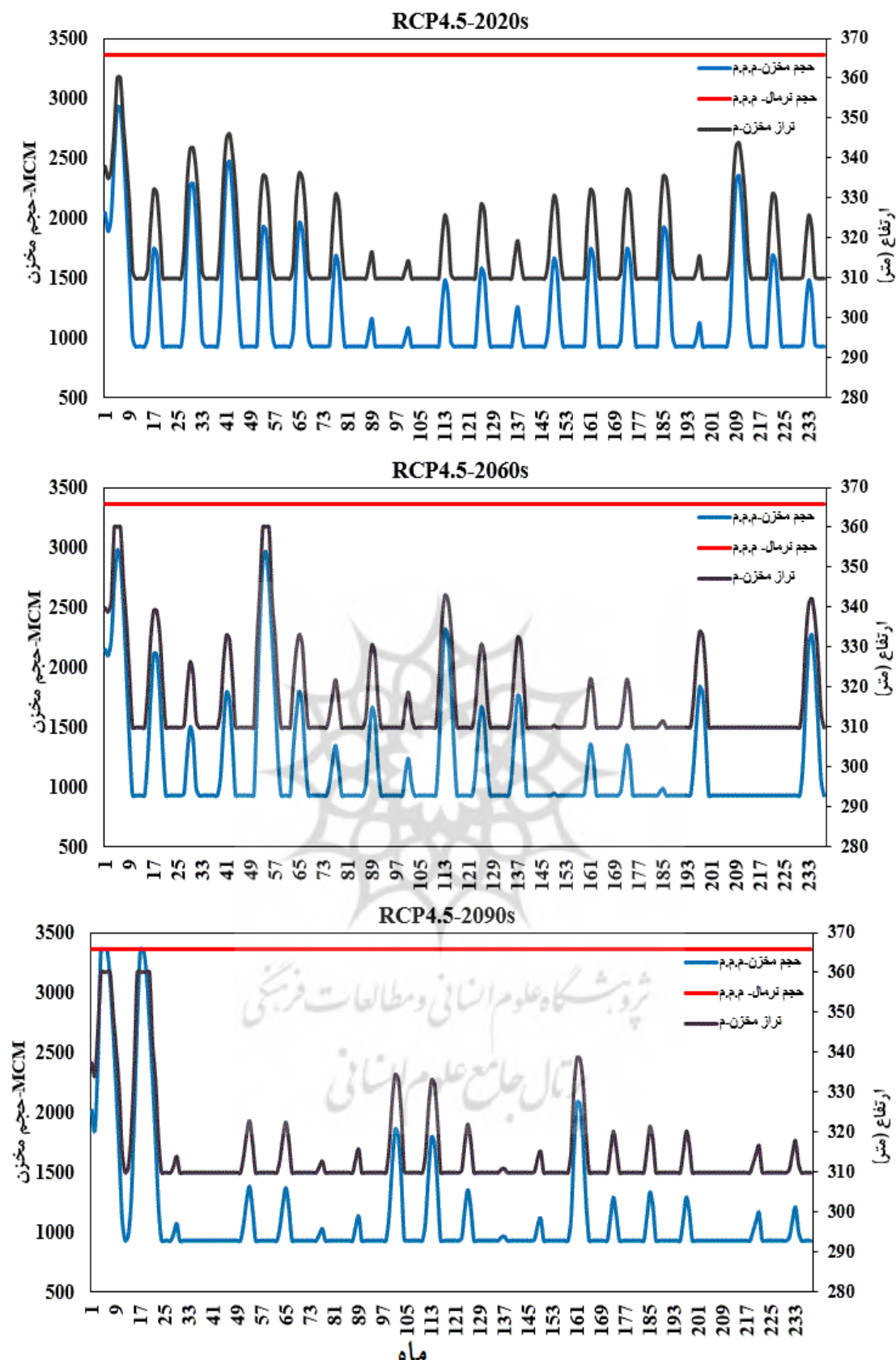
بررسی تغییرات حجم مخزن سد

شکل ۷ خروجی مدل MODSIM را در برآورد تغییرات حجم مخزن سد دز در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۶ نشان می‌دهد. متوسط سالانه حجم مخزن در دوره مشاهداتی برابر ۲۲۰۸/۸ میلیون مترمکعب می‌باشد. مطابق شکل حجم مخزن تابع شرایط اقلیمی بوده به طوری که در ۲۳/۴ درصد از ماه‌ها، مقدار آن بیش از ۳۳۶۱ میلیون مترمکعب است، که این مهم هم‌زمان با ماه‌های بارش بهاری (مارس، آوریل و می) و جریان حاصل از ذوب است که سبب سرریز شدن سد می‌شود. در مقابل در

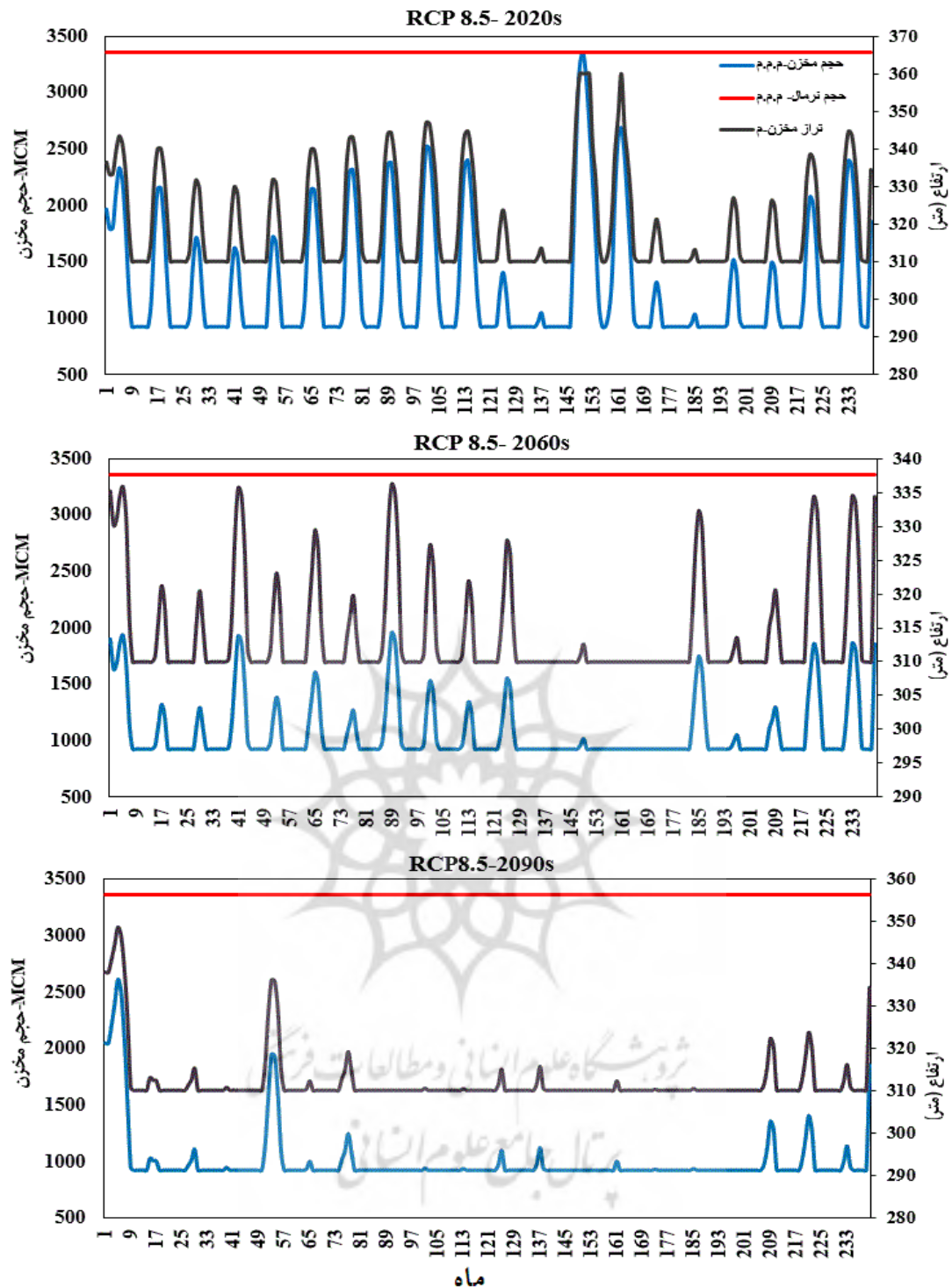
ماه‌های خشک (ژولای، اوت و سپتامبر) با کاهش بارش و افزایش دما، ورودی به سد کاهش یافته که این امر سبب پایین آمدن حجم مخزن تا ۹۲۵ میلیون مترمکعب شده است. در اشکال ۸ و ۹ تغییرات حجم مخزن برای دهه‌های آتی ترسیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود حجم مخزن تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 کاهش یافته است. در سناریوی RCP4.5 مقدار متوسط سالانه حجم مخزن به ترتیب ۱۱۸۴/۴، ۱۱۷۹ و ۱۱۳۸/۸ میلیون مترمکعب برای سه دهه ۲۰۳۹ - ۲۰۲۰، ۲۰۶۹ - ۲۰۵۰ و ۲۰۹۹ - ۲۰۸۰ خواهد رسید. در سناریوی RCP8.5 این مقدار متوسط به ترتیب برابر ۱۲۹۳/۸، ۱۰۷۰/۴ و ۱۰۰۸/۹ میلیون مترمکعب می‌باشد. در این سناریو در بسیاری از ماه‌ها به‌ویژه در اواخر قرن حجم مخزن به حجم حداقلی خود خواهد رسید. بنابراین حجم مخزن تحت دو سناریوی منتخب بین ۴۷ تا ۵۴ درصد برای دهه‌های آتی کاهش خواهد یافت. این کاهش چشمگیر حجم در دهه‌های آتی که خود بر حجم آب خروجی از سد تأثیر گذاشته، نشان می‌دهد سد دز در آینده با چالش‌های قابل توجهی در تأمین نیازهای پایین دست (نیاز زیست‌محیطی، کشاورزی، شرب، صنعت و انرژی برقی) مواجه می‌شود. با آگاهی از این موانع، برنامه‌های مدیریتی باید در جهت جلوگیری از ایجاد بحران جدی در حوضه باشد. به عبارتی توجه به هنگام پیرامون شرایط اقلیم آینده و اقدامات سازگاری، می‌تواند از وقوع شرایط نامطلوب در آینده جلوگیری کند. این‌گونه اقدامات شامل افزایش بهره‌وری آب، بهینه‌سازی و طراحی مجدد نیروگاه و است.



شکل ۷. تغییرات حجم مخزن دز در دوره ۱۹۸۶-۲۰۰۵



شکل شماره ۸. تغییرات حجم مخزن دز در دهه‌های آتی تحت سناریو RCP4.5



شکل شماره ۹. تغییرات حجم مخزن دز در دهه‌های آتی تحت سناریو RCP8.5

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر تغییر اقلیم بر میزان جریان ورودی و حجم مخزن سد دز تحت دو سناریو اقلیمی برآورده شد. به‌منظور پیش‌نگری دما و بارش حوضه، دقت ۱۷ مدل اقلیم منطقه‌ای پروژه CORDEX – WAS (جنوب آسیا) بر اساس نمره مهارت (SS) ارزیابی گردید و شبیه‌سازی این پارامترها برای سه دوره ۲۰ ساله (۲۰۸۰ – ۲۰۹۹، ۲۰۶۹ – ۲۰۸۰ و ۲۰۳۹ – ۲۰۵۰) صورت گرفت.

– ۲۰۲۰)، تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 برای ایستگاه‌های منتخب انجام گرفت. در ادامه از مدل نیمه توزیعی SWAT و MODSIM به ترتیب برای شبیه‌سازی جریان ورودی و حجم مخزن به سد استفاده گردید. نتایج مدل‌های اقلیمی نشان داد که متوسط حداقل و حداکثر دمای سالانه برای دهه‌های آتی به ترتیب ۳ و ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. متوسط بارش سالانه برای منطقه مورد مطالعه به میزان ۱۴ درصد کاهش خواهد یافت که جمالی (۱۳۹۳: ۳۷) و اکبریان اقدم و همکاران (۱۳۹۴: ۲۱۵) نیز پیش‌تر مسئله افزایش دما و کاهش بارش را در حوضه‌های مجاور تأیید کردند. به همین دلیل پرداختن به مسئله تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه می‌تواند در ارزیابی ریسک، مدیریت منابع آبی، مطالعه نیاز آبی کشاورزی و ... حائز اهمیت باشد. در ادامه پیش‌بینی جریان ورودی به سد توسط مدل SWAT تحت دو سناریو نیز نشان از کاهش چشمگیر دبی رودخانه دز در آینده داشت که این مقدار این کاهش در سناریوی RCP4.5 بین ۴۹ تا ۵۲ درصد و در سناریوی RCP8.5 و به‌ویژه در دهه پایانی قرن ۲۱ بیشتر و حدود ۴۴ تا ۶۴ درصد خواهد بود. کاهش دبی ورودی به سد سبب کاهش حجم مخزن سد گردیده و حجم آن تحت دو سناریوی منتخب بین ۴۷ تا ۵۴ درصد برای دهه‌های آتی کاهش خواهد یافت. در همین راستا نادری (۱۳۹۹: ۲۶۳) در مطالعه‌ای به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دبی ورودی و حجم مخزن سد درودزن پرداخت و نشان داد کاهش حجم مخزن مسائل متعددی از جمله بحران آب و خشک‌سالی در پایین‌دست را ایجاد می‌کند. در نهایت با توجه به یافته‌های پژوهش می‌توان گفت که این محدوده در دهه‌های آتی به سمت اقلیمی با رطوبت کمتر و دمای بیشتر پیش می‌رود وضعیتی که تداوم آن باعث افزایش کمبود منابع آب حوضه گردیده و بحران آب را در مناطق پایین‌دست تشدید خواهد کرد. نتیجه اینکه مدیریت منابع آب در این حوضه جهت توسعه و بهره‌برداری پایدار آن مستلزم بازنگری است.

لذا اهداف اولیه سد دز برای تأمین نیاز کشاورزی، برقایی، شرب و ... با کمبودهای قابل‌ملاحظه مواجه خواهد بود، بدین ترتیب اعمال سیاست کاهش تقاضا، تغییر الگوی کشت، توصیه و توسعه کشت گیاهان کم آب طلب، به‌کارگیری روش‌های نوین آبیاری و استفاده از آب‌های نامتعارف پیشنهاد می‌گردد. در پایان لازم به ذکر است با توجه به اهمیت مسئله آب در نیمه غربی کشور و مشکلات ایجادشده در سال‌های اخیر (بحران آب همدان و ایلام، ۱۴۰۱، خشک‌سالی‌های و سیل خوزستان ۱۴۰۰ و ...) بررسی جامع مسئله تغییر اقلیم بر منابع آبی در محدوده مورد نظر نیازمند دسترسی به داده‌های اقلیمی با دوره طولانی‌تر، استفاده از نقشه خاک محلی و پراکنش مناسب ایستگاه‌های سینوپتیک است تا به این شکل بتوان نتایج دقیق‌تری از شرایط منطقه به دست آورد. اما به دلیل عدم وجود ایستگاه‌های سینوپتیک برای پارامتر دما، ایستگاه‌های مجاور مورد ارزیابی قرار گرفت و به‌جای نقشه خاک محلی از نقشه تهیه‌شده توسط FAO استفاده گردید. مسائل ذکرشده از مهم‌ترین محدودیت‌های پژوهش حاضر محسوب می‌شوند.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

- ۱) ادیب، آ. و گرجی‌زاده، ع. (۱۳۹۵). بررسی و پایش خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی، مطالعه موردی حوضه آبریز دز. مهندسی آبیاری و آب ایران، ۲۶(۲)، ۱۸۵-۱۷۳.
- ۲) اکبریان‌اقدم، ا.؛ احمدوند، ع. و علی‌محمدی، س. (۱۳۹۴). مدیریت تولید آینده در نیروگاه‌های برقایی تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: نیروگاه سد کارون ۴). مدیریت صنعتی، ۲(۷)، ۲۴۲-۲۱۵.
- ۳) آقاییگی، ن.؛ اسمعیلی عوری، ا.؛ مصطفی‌زاده، ر. و گلشن، م. (۱۳۹۸). اثرات تغییر اقلیم بر رواناب با مدل -هیدرولوژیک

- IHACRES در برخی از حوزه‌های آبریز استان اردبیل. مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۲)، ۱۸۱-۱۹۲.
- (۴) باغبانان، پ؛ احمدآبادی، ع. و کریمی، آ. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات هیدرولوژی حوضه آبریز حبله‌رود. پژوهش‌های تغییرات آب‌وهوایی، ۲(۵)، ۲۷-۴۰.
- (۵) بنی‌حبیب، م؛ حسنی، خ. و مساح بوانی، ع. (۱۳۹۵). بررسی اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی به مخزن سد شاه‌چراغی. آب‌و‌خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۱(۴۵)، ۱۴-۱.
- (۶) پورکریمی، ز؛ مقدسی، م؛ محسنی موحد، س. و دلاور، م. (۱۳۹۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات خشک‌سالی هیدرولوژیکی و کشاورزی حوضه زربینه‌رود با استفاده از شاخص‌های SRI و SSWI و مدل SWAT. تحقیقات آب‌و‌خاک ایران، ۴۹(۵)، ۱۱۴۵-۱۱۵۷.
- (۷) جاماب (۱۳۹۴). مطالعات برنامه جامع سازگاری با اقلیم، حوزه آبریز کارون بزرگ، جلد اول.
- (۸) جمالی، س. (۱۳۹۳). آسیب‌شناسی نیروگاه‌های آبی در مواجهه با اثرات تغییر اقلیم؛ مطالعه موردی: حوضه آبریز کرخه. نشریه سد و نیروگاه برق‌آبی، ۱(۲)، ۲۵-۳۷.
- (۹) رضائی‌مقدم، م؛ مختاری، د. و شفیع‌ی مهر، م. (۱۴۰۰). واسنجی و اعتبار سنجی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب و رسوب در حوضه آبریز شهر چای میانه. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۶، ۱۳۹-۱۲۹.
- (۱۰) زبردست رستمی، ح؛ رائینی سرجاز، م. و غلامی، م. (۱۴۰۰). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر آبدهی رودخانه نکارود حوضه سد گلورد. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۱۲(۲۴)، ۲۱۶-۲۰۵.
- (۱۱) سیدکابلی، ح. (۱۳۹۵). تصویرسازی دمای هوا و تبخیر از مخازن آب، در شرایط تغییر اقلیم آتی (مطالعه موردی: سد دز). مجله پژوهش آب ایران، ۴، ۱۰۱-۱۱۰.
- (۱۲) صالح‌پور، ج؛ اشرف‌زاده، ا. و موسوی، ع. (۱۳۹۸). گزارش فنی: بررسی اثر تغییر اقلیم بر آبدهی حوزه آبخیز حبله‌رود. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱، ۱۱۴۰-۱۱۵۳.
- (۱۳) فرج‌زاده، م؛ مدنی لاریجانی، ک؛ مساح بوانی، ع. و داوطلب، ر. (۱۳۹۳). اثر تغییر اقلیم بر اطمینان‌پذیری تأمین آب پایین‌دست سد کرخه و راهکارهای سازگاری با آن. حفاظت منابع آب‌و‌خاک، ۳، ۶۳-۴۹.
- (۱۴) قدمی، م؛ سلطانی، س.، گودرزی، م؛ نادری، س. و تیموری، ح. (۱۳۹۷). اثر تغییر اقلیم بر جریان روزانه در حوضه رودخانه سزار. علوم و مهندسی آبریزداری ایران، ۱۲(۴۱)، ۸۵-۹۵.
- (۱۵) کارآموز، م؛ امامی، ف؛ احمدی، آ. و مریدی، ع. (۱۳۸۸). تدوین الگوی بهره‌برداری از مخزن با در نظر گرفتن تغییر اقلیم. هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، شیراز.
- (۱۶) کاویان، ع؛ نامدار، م؛ گلشن، م. و بحری، م. (۱۳۹۶). مدل‌سازی هیدرولوژیک اثرات تغییر اقلیمی بر نوسانات دبی جریان در رودخانه هراز. مخاطرات محیط طبیعی، ۶(۱۲)، ۸۹-۱۰۴.
- (۱۷) کونانی، ز؛ ایلدرمی، ع؛ زینی نوند، ح. و نوری، ح. (۱۳۹۹). اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبریز سیلاخور - رحیم‌آباد لرستان. هیدروژئومورفولوژی، ۷(۲۵)، ۱۷-۱.
- (۱۸) گودرزی، م. و فاتحی‌فر، آ. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP 8.5 با استفاده از مدل هیدرولوژیک SWAT در محیط GIS (حوضه آذرشهر چای). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۵۳)، ۱۱۷-۹۹.
- (۱۹) گودرزی، م؛ واقعی، ح. و موسوی، م. (۱۳۹۹). رفتار جریان ورودی به سد سیمره در مواجهه با اثرات تغییر اقلیم. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۲(۳)، ۱۶۹-۱۸۲.
- (۲۰) لگژائیان‌پور، غ؛ محمدرضاپور، ا. و الممیر، م. (۱۳۹۵). ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر میزان رواناب رودخانه نازلوچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. جغرافیا و توسعه، ۴۲(۱۴)، ۱۹۸-۱۸۳.
- (۲۱) موسوی، ر. و معروفی، ص. (۱۳۹۵). بررسی پاسخ هیدرولوژیک جریان رودخانه به تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد دز). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، ۲۳(۶)، ۳۴۸-۳۳۳.

- ۲۲) میرمهدی، م.؛ شوریان، م.؛ شرافتی، ا. و لطفی، س. (۱۴۰۱). چشم‌انداز اثرات تغییر اقلیم بر میزان جریان ورودی به مخزن سد مارون. مدیریت آب و آبیاری، ۱، ۴۵-۵۸.
- ۲۳) نادری، م. (۱۳۹۹). اثر تغییر اقلیم بر دبی ورودی و حجم مخزن سد درودزن، مال استان فارس. علوم زمین، ۱۰(۲۹)، ۲۶۸-۲۵۹.

References

- 1) Abbaspour, K. C. (2011). *User Manual for SWAT-CUP. SWAT Calibration and Uncertainty Analysis Programs*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Dübendorf, Switzerland.
- 2) 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.
- 3) Adib, A. & gorgizadeh, A. (2017). Evaluation and Monitoring of drought using of drought Indexes; Case study the Dez watershed. *Irrigation and Water Engineering*, 7(2), 173-185. [In Persian].
- 4) Aghabeigi, N., Esmali Ouri, A., Mostafazade, R., & Golshan, M. (2019). The Effects of Climate Change on Runoff Using IHACRES Hydrologic Model in Some of Watersheds, Ardabil Province. *Irrigation and Water Engineering*, 10(2), 178-189. [In Persian].
- 5) Akbarian Aghdam, A., Ahmadvand, A. & Alimohammadi, S., (2015). Management of Hydropower Future Production under Climate Change Impacts. Case study: Karun 4 Plant. *Industrial Management Journal*, 7(2), 215-242. (In Persian)
- 6) Arnold, J. G.; Moriasi, D. N.; Gassman, P. W.; Abbaspour, K. C.; White, M. J.; Srinivasan, R.; & Jha, M. K. (2012). SWAT: Model use calibration and validation. *American Society of Agriculture and Biological Engineer*, 55(4), 1491-1508.
- 7) Baghbanan, P., Ahmad Abadi, A., & Karimi, A. (2021). Investigating the effect of climate change on hydrological changes in Hablehrood catchment. *Climate Change Research*, 2(5), 27-40. (In Persian)
- 8) Banihabib, M. E., Hasani, K., & Massah Bavani, A. R. (2016). Assessment of Climate Change Effects on Shahcheraghi Reservoir Inflow. *Water and Soil*, 30(1), 1-14. [In Persian]
- 9) De Oliveira, V. A., de Mello, C. R., Beskow, S., Viola, M. R., & Srinivasan, R. (2019). Modeling the effects of climate change on hydrology and sediment load in a headwater basin in the Brazilian Cerrado biome. *Ecological Engineering*, 133, 20-31.
- 10) Farajzadeh, M., Madani Larijani, K., Massah Bevani, A., & Davtalab, R. (2014). Climate change effects on reliability of water delivery in downstream of Karkheh river basin and its adaptation strategies. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 3(3), 49-63. [In Persian].
- 11) Ghadami, M., Soltani, S., Goodarzi, M., Naderi, S., & Taimouri H. (2018). Climate Change Impact on Daily Flow in Sezar Basin. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12(41), 85-94. [In Persian].
- 12) Ghobadi, Y., Pradhan, B., Sayyad, G.A., Kabiri, K., & Falamarzi, Y. (2015). Simulation of hydrological processes and effects of engineering projects on the Karkheh River Basin and its wetland using SWAT2009. *Quaternary International*, 374, 144 – 153.
- 13) Goodarzi, M., & Fatehifar, A. (2019). Flood risk zoning due to climate change under RCP 8.5 scenario using hydrologic model SWAT in Gis (Azarshahr basin). *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 19(53), 99-117. (In Persian)
- 14) Goodarzi, M., Vagheei, H., & Mousavi, M. (2020). The behavior of inflow to the Seimareh Dam in the face of climate change impacts. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(3), 169-182. [In Persian].

- 15) Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., & Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, 3(9), 816-821.
- 16) Huang, S., Krysanova, V., & Hattermann, F. F. (2013). Projection of low flow conditions in Germany under climate change by combining three RCMs and a regional hydrological model. *Acta Geophysica*, 61(1), 151-193.
- 17) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2014). *Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change edCB Field et al (Cambridge: Cambridge University Press).
- 18) Jamab, (2016). *Comprehensive Climate Adaptation Program Studies*. Karun Bozorg Watershed, Volume One. [In Persian].
- 19) Jamali, S. (2014). Hydropower Vulnerability Assessment in the Face of Climate Change Impacts Case Study: Karkheh River Basin. *Iranian Dam and Hydroelectric Powerplant*, 1 (2), 25-37. [In Persian].
- 20) Karamoz. M., Emami. F., Ahmadi, A. & Moridi, A. (2009). Elaboration of the exploitation model of the reservoir taking into account climate change. *8th International Congress of Civil Engineering, Shiraz*. [In Persian].
- 21) Kavian, A., Namdar, M., Golshan, M. & Bahri, M. (2017). Hydrological modeling of climate changes impact on flow discharge in Haraz River Basin. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 6(12), 89-104. [In Persian].
- 22) Keteklahijani, VK., Alimohammadi, S., & Fattahi, E. (2019). Predicting changes in monthly stream flow to Karaj dam reservoir, Iran, in climate change condition and assessing its uncertainty. *Ain Shams Eng J*, 10(4), 669-79.
- 23) Kounani, Z., Ildoromi, A., Zenivand, H., & Nouri, H. (2021). Impact of climate change on runoff of Silakhor-Rahimabad Basin in Lorestan. *Hydrogeomorphology*, 7(25), 17-1. [In Persian].
- 24) Kounani, Z., Ildoromi, A., zenivand, H., & Nouri, H. (2021). Impact of climate change on runoff of Silakhor-Rahimabad Basin in Lorestan. *Hydrogeomorphology*, 7(25), 1-17. [In Persian].
- 25) Krztoń, W., Walusiak, E., & Wilk-Woźniak, E. (2022). Possible consequences of climate change on global water resources stored in dam reservoirs. *Science of the Total Environment*, 830, 154646.
- 26) Lakzaianpour, G., Mohamadrezapour, O., Malmir, M. (2016). Evaluating the Effects of Climatic Changes on Runoff of Nazloochaei River in Uremia Lake Catchment Area. *Geography and Development*, 14(42), 183-198. [In Persian]
- 27) Li, J., Gao, Z., Guo, Y., Zhang, T., Ren, P., & Feng, P. (2019). Water supply risk analysis of Panjiakou reservoir in Luanhe River basin of China and drought impacts under environmental change. *Theor Appl Climatol*, 137(3-4):2393-408.
- 28) 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, 105199.
- 29) 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, 105199.
- 30) Mirmehdi, M., Shourian, M., Sharafati, A. & Lotfi, S. (2022). Projection of the effects of climate change on the inflow to Maroon Dam. *Water and Irrigation Management*, 12(1), 45-58. [In Persian].
- 31) Mohammed, R., & Scholz, M., (2017). Adaptation Strategy to Mitigate the Impact of Climate Change on Water Resources in Arid and Semi-Arid Regions: a Case Study. *Water Resources*

- Management*, 31(11), 3557-3573.
- 32) Moriasi, D.N., Arnold, J.G, Van Liew, M.W, Bingner, R.L., Harmel, R.D. & Veith, TL. (2007). Model evaluation guideline for systematic quantification of accuracy in watershed simulation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Transactions of the ASABE* 50(3), 885-900.
 - 33) Mousavi, R. S. & Marofi, S. (2017). Investigation of the hydrologic response of river flow to climate change (Case study: Dez Dam Basin). *Journal of Water and soil conservation*, 23(6), 333-348. [In Persian].
 - 34) Naderi, M. (2020). The impact of climate change on dorudzan dam inflow and reservoir volume. Northern Fars province. *Geosciences*, 29(115), 259-268. [In Persian].
 - 35) Negewo, T. F., & Sarma, A. K. (2021). Estimation of water yield under baseline and future climate change scenarios in Genale Watershed, Genale Dawa River Basin, Ethiopia, using SWAT model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 26(3), 05020051.
 - 36) Nohara, D., Kitoh, A., Hosaka, M. & Oki, T. (2006). Impact of Climate Change on River Discharge Projected by Multimodel Ensemble. *Journal of Hydrometeorology* 7, 1076- 1089.
 - 37) Peres, D. J., Modica, R., & Cancelliere, A. (2019). Assessing future impacts of climate change on water supply system performance: Application to the Pozzillo Reservoir in Sicily, Italy. *Water*, 11(12), 2531.
 - 38) Qin, P., Xu, H., Liu, M., Du, L., Xiao, C., Liu, L. & Tarroja, B. (2020). Climate change impacts on Three Gorges Reservoir impoundment and hydropower generation. *Journal of Hydrology*, 580, 123922.
 - 39) 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. *Geography and Planning*, 25(76), 129-139. [In Persian].
 - 40) Rocha, J., Carvalho-Santos, C., Diogo, P., Beça, P., Keizer, J. J. & Nunes, J. P. (2020). Impacts of climate change on reservoir water availability, quality and irrigation needs in a water scarce Mediterranean region (southern Portugal). *Science of the Total Environment*, 736, 139477.
 - 41) Pourkarimi, Z., Moghaddasi, M., Mohseni Movahed, A., & Delavar, M. (2018). The Effects of Climate Change on the Hydrological and Agricultural Drought Characteristics Zarinhrud Basin Using SRI and SSWI Indices and SWAT Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(5), 1145-1157. [In Persian].
 - 42) Salehpoor, J., Ashrafzadeh, A., & Moussavi, S. A. (2019). Investigating the effect of climate change on flow of the Hablehroud Basin. *Watershed Engineering and Management*, 11(4), 1140-1153. [In Persian].
 - 43) seyed kaboli, H. (2016). Projection of air temperature and evaporation form reservoirs under future climate change (Case study: Dez reservoir). *Iranian Water Researches Journal*, 10(4), 101-110. [In Persian].
 - 44) Shrestha, S., Bajracharya, A. R. & Babel, M. S. (2016). Assessment of risks due to climate change for the Upper Tamakoshi Hydropower Project in Nepal. *Climate Risk Management*, 14(C), 27-41.
 - 45) Soundharajan, B.S., Adeloje, A. J., & Remesan, R. (2016). Evaluating the variability in surface water reservoir planning characteristics during climate change impacts assessment. *Journal of Hydrology*, 538, 625-639.
 - 46) Sun, J., Yan, H., Bao, Z. & Wang, G. (2022). Investigating Impacts of Climate Change on Runoff from the Qinhuai River by Using the SWAT Model and CMIP6 Scenarios. *Water*, 14(11), 1778.
 - 47) Yang, G., Guo, S., Li, L., Hong, X. & Wang, L. (2016). Multi-objective operating rules for Danjiangkou reservoir under climate change. *Water resources management*, 30(3), 1183-1202.
 - 48) Zabardast Rostami, H., Raeini Sarjaz, M. & Gholami Sefidkouhi, M. A. (2021). Assessment

of Climate Change Effects on River Flow of Gelevard Dam Basin. *jwmr*. 12 (24), 205-216. [In Persian].

