

Research Paper

Evaluation of meteorological drought index and climate change scenario on flow rate and reservoir volume of Karaj dam

MohammadSadegh Nasirabadi¹, AmirKhosrow Jerdi^{2*}, Seyed Habib Mousavi Jahromi³, Mehdi Sarai Tabrizi⁴

10.22125/IWE.2023.169896

Received:

August 26, 2021

Accepted:

January 13, 2022

Available online:

April 18, 2023**Keywords:****Karaj Dam upstream basin, the drought index, climate change, SWAT, recipes IWR UNESCO****Abstract**

Understanding the climate and providing safe water are two critical issues in discussing climate change and water scarcity and alarm for the future. The purpose of this study is to evaluate the SPI drought index on the trend and duration of drought in the region and its effect on river discharge and reservoir volume of the dam. Using climate model scenarios, this trend was extracted in the future from 2030 to 2050, and its impact in the future was estimated. Therefore, SWAT software for 1994 to 2012 was used for four hydrometric stations of Gachsar, Sierra_Kelvan, Sierra_Karaj, and Pol-e-Khoab to achieve and calibrate the results of the SUFI2 algorithm in SWAT-CUP environment with appropriate bandwidth and Nash coefficients of 0.54, 0.45, 0.72, and 0.58 respectively. Also, validations for the period 2013 to 2019 were extracted 0.34, 0.38, 0.5, and 0.44, respectively. According to the results, the climate change and drought index trend indicated a decrease in river flow and increased temperature, increasing evaporation from the dam reservoir's surface. In general, the volume of the dam reservoir has decreased by about 24 to 35% based on different scenarios. On the other hand, considering the UNESCO IWRM guidelines, examining the evolutionary trend, and changing the flow rate, it was suggested that to plan the basin and implement important policies, crisis control of three social, economic, and environmental scenarios is seriously considered in the region.

1. Introduction

The watershed of Karaj Dam has an area of 72100 hectares. This basin is located 60 kilometers north and northwest of Tehran and is located in the coordinates of longitude 5105'38" to 51030'57" and latitude 35052'56" to 36011'49". The Karaj Dam basin is very important in terms of supplying the water and electricity needs of the city of Tehran, as well as the source of water for the irrigation of 21,000 hectares of agricultural lands in the Karaj Plain. The lowest average annual rainfall at the Amirkabir dam station with a height of 1588 meters above sea level is 418 mm. The highest amount of average annual rainfall is related to Nessa station with a height of 2800 meters above sea level and 667 mm. The temperature figures in February are maximum +7 and minimum -18 degrees and in July maximum +22 and minimum +12 degrees Celsius. According to the objectives of the research, the amount of passing currents recorded in Sira, Pol Khab, Gachsar, Sira-Karaj stations, which are located upstream of Amirkabir Karaj dam, have been estimated.

2. Materials and Methods

In this section, the information needed to achieve the research objectives, which includes the introduction of the study area, the definition of the studied situations, the drought index and the length of the statistical period, the processing of climate data in the future period using Lars Wg6 software and climate models MRI-CGCM3, HadGEM2-ES and CMCC-CM have been chosen due to having smaller cell dimensions than other climatic scenarios and suitable performance in the field of exponential micro-scale, in line with the simulation of precipitation and runoff as well as estimating the amount of flow entering the dam reservoir and optimal Reservoir construction under three conditions of meteorological drought index and water supply due to climate change and finally water crisis control are given in this research.

3. Results

After calibration and verification of SWAT model, microscaled precipitation and temperature data in 11 meteorological stations were given to the model to predict the monthly discharge of the river upstream of the Karaj dam reservoir under selected scenarios for the period 2030-2050. The flow forecast in the conditions of climate change indicates a decrease in river discharge in the future. The average annual discharge of the Karaj River at Gachsar, Sira-Kalvan, Sira-Karaj and Pol Khab hydrometric stations is equal to 45.61, 19.11, 147.6 and 3.47 cubic meters per second in the observation period from 1994 to 2019, but its value in the period from 2030 to 2050 based on each It has decreased from climate models and selected scenarios. This indicates that the inflow into the dam reservoir will decrease by 35% in the future as a result of climate change.

4. Discussion and Conclusion

According to the values obtained during the simulated statistics, the percentage of changes in the volume of the dam reservoir based on the release scenario and climate models indicates that we will face a water shortage crisis and to manage and improve the conditions, we need to implement policies that are compatible with the conditions. Finally, in order to optimize and manage the crisis of water supply and control the volume of the dam reservoir based on the IWRM UNESCO 2010, the development course of the basin program is shown as a spiral, where each spiral represents a challenge and changing conditions. Climate and atmosphere of the study area. The diagram below shows the development process of planning and management of the upstream basin of the dam reservoir. In this course, each program and its topics have been suggested with a better understanding of the related issues and problems. On the other hand, this diagram shows that basin planning is a continuous process of refinement and evolution in most cases

..

5. Six important references

- 1) Abbaspour, K. C. Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H. and Klove, B., 2015- A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524: 733- 752.
- 2) H. Akbari_ Alashti, A. Soncini, Y. Dinpashoh, A. Fakheri Fard, S. Talatahari, D. Bocchiola, Operation of two major reservoir of Iran under IPCC scenarios during the XXI Century, 32(12) (2018) 3254-3271.
- 3) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014- In: Pachauri R. K., and Meyer L. (ed) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Geneva, Switzerland, pp 151.
- 4) M. Chiyuan, D. Qingyun, S. Qiaohong, H. Yong, K. Dongxian, Y. Tiantian, Y. Aizhong, D. Zhenhua, G. Wei, Assessment of CMIP5 climate models and coupled with singular spectrum
- 5) S.H. Moghadam, P.S. Ashofteh, H.A. Loaiciga, Application of climate projections and monte Carlo approach for assessment of future river flow: Khorramabad River Basin, Iran. *Journal of hydrologic engineering*. 24(7) (2019).
- 6) Unesco. 2010. *iwrm guidelines at river basin level. part1: principles*. Paris, **unesco**



ارزیابی شاخص خشکسالی هواشناسی و سناریو تغییر اقلیم بر میزان جریان و حجم مخزن سد کرج

محمد صادق نصیرآبادی^۱، امیر خسرو جردی^۲، سید حبیب موسوی جهرمی^۳، مهدی سرائی تبریزی^۴

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۶/۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳

مقاله پژوهشی

چکیده

شناخت اقلیم و تامین آب سالم دو موضوع مهم در بحث تغییر اقلیم و کمبود آب و زنگ خطر برای آیندگان است. هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی شاخص خشکسالی SPI بر روند و طول دوره خشکسالی در منطقه و تاثیر آن بر میزان دبی رودخانه و حجم مخزن سد می باشد. با بهره گیری از سناریوهای، مدل های اقلیمی این روند در آینده برای یک دوره ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ استخراج گردید و تاثیر آن در آینده نیز برآورد شد. ازین رو، از نرم افزار SWAT برای دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۲ برای چهار ایستگاه هیدرومتری گچسر، سیرا_کلوان، سیرا_کرج و پل خواب استفاده گردید تا با نتایج حاصل از الگوریتم SUFI2 در محیط SWAT-CUP با پهنای باند اطمینان مناسب و ضرایب نش به ترتیب ۰.۵۴، ۰.۴۵، ۰.۷۲، ۰.۵۸ کالیبراسیون گردد. همچنین صحت سنجی برای بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ به ترتیب ۰.۳۴، ۰.۳۸، ۰.۵، ۰.۴۴ استخراج گردید. بر اساس نتایج، روند تغییر اقلیم و شاخص خشکسالی بیانگر کاهش میزان جریان رودخانه و افزایش دما می باشد که سبب افزایش تبخیر از سطح مخزن سد می گردد. بطور کلی حجم مخزن سد براساس سناریوهای مختلف حدود ۲۴ تا ۳۵ درصد روند کاهشی داشته است. از طرفی با در نظر گرفتن دستور العمل IWRM یونسکو و بررسی روند سیر تکاملی و تغییر میزان جریان پیشنهاد گردید که در راستای برنامه ریزی حوضه و اعمال سیاست های مهم، کنترل بحران سه سناریو اجتماعی، اقتصادی و محیط زیست در منطقه بصورت جدی در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: حوضه بالادست سد کرج، شاخص خشکسالی، تغییر اقلیم، SWAT، دستور العمل یونسکو IWR

^۱ دانشجوی دکترای سازه های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،
Email:mohammad_nasirabadi30@yahoo.com

^۲ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،
Email:am_khosro@yahoo.com

^۳ استاد، گروه سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران،
Email:h-mousavi

^۴ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران،
Email:m.sarai@srbiau.ac.ir

مقدمه

تغییرات آب و هوا چالش های اساسی را برای منابع آب بسیاری از حوزه های آبریزی که قبلا دچار کمبود آب هستند را در سراسر جهان به وجود می آورد. یکی از این حوزه های آبریز حوضه فوقانی نیوز در کارولینای شمالی است، که به عنوان منبع آبی مهمی برای منطقه بزرگ و در حال رشد همانند پارک تحقیقاتی Triangle است (Maghami et al, 2019). بهره مندی از منابع آب های سطحی با دیدگاه توسعه پایدار و اجرای سیاست های مدیریتی در جهت استفاده بهینه از این منابع نیازمند شناخت و درک بهتر از محیط و شرایط اقلیمی حاکم در منطقه بوده است. بگونه ای که در وضعیت اقلیم خشک و نیمه خشک اهمیت حفظ و ذخیره منابع آب سطحی از اهمیت بسیار و توجه بیشتری برخوردار بوده. امروزه باتوجه به افزایش گازهای گلخانه ای و بهره برداری بیش از حد و همچنین کاهش میزان نزولات جوی و از طرفی نیز موجب چالش های زیست محیطی و امنیت غذایی و آب دو چندان گردد (Ashofteh et al, 2015). با توجه به تغییر اقلیم و به دنبال آن اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی و زیر زمینی، سیاست های تاثیر گذار به منظور کاهش معضلات اجتماعی- اقتصادی که ناشی از توسعه پایدار منابع آب بوده برای تامین نیاز آبی اجتناب ناپذیر بوده است. یکی از روش های سازگاری، افزایش بهره برداری از مخازن سد در جهت تامین نیاز آب پایین دست است که اثرات تغییر اقلیم موجب کاهش رواناب و میزان دبی ورودی به مخزن سد گشته و همین امر افزایش نیاز آبی شبکه آبیاری را تعدیل گردانیده (موسوی، ۱۳۹۹). براساس مطالعات صورت گرفته دمای جهانی هوا در سطح کره زمین بیش از دمای اقیانوس ها افزایش خواهد یافت که این امر سبب اختلال جوی در منطقه شده که رخداد های سیل و خشکسالی را تشدید می کند. از این رو بهینه مصرف کردن از مخازن ذخیره سده ها در آینده بیش از مقدار حال مورد توجه قرار خواهد گرفت. پر اهمیت ترین مسئله در این بازه زمانی این است که چگونه سیاست های مدیریتی و اقدامات سازگارنده ای بکار گرفته شود تا بتوان به منظور اثر بخشی و افزایش کارایی سد ها در مقابل این

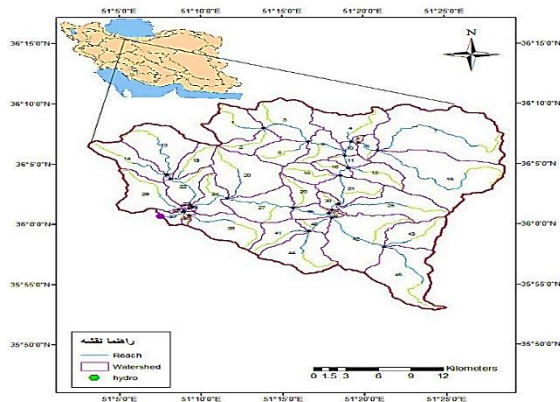
تغییرات را اعمال کرد (IPCC, 2019. Ashofteh et al, 2013). یکی از بهترین روش های موجود در راستای اعمال سیاست های مدیریتی و بهینه سازی مصرف و تامین نیاز آب شرب، صنعت و کشاورزی اعمال سناریوهای مختلف بهینه سازی براساس میزان رواناب ورودی به مخزن سد می باشد (Khanjari Sadati et al, 2014). از این رو می توان چنین نتیجه گرفت که بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی جهت مدیریت پایدار منابع آب شیرین ضروری بوده است. در این بین سدها و حجم آب ذخیره شده در مخازن آن که به عنوان اصلی ترین منبع آب شیرین می باشند که از آن در بازه زمانی خشک سالی و دوره های خشک می توان استفاده کرد. از این رو مطالعه ای در زمینه تعیین کمی تغییرات احتمالی در تراز آب حوزه به دلیل تغییرات آب و هوایی بر روی حوضه فوقانی نیوز در کارولینای شمالی با استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) استفاده گردید. در این پژوهش با استفاده از سناریوهای مختلف آب و هوایی برای دوره های زمانی پایه، اواسط قرن و پایان قرن با استفاده از پنج مدل متفاوت گردشی عمومی ریزمقیاس شده است. قبل از اجرای این سناریوها، مدل SWAT با استفاده از سوابق جریان روزانه در حوزه آبریز کالیبره و اعتبارسنجی قرار گرفته است. نتایج مطالعه نشان داد که حتی تحت یک سناریو کاهشی، میزان بارندگی ۷.۷٪ از دوره زمانی پایه تا اواسط قرن و ۹.۸٪ بین دوره پایه و قرن آخر افزایش می یابد. در همان دوره ها، تبخیر و تعرق (ET) به ترتیب ۵.۵ و ۷.۶ درصد کاهش می یابد و عملکرد آب ۲۵.۱ درصد و ۳۳.۲ درصد افزایش می یابد، علاوه بر این آب خاک به ترتیب ۱.۴ و ۱.۹ درصد افزایش می یابد. شاید مهمتر از همه نتایجی باشد که تحت یک سناریوی افزایشی که بر اثر اختلاف فصلی زیادی که توسط ET تخمین زده شده است باشد که کاهشی تا ۴۲ درصد را نشان می دهد و همچنین عملکرد آب را در اواخر تابستان و پاییز را تا ۱۵۷ درصد افزایشی نشان می دهد. برنامه ریزی برای آینده پیش بینی شده تر و تغییرات فصلی پیش بینی شده برای کاهش تأثیرات تغییرات آب و هوا بر منابع آب حیاتی خواهد بود (Maghami et

تاثیر انتشار گاز های گلخانه ای، مدلسازی هیدرولوژیکی جریان ورودی به مخزن سد تحت تاثیر سناریو تغییر اقلیم، بررسی نیاز آبی در پایین دست سد و بررسی شرایط اقلیمی در جهت انتخاب مدل بهینه بهره برداری از مخزن سد می باشد (Chiyuan et al, 2014). در راستای شبیه سازی تغییر اقلیم در مدل های هیدرولوژیکی ابتدای امر می بایست مدل در شرایط اولیه کالیبره گردد و سپس با در دست داشتن مدل کالیبره شده می توانیم به بررسی تغییر اقلیم بر شرایط جریان آبی رواناب روزانه، ماهانه و سالانه بپردازیم تحت سناریوهای مختلف مدل گردش عمومی جو cmip5 (Sarhadi et al, 2016). در جهت بررسی تغییر اقلیم در کشور ایتالیا بر روی حوضه والنیتینا تحت ۹ سناریو اقلیمی میزان رواناب را تا اواسط قرن ۲۱ بررسی کردند که به طور متوسط ۵ درصد و تا انتهای قرن حاضر حدود ۸ درصد کاهش یافته (Bombelli et al, 2019). در جهت بررسی تغییر اقلیم بر روی رودخانه خرم آباد که تحت مدل سازی های هیدرولوژیکی بصورت نیمه توزیعی، توزیعی و آماری که بررسی صورت گرفته است نشان داده شده است تا افق ۲۱۰۰ پیش بینی جریان، میزان ۲۹.۵ درصد بارش کاهش خواهد یافت (Bombelli et al., 2019; Akbari Alashti et al., 2018; Moghadam et al., 2019; Farajzadeh et al, 2014). مطالعه ای که با مدل اقلیمی HadCM3 بر میزان تاثیر تغییر اقلیم بر میزان جریان رودخانه سزار تحت سناریو A2 نشان داد که دمای هوا ۱.۷ درجه سانتی گراد افزایش یافته و به دنبال آن میزان بارش ۲۴ درصد کاهش یافته که همین سبب کاهش ۲۹ درصدی میزان جریان رودخانه گشته(قدیمی و همکاران، ۱۳۹۷). یکی از شاخص های ارائه شده در سطح جهان جهت بررسی بازه زمانی خشکسالی، ترسالی بهره گیری از شاخص SPI است (Shahid et al., 2010). در این راستای برای محاسبه بازه زمانی خشکسالی و ترسالی استان فارس بر روی حوضه سد درودزن با بهره گیری از شاخص SDI و SPI بکار گرفته شد و نشان داده شد که در سال ۶۴-۶۸ دوره کوتاه مدت خشکسالی وجود داشته و پس از آن خشکسالی در وضعیت نرمال بوده اما در سال های پیش رو وضعیت

al, 2019). بهره وری آب به عنوان راهکار سازگاری با تغییر اقلیم در بهره برداری بهینه از مخزن سدجره تحت ۱۵ سناریو تغییر اقلیم با استفاده از ریزمقیاس کردن خروجی مدل های cmip5 برای دوره آبی نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۴۴) و (۲۰۷۰-۲۰۹۴) بکار برده شد. بر پایه این سناریوها میزان رواناب ورودی به مخزن و نیاز آبی پایین دست برای هر دو دوره مدل سازی بکار برده شد. نتایج نشان داد که میزان جریان ورودی به مخزن تا ۱۸.۸ درصد کاهش و میزان تلفات آب تا ۲۹ درصد افزایش پیدا می کند(موسوی و همکاران، ۱۳۹۹). تحقیق صورت گرفته بر میزان دبی ورودی به مخزن سد دودزن تحت ۲۲ مدل گردش عمومی بر روی میزان بارش و دما منطقه و مدلسازی هیدرولوژیکی که با نرم افزار swat بکار گرفته شد. سناریو های اقلیمی که بصورت rcp2.6، rcp4.5، rcp8.5 برای ۵ ایستگاه هواشناسی توسط مدل آماری lars-wg ریزمقیاس شدند بیانگر کاهش میزان متوسط بارش سالیانه بوده است. از طرفی دما افزایش یافته که این امر موجب افزایش تبخیر و تعرق واقعی در منطقه گردیده که این خود سبب می گردد که میزان دبی خروجی سد نیز از ۶۰ میلیون متر مکعب در ماه به ۴۵.۳ و ۳۴ و ۳۵.۹ کاهش پیدا کند که این خود سبب افزایش تنش آبی در منطقه می گردد(نادری و همکاران، ۱۳۹۷). اثر تغییر اقلیم بر میزان دبی ورودی به مخزن سد دوکان واقع در کشور عراق نشان داد که ۴۰ درصد میزان بارش کاهش یافته و به دنبال آن میزان تبخیر و تعرق ۳۰ درصد افزایش یافته که این خود سبب کاهش ۶۰ درصد دبی ورودی به سد خواهد شد(Mohammed et al, 2017). دبی ورودی سد چادگان واقع در حوضه زاینده رود تحت تاثیر تغییر اقلیم در این حوضه نشان داد که حدود ۵.۸ درصد میزان جریان کاهش خواهد یافت که دلیل اصلی آن افزایش دما تا ۴.۶ درجه سانتی گراد و کاهش ۱۶ درصد بارش بوده است(مساح بوانی و همکاران، ۱۳۸۴). در راستای ایجاد سیاست های مدیریتی و بهره برداری از مخازن و سازگار با فرایند تغییر اقلیم می توان از چهار روش را پیشنهاد کرد که مورد بررسی قرار گیرند: نمایان سازی عوامل اقلیمی موثر بر چرخه هیدرولوژیک تحت



دشت کرج می باشد. کمترین مقدار بارندگی متوسط سالانه در ایستگاه سد امیرکبیر با ارتفاع ۱۵۸۸ متر از سطح دریا، ۴۱۸ میلی متر محاسبه شده است. بیشترین مقدار بارندگی متوسط سالانه نیز مربوط به ایستگاه نسا با ارتفاع ۲۸۰۰ متر از سطح دریا و ۶۶۷ میلی متر می باشد. ارقام درجه حرارت در بهمن ماه حداکثر ۷+ و حداقل ۱۸- درجه و در تیر ماه حداکثر ۲۲+ و حداقل ۱۲- درجه سانتی گراد می باشد. باتوجه به اهداف تحقیق، میزان جریان های عبوری ثبت شده در ایستگاه های سیرا، پل خواب، گچسر، سیرا-کرج که در بالادست سد امیرکبیر کرج واقع گردیده مورد استفاده قرار گرفته است. لذا مرز حوضه آبخیز بالادست ایستگاه هیدرومتری کرج-سیرا در نظر گرفته شد مطابق شکل (۱-۱).



شکل (۱): موقعیت محدوده مورد مطالعاتی و ایستگاه های هیدرومتری

روش پژوهش

در این بخش، اطلاعات مورد نیاز در جهت تحقق اهداف پژوهش که شامل معرفی منطقه مورد مطالعاتی، تعریف وضعیت های مورد بررسی که شاخص خشکسالی و طول دوره آماری، پردازش داده های اقلیمی در دوره آتی با استفاده از نرم افزار Lars Wg6 و مدل های اقلیمی HadGEM2-ES، MRI- CGCM3 و CMCC-CM به دلیل داشتن ابعاد سلولی ریزتر نسبت به سایر سناریو های اقلیمی و عملکرد مناسب در زمینه ریزمقیاس نمایی انتخاب گردیده، در راستای شبیه سازی بارش و رواناب و همچنین برآورد میزان دبی ورودی به مخزن سد و بهینه

تغییر کرده و خشکسالی شدیدتر گردیده (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۱). از این رو می توان در جهت برآورد جریان تحت تاثیر شاخص خشکالی از مدل SWAT و پایش مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص های SPI و SDI بکار گرفته شود (عینی و همکاران، ۱۳۹۷). کالیبراسیون، صحت سنجی و آنالیز حساسیت نرم افزار ARC SWAT توسط نرم افزار SWAT CUP با بهره گیری از ۵ الگوریتم امکان پذیره که در این بین SUFI2 تمام عدم قطعیت یک مدل که ممکن است در پارامترهای ورودی و یا مدل موجود باشد را بکار گیرد و نتایج دارای سطح اطمینان ۹۵ درصد را ارائه دهد (Abbaspour et al., 2015).

هدف اصلی این پژوهش بررسی اثر تغییر اقلیم و شاخص خشکسالی SPI بر میزان رواناب حوضه آبخیز بالادست سد کرج بوده در جهت مدیریت مصرف آب در پایین دست مخزن سد که منجر به سازگاری شرایط منطقه با تغییرات اقلیمی آتی در حوضه می گردد. در این پژوهش سعی گردید تاثیر تغییر اقلیم بر میزان رواناب و حجم مخزن سد با استفاده از مدل مفهومی و نیمه توزیعی SWAT و شاخص خشکسالی SPI در حوضه بالادست سد کرج بررسی گردد. در این بررسی سعی شد سه موضوع خشکسالی، تغییر اقلیم و دبی ورودی در ارتباط با یکدیگر تحلیل و تاثیر هریک از آن ها بر یکدیگر در دو بازه زمانی بررسی شود، لذا شناخت این اثرات و روابط بین آن ها در این حوضه و پایین دست سد کرج ضروری به نظر می رسد.

مواد و روش ها

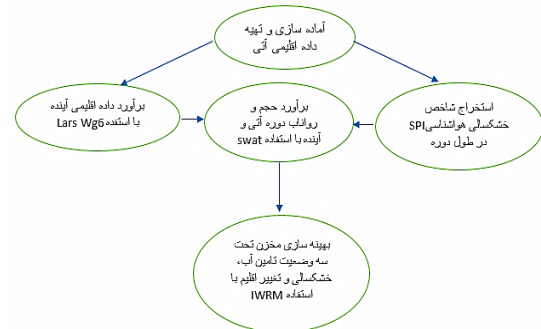
منطقه مورد مطالعاتی

حوضه آبخیز سد کرج دارای وسعتی ۷۲۱۰۰ هکتار بوده است. این حوضه در حد فاصل ۶۰ کیلومتری شمال و شمال غرب تهران واقع شده و در مختصات طول جغرافیایی $51^{\circ}5'38''$ تا $51^{\circ}30'57''$ و عرض جغرافیایی $35^{\circ}52'56''$ تا $36^{\circ}11'49''$ واقع شده است. حوضه سد کرج دارای اهمیت بسیاری از نظر تامین کننده احتیاج های آب و برق مصرفی شهر تهران و همچنین منبع آب مصرفی جهت آبیاری ۲۱۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی در

دقت مکانی این سه مدل بسیار بالا بوده و یکی از دلایل انتخاب آن ها بخاطر سلول شبکه بندی می باشد.

سازمان بین المللی تغییر اقلیم در سال ۲۰۱۴ سناریوهای جدیدی به نام معرفی غلظت گازهای گلخانه ای rcp را ارائه دادند که در آن ها شرایط مختلف رشد اقتصادی، پیشرفت تکنولوژی، حفاظت محیط زیست، رشد جمعیت، جنگل زدایی، نوع انرژی مصرفی در حمل و نقل را نیز در نظر گرفتند و شامل سه سناریو rcp2.6، rcp4.5 و rcp8.5 می باشد (IPCC, 2014). در این پژوهش از نرم افزار Lars-wg6 برای ریزمقیاس نمایی مدل های گردش عمومی استفاده شده است. بارش روزانه در ۱۱ ایستگاه طی دوره های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۹ اندازه گیری شده، اما دمای مینیمم و ماکزیمم روزانه تنها در ایستگاه سینوپتیک ۴ ایستگاه اندازه گیری شده است و در نرم افزار بکار برده شده. برای استخراج داده اقلیمی آینده در بازه زمانی ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ در نرم افزار Lars wg6 تحت سه مدل گردش عمومی جو MRI-CGCM3، HadGEM2-ES و CMCC-CM برای بارش در هر ۱۱ ایستگاه و همچنین برای عامل دما نیز برای ۴ ایستگاه سینوپتیک ریز مقیاس نمایی صورت گرفته است. برای هر یک از ایستگاه ها منتخب محدوده تغییرات ماهانه سری زمانی بلند مدت میانگین نتایج تغییرات دما، بارش در دوره آتی ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به دوره مشاهداتی در جدول (۲) و (۳) آورده شده است.

سازی مخزن تحت سه وضعیت شاخص خشکسالی هواشناسی و تامین آب ناشی از تغییر اقلیم و در آخر کنترل بحران آبی مراحل انجام این پژوهش در شکل (۲) آورده شده است.



شکل (۲): روند انجام تحقیق

تغییر اقلیم

برآورد میزان بارش و دما توسط مدل های گردش عمومی جو دارای عدم قطعیت زیادی بوده است. عدم قطعیت در پیش بینی بارش و دما توسط مدل های مختلفی امکان پذیر بوده اما به دلیل تفاوت در قدرت تفکیک مکانی آن ها، پارامتری کردن فرایند فیزیکی غیر قابل حل است (Reichler et al., 2008). جهت کاهش میزان خطا در برآورد پیشنهاد می شود از نتایج چندین مدل مختلف برای مطالعات تغییر اقلیم در یک منطقه استفاده گردد (Dessai et al., 2005). در این پژوهش از داده های بارش و دمای روزانه ۳ مدل مربوط به cmip5 طی سال های ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ مطابق جدول (۱) استفاده گردید. همانطور که در جدول مربوطه مشاهده می کنید

جدول (۱): مشخصات مدل های اقلیمی cmip5 مورد استفاده در این پژوهش

Number	Model	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	Latitude resolution	Longitude resolution
1	CMCC-CM	-	✓	✓	1/865	1/875
2	HadGEM2-ES	✓	✓	✓	1/25	1/875
3	MRI-CGCM3	-	✓	✓	1/121	1/125

جدول (۲): میانگین دراز مدت تغییرات فصلی متوسط دمای شبیه سازی شده طی دوره ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به مشاهداتی برحسب درجه سانتی گراد

MRI-CGCM3	HadGEM2-ES	CMCC-CM	مشاهداتی	سناریو انتشار	نام ایستگاه
-	۱۷/۸۴	-		RCP2.6	شمیران
۱۶/۷۷	۱۷/۳۳	۱۷/۰۵	۱۵/۸۷	RCP4.5	(سینوپتیک)
۱۶/۹۸	۱۷/۸۷	۱۷/۴۴		RCP8.5	
-	۱۵/۸۱	-		RCP2.6	چیتگر
۱۴/۴۹	۱۵/۳۵	۱۵/۰۵۸	۱۳/۹۳	RCP4.5	(سینوپتیک)
۱۴/۸۴	۱۵/۹۱	۱۵/۴۷		RCP8.5	
-	۱۵/۹۶	-		RCP2.6	ژئوفیزیک
۱۴/۴۸	۱۵/۴۴	۱۴/۸۹	۱۳/۷۵	RCP4.5	(سینوپتیک)
۱۵/۰۲	۱۵/۹۶	۱۵/۳۱		RCP8.5	

جدول (۳): میانگین دراز مدت تغییرات فصلی بارش شبیه سازی شده طی دوره ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به مشاهداتی (میلیمتر)

MRI-CGCM3	HadGEM2-ES	CMCC-CM	مشاهداتی	سناریو انتشار	نام ایستگاه
-	۴۰/۴۲	-		RCP2.6	شمیران
۴۱/۶۱	۴۲/۱۴	۴۰/۳۸	۴۰	RCP4.5	(سینوپتیک)
۴۱/۹۴	۳۳/۲۵	۳۷/۸۹		RCP8.5	
-	۲۱/۶۲	-		RCP2.6	چیتگر
۲۵/۸۲	۲۱/۹۳	۲۱/۶۷	۲۰/۴	RCP4.5	(سینوپتیک)
۲۲/۴۵	۱۹/۴۸	۲۲/۷۳		RCP8.5	
-	۲۴/۷۵	-		RCP2.6	ژئوفیزیک
۳۰/۸۶	۲۵/۹۷	۳۲/۱۱	۲۳/۳۲	RCP4.5	(سینوپتیک)
۳۱/۹۵	۲۳/۳۱	۳۲/۲۶		RCP8.5	
-	۲۶/۵۷	-		RCP2.6	کرج
۲۴/۵۸	۲۵/۱۵	۲۳/۶۲	۲۱/۰۲	RCP4.5	(سینوپتیک)
۲۶/۲۶	۲۲/۱۰	۲۶/۱۳		RCP8.5	
-	۳۸/۴۸	-		RCP2.6	گتته ده
۳۷/۹۷	۳۶/۵۰	۳۹/۷	۳۶/۶۷	RCP4.5	
۴۱/۴۷	۳۶/۶۲	۴۱/۶۷		RCP8.5	
-	۴۳/۴۷	-		RCP2.6	شمشک
۳۸/۹۵	۴۴/۲۵	۴۳/۴۴	۳۸/۳۹	RCP4.5	
۴۳/۴۴	۳۶/۸۵	۴۴/۸۳		RCP8.5	
-	۵۵/۶۵	-		RCP2.6	نسا
۵۲/۵۱	۵۱/۲۹	۵۴/۹۱	۵۰/۰۳	RCP4.5	
۵۸/۸۴	۴۷/۸۳	۵۸/۱۷		RCP8.5	
-	۴۵/۴۵	-		RCP2.6	سیرا
۴۴/۵۷	۵۱/۴۷	۴۷/۸۸	۴۴/۹۳	RCP4.5	
۴۷/۷۰	۴۱/۹۸	۴۸/۶۷		RCP8.5	



ادامه جدول (۳): میانگین دراز مدت تغییرات فصلی بارش شبیه سازی شده طی دوره ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ نسبت به مشاهداتی (میلیمتر)

-	۳۷/۳۱	-		RCP2.6	
۳۳/۰۵	۳۶/۸۳	۳۴/۲۷	۳۲	RCP4.5	آهار
۳۶/۲	۳۶/۳۷	۳۵/۰۱		RCP8.5	
-	۳۴/۶	-		RCP2.6	
۳۳/۲۶	۳۴/۵	۳۶/۷۸	۳۲/۲۹	RCP4.5	مورود
۳۷/۳	۲۹/۶۸	۳۷/۸۵		RCP8.5	
-	۵۱/۳۵	-		RCP2.6	
۴۳/۸۴	۳۹/۱۹	۴۷/۱۵	۳۵/۴۸	RCP4.5	شهرستانک
۵۰/۸۶	۴۰/۳۱	۴۵/۳۶		RCP8.5	

پس از استخراج داده های اقلیمی آینده اقدام به استخراج وضعیت خشکسالی حوضه بالادست سد کرج با استفاده از شاخص بارش استاندارد SPI در نرم افزار DIP گردید تا وضعیت اقلیم آینده مورد ارزیابی قرار گیرد که در ادامه به آن اشاره شده است.

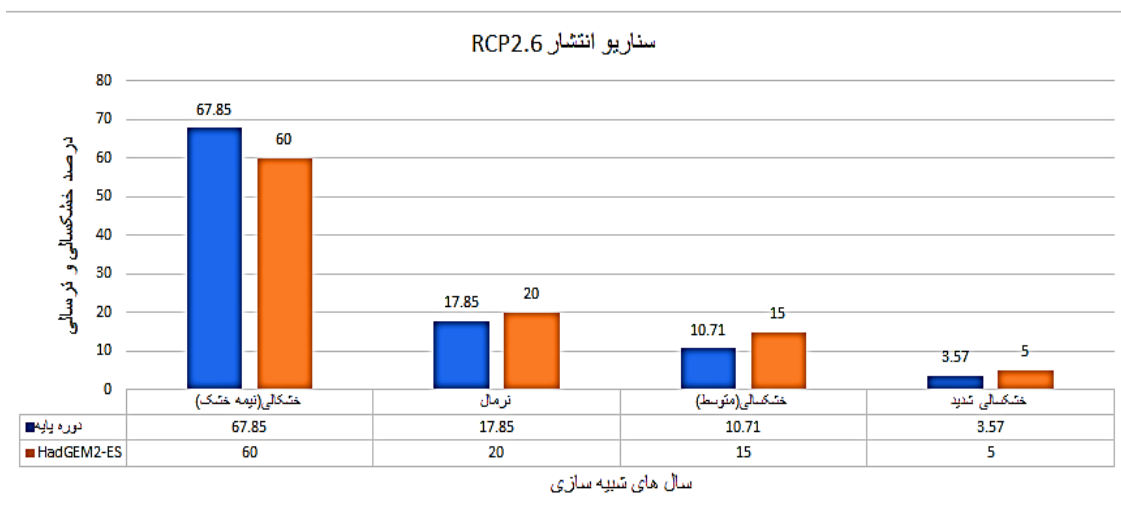
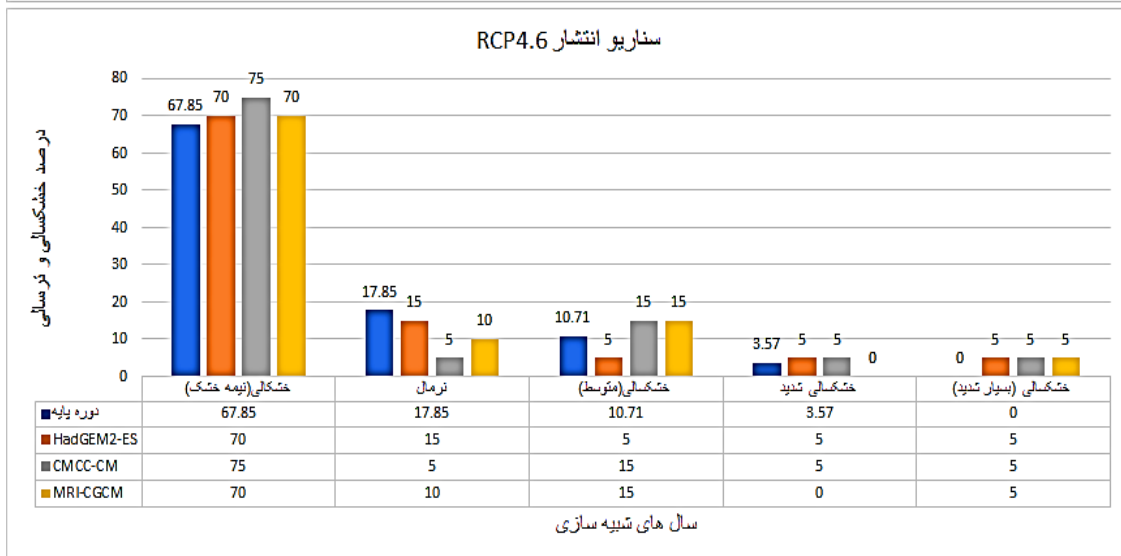
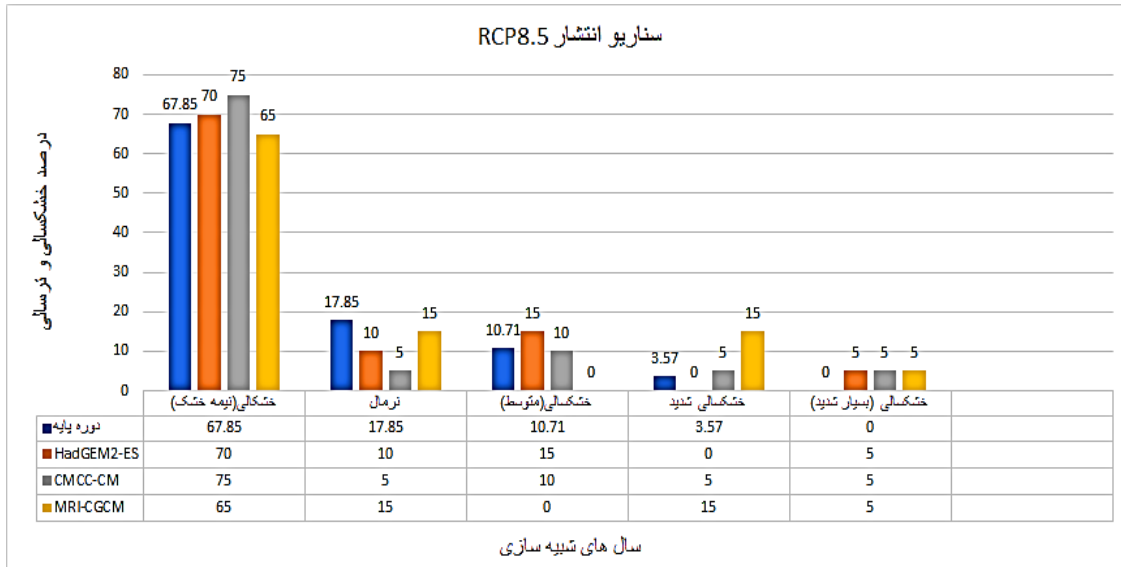
شاخص خشکسالی

داشتن یک نرم افزار کار آمد در جهت کاهش هزینه، وقت در جهت محاسبه شاخص های خشکسالی از جمله SPI یکی از نیازهای اساس جامعه مهندسی و کارشناسان بوده است. در این راستا نرم افزار DIP که حاصل از بررسی و پژوه طراحی سیستم پایش خشکسالی استان تهران بوده که توسط معاونت پژوهش و مطالعات پایه شرکت سهامی مدیریت منابع آب طراحی شده است. این نرم افزار اغلب شاخص های خشکسالی هواشناسی را محاسبه می نماید و سری زمانی شاخص ها را در مقیاس زمانی مختلف ایجاد می کند (کاظمی، ۱۳۸۶). اساس شاخص SPI بر محاسبه احتمال وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار بوده که برای اولین بار توسط مک کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ به منظور پایش و تعیین خشکسالی در ایالت کلرادو آمریکا ارائه شده. این شاخص برای مقیاس های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه و یک ساله قابل محاسبه است (Mckee et al., 1993). طبق این روش دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می افتد که SPI

بطور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد، هنگامی پایان می یابد که SPI مثبت گردد (علیزاده، ۱۳۹۵). مقادیر بدست آمده SPI از داده های بلند مدت بارندگی برای یک دوره زمانی، از توزیع نرمال تبعیت کرده است. طبقات مختلف این شاخص برای بازه زمانی شبیه سازی حال و آینده در این پژوهش براساس بارش موثر بر حوضه مورد مطالعاتی در جدول (۴) آمده است. باتوجه به جدول (۴) در مقیاس سالانه بیانگر آن است که ۵ سال از بازه شبیه سازی ۲۹ ساله حال در وضعیت نرمال بوده و ۱۹ سال آن در وضعیت اقلیم نیمه خشک واقع بوده و مابقی خشک می باشند. این در حالی است که در بازه زمانی آینده ۶ سال از طول آماری ۲۰ ساله وضعیت نرمال بوده و ۱۳ سال آماری در وضعیت نیمه خشک و مابقی خشک قرار داشته است. نمودار درصد فراوانی ماه های خشک و نیمه خشک در دوره پایه و شبیه سازی شده تحت تاثیر سناریوهای انتشار مدل های اقلیمی در شکل (۳) آورده شده است.

جدول (۴): مشخصات مدل های اقلیمی cmip5 مورد استفاده در این پژوهش

بازه آینده	بازه حال	شاخص	طبقات خشکسالی
۲۰۵۰-۲۰۳۰	۲۰۱۹-۱۹۹۱		
-۲۰۴۲-۲۰۴۰-۲۰۳۸-۲۰۳۷-۲۰۳۱	۲۰۱۱-۲۰۰۶-۲۰۰۵-۱۹۹۴-۱۹۹۳	> ۱	نرمال و بالاتر
۲۰۴۷			
-۲۰۳۵-۲۰۳۴-۲۰۳۳-۳۰۳۲-۲۰۳۰	-۱۹۹۷-۱۹۹۶-۱۹۹۵-۱۹۹۲-۱۹۹۱		
-۲۰۴۵-۲۰۴۴-۲۰۴۳-۲۰۴۱-۲۰۳۹	-۲۰۰۳-۲۰۰۲-۲۰۰۱-۲۰۰۰-۱۹۹۸	۱ تا ۱	نزدیک به حالت نرمال
۲۰۵۰-۲۰۴۹-۲۰۴۶	-۲۰۱۳-۲۰۱۰-۲۰۰۹-۲۰۰۸-۲۰۰۴		
	۲۰۱۸-۲۰۱۶-۲۰۱۵-۲۰۱۴		
۲۰۳۶	۲۰۱۲-۲۰۰۷-۱۹۹۹	۱.۵ تا	خشکسالی متوسط
		-۱	
۲۰۴۸	۲۰۱۷	-۱ تا ۲	خشکسالی شدید
-	-	≤ -۲	خشکسالی بسیار شدید



شکل (۳): درصد فراوانی سال های خشک و تر براساس شاخص SPI و دوره پایه حوضه بالادست سد کرج

مدلسازی هیدرولوژیکی SWAT

در این مطالعه از مدل SWAT برای شبیه سازی جریان رودخانه بالادست سد کرج استفاده گردیده. پارامترهای

ورودی آن شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع DEM با دقت ۱۲.۵ متر، نقشه خاک، نقشه کاربری اراضی استخراج شده از تصاویر ماهواره ای لندست ۲۰۱۸ و داده های ایستگاه هواشناسی است. برای ساخت این مدل از نرم افزار Arc Gis10.3 استفاده شده است. لایه کاربری اراضی استخراج شده نشان می دهد که عمده کاربری منطقه تشکیل شده است از ۷۳.۹۷ درصد علف زار (بوته زار)، ۲۴.۶۱ درصد مرتع و چمنزار، ۱.۴ درصد درخت، ۰.۲۸ درصد زمین کشاورزی و باغ ها بوده است. حوضه آبخیز به ۴ کلاس شیب ۰ تا ۱۵، ۱۵ تا ۳۰، ۳۰ تا ۶۰، ۶۰ تا بیشتر از آن دسته بندی شده است. از آنجایی که منطقه مطالعاتی کوهستانی بوده و مسطح نیست و دارای تغییرات تراز ارتفاعی می باشد در این راستا برای هر زیر حوضه طبقات ارتفاعی تعریف شده است که بتوانیم عامل بارش و برف را از همدیگر متمایز کنیم. جنس خاک منطقه عمدتاً از لوم و سند می باشد. داده های روزانه بارش، دما منطقه مورد مطالعاتی به مدل swat معرفی شده تا تغییرات مکانی بارش در حوضه به خوبی اعمال گردد. در جهت برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل اندازه گیری شده چهار ایستگاه هیدرومتری گچسر، سیرا-کلوان، سیرا-کرج، پل خواب در بازه زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۲ به عنوان بازه کالیبراسیون و بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ به عنوان بازه صحت سنجی انتخاب گردیده است. لازم به ذکر است که بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۳ به عنوان دوره آماده سازی مدل (warm up) انتخاب گردیده است. در راستای کالیبراسیون و تحلیل عدم قطعیت مدل از نرم افزار swat cup به همراه الگوریتم sufi2 استفاده شده است. الگوریتم sufi2 تمام عدم قطعیت یک مدل که ممکن است در پارامترهای

ورودی و یا پارامترهای مدل وجود داشته باشد را به کار می گیرد و نتایج دارای سطح اطمینان ۹۵ درصد می باشد (Abbaspour et al., 2015). در هر اجرای مدل مقدار ورودی یک پارامتر تغییر داده و سایر پارامترها ثابت نگه داشته می شود. تاثیر گذار ترین پارامتر و مقدار بهینه آن را برای حوضه مورد مطالعاتی استخراج گردید مطابق جدول (۵) تنظیم گردیده منظور از حروف V و R قبل از هر پارامتر به ترتیب بیانگر تغییر مطلق و تغییر نسبی پارامتر می باشد. تغییرنسبی به معنی حاصل ضرب پارامتر در یکی از اعداد بین حدود مشخص شده به اضافه یک می باشد.

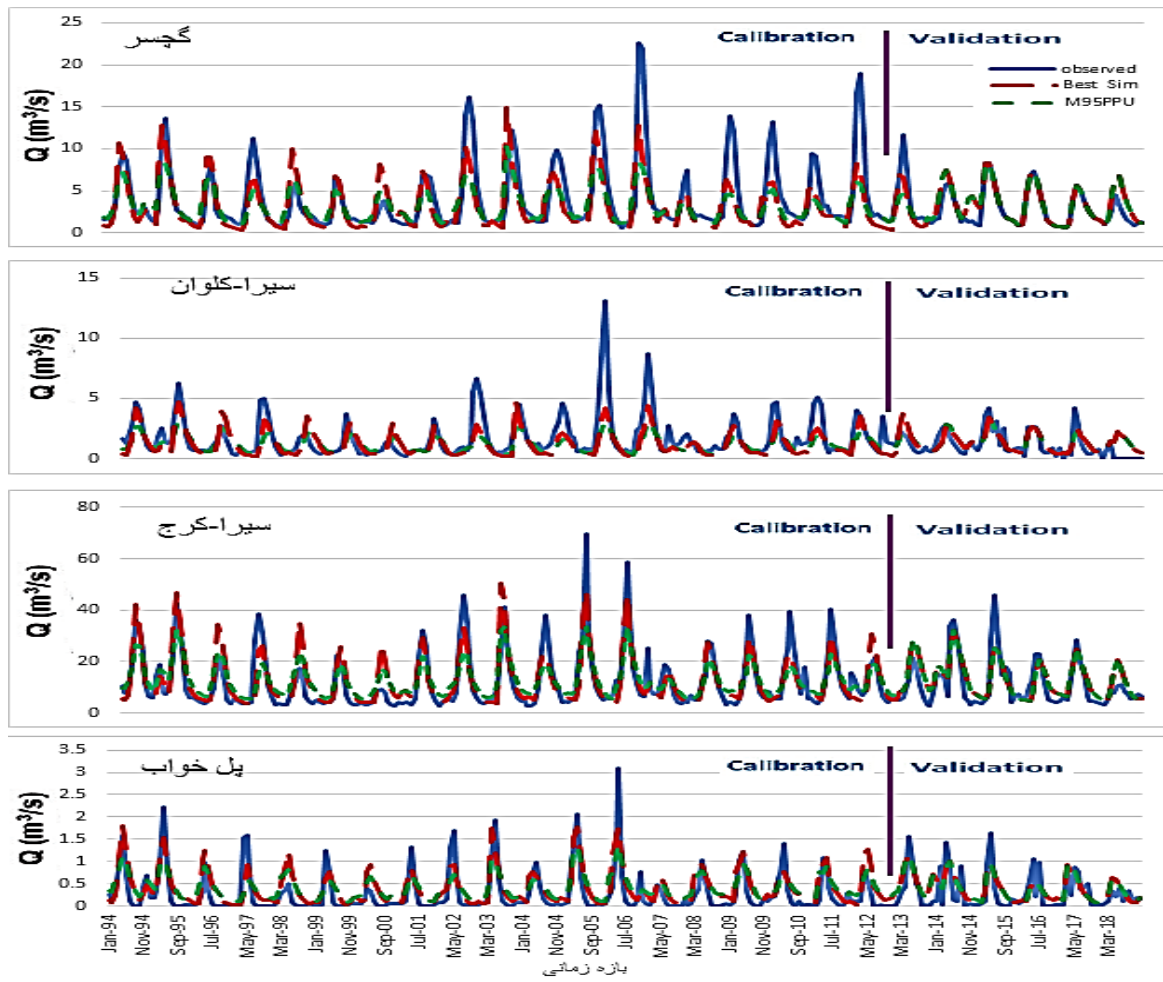
همچنین صحت سنجی برای بازه ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ در جدول (۶) و شکل (۴) نتایج حاصل از مرحله واسنجی و صحت سنجی مدل در دبی ماهانه حوضه آبخیز کرج در ایستگاه های هیدرومتری آورده شده است

جدول (۵): پارامترهای موثر بر مقدار مقدار رواناب حوضه آبریز طبس در مدل SWAT-CUP

مقدار بهینه پارامتر	محدوده تغییرات		پارامتر	ردیف
-۰/۰۲	-۰/۳	۰/۲	R_CN2.mgt	۱
۰/۵۰	۰	۱	V_ALPHA_BF.gw	۲
۳۸۴	۲۳۰	۵۰۰	V_GW_DELAY.gw	۳
۲۵۰	۱۸۰	۵۴۹	V_GWQMN.gw	۴
۰/۴۵	۰/۲۹	۰/۸۸	V_GW_REVAP.gw	۵
۴۵	۰	۱۸۰	V_LAT_TTIME.hru	۶
۰/۰۲۴	۰/۰۱۸	۰/۰۲۵	V_CH_N2.rte	۷
۳۵	۳۴	۳۹	V_CH_K2.rte	۸
۰/۰۰۴	۰	۰/۰۰۶	V_ALPHA_BNK.rte	۹
۵۶/۶	۰	-۵۶/۵	V_PLAPS.sub	۱۰
۵/۹۹	۰	۵/۹۷	V_TLAPS.sub	۱۱
۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۱۲	R_HRU_SLP.hru	۱۲
۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۷	R_OV_N.hru	۱۳
-۱/۶۸	-۲/۵۴	-۱/۳	V_SFTMP.bsn	۱۴
۱/۵۱	۱/۵	۱/۵۱	V_SMTMP.bsn	۱۵
۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۶	V_ESCO.hru	۱۶

جدول (۶): معیارهای اماری ارزیابی دقت مدل در شبیه سازی رواناب هریک از ایستگاه های هیدرومتری

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع	واسنجی				صحت سنجی			
			R2	P-FACTOR	R-FACTOR	NSE	R2	P-FACTOR	R-FACTOR	NSE
۱	گچسر	۲۲۶۳	۰/۵۹	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۳۴	۰/۵۴	۰	۰/۶۵	
۲	سیرا-کلوان	۱۸۳۳	۰/۵۲	۰/۶۶	۰/۶۱	۰/۳۸	۰/۴۳	۰	۰/۱۳	
۳	سیرا-کرج	۱۸۲۱	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۶۴	۰/۵	۰/۵۸	۰	۰/۱۵	
۴	پل خواب	۱۷۹۰	۰/۶۴	۰/۵۷	۰/۳۵	۰/۴۴	۰/۵۱	۰	۰/۰۴	



شکل (۴): نتایج کالیبراسیون و صحت سنجی نرم افزار Arc SWAT

نتایج و بحث

هر یک از مدل های اقلیمی و سناریوهای انتخابی کاهش پیدا کرده است. این بیانگر آن است دبی ورودی به مخزن سد در آینده در اثر تغییر اقلیم در حالت کلی حدود ۳۵ درصد کاهش پیدا خواهد کرد که این کاهش چشمگیر به دلیل کاهش نزولات بارش، برف و همچنین افزایش دما که سبب تبخیر از سطح شده، انجام شده است. مقادیر کل حجم مخزن سد و حجم خروجی از سد برای دوره مشاهداتی ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۹ در شکل (۵) آورده شده است. دبی خروجی از سد در ماه های پر باران که حجم مخزن سد افزایش می یافته بیشتر بوده و در ماه هایی که کم بارش بوده میزان دبی خروجی از سد نیز کمتر بوده

پس از کالیبراسیون و صحت سنجی مدل SWAT، داده های بارش و دمای ریز مقیاس شده در ۱۱ ایستگاه هواشناسی به مدل شد تا دبی ماهانه رودخانه بالادست مخزن سد کرج تحت سناریوهای انتخابی برای دوره ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ پیش بینی شود. پیش بینی جریان در شرایط تغییر اقلیم حاکی از کاهش دبی رودخانه در آینده دارد. متوسط سالیانه دبی رودخانه کرج در ایستگاه های هیدرومتری گچسر، سیرا-کلوان، سیرا-کرج و پل خواب برابر ۴۵.۶۱، ۱۹.۱۱، ۱۴۷.۶ و ۳.۴۷ متر مکعب در ثانیه در دوره مشاهداتی ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۹ می باشد ولی مقدار آن مطابق جدول (۷) در بازه زمانی ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰ براساس

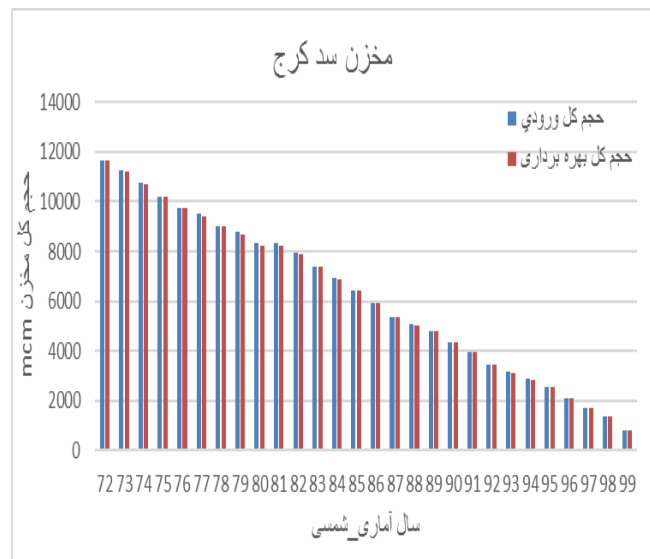


بارش ماهانه، E حجم تبخیر ماهانه از مخزن سد، V_initial حجم مخزن در ابتدای ماه و V_final حجم مخزن سد در انتهای ماه بوده است. با توجه به مقادیر بدست آمده در طول آماری شبیه سازی شده درصد تغییرات حجم مخزن سد براساس سناریو انتشار و مدل های اقلیمی در جدول (۸) آورده شده است و بیانگر این مسئله می باشد که با بحران کم آبی روبرو خواهیم بود و برای مدیریت و بهبود شرایط نیازمند اجرای سیاست های سازگار متناسب با شرایط اقلیمی در محیط خواهیم بود.

است. متوسط ماهانه حجم مخزن سد و دبی خروجی در دوره مشاهداتی ۲۵ ساله به ترتیب برابر ۶۲۱۲.۰۵ و ۶۱۷۸.۸ میلیون متر مکعب می باشد. حجم ماهانه مخزن سد در آینده تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 با استفاده از معادله زیر محاسبه می گردد:

$$Q_{in} + R + V_{initial} = Q_{out} + E + V_{final}$$

در معادله مربوطه Q_{in} دبی ورودی به مخزن سد برحسب ماهانه، Q_{out} دبی خروجی ماهانه سد، R حجم



شکل (۵) تغییرات حجم مخزن سد در طول آماری بلند مدت ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۹

جدول (۷) درصد تغییرات دبی شبیه سازی شده تحت تاثیر سناریو انتشار مدل های گردش عمومی جو

CMCC-CM		MRI-CGCM3		HadGEM2-ES			نام ایستگاه	ردیف
RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6		
-۳۱.۲۶	-۲۶.۸۴	-۲۴.۴۲	-۲۴.۷۶	-۳۵.۹۳	-۲۹.۵۴	-۲۸.۳۹	گچسر	۱
-۲۷.۰۲	-۲۳	-۲۰.۶۲	-۲۰.۷۱	-۳۳.۲۸	-۱۹.۳۲	-۲۲.۵۶	سیرا-کلوان	۲
-۱۴.۰۷	-۸.۸۸	-۵.۹۷	-۶.۱۶	-۱۸.۹۲	-۹.۷۴	-۷.۹	سیرا-کرج	۳
-۲۰.۵۳	-۲۷.۱۸	-۳۱.۱	-۳۰.۹۶	-۱.۱	-۱.۳۳	-۰.۱	پل خواب	۴

علامت منفی در جدول فوق بیانگر کاهش میزان دبی جریان برحسب درصد می باشد.

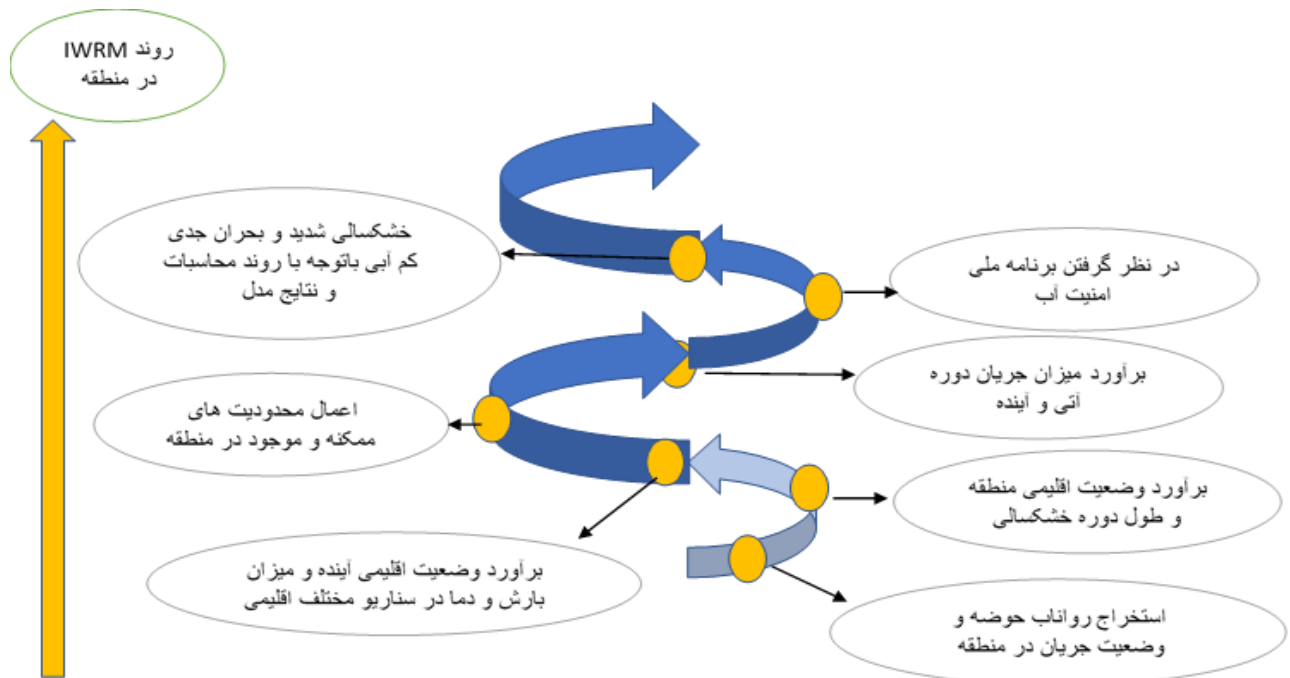
جدول (۸) درصد تغییرات حجم مخزن سد تحت تاثیر سناریو انتشار مدل های گردش عمومی جو

CMCC-CM		MRI-CGCM3		HadGEM2-ES			ردیف
RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	
-۳۱,۲۶	-۲۶,۸۴	-۲۴,۴۲	-۲۴,۷۶	-۳۵,۹۳	-۲۹,۵۴	-۲۸,۳۹	۱

علامت منفی در جدول فوق بیانگر کاهش میزان دبی جریان بر حسب درصد می باشد

تکوینی برنامه ریزی و مدیریت حوضه بالادست مخزن سد ارائه گردیده. در این سیر، هر برنامه و موضوعات آن با شناخت بهتر مسائل و مشکلات مربوطه پیشنهاد گردیده شده است. از طرفی این نمودار نشان می دهد که برنامه ریزی حوضه در بیشتر موارد یک فرایند مداوم پالایشی و تکاملی است.

دست آخر در جهت بهینه سازی و مدیریت بحران تامین نیاز آبی و کنترل حجم مخزن سد براساس دستو العمل IWRM یونسکو ۲۰۱۰، سیر تکوینی برنامه حوضه بصورت ماریچج نمایش داده می شود مطابق شکل (۶) که در آن هر ماریچج بیانگر یک چالش و تغییر شرایط اقلیمی و جوی منطقه مورد مطالعاتی می باشد. در نمودار زیر با استفاده از سیر



شکل (۶) روند تغییرات جریان و بحران آبی در سیر تکاملی منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر تغییر اقلیم براساس IWRM

منابع

- سلطانی، س.م.، محرابی، ۱۳۹۱. ارزیابی خشکسالی با استفاده از شاخص جریانات رودخانه ای SDI و شاخص بارش استاندارد SPI (مطالعه موردی حوزه سد درودزن در استان فارس). اولین همایش ملی بیابان، تهران، مرکز تحقیقات بین المللی بیابان دانشگاه تهران، ۱۱ صفحه.
- علیزاده، امین. ۱۳۹۵. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی.



- عینی، م.، جوادی، س.، دلاور، م.، دارند، م. ۱۳۹۷. ارزیابی داده های بارش پایگاه ملی اسفزاری در برآورد رواناب و پایش خشکسالی منطقه ای، اکوهیدرولوژی، دوره ۵، شماره ۱، ص ۹۹-۱۱۰.
- قدمی، م.، سلطانی، س.، گودرزی، م.، نادری، س.، ۱۳۹۷. اثر تغییر اقلیم بر جریان روزانه در حوضه رودخانه سزار، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۸۵: ۴۱ تا ۹۴.
- کاظمی، آ. ۱۳۸۶. ارزیابی شاخص های خشکی و خشکسالی در شرایط اقلیمی استان همدان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه همدان، صفحات ۴۰-۵۰.
- مساح بوانی، ع.، مرید، س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان، علو و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۷: ۴ تا ۲۷.
- موسوی، س.، کابلی، ح. س. بهره برداری بهینه از مخازن با افزایش بهره وری آب: راهکار سازگاری با تغییر اقلیم آتی (مطالعه موردی سد جره). ۱۳۹۹. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر.
- نادری، م. اثر تغییر اقلیم بر دبی ورودی و حجم مخزن سد درودزن، شمال استان فارس. ۱۳۹۷. علوم زمین. ۲۵۹-۲۶۸.

A. Sarhadi, D.H. Burn, F. Johnson, R. Mehrotra, A. Sharma, Water resources climate change projections using supervised nonlinear and multivariate soft computing techniques. *Journal of Hydrology*, 536(2016)119-132.

Abbaspour, K. C. Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H. and Klove, B., 2015- A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524: 733- 752. Analysis, *Journal of Hydrology*, 399(2014) 394-409.

Dessai S., Lu X. and Hulme M., 2005- Limited sensitivity analysis of regional climate change probabilities for the 21st century. *J. Geophys. Res. Atmos.* 110,

G.M. Bombelli, A. Soncini, A. Bianchi, D. Bocchiola, Potentially modified hydropower production under climate change in the Italian Alps. *Hydrological Processes*, 10 (1-2) (2019) 13473.

H.Akbari_Alashti, A.Soncini, Y.Dinpashoh, A.FakheriFard, S.Talatahari, D.Bocchiola, Operation of two major reservoir of iran under IPCC scenarios during the XXI Century, 32(12) (2018) 3254-3271.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014- In: Pachauri R. K., and Meyer L. (ed) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Geneva, Switzerland, pp 151.

IPCC, *Climate Change 2014 Synthesis Report. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I, II and III to Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (

J.Farajzadeh, A.F Fard, Lotfi, S., Modeling of monthly rainfall and runoff of Urmia lake basin using “feedforward neural network” and “time series analysis” model, *Water Resources and Industry*, 7(8) (2014) 38-48

I. Maghami, E.B. Mehmet., B.D. Benjamin., M.M. Mohamad., G.L. Janathan. Estimating Potential Climate Change Effects on the Upper Neuse Watershed Water Balance Using the SWAT Model. *JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION*. 2019

IPCC). In: R. Pachauri and L.Meyer (Eds). Geneva, Switzerland, 2014.



M. Chiyuan, D. Qingyun, S. Qiaohong, H. Yong, K. Dongxian, Y. Tiantian, Y. Aizhong, D. Zhenhua, G. Wei, Assessment of CMIP5 climate models and coupled with singular spectrum Mckee, T. B., Doesken, N. J. and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints Eighth Conference on Applied Climatology: 179-184.

Mohammed, R. and 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. DOI: 10.1007/s11269-017-16857.

P.S. Ashofteh, O. Bozorg Haddad, H. Akbari-Alashti, M.A. Mari no, Determination of irrigation policy under climate change by genetic programming, J. Irrig. Under Drain. Eng., 141(4) (2015).

P.S. Ashofteh, O. Bozorg Haddad, M.A. Mari~no, Climate change impact on reservoir performance indices in agricultural water supply, J. Irrig. Drain. 2013 139(2) (2013) 19434774.

Reichler, T. and Kim, J., 2008- How well do coupled models simulate today's climate? Bulletin of the American Meteorological Society, 89(3): 303- 311.

S. Khanjari Sadati, S. Speelman, M. Sabouhi, M. Gitizadeh, B. Ghahraman, Optimal irrigation water allocation using a genetic algorithm under various weather conditions, Water, 6 (10) (2014) 3068-3084.

S.H. Moghadam, P.S. Ashofteh, H.A. Loaiciga, Application of climate projections and monte Carlo approach for assessment of future river flow: Khorramabad River Basin, Iran. Journal of hydrologic engineering. 24(7) (2019).

Shahid, S., Hazarika, M.K. 2010. Groundwater drought in the northwestern districts of Bangladesh. Water resources management, 24(10), 1989-2006.

Unesco. 2010. iwrn guidelines at river basin level. part 1: principles. paris, unesco.



Evaluation of Meteorological Drought Index and Climate Change Scenario on Flow Rate and Reservoir Volume of Karaj Dam

Mohammad Sadegh Nasirabadi¹, Amir Khosrow Jerdi², Seyed Habib Mousavi Jahromi³, Mehdi Sarai Tabrizi⁴

Abstract

Understanding the climate and providing safe water are two critical issues in discussing climate change and water scarcity and alarm for the future. The purpose of this study is to evaluate the SPI drought index on the trend and duration of drought in the region and its effect on river discharge and reservoir volume of the dam. Using climate model scenarios, this trend was extracted in the future from 2030 to 2050, and its impact in the future was estimated. Therefore, SWAT software for 1994 to 2012 was used for four hydrometric stations of Gachsar, Sierra_Kelvan, Sierra_Karaj, and Pol-e-Khoab to achieve and calibrate the results of the SUFI2 algorithm in SWAT-CUP environment with appropriate bandwidth and Nash coefficients of 0.54, 0.45, 0.72, and 0.58 respectively. Also, validations for the period 2013 to 2019 were extracted 0.34, 0.38, 0.5, and 0.44, respectively. According to the results, the climate change and drought index trend indicated a decrease in river flow and increased temperature, increasing evaporation from the dam reservoir's surface. In general, the volume of the dam reservoir has decreased by about 24 to 35% based on different scenarios. On the other hand, considering the UNESCO IWRM guidelines, examining the evolutionary trend, and changing the flow rate, it was suggested that to plan the basin and implement important policies, crisis control of three social, economic, and environmental scenarios is seriously considered in the region.

Keywords: Karaj Dam upstream basin, the drought index, climate change, SWAT, recipes IWR UNESCO

¹ Lecturer of Islamic Azad University, Meshginshahr Branch, Email: mohammad_nasirabadi30@yahoo.com

² Assistant Professor, Azad University, Science and Research Branch, Tehran Email: am_khosro@yahoo.com (Responsible author)

³ Professor, Department of Water Structures, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran, Email: h-mousavi@srbiau.ac.ir

⁴ Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: m.sarai@srbiau.ac.ir