



Impact of CMIP5 climate change model in Jamishan dam reservoir simulation under cropping pattern change scenario

Banafshe Rahimi¹ , Maryam Hafezparast Mavadat^{2✉} 

¹ M. Sc Student of Water Resources, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: banafshe.rahimy@gmail.com

² Corresponding Author, Assistant professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: m.hafezparast@razi.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

Today, increasing the concentration of greenhouse gases has changed the global climate variables and it is anticipated that these changes will continue in the future. With climate change, the hydrological regime of the river and as a result, the frequency of occurrence and intensity of flooding and water quality of the river also changes. Therefore, considering that Iran is located in arid and semi-arid climates, planning and managing water resources in dams and watersheds is of particular importance. Climate change creates one of the most important effects in the hydrological cycle, which occurs due to population increase, increase use of fossil fuels, deforestation, soil erosion and consequently an increase in greenhouse gas. Investigation of climate change parameters plays an important role in predicting surface runoff in order to identify and manage water resources reserves. On the other hand, due to the limitation of freshwater resources, accurate prediction of flow discharge and its changes throughout the year is one of the main pillars of surface water resources planning and management.

Methodology

Jamishan Dam basin with an area of 524 square kilometers and semi-humid to semi-arid cold climate, from the north to the Gavehrud basin, from the east to the Khorramrud basin, from the south to the Mariam Negar River basin and from the west to the basins of AliSiah and Gavehrud. Select Station

Sonqor synoptic station was used as the base station for the mean temperature (Celsius) and precipitation (mm) parameters, and Kermanshah synoptic station was used to complete the statistical defects of temperature and precipitation in the study area, and Pirsalman hydrometric station was selected for the discharge parameter (m³/s). After completing the statistical parameters, the period 1988-2017 has been selected as the base period.

Groundwater Resources

In the study area, 8 million cubic meters is used in the Nazelian network and 24 million cubic meters of groundwater is used in jamishan network.

Agricultural Water Uses

In this study, three cropping patterns have been evaluated. Irrigation efficiency for surface irrigation is 30 and for pressurized irrigation is equal to 50%.

CROPWAT

This software uses temperature, soil type and plant data to calculate crop water requirement and irrigation requirements. Also, the software is able to calculate the irrigation for managing various conditions and determining the water supply require.

Support Vector Machine

SVR method is SVM regression model. In SVR, a function associated with the dependent variable Y, which itself is a function of several x variables, is estimated.

Genetic Programming

Gene expression programming which has been developed in the continuation of the evolution of intelligent models is one of the methods of circulatory algorithm, all of which are based on Darwin's theory of evolution.

IHACRES Rainfall-Runoff Model

Observational data of rainfall, temperature in the base period are used for calibration of the model, firstly the IHACRES model is calibrated for the study area. For this purpose, observational data of temperature, precipitation and monthly discharge of the base period (1988-2017) will be used.

Simulation

WEAP software operates based on the equation of water balance (equation 1) and it can be used in agricultural and urban systems, complex river systems or independent basins. In addition, WEAP can simulates a wide range of engineering and natural components of systems, including base flow, runoff precipitation and groundwater recharge from precipitation.

$$St+1 = St + Qt - Et - Rt - Spill \quad (1)$$

Performance Criteria

In order to compare and evaluate the performance of the studied models, the parameters of mean square error (RMSE), absolute mean error (MAE), Nash-Sutcliffe (NSE) and determinant coefficient (R) were used.

Results and discussion

Changes in precipitation and temperature under climate change

Simulation of precipitation results in the HADGEM2_ES climate model show that rainfall changes in the period 2021-2050 in the HADGEM2_ES model in the third month of March have the highest rainfall and in the seventh month (July) have the lowest precipitation. Also, the average monthly long-term rainfall under the RCP8.5 scenario increased by 4.6% in the next period compared to the base period. The results of the temperature simulated by the climate model used for Sonqor city show an increasing trend so that this temperature increase is equal to 11.4% compared to the base period and this temperature increase is equal to 1.5 degrees Celsius on average. Also, in this model, the lowest temperature increase is related to the December and the highest temperature increase is related to the seventh month (July).

Agricultural water supply

the highest supply was related to the three cropping patterns (cropping pattern with the highest income) and the lowest supply was related to cropping pattern 1 (cropping pattern under existing conditions). Also, the highest deficiency was related to cropping pattern 1 and the lowest deficiency was related to 3 cropping pattern. If the cropping pattern is used, in SVR, IHACRES and GEP models, we are faced with 30, 28.3 and 26.7 percent deficiency, respectively.

Reservoir water storage

in all three models of SVR, GEP and IHECRASS, if the cropping pattern (1) is used, the volume of the reservoir is higher than that of the cropping pattern (2) and (3).

Conclusions

results show an increase in temperature between 0.1 and 1.4 degrees Celsius in both of the above models, which is consistent with the results of HafezParast et al. (2017). By comparing the simulated runoff in GEP and SVM models, it can be observed that the accuracy of the Support Vector Machine is higher than the gene expression programming model, which is consistent with the results of Solgi et al. (2017) and Ahmadi et al. (2016). The results also show that the SVM model is less accurate than the IHACRES and GEP models in simulating the peak discharge values.

Keywords: Climate change, CMIP5 models, Rainfall-Runoff, Support vector regression, Genetic Programming, IHACRES, WEAP, Crop pattern

Article Type: Research Article

Article history: Received: 20 June 2021 Revised: 09 July 2021 Accepted: 18 July 2021 ePublished: 20 February 2022

Cite this article: Rahimi, B., & Hafezparast mavadat, M. (2022). Impact of CMIP5 climate change model in Jamishan dam reservoir simulation under cropping pattern change scenario., *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 1(1), 1-23. DOI: 10.22126/ATWE.2021.6603.1000

Publisher: Razi University

© The Author(s).





اثرات تغییر اقلیم مدل CMIP5 در شبیه سازی مخزن سدجامیشان تحت سناریوی تغییر الگوی کشت

بنفشه رحیمی^۱، مریم حافظ پرست مودت^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: banafshe.rahimy@gmail.com
^۲ نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: m.hafezparast@razi.ac.ir

چکیده

امروزه اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در جهان به اثبات رسیده است. وقوع این شرایط، فرآیندهای هیدرولوژیکی را که از منابع اصلی تأمین کننده آب حوضه است را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق مقادیر ماهیانه دما، بارش و دبی سد جامیشان در سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۸۸ به‌عنوان دوره پایه در نظر گرفته شده است. برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای بارش و دما در این منطقه از خروجی‌های سناریو RCP8.5 مدل HADGEM2_ES از سری مدل‌های گزارش پنجم CMIP5 استفاده شد و خروجی این مدل‌ها برای منطقه موردنظر ریزمقیاس شد. در این پژوهش با استفاده از روش عامل تغییر داده‌های مدل اقلیمی ریزمقیاس شده و پارامترهای ماهانه دما و بارش سد جامیشان برای دوره‌ی ۲۰۵۰-۲۰۲۱ تولید گردید. به‌منظور بررسی رواناب منطقه موردنظر در اثر تغییر اقلیم به بررسی و مقایسه‌ی مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان، برنامه‌ریزی بیان‌ژن و آپهکرس پرداخته شد. سپس شبیه‌سازی منابع و مصارف حوضه آبریز سدجامیشان در مدل ویپ با الگوهای کشت موجود در منطقه موردبررسی قرار گرفت. نتایج مدل اقلیمی به‌طور میانگین افزایش دمای ۱/۵ درجه سلسیوس و افزایش بارش ۵ درصد را نشان می‌دهد. به‌طورکلی بررسی نتایج حاصل از پیش‌بینی دبی در هر سه مدل رگرسیون بردار پشتیبان، برنامه‌ریزی بیان‌ژن و آپهکرس حاکی از کاهش رواناب است که بیشترین کاهش رواناب مربوط به رگرسیون بردار پشتیبان با ۲۱/۶ درصد و کمترین کاهش رواناب مربوط به آپهکرس با ۴ درصد می‌باشد و در این پژوهش مدل‌های آپهکرس و برنامه‌ریزی بیان‌ژن نسبت به روش رگرسیون بردار پشتیبان از دقت مطلوب‌تری برخوردار است. شبیه‌سازی الگوی کشت‌های مختلف در ویپ نشان می‌دهد که بیش‌ترین تأمین برابر با ۷۴/۹ درصد در مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن و کمترین تأمین برابر با ۷۰ درصد در مدل رگرسیون بردار پشتیبان که به ترتیب مربوط به الگوی کشت یک و الگوی کشت سه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، مدل‌های گزارش پنجم، بارش-رواناب، ماشین بردار پشتیبان، برنامه‌ریزی بیان‌ژن، آپهکرس، ویپ، الگوی کشت

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۳۰ خرداد ۱۴۰۰ اصلاح: ۱۸ تیر ۱۴۰۰ پذیرش: ۲۷ تیر ۱۴۰۰ چاپ الکترونیکی: ۰۱ اسفند ۱۴۰۰

استناد: رحیمی، ب. و حافظ پرست مودت، م. (۱۴۰۰). اثرات تغییر اقلیم مدل CMIP5 در شبیه‌سازی مخزن سدجامیشان تحت سناریوی تغییر الگوی کشت، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۱(۱)، ۱-۲۳. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2021.6603.1000



مقدمه

محدودیت منابع آب یکی از چالش‌های عظیم در جهان است و از طرفی تأثیر پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در جهان به اثبات رسیده است. امروزه افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای موجب تغییر متغیرهای اقلیمی کره زمین شده و پیش‌بینی می‌شود که این تغییرات در آینده نیز ادامه یابد. با تغییر اقلیم، رژیم هیدرولوژیکی رودخانه و در نتیجه فراوانی وقوع و شدت سیلاب و کیفیت آب رودخانه نیز تغییر می‌کند (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵). بررسی پارامترهای تغییر اقلیم نقش مهمی در پیش‌بینی رواناب سطحی به منظور شناسایی و مدیریت ذخایر منابع آبی دارد. از سوی دیگر، با توجه به محدودیت منابع آب شیرین قابل استحصال، پیش‌بینی هرچه دقیق‌تر دبی جریان و تغییرات آن در طول سال از ارکان اساسی برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب‌های سطحی می‌باشد (نبی زاده و همکاران، ۱۳۹۲).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پژوهش‌های مختلفی در راستای بررسی پدیده تغییر اقلیم و مدیریت منابع آب تحت اثر تغییر اقلیم شده است از جمله: رحیمی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم با استفاده از خروجی مدل BNU_ESM تحت سناریو ۸/۵ پرداختند. نتایج حاکی از افزایش دمای ۲/۹ درجه سلسیوس می‌باشد. به‌طور کلی بررسی نتایج حاصل از پیش‌بینی دبی در مدل آیهکرس^۱ حاکی از کاهش ۲۶/۴ درصدی نسبت به دبی مشاهده‌ای می‌باشد. پورخیراله و همکاران (۱۳۹۶) برای مدل‌سازی ارزیابی تغییر اقلیم بر شرایط هیدرولوژیکی ایستگاه دهلران از خروجی مدل اقلیمی CSIROK3-5-0 تحت سناریوی RCP8.5^۲ استفاده کردند. نتایج حاکی از کاهش میزان متوسط رواناب از ۶/۲۷ مترمکعب بر ثانیه در دوره پایه به ۵/۷۸ مترمکعب بر ثانیه در دوره آتی است. حافظ‌پرست و همکاران (۱۳۹۵) به منظور ارزیابی عدم قطعیت تغییر اقلیم بر آبدهی ورودی سد جامیشان واقع در شمال شرقی استان کرمانشاه، با استفاده از خروجی ۷ مدل اقلیمی تغییرات بارش و دما را در دو دوره مورد مطالعه قراردادند. نتایج حاکی از آن است که در دوره اول بارش و رواناب سالانه کاهش و دمای سالانه افزایش می‌یابد همچنین در دوره دوم تغییرات شدیدتر است و دمای سالانه بین ۲+ و ۰/۶۶- درجه سلسیوس تغییر می‌کند. رحیمی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به مقایسه مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان، برنامه‌ریزی بیان ژن و آیهکرس در پیش‌بینی رواناب ناشی از مدل‌های اقلیمی گزارش پنجم در سد جامیشان پرداختند. در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ رواناب کاهش یافته و دمای مدل‌های اقلیمی بین ۰/۱ تا ۱/۴ درجه سلسیوس افزایش یافته است. مدل‌های آیهکرس و برنامه‌ریزی بیان ژن نسبت به روش رگرسیون بردار پشتیبان از دقت مطلوب‌تری برخوردار است. سلگی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با استفاده از دو مدل هوشمند برنامه‌ریزی بیان ژن و ماشین بردار پشتیبان به پیش‌بینی بارش ماهانه شهرستان نهاوند پرداختند. عملکرد هردو مدل خوب و مشابه بوده ولی با توجه به بررسی معیارهای ارزیابی مختلف به مدل برنامه‌ریزی بیان ژن عملکرد قابل قبول‌تری داشته است. لطفی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل آیهکرس و داده‌های دبی روزانه ایستگاه خرچینگل در خروجی حوضه و نیز داده‌های بارش و دمای روزانه ایستگاه خلیان در مرکز نقل حوضه شبیه‌سازی کردند. ضریب کارایی مدل نش ساتکلیف (E) و میانگین خطای کل (BIAS) و میانگین خطای نسبی پارامتریک (ARPE) ارائه شد که مقدار به‌دست آمده E در دوره کالیبراسیون و صحت سنجی به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۴۶ به دست آمد. در پژوهشی جهت پیش‌بینی جریان رودخانه در منطقه‌ای کوهستانی و نیمه‌خشک واقع در شمال غربی چین از ماشین بردار پشتیبان استفاده شد و دریافتند که مدل ماشین بردار پشتیبان عملکردی مناسب جهت پیش‌بینی جریان رودخانه در مناطق کوهستانی نیمه‌خشک داشته و نسبت به شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی از دقت مطلوبی برخوردار است (هی و همکاران، ۲۰۱۴). پناهی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به بررسی مدیریت یکپارچه منابع آب حوضه آبریز در شرایط تغییر اقلیم در سد جامیشان پرداختند. نتایج حاکی از آن است که میانگین دمای سالانه افزایش و نیاز آبی محصولات زراعی در الگو کشت یک (شرایط موجود) دارای بیشترین نیاز آبی و الگوی کشت سه (بیشترین میزان درآمد) دارای کمترین نیاز آبی می‌باشد. مدل‌سازی منابع و مصارف آب نشان داد که شبکه آبیاری جامیشان ۱۰۰ درصد تأمین و شبکه نازلین با ۴۵ درصد کمبود همراه خواهد بود. سلیمی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی با استفاده از دبی ۴۰ ساله رودخانه کمیش در مدل ویپ به شبیه‌سازی مخزن سد هرسین پرداختند. نتایج نشان داد که حالت بهینه نسبت به شبیه‌ساز کمترین هدر رفت آب را داشته است. فاطمی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی مدل‌سازی سیستم منابع و مصارف حوضه سد اکباتان و منبع آب زیرزمینی تأمین‌کننده آب شرب را در مدل ویپ شبیه‌سازی نمودند. نتایج حاکی از آن بود که در سال‌های ۱۴۱۰ و ۱۴۳۰ به ترتیب با کمبود ۱۹/۶ و ۳۴/۳ درصدی مواجه خواهد بود. کلبعی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از مدل باش رواناب

¹ IHACRES Software

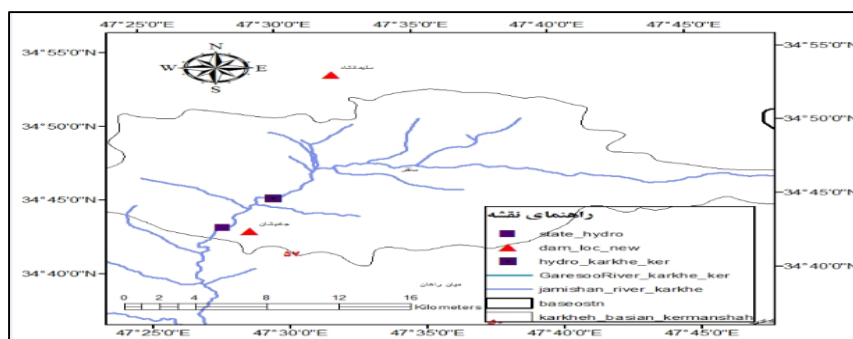
² Representative Concentration Pathway

آیهکرس و داده‌های دما، بارش و رواناب ماهیانه در دوره پایه (۱۹۹۴-۲۰۱۰)، میزان رواناب رودخانه قره‌سو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ شبیه‌سازی کردند. سپس وضعیت احتمالی تخصیص منابع آب و تأمین نیاز بخش کشاورزی را با استفاده از مدل ویپ مورد ارزیابی قراردادند. در پژوهشی با استفاده از رویکرد مدل‌سازی ویپ^۱ آثار تغییرات جهانی تغییر اقلیم و سناریو توسعه اجتماعی و اقتصادی بر منابع آب هیمالیان^۲ در هند مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد تغییرات اقتصادی و اجتماعی در آینده نسبت به تغییرات آب و هوایی تأثیرات بسیار بیشتری بر منابع آب منطقه مورد بررسی خواهد داشت (ماملانچ و همکاران،^۳ ۲۰۲۰). با بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر سیستم تأمین آب دره میدل در آدر مراکش در مدل ویپ، نشان داد که این مدل به‌عنوان نوعی ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری، پیچیدگی مسائل مربوط به آب را مورد توجه قرار می‌دهد (کارمایی و همکاران،^۴ ۲۰۱۹). به‌منظور ارزیابی سناریوهای مختلف برای رسیدن به خودکفایی در بخش آب به کمک مدل شبیه‌ساز ویپ نشان داد اگر با روند فعلی مصرف منابع آب ادامه پیدا کند تا سال ۲۰۲۵ با کمبود ۲۶ درصد در بخش‌های مختلف آب مواجه خواهند بود (موهی و همکاران،^۵ ۲۰۱۶). با استفاده از مدل شبیه‌ساز ویپ به‌منظور ارزیابی وضعیت منابع آب در آینده تحت اثر تغییر اقلیم بر روی دریاچه ژوریس نشان داد کاهش جریان‌های ورودی سبب تشدید رقابت بین بخش شرب، کشاورزی و صنعت خواهد شد (سمبو و همکاران،^۶ ۲۰۱۵). در تحقیق دیگری، به منظور ارزیابی وضعیت منابع آب در حوضه پهنای چین با در نظر گرفتن توسعه شهرنشینی و سناریوهای مختلف، برای استراتژی برنامه‌ریزی شهری و مدیریت منابع آب و تغییر سیاست تخصیص منابع آب، از مدل شبیه‌ساز ویپ استفاده شد. نتایج نشان داد این مدل توانایی خوبی جهت مدل‌سازی استراتژی‌ها و برآورد آن‌ها در دوره‌های زمانی بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت را دارد (خو و همکاران،^۷ ۲۰۱۵).

همان‌طور که اشاره شد، در مطالعات گذشته تاکنون اثرات تغییر اقلیم بر منابع و مصارف سد جامیشان در الگوهای کشت مختلف با مدل‌های گزارش پنجم ارزیابی نشده است و نیز تغییر مقادیر تخصیص به نیازها در مدل ویپ در اثر ورودی‌های سه مدل بارش رواناب برنامه ریزی بیان ژن، آیهکرس و رگرسیون بردار پشتیبان بررسی نشده است که از نوآوری‌های این پژوهش می‌باشد. هدف از این پژوهش به ترتیب در سه مرحله ۱- تعیین تغییرات بارش و دما در دوره آتی توسط مدل اقلیمی گزارش پنجم و سناریوی RCP8.5 ۲- پیش‌بینی رواناب با سه مدل برنامه ریزی بیان ژن، آیهکرس و رگرسیون بردار پشتیبان در اثر تغییر اقلیم و ارزیابی هر یک از مدل‌ها و کارایی آن‌ها در منطقه مورد نظر ۳- شبیه‌سازی منابع و مصارف حوضه آبریز در مدل ویپ برای دوره آتی در سه الگوی کشت مختلف و سه روش هیدرولوژیکی مرحله قبل و تحلیل خروجی‌ها و تعیین تغییرات حجم مخزن سد جامیشان مشخص شده است.

روش پژوهش

حوضه سد جامیشان با مساحت ۵۲۴ کیلومترمربع و اقلیم نیمه مرطوب تا نیمه‌خشک سرد، از شمال به حوضه آبریز گاوهرود، از شرق به حوضه آبریز خرم‌رود، از جنوب به حوضه آبریز رودخانه مریم‌نگار و از غرب به زیر حوضه‌های عالی‌سیاه و گاوهرود منتهی می‌شود. این حوضه در مختصات جغرافیایی ۳۰° ۳۲' الی ۳۴° ۵۳' عرض شمالی و ۲۲' ۴۷° تا ۵۲' ۴۷° طول شرقی است و در زاگرس واقع گردیده است. این محدوده در تقسیمات کشوری در استان کرمانشاه واقع می‌باشد.



شکل ۱. نقشه منطقه مطالعاتی سد مخزنی جامیشان (شهرستان سنقر)

¹ Weap

² Himalayan

³ Mombanch et al

⁴ Middle Draa

⁵ Karmaoui et al

⁶ Mohie

⁷ Sambou et al

انتخاب ایستگاه

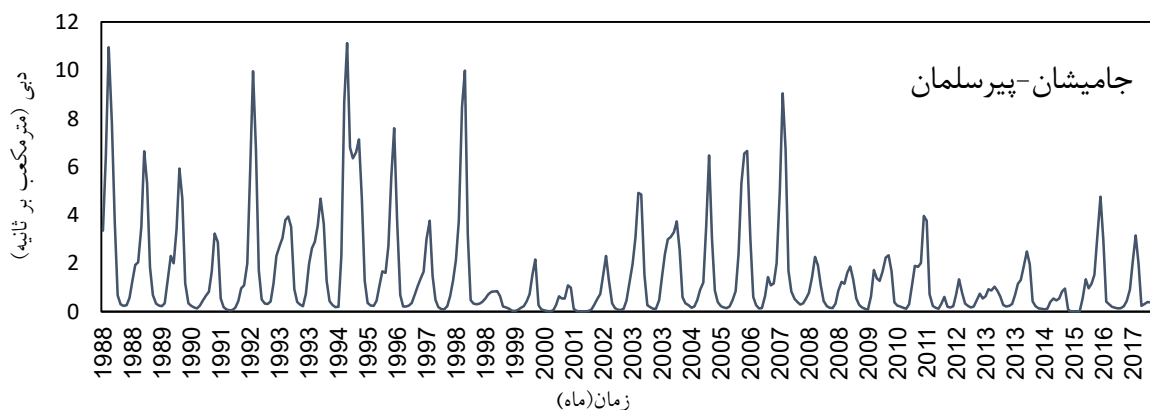
پس از بررسی ایستگاه‌های منطقه و طول آماری موجود، ایستگاه سینوپتیک سنقر به‌عنوان ایستگاه مینا برای پارامترهای دمای میانگین (درجه سلسیوس) و بارش (میلی‌متر) و از ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه نیز برای تکمیل نواقص آماری دما و بارش منطقه مورد مطالعه استفاده شده است و ایستگاه هیدرومتری پیرسلیمان برای پارامتر دبی (مترمکعب بر ثانیه) انتخاب شد. پس از تکمیل پارامترهای آماري مذکور، دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۸ میلادی به‌عنوان دوره پایه انتخاب شده است. مشخصات ایستگاه‌های فوق در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه هواشناسی و هیدرومتری منطقه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	پارامتر	طول جغرافیایی (درجه و دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه و دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
سنقر	سینوپتیک	دمای میانگین و بارش	۳۵° ۴۷'	۴۷° ۳۴'	۱۶۸۰
کرمانشاه	سینوپتیک	دمای میانگین و بارش	۴۷° ۹'	۳۴° ۲۱'	۱۳۱۸
پیرسلیمان	هیدرومتری	دبی	۲۷° ۴۷'	۴۳° ۳۴'	۱۵۳۰

آبدهی رودخانه

در این تحقیق به منظور بررسی پتانسیل آبی رودخانه از سری زمانی بلندمدت ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) ایستگاه پیرسلیمان استفاده شده است. نمودار دبی بلندمدت ۳۰ ساله رودخانه در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲. نمودار دبی سی‌ساله جامیشان در ایستگاه پیرسلیمان (۱۹۸۸-۲۰۱۷)

منابع آب زیرزمینی

با ارزیابی نقشه‌های منابع آب زیرزمینی موردنظر در منطقه مطالعاتی، چنین برداشت می‌شود که به دلیل پراکندگی چاه‌ها در مقایسه با اراضی بخش عمرانی و ارزش‌گذاری سرمایه‌گذاری در طی سال‌های اخیر، نمی‌توان از منابع آب زیرزمینی چشم‌پوشی کرد و این مهم در مطالعات برنامه‌ریزی منابع آب همواره مورد توجه می‌باشد. در حوضه مطالعاتی در شبکه نازلیان ۸ میلیون مترمکعب و در شبکه جامیشان ۲۴ میلیون مترمکعب از آب زیرزمینی استفاده می‌شود.

مصارف آب کشاورزی

حوضه مطالعه سد جامیشان از بهترین مناطق مساعد باغات و کشاورزی می‌باشد که مصرف آب کشاورزی در این منطقه شامل ۲ شبکه آبیاری جامیشان و نازلیان است. در این تحقیق سه الگوی کشت مورد ارزیابی قرار گرفته است. راندمان آبیاری برای آبیاری سطحی برابر با ۳۰ درصد و برای آبیاری تحت فشار برابر با ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است (مطالعات مرحله اول سد جامیشان، ۱۳۸۳).

نرم‌افزار کراپ وات^۱

نرم‌افزار کراپ وات یک برنامه دقیق برای کمک به مهندسان آبیاری و کشاورزی و هواشناسان می‌باشد تا با استفاده از آن بتوانند محاسبات نیاز آبیاری، تبخیر و تعرق گیاه و مدیریت آبیاری را به‌سادگی انجام دهند. نرم‌افزار کراپ وات برای محاسبه نیاز آبی محصول زراعی و نیاز آبیاری از دما، نوع خاک و داده‌های گیاهی استفاده می‌کند. همچنین این نرم‌افزار قادر است برنامه آبیاری را برای مدیریت شرایط گوناگون و تعیین برنامه تأمین آب موردنیاز الگوی طرح‌ها را محاسبه کند. داده‌های موردنیاز در نرم‌افزار کراپ‌وات شامل: داده‌های اقلیمی (حداقل و حداکثر دما، سرعت باد، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی)، بارش، الگوهای کشت (تاریخ کشت، محصولات و سطح زیر کشت)، محصولات (ضرایب گیاهی، نوع گیاه، حداکثر عمق ریشه و ...)، خاک (حداکثر عمق ریشه، آب قابل‌دسترس، سرعت نفوذ و ...). می‌باشد. در این پژوهش سه الگوی کشت مختلف شامل الگوی وضع موجود، پردرآمد و کم‌مصرف در نظر گرفته شده است (جدول ۲). از آنجایی که تغییر پارامترهای اقلیمی علاوه بر تغییر مقدار منابع آب در دسترس سبب تغییر در نیاز آبیاری گیاهان نیز خواهد شد لذا در دوره و سناریو موردنظر نیاز آبیاری محصولات زراعی منطقه برآورد گردیده است. به این منظور پارامتر ساعات آفتابی برای دوره‌های آتی همانند دوره مشاهده‌ای در نظر گرفته شده و سایر پارامترها (دمای حداقل و حداکثر، دمای متوسط و بارش) با استفاده از مدل HADGEM2_ES استخراج شده است.

جدول ۲: درصد کشت محصولات در الگوهای مختلف

محصولات	الگوی کشت شماره (۱)	الگوی کشت شماره (۲)	الگوی کشت شماره (۳)
گندم	۲۵	۳۰	۱۵
جو	۲۵	۲۵	۱۵
ذرت دانه‌ای	۶/۷	۴	۴/۱
ذرت علوفه‌ای	۰/۷	۲	۰/۴
یونجه	۴/۳	۳	۲/۶
سویا	۹/۴	۰	۵/۶
کلزا	۰	۱۰	۰
جالیز (هندوانه)	۳/۲	۵	۱۰
چغندر قند	۱۳/۵	۶	۱۵
نخود	۳/۲	۵	۳/۲
باغات میوه	۵	۵	۵
انگور	۴	۵	۱۴/۱
سبزیجات تابستانه	۰	۰	۱۵

نیاز زیست‌محیطی

در این پژوهش حداقل نیاز زیست‌محیطی (حد قابل قبول) بر اساس میانگین ۳۰ ساله دبی رودخانه جامیشان با استفاده از روش مونتانا استخراج شده که در جدول ۳ آورده شده است (مطالعات مرحله اول سد جامیشان، ۱۳۸۳).

جدول ۳: متوسط ماهیانه نیاز زیست‌محیطی (مترمکعب در ثانیه)

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئیه	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷

تغییر اقلیم

به کلیه تغییرات بلندمدت (معنی‌دار) به وجود آمده در پارامتر اقلیمی که ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد، تغییر اقلیم گویند. سناریوهای انتشار بر اساس سطح واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ شامل ۴ سناریو RCP2.6, RCP4.5, RCP6.5 و RCP8.5 می‌باشد. در این پژوهش از سناریوی RCP8.5 به‌عنوان سناریوی بدبینانه استفاده شده است. برای تبدیل فرمت مدل‌های اقلیمی موردنظر به داده‌های

^۱ CROPWAT Software

منطقه مورد مطالعاتی از نرم افزار GIS استفاده شده است. مدل HADGEM2_ES به دلیل بیشترین هماهنگی با پارامترهای بارش و دمای تاریخی منطقه مورد نظر انتخاب شده است. ریزمقیاس سازی در این پژوهش به روش عامل تغییر انجام گردید (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۹).

شبیه سازی بارش - رواناب

به منظور بررسی پارامترهای اقلیمی بر رواناب، استفاده از مدل های بارش-رواناب ضروری است. در این پژوهش، برای تولید رواناب ماهانه از رگرسیون ماشین بردار پشتیبان (SVR)، برنامه ریزی بیان ژن (GEP) و آبهکرس (IHACRES) استفاده شده است. لازم به ذکر است که دوره آبی در این مطالعه ۲۰۵۰-۲۰۲۱ در نظر گرفته شده است.

$$f(x) = (w)^t \cdot \phi + b \quad (1)$$

$$Y = f(x) + \text{noise} \quad (2)$$

ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان یادگیری نظارت شده برای دسته بندی، تخمین و برآورد تابع برازش داده ها به کار می رود، به طوری که کمترین خطا در دسته بندی داده ها و یا تابع برازش رخ دهد. ماشین بردار پشتیبان در سال ۱۹۹۲ توسط وپنیک که یک ریاضیدان روس بود، بر پایه نظریه یادگیری آماری بنا گردیده است. ماشین بردار پشتیبان یک سیستم یادگیری کارآمد بر مبنای تئوری بهینه سازی مقید است که از اصل استقرای کمینه سازی خطای ساختاری استفاده می نماید و به یک جواب بهینه کلی منجر می گردد. در رگرسیون بردار پشتیبان تابعی مرتبط با متغیر وابسته Y که خود تابعی از چند متغیر X است، برآورد می شود. رابطه میان متغیرهای مستقل و وابسته با تابع جبری مانند f(x) به علاوه مقداری اغتشاش (خطای مجاز E) مشخص می شود. چنانچه بردار ضرایب و ثابت مشخصه های تابع رگرسیونی و ϕ نیز تابع کرنل باشد، آنگاه هدف پیدا کردن فرم تابعی برای f(x) است. با آموزش مدل SVM^۴ از طریق مجموعه ای از نمونه ها (مجموع آموزش) تابع f(x) محقق می شود. برای محاسبه w و b لازم است تابع خطا معادله ۳ در مدل SVM با در نظر گرفتن شرایط مندرج (قیود) در معادله ۴ بهینه شود.

$$(w)^t \cdot \phi(X_i) + b - y_i \leq \epsilon + \epsilon_i^* \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} (w)^t \cdot w + C \sum_{i=1}^N \epsilon + C \sum_{i=1}^N \epsilon_i^*$$

$$y_i - (w)^t \cdot \phi(X_i) - b \leq \epsilon + \epsilon_i \quad (4)$$

$$\epsilon + \epsilon_i^* \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

در معادلات بالا C عددی صحیح و مثبت است که عامل تعیین جریمه در هنگام رخ دادن خطای آموزش مدل است. ϕ : تابع کرنل، N: تعداد نمونه ها و دو مشخصه ϵ_i و ϵ_i^* متغیرهای کمبود هستند. در نهایت تابع بردار پشتیبان رگرسیونی را می توان به شکل زیر بازنویسی کرد: که در معادله ۵، $\bar{\alpha}_i$ میانگین ضرایب لانگراژ می باشد. محاسبه $\phi(X)$ در فضای مشخصه آن ممکن است بسیار پیچیده باشد. برای حل این مشکل روند معمول در مدل SVR انتخاب یک تابع کرنل به صورت رابطه ۶ است:

$$f(x) = \sum_{i=1}^N \bar{\alpha}_i \phi(X_i)^t \cdot \phi(X_i) + b \quad (5)$$

$$K(X_i, X) = \phi(X_i)^t \cdot \sqrt{b^2 - 4ac} \quad (6)$$

بنابراین برای حل مسئله باید مقادیر C، ϵ و پارامترهای مربوط به تابع کرنل انتخابی مشخص باشند که دقت در تعیین آن ها در کاهش خطای مسئله تاثیر گذار است (دیباک و همکاران، ۲۰۰۱). می توان از توابع مختلف کرنل برای ساخت انواع SVM- ϵ استفاده کرد. انواع توابع

¹ Support Vector Regression

² Genetic Expression Programming

³ Identification of unit Hydrographs And Component flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow data

⁴ Support Vector Mashine

کرنل قابل‌استفاده در مدل ماشین بردار پشتیبان رگرسیونی عبارت‌اند از: کرنل چندجمله‌ای با سه مشخصه هدف و کرنل خطی در مطالعات بارش-رواناب عمدتاً از مدل RBF^۱ استفاده می‌شود. کد نویسی این قسمت توسط زبان برنامه‌نویسی پایتون و کتابخانه اس-کی لیرن^۲ انجام شده است. در این پژوهش برای پیش‌بینی رواناب ماهیانه، داده‌های مشاهده‌ای از سال (۱۹۸۸-۲۰۱۷) مرتب شده است که ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد داده‌ها به‌عنوان آزمون در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که انتخاب داده‌های آموزش و آزمون در این روش تصادفی بوده است.

مدل بارش-رواناب آیهکرس

مدل آیهکرس از دو مدل غیرخطی کاهش(تلفات) و مدل خطی هیدروگراف واحد تشکیل می‌شود. از داده‌های مشاهده‌ای بارش، دما و رواناب حوضه در دوره پایه برای واسنجی مدل استفاده می‌شود، در ابتدا مدل آیهکرس برای منطقه مطالعاتی مورد واسنجی قرار می‌گیرد. برای این منظور از داده‌های مشاهده‌ای دما، بارش و دبی ماهانه دوره پایه(۱۹۸۸-۲۰۱۷) استفاده خواهد شد. پس از کالیبراسیون مدل، رواناب ماهانه حوضه برای دو دوره آینده با معرفی داده‌های دما و بارش اصلاح شده مدل‌های اقلیمی و برای سناریوهای مختلف پیش‌بینی می‌گردد و در پایان نتایج عملکرد مدل برای مدل‌های اقلیمی مختلف و سناریوهای متفاوت مورد بحث قرار می‌گیرد(خسروانیا، ۱۳۹۲).

برنامه‌ریزی ژنتیک

برنامه‌ریزی بیان ژن که در ادامه سیر تکاملی مدل‌های هوشمند به وجود آمده است، جزء روش‌های الگوریتم گردشی محسوب می‌شود که مبنای تمامی آن‌ها بر اساس نظریه تکامل داروین استوار است. مزیت برنامه‌ریزی بیان ژن نسبت به مدل‌های دیگر از جمله شبکه عصبی مصنوعی این است که در برنامه‌ریزی بیان ژن، ابتدا ساختار (متغیرهای ورودی، هدف و مجموع توابع) تعریف شده و سپس ساختار بهینه مدل و ضرایب طی فرایند آموزش تعیین می‌شوند، درحالی‌که در شبکه‌های عصبی، ابتدا باید ساختار تعیین شده، فقط ضرایب مدل طی فرایند آموزش حاصل می‌شوند. همچنین این الگوریتم به‌طور خودکار می‌تواند متغیرهای ورودی که در مدل بیش‌ترین تأثیر را دارند، انتخاب کند (سلگی و همکاران، ۱۳۹۶). در این پژوهش برای پیش‌بینی رواناب ماهیانه داده‌های مشاهده‌ای از سال (۱۹۸۸-۲۰۱۷) مرتب شده است که ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد داده‌ها برای آزمون در نظر گرفته شده است.

شبیه‌سازی منابع و مصارف حوضه آبریز جامیشان

نرم‌افزار ویپ بر اساس معادله پایه بیلان آبی (معادله ۷) عمل کرده و آن را می‌توان در سیستم‌های کشاورزی و شهری، سیستم رودخانه‌ای پیچیده یا حوضه‌های مستقل به کار گرفت. علاوه بر این، ویپ می‌تواند طیف گسترده‌ای از اجزای مهندسی و طبیعی سیستم‌ها، از جمله جریان پایه، بارش رواناب و تغذیه آب‌های زیرزمینی از بارش را شبیه‌سازی کند. از کاربردهای این مدل می‌توان به تجزیه و تحلیل حبابه‌ها و اولویت تخصیص، حفاظت از آب، بهره‌برداری از مخزن، روند یابی آلودگی و کیفیت آب، تولید انرژی برقایی، ارزیابی آسیب‌پذیری تقاضای منطقه‌ای و الزامات زیست‌محیطی اشاره کرد. مزیت اصلی مدل ویپ در رویکرد یکپارچه در شبیه‌سازی سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آن در راستای سیاست‌ها می‌باشد (فاطمی و همکاران، ۲۰۱۶).

$$St+1 = St + Qt - Et - Rt - Spill \quad (7)$$

در معادله بالا S_{t+1} حجم ذخیره در دوره $t+1$ و S_t ، Q_t ، E_t ، R_t و $Spill$ به ترتیب حجم ذخیره ابتدای دوره t ، جریان ورودی، میزان تبخیر خالص، حجم رهاسازی و سرریز در همان دوره می‌باشند. مدل ویپ بر اساس روش بهره‌برداری استاندارد SOP عمل می‌کند، در این روش خروجی تابعی از کل آب در دسترس است.

معیارهای ارزیابی مدل

به‌منظور مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌های مورد بررسی از پارامترهای میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای مطلق میانگین (MAE)، نش سائکلیف (MSE)^۴ و ضریب تبیین (R) استفاده شده است. فرمول‌های استفاده شده برای این پارامترها به شرح زیر می‌باشد:

¹ Radial Basis Function

² Sklearn

³ Root Mean Square Error

⁴ Mean Absolute Error

⁵ Mean Square Error

$$R = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 (O_i - \bar{O})^2}} \quad (8)$$

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \quad (9)$$

$$RMSE = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right)^{0.5} \quad (10)$$

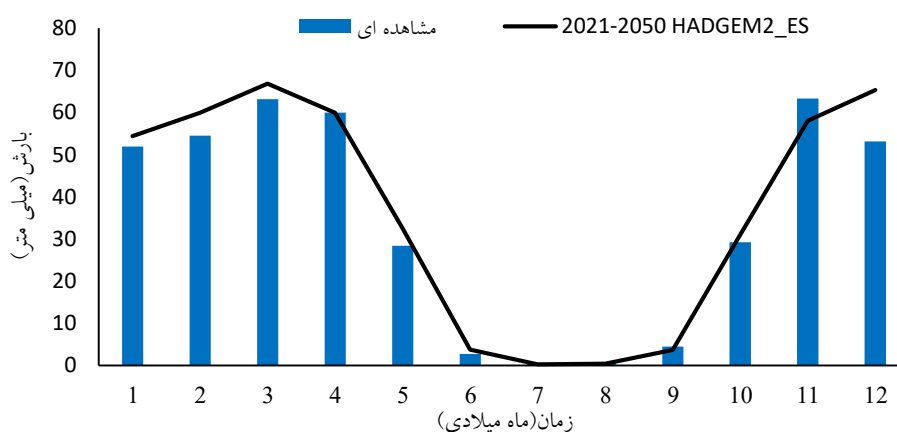
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \quad (11)$$

در این روابط، N تعداد داده‌ها، O_i مقادیر مشاهده‌ای، P_i مقادیر محاسباتی توسط مدل‌ها و \bar{O}_i و \bar{P} مقادیر متوسط مشاهده‌ای و محاسباتی توسط مدل می‌باشد.

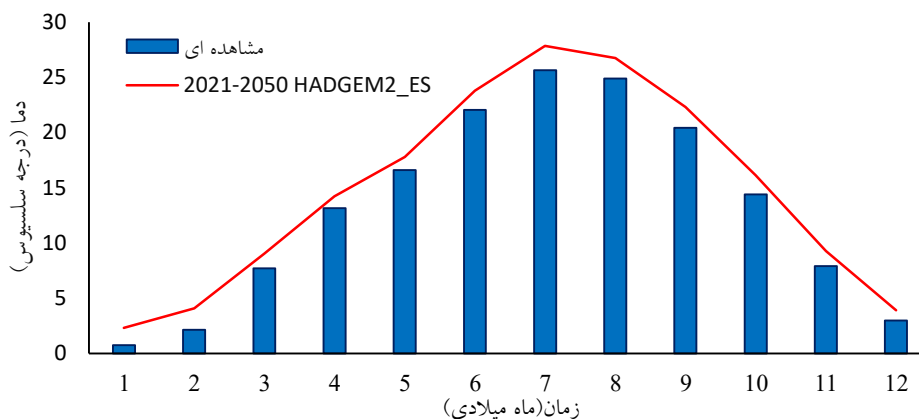
یافته‌ها

نتایج بارش و دمای پیش‌بینی شده مدل‌های اقلیمی

با استفاده از داده‌های بارش و دما در دوره پایه و خروجی مدل‌های گردش عمومی گزارش پنجم نتایج شبیه‌سازی پارامترهای بارش و دما بعد از ریزمقیاس سازی با استفاده از روش عامل تغییر برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ به ترتیب در شکل ۳ و ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۳. بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های اقلیمی تحت سناریو RCP8.5 در دوره آتی و مشاهده‌ای



شکل ۴. دما شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های اقلیمی تحت سناریو RCP8.5 در دوره آبی و مشاهده‌ای

در شکل ۳ نتایج بارش شبیه‌سازی در مدل اقلیمی HADGEM2_ES نشان می‌دهد تغییرات بارندگی در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ در مدل HADGEM2_ES در ماه سوم میلادی (مارس) دارای بیشترین بارندگی و در ماه هفتم میلادی (جولای) دارای کمترین بارش می‌باشد. همچنین میانگین درازمدت ماهانه بارش تحت سناریوی RCP8.5 در دوره آبی ۴/۶ درصد نسبت به دوره پایه افزایش داشته است. در شکل ۴ نتایج دمای شبیه‌سازی شده توسط مدل اقلیمی مورد استفاده برای شهرستان سنقر یک‌روند افزایشی را نشان می‌دهد به طوری که این افزایش دما نسبت به دوره پایه برابر با ۱۱/۴ درصد می‌باشد و این افزایش دما به طور میانگین برابر با ۱/۵ درجه سلسیوس می‌باشد. همچنین در این مدل، کمترین افزایش دما مربوط به ماه دوازدهم میلادی (دسامبر) و بیشترین افزایش دما مربوط به ماه هفتم میلادی (جولای) می‌باشد. نتایج افزایش دما با پژوهش بیشتر پژوهشگران در زمینه تغییر اقلیم تقریباً به اثبات رسیده است و این موضوع به صورت جهانی تأثیرگذار بوده و این افزایش دما با افزایش تبخیر و تعرق و افزایش نیاز آبی مصرف بیشتر آب را هشدار می‌دهد که در منطقه جامیشان نتایج با پژوهش حافظ پرست و همکاران (۱۳۹۶) و پناهی و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد. تغییرات بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم تاکنون در هیچ پژوهشی به صورت معنادار افزایشی یا کاهش‌ی نبوده و در هر منطقه متناسب با شرایط آن نتایج متفاوتی دارد.

پیش‌بینی دبی

نتایج کالیبراسیون و صحت‌سنجی و در نهایت پیش‌بینی حاصل از سه مدل برنامه‌ریزی بیان ژن، رگرسیون بردار پشتیبان و آیه‌کرس به ترتیب آورده شده است.

مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (کالیبراسیون و صحت‌سنجی)

در جدول ۴ مقدار پارامترهای برنامه‌ریزی ژنتیک جهت پیش‌بینی رواناب شامل اندازه سر، تعداد کروموزوم‌ها و... نمایش داده شده است. انتخاب این مقادیر به صورت دستی صورت گرفته و به صورت بازه‌ای با توجه به مطالعات قبلی این مدل در پیش‌بینی دبی انتخاب شده است و تا رسیدن به معیارهای خطای مناسب ادامه یافته است.

جدول ۴. مشخصات پارامترهای برنامه‌ریزی ژنتیک برای پیش‌بینی رواناب

تنظیمات عمومی	مقادیر	عوامل ژنتیک	مقادیر
تعداد کروموزوم‌ها	۴۲	سرعت جهش	۰/۰۴۳
اندازه سر	۸	سرعت وارونگی	۰/۱
تعداد ژن‌ها	۵	سرعت تلاقی با یک نقطه	۰/۲
تعداد تولید جمعیت	۱۰۰۰	سرعت تلاقی با دو نقطه	۰/۲
تابع ارتباط‌دهنده	جمع (+)	سرعت تلاقی ژن	۰/۲
معیار خطای تابع برازش	R	سرعت جابه‌جایی	۰/۱

در جدول ۵ مقدار R، RMSE و MAE برای مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دقت مدل GEP در مرحله صحت سنجی $R=0.7$ و در مرحله واسنجی $R=0.62$ می‌باشد.

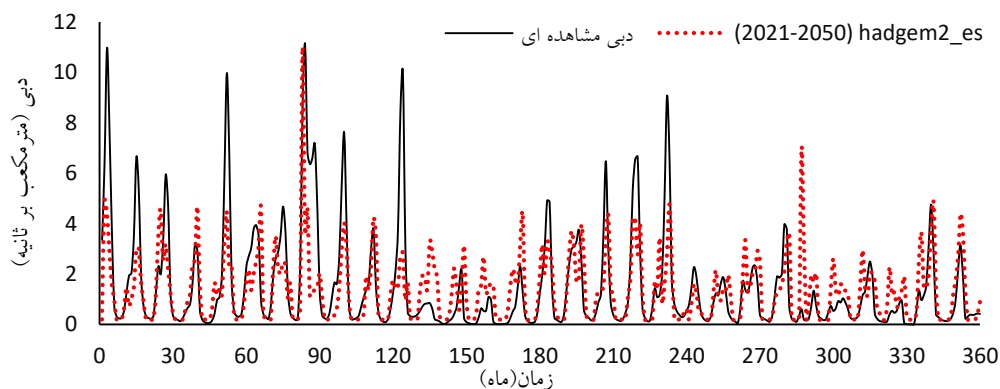
جدول ۵. ضرایب آماری مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در دوره آموزش و آزمون

HADGEM2_ES	شاخص	کالیبراسیون و صحت سنجی
۰/۷	R	آموزش
۰/۰۱	MSE	
۰/۱	RMSE	
۱/۰۹	MAE	
۰/۶۲	R	آزمون
۰/۴۶	MSE	
۰/۶۸	RMSE	
۱/۰۷	MAE	

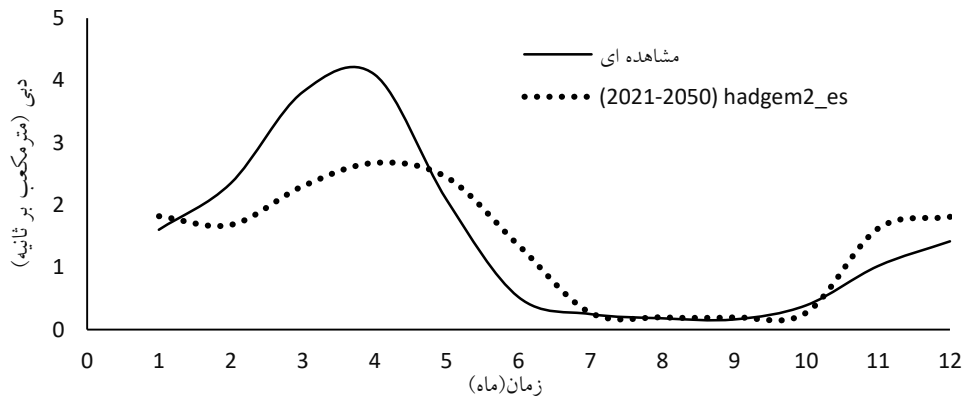
در مدل بیان ژن با ثابت نگاه‌داشتن ضرایب در قسمت صحت‌سنجی و با اطمینان به ضرایب خطا، پیش‌بینی برای دوره آتی صورت گرفته است. مقادیر پیش‌بینی برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ در مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای در شکل ۷ و ۸ ارائه شده است.

پیش‌بینی رواناب حاصل از مدل GEP

با استخراج مقادیر رواناب پیش‌بینی‌شده توسط مدل اقلیمی ذکرشده، و مقایسه آن با رواناب مشاهداتی نمودارهای مربوط به صورت زیر ترسیم شده است.



شکل ۵. سری زمانی ماهانه دبی مشاهده‌ای و پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی در GEP



شکل ۶. میانگین درازمدت دبی مشاهده‌ای و پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی در GEP

مقدار پیش‌بینی دبی ماهیانه (نمودار قرمز) در مقایسه با مقدار مشاهداتی (نمودار مشکی) برای مدل HADGEM2_ES تحت سناریو RCP8.5 روند کاهشی دارد، که این کاهش برابر با ۷ درصد می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در شکل ۶ دبی در ماه‌های پیک کاهش می‌یابد که این کاهش برابر ۳۴/۷ درصد می‌باشد و بیشترین و کمترین تغییر رواناب به ترتیب در ماه چهارم (ماه آوریل) و ماه هشتم (ماه اوت) صورت گرفته است.

رگرسیون ماشین بردار پشتیبان (کالیبراسیون و صحت‌سنجی)

پارامترهای این مدل در بازه‌های مختلف تغییر داده شد و بهترین پارامترها در جدول ۶ مشخص شده است.

جدول ۶. مشخصات پارامترهای روش رگرسیون ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی رواناب

پارامتر	مقدار
C	۱۰
GAMMA	۲
EPSILON	۲
معیار خطای تابع برازش	R

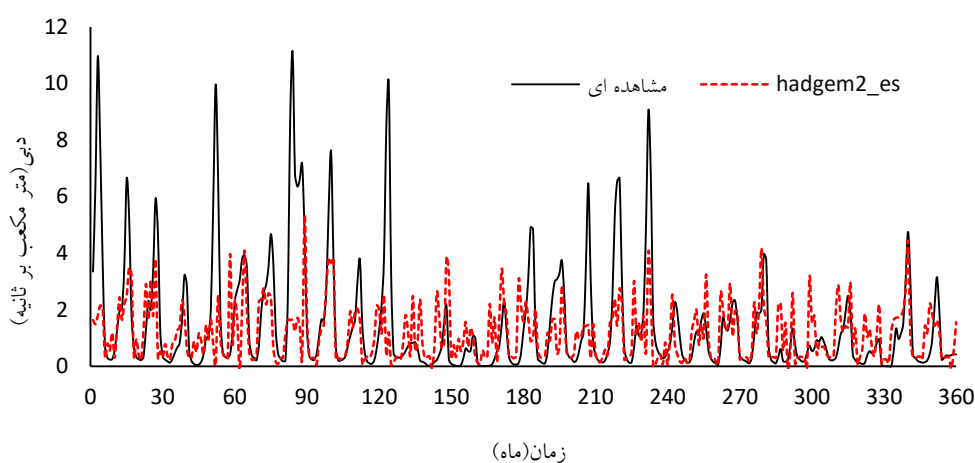
در جدول ۶ مقادیر پارامترهای C، GAMMA، EPSILON و معیار خطای تابع برازش در روش رگرسیون ماشین بردار پشتیبان جهت پیش‌بینی رواناب نمایش داده شده است. در جدول ۷ مقدار R، RMSE و MAE برای روش رگرسیون بردار پشتیبان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دقت روش رگرسیون بردار پشتیبان در مرحله صحت‌سنجی $R=0.75$ و در مرحله واسنجی $R=0.63$ می‌باشد.

پیش‌بینی دبی با روش رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)

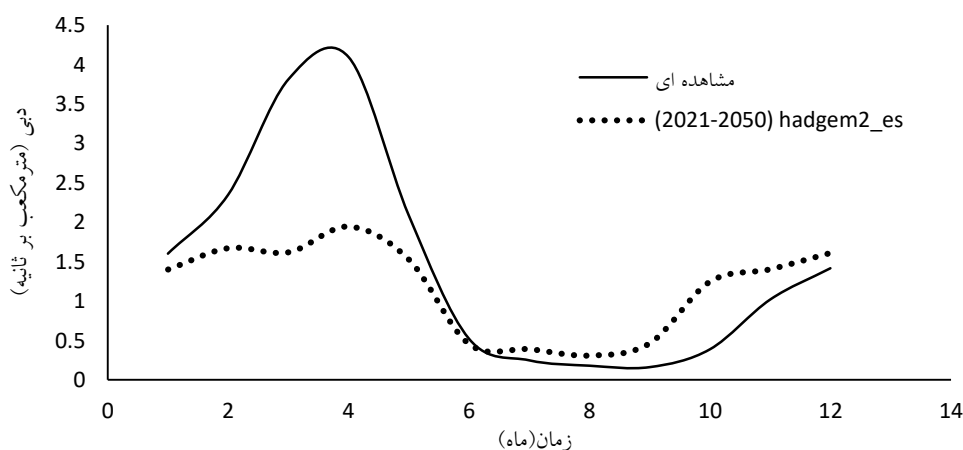
در روش رگرسیون بردار پشتیبان با ثابت نگاه‌داشتن ضرایب در قسمت صحت‌سنجی و با اطمینان به ضرایب خطا، پیش‌بینی برای دوره آبی صورت گرفته است. در شکل ۷ و ۸ تغییرات دبی ماهانه برای مدل‌های اقلیمی آینده و نیز دبی مشاهده‌ای نشان داده شده است.

جدول ۷. ضرایب آماری روش رگرسیون ماشین بردار پشتیبان در دوره آموزش و آزمون

HADGEM2_ES	شاخص	کالیبراسیون و صحت سنجی
۰/۷۵	R	آموزش
۰/۰۱	MSE	
۰/۱۲	RMSE	
۱/۳۵	MAE	
۰/۶۳	R	آزمون
۰/۸۸	MSE	
۰/۹۴	RMSE	
۰/۶۲	MAE	



شکل ۷. سری زمانی دبی مشاهده‌ای و پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی در SVR



شکل ۸. میانگین درازمدت دبی مشاهده‌ای و پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی در SVR

رواناب پیش‌بینی شده در مدل HADGEM2_ES تحت سناریوی RCP8.5 نیز روند کاهشی به میزان ۲۱/۶ درصد دارا می‌باشد که این روند کاهشی در پیک‌ها بیشتر است. رواناب پیش‌بینی شده در ۶ ماه اول سال میلادی (ماه‌های ژانویه تا ژوئیه) کمتر از میزان رواناب مشاهده‌ای و در ۶ ماه آخر سال میلادی (ماه‌های جولای تا دسامبر) بیشتر از میزان رواناب مشاهده‌ای است. همچنین در مدل فوق، ماه‌های پیک رواناب پیش‌بینی شده در مقایسه با رواناب مشاهده‌ای با کاهش چشمگیری مواجه شده است. در این مدل تخمین دقیقی برای اوج حاصل نشده است به طوری که دبی پیک برابر با ۱/۹۴ می‌باشد که در مقایسه با رواناب مشاهده‌ای ۵۵ درصد کاهش داشته است.

پیش‌بینی دبی با مدل آیهکرس

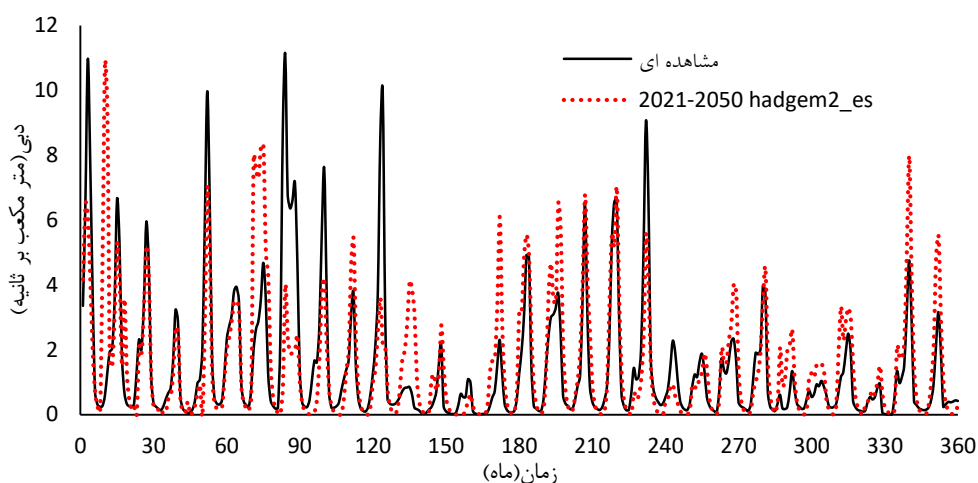
برای واسنجی مدل سال‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داد که دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۶ با ضریب همبستگی (R) و معیارهای خطای ارائه‌شده، بهترین عملکرد را داشته است. پس از واسنجی مدل و کالیبره کردن پارامترهای مدل بارش-رواناب، دوره ۱۹۹۵-۱۹۸۸ برای صحت‌سنجی مدل انتخاب گردید. در جدول ۸ پارامترهای کالیبره مدل آیهکرس نمایش داده شده است. در جدول ۹ مقدار پارامترهای MAE و RMSE و R برای مدل بارش-رواناب آیهکرس نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دقت مدل در مرحله صحت‌سنجی $R=0.778$ و در مرحله واسنجی $R=0.776$ می‌باشد. پس از کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل آیهکرس و قابل قبول بودن معیارهای خطا در این مدل پیش‌بینی دبی در دوره آتی ۲۰۲۱-۲۰۵۰ برای مدل اقلیمی ذکر شده انجام شده و مقایسه نتایج آن با دبی مشاهده‌ای در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۸. ضرایب کالیبراسیون مدل آیهکرس

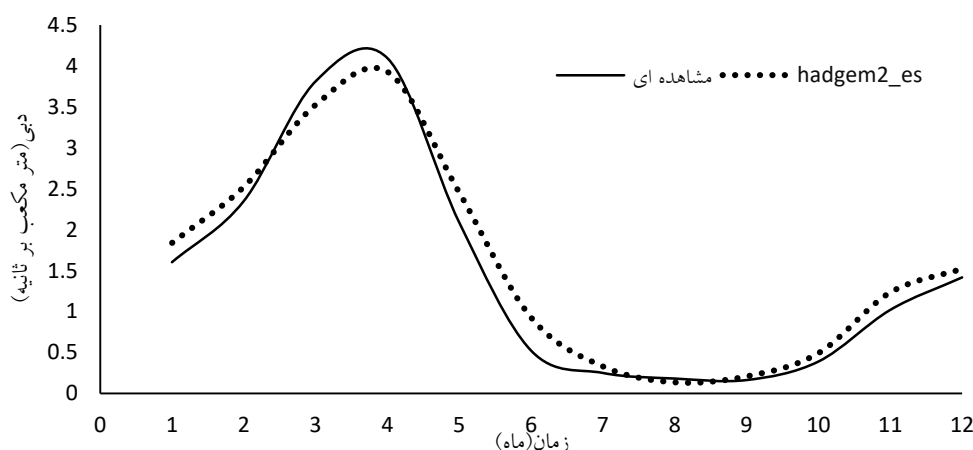
پارامتر	مقادیر بهینه	پارامتر	مقادیر بهینه
ضریب خشکیدگی a(s)	-۰/۶۹۸	زمان خشک شدن T(W)	۴۸
ظرفیت ذخیره رطوبت (C)	۰/۰۰۰۰۴۷	ضریب حرارت حوضه (F)	۴
شاخص بیک B(s)	۰/۳۰۹	ضریب آستانه رطوبت (I)	۰
کاهش جریان آهسته T(s)	۲/۷۵۵	شدت رطوبت خاک (P)	۱
نسبت حجم V(s)	۱		

جدول ۹: ضرایب آماری مدل بارش-رواناب آیهکرس در دوره آموزش و آزمون

FLO_ESM	شاخص	کالیبراسیون و صحت‌سنجی
۰/۷۷۸	R	آموزش
۰/۰۰۶	MSE	
۰/۰۸	RMSE	
۰/۸۱	MAE	
۰/۷۷۶	R	آزمون
۰/۲۱	MSE	
۰/۴۶	RMSE	
۰/۳	MAE	



شکل ۹. سری زمانی ماهانه دبی مشاهده‌ای و پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی در آبهکرس

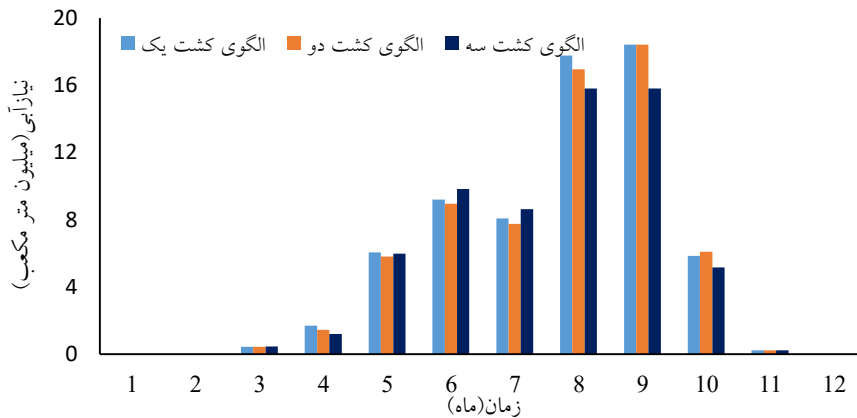


شکل ۱۰. میانگین درازمدت دبی مشاهده‌ای و پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی در آبهکرس

در شکل ۹ نمودار پیش‌بینی دبی ماهیانه در مقایسه با دبی مشاهده‌ای در مدل آبهکرس نمایش داده شده است. نتایج کلی حاکی از آن است که در مدل اقلیمی فوق تحت سناریوی RCP8.5 به‌طور کلی انطباق خوبی بین رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد. در شکل ۱۰ میانگین درازمدت دبی مشاهده‌ای و پیش‌بینی مدل اقلیمی فوق را نمایش داده است که نتایج نشان می‌دهد مدل آبهکرس به‌خوبی زمان وقوع دبی اوج را شبیه‌سازی کرده است. دبی پیش‌بینی شده برای دوره آبی در این روش نیز روند کاهشی را نشان می‌دهد که این کاهش برابر با ۱ درصد می‌باشد. در مدل ذکر شده رواناب پیش‌بینی شده جز در ماه ۶ میلادی (ماه ژوئیه)، در بقیه ماه‌ها مقدار آن کمتر از دبی مشاهده‌ای است. همچنین در ماه‌های پیک، رواناب پیش‌بینی شده در مقایسه با رواناب مشاهده‌ای با کاهش همراه شده است که این کاهش برابر با ۷ درصد می‌باشد. در این بخش دبی پیش‌بینی شده برای دوره آبی با سه روش مختلف محاسبه گردید و با مقایسه رواناب شبیه‌سازی شده در دو مدل برنامه ریزی بیان ژن و رگرسیون بردار پشتیبان مشاهده می‌شود که دقت ماشین بردار پشتیبان نسبت به مدل برنامه‌ریزی بیان ژن بیشتر است که نتایج حاصل با نتایج سلگی و همکاران (۲۰۱۷) و احمدی و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مدل رگرسیون بردار پشتیبان به ترتیب نسبت به دو مدل آبهکرس و برنامه ریزی بیان ژن در شبیه‌سازی مقادیر دبی اوج از دقت کمتری برخوردار است به‌طوری‌که با افزایش میزان جریان به‌طور میانگین ۴۷ درصد کاهش می‌یابد که این تغییر در میزان دبی با نتایج رحیمی و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد.

برآورد نیاز آبیاری کشاورزی در مدل

در این پژوهش جهت برآورد نیاز آبی محصولات منطقه از نرم‌افزار کراپ وات استفاده شده است. شکل ۱۱ نتایج برآورد نیاز آبیاری را برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نمایش می‌دهد.

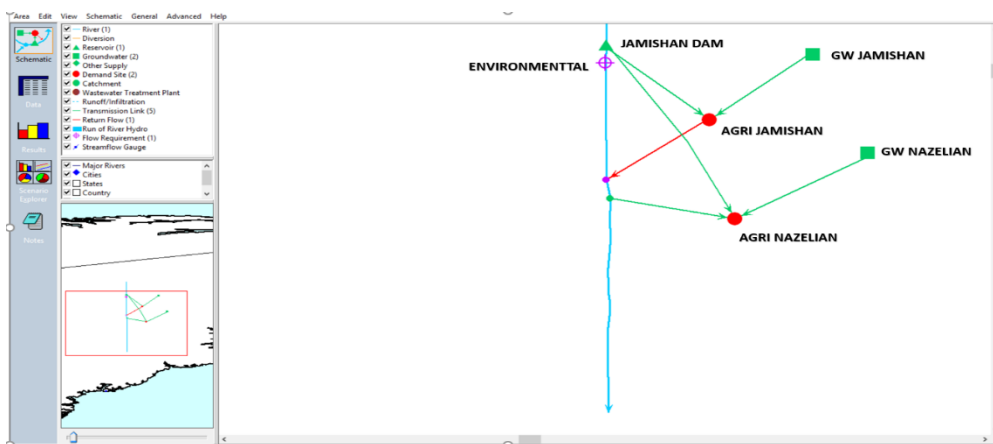


شکل ۱۱. نیاز آبی محصولات زراعی در الگوهای مختلف کشت

شکل ۱۱ نتایج برآورد نیاز آبیاری را برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نشان می‌دهد که مقدار نیاز آبی الگوی کشت یک بیشترین مقدار و معادل ۶۷/۷۹ میلیون مترمکعب در سال و کمترین نیاز آبی متعلق به الگوی کشت سه معادل ۶۳/۱۵ میلیون مترمکعب در سال است. نیاز آبی در ماه‌های هشت و نه بیشترین مقدار و متوسط تا ۱۸ میلیون مترمکعب می‌رسد از طرفی این ماه‌ها جزء کم بارش ترین ماه‌های سال و نیز پرمصرف‌ترین است و مسلماً مدیریت بهره‌برداری از سد می‌تواند نقش بسزایی در تأمین نیازها به‌خصوص نیاز کشاورزی و حفظ راندمان تولید کشاورزان داشته باشد. این موارد با نتایج پناهی و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد. نیازهای آبی محاسبه‌شده در نرم‌افزار کراپ وات در مدل ویپ وارد شده و نیز آبدی‌های پیش‌بینی‌شده از هر مدل بارش رواناب سناریوهای مختلف مدیریتی ایجاد می‌کنند.

نتایج شبیه‌سازی در مدل ویپ برای حوضه جامیشان

به‌منظور تأمین نیازهای پایین‌دست سد جامیشان، شبیه‌سازی منابع و مصارف این سد در مدل ویپ با الگوهای کشت مختلف انجام شد. منابع آب این حوضه آبریز شامل منابع آب زیرزمینی جامیشان و نازلین با حداکثر برداشت مجاز ۲۴ و ۸ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. مصارف آبی حوضه شامل شبکه آبیاری جامیشان، شبکه آبیاری نازلین و نیاز زیست‌محیطی رودخانه با میانگین ۰/۹۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. اولویت تأمین برای نیاز کشاورزی جامیشان به ترتیب از آب زیرزمینی، سد جامیشان و آب برگشتی شبکه جامیشان و برای نیاز زیست‌محیطی از سد جامیشان می‌باشد. شماتیک منابع و مصارف حوضه جامیشان در شکل ۱۲ نشان داده‌شده است.

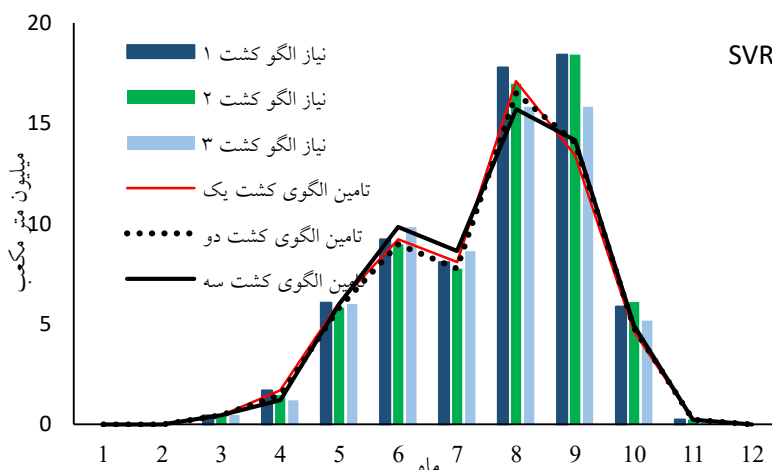
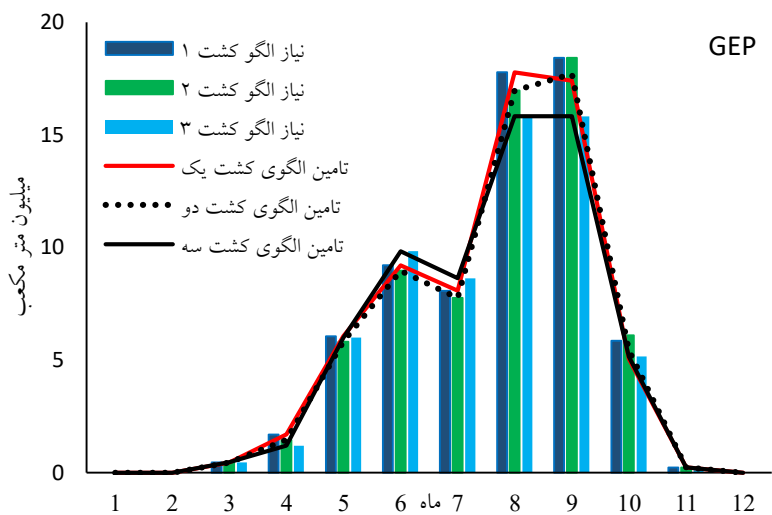


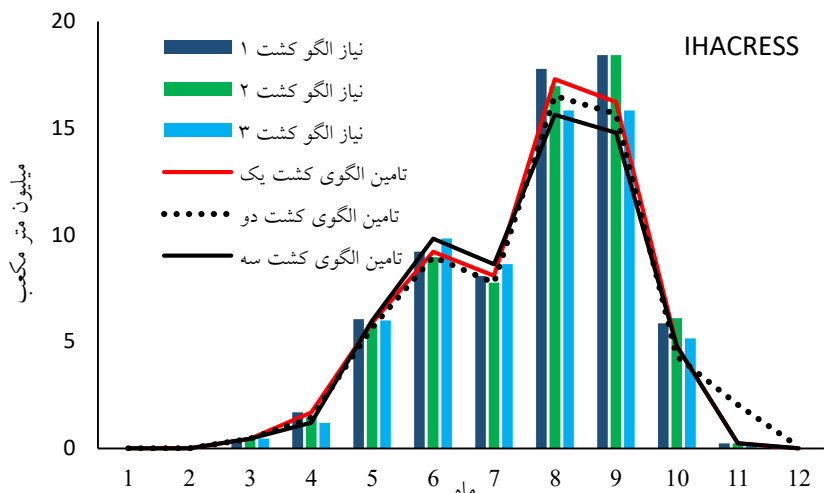
شکل ۱۲. شماتیک منابع و مصارف حوضه

تأمین نیازهای کشاورزی

در مدل ویپ برای جریان رودخانه به‌عنوان منبع آب سطحی از خروجی‌های مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده گردید. در شکل ۱۳ نتایج تأمین نیازهای کشاورزی منطقه در هر مدل نشان داده‌شده است که بیشترین تأمین مربوط به الگوی کشت سه (الگوی کشت با بیشترین

میزان درآمد) و کمترین تأمین مربوط به الگوی کشت یک (الگو کشت در شرایط موجود) می‌باشد. همچنین بیش‌ترین کمبود مربوط به الگوی کشت یک و کمترین کمبود مربوط به الگوی کشت سه می‌باشد. در صورتی که از الگوی کشت یک استفاده شود، به ترتیب در مدل رگرسیون بردار پشتیبان، آپهکرس و برنامه ریزی بیان ژن به ترتیب با ۳۰، ۲۸/۳ و ۲۶/۷ درصد کمبود مواجه هستیم. دلیل اینکه در مدل رگرسیون بردار پشتیبان مقدار تأمین کمترین مقدار است زیرا مقدار آبدهی پیش‌بینی‌شده در این مدل نسبت به دو روش دیگر کمتر است. با توجه به این موضوع می‌باید در جهت تغییر الگوی کشت موجود و بهینه‌سازی آن در جهت مصرف کمتر آب و درآمد بیشتر اقداماتی صورت پذیرد. نتایج بهینه‌سازی الگوی کشت با نتایج (عوض یار و همکاران، ۱۳۹۷) به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش درآمد کشاورزان و همچنین (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸) و (امامی فر و همکاران، ۱۳۹۹) در بهینه‌سازی الگوی کشت و استفاده بهینه از آب و اثرات آن بر محیط مطابقت دارد.

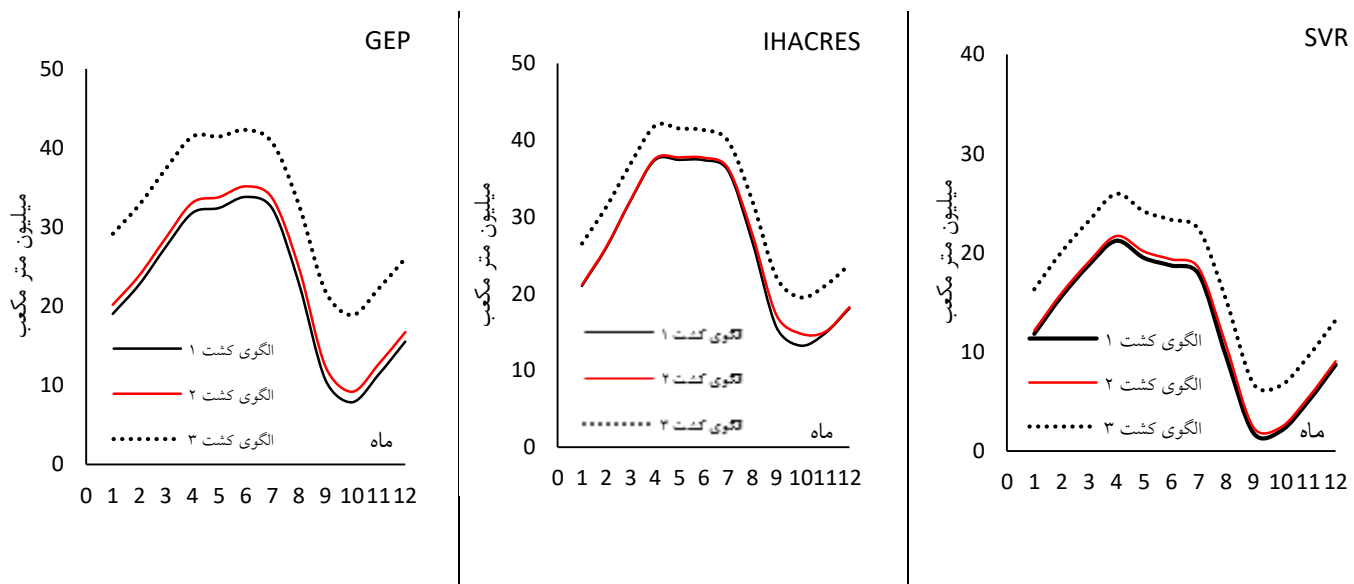




شکل ۱۳: مقایسه میزان تأمین آب شبکه آبیاری جامیشان در مدل ویپ حاصل از رواناب‌های تولیدشده در مدل‌های SVR و آیهکرس و GEP

تغییرات حجم مخزن

یکی از مهم‌ترین مواردی که در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع و مصارف در حوضه آبریز دارای اهمیت است، تغییرات حجم مخزن پس از شبیه‌سازی در هر سناریو و یا گزینه است. در این پژوهش مدیریت منابع و مصارف در مدل ویپ برای ارزیابی سه الگوی کشت متفاوت و سه نوع آبدهی متفاوت که حاصل از مدل‌های هیدرولوژیکی مختلف است، در نظر گرفته شده است. در این راستا شکل ۱۴ تغییرات حجم مخزن در هر الگوی کشت و هر مدل هیدرولوژیکی را نشان می‌دهند. مشاهده می‌شود در هر سه مدل رگرسیون بردار پشتیبان، برنامه ریزی بیان ژن و آیهکرس در صورتی که از الگوی کشت (۱) استفاده شود، حجم مخزن بیشتر از حالتی است که از الگوی کشت (۲) و (۳) استفاده شده است. با توجه به اینکه الگوی کشت یک بیشترین نیاز آبی را به خود اختصاص داده است، بنابراین بیشترین حجم مخزن مربوط به این حالت می‌باشد. همچنین الگوی کشت سه دارای کمترین نیاز آبی می‌باشد بنابراین حجم مخزن در این حالت نسبت به دو الگوی کشت دیگر کمتر می‌باشد که با نتایج سلیمی و همکاران (۱۳۹۸) و پناهی و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد.



شکل ۱۴: تغییرات بلندمدت ماهانه حجم مخزن تحت سناریوهای تغییر الگوی کشت در مدل‌های هیدرولوژیکی

بحث

امروزه پیشرفت فناوری، شهرنشینی، افزایش گازهای گلخانه‌ای سبب تغییر شرایط اقلیمی در سراسر جهان شده است. همچنین با توجه به افزایش جمعیت، کمبود و محدودیت شدید در منابع آب یکی از راه‌های اساسی برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، شبیه‌سازی و تغییر الگوی کشت می‌باشد. هدف از این تحقیق، بررسی و مقایسه میزان تأثیر تغییر اقلیم بر دبی با استفاده از سه مدل برنامه ریزی بیان ژن، رگرسیون بردار پشتیبان و آیهکرس به منظور مدل‌سازی سیستم منابع و مصرف آبی منطقه می‌باشد. بدین منظور ابتدا منابع و مصارف و محل تأمین نیازها شناسایی شده و سپس با استفاده از مدل شبیه‌سازی ویپ مدل‌سازی شد. در این پژوهش مقادیر ماهیانه بارش، دما و دبی سد جامیشان در سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۸۸ به‌عنوان دوره پایه در نظر گرفته شد و با استفاده از سه مدل فوق به مقایسه و بررسی میزان رواناب در دوره آتی ۲۰۲۱-۲۰۵۰ با استفاده از مدل HADGEM2_ES تحت سناریوی RCP8.5 پرداخته شد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاکی از افزایش دمای بین ۰/۱ تا ۱/۴ درجه سلسیوس در دو مدل مذکور می‌باشد که این افزایش دما با نتایج حافظ پرست و همکاران (۱۳۹۶) مطابقت دارد. با مقایسه رواناب شبیه‌سازی شده در دو مدل برنامه ریزی بیان ژن و رگرسیون بردار پشتیبان مشاهده می‌شود که دقت ماشین بردار پشتیبان نسبت به مدل برنامه‌ریزی بیان ژن بیشتر است که نتایج حاصل با نتایج سلگی و همکاران (۲۰۱۷) و احمدی و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که مدل رگرسیون بردار پشتیبان به ترتیب نسبت به دو مدل آیهکرس و برنامه ریزی بیان ژن در شبیه‌سازی مقادیر دبی اوج از دقت کمتری برخوردار است به طوری که با افزایش میزان جریان به‌طور میانگین ۴۷ درصد کاهش می‌یابد که این تغییر در میزان دبی با نتایج رحیمی و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد در این پژوهش به ترتیب آیهکرس، برنامه ریزی بیان ژن و رگرسیون بردار پشتیبان از دقت مطلوبی برخوردار هستند. برای مدیریت منابع آب در دوره‌های آتی با داشتن سه الگو کشت متفاوت مقادیر نیاز و تأمین به‌دست آمده است. مدل‌سازی و مصارف آب نشان داد که با شبیه‌سازی در ویپ در مدل رگرسیون بردار پشتیبان بیشترین کمبود مربوط به الگوی کشت یک با ۳۰ درصد و کمترین کمبود مربوط به مدل برنامه ریزی بیان ژن در الگوی کشت سه با ۲۴/۶ درصد می‌باشد. همچنین بیشترین میزان پر بودن مخزن مربوط به الگوی کشت سه در مدل آیهکرس و برابر با ۱۳/۶ درصد و بیشترین میزان خالی بودن مخزن مربوط به الگوی کشت یک در مدل رگرسیون بردار پشتیبان و برابر با ۱۰/۵ درصد می‌باشد. به‌طور کلی شبیه‌سازی در مدل ویپ تحت سناریو تغییر اقلیم نشان داد که در دوره آتی با کمبود در تأمین نیازها مواجه هستیم که این کمبود با نتایج مالیر و همکاران (۱۳۹۵) و قندهاری و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد. توانایی مدل ویپ در جهت مدل‌سازی استراتژی‌ها و برآورد آن‌ها در دوره‌ای زمانی بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت با پژوهش شو و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

تقدیر و تشکر

در پایان از سازمان هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه که اطلاعات موردنیاز این پژوهش را در اختیار نویسندگان قرار دادند، سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

- احمدی، فرشاد، رادمنش، فریدون، و میر عباسی، رسول (۱۳۹۵). مقایسه عملکرد روش‌های ماشین بردار پشتیبانی و شبکه‌های تجاری در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه باراندوزچای). مجله تحقیقات حفاظت از خاک و آب، ۲۲(۶)، ۱۸۶-۱۸۶
- <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222069.1394.22.6.10.2.171>
- اداره کل امور آب استان کرمانشاه. (۱۳۸۳). مطالعه مرحله اول سد مخزنی جامیشان. نیازها، برنامه‌ریزی منابع آب و بهسازی سد و شبکه، وزارت نیرو، آب منطقه‌ای غرب.
- پناهی، الهه. (۱۳۹۴). مدیریت یکپارچه منابع آب حوضه آبریز از نظر تغییر اقلیم (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
- پورخیرالله، زهره، حافظ پرست، مریم، و فاطمی، سید احسان. (۱۳۹۶). تغییر در پارامترهای بارش، دما و دبی تحت سناریوی تابش باعث تابش (منطقه مورد مطالعه: شهر دهلران). دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
- <https://civilica.com/doc/661416>

- پورمحمدی، سمانه، دستورانی، محمد تقی، مساح بوانی، علیرضا، و جعفری، هادی. (۱۳۹۴). بررسی اثرات تغییر اقلیم و باروری ابرها بر رواناب رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه قلقل رود حوضه آبریز تویسرکان)، دهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز. <https://civilica.com/doc/677149>
- حافظ پرست، مریم، بافکار، علی، و پناهی، الهه. (۱۳۹۵). ارزیابی عدم قطعیت تغییر اقلیم و اثرات آن بر احتمال تواتر آبدهی ورودی سد جامیشان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی - پژوهشی)، ۳۶(۳)، ۱۹-۴۲. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22517480.1396.6.3.2.3>
- رحیمی، بنفشه، و حافظ پرست، مریم. (۱۳۹۹). مقایسه مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان، برنامه‌ریزی بیان ژن و آیه‌کرس در پیش‌بینی تغییرات رواناب تحت تاثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: سد جامیشان). تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱(۱۰)، ۲۴۸۳-۲۴۹۹. <https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2020.303779.668640>
- رحیمی، بنفشه، و حافظ پرست مودت، مریم. (۱۳۹۹). بررسی مدل IHACRES در پیش‌بینی رواناب ناشی از مدل‌های اقلیمی گزارش پنجم (مطالعه موردی: سد جامیشان)، اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در صنعت آب و برق، کرمانشاه. <https://civilica.com/doc/1202087>
- سلگی، اباذر، زارعی، حیدر، شهینی دارابی، مهرنوش، علیدادی ده کهنه، صابر. (۱۳۹۷). کاربرد مدل‌های برنامه‌ریزی بیان ژن و ماشین بردار رگرسیونی جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش ماهانه. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۵۰)، ۹۱-۱۰۳. <http://dx.doi.org/10.29252/jgs.18.50.91>
- سلیمی مستعلی، فاطمه، حافظ پرست، مریم، و سرگردی، فرهنگ، (۱۳۹۹). شبیه‌سازی و بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد تحت سناریوی تغییر الگوی کشت (مطالعه موردی: سد هرسین). تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱(۱)، ۱-۱۲. <https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2019.282440.668221>
- عوض یار، محمدرضا، احمد پور برازجانی، محمود، و ضیایی، سامان. (۱۳۹۸). تعیین الگوی مطلوب محصول با تأکید برافزایش کارایی آبیاری در زمین‌های سد ملاصدرا در استان فارس. فصلنامه علمی- پژوهشی مهندسی منابع آب، ۱۱(۳۶)، ۲۱-۳۲. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086377.1397.11.36.3.4>
- فاطمی، سید احسان، بهراملو، علی، و ادیب راد، محمدحسین. (۱۳۹۵). سرمایه‌گذاری راه‌حل‌های سازنده و غیر ساختاری برای مدیریت پایدار منابع وات در دشت همدان. جغرافیا و پایداری محیط‌زیست، ۳۶(۳)، ۵۵-۶۷. https://ges.razi.ac.ir/article_631.html
- کلبعلی، الهام، ضیائی، سمان، مردانی نجف‌آبادی، مصطفی، و ذاکری نیا، مهدی. (۱۳۹۸). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی بهینه کشت محصولات زراعی: مطالعه موردی حوضه قره‌سو استان گلستان. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۳)، ۲۷۱-۲۵۱. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.3.20.1>
- لطفی راد، مرتضی، ادیب، آرش، و حقیقی، علی. (۱۳۹۷). برآورد رواناب روزانه با کمک مدل نیمه مفهومی آیه‌کرس در حوضه آبریز نارود گیلان. نشریه اکوهیدرولوژی، ۲(۵)، ۴۶۰-۴۴۹. <https://dx.doi.org/10.22059/ije.2017.234237.614>
- محمدی، حمید، سرگازی، علیرضا، سارانی، ولی اله. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر افزایش کارایی مصرف آب در تغییر الگوی محصولات زراعی با تأکید بر سیاست‌گذاران و اهداف زیست‌محیطی در استان فارس. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۱(۱۰)، ۱۶۰-۱۴۷. <http://dx.doi.org/10.22034/JEST.2019.15616>
- منصوری، افشین، امین نژاد، بابک، و احمدی، حسن. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر رواناب به مخزن کارون ۴ بر اساس گزارش‌های چهارم و پنجم IPCC. مجله علوم خاک و آب، ۲۲(۲)، ۳۴۵-۳۵۹. <http://dx.doi.org/10.29252/jstnar.22.2.345>
- نبی زاده، مرتضی، مساعدی، ابوالفضل، و دهقانی، امیراحمد. (۱۳۹۱). تخمین هوشمند جریان جریان توسط سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی. مجله مدیریت آب و آبیاری، ۲(۱)، ۸۰-۶۹. <https://dx.doi.org/10.22059/jwim.2012.25093>

References

- Ahmadi, F., Radmanesh, F., & Mirabbasi, R. (2016). Comparison of the performance of support vector machine methods and business networks in predicting daily river flow (Case study: Barandozchay River). *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 22 (6), 186-171. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222069.1394.22.6.10.2> [In Persian]
- Avaz yar, M., Ahmadpour Borazjani, M., & zyaei, S. (2018). Determine optimal crop pattern with an emphasis on increasing the irrigation efficiency in lands of Mollasadra Dam in Fars province. *Water*

- Resources Engineering, 11(36), 21-32. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086377.1397.11.36.3.4> [In Persian]
- Dibike, Y.B., Velickov, S., Solomatine, D.P., & Abbott, M.B. (2001). Model induction with support vector machines: introduction and applications. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 15(3), 208-216. [https://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2001\)15:3\(208\)](https://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2001)15:3(208))
- Fatemi, S.E., Bahramloo, ali & Adebrad, M.H. (2016). Studying the Structural and Non-structural Solutions for Sustainable Water Resources Management of Hamedan-Bahar Plain. *Geography and Environmental Sustainability*, 6(3), 55-67. https://ges.razi.ac.ir/article_631.html [In Persian]
- General Department of Water Affairs of Kermanshah Province. (2004). Study of the first stage of Jamishan reservoir dam. Needs, water resources planning and dam and network improvement, Ministry of Energy, Western Regional Water. [In Persian]
- Hafezparast, M., Bafkar, A., & Panahi, E. (2016). Assessing the uncertainty of climate change and its effects on the likelihood of frequent flooding of the entrance to the Jamishan Dam. *Journal of Water and Soil Conservation*, 6(3), 19-42. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22517480.1396.6.3.2.3> [In Persian]
- He, Z., Wen, X., Liu, H., & Du, J. (2014). A comparative study of artificial neural network, adaptive neuro fuzzy inference system and support vector machine for forecasting river flow in the semiarid mountain region. *Journal of Hydrology*, 509, 379-386. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.054>
- IPCC. (2001). The Scientific Basis of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
- Jakeman, A.J., & Hornberger, G.M. (1993). How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model. *Water Resources Research*, 29(8), 2637-2649. <https://doi.org/10.1029/93WR00877>
- Karmaoui, A., Minucci, G., Messouli, M., Khebiza, M. Y., Ifaadassan, I., & Babqiqi, A., (2019). Climate Change Impacts on Water Supply System of the Middle Draa Valley in South Morocco. Published in *Climate Change, Food Security and Natural Resource Management*, Springer.
- Kalbali, E., Ziaee, S., Mardani Najafabadi, M., & Zakerinia, M. (2019). Assessment of Climate Change Impacts on Optimum Cropping Pattern: A Case Study of Ghareso Basin in Golestan Province. *Iran-Water Resources Research*, 15(3), 251-271. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.3.20.1> [In Persian]
- Lotfirad, M., Adib, A., & Haghighi, A. (2018). Estimation of daily runoff using of the semi- conceptual rainfall-runoff IHACRES model in the Navrood watershed (a watershed in the Gilan province. *Iranian journal of Ecohydrology*, 5(2), 449-460. <https://dx.doi.org/10.22059/ije.2017.234237.614> [In Persian]
- Mansouri, A., Aminnejad, B., & Ahmadi, H. (2018). Investigating the Effect of Climate Change on Inflow Runoff into the Karun-4 Dam Based on IPCC's Fourth and Fifth Report. *JWSS*, 22 (2) ,345-359. <http://dx.doi.org/10.29252/jstnar.22.2.345> [In Persian]
- Mohammadi, H., Sargazi, A., & Sarani, V. (2019). Studying Impact of Increase in Water Usage Efficiency on Cropping Pattern Change with Emphasis on the Policy Makers and Environmental Objectives in Fars Province. *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(10), 147-160. <http://dx.doi.org/10.22034/JEST.2019.15616> [In Persian]
- Mohie, E. D. O., & Moussa. A. (2016) Water Management in Egypt for Facing the Future Challenges. *Advanced Research*, 7(3), 403-412. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2016.02.005>
- Momblanch, A., Beevers, L., Srinivasalu, P., & Kulkarni, A. (2020). Enhancing production and flow of freshwater ecosystem services in a managed Himalayan river system under uncertain future climate. *Climatic change*, 162, 343-361. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02795-2>
- Nabizadeh, M., Mosaedi, A., & Dehghani, A. (2012). Intelligent estimation of stream flow by Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. *Water and Irrigation Management*, 2(1), 69-80. <https://dx.doi.org/10.22059/jwim.2012.25093> [In Persian]
- Panahi, E. (2015). Integrated water resources management of the catchment area in terms of climate change (B. SC. Thesis), Faculty of Agriculture, Department of Water Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. [In Persian]

- Pourkheirolah, Z., Hafezparast, M. & Fatemi, S.A. (2017). Changes in the parameters of precipitation, temperature and Dubai under the radiation scenario caused the radiation (study area: Dehloran city). In: Second National Conference on Hydrology of Iran. Shahrekord University, Shahrekord, Iran. <https://civilica.com/doc/661416> [In Persian]
- Pourmohamadi, S., Dastourani, M., Mesahbovani, A. & Jafari, H. (2015). Investigating the effects of climate change and cloud fertility on river runoff (Case study: Qolqol River River Tuysarkan catchment area). 10th International River Engineering Seminar, Chamran University, Ahvaz, Iran. <https://civilica.com/doc/677149> [In Persian]
- Rahimi, B., Hafezparast Mavaddat, M. (2020). Comparison of SVM, GEP and IHACRES Models in Prediction of Runoff Changes Due to Climate Change (Case Study: Jamishan Dam). Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(10), 2483-2499. <https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2020.303779.668640> [In Persian]
- Rahimi, B., & Hafezparast, M. (2021). Investigation of IHACRES Model in Predicting Runoff Due To Climatic Models Fifth Report (Case Study: Jamishan Dam). The first national conference on applied research in the water and electricity industry. Kermanshah. Iran. <https://civilica.com/doc/1202087> [In Persian]
- Salimi masteali, F., Hafezparast, M., & Sargordi, F. (2020). Simulation and Optimization of Dam Operation under Changing Cultivation Pattern Scenario (Case Study: Harsin Dam). Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(1), 1-12. <https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2019.282440.668221> [In Persian]
- Sambou, D., Weihrauch, D., Hellwing, V., Diekkruiger, B., Hollermann, B., & Gaye, A. (2015) Assessment of Water Availability and Demand in Lake Guiers, Senegal. American Geophysical Union Fall meeting, San Francisco. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015AGUFMGC43B1191S/abstract>
- Solgi, A., Zarei, H., Shehnidarabi, M. & Alidadi, S. (2017). Predict monthly precipitation using gene expression expression models and support vector machines. Journal of Applied Research in Geographical Sciences. 18(50), 91-103. <http://dx.doi.org/10.29252/jgs.18.50.91> [In Persian]
- Xue, L., Yue, Z., Chunli, Sh., Jian, Sh., Zhong Ling, W., & Yuqia, W. (2015) Application of Water Evaluation and Planning (WEAP) Model for Water Resources Management Strategy Estimation in Coastal Binhai New Area, China, Ocean & Coastal Management, 106, 97-109. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.01.016>.