



Gonbad Kavous University  
Journal of New Approaches in  
Water Engineering and Environment  
Volume 1, Issue 1

## Runoff forecast with SVR model in climate scenarios and estimation of water demands due to changes in WEAP model

Banafsheh Rahimi<sup>1</sup>, Maryam Hafezparast Mavaddat<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Master of Science , Faculty of science and agricultural engineering, Agriculture and Natural Resources Campus, Razi University, Kermanshah, Iran

<sup>2</sup>Assistant professor in water engineering department, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Agriculture and Natural Resources Campus, Razi University, Kermanshah, Iran

Received:09.04.2022; Accepted: 11.07.2022

### Abstract

Today, the effects of climate change and global warming have been proven due to the increase in greenhouse gases in the world. In this research, the monthly values of temperature, precipitation and discharge of Jamishan Dam in the years 1988-2017 have been considered as the base period. Simulation of resources and uses of the Jamishan Dam catchment area was investigated using the WEAP model with different cultivation patterns in the area. To evaluate the effect of climate change on precipitation and temperature parameters in this region, RCP8.5 scenario outputs of HADGEM2\_ES and MIROC5 models and a series of CMIP5 reporting models were used and the output of these models was downscaled for the region. In this research, change factor method used for downscaling and the monthly temperature and precipitation parameters of Jamishan Dam were produced for the period 2021-2050. In order to study the runoff of the region due to climate change, the SVR model was studied. The results of the climate model show an average temperature increase of 0.5 to 1°C. The simulated rainfall results show that the average monthly rainfall under the RCP8.5 scenario in the future period in HADGEM2\_ES model increased by 5% and in MIROC5 model decreased by 6% compared to the base period. Examination of the results of discharge forecast in SVR method indicates that runoff is associated with a decrease compared to the base period. Considering three different cultivation patterns, supply and shortage values for each demand were estimated. Simulation of different cultivation patterns in WEAP shows that the average supply is 75% in the SVR method.

**Keywords:** climate change, CMIP5, WEAP, precipitation -Runoff, crop pattern, svm

---

\* Corresponding author, Email: maryam.hafezparast@gmail.com



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست"

دوره اول، شماره اول

[http:// Nawee.gonbad.ac.ir](http://Nawee.gonbad.ac.ir)

## پیش‌بینی رواناب با مدل SVR در سناریوهای اقلیمی و برآورد تقاضاهای آبی ناشی از تغییرات آن در مدل WEAP

بنفشه رحیمی<sup>۱</sup>، مریم حافظ‌پرست مودت<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد منابع آب، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران  
<sup>۲</sup> دکتری منابع آب، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم و مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰

### چکیده

تغییر اقلیم که به معنی تغییرات بلندمدت اقلیمی در یک منطقه است، با افزایش دما و تغییرات الگوی بارش تغییراتی در برآورد تقاضاهای آبی ایجاد کرده است. شبیه‌سازی منابع و مصارف حوضه آبریز سد جامیشان با استفاده از مدل WEAP با الگوهای کشت موجود در منطقه بررسی شد. برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای بارش و دما در این منطقه از خروجی‌های سناریوی RCP8.5 مدل‌های HADGEM2\_ES و MIROC5 از سری مدل‌های CMIP5 استفاده شد. در این پژوهش پارامترهای ماهانه دما و بارش سد جامیشان با استفاده از روش عامل تغییر ریزمقیاس و برای دوره آبی تولید شدند. از روش یادگیری ماشینی رگرسیون بردار پشتیبان تصحیح شده با تغییر در پارامترهای موثر برای پیش‌بینی رواناب در دوره تغییر اقلیم استفاده گردید. نتایج مدل اقلیمی به‌طور میانگین افزایش دمای ۰/۵ تا ۱/۵ درجه سلسیوس را در طول دوره‌ی آماری نشان می‌دهد. نتایج بارش شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که میانگین بارش ماهیانه با سناریوی RCP 8.5 در دوره‌ی آبی در مدل HADGEM2\_ES با افزایش ۵ درصدی و در مدل MIROC5 با کاهش ۶ درصدی نسبت به دوره‌ی پایه همراه بوده است. بررسی نتایج پیش‌بینی دبی با استفاده از مدل SVR حاکی از آن است که رواناب نسبت به دوره‌ی پایه با کاهش همراه است. به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب با استفاده از نرم افزار WEAP به شبیه‌سازی سد جامیشان پرداخته شد. بدین منظور با در نظر گرفتن سه الگوی کشت متفاوت مقادیر تأمین و کمبود برای هر نیاز برآورد گردید. شبیه‌سازی الگوی کشت‌های مختلف در WEAP نشان می‌دهد به‌طور میانگین تأمین برابر با ۷۵ درصد است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، WEAP-CMIP5، بارش رواناب، الگوی کشت، ماشین بردار پشتیبان.

\* نویسنده مسئول، Email: maryam.hafezparast@gmail.com

## مقدمه

پژوهشی با استفاده از مدل درخت تصمیم، ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌ی عصبی و روش‌های تجربی به ارزیابی پیش‌بینی تبخیر و تعرق پرداخت. نتایج حاکی از آن بود که ماشین بردار پشتیبان و شبکه‌ی عصبی نسبت به سایر مدل‌ها برتری دارد. (GHobadian et al (2010) در تحقیقی با استفاده از مدل‌های GEP و مدل موج دینامیکی برای ارزیابی روندیابی هیدروگراف سیل پرداختند. نتایج حاکی از آن است که مدل GEP در پیش‌بینی حجم هیدروگراف خروجی عملکرد بهتری در مقایسه با مدل موج دینامیکی داشته است.

در زمینه بهره‌برداری از مخازن در وضعیت تغییر اقلیم می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد: (Fatemi et al (2016) در تحقیقی اقدام به مدل‌سازی سیستم منابع و مصارف حوضه‌ی سد اکباتان و منبع آب زیرزمینی تأمین‌کننده‌ی آب شرب در مدل WEAP پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که در سال‌های ۱۴۱۰ و ۱۴۳۰ به ترتیب با کمبود ۱۹/۶ و ۳۴/۳ درصدی مواجه خواهد بود. (Amini et al (2016) در پژوهشی به منظور ارزیابی مدیریت‌های اعمال شده در حوضه‌ی آبخیز گاماسیاب، بررسی تأثیر سد بالادست بر عملکرد سد بیستون را با استفاده از مدل WEAP بررسی کردند. نتایج بیانگر پوشش کامل نیازها در محدوده‌ی بیستون در وضعیت موجود و کمبود آب در صورت به‌بهره‌برداری رسیدن سدهای پیش‌بینی شده در حوضه است. (Malmir et al (2014) در پژوهشی به بررسی اثرات تغییر اقلیم برای تخصیص آب کشاورزی با استفاده از مدل WEAP در حوضه‌ی قره‌سو پرداختند. در این مطالعه با استفاده از مدل HADCM3 با سناریوی A2 به بررسی پارامترهای بارندگی و دما پرداخته شد. سپس با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی دبی رودخانه شبیه‌سازی و در نهایت با استفاده از مدل شبیه‌ساز WEAP وضعیت منابع و تأمین آب کشاورزی بررسی شد. نتایج حاکی از کاهش بارندگی و افزایش دما نسبت به دوره‌ی پایه بود. کاهش بارندگی در حوضه‌ی آبریز قره‌سو باعث کاهش دبی به میزان ۳۲/۶۲ درصد شد. در نهایت بررسی نتایج مدل WEAP در وضعیت سطح زیر کشت کنونی حاکی از کاهش تأمین نیازها در بخش کشاورزی برای دوره‌ی آتی است.

در سال‌های اخیر توجه به موضوع تغییر اقلیم و افزایش دمای هوا به صورت محسوس اهمیت یافته است؛ از این رو برآورد نیازهای آبی در الگوهای کشت مختلف که متناسب با اوضاع تغییر اقلیم باشد، بیشتر از قبل مورد توجه پژوهشگران قرار دارد و امید است که الگوهای کشت سازگار با تغییر اقلیم جایگزین الگوهای پرمصرف گردد تا از این طریق از ورشکستگی آب جلوگیری شود (Ashofteh and et al, 2013).

(Ayteck and et al (2008) با استفاده از مدل GEP و شبکه‌های عصبی مصنوعی دبی روزانه‌ی حوضه‌ی رودخانه جونیاتا در امریکا را شبیه‌سازی کردند و نتایج نشان داد که مدل GEP با دقت بیشتری نسبت به شبکه‌های عصبی مصنوعی رواناب را شبیه‌سازی می‌کند. (He et al (2014) در تحقیقی به منظور پیش‌بینی جریان رودخانه در منطقه‌ای کوهستانی واقع در شمال غربی چین از ماشین بردار پشتیبان استفاده کردند و دریافتند که مدل ماشین بردار پشتیبان عملکردی بهتری برای پیش‌بینی جریان رودخانه در مناطق کوهستانی دارد و در مقایسه با سیستم استنتاج فازی و شبکه‌ی عصبی مصنوعی از دقت قابل قبولی برخوردار است. (Ahmadi et al (2016) به منظور پیش‌بینی جریان رودخانه‌ی باراندوزچای از دو روش برنامه‌ریزی بیان ژن و ماشین بردار استفاده کردند. در هر دو روش، مدل‌های شامل جریان یک، دو و سه روز قبل بیشترین دقت را در مرحله‌ی صحت‌سنجی داشتند. همچنین دقت هر دو مدل با افزایش مقادیر دبی کاهش می‌یابد. مقایسه‌ی نتایج دو مدل نشان داد دقت روش برنامه‌ریزی بیان ژن نسبت به روش ماشین بردار پشتیبان اندکی بیشتر بود، اما روش ماشین بردار پشتیبان به مراتب ساده‌تر از روش برنامه‌ریزی بیان ژن است و این روش می‌تواند به‌عنوان یک روش کاربردی برای پیش‌بینی جریان روزانه به‌کار رود.

(Ahmadi et al (2016) در تحقیقی با استفاده از دو مدل برنامه‌ریزی بیان ژن و ماشین بردار به پیش‌بینی جریان رودخانه‌ی باراندوزچای پرداختند. نتایج حاکی از آن است که دقت هر دو مدل برنامه‌ریزی بیان ژن و ماشین بردار پشتیبان با زیاد شدن دبی کم می‌شود. (Seifi (2013) در

### منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز سد جامیشان با مساحت ۵۲۴ کیلومتر مربع، و اقلیم نیمه‌خشک سرد تا نیمه‌مرطوب، از شمال به حوضه‌ی آبریز گاوهرود، از شرق به حوضه‌ی آبریز خرم‌رود، از جنوب به حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی مریم‌نگار و از غرب به زیر حوضه‌های عالی‌سیاه و گاوهرود منتهی می‌شود. این حوضه در مختصات جغرافیایی  $32^{\circ} 30'$  الی  $34^{\circ} 53'$  عرض شمالی و  $47^{\circ} 22'$  تا  $47^{\circ} 52'$  طول شرقی در زاگرس واقع شده است. این محدوده در تقسیمات کشوری در استان کرمانشاه واقع است.

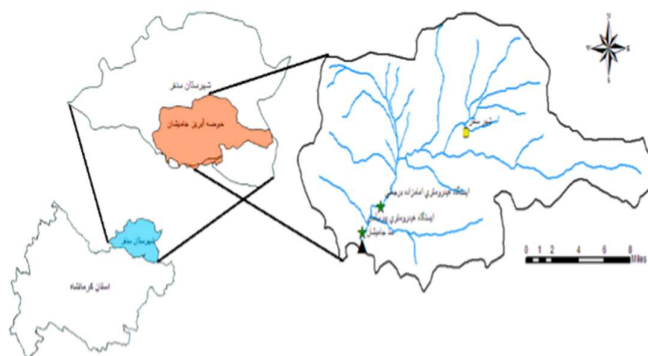
مطالعات ساخت سد جامیشان در جنوب غربی شهرستان سنقر بر روی رودخانه‌ی جامیشان با مختصات  $40^{\circ} 34'$  عرض شمالی و  $47^{\circ} 30'$  طول شرقی، در سال ۱۳۸۰ آغاز و در سال ۱۳۸۹ مراحل ساخت شروع شده و در سال ۱۳۹۵ به بهره‌برداری رسیده است.

میانگین بارش سالانه در حوضه‌ی سد جامیشان ۴۷۴ میلی‌متر و میانگین تبخیر آن ۱۵۳/۴ است. میانگین درجه حرارت سالانه‌ی حوضه ۱۳/۲۱ درجه‌ی سانتی‌گراد، دمای حداقل سالیانه ۴/۷۷ و متوسط دمای حداکثر سالیانه ۲۱/۰۴ است. در این حوضه متوسط سرعت باد برابر با ۱،۵ متر بر ثانیه و میانگین رطوبت نسبی ۵۱ درصد و متوسط ساعت آفتابی ۸،۳ ساعت است.

حوضه‌ی مورد مطالعه‌ی سد جامیشان از بهترین مناطق مساعد باغات و کشاورزی است که مصرف آب کشاورزی در این منطقه از شبکه‌های آبیاری جامیشان و نازلان است. در این تحقیق از سه الگوی کشت که شامل وضع موجود (C<sub>1</sub>) و دو الگوی دیگر که به ترتیب بیشترین درآمد (C<sub>2</sub>) و کمترین نیاز آبی (C<sub>3</sub>) در هکتار است، استفاده گردید. راندمان آبیاری برای آبیاری سطحی برابر با ۳۰ و برای آبیاری تحت فشار برابر با ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است.

Rahimi and Hafezparast (2021) در پژوهشی اثرات تغییر اقلیم مدل CMIP5 در شبیه‌سازی مخزن سد جامیشان با سناریوی تغییر الگوی کشت را بررسی کردند. در پژوهشی با استفاده از رویکرد مدل‌سازی WEAP آثار تغییرات جهانی تغییر اقلیم و سناریوی توسعه‌ی اجتماعی و اقتصادی بر منابع آب Himalayan در هند ارزیابی شد. نتایج نشان داد تغییرات اقتصادی و اجتماعی در آینده نسبت به تغییرات آب و هوایی تأثیرات بسیار بیشتری بر منابع آب منطقه‌ی مورد بررسی خواهد داشت (Momb Blanch et al; 2020). در تحقیقی با بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر سیستم تأمین آب دره‌ی Middle Draa در مراکش در مدل WEAP، نشان داده شد که این مدل به‌عنوان نوعی ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری، پیچیدگی مسائل مربوط به آب را مورد توجه قرار می‌دهد (Karmaoui et al., 2019). (Azari and Arman (2020). پژوهشی به بهره‌برداری بهینه‌ی منابع آب در زمان واقعی براساس الگوریتم NSGA-II و ماشین بردار پشتیبان در سد گاوشان پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که مدل توسعه داده‌شده براساس ترکیب الگوریتم چند هدفه NSGA-II و مدل شبیه‌سازی WEAP کارایی مناسبی در حل مسائل پیچیده و کامل غیرخطی جواب‌های بهینه دارد. Salimi et al (2020) در پژوهشی با استفاده از آورد ۴۰ ساله‌ی رودخانه‌ی هرسین در مدل WEAP به شبیه‌سازی مخزن سد پرداختند. در این تحقیق با استفاده از الگوی کشت مختلف مقادیر اطمینان‌پذیری نیازهای مختلف محاسبه شد. نتایج شبیه‌سازی، متوسط درصد تأمین سالانه‌ی نیازهای اراضی قطره‌ای باغی، بارانی زراعی، قطره‌ای باغی، آبخور از فاضلاب و نیاز زیست‌محیطی به ترتیب ۸۷/۵۱، ۸۹/۷۹، ۹۵/۶۳ و ۹۸/۹۸ را نشان داد.

### مواد و روش‌ها



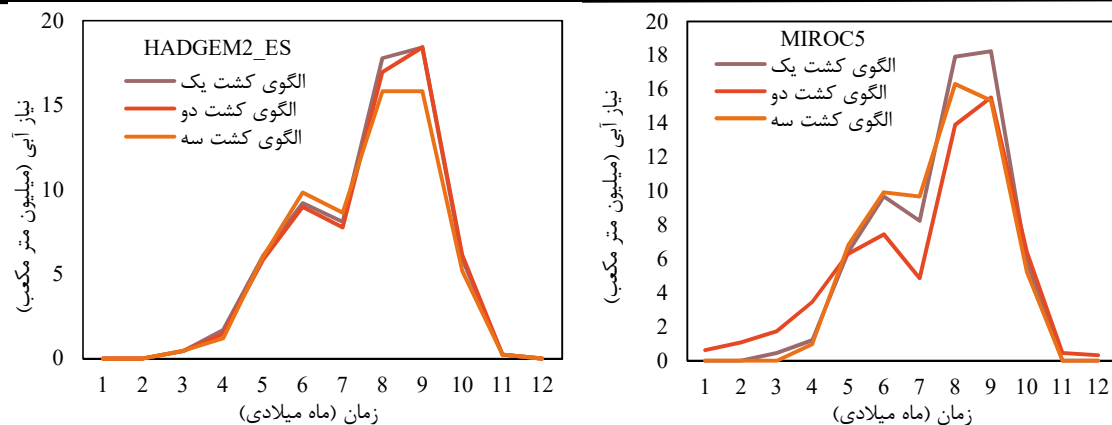
شکل ۱- نقشه‌ی منطقه‌ی مطالعاتی سد مخزنی جامیشان

### نرم‌افزار کراپ وات

نرم افزار کراپ وات یک ابزار کاربردی است که از طریق آن می توان محاسبات استاندارد برای تبخیر و تعرق گیاه و نیاز آبیاری گیاه به خصوص طراحی و مدیریت برنامه آبیاری را به سهولت انجام داد. کراپ وات ۸، نسخه ویندوز برنامه ای کامپیوتری جهت محاسبه نیاز آبی گیاه و نیاز آبیاری بر مبنای نوع خاک، دما و داده های گیاهی می باشد. به علاوه این برنامه اجازه پیشرفت برنامه آبیاری برای مدیریت شرایط مختلف و محاسبه برنامه تامین آب برای تغییر الگوی طرح ها را می دهد. مجموع نیازهای آبی الگوی کشت یک برابر با ۶۷/۷۹ میلیون متر مکعب در سال و مجموع نیاز آبی الگوی کشت دو برابر ۶۵/۱۷ میلیون متر مکعب و الگوی کشت سه برابر ۶۳/۱۵ میلیون متر مکعب است.

### نیاز آبی کشاورزی

با توجه به اینکه تغییرات اقلیمی باعث تغییر در منابع آب و همچنین تغییر در نیاز آبی گیاه می شود، بنابراین در هر مدل اقلیمی با استفاده از نرم‌افزار کراپ وات نیاز آبی محصولات کشاورزی حوضه‌ی مورد نظر برآورد گردید. به دلیل نبودن متغیرهای رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد در مدل‌های اقلیمی AR5، برای دوره‌های آتی نیز از متغیرهای دوره‌ی پایه استفاده شد و در سایر متغیرها (بارش، دما، دمای حداقل و حداکثر) از مدل‌های اقلیمی مورد نظر با سناریوی ۸/۵ استفاده گردید. شکل‌های ۲ و ۳ تغییرات نیاز آبی در سال‌های آتی با تغییر مدل‌های اقلیمی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- تغییرات نیاز آبی در الگوهای کشت مختلف در مدل HADGEM2-ES

انتشار براساس سطح واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ شامل ۴ سناریوی RCP2.6, RCP4.5, RCP6.5 و RCP8.5 است. در این پژوهش از داده‌های ایستگاه سینوپتیک سنقر برای داده‌های بارش و دما و ایستگاه هیدرومتری پیرسلیمان برای آبدی رودخانه جامیشان استفاده گردید.

#### ریز‌مقیاس نمایی

تغییرات درجه حرارت و بارندگی در دوره‌های آینده نسبت به دوره‌ی پایه را می‌توان با خروجی‌های AOGCM به‌دست‌آورد و بر روی داده‌های مشاهداتی در ایستگاه مورد نظر اعمال کرد این روش که به عامل تغییر نام برده می‌شود روش مناسبی برای داده‌های گزارش پنجم است (Ashofteh et al, 2013).

#### شبیه‌سازی بارش- رواناب با روش رگرسیون ماشین بردار پشتیبان

به‌منظور ارزیابی اثر تغییرات اقلیمی بر رواناب، استفاده از روش‌های تبدیل بارش به رواناب ضروری است. اخیراً روش‌های یادگیری ماشینی از دقت و سرعت قابل توجهی برای این منظور برخوردار هستند و از این‌رو در این تحقیق، برای تولید رواناب ماهانه از رگرسیون ماشین بردار پشتیبان (SVR) تصحیح شده استفاده گردید.

ماشین بردار پشتیبان را در سال ۱۹۹۲ وپنیک برپایه‌ی نظریه‌ی یادگیری آماری ارائه کرد. SVR تابعی مرتبط با پارامتر متغیر وابسته  $Y$  که خود تابعی از چند پارامتر متغیر  $x$  است، برآورد می‌شود. ارتباط میان

مقدار نیاز آبی الگوی کشت یک (وضع موجود) بیشترین مقدار و کمترین نیاز آبی متعلق به الگوی کشت سه (بیشترین راندمان) است. نیاز آبی در ماه‌های هشت و نه بیشترین مقدار و به‌طور متوسط تا ۱۸ میلیون مترمکعب می‌رسد. از طرفی این ماه‌ها جزو کم‌آب‌ترین ماه‌های سال است و مسلماً مدیریت بهره‌برداری از سد می‌تواند نقش بسزایی در تأمین نیازها به‌خصوص نیاز کشاورزی داشته باشد. نیازهای آبی محاسبه‌شده در نرم‌افزار کراپ وات در مدل WEAP وارد می‌شود و نیز آبدی‌های پیش‌بینی‌شده از هر مدل بارش رواناب سناریوهای مختلف مدیریتی ایجاد می‌کنند.

#### تغییر اقلیم

به‌هم‌خوردن اندکی از تعادل اقلیم در جهان موجب تغییراتی در میانگین درجه حرارت کره‌ی زمین شده است و روند صعودی را نشان می‌دهد (IPCC, 2001. a:1875). به‌طور کلی به تمامی تغییرات درازمدت معنی‌دار حاصل‌شده در پارامترهای اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای، تغییر اقلیم می‌گویند. مدل‌های GCM به‌عنوان مدل‌های عددی که فرآیندهای فیزیکی اتمسفر را نشان می‌دهند، متغیرهای اقلیمی را شبیه‌سازی و به‌عنوان سناریوهای گوناگون تصویرسازی می‌کنند. مدل GCM که در تهیه‌ی گزارش ارزش‌یابی پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده‌گردید، به‌عنوان پروژه‌ی درون‌مقیاسه‌ای مدل‌های جفت‌شده (CMIP5) معرفی شده است. سناریوی

در پژوهش Rahimi and Hafezparast (2021) روش رگرسیون بردار پشتیبان با تابع RBF نسبت به مدل بیان ژن و ابهرکس نتایج ضعیف تری داشت بنابراین در این پژوهش از تابع کرنل چندجمله‌ای استفاده گردید.

#### معیارهای خطا

از آماره‌های ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، پارامتر نش (NASH) و ضریب همبستگی (R) استفاده شده است. فرمول‌های استفاده شده برای این پارامترها به شرح

$$R = \frac{\sum (Y_m - \bar{Y}_m)(Y_p - \bar{Y}_p)}{\sqrt{\sum (Y_m - \bar{Y}_m)^2 \sum (Y_p - \bar{Y}_p)^2}} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_m - Y_p)^2} \quad (8)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{X_{max} - X_{min}} \quad (9)$$

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Y_m - Y_p)^2}{\sum_{t=1}^n (Y_m - \bar{Y}_p)^2} \quad (10)$$

زیراست (رابطه ۷ تا ۱۰)

که در روابط بالا  $Y_m$  مقدار مشاهداتی،  $\bar{Y}_m$  متوسط مقادیر مشاهداتی،  $Y_p$  مقدار پیش‌بینی شده،  $\bar{Y}_p$  متوسط مقادیر پیش‌بینی شده،  $X_{max}$  و  $X_{min}$  به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر مشاهداتی است. در شبیه‌سازی پارامترها هر چقدر مقدار R و NASH به یک و NRMSE به صفر نزدیک تر باشد، نتایج به دست آمده از مدل دارای اطمینان بیشتری است.

#### شبیه‌سازی سامانه‌ی منابع و مصارف با مدل WEAP

این نرم افزار ابزاری برای برنامه‌ریزی یکپارچه منابع آب است که چهارچوبی جامع، انعطاف پذیر و کاربر دوست برای برنامه‌ریزی و تحلیل سیاستها فراهم کرده است. براساس معادلات پایه‌ی بیلان آبی (رابطه‌ی ۱۱) تهیه گردیده و آن را می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم رودخانه‌ای پیچیده به کاربرد. علاوه بر این WEAP می‌تواند طیف گسترده‌ای از اجزای طبیعی و مهندسی از سیستم‌ها، از جمله بارش رواناب، جریان پایه، و تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی از بارش را شبیه‌سازی کند. از

متغیرهای مستقل و وابسته با تابع جبری مانند  $f(x)$  به علاوه مقداری اغتشاش (خطای مجاز  $\epsilon$ ) مشخص می‌شود (رابطه ۱ و ۲).

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

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

اگر  $w$  بردار ضرایب و  $b$  ثابت مشخصه‌های تابع رگرسیونی و  $\phi$  نیز تابع کرنل باشد، آنگاه هدف پیدا کردن فرم تابعی برای  $f(x)$  است. با آموزش مدل SVM از طریق مجموعه‌ای از نمونه‌ها (مجموع آموزش) تابع  $f(x)$  به دست می‌آید. برای محاسبه‌ی  $w$  و  $b$  لازم است تابع خطا معادله‌ی ۳ در مدل SVM با در نظر گرفتن شرایط مندرج در معادله ۴ بهینه شود.

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

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

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

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

در معادلات بالا،  $C$  عددی مثبت و صحیح است که عامل تعیین جریمه در هنگام رخ دادن خطای آموزش مدل است.  $\phi$  تابع کرنل،  $N$  تعداد نمونه‌ها و دو مشخصه‌ی  $\epsilon_i$  و  $\epsilon_i^*$  متغیرهای کمبود هستند. در نهایت تابع بردار پشتیبان رگرسیونی را می‌توان به شکل رابطه ۵ و ۶ بازنویسی کرد:

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

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

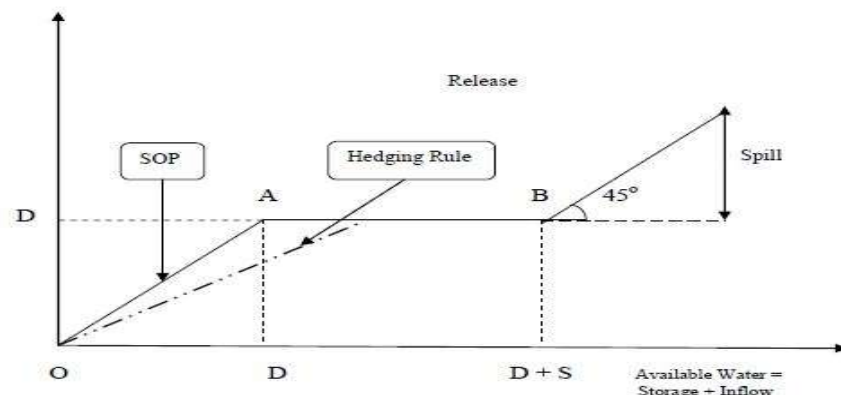
که در معادله ۵،  $\bar{\alpha}_i$  میانگین ضرایب لانگراژ است. محاسبه‌ی  $\phi(X)$  در فضای مشخصه‌ی آن ممکن است بسیار پیچیده باشد. برای حل این مشکل روند معمول در مدل SVR انتخاب یک تابع کرنل است.

بنابراین برای حل مسأله باید مقادیر  $C$ ،  $\epsilon$  و پارامترهای مربوط به تابع کرنل انتخابی مشخص شود. دقت در تعیین پارامترها در کاهش خطای مسأله تأثیرگذار است (Dibike et al., 2001). می‌توان از توابع مختلف کرنل برای ساخت انواع  $\epsilon$ -svm استفاده کرد. انواع توابع کرنل قابل استفاده در مدل SVM رگرسیونی عبارتند از: کرنل چندجمله‌ای و کرنل خطی و در مطالعات بارش- رواناب عمدتاً از مدل RBF استفاده می‌شود (Ahmadi et al, 2016). از انجائیکه

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - E_t - R_t - \text{spill} \quad (11)$$

در رابطه‌ی بالا  $S_{t+1}$  حجم ذخیره در دوره  $t+1$  و  $\text{Spill}$ ،  $S_t$ ،  $Q_t$ ،  $E_t$ ،  $R_t$  به ترتیب حجم ذخیره‌ی ابتدای دوره‌ی  $t$ ، جریان ورودی، میزان تبخیر خالص، حجم رهاسازی و سرریز در همان دوره هستند. مدل WEAP براساس روش بهره‌برداری استاندارد SOP عمل می‌کند، در این روش خروجی تابعی از کل آب در دسترس است.

کاربردهای این مدل می‌توان به تجزیه و تحلیل تقاضای منطقه‌ای، حفاظت از آب، حبابه‌ها و اولویت تخصیص، بهره‌برداری از مخزن، تولید انرژی برقابی، روندیابی آلودگی و کیفیت آب، ارزیابی آسیب‌پذیری و الزامات زیست‌محیطی اشاره کرد. مزیت اصلی WEAP در رویکرد یکپارچه در شبیه‌سازی سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آن در راستای سیاست‌ها است (Fatemi et al, 2016)



شکل ۳- منحنی روش بهره‌برداری استاندارد SOP

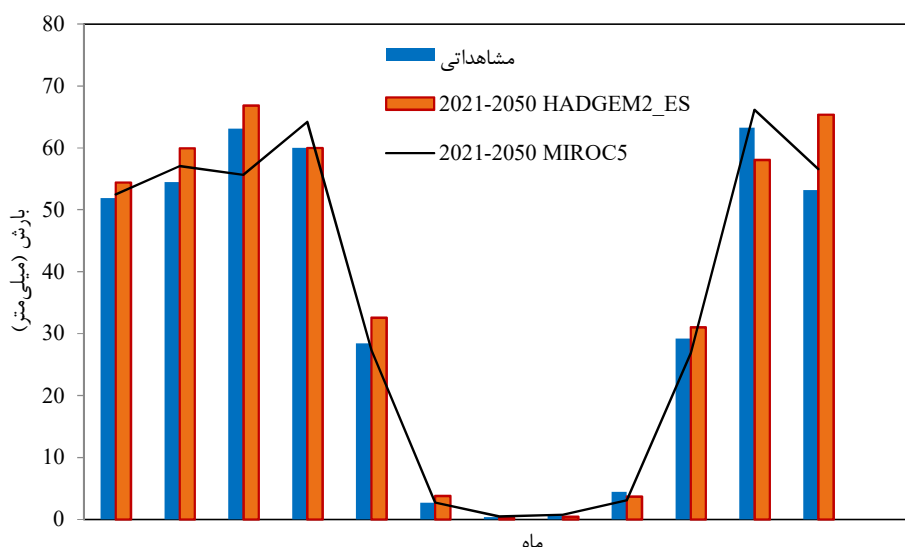
### نتایج

#### نتایج بارش و دمای پیش‌بینی شده با مدل‌های اقلیمی

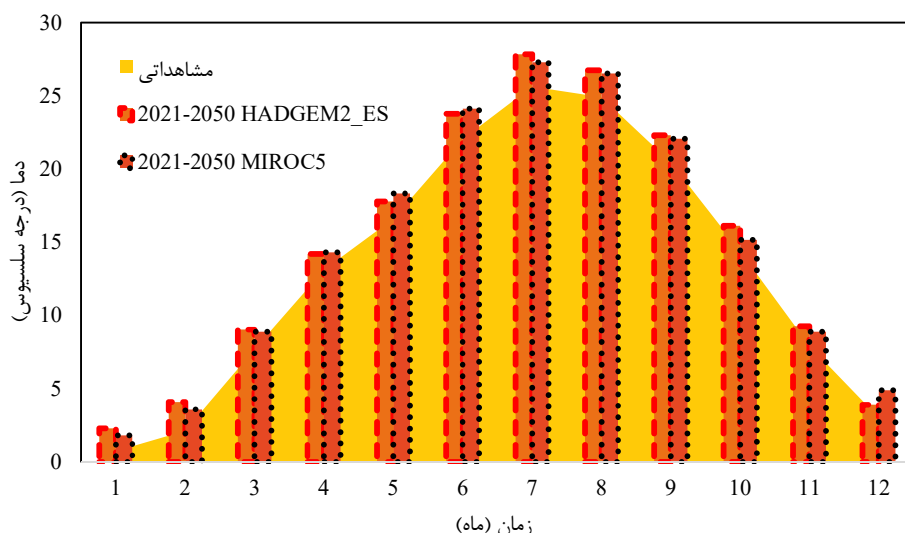
با استفاده از داده‌های بارش و دما در دوره‌ی پایه و خروجی مدل‌های گردش عمومی گزارش پنجم نتایج شبیه‌سازی متغیرهای بارش و دما بعد از ریزمقیاس‌سازی با استفاده از روش عامل تغییر برای دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۵۰ به ترتیب در شکل ۴ و ۵ نمایش داده شده است.

باتوجه به شکل ۳ چنانچه آب در دسترس کمتر، یا برابر با مقدار تقاضا باشد، کل آب در دسترس برای تأمین نیازها رها می‌شود و مخزن در این مرحله خالی است (شاخه OA). در صورتی که آب در دسترس بیشتر از نیاز باشد، مقدار آب اضافه بر نیاز ذخیره می‌شود تا جایی که در بیشینه‌ی ظرفیت مخزن شروع به سرریز شدن می‌کند (شاخه AB و BC). در روش SOP بیشترین اولویت با رهاکردن آب برای مصارف اقتصادی کنونی است.





شکل ۴- بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های اقلیمی با سناریوی RCP8.5 در دوره‌ی آبی و مشاهداتی



شکل ۵- دما شبیه‌سازی شده با مدل‌های اقلیمی با سناریوی RCP8.5 در دوره‌ی آبی و مشاهداتی

درصد و کمترین افزایش دما در مدل MIROC5 برابر با ۵/۵ درصد است.

**پیش‌بینی دبی با روش رگرسیون ماشین بردار پشتیبان (SVR)**

یکی از روش‌های یادگیری ماشینی که اخیراً در پیش‌بینی دبی نتایج خوبی داشته است. روش رگرسیون ماشین بردار پشتیبان یا همان (SVR) است. در این پژوهش برای پیش‌بینی رواناب ماهیانه، داده‌های مشاهداتی از سال

در شکل ۴ نتایج بارش شبیه‌سازی در مدل‌های اقلیمی نشان می‌دهد که میانگین درازمدت ماهانه‌ی بارش دو مدل اقلیمی HADGEM2\_ES و MIROC5 به ترتیب ۴/۶ و ۲/۴ درصد نسبت به دوره‌ی پایه افزایش داشته‌است.

در شکل ۵ نتایج دمای شبیه‌سازی شده با مدل‌های اقلیمی مورد استفاده برای شهرستان سنقر روندی افزایشی را نشان می‌دهد به طوری که بیش‌ترین افزایش دما نسبت به دوره‌ی پایه مربوط به مدل HADGEM2\_ES برابر با ۱۱/۴

**پارامترهای بهینه مدل رگرسیون بردار پشتیبان**  
 در جدول ۱ مقادیر پارامترهای C، GAMMA، EPSILON و معیار خطای تابع برازش در روش رگرسیون ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی رواناب نمایش داده شده است. روش بهینه‌سازی پارامترهای مدل به صورت دستی با تغییر مقادیر پارامترها و محاسبه‌ی معیارهای خطا در محیط اکسل و به کمک ماکروهای اکسل انجام شده است. در جدول ۲ مقدار R، RMSE و NASH برای روش SVR نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، دقت روش SVR در مرحله‌ی آموزش  $R=0.82$  و در مرحله‌ی آزمون  $R=0.79$  است.

(۲۰۱۷-۱۹۸۸) مرتب شده است که ۷۵ درصد داده‌ها برای آموزش و ۲۵ درصد داده‌ها به عنوان آزمون در نظر گرفته شده است. در این تحقیق، از کتابخانه‌ی Scikit-learn برای پیش‌بینی رواناب با روش SVR و برنامه‌نویسی Python استفاده شده است. شایان ذکر است که انتخاب داده‌های آموزش و آزمون در این روش تصادفی بوده است. داده‌های ورودی شامل بارش، دما و دبی در دوره‌ی مشاهداتی است که پس از کالیبراسیون مدل و گرفتن نتایج بهینه از صحت‌سنجی مقادیر بهینه پارامترها محاسبه و سپس مقادیر بارش و دما در دوره‌ی تغییر اقلیم به عنوان ورودی و دبی دوره‌ی تغییر اقلیم پیش‌بینی گردید.

جدول ۱- مشخصات پارامترهای روش رگرسیون ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی رواناب

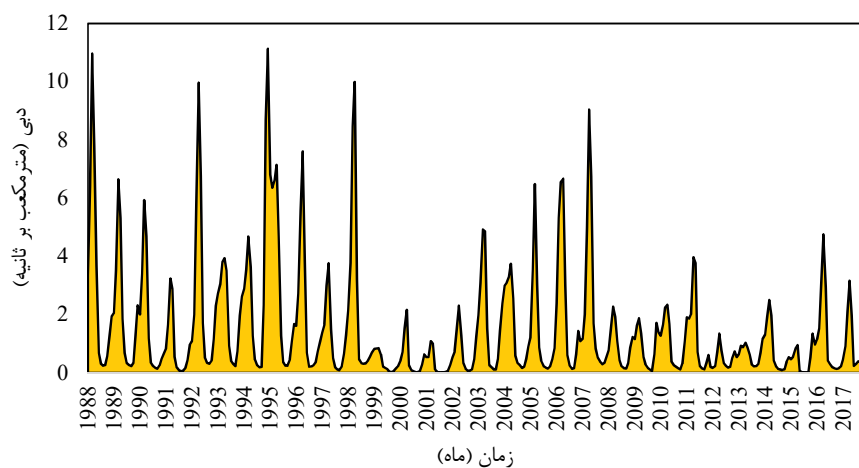
پارامتر	مقدار
C	۱/۸
GAMMA	۰/۴۳
EPSILON	۰/۰۰۶۲
تابع کرنل	چندجمله ایی
معیار خطای تابع برازش	R

جدول ۲- ضرایب آماری روش رگرسیون بردار پشتیبان در دوره‌ی آموزش و آزمون

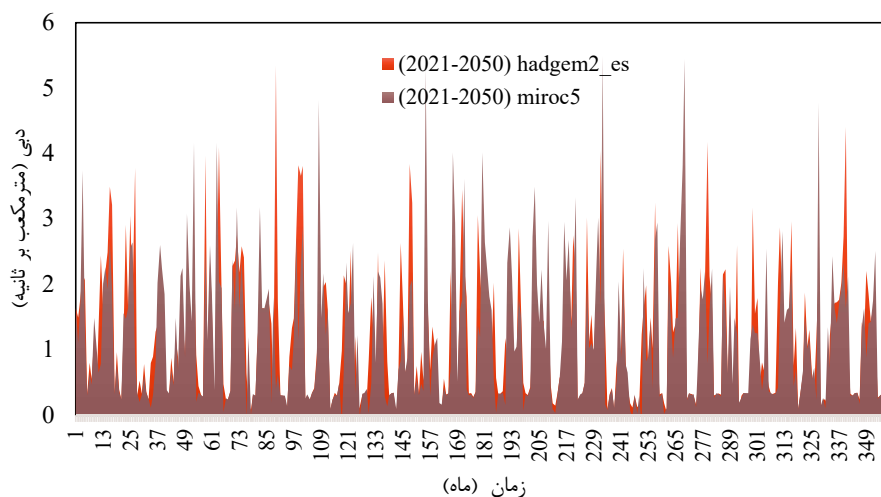
شاخص	HADGEM2_ES	MIROC5
R	0.82	0.85
RMSE	0.25	0.56
NASH	0.91	0.66
NRMSE	0.129	0.035
R	0.79	0.69
RMSE	0.97	0.78
NASH	0.82	0.75
NRMSE	0.14	0.15

در دوره‌ی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ و در شکل‌های ۷ و ۸ تغییرات دبی ماهانه برای مدل‌های اقلیمی آینده نشان داده شده است.

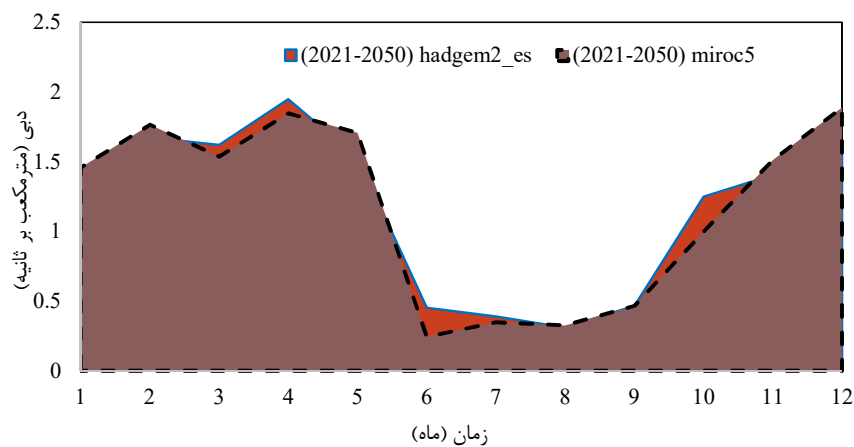
در روش SVR برای پیش‌بینی مقادیر دبی در دوره‌های آتی، مقادیری از پارامترها که در دوره‌ی اعتبارسنجی دارای کمترین خطا بودند، استفاده شدند. شکل ۶ دبی مشاهداتی



شکل ۶- نمودار دبی سی ساله دوره‌ی پایه‌ی جامیشان در ایستگاه پیرسلمان (۱۹۸۸-۲۰۱۷)



شکل ۷- سری زمانی دبی پیش‌بینی‌شده‌ی مدل‌های اقلیمی در SVR



شکل ۸- سری زمانی دبی‌های پیش‌بینی‌شده‌ی مدل‌های اقلیمی در SVR

شبکه آبیاری نازلان و نیاز زیست‌محیطی رودخانه با میانگین ۰/۹۵ میلیون مترمکعب در سال است. اولویت تأمین برای نیاز کشاورزی جامیشان به‌ترتیب از آب زیرزمینی، سد جامیشان و آب برگشتی شبکه جامیشان، و برای نیاز زیست محیطی از سد جامیشان است.

#### تأمین نیازهای کشاورزی در سناریوهای اقلیمی در

##### مدل WEAP

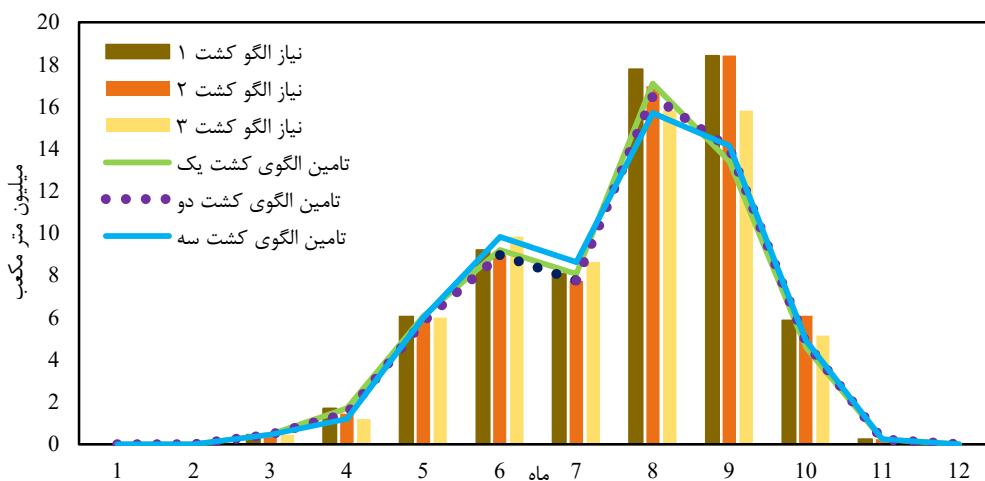
آبدهی رودخانه‌ی جامیشان در وضعیت تغییر اقلیم با مدل SVR پیش‌بینی شد و در نهایت در مدل WEAP به‌عنوان ورودی مدل برای جریان رودخانه به‌عنوان منبع آب سطحی وارد گردید. در شکل ۹ نتایج تأمین نیازهای کشاورزی منطقه نشان داده شده است که بیشترین تأمین مربوط به الگوی کشت سه (کمترین نیاز آبی) و کمترین تأمین مربوط به الگوی کشت یک (الگو کشت در شرایط موجود) است. همچنین بیش‌ترین کمبود مربوط به الگوی کشت یک و کمترین کمبود مربوط به الگوی کشت سه است. در صورتی که از الگوی کشت یک استفاده شود، تقاضاهای آبی در منطقه با ۳۰ درصد کمبود مواجه هستند.

در هر دو مدل اقلیمی فوق با سناریوی RCP8.5 با روش SVR پیش‌بینی رواناب نشان می‌دهد دبی در دوره‌ی آبی کاهش می‌یابد. بیش‌ترین دبی پیک مربوط به مدل HADGEM2\_ES و برابر با ۱/۹۸ در ماه آوریل است که نسبت به دوره‌ی وضع موجود ۴۸ درصد کاهش داشته است. روند کاهش دبی برای هر دو مدل در پیک‌ها بیشتر است. رواناب پیش‌بینی‌شده در ۷ ماه اول سال (ماه‌های ژانویه تا جولای) کمتر از میزان رواناب مشاهداتی و در ۳ ماه آخر سال میلادی (ماه‌های اکتبر تا دسامبر) بیشتر از میزان رواناب مشاهداتی است.

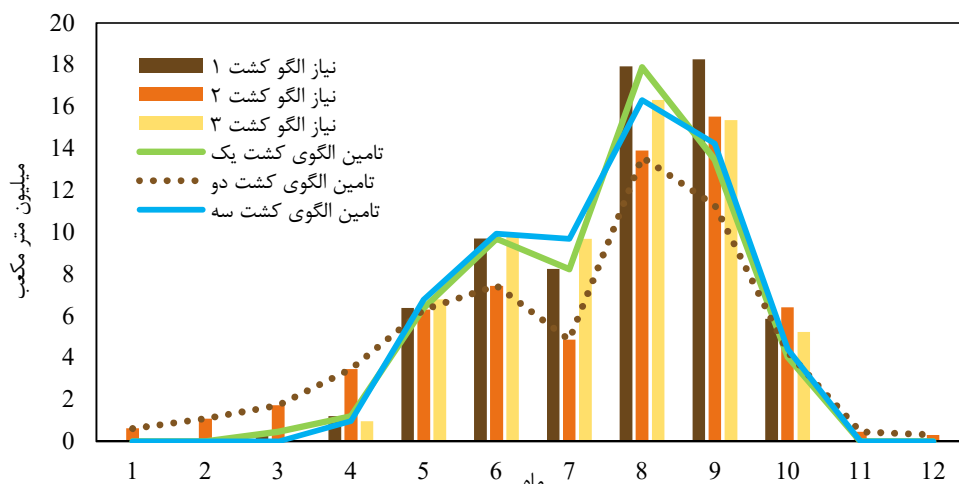
#### خروجی مدل WEAP برای نیازهای حوضه سد

##### جامیشان در دوره‌ی اقلیمی آبی

شبیه‌سازی منابع و مصارف این سد در مدل WEAP با الگوهای کشت یک، دو و سه در وضعیت موجود انجام شد. پس از کالیبره‌سازی مدل نتایج تأمین و کمبود منابع و مصارف حوضه شبیه‌سازی گردید. منابع آبی این حوضه‌ی آبریز شامل منابع آب زیرزمینی جامیشان و نازلان با حداکثر برداشت مجاز ۲۴ و ۸ میلیون متر مکعب در سال است. مصارف آبی حوضه شامل شبکه‌ی آبیاری جامیشان،



شکل ۹- تأمین نیازهای کشاورزی در سناریوی تغییر اقلیم مدل HADGEM

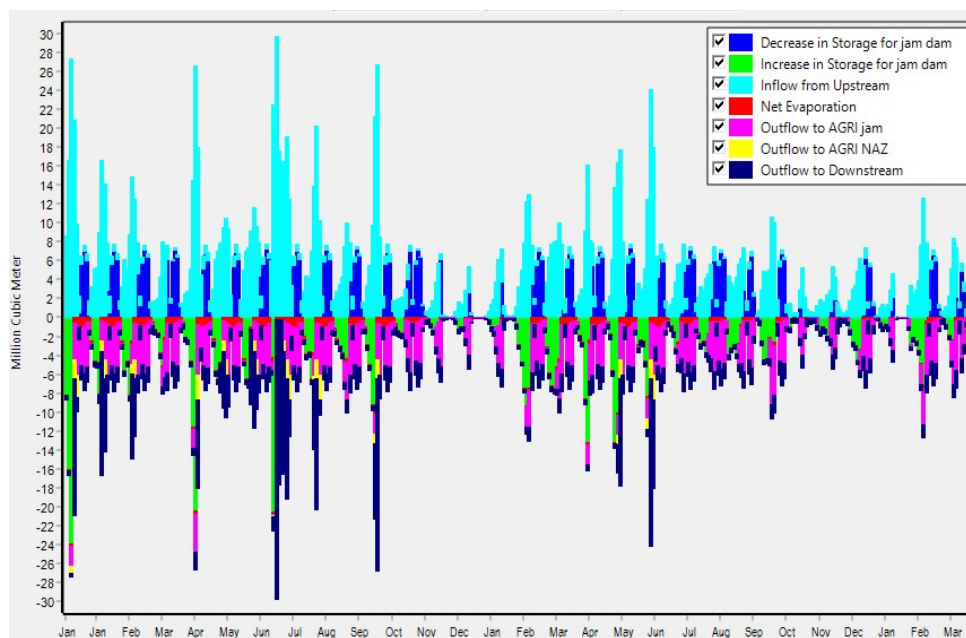


شکل ۱۰- تأمین نیازهای کشاورزی در سناریوی تغییر اقلیم مدل MIROC

### ورودی و خروجی سد جامیشان

تأمین نیاز زیست‌محیطی به‌عنوان خروجی‌های سد و تغییرات ذخیره، شامل افزایش و کاهش در ماه‌های مختلف را نشان می‌دهد که در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

ورودی‌ها و خروجی‌های سد جامیشان که شامل آورد رودخانه‌ی جامیشان به‌عنوان ورودی اصلی به سد و مقادیر تبخیر، تخصیص به تقاضای کشاورزی جامیشان و نازلین،

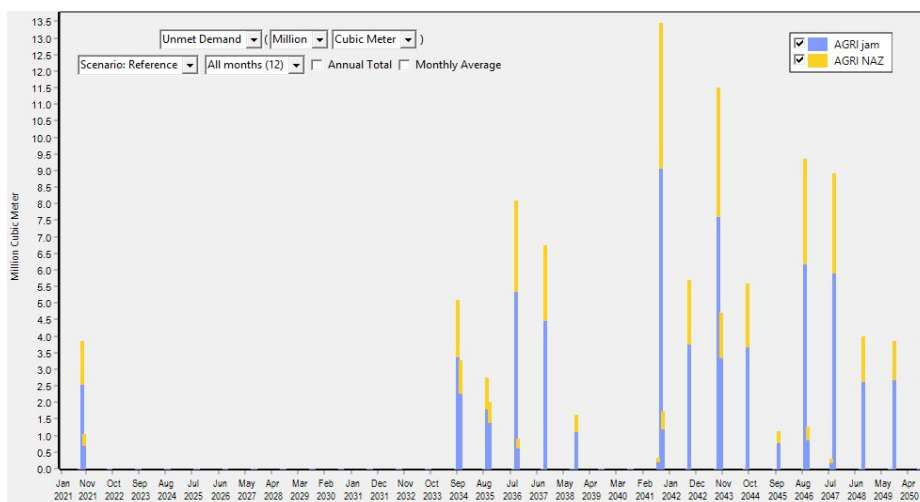


شکل ۱۱- میانگین درازمدت ماهانه‌ی ورودی و خروجی‌های مخزن سد جامیشان

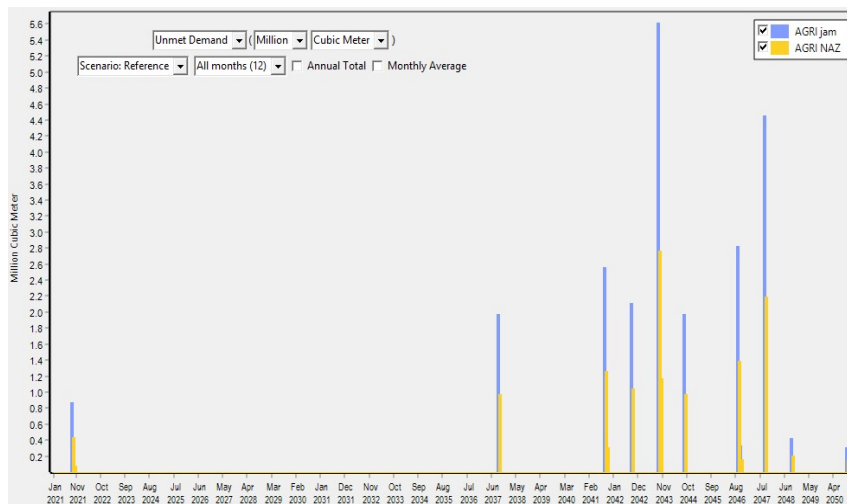
### مقادیر کمبود تقاضاهای کشاورزی

مقادیر کمبود در ماه‌هایی اتفاق می‌افتد که ورودی به سد از طریق رودخانه و مقادیر ذخیره‌شده‌ی آب در مخزن سد پاسخگوی نیازهای کشاورزی، شرب و زیست محیطی نباشد؛ از این‌رو در این ماه‌ها کمبود اتفاق می‌افتد. برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از سد باید به‌گونه‌ای باشد

که مقادیر کمبود کمترین خسارت به هر یک از تقاضاها را داشته باشد و تا جایی که امکان دارد از وقوع آن جلوگیری کند. در شکل ۱۲ و ۱۳ مقادیر کمبود در سناریوهای اقلیمی نمایش داده شده است که براساس آن در سال ۲۰۴۲ و ۲۰۴۳ کمبودهای شدیدی به وقوع خواهد پیوست.



شکل ۱۲- مقادیر کمبود تقاضاهای کشاورزی در سناریوی اقلیمی HADGEM



شکل ۱۳- مقادیر کمبود تقاضاهای کشاورزی در سناریوی اقلیمی MIROC

## نتیجه‌گیری

نتایج بررسی تغییر اقلیم نشان داد که در دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۵۰ با سناریوی ۸/۵ در مجموع به‌طور میانگین دمای هوا بین ۰/۵ تا ۱/۵ درجه‌ی سلسیوس نسبت به دوره‌ی پایه افزایش یافته است. همچنین نتایج بارش شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که میانگین بارش ماهیانه با سناریوی ۸/۵ RCP در دوره‌ی آتی در مدل HADGEM2\_ES با افزایش ۵ درصدی و در مدل MIROC5 با کاهش ۶ درصدی نسبت به دوره‌ی پایه همراه بوده است. بررسی نتایج پیش‌بینی دبی در روش SVR حاکی از آن است که رواناب نسبت به دوره‌ی پایه با کاهش همراه است که میانگین این کاهش در مدل اقلیمی HADGEM2\_ES برابر با ۲۱/۶ درصد و در MIROC5 برابر با ۲۱/۳ درصد است. نتایج پیش‌بینی رواناب در مدل رگرسیون بردار پشتیبان با تابع کرنل چندجمله‌ای در مقایسه با تابع کرنل RBF در پژوهش Rahimi Hafezparast (2021) کاهش کمتری نسبت به دوره مشاهداتی را نشان می‌دهد. همچنین در دو مدل اقلیمی ذکرشده ماه‌های پیک رواناب پیش‌بینی شده در مقایسه با رواناب مشاهداتی با کاهش چشم‌گیری مواجه شده است. با توجه به اینکه در وضعیت تغییر اقلیم که دما و بارش تغییر می‌یابد نیاز آبی محصولات کشاورزی نیز تغییر خواهد کرد، باید با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT نیاز آبی محصولات کشاورزی محاسبه گردد. در همه‌ی مدل‌های اقلیمی مقدار

نیاز آبی الگوی کشت یک (وضع موجود) بیش‌ترین مقدار و کمترین نیاز آبی متعلق به الگوی کشت سه (بیشترین میزان درآمد) است. نیاز آبی در ماه‌های هشت و نه بیش‌ترین مقدار و متوسط تا ۱۸ میلیون متر مکعب می‌رسد از طرفی این ماه‌ها جزو کم‌آب‌ترین ماه‌های سال است و مسلماً مدیریت بهره‌برداری از سد می‌تواند نقش بسزایی در تأمین نیازها به خصوص نیاز کشاورزی داشته باشد که با نتایج Panahi et al (2017) مطابقت دارد. به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب با استفاده از نرم‌افزار WEAP شبیه‌سازی سد جامیشان پرداخته شد.

بدین منظور با در نظر گرفتن سه الگوی کشت متفاوت مقادیر تأمین و کمبود برای هر نیاز برآورد گردید. شبیه‌سازی الگو کشت‌های مختلف در WEAP نشان می‌دهد به‌طور میانگین تأمین تقاضاهای کشاورزی با تغییراتی که در روش یادگیری ماشینی رگرسیون بردار پشتیبان در نظر گرفته شد برابر با ۷۵ درصد است. همچنین در شبیه‌سازی با سناریوی الگو کشت‌های مختلف در WEAP بیش‌ترین درصد پر بودن مخزن در الگوی کشت سه و برابر با ۱۱/۶ درصد و بیش‌ترین درصد خالی بودن مخزن در الگوی کشت یک و برابر با ۱۰/۵ درصد در مدل اقلیمی HADGEM2\_ES است.

## منابع

- 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*, (6)22, pp.186-171 (In Persian).
- Amini A., Javan M., Eghbalzadeh A. 2016. Evaluation of water resources management in Gamasiab basin of Kermanshah province using WEAP model. *Journal of Water Resources Engineering*, (3)153, pp.13-18 (In Persian).
- Ashofteh P.S., Bozorg Haddad O., Marino M.A. 2013. Climate change impact on reservoir performance Indexes in agricultural water supply. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 139(2), pp.85-97.

- Azari A., Arman, A. 2020. Optimal Utilization of Water Resources in Real Time Based on NSGA-II Algorithms and Support Vector Machines (Case Study: Gavoshan Dam). *Irrigation Sciences and Engineering (JISE)*, 43(1), pp.189-204 (In Persian).
- Aytek A., Asce M., Alp M. 2008. An Application of Artificial Intelligence for Rainfall-Runoff Modeling. *Journal of Earth System Science*, 117(12), pp.145-155.
- 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), pp.208-216.
- Fatemi S.E., Bahramloo A., Adibrad M.H. 2016. Investigation of constructive and non-structural solutions for sustainable management of water

- resources in Hamedan plain. *Geography and Environmental Sustainability*, 6(3). pp.55-67 (In Persian).
- GHobadian R., GHorbani M., KHalej M. 2010. Evaluation of the performance of gene expression planning method in Zangmar river flood routing in comparison with mechanical wave method. *Water and soil*, (27)3, pp.592-602. (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, pp.379-386.
- 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, and Cambridge. 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. In *Climate Change, Food Security and Natural Resource Management*, Springer, Cham, pp. 163-178.
- Malmir M., Mohamadrezapoor A., Sharifazari S. 2014. Evaluation of the effects of climate change on agricultural water allocation in Qarasu basin with WEAP model. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, (26)3, pp.143-155 (In Persian).
- 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, pp.343-361.
- Panahi E., Bafkar A., Hafezparast M. 2017. Assessment of management alternatives for maintaining watershed sustainability in the climate scenarios, *Iran-Water Resources Research*, 13(1), pp. 139-152.
- Rahimi B., Hafezparast M. 2021. Comparison of SVM, GEP and IHACRES models in runoff forecast from CMIP5 climate models. *Water and soil of Iran*, 10(51), pp.2483-2499 (In Persian).
- Salimi F., Hafezparast M., Sargordi f. 2020. Simulation and optimization of dam reservoir operation under cultivation pattern change scenario (Case study: Hersin Dam). *Iranian Soil and Water Research*, 117, pp.145-155.
- Seifi A. 2010. Development of an expert system for predicting daily reference evapotranspiration using support vector machine (SVM) and comparison of its results with ANN (ANFIS) and experimental methods. Master Thesis, Tehran: Tarbiat Modares University (In Persian).