

پایش خشکسالی هواشناسی به منظور حفظ پایداری در سناریوهای واداشت تابشی منطقه مطالعاتی (حوضه آبریز سد دویرج)

مریم حافظ پرست^{۱*}، زهره پورخیراله^۲

۱. دکتری منابع آب، استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه رازی

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۱/۱۵؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۵/۳۰)

چکیده

پدیده تغییر اقلیم آب و هوایی موجب تکرار حوادث غیرمترقبه نظیر خشکسالی و سیل می شود و خسارت های بسیاری به زندگی انسان و اکوسیستم های طبیعی وارد می کند. هدف از این پژوهش، حفظ پایداری حوضه سد دویرج شهرستان دهلران در سناریوهای واداشت تابشی در برابر حوادث تغییر اقلیم است. دوره مشاهداتی در این پژوهش (۱۹۸۷-۲۰۱۵) و دوره آتی (۲۰۱۶-۲۰۴۴) است. به این منظور از ترکیب وزنی پنج مدل گزارش پنجم (AR5) تحت سناریوی rcp8.5 برای ارزیابی تغییرات بارش و دما در دوره آتی استفاده شد. از روش وزن دهی MOTP برای کاهش عدم قطعیت مدل های GCM استفاده شد و ریزمقیاس سازی به روش عامل تغییر انجام شد. پایش خشکسالی هواشناسی در بازه های ماهانه، فصلی و سالانه با روش زنجیره مارکوف و شاخص های خشکسالی SIAP, SPI, Z score و BMDI و تحلیل فراوانی محاسبه شد. نتایج بیان کننده افزایش میانگین درازمدت بارش و دمای ماهانه به میزان ۱۴ درصد و ۱/۲ درجه سانتی گراد نسبت به دوره پایه است. تحلیل عدم قطعیت بارش ها با زنجیره مارکوف احتمال وقوع ماه بدون بارش بعد از ماه بدون بارش دیگر در فصول زمستان، بهار و پاییز به ترتیب ۵۶، ۶۳ و ۵۲ درصد است و احتمال وقوع بارش بعد از یک ماه خشک در فصول یادشده به ترتیب ۴۴، ۳۵ و ۴۷ درصد است نیز بیشترین احتمال وقوع ماه های با بارش، مربوط به ماه آوریل است. بر اساس تحلیل نمایه های خشکسالی سال ۲۰۱۷-۲۰۱۸ نسبت به سال ۲۰۱۶-۲۰۱۷ مرطوب تر و در کل دوره آتی سال های ۲۰۲۴-۲۰۲۵ و ۲۰۲۵-۲۰۲۶ مرطوب ترین سال ها بر اساس این پژوهش اند. تحلیل فراوانی بارش حوضه سد دویرج بارش با دوره بازگشت ۵۰ سال را ۷۲۷/۶۱ میلی متر در یک سال برآورد کرده است.

کلیدواژگان: تحلیل فراوانی، تغییر اقلیم، زنجیره مارکوف، شاخص های خشکسالی، گزارش پنجم (AR5).

مقدمه

در نیم قرن اخیر، آب و هوا و محیط زیست جهانی دستخوش تغییرات بزرگی شده است. تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که طی یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است. گسترش صنعت و استفاده از سوخت‌های فسیلی برای ایجاد انرژی مورد نیاز بشر، به افزایش تمرکز گازهای گلخانه‌ای مانند CO_2 ، CH_4 ، CFC ، به‌ویژه CO_2 منجر شده است [۱]. پدیده تغییر اقلیم و آثار آن، از مهم‌ترین چالش‌های مدیریت منابع آب و انرژی به‌شمار می‌رود. تغییر متغیرهای اقلیمی (از جمله دما و بارندگی) سبب تغییراتی در شدت و فراوانی خشکسالی‌ها خواهد شد. لی و همکارانش در پژوهشی خشکسالی و تغییر اقلیم را با استفاده از شاخص‌های شدت خشکسالی پالمر و رطوبت خاک در آینده با استفاده از مدل‌های CMIP5 ارزیابی و بیان کردند که با توجه به فرایند افزایش دما، خشکسالی در قرن بیست‌ویکم بسیار جدی‌تر از قرن بیستم خواهد بود [۲]. مساح بوانی و نیز جلنس و رولین نخست آثار تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی را ارزیابی کردند و سپس با توجه به تغییرات دما و بارش به پایش خشکسالی پرداختند [۳ و ۴]. آسف‌جاه و همکارانش با استفاده از شاخص‌های خشکسالی، به پایش خشکسالی هواشناسی با استفاده از چند شاخص خشکسالی SPI ، Z score، Z china، CZI پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد شاخص‌های SPI ، Z score و CZI به‌طور مشابه خشکسالی ملایم را در حوضه نشان می‌دهند [۵ و ۶]. جانگ و همکارانش نیز به پایش پدیده خشکسالی در حوضه رودخانه لانگات در منطقه شبه‌جزیره واقع در مالزی پرداختند. آنان به‌منظور بررسی شدت، مدت و گسترش پدیده خشکسالی از خروجی مدل‌های گزارش پنجم IPCC، مدل Canesm2 تحت سناریوی RCP8.5 از دو شاخص SPI و EDI استفاده کردند. مقایسه شاخص SPI یک، شش و دوازده ماهه و خروجی شاخص EDI نتایج نشان داد خشکسالی در اقلیم آبی حوضه رودخانه لانگات سیر افزایشی خواهد داشت [۷]. در زمینه مدل‌های CMIP5 مطالعاتی روی نیاز آبی و تبخیر و تعرق انجام شده است که از آن جمله در پژوهشی نوذر و همکارانش به‌منظور بررسی میزان تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل در ۵۰ سال آتی (۲۰۲۱-۲۰۷۰) در دشت مشهد از

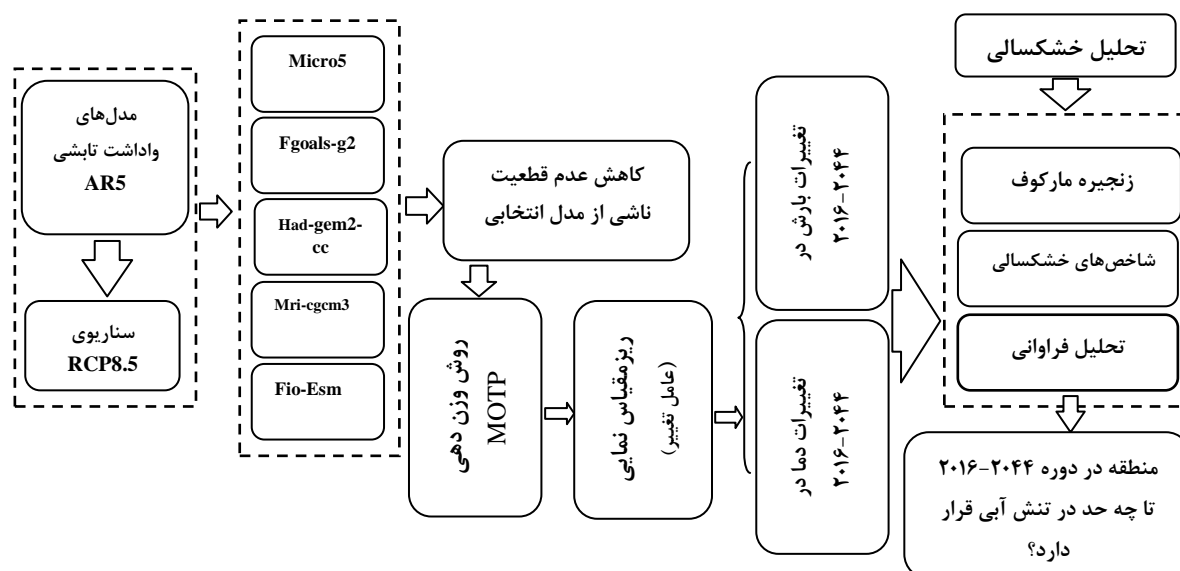
دو مدل اقلیمی از سری مدل‌های Cmp5 تحت سناریوی RCP با استفاده از معادله پنمن-مانتیت استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد ماه‌های گرم سال توانایی بیشتری در برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل نسبت به ماه‌های سرد سال دارند. همچنین بیشترین افزایش میزان تبخیر- تعرق در ماه ژانویه تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱۵/۴ و ۱۶/۴ درصد افزایش نسبت به دوره پایه و بیشترین میزان کاهش در ماه اکتبر با ۱۲/۵ و ۱۰/۰ درصد کاهش نسبت به دوره پایه مشاهده شد [۸]. در پژوهشی دیگر نوذر و همکارانش آثار تغییر اقلیم را بر نیاز آبی و فصل رشد نیشکر بر اساس مدل‌های اقلیمی AR5 تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در استان خوزستان بررسی کردند. در نهایت، نتایج پژوهش نشان داد با توجه به داده‌های تبخیر- تعرق پتانسیل، دمای میانگین، دمای کمینه، دمای بیشینه، تغییرات طول دوره رشد، بارش و تبخیر- تعرق گیاه در فصل رشد گیاه نیشکر تحت دو سناریوی یادشده در ایستگاه دزفول نسبت به میانگین اقلیمی به میزان ۳۵ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین طول دوره رشد در سناریوی RCP8.5 به شکل معناداری در همه ایستگاه‌ها کاهش نشان داده، اما میزان تغییرات تبخیر- تعرق گیاه طی دوره رشد معنادار نیست و کمتر از ۵ درصد است [۹ و ۱۰]. سارین و همکارانش در پژوهشی با استفاده از مدل‌های گزارش پنجم IPCC تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ارزیابی تحولات آینده دمای ماهانه و بارش و تأثیرات آنها را بر خشکسالی در حوضه رودخانه Barlad در (شرق رومانی) با استفاده از شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI) پرداختند. تجزیه و تحلیل شاخص پالمر در دو سناریو بیان می‌کند که به‌طور متوسط در حوضه رودخانه یادشده تحت شرایط تغییرات آب و هوایی خشکسالی کمی اتفاق خواهد افتاد [۱۱]. سیاهی و همکارانش در چین به‌منظور بررسی خشکسالی کشاورزی، هواشناسی و هیدرولوژیکی به ترتیب از شاخص‌های $SSWI$ ، SPI و SRI در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹، از پنج مدل گزارش پنجم IPCC استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد خشکسالی کشاورزی در درازمدت از شش تا ۲۶ ماه بیشتر از سایر خشکسالی‌ها خود را نشان داده است [۱۲]. کاتسوکوی و همکارانش برای پیش‌بینی تغییرات هیدرولوژیک و ارزیابی سازگاری آنها در حوضه رودخانه چائو فرایا در تایلند،

چند مدل به‌تنهایی و نیز بررسی چند روش مختلف برای ارزیابی خشکسالی در منطقه و مقایسه آنها با یکدیگر که در کل در مقایسه با کارهای انجام‌شده در زمینه بررسی خشکسالی سعی شده است جامعیت و دقت کافی را داشته باشد.

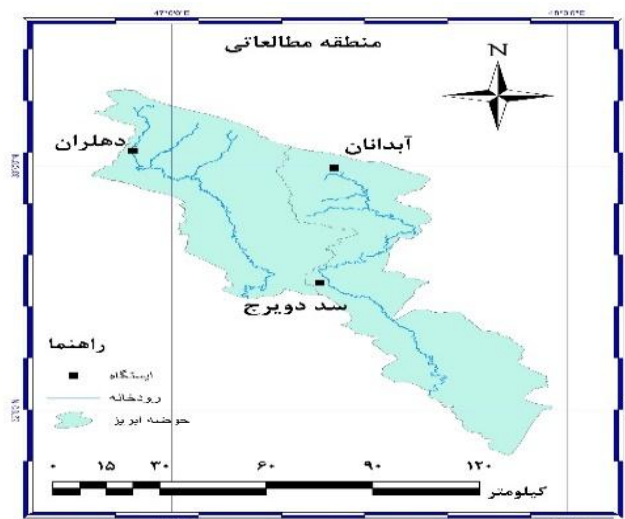
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه‌شده حوضه سد دویرج در شهرستان دهلران است که با وسعتی حدود ۱۲۰۸ کیلومترمربع در جنوب استان ایلام واقع شده است. در این منطقه بیشتر بارش‌ها در ماه‌های آذر و دی است. شهر دهلران با ارتفاع بیش از ۲۲۰ متر از سطح دریا در دامنه‌های کم‌ارتفاع غرب سلسله کوه‌های زاگرس واقع شده است. این شهر به‌دلیل ارتفاع کم، تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً معتدل دارد و با متوسط بارندگی سالانه نزدیک ۲۵۸ میلی‌متر جزء مناطق خشک کشور محسوب می‌شود. اقلیم این شهر با استفاده از آمار درازمدت دما و بارندگی ایستگاه دهلران و با روش آمبرژه اقلیم خشک معتدل است. همچنین بالادست حوضه سد دویرج شامل سه ایستگاه دهلران، آبدانان و سد دویرج می‌شود که مشخصات آنها در جدول ۱ آورده شده است.

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی را با استفاده از خروجی شش مدل GCM تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 و برای دو بازه زمانی آینده و دور انجام دادند [۱۳]. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد رواناب در هر دو سناریو به میزان ۲۰ درصد افزایش می‌یابد. همچنین پژوهشگران دیگری با استفاده از مدل اکوهیدرولوژیکی SWIM، آثار تغییر اقلیم بر رواناب را در چهار حوضه آبریز بزرگ در کشور آفریقا مقایسه کردند [۱۴]. آنها با استفاده از خروجی‌های اصلاح‌شده پنج مدل CMIP5 برای دو مسیر غلظت ۲/۶ و ۸/۵، مدل را اجرا کردند. نتایج تحقیق بیان‌کننده افزایش رواناب در سه حوضه از چهار حوضه مطالعه‌شده بود. از این‌رو، پرداختن به تغییرات دما و بارش در حکم نخستین اثر تغییر اقلیم در یک منطقه، حائز اهمیت است و همچنین روند افزایش جمعیت و کاهش منابع آب در جهان، از بحرانی‌ترین مقاطع زمانی را در قرن حاضر پیش روی بشر قرار داده است. دانشمندان، کارشناسان و مدیران تلاش می‌کنند تا با انجام اقدامات مؤثر و کارآمد به‌منظور کاهش آثار پدیده تغییر اقلیم، خسارت‌های ناشی از آن را تا حد امکان کاهش دهند. نوآوری این پژوهش در مقایسه با دیگران در زمینه استفاده از گزارش پنجم در مقابل گزارش چهارم و استفاده از روش ترکیب وزنی برای کاهش عدم قطعیت استفاده از یک یا



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش حاضر



شکل ۲. موقعیت منطقه مطالعاتی

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های موجود در حوضه سد دوبرج

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
دهلران	۳۲° ۴۱' ۲۶" N	۴۷° ۱۶' ۰۵" E	۲۹۷
آبدانان	۳۲° ۵۹' ۳۷" N	۴۷° ۲۵' ۱۱" E	۵۱۰/۳
سد دوبرج	۳۲° ۴۱' ۰۰" N	۴۷° ۱۶' ۰۰" E	۲۳۲

سناریوهای واداشت تابشی

گام نخست در مطالعات تغییر اقلیم انتخاب مدل‌های اقلیمی مناسب منطقه از میان مجموعه مدل‌های پیشنهادی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم IPCC برای اخذ داده‌های اقلیمی تحت سناریوهای منتخب است. IPCC اولین گزارش خود را در سال ۱۹۹۰ با عنوان (First Assessment Report, FAR) و گزارش تکمیلی آن را در سال ۱۹۹۲ ارائه داد. در سال ۱۹۹۵ گزارش دوم (Second Assessment Report, SAR) و در سال ۲۰۰۱ گزارش سوم IPCC با عنوان (Third Assessment Report, TAR) منتشر شده و گزارش چهارم IPCC (Fourth Assessment Report, AR4) در سال ۲۰۰۷ منتشر شد و گزارش پنجم (Fifth Assessment Report, AR5) نیز تا انتهای سال ۲۰۱۴ منتشر شد. هر گزارش شامل سه جلد می‌شود که نتایج گروه‌های کاری اول، دوم و سوم است. بیشتر مطالعات انجام‌شده در مدل‌سازی تغییر اقلیم، بر اساس داده‌های CMIP3 و CMIP4 انجام شده است، پس از انتشار مجموعه مدل‌های سری CMIP5 انجام مطالعات تغییر اقلیم با داده‌های آن برای کاهش عدم قطعیت مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی دهه‌های آتی امری ضروری است. پژوهش

حاضر بر اساس داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های حوضه بالادست سد دوبرج منتخب از مدل‌های اقلیمی CMIP5 انجام شده است. متغیرهای اقلیمی مورد نیاز در این پژوهش (متوسط بارش ماهانه، متوسط دمای ماهانه) در دوره پایه ۲۹ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۵) از ایستگاه‌های سینوپتیک و هواشناسی حوضه سد دوبرج در محدوده شهر دهلران تهیه شد. برای تولید سناریوهای اقلیمی در دوره آتی (۲۰۱۶-۲۰۴۴)، از خروجی پنج مدل گزارش پنجم (AR5 IPCC) تحت سناریوی RCP8.5 که قدرت تفکیک زیادی دارند و در جدول ۲ نشان داده شده است، استفاده شد. یکی از منابع عمده عدم قطعیت در مباحث تغییر اقلیم، از مدل‌های مختلفی ناشی می‌شود که خروجی‌های متفاوتی را برای متغیرهای اقلیمی تولید می‌کنند. برای دخالت عدم قطعیت مدل‌ها از روش MOTP استفاده شد که در ادامه تشریح می‌شود [۳].

آزمون کفایت داده‌ها

یکی از روش‌ها برای آزمون کفایت طول اطلاعات، استفاده از ضریب هرست^۱ است. مدل‌سازی سری‌های

1. Hurst Coefficient

RCP به روزرسانی نشده و نیز یک سری از متغیرهای اولیه روش SDSM نیز هنوز برای AR5 آماده نشده است. از این رو، روش عامل تغییر یا change factor برای این پژوهش در نظر گرفته شده است. به منظور کوچک مقیاس کردن داده‌ها به لحاظ مکانی از روش تناسبی استفاده می‌شود که در آن متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط AOGCM از اطلاعات مربوط به سلولی استخراج می‌شود که منطقه مد نظر در آن قرار می‌گیرد. همچنین از روش عامل تغییر (معادلات ۳ تا ۶) برای ریزمقیاس‌نمایی زمانی داده‌ها استفاده شد.

$$\Delta T_i = \bar{T}_{AOGCM, Fut, i} - \bar{T}_{AOGCM, Base, i} \quad (3)$$

$$\Delta P_i = \left(\frac{\bar{P}_{AOGCM, Fut, i}}{\bar{P}_{AOGCM, Base, i}} \right) \quad (4)$$

$$T = T_{Obs} + \Delta T \quad (5)$$

$$P = P_{Obs} \times \Delta P \quad (6)$$

در رابطه ۳ ΔT_i سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما برای متوسط درازمدت ۲۹ ساله برای هر ماه، $\bar{T}_{AOGCM, Fut, i}$ متوسط دمای ۲۹ ساله شبیه‌سازی شده توسط هر مدل AOGCM در دوره آتی برای هر ماه و $\bar{T}_{AOGCM, Base, i}$ متوسط دمای شبیه‌سازی شده توسط هر مدل AOGCM در دوره مشاهداتی برای هر ماه است. در رابطه ۴، برای بارندگی موارد یادشده برقرار است. در رابطه ۵، T سری زمانی حاصل از سناریوی اقلیمی دما برای دوره آتی، T_{Obs} سری زمانی دمای مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۵) و ΔT سناریوی تغییر اقلیم کوچک مقیاس شده است. برای بارندگی نیز موارد یادشده در رابطه ۶ برقرار است.

تعیین روند پارامترهای بارش و دما

در ایران نتایج بررسی پارامتر بارندگی بیان‌کننده وجود هر سه حالت روند مثبت، روند منفی و بدون روند بوده است. برای بررسی وجود داشتن یا نداشتن روند در داده‌های بارش و دما، در پژوهش حاضر از روش آزمون t -استیودنت و نیز من-کنندال استفاده شد. از آزمون t -استیودنت به منظور تعیین روند خطی در داده‌های بارش سالانه طبق رابطه ۷ استفاده شد [۱۶].

$$T_c = \frac{r\sqrt{N-2}}{1-r^2} \quad (7)$$

در رابطه ۷، r ضریب کوواریانس بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های برآوردی از معادله خطی است و N تعداد کل داده‌هاست. مقدار آماره آزمون (T_c) با مقدار

زمانی هیدرولوژیکی طول سری باید به گونه‌ای باشد که دوره‌های خشکسالی و ترسالی را شامل شود، به این منظور از ضریب هرست استفاده می‌شود. چنانچه این ضریب بیشتر از ۰/۵ باشد، این سری طول کافی دارد.

$$K = \frac{\log\left(\frac{R}{S}\right)}{\log\left(\frac{N}{2}\right)} \quad (1)$$

در رابطه ۱، N تعداد اطلاعات در سری زمانی، S انحراف معیار سری زمانی و R تفاوت بین بیشترین و کمترین مقادیر مثبت و منفی انحراف از میانگین سری‌های زمانی است که به صورت تجمعی محاسبه شده باشد.

جدول ۲. مشخصات مدل‌های AR5 [۱۵]

نام مدل	وضوح
Fgoals-g2	۲/۸۱۵ × ۳/۰
Micro5	۱/۴۰ × ۱/۴۰
Had-gem2-cc	۱/۸۷۵ × ۱/۲۵
Mri-cgcm3	۱/۱۲۵ × ۱/۱۲۵
Fio-esm	۶۴ × ۱۲۸

روش وزن دهی میانگین مشاهداتی دما و بارندگی 'MOTP

در این روش مدل‌های AR5 بر اساس مقدار انحراف معیار میانگین دما یا بارندگی شبیه‌سازی شده در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی وزن دهی می‌شوند.

$$W_i = \frac{(1/\Delta P_i)}{\sum_{i=1}^N (1/\Delta P_i)} \quad (2)$$

که در آن W_i وزن هر مدل در ماه مد نظر و ΔP_i انحراف میانگین درازمدت بارش شبیه‌سازی شده توسط هر یک از مدل‌ها در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی است. با جای گذاری مقادیر بارندگی به جای دما در رابطه ۲، وزن‌های متناظر با متغیر بارندگی نیز به دست می‌آید [۳].

ریزمقیاس گردانی

خروجی مدل‌های اقلیمی دقت تجزیه مکانی و زمانی مورد نیاز را ندارد، بنابراین لازم است که خروجی مدل‌های اقلیمی برای منطقه مد نظر ریزمقیاس شود. روش‌های ریزمقیاس متداول موجود از جمله مدل WGLARS هنوز برای سناریوهای جدید

ماتریس احتمال انتقال محاسبه می‌شود. ماتریس ایستا از ضرب مکرر ماتریس‌های احتمال در ماتریس اولیه به دست می‌آید که در نرم‌افزار Minitab انجام شده است و برای پیش‌بینی خشکسالی یا ترسالی در ماه‌ها و یا سال‌های آینده استفاده می‌شود [۱۷].

نمایه‌های خشکسالی

یکی از راه‌های ارزیابی و پایش خشکسالی شاخص‌هایی است که بتوان بر اساس آن میزان شدت و تداوم آن را در یک منطقه تعیین کرد. شاخص خشکسالی در واقع تابعی از عوامل مختلف محیطی است که بر پدیده خشکسالی اثر می‌گذارند. در نهایت، حاصل فرایند تابع یک عدد است که ارزیابی خشکسالی‌ها و تصمیم‌گیری‌های آینده، به مراتب مفیدتر از ردیف‌های متعدد مرتبط با خشکسالی است. در پژوهش حاضر شاخص‌های SPI, SIAP, Z score, BMDI محاسبه شد. روابط و محدوده تغییرات شاخص‌های بررسی شده در جدول ۳ ارائه شده است.

بحرانی توزیع t با درجه آزادی $(N-2)$ در سطح خطای α درصد مقایسه می‌شود.

پس از ریزگردانی داده‌ها و تعیین روند تغییرات بارش و دما در هر دوره به‌منظور تحلیل خشکسالی حوضه سد دویرج در گام نخست وضعیت احتمالی وقوع خشکسالی در مقیاس‌های فصلی، ماهانه و سالانه به روش زنجیره مارکوف بررسی شد. در گام بعدی برای پایش خشکسالی از نمایه‌های خشکسالی SPI, SIAP, Z score, BMDI در مقیاس ماهانه و سالانه در نرم‌افزار DIC و سپس تحلیل فراوانی بارش‌ها در نرم‌افزار EASYFIT انجام شد.

زنجیره مارکوف

یک روش ریاضی برای مدل‌بندی فرایندهای احتمالاتی است که در آن احتمال تغییر هر یک از مشاهدات از حالتی به حالت دیگر مشخص می‌شود. در این پژوهش از زنجیره مارکوف سه‌حالت استفاده شده است. در این ماتریس حرف D نشانه خشکسالی، W نشانه ترسالی و N به‌منزله نرمال است. بعد از شمارش تعداد حالت‌های انتقال شرطی،

جدول ۳. شاخص‌های به‌کاررفته در تحقیق حاضر

نام شاخص	محدوده تغییرات	رابطه	توضیحات
شاخص بارش استاندارد (SPI)	-۲ تا +۲	$SPI = \frac{P_i + \sum (P_{-i}) - \mu_n}{\delta_n}$	n: تعداد ماه‌هایی که بارندگی تجمعی آنها حساب می‌شود. P_i : مقدار نرمال‌شده بارندگی ماه فعلی، P_{-i} : مقدار نرمال‌شده بارندگی ماه قبلی، μ_n : میانگین تعداد بارندگی تجمعی n ماه، δ_n : انحراف معیار ماه‌هاست.
شاخص معیار بارش سالانه SIAP	-۱/۲۸ تا ۱/۲۵	$SIAP = \frac{(P_i - \bar{P})}{SD}$	P_i : بارندگی سال هیدرولوژی \bar{P} : میانگین بارندگی طی دوره آماری، SD: انحراف معیار سری بارندگی
شاخص توزیع نرمال استاندارد (Z score)	-۲/۸۵ تا ۲/۸۵	$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{\delta}$	x_i : تغییر ماهانه یا سالانه است، \bar{x} : میانگین بلندمدت متغیر مطالعاتی است و δ : انحراف معیار متغیر در بلندمدت است.
شاخص خشکسالی بالم و مولی (BMDI)	-۴ تا -۱	(۱): $MI = (P_i - p) * \frac{100}{SD}$ (۲): $\sum_{i=1}^k MI_t = a + bk$	الف) محاسبه میانگین درازمدت و انحراف استاندارد (SD) داده‌های بارندگی ماهانه. ب) محاسبه شاخص رطوبت ماهانه (MI) ج) استخراج کمترین مقادیر شاخص رطوبت ماهانه. د) برآزش خط رگرسیون بر کمترین مقادیر شاخص رطوبت تجمعی ماهانه با استفاده از اصل کمترین مربعات. MI_t : شاخص رطوبت تجمعی در ماه t ام، k تعداد ماه‌ها و a و b ثابت‌های معادله

شرایط خشک قرار می‌گیرد که نسبت به سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ که تقریباً در این منطقه شرایط نرمال برقرار است باید برای مدیریت بهره‌برداری از این سد برنامه‌ریزی و شبیه‌سازی منحنی فرمان سد در شرایط جیره‌بندی اقدامات لازم و کافی انجام شود [۱۹ و ۶]. استفاده از مدل‌های مختلف تغییر اقلیم نتایج متغیری به وجود می‌آورد که سبب ایجاد عدم قطعیت در پارامترهای هواشناسی و به تبع آن هیدرولوژی می‌شود. روش MOTP در این پژوهش وزن مدل‌ها را بر اساس مشابهت آنها به داده‌های مشاهده‌ای تعیین می‌کند که در جدول ۴ نشان داده شده است.

همچنین برای بررسی عملکرد مدل‌ها و به خصوص عملکرد مدل ترکیب وزنی از معیارهای عملکرد ضریب تعیین (R^2)، نش - ساتکلیف (NSE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و متوسط خطای مطلق (AE) استفاده شد. جدول ۵ معیارهای عملکرد مدل‌های اقلیمی در شبیه‌سازی سلول اصلی را نسبت به داده‌های مشاهداتی ایستگاه مد نظر نشان می‌دهد.

ملاحظه می‌شود که عملکرد مدل ترکیب وزنی در شبیه‌سازی بارش برای ایستگاه مطالعه‌شده نشان‌دهنده زیادبودن ضریب همبستگی و کم‌بودن نسبی شاخص‌های خطا در مقایسه با سایر مدل‌هاست. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که این مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی حوضه سد دویرج دارد و می‌توان به خروجی‌های آن برای این حوضه اعتماد داشت. مقایسه بین پارامترهای بارش و دما در مدل ترکیب وزنی (پنج مدل اقلیمی) و مشاهداتی که در شکل ۳ آمده، نشان می‌دهد در حوضه سد دویرج تحت سناریوی RCP8.5 پارامتر بارش در بیشتر ماه‌های سال در دوره آتی ۲۰۱۶-۲۰۴۴ میلادی افزایش بارندگی دارد، اما در ماه ژانویه (دی - بهمن) افزایش چشمگیر بارندگی دیده می‌شود. پارامتر دما نیز در همه ماه‌ها افزایش را نشان می‌دهد، همچنین بیشترین افزایش دما در ماه ژوئیه (خرداد- تیر) اتفاق افتاده است.

محاسبه احتمال وقوع بارندگی و دوره بازگشت

دوره بازگشت امید ریاضی فاصله زمانی بین دو رخداد متوالی پدیده‌ای بزرگ‌تر از پدیده بحران ($x > x_0$) است. اگر پدیده مستقل و احتمال عبور P از یک پدیده بحرانی در آزمایش (سال) ثابت باقی بماند، هر دو تعریف یادشده به رابطه مشابهی برای دوره بازگشت T به صورت $T=1/P$ می‌انجامند. این رابطه درباره پدیده‌های منفردی همچون بارندگی‌های سالانه با فرض اینکه بارندگی در یک سال معین (آزمایش)، مستقل و دارای توزیع یکسان با احتمال عبور P باشد، به طور وسیعی استفاده شده است [۱۸]. قبل از ارزیابی دوره بازگشت، سری‌های زمانی سالانه بارش ایستگاه سد دویرج طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۴ تحلیل شد و مناسب‌ترین توزیع آماری برازش داده‌شده بر داده‌ها از نرم‌افزار EASYFIT تعیین شد. توزیع Wakeby با رابطه ۸ به عنوان برترین توزیع شناخته شد.

$$f(x) = \zeta + \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \left(1 - (1-U)^\beta\right) - \left(\frac{\gamma}{\delta}\right) \left(1 - (1-U)^\delta\right) \quad (8)$$

در رابطه یادشده $\alpha, \beta, \zeta, \gamma, \delta$ پارامترهای توزیع یادشده و U مقادیر بارش سالیانه است.

نتایج و بحث

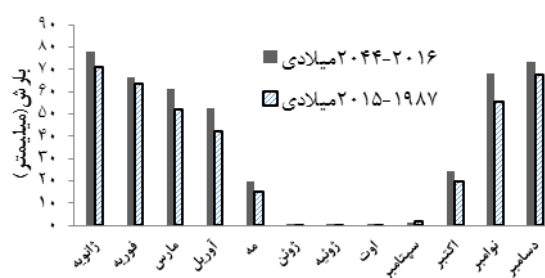
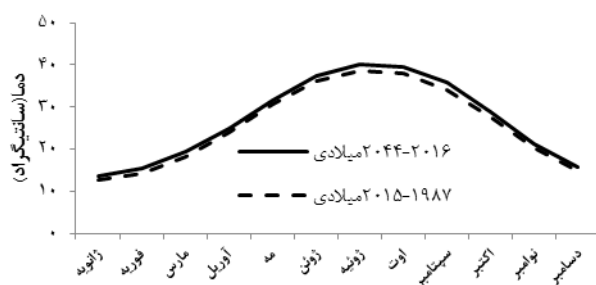
پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه تغییر پارامترهای بارش و دما بر اثر تغییر اقلیم بیشتر با مدل‌های گزارش چهارم AR4 انجام شده‌اند در حالی که مدل‌های گزارش پنجم AR5 کمتر در ایران کار شده‌اند. پژوهش حاضر پنج مدل از سری جدید را با روش وزن‌دهی MOTP ترکیب کرده است که عدم قطعیت استفاده از مدل نیز برطرف شود. با توجه به اینکه وقوع خشکسالی، وضعیت منابع و مصارف و به تبع آن وضعیت اجتماعی و اقتصادی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تحلیل خشکسالی شهرستان دهلران و حوضه آبریز سد دویرج با روش‌های زنجیره مارکوف، شاخص‌های خشکسالی و فراوانی وقوع نشان‌داد منطقه از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۱ تقریباً در

جدول ۴. وزن هر مدل اقلیمی به تفکیک هر ماه

مدل	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
Fgoals	۰/۱۹۵	۰/۱۹۶	۰/۲۰۱	۰/۲۰۵	۰/۱۹۸	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۱۹۹	۰/۲۰۰	۰/۱۹۶	۰/۲۰۲	۰/۱۹۷
Fio-esm	۰/۲۰۵	۰/۱۹۸	۰/۲۰۱	۰/۲۰۱	۰/۲۰۰	۰/۱۹۹	۰/۱۹۹	۰/۲۰۰	۰/۱۹۹	۰/۱۹۸	۰/۱۹۹	۰/۲۰۴
Had-gem	۰/۱۹۴	۰/۲۰۰	۰/۱۹۸	۰/۱۹۷	۰/۱۹۶	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۱۹۹	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۱۹۴	۰/۱۹۶
Micro5	۰/۲۰۳	۰/۲۰۴	۰/۱۹۸	۰/۱۹۸	۰/۲۰۲	۰/۲۰۰	۰/۱۹۹	۰/۱۹۹	۰/۱۹۹	۰/۲۰۳	۰/۱۹۹	۰/۱۹۹
Mri-cgm3	۰/۲۰۱	۰/۱۹۹	۰/۲۰۰	۰/۱۹۵	۰/۲۰۱	۰/۲۰۰	۰/۱۹۹	۰/۲۰۱	۰/۱۹۹	۰/۲۰۰	۰/۲۰۳	۰/۲۰۱

جدول ۵. شاخص‌های عملکرد مدل‌های اقلیمی نسبت به داده‌های مشاهداتی بارش و دما

دما				بارش				مدل
R^2	NSE	RMSE	MAE	R^2	NSE	RMSE	MAE	
۰/۹۹	۰/۹۸	۱/۰۲	۱/۱۷	۰/۹۹	۰/۹۵	۷/۶۳	۴/۹۰	ترکیب وزنی
۰/۹۸	۰/۹۷	۱/۴۶	۱/۴۰	۰/۹۵	۰/۹۱	۱۰/۲۲	۶/۱۲	Fgoals
۰/۹۸	۰/۹۸	۱/۰۹	۲/۰۱	۰/۸۹	۰/۸۱	۱۵/۳۶	۶/۳۷	Fio-esm
۰/۹۷	۰/۹۶	۱/۶۳	۱/۵۷	۰/۹۶	۰/۷۳	۱۸/۴۷	۱۱/۷۱	Had-gem2-cc
۰/۹۸	۰/۹۸	۱/۲۶	۱/۲۲	۰/۹۱	۰/۸۷	۱۲/۵۹	۶/۹۳	Micro5
۰/۹۸	۰/۹۸	۱/۰۴	۱/۲۰	۰/۹۳	۰/۸۷	۱۲/۵۸	۶/۵۳	Mri-cgm3



شکل ۳. تغییرات درازمدت بارندگی و دما در دوره مشاهداتی و آتی

نیست. بررسی عدم قطعیت بارش‌های ماهانه و فصلی و نیز بررسی احتمالات پایدار آنها با مدل زنجیره مارکوف بررسی شده و نتایج آن به صورت ماتریس‌های احتمال و احتمال پایا در جدول ۶ ارائه شده است.

بر اساس ماتریس‌های احتمال در فصل زمستان، احتمال عدم وقوع بارش بعد از یک ماه خشک ۷۰ درصد و احتمال وقوع بارش بعد از یک ماه خشک در این فصل حدود ۳۰ درصد است، به همین ترتیب برای سایر فصول بهار و پاییز احتمال عدم وقوع بارش بعد از یک ماه خشک به ترتیب ۶۰ و ۵۲ درصد و احتمال وقوع بارش بعد از یک ماه خشک به ترتیب ۴۰ و ۴۸ درصد است. چنانکه ملاحظه می‌شود کمترین میزان احتمال وقوع ماه‌های خشک متوالی، ۵۲ درصد در فصل پاییز است. همچنین بیشترین احتمال وقوع یک ماه مرطوب بعد از یک ماه مرطوب مربوط به فصل زمستان حدود ۶۳ درصد است و کمترین میزان به فصل بهار با ۲۵ درصد اختصاص دارد. در فصل تابستان و ماه‌های ژوئن تا سپتامبر هیچ حالتی از تغییر وضعیت حالت ماه‌های متوالی با بارش رؤیت نشده است. همچنین میزان تغییر حالت ماه مرطوب بعد از ماه مرطوب در فصل پاییز ۴۷ درصد و در ماه‌های نوامبر و دسامبر به ترتیب ۵۶ و ۶۵

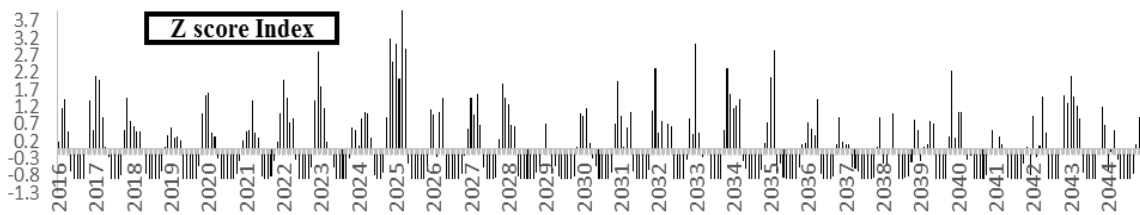
به منظور شناخت خصوصیات بارش، روند خطی آنها بررسی شد. با مقایسه T_e محاسبه شده و T_e بحرانی برای داده‌های بارش سالانه دوره آبی در سطح اطمینان ۵ درصد، روند کاهشی و بر اساس آزمون من-کندال روند معناداری مشاهده نشد، در حالی که برای پارامتر دما با هر دو آزمون T و من-کندال روند افزایشی مشاهده شد، به طوری که آماره آزمون من-کندال برای این پارامتر ۵/۹۶ به دست آمده است. آنچه مشهود است به رغم افزایش میانگین درازمدت ماهانه در دوره آبی که در بیشتر ماه‌ها افزایش بارش را نشان می‌دهد، میانگین بارش سالانه طبق آزمون‌های روند تی و من-کندال بدون روند است. از این رو، میانگین بارش سالانه کل دوره مطالعاتی از ۱۹۸۷ تا ۲۰۴۴ نیز با هر دو آزمون بررسی شد و روند معناداری در آن مشاهده نشد. همچنین به منظور بررسی طول داده‌های استفاده شده در این تحقیق، از ضریب هرست استفاده شد. هرست با استفاده از این روش تعداد زیادی از سری‌های ماهانه جریان و بارش را بررسی کرد. ضریب هرست داده‌های بارش و جریان دوره مشاهداتی ۰/۶۳ و ۰/۷۳ به دست آمد. هرچه این ضریب از ۰/۵ بیشتر باشد، نشان می‌دهد که حافظه بلندمدت در سری زمانی بیشتر است بدین معنا که نیازی برای تطویل اطلاعات سری

به ترتیب ۴۴، ۳۵ و ۴۷ درصد است. بر اساس این جدول بیشترین احتمال وقوع ماه‌های با بارش، مربوط به ماه آوریل (فروردین - اردیبهشت) است. همچنین با توجه به جدول یادشده بیشترین احتمال وقوع بارش و تغییر وضعیت‌های ماه مرطوب به ماه مرطوب دیگر مربوط به فصل پاییز است. به منظور بررسی شدت کمی خشکسالی، از نمایه‌های خشکسالی استفاده شد. شکل‌های ۴-۷ شاخص‌های خشکسالی را در دو دوره آتی نشان می‌دهند.

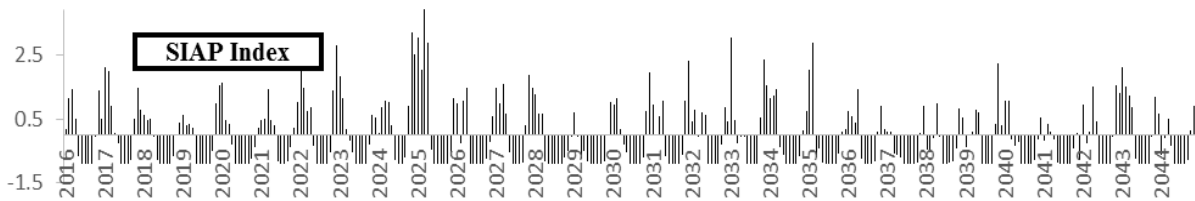
درصد قابل توجه است. این وضعیت موافق با دو ماه متوالی همراه با بارش در فصل بهار و ماه آوریل نیز شایان یادآوری است. با توجه به ماتریس احتمال پایای جدول یادشده، در ماه‌های با بارش حوضه سد دوبرج ماتریس تغییر وضعیت در مرحله دهم و تا دو رقم اعشار به این شرایط رسید؛ احتمال وقوع ماه بدون بارش بعد از ماه فاقد بارش دیگر در فصول زمستان، بهار و پاییز به ترتیب ۵۶، ۶۳ و ۵۲ درصد است و احتمال وقوع بارش بعد از یک ماه خشک در فصول یادشده

جدول ۶. ماتریس احتمال پایای ماه‌های مختلف ایستگاه دهلران طی دوره آماری ۲۰۱۶-۲۰۴۴

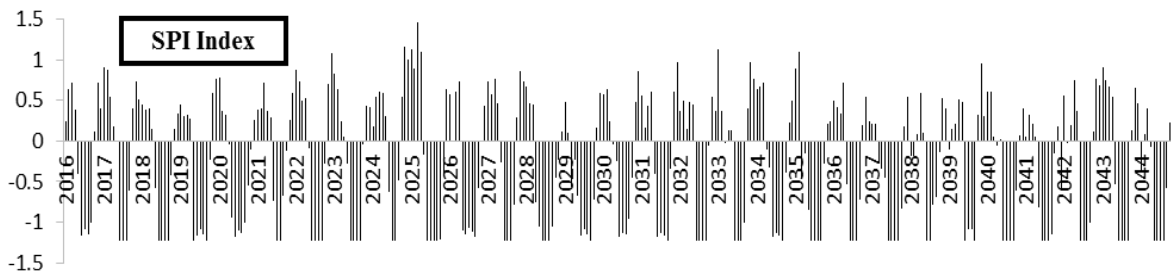
فصول	ماتریس احتمال	ماتریس احتمال پایا	ماه	ماتریس احتمال	ماتریس احتمال پایا
			ژانویه	$\begin{bmatrix} 0/5 & 0 & 0/5 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/66 & 0 & 0/34 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0/56 & 0 & 0/44 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/57 & 0 & 0/43 \end{bmatrix}$
زمستان	$\begin{bmatrix} 0/63 & 0 & 0/36 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/29 & 0 & 0/71 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0/46 & 0 & 0/54 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/44 & 0 & 0/56 \end{bmatrix}$	فوریه	$\begin{bmatrix} 0/38 & 0 & 0/62 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/47 & 0 & 0/53 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0/44 & 0 & 0/56 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/43 & 0 & 0/57 \end{bmatrix}$
			مارس	$\begin{bmatrix} 0/45 & 0 & 0/55 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/25 & 0 & 0/75 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0/31 & 0 & 0/69 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/32 & 0 & 0/68 \end{bmatrix}$
			آوریل	$\begin{bmatrix} 0/77 & 0 & 0/23 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/67 & 0 & 0/33 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0/74 & 0 & 0/26 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/75 & 0 & 0/25 \end{bmatrix}$
بهار	$\begin{bmatrix} 0/25 & 0 & 0/74 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/4 & 0 & 0/6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0/34 & 0 & 0/63 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/35 & 0 & 0/63 \end{bmatrix}$	مه	$\begin{bmatrix} 0/34 & 0 & 0/66 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/31 & 0 & 0/69 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0/32 & 0 & 0/68 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/31 & 0 & 0/69 \end{bmatrix}$
			ژوئن	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
تابستان			ژوئیه		
			اگوست		
			سپتامبر		
			اکتبر	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0/08 & 0/92 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0/05 & 0/59 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0/04 & 0/55 \end{bmatrix}$
پاییز	$\begin{bmatrix} 0/47 & 0 & 0/53 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/48 & 0 & 0/52 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0/46 & 0 & 0/50 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/47 & 0 & 0/52 \end{bmatrix}$	نوامبر	$\begin{bmatrix} 0/56 & 0 & 0/44 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/58 & 0 & 0/41 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0/55 & 0 & 0/41 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/54 & 0 & 0/41 \end{bmatrix}$
			دسامبر	$\begin{bmatrix} 0/65 & 0 & 0/35 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/87 & 0 & 0/13 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0/71 & 0 & 0/28 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0/71 & 0 & 0/28 \end{bmatrix}$



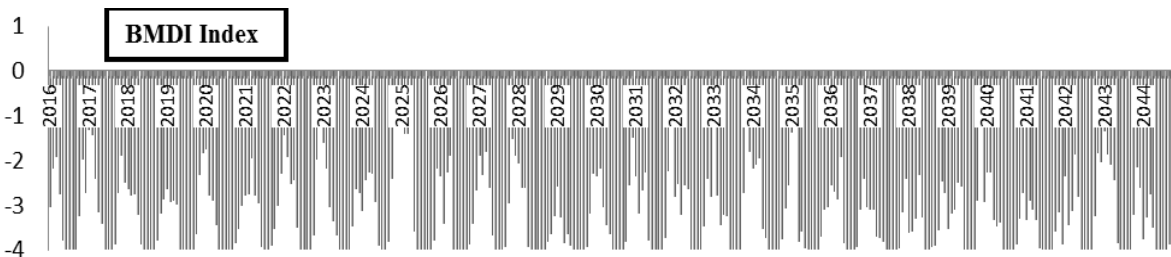
شکل ۴. وضعیت شاخص Z score دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۴ در ایستگاه سد دوبرج



شکل ۵. وضعیت شاخص SIAP دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۴ در ایستگاه سد دوبرج



شکل ۶. وضعیت شاخص SPI دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۴ در ایستگاه سد دوبرج



شکل ۷. وضعیت شاخص BMDI دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۴ در ایستگاه سد دوبرج

ماه‌های نسبتاً نرمال ۲۲۷، تعداد ماه‌های نسبتاً خشک ۱۱۲ و تعداد ۹ ماه نسبتاً مرطوب است. شاخص بال‌م و مولی (BMDI) نیز از بین ۳۴۸ ماه این دوره در ۱۴۳ ماه خشکسالی، ۹۰ ماه نسبتاً خشک، ۳۱ ماه خشکسالی ضعیف، در ۷۵ ماه خشکسالی خیلی زیادی و در ۹ ماه وضعیت نرمال نشان می‌دهد. شکل‌های ۴-۷ در دوره آتی ۲۰۱۶-۲۰۴۴ از بین ۳۴۸ ماه شاخص Z score در ۸۷ ماه وضعیت نزدیک به نرمال، در ۷۹ ماه نسبتاً مرطوب، ۱۵۷ ماه نسبتاً

با بررسی‌های به‌عمل‌آمده از نتایج نمایه‌های خشکسالی، شاخص توزیع نرمال استاندارد در دوره مشاهداتی ۱۹۸۷-۲۰۱۵ از بین ۳۴۸ ماهی که در این دوره است تعداد ۸۶ ماه وضعیت نزدیک به خشکسالی، ۷۸ ماه نسبتاً مرطوب، ۱۵۷ ماه نسبتاً خشک و ۲۷ ماه خیلی مرطوب پیش‌بینی شده است. همچنین با توجه به شاخص SIAP تعداد ماه‌های نرمال ۸۵، خیلی مرطوب ۵۴، خشک ۱۶۰ و تعداد ماه‌های مرطوب ۴۹ ماه به‌دست آمده است. در نمودار SPI نیز تعداد

شاخص‌های خشکسالی در مقیاس سالانه بیان می‌کند که شاخص‌های Zscore و SIAP، سال ۲۰۳۳-۲۰۳۴ را مرطوب و شاخص‌های SPI و BMDI وضعیت نرمال را نشان می‌دهند که نتیجه شاخص‌های SPI و BMDI با نتایج این شاخص‌ها در مقیاس ماهانه یکسان است. شاخص‌های Zscore و SIAP وضعیت مرطوب را برای سال ۲۰۴۳-۲۰۴۴ نشان می‌دهند. این در حالی است که دو شاخص دیگر وضعیت نرمال را برای دوره آتی در حوضه سد دویرج نشان می‌دهند. به منظور داشتن ایده‌های کلی از سه ویژگی شدت، مدت و دوره بازگشت خشکسالی در منطقه مطالعاتی، مقادیر شدت با تداوم‌های یک‌ساله و سپس شدت خشکسالی با دوره بازگشت‌های مختلف (۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۵۰ ساله) بر اساس توزیع Wakeby برآورد شد که پارامترهای آن در جدول ۷ و نتایج تحلیل فراوانی آن در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۷. پارامترهای بهترین توزیع برازش داده‌شده (Wakeby) بر سری سالانه بارندگی در دوره آتی

α	β	γ	δ	ζ
۷۲۷/۲۳	۵/۵۹	۱۸۷/۴۳	-۰/۲۳	۱۰۰

جدول ۸. استخراج مقادیر شدت و دوره بازگشت خشکسالی در حوضه سد دویرج در دوره آتی

دوره بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۵۰
احتمال وقوع (Wakeby)	۰/۵	۰/۲	۰/۱	۰/۰۶۷	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۲
میزان بارش سالانه (میلی‌متر)	۳۶۲/۴۸	۴۹۷/۲	۵۸۰/۲	۶۱۷/۹	۶۵۰/۸۷	۶۷۱/۳۳	۷۲۷/۶۱

خشکسالی‌ها با زنجیره مارکوف نشان می‌دهد احتمال رسیدن از یک حالت معین به همان حالت در ماه بعدی بسیار زیاد و اغلب بیش از ۶۰ درصد است. در مقابل احتمال گذر از یک وضعیت به وضعیت مخالف در همه حالت‌ها بسیار کم و اغلب کمتر از ۱۰ درصد است [۶ و ۲۰-۲۲]؛ که با پژوهش‌های و همکارانش مطابقت دارد. بررسی کمی شاخص‌های خشکسالی SPI، SIAP، Z score، BMDI در دوره آتی ۲۰۱۶-۲۰۴۴ وضعیت سال ۲۰۲۷ را تقریباً نرمال مرطوب و وضعیت سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۲۸، ۲۰۳۷ و ۲۰۴۱، نسبتاً خشک نشان دادند که با نتایج پژوهش تیموری و همکارانش، که به ارزیابی پدیده خشکسالی در دهلران با استفاده از شاخص SPI و SIAP پرداختند، همخوانی دارد و با نتایج

خشک و در ۲۵ ماه وضعیت خیلی مرطوبی را نشان می‌دهند. در شاخص SIAP در بین ۳۴۸ ماه دوره آتی ۸۵ ماه نرمال، ۵۸ ماه خیلی مرطوب، ۱۶۰ ماه وضعیتی خشک و ۴۵ ماه وضعیت مرطوب مشخص شده است. شاخص بارش استاندارد SPI، در ۲۲۹ ماه وضعیتی نسبتاً نرمال، ۱۰۹ ماه را نسبتاً خشک و ۱۰ ماه را نسبتاً مرطوب نشان داده است. همچنین شاخص BMDI، ۱۴۸ ماه را خشک، ۸۷ ماه نسبتاً خشک، ۷۰ ماه به شدت خشک، ۱۳ ماه را نرمال و در ۳۰ ماه خشکسالی را نشان می‌دهد. وضعیت خشکسالی در دوره آتی به صورت سالانه در جدول ۹ نشان داده شده است. بررسی شاخص‌های خشکسالی در مقیاس سالانه نشان داد سال‌های ۲۰۲۸-۲۰۲۹ و ۲۰۳۷-۲۰۳۸ میلادی در دوره آتی از خشک‌ترین سال‌ها خواهند بود و همچنین سال‌های ۲۰۲۴-۲۰۲۵ و ۲۰۲۵-۲۰۲۶ مرطوب‌ترین سال‌ها در منطقه مطالعاتی هستند. مقایسه

در برنامه‌ریزی‌های درازمدت مثلاً ۵۰ سال شدت‌های خشکسالی بیشتر است؛ ولی در برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت منطقه‌ای باید روی شدت کمتر تأکید کرد. همان‌طور که در ساخت تأسیسات آبی مانند سد برمبنای بیشترین بارندگی‌های محتمل انجام می‌شود، لازم است بیشترین شدت خشکسالی که با همان دوره بازگشت در منطقه اتفاق می‌افتد نیز در نظر گرفته شود، چه بسا وقوع یک خشکسالی شدید با یک دوره بازگشت معین ممکن است مانع از آنگیری سدها شود.

نتایج این پژوهش و مطالعات مشابه، مبنی بر حاکم‌بودن همین شرایط در منطقه است که البته با گزارش AR4 انجام شده است و مطابقت دارد. همچنین بررسی تواتر

آتی در ماه‌های ژوئیه (تیر- مرداد)، اوت (مرداد- شهریور) و سپتامبر (شهریور- مهر) و کمترین افزایش دما در ماه آوریل (فروردین- اردیبهشت) مشاهده شد. بررسی ماتریس‌های احتمال فصلی و ماهانه زنجیره مارکوف در دوره آتی بیشترین میزان احتمال وقوع ماه‌های خشک متوالی در فصل پاییز و کمترین میزان احتمال وقوع چنین وضعیتی در فصل بهار است. همچنین بیشترین احتمال وقوع یک ماه مرطوب بعد از یک ماه مرطوب مربوط به فصل زمستان است. نتایج تحلیل فراوانی بارش پنجاه‌ساله در دوره آتی نیز بیان‌کننده افزایش ۲۱/۸ درصدی این پارامتر نسبت به دوره پایه است.

منابع

- [1]. Mansouri B, Ahmadzadeh, Hojat. Masah Bavani, Alireza. Morid Said. Delavar, Saeid. The effects of climate change on water resources basin model SWAT. Journal of Agricultural Science and Technology. 2014; 28(6): 1191-1203. [Persian].
- [2]. Li Z, Liu WZ, Zhang X C, and Zheng F. Impact of land use change and climate variability on hydrology in an agriculture cathment on the Loess Plateau of China. Journal of Hydrology. 2009; 377: 35-42.
- [3]. Masah Bavani A. Risk assessment of climate change and its impact on water resources, watershed case study of Zayandehrood. Ph.D. Thesis. Said Morid (Help). School of Agriculture. Tarbiat Modares University. 2006 [Persian].
- [4]. Gellens D, and Roulin E. Stream flow response of Belgian to IPCC climate change scenarios. J. Hydrol, 1998. PP: 210-258.
- [5]. Asefjeh B, Fanian Z, Abollhasani A, Paktinat H, Naghilou M, Molaei A, Asadollahi M, Babakhani M, Kouroshniya A, Salehi F. Meteorological drought monitoring using several drought indices case study: Salt Lake Basin in Iran. Desert 19-2. 2014. pp155-165
- [6]. Sayari N, Bannayan M, Alizadeh A, and Farid A. Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (case study: Kashafrood basin). Meteorological Applications Meteorol. Appl. 2013; 20: 115-127.
- [7]. Jong T.A, Yuk F, Hung Yong J.T, Mirzaei M, Z. Drought Forecaasting Using SPI and EDI under RCP8.5 Climate Change Scenarios for Langat River Basin, Procedia Engineering. 2016; 154: 710-717.

پژوهش‌هایی که به بررسی پدیده خشکسالی با استفاده از برخی شاخص‌های این تحقیق مانند CZI, BMDI, SIAP, RAI و PN پرداخته‌اند، مطابق نیست [۷-۹ و ۱۵ و ۲۴]. نتایج بررسی روند تغییرات بارش و دما، نبود روند معنادار در میزان بارش سالانه و روند افزایشی دما با نتایج پژوهش حیدری و همکارانش، که به بررسی روند تغییرات بارش و دما با استفاده از روش غیرپارامتری من- کندال، در استان ایلام پرداختند، همپوشانی دارد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل فراوانی میزان بارندگی سالانه دوره آتی ۲۰۴۴-۲۰۱۶، میزان بارش با دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰، ۲۰، ۵۰ ساله در دوره آتی به‌ترتیب ۳۶۲/۴۸، ۵۸۰/۲، ۶۵۰/۸۷، ۷۲۷/۶۱ میلی‌متر در سال برآورد شده است که نسبت به دوره پایه با همان دوره بازگشت‌ها به‌ترتیب ۳۲۹/۵۶، ۴۷۶/۲۴، ۵۲۸/۴، ۵۹۶/۹۳ افزایش را نشان می‌دهد که بیان‌کننده عدم توزیع یکنواخت بارش و نیز احتمال ایجاد شرایط مناسب‌تری نسبت به دوره پایه است. نتایج تحلیل فراوانی بارش‌های حوضه بالادست سد دوبرج با پژوهش کمری و نوری که به ارزیابی و برآورد دوره بازگشت بارندگی با استفاده از داده‌های بارندگی سالانه با توجه به بهترین توزیع احتمالی (ویبول) در شهرستان کرمانشاه پرداخته‌اند، از لحاظ افزایش مقدار بارش‌ها در دوره آتی برای دوره بازگشت‌های بالا تأیید شده است [۲۶].

نتیجه‌گیری

بررسی‌های به‌عمل‌آمده از نتایج ریزمقیاس‌سازی متغیرهای هواشناسی (متوسط بارندگی و دمای ماهیانه) نشان داد میانگین درازمدت بارش ماهانه دوره آتی ۱۴ درصد و میانگین دمای ماهانه دوره آتی ۱/۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. البته، این افزایش بارش به‌صورت میانگین درازمدت ماهانه است و آزمون روند بر داده‌های بارش سالانه انجام شده و هیچ روندی برای افزایش در دوره آتی را نشان نمی‌دهد و نیز بررسی شاخص‌ها نشان‌دهنده ایجاد سال‌های خشک در دوره آتی است که می‌تواند اثبات دیگری بر نبود روند در بارش دوره آتی باشد. همچنین بیشترین افزایش بارندگی در دوره آتی در ماه‌های آوریل (فروردین- اردیبهشت) و نوامبر (آبان- آذر) و کمترین کاهش بارندگی در دوره آتی نسبت به دوره پایه در ماه سپتامبر (آذر- دی) مشاهده شد. همچنین بیشترین افزایش دمای ماهانه در دوره

- [8]. Nozar GH, Babaeian I, Tabatabai SMR. After evaluating the data output processing dynamic climate models to estimate potential evapotranspiration changes in radiative forcing scenarios (Case Study: Mashhad plain). *Journal of Earth and Space Physics*. 2016; 42(3): 687-696. [Persian].
- [9]. NozarGH, Babaeian I, Tabatabai SMR. The effects of climate change on water requirement and duration of growth of the sugarcane under radiative forcing scenarios. *Journal of Water and Soil Conservation*. Year 6. 2016; (1). [Persian].
- [10]. Aghakhani A, Hassanzadeh AH, Bsalt Pour Y, Pour Reza AA, Bilandi M. Seasonal changes in precipitation and temperature explore the river basin approach in future periods circulation models CMIP5. *Journal Agricultural Science and Technology*. 2016; 30(5): 1732-1718. [Persian]
- [11]. Sorin LD, Madalina G, Roxana B, Marius VB, Roxana C, Ruxandra V, Mary JA, Viorel CH. Drought-related variables over the Bârlad basin (Eastern Romania) under climate change scenarios, Elsevier. doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.018. 2016; 141: 92-99
- [12]. Siah S, Shahbazi A, Khademi k. The prediction of the effect of variation on monthly runoff of the Dez Dam basin using the IHACRES model. *Quarterly journal of water science and engineering*. Islamic Azad University of Ahvaz. Seventh year. 2017; 15.
- [13]. Kotsuki S, Tanaka K, and Watanabe S. Projected hydrological change and their consistency under future climate in the Cho Phrya River Basin using multi-model and multi scenario of CMIP5 dataset. *Hydrological Research Letters*. 2014; 8(1): 27-32.
- [14]. Aich V, Liersch S, Vetter T, Huang S, Tecklenburg J, Hoffmann P, Koch H, Fournet S, Krysanova V, Muller EN, and Hattermann FF. Comparing impact of climate change on streamflow in four large African river basins. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2014; 18(4):1305-1321.
- [15]. Chiyuan M, Qingyun D, Qiaohong S, Huang Yong H, Kong D, Tiantian Y, Aizhong Ye, Zhenhua Di, Gong W. Assessment of CMIP5 climate models and projected temperature changes over Northern Eurasia. *Environmental Research Letters*. 2014; (9):5.
- [16]. Alizadeh A, *Principles Applied Hydrology*. Published twenty-fifth. Press Astan Quds Razavi. 2008. [Persian].
- [17]. Mohammadi H, KHazaei M, Mahonchi E, Abasi MH. Analysis of the Frequency and duration of rainy days in Shiraz using Markov chain model. *Journal of Geographic Information*. 2015; 24(93): 77-90. [Persian].
- [18]. Khalili D. Challenges facing the management of water resources in drought conditions in Iran. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources strategy*. 2016. PP: 164-149. [Persian].
- [19]. Gol Mohammadi M, Masah Bavani A. Assessment of changes in the intensity and recurrence of drought in the basin Soo future periods affected by climate change. *Water and Soil magazine (Science and Agriculture)*. 2011; 5(2): 315-326. [Persian].
- [20]. Saligheh M, Alijani B, DelAra GH. Wet Season is spatial analysis using Markov Chain Model (Case Study of Ardebil). *Applied Geographical Sciences Research*. 2011. PP: 25-44. [Persian].
- [21]. Hanafi A, Khosh Akhlagh F, Soltani M. Drought analysis and forecast of Tehran using SPI index upon Markov chain model. *Journal of Geography and environmental sustainability*. 2012; (3): 87-100. [Persian].
- [22]. Raziee T. Predicted droughts in arid and semiarid regions of Iran using time series models and Markov chain. *Journal of Research Engineering and watershed management*. 2016. PP: 454-477. [Persian].
- [23]. Teymoori J, Teymoori M. Check the interactions between climate change and drought in Ilam province (Case study: city DEHLORAN). *First National Conference on Agriculture, Environment and Food Security*. Jiroft University. 2014. [Persian]
- [24]. Borna R, Azimi F, Saeedi D. Markers SIAP, PN and RAI review droughts in Abadan and Dezful in Khuzestan province with an emphasis on stations. *Journal natural geography*. third year. 2010; (9): 88-77. [Persian].
- [25]. Heidary H, Moradi H, Asghar S, Mohammad Nejad V. Examine temporal trends of temperature and precipitation in the region of Ilam using the non parametric Mann-Kendall method. *First National Conference on Geography, tourism, natural resources and sustainable development*. 2014. [Persian].
- [26]. Kamari H, Nori A. Assessment return period rainfall using data from annual precipitation (case study: the city of Kermanshah). *Journal of Research in Science, Engineering and Technology*. 2016. PP: 25-35. [Persian].