

اثر سناریوهای واداشت تابشی بر شاخص‌های هیدرولوژیکی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد دوبرج

مریم حافظ‌پرست^{۱*} و زهره پورخیراله^۲

^۱ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی و ^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه

رازی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۱۲

چکیده

سناریوهای واداشت تابشی که اخیراً در ایران مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته حاصل گزارش پنجم (AR5) هیات بین-الدول تغییر اقلیم است که میزان تغییرات بارش و دما در دوره آتی را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. در این پژوهش ابتدا میزان تغییرات بارش و دما و سپس اثر این پارامترها بر میزان رواناب حوضه سد دوبرج در دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۴ میلادی مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا، مقادیر دما و بارش ماهانه مدل‌های ACCESS1-0، BCC-CSM1.1، CANESM2، BNU-ESM و CSIROK3-5-0 تحت سناریوی RCP8.5 برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد. سپس، با روش کوچک مقیاس‌سازی مکانی و زمانی عامل تغییر (Change factor) این داده‌ها برای منطقه مطالعاتی محاسبه شدند. با معرفی مقادیر دما، بارندگی و دبی به مدل IHACRES و واسنجی و صحت‌سنجی مدل، رواناب حوضه در دوره آتی شبیه‌سازی شد. به منظور تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی، تحلیل فراوانی آبدهی‌ها و نیز شاخص‌های SDI، SWSI، SRI و روش حد آستانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان از افزایش ۱/۲۹ درجه سانتی‌گرادی دما نسبت به دوره پایه و افزایش ۱/۸۲ درصدی بارندگی دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۴ نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۷-۲۰۱۵) منطقه دارد. همچنین، رواناب دوره آتی ۹/۴ درصد نسبت به دوره پایه افزایش داشته است. تحلیل فراوانی رواناب سالانه دوره آتی با دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۱۳/۹۰ و ۱۵/۰۶ مترمکعب بر ثانیه، به دست آمده است. بررسی کمی نمایه‌های خشکسالی نیز نشان داد که در دوره پایه سال‌های ۱۹۹۶، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۴ از وضعیت بسیار خوبی برخوردار بوده، سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ با خشکسالی روبرو بوده‌اند. همچنین، در دوره آتی ۲۰۲۴، ۲۰۲۵، ۲۰۳۳ و ۲۰۳۵ وضعیت خشکسالی خیلی ضعیف و سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۲۹، ۲۰۳۷ و ۲۰۴۱ خشکسالی مشهود است. همچنین، بررسی میزان حجم کمبود دوره آتی به روش حد آستانه نشان داد که در حد آستانه Q_v در دوره آماری ۲۰۱۶-۲۰۴۴ در ایستگاه سد دوبرج در سال‌های ۲۰۳۷-۲۰۳۸ و ۲۰۴۰-۲۰۴۱ با حجم کمبود ۲/۶۴ میلیون مترمکعب، خشکسالی هیدرولوژیکی به‌طور محسوس رخ می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل فراوانی، تغییر اقلیم، حد آستانه، شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی، IHACRES

مقدمه

اقلیم در مقیاس محلی مورد استفاده قرار دادند. این تحقیق بر اساس به کارگیری توانایی‌های تولیدگر داده آماری (LARS-WG)، در مقیاس روزانه تحت سناریوهای اقلیمی انجام شد. مدل‌های مورد استفاده شامل ۱۵ مدل از گروه مدل‌های جهانی اقلیمی ارائه شده در گزارش چهارم IPCC است. نتایج نشان داد، منطقه مطالعاتی شاهد افزایش دما و کاهش بارندگی خواهد بود.

Marketa و همکاران (۲۰۱۰)، در تحقیقی به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در حوضه رودخانه کلمبیا، از ۲۰ مدل از مدل‌های گزارش چهارم IPCC تحت دو سناریوی B1 و A1B استفاده کردند. نتایج نشان داد، رواناب رودخانه تحت سناریوهای B1 و A1B، در دو دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ و ۲۰۴۰-۲۰۸۰، با کاهش ۳۸ الی ۴۶ درصدی مواجه است. همچنین، افزایش ۲/۳ دمای حوضه رودخانه در دو دوره مذکور مشاهده شد. Teng و همکاران (۲۰۱۲)، به مقایسه عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو و مدل‌های بارش-رواناب بر نتایج حاصل از تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب استرالیا پرداختند و بدین منظور از خروجی ۱۵ مدل گردش عمومی و پنج مدل بارش-رواناب استفاده کردند. بیشتر نتایج حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو، خشکی را به‌ویژه در جنوبی‌ترین بخش منطقه مورد بررسی پیش‌بینی کرده، کاهش قابل ملاحظه‌ای را در حجم رواناب نشان داد.

Guoyong و همکاران (۲۰۱۵)، در چین به منظور بررسی خشکسالی کشاورزی، هواشناسی و هیدرولوژیکی به ترتیب از شاخص‌های SSI، SSI و SPI در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ میلادی، از پنج مدل گزارش پنجم IPCC استفاده کردند. نتایج نشان داد که خشکسالی کشاورزی در درازمدت از شش تا ۲۶ ماه بیشتر از سایر خشکسالی‌ها خود را نشان داده است. Zarei و همکاران (۲۰۰۹)، در پژوهشی برای شبیه‌سازی جریان رودخانه حوزه آبخیز کسلیان از مدل IHACRES استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل توانایی شبیه‌سازی داده‌های روزانه و ماهانه را با دقت قابل قبولی دارد. Ashofteh (۲۰۱۰)، در پژوهشی به تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب حوضه قرقنو در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی پرداخت. در این

در برنامه‌ریزی منابع آب، خشکسالی هواشناسی به‌عنوان اولین حلقه در زنجیره‌های خشکسالی در نظر گرفته می‌شود. خشکسالی هیدرولوژیکی به‌عنوان پیامد تداوم خشکسالی هواشناسی می‌تواند مشکل‌آفرین شود. در صورت بروز خشکسالی هیدرولوژیکی اگر تمهیدات لازم برای کنترل مصرف آب (به‌ویژه، منابع آب‌های زیرزمینی) اعمال نشود، منجر به فاجعه زیست‌محیطی خواهد شد که بیشتر به‌صورت کاهش فراوان سطوح آب‌های زیرزمینی مشخص می‌شود. چنین فاجعه‌ای می‌تواند شامل نشست زمین و خسارت‌های جانی و مالی، خشک شدن رودخانه‌ها و در نهایت دریاچه‌ها و تالاب‌ها شود که به خشک‌تر شدن تدریجی منطقه می‌انجامد (Loukas, ۲۰۰۴).

با توجه به این‌که روند افزایش جمعیت و کاهش منابع آب در جهان، یکی از بحرانی‌ترین مقاطع زمانی را در قرن حاضر پیش روی بشر قرار داده است. دانشمندان، کارشناسان و مدیران در تلاشند تا با انجام اقدامات مؤثر و کارآمد در جهت کاهش اثرات پدیده تغییر اقلیم، خسارت‌های ناشی از آن را تا حد امکان کاهش دهند. بیشتر مطالعات انجام شده 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.

Minvill و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی عدم قطعیت تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه کانادا با استفاده از مدل HSAMI پرداختند. در این تحقیق، از پنج مدل GCM و دو سناریوی انتشار استفاده شد. نتایج نشان از افزایش یک تا چهار درجه‌ای دما و تغییر ۹- تا ۳۰ درصدی بارش فصلی را دارد. همچنین، میزان رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم تغییر خواهد نمود. موارد مشابهی نیز به‌وسیله Purkey و همکاران (۲۰۰۷)، Jiang و همکاران (۲۰۰۷) و Christensen و همکاران (۲۰۰۶) به انجام رسیده است. Semenov و همکاران (۲۰۱۰)، چند گروه از مدل‌های جهانی آب و هوا را برای ارزیابی اثرات تغییر

آب‌های سطحی در حوزه آبخیز بالادست سد زاینده‌رود استفاده کردند. نتایج نشان داد با توجه به دوره‌های ترسالی و خشکسالی، منطقه نسبت به وقوع خشکسالی بسیار مستعد بوده، شاخص SWSI می‌تواند نتایج قابل قبولی در ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی ارائه دهد. Ansari Mahabadi و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهش خود برای بررسی رواناب دوره آبی در اثر تغییر اقلیم درازمدت، از مدل HADCM3 تحت سناریوی انتشار A2 و مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG برای پیش‌بینی تغییرات اقلیم منطقه استفاده کردند. نتایج نشان داد که با به‌کارگیری مدل IHACRES رواناب منطقه به‌خوبی شبیه‌سازی شده است.

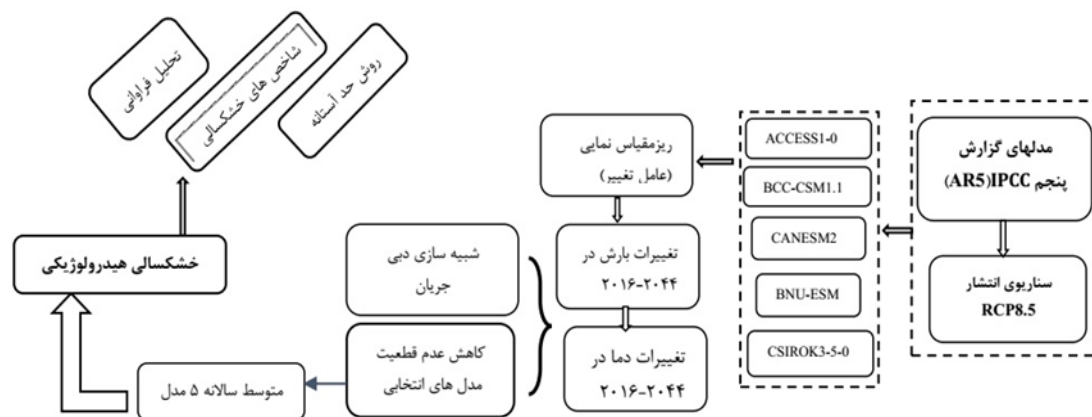
در مطالعه انجام شده به‌وسیله Khazaei و همکاران (۲۰۱۱)، اثر پدیده تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌ای با استفاده از تولیدگر داده، یک مدل پیوسته بارش-رواناب ارزیابی شد. نتایج حاکی از افزایش قابل ملاحظه جریان رودخانه‌ای در حوضه مورد مطالعه است. Zahabiun و همکاران (۲۰۱۰)، تأثیر پدیده تغییر اقلیم را بر رواناب خروجی حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ بررسی کردند. در این تحقیق از مدل توزیعی SWAT در ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوزه آبخیز قره‌سو استفاده شد. مقایسه پارامترهای اقلیمی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹، نشان داد، دمای منطقه در ماه‌های مختلف بین یک تا چهار درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه گرم‌تر می‌شود. بارش نیز به‌جز در ماه‌های بدون بارش، تغییری بین ۳۰- تا ۳۰ میلی‌متر خواهد داشت. Hafezparast و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهشی به‌منظور بررسی تغییرات احتمالی اقلیم بر دما و بارش سنندج از مدل HadCM3 تحت سناریوی A1 برای دوره آبی ۲۰۱۱-۲۰۰۴ استفاده کردند. در این پژوهش ریزمقیاس‌سازی مقادیر بارش و دمای ماهانه به روش عامل تغییر انجام شد. همچنین با نرم‌افزار DIC و شاخص SIAP خشکسالی را در منطقه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، دما ۲/۷ درجه و بارش ۱/۳ درصد نسبت به دوره پایه افزایش داشته و شاخص خشکسالی نیز گویای فصول تقریباً همسان با

پژوهش از مقادیر بارش و دمای ماهانه مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 استفاده شد. همچنین، از روش ریزمقیاس‌سازی مکانی تناسبی و کوچک مقیاس‌سازی زمانی عامل تغییر برای داده‌های منطقه استفاده شد و برای تولید رواناب ماهانه حوضه از مدل IHACRES استفاده کردند. مقایسه رواناب دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۰ با دوره مشاهداتی نشان از تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب این حوضه در دوره آبی دارد.

پژوهش‌های گسترده برای شناخت فیزیکی رخدادهای خشکسالی در ایران بیانگر قابلیت‌های مناسب روش‌های موجود هست، به‌طوری که این‌گونه مطالعات می‌توانند در ارائه راهبردهای مدیریت منابع آب در شرایط خشک‌سالی مورد استفاده قرار گیرند. Tabrizi و همکاران (۲۰۱۰)، در پژوهشی، روابط بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز کر در استان فارس را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور، با استفاده از نمایه بارش استاندارد شده برای برآورد خشک‌سالی‌های هواشناسی و روش حد آستانه برای برآورد خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی، روابط بین آن‌ها به کمک آزمون‌های متداول آماری بررسی شد. نتایج نشان داد که برآورد کوتاه‌مدت خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی با استفاده از برآوردهای خشک‌سالی‌های هواشناسی میسر بوده که این‌گونه اطلاعات برای مدیریت منابع آب سد مفید هست.

Tabrizi و همکاران (۲۰۱۳)، به‌منظور بررسی خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی، از نمایه خشک‌سالی جریان رودخانه‌ای در شمال غرب ایران استفاده کردند. با توجه به نتایج، در بیشتر ایستگاه‌ها خشک‌سالی‌های شدید رخ داده و شدیدترین خشک‌سالی در یک دوره ۱۲ ساله (۱۹۹۷-۲۰۰۹) مشاهده شده است. Saadat و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهشی با استفاده از روش حد آستانه، تغییرهای زمانی و مکانی خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی حوزه آبخیز کرخه را مطالعه کردند. نتایج نشان داد، با وجود خشک‌سالی هیدرولوژیکی به‌صورت فراگیر، توزیع زمانی و مکانی خشک‌سالی‌ها بسیار متغیر بوده، به‌طوری که پهنه‌بندی منطقه‌ای ممکن نیست. Babaei و Kolahchi (۲۰۱۱) به‌منظور بررسی روند ماهانه خشک‌سالی از شاخص ذخیره

در پژوهش حاضر، با توجه به کاهش شدید منابع آبی در ایران و وقوع بحران آبی ضرورت مطالعات تغییر اقلیم در زمینه اثرات خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی الزامی است و در این راستا بهره‌گیری از گزارش‌های جدید IPCC و روش‌های جدید ارزیابی اثرات این پدیده اهمیت دارد که در زمینه تغییرات آبدی بهترین ارزیابی شامل استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی، تحلیل فراوانی و روش حد آستانه می‌باشد. بهره‌گیری پنج مدل از گزارش پنجم IPCC (AR5) تحت سناریوی RCP8.5 که هنوز به ندرت در ایران استفاده شده است و نیز بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی و محاسبه شاخص‌های آن در حوضه سد دویرج در استان ایلام در دوره آتی ۲۰۱۶-۲۰۴۴ از اهداف این پژوهش است که مراحل انجام آن در شکل ۱، ارائه شده است.



شکل ۱- مراحل انجام تحقیق حاضر

تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه زیادی می‌باشد، برای این منطقه تقریباً غیر ممکن است که بدون آبیاری بتوان کشاورزی داشت. به همین دلیل، آب‌های سطحی در این حوضه دارای اهمیت زیاد می‌باشد. حوضه بالادست سد دویرج شامل دو ایستگاه هواشناسی آبدانان و دهلران و ایستگاه هیدرومتری سد دویرج است. مشخصات ایستگاه‌های مذکور در جدول ۱ و نقشه منطقه مطالعاتی در شکل ۲ ارائه شده است. پژوهش حاضر بر اساس داده‌های تاریخی هیدرولوژیکی ایستگاه حوضه بالادست سد دویرج و نیز اطلاعات منتخب از مدل‌های اقلیمی CMIP5 انجام شده است. متغیرهای هواشناسی بارش و دما از

برخی تفاوت‌ها در ماه‌های سال می‌باشد.

Hafezparast و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی به‌منظور ارزیابی عدم قطعیت تغییر اقلیم بر آبدی ورودی سد جامیشان واقع در شمال شرقی استان کرمانشاه، با استفاده از مدل ترکیبی حاصل از میانگین وزنی خروجی هفت مدل اقلیمی تغییرات پارامترهای دما و بارش منطقه مطالعاتی را در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۵۹ تحت سه سناریو انتشار A1B، B1 و A2 را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹، بارش و رواناب سالانه کاهش و دمای سالانه افزایش می‌یابد. در دوره ۲۰۴۰-۲۰۵۹ تغییرات شدیدتر است و دمای سالانه بین ۲+ و ۶- درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند. بارش و رواناب سالانه در سناریوهای A1B و B1 کاهش و در سناریو A2 افزایش نشان می‌دهد.

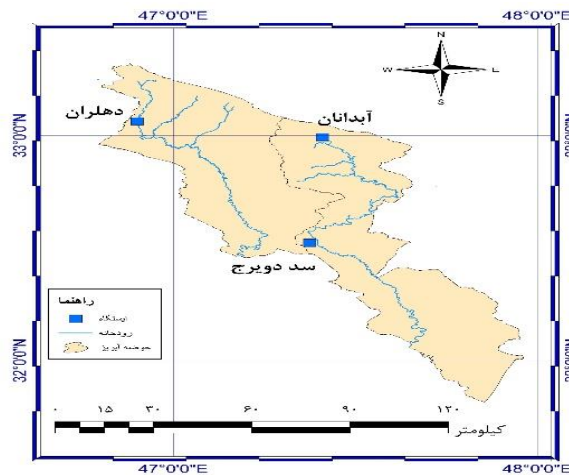
مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز سد دویرج در شهرستان دهلران، در جنوب استان ایلام واقع شده است. در این منطقه، عمده بارش در ماه‌های آذر و دی می‌باشد. همچنین، به دلیل ارتفاع کم ۲۲۰ متری در دامنه‌های کم ارتفاع غرب سلسله کوه‌های زاگرس واقع شده است و دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً معتدل می‌باشد. برخورداری از دشت‌های وسیع و کم ارتفاع این منطقه چون دشت عباس و دشت‌های ابوقریب، انکا، دهلران، پتک، موسیان و عین‌خوش باعث شده که کشاورزی یک فعالیت اقتصادی مهم برای این منطقه باشد. از آنجایی که این منطقه دارای

ایستگاه‌های آبدانان و دهلران و متغیر هیدرولوژیکی متوسط دبی سالانه در دوره پایه ۲۹ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۵ میلادی) از ایستگاه هیدرومتری حوزه سد دویرج در محدوده شهر دهلران تهیه شد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های حوزه بالادست سد دویرج

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



شکل ۲- موقعیت منطقه مطالعاتی و سد دویرج

انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. به طوری که قدرت تفکیک بالای این سناریو منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌شود. در این هنگام غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۰۰ppm رسیده و همچنان روند افزایشی خواهد داشت. این سناریو به وسیله تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در موسسه بین‌المللی تحلیل سامانه‌های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد (IPCC, ۲۰۱۲). تولید سناریوی تغییر اقلیم: به منظور حذف اغتشاش در شبیه‌سازی نوسانات اقلیمی ناشی از بزرگ بودن سلول‌های محاسباتی مدل‌های AOGCM معمولاً به جای استفاده مستقیم از داده‌های مدل در محاسبات تغییر اقلیم، از میانگین دوره‌ای حدود ۳۰ ساله این داده‌ها استفاده می‌شود (روابط (۱) و (۲)) (Jones و همکاران، ۱۹۹۶).

$$\Delta T_i = \bar{T}_{AOGCM,Fut,i} - \bar{T}_{AOGCM,Base,i} \quad (1)$$

$$\Delta P_i = \frac{\bar{P}_{AOGCM,Fut,i}}{\bar{P}_{AOGCM,Base,i}} \quad (2)$$

تولید سناریوهای اقلیمی برای دوره آتی: برای تولید سناریوهای اقلیمی در دوره آتی ۲۰۱۶-۲۰۴۴ میلادی، از خروجی پنج مدل، گزارش پنجم IPCC (AR5) تحت سناریوی RCP8.5 که دارای قدرت تفکیک بالایی هستند و در جدول ۲ نشان داده شده است، استفاده شد.

سناریوهای انتشار: هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود^۱ AR5 از سناریوهای جدید RCP^۲ به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 و RCP8.5 هستند که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نامگذاری شده‌اند. بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریوی

¹ Fifth Assessment Report

² Representative Concentration Pathways

متوسط ۲۹ ساله شبیه‌سازی شده به‌وسیله AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی (۱۹۸۷-۲۰۱۵) برای هر ماه است. برای بارندگی نیز موارد ذکر شده برقرار می‌باشد.

که در آن، ΔT_i و P_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای متوسط درازمدت ۲۹ ساله هر ماه، $\bar{T}_{AOGCM,Fut,i}$ ($1 \leq i \leq 12$) متوسط ۲۹ ساله شبیه‌سازی شده به‌وسیله AOGCM دوره آتی برای هر ماه (۲۰۱۶-۲۰۴۴)، $\bar{T}_{AOGCM,Base,i}$

جدول ۲- مشخصات مدل‌های AR5 به‌کار رفته در پژوهش حاضر

شماره مدل	نام مدل	وضوح
یک	ACCESS1-0	۱/۸۷۵×۱/۲۵
دو	BCC-CSM1.1	۲/۸۱×۲/۷۷
سه	CANESM2	۲/۸۱×۲/۷۹
چهار	BNU-ESM	۲/۸۱×۲/۷۸
پنج	CSIROK3-5-0	۱/۸۶×۱/۸۷

بررسی اثرات تغییر اقلیم می‌باشد. در مطالعات اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم، از مدل‌های بارش-رواناب به این منظور استفاده می‌شود. بنابراین، ابتدا ارزیابی مدل بارش رواناب به‌منظور توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی صورت گرفت. برای این منظور از مدل بارش-رواناب IHACRES که یک مدل مفهومی و یکپارچه است، استفاده شد.

شبیه‌سازی بارش-رواناب: مدل بارش-رواناب IHACRES به‌وسیله Jakeman و Horneberger (۱۹۹۳) ارائه شد. اساس این روش از دو مدل غیرخطی کاهش و مدول خطی هیدروگراف تشکیل می‌شود. به این منظور، در ابتدا بارندگی r_k و دما t_k در هر گام زمانی k به‌وسیله مدول غیرخطی، به بارندگی مؤثر u_k تبدیل شده، سپس به‌وسیله ماجول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود (Kamal و Bavani، ۲۰۱۱). مدل IHACRES دارای دو بخش است: الف) یک بخش که بارش را در پایه زمانی K (r_k) به بارش مؤثر (u_k)، (بخشی از بارش که سرانجام وارد جریان رودخانه می‌شود) و بارش مازاد که سرانجام به‌وسیله تبخیر و تعرق از بین می‌رود (با فرض غیرقابل نفوذ بودن حوزه آبخیز)، تبدیل می‌کند و یک تابع تبدیل خطی (با هیدروگراف واحد، UH)، که بارش مؤثر را به جریان مدل‌سازی شده (x_k) تبدیل می‌کند. در اینجا، این بخش‌ها به ترتیب بخش تلفات و بخش تابع تبدیل

خروجی مدل‌های اقلیمی دقت تجزیه مکانی و زمانی مورد نیاز را ندارد. لذا، لازم است که خروجی مدل‌های اقلیمی برای منطقه مورد نظر ریزمقیاس شود. روش‌های ریزمقیاس متداول موجود از جمله مدل LARS-WG هنوز برای سناریوهای جدید RCP به‌روزرسانی نشده و نیز یک سری از متغیرهای اولیه روش SDSM هنوز برای AR5 آماده نشده است. از این‌رو روش عامل تغییر یا Change factor برای این پژوهش در نظر گرفته شده است.

کوچک مقیاس کردن زمانی: در این تحقیق، به‌منظور کوچک مقیاس کردن داده‌های طرح به لحاظ زمانی از روش عامل تغییر (Change Factor) استفاده می‌شود. در روش عامل تغییر برای به‌دست آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی در آینده، سناریوهای تغییر اقلیم به مقادیر مشاهداتی (۱۹۸۷-۲۰۱۵) افزوده می‌شود.

$$T = T_{Obs} + \Delta T \quad (3)$$

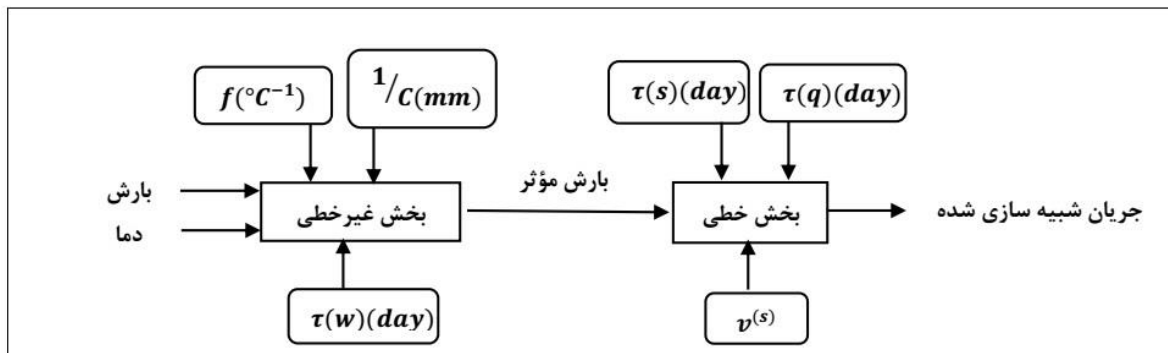
$$P = P_{Obs} \times \Delta P \quad (4)$$

که در آن‌ها، T_{Obs} بیانگر سری زمانی دمای مشاهداتی (ماهانه) در دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۵)، T سری زمانی دما حاصل از پدیده تغییر اقلیم در دوره آتی (۲۰۱۶-۲۰۴۴) و ΔT سناریوی تغییر اقلیم کوچک مقیاس شده می‌باشد.

در مطالعات اثرات تغییر اقلیم بر سامانه‌های مختلف، پس از تولید سناریوهای اقلیمی برای دوره آتی نیاز به استفاده از مدل تحلیلی سامانه به‌منظور

زمانی که طول می‌کشد حوزه آبخیز خشک شود و عامل تعدیل حرارت حوضه را نشان می‌دهند) و سه پارامتر مربوط به بخش تابع تبدیل خطی $\tau^{(s)}$ و $\tau^{(q)}$ به ترتیب مدت زمانی که طول می‌کشد جریان سریع و آهسته کاهش یابد و $v^{(s)}$ حجمی از جریان آهسته که در ایجاد رودخانه مشارکت دارد را نشان می‌دهند) هستند (Khosravanan, ۲۰۱۳).

(هیدروگراف واحد) نامیده می‌شوند. بخش تلفات برای تمام فرایندهای غیرخطی بارش-رواناب در مقیاس حوزه آبخیز در نظر گرفته می‌شود، بخش تابع تبدیل مبتنی بر تئوری سامانه‌های خطی است. مدل IHACRES دارای شش پارامتر است که سه پارامتر آن مربوط به بخش تلفات غیرخطی ($1/c$ ، τ_w و f) که به ترتیب ظرفیت ذخیره رطوبت حوزه آبخیز، مدت



شکل ۳- ساختار کلی مدل IHACRES

$1/c$ ظرفیت ذخیره رطوبتی حوزه آبخیز، f عامل تعدیل حرارت، $\tau(w)$ ثابت زمانی خشکیدگی حوزه آبخیز، $\tau(s)$ ثابت زمانی کاهش جریان آهسته، $\tau(q)$ ثابت زمانی کاهش جریان سریع، $v^{(s)}$ نسبت حجمی جریان آهسته که در ایجاد جریان رودخانه مشارکت می‌کند.

دو تعریف فوق به رابطه مشابهی برای دوره بازگشت T به صورت $T=1/P$ می‌انجامد. این رابطه در مورد پدیده‌های منفردی چون سیلاب سالانه با فرض این که سیلابی در یک سال معین (آزمایش)، مستقل و دارای توزیع یکسان با احتمال عبور P باشد، به طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته است. قبل از ارزیابی دوره بازگشت، سری‌های زمانی سالانه رواناب ایستگاه سد دویرج در دوره ۲۰۴۴-۲۰۱۶ تحلیل شد و مناسب‌ترین توزیع آماری برازش داده شده بر داده‌ها تعیین شد.

شاخص‌های خشکسالی: با توجه به اهمیت حوضه بالادست سد دویرج در تامین آب مورد نیاز پایین‌دست حوزه آبخیز و رخداد پدیده خشکسالی در دهه اخیر، اهمیت تامین آب در این حوضه بیش از پیش مورد نظر است. بررسی پدیده خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه بالادست سد دویرج، با استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی SWSI، SRI، SDI و روش حد آستانه ارزیابی و مقایسه شد.

ارزیابی خشکسالی: هیدرولوژیست‌ها و هواشناسان برای پایش و ارزیابی خشکسالی‌ها، نمایه‌هایی را ارائه داده‌اند که وابسته به پارامترهای هیدرواقليمی و با بیان احتمال بروز آن‌ها می‌باشند. یک نمایه با ارائه تصویر جامع از خشکسالی، می‌تواند برای ارزیابی و تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گیرد. نمایه‌ها شدت، مدت و گستردگی مکانی و زمانی خشکسالی در شرایط آب و هوایی مختلف را بیان می‌کنند (Wilhit, ۲۰۰۰). به منظور تحلیل خشکسالی حوضه سد دویرج در گام اول تحلیل فراوانی آبدهی‌های دو دوره پایه و مشاهداتی در نرم‌افزار EASYFIT انجام شد و در گام بعدی به منظور پایش خشکسالی هیدرولوژیکی از نمایه‌های خشکسالی SWSI، SDI، SRI و روش حد آستانه در مقیاس سالانه استفاده شد.

محاسبه احتمال وقوع سیلاب و دوره بازگشت: دوره بازگشت امید ریاضی فاصله زمانی بین دو رخداد متوالی پدیده‌ای بزرگ‌تر از پدیده بحران ($x > x_0$) می‌باشد. اگر پدیده مستقل و احتمال عبور P از یک پدیده بحرانی در آزمایش (سال) ثابت باقی بماند، هر

$$SWSI = \frac{(a*P_{snow}+b*P_{prec}+c*P_{stream}+d*P_{reservoir}-50)}{12} \quad (5)$$

که آن، a ، b ، c و d وزن هر یک از اجزای در نظر گرفته شده و مجموع آن‌ها برابر یک است. P_i نیز احتمال عدم تجاوز برای متغیر i (برف، باران، رواناب و مخزن) است. در این معادله تفاضل عدد ۵۰ برای متقارن بودن مقادیر شاخص حول صفر و عدد ۱۲ برای قرار گرفتن مقادیر مزبور بین محدوده ۴/۱۷- و ۴/۱۷+ است. بدین ترتیب وضعیت هیدرولوژیکی متناظر با مقادیر عددی این شاخص در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۳- وضعیت خشک‌سالی متناظر با مقادیر شاخص SWSI

محدوده مقادیر شاخص	وضعیت هیدرولوژیکی
۳-۴	خیلی تر
۲-۳	نسبتاً تر
۱-۲	تری کم
۱ تا -۱	تقریباً نرمال
-۱ تا -۲	خشکی کم
-۲ تا -۳	نسبتاً خشک
-۳ تا -۴	خیلی خشک

$$V_{ik} = \sum_{i=1} Q_{ij} \quad (7)$$

$$I=1,2,3,\dots,j=1,2,\dots,12 \quad k=1,2,3,4,5,6$$

که در آن، V_{ik} حجم تجمعی جریانات رودخانه‌ای در سال هیدرولوژیکی i و دوره مبنای k ماهانه است. مقادیر برابر ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب بیانگر دوره‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه می‌باشد. شاخص خشک‌سالی جریانات رودخانه‌ای SDI بر اساس حجم تجمعی جریانات رودخانه‌ای (V_{ik}) برای دوره مبنای (k) مربوط به (i) سال هیدرولوژیکی به صورت رابطه زیر به دست می‌آید.

$$SDI_{ik} = \frac{V_{ik} - \bar{V}_k}{S_k} \quad (8)$$

$$I=1,2,3,\dots \quad K=1,2,\dots,6$$

که در آن، \bar{V}_k و S_k به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریانات تجمعی برای دوره مبنای k می‌باشد. طبقه‌بندی وضعیت‌های مختلف خشک‌سالی هیدرولوژیکی با روش شاخص SDI در جدول زیر ارائه شده است (Mofidipoor و همکاران، ۲۰۱۲).

شاخص ذخیره آب سطحی^۱ SWSI: از متداول‌ترین شاخص‌های هیدرولوژیکی که مجموعه‌ای از شاخص‌های منفرد مؤثر را در محاسبات خود به کار می‌گیرد می‌توان به نمایه تأمین آب‌های سطحی اشاره کرد. نمایه مذکور بر اساس چهار پارامتر بیلان برفی، جریان رودخانه‌ای، بارش و حجم مخازن سطحی آب ابداع شد که بر اساس الگوریتم ارائه شده با توجه به فصلی بودن این شاخص در هر زمان تنها از سه پارامتر در معادلات استفاده می‌شود. مقدار این شاخص به صورت ماهانه و با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است.

از آن جایی که تعیین وزن هر کدام از اجزای رابطه به راحتی میسر نبوده، تعیین میزان آب حاصل از ذوب برف با عدم قطعیت زیادی همراه است (Garen ۱۹۹۳) از اثر غیرمستقیم مقدار برف در جریان رودخانه استفاده کرده، رابطه زیر موسوم به روش اصلاحی SWSI را ارائه نمود.

$$SWSI_{Mod} = \frac{P-50}{12} \quad (6)$$

که در آن P برابر با احتمال محاسبه شده از روی تابع توزیع احتمالی برازش داده شده به سری مجموع جریان بر حسب درصد است.

شاخص خشک‌سالی جریان‌های رودخانه‌ای SDI:

در این روش فرض می‌شود که سری‌های زمانی حجم جریان‌های رودخانه‌ای ماهانه به صورت Q_{ij} موجود می‌باشد که در آن اندیس i سال هیدرولوژیکی و اندیس j ماه مربوط به سال هیدرولوژیک است. اساس این سری‌ها بر پایه رابطه زیر می‌باشد.

¹ Surface Water Supply Index

بین دبی‌های سالانه و احتمال وقوع آن‌ها $P(X \geq x)$ است، انتخاب شد. سطح آستانه می‌تواند دبی‌های بین ۷۰-۹۵ درصد از منحنی تداوم جریان سالانه در نظر گرفته شود (Laksen و همکاران، ۲۰۰۹) که در این تحقیق، حد آستانه Q_{70} و Q_{80} به‌عنوان مبنا برای استخراج دوره‌های خشکسالی در نظر گرفته شد. اگر تفاضل مقادیر دبی‌های سالانه و مقدار دبی مرجع (آستانه) منفی شود $(Q_k - Q_\alpha) < 0$ بیانگر وقوع خشکسالی است. برای تحلیل خشکسالی فقط باقی‌مانده‌های منفی مورد استفاده هستند. طول توالی منفی بیانگر تداوم خشکسالی یعنی تعداد سال‌هایی که خشکسالی تداوم داشته است، می‌باشد. مجموع این توالی‌های منفی (از اعداد منفی به‌دست آمده) بزرگی یا حجم کمبود خشکسالی را نشان می‌دهد.

حد آستانه: روش حد آستانه، پرکاربردترین روش برای تحلیل خشکسالی و کم‌آبی‌ها بوده، به‌عبارتی این روش پایه و اساس تعریف مشخصات خشکسالی‌ها و کم‌آبی‌ها است. در این روش، اگر مقادیر دبی از یک حد آستانه کمتر باشد، خشکسالی و یا کم‌آبی رخ می‌دهد. در این روش، معمولاً دوره‌های بالا و پایین (Runs) یک حد آستانه مشخص مورد بررسی قرار می‌گیرد و در واقع به این روش، روش تئوری دنباله‌ها گفته می‌شود (Hisdal و همکاران، ۲۰۰۰). مهم‌ترین زمینه کاربرد تحلیل‌های آستانه خشکسالی طراحی نیروگاه‌های آبی، مدیریت منابع آب، دستگاه‌های تأمین آب، برنامه‌ریزی آبیاری و حفظ کیفیت آب می‌باشد. در این تحقیق، سطح آستانه مناسب برای استخراج دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از منحنی تداوم جریان (FDC) که نشان‌دهنده رابطه

جدول ۴- وضعیت خشکسالی متناظر با مقادیر شاخص SDI

وضعیت خشکسالی	محدوده	حالت
فاقد خشکسالی	$SDI \geq 0$	۰
خشکسالی ملایم	$SDI < -1$	۱
خشکسالی متوسط	$-1/5 \leq SDI < -1$	۲
خشکسالی شدید	$SDI < -1/5$	۳
خشکسالی خیلی شدید	$SDI < -2$	۴

شاخص رواناب استاندارد SRI: شاخصی بر اساس احتمال دبی برای هر بازه زمانی است. این شاخص برای بازه‌های مختلف قابل محاسبه است و برای ارائه هشدار اولیه و کمک به ارزیابی شدت خشکسالی اهمیت زیادی دارد. شاخص SRI مطابق رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$SRI = \frac{R_i - \bar{R}}{SD} \quad (11)$$

که در آن، R_i دبی سالانه، \bar{R} متوسط دبی سالانه، SD انحراف معیار دبی‌های سالانه می‌باشد. وضعیت هیدرولوژیکی متناظر با شاخص رواناب استاندارد در جدول زیر ارائه شده است.

نتایج و بحث

تغییرات پارامترهای اقلیمی (دما و بارندگی): همان‌طور که اشاره شد، برای تولید سناریوهای

تداوم خشکسالی (d_i) و حجم کمبود یا بزرگی^۱ (S_i) به‌عنوان پارامترهای خشکسالی نقطه‌ای توصیه شده‌اند. با در نظر گرفتن سری زمانی سالانه دبی (Q_k) می‌توان رابطه بین پارامترها را به‌صورت زیر بیان نمود.

$$D_Q = \begin{cases} Q_\alpha - Q_k & \text{if } Q_k < Q_\alpha \\ 0 & \text{if } Q_k \geq Q_\alpha \end{cases} \quad (9)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^{d_i} D_Q \quad (10)$$

که در آن، D_Q کمبود دبی سالانه (مترمکعب بر ثانیه) و S_i برابر با حجم کمبود خشکسالی i (به ۱۰۰۰ مترمکعب) می‌باشد. با انتخاب حد آستانه مناسب، خصوصیات خشکسالی از قبیل حجم کمبود، مدت دوره خشکی و همچنین، تاریخ وقوع آن‌ها برای ایستگاه مطالعاتی استخراج شد.

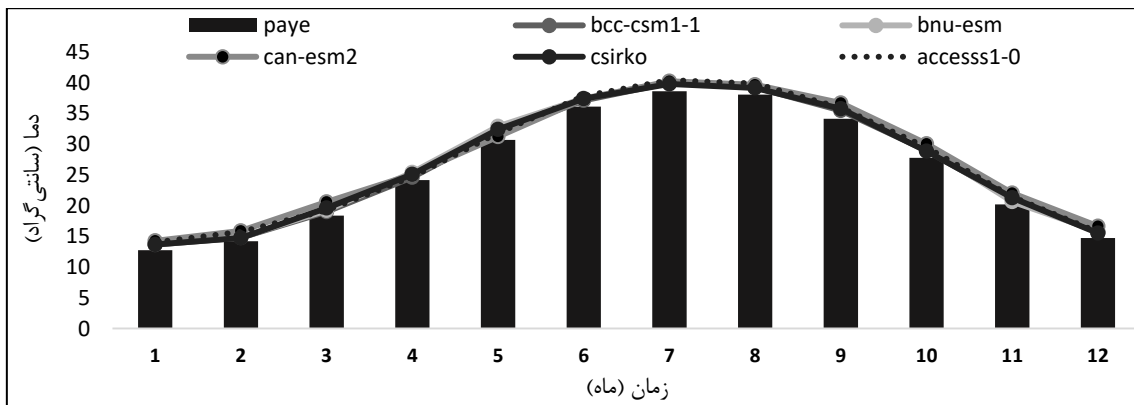
¹ Severity

زمستان یک و ۱/۱۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با مطالعاتی که تاکنون در بیشتر مدل‌های تغییر اقلیم در نقاط مختلف ایران بررسی شده است، در این مطالعه افزایش نسبی دما به‌طور محسوس در فصول گرم سال مشاهده شد. این در حالی است که حوضه سد دویرج در دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۴ شاهد افزایش نسبی بارندگی برای فصول پاییز، بهار و تابستان به میزان ۱۴/۸، ۱۰ و ۲۰ درصد و کاهش آن برای فصل زمستان به میزان ۶/۸۲ درصد خواهد بود.

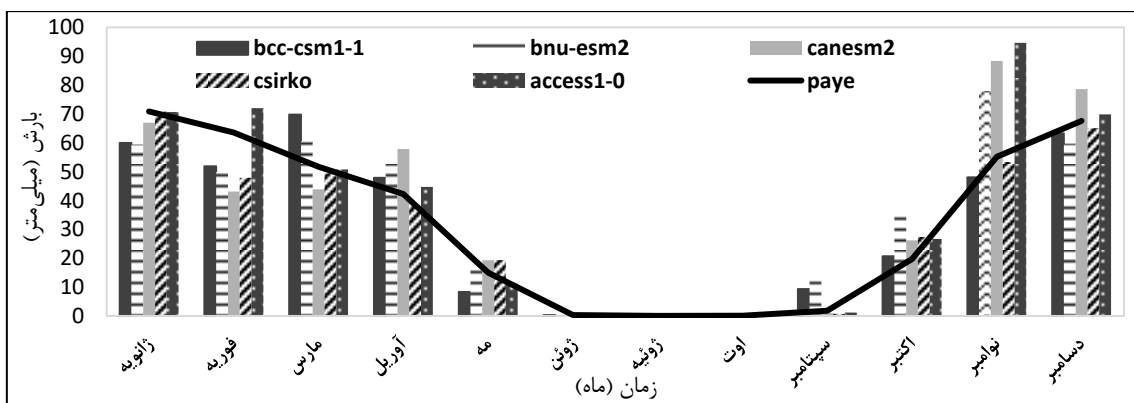
اقلیمی در دوره آتی ۲۰۱۶-۲۰۴۴ میلادی، از میانگین خروجی پنج مدل، گزارش پنجم IPCC (AR5) تحت سناریوی RCP8.5 استفاده شد. با مقایسه پارامترهای دما و بارندگی در سری درازمدت ماهانه دوره پایه و آتی (شکل‌های ۴ و ۵) دمای حوضه در دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۴ تحت سناریوی RCP8.5، ۱/۲۹ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. این افزایش برای فصول پاییز و تابستان به ترتیب ۱/۲۸ و ۱/۶۱ درجه سانتی‌گراد رسیده و برای فصول بهار و

جدول ۵- وضعیت خشکسالی متناظر با مقادیر شاخص SRI

محدوده مقادیر شاخص	وضعیت هیدرولوژیکی
۲ و بیشتر	تر سالی خیلی شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	تر سالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	تر سالی متوسط
۰/۹۹ - تا ۰/۹۹	نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشکسالی شدید
-۲ و کمتر	خشکسالی خیلی شدید



شکل ۴- مقایسه درازمدت دمای ماهانه مشاهداتی و پنج مدل اقلیمی به کار رفته



شکل ۵- مقایسه درازمدت بارش ماهانه مشاهداتی و پنج مدل اقلیمی به کار رفته

بارش حوضه و آمار دبی ایستگاه دویرج در دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۵ استفاده شد. پارامترهای واسنجی مدل IHACRES در جدول ۶ نشان داده شده است. در این دوره، سال‌های مختلف برای واسنجی مدل مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۱ با ضریب همبستگی (R) و معیار ناش-ساتکلیف (NSE)، ارائه شده در جدول ۷، بهترین عملکرد را داشته است. پس از واسنجی پارامترهای مدل بارش-رواناب، دوره ۲۰۰۲-۲۰۱۵ برای صحت‌سنجی مدل انتخاب شد.

به‌منظور بررسی رواناب در دوره اقلیمی آینده، بر اساس سناریوهای اقلیمی دوره آتی (بارش و دما)، داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی دوره مشاهداتی (بارش، دما و آبدهی) با استفاده از مدل بارش-رواناب IHACRES، رواناب حوضه برای دوره آتی برای پنج مدل تحت سناریوی RCP8.5 شبیه‌سازی شد. پس از اجرای مدل برای حوضه، انجام واسنجی با روش سعی و خطا و با استفاده از آمار مشاهداتی ایستگاه‌های هیدرومتری انجام شد. به‌منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل IHACRES، از آمار ماهانه دما و

جدول ۶- پارامترهای کالیبره شده نرم‌افزار IHACRES

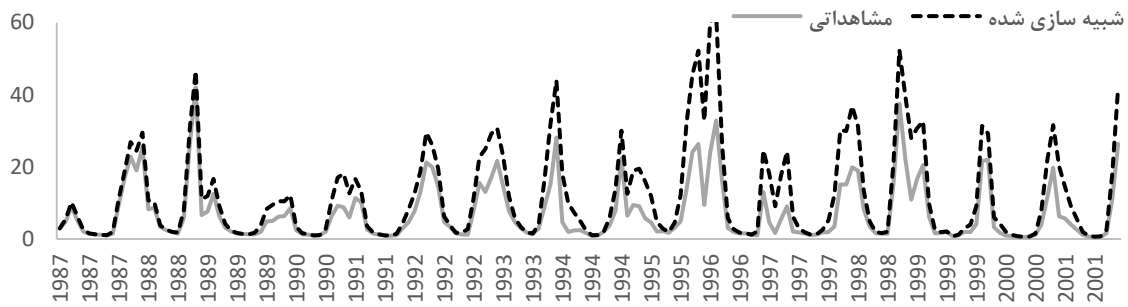
پارامتر	C	$\tau(w)$	F	I	P
توضیحات	ظرفیت ذخیره رطوبت	زمان خشک شدن	ضریب حرارت حوضه	ضریب آستانه رطوبت	شدت رطوبت خاک
مقدار بهینه	۰/۰	۶۵/۰	۰/۰	۰/۰	۱/۰
پارامتر	a(s)	B(s)	$\tau(s)$	$v^{(s)}$	
توضیحات	ضریب خشکیدگی	شاخص پیک	کاهش جریان آهسته	نسبت حجم	
مقدار بهینه	-۰/۲۷۲	۰/۷۲۸	۰/۷۶۸	۱/۰	

مدل برای افزایش سطح اعتماد کاربر در قابلیت شبیه‌سازی مدل ضروری است؛ بنابراین، بدون تغییر در مقادیر پارامترهای ورودی، مدل مورد استفاده به‌وسیله داده‌های رواناب مشاهداتی برای دوره ۲۰۰۲-۲۰۱۵ صحت‌سنجی شدند.

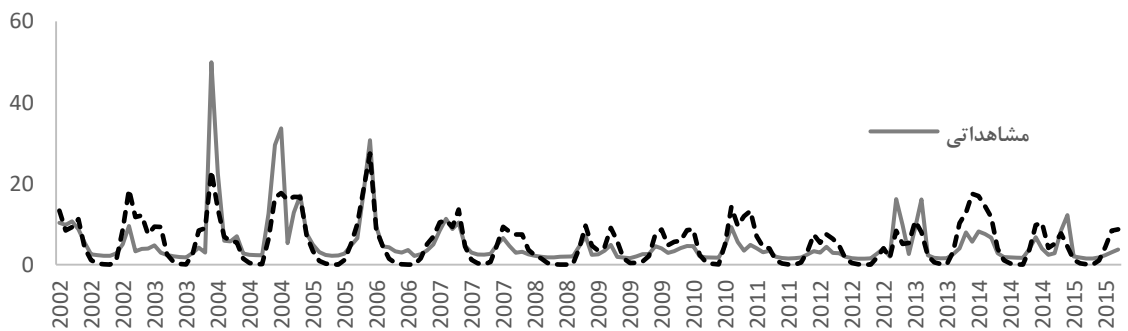
طبق مطالعات Binaman و Shoemaker (۲۰۰۵) و Santhi و همکاران (۲۰۰۱)، شبیه‌سازی مدل زمانی می‌تواند رضایت‌بخش تشخیص داده شود که شاخص آماری R^2 بیشتر از ۰/۶ و نش-ساتکلیف بیشتر از ۰/۵ باشد که در مطالعات انجام شده به‌وسیله Kavian و همکاران (۲۰۱۵) به‌منظور معیاری برای ارزیابی کارایی مدل هیدرولوژیکی IHACRES مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین، با توجه به ضرایب آماری مذکور که در جدول ۷ ارائه شده است، مدل هیدرولوژیکی یکپارچه و نیمه‌توزیعی IHACRES، مورد استفاده در حوضه سد دویرج از عملکرد بالایی برخوردار می‌باشد.

نتایج ارزیابی کارایی مدل با استفاده از ضرایب آماری نشان داد که مدل از قابلیت بالایی برای شبیه‌سازی رواناب حوضه برخوردار است (جدول ۷) که با مطالعات انجام شده کریمی و همکاران در سال ۱۳۹۵ مطابقت دارد. در مطالعه انجام شده به‌وسیله Karimi و همکاران در سال ۱۳۹۵، به‌منظور شبیه‌سازی رواناب حوزه آبخیز رودخانه دویرج در استان ایلام، از دو مدل بارش-رواناب استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب روزانه و مدل IHACRES در مقیاس ماهانه قابلیت بالایی دارند.

همچنین، نتایج شبیه‌سازی مدل IHACRES برای دوره واسنجی در شکل ۶، آورده شده است. مقایسه نتایج رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی نشان می‌دهد که انطباق خوبی بین هیدروگراف رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود دارد و مدل IHACRES به‌خوبی رواناب مشاهداتی و زمان وقوع دبی اوج را شبیه‌سازی کرده است. صحت‌سنجی نتایج



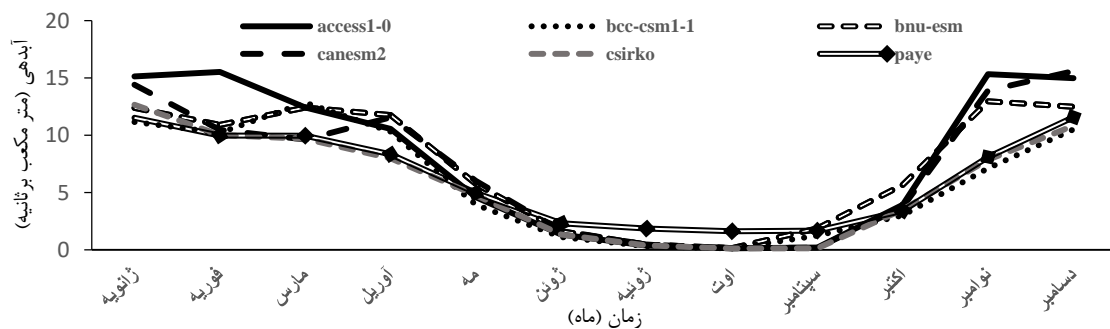
شکل ۶- رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی مدل IHACRES برای حوضه سد دویرج



شکل ۷- رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره صحت‌سنجی مدل IHACRES برای حوضه سد دویرج

جدول ۷- ضرایب آماری شبیه‌سازی مدل IHACRES در دوره واسنجی و صحت‌سنجی

مرحله واسنجی		مرحله اجرای مدل	
مرحله صحت‌سنجی	ضرایب آماری	مرحله واسنجی	ضرایب آماری
	R^2	۰/۸۳	۰/۸۵
	NSE	۰/۵۱	۰/۶۳



شکل ۸- مقایسه درازمدت آبدهی ماهانه مشاهداتی و آتی

رواناب پیش‌بینی شده حوضه تحت سناریوی RCP8.5، برای پنج مدل در دوره آتی شکل ۸، نشان می‌دهد مدل Access1-0 از متوسط رواناب مشاهداتی به میزان ۶/۲۷ مترمکعب بر ثانیه، ۷/۸۷ مترمکعب بر ثانیه، مدل Bcc-esm1-0، ۵/۹۸ مترمکعب بر ثانیه، مدل Canesm2، ۷/۳۱ مترمکعب بر ثانیه، مدل Bnu-esm، ۷/۳۶ مترمکعب بر ثانیه و مدل Csirok3-5-0،

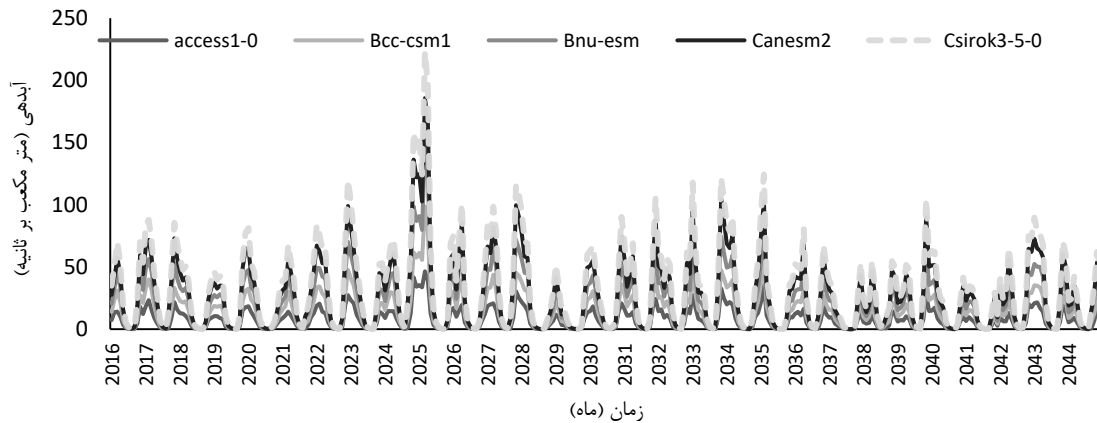
بعد از بررسی کارایی مدل بارش-رواناب حوضه سد دویرج و واسنجی پارامترهای آن، با توجه به سناریوهای اقلیمی دوره آتی، رواناب حوضه با مدل IHACRES تحت سناریوی RCP8.5 شبیه‌سازی شد. شکل ۸، مقایسه بین رواناب مشاهداتی دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۵ و شبیه‌سازی شده هر مدل اقلیمی به‌کار رفته در درازمدت دوره آتی ۲۰۱۶-۲۰۴۴ ارائه شده است.

مدل در دوره آتی و نیز دوره پایه، محاسبه شد و نتایج تحلیل فراوانی دوره مشاهداتی و آتی در جدول ۶ نشان داده شده است.

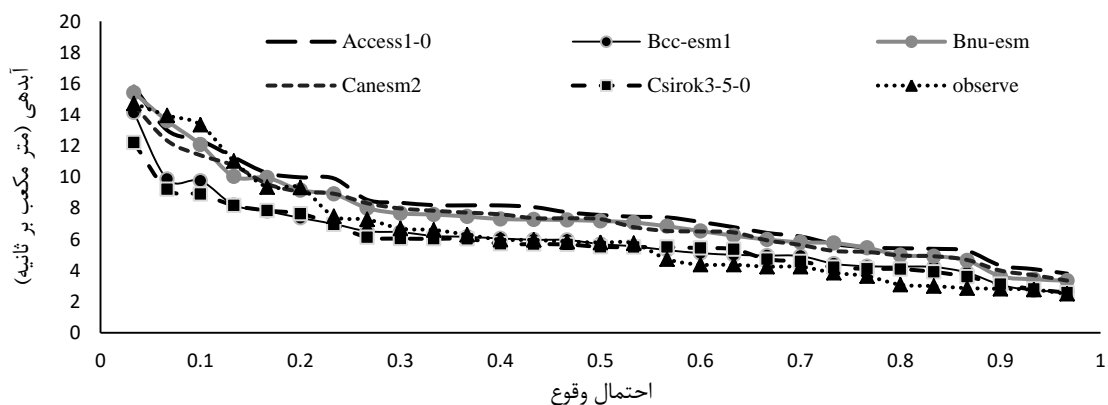
نتایج حاصل از شاخص‌های خشکسالی: به‌منظور بررسی شدت کمی خشکسالی هیدرولوژیکی، از نمایه‌های خشکسالی SWSI، SDI، SRI و روش حد آستانه برای میانگین آبدهی پیش‌بینی شده به‌وسیله پنج مدل اقلیمی استفاده شد. نمودارهای ۱۱ الی ۱۳ شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی SWSI، SDI و SRI را در دو دوره مشاهداتی و آتی و جداول ۱۰ الی ۱۲ نتایج روش حد آستانه را در دو دوره پایه و آتی نشان می‌دهد.

۵/۷۷ مترمکعب پیش‌بینی شده است. شکل ۹، رواناب پیش‌بینی شده هر یک از پنج مدل به‌کار رفته، به‌صورت ماهانه نشان می‌دهد و نیز منحنی تداوم جریان پنج مدل اقلیمی نسبت به دوره مشاهداتی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

در این مرحله، به‌منظور بررسی فراوانی وقوع و محاسبه شاخص‌های خشکسالی از آبدهی‌های به‌دست آمده به‌وسیله پنج مدل میانگین‌گیری کرده، سپس سه ویژگی شدت، مدت و دوره‌ی بازگشت خشکسالی در منطقه مطالعاتی، مقادیر شدت با تداوم‌های یک ساله و سپس شدت خشکسالی با دوره بازگشت‌های مختلف (دو، پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله) بر اساس توزیع برازش داده مناسب متوسط سالانه پنج



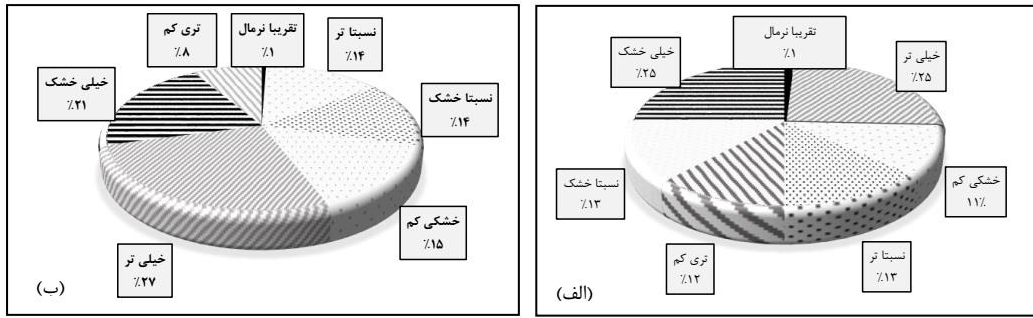
شکل ۹- رواناب پیش‌بینی شده دوره آتی پنج مدل به‌کار رفته تحت سناریوی RCP8.5



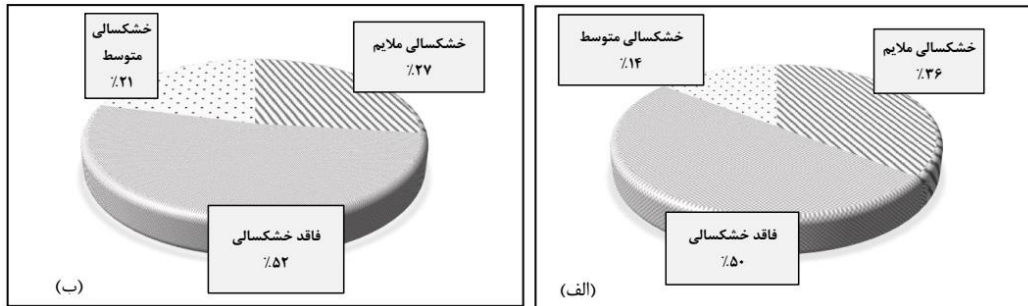
شکل ۱۰- منحنی تداوم جریان دوره مشاهداتی و پنج مدل اقلیمی

جدول ۸- اطلاعات مربوط به احتمال وقوع و مقدار رواناب سالیانه در دوره بازگشت‌های مختلف

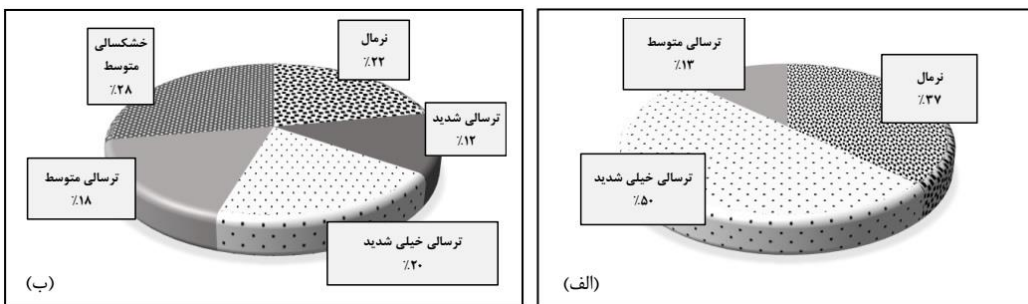
دوره بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
احتمال وقوع	۰/۵	۰/۲	۰/۱	۰/۰۶۷	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱
رواناب سالانه پایه (مترمکعب بر ثانیه)	۵/۹۶	۸/۹۰	۱۰/۵۶	۱۱/۳۱	۱۱/۹۷	۱۲/۳۸	۱۳/۵۹	۱۴/۷۰
رواناب سالانه آتی (مترمکعب بر ثانیه)	۵/۹۰	۸/۹۲	۱۰/۶۷	۱۱/۴۶	۱۲/۱۶	۱۲/۶۲	۱۳/۹۰	۱۵/۰۶



شکل ۱۱- مقایسه نتایج شاخص SWSI در دو دوره پایه (الف) و آتی (ب)



شکل ۱۲- مقایسه نتایج شاخص SDI در دو دوره پایه (الف) و آتی (ب)



شکل ۱۳- مقایسه نتایج شاخص SRI در دو دوره پایه (الف) و آتی (ب)

است. این در حالی است که همین وضعیت در دوره پایه ۵۰ درصد می‌باشد؛ اما با وجود این افزایش در وضعیت ذکر شده، شاخص SDI، افزایش نسبی وضعیت خشکسالی متوسط در دوره آتی نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. همچنین، وضعیت خشکسالی ملایم که در دوره پایه تنها ۲۶ درصد است، در دوره آتی به ۲۷ درصد رسیده است. شکل ۱۳ مقایسه نتایج شاخص SRI را در طول دو دوره پایه و آتی نشان می‌دهد، در شاخص SRI وضعیت خشکسالی در دوره آتی نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد وضعیت ترسالی خیلی شدید در دوره پایه به شکل ترسالی خیلی شدید، شدید و متوسط تغییر یافته است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در شکل ۱۱ که مقایسه بین وضعیت خشکسالی دو دوره پایه و آتی با شاخص SWSI ارائه شده است. با توجه به شکل مذکور وضعیت خشکسالی‌ها در دوره آتی به نسبت دوره پایه با کاهش نسبی همراه است. به‌طوری که در دوره آتی وضعیت خیلی خشک از ۲۵ درصد در دوره پایه به ۲۱ درصد در دوره آتی نزول پیدا کرده است. همچنین، وضعیت خیلی تر در دوره آتی از ۲۵ درصد در دوره پایه به ۲۷ درصد در دوره آتی افزایش نسبی داشته است. شکل ۱۲، وضعیت خشکسالی را در دو دوره پایه و آتی با شاخص SDI نشان می‌دهد، شاخص مذکور نیز وضعیت خشکسالی دوره آتی تا حدی نرمال نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد، به‌طوری که وضعیت فاقد خشکسالی در دوره آتی به ۵۲ درصد رسیده

و سه واقعه خشکسالی متوسط و در دوره آتی، ۱۴ واقعه خشکسالی ملایم، ۱۲ واقعه فاقد خشکسالی و سه واقعه خشکسالی متوسط نشان می‌دهد. شاخص SRI در دوره پایه، ۲۲ واقعه نرمال، یک واقعه تر سالی شدید، سه واقعه تر سالی خیلی شدید، چهار واقعه ترسالی متوسط و در دوره آتی، ۲۲ واقعه نرمال، یک واقعه تر سالی شدید، یک واقعه تر سالی خیلی شدید، دو واقعه تر سالی متوسط و سه واقعه خشکسالی متوسط مشاهده شد.

بررسی کمی شاخص‌های مورد استفاده نشان می‌دهد که شاخص SWSI در دوره پایه، شش واقعه تقریباً نرمال، سه واقعه نسبتاً تر، سه واقعه نسبتاً خشک، چهار واقعه خشکی کم، چهار واقعه خیلی تر، چهار واقعه خیلی خشک و پنج واقعه تری کم و در دوره آتی، هفت واقعه تقریباً نرمال، سه واقعه نسبتاً تر، سه واقعه نسبتاً خشک، چهار واقعه خشکی کم، چهار واقعه خیلی تر، چهار واقعه خیلی خشک و چهار واقعه تری کم را نشان می‌دهد. شاخص SDI در دوره پایه، ۱۵ واقعه خشکسالی ملایم، ۱۱ واقعه فاقد خشکسالی

جدول ۹- مجموع حجم کمبود و تداوم خشکسالی در دوره پایه ایستگاه سد دوبرج

نام ایستگاه	پارامترهای خشکسالی در حد آستانه Q_v		پارامترهای خشکسالی در حد آستانه Q_u	
	مجموع حجم کمبود (میلیون مترمکعب)	مجموع تداوم (سال)	مجموع حجم کمبود (میلیون مترمکعب)	مجموع تداوم (سال)
ایستگاه سد دوبرج	۶/۳۳	۵	۰/۸۹	۲

جدول ۱۰- مجموع حجم کمبود و تداوم خشکسالی در دوره آتی ایستگاه سد دوبرج

نام ایستگاه	پارامترهای خشکسالی در حد آستانه Q_v		پارامترهای خشکسالی در حد آستانه Q_u	
	مجموع حجم کمبود (میلیون مترمکعب)	مجموع تداوم (سال)	مجموع حجم کمبود (میلیون مترمکعب)	مجموع تداوم (سال)
ایستگاه سد دوبرج	۲/۶۴	۲	۱/۶۶	۲

در حوضه سد دوبرج خشکسالی هیدرولوژیکی به‌طور محسوس رخ داده است و در بیشتر سال‌های دوره آماری آتی خشکسالی هیدرولوژیکی رخ نداده است. همچنین، در حد آستانه Q_u در دوره آماری آتی، خشکسالی هیدرولوژیکی سال ۲۰۴۰-۲۰۴۱، با حجم کمبود نزدیک به ۱/۷۰ میلیون مترمکعب در سال حوضه سد دوبرج به‌دست آمده است.

به‌منظور بررسی همبستگی بین نتایج شاخص‌های استفاده شده، از ضریب همبستگی R^2 استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۱۴ ملاحظه می‌شود، بین شاخص‌های مختلف به‌کار برده شده همبستگی نسبتاً خوبی با ضریب همبستگی بالای ۸۰ درصد وجود دارد.

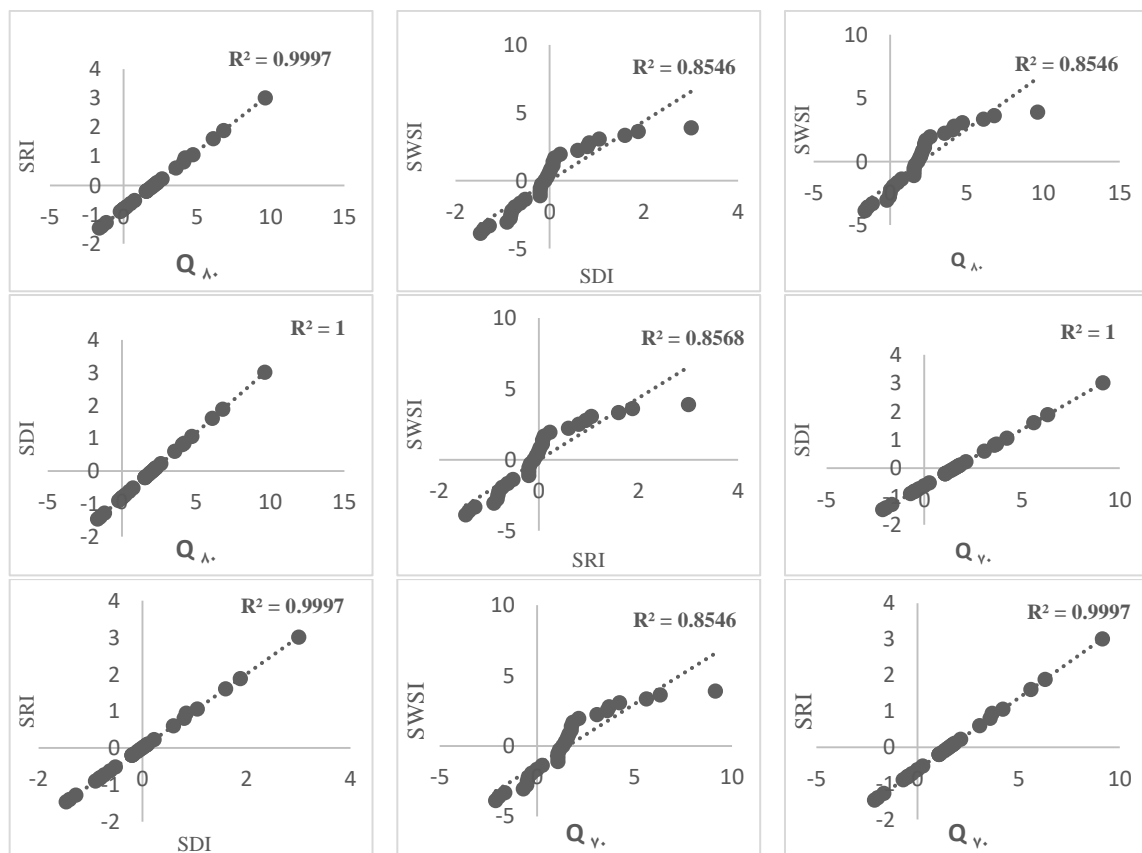
نتیجه‌گیری

تا کنون مطالعات زیادی در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر بارندگی و دمای یک منطقه و به‌تبع آن رواناب صورت گرفته است که البته بیشتر با مدل‌های

همان‌طور که در جدول ۹ ملاحظه می‌شود، در حد آستانه Q_v در دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۵ در ایستگاه سد دوبرج در سال‌های بیشتری خشکسالی هیدرولوژیکی اتفاق افتاده است. تنها در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ میلادی با حجم کمبود ۶/۳۳ میلیون مترمکعب، در حوضه سد دوبرج خشکسالی هیدرولوژیکی به‌طور محسوس مشاهده می‌شود؛ و در بقیه سال‌های دوره پایه خشکسالی هیدرولوژیکی مشاهده نشد. همچنین، در حد آستانه Q_u در دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۵، خشکسالی هیدرولوژیکی سال ۲۰۱۴-۲۰۱۵، با حجم کمبود ۰/۸۹ میلیون مترمکعب و تداوم دو ساله در حوضه سد دوبرج به‌دست آمده است. بررسی نتایج جدول ۱۰ نیز نشان داد که در حد آستانه Q_v در دوره آماری ۲۰۱۶-۲۰۴۴ در ایستگاه سد دوبرج در سال‌های کمی خشکسالی هیدرولوژیکی اتفاق افتاده است. تنها در سال‌های ۲۰۳۷-۲۰۳۸ و ۲۰۴۰-۲۰۴۱ با حجم کمبود ۲/۶۴ میلیون مترمکعب،

بررسی نتایج حاصل از ریزمقیاس‌سازی مدل‌های اقلیمی و مقایسه آن با دوره پایه نشان داد، دما در دوره آتی ۱/۲۹ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش داشته و بیشترین افزایش دما در ماه‌های گرم سال (تیر-مرداد) مشاهده شد. همچنین، بارندگی در طول دوره آتی نسبت به دوره پایه ۱/۸۲ درصد افزایش داشته است. بررسی‌ها نشان داد، میزان رواناب حوضه در دوره آتی شاهد افزایش ۹/۴ درصدی نسبت به دوره پایه است. نتایج واسنجی شبیه‌سازی رواناب در مدل IHACRES و نیز بررسی معیارهای عملکرد خروجی مدل مذکور نشان داد که مدل، رواناب حوضه را به خوبی شبیه‌سازی کرده و می‌توان از خروجی‌های مدل بارش-رواناب در پژوهش‌های مرتبط استفاده کرد. نتایج پژوهش‌های Changbin (۲۰۱۰)، مبنی بر کارایی مدل IHACRES در شبیه‌سازی رواناب منطقه مطالعاتی پژوهش حاضر، مورد تأیید می‌باشد.

گزارش چهارم IPCC انجام شده‌اند. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به تحقیقات Marketa و همکاران (۲۰۱۰)، Semenov و همکاران (۲۰۱۰) و Teng و همکاران (۲۰۱۲) در خارج کشور و Hafezparast و همکاران (۲۰۱۴) و Ashofteh (۲۰۱۰) در داخل کشور اشاره داشت. با توجه به این‌که تغییرات حاصل شده نسبت به زمان و منطقه مورد مطالعه متفاوت هستند، لذا، می‌بایست چگونگی این تغییرات در مناطق مختلف به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گیرد. در این تحقیق، سعی بر آن شد تا با به‌کارگیری پنج مدل از مدل‌های گزارش پنجم IPCC که از به‌روزترین مدل‌های اقلیمی IPCC می‌باشند، تأثیرات تغییر اقلیم را بر بارندگی، دما و رواناب و نهایتاً پایش پدیده خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از نمایه‌های مختلف در حوضه بالادست سد دویرج در شهرستان دهلران در دوره آتی ۲۰۱۶-۲۰۴۴ میلادی بررسی شود.



شکل ۱۴- همبستگی بین شاخص‌های به‌کار برده شده

۲۰۲۹، ۲۰۳۷ و ۲۰۴۱ سال‌هایی هستند که خشکسالی به‌طور قابل‌توجهی در آن‌ها دیده شد، در حالی که سال‌های ۲۰۲۴، ۲۰۲۵، ۲۰۳۳ و ۲۰۳۴ از وضعیت خیلی خوبی برخوردار بوده و هیچ‌گونه خشکسالی مشاهده نشد. شاخص SDI، نیز نشان داد که سال‌های ۲۰۲۹، ۲۰۳۷ و ۲۰۴۱ با خشکسالی متوسطی روبرو خواهند بود. بر اساس نتایج شاخص SRI، در سال‌های ۲۰۲۹، ۲۰۳۸ و ۲۰۴۱ خشکسالی متوسط مشاهده شد و در سال‌های ۲۰۲۷ و ۲۰۳۳ تر سالی متوسط و سال ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵ شاهد بهترین وضعیت رطوبتی، خواهند بود. بررسی میزان حجم کمبود دوره آبی به روش حد آستانه شرایط بهتری را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. به‌طوری که میزان حجم کمبود در حد آستانه Q_7 در دوره پایه، $۶/۳۳$ میلیون مترمکعب در سال بوده این در حالی است که در دوره آبی $۲/۶۴$ میلیون مترمکعب در سال است. همچنین، میزان کمبود حد آستانه Q_8 در دوره پایه $۰/۸۹$ میلیون مترمکعب در سال است که در دوره آبی $۱/۶۶$ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از تحلیل فراوانی سیلاب سالانه دوره آبی ۲۰۱۶-۲۰۴۴، مقادیر سیلاب با دوره بازگشت‌های دو، پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در دوره آبی به‌ترتیب $۵/۹۰$ ، $۸/۹۲$ ، $۱۰/۶۷$ ، $۱۱/۴۶$ ، $۱۲/۱۶$ ، $۱۲/۶۲$ ، $۱۳/۹۰$ و $۱۵/۰۶$ مترمکعب بر ثانیه در سال برآورد شده است که نسبت به دوره پایه با همان دوره بازگشت‌ها به‌ترتیب $۵/۹۶$ ، $۸/۹۰$ ، $۱۰/۵۶$ ، $۱۱/۳۱$ ، $۱۱/۹۷$ ، $۱۲/۳۸$ ، $۱۳/۵۹$ و $۱۴/۷۰$ مترمکعب بر ثانیه، افزایش نشان می‌دهد. بر اساس نتایج شاخص‌های هیدرولوژیکی، در طول دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۱۵، شاخص SWSI در سال‌های ۱۹۹۶، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۴ وضعیت خیلی مرطوب و سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ خشکی زیاد مشاهده شد. این در حالی است که بر اساس شاخص SDI، نیز وضعیت سال ۲۰۰۸، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ خشکسالی مشاهده شد.

نتایج شاخص SRI، نیز نشان داد که خشکسالی در سال‌های ذکر شده، مشهود است. همچنین، بررسی کمی نتایج شاخص‌های هیدرولوژیکی در دوره آبی نشان داد، بر اساس شاخص SWSI، سال‌های ۲۰۲۰،

منابع مورد استفاده

1. Ansari Mahabadi, S., A. Shamsaei and A. Masah. 2012. The effect of climate on runoff coming period. 3rd National Conference on Integrated Water Resource Management, Sari (in Persian).
2. Ashofteh, P. 2010. Impact of climate change on runoff model HadCM3 under scenarios of greenhouse gas emissions, Qaranqu Basin case study. The 4th Regional Conference on Climate Change. 29 November to 1 Dec 2010 (in Persian).
3. Binaman, J. and C.A. Shoemaker 2005. An analysis of high-flow sediment event data for evaluating model performance. *Journal of Hydrological Processes*, 19: 605-620.
4. Binita, K., C. Shepherd, J. Marshall and C.J. Gaiither. 2015. Climate change vulnerability assessment in Georgia. *Applied Geography*, 62: 62-74.
5. Booiij, M., J. Daniel, T. Eelcovan and C.J. Jaap. 2011. Simulating impacts of climate change on river discharges in the Nile basin. *Journal of Hydrology*, 36(2011): 696-709.
6. Changbin, L., Q. Jiaguo, F. Zhaodong, Y. Runsheng, Z. Songbing and Z. Feng. 2010. Parameters optimization based on the combination of localization and auto-calibration of SWAT model in a small watershed in Chinese Loess Plateau. *Frontiers in Earth Science*, 4(3): 296-310.
7. Christensen. N. and D.P. Lettenmaier. 2006. A multimodel ensemble approach to assessment of climate change impacts on the hydrology and water resource of Colorado River basin. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 11: 1417-1434.
8. Garen, D. 1993. Revised Surface Water Supply Index for western United States. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119(4): 25-39.
9. Guoyong, L., T. Qihong and R. Scott. 2015. Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological drought in China. *Global and Planetary Change*, 126(2015): 23-40.
10. Hafezparast, M., M. Heshmati and M. Moghadam. 2014. Assessment of climate change and drought indices to determine the current status and future of the city of Sanandaj. The 2nd National Conference on Environmental Hazards of Zagros (in Persian).
11. Hafezparast, M., A. Bafkar and E. Panahi. 2017. Evaluation of the frequency uncertainty of climate change and its effects on dam discharge Jamyshan. *Journal of Soil and Water Conservation*, 6(3): 17-29 (in Persian).

12. Hisdal, H. and L.M. Tallaksen. 2000. Drought event definition. Technical Report to the ARIDE Project, 6: 1-41.
13. IPCC. 2012. CMIP5 Coupled Model Intercomparison Project. <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5>.
14. Jakeman, A.J. and G.M. Horneberger. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model? *Water Resources Research*, 29(8): 2637-2649.
15. Jiang, T., Y.D. Chen, X.u. Chong-yu, X. Chen, C. Vijay and P. Singh. 2007. Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *Journal of Hydrology*, 336: 316-333.
16. Jones, P.D. and M. Hulme. 1996. Calculating regional climate times series for temperature and precipitation methods and illustrations. *International Journal of Climatology*, 16: 361-377.
17. Kaviani, A., H. Rouhani and A. Esmaeilori. 2015. Haraz watershed runoff and sediment simulation using the SWAT model. *Journal of Physical Geography*, 47(2): 197-211 (in Persian).
18. Khazaei, M.R., B. Zahabiyou and B. Saghafian. 2011. Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model. *International Journal of Climatology*, 2: 13-28.
19. Khosravanan, J. 2013. The effect of climate change on surface runoff. PhD Thesis, University of Gorgan, 128 pages (in Persian).
20. Kamal, A. and A. Bavani. 2011. Uncertainty assessment AOGCM AR4 models and hydrologic models to estimate temperature and precipitation and runoff Nagorno-hand the effects of climate change. *Water and Soil Quarterly*, 5: 39-49 (in Persian).
21. Loukas, A. and L. Vasiliades. 2004. Probabilistic analysis of drought spatiothermal characteristics in Thessaly region, Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4: 719-731.
22. Minvill, M., F. Brissette and R. Leconte. 2008. Uncertainty of the impacts of climate change on the hydrology of a Nordic Watershed. *Journal of Hydrology*, 358: 70-83.
23. Mofidipoor, N., M. Bordishykh and S. Onagh. 2012. The relationship between meteorological and hydrological drought in Atrak Watershed. *Journal of Watershed Management*, 5(2012): 12-24 (in Persian).
24. Purkey, D.R., B. Joyce, S. Vicuna, M.W. Hanemann, L.L. Dale, D. Yates and J.A. Deacup. 2007. Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley. *Climate Change*, 12: 15-30.
25. Saadat, S.D., A.A. Khalili, Sh. Kamgar-Haghighi and A. Zand-Parsa. 2013. Investigation of spatiotemporal patterns of streamflow seasonal droughts in a semi-arid region. *Natural Hazards*, 67: 1697-1720.
26. Santhi, C., J.G. Arnold, J. Williams, W.A. Dugas and L. Hauck. 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *The American Water Resources Association*, 37(5): 1169-1188.
27. Semenov, M.A. and P. Stratonovitch. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 41: 1-14.
28. Shengzhi, H., L. Pei, L. Guoyong, H. Beibei and M. Lan. 2017. The propagation from meteorological to hydrological drought and its potential influence factors. *Journal of Hydrology*, 547: 184-195.
29. Tabari, H., J. Nikbakht and P. Husseinzadeh Talaee. 2013. Hydrological drought assessment in northwestern Iran based on streamflow drought (SDI). *Water Resources Management*, 27(1): 137-151.
30. Tabrizi, A.A., D. Khalili, A.A. Kamgar-Haghighi and Sh. Zand-Parsa. 2010. Utilization of timebased meteorological droughts to investigate occurrence of streamflow droughts. *Water Resources Management*, 24: 4287-4306.
31. Tallaksen, L.M., H. Hisdal and H.A.J. Van Lanen. 2009. Space-time modelling of catchment scale drought characteristics, *Journal of Hydrology*, 13: 372-375.
32. Teng, J., J. Vaze, F. Chiew, H.S. Wang and J.M. Perraud. 2012. Estimating the relative uncertainties sourced from GCMs and hydrological models in modeling climate change impact on runoff. *Journal of Hydrometeorology*, 13(1): 122-139.
33. Wilhite, D.A. 2000. Drought preparedness in Sub-Saharan Africa context. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 8(2): 81-92.
34. Zahabiun, B., M. Gudarzi and B.A. Massah. 2010. Application of SWAT model in estimation of runoff in the future periods affected by climate change. *Journal of Climate Research*, 34: 43-58 (in Persian).
35. Zarei, M., M. HabibNeghad and K. Shahedi. 2009. River flow simulations using rainfall-runoff model IHACRES (Kasilian Catchment case study). *Journal of Watershed Management Engineering*, 3(8): 11-20 (in Persian).

The effect of RCP scenarios on hydrological parameters, case study: Doiraj Dam catchment

Maryam Hafezparast^{*1} and Zohreh Pourkheirolah²

¹ Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran and ² MSc Student, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: 02 May 2017

Accepted: 26 August 2017

Abstract

The effect of RCP scenarios that have recently been analyzed in Iran is the results of (AR5) Intergovernmental Committee climate change (IPCC) that indicated the amount of rainfall, temperature in the upcoming period compared to the base period. In this study, changes in precipitation and temperature and the effect of these parameters on the amount of runoff in the period 2016-2044 Doiraj Dam is considered. The amount of monthly temperature and precipitation models ACCESS1-0, BCC-CSM1.1, CANESM2, BNU-ESM, and CSIROK3-5-0 under the scenario RCP8.5 was prepared for the region. Then, Change Factor method of spatial and temporal downscaling is used for the study area. The temperature, precipitation and discharge values were entered to IHACRES model and after calibration and validation, the future runoff was simulated in this period. For hydrological drought analysis, frequency analysis, SWSI, SDI, SRI and threshold indices were calculated. The results showed an increase of 1.29 degrees Celsius of temperature and 1.28 percent in precipitation in 2016-2044 compared to 1987-2015. River flow has also increased by 4.9 percent compared to the baseline. The frequency analysis of annual runoff is obtained in future with return periods of 50 and 100 years 13.90 and 15.06 m³ s⁻¹, respectively. Quantitative analysis of drought indices showed that in years 1996, 1998 and 2004 there was no drought and in 2008, 2009, 2011 and 2012 there was drought occurrence. Also, in future periods of 2024, 2025, 2033 and 2035 drought conditions are very poor and in years 2020, 2029, 2037 and 2041 drought is evident. Also, checking the volume threshold method with the Q₇₀ threshold showed that in the years 2037-2038 and 2040-2041 significant hydrological drought will happen with the lack of 64.2 million m³.

Key words: Frequency analysis, Hydrological drought indices, IHACRES, RCP scenarios, Threshold indices

* Corresponding author: m.hafezparast@razi.ac.ir