

پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر رواناب ماهانه حوضه‌ی دز با استفاده از مدل IHACRES

ثریا صیاحی^{۱*}، علی شهبازی^۲ و خیراله خادمی^۳

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران.

(۲) دکتری منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان.

(۳) استادیار، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران.

* نویسنده مسئول: sayahisoraya69@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۲۳

چکیده

شناسایی و ارزیابی تغییرات جریان ناشی از تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین فاکتورهای برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب می‌باشد و این مسئله خصوصاً در مناطقی که جمعیت زیادی از آن به کشاورزی مشغول هستند، اهمیت دوچندان می‌یابد. حوضه آبریز دز به عنوان یک قطب کشاورزی در کشور از جمله مناطقی است که تغییرات آبدهی ناشی از پدیده تغییر اقلیم می‌تواند جمعیت زیادی را تحت تاثیر قرار دهد. در این تحقیق، ابتدا با استفاده از داده‌های شبکه‌ای بارش APHRODITE و مجموعه داده‌های شبکه‌ای دمای CHCN-CAMS، مدل هیدرولوژیکی IHACRES برای حوضه مورد نظر واسنجی شد. سپس با معرفی دما و بارش سناریوی ۲/۶ گزارش پنجم (CMIP5) به مدل هیدرولوژیکی مذکور، تغییرات آبدهی حوضه آبریز در دوره‌های آتی شبیه‌سازی می‌شود. نتایج نشان از افزایش ۰/۱۷ تا ۲ درجه‌ای دما و تغییرات ۳ تا ۷۵ درصدی بارندگی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۵ نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۸۳-۲۰۰۷ دارد. نتایج شبیه‌سازی رواناب برای دوره آتی حاکی از افزایش ۹/۷ درصدی متوسط رواناب سالانه درازمدت رواناب نسبت به دوره مشاهداتی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، شبیه‌سازی آبدهی، IHACRES، APHRODITE و CIMIP5

مقدمه

تغییر اقلیم و فعالیتهای انسانی از مهم‌ترین عوامل موثر بر برنامه‌ریزی منابع آب و هیدرولوژی منطقه‌ای می‌باشد (Fu et al., 2012; Hao et al., 2008; Zhang et al., 2007). در این زمینه، بهبود شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و آب و هوای منطقه‌ای، به‌خصوص بارش و جریان، یک هدف مهم برای متخصصین هواشناسی و آب است. چنین بهبودهایی باعث افزایش اثربخشی برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب منطقه‌ای و کاهش تلفات ناشی از سیل و خشکسالی می‌شود. مطالعات گذشته نشان داده‌اند که کوچک‌ترین نوسانی در احتمال یا شدت بارش، تأثیرات قابل توجهی بر رواناب می‌گذارد (Risbey et al., 1996; Ouyang et al., 2015). میان دبی، بارش و درجه حرارت رابطه غیرخطی پیچیده‌ای وجود دارد، که ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Fu et al., 2007). بنابراین سناریوهای تغییر اقلیم در آینده، برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، کشاورزی و استفاده کنندگان از آب بسیار مهم است (Liu et al., 2011; Fu et al., 2013). تغییر اقلیم به عنوان یکی از مهم‌ترین معضلات قرن بیست‌ویکم، جامعه بشری را تحت تأثیر خود قرار داده است. افزایش جمعیت و رشد صنایع از یک سو و جنگل‌زدایی و تخریب محیط زیست از سوی دیگر موجب افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای در سطح کره زمین طی دهه‌های اخیر شده است. این روند افزایشی گرما باعث شده تا دمای سطح زمین در قرن حاضر افزایش یابد که این میزان تحت چهار خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۱۰۰ بین ۰/۳ تا ۴/۸ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی می‌شود (IPCC, 2013). گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۱۳ نشان می‌دهد که گرمایش زمین به دلیل افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای باعث تغییر در چرخه آب شده است. پیامدهای ناشی از این پدیده اثرات مختلفی را بر سیستم‌های منابع آب و جنبه‌های مختلف زندگی بشر ایجاد می‌نماید که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تغییر در توزیع زمانی و مکانی بارش و نوع آن، جریان‌های سطحی، تبخیر، تغذیه سفره‌های آب‌های زیرزمینی و افزایش سطح دریاها اشاره نمود که نهایتاً بر اسکان بشر و تولیدات کشاورزی تأثیر می‌گذارد. از این رو می‌طلبد که اثرات و پیامدهای تغییر اقلیم بر منابع آب به صورت جدی مورد بررسی قرار گیرد. در سال‌های اخیر اثر این پدیده بر حوضه‌های آبریز مختلف در سطح کره زمین مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیقی، کوتسوکی و همکاران (۲۰۱۴) برای پیش‌بینی تغییرات هیدرولوژیک و ارزیابی سازگاری آنها در حوضه رودخانه چائو فرایا در تایلند، شبیه‌سازی هیدرولوژیکی را با استفاده از خروجی شش مدل GCM تحت دو سناریوی RCP5.4 و RCP5.8 و برای دو بازه‌ی زمانی آینده نزدیک و دور انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که رواناب در هر دو سناریو به مقدار ۲۰ درصد افزایش می‌یابد. آیچ و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل اکوهیدرولوژیکی SWIM، اثرات تغییر اقلیم بر رواناب را در چهار حوضه آبریز بزرگ در کشور آفریقا مقایسه کردند. آن‌ها با استفاده از خروجی‌های اصلاح شده پنج مدل CMIP5 برای دو مسیر غلظت ۲/۶ و ۸/۵، مدل

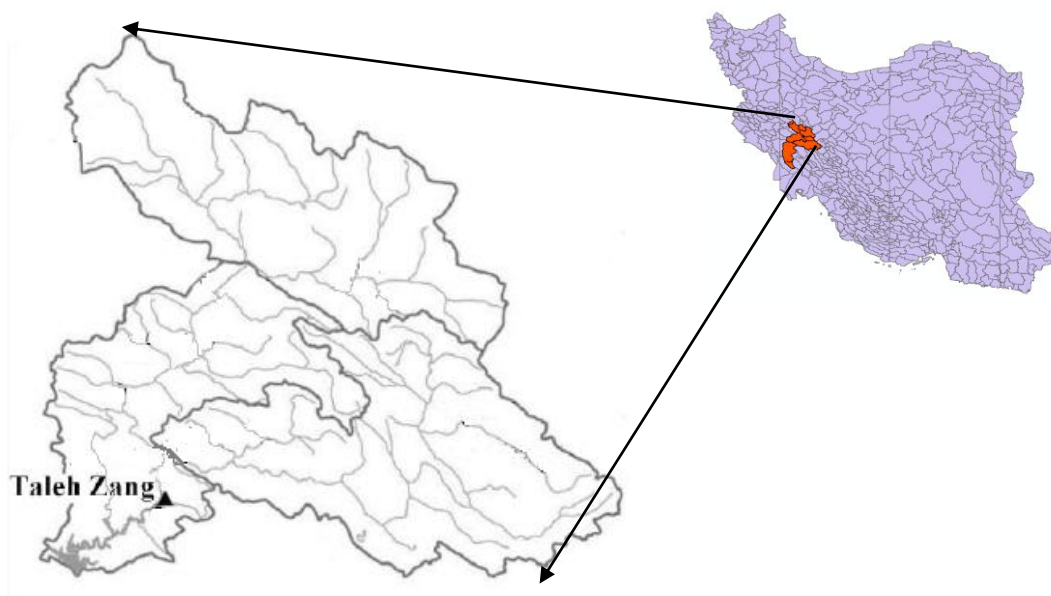
را اجرا کردند. نتایج تحقیق حاکی از افزایش رواناب در سه حوضه از چهار حوضه مطالعاتی بود. در تحقیقی دیگر Tan و همکاران (۲۰۱۴) اثرات تغییر اقلیم را بر حوضه رودخانه جوهور در مالزی بررسی کردند. آنها داده‌های شش مدل GCM، تحت سه سناریوی RCP 6.2, 5.4, 5.8 را به عنوان ورودی، به مدل کالیبره شده SWAT وارد کردند. نتایج نشان داد که تغییرات بارش سالانه از ۱/۰۱ تا ۸/۸۸ و درجه حرارت از ۰/۶ تا ۳/۲۱، منجر به تغییر در دبی رودخانه در حدود ۰/۹۱ تا ۱۲/۹۵ درصد نسبت به دوره مشاهداتی شده است. ما و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر دبی حوضه رودخانه چو در آسیای مرکزی پرداختند. آن‌ها ابتدا با استفاده از داده‌های ایستگاهی دبی و بارش شبکه‌ای APHRODITE، مدل SWAT را برای حوضه مطالعاتی کالیبره و صحت سنجی کردند سپس با استفاده از داده‌های ریزمقیاس شده پنج مدل گردش جهانی جو (GCM)، تحت سه سناریوی واداشت تابشی RCP 6.2, 5.4, 5.8 مدل را برای دو دوره‌ی آینده نزدیک و آینده دور اجرا کردند. در نهایت نتایج شبیه‌سازی نشان داد که آب و هوا در آینده در همه سناریوها خشک‌تر و گرم‌تر می‌شود و روند کاهش رواناب متوسط سالانه بین یک تا ۲۶/۶ درصد می‌باشد. اوپانگ و همکاران (۲۰۱۵) به منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دبی رودخانه حوضه آبریز هانگ نیژانگ در ژاپن، از شش مدل GCM از مدل‌های جفت شده پروژه فاز پنجم (CMIP5) تحت سه سناریوی RCP 6.2, 5.4, 5.8 استفاده کردند. از روش عامل تغییر برای اصلاح اریبی، بین خروجی‌های GCM و داده‌های مشاهداتی و از مدل SWAT برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد که بارش در اواسط و اواخر قرن ۲۱ افزایش می‌یابد. با این حال، به دلیل افزایش تبخیر و تعرق، رواناب به میزان ۰/۸ تا ۶/۹ درصد کاهش می‌یابد. دمای هوا نیز به طور پیوسته برای همه مدل‌های GCM و برای همه‌ی سناریوهای RCM افزایش پیدا می‌کند. اگرچه، با توجه به پیچیدگی پارامترهای تأثیرگذار بر اقلیم، نمی‌توان به میزان تغییرات بدست آمده، اعتماد صددرصد داشت، اما می‌توان کلیت الگوهای تغییر بدست آمده را پذیرفت. در تحقیق حاضر تلاش شده است تا تأثیر تغییر اقلیم بر دما، بارش و رواناب حوضه آبریز دز در دوره آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۵ با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو EMP_ESM_LR و EMP_ESM_MR و تحت سناریوی RCP6.2 مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور از روش دلتا برای تصحیح خروجی مدل‌های گردش عمومی جو و از مدل هیدرولوژیکی IHACRES برای شبیه‌سازی رواناب در دوره آتی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز رودخانه دز در ارتفاعات زاگرس میانی واقع شده و در محدوده‌ای به مختصات جغرافیایی ۱۰' و ۴۸° تا ۲۰' و ۵۰° طول شرقی و ۳۶' و ۳۱° تا ۰۸' و ۳۴° عرض شمالی قرار گرفته است و یکی از حوضه‌های آبریز منتهی به

خلیج فارس می‌باشد. رودخانه دز از دو شاخه اصلی بنام سزار و بختیاری تشکیل می‌شود. مساحت این حوضه بیش از ۲۳۲۵۲ کیلومتر مربع و متوسط ارتفاع آن حدود ۱۶۰۰ متر می‌باشد. محدوده مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبریز دز در بالادست سد دز می‌باشد که مساحت آن حدود ۱۷۳۶۵ کیلومتر مربع می‌باشد. در (شکل ۱) موقعیت حوضه آبریز دز و ایستگاه هیدرومتری تله زنگ در بالادست سد دز نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز دز و ایستگاه هیدرومتری تله زنگ در بالادست سد دز

داده‌ها

عدم توزیع مکانی مناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی یکی از دلایل اساسی در کاهش دقت کالیبراسیون مدل‌های هیدرولوژیکی می‌باشد. پیشرفت‌های اخیر در تکنیک‌های سنجش از راه دور و الگوریتم‌های ماهواره‌ای و شبکه‌ای که دارای پوشش زمانی و مکانی مناسبی هستند، دستیابی به بارش‌های دقیق‌تر را برای مناطقی که اندازه‌گیری بارش در آن‌ها محدود می‌باشد، امکان‌پذیر می‌سازد. در این تحقیق، برای کالیبراسیون مدل هیدرولوژیکی IHACRES از داده‌های بارش مشاهداتی شبکه‌ای APHRODITE "داده‌های یکپارچه مشاهداتی بارندگی آسیا با قدرت تفکیک بالا به منظور ارزیابی منابع آب" استفاده می‌شود که توسط کنسرسیومی بین پژوهشکده‌ی انسانی و طبیعی ژاپن (RIHN) و پژوهشکده‌ی هواشناسی متعلق به آژانس هواشناسی ژاپن (MRI.JMA) توسعه داده شده است. بازه‌ی زمانی پوشش داده شده توسط این داده‌ها، بیش از ۵۰ سال (۱۹۵۱-۲۰۰۷) است که به صورت روزانه و با قدرت تفکیک مکانی 0.25° ارائه می‌شود (Andermann *et al.*, 2011). همچنین به دلیل تعداد محدود ایستگاه‌های تبخیرسنجی و طول آماربرداری کوتاه‌مدت دما در ایستگاه‌های موجود در حوضه، دمای این منطقه با استفاده از مجموعه داده‌های شبکه‌ای CHCN-CAMS تهیه

شد. این داده‌ها با استفاده از ترکیب دو مجموعه داده‌های نسخه دوم شبکه‌ی جهانی آب‌وهوای تاریخی و سیستم دیده‌بانی آب‌وهوای آناملی (GHCN + CAMS) که هر دو براساس داده‌های ایستگاهی مشاهداتی جمع‌آوری شده‌اند، با وضوح بالای 0.5° و با فواصل زمانی ماهانه تولید می‌شود (Fan, Y. and Dool, H. V. D., 2008). آمار و اطلاعات دبی ایستگاه هیدرومتری تله‌زنگ که در خروجی حوضه‌ی بالادست سد دز قرار گرفته، از سازمان آب و برق خوزستان تهیه شد. دو مدل GCM از CMIP5 تحت یک سناریوی واداشت بسیار کم (RCP6.2)، برای پیش‌بینی تغییر اقلیم آینده انتخاب شدند. این دو مدل از وضوح مکانی 0.5° درجه در طول و عرض جغرافیایی برخوردار هستند. یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی مدل‌های GCM، بزرگ مقیاس بودن سلول محاسباتی (Resolution) آنها به لحاظ مکانی و زمانی نسبت به منطقه مورد مطالعه است. روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های GCM وجود دارد. در این تحقیق به منظور ریزمقیاس کردن داده‌های اقلیمی به لحاظ مکانی از روش عامل دلتا استفاده می‌شود.

روش ریزمقیاس نمایی

روش ریزمقیاس‌نمایی یک ابزار مهم برای رفع اختلاف مقیاس بین خروجی‌های GCM و رزولیشن مورد نیاز برای مدل‌های هیدرولوژیک می‌باشد (Wilby *et al.*, 1999; Wilby, 2004; Chen *et al.*, 2013; Ouyang *et al.*, 2015). در این مطالعه برای ریزمقیاس کردن ماهانه بارش و دما، به منظور برآورد سناریوهای تغییر اقلیم با پیش‌بینی‌های بلند مدت، بخصوص بارش، از روش عامل تغییر استفاده شد. روش عامل تغییر یک روش معمول اصلاح خطا است که اغلب به منظور کاهش خطای بین خروجی‌های GCM و داده‌های مشاهداتی استفاده می‌شود (Chen *et al.*, 2011; Ouyang *et al.*, 2015). پس از استخراج ماهانه دما و بارندگی دوره پایه و آتی از مدل، با محاسبه تفاوت ماهانه درازمدت دما و درصد تغییرات بارندگی در دوره آتی نسبت به دوره پایه، سناریوی اقلیمی مطابق روابط ۱ و ۲ برآورد و به داده‌های مشاهداتی حوضه اضافه (برای دما) و ضرب (برای بارندگی) می‌شود:

$$T_i = T_{obs,i} + (\bar{T}_{GCM,fut,i} - \bar{T}_{GCM,bade,i}) \quad \text{رابطه ۱:}$$

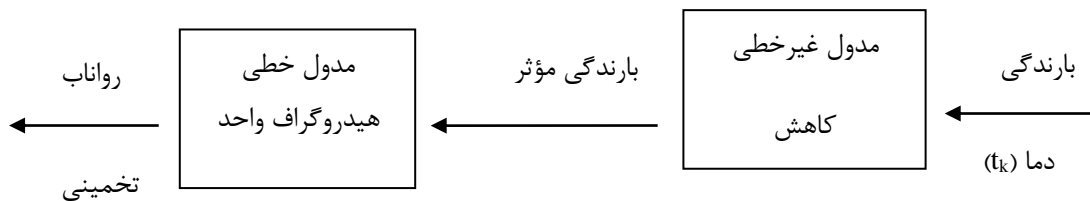
$$P_i = P_{obs,i} \times (\bar{P}_{GCM,fut,i} / \bar{P}_{GCM,bade,i}) \quad \text{رابطه ۲:}$$

در روابط فوق، T_i و P_i به ترتیب بیانگر سری زمانی تعدیل شده دما و بارش حاصل از پدیده تغییر اقلیم در دوره آتی برای هر ماه i ، $T_{obs,i}$ و $P_{obs,i}$ به ترتیب بیانگر سری زمانی دما و بارندگی مشاهداتی در دوره پایه برای هر ماه i ، $\bar{T}_{GCM,fut,i}$ و $\bar{P}_{GCM,fut,i}$ به ترتیب بیانگر متوسط درازمدت دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های GCM در

دوره آتی برای هر ماه i ، $\bar{T}_{GCM,bade,i}$ و $\bar{P}_{GCM,bade,i}$ به ترتیب بیانگر متوسط درازمدت دما و بارندگی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های GCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه i می‌باشند.

شبیه‌سازی بارش - رواناب

به منظور بررسی اثر تغییرات پارامترهای اقلیمی بر رواناب، با استفاده از مدل‌های بارش-رواناب ضروری است. در این پژوهش، برای تولید رواناب ماهانه از الگوریتم ارائه شده به وسیله‌ی Jakeman and Hornberger (۱۹۹۳) (مدل IHACRES) استفاده شده است. اساس این روش که در (شکل ۲) ارائه شده از دو مدول غیرخطی کاهش (تلفات) و مدول خطی هیدروگراف واحد تشکیل می‌شود. برای این منظور، در ابتدا بارندگی (T_k) و دما (t_k) در هر گام زمانی k توسط مدول غیرخطی به بارندگی مؤثر u_k تبدیل شده و سپس به وسیله‌ی مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود. برای واسنجی مدل برای حوضه از داده‌های مشاهداتی دما و بارش و دبی ماهانه حوضه دز در دوره پایه استفاده گردید. در ابتدا می‌بایست مدل IHACRES برای حوضه بالادست سد دز مورد واسنجی قرار گیرد. برای این کار از داده‌های مشاهداتی دما، بارش و دبی ماهانه در دوره پایه استفاده می‌گردد. پس از کالیبراسیون مدل، رواناب ماهانه این حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۵ با معرفی داده‌های دما و بارش اصلاح شده‌ی مدل‌های اقلیمی، شبیه‌سازی خواهد شد.



شکل ۲: شبیه‌سازی بارش-رواناب به روش Jakeman and Hornberger (۱۹۹۳)

جهت ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی دبی، از معیار ضریب تعیین که همبستگی خطی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد، شاخص ریشه میانگین مربعات خطا، شاخص میانگین قدر مطلق خطا و درصد خطای حجم کل استفاده شد که به ترتیب با (روابط ۳ تا ۶) در زیر آورده شده‌اند:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2} \quad \text{رابطه ۴:}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_{obs,i} - Q_{sim,i}| \quad \text{رابطه ۵:}$$

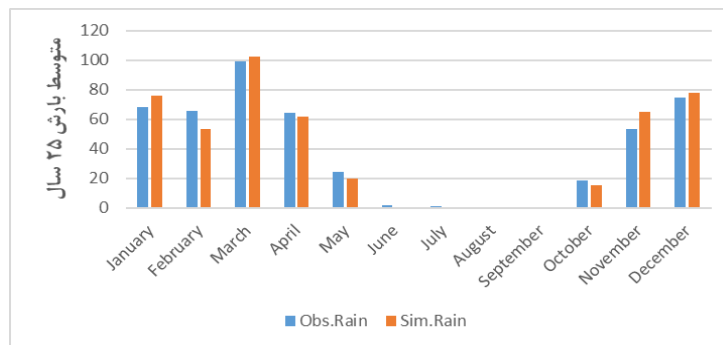
$$PTVE = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{obs,i} - \sum_{i=1}^n Q_{sim,i}}{\sum_{i=1}^n Q_{obs,i}} \times 100 \quad \text{رابطه ۶:}$$

که در آن $Q_{obs,i}$ و $Q_{sim,i}$ بترتیب دبی مشاهداتی و دبی شبیه‌سازی شده و \bar{Q}_{obs} دبی میانگین مشاهداتی بر حسب مترمکعب بر ثانیه و n تعداد داده‌ها هستند.

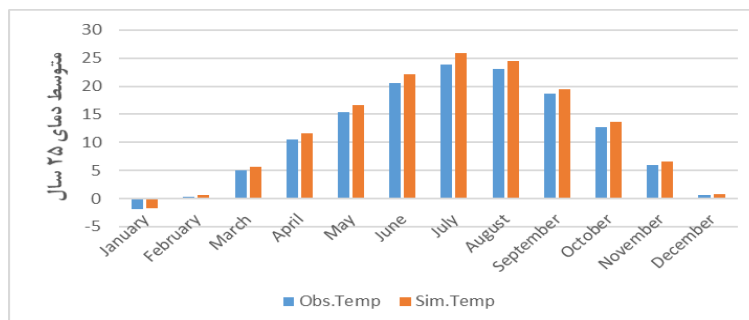
نتایج و بحث

سناریوهای اقلیمی دما و بارندگی در دوره آتی

برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم حوضه، ابتدا سری زمانی دما و بارش ماهانه حاصل از مدل‌های MPI-ESM-LR و MPI-ESM-MR تحت سناریوی RCP6.2 در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۵ توسط برنامه پردازشگر داده‌های اقلیمی (CDO) تهیه شد. سپس با استفاده از روابط ۱ و ۲ سناریوی تغییر اقلیم دما و بارندگی منطقه محاسبه گردید و در نهایت متوسط درازمدت ماهانه این دو متغیر در دوره آتی و دوره پایه (۱۹۸۳-۲۰۰۷) با هم مقایسه شد. نتایج در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، انتظار می‌رود دمای حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۵ بین ۰/۱۷ تا ۲ درجه سانتی-گراد نسبت به دوره پایه افزایش یابد. این درحالی است که حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۵ شاهد افزایش بارندگی برای فصل پاییز و کاهش آن برای دیگر فصول خواهد بود. یکی از دلایل احتمالی کاهش بارش در طول قرن ۲۱ را می‌توان افزایش روند گرمایی در سطح زمین دانست.



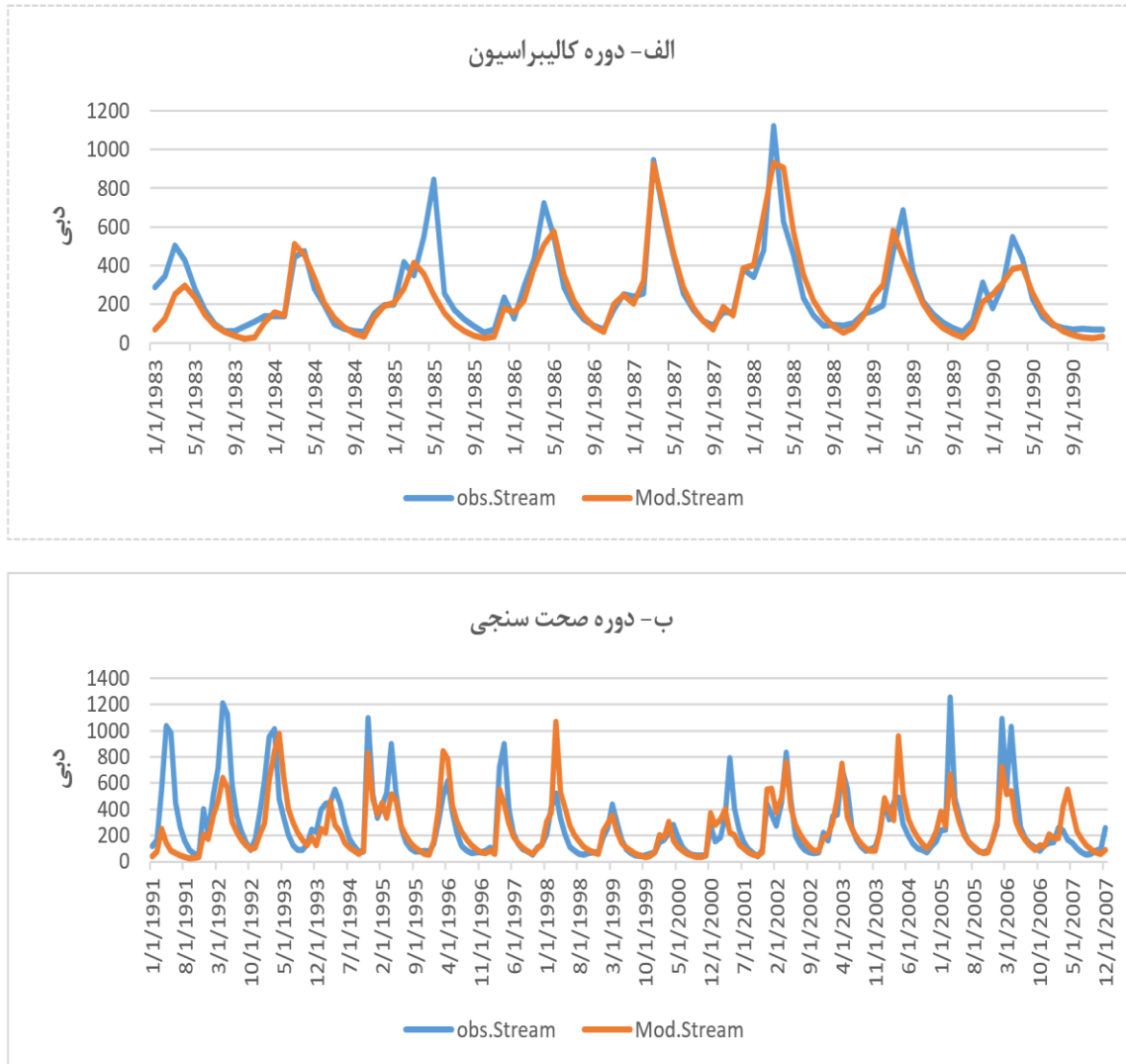
شکل ۳: مقایسه میانگین ۲۵ ساله ماهانه بارندگی دوره آتی و دوره مشاهداتی



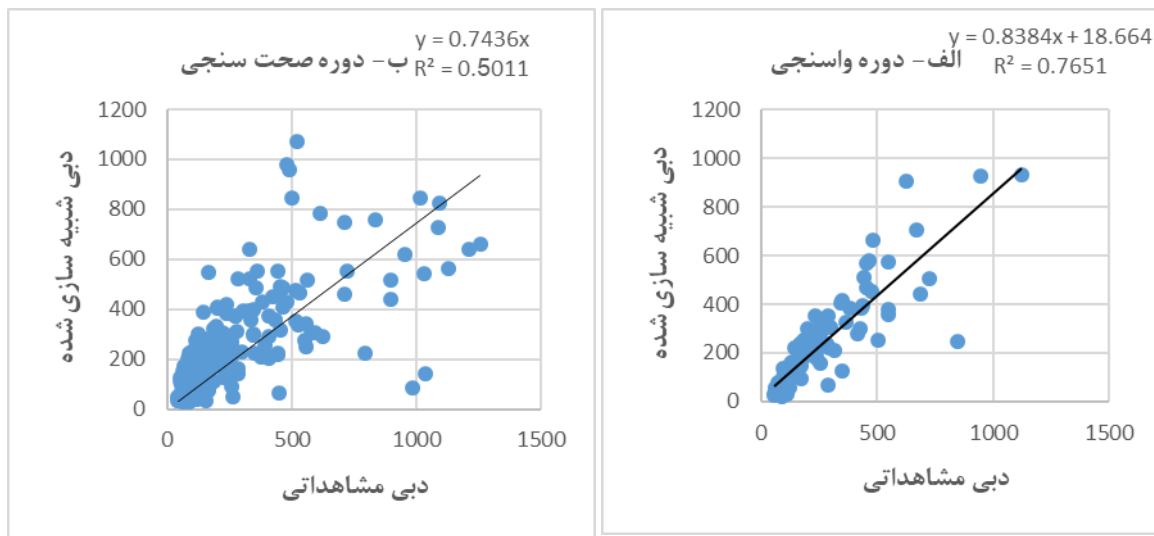
شکل ۴: مقایسه میانگین ۲۵ ساله ماهانه دمای دوره آتی و دوره مشاهداتی

شبیه‌سازی بارش-رواناب

برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه حوضه بالادست سد دز در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۵، در ابتدا مدل IHACRES برای دوره ۱۹۸۳-۱۹۹۰ مورد واسنجی و برای دوره ۱۹۹۱-۲۰۰۷ مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. به منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل IHACRES، از آمار ماهانه دما و بارش متوسط به‌دست آمده از داده‌های شبکه‌ای و آمار دبی ماهانه ایستگاه تله‌زنگ در دوره ۱۹۸۳-۲۰۰۷ استفاده شد. نتایج عملکرد مدل در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی، به وسیله مقایسه رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و استفاده از معیارهای عملکرد روابط ۳ تا ۶ محاسبه و نتیجه نهایی در شکل‌های ۵ و ۶ و در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۵: مقایسه رواناب مشاهداتی با رواناب شبیه‌سازی شده در مدل IHACRES (الف) دوره واسنجی (ب) دوره صحت‌سنجی



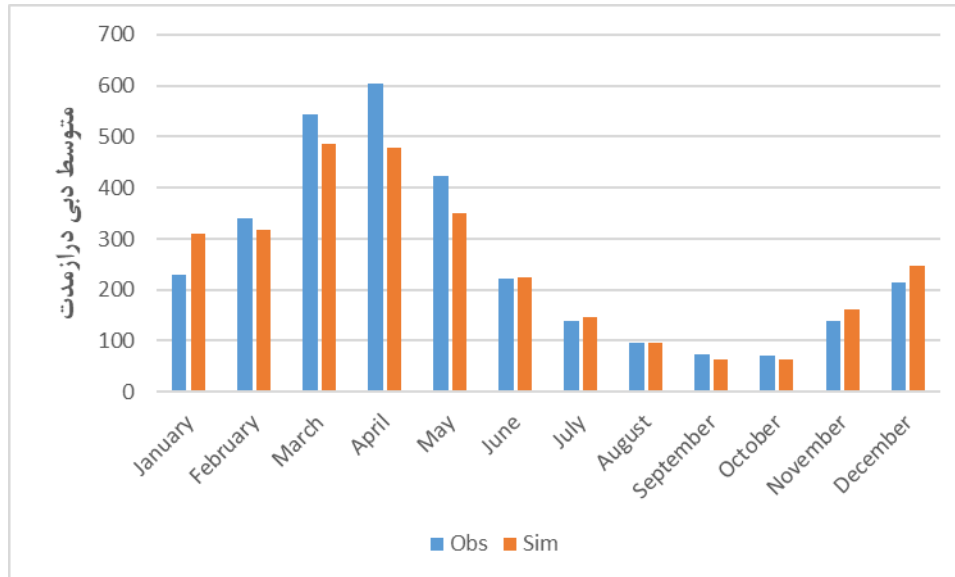
شکل ۶: پراکندگی رواناب مشاهداتی و رواناب شبیه‌سازی شده در مدل IHACRES (الف دوره واسنجی ب) دوره صحت‌سنجی

جدول ۱: نتایج ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی دبی (مترمکعب بر ثانیه)

معیار	R ²	RMSE	MAE	PTVE
دوره واسنجی	۰/۷۶	۱۰۵	۶۴/۲	۸/۸۵
دوره صحت‌سنجی	۰/۵	۱۸۶	۱۱۱/۳	۹/۳

نتایج نشان می‌دهد که دوره ۱۹۸۳-۱۹۹۰ با ضریب همبستگی ۰/۷۶ و معیار خطای ۱۰۵ عملکرد خیلی خوبی داشته است. پس از واسنجی مدل، دوره ۱۹۹۱-۲۰۰۷ برای صحت‌یابی مدل استفاده شد. نتایج نشان از عملکرد قابل قبول مدل در شبیه‌سازی رواناب حوضه دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده باید توجه داشت که مدل واسنجی شده برای حوضه به طور کلی جریان‌های کم حوضه را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. اما در شبیه‌سازی جریان‌های حداکثر در بعضی از سال‌ها ناتوان بوده و مقادیر کمتری را شبیه‌سازی کرده است. پس از واسنجی مدل IHACRES، سری زمانی ماهانه دما و بارندگی حوضه در دوره آتی به مدل معرفی شده و سری زمانی ماهانه رواناب حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۵ شبیه‌سازی شد. شکل ۷ مقایسه میانگین درازمدت ماهانه دبی دوره آتی و دوره مشاهداتی را نشان می‌دهد. براساس این شکل ملاحظه می‌شود که دبی حوضه در ماه اول بهار، دو ماه آخر تابستان و سه ماه زمستان در دوره آتی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر در تمامی ماه‌های فصل پاییز، دو ماه آخر بهار و ماه اول تابستان شاهد افزایش دبی در دوره‌های آتی خواهیم بود. باید توجه

داشت که تغییرات دبی در فصل تابستان قابل توجه نمی‌باشد. در مجموع نتایج نشان می‌دهد که دبی حوضه در دوره‌های آبی افزایش می‌یابد.



شکل ۷: مقایسه میانگین درازمدت ماهانه رواناب دوره آبی و دوره مشاهداتی

نتیجه‌گیری

در این مقاله تأثیر تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدرولوژیک (دما و بارش) و رواناب حوضه بالادست سد دز در استان حوزستان در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۵ با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو (مدل MPI-ESM-LR برای تهیه داده‌های بارش و مدل MPI-ESM-MR برای تهیه داده‌های دما) تحت سناریوی RCP6.2، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بررسی سناریوی تغییر اقلیم دما و بارندگی نشان می‌دهد که دمای حوضه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۵ برای همه ماه‌ها افزایش می‌یابد. حوضه در دوره آبی شاهد افزایش بارندگی برای فصل پاییز و کاهش آن برای دیگر فصول خواهد بود. بعد از تولید متغیرهای مورد نیاز مدل، بارش-رواناب IHACRES برای حوضه مورد نظر، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل IHACRES دقت قابل قبولی در مدل‌سازی جریان رودخانه دارد. سپس با استفاده از متغیرهای تولید شده، جریان برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۵ پیش‌بینی شد. مقایسه رواناب ماهانه حوضه در دوره آبی با دوره مشاهداتی بیانگر افزایش متوسط رواناب سالانه می‌باشد. باید توجه داشت که چگونگی شبیه‌سازی بارش-رواناب و روابط استفاده شده در مدل‌سازی آن، می‌تواند بر نتایج نهایی رواناب تأثیرگذار باشد. به عنوان مثال در مدل بارش-رواناب استفاده شده در این تحقیق، ذوب برف که می‌تواند بر میزان رواناب تأثیر بگذارد نادیده گرفته شده است. در این راستا می‌توان از مدل‌های مفهومی SWAT استفاده کرد.

منابع

- Aich, V., Liersch, S., Vetter, T., Huang, S., Tecklenburg, J., Hoffmann, P., Koch, H., Fournet, S., Krysanova, V., Müller, E. N. and Hattermann, F. F. (2014).** Comparing impacts of climate change on streamflow in four large African river basins. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(4), 1305-1321.
- Andermann, C., Bonnet, S. and Gloaguen, R. (2011).** Evaluation of precipitation data sets along the Himalayan front. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12(7): 1-16.
- Chen, J., Brissette, F. P. and Leconte, R. (2011).** Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. *Journal of Hydrology*, 401(3-4):190-202.
- Chen, J., Brissette, F. P. and Leconte, R. (2013).** Assessing regression-based statistical approaches for downscaling precipitation over North America. *Hydrology Process*, 28(9):3482-3504.
- Fan, Y. and Dool, H. V. D. (2008).** A Global monthly land surface air temperature analysis for 1948-present. *Journal Of Geophysical Research*, VOL. 113, D01103.
- Fu, G., Charles, S. P. and Chiew, F. H. S. (2007a).** A two-parameter climate elasticity of streamflow index to assess climate change effects on annual streamflow. *Water Resources Research*, 43(11):W11419.
- Fu, G., Charles, S. P., Viney, N. R., Chen, S. and Wu, J. Q. (2007b).** Impacts of climate variability on stream-flow in the Yellow River. *Hydrology Process*, 21(25):3431-3439.
- Fu, G., Charles, S. P., Chiew, F. H., Teng, J., Zheng, H., Frost, A. J., Liu, W. and Kirshner, S. (2013).** Modelling runoff with statistically downscaled daily site, gridded and catchment rainfall series. *Journal of Hydrology*, 492:254-265.
- Hao, X., Chen, Y., Xu, C. and Li, W. (2008).** Impacts of climate change and human activities on the surface runoff in the Tarim River Basin over the last fifty years. *Water Resources Management*, 22(9): 1159-1171.
- IPCC, 2013. Summary for policymakers. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (2013).** *Climate Change: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jakeman A. J. and Hornberger, G.M. (1993).** How much complexity Is warranted in a rainfall-runoff model?. *Water resources research*, 29(8): 2637-2649.

- Kotsuki, S., Tanaka, K. and Watanabe, S. (2014).** Projected hydrological changes and their consistency under future climate in the Chao Phraya River Basin using multi-model and multi-scenario of CMIP5 dataset. *Hydrological Research Letters*, 8(1), 27–32.
- Liu, Z., Xu, Z., Charles, S. P., Fu, G. and Liu, L. (2011).** Evaluation of two statistical downscaling models for daily precipitation over an arid basin in China. *International Journal of Climatology*, 31(13):2006–2020.
- Ma, C., Sun, L., Liu, S., Shao, M. A., and Luo, Y. (2015).** Impact of climate change on the streamflow in the glacierized chu river basin, central asia. *Journal of Arid Land*, 7(4), 501-513.
- Ouyang, F., Zhu, Y., Fu, G., Lü, H., Zhang, A., Yu, Z. and Chen, X. (2015).** Impacts of climate change under CMIP5 RCP scenarios on streamflow in the Huangnizhuang catchment. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 29(7), 1781-1795.
- Risbey, J. S. and Entekhabi, D. (1996).** Observed Sacramento Basin streamflow response to precipitation and temperature changes and its relevance to climate impact studies. *Journal of Hydrology*, 184(3–4):209–223.
- Tan, M. L., Ficklin, D. L., and Yusop, Z. (2014).** Impacts and uncertainties of climate change on streamflow of the Johor River Basin, Malaysia using a CMIP5 General Circulation Model ensemble. *Journal of Water and Climate Change*, 5(4), 676-695.
- Wilby, R. L., Hay, L. E. and Leavesley, G. H. (1999).** A comparison of downscaled and raw GCM output: implications for climate change scenarios in the San Juan River basin. *Colorado. Journal of Hydrology*, 225(1–2):67–91.
- Wilby, R., Charles, S., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P. and Mearns, L. (2004).** Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. Supporting material of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), prepared on behalf of Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis (TGICA).
- Zhang, A., Zhang, C., Fu, G., Wang, B., Bao, Z. and Zheng, H. (2012).** Assessments of impacts of climate change and human activities on runoff with SWAT for the Huifa River Basin. Northeast China, *Water Resources Management*, 26(8):2199–2217.