بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب تحت سطوح احتمالاتی مختلف با رویکرد عدم قطعیت (مطالعه موردی: حوضه رود زرد)

چکیده

امروزه تغییر اقلیم از موضوعات اساسی در مطالعات مناب آب می باشد و یکی از راه‌های برنامه‌ریزی و سازگاری با تغییر اقلیم بررسی اثر تغییر رواناب و جریان ورودی به مخازن سدها می‌باشد. هدف این پژوهش بررسی احتمالاتی اثر تغییر اقلیم بر رواناب با تحلیل عدم قطعیت در حوضه رود زرد در جنوب‌غربی ایران، تحت دو سناریوی انتشار (RCP 4.5 و RCP 8.5) در دوره‌ی (۲۰۵٤-۲۰۲۵) می‌باشد. در این پژوهش از مدل IHACRES برای شبیه‌سازی بارش-رواناب، روش ترکیبی ضریب تغییرات و مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌نمایی و اعمال سه سناریو احتمالاتی تحلیل عدم قطعیت استفاده شده است. نتایج حاکی از افزایش میانگین دمای سالانه به مقدار ۲/۰٤-۱/٦٤ درجه‌سانتی‌گراد تحت سناریوی RCP 4.5 و افزایش ۲/٤-۱/۸۵ تحت سناریوی RCP 8.5 می‌باشد. همچنین نتایج شبیه‌سازی رواناب تحت تاثیر تغییر اقلیم در حالت کلی حاکی از کاهش میانگین رواناب شبیه‌سازی شده برای دوره آینده نسبت به دوره پایه می‌باشد. بیشترین کاهش رواناب مورد انتظار در شرایط بحرانی به مقدار ۵۱ درصد تحت سناریوی RCP 8.5 می‌باشد.

کلید واژگان: بارش-رواناب، تغییر اقلیم، سطوح احتمالاتی، سناریو، عدم قطعیت.

مقدمه

امروزه با توجه به تاثیر تغییراقلیم بر دما و بارش، رواناب خروجی از حوضه و ورودی به مخازن سدها نیز تحت تاثیر این تغییرات قرار خواهد گرفت. برای مدیریت صحیح مناب آب در آینده از جمله برنامه‌ریزی برای تخصیص، برداشت صحیح از رودخانه‌ها، برنامه‌ریزی مخازن و... بررسی تغییر میزان رواناب خروجی از حوضه‌ها و ورودی به مخزن سدها تحت تاثیر تغییراقلیم از اهمیت بالایی برخوردار است. در این زمینه مطالعات گوناگونی انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. وانگ[1] و همکاران در پژوهشی به بررسی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر میزان آبدهی ماهانه در منطقه‌ای نیمه‌خشک در شمال چین پرداخته‌اند. از جمله نتایج این پژوهش می‌توان به افزایش واریانس رواناب شبیه‌سازی شده تحت تاثر تغییر اقلیم شاره کرد (۱۷). مساح بوانی در پژوهش خود به بررسی اثر تغییر اقلیم با در نظر گرفتن منابع عدم قطعیت در حوضه زاینده‌رود پرداخته است. نتایج حاصل از این پژوهش جامع حاکی از کاهش رواناب منطقه‌ی مورد مطالعه به میزان (۷۷-۵۸ درصد) و (۷۰-۴۰ درصد) به ترتیب برای دوره‌ی (۲۰۹۹-۲۰۷۰) و (۲۰۶۹-۲۰۴۰) می‌باشد (۳). کمال و مساح‌بوانی از دو مدل بارش-رواناب IHACRES و SYMHYD و ۹ مدل گردش عمومی جو[2] GCM تحت سناریوی انتشار A2 به‌منظور ارزیابی عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو و مدل‌های هدرولوژیکی در تخمین دما، بارش و رواناب حوضه قره‌سو در استان کرمانشاه تحت تاثیر تغییراقلیم استفاده کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داده است که در نظر گرفتن عدم قطعیت مربوط به مدل‌های GCM و مدل‌های هیدرولوژکی باعث تعیین دقیق‌تر رواناب در منطقه مورد مطالعه شده است (۲). ضرغامی و همکاران در پژوهشی به بررسی اثر تغییراقلیم بر رواناب در استان آذربایجان غربی پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش حاکی از افزایش دمای سالانه منطقه مورد مطالعه و کاهش ۳ درصدی میانگین بارش سالانه و کاهش جریان سطحی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (۱۸). آشفته و مساح‌بوانی به بررسی تاثیر عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر رواناب تحت تاثیر تغییر اقلیم در حوضه‌ی قرنقو در استان آذربایجان شرقی پرداخته‌اند. از جمله نتایج این پژوهش می‌توان به افزایش (۰/۴۴)۱/۷۳ درصدی رواناب تحت سناریوهای A2(B2) اشاره کرد (۱). گوهری در پژوهش خود به ارائه راهکارهای سازگاری با سطوح احتمالی مختلف تاثیر تغییراقلیم بر منابع آب حوضه زاینده رود با رویکرد دینامیک سیستم‌ها پرداخته است. از جمله نتایج این پژوهش می‌توان به کاهش (۳۸-۱۴) درصدی بارندگی و افزایش (۰/۷۶-۰/۴۶) درجه سانتی‌گرادی درجه حرارت سالانه در شهر اصفهان و همچنین کاهش جریان ورودی به سد زاینده‌رود تحت سناریوهای مختلف تغییراقلیم اشاره کرد (۸). منصوری و همکاران در پژوهشی به بررسی اثر تغییراقلیم بر منابع آب حوضه زرینه‌رود با استفاده از مدل SWAT پرداخته‌اند. کاهش ۲۸ درصدی رواناب ورودی به سد زرینه‌رود در دوره آتی نسبت به دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۵) و تغییرات الگوی بارش از جمله نتایج این پژوهش می‌باشد (۴). داوطلب و همکاران به بررسی اثر تغییراقلیم بر اطمینان‌پذیری تامین آب پایین‌دست سد کرخه پرداخته است. نتایج حاصل از استفاده از ۱۵ مدل گردش عمومی جو در این پژوهش حاکی از کاهش ۵۶ درصدی تا افزایش ۳۴ درصدی آبدهی منطقه مورد مطالعه می‌باشد (۶). کیپارسکی و همکاران[3] در پژوهشی به بررسی اثر تغییراقلیم بر رواناب و اطمینان‌پذیری تامین آب در حوضه‌ای در کالیفرنیا پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش حاکی از افزایش میزان تقاضا و کاهش اطمینان‌پذیری سیستم برای تامین آب با اهداف کشاورزی می‌باشد (۱۳). از دیگر پژوهش‌های انجام شده در زمینه تغییراقلیم می‌توان به کارآموز و همکاران (۱۲)؛ جوان و همکاران (۱۱)؛ جمالی و همکاران (۱۰) و نام[4] و همکارن (۱۶) اشاره کرد.

[1] Wang et al.
[2] General Circulation Model
[3] Kiparsky et al.
[4] Nam et al.

در این پژوهش با توجه به اهمیت موضوع به بررسی اثر تغییراقلیم بر رواناب حوضه رود زرد با رویکرد احتمالاتی و تحلیل عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو پرداخته شده است. قابل ذکر است که سد جره در خروجی حوضه مورد مطالعه قرار دارد و لذا بررسی تغییر رواناب ورودی به مخزن سد تحت تاثیر تغییراقلیم به منظور برنامه‌ریزی منابع آب و سازگاری با آثار احتمالی و منفی این پدیده باعث افزایش اهمیت این مطالعه شده است.

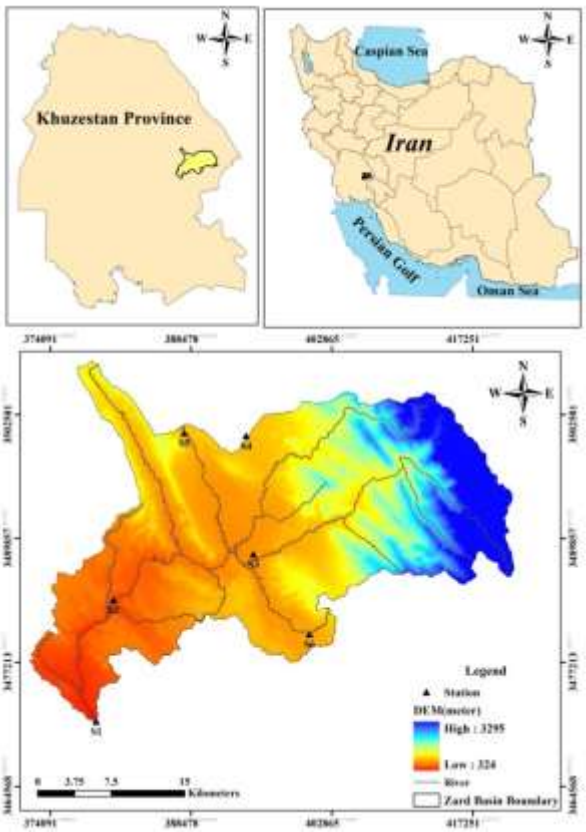
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رود زرد منطقه در جنوب‌غربی ایران در استان خوزستان و در ناحیه‌ای بین عرض جغرافیایی ۲۳-۳۱ تا ۴۱-۳۱ شمالی و طول جغرافیایی ۴۰-۴۹ تا ۱۰-۵۰ شرقی و در شمال شرقی شهرستان رامهرمز و جنوب شهرستان ایذه واقع شده است. مساحت حوزه آبریز تا محل سد جره حدود ۸۱۰/۵ کیلومتر مربع مساحت می‌باشد. بلندترین نقطه این حوزه حدود ۳۳۱۲ متر و ارتفاع متوسط حوضه ۱۲۲۱ متر از سطح دریا برآورد شده است. متوسط بارندگی سالانه در این حوزه حدود ۶۶۰ میلی‌متر می‌باشد. سد مخزنی جره در پایین دست این حوضه قرار دارد که از جمله اهداف آن می‌توان به تامین آب مورد نیاز زمین‌های کشاورزی دشت رامهرمز به وسعت حدودا ۲۲ هزار هکتار، کنترل سیلاب رودخانه زرد و امکان تولید انرژی برق آبی به میزان ۴۸ گیگاوات ساعت در سال اشاره کرد، و با بهره‌برداری کامل این سد ۴ هزار فرصت شغلی در بخش کشاورزی، گردشگری و صنایع جانبی ایجاد خواهد شد. لذا بررسی اثر تغییراقلیم بر منابع آب در این حوضه از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش از ۶ ایستگاه باران‌سنجی و تبخیرسنجی و ایستگاه آب‌سنجی ماشین در خروجی حوضه در طی دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۷۶) که مشخصات آنها در جدول (۱) ذکر شده، استفاده شده است. شکل (۱) نیز موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه و موقعیت حوضه آبریز رود زرد را تا محل ایستگاه آب‌سنجی ماشین نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه.

کد	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نوع ایستگاه
S1	ماشین	۳۱-۲۳	۴۹-۴۳	تبخیرسنجی/آب‌سنجی
S2	ده‌سادات	۳۱-۲۰	۴۵-۴۹	باران‌سنجی
S3	باغملک	۳۱-۳۳	۴۹-۵۲	تبخیرسنجی
S4	قلعه‌تل	۳۱-۳۸	۴۹-۵۱	باران‌سنجی
S5	چشمه‌شیرین	۳۱-۳۸	۴۹-۴۷	باران‌سنجی
S6	گنداب	۳۱-۲۷	۴۹-۴۷	باران‌سنجی



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه و حوضه رود زرد.

روش انجام کار

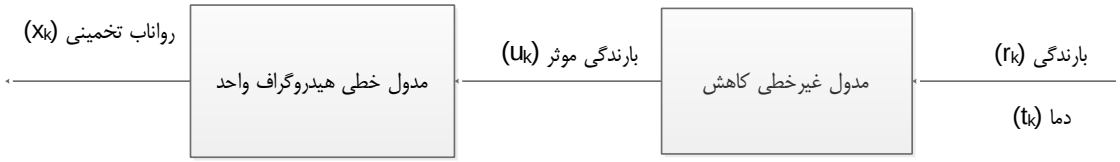
شبیه‌سازی بارش–رواناب

مدل بارش–رواناب IHACRES توسط جکمن و هورمبرگر[1] (۸) در سال ۱۹۹۳ ارائه شد. اساس این روش از دو مدول غیرخطی کاهش[2] و مدول خطی هیدروگراف[3] تشکیل می‌شود. به این منظور در ابتدا بارندگی r_k و دما t_k در هر گام زمانی k توسط مدول غیرخطی، به بارندگی مؤثر u_k تبدیل شده و سپس به‌وسیله مدول خطی هیدروگراف واحد، به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود. شکل (۲) فرآیند شبیه‌سازی بارش–رواناب مدل IHACRES همراه با مدول خطی و غیرخطی را نشان می‌دهد.

[1] Jakeman and Hornberger

[2] Non- linear loss module

[3] Linear unit hydrograph module



شکل (۲)-فرآیند شبیه‌سازی بارش-رواناب در مدل IHACRES.

این مدل در سال‌های اخیر برای شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب و کاربرد آن در منابع آب مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران قرار گرفته است که از جمله آنها می‌توان به کیم[1] و همکاران (۱۳) و بارن[2] و همکاران (۵) اشاره کرد. در این پژوهش بعد از اعمال شبکه تیسن در سطح حوضه، از آمار متوسط روزانه بارندگی و دما در سطح حوضه و دبی روزانه ثبت شده در ایستگاه آب‌سنجی ماشین واقع در خروجی حوضه استفاده شده است. قابل ذکر است که به‌منظور پوشش دادن بیشتر فرآیندهای موثر بر بارش-رواناب از جمله خشک‌سالی یا ترسالی و همچنین انتخاب دوره‌ای که همزمان با بحث مطالعه دوره پایه باشد، از دوره آماری ۷ ساله‌ی (۱۹۹۰-۱۹۹۶) برای واسنجی روزانه مدل و دوره آماری ۱۴ ساله‌ی (۱۹۷۶-۱۹۸۹) به عنوان دوره صحت‌سنجی روزانه مدل استفاده شده است. همچنین معیارهای (RMSE)[3]، (R^2)[4] و (NSE)[5] برای ارزیابی مدل به‌کار برده شده است.

تولید و ریز مقیاس‌نمایی سناریوی اقلیمی بارندگی و دما برای منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش از ۱۰ GCM تحت دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 مربوط به گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم[6] استفاده شده است. قابل ذکر است که به دلیل بزرگ بودن سلول-های محاسباتی مدل‌های گردش عمومی جو[7] (GCM)، در این مدل‌ها شبیه‌سازی نوسانات اقلیمی (روزانه یا ماهانه) این متغیرها همراه با اغتشاش می‌باشند. به‌طوری که مقایسه خروجی این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی نیز وجود اختلاف در نوسانات متغیر مورد مطالعه را تایید می‌کند. مطابق با پژوهش مساح‌بوانی (۳) مقایسه‌ی میانگین بلندمدت این متغیرها با داده‌های مشاهداتی حاکی از عملکرد مطلوب این مدل‌ها در شبیه‌سازی میانگین بلندمدت متغیرهای اقلیمی می‌باشد. لذا می‌توان میانگین دوره‌ای داده‌های مدل‌های GCM را به‌جای استفاده مستقیم داده‌های این مدل‌ها به‌کار برد. در این پژوهش دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۷۶) به عنوان دوره پایه انتخاب شده است. در این پژوهش برای محاسبه-ی سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل GCM مقادیر "اختلاف" برای دما و " نسبت" برای بارش مطابق با رابطه‌های (۱) و (۲) بین مقادیر دوره‌ی پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) و دوره‌ی آتی (۲۰۴۵-۲۰۱۶) در منطقه‌ی مورد مطالعه محاسبه شده است.

$$\Delta P_i = \left(\frac{\overline{P}_{GCM,fut_i}}{\overline{P}_{GCM,base_i}}\right) \qquad (۱)$$

$$\Delta T_i = \left(\overline{T}_{GCM,fut_i} - \overline{T}_{GCM,base_i}\right) \qquad (۲)$$

در رابطه‌های بالا، ΔP_i و ΔT_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به بارندگی و دما برای میانگین بلندمدت ۳۰ ساله در هر ماه، $\overline{P}_{GCM,fut_i}$ میانگین ۳۰ ساله‌ی بارش شبیه‌سازی شده در دوره آتی برای هر ماه، $\overline{P}_{GCM,base_i}$ میانگین ۳۰ ساله‌ی بارش شبیه‌سازی شده در دوره پایه برای هر ماه می‌باشد (برای دما نیز مقادیر به همین صورت می‌باشد).

تحلیل عدم قطعیت

یکی از منابع اصلی عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم ناشی از استفاده از GCMها می‌باشد. دو رویکرد کلی شامل استفاده تنها از یک مدل (احمدی و همکاران، ۲۰۱۵) و استفاده همزمان از چند مدل (زمانی و همکاران، ۲۰۱۶) به کار برده شده است. مطابق با لی و همکاران[8] (۲۰۱۱) استفاده ترکیبی از چند مدل نسبت به استفاده‌ی تنها از یک مدل خاص دارای قابلیت اعتماد بالاتری می‌باشد (۱۵). بنابراین در این مطالعه برای کاهش عدم قطعیت ناشی از استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، از یک روش ترکیبی با استفاده از ۱۰ مدل گردش عمومی جو که مشخصات آنها در جدول (۲) ذکر شده است استفاده شده است. قابل ذکر است که برای استخراج میزان تغییرات دما و بارش تحت سطوح احتمالی مختلف نیاز به برازش توابع توزیع احتمالاتی بر میزان تغییرات شبیه‌سازی شده توسط GCMها در هر ماه می‌باشد. با توجه به تعداد کم این مدل‌ها (۱۰ مدل) و برای کاهش خطای موجود، از روش بوت استراپ[9] برای بازنمونه‌گیری و افزایش اندازه نمونه‌ها (تغییرات بارش و دمای شبیه‌سازی شده در هر ماه) استفاده شده است (۲۰۰ نمونه در هر ماه). این روش توسط افرون و همکاران (۱۹۷۹) برای برطرف کردن مشکل نمونه‌های با اندازه کوچک و برآورد فواصل اطمینان نمونه ارائه شده است. در این روش توزیع تجربی داده‌ها به عنوان برآوردی از توزیع اصلی نمونه در نظر گرفته می‌شود.

[1] Kim et al.
[2] Barron et al.
[3] Root Mean Squared Error
[4] Coefficient of Determination
[5] Nash-Sutcliffe Coefficient of Efficiency
[6] IPCC
[7] General Circulation Model
[8] Lee et al.
[9] Bootstrap

جدول ۲- مشخصات GCMهای مورد استفاده در این پژوهش.

	نام مدل	نام موسسه		نام مدل	نام موسسه
۱	ACCESS1.0	CSIRO-BOM	۶	MIROC5	MIROC
۲	CanESM2	CCCMA	۷	MIROC-ESM	MIROC
۳	CSIRO-Mk3.6.0	CSIRO-QCCCE	۸	MPI-ESM-MR	MPI-M
۴	GFDL-CM3	NOAA GFDL	۹	MPI-ESM-LR	MPI-M
۵	GFDL-ESM2M	NOAA GFDL	۱۰	NorESM1-M	NCC

بعد از باز نمونه‌گیری تغییرات دما و بارش در هر ماه، از توابع توزیع گاما، گوسین، لوگ‌نرمال، ویبول، تعمیم یافته حد نهایی و گامبل برای برازش بر داده‌های بازنمونه‌گیری شده استفاده و بعد از انتخاب بهترین تابع توزیع در هر ماه برای تغییرات دما و بارش، مقدار این متغیرها به ازای احتمال‌های (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد) استخراج شده است.

قابل ذکر است که در این پژوهش از دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 از گزارش پنجم IPCC و همچنین روش ترکیبی ضریب تغییرات و مدل LARS-WG برای ریز مقیاس‌سازی استفاده شده است. این روش ترکیبی توسعه یافته در کاهش عدم قطعیت ناشی از روش ریزمقیاس‌نمایی و عدم قطعیت ناشی از سناریوها موثر می‌باشد (۸). در واقع بعد از واسنجی مدل توسط داده‌های مشاهداتی، مدل مورد اعتبارسنجی قرار گرفت و در ادامه بعد از اطمینان از توانمندی مدل در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی بارندگی و دما (حداقل و حداکثر) برای سطوح احتمالی منتخب، ۳۰۰ سال (۱۰ سری ۳۰ ساله) سناریوی اقلیمی روزانه در دوره آتی (۲۰۲۵-۲۰۵۴) تولید و در نهایت با میانگین‌گیری از مقادیر روزانه سری‌های تولید شده، یک سری زمانی ۳۰ ساله برای متغیر بارندگی و دما (حداقل و حداکثر) متناسب با سناریوی احتمالاتی ورودی تولید شده است.

نهایتا بعد از تحلیل عدم قطعیت و تولید سناریوهای اقلیمی تحت سطوح احتمالاتی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد، سه سناریوی ترکیبی از حالات مورد مطالعه با عنوان سناریوی بحرانی[1] سناریوی ایده‌آل[2] و سناریوی متوسط[3] برای بررسی اثر تغییراقلیم بر رواناب خروجی حوضه مورد بررسی قرار گرفت.

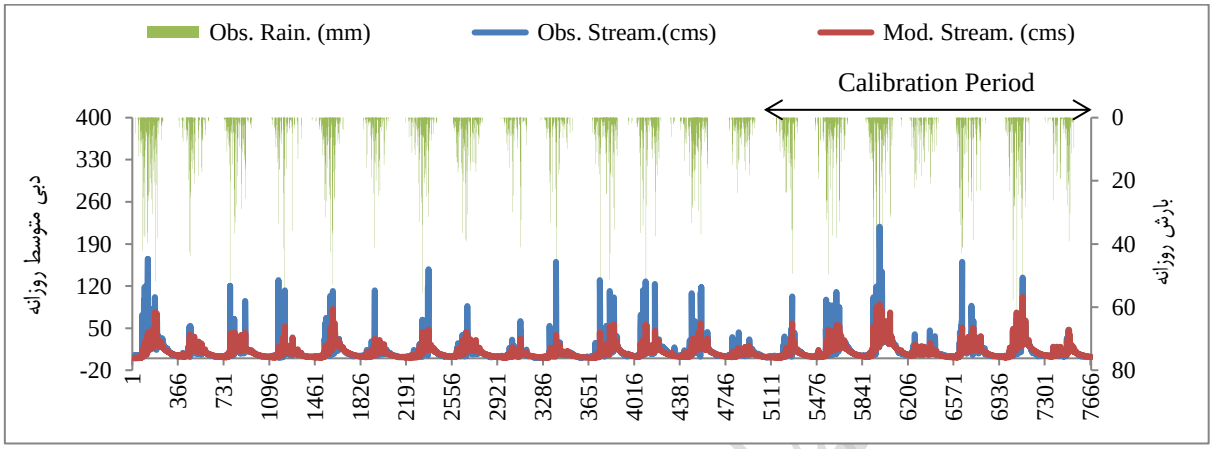
نتایج و بحث

به منظور واسنجی مدل IHACRES سال‌های مختلف در طول دوره آماری (۲۰۰۰-۱۹۷۱) مورد آزمون قرار گرفت. دوره ۷ ساله‌ی (۱۹۹۷-۱۹۹۰) به عنوان بهترین دوره برای واسنجی (با ضرائب τ_w برابر ۲۱ روز و f برابر با ۰/۲۲) انتخاب و مدل برای دوره آماری (۱۹۸۹-۱۹۷۵) مورد صحت‌سنجی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۲) ذکر شده است. همچنین شکل‌های (۳) و (۴) نیز مقایسه رواناب شبیه‌سازی شده و رواناب مشاهداتی در مقیاس روزانه و ماهانه در طول دوره آماری مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

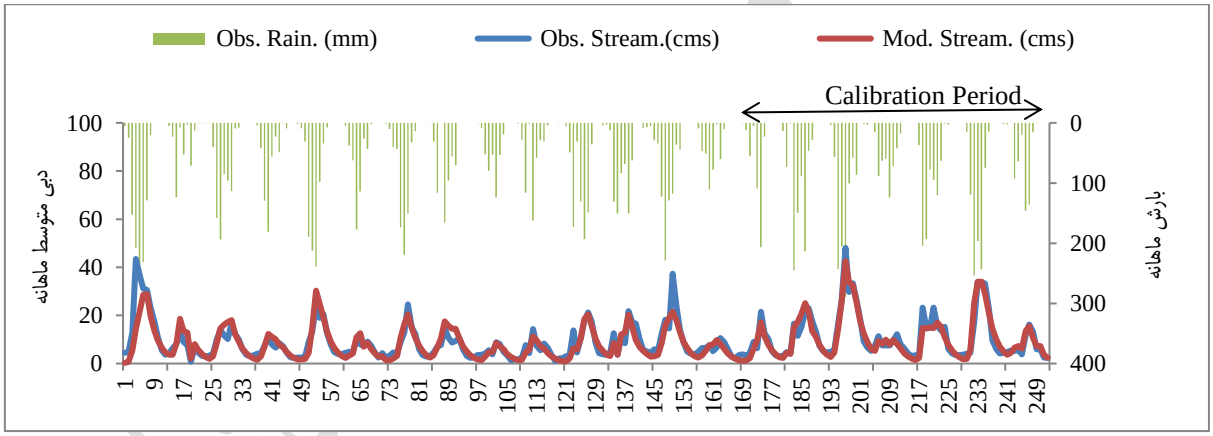
[1] Critical Scenario (CS)
[2] Ideal Scenario (IS)
[3] Moderate Scenario (MS)

جدول ۲- معیارهای ارزیابی مدل بارش-رواناب (واسنجی و صحت‌سنجی) در دوره آماری مورد مطالعه.

	واسنجی			صحت‌سنجی		
	NSE	RMSE	R^2	NSE	RMSE	R^2
روزانه	۰/۷۲	۸/۶۳	۰/۷۴	۰/۶۶	۷/۹۹	۰/۶۸
ماهانه	۰/۹۱	۲/۷۳	۰/۹۲	۰/۷۲	۳/۷۲	۰/۷۳



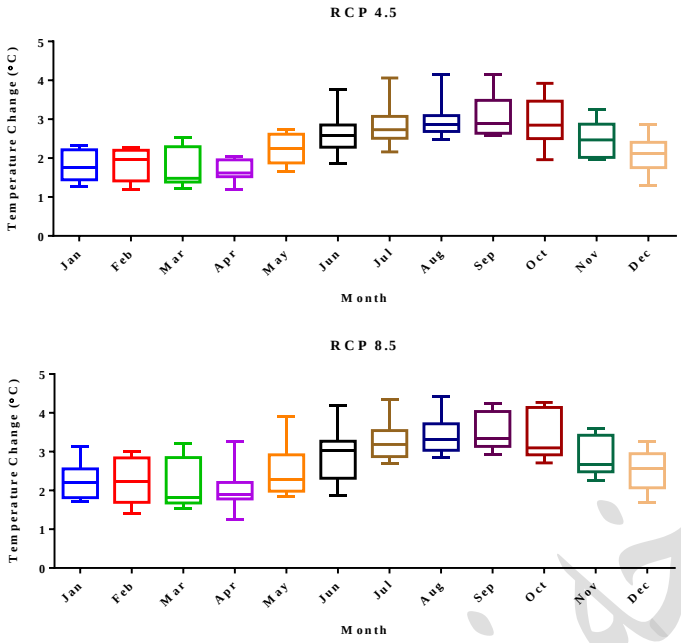
شکل ۳- مقایسه رواناب روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در خروجی حوضه رود زرد (ایستگاه ماشین).



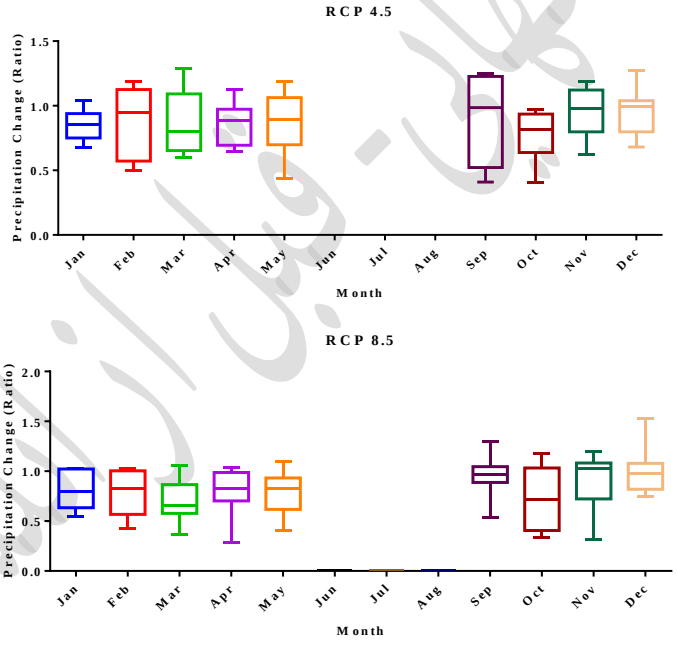
شکل ٤- مقایسه رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در خروجی حوضه رود زرد (ایستگاه ماشین).

نتایج حاصل از محاسبه میزان تغییرات دما و بارش شبیه-سازی شده در هر ماه توسط هر مدل در دوره آتی (۲۰۵۴-۲۰۲۵) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۶) در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده است. با توجه به این شکل‌ها در تغییرات شبیه‌سازی شده عدم قطعیت زیادی وجود دارد که البته این عدم قطعیت در شبیه-سازی بارش بیشتر از دما می‌باشد.

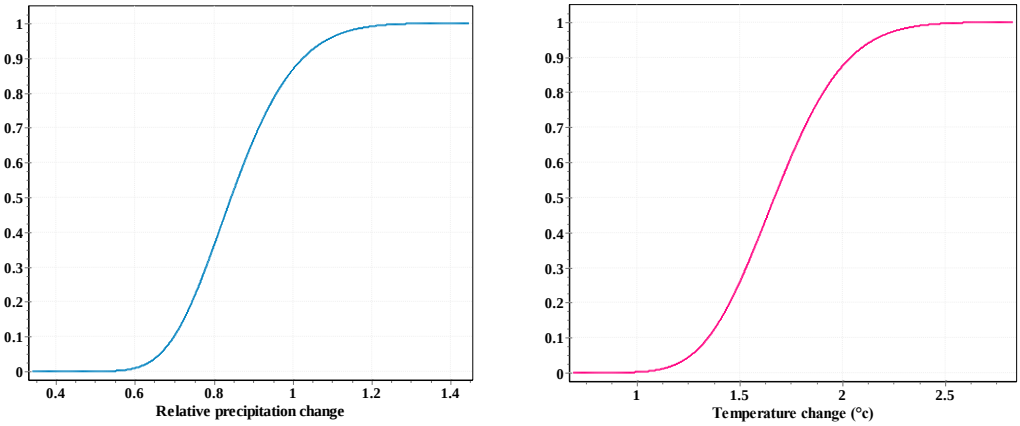
همانطور که در بخش قبلی بیان شد برای کاهش عدم قطعیت ناشی از خروجی GCMها در این پژوهش از یک روش ترکیبی حاصل از خروجی ۱۰ مدل استفاده شده است. با استفاده از روش بازنمونه‌گیری بوت استراپ، تغییرات بارش و دما مطابق با روابط (۱) و (۲) حاصل از خروجی مدل‌ها (۱۰ مدل) به نمونه‌هایی با اندازه ۲۰۰ تبدیل شده‌اند. در ادامه و بعد از انتخاب توزیع مناسب در هر ماه با استفاده از تابع توزیع تجمعی (CDF) انتخاب شده مانند شکل (۷)، میزان تغییرات بارش و دما برای سطوح احتمالاتی (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد) استخراج شده است. قابل ذکر است که هر یک از سطوح احتمال (α) معرف احتمال عدم تجاوز می‌باشد. بنابراین سطح ریسک برابر با ($1-\alpha$) خواهد بود. به عبارت دیگر شدت بارش (دما) در سطح احتمال (α) با پذیرش ریسک ($1-\alpha$) اتفاق خواهد افتاد.



شکل ٥-نمودار جعبه‌ای تغییرات دمای ماهانه حاصل از خروجی GCMهای مورد استفاده (سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5).



شکل ٦- نمودار جعبه‌ای تغییرات ماهانه بارش حاصل از خروجی GCMهای مورد استفاده (سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5).



ب الف

شکل ۷- CDF برازش داده‌شده بر الف:تغییرات دما (ماه مارس)، ب: تغییرات بارش (ماه ژانویه).

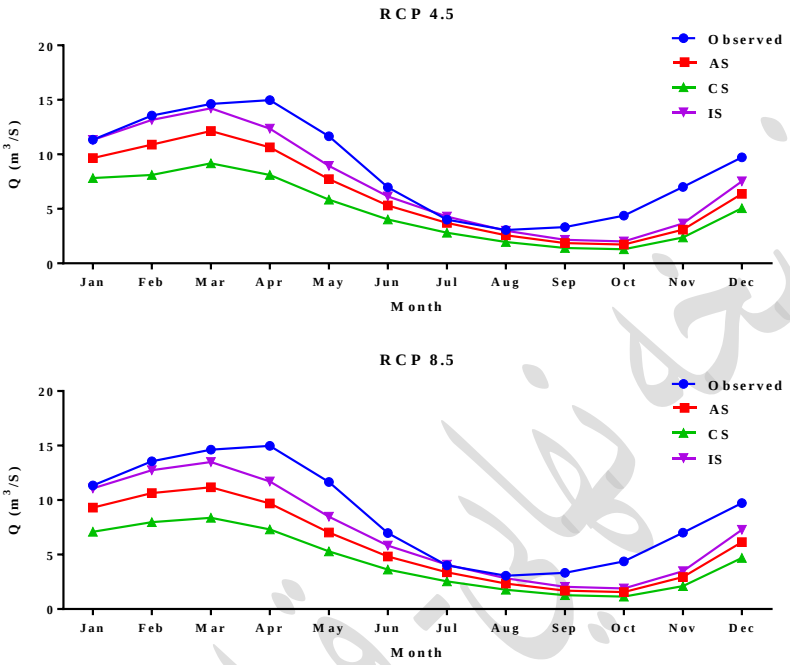
در ادامه و بعد از ارزیابی و اطمینان از عملکرد مطلوب مدل لارس، تغییرات مورد انتظار ماهانه دمای مینیمم، ماکزیمم و بارندگی در سطوح مختلف احتمالاتی با استفاده از مدل لارس به سری‌های زمانی ۳۰۰ ساله‌ی روزانه مربوطه ریزمقیاسی شده است. مطابق با نتایج بیشترین افزایش دمای مورد انتظار در حالت بحرانی در ماه‌های سپتامبر و آگوست و به مقدار ۳/۵۸ و ۳/۵۴ درجه‌سانتیگراد تحت سناریوی RCP 8.5 می‌باشد. مقادیر متناظر تحت سناریوی RCP4.5 برابر با ۳/۲۳ و ۳/۲ می‌باشند. میانگین فصلی و سالانه تغییرات دما و بارش تحت سناریوهای مورد مطالعه در جدول (۳) ذکر شده است. مطابق با نتایج بیشترین افزایش دما به ترتیب در فصل‌های پاییز و تابستان مورد انتظار می‌باشد. بیشترین افزایش دما در فصل پاییز تحت سناریوی RCP 8.5 در حالت بحرانی به میزان ۳/۴۸ و تحت سناریوی RCP 4.5 به میزان ۳/۱۷ مورد انتظار می‌باشد. برخلاف افزایش منظم دما تحت هر دو سناریو و هر سه حالت بحرانی، ایده‌آل و متوسط، تغییرات نامنظم بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه مورد انتظار می‌باشد. بیشترین کاهش بارندگی مورد انتظار در دوره آتی به ترتیب در فصل‌های پاییز و زمستان پیش‌بینی می‌شود. برخلاف این دو فصل میزان بارندگی در فصل بهار در دوره آتی افزایشی پیش‌بینی شده است.

جدول ۳- میزان تغییرات فصلی و سالانه دما (درجه سانتی‌گراد) و بارش (درصد) در دوره آتی.

	Temperature change (°C)					
	RCP 4.5			RCP 8.5		
	AS	CS	IS	AS	CS	IS
Winter	1.22	1.45	1.00	1.50	1.80	1.23
Spring	1.34	1.66	1.08	1.61	2.08	1.24
Summer	2.36	2.58	2.15	2.61	2.92	2.40
Autumn	2.87	3.17	2.69	3.22	3.48	2.93
Annual	1.84	2.08	1.64	2.10	2.40	1.85
	Precipitation change (%)					
	RCP 4.5			RCP 8.5		
	AS	CS	IS	AS	CS	IS
Winter	-7.34	-20.24	2.28	-7.79	-19.24	0.94
Spring	28.54	5.08	36.86	12.54	-8.18	29.03
Autumn	-27.16	-37.49	-19.08	-28.68	-41.69	-21.23
Annual	-5.16	-18.11	2.59	-9.37	-22.13	-0.31

برای بررسی اثر تغییراقلیم بر رواناب منطقه مورد مطالعه، سناریوهای اقلیمی تولید شده در مرحله قبلی در شبیه‌سازی رواناب مورد استفاده قرار گرفت و سری‌های رواناب خروجی از حوضه برای هر سناریو در دوره آتی شبیه‌سازی شده است. شکل (۸) نتایج حاصل از مقایسه میانگین ماهانه رواناب شبیه‌سازی شده با استفاده از سناریوهای اقلیمی انتخابی تحت هر دو سناریوی مورد مطالعه و میانگین ماهانه رواناب مشاهداتی در دوره پایه را نشان می‌دهند. مطابق با نتایج، میزان رواناب شبیه‌سازی با استفاده از سناریوهای اقلیمی در همه‌ی ماه‌ها تحت هر دو سناریوی RCP 8.5 و RCP 4.5 نسبت به رواناب مشاهداتی روندی کاهشی خواهد داشت. که این میزان کاهش در وضعیت بحرانی بیش‌تر می‌باشد. بیشترین کاهش رواناب در ماه‌های اکتبر و نوامبر مورد انتظار می‌باشد. همچنین نتایج تغییرات رواناب خروجی از حوضه در دوره آتی نسبت به دوره پایه در مقیاس فصلی و سالانه در جدول

(۴) ذکر شده است. بیشترین کاهش میانگین رواناب سالانه خروجی از حوضه در حالت بحرانی به مقدار ۵۱ درصد تحت سناریوی RCP 8.4 و کمترین کاهش در حالت ایده‌آل به مقدار ۱۸ درصد تحت سناریوی RCP 4.5 مورد انتظار می‌باشد. قابل ذکر است که مطابق با شکل‌ها و نتایج، عدم قطعیت در شبیه‌سازی رواناب خروجی از حوضه وجود دارد، اما این رویکرد احتمالاتی باعث کاهش این عدم قطعیت نسبت به شبیه‌سازی رواناب تحت تاثیر تغییراقلیم با استفاده از خروجی‌های هر یک از ۱۰ GCM مورد استفاده در این پژوهش شده است و برای استفاده در بحث‌های مدیریتی منابع آب قابل اعتمادتر می‌باشد.



شکل ۸- مقایسه رواناب ماهانه شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای ترکیبی و دوره مشاهداتی.

جدول ٤- میزان تغییرات رواناب فصلی و سالانه شبیه‌سازی شده در دوره آتی نسبت به دوره پایه (درصد).

	RCP 4.5			RCP 8.5		
	CS	AS	IS	CS	AS	IS
Winter	-39.76	-22.95	-8.55	-43.38	-25.43	-11.19
Spring	-66.46	-39.85	-21.79	-74.34	-49.31	-28.47
Summer	-36.13	-15.82	-2.51	-42.26	-23.32	-7.56
Autumn	-64.75	-53.59	-45.72	-68.45	-57.11	-48.43
Annual	-46.24	-29.73	-17.83	-50.91	-34.68	-21.54

نتیجه‌گیری و بحث

در این پژوهش با توجه به اهمیت موضوع و ضرورت بررسی اثر تغییراقلیم بر رواناب خروجی از حوضه‌های مهم و همچنین بررسی تغییر جریان ورودی به مخازن سدها تحت تاثیر تغییرات اقلیمی، به بررسی احتمالاتی تغییر رواناب خروجی از حوضه آبریز رود زرد و ورودی به مخزن سد جره در جنوب‌غربی ایران پرداخته شده است. برای در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در استفاده از خروجی GCMها از یک روش ترکیبی حاصل از ۱۰ مدل استفاده شده است. همچنین روش بوت استراپ برای باز نمونه‌گیری تغییرات شبیه‌سازی شده‌ی دما و بارش در هر ماه از مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصل از تولید سطوح احتمالاتی مختلف دما و بارندگی برای سه سطح احتمالاتی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تحت دو سناریوی RCP 8.5 و RCP 4.5 حاکی از افزایشی بودن دما و روند نامنظم بارندگی (کاهشی در فصل‌های پاییز و زمستان، افزایشی در فصل بهار) در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. در ادامه نتایج حاصل از سه سناریوی مدیریتی بحرانی و متوسط و ایده‌آل برای بررسی اثر تغییراقلیم بر رواناب خروجی از حوضه حاکی از کاهشی بودن رواناب خروجی تحت هر دو سناریوی RCP 8.5 و RCP 4.5 برای دوره‌ی آتی نسبت به دوره پایه می‌باشد. مطابق با نتایج حتی با درنظر گرفتن سناریوی ایده‌آل نیز رواناب شبیه‌سازی

نسخه نهایی ارسال

شده برای دوره‌ی آتی مورد مطالعه کاهشی می‌باشد. در حالت کلی و تحت سناریوی RCP 8.5 ، نتایج حاکی از کاهش ۵۱ درصدی رواناب در حالت بحرانی، کاهش ۳۵ درصدی برای سناریوی متوسط و برای سناریوی ایده‌آل کاهش ۲۲ درصدی رواناب می‌باشد. همچنین نتایج تحت سناریوی RCP 4.5 حاکی از کاهش ۴۷ درصدی رواناب برای سناریوی بحرانی تا کاهش ۱۸ درصدی برای سناریوی ایده‌آل می‌باشد.

نتایج کاهش رواناب خروجی از حوضه رود زرد در دوره آتی نسبت به دوره پایه، با توجه به اینکه هدف از ساخت سد جره تامین آب کشاورزی حدود ۲۲ هزار هکتار از اراضی کشاورزی دشت رامهرمز می‌باشد بسیار مهم است و توصیه می‌شود که در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب و تخصیص از این سد مورد توجه قرار گیرد. بررسی احتمالاتی منحنی فرمان سد تحت تاثیر تغییر اقلیم، بررسی گزینه‌های سازگاری متناسب با سناریوهای ترکیبی و مدیریتی استفاده شده در این پژوهش از جمله تغییر الگوی کشت، تغییر در بهره‌برداری از سد جره، اصلاح شیوه‌ی آبیاری و ... می‌توانند از جمله راه‌کارهایی برای کاهش آسیب‌پذیری ناشی از کاهش جریان ورودی به مخزن سد در آینده باشد.

منابع

۱. آشفته، پ. و مساح‌بوانی، ع ر. ۱۳۸۹. تأثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر رژیم سیلاب، مطالعه موردی حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی. (۲)۵: ۳۹-۲۷.

۲. کمال، ع. و مساح‌بوانی، ع. ۱۳۹۰. ارزیابی عدم قطعیت مدل‌های AOGCM-AR4 و مدل‌های هیدرولوژیکی در تخمین دما، بارش و رواناب حوضه قره‌سو تحت تاثیر تغییر اقلیم. مجله پژوهش آب ایران. ۵(۹): ۵۰-۳۹.

۳. مساح‌بوانی، ع ر. ۱۳۸۵. ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب، مطالعه موردی حوضه زایندهرود اصفهان، گزارش نهایی رساله دکتری، پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۴. منصوری، ب. احمدزاده، ح. مساح‌بوانی، ع ر. مرید، س. دلاور، م. و لطفی، س. ۱۳۹۳. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه زرینه‌رود با استفاده از مدل SWAT. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)(۲۸)۶: ۱۲۰۳-۱۱۹۱.

5. Ahmadi, M., Haddad, O.B., Loáiciga, H.A. (2015) Adaptive reservoir operation rules under climatic change. Water Recourse Management 29:1247– 1266
6. Barron, O. Silberstein, R. Ali, R. Donohue, R. McFarlane, D.J. Davies, P. Hodgson, G. Smart, N. and Donn, M. 2012. Climate change effects on water-dependent ecosystems in south-western Australia. Journal of Hydrology. 434–435:95–109.
7. Davtalab, R. Madani, K. Massah Bavani, A. and Farajzadeh, M. 2014. Evaluating the Effects of Climate Change on Water Reliability in Iran's Karkheh River Basin. World Environmental and Water Resources Congress 2014: Water without Borders © ASCE 2014.
8. Gohari, A. Eslamian, S. Abedi-Koupaei, J. Massah Bavani, A. Wang, D. and Madani, K. 2014. Climate change impacts on crop productivity in Iran's Zayandeh-Rud River basin. Science of the Total Environment. 442:405-419.
9. 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.
10. Jamali, S. Abrishamchi, A. and Madani, K. 2013. Climate Change and Hydropower Planning in the Middle East: Implications for Iran's Karkheh Hydropower Systems. Journal of Energy Engineering, 139(3):153–160.
11. Javan, K. Nasiri Saleh, F. and Taheri -Shahraiyni, H. 2013. The Influences of Climate Change on the Runoff of Gharehsoo River Watershed. American Journal of Climate Change, 2: 296-305.
12. Karamouz, M. Fallahi M. and. Nazif, S. 2012. Evaluation of climate change impact on regional flood characteristics. IJST, Transactions of Civil Engineering. 36(C2): 225-238.
13. Kiparsky, M. Joyce, B. Purkey, D. and Young, C. 2014. Potential Impacts of Climate Warming on Water Supply Reliability in the Tuolumne and Merced River Basins, California. PLoS ONE. 9(1): e84946.doi:10.1371/journal.pone.0084946.
14. Kim, H.S. Croke, B.F.W. Jakeman, A.J. and Chiew, F.H.S. 2011. An assessment of modelling capacity to identify the impacts of climate variability on catchment hydrology. Mathematics and Computers in Simulation. 81:1419–1429.
15. Lee, J., De Gryze, S., Six, J. 2011. Effect of climate change on field crop production in California's Central Valley. Clim Chang 109:335–353
16. Nam, W.H. Choi, J.Y. and Hong, E.M. 2015. Irrigation vulnerability assessment on agricultural water supply risk for adaptive management of climate change in South Korea. Agricultural Water Management.152: 173–187.
17. Wang, H. and Lau, K.M. 2006. Atmospheric hydrological cycle in the tropics in twentieth century coupled climate simulations. International Journal of climatology. 26(5): 655-678.
18. Zarghami, M. Abdi, A. Babaeian, I. Hassanzadeh, Y. and Kanani, R. 2011. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran, Global and Planetary Change. 78: 137-146.

19. Zamani, R., Akhond-Ali, A.-M., Roozbahani, A., and Fattahi, R. 2016. Risk assessment of agricultural water requirement based on a multi-model ensemble framework, southwest of Iran. Theoretical and Applied Climatology. 2016:1-13.

Assessment of Climate Change impacts on Runoff under Different Level of Probabilistic with Uncertainty Approach (Case Study: Zard River Basin)

Abstract

Todays, Climate change is one of the key issues in water resources research. Assessment the effects of climate change on runoff and inflow to reservoirs is required for planning and adaptation to climate change. The purpose of this study is probabilistic assessment impacts of climate change on runoff by analyzing uncertainty in Zard river basin, southwest of Iran under two scenarios, RCP 4.5 and RCP 8.5, during the period of 2025 to 2054. The IHACRES model to simulate rainfall-runoff processes, a combined approach between the change factor (CF) and LARS-WG to downscaling and three management scenarios at three different percentile were used in this study. The results indicated an increasing mean annual temperature in the range of 1.64-2.04 ˚C and 1.85-2.4 under RCP 4.5 and RCP 8.5, respectively. Also, the results of simulation runoff under climate change indicated that generally runoff will be decreased in future periods than baseline period. The most expected reduced runoff in the critical condition is about 51% under RCP 8.5 scenario.

Key Words: Rainfall-Runoff, Climate Change, Probabilistic Levels, Scenario, Uncertainty.

نسخه نهایی پذیرفته شده