

اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی و رواناب حوضه سد کمال صالح استان مرکزی

زهرا فهیمی راد^۱، طاهر رجایی^۲، نازنین شاه کرمی^۳

مطالعه موردی

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۲/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۲

مقاله برگرفته از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد می باشد.

چکیده

در این مطالعه با هدف پیش بینی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدرواقلمی، حوضه سد کمال صالح ابتدا با آزمون های بررسی روند داده ها وجود تغییر اقلیم در حوضه در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۶) بررسی شد، سپس مدل گردش عمومی CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و در سه بازه زمانی (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) مورد استفاده قرار گرفت، در ادامه داده ها با مدل SDSM ریزمقیاس نمایی شدند. نتایج نشان دهنده ی افزایش دمای میانگین بین ۱/۳ تا ۵/۷ درجه سانتی گراد و کاهش بارش تحت سناریو RCP4.5 در سه دوره آینده و افزایش بارش تحت سناریو RCP8.5 برای هر سه دوره بود و هم چنین برای RCP2.6 کاهش بارش برای ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و افزایش بارش برای دو دوره آتی بود. با شبیه سازی رواناب به کمک مدل IHACRES، نتایج نشان دهنده ی کاهش رواناب بین ۱۰ تا ۳۸ درصد به نسبت دوره پایه می باشد. افزایش دما و کاهش بارش طی سال های آتی منجر به کاهش رواناب و منابع آبی منطقه خواهد شد.

واژه های کلیدی: CanESM2، IHACRES، RCP، SDSM، روند.

^۱ زهرا فهیمی راد، کارشناسی ارشد مهندسی عمران - آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، ایران.

Z.fahimirad70@gmail.com

^۲ طاهر رجایی، دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، ایران. trajae@qom.ac.ir. (نویسنده مسئول)

^۳ نازنین شاه کرمی، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، ایران. n-Shahkarami@araku.ac.ir



مقدمه

میزان دبی در دوره آتی افزایش خواهد یافت. در مطالعات لگس^۷ (۲۰۰۳) ۵ مدل گردش عمومی مورد بررسی قرار گرفت که به بررسی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر روی منابع آب با استفاده از سیستم مدل سازی بارش-رواناب توزیعی در منطقه اتیوپی پرداختند. هرتیگ^۸ و جاکوبیت^۹ (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای تحت عنوان کوچک مقیاس کردن تغییر اقلیم آینده، به بررسی سناریوهای دما برای منطقه مدیترانه پرداختند. در این مطالعه از دو مدل چرخش عمومی جو ECHAM4/OPYC3 و HadCM3 و سناریو B2 استفاده شد. نتایج حاصله، افزایش دما را برای کل منطقه مدیترانه برای همه ماه‌های سال در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ در مقایسه با ۱۹۹۰-۲۰۱۹ را نشان داد. تغییرات افزایش دمای ارزیابی شده بستگی به منطقه و فصل دارد اما به طور کلی تغییرات دمای نسبی بالای ۴ درجه سانتی‌گراد تا پایان این قرن، تحت شرایط هشدار دهنده‌ی افزایش گازهای گلخانه‌ای پیش‌بینی شد. ضرغامی و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی اثرات تغییر اقلیم در استان آذربایجان شرقی پرداختند. آنها در مطالعات خود از مدل LARS-WG جهت ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای اقلیمی و از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی رواناب در دوره‌های آتی استفاده کردند. کوموزپ^{۱۰} و چانگ^{۱۱} (۲۰۱۴) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب و شاخص خشک‌سالی حوضه جومئو^{۱۲} در کره جنوبی پرداختند. در این تحقیق از روش LARS-WG جهت ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شد و عدم قطعیت‌های مدل نیز بررسی گردید. نتایج نشان از افزایش ۹٪ رواناب در دوره‌های آتی و افزایش بروز رخداد خشک‌سالی در دوره ۲۰۶۰ را داشت. عباسپور و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی جامع اثرات تغییر اقلیم در کشور ایران تحت سناریوهای مختلف پرداختند. آنها در مطالعات خود از مدل

رشد سریع فعالیت‌های صنعتی و در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی منطقه شده است که به آن پدیده تغییر اقلیم اطلاق می‌شود. تاثیرات منفی این پدیده در آینده به سبب نگرش جوامع بر توسعه سریع صنعت و توجه کمتر به محیط‌زیست می‌تواند شدت گرفتن آن را به دنبال داشته باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این پدیده می‌تواند بر سیستم‌های مختلف شامل منابع آب، کشاورزی، محیط زیست و بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. یکی از تبعات بارز پدیده تغییر اقلیم، تاثیر آن بر سیستم منابع آب می‌باشد که مدیریت آن را با چالش‌های جدی همراه ساخته و راهکارهای تطبیق با آن را ضروری می‌سازد. مدل‌های جهانی اقلیم (GCMs^۱) برای ارزیابی تغییرات اقلیمی طراحی شده‌اند. همه عوامل اقلیمی شایان توجه، در مدل‌های گردش عمومی جو منظور شده‌اند. برای مثال توجه به سلسله مراتب و برهم کنش اقیانوس، جو، یخ‌های دریایی و سطوح خشکی‌ها در این مدل‌ها سرلوحه مدل‌سازی است و خود بر سه نوع چرخش عمومی جو (AGCM^۲)، چرخش عمومی اقیانوس (OGCM^۳) و مزدوج (AOGCM^۴) تقسیم می‌شوند. به‌کارگیری مدل‌های چرخشی عمومی جو برای بازسازی اقلیم گذشته یا پیش‌بینی آینده می‌باشد (فرزانه و همکاران، ۱۳۸۹)، (هادی‌زاده ارغندی و همکاران، ۱۳۸۰) و (عساکره، ۱۳۸۶)

در سال‌های اخیر مطالعات انجام شده توسط محققین در خصوص بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب با استفاده از مدل‌های ناحیه‌ای و آماری در مقیاس‌های گوناگون، افزایش چشم‌گیری داشته است که این مساله حاکی از اهمیت این موضوع دارد. در مطالعه‌ای که یاتس^۵ و استرزپک^۶ (۱۹۹۸) در خصوص بررسی اثرات تغییر اقلیم در رودخانه نیل انجام دادند، نتایج حاکی از آن بود که

⁷ Legesse

⁸ Hertig

⁹ Jacobeit

¹⁰ Komozep

¹¹ Chung

¹² Geomeho

¹ General circulation models

² Atmosphere General circulation model

³ Ocean General circulation model

⁴ Atmosphere – ocean General circulation model

⁵ Yates

⁶ Strzepek

منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه، خسارات به بخش کشاورزی منطقه به خصوص که استان وابستگی شدید به زراعت دیم دارد. بنابراین همواره در معرض خطر احتمالی کمبود آب بوده است و همچنین با توجه به تاثیرات محسوس تغییرات اقلیمی بر منابع آب، این تحقیق بر روی حوضه سد کمال صالح یکی از مهمترین منابع تامین کننده آب استان انجام گرفته است. از این رو اگر بتوان زمان وقوع رخداد های ناشی از تغییرات اقلیمی را زودتر از ظاهر شدن اثرات آن مشخص کرد می توان گام مهمی در مدیریت منابع در شرایط بحرانی برداشت. شبیه سازی آبی و آگاهی از میزان تاثیر این پدیده بر منابع آب منطقه شکل دهنده راه کارهای مدیریتی و روش هایی در راستای کاهش تاثیرات پدیده تغییر اقلیم است.

بنابراین در تحقیق حاضر، جهت بررسی روند سری داده های بارندگی و دما و رواناب دوره مشاهداتی برای بررسی وجود تغییر اقلیم در منطقه، در مقیاس های ماهانه، فصلی و سالانه، دو آزمون ناپارامتری من-کندال و تخمین-گر سن استفاده گردید، سپس با کمک مدل گردش عمومی CanESM2 و سه سناریوی منتخب RCP و مدل ریز مقیاس نمایی SDSM و مدل بارش-رواناب IHACRES اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش و رواناب حوضه سد کمال صالح در دوره های آبی بررسی شد.

روش تحقیق

مطالعه منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی این تحقیق حوزه آبخیز سد کمال صالح می باشد که با طول ۰۲' ۰۴' ۰۴۹ تا ۱۱' ۲۷' ۰۴۹ شرقی و عرض ۱۳' ۳۳' ۰۳۳ تا ۵۵' ۳۳' ۰۳۳ شمالی، با مساحت ۶۹۹ کیلومتر مربع در جنوب غرب استان مرکزی و شمال شرق استان لرستان قرار دارد و جزء سرشاخه های اصلی رودخانه تیره لرستان به حساب می آید. ارتفاع بیشینه آبخیز ۲۹۶۰، ارتفاع کمینه ۱۸۴۰، ارتفاع متوسط ۲۱۵۷ متر و و شیب متوسط آبخیز ۱۲/۸ درصد می باشد. زراعت دیم عمدتاً در دامنه های اراضی تپه ماهوری و کوهستانی و زراعت آبی در اراضی کم شیب مجاور رودخانه ها دیده می

¹ CGCM و داده های ۳۷ ایستگاه هواشناسی استفاده کردند. یافته های آنها حاکی از آن بود که مناطق خشک کشور بارش های کمتر و مناطق مرطوب بارش های بیشتری را دریافت می کنند. سرزعیم و همکاران (۲۰۱۸) در طی پژوهشی به منظور بهینه سازی طراحی نیروگاه رودخانه ای حوضه رودخانه کرخه اثرات تغییر اقلیم برای سال های ۲۰۲۰-۲۰۴۹ را به کمک دو مدل ریزمقیاس نمایی SDSM و عامل تغییر بررسی کردند و برای شبیه سازی رواناب از مدل IHACRES استفاده کردند که نتایج نشان داد خروجی های مدل SDSM رواناب بالاتری را به نسبت مدل عامل تغییر محاسبه می کند. اشرف زاده و همکاران (۲۰۱۹) اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه نیمه خشک شمال مرکزی در ایران به کمک مدل IHACRES را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش با کمک مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و مدل گردش عمومی HADCM3 تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 مقادیر دما و بارش روزانه برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ پیش بینی شد، که نتایج نشان دهنده کاهش ۸/۲٪ مقادیر بارش بود و مقدار رواناب نیز در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز به جز ماه های ژوئن، ژولای و آگوست تحت همه ی سناریوها کاهش خواهد یافت. دخلائویی^۲ و همکاران (۲۰۱۹) پژوهشی مبنی بر تاثیرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در تونس شمالی انجام دادند. برای این منظور از سه مدل هیدرولوژیکی IHACRES، GR4 و HBV استفاده کردند که بررسی ها در هر سه مدل کاهش ۱۰ تا ۳۰٪ رواناب تحت سناریو RCP4.5 و ۲۵ تا ۳۸٪ تحت سناریو RCP8.5 برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۰ و کاهش ۲۰ تا ۳۷٪ و ۴۱ تا ۵۸٪ رواناب برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۰ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 را نتیجه داد.

با توجه به نقش حیاتی آب در جوامع بشری، بررسی تاثیرات منفی آن بر دما، بارش و رواناب یک حوضه آبریز از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با توجه به اینکه در این میان استان مرکزی در ناحیه خشک و نیمه خشک کشور واقع شده و مشکلات متعددی مرتبط با تغییرات اقلیمی و گرمایش آب و هوایی در منطقه وجود دارد، از جمله کاهش

² Dakhlaoui

¹ coupled general circulation model



روش‌های تفاضل، نسبت‌ها برای دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۷۶) تکمیل گردید. از داده‌های ایستگاه‌های منتخب برای پیش‌بینی دما و بارش تحت سناریوهای مختلف اقلیمی و همچنین واسنجی مدل بارش-رواناب استفاده شد.

با توجه به مشکلات متعدد مرتبط با تغییرات اقلیمی و گرمایش آب و هوایی که در منطقه وجود دارد، بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر ویژگی‌های متغیرهای هیدرواقلمی و رواناب در استان مرکزی از اهمیت خاصی برخوردار بوده است.

ارزیابی روند داده‌ها

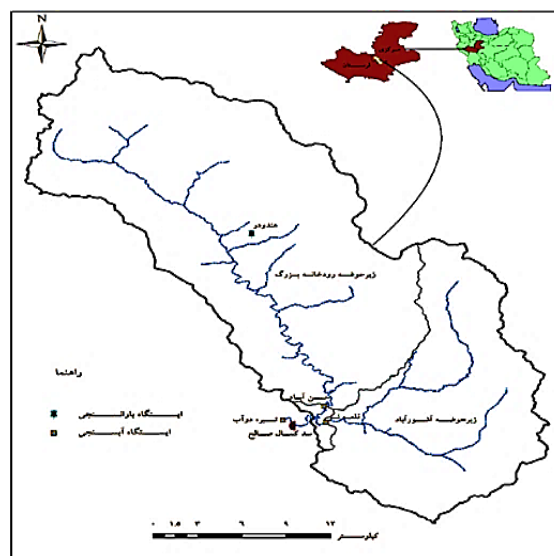
به منظور آشکارسازی تغییرات اقلیمی از دیدگاه آماری، روش‌های خاصی به کار گرفته می‌شود. این روش‌ها علاوه بر دید کلی، محقق را در یافتن بسیاری از حقایق یاری می‌دهند و بررسی این روش‌ها در کنار هم مفیدتر است. بنابراین در این تحقیق از دو نمونه از آزمون‌های بررسی رخداد تغییر اقلیم، استفاده شده است که شامل آزمون من-کندال و شیب سن می‌باشد (World Climate Program, 1994).

آزمون من - کندال

آزمون ناپارامتری من-کندال که توسط Mann در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۷۵ تکمیل گردید، بر پایه مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از مرتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر گرفتن مقدار متغیرها می‌باشد که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از آن برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد، در عین حال نیازی نیست تا داده‌ها در قالب توزیع خاصی درآیند (Partal et al, 2006, Fujihara et al, 2016, Zhang et al, 2000)

شود. سد کمال صالح با ظرفیت ۱۱۰ میلیون مترمکعب، از نوع خاکی سنگریزه‌ای و با هسته رسی، برای تأمین آب شرب شهرهای اراک، شازند و صنایع وابسته، با قابلیت تنظیم آب ۶۵ میلیون مترمکعب، بر روی رودخانه تیره دوآب احداث شده است. خط انتقال آب به صورت سیستم پمپاژ- ثقلی از محل تأسیسات مجاور مخزن با دبی طراحی ۴۷/۲ متر مکعب بر ثانیه شروع و بعد از آب‌گیری شهر شازند و صنایع بین‌راهی با دبی طراحی ۶۲/۱ متر مکعب بر ثانیه به شهر اراک می‌رسد. دمای سالانه حوضه سد کمال صالح، برابر ۱۱/۷ درجه سانتی‌گراد است و مقدار متوسط بارندگی سالانه ۵۳۵ میلی‌متر در سال است. شکل (۱)، موقعیت حوضه سد کمال صالح و زیر حوضه‌های اصلی آن را نشان داده است.



شکل (۱): موقعیت ایستگاه کمال صالح و زیر حوضه‌های آن

برای متغیر دما با توجه به مشخصات ایستگاه‌ها و طول دوره آماری موجود از هر ایستگاه داده‌های روزانه ایستگاه تبخیرسنجی قدمگاه به عنوان مبنا انتخاب شد. برای متغیر بارش در بررسی اولیه با توجه به متوسط ارتفاع، متوسط بارش حوضه و همچنین طول دوره آماری، ایستگاه مزرعه-خاتون به عنوان ایستگاه شاخص بارندگی انتخاب شد و براساس متوسط ارتفاع، متوسط بارش حوضه و طول دوره آماری آن‌ها ایستگاه تیره مروک به عنوان ایستگاه شاخص انتخاب شد. نواقص موجود در داده‌های ایستگاه‌ها به کمک

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma_s} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S-1}{\sigma_s} & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

آزمون شیب سن

این آزمون که توسط سن برای تعیین شیب خط روند در یک سری زمانی داده‌ها ارائه شد روشی ناپارامتری است که با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی، یک شیب میانه را برای سری زمانی داده‌ها از رابطه (۶) محاسبه می‌کند. در روش سن برای هر جفت داده متوالی یک شیب محاسبه می‌شود. شیب‌های محاسبه شده تشکیل یک سری زمانی می‌دهند که میانه آن‌ها شیب خط روند را نشان می‌دهد.

(۶)

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{x_j - x_k}{j - k}\right)$$

β برآوردگر شیب خط روند X_j مقدار مشاهده X_k و مقدار مشاهده k می‌باشد به طوری که j یک واحد زمانی بعد از k است که مقادیر مثبت β نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی نشان‌دهنده روند کاهشی در سری داده‌هاست.

مدل گردش عمومی و سناریوهای مورد استفاده

برای بررسی اثر تغییر اقلیم، پارامترهای اقلیمی دما و بارش در دهه‌های آینده (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) با استفاده از نتایج خروجی مدل گردش عمومی CanESM2، تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 شبیه‌سازی شد. مدل CanESM2 یک مدل جامع و جزء سری مدل‌های CMIP5 و گزارش پنجم (AR5¹) هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC²) می‌باشد. جدول (۱) مشخصات این مدل را نشان می‌دهد (Aora et al, 2011).

فرض مورد بررسی در این آزمون به صورت زیر می‌باشد:
 H_0 : داده‌ها به صورت تصادفی توزیع شده‌اند (روند ندارند)، H_1 : داده‌ها دارای روند هستند.

در رابطه (۱) اختلاف بین متغیرهای مشاهداتی با اعمال تابع sgn محاسبه شده و پارامتر S حاصل شده است، که در آن n تعداد داده‌های مشاهداتی و X_j و X_k داده‌های j ام و k ام سری هستند. تابع sgn نیز به صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

$$\begin{cases} -1 & \text{sgn}(x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{sgn}(x_j - x_k) = 0 \\ +1 & \text{sgn}(x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) =$$

واریانس به کمک رابطه (۳) محاسبه می‌شود. که در آن، n تعداد داده‌های مشاهداتی سری زمانی، q تعدادگره‌ها، به این معنی که اگر از یک مقدار داده بیش‌تر از یکی وجود داشته باشد این مقادیر تشکیل گره می‌دهند و t تعداد این مقادیر مساوی در گره q ام است (آشفته، ۲۰۱۴).

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) \sum_{i=1}^q t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3)$$

$$\sigma_s = \sqrt{\text{Var}(s)} \quad (4)$$

در نهایت مقدار آماره Z از طریق رابطه (۵) تعیین می‌شود، که مقدار مثبت آن نشان‌دهنده روند افزایشی و مقدار منفی آن بیان‌گر روند کاهشی می‌باشد. چنانچه مقادیر مطلق Z به‌دست آمده از عدد $1/96$ بزرگ‌تر باشد، آن‌گاه در سطح ۵ درصد روند معنی‌دار خواهد بود و چنانچه Z از $2/56$ نیز بزرگ‌تر باشد، آن‌گاه در سطح ۱ درصد نیز معنی‌دار خواهد بود (Kumar et al, 2009).

² Intergovernmental Panel on Climate Change

¹ Fifth Assessment Report



تغییرات اقلیمی باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد (Samadi et al, 2008).

این مدل عمل ریزمقیاس نمودن را در ۷ مرحله انجام می‌دهد. نتایج مناسب به شدت به انتخاب بهترین متغیرهای پیش‌بینی کننده بستگی دارد. مدل به منظور تولید داده‌های اقلیمی آینده از یک رابطه رگرسیونی با بالاترین درجه همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و متغیرهای پیش‌بینی کننده استفاده می‌کند که می‌بایست از روش سعی و خطا بالاترین همبستگی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده و متغیرهای پیش‌بینی شونده را بدست آورد (شاه‌کرمی، ۱۳۹۵)

به منظور ریزمقیاس‌سازی پارامترهای اقلیمی دما و بارش حاصل از خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای اقلیمی RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 از مدل SDSM4.2 استفاده شده است و بعد از کالیبره و صحت-سنجی مدل تغییرات هر یک از سناریوها در سه دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفته است. داده‌ها به دو مرحله واسنجی و صحت سنجی برای هر مدل تقسیم شده است. از سال ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰ برای کالیبره و از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۵ طول دوره صحت‌سنجی در نظر گرفته شده است.

مدل بارش - رواناب (IHACRES)

برای بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر جریان سطحی ورودی به سد، لازم است از یک مدل شبیه‌سازی استفاده شود که با استفاده از ورودی‌های اقلیمی استخراج شده، رواناب را استخراج نماید (Jakeman et al. 1993).

مدل بارش رواناب IHACRES (تعیین هیدروگراف-های واحد و اجزای جریان‌های ناشی از داده‌های بارش، تبخیر و جریان رودخانه) به‌طور مشترک توسط هیدرولوژیست‌های مرکز مدیریت و ارزیابی جامع حوضه آبخیز (ICAM) دانشگاه ملی استرالیا، کانبرا مرکز اکولوژی و هیدرولوژی (CEH) انجمن تحقیقات زیست-محیطی انگلستان توسعه یافته بود که به‌صورت مستمر در

جدول (۱): مشخصات مدل گردش عمومی
(chylek et al, 2011) CanESM2

منبع	رزولوشن(درجه طول و عرض)	مرکز مدل-ساز	مدل
چایلیک ^۱ و همکاران (2011)	۲/۸ * ۲/۸	مرکز کانادایی برای مدل-سازی و تجزیه و تحلیل تغییرات اقلیمی (CCCma)	CanESM2

سناریوهای RCP²

هیات بین الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود AR5 از سناریوهای جدید RCP به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوی RCP8.5 بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. سناریوی RCP4.5: در سناریوی RCP4.5 واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند. سناریوی انتشار RCP2.6 این سناریو در برگیرنده کم‌ترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. در این سناریو گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابند.

مدل ریزمقیاس نمایی SDSM

SDSM یک مدل رگرسیونی چند متغیره برای تولید داده‌های آب و هوایی به وسیله تکنیک‌های ریزمقیاس‌سازی آماری است (Wilks et al, 1999). این مدل یکی از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریزمقیاس‌سازی می‌باشد که کاربرد بسیاری در مطالعات هواشناسی، هیدرولوژیکی، جغرافیایی و زیست محیطی دارد (Wibley et al, 2006). این روش در مواقعی که نیاز به برآورد سریع و کم‌هزینه از

² Representative Concentration Pathways

¹ Chylec

تعداد داده‌ها است. هر چه میزان MAE و $RMSE$ کمتر باشد، نشان‌دهنده کارایی بیشتر مدل است. مقدار NS بین صفر تا یک متغیر است چنانچه NS برابر یک گردد برازش کاملی را نشان می‌دهد و اگر بالای $0/75$ باشد نتایج شبیه سازی عالی توصیف می‌شود، اما زمانی که بین $0/36$ تا $0/75$ باشد نتایج مدل رضایت‌بخش به شمار می‌رود. (Motovilov et al, 1999)

نتایج و تحلیل نتایج

تحلیل روند متغیرهای هیدرواقليمی منطقه

در این تحقیق روند تغییرات داده‌های مشاهداتی دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۶) ایستگاه‌های منتخب سنجش دما، بارش و رواناب در بازه‌های ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون‌های من-کندال و شیب سن مورد بررسی قرار گرفت. این روند در شکل (۲) ارائه شده است و میزان آماره آزمون من-کندال و همچنین شیب روند برای این متغیرها محاسبه و نتایج در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج شیب سن در همه‌ی سری‌های زمانی ماهانه و فصلی و سالانه برای متغیر دما شیب نزدیک به صفر را نشان می‌دهد به این معنی که دما سیر ثابتی داشته است اما دو متغیر بارش و رواناب مقادیر منفی را نشان می‌دهد (به جز ماه مارس برای بارش) که بیانگر سیر نزولی روند داده‌های هیدرواقليمی است و از طرفی نتایج آزمون من کندال نیز این روند کاهشی تغییرات را تایید می‌کند که مقادیر آماره Z در بیشتر سری‌های زمانی در سطح اطمینان $0/05$ عدم وجود روند در متغیرها را نشان می‌دهد. مقدار Z تنها در ماه‌های اکتبر و نوامبر و دسامبر برای مقادیر بارش در مقیاس ماهانه و در فصل تابستان در مقیاس فصلی روند معنی دار را نشان می‌دهد که این مقدار برای فصل تابستان مثبت یعنی روند صعودی را نشان می‌دهد. همچنین مقدار Z برای رواناب همانند بارش در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر روند معنی‌دار را نشان می‌دهد که در فصل پاییز مقدار Z روند معنی دار نزولی را تایید می‌کند. این مقادیر تاثیر بیشتر بارش بر رواناب به نسبت دما را نشان می‌دهد. در نهایت می‌توان از نتایج بدست آمده به وجود اثر تغییر

مجلات مرتبط با هیدرولوژی توضیح داده شده است. این مدل، مدلی مفهومی و یک‌پارچه است که در مناطق آب و هوایی متفاوت، از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک کاربرد دارد. هدف اصلی مدل IHACRES تعیین رفتار هیدرولوژیکی حوضه با استفاده از تعداد کمی از پارامترها است.

به منظور شبیه‌سازی رواناب، روش استفاده از مدل مفهومی IHACRES در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه مبانی آن‌ها به اختصار بیان می‌گردد. در این تحقیق سعی شد تا به منظور کاهش میزان عدم قطعیت مربوط به پارامترهای موجود در روش‌های مفهومی، روشی با حداقل پارامتر موردنیاز ارزیابی شود. از این‌رو از مدل IHACRES استفاده شده است (Lalozani et al, 2012).

به منظور ارزیابی کارایی و دقت مدل‌های پیش‌گفته، از معیارهای ارزیابی جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE$)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب ناش-ساتکلیف (NS) و ضریب تعیین (R) استفاده می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n}} \quad (7)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^n \left| \frac{p_i - o_i}{n} \right| \quad (8)$$

$$NS = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o}_i)^2} \right) \quad (9)$$

$$(10)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o}_i)(p_i - \bar{p}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o}_i)^2 (p_i - \bar{p}_i)^2}}$$

در رابطه فوق p و o به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، \bar{o} میانگین مقادیر مشاهده شده و n



اقلیم بر متغیرهای هیدرواقليمی حوضه مورد مطالعه پی برد.

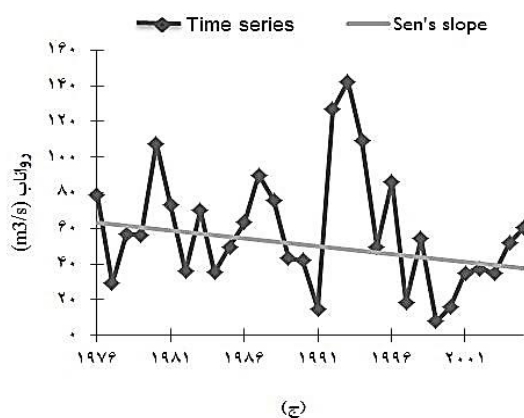
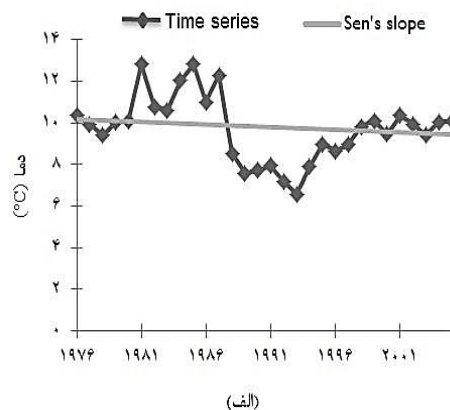
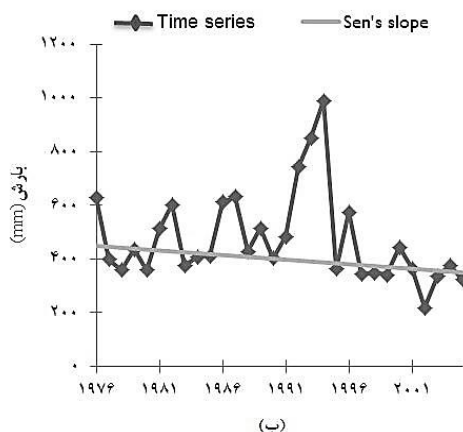
ارزیابی عملکرد مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM

در این پژوهش بعد از انجام واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌های NCEP، دما و بارش ماهانه در دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی برای ایستگاه‌های منتخب دما و بارش از طریق مدل SDSM محاسبه شده و با داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. از میان متغیرهای NCEP (متغیرهای مستقل)، متغیرهایی که بیشترین همبستگی را با متغیرهای بارش و دما (متغیرهای وابسته) دارند انتخاب و به عنوان ورودی به مدل وارد شد. جدول (۳) نام و توصیف بهترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده برای دما و بارش که دارای بالاترین همبستگی هستند را بر روی شبکه مدل CanESM2 نشان می‌دهد. میزان بارش و دمای روزانه دوره پایه (۱۹۷۶-۲۰۰۵) ایستگاه‌های منتخب شبیه‌سازی شد و مقادیر میانگین ماهانه طولانی مدت دما و بارش محاسبه و نتایج با مقادیر مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت شکل (۳). برای ارزیابی کارایی مدل SDSM در ایستگاه‌های منتخب از معیارهای آماری استفاده شد که

نتایج آن در جدول (۴) آورده شده است. با توجه به شکل (۳) و جدول (۴) مشخص شد که داده‌های شبیه‌سازی شده توسط متغیرهای پیش‌بینی‌کننده منتخب با داده‌های مشاهداتی در طول دوره پایه (۱۹۷۶-۲۰۰۵) تطابق خوبی دارند که نشان از انحراف کم مقادیر برآوردی مدل از مقادیر مشاهداتی دارد، در این میان تطابق دمای مشاهده شده با شبیه‌سازی شده بیشتر از پارامتر بارش می‌باشد؛ که این می‌تواند به دلیل گسسته بودن مقادیر بارش و پیوستگی مقادیر دما باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت متغیرهای پیش‌بینی‌کننده منتخب کارایی مناسب و قابل قبولی جهت شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی مورد نظر را برای دوره آتی دارند.

نتایج شبیه‌سازی دما و بارش دوره‌های آتی

مقدار دمای شبیه‌سازی مدل برای دوره‌های آتی در شکل (۴) نمایش داده شده است. مقدار دمای میانگین سالانه محاسبه شده سناریو RCP2.6 برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۱/۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش دما را نشان می‌دهد و در دوره‌های زمانی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به ترتیب ۲/۰۷ و ۲/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش دما به نسبت دوره پایه را نشان می‌دهد.



شکل (۲): روند تغییرات سالانه متغیرهای اقلیمی در دوره مشاهداتی؛ (الف) دما، (ب) بارش، (ج) رواناب

جدول (۲): نتایج آزمون من کندال و روش شیب سن برای مقادیر دما، بارش و رواناب

رواناب		بارش		دما		سری زمانی
β	Z	β	Z	β	Z	
-۰/۰۸۴	-۱/۴۵۰	-۰/۲۸۵	-۱/۴۴۵	-۰/۰۱۱	-۰/۱۹۶	ژانویه
-۰/۱۱۵	-۱/۸۷۰	-۱/۴۲۱	-۱/۸۷۳۶	-۰/۰۴۴	-۰/۵۵۴	فوریه
-۰/۱۲۷	-۱/۰۷۰	۰/۰۴۸	-۱/۰۷۱	-۰/۰۸۰	-۱/۱۶۱	مارس
-۰/۲۶۱	-۱/۳۳۵	-۰/۱۶۷	-۱/۳۵۶	-۰/۰۳۱	-۰/۶۲۵	آوریل
-۰/۰۸۸	-۰/۷۱۳	-۰/۳۷۵	-۰/۷۱۴	-۰/۰۱۴	-۰/۶۹۶	می
-۰/۰۳۳	-۱/۰۸۸	۰/۰۰۰	-۱/۰۸۹	-۰/۰۵۸	-۱/۵۵۴	ژوئن
-۰/۰۰۲	-۰/۱۹۶	۰/۰۰۰	-۰/۱۹۶	-۰/۰۴۳	-۱/۲۶۹	ژولای
-۰/۰۰۴	-۰/۸۳۹	۰/۰۰۰	-۰/۸۳۹	-۰/۰۱۳	-۰/۶۲۵	اگوست
-۰/۰۰۵	-۱/۴۸۴	۰/۰۰۰	-۱/۴۸۵	-۰/۰۳۵	-۰/۶۹۶	سپتامبر



ادامه جدول (۲): نتایج آزمون من کندال و روش شیب سن برای مقادیر دما، بارش و رواناب

-۰/۰۱۸	-۲/۸۵۷	-۰/۶۰۹	-۲/۸۵۷	-۰/۰۵۴	-۱/۳۳۹	اکتبر
-۰/۰۵۵	-۳/۲۴۷	-۰/۲۲۲	-۳/۲۴۷	-۰/۲۹۰	-۱/۴۱۱	نوامبر
-۰/۰۷۴	-۲/۳۹۰	-۰/۷۵۰	-۲/۳۹۱	۰/۰۰۰	-۰/۰۱۸	دسامبر
-۰/۳۵۱	-۱/۳۹۲	-۰/۲۸۶	-۰/۱۶۱	-۰/۰۲۹	-۰/۵۱۸	ژمستان
-۰/۴۱۴	-۰/۹۶۳	-۲/۳۵۰	-۱/۳۲۰	-۰/۰۴۰	-۱/۱۲۵	بهار
-۰/۰۱۹	-۰/۶۴۲	۰/۰۰۰	۲/۸۶۱	-۰/۰۱۸	-۰/۶۶۱	تابستان
-۰/۱۵۹	-۲/۶۰۵	-۱/۵۵۰	-۱/۰۱۷	-۰/۰۲۵	-۰/۷۶۸	پاییز
-۰/۸۷۱	-۱/۲۴۸۹	-۳/۴۳۸	۱/۲۴۸۹	-۰/۰۲۴	-۰/۸۰۳	سالانه

بنابراین نتایج نشان‌دهنده روند افزایشی دمای حوضه مطالعاتی در دوره‌های آبی می‌باشد.

شکل (۵) تغییرات میانگین طولانی مدت ماهانه و سالانه بارش را تحت سناریوهای RCP برای سه دوره نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده کاهش محسوس بارش به نسبت دوره فعلی می‌باشد. میزان بارش سالانه در سناریو RCP2.6 در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۵/۲ درصد کاهش را نشان می‌دهد و در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ میزان بارش ۱۰/۳ درصد افزایش خواهد داشت. برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بارش افزایشی مبنی بر ۲ درصد به نسبت دوره پایه خواهد داشت.

در مقیاس ماهانه نیز در اکثر ماه‌های سال تحت هر سه سناریو افزایش دما رخ خواهد داد به غیر از چهار ماه آخر سال میلادی که هر سه دوره کاهش دمای بین ۱ تا ۴ درجه خواهد داشت. در سناریو RCP4.5 میانگین دما سالانه برای هر سه دوره به ترتیب ۱/۳، ۲/۶ و ۳/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش رخ خواهد داد و همچنین به جز در ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر که کاهش دمای بین ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد دارد در بقیه ماه‌های سال افزایش دما بین ۲ تا ۸ درجه سانتی‌گراد خواهد بود و برای سناریو RCP8.5 میانگین سالانه دما برای هر سه دوره افزایش دما را نشان می‌دهد که این مقدار به ترتیب برابر ۱/۵، ۳/۵ و ۵/۷ درجه سانتی‌گراد بوده است و در مقیاس ماهانه نیز در همه‌ی ماه‌ها افزایش دما را نشان می‌دهد.

جدول (۳): متغیرهای NCEP منتخب برای دما و بارش

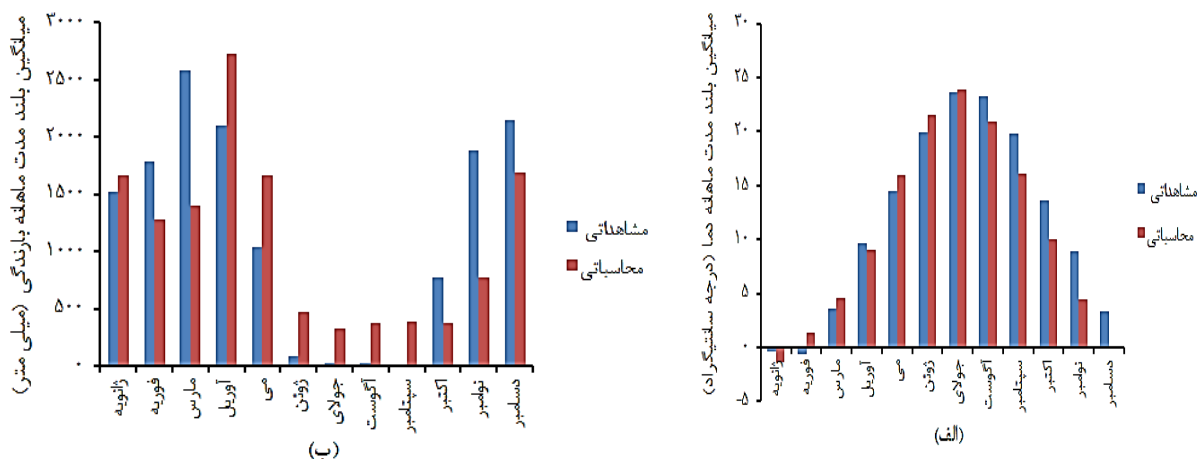
بارش	دما
میانگین فشارسطح دریا	میانگین فشارسطح دریا
سرعت باد سطح	سرعت جریان هوا در ارتفاع فشاری 500 hPa
سرعت جریان در تراز فشاری 500 hPa	سرعت باد سطح
سرعت باد در ارتفاع ژئوپتانسیلی 500 hPa	میانگین دمای تراز دومتر
سرعت باد در تراز فشاری 850 hPa	مؤلفه سرعت نصف‌النهاری
تاوایی در ارتفاع ژئوپتانسیلی 850 hPa	
سرعت باد نصف‌النهاری در تراز فشاری 500 hPa	
میانگین دما در تراز دومتر	

۳، ۱۰ و ۱۹ درصد نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. همچنین بارش به‌طور کلی در فصل زمستان و پاییز کاهش و بقیه فصول به خصوص تابستان با افزایش بارش مواجه خواهد بود.

نتایج سناریو RCP4.5 افزایش ۱/۷ درصد بارش برای دوره سی سال اول و کاهش ۲/۲ و ۳/۳ درصد به نسبت دوره پایه برای دو دوره بعد را نشان می‌دهد. اما تحت سناریو RCP8.5 در هر سه دوره نتایج افزایش بارش را به میزان

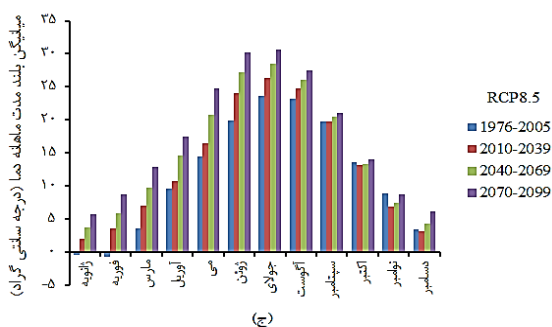
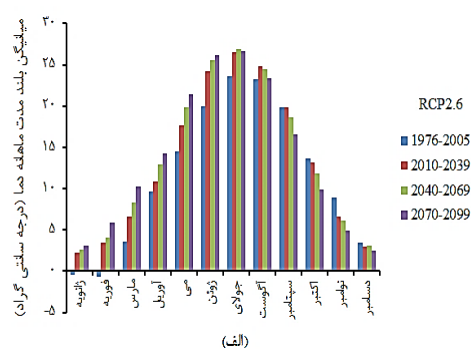
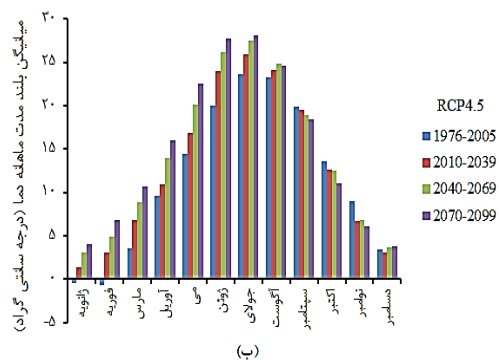
جدول (۴): کارایی مدل SDSM

متغیرهای هیدرواقليمی	NSE	R	RMSE	MAE
دما	۹۱ (%)	۹۶/۵ (%)	۲/۴ (°C)	۲/۱ (°C)
بارش	۵۵ (%)	۷۵ (%)	۲۰/۴۱ (mm)	۰/۵۹ (mm)

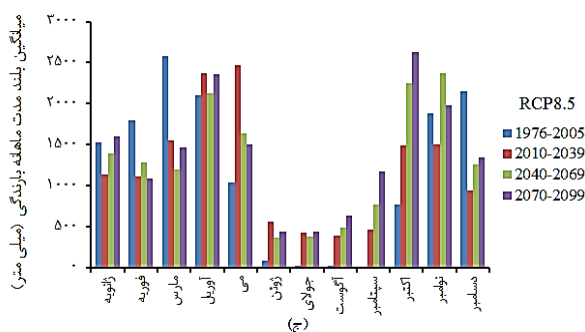
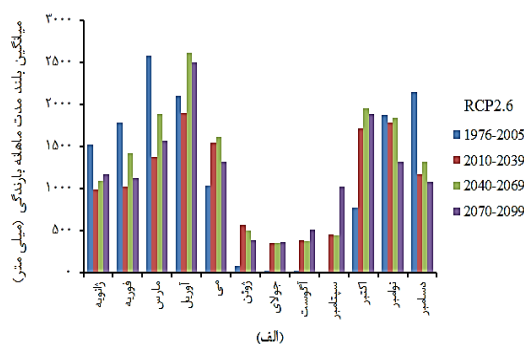
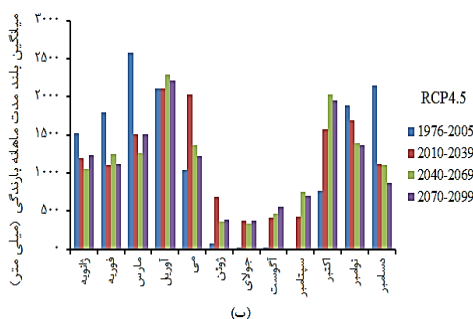


شکل (۳): میزان تغییرات میانگین ماهانه بلندمدت ریزمقیاس شده مدل CanESM2 نسبت به میانگین ماهانه بلندمدت مشاهداتی (الف) دما، (ب)

بارندگی



شکل (۴): میانگین بلندمدت ماهانه دما شبیه‌سازی شده تحت سناریوی (الف) RCP2.6، (ب) RCP4.5، (ج) RCP8.5 در سه دوره آینده نسبت به دوره پایه



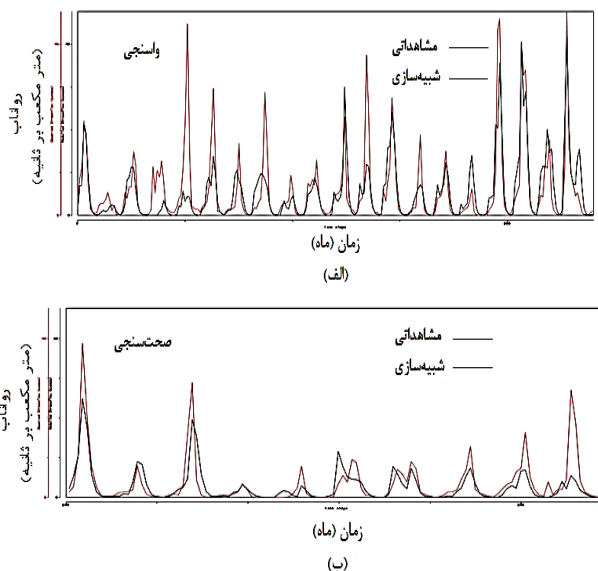
شکل (۵): میانگین بلندمدت ماهانه بارش شبیه‌سازی شده تحت سناریوی (الف) RCP2.6، (ب) RCP4.5، (ج) RCP8.5 در سه دوره آینده نسبت به دوره پایه

نتایج مدل بارش - رواناب

اساس نتایج بدست آمده در جدول (۵)، مدل IHACRES با ضریب همبستگی $R=0.77$ دوره واسنجی و $R=0.8$ در دوره صحت سنجی عملکرد مناسبی داشته است. اگر مقادیر ضریب تبیین (NS)، بزرگتر از 0.75 باشد نتایج خوب و در صورتی که این عدد بین 0.35 تا 0.75 باشد قابل قبول می‌باشد. همچنین با توجه به مقادیر خطای NSE بدست آمده از مدل که در محدوده خطای قابل قبول ($0.35 < NSE < 0.75$) واقع شده است، نتایج مدل رضایت بخش به شمار می‌رود.

پس از واسنجی مدل هیدرولوژیکی، رواناب ماهانه حوضه برای ۳ دوره آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) براساس دما و بارش تولید شده توسط مدل SDSM برای هر سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 شبیه سازی شد. شکل (۸) مقادیر میانگین ماهانه رواناب شبیه‌سازی شده برای هر سه سناریو و سه دوره سی ساله آتی را نشان می‌دهد

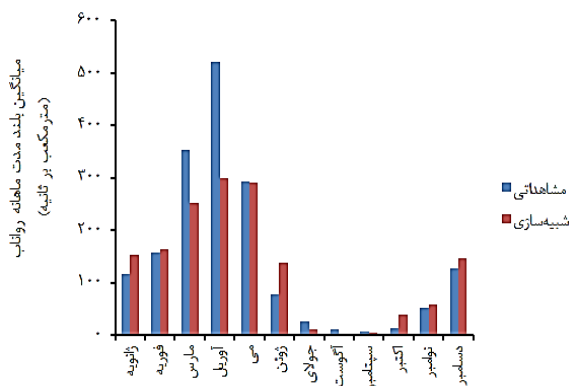
شکل (۶) مقایسه داده‌های دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط هیدروگراف ماهانه سال‌های ۱۹۷۶-۲۰۰۵ را در دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد. رواناب شبیه‌سازی شده تا حدودی از نظر مقدار و روند توانسته است رواناب خروجی از حوضه را به خوبی پیش‌بینی نماید. در واقع شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف خوب شبیه‌سازی شده و مقادیر پیک هیدروگراف در برخی نقاط به خوبی شبیه‌سازی نشده است و رواناب کمتری را به نسبت رواناب مشاهده‌ای شبیه‌سازی کرده است که با یافته‌های دای^۱ و همکاران و آقابیگی و همکاران مبنی بر توانایی کم مدل در شبیه‌سازی رواناب سیلابی و سریع هم‌خوانی داشته است (Motovilov et al, 1999). در شکل (۷) که میانگین طولانی‌مدت ماهانه داده‌های دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد مقادیر دبی را بسیار نزدیک به هم شبیه‌سازی کرده است به جز ماه آپریل که مدل نتوانسته به خوبی نقاط پیک هیدروگراف را شبیه‌سازی کند. بر



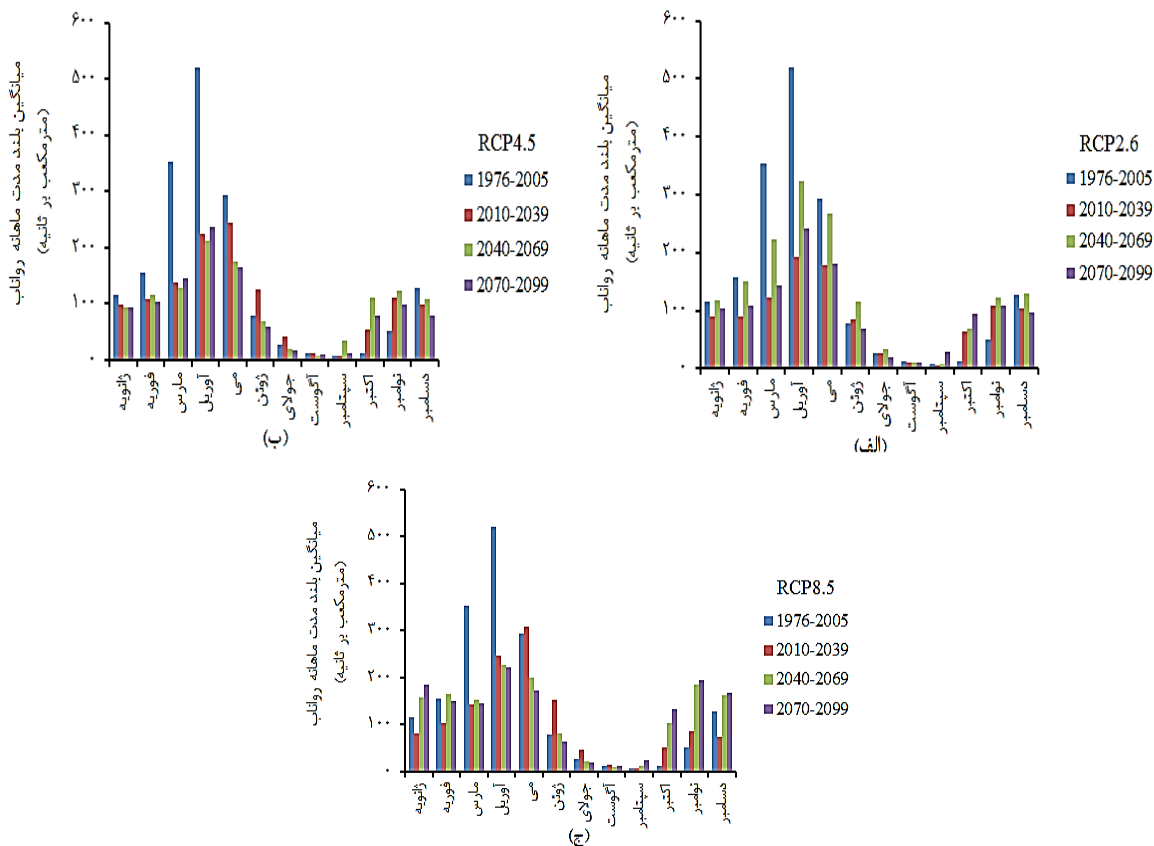
شکل (۶): رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی در دوره‌های (الف) واسنجی، (ب) صحت‌سنجی

جدول (۵): معیارهای ارزیابی عمل کرد مدل IHACRES

ایستگاه (رواناب)	دوره	R	NSE	RMSE (m3/s)	MAE
تیره	واستجی	۰/۷۷	۰/۶	۵/۵۳	۳
مروک	صحت‌سنجی	۰/۸	۰/۶۱	۳/۷۴	۱/۸۴



شکل (۷): میانگین بلندمدت ماهانه رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده



شکل (۸): میانگین بلندمدت ماهانه رواناب شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای (الف) RCP2.6، (ب) RCP4.5، (ج) RCP8.5 در سه دوره آینده در مقایسه با دوره پای

جدول (۶): تغییرات پیش‌بینی شده متغیرهای هیدرواقليمی سالانه حوضه مطالعاتی برای دوره آینده در مقایسه با دوره پایه

دوره زمانی	متغیر	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
۲۰۳۹-۲۰۱۰	دما (°C)	۱/۶	۱/۳	۱/۵
	بارش (%)	-۵/۳۱	۱/۸	۳/۱۲
	رواناب (%)	-۳۸/۵۶	-۲۷/۸۳	-۲۴/۷۸
۲۰۶۹-۲۰۴۰	دما (°C)	۲/۰۷	۲/۶	۳/۵
	بارش (%)	۱۰/۳۳	-۲/۲	۱۰/۹۳
	رواناب (%)	-۱۰/۵۳	-۳۱/۵۸	-۱۵/۸
۲۰۹۹-۲۰۷۰	دما (°C)	۲/۱	۳/۴	۵/۷
	بارش (%)	۲/۰۲	-۳/۳۴	۱۹/۱۶
	رواناب (%)	-۲۰/۷۵	-۳۷/۳۷	-۱۵/۱

اقلیم در منطقه پرداخته شد و پس از اثبات وجود این پدیده با توجه به نتایج آزمون‌ها که کاهش بارش و رواناب را در منطقه در دوره پایه نشان می‌داد به بررسی تغییرات دما، بارش و دبی جریان تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب حوضه سد کمال صالح استان مرکزی در سه دوره سی ساله آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) با استفاده از مدل گردش عمومی CanESM2 و تحت سه سناریوی RCP پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد مدل SDSM توانایی خوبی در شبیه‌سازی دما و بارش در منطقه مطالعاتی دارد و میانگین ماهانه دما و بارش را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند.

در منطقه مطالعاتی تحت سناریوهای مختلف اقلیمی پیش‌بینی می‌شود دما در ایستگاه قدمگاه تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 در بیشتر ماه‌ها به جز ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر در دوره‌های آینده افزایش خواهد داشت و تحت سناریو RCP8.5 در کلیه ماه‌ها و دوره‌ها افزایش دما وجود خواهد داشت و بیشترین افزایش دما تحت سناریو RCP8.5 به میزان ۱/۵ تا ۵/۷ درجه سانتی‌گراد رخ خواهد داد. به‌طور کلی کم‌ترین افزایش دما در دوره اول تحت سناریو RCP2.6 و بیشترین رخ افزایش دما در دوره آخر و تحت سناریو RCP8.5 خواهد داد. میزان بارش سالانه در سناریو RCP2.6 در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ کاهش ۵/۲ درصد را نشان می‌دهد و برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ افزایش بارشی مبنی بر ۲ درصد

مقدار رواناب در سناریو RCP2.6 در سه دوره آتی به میزان ۳۸/۵۶، ۱۰/۵۳ و ۲۰/۷۵ درصد کاهش خواهد یافت، در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 نیز کاهش رواناب در دوره‌های آتی رخ خواهد داد. در مقیاس ماهانه در اکثر موارد رواناب در ماه‌های پربارش کاهش و در ماه‌های کم بارش افزایش می‌یابد به عبارت بهتر در فصل‌های زمستان و بهار شاهد کاهش رواناب و در فصل تابستان رواناب افزایش یافته و پاییز به جز ماه دسامبر نیز افزایش رواناب تخمین زده شده است که این امر می‌تواند منجر به سیلاب‌های ناگهانی و یا خشک‌سالی‌های نابهنگام در منطقه شود. در بین سناریوهای مختلف اقلیمی نیز سناریو RCP4.5 بیشترین کاهش رواناب را در حوضه مطالعاتی نشان می‌دهد. در بعضی موارد مشاهده می‌شود به‌رغم افزایش بارش کاهش رواناب را در پی داشته که علت آن را می‌توان به عوامل مؤثر بر رواناب از جمله شرایط و مشخصات خاک و کاربری زمین و عوامل انسانی اشاره کرد که می‌تواند در تحقیقات بعدی مورد توجه و بررسی قرار گیرد، این نتایج با نتایج پژوهش ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) که در حوضه آبخیز ژین در چین با مدل CanESM2 و تحت سناریوهای RCP انجام دادند سازگاری دارد (Zhang et al, 2016).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ابتدا به کمک آزمون‌های تعیین روند من-کندال و شیب سن به بررسی آشکارسازی پدیده تغییر



به طور کلی مقدار پیک رواناب مقدار رواناب در سناریو RCP2.6 در سه دوره آبی به ترتیب به میزان ۳۸/۵۵، ۱۰/۵۳ و ۲۰/۷۴ درصد کاهش خواهد یافت، در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 نیز کاهش رواناب در دوره‌های آبی رخ خواهد داد. درصد تغییرات دما، بارش و رواناب میانگین سی ساله آبی به نسبت دوره پایه حاکی از اثرات محسوس تغییر اقلیم در منطقه و تاثیر آن بر روی منابع آب می‌باشد.

نتایج این پژوهش با توجه به افزایش دمای سالیانه و کاهش افزایش بارش و کاهش رواناب با نتایج تحقیقات (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۶) و (بینش و همکاران، ۱۳۹۷) مطابقت داشت. به طور کلی، آنالیز این پژوهش نشان داد که متغیرهای اقلیمی به شدت تحت تأثیر تغییرات اقلیمی هستند. با توجه به نتایج حاصل از لحاظ هیدرولوژیکی، احتمال رخداد وقایع حدی از جمله خشک‌سالی و سیلاب در منطقه افزایش می‌یابد. بنابراین پیشنهاد می‌شود به منظور مدیریت بهتر منابع آب و برنامه‌ریزی برای مدیریت بحران حوضه در صورت رخداد این وقایع، مطالعه و تحقیق در این زمینه نیز انجام گیرد و همچنین به منظور تعدیل عدم قطعیت‌های موجود در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم از سایر مدل‌های گردش عمومی نیز استفاده شود.

به نسبت دوره پایه خواهد داشت و در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میزان بارش ۱۰/۳ درصد افزایش خواهد داشت. نتایج سناریو RCP4.5 افزایش ۱/۷ درصد بارش برای دوره سی سال اول و کاهش ۲/۲ و ۳/۳ درصد به نسبت دوره پایه برای دو دوره بعد را نشان می‌دهد. اما تحت سناریو RCP8.5 در هر سه دوره نتایج افزایش بارش را به میزان ۱۰، ۳ و ۱۹ درصد نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. همچنین بارش به‌طور کلی در فصل زمستان و پاییز کاهش و بقیه فصول به خصوص تابستان خواهد داشت. مدل بارش رواناب با دقت قابل قبولی توانایی شبیه‌سازی رواناب ماهانه را داراست اما دبی‌های حداکثر را کمتر و با خطای قابل توجهی برآورد می‌کند. با توجه به افزایش دما در همه‌ی دوره‌ها تحت سه سناریو مورد بررسی و مقایسه نتایج شبیه‌سازی بارش و رواناب می‌توان استنباط کرد در ماه‌هایی که منطقه با کاهش بارش روبرو بوده رواناب نیز کاهش یافته به خصوص در اکثر ماه‌های پر بارش سال رواناب کاهش یافته است و در ماه‌های تابستان رواناب نزدیک به صفر می‌باشد و تنها در ماه‌های اکتبر و نوامبر رواناب تا حدودی افزایش داشته است. در هر سه دوره، ماکزیمم مقدار رواناب در ماه می (اردیبهشت - خرداد) رخ داده است که در این ماه‌ها به علت وجود جریان ناشی از ذوب برف‌ها در سطح حوضه به علت افزایش دما، رواناب روند افزایشی دارد.

منابع

- اسمعیلی عوری، ا.، ن. آقابگی، م. گلشن و ر. مصطفی‌زاده. ۱۳۹۸. اثرات تغییر اقلیم بر رواناب با مدل هیدرولوژیکی IHACRES در برخی از حوزه‌های آبخیز استان. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال دهم، شماره ۳۸.
- آشفته، پ. و ا. بزرگ حداد. ۱۳۹۴. ارزیابی تقابلات بین نوسانات طبیعی اقلیم و فعالیت‌های بشری بر رواناب. مجله تحقیقات آب و خاک ایران (مجله علوم کشاورزی ایران)، دوره ۴۵، شماره ۱، ش.ص. ۱۱۲-۱۰۳.
- الماسی، پ.، سلطانی، س.، گودرزی، م. و مدرس. ر. ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب سطحی در حوضه آبخیز بازفت. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۷۸. ۵۲: ۲۰-۳۹.
- بینش، ن. ۱۳۹۷. مطالعه رژیم بارش و دبی حداکثر رواناب شهری در شرایط اقلیمی آینده (مطالعه موردی: حوضه سیل برگردان غرب)، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۰، شماره ۵، ش.ص. ۸۶۲-۸۵۱.
- توکلی، م.، کریمی، ح. و نورالهی، ه. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوزه آبخیز سد ایالم. ۱۳۹۷. نشریه علمی - پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. شماره ۲. ص ۱۷۰-۱۵۷.

حاجی محمدی، م.، عزیزیان، ا. و قرمز رشمه، ب. ۱۳۹۷. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه کن. نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، شماره ۲. ص ۱۵۶-۱۴۴.

رضایی، ح.، ج. بهمنش، م.، آقاجانزاده و ر. آزاد. ۱۳۹۹. پیشبینی اثر تغییرات پارامترهای هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: دشت میانداوآب). نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. سال دهم. شماره ۳۹.

ضرغامی، م.، ا. بابائیان، ی. حسن زاده و ر. کنعانی. ۱۳۹۱. مطالعه تغییر اقلیم و اثرات آن بر خشکی (مطالعه موردی استان آذربایجان شرقی)، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ششم، شماره ۱۸، ص ۲۳-۲۶.

عساکره، ح. ۱۳۸۶. تغییر اقلیم، انتشارات دانشگاه زنجان، نشر اول، ص ۳۵-۲۵.

فرزانه، م.، ا. اکبرپور، ا.، س. اسلامیان و س. ز. صمدی. ۱۳۸۹. بررسی عدم قطعیت مدل چندگانه خطی SDSM بر رواناب رودخانه مطالعه موردی: حوزه بهشت آباد کارون شمالی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند.

موجرلو، ف.، فضل اولی، ر.، و عمادی. ا. ۱۳۹۸. کاربرد مدل IHACRES برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دبی حوضه آبریز تجن، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۱، جلد ۱۳، ص ۱۴۱-۱۲۹.

هادی زاده اغندی، م. ۱۳۷۸. پیش بینی و تحلیل خشکسالی تحت اثر تغییر اقلیم در جنوب کره. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند.

Abbaspour, K.C, Faramarzi, M, Ghasemi, S.S, Yang H. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research*, 45:1-16

Ashrafzadeh, A, Lotfirad, M, Salehpour, J, 2019. Using the IHACRES model to investigate the impacts of changing climate on stream flow in a semi-arid basin in north-central Iran. *Journal of Hydraulic Structures*, 5(1):27-41

Arora, V. K, Scinocca, J. F, Boer, G. J, Christian, J. R, Denman, K. L, Flato, G. M, Kharin, V. V, Lee W. G, Merryfield, W. J, 2011. Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. *Journal of Geophysical Research Letters*. 38(5):1-6.

Chylek. P, Li. J, Dubey, M, Wang. M, Lesins. G, 2011. Observed and model simulated 20th century Arctic temperature variability: Canadian Earth System Model CanESM2. *Journal of Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 11:22893-22907

Dakhlaoui, H, Seibert, J, and Hakala, K, 2019. Hydrological Impacts of Climate Change in Northern, Tunisia. *Journal of Advances in Sustainable and Environmental Hydrology, Hydrochemistry and Water Resources*. 301-303

Fujihara, Y, Hosikawa, K, Fujii, H, Kotera, A, Nagano, T, Nagano, T, Yokoyama, S . 2016. Analysis and attribution of trends in water levels in the Vietnamese Mekong Delta. *Journal of Hydrological Processes*. 30:835-845

Hertig, E, Jacobeit, J. 2008. Downscaling future climate change: Temperature scenarios for the Mediterranean area". *Global and Planetary Change*, 63:127-131

Kumar S., Merwade V., Kam J., and Thurner K. 2009. Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, 374: 171-183.

Komozep, T, Chung, O. 2008. The effects of climate change on the water resources of the Geumho River Basin (Republic of Korea). *Journal of Hydro-environment Research*, 8:358-366.

Legesse, B, 2003 risk information and eventual learning of smallholder farmers in Eastern Ethiopia. *Journal of International Agriculture*. 19(3):1067-1078

Millero, F. J., R. Feistel, D. J. Wright and T. J. McDougall. 2008. The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Salinity Scale. *Deep Sea Research*, 55(1): 50-72.



- Partal, T, Kahya, E, 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Journal of Hydrological processes* 20(9):2011-2026
- Samadi, S.Z, Massahbovani, A. 2008. Introduction of Artificial Neural Networks and SDSM for statistical downscaling data on temperature and rainfall data. In proc: Of third conference water resources management of Iran (WRM03-2008), 14 October, Tabriz university, Iran, 2008
- Sarzaeim, P, Bozorg-Haddad, O, Zolghadr-Asli, B, Fallah-Mehdipour, E, Loáiciga, 2018. An Optimization of Run-of-River Hydropower Plant Design under Climate Change Conditions, *Journal of Water Resource Manage* 32(12):3919–3934.
- Wibly, R, Harris, I, 2006. A Frame Work for Assessing Uncertainties in Climate Change Impact: Low Flow Scenarios For The River Thames, UK. *Journal of Water Resources* 42:1-10.
- Wilks D, Wilbey R “The Weather Generation Game: A Review of Stochastic Weather Models”. *Journal of progress in Physical Geography*, 23:329-357, 1999.
- World Climate Program, 1998. Analyzing Long Time Series of Hydrological Data with Respect of climate Variability and Change, Weap-3 WMO/TD no.224.
- Yates, D.N and Strzepek, K.M, 1998. Modeling the Nile basin under climate change. *Journal of Hydrologic Engineering*. 3(2):98-108, 1998
- Zhang, X, Vincent, L.A, Hogg, W.D, Niitsoo A. 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Journal of Atmosphere – Ocean* 38(3):395-429.
- Sen, P. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall’s ta. *Journal of American Statistical Associate*. 63:1379–1389.

The Effect of Climate Change on Climate Variables and Runoff Kamal-Saleh Watershed in Markazi Province

Zahra Fahimirad¹, Taher Rajaei², Nazanin Shahkarami³

Abstract

In this study, to predict the effect of climate change on hydro-climate variables in the study area, based on downscaled outputs from atmosphere general circulation models, the most appropriate scenarios were used. For this purpose at first, by valid trend tests, climate change in the case study was valued during the base period (1976-2005). Then the CanESM2 model under RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5 scenarios in three future periods (2039-2010) (2040-2069) and (2070-2099) was used, and the SDSM model was used to downscale the climatic data. The results of the simulation for future periods and comparison the results with the base period indicated that average temperature increase between 1.3 to 5.7 (°C), the mean annual precipitation under the RCP4.5 scenario for all three future periods decrease and for RCP8.5 scenario for all three periods increase and also for RCP2.6 it has a reduction of precipitation for 2010-2039 and precipitation increase for other two future periods. The IHACRES model was used to simulate runoff. The results showed that for all periods and RCPs scenarios, the runoff decreases between 10 to 38% in comparison with the basic period. Based on the results of this study, increasing temperature and decreasing precipitation over the next years will reduce the runoff and water resources of the region due to increased evaporation and transpiration, which in the future will increase the probability of increasing drought and flood in the region. Therefore, to adapt to climate change, appropriate managerial approaches at the watershed should be considered.

Keywords: CanESM2, IHACRES, RCP, SDSM, Trend.

¹ M.Sc. of Water and Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Faculty of engineering, University of Qom, Qom, Iran. z.fahimirad70@gmail.com.

² Full Professor, Department of Civil Engineering, Qom, Faculty of engineering, University of Qom, Iran. t.rajaee@qom.ac.ir. (Corresponding Author)

³ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of engineering, Arak university, Arak, Iran. n-Shahkarami@araku.ac.ir.

Case Study Paper

The Effect of Climate Change on Climate Variables and Runoff Kamal-Saleh Watershed in Markazi Province

Zahra Fahmirad¹ Taher Rajae² Nazanin Shahkarami³

M.Sc. of Water and Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Faculty of engineering, University of Qom, Qom, Iran.

¹ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Qom, Faculty of engineering, University of, Qom, Iran.

¹ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of engineering, Arak University, Arak, Iran.



10.22125/IWE.2020.232166.1355.

Received:
May.20.2020
Accepted:
October.13.2020
Available online:
March.13.2022

Keywords:
CanESM2,
IHACRES, **RCP,**
SDSM, Trend.

Abstract

In this study, to predict the effect of climate change on hydro-climate variables in the Kamal Saleh Dam basin located in the central province of Iran in the future, based on downscaled outputs from atmosphere general circulation models, the most appropriate scenarios were used. For this purpose at first, by valid trend tests, climate change in the case study was valued during the base period (1976-2005). One of them is usually known as Kendall's statistic, has been widely used to test for randomness against trend in hydrology and climatology. It is a rank-based procedure, which is robust to the influence of extremes and good for use with skewed variables and another one which is Sen's slope is an estimator method proposed by Sen for determining the trend line slope in a time series of data. It is a nonparametric method that uses a median slope for the time series of data by analyzing the difference between observations of a time series. To investigate the effects of climate change, climate parameters on temperature and precipitation in future periods (2039-2010), (2069-2040) and (2070-2070) using CanESM2 general circulation model outputs, under RCP2.6 emission scenarios, RCP4.5 and RCP8.5 were simulated. The CanESM2 is a comprehensive model and fourth generation of general circulation models (CGCM4) and is part of the CMIP5 models series and the Fifth Report (AR5) of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). In order to downscale temperature and precipitation from CanESM2 output under RCP8.5, RCP4.5, RCP2.6 climate scenarios, SDSM4.2 model was used and after model calibration and verification, each scenario in the three periods 2039- 2010, 2069-2040 and 2070-2070 compared to the base period. This model is one of the most widely used statistical tools of downscaling that is useful in meteorological, hydrological, geographical and environmental studies. The data are divided into two calibration and verification steps for each model. The calibration period from 1976 to 1990 and the period from 1991 to 2005 are considered as verification periods. The results of the simulation for future periods and comparison the results with the base period indicated that average temperature increase between 1.3 to 5.7 (°C), the mean annual precipitation under the RCP4.5 scenario for all three future periods

decrease and for RCP8.5 scenario for all three periods increase and also for RCP2.6 it has a reduction of precipitation for 2010-2039 and precipitation increase for other two future periods. In order to investigate the impact of climate change on the surface inflow to the dam, it is necessary to use a simulation model to extract runoff using inputs variables. To simulate runoff, IHACRES conceptual model was used in this research, which is briefly explained in the following. In this research tried to evaluate a method with minimum required parameters in order to reduce the uncertainty related to the parameters in the conceptual methods. Therefore, the IHACRES model has been used. To evaluate the performance of the models and compare obtained results some Performance criteria are used. The root mean square error (RMSE), Mean absolute error (MAE), and Nash-Sutcliffe coefficient (NS), and Coefficient of correlation (R) are used. The results showed that for all periods and RCPs scenarios, the runoff decreases between 10 to 38% in comparison with the basic period. Based on the results of this study, increasing temperature and decreasing precipitation over the next years will reduce the runoff and water resources of the region due to increased evaporation and transpiration, which in the future will increase the probability of increasing drought and flood in the region. Therefore, to adapt to climate change, appropriate managerial approaches at the watershed should be considered.

1. Introduction

In this study, to predict the effect of climate change on hydro-climate variables in the study area, based on downscaled outputs from atmosphere general circulation models, the most appropriate scenarios were used.

2. Materials and Methods

By valid trend tests, climate change in the case study was valued during the base period (1976-2005). One of them is usually known as Kendall's statistic, has been widely used to test for randomness against trend in hydrology and climatology. It is a rank-based procedure, which is robust to the influence of extremes and good for use with skewed variables and another one which is Sen's slope is an estimator method proposed by Sen for determining the trend line slope in a time series of data. It is a nonparametric method that uses a median slope for the time series of data by analyzing the difference between observations of a time series. Then the CanESM2 model under RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5 scenarios in three future periods (2039-2010) (2040-2069) and (2070-2099) was used. The CanESM2 is a comprehensive model and fourth generation of general circulation models (CGCM4) and is part of the CMIP5 models series and the Fifth Report (AR5) of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the SDSM model was used to downscale the climatic data. This model is one of the most widely used statistical tools of downscaling that is useful in meteorological, hydrological, geographical and environmental studies. To simulate runoff, IHACRES conceptual model was used in this research, which is briefly explained in the following. In this research tried. To evaluate the performance of the models and compare obtained results some Performance criteria are used. The root mean square error (RMSE), Mean absolute error (MAE), and Nash-Sutcliffe coefficient (NS), and Coefficient of correlation (R) are used.

3. Results

The results of the simulation for future periods and comparison the results with the base period indicated that average temperature increase between 1.3 to 5.7 (°C), the mean annual precipitation under the RCP4.5 scenario for all three future periods decrease and for RCP8.5 scenario for all three periods increase and also for RCP2.6 it has a reduction of precipitation for 2010-2039 and precipitation increase

for other two future periods and for all periods and RCPs scenarios, the runoff decreases between 10 to 38% in comparison with the basic period

4. Discussion and Conclusion

Based on the results of this study, increasing temperature and decreasing precipitation over the next years will reduce the runoff and water resources of the region due to increased evaporation and transpiration, which in the future will increase the probability of increasing drought and flood in the region. Therefore, to adapt to climate change, appropriate managerial approaches at the watershed should be considered.

5. Six important references

1. Abbaspour, K.C, Faramarzi, M, Ghasemi, S.S, Yang H. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research*, 45:1-16.
2. Kumar S., Merwade V., Kam J., and Thurner K. 2009. Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, 374: 171-183.
3. Komozeq, T, Chung, O. 2008. The effects of climate change on the water resources of the Geumho River Basin (Republic of Korea). *Journal of Hydro-environment Research*, 8:358–366.
4. Sarzaeim, P, Bozorg-Haddad, O, Zolghadr-Asli, B, Fallah-Mehdipour, E, Loáiciga, 2018. A Optimization of Run-of-River Hydropower Plant Design under Climate Change Conditions, *Journal of Water Resource Manage* 32(12):3919–3934.
5. Yates, D.N and Strzepek, K.M, 1998. Modeling the Nile basin under climate change. *Journal of Hydrologic Engineering*. 3(2):98-108, 1998.
6. Zhang, X, Vincent, L.A, Hogg, W.D, Niitsoo A. 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Journal of Atmosphere – Ocean* 38(3):395-429.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

6. Acknowledgments

We are grateful to all researchers who help us to do our research by giving advice and data.