Archive of SID.ir

نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و ششم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۱/ مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۹۱ تا ۱۰۵

اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش استان یزد بر اساس خروجی ترکیبی مدل‌های CMIP6

محمد جواد زارعیان*

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۹)

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات دما و بارش ۴ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مهم استان یزد (شامل یزد، بافق، مروست و رباط پشت بادام) صورت گرفته است. بر این اساس، ترکیبی از خروجی جدیدترین مدل‌های AOGCM ارائه شده در گزارش ششم ارزیابی IPCC (CMIP6) مورد استفاده قرار گرفت. برای ترکیب این مدل‌ها، از روش وزن‌دهی بر اساس شاخص ترکیبی کلینگ-گوپتا (KGE) استفاده شد. پس از وزن‌دهی مدل‌ها، مقدار تغییرات ماهانه دما و بارش در هر ماه بر اساس سناریوهای انتشار SSP126، SSP245 و SSP585 محاسبه شده و با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG، سری زمانی روزانه داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی مختلف، استخراج شد. نتایج نشان داد که مدل‌های CanESM5 و BCC-CSM2-MR، به‌ترتیب بیشترین توانایی را در شبیه‌سازی دما و بارش دوره تاریخی در تمامی ایستگاه‌های مختلف هواشناسی دارا هستند. همچنین نتایج نشان داد که در تمامی سناریوهای انتشار، دمای سالانه افزایش و بارندگی سالانه کاهش پیدا خواهد کرد. دمای سالانه این منطقه در ایستگاه‌های مختلف بین ۰/۲ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش نیز بین ۲/۹ تا ۱۳/۷ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین بیشترین میزان افزایش دما و کاهش بارندگی در این منطقه، به‌ترتیب در فصول بهار و فصل پاییز رخ خواهند داد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، استان یزد، سناریوی انتشار، مدل AOGCM

۱. پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، موسسه تحقیقات آب، تهران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی:m.zareian@wri.ac.ir; mj_zareian@yahoo.com

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مقدمه

تغییر اقلیم یکی از پدیده‌هایی است که در طی چند دهه اخیر موجب بروز تغییرات ملموس در وضعیت آب و هوایی کره زمین شده است. این پدیده در واقع مربوط به تغییرات خارج از روال طبیعی در وضعیت آب و هوای کره زمین است که در درازمدت رخ می‌دهد (۱۲). اصلی‌ترین عامل این پدیده را می‌توان افزایش فعالیت‌های صنعتی در طی دهه‌های گذشته دانست که بر اثر آن حجم گسترده‌ای از گازهای گلخانه‌ای (که شامل بخار آب، دی‌اکسید کربن، متان و هالوکربن‌ها هستند)، توسط انسان به جو زمین تزریق شده و موجب تشدید اثر گلخانه‌ای و درنتیجه افزایش دمای کره زمین شده است (۲۵).

تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییرات زیادی در مؤلفه‌های مربوط به وضعیت آب و هوای سطح زمین شده است. از اصلی‌ترین آثار ملموس تغییر اقلیم می‌توان به تغییر در متغیرهای بارش و دمای کره زمین اشاره کرد. نتایج تحقیقات صورت‌گرفته نشان می‌دهد که دمای زمین در طی ۱۰۰ سال گذشته نزدیک به ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود که این افزایش تا سال ۲۱۰۰ به ۳ درجه سانتی‌گراد نیز برسد (۱۵). مقدار و الگوی بارش نیز در اثر تغییر اقلیم دچار تغییرات قابل ملاحظه‌ای شده است. در بیشتر مناطق کره زمین، حجم بارش سالانه دچار کاهش شده است. در مقابل به‌دلیل تغییر در الگوی بارش، فواصل زمانی بارش‌ها نیز تغییر پیدا کرده و موجب بروز سیلاب در برخی نواحی شده است. هر چند تأثیر تغییر اقلیم بر تشدید خشکسالی، پدیده غالب‌تری در نواحی مختلف جهان به‌شمار می‌رود (۲۷).

علاوه بر تغییر در متغیرهای بارش و دما، تغییر اقلیم باعث اثرگذاری بر حجم جریانات سطحی، میزان تبخیر و تعرق، طول دوره رشد گیاهان و درنهایت اثرگذاری بر چرخه کلی بیلان آب نیز می‌شود. بدین لحاظ دامنه اثرگذاری تغییر اقلیم بر کل سیستم منابع آب به‌قدری وسیع است که مطالعه، پیش‌بینی و اتخاذ سیاست‌های صحیح برای مواجهه با آن یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر خواهد بود (۵ و ۱۷).

به‌منظور کمی کردن اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی در نواحی مختلف جهان، هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) در طی نزدیک به چهار دهه گذشته، به‌عنوان اصلی‌ترین مرجع در زمینه انتشار نتایج مطالعات در این خصوص فعالیت داشته است. بر اساس نتایج تحقیقات IPCC، تغییر اقلیم در کشورهای مناطق خشک و نیمه‌خشک قاره آسیا اثرات منفی بر وضعیت منابع آب به‌همراه خواهد داشت (۱۸). ایران نیز با اقلیمی خشک از این قاعده مستثنا نیست و بر مبنای پیش‌بینی‌های صورت گرفته، تغییر در دما، بارش، رطوبت خاک و رواناب رودخانه‌ها از آثار مهم تغییر اقلیم در ایران خواهند بود (۱ و ۷). با توجه به اینکه نواحی مرکزی ایران (از جمله استان یزد)، به‌دلیل شرایط خشک آب و هوایی پتانسیل بالایی در آسیب‌پذیری نسبت به تغییر اقلیم دارا هستند، لذا اهمیت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش در این نواحی نیز اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت.

اصلی‌ترین ابزاری که توسط IPCC و به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش جهانی مورد توسعه قرار گرفته است، مدل‌های گردش عمومی جو- اقیانوس (AOGCM) هستند. این مدل‌ها در حقیقت دقیق‌ترین ابزار برای کمی کردن اثرات تغییر اقلیم بر روی متغیرهای هواشناسی به‌شمار می‌روند. این مدل‌ها بر اساس قوانین فیزیکی که با استفاده از روابط ریاضی در یک شبکه سه‌بعدی در اطراف کره زمین حل می‌شوند، استوار هستند (۱۸ و ۲۵). مجموعه نتایج مربوط به خصوصیات و خروجی‌های این مدل‌ها، در گزارش‌های دوره‌ای موسوم به گزارش‌های ارزیابی IPCC، در طی سالیان گذشته منتشر شده است که در هر گزارش مجموعه ارتقاهایی در خصوص مدل‌های AOGCM صورت گرفته است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم از سال ۲۰۱۶ تدوین گزارش ششم ارزیابی تغییر اقلیم (CMIP6) را با همکاری مراکز تحقیقاتی مختلف در سطح جهان آغاز کرده است. نتیجه این همکاری منجر به فراهم‌سازی زمینه تولید مدل‌های جدید برای پیش‌بینی اقلیم آتی جهان و تکمیل آنها تا سال ۲۰۲۲ خواهد بود (۲۶). با وجود این، در حال حاضر نیز خروجی برخی از مدل‌های گفته شده به‌تدریج از طریق پایگاه اطلاعاتی IPCC در

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

اختیار عموم قرار گرفته است.

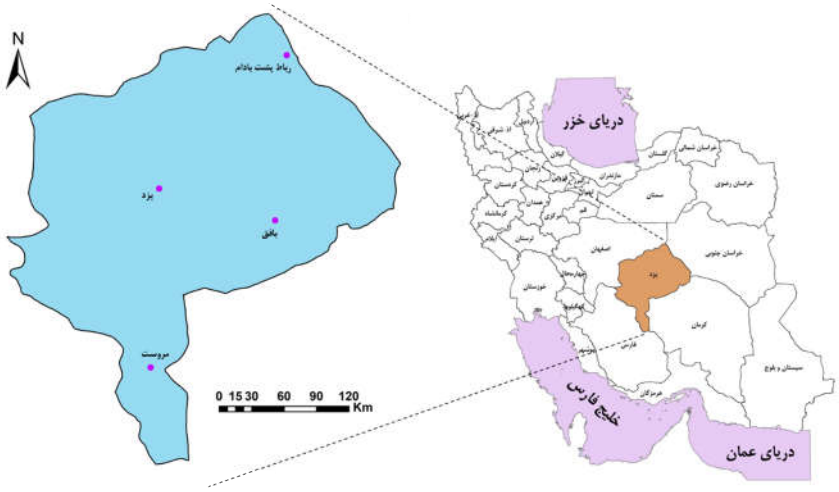
استفاده از یک مدل منفرد AOGCM برای برآورد تغییرات دما و بارش در نقاط مختلف جهان، یک روش معمول در بسیاری از تحقیقات قبلی در این زمینه بهشمار می‌رود. ولی نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که استفاده از یک مدل واحد در این زمینه، ممکن است باعث ایجاد خطا و عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های مرتبط با تغییر اقلیم شود (۳۰). در این راستا استفاده از روش‌های ترکیبی برای افزایش دقت برآورد دما و بارش آتی نواحی مختلف جهان با استفاده از مدل‌های AOGCM مورد تأکید بسیاری قرار گرفته است. یکی از مرسوم‌ترین این روش‌ها، وزن‌دهی این مدل‌ها بر اساس توانایی آنها در شبیه‌سازی دما و بارش دوره تاریخی و استفاده از آنها برای پیش‌بینی دما و بارش دوره آتی است (۱۱).

تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش نواحی مختلف ایران (از جمله استان یزد) صورت گرفته است. برزگری و ملکی‌نژاد (۶)، تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک یزد را با استفاده از مدل گردش عمومی CanESM2 مربوط به گزارش پنجم IPCC تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که دمای این منطقه تا سال ۲۱۰۰ در ماه‌های مختلف بین ۰/۲ تا ۱/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش آن نیز بین ۰/۲ تا ۲/۴ میلی‌متر کاهش پیدا خواهد کرد. عارف و علیجانی (۳) تغییرات دما و بارش حوضه آبریز یزد- اردکان را با استفاده از مدل HadCM3 (از مجموعه مدل‌های گزارش پنجم IPCC) در دوره زمانی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۴۵ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در بازه زمانی مذکور، دمای منطقه نزدیک به ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش آن نیز نزدیک به ۸/۸ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. یعقوبی و مساح بوانی (۲۸) با انجام مطالعه‌ای، تغییرات دما و بارش آتی بخشی از استان یزد را در دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ بر اساس ترکیبی از مدل‌های گزارش چهارم IPCC برآورد کردند. نتایج نشان داد که در ماه‌های مختلف، دمای منطقه مورد بررسی تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش آن نیز تا ۵۷ درصد کاهش خواهد یافت. فتحی‌زاد و همکاران (۱۰) با انجام مطالعه‌ای، روند تغییرات دمای حداقل، حداکثر و بارش ایستگاه سینوپتیک یزد را تا سال ۲۱۰۰ با استفاده از مدل‌های گزارش چهارم و پنجم IPCC بررسی کردند. نتایج نشان داد که دمای حداقل و حداکثر این ایستگاه تا سال ۲۱۰۰ ممکن است در برخی ماه‌ها نزدیک به ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کند. همچنین مقدار بارش نیز با نرخ ۰/۳۵ میلی‌متر در روز ممکن است کاهش پیدا کند. صادقی و همکاران (۲۰) با انجام مطالعه‌ای، مقدار بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز را در دوره‌های زمانی سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۸۰ با استفاده از مدل‌های گزارش پنجم IPCC و تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که در فصل زمستان و در هر دو سناریوی انتشار، بارش افزایش خواهد یافت. همچنین در فصل بهار و پاییز، طبق سناریوی RCP8.5 بارش روند کاهشی خواهد داشت. همچنین صادقی و دین‌پژوه (۲۱) با استفاده از داده‌های مربوط به گزارش پنجم IPCC و تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5، پارامترهای دمای هوا، بارش، تبخیر- تعرق (ET0) و کمبود بارش (PD) را در طول فصل رشد و برای افق زمانی ۲۰۵۰ در حوضه آبریز قزل‌اوزن برآورد کرده و بر اساس آن مقادیر کمیت‌های شدت خشکی و طول دوره خشکی را تخمین زدند. نتایج نشان داد که میانگین دما و بارش منطقه در طول فصل رشد به‌ترتیب بین ۰/۹ تا ۲ درجه سانتی‌گراد و ۲۷ تا ۴۹ میلی‌متر افزایش خواهد یافت. همچنین، پارامترهای ET_0 و شدت خشکی در همه ایستگاه‌ها افزایش خواهند یافت.

با توجه به در دسترس قرار گرفتن نتایج مدل‌های گزارش ششم IPCC و تحول صورت گرفته در زمینه توسعه این مدل‌ها نسبت به گزارش‌های قبلی IPCC، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی استان یزد بر اساس ترکیبی از خروجی مدل‌های AOGCM مربوط به گزارش ششم IPCC است. با این حال، توجه به این نکته

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۱. موقعیت استان یزد در بخش مرکزی ایران و ایستگاه‌های هواشناسی منتخب

ضروری است با وجود اینکه استفاده از این مدل‌ها باعث افزایش دقت پیش‌بینی‌ها می‌شود، ولی در دسترس نبودن خروجی تمامی این مدل همچنان محدودیت‌هایی در استفاده از نتایج این مدل‌ها ایجاد می‌کند. بدین لحاظ باید تا زمان انتشار کامل خروجی تمامی مدل‌های گزارش ششم IPCC، از بخشی از مدل‌ها که نتایج آنها در دسترس قرار دارد، استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

استان یزد در بخش مرکزی ایران و در محدوده عرض‌های جغرافیایی '۴۸ °۲۹ تا '۳۰ °۳۳ شمالی و طول‌های جغرافیایی '۴۵ °۵۲ تا '۳۰ °۵۶ شرقی واقع شده است. وضعیت کلی استان یزد در ناحیه مرکزی ایران، در شکل ۱ نشان داده شده است. این استان به لحاظ واقع شدن در کمربند میانی و خشک کشور، دارای آب و هوای با اقلیم گرم و بیابانی (بر اساس روش آمبرژه) بوده و یکی از خشک‌ترین استان‌های کشور است (۱۶). متوسط بارش سالانه این استان حدود ۶۰ میلی‌متر است. این در حالی است که تبخیر و تعرق پتاسیل سالانه این محدوده، بیش از ۲۰۰۰ میلی‌متر در سال است (۳، ۴ و ۸). بارش اندک و تبخیر و تعرق زیاد این منطقه موجب شده است تا پتانسیل منابع آب سطحی در این استان در حد چندان مطلوبی نبوده و بیشترین مصرف آب در این بخش نیز متکی بر منابع محدود آب زیرزمینی باشد (۲). از طرف دیگر رشد جمعیت این استان و افزایش مهاجرت به آن به‌دلیل توسعه صنعت در این ناحیه موجب شده است تا تقاضای آب در این منطقه افزایش یابد. این در حالی است که کاهش بارش‌های سالیان اخیر و وقوع خشکسالی‌های مداوم موجب شده است تا کمبود منابع آب در این استان شدت بیشتری پیدا کند (۴ و ۲۴).

ایستگاه‌های هواشناسی منتخب برای استخراج داده‌ها، شامل ایستگاه‌های سینوپتیک یزد، بافق، رباط پشت بادام و مروست بودند. انتخاب این ایستگاه‌ها به‌دلیل دارا بودن طول دوره آماری حداقل ۲۰ساله برای افزایش دقت تحلیل‌ها انجام گرفت. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار متوسط ماهانه دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین و همچنین متوسط ماهانه بارش ایستگاه‌های مذکور در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۵ نیز در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

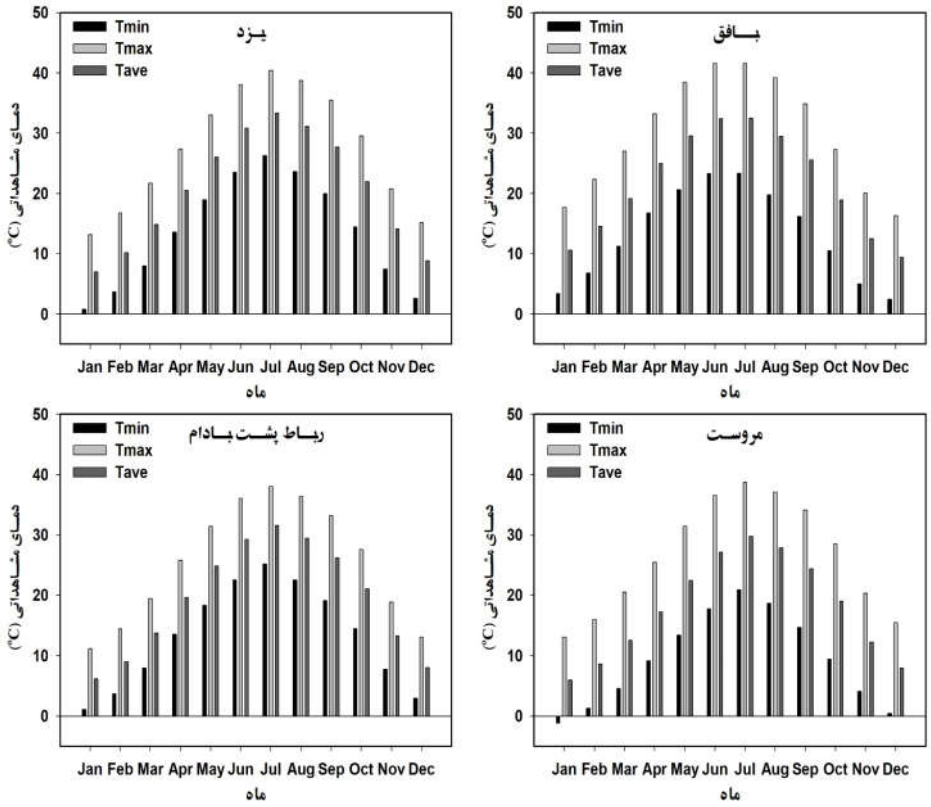
برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر ایستگاه‌های هواشناسی منتخب، از خروجی ۷ مدل AOGCM مربوط به ششمین گزارش ارزیابی IPCC استفاده شد (۲۶). جدول ۲ جزئیات مدل‌های مورد استفاده را ارائه کرده است. خروجی این مدل‌ها (شامل درجه حرارت و بارش) برای دو دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۶ (دوره پایه) و ۲۰۴۰-۲۰۲۱ (دوره آتی) از سایت مرکز توزیع داده‌های IPCC و تحت سه سناریوی انتشار SSP126، SSP245

Archive of SID.ir

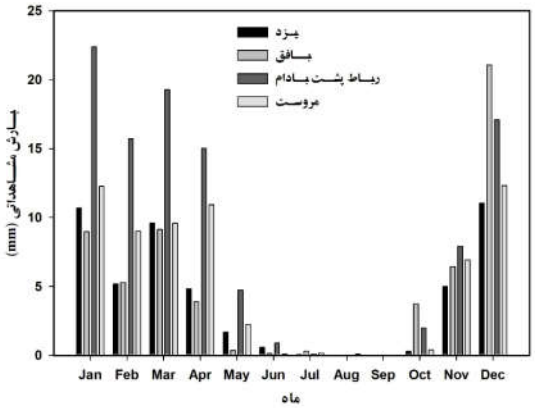
Archive of SID.ir

جدول ۱. ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در تحقیق

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	میانگین درازمدت دما (°C)	میانگین درازمدت بارش (mm)
یزد	سینوپتیک	۵۴° ۱۷′	۳۱° ۵۴′	۱۲۳۰	۲۰/۶	۴۹/۱
بافق	سینوپتیک	۵۵° ۲۵′	۳۱° ۳۸′	۹۹۱	۲۱/۷	۵۹/۴
رباط پشت بادام	سینوپتیک	۵۵° ۳۳′	۳۳° ۰۲′	۱۱۸۸	۱۹/۴	۱۰۵/۲
مروست	سینوپتیک	۵۴° ۱۲′	۳۰° ۲۴′	۱۵۴۷	۱۷/۹	۶۴/۱



شکل ۲. متوسط ماهانه دمای حداقل، دمای حداکثر و دمای میانگین ایستگاه‌های مختلف در بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۵



شکل ۳. متوسط ماهانه بارندگی ایستگاه‌های مختلف در بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۵

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۲. خصوصیات مدل‌های AOGCM مورد استفاده در تحقیق

ردیف	نام مدل	کشور توسعه‌دهنده	نام مرکز تحقیقاتی	دقت تفکیک (درجه)
۱	BCC-CSM2-MR	چین	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	۱/۱۲°×۱/۱۲°
۲	CESM2	آمریکا	Community Earth System Model Contributors	۱/۲۵°×۰/۹۴°
۳	CNRM-CM6-1	فرانسه	Centre National de Recherches Météorologiques Scientifique (CNRM)	۱/۴°×۱/۴°
۴	CanESM5	کانادا	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis-Canada	۲/۸۱°×۲/۷۸°
۵	MIROC6	ژاپن	National Institute for Environmental Studies, The University of Tokyo	۱/۴°×۱/۴°
۶	MRI-EMS2-0	ژاپن	Meteorological Research Institute	۱/۱۲°×۱/۱۲°
۷	IPSL-CM6A-LR	فرانسه	Institute Pierre-Simon Laplace	۲/۵°×۱/۲۶°

و SSP585 (که به‌ترتیب شرایط خوش‌بینانه تا بدبینانه‌ای برای واداشت تابشی در جو پیش‌بینی می‌کنند)، استخراج شدند.

برای افزایش دقت استفاده از مدل‌های AOGCM در برآورد دما و بارش هر ایستگاه، این مدل‌ها در هر ماه بر اساس شاخص ترکیبی کلینگ- گوپتا (Kling-Gupta) یا KGE (۱۳) وزن‌دهی شدند.این شاخص یک شاخص ترکیبی بوده که قادر است چند شاخص آماری نظیر میانگین، انحراف معیار و همبستگی داده‌ها را با یکدیگر ترکیب کرده و دقت انتخاب مدل‌ها بر اساس توانایی آنها در شبیه‌سازی دوره تاریخی را افزایش دهد. به‌عبارت دیگر، زمانی که از چند شاخص آماری به‌صورت مجزا در این زمینه استفاده شود، امکان تصمیم‌گیری نهایی بدون بهره‌گیری از شاخصی ترکیبی (نظیر KGE) سخت خواهد بود (۱۳).

مبنای وزن‌دهی این مدل‌ها، توانایی آنها در شبیه‌سازی مقادیر مشاهداتی دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۹۶) بود. وزن‌دهی این مدل‌ها بر اساس روابط ذیل صورت گرفت:

$$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + (\alpha-1)^2 + (\beta-1)^2} \quad (۱)$$

که در آن:

$$\alpha = \frac{\sigma_s}{\sigma_o} \quad (۲)$$

$$\beta = \frac{\mu_s}{\mu_o} \quad (۳)$$

$$R^2 = \left[\frac{[\sum_{i=1}^{n}(S_i - \bar{S})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^{n}(S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}{n}} \quad (۵)$$

در این روابط، Si و O_i به‌ترتیب مقادیر داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش یا دما در هر ماه، $\bar{S}$ و μ_s میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده، $\bar{O}$ و μ_o میانگین داده‌های مشاهده شده، r ضریب همبستگی پیرسون ، σ_s و σ_o به‌ترتیب انحراف معیار داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی و KGE شاخص ترکیبی کلینگ- گوپتا هستند. مقدار این شاخص بین $-\infty$ تا ۱ متغیر بوده و هر چه مقدار آن به ۱ نزدیک‌تر باشد، تطابق بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نیز بیشتر خواهد بود (۱۹).

وزن هر کدام از مدل‌های AOGCM برای محاسبه ترکیبی مقادیر بارش و دمای دوره آتی (۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰)، با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شد:

$$W_m = \frac{1/1 - KGE_m}{\sum_{m=1}^{7}(1/1 - KGE_m)} \quad (۶)$$

که در رابطه فوق، W_m وزن هر کدام از مدل‌های AOGCM در هر ماه برای برآورد دما و بارش است. مقدار تغییرات دما و بارش در دوره آتی (۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۶

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تا ۲۰۱۵) برای هر ماه، از روابط ۷ تا ۱۰ محاسبه شد:

$$\Delta T = \sum_{m=1}^{7} \left(W_m \times \Delta T_m \right) \quad (۷)$$

$$\Delta T_m = \overline{T}_{m(2021-2040)} - \overline{T}_{m(1996-2015)} \quad (۸)$$

$$\Delta P = \sum_{m=1}^{7} \left(W_m \times \Delta P_m \right) \quad (۹)$$

$$\Delta P_m = \frac{\overline{P}_{m(2021-2040)}}{\overline{P}_{m(1996-2015)}} \quad (۱۰)$$

که در روابط فوق، ΔT و ΔP تغییرات دما و بارش ماهانه هر ایستگاه در دوره آتی نسبت به دوره پایه، ΔT_m و ΔP_m متوسط ۲۰ ساله تغییرات دما و بارش پیش‌بینی شده توسط هر یک از مدل‌های AOGCM در هر یک از سناریوهای انتشار SSP126، SSP245 و SSP585 هستند.

برای ریزمقیاس نمایی و تبدیل خروجی بزرگ‌مقیاس مدل‌های AOGCM به مقادیر سری روزانه، از مدل LARS-WG استفاده شد. این مدل یک ابزار ریزمقیاس نمایی آماری است که با استفاده از برازش توابع توزیع نیمه‌تجربی قادر است دوره‌های تر و خشک را شبیه‌سازی و بر اساس سناریوهای ارائه شده به آن، رفتار متغیرهای هواشناسی را در آینده پیش‌بینی کند (۲۳). در این تحقیق نیز مقادیر سری زمانی روزانه داده‌های دما و بارش مشاهداتی در هر ایستگاه در دوره زمانی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۵ (دوره ۲۰ ساله) به همراه فایل سناریوها (شامل مقادیر تغییرات دما و بارش به‌دست آمده از مراحل قبل)، به‌عنوان ورودی به مدل LARS-WG داده شده و سری زمانی روزانه دما و بارش در هر ایستگاه برای دوره زمانی سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ شبیه‌سازی شد.

نتایج و بحث

جدول ۳ مقادیر محاسبه شده شاخص KGE را بر اساس توانایی مدل‌های AOGCM مختلف برای برآورد دمای ایستگاه‌های هواشناسی در دوره پایه (۱۹۹۶ تا ۲۰۱۵) ارائه داده است. نتایج نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های هواشناسی مختلف، توانایی مدل‌های AOGCM در برآورد دمای دوره پایه با یکدیگر متفاوت بوده است. در حالت کلی، مدل CanESM5، بالاترین دقت را در برآورد دمای دوره پایه در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی از خود نشان داده است. مقدار شاخص KGE به‌دست آمده برای این مدل در ایستگاه‌های یزد، بافق، رباط پشت بادام و مروست به‌ترتیب ۰/۳۲۱، ۰/۳۵۲، ۰/۰۴۵ و ۰/۳۸۳ است. از طرف دیگر در ایستگاه‌های گفته شده، مدل MIROC6 با مقدار شاخص KGE به‌ترتیب ۰/۵۲۳-، ۰/۳۶۹-، ۰/۵۹۹- و ۰/۶۰۱-، کمترین توانایی را در شبیه‌سازی دمای دوره پایه در میان تمامی مدل‌های AOGCM از خود نشان داد.

مقادیر شاخص KGE محاسبه شده برای بررسی توانایی مدل‌های مختلف در برآورد بارش دوره پایه، در جدول ۴ ارائه شده است. مطابق با روند مشاهده شده در مورد دما، مدل‌های AOGCM در برآورد بارش ایستگاه‌های منطقه نیز توانایی متفاوتی از خود نشان دادند. در حالت کلی مدل BCC-CSM2-MR بالاترین دقت را در برآورد بارش ایستگاه‌های مختلف از خود نشان داد. مقدار KGE محاسبه شده برای این مدل در ایستگاه‌های یزد، بافق، رباط پشت بادام و مروست، به‌ترتیب برابر با ۰/۱۰۱، ۰/۸۸۲-، ۰/۰۶۷ و ۰/۱۸۵- است. در مقابل، مدل CanESM5 کمترین قابلیت را در برآورد بارش دوره پایه در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی داشته است. مقدار KGE محاسبه شده برای این مدل در ایستگاه‌های فوق، به‌ترتیب برابر با ۶/۵۳۶-، ۷/۴۴۵-، ۶/۵۵۶- و ۴/۹۵۳- بوده است.

نتایج به‌دست آمده در خصوص توانایی متفاوت مدل‌های AOGCM مختلف در برآورد مقدار دما و بارش استان یزد، با نتایج سایر پژوهشگران در این زمینه تطابق دارد. پژوهش‌های قبلی صورت گرفته در نواحی مرکزی ایران نشان داده است که مدل‌های AOGCM مختلف بیشتر قابلیت یکسانی برای شبیه‌سازی دما و بارش دوره مشاهداتی نداشته و باید بر

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

اساس روش‌های مختلفی (اعم از روش‌های وزن‌دهی ساده،

جدول ۳. مقادیر شاخص KGE محاسبه شده برای برآورد دما توسط مدل‌های مختلف AOGCM

ایستگاه	مدل						
	BCC-CSM2-MR	CanESM5	CESM2	CNRM-CM6-1	IPSL-CM6A-LR	MIROC6	MRI-EMS2-0
یزد	۰/۱۱۳	۰/۳۲۱	-۰/۱۲۵	-۰/۲۰۶	-۰/۱۷۷	-۰/۵۲۳	-۰/۲۰۳
بافق	-۰/۱۷۳	۰/۳۵۲	-۰/۱۴۱	-۰/۰۲۲	-۰/۲۵۵	-۰/۳۶۹	-۰/۰۷۰
رباط پشت بادام	۰/۰۸۱	۰/۰۴۵	-۰/۳۰۶	-۰/۴۸۹	-۰/۵۹۹	-۰/۵۵۱	-۰/۳۶۹
مروست	۰/۱۵۱	۰/۳۸۳	-۰/۳۲۶	-۰/۴۷۵	-۰/۴۴۱	-۰/۶۰۱	-۰/۳۲۶

جدول ۴. مقادیر شاخص KGE محاسبه شده برای برآورد بارش توسط مدل‌های مختلف AOGCM

ایستگاه	مدل						
	BCC-CSM2-MR	CanESM5	CESM2	CNRM-CM6-1	IPSL-CM6A-LR	MIROC6	MRI-EMS2-0
یزد	۰/۱۰۱	-۶/۵۳۶	-۶/۳۵۴	-۰/۲۰۶	-۰/۱۷۷	-۰/۵۲۳	-۰/۲۰۳
بافق	-۰/۸۸۲	-۷/۴۴۵	-۱/۱۰۱	-۳/۹۶۶	-۴/۳۹۷	-۷/۲۲۵	-۴/۰۲۶
رباط پشت بادام	-۰/۰۶۷	-۶/۵۵۶	-۰/۶۰۷	-۰/۲۶۶	-۰/۳۶۹	-۲/۶۸۶	-۰/۱۶۴
مروست	-۰/۱۸۵	-۴/۹۵۳	-۱/۸۳۹	-۰/۲۹۵	-۰/۸۳۱	-۰/۷۴۶	-۰/۲۲۵

روش‌های احتمالاتی و روش‌های مدل‌سازی)، ترکیب و خروجی ترکیبی آنها به کار گرفته شود (۱۱، ۱۴، ۲۹ و ۳۰).

تغییرات ماهانه دمای ایستگاه‌های هواشناسی مختلف بر اساس نتایج ترکیبی مدل‌های AOGCM، در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در تمام ایستگاه‌های هواشناسی، افزایش دما به‌جز در برخی از ماه‌های محدود سال رخ خواهد داد. در ایستگاه هواشناسی یزد، بیشترین افزایش دما در ماه ژانویه و در سناریوهای انتشار SSP126، SSP245 و SSP585 به‌ترتیب برابر با ۰/۸، ۱ و ۱/۱ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. در ایستگاه بافق این مقادیر در ماه سپتامبر و به‌ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۸ و ۰/۹ درجه سانتی‌گراد است. بیشترین مقدار افزایش دما در ایستگاه رباط پشت بادام در ماه ژوئن و به‌ترتیب در سناریوهای انتشار SSP126، SSP245 و SSP585 و برابر با ۰/۹، ۰/۹ و ۱ درجه سانتی‌گراد است. در ایستگاه مروست نیز بیشترین مقدار افزایش دما در ماه می مشاهده خواهد شد که مقادیر آن در سناریوهای انتشار SSP126، SSP245 و SSP585 به‌ترتیب برابر با ۰/۸، ۱ و ۱/۱ درجه سانتی‌گراد خواهد بود.

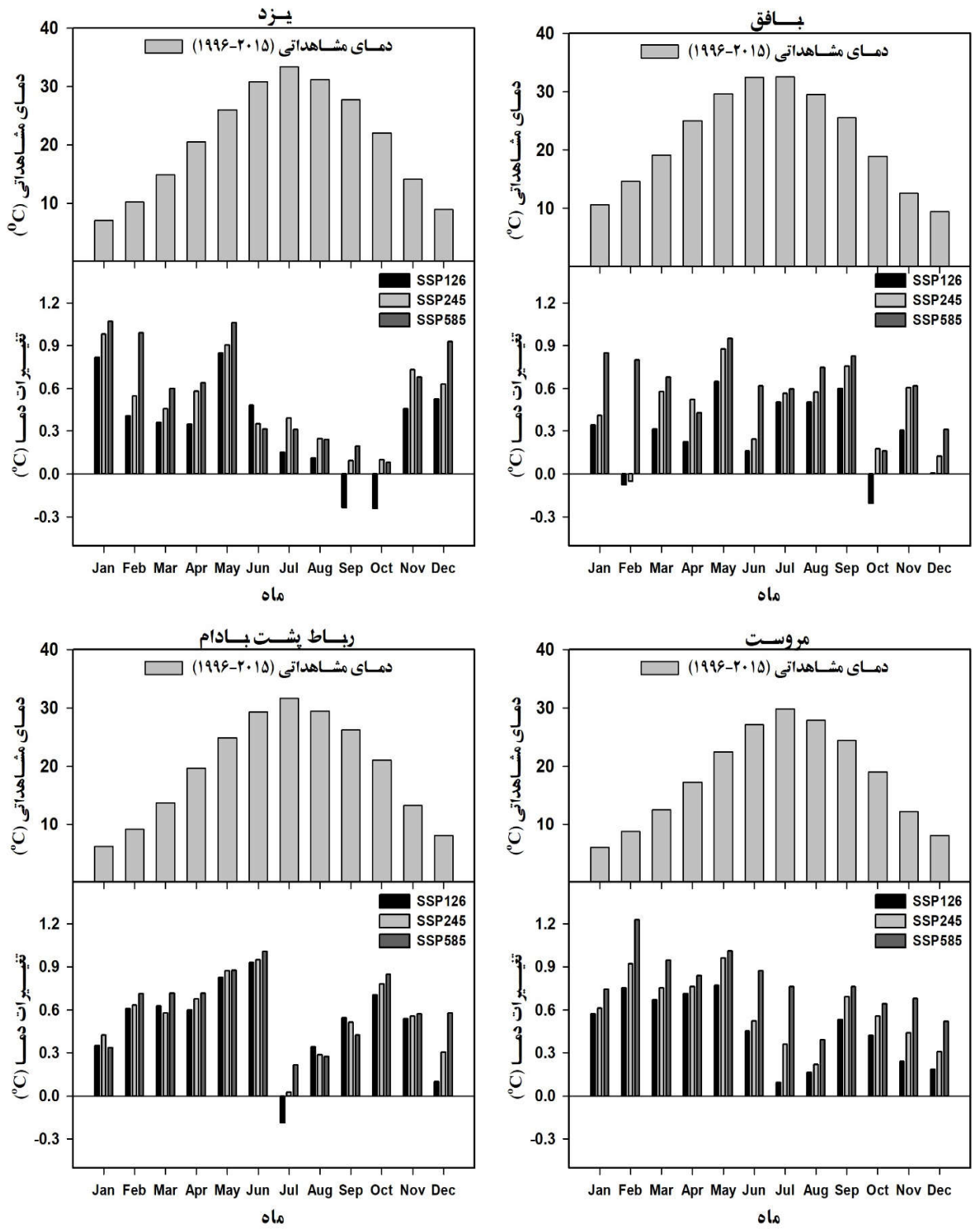
مقادیر فصلی و سالانه تغییرات دمای ایستگاه‌های هواشناسی مختلف در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین مقدار افزایش دما در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی در فصل بهار رخ خواهد داد. این درحالی است که کمترین میزان افزایش دما در فصول مختلف رخ می‌دهد. متوسط تغییرات سالانه دما نیز نشان می‌دهد که دمای سالانه ایستگاه یزد در سناریوهای انتشار SSP126، SSP245 و SSP585 به‌ترتیب به میزان ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶، در ایستگاه بافق به میزان ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۶، در ایستگاه رباط پشت بادام به‌میزان ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ و در ایستگاه مروست به‌میزان ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا خواهد کرد. در حالت کلی، ایستگاه‌های یزد و بافق افزایش دمای بیشتری نسبت به سایر ایستگاه‌های هواشناسی از خود نشان می‌دهند. از طرف دیگر در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی، سناریوی انتشار SSP126 کمترین میزان افزایش دما و سناریوی انتشار SSP585 بیشترین

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

میزان افزایش دما را نشان می‌دهد.

تغییرات ماهانه بارش ایستگاه‌های هواشناسی در سناریوهای



شکل ۴. تغییرات ماهانه دمای ایستگاه‌های هواشناسی مختلف تحت سناریوهای انتشار گوناگون

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۵. تغییرات فصلی و سالانه دمای ایستگاه‌های هواشناسی مختلف تحت سناریوهای انتشار گوناگون

ایستگاه	فصل	دمای مشاهداتی ۱۹۹۶–۲۰۱۵ (درجه سانتی‌گراد)	تغییرات دما ۲۰۴۰–۲۰۲۱ (درجه سانتی‌گراد)		
			SSP126	SSP245	SSP585
یزد	بهار	۲۵/۷	۰/۶	۰/۷	۰/۸
	تابستان	۳۰/۸	۰/۱	۰/۲	۰/۳
	پاییز	۱۴/۹	۰/۳	۰/۵	۰/۶
	زمستان	۱۰/۷	۰/۶	۰/۶	۰/۷
	سالانه	۲۰/۶	۰/۴	۰/۵	۰/۶
بافق	بهار	۲۹/۰	۰/۵	۰/۶	۰/۶
	تابستان	۲۹/۲	۰/۴	۰/۵	۰/۵
	پاییز	۱۳/۶	۰/۱	۰/۳	۰/۴
	زمستان	۱۴/۸	۰/۲	۰/۳	۰/۶
	سالانه	۲۱/۶	۰/۳	۰/۵	۰/۶
رباط پشت بادام	بهار	۲۴/۶	۰/۴	۰/۶	۰/۸
	تابستان	۲۹/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۳
	پاییز	۱۴/۱	۰/۲	۰/۴	۰/۶
	زمستان	۹/۶	۰/۳	۰/۴	۰/۶
	سالانه	۱۹/۴	۰/۲	۰/۴	۰/۶
مروست	بهار	۲۲/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶
	تابستان	۲۷/۴	۰/۲	۰/۳	۰/۴
	پاییز	۱۳/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴
	زمستان	۹/۱	۰/۵	۰/۶	۰/۷
	سالانه	۱۷/۹	۰/۳	۰/۴	۰/۵

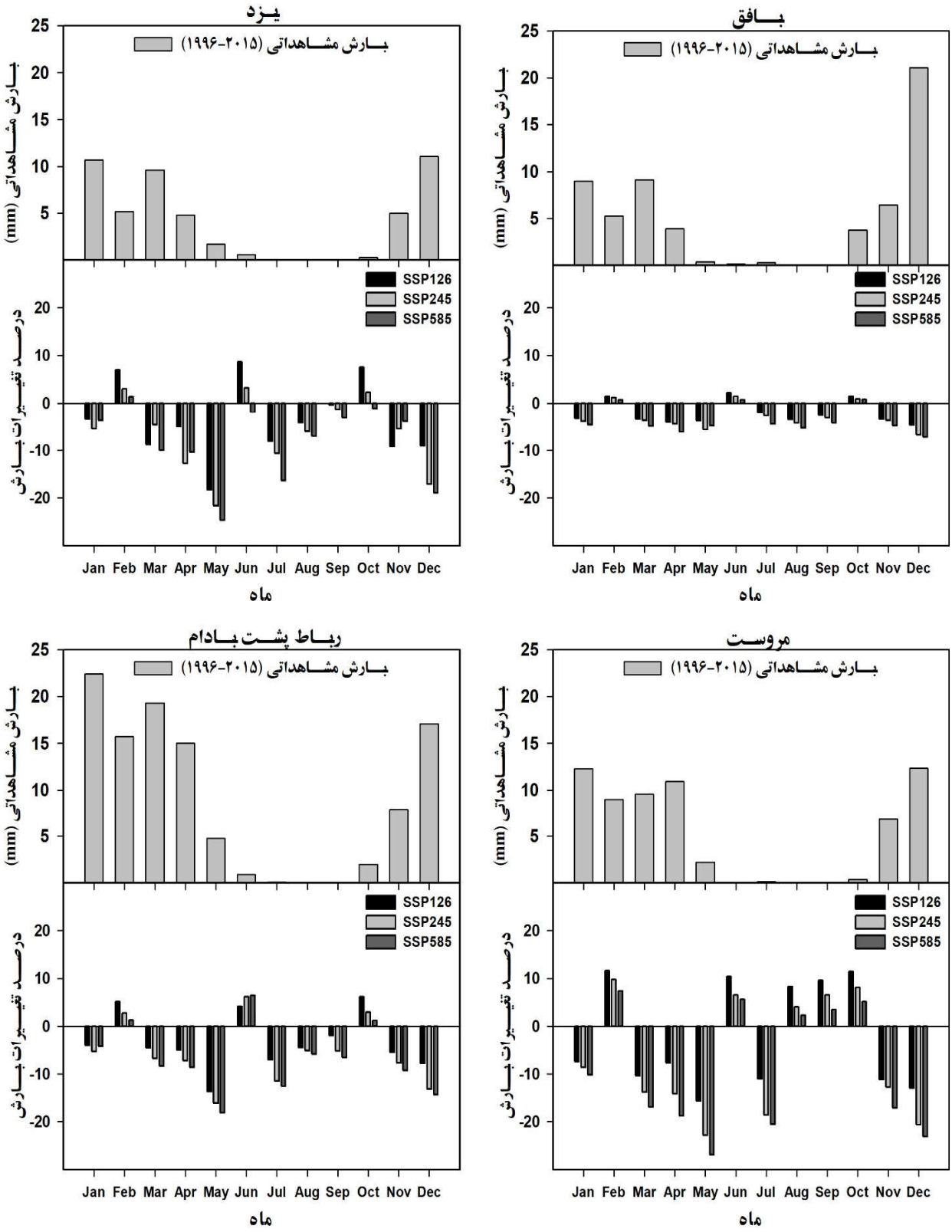
انتشار مختلف، در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در اغلب ماه‌های سال، احتمال کاهش بارش در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی وجود خواهد داشت. بیشترین مقدار کاهش بارش در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی در ماه می رخ خواهد داد. بیشترین مقدار کاهش بارش در ایستگاه هواشناسی یزد و سناریوهای انتشار SSP126، SSP245 و SSP585 به‌ترتیب برابر با ۱۸/۶، ۲۱/۶ و ۲۴/۷ درصد خواهد بود. این مقادیر در ایستگاه بافق به‌ترتیب ۳/۸، ۵/۷ و ۶/۱ درصد، در ایستگاه رباط پشت بادام برابر با ۱۳/۷، ۱۶/۱ و ۱۸/۱ درصد و در ایستگاه مروست برابر با ۱۵/۶، ۲۲/۸ و ۲۶/۹ درصد خواهد بود. کمترین میزان کاهش بارش نیز در ایستگاه‌های هواشناسی مختلف در ماه‌های متفاوتی از سال قابل پیش‌بینی است.

تغییرات فصلی و سالانه بارش ایستگاه‌های هواشناسی تحت سناریوی انتشار مختلف نیز در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار کاهش بارش در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی در فصل پاییز رخ خواهد داد. همچنین

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

کمترین میزان کاهش بارش در فصول مختلفی از سال قابل پیش‌بینی است. تغییرات فصلی بارش ایستگاه‌های هواشناسی



Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

شکل ۵. تغییرات ماهانه بارش ایستگاه‌های هواشناسی مختلف تحت سناریوهای انتشار گوناگون

جدول ۶. تغییرات فصلی و سالانه بارش ایستگاه‌های هواشناسی مختلف تحت سناریوهای انتشار گوناگون

ایستگاه	فصل	بارش مشاهداتی ۱۹۹۶-۲۰۱۵ (میلی‌متر)	تغییرات بارش ۲۰۴۰-۲۰۲۱ (درصد)		
			SSP126	SSP245	SSP585
یزد	بهار	۷/۱	-۷/۹	-۱۲/۷	-۱۳/۱
	تابستان	۰/۱	-۷/۷	-۱۰/۲	-۱۵/۶
	پاییز	۱۶/۴	-۸/۸	-۱۳/۲	-۱۴/۰
	زمستان	۲۵/۵	-۲/۵	-۵/۴	-۷/۹
	سالانه	۴۹/۱	-۴/۲	-۸/۹	-۱۲/۵
بافق	بهار	۴/۴	-۳/۶	-۵/۴	-۸/۵
	تابستان	۰/۴	-۲/۲	-۲/۸	-۴/۵
	پاییز	۳۱/۳	-۳/۸	-۵/۲	-۵/۸
	زمستان	۲۳/۴	-۱/۷	-۲/۰	-۲/۷
	سالانه	۵۹/۵	-۲/۹	-۴/۹	-۱۱/۱
رباط پشت بادام	بهار	۲۰/۷	-۶/۰	-۸/۱	-۱۰/۱
	تابستان	۰/۲	-۵/۶	-۸/۹	-۹/۹
	پاییز	۲۷/۰	-۷/۲	-۱۰/۳	-۱۱/۷
	زمستان	۵۷/۴	-۳/۵	-۷/۷	-۸/۷
	سالانه	۱۰۵/۳	-۴/۶	-۷/۷	-۹/۷
مروست	بهار	۱۳/۳	-۸/۹	-۱۵/۵	-۲۰/۰
	تابستان	۰/۳	-۲/۸	-۸/۹	-۱۰/۸
	پاییز	۱۹/۶	-۱۱/۸	-۱۷/۳	-۲۰/۴
	زمستان	۳۰/۹	-۴/۳	-۷/۶	-۱۱/۲
	سالانه	۶۴/۱	-۸/۱	-۹/۸	-۱۳/۷

نیز نشان می‌دهد که در ایستگاه هواشناسی یزد، مقدار بارش در سناریوهای انتشار SSP126، SSP245 و SSP585 به‌ترتیب ۴/۲، ۸/۹ و ۱۲/۵ درصد کاهش خواهد یافت. این مقدار در ایستگاه بافق به‌ترتیب برابر با ۲/۹، ۴/۹ و ۱۲/۵ درصد، در ایستگاه رباط پشت بادام برابر با ۴/۶، ۷/۷ و ۹/۷ درصد و در ایستگاه مروست برابر با ۸/۱، ۹/۸ و ۱۳/۷ درصد خواهد بود. بیشترین میزان کاهش بارش در ایستگاه مروست قابل پیش‌بینی است. همچنین سناریوی انتشار SSP126 کمترین و سناریوی انتشار SSP585 بیشترین کاهش بارش را در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی پیش‌بینی می‌کنند.

افزایش دما و کاهش بارش پیش‌بینی شده در نواحی مختلف جهان (از جمله نواحی مرکزی ایران)، قبلاً نیز در مطالعات مختلف مورد اشاره قرار گرفته است. در این

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مطالعات نیز سناریوهای انتشار دارای بیشترین افزایش گازهای گلخانه‌ای (نظیر A2 و RCP8.5)، مانند سناریوی انتشار SSP585، بیشترین مقدار افزایش دما و یا کاهش بارش را پیش‌بینی کرده‌اند (۳، ۹، ۱۱، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۳۰).

نتیجه‌گیری

با توجه به اقلیم خشک و کم‌آب استان یزد، هر گونه تغییر در مقادیر دما و بارش این ناحیه منجر به اثرات نامطلوب بیشتر بر وضعیت منابع آب آن خواهد شد. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش دما و کاهش بارش یک پیشامد محتمل در این ناحیه تا افق سال ۲۰۴۰ خواهد بود. بر این اساس، دمای سالانه این استان در ایستگاه‌های مختلف بین ۰/۲ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش نیز بین ۲/۹ تا ۱۳/۷ درصد کاهش خواهد یافت. افزایش دما و کاهش بارش در استان یزد حتی در سناریوهای انتشار خوش‌بینانه نیز قابل پیش‌بینی است. با توجه به اینکه بیشترین مقدار بارش در این ناحیه در فصول پربارش سال کاهش خواهد یافت، لذا مقدار آب در دسترس در فصول گرم سال که بیشتر به مصرف شرب و کشاورزی منطقه می‌رسد، با افت همراه خواهد شد. افزایش دما نیز باعث تشدید این موضوع و افزایش نیاز آب برای مصارف مختلف (به‌خصوص شرب و کشاورزی) خواهد شد. این در حالی است که اکنون نیز این استان با تنش آبی فزاینده‌ای روبه‌رو بوده و تعدد طرح‌های انتقال آب به این استان، مؤید این موضوع است. لذا با توجه به اهمیت موضوع، ضروری است سیاست‌های جامع در زمینه مدیریت مصرف آب با رویکرد سازگاری با تغییر اقلیم در استان یزد، به‌صورت جدی‌تر مورد توجه قرار گرفته و متناسب با میزان کاهش نزولات جوی و افزایش دما، سیاست‌های تعدیل مصارف آب با رویکردهای سازگاری به اجرا درآیند.

منابع مورد استفاده

1. Abbaspour, K. C., M. Faramarzi, S. S. Ghasemi and H. Yang. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research* 45(10): 1-16.
2. Alijani, B., S. Mayedfar and M. Sabaeimehr. 2009. Investigation of climate change in Yazd in relation to urban and regional development. *Research and Urban Planning* 1(3): 41-58. (In Farsi).
3. Aref, M. R. and B. Alijani. 2018. Investigation of temperature and precipitation variations of Yazd-Ardakan basin with SDSM under the conditions of future climate change. *Arid Biome Scientific and Research Journal* 8(1): 89-101. (In Farsi).
4. Asadi Zarch, M. A. 2017. Analyzing climate change effects on drought occurrence in Yazd province, Iran. *Desert Management* 5(9): 74-90. (In Farsi).
5. Ayers, J. and D. Dodman. 2010. Climate change adaptation and development I: the state of the debate. *Progress in Development Studies* 10(2): 161-168.
6. Barzegari, F. and M. Malekinezhad. 2019. Investigation of the effects of climate change on sustainability of water need and water consumption of agricultural section in the Yazd-Ardakan plain. *Agroecology* 10(4): 1161-1176. (In Farsi).
7. Daneshvar, M. R. M., M. Ebrahimi and H. Nejadsoleymani. 2019. An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research* 8(1): 1-10.
8. Dinpashoh, Y. 2006. Study of reference crop evapotranspiration in IR of Iran. *Agricultural Water Management* 84(1-2): 123-129.
9. Doulabian, S., S. Golian, A. S. Toosi and C. Murphy. 2021. Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. *Journal of Water and Climate Change* 12(1): 166-184.
10. Fathizad, H., M. Tavakoli, M. A. Hakimzadeh Ardakani, R. Taghizadeh Mehrjardi and H. Sodaiezadeh. 2021. Evaluation of the effects of climate change on meteorological parameters under different scenarios in Yazd meteorological station. *Journal of Water and Soil Science* 24(4): 1-19. (In Farsi).
11. Gohari, A., M. J. Zareian and S. Eslamian. 2015. A Multi-Model Framework for Climate Change Impact Assessment. Handbook of Climate Change Adaptation, Ed. By Leal Filho, W., Springer, 17-35.
12. Goyal, R. K. 2004. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India). *Agricultural Water Management* 69(1): 1-11.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

13. Knoben, W. J., J. E. Freer and R. A. Woods. 2019. Inherent benchmark or not? Comparing Nash-Sutcliffe and Kling-Gupta efficiency scores. *Hydrology and Earth System Sciences* 23(10): 4323-4331.
14. Kouhestani, S., S. S. Eslamian, J. Abedi-Koupai and A. A. Besalatpour. 2016. Projection of climate change impacts on precipitation using soft-computing techniques: A case study in Zayandeh-rud Basin, Iran. *Global and Planetary Change* 144: 158-170.
15. Levinson, D. H. and C. J. Fettig. 2014. Climate Change: Overview of Data Sources, Observed and Predicted Temperature Changes, and Impacts on Public and Environmental Health. Global Climate Change and Public Health. New York: Springer Publication.
16. Mavedate, E. and S. Maleki. 2016. Classification of drought zoning by PNPI, SIAP and TOPSIS indices (Case study: Yazd Province). *Disaster Prevention and Management Knowledge* 6(1): 59-70. (In Farsi).
17. Monahan, W. B. and D. M. Theobald. 2018. Climate change adaptation benefits of potential conservation partnerships. *PloS one* 13(2): e0191468.
18. Pachauri, R. K., M. R. Allen, V. R., Barros, J., Broome, W. Cramer, R. Christ, J. A. Church, L. Clarke, Q. Dahe, P. Dasgupta and N. K. Dubash. 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
19. Patil, S. D. and M. Stieglitz. 2015. Comparing spatial and temporal transferability of hydrological model parameters. *Journal of Hydrology* 525: 409-417.
20. Sadeqi, A., Y. Dinpashosh and M. Zarghami. 2019. Projection and spatial analysis of agroclimatic indices in ghezel ozan river basin during the growing season. *Journal of Water and Soil Recources Consevation* 9(1): 39-162.
21. Sadeqi, A. and Y. Dinpashosh. 2020. Projection of precipitation and its variability under the climate change conditions in the future periods (Case Study: Tabriz). *Journal of Environment and Water Engineering* 5(4): 339-350.
22. Saki, M., M. T. Esfahani and S. Soltani. 2018. A scenario-based modeling of climate change impacts on the aboveground net primary production in rangelands of central Iran. *Environmental Earth Sciences* 77(19): 1-17.
23. Semenov, M. A. 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. Climate Research 35(3): 203-212.
24. Sharghi. T., K. Kalantari, A. Asadi and M. Jomehpour. 2017. Simulating the simultaneously effects of climate change and policy of water transfer from agriculture to industry on horticultural products (Case of Yazd province). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research* 47(4): 851-883. (In Farsi).
25. Solomon, S., M. Manning, M. Marquis and D. Qin. 2007. Climate Change 2007-the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC (Vol. 4). Cambridge University Press.
26. Tebaldi, C., K. Debeire, V. Eyring, E. Fischer, J. Fyfe, P. Friedlingstein, R. Knutti, J. Lowe, B. O'Neill, B. Sanderson and D. van Vuuren. 2021. Climate model projections from the scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth System Dynamics* 12(1): 253-293.
27. Wang, B., H. J. Kim, K. Kikuchi and A. Kitoh. 2011. Diagnostic metrics for evaluation of annual and diurnal cycles. *Climate Dynamics* 37(5): 941-955.
28. Yaghobi, M. and A. Massah Bavani. 2016. Comparison and evaluation of different sources of uncertainty in the study of climate change impact on runoff in semi-arid basins (Case study: Azam Harat River Basin). *Iran Water Resources Research* 11(3): 113-130. (In Farsi).
29. Zareian, M. J. 2021. Optimal water allocation at different levels of climate change to minimize water shortage in arid regions (Case Study: Zayandeh-Rud River Basin, Iran). *Journal of Hydro-environment Research* 35: 13-30.
30. Zareian, M. J., S. Eslamian and H. R. Safavi 2015. A modified regionalization weighting approach for climate change impact assessment at watershed scale. *Theoretical and Applied Climatology* 122(3): 497-516.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Journal of Water and Soil Science
Vol. 26, No. 2, Summer 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effects of Climate Change on Temperature and Precipitation in Yazd Province Based on Combined Output of CMIP6 Models

M. J. Zareian[1*]

(Received: April 7-2021; Accepted: July 31-2021)

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of climate change on temperature and precipitation changes in important synoptic weather stations in Yazd province (including Yazd, Bafgh, Marvast, and Robat-e-Poshtebadam). Accordingly, a combination of the outputs of the latest AOGCM models presented in the IPCC sixth assessment report (CMIP6) were used to increase the accuracy of temperature and precipitation forecasts. A weighting method was used based on the Kling-Gupta combined index (KGE) to combine these models. After weighting the models, the monthly temperature and precipitation changes were calculated based on SSP126, SSP245, and SSP585 emission scenarios. Then, daily temperature and precipitation time series were extracted for different weather stations using the LARS-WG downscaling model. The results showed that in all the weather stations, CanESM5 and BCC-CSM2-MR models have the best ability to simulate the temperature and precipitation of the historical period, respectively. Results also showed that in all emission scenarios, the annual temperature will increase and the annual precipitation will decrease. The annual temperature of this region will increase between 0.2 to 0.6 °C, and the annual precipitation will decrease between 2.9 and 13.7% in different weather stations. Also, the maximum temperature increase and precipitation decrease in this region, will occur in spring and autumn, respectively.

Keywords: Climate change, Yazd province, Emission scenario, AOGCM model

1. Department of Water Resources Study and Research, Water Research Institute (WRI), Tehran, Iran.
*: Corresponding author, Email: m.zareian@wri.ac.ir; mj_zareian@yahoo.com

Archive of SID.ir