

پهنه بندی بارش و دما استان خراسان رضوی با استفاده از داده های گزارش ششم تغییر اقلیم (CMIP^۶)

نازلی زنوزی علمداری^۱، بهروز سبحانی^{۲*}، مهدی اصلاحی^۳، مسیح الله محمدی^۴

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۴- دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

* ایمیل نویسنده مسئول: sobhaniardabil@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۴

چکیده

این پژوهش باهدف ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات متغیرهای بارش و دما ۷ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان رضوی (مشهد، گناباد، قوچان، سرخس، سبزوار، تربت حیدری و تربت جام) صورت گرفته است. برای این منظور، از خروجی های ۱۲ مدل AOGCM ارائه شده در گزارش ششم تغییر اقلیم (CMIP^۶) مورد استفاده قرار گرفت. برای یافتن بهترین مدل، از روش وزن دهی شاخص ترکیبی کلینگ - گوپتا (KGE) استفاده شد. پس از تعیین بهترین مدل، مقدار تغییرات سالانه دما و بارش بر اساس سناریوهای انتشار ۲,۶-SSP^۱، ۴,۵-SSP^۲ و ۸,۵-SSP^۵ محاسبه و با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی اریبی سری زمانی بارش و دما ایستگاه های سینوپتیک مختلف، استخراج شد. نتایج نشان داد که مدل های HadGEM^۳-GC و GEM^۲ به ترتیب بیشترین توانایی را در شبیه سازی بارش و دما دوره تاریخی در تمامی ایستگاه های استان را دارا است. همچنین نتایج نشان داد که در تمامی سناریوهای مورد مطالعه بارش و دما سالانه در تمام مناطق استان خراسان رضوی افزایش خواهد یافت. بارش سالانه افزایش ۰/۴ تا ۶/۸ درصد و دما ۰/۲۹ تا ۲/۷۵ درجه سلسیوسی را تجربه خواهد کرد.

کلمات کلیدی

"گزارش ششم"، "تغییر اقلیم"، "استان خراسان رضوی"، "سناریوهای SSP"

۱- مقدمه

پژوهش ها و پیش بینی های مربوط به تغییر اقلیم تاکنون چندین نسل از سناریوهای انتشار را ارائه داده و بر اساس نتایج مدل سازی های مختلف تغییر اقلیم، شش گزارش ارزیابی از تغییر اقلیم را منتشر کرده است. در گزارش اخیر IPCC جدیدترین مدل های تغییر اقلیم با عنوان سری CMIP^۶ می باشد که اقلیم آینده را تحت سناریوهای انتشار SSP شبیه سازی می کنند (IPCC, ۲۰۲۱). نسخه نهایی طراحی مدل CMIP^۶ توسط دو کارگروه CMIP^۲ و کارگروه مدل جفت شده WGC^۳ در اکتبر سال ۲۰۱۴ نهایی شد و قرار است قبل از پایان سال ۲۰۲۲، نتایج کامل و مدل های متنوعی منتشر شود. سناریوهای گزارش ششم به صورت ترکیبی از خط سیرهای اقتصادی - اجتماعی (SSP) (توسعه پایدار SSP^۱، توسعه بر اساس سیاست های میانی SSP^۲، رقابت منطقه ای SSP^۳، نابرابری SSP^۴ و توسعه سوخت های فسیلی SSP^۵) و خط سیر غلظت گازهای گلخانه ای (سطح واداشت مختلف) تولید می شوند؛ به طوری که امکان تحلیل بازخورد میان تغییرات و عوامل اجتماعی - اقتصادی نظیر رشد جهانی جمعیت، توسعه اقتصادی و پیشرفت فناوری را فراهم می آورد. در این گزارش هشت سناریو در دو ردیف ارائه می شود. ردیف اول شامل سناریوهای جدید ۲,۶-SSP^۱، ۴,۵-SSP^۲ و ۸,۵-SSP^۵ است که به ترتیب سناریوهای به روز رسانی شده سطوح واداشتی RCP^{۲,۶}، RCP^{۴,۵} و RCP^{۸,۵} گزارش پنجم هستند. سناریوی

تغییر اقلیم در حال وقوع، تمام زوایای سیستم های زیستی، از ژنتیک گرفته تا اکوسیستم را تغییر خواهد داد (Scheffers et al, ۲۰۱۶). تا سال ۲۱۰۰ میلادی، تغییر آب و هوا یک ششم از گونه های جانوری و گیاهی را منقرض خواهد کرد و فراوانی و توزیع بسیاری از گونه های باقی مانده را تغییر خواهد داد که در نتیجه جوامع جدیدی شکل خواهند گرفت (Urban, ۲۰۱۵). بر این اساس، بررسی تغییرات سالانه و دهه ای میانگین دما و بارش در سطح منطقه ای بسیار حائز اهمیت خواهد بود. همچنین درک چگونگی تغییر دما و شاخص های مرتبط با آن همانند تنش های گرمایی در مقیاس های زمانی مختلف مهم است تا بر اساس آن تصمیمات آگاهانه ای در رابطه با توسعه اقتصادی و برنامه های اقدام اقلیم (CAP^۱) اتخاذ کرد. یکی از منابع عمده داده برای مطالعه تغییر اقلیم مدل های گردش کلی جو (GCM) هستند که به طور گسترده ای برای پایش و پیش نگری تغییر اقلیم گذشته و آینده از آن استفاده می شود (Khan et al, ۲۰۲۰). GCM ها توانایی قابل توجهی را برای شبیه سازی دما و بارش دارند. با این حال، آن ها محدودیت های نیز دارند. از جمله این محدودیت ها خطاهای سیستماتیک در باز تولید میانگین دما و بارش به ویژه در مناطقی با توپوگرافی پیچیده، همانند ایران است (IPCC, ۲۰۱۳). در این زمینه IPCC به عنوان مهم ترین مرجع

^۳ Working Group of Coupl Modeling

^۱ - Climate Action Plan (CAP)

^۲ Coupled Model Intercomparison Project Phase

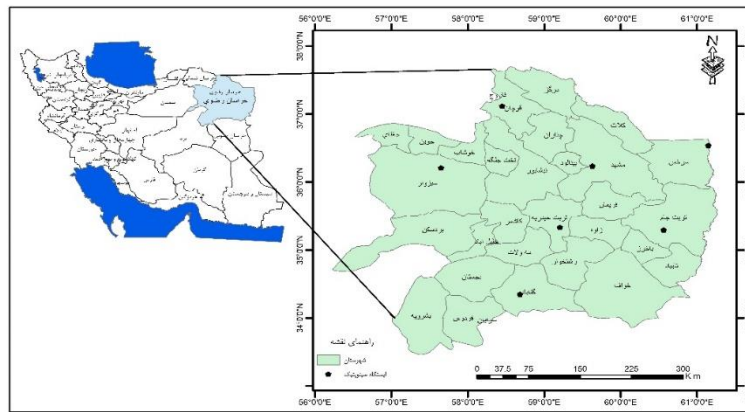
پژوهش نشان داد دما در تمام مناطق بررسی شده افزایش می‌یابد. بارندگی در شرق و مرکز منطقه بررسی شده در بهار و زمستان افزایش می‌یابد و در تابستان و پاییز کاهش می‌یابد. (Almazroui et al, ۲۰۲۱). پاراگوئه به ارزیابی مدل‌های CMIP^۶ و پیش بینی آینده دما و بارش پرداخت، نتایج نشان دادند که دمای میانگین سالانه افزایش می‌یابد. بارندگی سالانه کاهش کمی در شمال غربی و افزایش در جنوب شرقی را نشان می‌دهد. سراسری و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی اثرات تغییر اقلیم به میزان پارامترهای دما و بارش حوضه آبخیز سد طرق با استفاده از ترکیب وزنی چهار مدل AOGCM از پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده فاز ششم (CMIP^۶) تحت سه سناریو SSP۱-۲-۶، SSP۳-۷-۰ و SSP۵-۸-۰ برای یک دوره پایه (۱۹۹۳ - ۲۰۱۲) و چهار دوره آینده می‌پردازد. نتایج مطالعه حاکی از یک روند سینوسی تغییرات مقدار بارش برای سناریو SSP۵-۸-۰ در دوره‌های مختلف می‌باشد که شامل افزایش بارش در دو دوره ۲۰۲۱ - ۲۰۴۰ و ۲۰۶۱ - ۲۰۸۰ و کاهش در دو دور ۲۰۴۱ - ۲۰۶۰ و ۲۰۸۱ - ۲۱۰۰ می‌باشد. این در حالی است که مقدار بارش تحت سناریو SSP۱-۲-۶ برای دوره اول تغییرات قابل توجهی نداشته است ولی برای دو دوره ۲۰۴۱ - ۲۰۶۰ و ۲۰۶۱ - ۲۰۸۰ افزایش و برای دوره آخر کاهش را تجربه کرده است این موضوع برای سناریو SSP۳-۷-۰ شامل کاهش بارش برای تمامی دوره‌ها به جز دوره اول که تغییرات قابل توجهی نداشته است، می‌باشد. در رابطه با دما، پیش بینی‌ها نشان دهنده افزایش مقدار دمای حداقل و حداکثر تحت تمامی سناریوها و در تمامی دوره‌ها نسبت به دوره پایه است. دهقانی و همکاران (۱۴۰۰)، صحت و کارایی مدل‌های منتخب CMIP^۵ را با استفاده از روش‌های آماری تصحیح خطا مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج پژوهش بیانگر مدل برتر متناسب با نوع شاخص آماری و دوره زمانی مختلف متفاوت است. انصاری مهابادی و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی روند تغییرات دما و بارش را در حوضه آبریز ایزام با استفاده از مدل CMIP^۶ پرداختند. نتایج حاصل از پیش بینی اقلیمی حاکی از تغییر بارش حدود ۱۹٪ تا ۱۲٪ درصد در حوضه‌های مختلف آبریز ایران و افزایش دما به‌طور متوسط ۰/۱ تا ۰/۶ درجه سلسیوس در حوضه‌های مختلف ایران طی ۲۰ سال آتی خواهد بود. به‌طور کلی نواحی غربی کشور بیشترین کاهش بارندگی را در این دوره تجربه خواهند کرد.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران با مساحتی بالغ بر ۱۱۸۸۵۴ کیلومتر مربع بین ۵۶ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. از شمال به ترکمنستان و استان خراسان شمالی، از غرب به استان سمنان، از جنوب غربی و جنوب به استان خراسان جنوبی با استان خراسان جنوبی و از شرق به افغانستان محدود می‌شود. بر اساس گزارش اداره کل هواشناسی خراسان میانگین بارش سالانه در استان بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر تغییر می‌کند ولی در مناطق جنوبی، شرقی و مرکزی، میزان بارندگی کاهش چشمگیری می‌یابد و به حدود ۱۵۰ میلی‌متر می‌رسد (مسعودی و عصار، ۱۳۹۶).

SSP۱-۲,۶ پایین‌ترین میزان واداشت تابشی را نشان می‌دهد؛ SSP۲-۴,۵ سطح واداشت متوسط را در نظر می‌گیرد و SSP۵-۸,۵ حد بالای واداشت تابشی را ارائه می‌دهد (Estoque et al, ۲۰۲۰; Rogelj et al, ۲۰۱۸). علاوه بر این سه سناریو، سناریوی واداشت غیر کاهشی (SSP۳-۷,۰) با انتشار بالای ذرات معلق و تغییر کاربری اراضی در این گروه اضافه شده است. در ردیف دوم، دو سناریوی کاهشی به‌منظور دستیابی به برون داد واداشت نسبتاً کم و یک سناریو با لحاظ محدود کردن میانگین دمای جهانی تا زیر ۱/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت سطوح واداشت بیش از صنعتی شدن و یک سناریو با خط سیر بسیار زیاد اضافه شده‌اند (O'Neill et al, ۲۰۱۷). مدل‌های GCM بهترین ابزار برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی پارامترهای آب و هوایی می‌باشند. این مدل‌ها سه بعدی بوده و قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره درازمدت در مقیاس جهانی یا قاره‌ای و با در نظر گرفتن سناریوهای تأیید شده IPCC مدل‌سازی و تولید نمایند (Chen et al, ۲۰۱۹). با توجه به اهمیت تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، ارزیابی و انتخاب GCM ها بر اساس عملکرد آن‌ها در شبیه‌سازی متغیرهای آب و هوایی یک روش قابل استفاده برای انتخاب بهترین مدل‌ها و کاهش عدم قطعیت‌ها است (Zamani et al, ۲۰۲۰). اهمیت آب در استان خراسان رضوی موجب گردید پژوهش حاضر بر آشکارسازی روند تغییرات فضایی و زمانی بارش و دما در سطح منطقه در شرایط فعلی و همچنین ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP^۶ در بازتولید بارش سالانه و فصلی تحت سناریوهای ترکیبی مسیره‌های اجتماعی - اقتصادی مشترک (SSPs) در اقلیم آینده متمرکز گردد. مطالعات متعددی عملکرد GCM را در شبیه‌سازی ویژگی‌های بارش و دما در مقیاس‌های مختلف ارزیابی کرده‌اند. (Bai et al ۲۰۲۰) از مدل‌های گزارش ششم برای بررسی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر عملکرد محصول گندم در مناطق شمالی چین استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که دما تحت سناریوی SSP۳-۷,۰ تا پایان سال ۲۱۰۰ درجه سلسیوس و بر اساس سناریوی SSP۵-۸,۵ تا ۱۶ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت که این تغییرات دمای در تولید گندم تأثیر چشمگیری دارند. سرواستاوا و همکاران (۲۰۲۰) شبیه‌سازی تاریخی مدل‌های CMIP^۶ برای بارش‌های حدی ایالات متحده را بررسی کردند. نتایج نشان دادند که بیشتر مدل‌ها میانگین و تغییر پذیره دوره‌های تر را بیشتر از حد و دوره‌های خشک را کمتر از حد تخمین می‌زنند. نتایج تحقیق (Vogel et al ۲۰۲۰) در پژوهشی به‌پیش بینی تغییرات فرین‌های گرم، خشک و مرطوب با کاربست مدل‌های CMIP^۶ پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییر اقلیم باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در فرین‌ها آب و هوایی می‌شود. بررسی (Qin et al ۲۰۲۱) نشان دهنده این بود که بارش در قرن بیست و یکم بر مبنای SSP های مختلف رود افزایشی داشته که این افزایش در آینده دور نسبت به آینده نزدیک و متوسط به میزان قابل توجهی بیشتر خواهد بود؛ (Ngoma et al ۲۰۲۱) در پژوهشی به بررسی تغییرات دما و بارش در امریکا، امریکای مرکزی و کارائیب با استفاده از مدل‌های CMIP^۶، برای سه دوره زمانی ۲۰۲۱ - ۲۰۴۰، ۲۰۴۱ - ۲۰۶۰ و ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه ۱۹۹۵ - ۲۰۱۴ پرداختند. نتایج



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	میانگین درازمدت دما (C°)	میانگین درازمدت بارش (mm)
مشهد	سینوپتیک	۵۹/۶۳	۳۶/۲۳	۹۹۹/۲	۲۳۵/۸	۹/۳۵
گناباد	سینوپتیک	۵۸/۶۸	۳۴/۳۵	۱۰۵۶	۱۳۳/۹	۱۷/۳
قوچان	سینوپتیک	۵۸/۴۵	۳۷/۱۱	۱۲۸۷	۳۱۰/۵	۱۲/۷
سرخس	سینوپتیک	۶۱/۱۴	۳۶/۵۳	۳۷۸	۱۸۷/۸	۱۸
سبزوار	سینوپتیک	۵۷/۶۴	۳۶/۲۰	۹۶۲	۱۸۳/۸	۱۸/۲
تربت حیدریه	سینوپتیک	۵۹/۲۰	۳۵/۳۳	۱۴۵۱	۲۵۲/۴	۱۴/۱
تربت جام	سینوپتیک	۶۰/۵۶	۳۵/۲۹	۹۵۰/۴	۱۷۱/۹	۱۵/۵

منبع: اداره کل هواشناسی خراسان رضوی

• مدل CMIP^۱

مشترک اقتصادی - اجتماعی (SSP) آینده (که عناصر مانند جمعیت، رشد اقتصادی، شهرنشینی، سن، تحصیلات و ... را در برمی گیرد) و مرتبط با سناریوهای غلظت گازهای گلخانه‌ای RCPs می‌باشد. (Eyring et al, ۲۰۱۶). این ساختار جدید دو عنصر مهم را در فضای طراحی شده سناریوها فراهم می‌آورد، اول: تمام فرضیات اجتماعی اقتصادی را در هر سناریو استاندارد می‌نماید و دوم اینکه، امکان بررسی دقیق‌تر خطوط سیر گوناگون را که توسط آن‌ها می‌توان به نتایج اقلیمی آینده دست پیدا کرد را می‌دهد. پیش‌بینی اقلیمی پروژه CMIP^۱ به دلیل تولید توسط نسخه‌های به‌روز شده مدل‌های اقلیمی و استفاده از سناریوهای مبتنی بر SSP بر اساس داده‌های به‌روز شده در روند انتشار، متفاوت از پروژه‌های CMIP^۵ می‌باشد.

پیش‌بینی تغییر اقلیم نقش اساسی در بهبود درک سیستم اقلیم و همچنین مشخص نمودن خطرات اجتماعی آن در آینده دارد. فعالیت‌های CMIP^۱ با تمرکز بر روی سناریوها در سال ۲۰۱۳ در میان جوامع اقلیمی شکل گرفت. کمیته رهبری علمی ScenarioMIP^۲ این پروژه را از هفدهمین جلسه کارگروه تحقیقات آب و هوای جهان (WCRP) در اکتبر ۲۰۱۳ در ویکتوریا کانادا تشکیل گردید (O'Neill et al, ۲۰۱۶). فعالیت اصلی در فاز ۶ پروژه متقابل مدل جفت شده (CMIP^۱) پروژه متقابل سناریو (ScenarioMIP^۳) می‌باشد؛ که پیش‌بینی این مدل‌های اقلیمی ترکیبی از مجموعه جدید از سناریوهای انتشار و کاربری اراضی تولید شده به‌وسیله مدل‌های IAMs بر مبنای خطوط سیر

^۲ Senario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP)

^۱ Phase ۱ of the Coupled Model Intercomparison Project (cmip^۱)

^۲ Scientific Steering Committee

جدول ۲- مشخصات مدل‌های CMIP^۶ مورد استفاده در پژوهش

ردیف	نام مدل	کشور توسعه‌دهنده	نام مرکز تحقیقاتی	دقت مکانی مدل (درجه)
۱	ACCESS-CM ^۲	Australia	Australian Research Council Centre of Excellence for Climate System Science,	۱.۸۷ × ۱.۲۵°
۲	BCC-CSM ^۲ -MR	China	Beijing Climate Center, China Meteorological Administratio	۱.۱۲° × ۱.۱۲°
۳	CESM ^۲	USA	Community Earth System Model Contributors	۱.۲۵° × ۰.۹۴°
۴	CNRM-CM ^۶ -۱	France	Centre National de Recherches MétéorologiquesScientifique (CNRM)	۱.۴° × ۱.۴°
۵	CanESM ^۵	Canada	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis-Canada	۲.۸۱° × ۲.۷۸°
۶	MIROC ^۶	Japan	National Institute for Environmental Studies, The University of Tokyo	۱.۴° × ۱.۴°
۷	MRI-EMS ^۲ -۰	Japan	Meteorological Research Institute	۱.۱۲° × ۱.۱۲°
۸	IPSL-CM ^۶ A-LR	France	Institut Pierre-Simon Laplace	۲.۵° × ۱.۲۶°
۹	GISS-E ^۲ -۱-G	USA	NASA Goddard Institute for Space Studies	۲.۵° × ۲°
۱۰	HadGEM ^۳ -GC ^۳ ۱-LL	UK	Meteorological Office Hadley Centre	۱.۸۸° × ۱.۲۵°
۱۱	NESM ^۳	China	Nanjing university of Information and Technology (NUIST)	۱° × ۱.۳°
۱۲	NOR-ESM ^۲ -MM	Norway	Norwegian Climate Center	۰.۹۴ × ۱.۲۵°

• سناریوهای انتشار SSP

مجموعه سناریو امکان کاوش ساختاری تغییر اقلیم را در سطحی سازگار با محدود کردن افزایش میانگین درجه حرارت جهانی در سال ۲۱۰۰ میلادی تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد با احتمال تقریبی ۶۶ درصد فراهم می‌کند (Rogelj et al, ۲۰۱۸). با توجه به تحقیق اونیل و همکاران، SSP ها شرایط آبی را بر اساس پنج رویکرد بنیادین توسعه پایدار (SSP^۱)، توسعه مبتنی بر سیاست‌های بینابین (SSP^۲)، گسترش رقابت منطقه‌ای (SSP^۳)، نابرابری (SSP^۴) و توسعه کاربرد سوخت‌های فسیلی (SSP^۵) توصیف می‌کنند (O'Neill et al, ۲۰۱۷).

سناریوهای خط سیرهای مشترک اجتماعی - اقتصادی (SSPs) گروه جدید از سناریوها انتشار غیر اقلیمی ناشی از مدل‌های جفت شده فاز ششم تغییر اقلیم (CMIP^۶) در راستای گزارش ششم ارزیابی تغییر اقلیم (AR^۶) می‌باشند. این سناریوها به هدف ارائه پیش‌آگاهی‌هایی در مسیر مشترک اجتماعی - اقتصادی عرضه شده‌اند. این سناریوها تغییرات جایگزین احتمالی در جنبه‌های اجتماعی مانند عوامل جمعیتی، اقتصادی، فناوری، اجتماعی، حاکمیت و عوامل محیطی را بر اساس تجزیه و تحلیل - های یکپارچه‌ای از تأثیرات اقلیمی، آسیب‌پذیری، سیاست‌های مرتبط با سازگاری و تعدیل توصیف می‌کنند (O'Neill et al, ۲۰۱۶). این

جدول ۳- تمام سناریوهای مورد استفاده در مجموعه آزمایشی ScenarioMIP به همراه ویژگی‌های مرتبط آن‌ها (Gidden et al. ۲۰۱۹).

Scenario name	SSP	Target forcing level(Wm ^{-۲})	Scenario type	Tier	IAM	Contributing to other MIPs
SSP ^۱ -۱,۹	۱	۱.۹	Mitigation	۲	IMAGE	ScenarioMIP
SSP ^۱ -۲,۶	۱	۲.۶	Mitigation	۱	IMAGE	ScenarioMIP
SSP ^۲ -۴,۵	۲	۴.۵	Mitigation	۱	MESSAGE-GLOBIOM	ScenarioMIP, VIACS AB, CORDEX, GeoMIP, DAMIP, DCPD
SSP ^۳ -۷,۰	۳	۷	Baseline	۱	AIM/CGE	ScenarioMIP, AerChemMIP, LUMIP
SSP ^۲ -LowNTCF	۳	۶.۳	Mitigation	۲	AIM/CGE	ScenarioMIP, AerChemMIP, LUMIP
SSP ^۴ -۳,۴	۳	۳.۴	Mitigation	۲	GCAM ^۴	ScenarioMIP
SSP ^۴ -۶,۰	۴	۶	Mitigation	۲	GCAM ^۴	ScenarioMIP, GeoMIP
SSP ^۵ -۳,۴-OS	۴	۳.۴	Mitigation	۲	REMIND-MAGPIE	ScenarioMIP
SSP ^۵ -۸,۵	۵	۸.۵	Baseline	۱	REMIND-MAGPIE	ScenarioMIP, C ^۴ MIP, GeoMIP, ISMIP ^۶ , RFMIP

برای تعیین دقت هر یک از مدل‌های CMIP^۶، نتایج شبیه‌سازی بارش و دما هر حوضه در دوره تاریخی با آمار مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. در این مرحله، از سنجه آماری کلینگ - گوپتا (KGE) برای

• رتبه‌بندی مدل‌های GCM براساس دقت در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی

$$\Delta P_m = \frac{P_m(2021-2100)}{P_m(1988-2018)} \quad (9)$$

که در روابط فوق، ΔT_m و ΔP_m متوسط ۸۰ ساله تغییرات دما و بارش پیش‌بینی شده توسط هر یک از مدل‌های AOGCM در هر یک از سناریوهای انتشار ۲,۶-SSP۱, ۴,۵-SSP۲ و ۸,۵-SSP۵ هستند (Semenov, ۲۰۰۸: ۲۰۴).

• روش آرایی

روش آرایی بر مبنای رویکردهای مختلفی مانند نگاشت توزیع احتمال، نگاشت توابع توزیع تجمعی تجربی، نگاشت چندک و نگاشت توزیع چگالی کذرنال ارائه شده (McGinnis et al, ۲۰۱۵) که در مطالعات متعدد جهت ارزیابی بارش‌هایی شبکه‌ای و ثبت شده استفاده می‌شود. این روش با تصحیح میانگین، انحراف استاندارد و چندک‌ها با یکسان سازی توابع توزیع خروجی‌های مدل و داده‌های مشاهداتی کار می‌کند. در روش آرایی فرض بر این است که بارش شبیه سازی شده و مشاهده شده، توزیع پیشنهادی یکسانی را دنبال می‌کنند که به نوبه خود ممکن است باعث ایجاد آرایی گردد. بر این اساس برای توزیع رویدادهای بارشی، غالباً توزیع گاما به شکل α و مقیاس β استفاده می‌شود (Gunavathi & Selvasidhu, ۲۰۲۱; Yeboah et al, ۲۰۲۲).

$$f_Y(x|\alpha, \beta) = x^{\alpha-1} \times \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \times e^{-\frac{x}{\beta}}; \geq \quad (10) \quad ; \alpha, \beta > 0$$

در این معادله، f_Y تابع توزیع گاما، α متغیر تصادفی، β نشان دهنده تابع گاما است و α و β به ترتیب، شکل و مقیاس پارامتری هستند که برای هر توزیع گاما با استفاده از تخمین حداکثر درست‌نمایی تعیین می‌شود. e نیز عدد ثابت اولیر (۲/۷۱۸۲۲۸) یک ثابت مهم است که در بسیاری از زمینه‌ها یافت می‌شود و پایه لگاریتم‌های طبیعی است (Teutschbein & Seibert, ۲۰۱۲). قبل از اجرای روش آرایی، روش مقیاس گذاری شدت محلی برای تعیین روزهای مرطوب با استفاده از آستانه‌های خاص اعمال می‌شود؛ سپس خروجی‌های مدل بر حسب تابع توزیع تجمعی گاما (F_Y) و تابع معکوس آن (F_Y^{-1}) مطابق روابط و تصحیح می‌گردند:

$$P_{control}^*(d) = (F_Y(P_{control}(d)|\alpha_{control,m}, \beta_{control,m}) | \alpha_{observed,m}, \beta_{observed,m}) \quad (11)$$

$P_{control}^*(d) = (F_Y(P_{scenario}(d)|\alpha_{control,m}, \beta_{control,m}) | \alpha_{observed,m}, \beta_{observed,m})$ در روابط بالا، منظور از $P_{control}$ و $P_{scenario}$ بارش ثبت شده و شبکه است. همچنین P^* نشان دهنده آرایی تصحیح شده، P بارش و d سری زمانی روزانه است. f_Y^{-1} نیز به ترتیب توابع توزیع تجمعی گاما (CDF_S) و معکوس آن‌ها را نشان می‌دهد.

• پیش‌بینی دما و بارش دوره آتی در مقیاس ایستگاه‌های منتخب

تعیین میزان دقت هر مدل (روابط) استفاده شد. این سنجه در عین سادگی، آماره میانگین، انحراف معیار و ضریب همبستگی سری داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی حاصل از مدل را لحاظ کرده و وزن دهی براساس این سنجه می‌تواند کمک شایانی را در افزایش دقت نتایج تصویرسازی مدل‌ها داشته باشد. هر چه میزان این سنجه به ۱ نزدیک‌تر باشد، توانایی مدل GCM در شبیه‌سازی دما و بارش دوره تاریخی بهتر خواهد بود. (Knoben et al, ۲۰۱۹).

مبنای این مدل‌ها، توانایی آن‌ها در شبیه‌سازی مقادیر مشاهداتی دوره پایه (۱۹۸۸ - ۲۰۱۸) بوده. وزن دهی این مدل‌ها براساس روابط ذیل صورت گرفت:

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

که در آن:

$$a = \frac{\sigma_s}{\sigma_o} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\mu_s}{\mu_o} \quad (3)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \right]^2 \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \quad (5)$$

در این رابطه S_i و O_i به ترتیب مقادیر داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش یا دما در هر ماه، \bar{S} و \bar{O} میانگین داده‌های شبیه سازی شده، σ_s و σ_o میانگین داده‌های مشاهده شده، μ_s و μ_o ضریب همبستگی پیرسون، R^2 ضریب همبستگی مشاهده شده و مشاهداتی و KGE شاخص ترکیبی کلینگ - گویتا هستند. مقادیر این شاخص بین ۰-۱ متغیر بوده و هر چقدر به یک نزدیک‌تر باشد تطابق بین داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده بیشتر خواهد بود (Patil et al, ۲۰۱۵).

• تعیین وزن (وزن دهی) مدل‌های GCM در ایستگاه‌های منتخب

باهدف کاهش عدم قطعیت در نتایج حاصل از مدل‌های CMIP۶ این مدل‌ها بر مبنای دقت محاسبه شده در مراحل قبل بر اساس معادله (۶) وزن دهی شدند (Chen et al, ۲۰۱۱).

$$W_m = \frac{1/1-KGM_m}{\sum_{m=1}^y (1/1-KGM_m)} \quad (6)$$

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 (۲۱۰۰ - ۲۰۲۱) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۸ - ۲۰۱۸) برای هر ماه از رابطه ۷ تا ۱۰ محاسبه شد:

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

$$\Delta P = \sum_{m=1}^y (W_m \times \Delta P_m) \quad (8)$$

کمینه، دمای بیشینه و بارش ۸۰ سال آینده استان خراسان رضوی تعیین شود.

• نتایج

رتبه بندی مدل های CMIP^۶ بر اساس توانایی شبیه سازی در دوره تاریخی

(جدول ۴ -) مقادیر محاسبه شده شاخص KGE را بر اساس توانایی مدل های AOGCM مختلف برای برآورد دمای ایستگاه های سینوپتیک در دوره پایه (۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸) ارائه داده است. نتایج نشان می دهد که در ایستگاه های سینوپتیک مختلف، توانایی مدل های AOGCM در برآورد دما و بارش دوره پایه با یکدیگر متفاوت بوده است.

جدول ۴- مقادیر KGE مدل های برتر در شبه سازی دما و بارش در استان آذربایجان شرقی

ایستگاه	دما		بارش	
	مدل برتر	شاخص KGE	مدل برتر	شاخص KGE
مشهد	CESM ^۲	-۰/۹۴	HadGEM ^۳ -GC	-۰/۶۱
گناباد	CESM ^۲	-۰/۹۷	HadGEM ^۳ -GC	-۰/۵۹
قوچان	CESM ^۲	-۰/۹۶	HadGEM ^۳ -GC	-۰/۶۳
سرخس	CESM ^۲	-۰/۹۸	HadGEM ^۳ -GC	-۰/۵۱
سبزوار	CESM ^۲	-۰/۹۷	HadGEM ^۳ -GC	-۰/۵۳
تریت حیدریه	CESM ^۲	-۰/۹۳	HadGEM ^۳ -GC	-۰/۵۳
تریت جام	CESM ^۲	-۰/۹۶	HadGEM ^۳ -GC	-۰/۵۲

مقادیر شاخص KGE محاسبه شده برای بررسی توانایی مدل های مختلف در برآورد بارش در دوره پایه بر اساس جدول ۴) مدل HadGEM^۳-GC را نشان داد. در مقابل مدل GISS-E^۲-1-G کمترین قابلیت را در برآورد بارش دوره پایه در تمامی ایستگاه های سینوپتیک داشته است.

جدول ۵ و شکل ۲۲ مشاهده می شود، شاهد افزایش بارش طی ۸۰ سال آتی برای هر سه سناریو SSP^۱-۲,۶, SSP^۲-۴,۵, SSP^۵-۸,۵ و در کل استان خراسان رضوی نسبت به دوره پایه خواهیم بود.

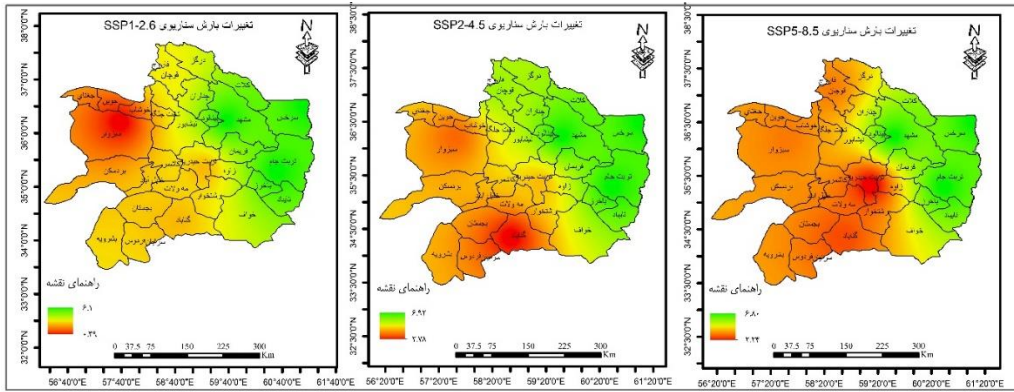
پس از ارزیابی و وزن دهی مدل ها که در مراحل پیش انجام شد، به منظور پیش بینی تغییرات دما و بارش استان خراسان رضوی در طی ۸۰ سال آینده (۲۱۰۰ - ۲۰۲۱)، متغیرهای دما و بارش مدل های مختلف CMIP^۶ تحت سناریوهای انتشاری (SSP^۱-۲,۶, SSP^۲-۴,۵, SSP^۵-۸,۵) استخراج شد. سپس نتایج مدل ها (سری های زمانی بارش و دمای کمینه و بیشینه) بر اساس وزن های محاسبه شده برای هر ایستگاه سینوپتیک ترکیب شدند؛ به طوری که برای هر ایستگاه سینوپتیک و هر سناریو انتشار، یک سری زمانی بارش و یک سری دمای بیشینه و کمینه حاصل شد. در مرحله بعد، از سری زمانی میانگین گیری شده و برای هر سناریو یک مقدار متوسط تعیین شد. در مرحله آخر، میانگین سری های زمانی بارش و دمای کمینه و بیشینه دوره آتی در هر سناریو با ترکیب نتایج مدل ها در دوره پایه (تاریخی) مقایسه شدند تا میزان تغییرات دما

در حالت کلی مدل CESM^۲، بالاترین دقت را در برآورد دمای دوره پایه در تمامی ایستگاه های سینوپتیک از خود نشان داده است. از طرف دیگر در ایستگاه های مورد مطالعه، مدل MIROC^۶ کمترین توانایی را در شبیه سازی دمای دوره پایه در میان تمامی مدل های AOGCM از خود نشان داد.

• تغییرات بارش طی دوره آتی (۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰) در استان خراسان رضوی

بررسی تغییرات بارش طی ۸۰ سال آتی توسط مقایسه مقدار بارش در هر سناریو SSP با متوسط دوره پایه صورت گرفت. همان گونه که در جدول ۵- دامنه تغییرات بارش دوره آتی (۲۰۲۰ - ۲۱۰۰) تحت سناریوهای SSP^۱-۲,۶, SSP^۲-۴,۵, SSP^۵-۸,۵

ایستگاه سناریو	مشهد	گناباد	قوچان	سرخس	سبزوار	تریت حیدریه	تریت جام
SSP ^۱ -۲,۶	۶/۰۵	۲/۶۴	۳/۲۰	۵/۵۸	۰/۴۰	۲/۴۸	۶/۱۶
SSP ^۲ -۴,۵	۶/۹۹	۲/۷۸	۵/۷۹	۶/۹۲	۳/۵۰	۴/۳۲	۶/۵۲
SSP ^۵ -۸,۵	۶/۸۰	۲/۸۲	۳/۳۳	۵/۸۲	۳/۳۱	۳/۲۴	۵/۶۵



شکل ۲- تغییرات بارش طی دوره (۲۰۲۰-۲۱۰۰) تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به درصد

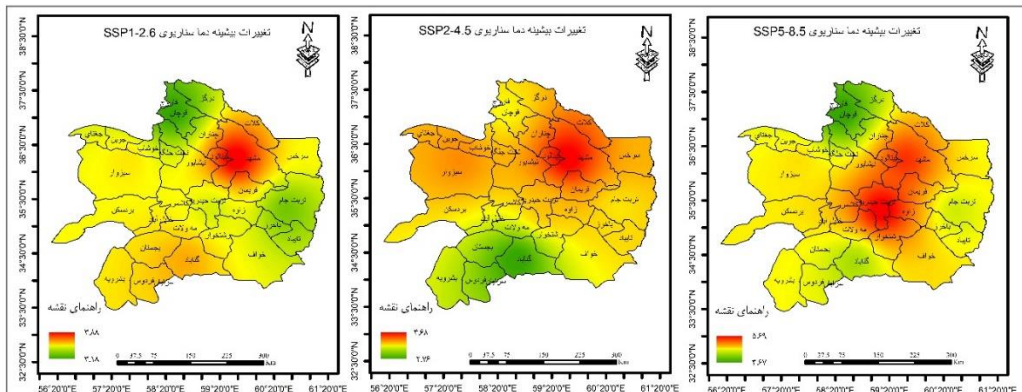
• تغییرات دما طی دوره آتی (۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰) در استان خراسان رضوی

با توجه به جدول (۶) و نقشه دمای بیشینه (شکل ۳ - ۳) تحت تمامی سناریوها در کل استان خراسان رضوی مقدار دمای بیشینه نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. ولی مقدار این افزایش در ایستگاه‌های مختلف متفاوت می‌باشد. تحت تمامی سناریوها، بیشترین مقدار افزایش مربوط به ایستگاه مشهد با ۳/۸۸، ۴/۶۸ و ۶/۴۵ درجه سلسیوس برای سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 می‌باشد. درحالی‌که کمترین مقدار افزایش دما بیشینه تحت دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP2-4.5 مربوط به ایستگاه قوچان (۳/۱۸ و ۳/۹۷) و تحت سناریوی SSP5-8.5 مربوط به ایستگاه گناباد (۲/۷۶) است.

با توجه به نتایج سناریوی SSP1-2.6 به‌عنوان سناریوی خوش‌بینانه بارش در مناطق مختلف استان از ۶/۱۶ درصد در ایستگاه تربت جام تا ۰/۴۰ درصد در ایستگاه سبزوار افزایشی خواهد بود. همچنین بر اساس این سناریو و طبق نقشه (شکل ۲ - ۲) مناطق جنوبی بیشترین افزایش بارش را خواهند داشت. طبق سناریوی SSP2-4.5 بیشترین افزایش بارش با ۶/۹۹ درصد مربوط به ایستگاه مشهد و کمترین افزایش بارش از آن ایستگاه سبزوار با ۳/۵۰ درصد خواهد بود. با توجه به سناریوی SSP5-8.5 که به‌عنوان سناریوی بدبینانه، بارش در این سناریو در کلیه ایستگاه‌ها حالت افزایشی دارد و ایستگاه مشهد با ۶/۸۰ درصد و ایستگاه گناباد با ۲/۸۲ دو درصد بیشترین و کمترین افزایش بارش را شاهد خواهند بود.

جدول ۶- دامنه تغییرات بیشینه دما دوره آتی (۲۰۲۰-۲۱۰۰) تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5

ایستگاه سناریو	مشهد	گناباد	قوچان	سرخس	سبزوار	تربت حیدریه	تربت جام
SSP1-2.6	۳/۸۸	۳/۶۳	۳/۱۸	۳/۵۳	۳/۵۵	۲/۴۷	۳/۲۲
SSP2-4.5	۴/۶۸	۲/۷۶	۳/۷۳	۳/۹۸	۴/۱۲	۳/۹۴	۳/۸۱
SSP5-8.5	۶/۴۵	۵/۹۵	۳/۹۷	۵/۷۳	۵/۹۴	۵/۷۰	۵/۵۰



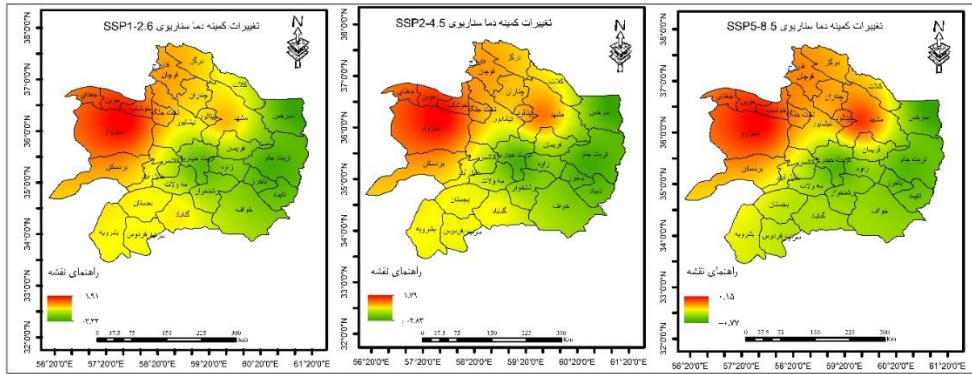
شکل ۳- تغییرات دمای بیشینه طی دوره (۲۰۲۰-۲۱۰۰) تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5

تحت تمام سناریوها در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ مقدار میانگین دما کمینه نسبت به دوره پایه بر خلاف بیشینه دما کاهش پیدا کرده است. تحت تمام سناریوها، بیشترین کاهش مربوط به ایستگاه سرخس با ۳/۳۳-، ۲/۸۴- و ۰/۷۸- درجه سلسیوس برای سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 می‌باشد. کمترین تغییر دما کمینه در استان برای هر سه سناریوی پیش بینی شده مربوط به ایستگاه سبزوار با ۱/۹۱-، ۱/۷۹- و ۰/۱۶- درجه سلسیوس است.

تحت تمام سناریوها در دوره ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ مقدار میانگین دما کمینه نسبت به دوره پایه بر خلاف بیشینه دما کاهش پیدا کرده است. تحت تمام سناریوها، بیشترین کاهش مربوط به ایستگاه سرخس با ۳/۳۳-، ۲/۸۴- و ۰/۷۸- درجه سلسیوس برای سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 می‌باشد. کمترین تغییر دما کمینه در استان برای هر سه سناریوی پیش بینی شده مربوط به ایستگاه سبزوار با ۱/۹۱-، ۱/۷۹- و ۰/۱۶- درجه سلسیوس است.

جدول ۷- دامنه تغییرات کمینه دما دوره آتی (۲۱۰۰ - ۲۰۲۰) تحت سناریوهای SSP۱-۲,۶، SSP۲-۴,۵، و SSP۵-۸,۵

ایستگاه سناریو	مشهد	گناباد	قوچان	سرخس	سبزوار	تربت حیدریه	تربت جام
SSP۱-۲,۶	-۲/۴۲	-۲/۵۶	-۲/۳۶	-۳/۳۳	-۱/۹۱	-۳/۱۲	-۳/۲۱
SSP۲-۴,۵	-۲/۰۴	-۲/۲۹	-۲/۱۱	-۲/۸۴	-۱/۷۹	-۲/۷۳	-۲/۷۶
SSP۵-۸,۵	-۰/۰۵	-۰/۴۴	-۰/۰۹	-۰/۷۸	۰/۱۶	-۰/۶۵	-۰/۶۵



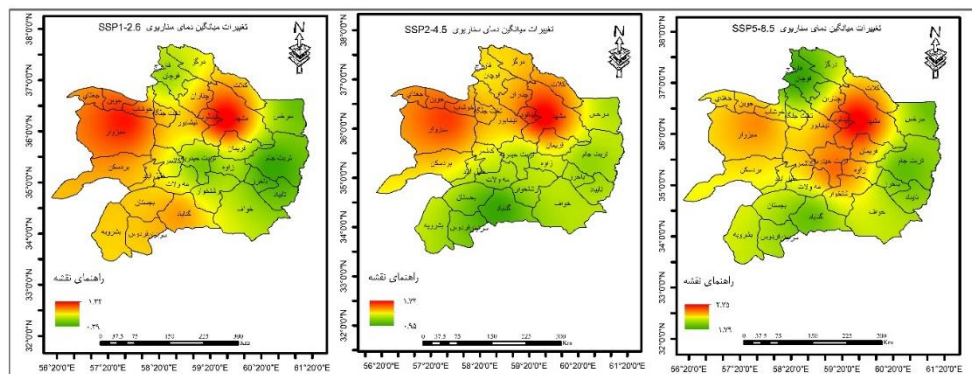
شکل ۴- تغییرات دمای کمینه طی دوره (۲۱۰۰ - ۲۰۲۰) تحت سناریوهای SSP۱-۲,۶، SSP۲-۴,۵، و SSP۵-۸,۵

درجه سلسیوس (سناریوی SSP۱-۲,۶) در ایستگاه گناباد تا ۲/۷۵ درجه سلسیوس (سناریوی) SSP۵-۸,۵ در ایستگاه مشهد افزایش خواهد یافت. به طور کلی و با بررسی نقشه تغییرات دما میانگین () طی ۸۰ سال آتی در استان خراسان رضوی می‌توان نتیجه گرفت که مناطق غرب و مرکز استان بیشترین افزایش دما را تجربه خواهند کرد و در مناطق جنوبی و شرق کمترین افزایش دما اتفاق خواهد افتاد.

با مقایسه مقدار سری زمانی دما در هر سناریوی SSP با متوسط نتایج دوره‌های پایه، تغییرات دمای ۸۰ سال آتی (۲۱۰۰ - ۲۰۲۰)، استان خراسان رضوی به دست آمد. در شکل (۵) تغییرات دمای استان خراسان رضوی طی ۸۰ سال آتی نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای SSP۱-۲,۶، SSP۲-۴,۵، و SSP۵-۸,۵ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که افزایش دما، پدیده غالب در تمام مناطق استان طی دوره آتی خواهد بود. بر این اساس دمای مناطق مختلف استان از حدود ۰/۲۹

جدول ۸- دامنه تغییرات کمینه دما دوره آتی (۲۱۰۰ - ۲۰۲۰) تحت سناریوهای SSP۱-۲,۶، SSP۲-۴,۵، و SSP۵-۸,۵

ایستگاه سناریو	مشهد	گناباد	قوچان	سرخس	سبزوار	تربت حیدریه	تربت جام
SSP۱-۲,۶	۱/۳۲	۰/۲۹	۰/۸۱	۰/۵۷	۱/۱۷	۰/۶۰	۰/۵۲
SSP۲-۴,۵	۱/۷۸	۱/۵۷	۱/۳۳	۱/۲۴	۱/۷۳	۱/۲۷	۱/۱۴
SSP۵-۸,۵	۲/۷۵	۱/۹۵	۱/۷۹	۱/۹۵	۲/۴۷	۲/۵۲	۱/۹۳



شکل ۵- تغییرات دمای میانگین طی دوره (۲۱۰۰ - ۲۰۲۰) تحت سناریوهای SSP۱-۲,۶، SSP۲-۴,۵، و SSP۵-۸,۵

۴- نتیجه گیری

خروجی مدل‌های گردش عمومی جو از نظر تفکیک پذیری زمانی و مکانی، در حدود ده‌ها کیلومتر در مقیاس روزانه و ماهانه است که در مقایسه با فرایندهای اقلیمی بزرگ مقیاس می‌باشند. علاوه بر این، شبیه سازی‌های GCM در هر دو مقیاس زمانی و مکانی دارای عدم قطعیت در پارامتر سازی فرایندها هستند، بنابراین نمی‌توان به‌طور مستقیم از خروجی این مدل‌ها در مطالعات تغییر اقلیم استفاده کرد. لذا مقیاس نمایی و تصحیح اریبی شبیه‌سازی‌های GCM برای به دست آوردن اطلاعات در مقیاس مناسب ضروری است. از این‌رو، پژوهش حاضر دقت مدل‌های CMIP^۶ که به‌تازگی توسط IPCC منتشر شده‌اند، برای شبیه‌سازی دما و بارش استان خراسان رضوی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، خروجی مدل‌های GCM طی دوره ۲۰۱۸ - ۱۹۸۸ استخراج شد و دقت آن‌ها براساس داده‌های مشاهداتی هفت ایستگاه سینوپتیک (مشهد، گناباد، قوچان، سرخس، سبزوار، تربیت حیدریه و تربت جام) با استفاده از شاخص کینگ - گوپتا (KGE) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای برآورد دما مدل GEM^۲ و برای متغیر

بارش مدل HadGEM^۳-GC بالاترین دقت را از خود نشان داده است و همچنین بر اساس این شخص مشخص شد که در مدل‌های CMIP^۶ دما نسبت به بارش از دقت بالاتری برخوردار است. نتایج شبیه‌سازی متغیر بارش توسط مدل‌های اقلیمی CMIP^۶ تحت سه سناریوی SSP۱-۲,۶، SSP۲-۴,۵ و SSP۵-۸,۵ در طی دوره آبی (۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰) برای استان خراسان رضوی نشان داد که در تمامی ایستگاه‌های این استان شاهد افزایش بارش از ۰/۴۰ درصد تا ۶/۸ درصد خواهیم بود که بیشتر افزایش بارش در شرق استان رخ خواهد داد و کمترین افزایش بارش در مرکز استان خواهد بود. میانگین دما در تمام نقاط استان تحت سناریوهای CMIP^۶ از ۰/۲۹ درجه سلسیوس تا ۲/۷۵ درجه سلسیوس خواهد بود که بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه‌های مشهد و سبزوار خواهد بود. مقایسه پژوهش‌های مختلفی که بر اساس مدل‌های گزارش پنجم انجام شده است نشان داد که در برخی از تحقیقات انجام شده (باغبانان و همکاران، ۱۴۰۰) افزایش دما و بارش با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

منابع

- انصاری مهابادی، ث، دهبان، ح، زارعیان، م ج، فرخ نیا، اشکان، ۱۴۰۱، بررسی روند تغییرات دما و بارش حوزه‌های آبریز ایران در افق ۲۰ سال آینده بر اساس برون داد مدل‌های CMIP^۶، مجه پژوهش آب ایران، جلد ۱۶، شماره ۱، ص ۲۴ - ۱۱.
- باغبانان، پ، احمد آبادی، ع، کریمی، آو. ۱۴۰۰، بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر تغییرات هیدرولوژی حوزه آبریز حبله رود، نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، سال دوم، شماره ۵، ص ۴۰ - ۲۷.
- دهقانی، م، کاویان، ع، حبیب نژاد روشن، م، جعفریان جلودار، ز، ۱۴۰۰، ارزیابی عدم قطعیت مدل‌های منطقه‌ای تغییر اقلیم و روش‌های تصحیح خطا و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی شهرستان بیرجند، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، دوره ۱۲ شماره ۲۳، ص ۵۳ - ۴۲.
- سربابی، م، دستورانی، م ت، زرین، آ، ۱۳۹۹، بررسی تغییرات اقلیم آینده بر وضعیت دما و بارش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد طرق مشهد)، نشریه هواشناسی و علوم جو، جلد ۳، شماره ۱، ص ۸۳ - ۶۳.
- مسعودی، م، عصار، ز، ۱۳۹۶، ارزیابی خشکسالی و تغییر اقلیم در استان خراسان رضوی، مجله علمی و ترویجی نیوار، شماره ۹۸ - ۹۹، ص ۷۲ - ۶۱.
- Almazroui, M., Islam, M. N., Saeed, F., Saeed, S., Ismail, M., Ehsan, M. A., & Barlow, M. (۲۰۲۱). Projected changes in temperature and precipitation over the United States, Central America, and the Caribbean in CMIP^۶ GCMs. *Earth Systems and Environment*, ۵(۱), ۱-۲۴.
- Bai, H.; Xiao, D.,.; Wang, B.; Liu, D. L.; Feng, P. and Tang, J. (۲۰۲۰). Multi-model ensemble of CMIP^۶ projections for future extreme climate stress on wheat in the North China Plain, *International Journal of Climatology*, ۴۰: ۲۱-۳۹.
- Chen W. Jiang Z. and Li L. (۲۰۱۱). Probabilistic projections of climate change over China under the SRES A^۱B scenario using ۲۸ AOGCMs. *Journal of Climate*. ۲۴(۱۷): ۴۷۴۱-۴۷۵۶.
- Chen, C., Kalra, A., & Ahmad, S. (۲۰۱۹). Hydrologic responses to climate change using downscaled GCM data on a watershed scale. *Journal of Water and Climate Change*, ۱۰(۱), ۶۳-۷۷.
- Estoque R. C. Ooba M. Togawa T. and Hijioka Y. ۲۰۲۰. Projected land-use changes in the Shared Socioeconomic Pathways: Insights and implications. *Ambio*. ۴۹(۱۲): ۱۹۷۲-۱۹۸۱.
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (۲۰۱۶). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase ۶ (CMIP^۶) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development (Online)*, ۹ (LLNL-JRNL-۷۳۶۸۸۱).
- Gunavathi, S., Selvasidhu, R. (۲۰۲۱). Assessment of Various Bias Correction Methods on Precipitation of Regional Climate Model and Future Projection, *Research Square*, doi:۱۰.۲۱۲۰۳/rs.۳.rs-۳۳۹۰۸۰/v۱.
- IPCC (۲۰۱۳). *Climate Change ۲۰۱۳: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- IPCC, ۲۰۲۱. Summary for Policymakers. In: *Climate Change ۲۰۲۱: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]*. Cambridge University Press. ۲۲. Li, X., Pijcke, G., Babovic
- Khan, A. J.,.; Koch, M., & and Tahir, A. A. (۲۰۲۰). Impacts of Climate Change on the Water Availability, Seasonality and Extremes in the Upper Indus Basin (UIB). *Sustainability*, ۱۲(۴), : ۱۲۸۳.
- Knoben, W. J., J. E. Freer and R. A. Woods. ۲۰۱۹. Inherent benchmark or not? Comparing Nash-Sutcliffe and Kling-Gupta efficiency scores. *Hydrology and Earth System Sciences* ۲۳(۱۰): ۴۳۲۳-۴۳۳۱.
- McGinnis, S., Nychka, D., Mearns, L. O. (۲۰۱۵). A new distribution mapping technique for climate model bias correction. In *Machine learning and data mining approaches to climate science* (pp. ۹۱-۹۹). Springer, Cham.
- Ngoma, H., Wen, W., Ayugi, B., Babaousmail, H., Karim, R., & Ongoma, V. (۲۰۲۱). Evaluation of precipitation simulations in CMIP^۶ models over Uganda. *International Journal of Climatology*, ۴۱(۹), ۴۷۴۳-۴۷۶۸.

- O'Neill B. C. Kriegler E. Ebi K. L. Kemp Benedict E. Riahi K. Rothman D. S. van Ruijven B. J. van Vuuren D.P. Birkmann J. Kok K. and Levy M. ۲۰۱۷. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the ۲۱st century. *Global Environmental Change*, ۴۲: ۱۶۹-۱۸۰.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., ... & Solecki, W. ۲۰۱۷. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the ۲۱st century. *Global Environmental Change*, ۴۲, ۱۶۹-۱۸۰.
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Vuuren, D. P. V., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... & Meehl, G. A. (۲۰۱۶). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP۶. *Geoscientific Model Development*, ۹ (۹), ۳۴۶۱-۳۴۸۲.
- Patil, S. D. and M. Stieglitz. ۲۰۱۵. Comparing spatial and temporal transferability of hydrological model parameters. *Journal of Hydrology* ۵۲۵: ۴۰۹-۴۱۷.
- Qin, J., Su, B., Tao, H., Wang, Y., Huang, J., Jiang, T. (۲۰۲۱). Projection of temperature and precipitation under SSPs-RCPs Scenarios over northwest China. *Frontiers of Earth Science*, ۱۵(۱), pp ۲۲-۳۷.
- Rogelj J. Popp A. Calvin K.V. Luderer G. Emmerling J. Gernaat D. Fujimori S. Streffer J. Hasegawa T. Marangoni G. and Krey V. ۲۰۱۸. Scenarios towards limiting global mean temperature increase below ۱,۵ C. *Nature Climate Change*. ۸(۴): ۳۲۵.
- Scheffers, B. R., De Meester, L., Bridge, T. C., Hoffmann, A. A., Pandolfi, J. M., Corlett, R. T and Pacifici, M. (۲۰۱۶). The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*, ۳۵۴, ۷۱۹-۷۳۰.
- Semenov, M. A. ۲۰۰۸. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research* ۳۰(۳): ۲۰۳-۲۱۲.
- Srivastava, A., Grotjahn, R., Ullrich, P.A. ۲۰۲۰. Evaluation of historical CMIP۶ model simulations of extreme precipitation over contiguous US regions, *Weather and Climate Extremes*, ۲۹, ۱۰۰۲۶۸.
- Teutschbein, C., Seibert, J. (۲۰۱۲). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, ۴۵۶, pp ۱۲-۲۹.
- Urban, M. C. (۲۰۱۵). Accelerating extinction risk from climate change. *Science*, ۳۴۸, ۵۷۱-۵۷۳.
- Vogel, M. M., ; Hauser, M., & Seneviratne, S. I. (۲۰۲۰). Projected changes in hot, dry and wet extreme events' clusters in CMIP۶ multi-model ensemble. *Environmental Research Letters*, ۱۵(۹),: ۰۹۴۰۲۱
- Yeboah, K. A., Akpoti, K., Kobo-bah, A. T., Ofori, E. A., Siabi, E. K., Mortey, E. M., Okyereh, S. A. (۲۰۲۲). Assessing climate change projections in the Volta Basin using the CORDEX-Africa climate simulations and statistical bias correction. *Environmental Challenges*, ۶, pp ۱-۱۸.
- Zamani, R., Ali, A. M. A., & Roozbahani, A. (۲۰۲۰). Evaluation of adaptation scenarios for climate change impacts on agricultural water allocation using Fuzzy MCDM Methods. *Water Resources Management*, ۳۴(۳), ۱۰۹۳-۱۱۱۰.

Precipitation and temperature zoning of Khorasan Razavi province using data from the sixth climate change report (CMIP^۶)

Nazli Zanoouzi Alamdari^۱, Behrouz Sobhani^{۲*}, Mehdi Islahi^۳, Masihollah Mohammadi^۴

^۱- Doctoral student of hydrology and meteorology, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University

^{۲*}- Professor of Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University

^۳- Ph.D. in Hydrology and Meteorology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil

^۴- Ph.D. in Hydrology and Meteorology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil

*Email Address: sobhaniardabil@gmail.com

Abstract

Introduction

The ongoing climate change will change all aspects of biological systems, from genetics to ecosystems (Scheffers et al. ۲۰۱۶, ۷۲۴). By ۲۱۰۰, climate change will make extinct one sixth of animal and plant species and will change the abundance and distribution of many remaining species, which will result in new communities (Urban, ۲۰۱۵, ۵۷۳). Based on this, it will be very important to investigate the annual and decade changes of average temperature and precipitation at the regional level. It is also important to understand how temperature changes and related indicators such as heat stress in different time scales in order to make informed decisions regarding economic development and climate action plans (CAP). One of the main sources of data for the study of climate change are general circulation models (GCM), which are widely used to monitor and predict past and future climate change (Khan et al. ۲۰۲۰). GCMs have a remarkable ability to simulate temperature and precipitation. However, they also have limitations. Among these limitations are systematic errors in reproducing average temperature and precipitation, especially in areas with complex topography, such as Iran (IPCC, ۲۰۱۳). In this context, IPCC, as the most important reference for researches and forecasts related to climate change, has so far presented several generations of emission surveys and based on the results of different climate change modeling, six climate change assessment reports. has published. In the recent IPCC report, the latest climate change models are called CMIP^۶ series, which simulate the future climate under ssp emission scenarios (IPCC, ۲۰۲۱). The final version of the CMIP^۶ model design was confirmed by the two CMIP working groups and the WGCM coupled model work group in October ۲۰۱۴, and the complete results and various models are expected to be published before the end of ۲۰۲۲. The scenarios of the sixth report are a combination of socio-economic trajectories (ssp) (sustainable development sp^۱, development based on intermediate policies sp^۲, regional competition sp^۳, inequality sp^۴, and fossil fuel development sp^۵) and greenhouse gas concentration trajectory different levels of coercion) are produced; So that they provide the possibility of feedback analysis between changes and socio-economic factors such as global population growth, economic development and technological progress.

Methodology

In this report, eight scenarios are presented in two rows. The first row includes the new scenarios SSP۱-۲.۶, SSP۲-۴.۵ and SSP۵-۸.۵, which are respectively the updated scenarios of the forcing levels RCP۲.۶, RCP۴.۵ and RCP۸.۵ of the fifth report. The SSP۱-۲.۶ scenario shows the lowest level of radiative

emissions; SSP^{۲-۴,۵} considers the average forcing level and SSP^{۵-۸,۵} presents the upper limit of radiative forcing (Stock et al. ۲۰۲۰, Rogelj et al. ۲۰۱۸). In addition to these three scenarios, the non-decreasing forcing scenario (SSP^{۳-۷,۰}) with high emission of suspended particles and land use change has been added in this group. In the second row, two mitigation scenarios have been added to achieve a relatively low forcing output and one scenario considering limiting the average global temperature to below ۱,۵ degrees Celsius compared to forcing levels over industrialization and a scenario with a very high trajectory. GCM models are the best tools for investigating the effects of climate change on weather parameters. These models are three-dimensional and are able to model and produce atmospheric and oceanic parameters for a long-term period on a global or continental scale, taking into account the approved IPCC scenarios (Chen et al., ۲۰۱۹). Considering the importance of uncertainty analysis, evaluation and selection of GCMs based on their performance in simulating climate variables is a method that can be used to select the best models and reduce uncertainties (Zamani et al., ۲۰۲۰). The importance of water in Razavi Khorasan Province led the current research to reveal the trend of spatial and temporal changes of precipitation and temperature in the region in current conditions and also to evaluate the performance of CMIP^۶ models in reproducing annual and seasonal precipitation under the combined scenarios of common socio-economic paths (SSPs).) to be concentrated in the future climate. Forecasting climate change plays an essential role in improving the understanding of the climate system and also identifying its social risks in the future. cmip^۶ activities focused on scenarios were formed in ۲۰۱۳ among climate communities. The Scientific Steering Committee of ScenarioMIP for this project was formed from the ۱۷th meeting of the World Climate Research Working Group (WCRP) in October ۲۰۱۳ in Victoria, Canada. The main activity in Phase ۶ of the Coupled Model Cross Project (CMIP^۶) is the Scenario Cross Project (ScenarioMIP). that the prediction of these climate models is a combination of a new set of release and land use scenarios produced by IAMs models based on the common socio-economic trajectories (SSP) of the future (which includes elements such as population, economic growth, urbanization, age, education and...) and is related to RCPs greenhouse gas concentration scenarios. This new structure provides two important elements in the designed space of scenarios, first: it standardizes all the socio-economic assumptions in each scenario, and secondly, it allows for a more detailed examination of various trajectories that can be It achieves the future climate results. The climate forecast of the CMIP^۶ project is different from the CMIP^۵ projects due to the production of updated versions of climate models and the use of SSP-based scenarios based on the updated data in the process of publication. The scenarios of joint socio-economic trajectories (SSPs) are the new group of scenarios of non-climate emissions resulting from coupled models of the sixth phase of climate change (CMIP^۶) in line with the sixth assessment report of climate change (AR^۶). These scenarios are presented with the aim of providing forecasts in the common socio-economic path. These scenarios include possible alternative changes in social aspects such as demographic, economic, technological, social, governance and environmental factors based on integrated analyzes of climate impacts, vulnerability, policies related to adaptation and They describe adjustment. To determine the accuracy of each CMIP^۶ model, the simulation results of rainfall and temperature of each basin in the historical period were compared with observational statistics. In this step, the Kling-Gupta statistical test (KGE) was used to determine the accuracy of each model (correlations). This measure, while being simple, includes the mean, standard deviation, and correlation coefficient of the series of observation and simulation data obtained from the model, and weighting based on this measure can be of great help in increasing the accuracy of the modeling results. And finally, for micro-scale, Oribi method based on various approaches such as probability distribution mapping, empirical cumulative distribution function mapping, quantile mapping and quadrature density distribution mapping is presented, which is used in many studies to evaluate networked and recorded rainfalls. to be This method works by correcting the mean, standard deviation and quantiles by equalizing the distribution functions of model outputs and observational data. In the bias method, it is assumed that the simulated and observed precipitation follow the same proposed distribution, which in turn may cause bias. Based on this, gamma distribution in the form of α and β scale is often used for the distribution of precipitation events.

Conclusion

The output of general atmospheric circulation models in terms of temporal and spatial resolution is about tens of kilometers on a daily and monthly scale, which are large scale compared to climate

processes. In addition, GCM simulations in both temporal and spatial scales have uncertainty in the parameterization of processes, so the output of these models cannot be directly used in climate change studies. Therefore, exponential scaling and skew correction of GCM simulations are necessary to obtain information at a suitable scale. Therefore, the present study investigated and evaluated the accuracy of CMIP^{v6} models, which were recently published by IPCC, for the simulation of temperature and precipitation in Razavi Khorasan Province. For this purpose, the output of GCM models during the period of ۱۹۸۸-۲۰۱۸ was extracted and their accuracy was based on the observational data of seven synoptim stations (Mashhad, Gonabad, Qochan, Sarkhes, Sabzevar, Tarbiat Heydarieh and Torbat Jam) using the index King-Kupta (KGE) was investigated. The results showed that the GESM^{v2} model has the highest accuracy for temperature estimation and the HadGEM^{v3}-GC model for the precipitation variable, and also based on this person, it was determined that in CMIP^{v6} models, temperature is more accurate than precipitation. The results of rainfall variable simulation by CMIP^{v6} climate models under three scenarios SSP^{1-2,6}, SSP^{2-4,5} and SSP^{5-8,5} during the upcoming period (۲۰۲۰ to ۲۱۰۰) for Razavi Khorasan province showed that in all stations of this province We will witness an increase in rainfall from ۰,۴۰٪ to ۶,۸٪, the most increase in rainfall will occur in the east of the province and the least increase in rainfall will be in the center of the province. The average temperature in all parts of the province under the CMIP^{v6} scenarios will be from ۰,۲۹ degrees Celsius to ۲,۷۰ degrees Celsius, and the largest increase will be related to Mashhad and Sabzevar stations.

Keywords

Sixth Report; NClimate Change; Khorasan Razavi Province; SSP Scenarios;