

## ارزیابی تغییرات دما و بارش آینده توسط ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه موردی ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک سواحل جنوبی ایران)

فاطمه پراکنده شهرضایی<sup>۱</sup>، سید حسن علوی نیا<sup>۲\*</sup>، ابراهیم امیدوار<sup>۳</sup>



### چکیده

منابع طبیعی و محیط‌زیست بستر زندگی و فعالیت انسان‌ها و دیگر موجودات است و به‌طور ویژه‌ای به آن وابسته هستند. در دهه‌های اخیر کره زمین به‌شدت تحت‌تأثیر اثرات گرمایش جهانی و تغییر اقلیم واقع شده است و کشور ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده است، چرا که این پدیده بر روی فعالیت‌های زیست‌محیطی، اقتصادی-اجتماعی و سلامت انسان‌ها تأثیر مستقیم دارد. مدل‌های گردش عمومی جو ابزاری مناسب برای پیش‌رخداده تغییر اقلیم در آینده هستند که به دلیل بزرگ‌بودن مقیاس مکانی آنها، نیازمند کوچک‌مقیاس‌نمایی می‌باشند. در این مطالعه به بررسی وضعیت متغیرهای اقلیمی بارش و دمای میانگین پنج ایستگاه سینوپتیک در سواحل جنوبی کشور پرداخته شد. دوره آماری پایه از سال ۱۹۸۵-۲۰۱۵ در نظر گرفته شد و چهار سناریوی اقلیمی گزارش ششم انتشار در قالب مدل MPI-ESM1.2-HR برای دوره آماری ۲۰۲۳-۲۰۴۳ توسط SDSM ریزمقیاس و محاسبه گردید. نتایج نشان از افزایش دما از ۱/۶۴ تا ۸/۹ درصد نسبت به دوره پایه تحت هر چهار سناریو در تمام ایستگاه‌ها است. این در حالی است که بارش در بعضی از ایستگاه‌ها و تحت برخی سناریوهای SSP کاهش و در برخی دیگر افزایشی است. افزایش در ایستگاه بوشهر تا ۱۴۰ درصد و کاهش تا بیشتر از ۱۰ درصد در ایستگاه کیش مورد انتظار است. تخمین، پیش‌بینی و پایش وقوع تغییر اقلیم در بازه‌های مختلف و تحت گزارش‌های بروز شده IPCC امری ضروری است تا به تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران در رابطه با اقدام در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین انجام عملکردهایی در جهت سازش با این پدیده پیش‌رو کمک نماید.

### واژگان کلیدی:

پارامترهای اقلیمی، تغییر اقلیم، CMIP، SSP، شبیه‌سازی.

### مقاله پژوهشی

۱. دانشجوی کارشناس ارشد آبخیزداری، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

[fatemehparakandeh809@gmail.com](mailto:fatemehparakandeh809@gmail.com)

۲. استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

[s.h.alavinia@kashanu.ac.ir](mailto:s.h.alavinia@kashanu.ac.ir)

\*نویسنده مسئول

۳. دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

[ebrahimomidvar@kashanu.ac.ir](mailto:ebrahimomidvar@kashanu.ac.ir)

شناسه مقاله: ۲۴۰۴-۱۰۵۶

شماره صفحه پیاپی: ۴۱۴-۴۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰

انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۵/۲۶

زمان پذیرش: ۶۹ روز

### استناددهی:

پراکنده شهرضایی، ف.، علوی نیا، س. ح.، و امیدوار، ا. (۱۴۰۲). ارزیابی تغییرات دما و بارش آینده توسط ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه موردی ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک سواحل جنوبی ایران). مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۳(۱)، ۶۳-۷۵.

## ۱- مقدمه

تغییرات اقلیمی به دلیل تأثیرات مخرب زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی آن، به موضوعی پیشرو در قرن بیست و یکم تبدیل شده است. در چند دهه اخیر، فراوانی و شدت وقایع حدی آب‌وهوایی متعاقب فعالیت‌های انسانی افزایش یافته است (IPCC, 2013). تغییر اقلیم و گرم‌شدن کره زمین پیامدهای زیان‌باری بر منابع مختلف مانند آب، پوشش گیاهی و در نهایت انسان دارد. اولین اثر تغییر اقلیم بر روی عناصر اتمسفری خصوصاً دما و بارش است (آبکار و همکاران، ۱۳۹۲). تأثیر افزایش جمعیت بر روی تغییرات اقلیمی کاملاً واضح و مشخص است (Masson-Delmotte, 2021). میزان افزایش درجه حرارت زمین و گرمایش جهانی در سال ۲۰۱۷ یک درجه سانتی‌گراد از دوران قبل از صنعتی‌شدن بالاتر بوده است (Beck, 2018). هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم در ششمین گزارش ارزیابی خود (AR6) افزایش میانگین دمای جهانی مشاهده شده را، ۱/۰۹ درجه سلسیوس در سال ۲۰۲۰-۲۰۱۱ نسبت به آغاز انقلاب صنعتی را برآورد کرده است (Masson-Delmotte, 2021). این امر به‌طور کلی مربوط به استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی و همچنین تغییر در سطح زمین‌های کشاورزی و جنگل‌زدایی می‌باشد (Ledley et al., 1999; Rajão et al., 2020). تغییر اقلیم تأثیر منفی بر فرآیندهای مختلف نظیر محیط‌زیست، منابع آب، صنعت، بهداشت و کشاورزی دارد (Solomon, 2007). از سال ۱۹۵۰، کاهش ذخایر برفی، گرم‌شدن اقیانوس‌ها و افزایش سطح آب دریاها به‌عنوان پیامدهای گرمایش جهانی مشاهده شده است (Pachauri, 2014). بنابراین تغییرات اقلیمی در حال تبدیل شدن به یکی از تهدیدهای مهم و اصلی زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی برای جهان است. بدون انجام اقدامات لازم در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تغییر اقلیم در سرتاسر زمین در حال به وقوع پیوستن است و در سال‌های اخیر دارای اثرات فاجعه‌باری بر بسیاری از کشورها بوده است (Fischer and Knutti, 2016).

آخرین گزارش هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم نشان داد که وقوع تغییرات اقلیمی شدید، با افزایش مشاهده شده در میانگین دمای هوای سطحی جهان رابطه مستقیم دارد (Masson-Delmotte, 2021). مدل‌های اقلیمی جهانی یا بزرگ‌مقیاس برای توسعه درک علمی و دانش تغییرات اقلیمی و تغییرات در داده‌های اقلیمی در مقیاس بزرگ به کار می‌روند (Dixon et al., 2016). مدل‌های گردش عمومی جو در دهه ۵۰ میلادی به‌منظور شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای طراحی شد. این مدل‌ها به دو دسته تجربی-آماری و دینامیکی تقسیم می‌شوند (مساح بوانی، ۱۳۸۴). قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ کیلومتری خروجی‌های مدل‌های اقلیمی جهانی آن‌ها را بیش از حد بزرگ‌مقیاس می‌کند که این امر باعث می‌شود برای فرآیندهای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در رابطه با سازگاری اقلیمی در مقیاس‌های محلی یا منطقه‌ای مورد استفاده قرار نگیرند (Meenu et al., 2016). مدل‌های اقلیمی جهانی ابزارهایی هستند که به‌طور گسترده برای ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی استفاده می‌شوند، اما تفکیک مکانی بزرگ آنها استفاده مستقیم برای مدیریت پایدار در مقیاس‌های منطقه‌ای و محلی را محدود می‌کند (Araya-Osses et al., 2016). ریزمقیاس‌نمایی فرآیندی است که پیش‌بینی‌ها، شبیه‌سازی‌ها و طرح‌واره‌های مدل‌های گردش عمومی را از مقیاس جهانی و بزرگ به مقیاس محلی یا منطقه‌ای و کوچک تبدیل می‌نماید (Camici et al., 2015). روش‌های کاهش مقیاس برای تبدیل وضوح مکانی مدل‌های اقلیمی جهانی از بزرگ مقیاس به کوچک مقیاس ضروری هستند تا امکان استفاده مستقیم آنها در مقیاس محلی و منطقه‌ای فراهم گردد (Hamlet et al., 2020). دو روش کوچک‌مقیاس‌نمایی پرکاربرد، کوچک‌مقیاس‌نمایی آماری و دینامیکی هستند که برای ارتباط بین مدل‌های اقلیمی جهانی بزرگ‌مقیاس و متغیرهای اقلیمی محلی به کار گرفته می‌شوند (Baghanam et al., 2020). در میان مدل‌های رگرسیون خطی، روش کوچک‌مقیاس‌نمایی آماری یک مدل آماری معروف است که توسط Wilby et al. (۲۰۰۲) توسعه یافته است و اکنون به‌طور فراگیری در اغلب تحقیقات برای کوچک‌مقیاس‌نمایی مدل‌های اقلیمی جهانی استفاده می‌شود (Tahir et al., 2018). SDSM یک مدل ترکیبی است که از مولدهای اقلیمی و مدل‌های رگرسیونی برای کوچک‌مقیاس‌نمایی متغیرهای اقلیمی استفاده می‌کند. از این روش کوچک‌مقیاس‌نمایی می‌توان برای دوره‌های بلندمدت استفاده کرد و بسیار کم‌هزینه است و همچنین شبیه‌سازی سریع چندین متغیر آب‌وهوایی روزانه را تسهیل می‌نماید (Munawar et al., 2018).

جدیدترین گزارش اقلیمی انتشار، گزارش ششم ارزیابی است که سناریوهای متنوع اقلیمی آن در قالب CMIP<sup>6</sup> منتشر شده‌اند (Masson-Delmotte, 2021). مجموعه داده CMIP<sup>6</sup> شامل شبیه‌سازی‌های تاریخی بر اساس مشاهدات و در نظر گرفتن عوامل خارجی مانند تغییرپذیری خورشید، ذرات معلق در هوا و تغییرات در ترکیب اتمسفر (گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق در هوا) است (Eyering et al., 2016). مدل‌های CMIP<sup>6</sup> دارای تفکیک مکانی بهتر، دارابودن طیف وسیعی از سناریوها، حساسیت اقلیمی بیشتر و عوامل فیزیکی بیشتر (به‌عنوان مثال، بیوژئوشیمی) نسبت به نسخه‌های قبلی CMIP هستند (Bock et al., 2020). درحالی‌که CMIP<sup>5</sup> سناریوهایی را بر اساس چهار مقدار مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۱۰۰ تولید و پیش‌بینی می‌کند، CMIP<sup>6</sup> علاوه بر اینها از مسیرهای اجتماعی-اقتصادی در بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌کند (O'Neill et al., 2014) و با توجه به سناریوی انتخاب شده، سطوح مختلف گرمایش جهانی به دست می‌آید (Tebaldi and O'Neill, 2020). CMIP<sup>6</sup> به دلیل بهبود فیزیک، دینامیک و وضوح مدل‌ها، گسترش قابل توجهی را نسبت به CMIP<sup>5</sup> داشته‌اند (Lovino et al., 2021). پژوهش‌های متعددی برای کاهش

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

2. Global Circulation Models (GCMs)

3. Schema

4. Statistical DownScaling Model (SDSM)

5. Coupled Model Intercomparison Project 6

6. Shared Socio-economic Pathways (SSP)

مقیاس‌نمایی مدل‌های اقلیمی با استفاده از نرم‌افزار SDSM صورت گرفته است. Talebmorad et al. (۲۰۲۰) در پژوهشی تغییر اقلیم را با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM<sup>3</sup> شبیه‌سازی و با LARS-WG کوچک‌مقیاس‌نمایی کردند تا بتوانند تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع در همدان را مورد ارزیابی قرار دهند، این پارامترها تا سال ۲۰۹۰ و با فرض سه سناریو B1, A1, و A1B تولید شدند نتایج نشان‌دهنده افزایش میانگین تبخیر و تعرق واقعی در هر سه سناریو هستند. زرین و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای در منطقه تهران به منظور بررسی شدت و مدت خشکسالی از داده‌های CMIP<sup>6</sup> استفاده کردند نتایج به دست آمده نشان داد که به طور کلی مقادیر بارش ماهانه تحت دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه در دهه‌های آینده نوسانات بالایی را تجربه می‌کند. همچنین Mesgari et al. (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای فراوانی یخبندان و دوره یخبندان بر اساس تغییرات اقلیمی را در فلات ایران بررسی و پیش‌بینی کردند. این مطالعه بر اساس CMIP<sup>6</sup> و چهار سناریوی SSP1.26 (این سناریو با ۲/۶ وات بر مترمربع تا سال ۲۱۰۰ بازسازی سناریوی خوش‌بینانه RCP2.6 است. در این سناریو نیز اقدامات حفاظت از آب‌وهوا در نظر گرفته شده است)، SSP2.54 (این سناریو به‌روز شده سناریوی RCP4.5 در گزارش پنجم است که با نیروی تابشی ۴/۵ وات بر مترمربع تا سال ۲۱۰۰ نشان‌دهنده مسیر متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده است)، SSP3.70 (این سناریو نشان‌دهنده واداشت تابشی هفت وات بر مترمربع تا سال ۲۱۰۰ است. این سناریو شکاف بین RCP6.0 و RCP8.5 را کاهش می‌دهد) و SSP5.85 (این سناریو نشان‌دهنده واداشت تابشی ۸/۵ وات بر مترمربع تا سال ۲۱۰۰ است که به‌روزرسانی شده‌ی سناریو RCP8.5 در گزارش پنجم است که با دلایل اجتماعی و اقتصادی ترکیب شده است) انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد تعداد روزهای یخبندان به شدت کاهش پیدا کرده است و همچنین روزهای یخبندان اواخر پاییز و اوایل بهار دیرتر شروع می‌شوند و زودتر به پایان می‌رسند. Fenta Mekonnen et al. (۲۰۱۸) در پژوهشی به‌عنوان تجزیه و تحلیل تغییرات اقلیمی آینده بالادست حوضه رودخانه Blue Nile با استفاده از دو روش کوچک‌مقیاس‌نمایی آماری نشان دادند که هر دو تکنیک توانایی قابل‌مقایسه و خوبی برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی محلی نشان داده‌اند. همچنین روش SDSM با استفاده از CanESM2 قادر به بازتولید دقیق‌تر بارش ماهانه بلندمدت بود. اما LARS-WG بهترین عملکرد را در ثبت رویدادهای حدی و توزیع بارش روزانه در کل محدوده داشته است. در مطالعه‌ای دیگر Feyissa et al. (۲۰۱۸) دو ایستگاه ENTOTO در ارتفاع بالا و ADDIS ABABA در مرکز شهر و ارتفاع متوسط تحت مدل اقلیمی CanESM2 را برای کوچک‌مقیاس‌نمایی آماری توسط SDSM انتخاب کردند. در این مطالعه دمای حداکثر، حداقل دما و بارندگی روزانه را در فواصل ۳۰ ساله تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 بررسی کردند. نتایج نشان داد به جز سردترین شب‌ها، پارامتر میانگین دما و همچنین دیگر شاخص‌های دما تا پایان قرن جاری افزایش خواهند داشت. همچنین بیشترین تغییر بارش در سناریوی RCP8.5 با افزایش حدود ۱۶/۶۲٪ تا سال ۲۰۸۰ پیش‌بینی شده است. Banze et al. (۲۰۱۸) در تحقیقی بارش در دوره‌های آینده را تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 با استفاده از مدل SDSM برای دو دوره ۲۰۳۱-۲۰۶۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ در حوضه رودخانه Zambeze در جنوب آفریقا پیش‌بینی کردند. در این مطالعه دوره‌ی پایه ۲۰۱۳-۱۹۷۹ در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج پیش‌بینی شده انتظار می‌رود برای همه‌ی سناریوها و با گذشت زمان کاهش بارندگی نسبت به دوره‌ی پایه رخ دهد.

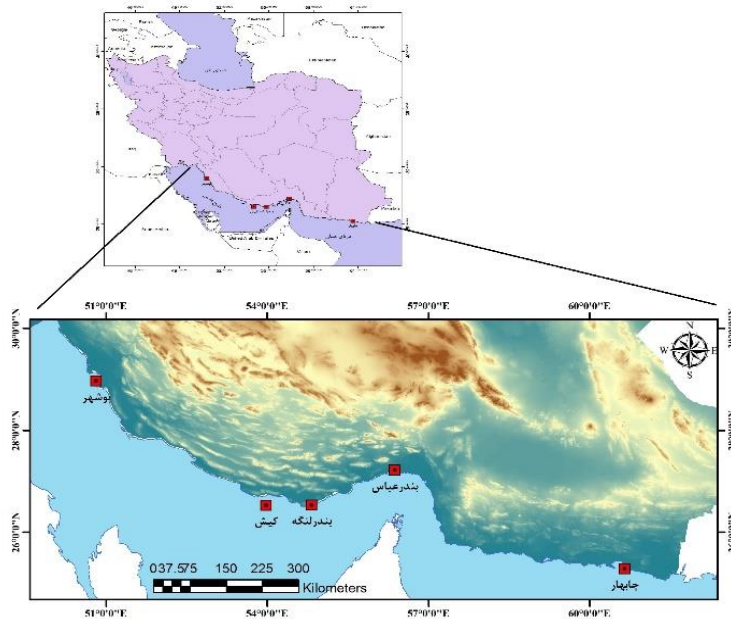
Ali et al. (۲۰۱۸) در پژوهشی برای پیش‌بینی دمای حداکثر، دمای حداکثر و بارش برای یک دوره ۳۱ ساله تحت سناریو A2 در زیرحوضه Jhelum کشمیر از مدل کوچک‌مقیاس‌نمایی آماری SDSM استفاده کرد، دوره پایه در این مطالعه ۲۰۱۵-۱۹۸۵ در نظر گرفته شده و دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت بررسی قرار گرفتند که نتایج آن نشان‌دهنده افزایش میزان دما و بارندگی در دوره‌های آتی است. Faye Abdulla et al. (۲۰۲۰) در پژوهشی در اردن پارامترهایی نظیر بارندگی، حداکثر دما و حداقل دما در هشت ایستگاه را بررسی کردند و دو دوره ۲۰۵۰-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در این مطالعه در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد در آینده اردن با کاهش بارندگی و افزایش دما روبه‌رو می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر Molina and Bernhofer (۲۰۱۹) به منظور پیش‌بینی حداکثر و حداقل دما، بارندگی و رطوبت نسبی برای دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ در منطقه‌ای در Colombia از مدل کوچک‌مقیاس‌نمایی SDSM استفاده کردند. نتایج نشان داد حداقل و حداکثر دما برای هر دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 روندی افزایشی و رطوبت نسبی و بارش روند کاهشی دارد. به‌طور کلی باید بیان داشت که مدل‌های اقلیمی بزرگ‌مقیاس توانایی پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی آینده در مقیاس‌های مکانی فرامنطقه‌ای و قاره‌ای را دارند و برای استفاده آنها در مقیاس منطقه‌ای و محلی نیازمند استفاده از روش‌های کوچک‌مقیاس‌نمایی دارند و از بین این روش‌ها، تکنیک‌های آماری توانایی و کاربرد بیشتری دارند. در این مطالعه سعی می‌شود تا از SDSM برای کوچک‌مقیاس‌نمایی آماری مدل CanESM2 برای پارامترهای دما و بارش ۵ ایستگاه سینوپتیک در سواحل جنوبی ایران استفاده گردد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

ایران با مساحت ۱/۶۴۸ میلیون کیلومتر مربع، بین طول ۴۵ تا ۶۳ درجه شرقی و عرض ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی در خاورمیانه قرار دارد. به جز بخش‌های غربی و نواحی ساحلی شمالی، اقلیم ایران عمدتاً خشک و نیمه‌خشک است (Sodoudi et al., 2010; Fallah et al., 2017). وجود رشته‌کوه‌های زاگرس (غرب و جنوب غرب ایران)، البرز (شمال ایران) و همچنین وجود دریای خزر در شمال و دریای عمان و خلیج فارس در جنوب بر اقلیم ایران به‌خصوص توزیع بارندگی در سراسر ایران تأثیر می‌گذارد (Heydarizad et al., 2019). آب و هوای ایران تحت تأثیر توده‌های مختلف هوا است.

به‌عنوان مثال، توده هوای قطبی قاره‌ای که از سیبری سرچشمه می‌گیرد، رطوبت را از دریای خزر به شمال ایران می‌آورد و باعث بارش گسترده در دشت‌های ساحلی جنوبی دریای خزر و دامنه شمالی رشته‌کوه‌های البرز می‌شود (Heydarizad et al., 2018). توده‌های هوای دیگری که ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند، توده‌های هوای قطبی-قاره‌ای با منشأ اروپا و توده‌های هوای دریایی منشأ گرفته از دریای مدیترانه هستند (Sabziparvar et al., 2015). اثرات ترکیبی توده‌های هوای منشأ گرفته از سودان و دریای مدیترانه نیز گاهی باعث بارش شدید در سراسر ایران می‌شود (Heydarizad et al., 2018). توده هوای گرمسیری جنوب ایران را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و رطوبت را از خلیج فارس، دریای عمان به سمت ایران هدایت می‌نماید (Heydarizad et al., 2018). سواحل جنوبی ایران که با خلیج فارس و دریای عمان هم‌جوار هستند منطقه مطالعاتی این پژوهش می‌باشند. شکل (۱) موقعیت منطقه مطالعاتی در این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

## ۲-۲- داده‌های مورد استفاده و روش تحقیق

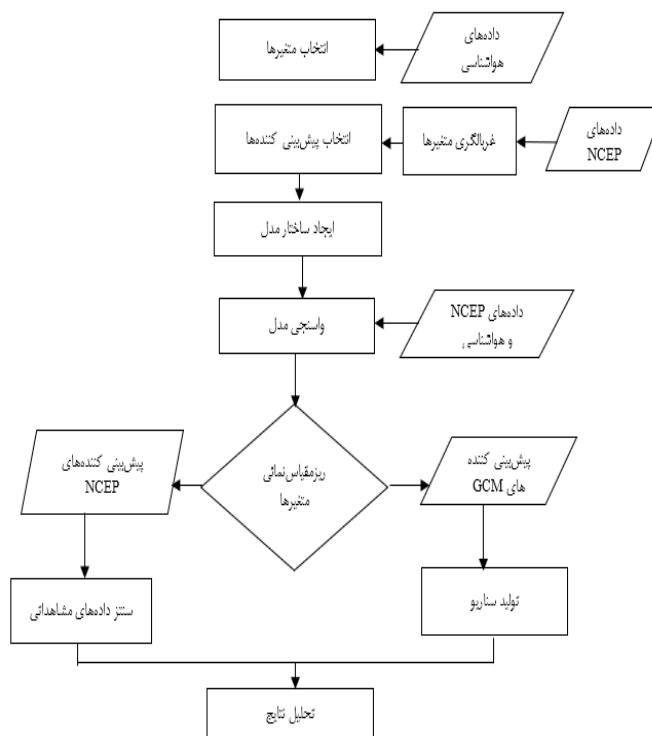
در این مطالعه تعداد پنج ایستگاه سینوپتیک از سواحل جنوبی ایران با پراکنش مناسب انتخاب گردید. طول دوره آماری ایستگاه‌های موردنظر از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۲ است و داده‌های متغیرهای اقلیمی بارش و دمای میانگین روزانه از سازمان هواشناسی ایران دریافت گردید. جدول (۱) فهرست ایستگاه‌های مورد استفاده، موقعیت جغرافیایی و همچنین شماره سلول در شبکه‌بندی جهانی مدل‌های اقلیم جهانی را نشان می‌دهد. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب مورد استفاده در این مطالعه ارائه گردیده است.

جدول (۱): فهرست ایستگاه‌های منتخب سواحل جنوبی ایران

شماره سلول داده‌های GCM		عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه (متر)	نام ایستگاه
Y	X				
۴۲	۲۱	۲۷° ۱۳'۵۲/۹۹"	۵۶° ۲۲'۲۲/۰۰"	۹/۸	بندرعباس
۴۲	۲۱	۲۶° ۳۱'۴۱/۴۹"	۵۶° ۴۹'۴۱/۴۹"	۲۲/۷	بندر لنگه
۴۳	۱۹	۲۷° ۱۳'۵۲/۹۹"	۵۶° ۴۹'۴۱/۴۹"	۹	بوشهر
۴۲	۳۲	۲۵° ۱۶'۵۱/۹۹"	۶۰° ۳۹'۳/۹۹"	۸	چابهار
۴۲	۲۰	۲۶° ۳۱'۱۹/۹۹"	۵۳° ۵۸'۵۵/۹۹"	۳۰	کیش

در این پژوهش از مجموعه‌ای از داده‌های متغیرهای پیش‌بینی‌کننده روزانه مدل جهانی اقلیم فاز ششم پروژه مقایسه مدل جفت شده (CMIP<sup>6</sup>) تهیه شده برای ریزمقیاس‌سازی آماری مبتنی بر رگرسیون استفاده شد. داده‌های مدل گردش عمومی جو مورد استفاده در این مطالعه مربوط به مدل

MPI-ESM1-2-HR هستند که متغیرهای پیش‌بینی‌کننده روزانه این مدل برای دوره زمانی تاریخی ۱۹۷۹-۲۰۱۴ و چندین مسیر اقتصادی-اجتماعی مشترک (SSP) برای دوره زمانی آینده از ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ می‌باشند که در وبسایت (<https://climate-scenarios.canada.ca/?page=pred->) در دسترس هستند. در این نسخه از مدل، رزولوشن فضایی و زمانی بیشتری در استفاده شده است که باعث ایجاد جزئیات دقیق‌تر در شبیه‌سازی‌ها می‌شود. این نسخه معمولاً برای مطالعاتی که نیاز به دقت بالا و جزئیات دقیق‌تر در مقیاس محلی دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه از داده‌های مدل گردش عمومی جو برای شبیه‌سازی دوره ۲۰۲۳-۲۰۴۳ آینده برای ایستگاه‌های سینوپتیک موردنظر استفاده گردید. ادامه از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM که فرآیند عملکرد آن در شکل (۲) نشان داده شده است، استفاده شد که در ادامه نتایج آن ارائه می‌شود.



شکل (۲): نمودار جریان روند تولید سناریوهای اقلیمی در مدل SDSM (Wilby et al., 2002)

### ۳- نتایج

پس از کنترل کیفیت و آماده‌سازی داده‌های مشاهداتی، با استفاده از نرم‌افزار SDSM به انتخاب بهترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده از بین ۲۶ متغیر بزرگ مقیاس ECMWF پرداخته شد. در جدول (۲) متغیرهای انتخاب شده هر پارامتر برای ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. برای ارزیابی عملکرد مدل SDSM در این مطالعه از شاخص‌های عملکردی نظیر میانگین قدرمطلق خطا رابطه (۱)، میانگین مربعات خطا رابطه (۲) و مجذور میانگین مربعات خطا رابطه (۳) استفاده شد. مجذور میانگین مربعات خطا به‌عنوان یک معیار استاندارد برای اندازه‌گیری عملکرد مدل در مطالعات اقلیمی استفاده می‌شود که تفاوت میان مقدار پیش‌بینی‌شده توسط مدل و مقدار واقعی را نشان می‌دهد. میانگین قدرمطلق خطا انحراف مقادیر پیش‌بینی‌شده را نسبت به داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد که یکی از متداول‌ترین آماره‌های اندازه‌گیری خطا است. میانگین مربعات خطا تفاوت بین مقادیر تخمینی و مقادیر پیش‌بینی‌شده را نشان می‌دهد و به جهت کنترل و کیفیت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

1. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

2. Mean Absolute Deviation (MAD)

3. Mean Squared Error (MSE)

4. Root Mean Squared Error (RMSE)

در روابط فوق  $A_t$  داده‌های مشاهداتی واقعی،  $F_t$  داده‌های پیش‌بینی شده و  $n$  تعداد داده‌ها است. نتایج محاسبه شده این شاخص برای دما در ایستگاه‌های منتخب جنوب کشور در جدول (۳) ارائه شده است. در این مطالعه دوره تاریخی ۲۰۱۴-۱۹۸۵ برای کالیبراسیون و دوره ۲۰۲۲-۲۰۱۵ برای اعتبارسنجی استفاده شد.

جدول (۲): متغیرهای پیش‌بینی‌کننده در مدل SDSM

ایستگاه	دمای میانگین		بارش	
	ID	معادل فارسی	ID	معادل فارسی
بندر لنگه	p500	۵۰۰ هکتوپاسکال ژئو پتانسیل	prcp	بارش کل
	temp	دمای هوا در ارتفاع ۲ متری		
بندرعباس	p500	۵۰۰ هکتوپاسکال ژئو پتانسیل	prcp	بارش کل
	temp	دمای هوا در ارتفاع ۲ متری	s850	رطوبت ویژه در فشار ۸۵۰ هکتوپاسکال
چابهار	temp	دمای هوا در ارتفاع ۲ متری	prcp	بارش کل
	p500	۵۰۰ هکتوپاسکال ژئو پتانسیل		
بوشهر	shum	رطوبت ویژه در فشار ۱۰۰۰ هکتوپاسکال	prcp	بارش کل
	temp	دمای هوا در ارتفاع ۲ متری		
کیش	temp	دمای هوا در ارتفاع ۲ متری	prcp	بارش کل
	shum	رطوبت ویژه در فشار ۱۰۰۰ هکتوپاسکال		
	p500	۵۰۰ هکتوپاسکال ژئو پتانسیل	s850	رطوبت ویژه در فشار ۸۵۰ هکتوپاسکال

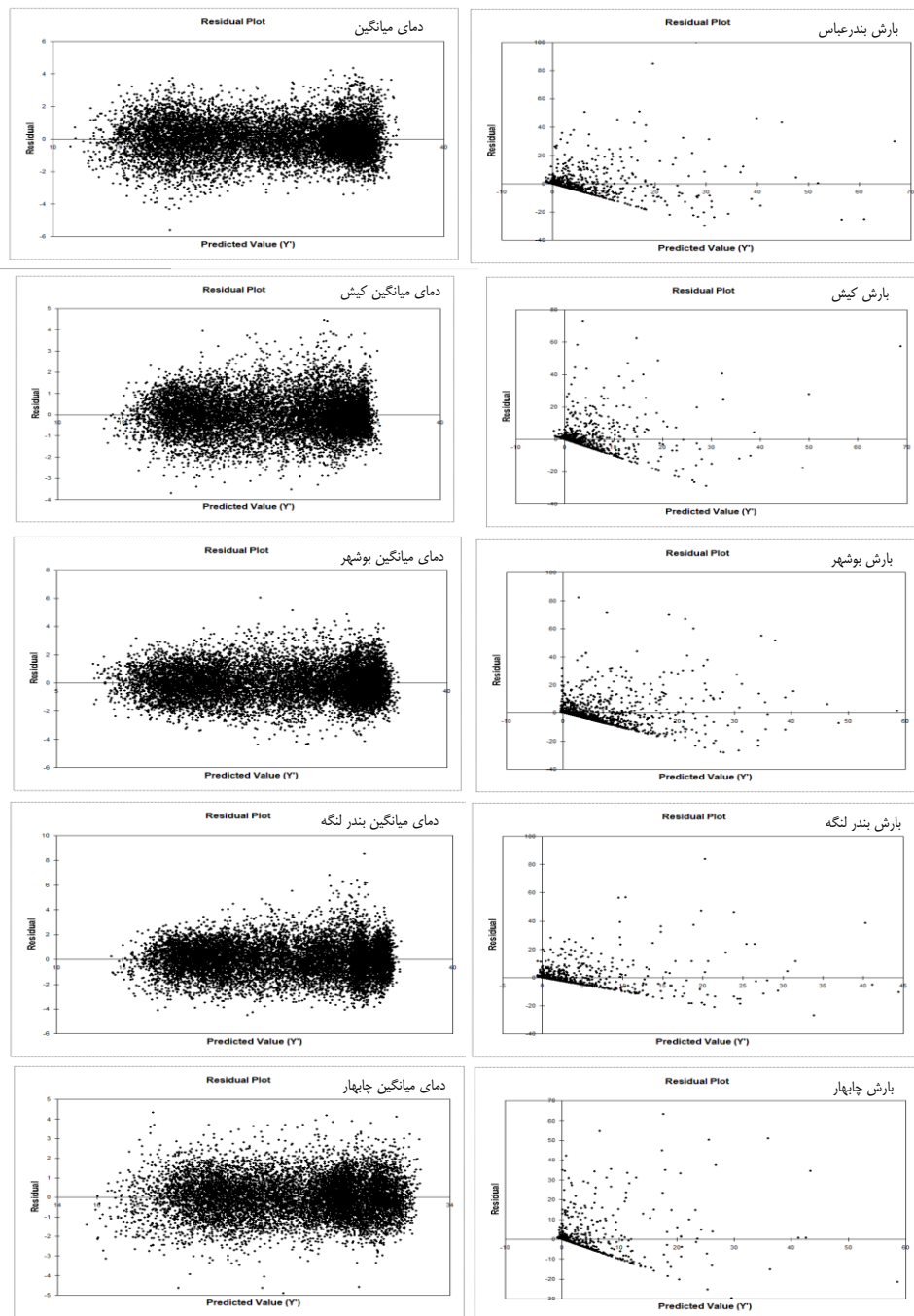
بر اساس جدول (۳) ضرایب به‌دست‌آمده در پارامتر دمای میانگین در ایستگاه‌های منتخب جنوبی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارد و همبستگی دمای میانگین در تمامی ایستگاه‌ها زیاد است. با این حال ایستگاه بندر لنگه در بین ایستگاه‌های منتخب سواحل جنوبی بیشترین مقدار ضرایب را در دمای میانگین به خود اختصاص داده است. در رابطه با پارامتر بارش نیز همانند دمای میانگین همبستگی بالایی بین ایستگاه‌ها وجود دارد. محاسبه شاخص‌های عملکردی نشان می‌دهد که مدل SDSM برای ریزمقیاس‌سازی و شبیه‌سازی دوره آینده در این مناطق ابزاری مناسب است.

جدول (۳): محاسبه شاخص‌های عملکردی برای پارامتر دمای میانگین و بارش ایستگاه‌های منتخب

ایستگاه	دمای میانگین				بارش			
	MAD	MSE	RMS <sub>E</sub>	R <sup>2</sup>	MAD	MSE	RMS <sub>E</sub>	R <sup>2</sup>
بندرعباس	۱/۳۷	۲/۷۰	۱/۶۴	-۰/۹۷	-۰/۰۵	-۰/۰۱	-۰/۱	-۰/۹۹
بندر لنگه	۱/۸۰	۳/۷۴	۱/۹۳	-۰/۹۸	-۰/۰۱	-۰/۰۰	-۰/۰۲	-۰/۹۹
بوشهر	۱/۳۸	۲/۷۰	۱/۶۴	-۰/۹۸	-۰/۷۴	۱/۱۰	۱/۰۵	-۰/۹۹
چابهار	۱/۶۰	۳/۰۴	۱/۷۴	-۰/۹۶	-۰/۰۶	-۰/۰۱	-۰/۰۸	-۰/۹۵
کیش	۱/۴۳	۲/۶۶	۱/۶۳	-۰/۹۸	-۰/۰۴	-۰/۰۰	-۰/۰۶	-۰/۹۸

شکل (۳) نحوه پراکنش مانده‌های مدل نسبت به پارامتر دمای میانگین و بارش را نمایش می‌دهد. بر اساس این نمودار، باقی‌مانده‌ها در تمامی ایستگاه‌ها فاقد روند خاصی بوده و در اطراف محور X تمرکز پیدا کرده‌اند. با این حال در پارامتر دمای میانگین نسبت به پارامتر بارش همبستگی بیشتری وجود دارد.

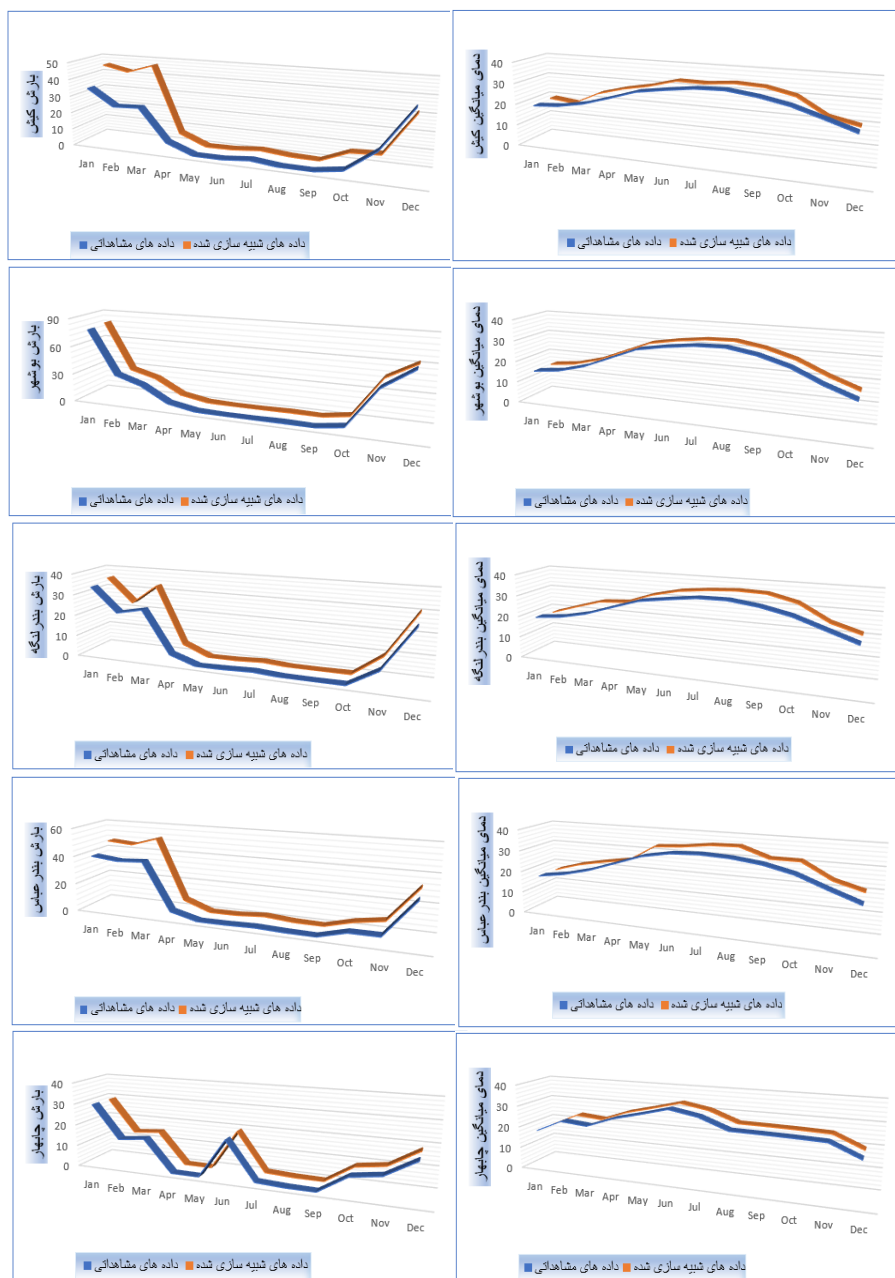
پس از کالیبره کردن مدل و اطمینان از صحت‌سنجی آن با استفاده از داده‌های مشاهداتی (شکل ۴) اقدام به شبیه‌سازی پارامتر بارش و دمای میانگین برای دوره زمانی آتی شد. مطابق شبیه‌سازی تحت سناریوهای مختلف طی بازه آماری ۲۰۲۳-۲۰۴۳ دمای میانگین در ایستگاه‌های جنوبی منتخب تحت سناریوی SSP1.26 افزایش می‌یابد. بیشترین افزایش نسبت به دوره پایه تحت این سناریو در ایستگاه‌های بوشهر، چابهار و بندر لنگه است و کمترین افزایش در ایستگاه‌های بندرعباس و کیش پیش‌بینی شده است. همچنین سناریو SSP2.54 برای تمامی ایستگاه‌های جنوبی افزایش دمای میانگین را نشان می‌دهد که بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه بندر لنگه است و کمترین افزایش مربوط به بندرعباس است که افزایش دو درصدی در دمای میانگین را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. SSP3.70 در تمامی ایستگاه‌ها افزایش دمای میانگین را نشان می‌دهد. بیشترین افزایش این سناریو در ایستگاه بندرعباس با افزایش تقریباً ۶ درصدی است و کمترین افزایش در ایستگاه بوشهر پیش‌بینی شده است.



شکل (۳): نمودار پراکنش باقیمانده‌های مدل

در سناریوی SSP5.85 تغییرات بین ایستگاه‌ها چندان زیاد نیست، هر چند تمامی ایستگاه‌ها افزایش دمای میانگین را نشان می‌دهد. سناریوی SSP1.26 تقریباً در تمامی ماه‌ها افزایش دمای میانگین را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد و در ماه می بیشتر افزایش را داشته است. سناریوی SSP1.26 در تمامی ایستگاه‌ها در فصول پاییز و زمستان تغییر ناچیز دما را نشان می‌دهد در صورتی که در سایر ماه‌های بهار و تابستان افزایش دمای میانگین را نشان می‌دهد. سناریوی SSP2.54 در فصل‌های بهار و تابستان نسبت به دوره پایه افزایش دما را نشان می‌دهد. در ماه‌های ژوئن و جولای ایستگاه‌های بوشهر، بندر لنگه و کیش این تغییرات را بیشتر نشان می‌دهد. در ایستگاه کیش در ماه جولای بیشترین تغییر را نسبت به دوره پایه مشاهده می‌گردد. سناریوی SSP3.70 مانند سناریوی SSP1.26 بیشترین تغییرات را نسبت به دوره پایه هر چند بسیار ناچیز باشد در پاییز و زمستان نشان می‌دهد. بیشترین افزایش سناریوی SSP3.70 در ماه اکتبر است. در ایستگاه بندرعباس تقریباً در تمامی ماه‌ها افزایش دمای میانگین نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. سناریوی SSP5.85 در ایستگاه بندرعباس در تمامی ماه‌ها به‌خصوص آگوست، سپتامبر و نوامبر افزایش دمای میانگین را نشان می‌دهد. بیشترین تغییرات سناریوی SSP5.85 نسبت به مقادیر مشاهده‌ای در ایستگاه کیش و در ماه آگوست، سپتامبر و اکتبر است که ماه آگوست بیشترین مقدار

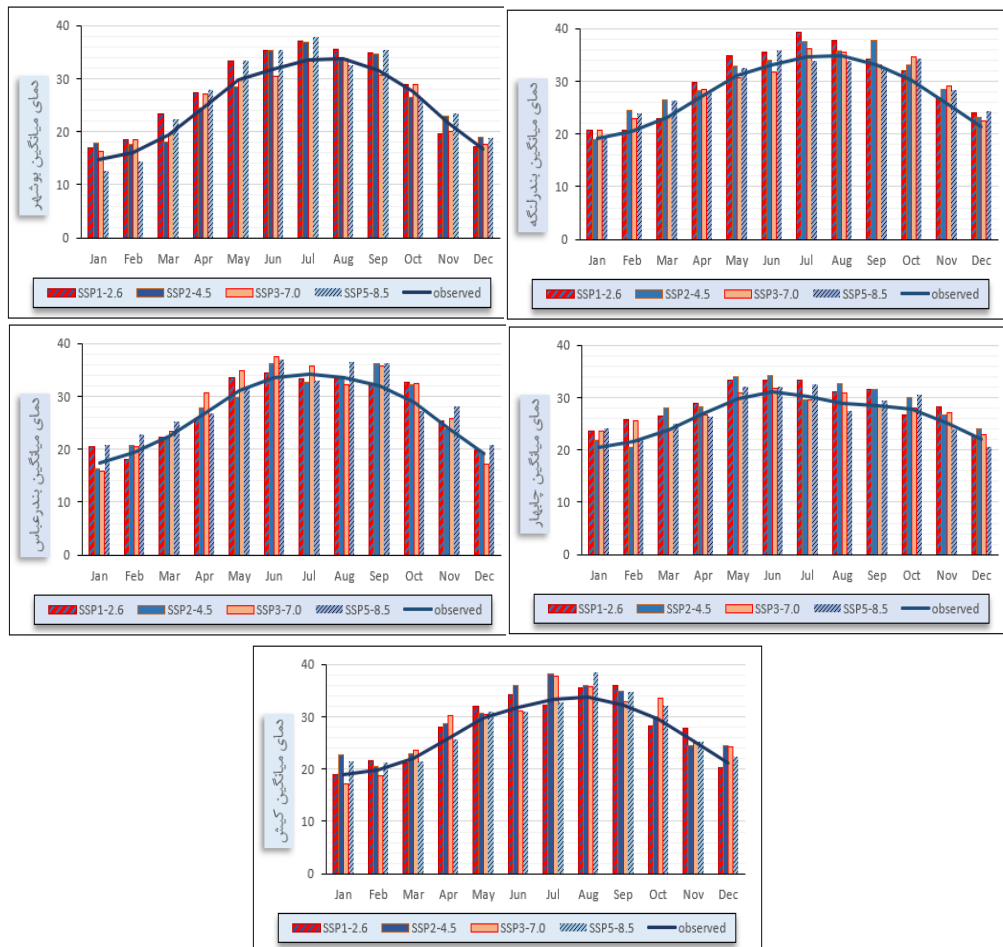
اختلاف را نشان می‌دهد. در ایستگاه بوشهر در سپتامبر و جولای بیشترین تغییرات دما مشاهده می‌شود. شکل (۵) نمودارهای مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده تحت انواع سناریوها را طی دوره آماری آینده نشان می‌دهد.



شکل (۴): مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای میانگین و بارش در دوره آماری پایه

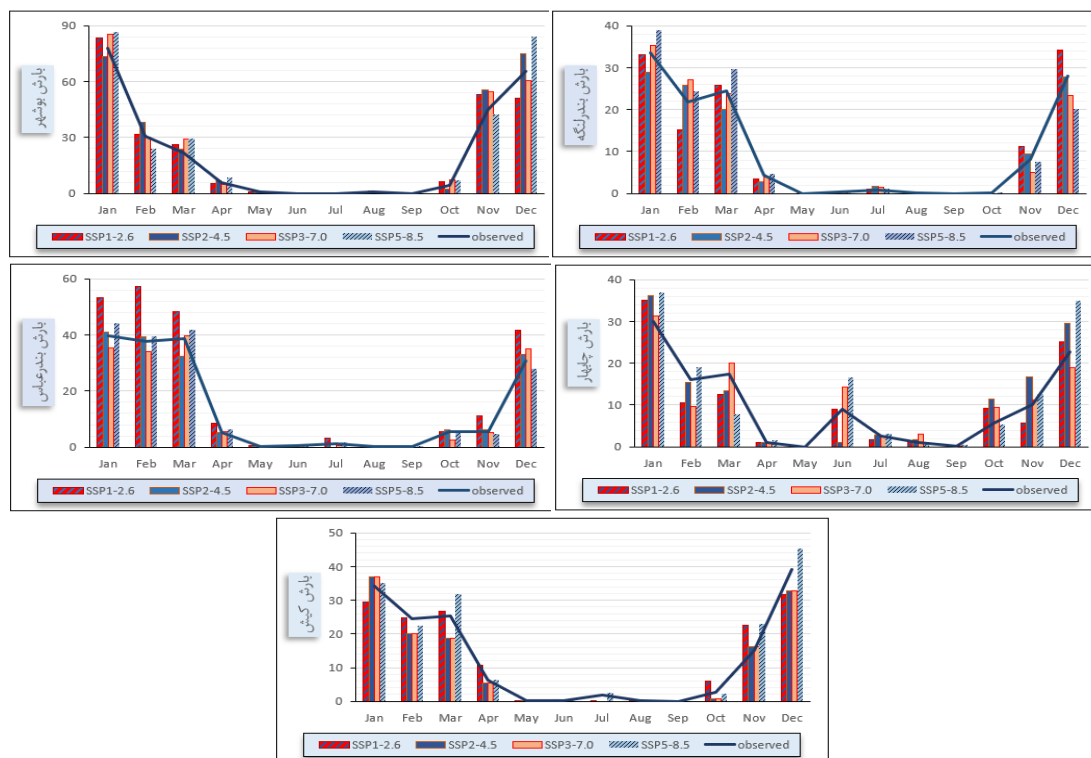
در ادامه سناریوهای مختلف برای پارامتر بارش نیز بررسی گردید که در ادامه نتایج آن بیان می‌گردد. بر اساس شکل (۶) میزان بارش در بین ایستگاه‌های منتخب جنوبی تحت سناریو SSP1.26 در چهار ایستگاه بوشهر، بندرعباس، بندر لنگه و کیش افزایش می‌یابد و در ایستگاه چابهار کاهش میزان بارندگی نسبت به دوره پایه تحت سناریوی SSP1.26 مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است که توده‌های مؤثر بر ایستگاه چابهار با ۴ ایستگاه دیگر متفاوت است. بیشترین افزایش میزان بارش در سناریو SSP1.26 در ایستگاه بندرعباس و کمترین افزایش میزان بارندگی در ایستگاه بوشهر رخ داده است. اختلاف با مقادیر مشاهده‌ای بیشتر در ماه‌های ابتدایی و انتهای سال دیده می‌شود و در ماه‌های میانی سال اختلاف کوچک است. در بین ایستگاه‌های منتخب سواحل جنوبی در ماه‌های دارای بارندگی (ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر) سناریوی SSP1.26 افزایش زیادی نسبت به دوره پایه داشته است. سناریو SSP2.54 در دو ایستگاه بندر لنگه و کیش نسبت به دوره پایه کاهش میزان بارندگی و ایستگاه‌های بندرعباس، بوشهر و چابهار افزایش میزان بارندگی را نشان می‌دهد که کمترین افزایش بارندگی در ایستگاه بندرعباس و بیشترین افزایش میزان بارندگی در ایستگاه بوشهر است. سناریو SSP2.54 در ایستگاه کیش در قریب به اتفاق ماه‌های دارای بارش نسبت به دوره پایه کاهش بارندگی را نشان می‌دهد. این سناریو در فصل

پاییز و زمستان ایستگاه چابهار بیشترین افزایش بارندگی را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. سناریوی SSP3.70 در ایستگاه‌های بندرعباس، بندر لنگه و کیش کاهش میزان بارندگی و در ایستگاه‌های بوشهر و چابهار افزایش میزان بارندگی را نشان می‌دهد، بیشترین افزایش بارندگی در ایستگاه بوشهر و کمترین افزایش بارندگی در ایستگاه کیش است. سناریو SSP3.70 بیشترین افزایش نسبت به دوره پایه را در ماه ژانویه تمامی ایستگاه‌های منتخب به جز بندرعباس دارد که این افزایش بارش در ایستگاه بوشهر بیشتر از سایر ایستگاه‌ها است. این سناریو در ماه‌های دسامبر تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه کیش افزایش میزان بارندگی نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. سناریوی SSP5.85 تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها افزایش میزان بارندگی نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. بیشترین افزایش میزان بارندگی تحت سناریوی SSP5.85 در بین ایستگاه‌های جنوبی در ایستگاه بوشهر و کمترین افزایش در ایستگاه بندر لنگه و بندرعباس است. در ایستگاه چابهار و بوشهر در ماه‌های دسامبر و ژانویه بیشترین افزایش میزان بارندگی نسبت به دوره پایه را دارد. شکل (۶) نمودارهای مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده تحت انواع سناریوها را طی دوره آماری آینده نشان می‌دهد.



شکل (۵): تغییرات میانگین دمای ماهانه در دوره آینده نسبت به داده‌های مشاهداتی تحت سناریوهای مختلف

به‌طور کلی باید بیان کرد که در رابطه با سناریوهای پیش‌بینی دمای میانگین ایستگاه‌ها کمترین اختلاف با مقادیر مشاهده‌ای در تمام سناریوها در ایستگاه بندرعباس مشاهده شد و بیشترین اختلاف در بوشهر به چشم می‌خورد. همچنین باید بیان کرد که در تمام سناریوها افزایش دما ملاحظه می‌گردد. اختلاف مقادیر شبیه‌سازی شده با مشاهده‌ای در ماه‌های میانی سال بیشتر از فصول بهار و زمستان است. در رابطه با بارش، نتایج این مطالعه نشان داد که سناریوهای مختلف از روند هماهنگی پیروی نمی‌کنند و در برخی از آنها افزایش و در بعضی دیگر کاهش رخ داده است. باید بیان کرد که به‌طور کلی در ماه‌های ابتدایی سال اختلاف با مقادیر مشاهده‌ای کمتر از ماه‌های انتهایی سال است.



شکل (۶): تغییرات بارش ماهانه در دوره آینده نسبت به داده‌های مشاهداتی تحت سناریوهای مختلف

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به تحقیقات صورت گرفته توسط محققین مختلف، پدیده تغییر اقلیم در حال وقوع است و مقابله و سازگاری با آن امری اجتناب‌ناپذیر است. برای مدیریت با این تغییر ناخواسته مدیران و برنامه‌ریزان نیازمند مدیریت ریسک هستند تا دچار مدیریت بحران نشوند. در این مطالعه از مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل MPI-ESM1-2-HR تحت سناریوهای SSP1.26، SSP2.54، SSP3.70 و SSP5.85 استفاده شد. نتایج بررسی تغییرات در پنج ایستگاه جنوبی منتخب نشان می‌دهد که برای پارامتر بارش در بین تمامی ایستگاه‌های جنوبی بیشترین افزایش میزان بارش در سناریو SSP1.26 و در فصل زمستان و بیشترین کاهش میزان بارندگی در بین ایستگاه‌ها تحت سناریو SSP3.70 و در فصل بهار و تابستان است همچنین برای پارامتر دما بیشترین افزایش دما در سناریو SSP2.54 و در فصل تابستان است. در بین ایستگاه‌های منتخب شاخص‌های عملکردی میانگین قدرمطلق خطا، میانگین مربعات خطا و مجذور میانگین مربعات خطا برای دمای میانگین بیشتر از بارش است اما همبستگی برای بارش بیشتر از همبستگی برای دمای میانگین است. نتایج حاصل از مطالعه حاضر در ایران و مقایسه با مطالعه موجود در پاکستان (Abbas et al. ۲۰۲۲) که به بررسی تغییرات میزان بارش تحت CMIP<sup>6</sup> و با استفاده از SSPهای متعدد پرداخته است نشان می‌دهد که در نتایج به دست آمده شباهت‌هایی وجود دارد. در هر دو مطالعه افزایش میزان بارندگی تحت سناریو SSP1.26 نسبت به دوره پایه مشاهده می‌گردد. افزایش میزان بارندگی تحت سناریو SSP1.26 در هر دو کشور می‌تواند ناشی از عبور توده هوای حاره‌ای-دریایی<sup>۱</sup> از این دو کشور باشد. در مطالعه‌ای دیگر که Peng et al. (۲۰۲۳) در حوضه رودخانه ایشکاری در ژاپن انجام دادند نیز نتایج نشان از کاهش و افزایش میزان بارندگی را به ترتیب تحت SSP3.70 و SSP1.26 نشان می‌دهد که با نتایج حاصل از بررسی میزان بارش در مطالعه حاضر مطابقت دارد. تغییرات میزان دما در دو مطالعه ذکر شده نیز شباهت‌هایی با یکدیگر دارند؛ زیرا در هر دو مطالعه افزایش میزان دما تحت سناریو SSP3.70 است. با این وجود در مطالعه peng et al. (۲۰۲۳) افزایش دما در سناریو SSP5.85 نیز مشاهده شده است. همچنین در مطالعه‌ای که Mesgari et al. (۲۰۲۲) در منطقه MENAP انجام دادند، نتایج نشان داد که کمترین و بیشترین تغییرات بارش به ترتیب تحت سناریوهای SSP1.26 و SSP5.85 پیش‌بینی شده است که با مطالعه حاضر در ایران که افزایش و کاهش میزان بارندگی به ترتیب تحت سناریوهای SSP1.26 و SSP3.70 است مطابقت ندارد. همچنین در پژوهشی دیگر که در منطقه هند انجام شد دما تحت تمام سناریوها افزایش یافته است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (Shukla and Attada, 2023). مطالعه حاضر مطابقت بسیار بالایی با مطالعه Salman et al. (۲۰۲۲) دارد که در عراق انجام شد. تحقیقات آن‌ها نشان داد که بارندگی در جنوب عراق تا ۳۰ درصد افزایش و دمای ماکزیمم و مینیمم تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش را نشان می‌دهد. در تحقیق حاضر نیز مشاهده می‌گردد که بارش در ایستگاه بوشهر (نزدیک‌ترین ایستگاه به مرز عراق) تا چهل درصد افزایش و دمای ماکسیمم نیز از ۱/۵ تا ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که

بررسی، آنالیز و تخمین وضعیت اقلیم در دوره‌های آینده می‌بایست از مهمترین موضوعات پژوهشی در این سال‌ها باشد تا سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بتوانند تصمیمات مناسب در جهت اقدامات کاهش و سازگاری با پدیده تغییر اقلیم را اتخاذ نمایند. این امر برای کشوری همچون ایران که دارای اقلیم گرم و خشک و با پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی است ضروری‌تر می‌باشد چرا که وقوع تغییر اقلیم در اینگونه مناطق می‌تواند اثرات مخرب‌تری داشته باشد. یکی از مهم‌ترین استراتژی‌ها برای مقابله با تغییرات آب و هوایی، تمرکز بر مسئله انرژی است. در این راستا، ضروری است که سیاست‌گذاران اقدام به تدوین سیاست‌های تشویقی یا بازدارنده‌ای نمایند که منجر به کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی شود و همچنین بر سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پیشرفته و کارآمد انرژی تأکید ورزند و به ترویج فرهنگ استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بپردازند.

## سیاسگزاری

نویسندگان این مقاله از سازمان هواشناسی کشور برای در اختیار قراردادن داده‌ها و اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد نیاز در این مطالعه کمال تشکر و قدردانی را دارند.

## منابع

- آبکار، ع.، حبیب‌نژاد، م.، سلیمانی، ک.، و نقوی، ه. (۱۳۹۲). بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک. آبیاری و آب ایران، (۴(۲)، ۱۷-۱.
- زرین، آ.، و صالح‌آبادی، ن. (۱۳۹۸). پیش‌آگاهی مخاطره خشکسالی در تهران بر اساس برونداد مدل‌های CMIP6. ششمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران، آبان ۱۳۹۸، ۱۵۷-۱۷۳.
- مساح‌بوانی، ع.ر.، و مرید، س. (۱۳۸۴). اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان. علوم آب و خاک، (۴)، ۲۸-۱۷.
- Abbas, A., Ullah, S., Ullah, W., Waseem, M., Dou, X., Zhao, C., Karim, A., Zhu, J., Hagan, D.F.T., Bhatti, A.S. and Ali, G. (2022). Evaluation and projection of precipitation in Pakistan using the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 model simulations. *International Journal of Climatology*, 42(13), 6665-6684.
- Abdulla, F. (2020). 21st century climate change projections of precipitation and temperature in Jordan. *Procedia Manufacturing*, 44, 197-204.
- Ali, S.R., N Khan, J., U Din Dar, M., Bhat, S.A., Fazil, S.M., Shah, M., and Mehraj, I. (2018). Modeling Climate Change Projections for Ferozpur Sub-catchment of Jhelum Sub-basin of Kashmir Valley. *International Journal of Environment and Climate Change*, 8(1), 39-52.
- Araya-Osses, D., Casanueva, A., Román-Figueroa, C., Uribe, J.M., and Paneque, M. (2020). Climate change projections of temperature and precipitation in Chile based on statistical downscaling. *Climate Dynamics*, 54, 4309-4330.
- Baghanam, A.H., Eslahi, M., Sheikhabaei, A., and Seifi, A.J. (2020). Assessing the impact of climate change over the northwest of Iran: an overview of statistical downscaling methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 141(3), 1135-1150.
- Banze, F., Guo, J., and Xiaotao, S. (2018). Impact of climate change on precipitation in Zambeze River Basin in Southern Africa. *Nature Environment and Pollution Technology*, 17(4), 1093-1103.
- Beck, S. and Mahony, M. (2018). The IPCC and the new map of science and politics. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 9(6), e547.
- Bock, L., Lauer, A., Schlund, M., Barreiro, M., Bellouin, N., Jones, C., Meehl, G., Predoi, V., Roberts, M., and Eyring, V. (2020). Quantifying progress across different CMIP phases with the ESMValTool. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(21), e2019JD032321.
- Camici, S., Palazzi, E., Pieri, A., Brocca, L., Moramarco, T., and Provenzale, A. (2015). Comparison between dynamical and stochastic downscaling methods in central Italy. Paper presented at the EGU General Assembly Conference Abstracts.
- Dixon, K.W., Lanzante, J.R., Nath, M.J., Hayhoe, K., Stoner, A., Radhakrishnan, A., V. Balaji, and Carlos F. Gaitán, C. F. (2016). Evaluating the stationarity assumption in statistically downscaled climate projections: is past performance an indicator of future results? *Climatic Change*, 135, 395-408.
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R.J., and Taylor, K.E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937-1958.
- Fallah, B., Sodoudi, S., Russo, E., Kirchner, I., and Cubasch, U. (2017). Towards modeling the regional rainfall changes over Iran due to the climate forcing of the past 6000 years. *Quaternary International*, 429, 119-128.
- Fenta Mekonnen, D., and Disse, M. (2018). Analyzing the future climate change of Upper Blue Nile River basin using statistical downscaling techniques. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(4), 2391-2408.
- Feyissa, G., Zeleke, G., Bewket, W., and Gebremariam, E. (2018). Downscaling of future temperature and precipitation extremes in Addis Ababa under climate change. *Climate*, 6(3), 58.
- Fischer, E.M., and Knutti, R. (2016). Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models. *Nature Climate Change*, 6(11), 986-991.
- Hamlet, A.F., Byun, K., Robeson, S.M., Widhalm, M., and Baldwin, M. (2020). Impacts of climate change on the state of Indiana: ensemble future projections based on statistical downscaling. *Climatic Change*, 163, 1881-1895.
- Heydarizad, M., Raeisi, E., Sori, R., and Gimeno, L. (2018). The identification of Iran's moisture sources using a Lagrangian particle dispersion model. *Atmosphere*, 9(10), 408.
- Heydarizad, M., Raeisi, E., Sori, R., and Gimeno, L. (2019). Developing meteoric water lines for Iran based on air masses and moisture sources. *Water*, 11(11), 2359.
- Heydarizad, M., Raeisi, E., Sori, R., Gimeno, L., and Nieto, R. (2018). The role of moisture sources and climatic teleconnections in northeastern and south-central Iran's hydro-climatology. *Water*, 10(11), 1550.

- IPCC, Climate Change. (2013). The physical science basis.
- Ledley, T.S., Sundquist, E.T., Schwartz, S.E., Hall, D.K., Fellows, J.D. and Killeen, T.L. (1999). Climate change and greenhouse gases. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 80(39), 453-458.
- Lovino, M.A., Pierrestegui, M.J., Müller, O.V., Berbery, E.H., Müller, G.V., and Pasten, M. (2021). Evaluation of historical CMIP6 model simulations and future projections of temperature and precipitation in Paraguay. *Climatic Change*, 164, 1-24.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I. and Huang, M. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2(1), 2391.
- Meenu, R., Rehana, S., and Mujumdar, P.P. (2013). Assessment of hydrologic impacts of climate change in Tunga–Bhadra river basin, India with HEC-HMS and SDSM. *Hydrological processes*, 27(11), 1572-1589.
- Mesgari, E., Hosseini, S.A., Hemmesy, M.S., Houshyar, M., and Partoo, L.G. (2022). Assessment of CMIP6 models' performances and projection of precipitation based on SSP scenarios over the MENAP region. *Journal of Water and Climate Change*, 13(10), 3607-3619.
- Mesgari, E., Hosseini, S.A., Houshyar, M., Kaseri, M., and Safarpour, F. (2023). Future projection of early fall and late spring frosts based on EC-earth models and shared socioeconomic pathways (SSPs) scenarios over Iran plateau. *Natural Hazards*, 119(3), 1421-1435.
- Molina, O.D., and Bernhofer, C. (2019). Projected climate changes in four different regions in Colombia. *Environmental Systems Research*, 8, 1-11.
- Munawar, S., Rahman, G., Moazzam, M.F.U., Miandad, M., Ullah, K., Al-Ansari, N., and Linh, N.T.T. (2022). Future climate projections using SDSM and LARS-WG downscaling methods for CMIP5 GCMs over the transboundary Jhelum River Basin of the Himalayas Region. *Atmosphere*, 13(6), 898.
- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., Mathur, R., and Van Vuuren, D.P. (2014). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122, 387-400.
- Pachauri, R.K., Allen, M.R., Barros, V.R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J.A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P. and Dubash, N.K. (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.
- Peng, S., Wang, C., Li, Z., Mihara, K., Kuramochi, K., Toma, Y., and Hatano, R. (2023). Climate change multi-model projections in CMIP6 scenarios in Central Hokkaido, Japan. *Scientific Reports*, 13(1), 230.
- Rajão, R., Soares-Filho, B., Nunes, F., Börner, J., Machado, L., Assis, D., Oliveira, A., Pinto, L., Ribeiro, V., Rausch, L. and Gibbs, H. (2020). The rotten apples of Brazil's agribusiness. *Science*, 369(6501), 246-248.
- Sabziparvar, A., Movahedi, S., Asakereh, H., Maryanaji, Z., and Masoodian, S. (2015). Geographical factors affecting variability of precipitation regime in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 120, 367-376.
- Salman, S.A., Hamed, M.M., Shahid, S., Ahmed, K., Sharafati, A., Asaduzzaman, M., Ziarh, G.F., Ismail, T., Wang, X.J., and Dewan, A. (2022). Projecting spatiotemporal changes of precipitation and temperature in Iraq for different shared socioeconomic pathways with selected Coupled Model Intercomparison Project Phase 6. *International Journal of Climatology*. 42(16), 9032-9050.
- Shukla, K.K., and Attada, R. (2023). CMIP6 models informed summer human thermal discomfort conditions in Indian regional hotspot. *Scientific Reports*, 13(1), 12549.
- Sodoudi, S., Noorian, A., Geb, M., and Reimer, E. (2010). Daily precipitation forecast of ECMWF verified over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 99, 39-51.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H.L. (2007). Summary for policymakers. *Climate change*, 1-18.
- Tahir, T., Hashim, A., and Yusof, K. (2018). Statistical downscaling of rainfall under transitional climate in Limbang River Basin by using SDSM. Paper presented at the IOP conference series: earth and environmental science.
- Talebmorad, H., Abedi-Koupai, J., Eslamian, S., Mousavi, S.F., Akhavan, S., Ostad-Ali-Askari, K., and Singh, V.P. (2021). Evaluation of the impact of climate change on reference crop evapotranspiration in Hamedan-Bahar plain. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 11(3), 333-347.
- Tebaldi, C., and O'Neill, B.C. (2020). Climate scenarios and their relevance and implications for impact studies. In *Climate Extremes and Their Implications for Impact and Risk Assessment*, 11-29.
- Wilby, R.L., Dawson, C.W., and Barrow, E.M. (2002). SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling and Software*, 17(2), 145-157.

## Evaluation of future temperature and precipitation changes by downscaling general circulation models (A case study of selected synoptic stations on the southern coasts of Iran)

**Fatemeh Parakandeh Shahrezaei<sup>1</sup>, Seyed Hassan Alavinia<sup>\*2</sup>, Ebrahim Omidvar<sup>3</sup>**



### Research Article

1. M.Sc. in Watershed Management, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.

[fatemehparakandeh809@gmail.com](mailto:fatemehparakandeh809@gmail.com)

2. Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.

[s.h.alavinia@kashanu.ac.ir](mailto:s.h.alavinia@kashanu.ac.ir)

\*Corresponding author

3. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.

[ebrahimomidvar@kashanu.ac.ir](mailto:ebrahimomidvar@kashanu.ac.ir)

**Article Code:** 2404-1056  
**Continous Pagination:** 414-426

**Received:** 02 April 2024  
**Accepted:** 09 June 2024  
**Online:** 16 August 2024  
**Review speed:** 69 days

### Citation:

Parakandeh Shahrezaei, F., Alavinia, S.H., and Omidvar, E. (2023). Evaluation of future temperature and precipitation changes by downscaling general circulation models (A case study of selected synoptic stations on the southern coasts of Iran). *Management of Natural Ecosystems*, 3(1), 63-75.

### Abstract

Natural resources and the environment are the foundation of life and human activities and other creatures, closely intertwined with them. In recent decades, the Earth has been significantly affected by the impacts of global warming and climate change and the country of Iran has not been exempted from this rule. as this phenomenon directly affects environmental, economic-social activities and human health. General circulation models are suitable tools for monitoring future climate change events, but due to their large spatial scale, they require downscaling. This study examined the status of climate variables such as precipitation and average temperature at five synoptic stations on the southern coasts of the country. The basic statistical period considered from 1985 to 2015, and four climate scenarios from the sixth IPCC report were simulated using the MPI-ESM1.2-HR model for the statistical period 2023-2043 through downscaling SDSM modeling. The results show an increase in temperature ranging from 1.64% to 8.9% compared to the base period under all four scenarios at all stations. Meanwhile, precipitation is decreasing at some stations under certain SSP scenarios and increasing at others. An increase of up to 140% in Bushehr station and a decrease of more than 10% in Kish station are expected. Estimating, predicting, and monitoring climate change occurrences in different time frames and according to the updated IPCC reports is essential to assist decision-makers and policymakers in taking action to reduce greenhouse gas emissions and adapt to this leading phenomenon.

### Key Words:

Climate change, CMIP, SSP, simulation, climate parameters.