

ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 در پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در محدوده چاه نیمه‌های استان سیستان و بلوچستان

ناصر حافظی مقدس^{۱*}، غلامرضا لشکری پور^۲، رشید پارسائی^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد

۳- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی، مشهد

چکیده

دما و بارش به دلیل تغییرات قابل ملاحظه زمانی و مکانی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی در بررسی تغییرات اقلیمی هستند و پیش‌نگری تغییرات آن‌ها در برنامه‌ریزی‌ها و مخاطرات محیطی از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا در این پژوهش به پیش‌نگری آینده تغییرات دما و بارش در محدوده چاه نیمه‌های استان سیستان و بلوچستان پرداخته شد. بدین منظور، ۸ مدل گردش کلی جو (GCM) از CMIP6 با کاربست روش اصلاح اریبی مقیاس خطی (LSBC) با استفاده از سنجه‌های R^2 ، MSE ، $RMSE$ و MAE مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس تغییرات دما و بارش در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۹۵) با استفاده از بهترین مدل تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 مورد بررسی و پیش‌نگری قرار گرفت. جهت آشکارسازی روند تغییرات دما و بارش در دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۹۵) نیز آزمون ناپارامتری من-کندال و تخمین‌گر شیب سن در مقیاس سالانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بارش در منطقه مورد مطالعه دارای روند کاهشی و دما دارای روند افزایشی بوده است. نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌های CMIP6 نشان داد که مدل‌های BCC_CSM2_MR و FGOALS-g3 به ترتیب با $RMSE$ برابر با ۰/۹۴ و ۵/۶، بهترین و ضعیف‌ترین عملکرد را جهت شبیه‌سازی بارش در منطقه مورد مطالعه دارند. ارزیابی عملکرد مدل‌های مورد بررسی در شبیه‌سازی متوسط دما نیز نشان داد که مدل MRI-ESM2-0 با $RMSE$ برابر با ۰/۲۳ بهترین عملکرد و مدل CanESM5 با $RMSE$ برابر با ۰/۳۳ ضعیف‌ترین عملکرد را دارند. نتایج حاصل از پیش‌نگری دما و بارش در منطقه مورد مطالعه نیز نشان داد که بارش در دوره آینده به طور متوسط به میزان ۴/۱ درصد نسبت به دوره مشاهداتی کاهش و دما به میزان ۱/۴ درجه سلسیوس افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین سناریوهای SSP5-8.5 و SSP1-2.6 به ترتیب بیشترین و کمترین تغییرات دما و بارش را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در مدیریت منابع آب چاه نیمه‌ها موثر باشد.

کلید واژه‌ها: پیش‌نگری، چاه نیمه، دما، بارش، SSP، CMIP6.

مقدمه

تغییرات دما و بارش یکی از مهم‌ترین بحث‌های مطرح در قلمرو علوم محیطی می‌باشد. این پدیده به دلیل ابعاد علمی و کاربردی آن از اهمیت زیادی برخوردار است، چرا که سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند آب، کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی شده و عمل می‌نمایند (ذهبیون و همکاران، ۱۳۸۹). مطالعات آب‌وهوایی نشان می‌دهد که بارش و دما در دهه‌های اخیر تغییرات جدی را نشان داده‌اند (Davidson and Janssens, 2006) و افزایش گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی و در نتیجه تشدید تغییرات دما و بارش نیز می‌تواند تأثیرات منفی زیادی را بر سیستم‌های مختلف از جمله منابع آب، محیط‌زیست، صنعت، بهداشت، کشاورزی و کلیه سیستم‌هایی که در کنش با سیستم اقلیم می‌باشند، بگذارد (حسینی، ۱۳۹۴). بنابراین پیش‌نگری و اطلاع از تغییرات دما و بارش در سال‌های آینده می‌توان راهگشای معضلاتی چون خشک‌سالی، سیلاب‌های ناگهانی، تبخیر زیاد و تخریب‌های زیست‌محیطی باشد (صلاحی و همکاران، ۱۳۹۵). برای ارزیابی تغییرات اقلیمی مدل‌های گردش کلی جو (GCMs) طراحی شده‌اند. این مدل‌ها خصوصیات فیزیکی، چرخش‌ها و حرکات اتمسفری را تحلیل می‌نمایند و به دنبال آن متغیرهای هواشناسی را در شبکه‌های خاص شبیه‌سازی می‌کنند (شامی و حبیبی‌نوخندان، ۱۳۸۸). مدل‌های GCM متعددی توسعه یافته است و به دلیل تفاوت ساختار این مدل‌ها و تفاوت شرایط اولیه‌ای که تحت آن اجرا می‌شوند، نتایج آن‌ها حتی برای یک سناریوی انتشار یکسان، متفاوت است؛ لذا برای استفاده در مطالعات منطقه‌ای، لازم است خروجی این مدل‌ها با استفاده از یک روش مناسب ارزیابی شود (Kay et al, 2009). هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش ششم ارزیابی خود از مدل‌های CMIP6 و سناریوهای واداشت اجتماعی - اجتماعی (SSPs) استفاده کرد تا بتواند تجزیه و تحلیل یکپارچه تأثیرات اقلیمی، آسیب پذیری‌ها، سازگاری و کاهش آتی آن را تسهیل کند (حجازی زاده و همکاران، ۲۰۲۲). در این راستا سرکار و همکاران (Sarkar et al, 2016) به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش با استفاده از مدل‌های GCM در هندوستان پرداختند. نتایج نشان داد که در دوره‌های آتی میزان بارش بین ۹ تا ۲۷ درصد کاهش می‌یابد. هیون‌چا و همکاران (Hyun Cha et al, 2016) به

پیش‌نگری تغییرات بارش تابستانه در کره با استفاده از مدل HadGEM2 تحت سناریوهای مختلف پرداختند. نتایج نشان داد میزان بارش کاهش و شدت آن نیز افزایش می‌یابد. لیونگ-تان و همکاران (Leong Tan et al, 2017) به ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب در مالزی پرداختند. نتایج افزایش بارندگی ماهانه در فصل مرطوب و کاهش بارندگی در فصل خشک را نشان داد. فریرا و همکاران (Ferreira et al, 2018) به بررسی اثرات تغییرات آب و هوایی بر بارش‌های تابستانی در جنوب شرقی ایالات متحده پرداختند، نتایج حاکی از افزایش قابل ملاحظه بارش به دلیل افزایش دما و شار بخار آب است. نیلاوار و ویکار (Nilawar and Waikar, 2019) اثرات تغییرات اقلیمی بر جریان رودخانه پورنا در هند را با استفاده از سناریوهای مختلف بررسی کردند. نتایج نشان داد که دما و بارش در آینده افزایش پیدا خواهد کرد. حیدری و همکاران (۲۰۲۰) به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش با استفاده از مدل HadGEM2 در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد در دوره‌های آتی میزان بارش کاهش و میزان دما افزایش خواهد یافت. جیانگ و همکاران (Jiang et al, 2020) به پیش‌نگری تغییرات بارش در آسیای مرکزی بر اساس ۱۵ مدل جهانی فاز CMIP6 تحت ۴ سناریوی SSP پرداختند. نتایج نشان داد در تمام سناریوها افزایش شدید بارندگی سالانه مشاهده می‌شود. یو همکاران (Yue et al, 2021) به بررسی تغییرات دما و بارش در حوضه رودخانه یانگ‌تسه در چین پرداختند. نتایج نشان داد دما و بارش تحت سناریوهای مختلف SSP در بلندمدت افزایش می‌یابد و با وجود دقت در مدل مورد بررسی عدم قطعیت در بارش و دمای پیش‌بینی شده وجود دارد. کین و همکاران (Qin et al, 2021) به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در شمال غربی چین با استفاده از ۵ مدل CMIP6 پرداختند. نتایج نشان داد که مدل‌های CMIP6 می‌توانند دما را بهتر از بارش شبیه‌سازی کنند. پیش‌بینی‌ها نیز نشان داد که میانگین دما و بارش تحت سناریوهای مختلف در قرن ۲۱ افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند. مجدی و همکاران (۲۰۲۲) به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا با استفاده از متوسط ۲۳ مدل GCM و دو سناریوی SSP پرداختند. نتایج حاکی از افزایش دما و کاهش بارش در بیشتر مناطق مورد مطالعه تحت هر دو سناریوی مورد بررسی است. مسگری و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی عملکرد مدل-

در سطح کشور بوده و بالاترین میزان تلفات از این سازه‌های را شامل می‌گردد (صمدی و امینی ۱۴۰۰). عوامل اصلی که بر تبخیر آب مؤثرند، به پارامترهای اقلیمی مانند دما، بارش، تابش خورشیدی، سرعت باد و غیره بستگی دارد و هر تغییری در پارامترهای اقلیمی بر میزان تبخیر آب تأثیر خواهد گذاشت (هویرو و لی‌هویرو، ۱۹۹۳). لذا با توجه به اهمیت این موضوع، در این پژوهش پس از بررسی روند تغییرات دما و بارش و ارزیابی مدل‌های مختلف CMIP6 به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در محدوده چاه نیمه‌های استان سیستان و بلوچستان در دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴) تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 پرداخته شد.

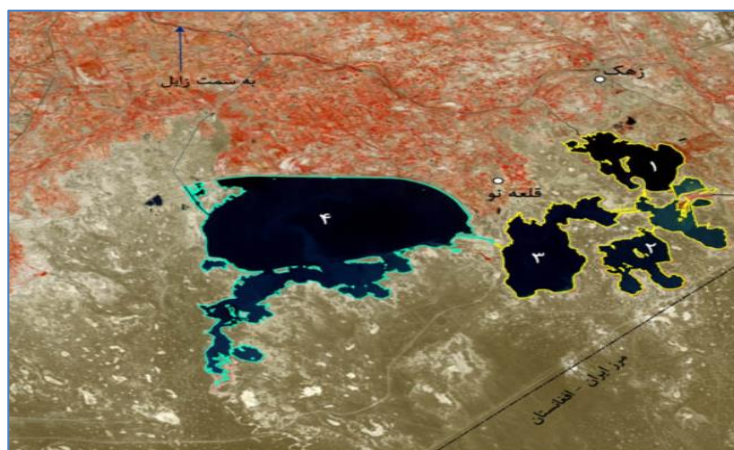
مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

چاه نیمه‌ها گودال‌های طبیعی هستند که در جنوب شرقی شهر زابل در فاصله ۵۰ کیلومتری این شهر و ۵ کیلومتری شهر زهک و در کنار روستای قلعه نوب واقع شده‌اند. چاه نیمه‌ها از حساس‌ترین سازه‌های آبی کشور هستند که در حاشیه رودخانه هیرمند احداث شده‌اند و آب شرب و صنعتی کلیه شهرهای و روستاهای منطقه سیستان و بخش بزرگی از آب شرب شهر زاهدان را تامین می‌کنند (صمدی و امینی ۱۴۰۰). موقعیت جغرافیایی چاه نیمه‌ها و مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه به ترتیب در شکل (۱) و جدول (۱) آورده شده است.

های مختلف CMIP6 جهت پیش‌نگری تغییرات بارش در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا پرداختند نتایج نشان داد که مدل MPI-ESM1-2-HR از دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش در منطقه مورد مطالعه برخوردار است. پالمرو و همکاران (Palmer et al, 2023) یک ارزیابی مبتنی بر عملکرد مدل‌های CMIP6 برای اروپا ایجاد کردند که می‌توان از آن برای اطلاع‌رسانی مدل‌های منطقه‌ای استفاده کرد. ارزیابی آنها نشان داد که مدل‌های CMIP6 توانایی بالایی در شبیه‌سازی‌های اقلیمی دارند و برای نمایش تغییرات آب و هوای اروپا مهم هستند. عبدالموتی و پاپالکسیو (Abdelmoaty and Papalexiou, 2023) حداکثر بارش روزانه در سال را در سراسر جهان با استفاده از پیش‌بینی‌های مدل‌های CMIP6 تحت چهار سناریوی SSP تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد که گرمایش جهانی به طور بالقوه حداکثر بارش روزانه را تشدید می‌کند.

تمدن چند هزار ساله سیستان کاملاً وابسته به جریان آب در رودخانه سیستان بوده است. در حال حاضر هم تنها منبع تامین کننده آب منطقه، جریان آب در رودخانه هیرمند و منابع ذخیره آب چاه نیمه‌ها هستند. با توجه به اقلیم خشک منطقه و بارندگی حدود ۵۰ میلی‌متر در سال و وجود بادهای خشک ۱۲۰ روزه سیستان و عدم وجود منابع آب زیرزمینی مناسب در منطقه، رودخانه هیرمند و چاه نیمه‌ها تنها منبع تامین آب منطقه می‌باشند. در نتیجه بررسی تغییرات اقلیمی و پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در محدوده این سازه‌ها اهمیت بسیار بالایی برای نجات سیستان دارد. مهمترین عامل تلفات سطحی آب چاه نیمه‌ها ناشی از تبخیر بسیار بالا در منطقه است. تبخیر حدود ۴۰۰۰ میلی‌متر سالانه در منطقه از بالاترین ارقام تبخیر



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

| نام ایستگاه | نوع ایستگاه | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | ارتفاع (متر) |
|-------------|-------------|---------------|---------------|--------------|
| زابل | سینوپتیک | ۳۰/۰۳ | ۶۱/۴۸ | ۴۰۸/۳ |
| زهک | سینوپتیک | ۳۰/۹ | ۶۱/۶۸ | ۴۹۵ |

روش پژوهش

این تحقیق از نظر ماهیت، کتابخانه‌ای و آماری است و از نظر نوع تحقیق، یک تحقیق کاربردی محسوب می‌شود. در این تحقیق از دیدگاه آماری به بررسی تغییرات اقلیمی و هیدرولوژی در منطقه مرزی ایران و افغانستان در حوزه آبخیز هیرمند پرداخته می‌شود. زیر بنای تحقیق، استفاده از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی با دوره آماری بلندمدت به صورت روزانه خواهد بود. آمار لازم برای دوره آماری ۲۰ ساله از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ به عنوان دوره پایه از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. در ابتدا روند دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی بر اساس آزمون ناپارامتری من کندال و تخمین‌گر شیب سن مشخص شد. پس از ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف CMIP6 و اصلاح آریبی به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) تحت سه سناریوی مختلف واداشت اجتماعی-اقتصادی (SSPs) پرداخته شد. در ادامه به شرح روش‌های مورد بررسی در این پژوهش پرداخته می‌شود.

آزمون ناپارامتری من-کندال

آزمون ناپارامتری من-کندال که توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۷۵ تکمیل گردید، بر پایه مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zhang et al, 2000). مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از مرتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها می‌باشد که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و نیازی نیست که داده‌ها در قالب توزیع خاصی در آیند. فرض مورد بررسی در این آزمون به صورت زیر می‌باشد:

H_0 : داده‌ها به صورت تصادفی توزیع شده‌اند (روند ندارند).

H_1 : داده‌ها دارای روند هستند.

در این آزمون، اگر x_1, x_2, \dots, x_n مشاهدات موردنظر باشند، آنگاه داریم:

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

که در آن مقدار داده j ام و k ام sgn تابع علامت می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

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

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. در این مرحله می‌توان بجای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه مورد نظر (سری زمانی) استفاده کرده و مرتبه‌ها را به همین روش مقایسه نمود. به این دلیل، این آزمون یک آزمون بر پایه مرتبه داده‌ها می‌باشد. با فرض اینکه داده‌ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند، میانگین و واریانس S از روابط زیر به دست می‌آید:

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t_t(t_t-1)(2t_t+5)}{18} \quad (4)$$

در رابطه بالا: n : تعداد داده‌ها، m : تعداد گره‌ها و t_t : تعداد داده در هر گره می‌باشد.

منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، تشکیل یک گره را می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره m برابر t می‌باشد. آماره این آزمون (Z) دارای توزیع نرمال بوده و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

که در آن β برآوردگر شیب‌خط روند، X_i و X_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی \bar{A} و \bar{Z} می‌باشند و Z یک واحد زمانی بعد از \bar{A} می‌باشد. مقادیر مثبت و منفی β نشان‌دهنده روند افزایشی و کاهشی در سری داده‌ها است (سن، ۱۹۶۸).

مدل‌های CMIP6 مورد بررسی

در این پژوهش جهت بررسی و پیش‌نگری تغییرات دما و بارش از مدل‌های مختلف GCM از CMIP6 استفاده شد. مشخصات مدل‌های مورد بررسی در جدول (۲) آورده شده است. دلیل انتخاب مدل‌های مذکور از مجموعه مدل‌های CMIP6 قدرت تفکیک افقی بالا و در دسترس بودن متغیرها و سناریوها مورد نیاز جهت مطالعه است. پس از دریافت داده‌ها، مقادیر پارامترهای مشاهداتی و تاریخی برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه با تهیه برنامه در محیط MATLAB با استفاده از نزدیکترین یاخته داده‌های GCMs در دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۹۵) استخراج می‌گردید. سپس از روش تصحیح اربیبی جهت اصلاح داده‌ها استفاده شد. در ادامه اختلاف بین مقادیر پارامترهای مشاهداتی و تاریخی با استفاده از شاخص‌های مختلف ارزیابی گردید. پس از صحت‌سنجی و ارزیابی دقت مدل‌های مختلف GCM، با استفاده از بهترین مدل، تغییرات دما و بارش در دوره‌های آینده تحت سه سناریوی مختلف پیش‌نگری شد و تغییرات آن در دوره آینده نسبت به دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۹۵) مورد بررسی قرار گرفت.

این آزمون، یک آزمون دوطرفه است. بنابراین در صورتی که $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ باشد، در سطح اطمینان α فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. در حالت رد فرض صفر (وجود روند)، در صورتی که $S > 0$ باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی که $S < 0$ باشد، سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود. اگر $|Z| > 1.64$ در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد، اگر $|Z| > 1.96$ در سطح معنی‌داری ۵ درصد و اگر $|Z| > 2.56$ در سطح معنی‌داری ۱ درصد فرض صفر (عدم وجود روند) رد می‌شود (Kendall, 1975).

تخمین گر شیب سن

تخمین شیب‌خط روند ابتدا توسط تیل (۱۹۵۰) ارائه شد. سپس توسط سن (Sen, 1968) برای تشخیص روند در یک سری زمانی بسط و گسترش داده شد. این روش یک روش ناپارامتری است که با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهده‌ای یک سری زمانی، یک شیب میانه را برای سری زمانی داده‌ها از رابطه (۶) محاسبه می‌کند. در روش سن برای هر دو جفت داده متوالی یک شیب محاسبه می‌شود. شیب‌های محاسبه‌شده تشکیل یک سری زمانی می‌دهند که میانه آن‌ها شیب‌خط روند را نشان می‌دهد. در آزمون من-کنندال شیب‌خط روند سری داده‌ها با روش تخمین گر سن از رابطه نا پارامتری زیر محاسبه می‌گردد.

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right] (\forall j > i) \quad (6)$$

جدول ۲- مشخصات مدل‌های CMIP6 مورد بررسی

| قدر تفکیک افقی | موسسه / کشور | نام مدل | ردیف |
|----------------------------------|--|---------------|------|
| $1.125^\circ \times 1.121^\circ$ | مرکز آب و هوایی پکن، سازمان هواشناسی چین | BCC-CSM2-MR | ۱ |
| $2.81^\circ \times 2.79^\circ$ | مرکز آنالیز و مدل‌سازی‌های اقلیمی، کانادا | CanESM5 | ۲ |
| $1.25^\circ \times 1^\circ$ | بنیاد ملی علوم، وزارت انرژی، مرکز ملی تحقیقات جوی | CESM2 | ۳ |
| $2^\circ \times 2.3^\circ$ | موسسه فیزیک جو، دانشگاه تسینگوا، چین | FGOALS-g3 | ۴ |
| $1.3^\circ \times 1^\circ$ | آزمایشگاه ژئوفیزیک و دینامیک سیالات، ایالات متحده | GFDL-ESM4 | ۵ |
| $1.41^\circ \times 1.41^\circ$ | موسسه تحقیقات جو و اقیانوس و موسسه ملی مطالعات محیطی، ژاپن | MIROC6 | ۶ |
| $0.93^\circ \times 0.93^\circ$ | موسسه هواشناسی ماکس پلانک، آلمان | MPI-ESM1-2-LR | ۷ |
| $1.1^\circ \times 1.1^\circ$ | موسسه تحقیقات جوی، ژاپن | MRI-ESM2-0 | ۸ |

$$P_{contr}^{BC}(t) = P_{contr}(t) \cdot \left[\frac{\mu_m P_{obs}(t)}{\mu_m P_{contr}(t)} \right] \quad (7)$$

$$(t) = P_{frc}(t) \cdot \left[\frac{\mu_m P_{obs}(t)}{\mu_m P_{contr}(t)} \right] P_{frc}^{BC} \quad (8)$$

در روابط بالا، P به طور مثال بارش است؛ $contr$ تعداد سری‌های شبیه‌سازی شده GCM در طول دوره کنترل، obs دوره زمانی مشاهداتی frc سرس زمانی پیش‌نگری شده آینده است که باید اریبی آن حذف شود؛ BC سری زمانی پیش‌نگری شده آینده است که اریبی آن حذف شده است، t گام زمانی و μ_m میانگین بلند مدت ماهانه است.

ارزیابی عملکرد مدل‌ها

جهت ارزیابی و تحلیل عملکرد مدل‌های مورد بررسی سنجه‌های عملکردی مختلفی وجود دارد که در این پژوهش از سنجه‌های ضریب تعیین (R^2)، میانگین مربعات خطا (MSE)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) استفاده شد که به صورت روابط زیر تعریف می‌شوند (صلاحی و همکاران، ۱۳۹۵).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_o X_s}{\sqrt{\sum_{i=1}^N X_o^2 \sum_{i=1}^N X_s^2}} \quad (9)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2 \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (11)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_o - X_s|}{N} \quad (12)$$

در روابط فوق X_o داده‌های مشاهداتی، X_s داده‌های شبیه‌سازی شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

جهت آشکارسازی روند تغییرات دما و بارش در دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴) آزمون ناپارامتری من-کندال و تخمین‌گر شیب سن در مقیاس سالانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج

سناریوهای مورد بررسی

سناریوهای مربوط به CMIP6 تحت عنوان واداشت اجتماعی-اقتصادی (SSP) ارائه شده‌اند. سناریوهای SSPs بخشی از چارچوب جدیدی است که جامعه تحقیقاتی در مورد تغییرات آب و هوا اتخاذ کرده است تا بتواند تجزیه و تحلیل یکپارچه تأثیرات اقلیمی، آسیب‌پذیری‌ها، سازگاری و کاهش آتی آن را تسهیل کند. کمیت‌های SSP بر اساس تلاش مشترک بین انجمن‌های IAV و IAM بنا شده است که در یک سلسله جلسات برگزار شده و مجموعه محدودی از پنج خط داستان SSP را مشخص کرده‌اند. خط داستان‌ها ویژگی‌های اصلی مسیرهای توسعه آینده SSP را توصیف می‌کنند که می‌توان از ابزارهای مختلف مدل‌سازی برای توسعه کمیت‌های این داستان، از جمله عواملی مانند جمعیت، توسعه اقتصادی، کاربری اراضی و مصرف انرژی استفاده کرد. پنج سناریوی SSP از SSP1 تا SSP5 وجود دارد که به ترتیب نشان‌دهنده گذر از راه سبز، میانه راه، راه سنگی، راه تقسیم شده و پایان راه است (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۹). سناریوهای مورد مطالعه در این پژوهش یعنی SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به ترتیب بیانگر حالت خوش‌بینانه، حدوسط و بدبینانه است.

تصحیح اریبی

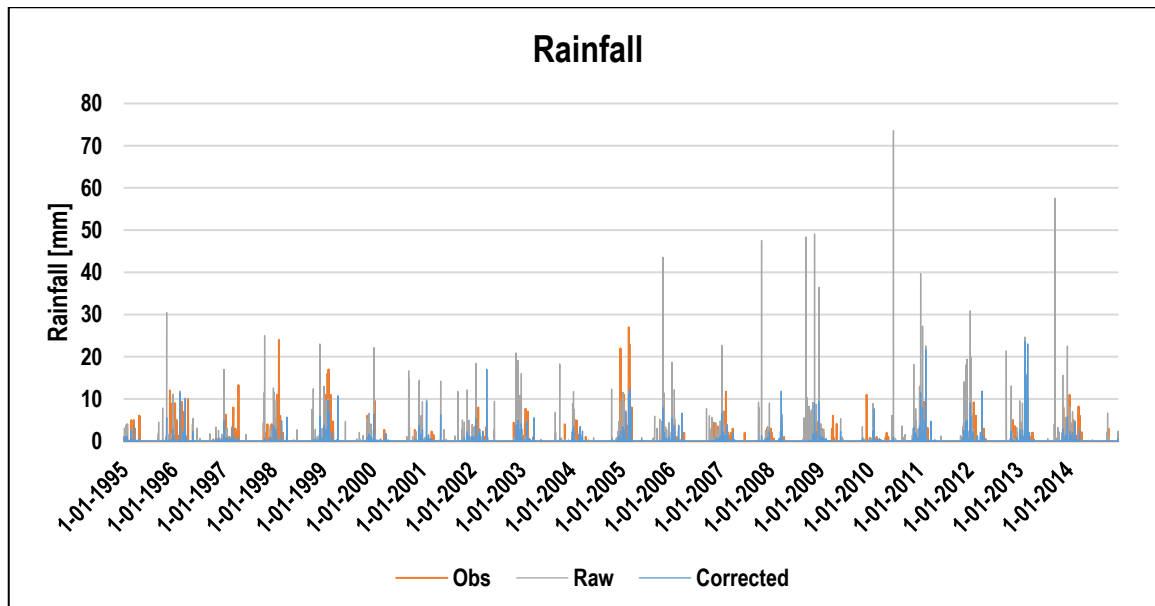
در این پژوهش جهت تصحیح اریبی داده‌های CMIP6 از روش مقیاس‌بندی خطی (LSBC) استفاده گردید. تصحیح اریبی بر اساس میانگین تفاوت بین سری‌های زمانی مشاهده شده ماهانه و سری‌های زمانی دوره تاریخی GCM/RCM در همان دوره از سری زمانی مشاهده شده است. سپس این تفاوت‌ها برای داده‌های آب و هوایی شبیه‌سازی شده برای دریافت متغیرهای آب و هوایی با اریبی اصلاح شده اعمال می‌شوند (Shrestha et al, 2016). رویکرد LSBC با مقادیر اصلاح شده ماهانه براساس تفاوت بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عمل می‌کند. داده‌های هواشناسی با ضریبی بر اساس نسبت میانگین بلند مدت ماهانه داده‌های مشاهداتی و داده‌های کنترل اجرا اصلاح می‌شود. در این حالت شرط بر این است که ضرایب تصحیح اعمال شده و افزوده‌ها حتی برای شرایط آبی نیز بدون تغییر باقی می‌مانند (توجه‌باین و همکاران، ۲۰۱۲).

در این پژوهش، ۸ مدل GCMs از CMIP6 با توجه به قدرت تفکیک بالا و داده‌های هواشناسی در دسترس آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و پس از اصلاح اریبی به روش LSBC به ارزیابی عملکرد این مدل‌ها در شبیه‌سازی پارامترهای مورد بررسی در دوره پایه این مدل‌ها (۲۰۱۴-۱۹۹۰) پرداخته شد. نمونه‌ای از اصلاح اریبی بر روی داده‌های دما و بارش ایستگاه هواشناسی زابل در شکل‌های (۲ و ۳) آورده شده است همانطور که مشاهده می‌شود داده‌های اصلاح شده به روش LSBC نسبت به داده‌های خام، بسیار نزدیکتر به داده‌های مشاهداتی ایستگاهی هستند و باعث دقت در شبیه‌سازی پارامترهای مذکور شده است.

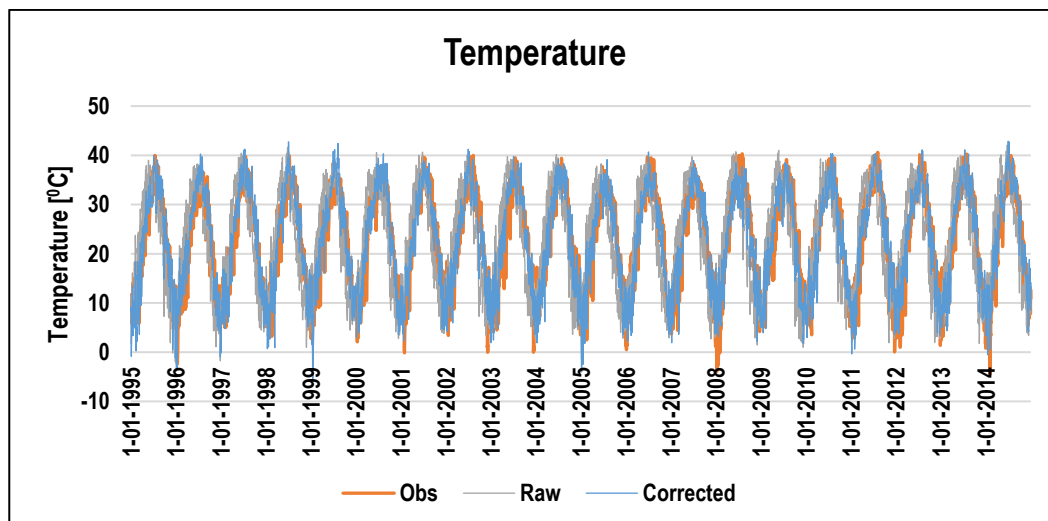
حاصل نشان داد که بارش در ایستگاه‌های زابل و زهک دارای روند کاهشی بوده است و این روند کاهشی در هیچکدام از ایستگاه‌های مذکور معنی‌دار نشده است بر این اساس روند کاهشی بارش در منطقه مورد مطالعه از نوع نوسانات کوتاه مدت آب و هوایی می‌باشد. بیشترین میزان کاهش بارش نیز مربوط به ایستگاه زابل با شیب سن برابر با $-۲/۴$ است. روند دما نیز بیانگر روند افزایشی در هر دو ایستگاه هواشناسی مورد بررسی است و این روند افزایشی در ایستگاه زابل در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. بررسی شیب تغییرات دما نیز نشان می‌دهد که بیشترین شیب تغییرات دما نیز مربوط به ایستگاه زابل با شیب سن برابر $۰/۰۷$ است (جدول ۲).

جدول ۲- روند تغییرات دما و بارش در دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۴) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

| ایستگاه | آماره من کندال | | شیب سن | |
|---------|----------------|---------|--------|--------|
| | دما | بارش | دما | بارش |
| زابل | $۲/۱^*$ | $-۱/۷۲$ | $۰/۰۷$ | $-۲/۴$ |
| زهک | $۱/۰۵$ | $-۱/۱$ | $۰/۰۴$ | $-۱/۴$ |



شکل ۲- مقادیر مشاهداتی، خام و اصلاح شده بارش به روش LSBC برای ایستگاه زابل در دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۴)



شکل ۳- مقادیر مشاهداتی، خام و اصلاح شده دما به روش LSBC برای ایستگاه زابل در دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴)

آن نیز پایین‌تر از سایر مدل‌ها است (جدول ۳). بنابراین این مدل جهت پیش‌نگری بارش بارش در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید.

ارزیابی عملکرد مدل‌های مورد بررسی در شبیه‌سازی متوسط دما نیز نشان داد که بر اساس سنجه‌های خطاسنجی مورد بررسی، مدل MRI-ESM2-0 بهترین عملکرد را در بین مدل‌های مورد بررسی جهت شبیه‌سازی دما دارد. به طوری که میزان RMSE آن برابر با ۰/۲۳ است. همچنین مدل CanESM5 با RMSE برابر با ۰/۳۳ ضعیف‌ترین عملکرد را داشته است (جدول ۴). مقایسه نتایج حاصل از بررسی دقت مدل جهانی مورد بررسی در شبیه‌سازی دما و بارش نیز نشان می‌دهد که روش LSBC در اصلاح آریبی دما از دقت بالایی نسبت به بارش برخوردار است. بطوری که ضریب تعیین در همه مدل‌های مورد بررسی در شبیه‌سازی دما برابر با ۰/۹۹ است و مقادیر سایر شاخص‌های آن نیز کمتر از بارش است.

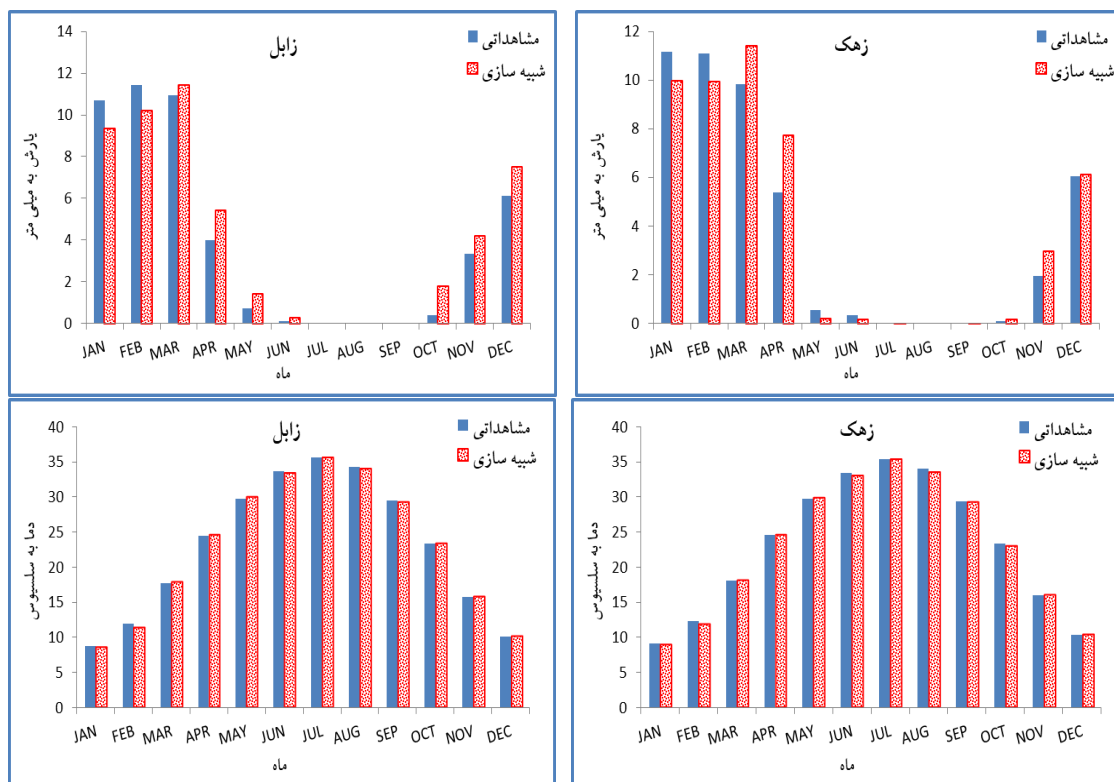
پس از اصلاح آریبی، به ارزیابی عملکرد و دقت مدل‌ها در شبیه‌سازی پارامترهای مورد بررسی با استفاده از شاخص‌های مختلف در ایستگاه همدیدی زابل به عنوان ایستگاه منتخب منطقه پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد که بر اساس شاخص RMSE مدل BCC_CSM2_MR و سپس MPI-ESM1-2-LR از دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها جهت شبیه‌سازی بارش برخوردار است. میزان RMSE مدل‌های مذکور با داده‌های بارش مشاهداتی در ایستگاه مورد مطالعه در مقیاس ماهانه به ترتیب برابر با ۰/۹۴ و ۰/۹۵ است. مدل FGOALS-g3 نیز با RMSE برابر با ۰/۶ ضعیف‌ترین عملکرد را در بین مدل‌های مورد بررسی جهت شبیه‌سازی بارش در منطقه مورد مطالعه داشته است. در مجموع بر اساس شاخص‌های مختلف دقت مدل BCC_CSM2_MR در شبیه‌سازی بارش در منطقه مورد مطالعه مناسب است بطوری که میزان ضریب تعیین آن نیز برابر با ۰/۹۷ می‌باشد و مقادیر MSE و MAE

جدول ۳- ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 بر اساس اصلاح آریبی LSBC در شبیه‌سازی بارش

| ردیف | مدل | MSE | RMSE | MAE | R ² |
|------|---------------|------|------|------|----------------|
| ۱ | BCC-CSM2-MR | ۰/۸۸ | ۰/۹۴ | ۰/۷۴ | ۰/۹۷ |
| ۲ | CanESM5 | ۶/۹ | ۲/۶ | ۱/۷ | ۰/۹۶ |
| ۳ | CESM2 | ۳ | ۱/۷ | ۱/۶ | ۰/۹۳ |
| ۴ | FGOALS-g3 | ۳۱/۷ | ۵/۶ | ۳/۴ | ۰/۸۹ |
| ۵ | GFDL-ESM4 | ۱۳/۲ | ۳/۶ | ۲/۱ | ۰/۹۶ |
| ۶ | MIROC6 | ۱۴/۱ | ۳/۸ | ۳ | ۰/۷۹ |
| ۷ | MPI-ESM1-2-LR | ۰/۹ | ۰/۹۵ | ۰/۶۶ | ۰/۹۶ |
| ۸ | MRI-ESM2-0 | ۱ | ۱ | ۰/۶۷ | ۰/۹۵ |

های مورد مطالعه در شکل (۴) آورده است. نتایج حاکی از دقت مناسب مدل منتخب در شبیه‌سازی دما و بارش در منطقه مورد مطالعه است.

مقایسه مقادیر دما و بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی بصورت ماهانه در طول دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴) بر اساس مدل‌های جهانی منتخب یعنی MRI-ESM2-0 و BCC_CSM2_MR و اصلاح اریبی LSBC در ایستگاه-



شکل ۴- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دما و بارش بصورت ماهانه در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در طول دوره آماری پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۴)

مدل‌های مورد مطالعه مناسب ارزیابی می‌گردد. در مجموع ارزیابی مدل‌های مختلف نشان داد که در شبیه‌سازی بارش مدل BCC_CSM2_MR و در شبیه‌سازی دما مدل MRI-ESM2-0 از دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی برخوردار است.

پس از ارزیابی عملکرد مدل‌های مورد بررسی و آگاهی از نحوه عملکرد آن امکان بررسی و پیش‌نگری تغییرات اقلیمی در دوره آینده فراهم گردید. نتایج حاصل از بررسی ماهانه بارش در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که بارش در دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) در بیشتر ایستگاه‌ها و بیشتر ماه‌های سال به جز ماه‌های فوریه، مارس، آوریل و نوامبر بر اساس سناریوهای SSP3-7.0 و SSP5-8.5 نسبت به دوره پایه

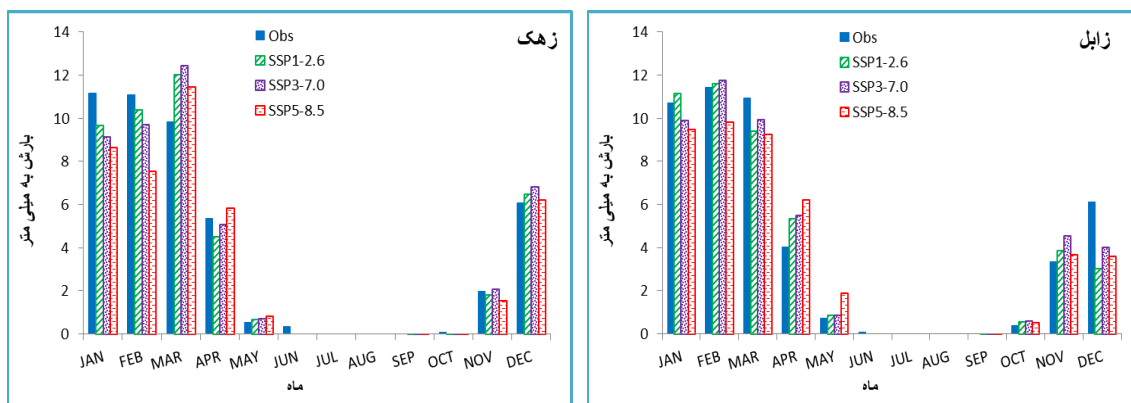
در مجموع نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 و اصلاح اریبی LSBC بیانگر آن است که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهداتی دما و بارش در منطقه مورد مطالعه با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده، دقت مدل‌های مختلف در پارامترهای مختلف متفاوت است بدین صورت که تمامی مدل‌ها در شبیه‌سازی دما از دقت بیشتری نسبت به شبیه‌سازی بارش برخوردار است و از خطای بسیار کمتری نیز برخوردارند. نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف خطاسنجی نیز بیانگر آن است که روش LSBC از دقت مناسبی جهت اصلاح اریبی متغیرهای مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه برخوردار است و عملکرد روش مذکور برای

با ۱/۴ و برای ایستگاه زهک برابر با ۲/۴ درصد است در مجموع براساس متوسط سناریوهای مورد بررسی میزان بارش در منطقه مورد مطالعه به میزان ۱/۴ درصد نسبت به دوره مشاهداتی کاهش پیدا خواهد کرد. بیشترین و کمترین تغییرات بارش نیز به ترتیب بر اساس سناریوهای SSP5-8.5 و SSP1-2.6 برآورد شده است (شکل ۶).

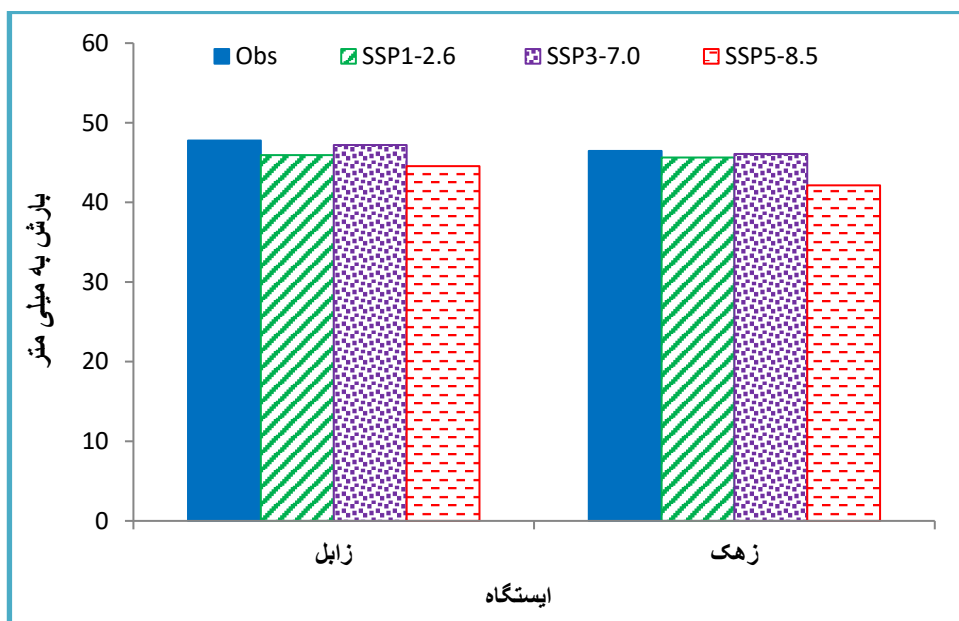
بررسی تغییرات متوسط دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره مشاهداتی نیز نشان داد که میزان دما بر اساس هر سه سناریوی مورد بررسی نسبت به دوره مشاهداتی در منطقه افزایش پیدا خواهد کرد. بیشترین تغییرات افزایشی نیز در منطقه مطالعاتی بر اساس سناریوی SSP5-8.5 برآورد شده است (شکل ۷).

کاهش خواهد یافت و انتظار می‌رود که بارش در ۳۰ سال دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه کاهش داشته باشد البته در برخی ماه‌ها و برخی ایستگاه‌ها نیز بر اساس سناریوی SSP1-2.6 افزایش بارش را انتظار داریم بیشترین تغییرات نیز در منطقه مورد مطالعه مربوط به ماه‌های پر بارش سال و بر اساس سناریوی SSP5-8.5 برآورد شده است (شکل ۵).

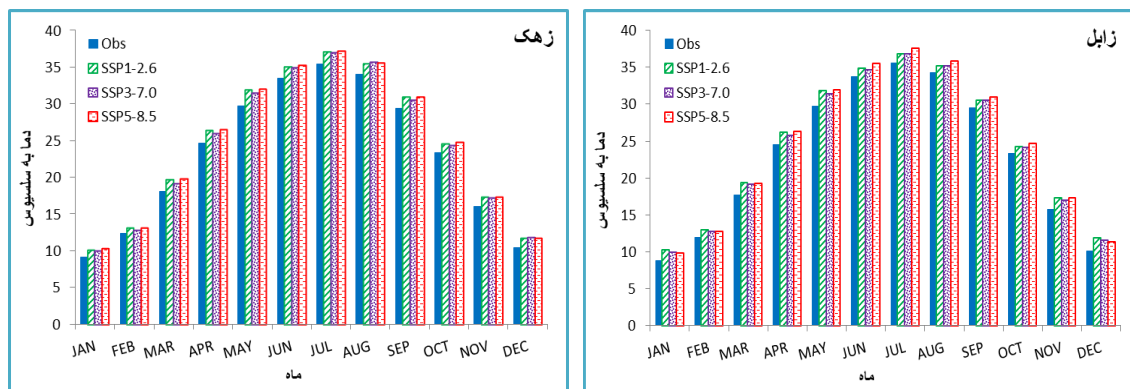
نتایج حاصل از پیش‌نگری بارش سالانه در دوره (۲۰۲۱-۲۰۵۰) بر اساس سناریوهای مختلف نشان می‌دهد که بر اساس هر سناریوی مورد بررسی میزان بارش در هر دو ایستگاه مورد مطالعه کاهش پیدا خواهد کرد که میزان آن به طور متوسط سناریوهای مورد بررسی برای ایستگاه زابل برابر



شکل ۵- تغییرات ماهانه بارش در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره مشاهداتی در ایستگاه‌های مطالعاتی بر اساس سناریوهای مختلف



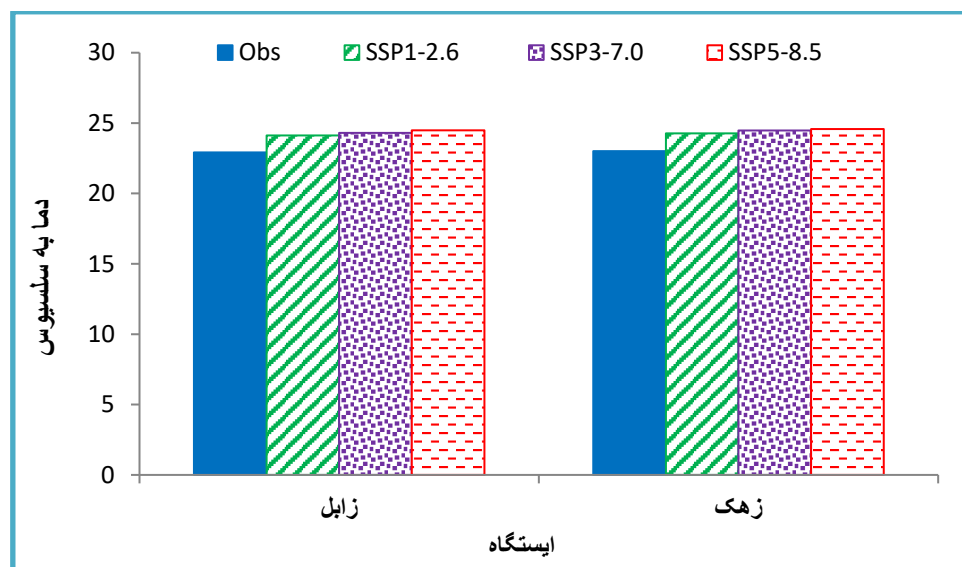
شکل ۶- متوسط بلندمدت بارش در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره مشاهداتی بر اساس سناریوهای مختلف



شکل ۷- تغییرات ماهانه دما در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره مشاهداتی در ایستگاه‌های مطالعاتی بر اساس سناریوهای مختلف

جدول (۴) متوسط بلندمدت تغییرات دما و بارش طی دوره آماری پایه و آینده به تفکیک سناریوهای مورد بررسی در ایستگاه‌های هواشناسی محدوده چاه نیمه‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل و سناریوهای مورد بررسی میزان بارش در مقایسه با دوره پایه کاهش خواهد یافت که به طور متوسط در منطقه مورد مطالعه این میزان برابر با ۴/۱ درصد است. در ارتباط با پارامتر متوسط دما، نتایج حاکی از افزایش دما در منطقه مورد مطالعه است که میزان افزایش آن در دوره آینده نسبت به دوره پایه به طور متوسط برابر ۱/۴ درجه سلسیوس است و روند گرمایشی از خود نشان داده است (جدول ۵).

بر طبق متوسط سناریوهای مورد بررسی در دوره آینده میزان دما در سطح منطقه مطالعاتی به میزان ۱/۴ درجه سلسیوس نسبت به دوره مشاهداتی افزایش پیدا خواهد کرد. بیشترین تغییرات از لحاظ ایستگاهی نیز مربوط به ایستگاه زهک با ۵/۹ درصد است. همچنین سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 به ترتیب با ۱/۶ و ۱/۲ درجه سلسیوس بیشترین و کمترین تغییرات دما را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند (شکل ۸).



شکل ۸- متوسط بلندمدت دما در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره مشاهداتی بر اساس سناریوهای مختلف

جدول ۵- تغییرات دما و بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوهای مختلف

| درصد تغییرات | میزان تغییرات | متوسط دوره آینده | دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) | | | متوسط دوره پایه | ایستگاه | متغیر |
|--------------|---------------|------------------|------------------------|----------|----------|-----------------|---------|-------|
| | | | SSP5-8.5 | SSP3-7.0 | SSP1-2.6 | | | |
| ۴/۱ | -۱/۹ | ۴۵/۹ | ۴۴/۵ | ۴۷/۲ | ۴۵/۹ | ۴۷/۸ | زابل | بارش |
| ۴/۲ | -۱/۹ | ۴۴/۶ | ۴۲/۱ | ۴۶/۱ | ۴۵/۶ | ۴۶/۵ | زهک | |
| ۵/۷ | ۱/۴ | ۲۴/۳ | ۲۴/۵ | ۲۴/۳ | ۲۴/۱ | ۲۲/۹ | زابل | دما |
| ۵/۹ | ۱/۴ | ۲۴/۴ | ۲۴/۶ | ۲۴/۵ | ۲۴/۳ | ۲۳ | زهک | |

قطعیت‌هایی در زمینه پیش‌نگری تغییرات اقلیمی وجود دارد. نتایج حاصل از این بخش با مطالعات کین و همکاران (۲۰۲۱) مبنی بر دقت بیشتر مدل‌ها در شبیه‌سازی دما نسبت به بارش مطابقت دارد. نتایج حاصل از پیش‌نگری آینده تغییرات دما و بارش نیز نشان داد که در مجموع بارش به میزان ۴/۱ درصد کاهش و دما نیز به میزان ۱/۴ درجه سلسیوس افزایش پیدا خواهد. نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعات مجدی و همکاران (۲۰۲۲) و مسگری و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد. بر اساس نتایج حاصل از خروجی مدل‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه میزان بارش نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت که این امر می‌تواند موجب کاهش ذخیره و تأمین منابع آبی چاه نیمه‌ها گردد که به دنبال آن شرایط اقلیم کشاورزی و زیستی منطقه نیز دچار تغییر می‌گردد. همچنین میزان دما افزایش پیدا خواهد کرد که این افزایش دما می‌تواند افزایش تبخیر را به دنبال داشته باشد که این امر هم می‌تواند موجب تلفات و هدر رفت آب از سطح چاه نیمه‌ها گردد. بنابراین لازم است برنامه‌ریزان مربوطه در بخش‌های مختلف به ویژه منابع آب و کشاورزی راهکارهای لازم جهت سازگاری با شرایط جدید را اتخاذ نمایند.

منابع

- 1- Abdelmoaty, H. M., Papalexioiu, S.M. 2023. Changes of Extreme Precipitation in CMIP6 Projections: Should We Use Stationary or Nonstationary Models? *Journal of Climate*, 36 (9): 2999–3014.
- 2- Davidson, E.A., Janssens, I.A. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change, *Nature*. 440(7081), 165 p.
- 3- Ferreira, R N., Nissenbaum, M R., Rickenbach, TH M. 2018. Climate change effects on summertime precipitation

در مجموع بر طبق نتایج حاصل از مدل CMIP6 و مقیاس کاهی روش LSBC میزان بارش در منطقه مورد مطالعه کاهش و میزان دما افزایش پیدا خواهد کرد که این افزایش دما می‌تواند افزایش تبخیر و تعرق و بارش‌های رگباری و سیل‌آسا را در منطقه به دنبال داشته باشد. مجموع این شرایط می‌تواند موجب کاهش ذخیره و تأمین منابع آبی چاه نیمه‌ها گردد که به دنبال آن شرایط اقلیمی منطقه نیز دچار تغییر می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی ۸ مدل GCMs از CMIP6 در شبیه‌سازی دما و بارش و همچنین پیش‌نگری تغییرات آن‌ها در محدوده چاه نیمه‌های سیستان و بلوچستان تحت سه سناریوی واداشت اجتماعی- اقتصادی (SSPs) در دوره زمانی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۴) پرداخته شد. جهت اصلاح اریبی پارامترهای دما و بارش در منطقه مورد مطالعه نیز از روش مقیاس بندی خطی (LSBC) بهره گرفته شد. پس از این که مدل‌های مختلف برای دوره پایه ارزیابی شد و صحت و دقت مدل‌ها تعیین شد به پیش-نگری تغییرات دما و بارش با استفاده بهترین مدل پرداخته شد. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 با استفاده از سنجه‌های خطاسنجی مختلف نشان داد که در شبیه‌سازی بارش مدل BCC_CSM2_MR و در شبیه‌سازی دما، مدل MRI-ESM2-0 از دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی برخوردار است. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف نشان داد که اکثر مدل‌ها در زمینه شبیه‌سازی بارش از دقت کمتری نسبت به دما برخوردارند که این امر ناشی از پیچیده بودن فرآیند بارش و همچنین ساختار مدل‌های اقلیمی است. بنابراین همیشه عدم

- 15- Nilawar, A P., Waikar, M L. 2019. Impacts of climate change on stream flow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India. *Science of the Total Environment*, 2: 2685-2696
- 16- Palmer, T. E., McSweeney, C. F., Booth, B. B., Priestley, M. D. K., Davini, P., Brunner, L., Borchert, L., Menary, M. B. 2023. Performance-based sub-selection of CMIP6 models for impact assessments in Europe, *Earth Syst. Dynam.*, 14: 457-483.
- 17- Qin, J., Su, B., Tao, H., Wang, Y., Huang, J., Jiang, T. 2021. Projection of temperature and precipitation under SSPs-RCPs Scenarios over northwest China. *Front. Earth Sci.* 15: 23-37.
- 18- Salahi, B., Goudarzi, M.; Hosseini, S. A. 2015. Forecasting temperature and precipitation changes in the 2050s in the Urmia Lake watershed, *Journal of Watershed Engineering and Management*, No. 4, 425-438.
- 19- Samadi, A., Amini, R. 2020. Evaluating the rate of evaporation and the available solutions for its management in the Chahnimeh of Sistan and Baluchistan National Bodybuilding Conference, Zabol University, 15 p.
- 20- Sarkar, J., Chicholikar, J. R., Rathore, L. S. 2015. Predicting Future Changes in Temperature and Precipitation in Arid Climate of Kutch, Gujarat: Analyses Based on LARS-WG Model. *Current science*, 109: 2084-2093.
- 21- Sen, P.K (1968). Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63:1379-1389.
- 22- Shaimi, A., Habibi Nokhandan, M. 2009. Global warming and biological ecological consequences, first edition, Ferdowsi University Press, Mashhad.
- 23- Shrestha, S., Shrestha, M., Babel, M.S. 2016. Modelling the potential impacts of climate change on hydrology and water resources in the Indrawati River Basin, Nepal. *Environ Earth Sci*, 75, 280
- 24- Teutschbein, C., Seibert, J. 2012. Bias correction of regional climate model simulation for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *J. Hydrology*, 456: 12-29
- 25- Yue, Y., Yan, D., Yue, Q., Ji, G., Wang, Z. 2021. Future changes in precipitation and temperature over the Yangtze River Basin in China based on CMIP6 GCMs, *Atmospheric Research*, 264: 105828
- organization in the Southeast United States. *Atmospheric Research*, 214: 348- 363.
- 4- Hejazizadeh, Z., Hosseini, S.A., Karbalaee, A., Poorkarim, R., Mousavi, S M. 2022. Spatiotemporal variations in precipitation extremes based on CMIP6 models and Shared Socioeconomic Pathway (SSP) scenarios over MENA. *Arab J Geosci* 15, 1601.
- 5- Heydari, Sh., Hosseini, S.A., Heydari, A. 2020. Investigating the effects of climate change on stream flows of Urmia Lake basin in Iran, *Modeling Earth Systems and Environment*, 1: 329-339.
- 6- Houerou, H.N.Le., Le Houerou, H.N. 1993. Climatic changes and desertification. *Secheresse*. 4: 95-111.
- 7- Hyun Cha, D., Kyou Lee, D., Chun-Sil Jin., Gayoung Kim., Yonghan Choi., Myoung-Seok Suh., Joong-Bae Ahn., Song-You Hong., Seung-Ki Min., Seong-Chan Park., Hyun-Suk Kang. 2016. Future changes in summer precipitation in regional climate simulations over the Korean Peninsula forced by multi-RCP scenarios of HadGEM2-AO. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 52:139-149.
- 8- Jiang, J., Zhou, T., Chen, X., Zhang, L. 2020. Future changes in precipitation over Central Asia based on CMIP6 projections, *Environ. Res. Lett*, 15: 1-4.
- 9- Kay, AL., Davies, HN., Bell, VA., Jones, RG. 2009. Comparison of uncertainty sources for climate change impactsL flood frequency in England. *Climate Change*, 92: 41-63.
- 10- Kendall M.G., 1975, Rank Correlation Measures. Charles Griffin. London.
- 11- Leong Tan, M., LatifIbrahim, AB., Yusop, Z., Chua, V., WengChan, N. 2017. Climate change impacts under CMIP5 RCP scenarios on water resources of the Kelantan River Basin, Malaysia. *Atmospheric Research*, 189: 1-10.
- 12- Majdi, F., Hosseini, S.A., Karbalaee, A., Kaseri, M., Marjanian, S. 2022. Future projection of precipitation and temperature changes in the Middle East and North Africa (MENA) region based on CMIP6. *Theoretical and Applied Climatology*, 147: 1249-1262.
- 13- Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13:245-259
- 14- Mesgari, E., Hosseini, S A., Hemmesy, M S., Houshyar, M., Golzari Partoo, L. 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.

- 26- Zahraei, A., Hosseini, S. A. 2019. Climate change and effects on water resources, Havar Publications, first edition, Ilam.
- 27- Zhahabiun, B., Goudarzi, M. R., Masah Bowani, A. 2010. Application of SWAT model in estimation of watershed runoff in future periods under the influence of climate change, Journal of Climatology Research, No. 1 2, pp. 43-58.
- 28- Zhang, X., Vincent, L.A., Hogg, W.D., Niitsoo, A. 2000. Temperature and rainfall trends in Canada during the 20th century. Atmosphere- Ocean, 38: 395-429.