



ارزیابی دقت مدل‌های CMIP6 برای شبیه‌سازی دما و بارش حوزه آبریز دریاچه ارومیه

فیروز عبدالعلی‌زاده^۱، علی محمد خورشیددوست^{۲*}، سعید جهانبخش^۳

^۱دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز

^۲آستاذ گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز

^۳آستاذ گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۴

چکیده

در پژوهش حاضر دقت مدل‌های گردش عمومی گزارش ششم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (CMIP6) در شبیه‌سازی دما و بارش حوزه آبریز دریاچه ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفته است. مدل‌های مورد استفاده MPI-ESM1-2-HR، MRI-ESM2-0، CMCC-ESM2 و INM-CM5-0 هستند. ارزیابی دقت مدل‌ها قبل و بعد از تصحیح اریبی انجام گرفته است. برای تصحیح اریبی مدل‌ها از روش آماری تغییر عامل دلتا و داده‌های هفت ایستگاه سینوپتیک در سطح حوزه استفاده شده است. بدین منظور دوره مورد مطالعه (۲۰۱۳-۱۹۹۰) به دو دوره دوازده ساله جهت انجام واسنجی و صحت‌سنجی تقسیم شد. بدین ترتیب دقت داده‌های تصحیح شده مدل‌ها با استفاده از تغییر عامل دلتا برای دوره ۲۰۱۳-۲۰۰۲ نسبت به داده‌های مشاهداتی با استفاده از سنج‌های درستی‌سنجی R^2 ، RMSE، NRMSE، نمودارهای تیلور و پراش‌نگار مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که برای کل حوزه بین داده‌های تصحیح شده مدل‌ها و مشاهدات ایستگاهی برای دما رابطه خطی با قوی و برای بارش رابطه خطی ضعیف برقرار است. شاخص‌های RMSE و NRMSE بیانگر دقت بالای مدل‌ها در شبیه‌سازی دمای ماهانه و دقت نسبتاً ضعیف‌تر در شبیه‌سازی بارش ماهانه حوزه هستند و در بین مدل‌ها، CMCC بیشترین خطا را داشت. نقشه‌های توزیع مکانی NRMSE برای میانگین‌های ماهانه کل نشان دادند که هر چهار مدل، دما را با دقت بالایی شبیه‌سازی کرده‌اند اما شبیه‌سازی بارش در برخی مناطق حوزه دقت قابل قبولی ندارد. بنابراین دقت مدل‌های مورد مطالعه در شبیه‌سازی دما خوب و در شبیه‌سازی بارش به خصوص در مدل CMCC ضعیف ارزیابی شده است.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی دما و بارش، روش تغییر عامل دلتا، تصحیح اریبی

مقدمه

در حال حاضر یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی بشر مسئله تغییر اقلیم و چگونگی رویارویی با این موضوع می‌باشد. اهمیت موضوع تا حدی است که سازمان ملل جهانی را با عنوان هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC^۱) تأسیس کرده تا تغییر اقلیم را در سطح جهانی مطالعه کند و نقش فعالیت‌های بشر در

تغییر اقلیم را مورد ارزیابی قرار دهد. یکی از مهم‌ترین علل تغییر اقلیم و گرمایش جهانی که بیشتر مطالعات اقلیمی و نتایج داده‌های مشاهداتی آن را تصدیق می‌کنند، انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط فعالیت‌های مختلف بشر می‌باشد. لذا، دانشمندان جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی اقلیم آینده کره زمین اقدام به تولید سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای نموده‌اند تا بر اساس سناریوها تغییر اقلیم را شبیه‌سازی نمایند. این سناریوها پیش‌بینی‌یابی گازهای گلخانه‌ای آینده، آتروسل‌ها و آلاینده‌های هوا و کاربری آینده زمین

*نویسنده مسئول: khorshid@tabrizu.ac.ir

2. Intergovernmental Panel on Climate Change

متغیرهای اقلیمی توسعه داده شده است. از جمله روش خطی، روش واریانس، نگاشت توزیع و روش تصحیح تغییر عامل دلتا. همه این روش‌ها فرض می‌کنند که رابطه آماری موجود بین شبیه‌سازی‌های تاریخی و مشاهداتی برای دوره آینده نیز برقرار هستند (وود و همکاران^۷، ۲۰۰۴).

مطالعات متعددی برای ارزیابی دقت مدل‌های GCM در سطح جهانی و ایران با استفاده از روش‌های مختلف مقیاس‌کاهی و تصحیح اریبی انجام گرفته است. احمد و همکاران^۸ (۲۰۱۳)، مقیاس‌کاهی و تصحیح اریبی خروجی مدل‌های اقلیمی در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم شمال شرق ایالات متحده را مطالعه کردند. مهرتروا و شارما^۹ (۲۰۱۵)، تصحیح اریبی سامانمند مدل‌های GCM را ارزیابی کردند و روشی تحت عنوان MRNBC برای تصحیح اریبی ارائه نمودند. لی و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۶)، قابلیت‌های بارش شبیه‌سازی و تصحیح شده مدل‌های GCM را در بازسازی دوره‌های خشک و تر گذشته در سنگاپور را مورد تحلیل قرار دادند. نتایج نشان دادند که بارش تصحیح شده مدل‌های GCM تمایل به تخمین بیش از حد طول دوره‌های تر و خشک دارد، همچنین فراوانی و شدت بارش‌ها بیش از حد تخمین زده شده است. یانگ و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۸)، تصحیح اریبی شبیه‌سازی‌های گذشته و آینده بارش و دمای چین تحت مدل‌های CMIP5 را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان دادند که هر دو روش (EDCDF و CDF) کارایی مناسبی در دوره تاریخی دارند، اما EDCDF در کاهش اریبی بهتر عمل می‌کند، هر دو روش دارای میانگین خطای مطلق مشابه برای دما بودند، اما برای بارش روش EDCDF میانگین خطای مطلق کمتری داشت. سریواستاوا و همکاران^{۱۲} (۲۰۲۰)، شبیه‌سازی‌های تاریخی مدل‌های CMIP6 برای بارش-های حدی ایالات متحده را بررسی کردند. نتایج نشان

می‌باشند (پدرسن و همکاران^۱، ۲۰۲۲). در این زمینه، IPCC به عنوان مهم‌ترین مرجع پژوهش‌ها و پیش‌بینی‌های مربوط به تغییر اقلیم تاکنون چندین نسل از سناریوهای انتشار را ارائه داده و براساس نتایج مدل‌سازی‌های مختلف تغییر اقلیم، شش گزارش ارزیابی از تغییر اقلیم را منتشر کرده است. در گزارش اخیر IPCC جدیدترین مدل‌های تغییر اقلیم با عنوان مدل‌های سری CMIP6 می‌باشند که اقلیم آینده را تحت سناریوهای انتشار SSP شبیه‌سازی می‌کنند (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۲۲).

مدل‌های گردش عمومی^۲ GCM به طور گسترده‌ای برای شبیه‌سازی آب و هوای گذشته، حال و آینده مورد استفاده قرار گرفتند. آنها براساس قوانین اساسی فیزیک، دینامیک سیالات، شیمی و غیره ساخته شده‌اند. مدل‌های فعلی قادر به باز تولید الگوهای بزرگ مقیاس دمای سطح و بارش گذشته هستند (فلاتو و همکاران^۳، ۲۰۱۳). با این حال مدل‌ها هنوز ناقص هستند، زیرا درک ما از سیستم آب و هوای واقعی هنوز محدود است و مشکلاتی در زمینه محاسبه فرمول‌های غیرخطی برای نمایش طبیعت و اتخاذ پارامترهای ناکافی برای فرآیندهای فیزیکی وجود دارد (احمد و همکاران^۴، ۲۰۱۳). شبیه‌سازی‌های تاریخی برای ارزیابی دقت مدل‌ها مفید هستند. شبیه‌سازی‌های تاریخی ابزار مهمی برای تعیین سازگاری و حساسیت مدل‌های اقلیمی نسبت به داده‌های مشاهداتی و کنترل عدم قطعیت این مدل‌ها می‌باشند (ایرینگ و همکاران^۵، ۲۰۱۶). برای حذف اریبی و مقیاس‌کاهی مدل‌های GCM از روش‌های دینامیکی و آماری استفاده می‌شود. مقیاس‌کاهی آماری روشی نسبتاً سریع و کارآمد برای فرموله کردن رابطه آماری بین خروجی‌های GCM و داده‌های مشاهداتی هستند (فاولر و ویلیبی^۶، ۲۰۰۷). چندین روش تصحیح اریبی برای مقیاس‌کاهی

7. Wood et al.
8. Ahmed et al.
9. Mehrotra and Sharma
10. Li et al.
11. Yang et al.
12. Srivastava and et al.

1. Pedersen et al.
2. General Circulation Models
3. Flato et al.
4. Ahmed et al.
5. Eyring et al.
6. Fawler and Wilby

سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 و روش تغییر عامل دلتا پیش‌یابی کردند. رنجبر و اوجی (۱۳۹۹)، در بررسی روند فرین‌های دمایی، از روش تصحیح اریبی QMD^۳ برای مقیاس‌کاهی خروجی مدل GCM استفاده کردند. کامیار (۱۳۹۹)، خطای مدل‌های آب و هوایی در شبیه‌سازی دما و بارش را با استفاده از نمودار تیلور ارزیابی کرد و سپس اقدام به تصحیح خطا با استفاده از روش‌های QM و اصلاح خطای اسکن خطی نمود. دهقانی و همکاران (۱۴۰۰)، صحت و کارایی مدل‌های منتخب CMIP5 را با استفاده از روش‌های آماری تصحیح خطا مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج تحقیق نشان داد که در مقادیر متوسط ماهانه دقت مدل‌ها افزایش می‌یابد و مدل برتر متناسب با نوع شاخص آماری و دوره زمانی متفاوت است. حمیدیان‌پور و همکاران (۱۴۰۰)، کارایی مدل SDSM در مقیاس‌کاهی و تصحیح اریبی مدل‌های GCM را در شبیه‌سازی بارش ارزیابی کردند. نتایج نشان دادند دقت شبیه‌سازی‌ها از سمت مناطق مرطوب کشور به سمت مناطق خشک و فراخشک کاهش می‌یابد. ارزیابی مطالعات پیشین نشان می‌دهد در مطالعات تغییر اقلیم یک منطقه باید از مدل‌های مناسب آن منطقه و با انجام صحت‌سنجی مدل‌ها و در صورت نیاز تصحیح اریبی و ریزمقیاس‌نمایی، استفاده نمود.

حوضه آبریز دریاچه ارومیه بزرگترین دریاچه داخلی ایران محسوب می‌شود اما طی سال‌های اخیر با مشکل کم‌آبی و خشکی روبرو می‌باشد. از این رو نگرانی‌هایی در مورد وضعیت فعلی و بخصوص آینده آن و اثراتی که بر محیط زیست و اقتصاد منطقه خواهد داشت، وجود دارد. مطالعات متعددی در زمینه تغییر اقلیم حال و آینده در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از مدل‌های GCM انجام گرفته است (از جمله عبدالعلی‌زاده (۱۳۹۷)، تغییرات اقلیمی حوضه آجی‌چای یکی از زیر حوضه‌های اصلی دریاچه ارومیه را با استفاده از مدل‌های CMIP5 مورد ارزیابی و پیش‌یابی قرار داد، کریمی و نبی‌زاده (۱۳۹۷)، اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه دریاچه

دادند که بیشتر مدل‌ها میانگین و تغییرپذیری دوره‌های تر را بیش از حد و دوره‌های خشک را کمتر از حد تخمین می‌زنند. همچنین اریبی مدل‌های CMIP6 به وضوح کمتر از مدل‌های CMIP5 هستند. ژانگ و همکاران^۱ (۲۰۲۱)، کارایی مدل‌های CMIP6 را برای شبیه‌سازی دما و بارش خینچیانگ چین با استفاده از ۴۲ مدل طی دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۵ ارزیابی کردند. نتایج نشان دادند، مدل‌ها توزیع جغرافیایی هر دو متغیر را به خوبی نشان می‌دهند. شبیه‌سازی دما خطای کمتری نسبت به بارش داشته و بارش سالانه و فصلی عموماً بیش از حد تخمین زده می‌شود. سناتوره و همکاران^۲ (۲۰۲۲)، با استفاده از ترکیب چندین مدل آب و هوای جهانی و منطقه‌ای و تصحیح اریبی، تأثیر هیدرولوژیکی تغییرات اقلیمی تحت سناریوهای RCP را مورد ارزیابی قرار دادند. در تحقیق ایشان، عدم قطعیت مدل‌ها با استفاده از روش تحلیل واریانس بررسی شد. در ایران، معصوم‌پور سماکوش و همکاران (۱۳۹۶)، دقت داده‌های بارش مدل‌های CMIP5 را با استفاده از EF، BIAS و RMSE ارزیابی کرده و نشان دادند که مدل‌های بررسی شده از توانایی بالایی در برآورد بارش کشور برخوردار نیستند. کامیار و همکاران (۱۳۹۷)، دقت خروجی مدل‌های منطقه‌ای آب و هوا (CORDEX) را با استفاده از شاخص‌های میانگین خطا، همبستگی پیرسون و RMSE بررسی کردند و نشان داد که همبستگی مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی برای بارش اندک و برای دما زیاد است. شکوهی و همکاران (۱۳۹۷)، دقت مدل‌های CMIP5 را براساس شاخص نمره مهارت ارزیابی کردند و نشان دادند، شبیه‌سازی‌ها با خطا همراه است و باید قبل از استفاده تصحیح شوند. زرین و داداشی رودباری (۱۳۹۹)، دقت سه مدل از سری مدل‌های CMIP6 را جهت شبیه‌سازی دما در محدوده کشور ایران بررسی کردند. نتایج نشان دادند که مدل MRI-ESM-2-0 بیشترین دقت را در بین سه مدل دارد. سپس با استفاده از مدل منتخب، دمای آینده ایران را تحت

1. Zhang et al.

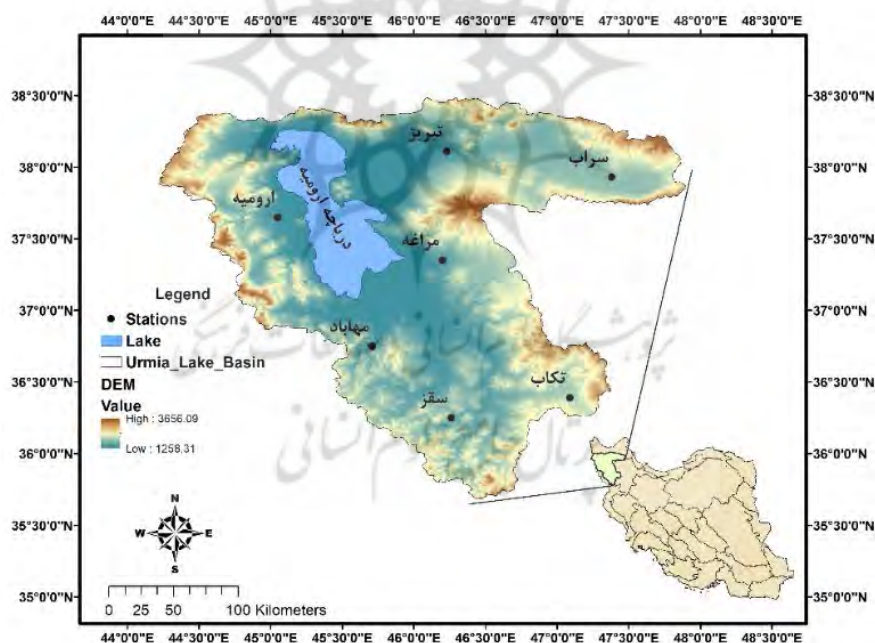
2. Senatore et al.

3. Quantile mapping with delta method extrapolation

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز دریاچه ارومیه از نظر جغرافیایی بین ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و با مساحت ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع یکی از حوضه‌های آبریز اصلی کشور است (شکل ۳). این حوضه بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان غربی (۴۶٪)، آذربایجان شرقی (۴۳٪) و کردستان (۱۱٪) را شامل می‌شود (قربانی اقدام و همکاران، ۱۳۹۱). چهارده رودخانه بزرگ و کوچک دائمی به دریاچه ارومیه می‌ریزند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: زرینه رود (جیغاتی)، سیمینه رود (تاتائو)، آجی‌چای، گذار، باراندوز، شهر چایی، نازلو و زولا. آب و هوای این منطقه براساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر جزء مناطق نیمه بیابانی خشک و سرد محسوب می‌شود (رضیعی، ۱۳۹۶).

ارومیه را برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ بررسی کردند، میردشتوان و همکاران، (۱۳۹۶)، تغییر اقلیم حوضه دریاچه ارومیه را با استفاده از مدل HadCM3 برای دوره‌های آینده ارزیابی کردند، گودرزی و همکاران، (۱۳۹۴)، تأثیرات تغییرات اقلیمی بر رواناب سطحی حوضه دریاچه ارومیه را مطالعه کردند. با توسعه مدل‌های GCM و انتشار مدل‌های جدید، مطالعات تغییر اقلیم باید با بهره‌گیری از جدیدترین مدل‌ها و همچنین ارزیابی دقت و صحت‌سنجی و استفاده از روش‌های تصحیح آریبی، می‌توانند نتایجی با دقت بالاتر برای تغییرات اقلیمی ارائه دهند تا برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات برای مقابله با اثرات تغییر اقلیم به نتایج قابل قبولی منتج شوند. لذا با توجه به انتشار مدل‌های جدید گردش عمومی با عنوان CMIP6، در این تحقیق اقدام به ارزیابی دقت این مدل‌ها در حوضه آبریز دریاچه ارومیه شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

صحت‌سنجی می‌شود. مدل‌های GCM مورد استفاده شامل چهار مدل می‌باشند که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

در این تحقیق دقت و کارایی مدل‌های گردش عمومی جو سری CMIP6 برای شبیه‌سازی دمای متوسط و بارش منطقه مورد مطالعه ارزیابی و

جدول ۱: مشخصات مدل‌های گردش عمومی جو

مدل	کشور خاستگاه	رزولوشن (خشکی)	سال انتشار
MRI-ESM2-0	ژاپن	۱۰۰ کیلومتر	۲۰۱۷
MPI-ESM1-2-HR	آلمان	۱۰۰ کیلومتر	۲۰۱۷
INM-CM5-0	روسیه	۱۰۰ کیلومتر	۲۰۱۶
CMCC-ESM2	ایتالیا	۱۰۰ کیلومتر	۲۰۱۷

میانگین مربعات خطا بین مقادیر مدل و مشاهداتی هستند. پس از رسم نمودار، مدلی که دقت بیشتری داشته باشد به نقطه مرجع نزدیک‌تر خواهد بود.

داده‌های مشاهداتی شامل دما و بارش روزانه هفت ایستگاه هواشناسی (تبریز، سراب، مراغه، ارومیه، تکاب، مهاباد و سقز) در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه هستند. دوره مورد مطالعه از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ می‌باشد که به دو دوره ۱۲ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳) جهت انجام کالیبراسیون و صحت‌سنجی در مرحله مقیاس‌کاهی تقسیم شد. مقیاس‌کاهی داده‌های مدل‌های GCM با استفاده از روش تغییر عامل دلتا (DCF) انجام گرفت. روش دلتا بطور گسترده‌ای در مطالعات مربوط به مدل‌های گردش عمومی استفاده شده است. برای دما عامل تغییر براساس تفاضل و برای بارش براساس نسبت داده‌های GCM در دوره پایه و دوره پیش‌بینی به دست می‌آید. پس از محاسبه عامل تغییر، برای دما عامل تغییر به مقدار دمای دوره پایه اضافه و برای بارش عامل تغییر در مقدار بارش دوره پایه ضرب می‌شود تا مقادیر تصحیح‌شده دما و بارش برای دوره پیش‌بینی حاصل شوند. نحوه محاسبه عامل تغییر دلتا و مقیاس‌کاهی (تصحیح اریبی) دما و بارش طبق روابط زیر می‌باشد:

$$T_o^f = T_o + (\mu_m^f - \mu_m^c) \quad (3)$$

$$P_o^f = P_o \times \frac{\mu_m^f}{\mu_m^c} \quad (4)$$

در روابط فوق T دما بر حسب درجه سلسیوس، P بارش بر حسب میلی‌متر، f دوره آینده (دوره صحت‌سنجی)، c دوره پایه (دوره کالیبراسیون)، m داده‌های مدل و o داده‌های مشاهداتی هستند. در رابطه ۳،

روش کار بدین صورت است که داده‌های مدل‌های GCM برای منطقه مورد مطالعه استخراج شده و پس از ریزمقیاس‌سازی با داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. جهت ارزیابی دقت مدل‌ها از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و ضریب تبیین (R^2) و نمودارهای پراشنگار (Scatter Plot) و تیلور (Taylor Plot) استفاده شده است.

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

$$NRMSE = \frac{RMSE}{O_{max} - O_{min}} \quad (2)$$

در روابط فوق M_i و O_i مقادیر مدل و مشاهداتی و n تعداد کل داده‌ها هستند. شاخص RMSE میزان خطای مدل را نسبت به مقادیر مشاهداتی نشان می‌دهد. برای مقایسه چندین مدل از حالت استاندارد شده RMSE یعنی شاخص NRMSE استفاده می‌شود. در نمودار پراکندگی، پراکندگی داده‌های مدل در مقابل داده‌های مشاهداتی به صورت نقطه‌ای ترسیم شده است و هر چه نقاط به خط نیم‌ساز نزدیک‌تر باشند بیانگر دقت بالای مدل می‌باشند. نمودار تیلور^۱ برای ارزیابی اولیه توافق بین شبیه‌سازی‌ها و داده‌های مشاهداتی استفاده شد. در این نمودار قطبی، ارزش داده مشاهده شده به عنوان یک نقطه مرجع بر روی محور افقی مشخص شده است. بُعد شعاعی گویای انحراف استاندارد متغیر شبیه‌سازی شده و بُعد زاویه‌ای نشان دهنده همبستگی مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است. خطوط بریده نیز نشان دهنده ریشه

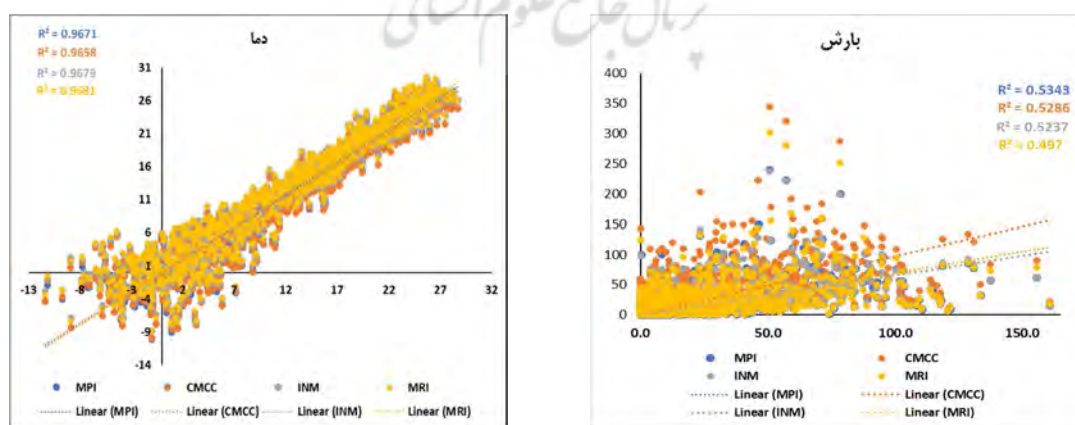
ایستگاه‌های مورد مطالعه، به منظور بررسی کلیتی از رابطه بین مقادیر شبیه‌سازی شده مدل‌ها (تصحیح شده به روش دلتا) و مشاهداتی، نمودارهای پراکنندگی برای میانگین دما و بارش کل حوضه ترسیم شد (شکل ۲). میانگین کل حوضه از طریق میانگین‌گیری از هفت ایستگاه هواشناسی حاصل شد. همچنین خطوط روند (رابطه خطی بین مقادیر مدل و مشاهداتی) و ضریب تعیین (R^2) برای کل حوضه ترسیم و محاسبه گردیدند. داده‌های دما و بارش ماهانه کل حوضه از طریق میانگین‌گیری دما و بارش ماهانه هفت ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه حاصل شدند. نمودار پراکنندگی مربوط به دمای متوسط حوضه نشان می‌دهد که رابطه مقادیر شبیه‌سازی شده هر چهار مدل با مقادیر مشاهداتی تقریباً خطی است و خطوط ترسیم شده نیز با توجه به نزدیکی به نیمساز، این امر را تأیید می‌نمایند. همچنین R^2 هر چهار مدل مقادیر بالایی دارند (بالای ۰/۹) که بیانگر دقت بالای خط برازش شده بین مقادیر شبیه‌سازی‌ها و مشاهداتی هستند. لذا مدل‌های تصحیح شده در کل دمای متوسط ماهانه حوضه را نسبتاً خوب برآورد کرده‌اند. نمودار پراکنندگی بارش روابط خطی ضعیف‌تری نسبت به دما نشان می‌دهند (شکل ۲). همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، برای هر چهار مدل خطوط روند از نیمساز فاصله گرفته‌اند و R^2 آن‌ها مقادیر پایین‌تری دارند. بنابراین رابطه خطی ضعیفی بین مقادیر شبیه‌سازی شده مدل‌ها و مشاهداتی وجود دارد.

عامل تغییر برای بارش هستند. $\mu_m^f - \mu_m^p$ عامل تغییر برای دما و در رابطه ۴، $\frac{\mu_m^f}{\mu_m^p}$ عامل تغییر برای بارش هستند.

برای ارزیابی دقت شبیه‌سازی مدل‌های مورد مطالعه، مقادیر ماهانه پارامترهای اقلیمی (میانگین دما و مجموع بارش ماهانه) طی دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۳ هم برای مدل‌ها و هم برای داده‌های مشاهداتی با استفاده از داده‌های روزانه محاسبه شد. داده‌های روزانه دما و بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه از سازمان هواشناسی کشور و داده‌های مدل‌های مورد مطالعه از پایگاه برنامه‌جهانی تحقیقات اقلیمی (<https://esgf-node.llnl.gov>) استخراج شدند. جهت استفاده از روش تغییر عامل دلتا، دوره مورد مطالعه به دو دوره دوازده ساله ۱۹۹۰-۲۰۰۱ و ۲۰۱۳-۲۰۰۲ تقسیم گردید. با استفاده از داده‌های مدل‌ها در دوره اول و دوم طبق روابط ۳ و ۴، عوامل تغییر دلتا برای دما و بارش ماهانه ایستگاه‌ها استخراج شد و سپس با استفاده از عوامل تغییر، دما و بارش ماهانه ایستگاه‌ها برای دوره دوم تولید گردیدند. به این ترتیب در هر ایستگاه برای هر یک از پارامترهای دما و بارش، چهار سری داده به ازای چهار مدل GCM برای دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ تهیه شد.

نتایج و بحث

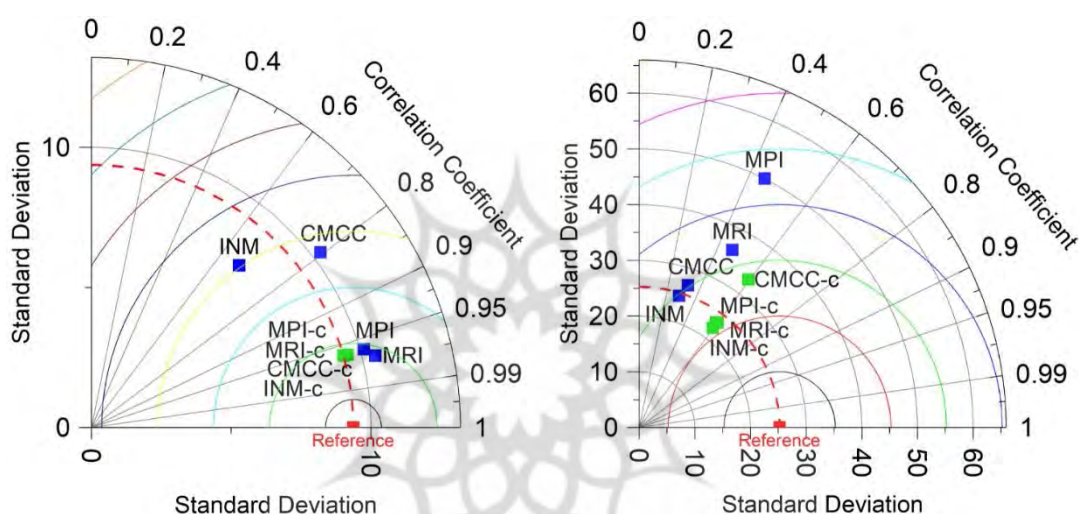
پس از تولید داده‌های دما و بارش برای دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ با استفاده از روش تغییر عامل دلتا در



شکل ۲: نمودار پراکنندگی میانگین دما و بارش ماهانه کل حوضه مربوط به مقادیر شبیه‌سازی شده چهار مدل و مشاهداتی (دما بر حسب درجه سلسیوس و بارش بر حسب میلی‌متر)

همبستگی بالاتری دارند. بعد از تصحیح اریبی همه مدل‌ها به نقطه مرجع نزدیک‌تر شده و تقریباً در یک نقطه قرار دارند. بنابراین دقت همه مدل‌ها در شبیه‌سازی دما بهبود یافته است (همبستگی همه مدل‌ها به بالای ۰/۹۵ رسیده است). در نمودار تیلور بارش (شکل ۳- راست) نیز مشاهده می‌شود مدل‌ها بعد از تصحیح اریبی به نقطه مرجع نزدیک‌تر شده‌اند و دقت آنها بالاتر رفته است (همبستگی مدل‌ها با مشاهدات از حدود ۰/۴ به تقریباً ۰/۶ رسیده است).

در ادامه به منظور ارزیابی توافق اولیه بین شبیه‌سازی‌های مدل‌های GCM (بعد از تصحیح اریبی) و مشاهدات ایستگاه‌های سینوپتیک از نمودار تیلور استفاده شده است (شکل ۳). این نمودارها برای دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ برای میانگین دمای ماهانه حوضه و میانگین بارش ماهانه حوضه برای چهار مدل GCM ترسیم شده‌اند. بررسی نمودار تیلور دما (شکل ۳- چپ) نشان می‌دهد که قبل از تصحیح اریبی، مدل‌های MPI و MRI نسبت به INM و CMCC (با توجه به نزدیکی به نقطه مرجع) دقت و



شکل ۳: نمودارهای تیلور میانگین دمای حوضه (چپ) و میانگین بارش حوضه (راست) بین مقادیر ماهانه مدل‌ها و مشاهدات قبل و بعد از تصحیح اریبی (نقاط آبی قبل از تصحیح و نقاط سبز بعد از تصحیح)

شده است. به عنوان مثال برای ایستگاه تبریز سه مدل MPI، INM و MRI و برای ایستگاه ارومیه مدل MRI بالاترین دقت را دارند. بررسی مقادیر RMSE برای بارش نشان می‌دهد که مقادیر خطا بویژه در ایستگاه‌های سقز و مهاباد نسبتاً زیاد است. در جدول ۲ مدل‌های دارای بالاترین دقت در هر ایستگاه که با رنگ زرد مشخص شده‌اند، مثلاً در ایستگاه تبریز مدل MPI و در ایستگاه ارومیه مدل MRI بالاترین دقت را دارند. نکته قابل توجه دیگر این است که مدل CMCC در همه ایستگاه‌ها بالاترین خطا را در بین مدل‌ها دارد.

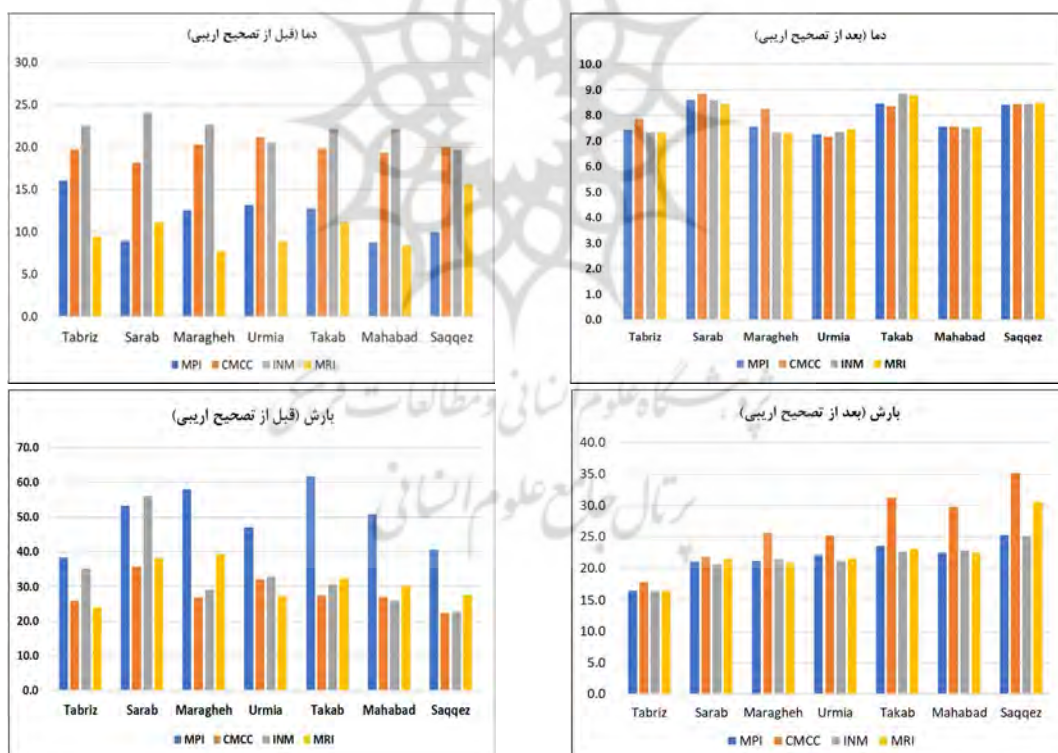
به منظور ارزیابی دقیق‌تر شبیه‌سازی‌های دما و بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از مدل‌های INM، CMCC، MPI و MRI، شاخص‌های RMSE و NRMSE برای داده‌های ماهانه دوره ۲۰۰۲-۲۰۱۳ (۱۴۴ ماه) در هر ایستگاه هواشناسی محاسبه گردید (جدول ۲ و شکل ۴). با توجه به جدول ۲ برای دما، در کل حوضه شاخص RMSE مقادیر پایینی دارد (حداکثر ۳/۲ درجه سلسیوس) و این امر بیانگر دقت بالای شبیه‌سازی‌های دما با استفاده از مدل‌های مورد مطالعه است. برای مشخص کردن مدل‌های با دقت بالاتر در جدول ۲، کمترین مقادیر RMSE برای هر ایستگاه با رنگ زرد مشخص

جدول ۲: مقادیر RMSE برای دما و بارش

	مدل	تبریز	سراب	مراغه	ارومیه	تکاب	مهاباد	سقز
دما	MPI	۲/۶	۲/۹	۲/۶	۲/۴	۲/۹	۲/۶	۳/۱
	CMCC	۲/۸	۳	۲/۸	۲/۳	۲/۹	۲/۶	۳/۱
	INM	۲/۶	۲/۹	۲/۵	۲/۴	۳/۱	۲/۶	۳/۱
	MRI	۲/۶	۲/۸	۲/۵	۲/۴	۳	۲/۶	۳/۲
بارش	MPI	۱۸/۹	۲۱/۵	۲۴	۲۶/۶	۲۷/۴	۲۹/۹	۴۰/۶
	CMCC	۲۰/۵	۲۲/۲	۲۹/۱	۳۰/۵	۳۶/۳	۳۹/۷	۵۰/۶
	INM	۱۹	۲۱	۲۴/۴	۲۵/۵	۲۶/۳	۳۰/۴	۴۰/۴
	MRI	۱۸/۹	۲۲	۲۳/۷	۲۶	۲۶/۹	۲۹/۹	۴۹/۱

شبه‌سازی‌های مدل‌های GCM منجر به افزایش دقت آن‌ها شده است یا نه، شاخص NRMSE برای مدل‌های مورد مطالعه قبل از تصحیح اریبی نیز محاسبه و در کنار نمودارهای قبل بعد از تصحیح ارائه شده است (شکل ۵).

به منظور مقایسه دقت یک مدل در ایستگاه‌های مختلف بهتر است از مقادیر استاندارد شده شاخص NRMSE یعنی NRMSE استفاده کرد. بنابراین مقادیر NRMSE متناظر جدول ۲ محاسبه و نتایج به صورت نمودار در شکل ۴ ارائه شده است. علاوه بر آن جهت بررسی این مسئله که آیا تصحیح اریبی



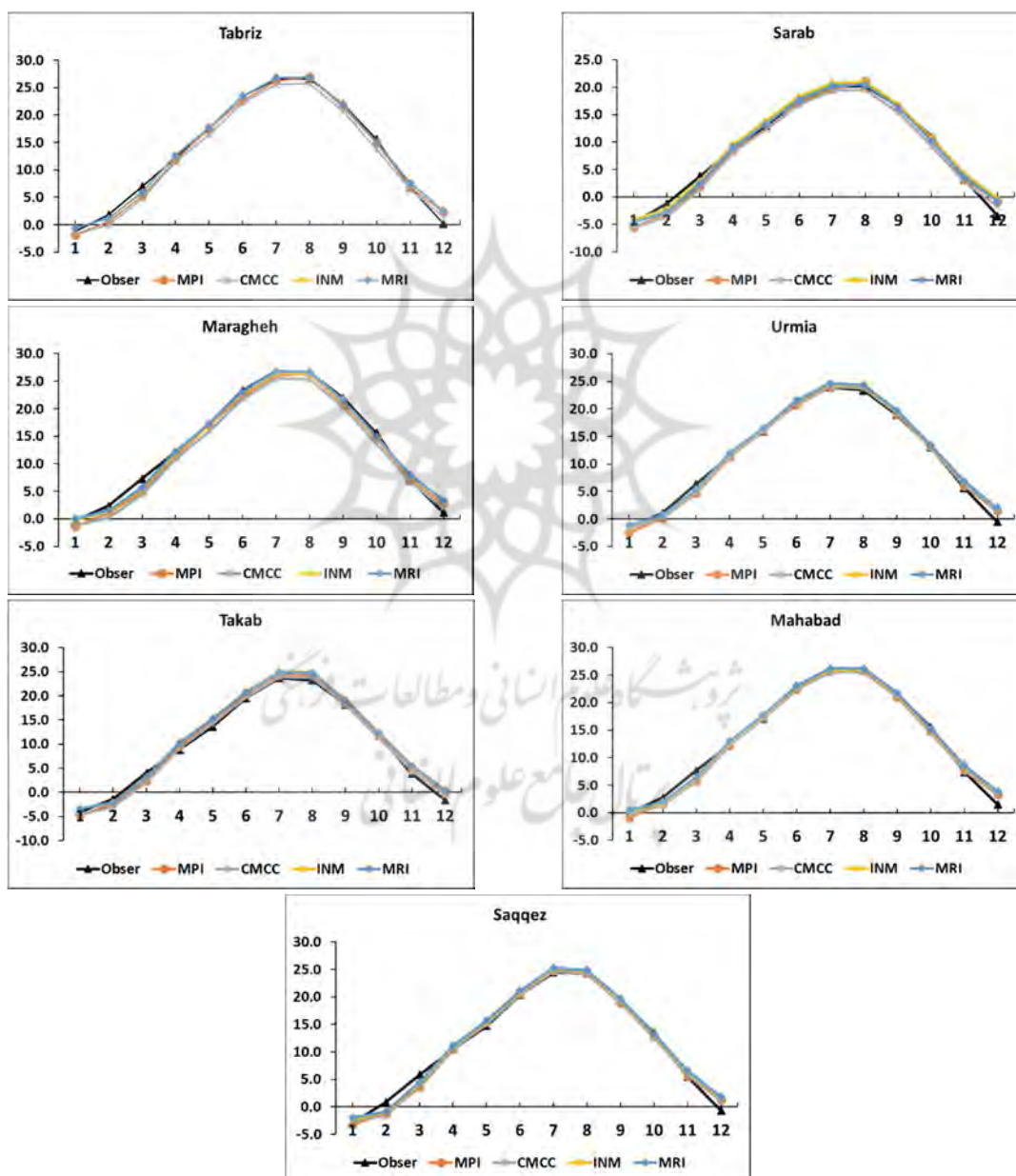
شکل ۴: شاخص NRMSE دما و بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه قبل و بعد از تصحیح اریبی برای دوره ۲۰۱۳-۲۰۰۲

درصد است، اما پس از تصحیح مقدار شاخص خطا برای همه مدل‌ها کمتر از ۹ درصد می‌باشد. همچنین برای بارش، قبل از تصحیح مقدار شاخص خطا برای مدل‌ها بین ۲۲ تا ۶۱ درصد و بعد از تصحیح بین ۱۶

براساس نمودارهای شکل ۴، با توجه به مقادیر شاخص NRMSE قبل و بعد از تصحیح اریبی، دقت مدل‌ها به میزان چشم‌گیری بهبود یافته است. برای دما مقدار شاخص خطا قبل از تصحیح بین ۷ تا ۲۴

ایستگاه‌های هواشناسی زیاد است و بیشترین خطا را مدل MPI دارد. بنابراین بدون تصحیح اریبی و مقیاس‌گامی نمی‌توان برای شبیه‌سازی بارش از این مدل‌ها استفاده کرد. بعد از تصحیح اریبی خطای مدل‌ها کاهش یافته است. بعد از تصحیح کمترین خطا در ایستگاه تبریز و بیشترین آن در ایستگاه سقز مشاهده می‌شود. همچنین بعد از تصحیح، مدل CMCC در همه ایستگاه‌ها بیشترین خطا را دارد.

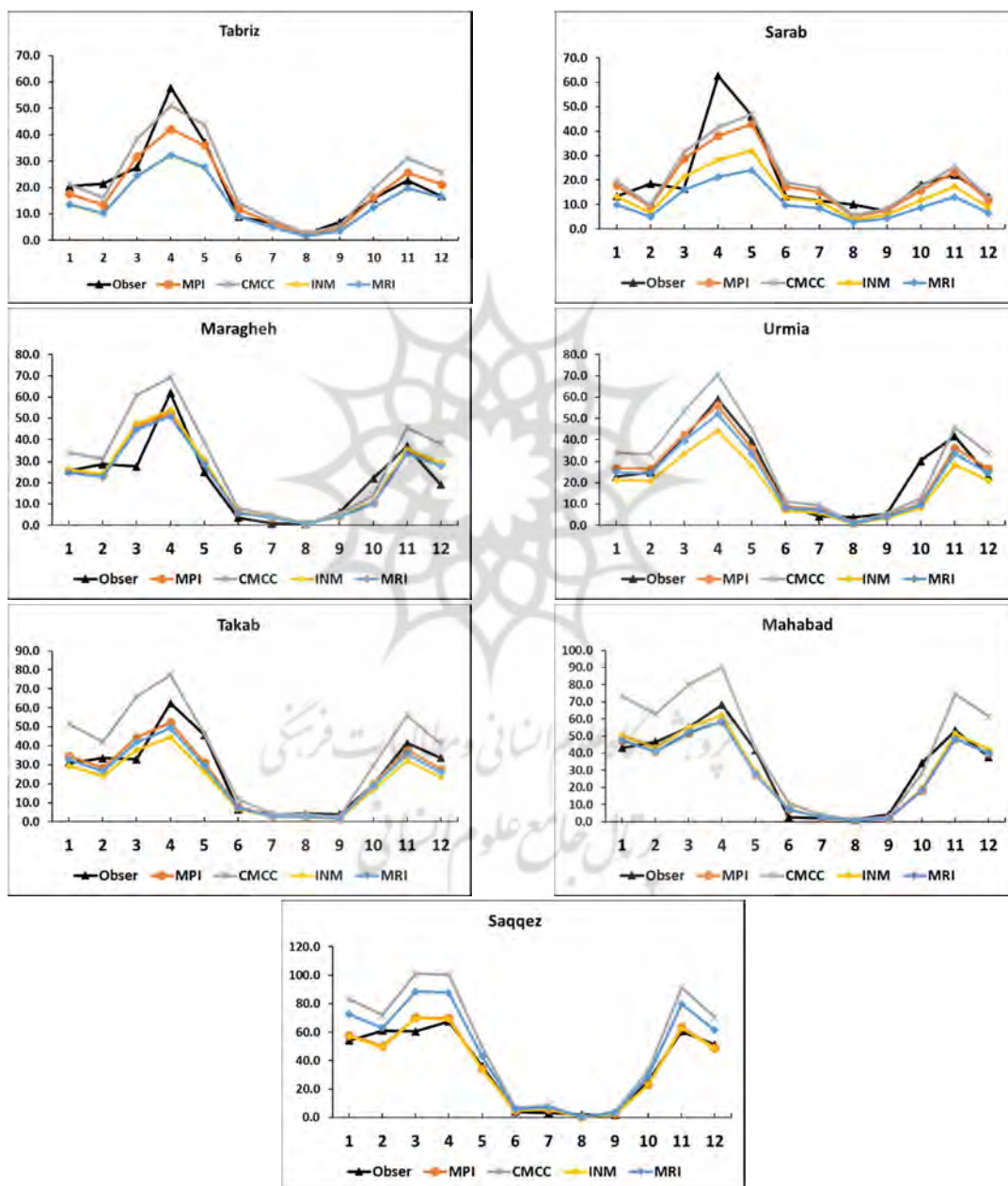
تا ۳۵ درصد است. برای دما قبل از تصحیح اریبی، مدل‌های MPI و MRI خطای کمتری (در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه زیر ۱۵ درصد) نسبت به دو مدل دیگر دارند، لذا برای شبیه‌سازی دمای ماهانه از مدل‌های مذکور قبل از تصحیح اریبی نیز می‌توان استفاده کرد. بعد از تصحیح اریبی خطای هر چهار مدل به میزان قابل توجهی کاهش یافته و تفاوت بین مدل‌ها در ایستگاه‌های مختلف اندک است. برای بارش قبل از تصحیح اریبی میزان خطای مدل‌ها در بیشتر



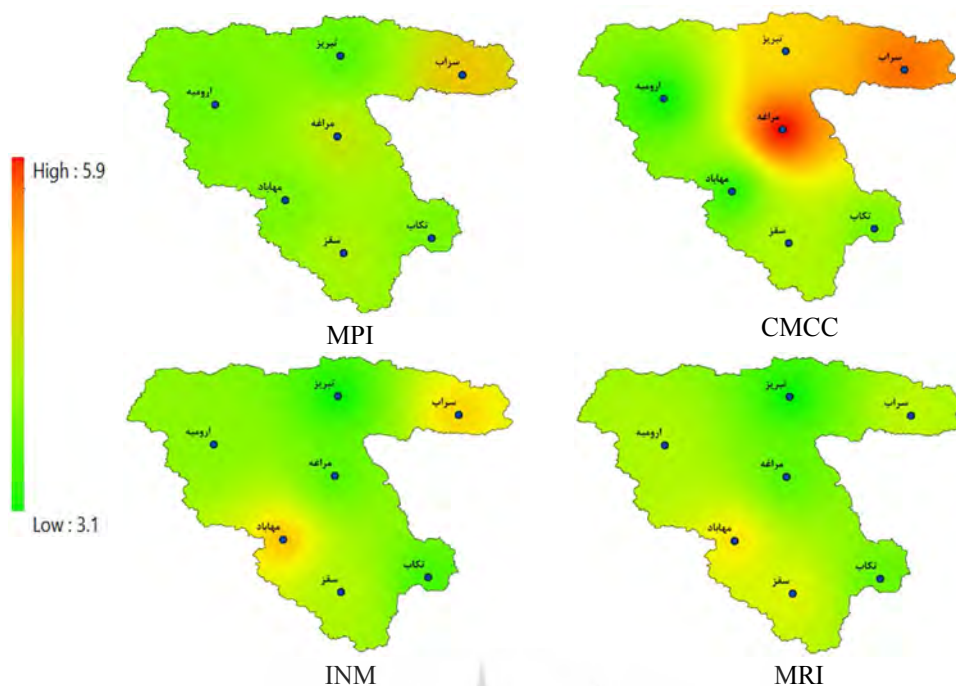
شکل ۵: مقادیر میانگین ماهانه دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه (بر حسب درجه سلسیوس)

بررسی نمودارها گویای این است که مدل‌های مورد مطالعه در بیشتر ایستگاه‌های هواشناسی، میانگین ماهانه دمای هوا را برای ماه‌های فوریه و مارس کمتر و برای ماه دسامبر بیشتر از مقدار مشاهداتی برآورد کرده‌اند. برای بارش در بیشتر ماه‌ها بین برآورد مدل‌ها و مقادیر مشاهداتی اختلاف وجود دارد به ویژه در ماه‌های پربارش از جمله آوریل، اختلاف زیاد است.

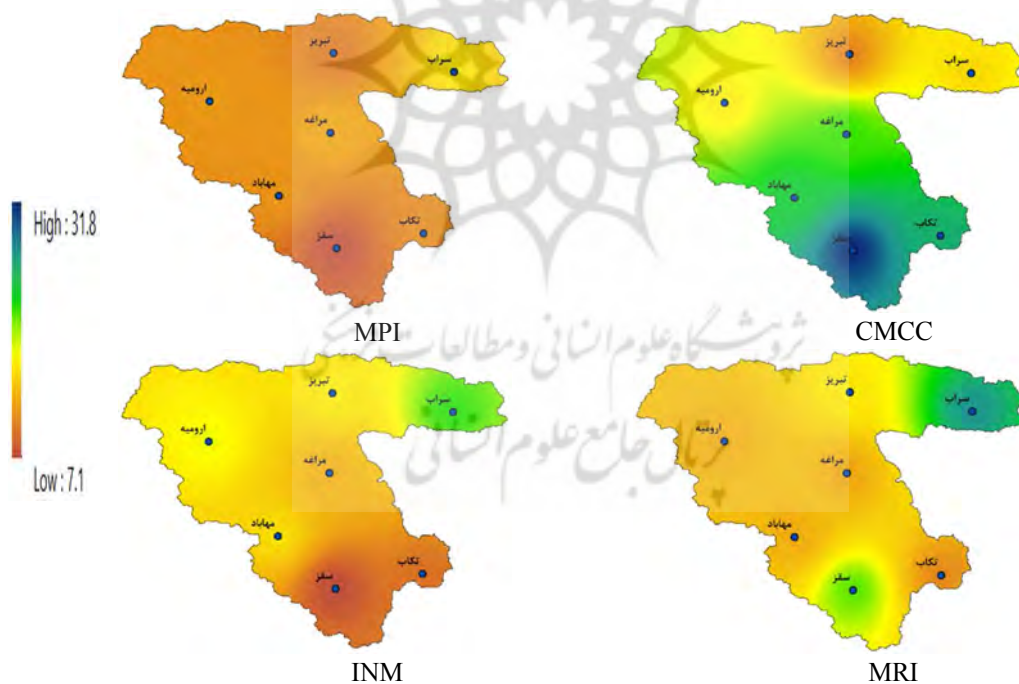
در ادامه ارزیابی دقت مدل‌های GCM برای شبیه‌سازی دما و بارش، میانگین ماهانه کل دما و بارش مدل‌های مورد مطالعه طی دوره ۲۰۱۳-۲۰۰۲ برای هر ایستگاه محاسبه شد و همراه با میانگین داده‌های مشاهداتی ترسیم گردید (شکل‌های ۵ و ۶). در نگاه کلی، نمودارها بیانگر دقت بالای شبیه‌سازی‌ها برای دما و دقت نسبتاً کمتر برای بارش هستند.



شکل ۶: مقادیر میانگین ماهانه بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه (بر حسب میلی‌متر)



شکل ۷: توزیع مکانی شاخص NRMSE (برحسب درصد) برای مقادیر میانگین ماهانه دما در حوضه دریاچه ارومیه



شکل ۸: توزیع مکانی شاخص NRMSE (برحسب درصد) برای مقادیر میانگین ماهانه بارش در حوضه دریاچه ارومیه

NRMSE برای دما و بارش برای هر مدل در سطح حوضه ترسیم شد (شکل‌های ۷ و ۸). بر اساس نقشه‌های دما و بارش مقادیر NRMSE (بین ۳/۱ تا ۵/۹

جهت بررسی توزیع مکانی خطای مدل‌های مورد مطالعه در شبیه‌سازی دما و بارش حوضه در مقیاس میانگین ماهانه کل، نقشه‌های درونیابی شده شاخص

درصد)، می‌توان نتیجه گرفت که هر چهار مدل میانگین ماهانه دما برای دوره ارزیابی (۲۰۱۳-۲۰۰۲) را به خوبی و با دقت بالایی شبیه‌سازی کرده‌اند. علی‌رغم آن، تفاوت‌هایی بین مدل‌ها و ایستگاه‌ها وجود دارد. کمترین دقت در بین مدل‌ها، متعلق به CMCC می‌باشد، چرا که این مدل در شبیه‌سازی دمای شرق و شمال شرق حوضه بیشترین خطا را دارد. نقشه‌های توزیع مکانی NRMSE برای میانگین ماهانه بارش، نشان می‌دهند که بیشترین خطا در بین مدل‌ها متعلق به CMCC است. این مدل نیمه جنوبی حوضه را با خطای زیادی (تا حدود ۳۱ درصد) شبیه‌سازی کرده است. همچنین کمترین خطا در مدل MPI رخ داده است.

نتیجه‌گیری

خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو از نظر تفکیک‌پذیری زمانی و مکانی، در حدود ده‌ها کیلومتر در مقیاس روزانه و ماهانه هستند که در مقایسه با فرآیندهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس می‌باشند. علاوه بر این، شبیه‌سازی‌های GCM در هر دو مقیاس مکانی و زمانی دارای عدم قطعیت در پارامترسازی فرآیندها هستند، بنابراین نمی‌توان به طور مستقیم از خروجی این مدل‌ها در مطالعات تغییر اقلیم استفاده کرد. لذا مقیاس‌کاهی و تصحیح اریبی شبیه‌سازی‌های GCM برای به دست آوردن اطلاعات در مقیاس مناسب ضروری است (وود و همکاران، ۲۰۰۴). از این رو، در تحقیق حاضر دقت مدل‌های CMIP6 که اخیراً توسط IPCC منتشر شده‌اند، برای شبیه‌سازی دما و بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، خروجی مدل‌های GCM طی دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۳ استخراج شد و دقت آنها در مقابل داده‌های مشاهداتی (شامل هفت ایستگاه سینوپتیک در سطح حوضه) با استفاده از روش‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت. این ارزیابی هم قبل از تصحیح اریبی و هم بعد از آن انجام گرفت. برای تصحیح اریبی مدل‌ها از روش تغییر عامل دلتا استفاده شد. نتایج نشان دادند: الف) برای

داده‌های کل حوضه، بعد از تصحیح اریبی برای دما رابطه خطی خوبی بین داده‌های مدل‌ها و مشاهداتی برقرار است (ضریب تعیین همه مدل‌ها بالای ۰/۹ هستند)، اما برای بارش رابطه خطی ضعیف تری برقرار است. ب) نمودارهای تیلور بیانگر همبستگی بالای داده‌های مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی برای دما و همبستگی پایین تری برای بارش ایستگاه‌ها بودند، همچنین این نمودارها نشان دادند دقت مدل‌ها در شبیه‌سازی دما و بارش بعد از تصحیح اریبی بهبود یافته است. ج) مقادیر شاخص خطای RMSE برای مدل‌های تصحیح شده در شبیه‌سازی دما مقادیر قابل قبولی بودند، اما برای بارش مقادیر بالایی مشاهده شد. د) مقایسه دقت مدل‌ها قبل و بعد از تصحیح اریبی با استفاده از شاخص NRMSE نشان داد که تصحیح اریبی دقت مدل‌ها را به صورت چشمگیری افزایش داده است. ه) اختلاف میانگین‌های کل ماهانه مدل‌ها و مشاهدات برای دما ناچیز و برای بارش در ماه‌های پربارش زیاد بود. و) توزیع مکانی خطای میانگین‌های کل ماهانه برای دما در سطح حوضه بیانگر دقت بالایی مدل‌ها بود، علی‌رغم آن اختلافات مکانی (به ویژه در مدل CMCC) وجود داشت. برای بارش این اختلافات مکانی بیشتر مشهود بود.

با توجه به نتایج ارزیابی‌ها چنین استنباط می‌شود که مدل‌های منتخب CMIP6 پس از تصحیح اریبی در منطقه مورد مطالعه قابل استفاده هستند. اما اختلافاتی در بین دقت مدل‌ها در مناطق مختلف و پارامترهای متفاوت وجود دارد، مثلاً مشاهده شد مدل CMCC برای بارش ماهانه کمترین دقت را در بین مدل‌ها داشته است، بنابراین باید از مدل‌های با دقت بالاتر (مثلاً MPI یا INM) استفاده کرد. تحقیق حاضر، نتایج تحقیقات پیشین (یانگ و همکاران ۲۰۱۸)، شکوهی و همکاران (۱۳۹۷)، دهقانی و همکاران (۱۴۰۰)، زرین و داداشی رودباری (۱۳۹۹) و ... مبنی بر پایین بودن دقت خروجی‌های مدل‌های GCM و لزوم مقیاس‌کاهی و تصحیح اریبی مدل‌ها را مورد تأیید قرار می‌دهد. همانند تحقیقات پیشین، تحقیق حاضر نیز بیانگر دقت بالای مدل‌های تصحیح شده در

مدل MRI-ESM2-0 مدلی مناسب برای شبیه‌سازی دما می‌باشد.

شبیه‌سازی دما و دقت پایین آن‌ها در شبیه‌سازی بارش می‌باشد. همچنین همانند تحقیق زرین و داداشی رودباری (۱۳۹۹)، تحقیق حاضر نشان داد

منابع

۱. حسینی‌خواه، منصور، زینی‌وند، حسین، حقی‌زاده، علی، طهماسبی‌پور، ناصر، (۱۳۹۳). صحت سنجی مقادیر دما و بارش مدل‌های گردش عمومی در ایستگاه‌های کرمانشاه، روانسر و اسلام آباد غرب، مجله هیدرولوژی، دوره ۱، شماره ۳، صفحات ۲۰۶-۱۹۵.
۲. حمیدیان‌پور، محسن، فلاح قالمهری، غلامعباس، علیمردی، محمدرضا، ۱۴۰۰. ارزیابی کارایی مدل SDSM در بررسی پیامدهای تغییر اقلیم برای پهنه‌های اقلیمی مختلف ایران، مجله پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، دوره ۲، شماره ۵، صفحات ۱۴-۱.
۳. دهقانی، مرتضی، کاویان، عطاله، حبیب‌نژاد روشن، محمود، جعفریان جلودار، زینب، ۱۴۰۰. ارزیابی عدم قطعیت مدل‌های منطقه‌ای تغییر اقلیم و روش‌های تصحیح خطا و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی شهرستان بیرجند، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، دوره ۱۲، شماره ۲۳، صفحات ۵۳-۴۲.
۴. رضی‌طیب، (۱۳۹۶). منطقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن-گایگر و بررسی جابجایی مناطق اقلیمی کشور در سده بیستم، فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۳، شماره ۲، صفحات ۴۳۹-۴۱۹.
۵. رنجبر، فیروز، اوجی روح‌اله، ۱۳۹۹. اثرات گرمایش جهانی بر روند فرین‌های دمای روزانه در ایستگاه‌های منطقه خزری، مجله پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، شماره ۱، دوره ۳، صفحات ۳۴-۲۱.
۶. زرین، آذر، داداشی رودباری، عباسعلی، ۱۳۹۹، پیش‌نگری چشم انداز بلندمدت دمای آینده ایران مبتنی بر برونداد پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده فاز ششم (CMIP6)، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۶، شماره ۳، صفحات ۶۰۲-۵۸۳.
۷. شکوهی، مجتبی، ثنائی‌نژاد، سیدحسین، بنیان‌اول، محمد، ۱۳۹۷. ارزیابی شبیه‌سازی دما و بارش مدل‌های اقلیمی CMIP5 در مطالعات منطقه‌ای تغییر اقلیم (مطالعه موردی: مناطق عمده تولید گندم دیم ایران)، نشریه آب و خاک، دوره ۳۲، شماره ۵، صفحات ۱۰۲۴-۱۰۱۳.
۸. عبدالعلی زاده، فیروز، ۱۳۹۷. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی تحت سناریوهای RCP و ارزیابی اثرات آن بر منابع آب (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی چای)، رستم‌زاده، هاشم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، گروه آب و هواشناسی.
۹. قربانی‌اقدم مرضیه، دین‌پژوه یعقوب، فاخری‌فرد احمد، دربانی صابره، (۱۳۹۱). پهنه‌بندی حوضه دریاچه ارومیه از نظر خشکسالی با روش تجزیه به عامل‌ها، مجله آب و خاک، دوره ۲۶، شماره ۵، صفحات ۱۲۷۶-۱۲۶۸.
۱۰. کامیار، اصغر، ۱۳۹۹. اصلاح خطای دما و بارش در شبیه‌سازی مدل‌های آب و هوایی، مجله پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، دوره ۱، شماره ۱، صفحات ۱۴-۱.
۱۱. کامیار، اصغر، یزدان پناه، حجت‌اله، موحدی، سعید، ۱۳۹۷. ارزیابی دقت خروجی مدل‌های منطقه‌ای آب و هوا در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵، شماره ۱۰، صفحات ۱۷۶-۱۶۱.
۱۲. کریمی، مصطفی، نبی‌زاده، عادل، ۱۳۹۷. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل Lars-WG، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۲، شماره ۶۵، صفحات ۲۸۵-۲۶۵.
۱۳. گودرزی، مسعود، صلاحی، برومند، حسینی، سید اسعد، ۱۳۹۴. بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات رواناب سطحی (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه)، مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۲، صفحات ۱۸۹-۱۷۵.
۱۴. معصوم پور سماکوش، جعفر، میری، مرتضی، پورکمر، فاطمه، ۱۳۹۶. ارزیابی داده‌های مدل‌های اقلیمی CMIP5 در مقابل داده‌های مشاهده‌ای ایران، مجله ژئوفیزیک ایران، دوره ۱۱، شماره ۴، صفحات ۵۳-۴۰.
۱۵. میردشتوان، مهسا، ملکیان، آرش، محسنی ساروی، محسن، ۱۳۹۶. ارزیابی تغییر اقلیم تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای: حوضه آبریز دریاچه ارومیه،

- Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
22. Li, X., Pijcke, G., Babovic, V. 2016. Analysis of Capabilities of Bias-corrected Precipitation Simulation from Ensemble of Downscaled GCMs in Reconstruction of Historical Wet and Dry Spell Characteristics, *Procedia Engineering*, 154, 631-638.
 23. Mehrotra, R., Sharma, A. 2015. Correcting for systematic biases in multiple raw GCM variables across a range of timescales, *Journal of Hydrology*, 520, 214-223.
 24. Pedersen, J.T.S., Vuuren, D., Gupta, J., Santos, F.D., Jae Edmonds, J., Swart, R., 2022, IPCC emission scenarios: How did critiques affect their quality and relevance 1990–2022?, *Global Environmental Change*, Volume 75, 102538, ISSN 0959-3780.
 25. Senatore, A., Fuoco, D., Maiolo, M., Mendicino, G., Smiatek, G., Kunstmann, H. 2022. Evaluating the uncertainty of climate model structure and bias correction on the hydrological impact of projected climate change in a Mediterranean catchment, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 42, 101120.
 26. Srivastava, A., Grotjahn, R., Ullrich, P.A. 2020. Evaluation of historical CMIP6 model simulations of extreme precipitation over contiguous US regions, *Weather and Climate Extremes*, 29, 100268.
 27. Wood, A.W., Leung, L.R., Sridhar, V. and Lettenmaier, D.P. 2004. Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Climatic Change*, 62, 189–216.
 28. Yang, X., Wood, E.F., Sheffield, j., Ren, L., Zhang, M., and Wang, Y. 2018, Bias Correction of Historical and Future Simulations of Precipitation and Temperature for China from CMIP5 Models, *Journal of Hydrometeorology*, 609-623.
 29. Zhang, X., Hua, L., Jiang, D. 2021. Assessment of CMIP6 model performance for temperature and precipitation in Xinjiang, China, *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 15(11):100128.
 - مجله مدیریت بیابان، دوره ۵، شماره ۹، صفحات ۳۰-۱۵.
 16. Ahmed, K.F., Wang, G., Silander, J., Wilson, A.M., Allen, J.M., Horton, R., Anyah, R., 2013. Statistical downscaling and bias correction of climate model outputs for climate change impact assessment in the U.S. northeast, *Global and Planetary Change*, 100, 320-332.
 17. Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J., Taylor, K.E. 2016. Overview of the coupled model Intercomparison project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geosci. Model Dev. (GMD)* 9, 1937–1958.
 18. Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S.C., Collins, W., Cox, P., Driouech, F., Emori, S., Eyring, V., et al. 2013. Evaluation of climate models. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 741–866.
 19. Fowler, H.J., and Wilby, R.L. 2007. Beyond the downscaling comparison study. *Int. J. Climatol.*, 27, 1543–1545.
 20. IPCC, 2013. Summary for Policymakers. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: 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, United Kingdom and New York, NY, USA.
 21. IPCC, 2021. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: 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.