

صحت سنجی عملکرد برون داد مدل اقلیمی CMIP6 با داده های مشاهداتی کرانه های مکران

چکاوک خواجه امیری خالدی^۱، دکتر محمود خسروی^{۲*}، دکتر تقی طاوسی^۲، دکتر محسن حمیدیان پور^۳، منصور کیانی مقدم^۴

^۱ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
^۲ استاد، اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی (اقلیم شناسی)، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
^۳ دانشیار اقلیم شناس، گروه جغرافیای طبیعی (اقلیم شناسی)، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
^۴ دانشیار فن آوری حمل و نقل دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۲ ، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲

چکیده

اقلیم سیاره زمین در حال تغییر است و بیشترین پیامد آن متوجه مناطق ساحلی و بویژه شهرهای ساحلی است. از سوی دیگر استفاده از داده های خروجی مدل های اقلیمی مستلزم ارزیابی دقت آن در مقابل داده های مشاهداتی است. هدف از این پژوهش ارزیابی دقت مدل های اقلیمی CMIP6 در سواحل مکران است. به منظور بررسی شرایط اقلیمی در سواحل مکران از ۱۱ مدل گردش سیاره ای برون داد CMIP6 در دوره تاریخی ۱۹۸۵-۲۰۱۴ استفاده شد. برای ارزیابی از داده های هواشناسی مشاهداتی جمع بارش ماهانه، میانگین ماهانه دمای هوا، رطوبت هوا، دمای بیشینه، دمای کمینه و سرعت باد و فشار هوای دو ایستگاه همدیدی سواحل مکران (چابهار - جاسک) برای همان دوره زمانی استفاده شد. نتایج نشان داد که بارش، باد و همچنین رطوبت، همبستگی های بسیار ضعیفی ثبت نموده و نمی توانند معیار مناسبی برای انتخاب مدل باشند. اما مجموعه دمای میانگین، و دمای بیشینه و همچنین فشار هوا از همبستگی کافی برخوردار است. شاخص های نش ساتکلیف (NSE)، ریشه دوم میانگین مربع خطاها (NRMSE) و کلینگ-گوپتا (KGE) نیز این نتایج را تأیید کرد. باتوجه به بررسی های ذکر شده و نتایج محاسبات، شش مدل، FGOALS، MPI-ESM1، CanESM5، MRI-ESM2، EC-EARTH3، IPSL-CM6A، ACCESS-ESM (بدون ترتیب) بین ۱۱ مدل معین شده ابتدای تحقیق، به عنوان بهترین مدل انتخاب شدند. در ادامه دو مدل همدادی (اسمبل) به روش میانگین حسابی و میانگین وزن دهی (IWM) معرفی شد که مدل میانگین وزنی نتایج بهتری نشان داد.

کلمات کلیدی: رطوبت، چابهار، جاسک، دریای عمان مدل، CMIP6

مهم‌ترین پیامد تغییر اقلیم^۱ افزایش میانگین دمای کره زمین، افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی نظیر سیل، توفان، تگرگ، توفان‌های استوایی، امواج گرمایی، افزایش سطح آب دریاها، ذوب شدن یخ‌های قطبی، امواج گرمایی و سرماهای نابهنگام خواهد بود. بررسی‌ها نشان می‌دهند که این پدیده می‌تواند بر سامانه‌های مختلف اعم از منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد (IPCC, 2013). مناطق ساحلی به تغییرات اقلیم و بالا رفتن سطح آب دریا بسیار حساس هستند، بالا آمدن سطح آب آسیب‌پذیری سواحل را نسبت به توفان‌ها و سیل افزایش می‌دهد. در طول صدسال گذشته، میزان بالآمدگی سطح آب دریاها تقریباً ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتر تخمین زده شده است (گورنیتز، ۱۹۹۶، IPCC، ۱۹۹۶). معتبرترین ابزار جهت بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر سامانه‌های مختلف استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده اتمسفر - اقیانوس گردش عمومی جو GCM است (دابروفسکی^۲، ۲۰۱۴). مدل‌های گردش عمومی جو - اقیانوس سیستم آب‌وهوایی تکامل زمین در هر زمان شامل شرایط اتمسفر، اقیانوس، یخ دریا و شرایط سطح زمین و جو را شبیه‌سازی می‌کند. مدل‌های گردش عمومی جو توصیف می‌کنند که چگونه این مؤلفه‌ها با هریک از مدل‌ها برای ایجاد و تغییر متغیرهای اقلیمی پیچیده زمین ارتباط برقرار می‌کنند؛ بنابراین آن‌ها به عنوان ابزار بسیار مهم برای شبیه‌سازی تغییر اقلیم و از این رو برآورد آینده شناخته شده‌اند (سید و همکاران^۳، ۲۰۱۲؛ سو و همکاران^۴، ۲۰۱۶؛ هاوتون و همکاران^۵، ۱۹۹۵؛ مه و همکاران^۶، ۲۰۰۷). یکی از منابع عمده داده برای مطالعه تغییر اقلیم مدل‌های گردش کلی جو (GCM) هستند که به طور گسترده ای برای پایش و پیش‌نگری تغییر اقلیم گذشته و آینده (هی و همکاران، ۲۰۱۹) و برآورد مخاطرات ریسک منطقه‌ای از آن استفاده می‌شود (خان و همکاران^۷، ۲۰۲۰).

جهت ارائه مدیریت بهینه و کارا در حد کلان، از روش‌های گوناگونی می‌توان به عنوان ابزاری مناسب بهره جست. یکی از این روش‌ها، به کارگیری خروجی مدل‌های گردش عمومی و منطقه‌ای جو است (رگاب^۸، ۲۰۰۰). مدل‌ها ابزار اصلی

پیش‌بینی اقلیم در آینده بوده و ما را قادر می‌سازند تا حساسیت سیستم اقلیمی را در برابر عوامل تأثیرگذار روی آن مانند غلظت گازهای گلخانه‌ای و مکانیسم‌های تغییرپذیری و تغییر اقلیم مورد بررسی قرار دهیم (لان^۹، ۱۹۹۹). پیش‌بینی‌های صحیح تغییرات اقلیمی متکی به مدل‌های گردش عمومی است. هم‌اکنون در مطالعات منطقه‌ای تغییر اقلیم در ابتدا نیاز به، به کارگیری یک یا چند مدل GCM، و سپس ریزمقیاس نمایی (یا تصحیح خطا) نتایج به منطقه موردنظر است (پیرس و همکاران، ۲۰۰۹). اما سؤالی که در این‌گونه مطالعات مطرح می‌شود این است که باوجود تعدد مدل‌های GCM و همچنین عدم قطعیت در خروجی آن‌ها و نتایج متفاوت آن‌ها برای هر منطقه، در مطالعات منطقه‌ای تغییر اقلیم، این مدل‌ها چگونه باید انتخاب شود (برک و همکاران، ۲۰۰۸). ارزیابی داده‌های مدل‌های پایگاهی در پژوهش‌های سالاری فنودی و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که هیچکدام از مدل جهانی مورد بررسی در پایگاه کوردکس توانایی لازم جهت برآورد بارش را ندارند و برآورد آن عدم قطعیت‌های زیادی در بر خواهد داشت و لازم است از مدل‌های GCM و ریزمقیاس گردانی مختلف استفاده نمود.

طی دهه‌های گذشته چندین گروه مطالعاتی و همچنین فعالیت‌های مشترک بین‌المللی از جمله هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC) با استفاده از مدل‌های اقلیم جهانی، مجموعه‌ای از داده‌های پیش‌بینی شده از شرایط گذشته و آینده اقلیم جهان ارائه کرده‌اند (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۴). این مدل‌ها یکی از متداول‌ترین و مناسب‌ترین روش‌ها برای ارزیابی اقلیم آینده هستند؛ زیرا مدل‌های اقلیمی ابزاری مناسب برای مطالعه‌ی سازوکار تغییرات اقلیم گذشته و آینده هستند (ابی و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۳). هم‌اکنون در سطح جهان مراکز و مدل‌های گوناگونی برای مدل‌سازی وضعیت اقلیم دهه‌های آینده کره زمین با استفاده از سناریوهای انتشار، ساختار فیزیکی و محاسباتی گوناگونی وجود دارد. شبیه‌سازی‌های مدل‌های اقلیم جهانی توسط پروژه هم سنج مدل جفت شده CMIP^{۱۱} آرشو شده است که یکی از مهم‌ترین منابع برای بررسی شرایط آب و هوایی قرن بیست

9 Lane

10 Eby et al

11 Coupled Model Intercomparison Project

8 Ragab

و یکم هستند (بارکر و هانگ، ۲۰۱۴). شبیه‌سازی‌های حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو که بخشی از CMIP5 هستند، مبنایی برای بسیاری از نتیجه‌گیری‌های هیئت بین‌الدول در ارتباط با تغییرات اقلیمی آینده است. از این داده‌ها به‌صورت مستقیم و یا پس از ریزمقیاس‌نمایی برای ارزیابی تغییرات اقلیمی آینده در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای استفاده می‌شود (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۳).

جوری و همکاران (۲۰۱۵) در ارزیابی مدل‌های CMIP5 در زمینه ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی در سراسر اروپا نشان دادند که مهارت GCM در شبیه‌سازی متغیرهای نزدیک به سطح نسبت به مهارت آن در شبیه‌سازی LBCS برای شبیه‌سازی اقلیمی منطقه دارای همبستگی ۰/۶۲ است. ارزیابی و طرح‌ریزی حرارت زیاد در سراسر چین بر اساس مدل CMIP5 توسط یاو و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که همبستگی فضایی مشترک از ۲۰ سال بازگشت سطح تحت سناریو RCP5.4 از کمینه و بیشینه دمای سالانه بیشتر از ۰/۹۸ است. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان به‌منظور کاربرد خروجی‌های این مدل‌ها در بررسی‌های تغییر اقلیم و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی در دهه‌های آینده در مناطق مختلف بهره‌گرفت. یو و همکاران (۲۰۲۰) در ارزیابی ۱۸ مدل اقلیمی از مجموعه مدل‌های CMIP5 برای بررسی تغییرات دمای جهانی در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان دادند که مدل‌ها در سطح اقیانوس‌ها بهتر از سطح زمین دما را برآورد می‌کنند.

مقایسه چند مدل CMIP5 و CMIP6 و بررسی فرین‌های اقلیمی در سطح جهانی نشان داد که CMIP6 عدم‌قطعیت کمتری نسبت به CMIP5 دارد و روزهای گرم روند افزایشی و شب‌های سرد روند کاهشی خواهند داشت کیم و همکاران^{۱۲} (۲۰۲۰). ارزیابی مدل‌های همادی امریکای شمالی پژوهشی است که بکر و همکاران (۲۰۲۰) به مطالعه آن پرداختند. بررسی آن‌ها از توانمندی مدل‌های همادی نشان‌دهنده بهبود قابل‌توجه فرا سنج دماست. در زمینه استفاده از مدل‌های همادی CMIP6 برای بررسی تغییر اقلیم آینده و اثر آن در عملکرد محصول گندم دشت‌های شمالی چین بای و

همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که دما تحت سناریوی SSP3-7.0 تا پایان قرن حاضر یک درجه سلسیوس و بر اساس سناریوی SSP5-8.5 تا ۶ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت و این تغییرات دما در تولید گندم نقش چشمگیری دارد. در همین راستا، فلاح قالهری و همکاران (۲۰۱۹) نیز بی‌هنجاری مثبت دما را در ارتفاعات شمال غرب و غرب ایران بر اساس مدل‌های CMIP5 نشان دادند. پیش‌نگری تغییرات فرین‌های گرم، خشک، و مرطوب با کاربست مدل‌های همادی CMIP6 پژوهشی است که المروئی و همکاران^{۱۳} (۲۰۲۰) انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد تحت پدیده گرمایش جهانی فرین‌های دمایی به شکل قابل‌توجهی افزایش خواهند یافت. اما ارزیابی برون‌داد مدل‌های CMIP5 برای بارش در تحقیق سالاری فنودی و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد همبستگی ضعیفی در داده‌های مدل و مشاهداتی وجود دارد و راهکاری دیگر را برای انتخاب مدل مناسب اتخاذ نمودند.

در مطالعات پیش‌نگری اقلیمی عدم‌قطعیت را می‌توان در سه بخش تفکیک کرد: عدم‌قطعیت ناشی از سناریو، عدم‌قطعیت پاسخ مدل و وردایی طبیعی (هاوکینز^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۹). کاهش عدم‌قطعیت مدل‌های اقلیمی دشوار است؛ زیرا این امر مستلزم دانش آینده در خصوص انتشار گازهای گلخانه‌ای و انتشار ذرات معلق در هوا و همچنین پیشرفت در فناوری‌های مربوط به مدل‌سازی است که به‌طور بالقوه ممکن است در آینده با توسعه بیشتر مدل‌های اقلیمی مقدار آن نیز کمتر شود (ماس و همکاران^{۱۵}، ۲۰۱۰). افزودن پیچیدگی بیشتر به مدل‌ها ممکن است به عدم‌قطعیت‌های بالاتر در پیش‌نگری‌ها منجر شود (لورنز و همکاران^{۱۶}، ۲۰۱۸). تغییرات طبیعی می‌تواند با اندرکنش بین اجزای داخلی سامانه اقلیم همراه باشد که نتیجه آن به تغییرات سالانه، دهه‌ای، یا حتی چند دهه‌ای مانند ENSO^{۱۷} و NAO^{۱۸} منجر شود (ژانگ و همکاران^{۱۹}، ۲۰۱۸). برای ارزیابی صحت خروجی‌های CMIP6 در محدوده‌های مختلف پژوهش‌های زیاد در نقاط مختلف جهان صورت‌گرفته

13 - Almazroui et all

14 - Hawkins

15 - Moss et all

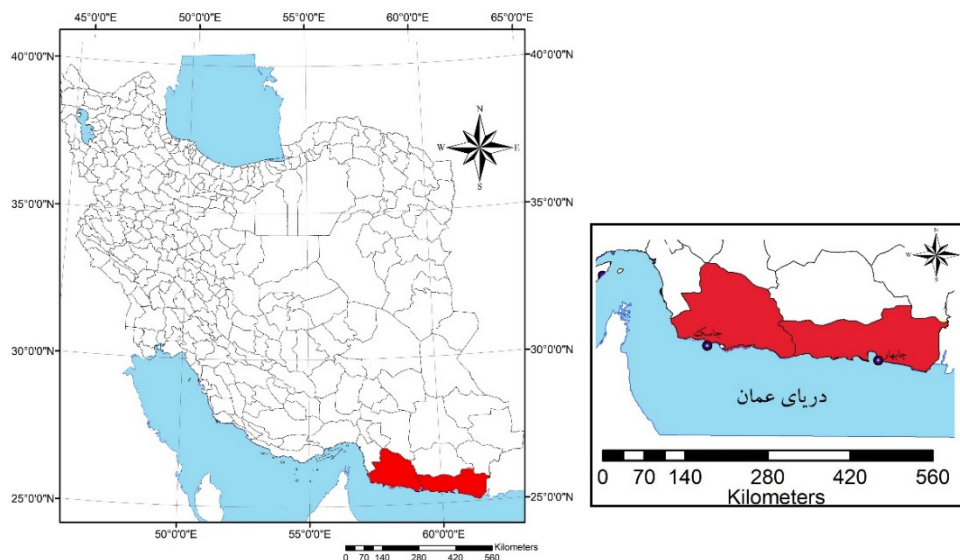
16 - Lorenz, et all

17 - El Niño-Southern Oscillation (ENSO)

18 - North Atlantic Oscillation (NAO)

19 - Yang et all

12 - Kim et all



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

داده ها و روش ها

منطقه مورد مطالعه

با توجه به ماهیت تحقیق که بررسی اقلیم ساحلی است از ایستگاه‌های همدیدی چابهار و جاسک (شکل ۱) که تا ۴۰ سال آمار دارند، استفاده شد. داده‌های مدل‌های اقلیمی عموماً با دقت بالایی محاسبه می‌شوند اما برای اعتماد بیشتر به پیش‌بینی‌های آینده یک مدل ابتدا می‌بایست میزان همبستگی آن‌ها را با داده‌های ایستگاهی که به صورت عملیاتی به دست می‌آیند بررسی کرد و در صورت بالا بودن ضریب همبستگی آن اقدام به استفاده از داده‌های آن در آینده نمود.

در این مطالعه از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی جاسک و چابهار بامشخصات موقعیتی جدول ۱ در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۴ (انتهای داده‌های تاریخی در مدل‌های اقلیمی CMIP6) استفاده گردید (باتوجه به تفکیک مکانی مورد مطالعه، ایستگاه فرودگاهی کنارک در محدوده ایستگاه چابهار قرار می‌گرفت). داده‌های مورد مطالعه در بازه زمانی ماهانه و متعلق به بارش، دما (میانگین، بیشینه و کمینه)، نم نسبی، فشار هوا و باد هستند. همچنین داده‌های متناظر تاریخی شبکه‌بندی از مراکز بین‌المللی علمی (جدول شماره ۲) به طور خاص از

است. ولی در داخل ایران مطالعات نسبتاً اندک بوده است. با وجود این اهمیت، بررسی‌های انجام شده نشان داد که در حال حاضر مطالعه‌ای برای پیش‌بینی شرایط اقلیمی و پارامترهای جوی آینده سواحل مکران با استفاده از داده‌های مجموعه و همچنین ارزیابی دقت این داده‌های انجام نشده است. از این رو در مطالعه پیش رو سعی بر این شده است که با استفاده از آزمون‌هایی آماری دقت داده‌های مهم جوی ۱۱ مدل گردش عمومی جو با دقت مکانی بالا برای سواحل مکران ارزیابی شود. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند سبب افزایش اعتماد بیشتر در استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو با دقت مکانی بالا در مطالعات شبیه‌سازی اقلیم فعلی و آینده و همچنین بررسی روند تغییرات آنها شود. از طرف دیگر ارزیابی داده‌های مشاهداتی در یک دوره مشخص با داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل در همان دوره که تحت عنوان داده‌های تاریخی از آن یاد می‌شود، در ارائه پیش‌بینی‌های دقیق بسیار کارآمد و مفید است؛ لذا بر این اساس پرسش اصلی مطرح شد، اینکه آیا داده‌های اقلیمی برون‌داد مدل‌های CMIP6 برای سواحل مکران دارای اعتماد و قابلیت استفاده است؟

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	چابهار	همدید	۶۰.۳۸	۲۵.۱۷	۸
۲	جاسک	همدید	۵۷.۴۸	۲۵.۳۹	۱۰

جدول ۲. مشخصات و مؤسسات مدل‌های مورد مطالعه از CMIP۶

ردیف	مدل	مؤسسه سازنده	تفکیک افقی (درجه قوسی)
۱	ACCESS۱,۵	مرکز تحقیقات آب‌وهوا و آب‌وهوای استرالیا (CAWCR)	۰/۵
۲	BCC-CSM۲-MR	مرکز اقلیم پکن	۰/۵
۳	CAMS-CSM۱,۰	آکادمی علوم هواشناسی چین	۰/۵
۴	CMCC-ESM۲	مرکز اروپایی مدیترانه‌ای	۰/۵
۵	CanESM۵	سیستم زمینی کانادا	۰/۵
۶	EC-EARTH۳-veg	کنسرسیوم مؤسسه هواشناسی هیدرولوژی سوئد	۰/۵
۷	FGOALS-f۳-L	آکادمی علوم چین	۰/۵
۸	IPSL-CM۱A-LR	مؤسسه پیر سیمون لاپلاس فرانسه	۰/۵
۹	MIROC۱	مؤسسه تحقیقات اتمسفر و اقیانوس (دانشگاه توکیو)	۰/۵
۱۰	MPI-ESM۱-۲-HR	مؤسسه ملی مطالعات محیط‌زیست و اژانس ژاپن برای علوم و فناوری دریایی - زمین	۰/۵
۱۱	MRI-ESM۲-۰	مدل سامان زمین مؤسسه ماکس پلانک آلمان	۰/۵
		مؤسسه تحقیقات هواشناسی ژاپن	۰/۵

برونداد ۱۱ مدل از مدل‌های فاز ششم CMIP6 و داده‌های پایگاهی (با فرمت NetCDF) با قدرت تفکیک افقی ۰/۵ درجه قوسی در محدوده اقیانوس هند، برای ۱۲ ماه سال میلادی و برای دوره آماری مورد نظر استخراج شد.

در این تحقیق ضمن استفاده از روش کتابخانه‌ای به منظور جمع‌آوری داده‌ها، از داده‌های ماهانه بارش، میانگین دمای هوا، بیشینه دمای هوا، کمینه دمای هوا، میانگین سرعت باد، فشار هوا و میانگین رطوبت نسبی برای دو ایستگاه همدیدی چابهار و جاسک برای ماه‌های کل سال به عنوان داده‌های مشاهده‌ای در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۴ استفاده شد. جهت انتخاب مدل‌های برتر از بین ۱۱ مدلی که تمامی داده‌های جوی و اقیانوسی را دارا هستند (جدول ۲) در دوره تاریخی (۱۹۸۵-۲۰۱۴)، از روش‌های آماری (پارامتریک و ناپارامتریک) استفاده شد. همبستگی و رابطه معنی‌دار بین سری زمانی پارامترهای هواشناسی مشاهده‌شده (ایستگاه چابهار و جاسک) و داده‌های مدل‌ها، مشخص‌شده و به کمک نمودار تیلور، تعدادی مدل

منتخب تعیین گردید.

به منظور ارزیابی دقت داده‌های مدل‌های CMIP6 در مقایسه با داده‌های مشاهده‌شده از هفت معیار آماری استفاده‌شده است. رابطه (۱) میانگین مربعات خطا (MSE^{20}) است که می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۵). مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE^{21}$) به عنوان قیاسی برای بیان اختلاف مقادیر شبیه‌سازی‌شده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری به کار می‌رود (رابطه ۲). این معیار به عنوان مرسوم ترین شاخص خطا به کار می‌رود (لین و همکاران^{۲۲}، ۲۰۰۶). میانگین مطلق خطا (MAE^{23}) (رابطه ۳) برای مقایسه عبارت به عبارت خطای نسبی مقادیر شبیه‌سازی‌شده با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده به کار می‌رود (هو و همکاران^{۲۴}، ۲۰۰۱). ضریب همبستگی (r)

20 - Mean squared error

21 - Root-mean-square deviation

22 - Lin et al

23 - Mean absolute error

24 -Hu et All

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{t=T} (Q_{sim}(t) - Q_{obs}(t))^2}{\sum_{t=1}^{t=T} (Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (5)$$

$$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + \left(\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}} - 1\right)^2 + \left(\frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}} - 1\right)^2} \quad (6)$$

در مرحله بعد از روش های اصلاح خطا^{۲۷} نیز استفاده شد تا برخی از آمارهای با همبستگی ضعیف (بارش و دما) تصحیح شود. در این روش ها براساس تفاوت میانگین بین سری های زمانی ماهانه مشاهده شده و سری های زمانی خروجی GCM/RCM در دوره مشابه اقدام به تصحیح می کنند (فانگ و همکاران^{۲۸}، ۲۰۰۷). برای این منظور از روش های اصلاح خطای خطی^{۲۹} (LS)، مقیاس بندی کثرت محلی^{۳۰} (LOCI)، تبدیل توان برای بارندگی^{۳۱} (PT) و اصلاح واریانس^{۳۲} (VS) استفاده شد که جهت اختصار تنها معادله روش اصلاح خطی در رابطه ۷ و ۸ ارائه شد:

$$P_{cor.m.d} = P_{raw.m.d} \times \frac{\mu(P_{obs.m})}{\mu(P_{raw.m})} \quad (8)$$

$$T_{cor.m.d} = T_{raw.m.d} + \mu(T_{obs.m}) - \mu(T_{raw.m}) \quad (8)$$

که P_{raw} و T_{raw} مقادیر تصحیح شده بارش و دما در روز d ام از ماه m ام و P_{obs} و T_{obs} مقادیر خام بارش و دما در روز d ام از ماه m ام. U نشان دهنده عملکرد امید است که نمایشگر اندازه میانگین بارش مشاهده شده در ماه داده شده m است.

دیاگرام تیلور (شکل ۲)، ابزاری مناسب برای ارزیابی روش های متنوع است و اخیراً در مطالعات مربوط به آب و هواشناسی به کرات مورد استفاده قرار می گیرد (برای نمونه گزارش IPCC: ۲۰۰۱). نمونه ای خام از نمودار تیلور در شکل

(رابطه ۴) ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه گیری می کند و یک ابزار ریاضی است که در پایه ریزی تحلیل های اقلیمی بسیار کاربرد دارد (صداقت کردار و همکاران، ۱۳۸۷).

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

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

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_o - X_s|}{N} \quad (3)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (X_o - \bar{X}_o)(X_s - \bar{X}_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_o - \bar{X}_o)^2 \sum_{i=1}^N (X_s - \bar{X}_s)^2}} \quad (4)$$

در روابط فوق X_o داده های مشاهداتی، X_s داده های شبیه سازی شده، $\bar{X}_o$ میانگین داده های مشاهداتی و N تعداد داده ها است. در پایان میزان خطای بین داده های مشاهداتی و داده های CMIP6 محاسبه و به صورت جدول ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

همچنین برای درستی سنجی، تحلیل و همچنین کمک در تصمیم گیری بهتر انتخاب مدل از سنجیه های زیر (شاخص نش ساتکلیف^{۲۵} و کلینگ گوپتا^{۲۶}) نیز استفاده و نتایج مورد بررسی قرار گرفت. بهترین مقدار برای معیار ارزیابی نش-ساتکلیف و کلینگ-گوپتا عدد ۱ است که نشان دهنده تطابق کامل سری ها است.

27 Bias Correction

28 Fang et al., 2015

29 Linear Scaling

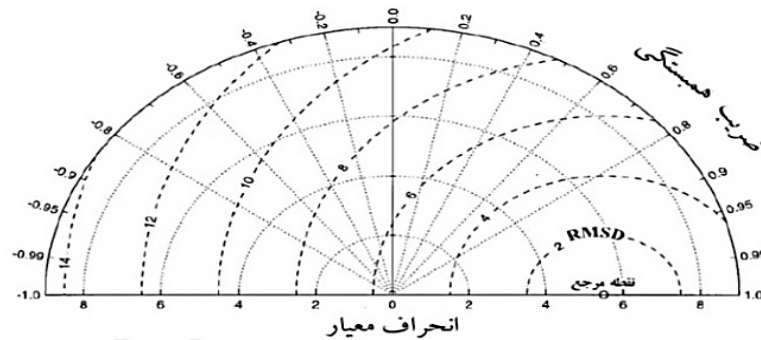
30 Local Intensity scaling

31 Power Transformation for Rainfall

32 Variance Scaling

25 - Nash-Sutcliffe

26 - Kling-Gupta



شکل ۲. نمونه‌ای از نمودار تیلور (منبع: عزیزی و همکاران، ۱۳۹۵)

روش میانگین وزنی^{۳۳} با رویکرد مستقل ایجاد کردند که وابستگی بین مدل‌های تعریف شده را با استفاده از کوواریانس خطاهای مدل نشان می‌دهد. در این مطالعه از IWM برای همادی کردن مدل‌های منتخب استفاده شد. روش IWM در حقیقت ترکیب خطی یک مجموعه از شبیه‌سازی‌های مدل است که میانگین اختلاف مربع را باتوجه به مشاهدات به حداقل می‌رساند. (زرین و همکاران، ۱۴۰۰) این روش بر اساس رابطه ۷ محاسبه می‌شود:

$$\sum_{j=1}^j (\mu_e^j - y^j)^2 \text{ where } \mu_e^j = w^T x^j = \sum_{k=1}^k w_k x_k^j \quad (7)$$

در رابطه ۷ ($j=1, \dots, J$) گام‌های زمانی مقادیر است که در اینجا داده‌های ماهانه دمای سطح آب دریای عمان بوده است. مقادیر $(1, \dots, k, \dots, K)$ مدل‌های منتخب CMIP6 است. μ_e^j مقدار دمای همادی شده چندمدلی و j_{th} گام زمانی است. y^j نشان دهنده j_{th} گام زمانی در دوره مشاهداتی است. w وزن هر مدل از مجموعه مدل‌های همادی است که جمع آن ۱ خواهد بود. در نهایت x^j ضریب مدل در ترکیب خطی است بای و همکاران، ۲۰۲۲)

نتایج و بحث

ارزیابی داده‌های مدل

در ابتدا تمامی پارامترهای هر مدل به صورت کلی در یک ستون قرار داده شده و مقدار MAE محاسبه شد که اگر معیار Independence Weighted Mean - 33

۲ نمایش داده شده است.

نمودار تیلور به دو صورت نیم‌دایره (نمایش همبستگی منفی و مثبت) و ربع دایره (فقط نمایش همبستگی مثبت) ارائه می‌شود که در هر دو صورت، مقادیر ضریب همبستگی به صورت شعاع دایره روی قوس آن، مقادیر انحراف معیار به صورت دایره متحدالمرکز نسبت به مرکز دایره و مقادیر RMSD به صورت دایره متحدالمرکز نسبت به نقطه مرجع (دایره توخالی روی محور افقی) ترسیم می‌شود. نقطه مرجع موقعیت ایستگاه زمینی را بر اساس انحراف معیار سری زمانی آن نشان می‌دهد (زیرا RMSD و ضریب تعیین سری زمانی ایستگاه زمینی در مقایسه با خودش به ترتیب صفر و یک خواهد بود، لذا موقعیت آن روی محور افقی بر اساس مقدار انحراف معیار تعیین خواهد شد). روش ارزیابی در این دیاگرام به این صورت است که موقعیت داده‌های مورد بررسی بر اساس RMSD ضریب همبستگی آن با ایستگاه زمینی و انحراف معیار سری زمانی روی دیاگرام ترسیم می‌شود و هر داده‌ای که موقعیت مکانی آن روی نمودار به نقطه مرجع نزدیک‌تر باشد، بادقت بیشتری مقدار متغیر ایستگاه زمینی را برآورد می‌کند و بنابراین مناسب‌تر خواهد بود (عزیزی و همکاران: ۱۳۹۵).

باتوجه به پیچیدگی سامانه اقلیم، توصیف کافی از تغییر اقلیم با یک مدل غیرممکن است. برای کاهش عدم قطعیت،

میانگین و یا ترکیبی از نتایج حاصل از چندین مدل در پیش‌نگری‌های اقلیمی استفاده می‌شود. از رویکرد همادی می‌توان برای درک بهتر و کاهش عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم استفاده کرد. بیشاپ و آبراموویتز (۲۰۱۳) یک

و می‌توان به داده میانگین فشار کلیه مدل‌های منتخب اعتماد نمود. این بررسی در خصوص داده‌های میانگین دما، میانگین دمای کمینه و به‌صورت ضعیف‌تر ولی قابل قبول در میانگین دمای بیشینه مشاهده گردید. مقادیر MAE برای دمای های کمینه و بیشینه بالا و قابل تأمل است. جهت بررسی بهتر از روش‌های اصلاح بایاس استفاده شد. با توجه به اینکه این روش‌ها برای داده‌های روزانه اجرایی است، داده‌های روزانه ۴ مدل با نتایج بهتر استخراج و پس از اصلاح بایاس مورد تحلیل قرار گرفت (جدول ۸ تا ۱۱). بررسی‌ها نشان داده تغییر محسوس در آمارها رخ نداده و می‌بایست مقادیر پایین همبستگی و مقادیر بالای MAE برای انتخاب مدل مناسب مدنظر قرار گیرد.

در پارامتر میانگین سرعت باد، کمترین همبستگی‌ها علاوه بر بالاترین مقادیر MAE مشاهده شد و نشان داد در هیچ کدام از مدل‌ها قابلیت اعتماد و استفاده را نخواهند داشت. این بررسی در جاسک نیز همان نتایج را نشان داد؛ لذا در این مرحله مشخص شد که شاخص‌های MAE و R نمی‌تواند در انتخاب مدل مناسب کمک نماید (جدول ۱۲ و ۱۳)؛ بنابراین به شاخص‌هایی بی‌بعد نیاز است تا قضاوت بهتری صورت گرفته و مدلی که نسبت به بقیه عملکرد مناسب‌تری را نشان می‌دهد انتخاب شود. (جدول ۴ و ۵)

نتایج محاسبه شاخص نش ساتکلیف (NSE)، ریشه دوم

انتخاب را تنها این شاخص در نظر بگیریم، مدل‌های ابتدایی عملکرد بهتری نشان می‌دهد (جدول ۳).

سپس باتوجه به شرط استفاده از هر مدل (وجود تمامی پارامترهای جوی)، به دلیل کمبود آمار رطوبت یا خطای بسیار زیاد آن، دو مدل BCC-CSM2 و CAMS-CSM از محاسبات حذف شد (جدول ۴ و ۵). در بررسی و ارزیابی محاسبات آماری دقت برون داد مدل‌های منتخب CMIP6 به‌صورت ماهانه در دوره آماری (۱۹۸۵-۲۰۱۴) برای چاپهار نشان می‌دهد که بارش ماهیانه مشاهداتی با داده‌های شبکه تمامی مدل‌ها همبستگی بسیار ضعیف داشته و قابلیت اعتماد ضعیفی دارد. درعین حال از روش‌های تصحیح بایاس نیز استفاده شد تا در صورت بهبود نتایج از داده‌های بارش مدل‌ها نیز استفاده گردد. اما مطابق جدول (۶ و ۷) تغییر محسوس و قابل اعتنائی دیده نشد، لذا بارش از پارامترهای مؤثر و معیار برای انتخاب مدل حذف گردید و انتخاب مدل با استفاده از بررسی و ارزیابی دیگر پارامترها انجام شد. بررسی نتایج دیگر پژوهش‌ها (معصوم پورسماکوش و همکاران، ۱۳۹۶، میراکبری و همکاران، ۱۳۹۷، سالاری فنودی و همکاران، ۱۳۹۸) نیز این نظر را تأیید نمود و یکی از دلایل عمده را فصلی بودن بارش‌ها در مناطق گرمسیر دانست. اما برخلاف بارش، برای دیگر پارامترها (جدول ۹ و ۸) بطور مثال برای پارامتر فشار هوا تمامی مدل‌ها همبستگی بالا و مقدار MAE ناچیزی را دارند

جدول ۳. نتایج شاخص آماری MAE برای ۱۱ مدل

MAE کلی		
مدل	چاپهار	جاسک
ACCESS-ESM	۱۸/۲۸۱	۱۴/۶۴۱
BCC-CSM۲	۱۸/۵۳۲	۱۷/۶۵۱
CAMS-CSM	۲۳/۴۴۷	۱۱/۲۷۸
CanESM۵	۲۱/۹۴۵	۱۴/۰۹۱
CMCC-ESM۲	۲۱/۴۰۵	۱۸/۰۶۸
EC-EARTH۳	۱۸/۰۳۴	۱۱/۴۹۸
FGOALS	۲۱/۴۲۲	۱۴/۶۵۴
IPSL-CM۱A	۲۰/۳۵۳	۱۴/۶۵۲
MIROC۱	۳۳/۶۴۴	۳۸/۳۸۱
MPI-ESM۱	۲۲/۲۹۲	۱۷/۶۸۹
MRI-ESM۲	۲۱/۵۲۲	۱۷/۱۰۸

جدول ۴: نتایج شاخص آماری برای ۱۱ مدل

		رطوبت					باد					بارش				
		r	MAE	NRMSE	NSE	KGE	r	MAE	NRMS _E	NSE	KGE	r	MAE	NRMSE	NSE	KGE
موسم بهار	MPI-ESM1	0.320	23.610	0.28	-4.504	-0.211	0.095	54.278	0.626	-4.782	-0.249	0.087	--	2.871	-0.135	-0.675
	EC-EARTH3	0.650	9.930	0.126	-0.106	0.609	0.140	48.493	0.573	-3.853	-0.148	0.099	--	2.868	-0.133	-0.649
	BCC-CSM2	---	-----	-----	-----	-	0.177	46.651	0.557	-3.580	-0.244	-0.080	--	2.864	-0.129	-0.648
	CAMS-CSM	---	-----	-----	-----	-	0.258	64.688	0.710	-6.446	-0.487	-0.086	--	2.871	-0.135	-0.660
	IPSL-CM6A	0.570	26.990	0.296	-5.062	0.594	0.219	52.665	0.605	-4.412	-0.264	0.031	--	2.872	-0.136	-0.729
	MIROC6	0.080	45.120	0.484	-15.223	-0.271	-0.016	65.450	0.729	-6.847	-0.042	0.085	--	2.862	-0.128	-0.676
	CMCC-ESM2	0.690	15.570	0.198	-1.230	0.370	0.163	55.492	0.633	-4.914	-0.086	-0.058	--	2.871	-0.136	-0.709
	MRI-ESM2	-0.581	35.740	0.427	-11.624	-0.658	0.127	39.341	0.496	-2.633	-0.261	0.168	--	2.856	-0.123	-0.635
	FGOALS	0.540	18.340	0.219	-2.335	0.509	0.015	49.487	0.592	-4.186	-0.543	0.140	--	2.858	-0.125	-0.664
	ACCESS-ESM	0.470	15.450	0.184	-1.348	0.417	0.128	49.387	0.582	-4.001	-0.348	0.089	--	2.845	-0.115	-0.591
موسم تابستان	CanESM5	-0.618	22.250	0.253	-3.530	-0.75	0.097	61.855	0.690	-6.029	-0.427	-0.044	--	2.873	-0.136	-0.687
	MPI-ESM1	-0.171	41.565	0.458	-15.889	-0.246	0.116	22.369	0.297	-0.611	-0.014	0.087	--	3.130	-0.110	-0.672
	EC-EARTH3	0.640	9.924	0.122	-0.193	0.612	0.243	20.066	0.254	-0.177	0.104	0.099	--	3.128	-0.109	-0.663
	BCC-CSM2	---	-----	-----	-----	-	0.145	30.523	0.317	-0.834	0.068	0.044	--	3.121	-0.104	-0.677
	CAMS-CSM	---	-----	-----	-----	-----	-0.049	25.635	0.310	-0.752	-0.115	-0.062	--	3.129	-0.110	-0.744
	IPSL-CM6A	0.720	22.428	0.240	-3.617	0.638	0.090	24.861	0.296	-0.588	0.078	0.031	--	3.132	-0.112	-0.707
	MIROC6	-0.179	76.360	0.786	-48.612	-0.411	0.538	50.578	0.555	-4.607	0.130	0.085	--	3.117	-0.101	-0.649
	CMCC-ESM2	0.502	40.615	0.423	-13.382	0.354	0.522	35.558	0.424	-2.271	-0.158	-0.058	--	3.132	-0.112	-0.753
	MRI-ESM2	-0.610	22.629	0.294	-5.956	-0.625	0.040	32.588	0.362	-1.386	0.025	0.168	--	3.116	-0.101	-0.610
	FGOALS	0.574	16.134	0.185	-1.751	0.106	-0.320	44.389	0.483	-3.244	-0.376	0.140	--	3.113	-0.098	-0.617
	ACCESS-ESM	0.523	10.536	0.126	-0.274	0.459	0.002	23.305	0.285	-0.479	-0.088	0.089	--	3.098	-0.087	-0.605
	CanESM5	-0.620	31.079	0.382	-10.719	0.433	-0.055	22.231	0.283	-0.458	-0.156	-0.044	--	3.133	-0.112	-0.748

جدول ۵. نتایج شاخص آماری برای ۱۱ مدل

	فشار هوا					میانگین دما					دمای کمینه					دمای بیشینه					
	r	MAE	NRMSE	NSE	KGE	r	MAE	NRMSE	NSE	KGE	r	MAE	NRMSE	NSE	KGE	r	MAE	NRMSE	NSE	KGE	
زمین	MPI-ESM1	0.980	0.142	0.002	0.927	0.865	0.956	4.548	0.055	0.831	0.915	0.923	37.911	0.334	-0.403	0.540	0.795	13.264	0.152	-0.723	0.751
	EC-EARTH3	0.975	0.158	0.002	0.917	0.851	0.953	3.768	0.046	0.882	0.950	0.938	28.262	0.253	0.197	0.588	0.778	17.594	0.192	-1.757	0.704
	BCC-CSM2	0.974	0.217	0.003	0.851	0.740	0.952	9.814	0.115	0.263	0.287	0.936	23.151	0.223	0.376	0.792	0.769	12.829	0.141	-0.502	0.255
	CAMS-CSM	0.974	0.156	0.002	0.919	0.957	0.954	5.496	0.064	0.770	0.694	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IPSL-CM6A	0.973	0.262	0.003	0.997	0.866	0.946	5.776	0.069	0.736	0.737	0.919	20.993	0.199	0.501	0.720	0.809	15.429	0.173	-1.258	0.621
	MIROC6	0.970	0.467	0.005	0.423	0.938	0.951	24.425	0.268	-2.980	0.341	0.920	49.074	0.444	-1.471	0.550	0.793	17.333	0.212	-2.366	0.229
	CMCC-ESM2	0.969	0.141	0.002	0.929	0.769	0.933	4.190	0.050	0.864	0.634	0.907	36.810	0.327	-0.344	0.645	0.788	16.220	0.179	-1.394	0.603
	MRI-ESM2	0.965	0.323	0.004	0.701	0.757	0.935	8.271	0.110	0.329	0.454	0.940	32.954	0.303	-0.149	0.703	0.733	12.499	0.140	-0.469	0.389
	FGOALS	0.960	0.217	0.003	0.842	0.957	0.913	8.212	0.092	0.527	0.686	0.928	35.0	0.314	-0.241	0.482	0.765	16.749	0.185	-1.569	0.696
	ACCESS-ESM	0.959	0.228	0.003	0.835	0.832	0.920	6.069	0.073	0.704	0.664	0.921	24.781	0.229	0.339	0.710	0.725	13.775	0.157	-0.841	0.561
دریا	CanESM5	0.946	0.172	0.005	0.900	0.927	0.956	7.836	0.100	0.446	0.900	0.946	31.091	0.275	0.048	0.489	0.777	8.467	0.099	0.267	0.696
	MPI-ESM1	0.980	0.185	0.002	0.896	0.898	0.962	7.228	0.093	0.601	0.584	0.945	25.172	0.235	0.222	0.764	0.902	9.613	0.110	0.434	0.727
	EC-EARTH3	0.977	0.173	0.002	0.909	0.896	0.959	4.998	0.058	0.846	0.851	0.950	18.042	0.169	0.594	0.746	0.901	15.786	0.167	-0.301	0.816
	BCC-CSM2	0.976	0.221	0.003	0.857	0.787	0.856	7.873	0.095	0.585	0.775	0.841	28.576	0.274	-0.060	0.672	0.776	21.057	0.232	-1.492	0.693
	CAMS-CSM	0.974	0.240	0.003	0.841	0.916	0.954	8.258	0.093	0.606	0.845	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-
	IPSL-CM6A	0.975	0.300	0.003	0.766	0.951	0.955	5.164	0.062	0.823	0.841	0.926	18.883	0.181	0.535	0.713	0.915	16.277	0.171	-0.356	0.811
	MIROC6	0.977	0.495	0.005	0.405	0.792	0.957	32.847	0.423	-7.144	-0.628	0.950	26.651	0.324	-0.482	0.367	0.899	43.351	0.519	-11.479	-0.643
	CMCC-ESM2	0.973	0.148	0.002	0.928	0.889	0.965	8.424	0.101	0.530	0.566	0.949	16.869	0.167	0.607	0.847	0.917	6.796	0.081	0.691	0.689
	MRI-ESM2	0.966	0.363	0.004	0.660	0.854	0.947	4.670	0.058	0.845	0.817	0.937	26.896	0.244	0.159	0.701	0.884	15.499	0.166	-0.286	0.806
	FGOALS	0.962	0.223	0.003	0.858	0.809	0.921	8.279	0.097	0.566	0.886	0.947	9.543	0.104	0.847	0.909	0.896	9.353	0.116	0.374	0.487
فضا	ACCESS-ESM	0.956	0.295	0.004	0.748	0.940	0.837	8.567	0.111	0.438	0.823	0.826	22.541	0.220	0.314	0.615	0.760	22.599	0.248	-1.851	0.622
	CanESM5	0.972	0.228	0.003	0.853	0.916	0.955	11.935	0.130	0.235	0.258	0.952	8.723	0.098	0.864	0.897	0.891	10.348	0.120	0.335	0.425

جدول ۶ . نتایج تصحيح بایاس داده‌های بارش

	GCM	RMSE					R(XY)				
		Model	Correction Biass				Model	Correction Biass			
			LS	LOCI	PT	VS		LS	LOCI	PT	VS
چابهار	ACCESS1.5	28.85	26.52	31.2	32.3	26.52	0.17	0.14	0.28	0.38	0.14
	BCC-CSM2-MR	29.04	26.71	31.39	32.49	26.71	0.08	0.05	0.19	0.29	0.05
	CAMS-CSM1.0	29.11	26.78	31.46	32.56	26.78	0.09	0.06	0.2	0.3	0.06
	CanESM5	29.13	26.8	31.48	32.58	26.8	0.03	0	0.14	0.24	0
	CMCC-ESM2	29.12	26.79	31.47	32.57	26.79	0.05	0.02	0.16	0.26	0.02
	EC-EARTH3-veg	29.08	26.75	31.43	32.53	26.75	0.13	0.1	0.24	0.34	0.1
	FGOALS-f3-L	28.98	26.65	31.33	32.43	26.65	0.05	0.02	0.16	0.26	0.02
	IPSL-CM6A-LR	29.13	26.8	31.48	32.58	26.8	-0.01	-0.0	0.1	0.2	-0.04
	MIROC6	29.02	26.69	31.37	32.47	26.69	0.04	0.01	0.15	0.25	0.01
	MPI-ESM1-2-HR	29.11	26.78	31.46	32.56	26.78	0.09	0.06	0.2	0.3	0.06
جاسک	MRI-ESM2-0	28.96	26.63	31.31	32.41	26.63	0.11	0.08	0.22	0.32	0.08
	ACCESS1.5	30.63	28.3	32.98	34.08	28.3	0.09	0.06	0.2	0.3	0.06
	BCC-CSM2-MR	30.86	28.53	33.21	34.31	28.53	0.04	0.01	0.15	0.25	0.01
	CAMS-CSM1.0	30.94	28.61	33.29	34.39	28.61	-0.06	-0.1	0.05	0.15	-0.09
	CanESM5	30.98	28.65	33.33	34.43	28.65	0.04	0.01	0.15	0.25	0.01
	CMCC-ESM2	30.93	28.6	33.28	34.38	28.6	0.1	0.07	0.21	0.31	0.07
	EC-EARTH3-veg	30.78	28.45	33.13	34.23	28.45	0.14	0.11	0.25	0.35	0.11
	FGOALS-f3-L	30.97	28.64	33.32	34.42	28.64	0.03	0	0.14	0.24	0
	IPSL-CM6A-LR	30.82	28.49	33.17	34.27	28.49	0.08	0.05	0.19	0.29	0.05
	MIROC6	30.95	28.62	33.3	34.4	28.62	0.09	0.06	0.2	0.3	0.06
	MPI-ESM1-2-HR	30.81	28.48	33.16	34.26	28.48	0.17	0.14	0.28	0.38	0.14
	MRI-ESM2-0	30.63	28.3	32.98	34.08	28.3	0.09	0.06	0.2	0.3	0.06

جدول ۷ . نتایج تصحيح بایاس داده‌های بارش

	GCM	MSE				
		Model	Correction Biass			
			LS	LOCI	PT	VS
چابهار	ACCESS1.5	832.33	844.33	843.63	829.33	838.33
	BCC-CSM2-MR	843.26	855.26	854.56	840.26	849.26
	CAMS-CSM1.0	847.41	859.41	858.71	844.41	853.41
	CanESM5	848.48	860.48	859.78	845.48	854.48
	CMCC-ESM2	847.8	859.8	859.1	844.8	853.8
	EC-EARTH3-veg	845.63	857.63	856.93	842.63	851.63
	FGOALS-f3-L	840.01	852.01	851.31	837.01	846.01
	IPSL-CM6A-LR	848.5	860.5	859.8	845.5	854.5
	MIROC6	842.02	854.02	853.32	839.02	848.02
	MPI-ESM1-2-HR	847.4	859.4	858.7	844.4	853.4
جاسک	MRI-ESM2-0	838.63	850.63	849.93	835.63	844.63
	ACCESS1.5	938.12	950.12	949.42	935.12	944.12
	BCC-CSM2-MR	952.44	964.44	963.74	949.44	958.44
	CAMS-CSM1.0	957.19	969.19	968.49	954.19	963.19
	CanESM5	959.81	971.81	971.11	956.81	965.81
	CMCC-ESM2	956.37	968.37	967.67	953.37	962.37
	EC-EARTH3-veg	947.35	959.35	958.65	944.35	953.35
	FGOALS-f3-L	959.02	971.02	970.32	956.02	965.02
	IPSL-CM6A-LR	949.58	961.58	960.88	946.58	955.58
	MIROC6	957.66	969.66	968.96	954.66	963.66
	MPI-ESM1-2-HR	949.49	961.49	960.79	946.49	955.49
	MRI-ESM2-0	938.12	950.12	949.42	935.12	944.12

جدول ۸. نتایج بررسی آمار ماهانه و روزانه دمای کمینه و تصحیح بایاس به دو روش در ۴ مدل برای ایستگاه چابهار

		MAE	NRMSE	NSE	R
IPSL-CM1A	دمای کمینه				
	داده آماری ماهانه	۲۰.۹۹۳	۰.۱۹۹	۰.۵۰۱	۰.۹۱۹
	داده آماری روزانه	۱۰.۱۲۷	۰.۱۱۸	۰.۶۷۶	۰.۸۳۶
	Correct LS	۹.۶۲۰	۰.۱۱۳	۰.۷۰۳	۰.۸۵۲
ACCESS-ESM	داده آماری ماهانه	۲۴.۷۸۱	۰.۲۲۹	۰.۳۳۹	۰.۹۲۱
	داده آماری روزانه	۱۰.۸۶۲	۰.۱۲۲	۰.۶۵۴	۰.۸۴۰
	Correct LS	۸.۹۲۷	۰.۱۲۲	۰.۷۴۸	۰.۸۴۰
	Correct VS	۹.۲۷۰	۰.۱۲۲	۰.۷۴۷	۰.۸۴۰
EC-EARTH ^۳	داده آماری ماهانه	۲۸.۲۶۲	۰.۲۵۳	۰.۱۹۷	۰.۹۳۸
	داده آماری روزانه	۹.۶۸۶	۰.۱۱۱	۰.۷۰۹	۰.۸۴۵
	Correct LS	۸.۹۸۶	۰.۱۰۵	۰.۷۴۴	۰.۸۷۰
	Correct VS	۹.۲۸۰	۰.۱۰۸	۰.۷۲۴	۰.۸۶۲
FGOALS	داده آماری ماهانه	۳۵.۵۳۰	۰.۳۱۴	-۰.۲۴۱	۰.۹۲۸
	داده آماری روزانه	۵۲.۱۹۲	۰.۵۲۴	-۵.۴۲۸	۰.۸۴۱
	Correct LS	۱۴.۰۷۸	۰.۱۶۴	۰.۳۶۸	۰.۷۴۵
	Correct VS	۹.۴۷۰	۰.۱۰۹	۰.۷۲۰	۰.۸۶۰

جدول ۹. نتایج بررسی آمار ماهانه و روزانه دمای بیشینه و تصحیح بایاس به دو روش در ۴ مدل برای ایستگاه چابهار

		MAE	NRMSE	NSE	R
IPSL-CM1A	دمای بیشینه				
	داده آماری ماهانه	۱۵.۴۲۹	۰.۱۷۳	-۱.۲۵۸	۰.۸۰۹
	داده آماری روزانه	۱۱.۴۳۴	۰.۱۳۶	۰.۰۶۴	۰.۷۰۴
	Correct LS	۹.۶۲۰	۰.۱۱۸	۰.۲۹۸	۰.۶۴۰
ACCESS-ESM	داده آماری ماهانه	۱۳.۷۷۵	۰.۱۵۷	-۰.۸۴۱	۰.۷۲۵
	داده آماری روزانه	۱۱.۱۹۴	۰.۱۳۱	۰.۱۳۱	۰.۶۷۶
	Correct LS	۹.۳۶۶	۰.۱۱۵	۰.۳۲۸	۰.۶۴۵
	Correct VS	۱۰.۱۲۹	۰.۱۲۴	۰.۲۲۰	۰.۶۱۰
EC-EARTH ^۳	داده آماری ماهانه	۱۷.۵۹۴	۰.۱۹۲	-۱.۷۵۷	۰.۷۷۸
	داده آماری روزانه	۱۱.۱۹۴	۰.۱۳۱	۰.۱۳۱	۰.۶۷۶
	Correct LS	۲۰.۸۴۲	۰.۲۳۳	-۱.۷۲۴	۰.۶۸۲
	Correct VS	۲۰.۵۲۵	۰.۲۳۰	-۱.۶۷۴	۰.۶۹۵
FGOALS	داده آماری ماهانه	۱۶.۷۴۹	۰.۱۸۵	-۱.۵۶۹	۰.۷۶۵
	داده آماری روزانه	۱۶.۳۴۰	۰.۱۹۰	-۰.۸۲۳	۰.۶۹۹
	Correct LS	۱۰.۱۰۸	۰.۱۲۴	۰.۲۲۹	۰.۶۲۰
	Correct VS	۹.۸۵۲	۰.۱۲۱	۰.۲۵۹	۰.۶۲۹

جدول ۱۰. نتایج بررسی آمار ماهانه و روزانه دمای کمینه و تصحیح بایاس به دو روش در ۴ مدل برای ایستگاه جاسک

	دمای کمینه	MAE	NRMSE	NSE	R
IPSL-CM1A	داده آماری ماهانه	۱۸.۸۸۳	۰.۱۸۱	۰.۵۳۵	۰.۹۲۶
	داده آماری روزانه	۱۰.۱۸۰	۱.۱۷۲	۰.۰۲۲	۰.۱۵۲
	Correct LS	۹.۷۳۷	۱.۱۷۰	۰.۰۲۵	۰.۱۵۹
	Correct VS	۶۷.۲۳۲	۱.۶۴۹	-۰.۹۳۶	۰.۰۳۲
ACCESS-ESM	داده آماری ماهانه	۲۲.۵۴۱	۰.۲۲۰	۰.۳۱۴	۰.۸۲۶
	داده آماری روزانه	۱۳.۶۳۳	۱.۱۷۹	۰.۰۱۱	۰.۱۴۶
	Correct LS	۸.۷۳۷	۱.۱۶۹	۰.۰۲۷	۰.۱۶۵
	Correct VS	۶۸.۵۲۱	۱.۶۵۶	-۰.۹۵۲	۰.۰۲۴
EC-EARTH	داده آماری ماهانه	۱۸.۰۴۲	۰.۱۶۹	۰.۵۹۴	۰.۹۵۰
	داده آماری روزانه	۸.۷۲۶	۱.۱۷۲	۰.۰۲۲	۰.۱۴۹
	Correct LS	۸.۹۲۵	۱.۱۷۱	۰.۰۲۴	۰.۱۵۷
	Correct VS	۶۸.۸۱۱	۱.۶۸۱	-۱.۰۱۲	-۰.۰۰۶
FGOALS	داده آماری ماهانه	۹.۵۴۳	۰.۱۰۴	۰.۸۴۷	۰.۹۴۷
	داده آماری روزانه	۵۳.۷۸۹	۱.۲۷۶	-۰.۱۶۰	۰.۱۴۹
	Correct LS	۱۱.۶۰۷	۱.۱۷۵	۰.۰۱۷	۰.۱۴۲
	Correct VS	۶۷.۲۹۱	۱.۶۷۳	-۰.۹۹۳	۰.۰۰۳

جدول ۱۱. نتایج بررسی آمار ماهانه و روزانه دمای بیشینه و تصحیح بایاس به دو روش در ۴ مدل برای ایستگاه جاسک

	دمای بیشینه	MAE	NRMSE	NSE	R
IPSL-CM1A	داده آماری ماهانه	۱۶.۲۷۷	۰.۱۷۱	-۰.۳۵۶	۰.۹۱۵
	داده آماری روزانه	۱۱.۳۸۵	۱.۱۱۱	۰.۰۰۵	۰.۱۰۳
	Correct LS	۱۰.۸۲۵	۱.۱۰۸	۰.۰۱۰	۰.۱۰۳
	Correct VS	۶۳.۶۷۷	۱.۵۴۲	-۰.۹۱۷	۰.۰۴۱
ACCESS-ESM	داده آماری ماهانه	۱۶.۲۷۷	۰.۱۷۱	-۰.۳۵۶	۰.۹۱۵
	داده آماری روزانه	۱۱.۳۸۵	۱.۱۱۱	۰.۰۰۵	۰.۱۰۳
	Correct LS	۱۰.۸۲۵	۱.۱۰۸	۰.۰۱۰	۰.۱۰۳
	Correct VS	۶۳.۶۷۷	۱.۵۴۲	-۰.۹۱۷	۰.۰۴۱
EC-EARTH	داده آماری ماهانه	۱۵.۷۸۶	۰.۱۶۷	-۰.۳۰۱	۰.۹۰۱
	داده آماری روزانه	۱۱.۴۷۰	۱.۱۱۲	۰.۰۰۲	۰.۰۹۶
	Correct LS	۱۱.۰۶۸	۱.۱۱۰	۰.۰۰۷	۰.۰۹۳
	Correct VS	۶۲.۶۶۶	۱.۵۶۰	-۰.۹۶۳	۰.۰۱۸
FGOALS	داده آماری ماهانه	۹.۳۵۳	۰.۱۱۶	۰.۳۷۴	۰.۸۹۶
	داده آماری روزانه	۱۳.۵۹۹	۱.۱۱۳	۰.۰۰۰	۰.۰۹۱
	Correct LS	۱۰.۰۱۳	۱.۱۰۹	۰.۰۰۸	۰.۰۹۵
	Correct VS	۶۳.۸۲۱	۱.۵۷۴	-۰.۹۹۷	۰.۰۰۲

جدول ۱۲. ارزیابی عملکرد مدل های مختلف GCM با ایستگاه چابهار در مقیاس ماهانه بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۴

Model	ایستگاه چابهار											
	میانگین فشار		میانگین دما		دمای بیشینه		دمای کمینه		میانگین رطوبت		سرعت باد	
	r	MAE	r	MAE	r	MAE	r	MAE	r	MAE	r	MAE
CMCC-ESM۲	۰/۹۷	۰/۱۴	۰/۹۵	۳/۷۷	۰/۷۸	۸/۴۷	۰/۹۲	۲۰/۹۹	۰/۶۵	۹/۹۳	۰/۱۳	۳۹/۳۴
MPI-ESM۱	۰/۹۸	۰/۱۴	۰/۹۳	۴/۱۹	۰/۷۳	۱۲/۵۰	۰/۹۲	۲۴/۷۸	۰/۴۷	۱۵/۴۵	۰/۱۴	۴۸/۴۹
EC-EARTH۳	۰/۹۸	۰/۱۶	۰/۹۶	۴/۵۵	۰/۷۹	۱۳/۲۶	۰/۹۴	۲۸/۲۶	۰/۵۷	۲۶/۹۹	۰/۱۳	۴۹/۳۹
CanESM۵	۰/۹۵	۰/۱۷	۰/۹۵	۵/۷۸	۰/۷۳	۱۳/۷۸	۰/۹۵	۳۱/۰۹	۰/۶۹	۱۵/۵۷	۰/۰۲	۴۹/۴۹
FGOALS	۰/۹۶	۰/۲۲	۰/۹۲	۶/۰۷	۰/۸۱	۱۵/۴۳	۰/۹۴	۳۲/۹۵	۰/۵۴	۱۸/۳۴	۰/۲۲	۵۲/۶۷
ACCESS-ESM	۰/۹۶	۰/۲۳	۰/۹۶	۷/۸۴	۰/۷۹	۱۶/۲۲	۰/۹۳	۳۵/۵۳	-۰/۰۶	۳۵/۲۴	۰/۰۹	۵۴/۲۸
IPSL-CM۱A	۰/۹۷	۰/۲۶	۰/۹۱	۸/۲۱	۰/۷۷	۱۶/۷۵	۰/۹۱	۳۶/۸۱	-۰/۰۶	۲۲/۲۵	۰/۱۶	۵۵/۴۹
MRI-ESM۲	۰/۹۶	۰/۳۲	۰/۹۴	۸/۲۷	۰/۷۹	۱۷/۳۳	۰/۹۲	۳۷/۹۱	۰/۳۲	۲۳/۶۱	۰/۱۰	۶۱/۸۵
MIROC۱	۰/۹۷	۰/۴۷	۰/۹۵	۲۴/۴۳	۰/۷۸	۱۷/۵۹	۰/۹۲	۴۹/۰۷	۰/۰۸	۴۵/۱۲	-۰/۰۲	۶۵/۴۵

جدول ۱۳. ارزیابی عملکرد مدل های مختلف GCM با ایستگاه جاسک در مقیاس ماهانه بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۴

Model	ایستگاه جاسک											
	میانگین فشار		میانگین دما		دمای بیشینه		دمای کمینه		میانگین رطوبت		سرعت باد	
	r	MAE	r	MAE	r	MAE	r	MAE	R	MAE	r	MAE
CMCC-ESM۲	۰/۹۷	۰/۱۵	۰/۹۵	۴/۶۷	۰/۹۲	۶/۸۰	۰/۹۵	۸/۷۲	۰/۶۴	۹/۹۲	۰/۲۴	۲۰/۰۷
MPI-ESM۱	۰/۹۸	۰/۱۷	۰/۹۶	۵/۰۰	۰/۹۰	۹/۳۵	۰/۹۵	۹/۵۴	۰/۵۲	۱۰/۵۴	-۰/۰۱	۲۲/۲۳
EC-EARTH۳	۰/۹۸	۰/۱۹	۰/۹۵	۵/۱۶	۰/۹۰	۹/۶۱	۰/۹۵	۱۶/۸۷	۰/۵۷	۱۶/۱۳	۰/۱۲	۲۲/۳۷
CanESM۵	۰/۹۶	۰/۲۲	۰/۹۶	۷/۲۳	۰/۸۹	۱۰/۳۵	۰/۹۵	۱۸/۰۴	۰/۷۲	۲۲/۴۳	۰/۰۰	۲۳/۳۱
FGOALS	۰/۹۷	۰/۲۳	۰/۹۲	۸/۲۸	۰/۸۸	۱۵/۵۰	۰/۹۳	۱۸/۸۸	-۰/۰۶	۲۲/۶۳	۰/۰۹	۲۴/۸۶
ACCESS-ESM	۰/۹۶	۰/۳۰	۰/۹۶	۸/۴۲	۰/۹۰	۱۵/۷۹	۰/۸۳	۲۲/۵۴	-۰/۰۶	۳۱/۰۸	۰/۰۴	۳۲/۵۹
IPSL-CM۱A	۰/۹۷	۰/۳۰	۰/۸۴	۸/۵۷	۰/۹۱	۱۶/۲۸	۰/۹۵	۲۵/۱۷	۰/۵۰	۴۰/۶۱	۰/۵۲	۳۵/۵۶
MRI-ESM۲	۰/۹۷	۰/۳۶	۰/۹۵	۱۱/۹۴	۰/۷۶	۲۲/۶۰	۰/۹۵	۲۶/۶۵	-۰/۰۲	۴۱/۵۶	-۰/۰۳	۴۴/۳۹
MIROC۱	۰/۹۸	۰/۵۰	۰/۹۶	۳۲/۸۵	۰/۹۰	۴۳/۳۵	۰/۹۴	۲۶/۹۰	-۰/۰۲	۷۶/۳۶	۰/۵۴	۵۰/۵۸

کمکی نماید. این مشکل برای پارامتر باد و رطوبت هم تکرار شد. اما در پارامتر میانگین دما اما شرایط بهتر بوده و برای چابهار ۵ مدل اول شامل MPI-ESM1- IPSL-CM6A- EC-EARTH3- CAMS-CSM- CanESM5 و برای جاسک مدل های IPSL-CM6A - FGOALS و EC-EARTH3- CAMS-CSM- MRI-ESM2 در پارامتر فشار هوا مدل های CMCC-ESM2- IPSL- EC- CM6A- CAMS-CSM- MPI-ESM1 EARTH3- برای چابهار و مدل های CMCC-ESM2 EC- - IPSL-CM6A- CAMS-CSM- MPI-ESM1 EARTH3- برای جاسک، دمای بیشینه مدل های CMCC-

میانگین مربع خطا (NRMSE) و کلینگ- گوپتا (KGE) در جدول (۴ و ۵) نتایج زیر را نشان داد:

نتایج مقادیر MAE با نتایج مقادیر NSE و NRMSE یکسان بوده و انتخاب مدل های قبلی را تأیید نموده و نقص نکرد. به طور مثال در پارامتر دما مدل EC-EARTH3 کمترین مقدار MAE را نشان داد و در نتایج NSE و NRMSE نیز کمترین مقدار محاسبه شد. بر اساس روش تیلور نیز مدل ها مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴ و ۵) و در هر پارامتر مدل ها رفتارهای متفاوتی نشان داده و نمی توان به طور جامع یک مدل را انتخاب کرد. به طور مثال در پارامتر بارش تمامی مدل ها دور از نقطه مرکزی بوده و نمی تواند برای انتخاب مدل

جدول ۱۴. نتایج شاخص‌های آماری پارامترهای مهم در دو مدل همادی (به روش میانگین حسابی^۱ و هم وزنی^۲) برای ایستگاه چابهار و جاسک

	ایستگاه	روش همادی	R(XY)	RMSE	MSE
Rain	چابهار	AM	۰.۱۵	۲۹.۰۴۸	۸۴۳.۷۹۵
		IWM	۰.۳۱	۲۳.۰۴۸	۷۰۰.۷۹۵
	جاسک	AM	۰.۱۹	۳۰.۸۸۶	۹۵۳.۹۵۴
		IWM	۰.۲۹	۳۰.۸۸۶	۹۵۳.۹۵۴
Temp	چابهار	AM	۰.۹۶	۱.۴۲۶	۲.۰۳۴
		IWM	۰.۹۷	۰.۹۱۸	۰.۸۴۲
	جاسک	AM	۰.۹۶	۱.۷۵۵	۳.۰۸۱
		IWM	۰.۹۶	۱.۴۱۰	۱.۹۸۸
Humid	چابهار	AM	۰.۳۷	۱۷.۵۵۴	۳۰۸.۱۶۰
		IWM	۰.۶۶	۱۳.۰۳۴	۱۶۹.۸۷۹
	جاسک	AM	-۰.۰۳	۱۷.۴۵۲	۳۰۴.۵۸۴
		IWM	۰.۵۸	۱۱.۴۵۱	۱۳۱.۱۱۶
Tmax	چابهار	AM	۰.۳۸	۵.۷۹۹	۳۳.۶۲۶
		IWM	۰.۵۲	۵.۳۸۵	۲۸.۹۹۵
	جاسک	AM	-۰.۱۰	۱.۱۷۸	۱.۳۸۷
		IWM	۰.۲۳	۱.۰۹۰	۱.۱۸۸
Tmin	چابهار	AM	۰.۷۸	۴.۵۹۷	۲۱.۱۳۰
		IWM	۰.۸۰	۳.۷۲۶	۱۳.۸۸۳
	جاسک	AM	۰.۹۰	۷.۶۸۲	۵۹.۰۱۶
		IWM	۰.۹۲	۳.۳۹	۱۱.۵۱
Psl	چابهار	AM	۰.۹۶	۵.۷۵۵	۳۳.۱۱۷
		IWM	۰.۹۷	۵.۳۴۸	۲۸.۶۰۲
	جاسک	AM	۰.۹۲	۲.۹۹۹	۸.۹۹۳
		IWM	۰.۹۶	۱.۷۹۵	۳.۲۲۳
Wind	چابهار	AM	۰.۶۳	۲.۰۳۸	۴.۱۵۴
		IWM	۰.۷۲	۱.۷۳۳	۳.۰۰۲
	جاسک	AM	۰.۵۸	۲.۰۳۸	۴.۱۵۴
		IWM	۰.۶۷	۲.۱۳۴	۴.۵۵۴

۱ - Arithmetic mean

۲ - Independence Weighted Mean

و مناسبی با داده‌های مشاهداتی نشان نداد و نمی‌توان مدلی را به‌عنوان مدل جامع انتخاب نمود، از سوی دیگر استفاده از برون‌داد مستقیم مدل‌های منفرد باعث افزایش عدم قطعیت در نتایج شد؛ لذا به‌منظور کاهش عدم قطعیت از روش همادی^{۳۴} برون‌داد مدل‌ها استفاده شد. در همین راستا یو و کانگ (۲۰۰۵) دریافتند که مدل همادی در مقایسه با مدل‌های منفرد نتایج بهتری ارائه می‌دهد. دو روش همادی میانگین حسابی (AM^{۳۵}) و میانگین وزنی (IWM^{۳۶}) اجرا و نتایج به‌صورت

ESM2- IPSL-CM6A- FGOALS- MPI-ESM1 EC-EARTH3- برای چابهار و مدل‌های CMCC- ESM2- IPSL-CM6A- MRI-ESM2- MPI-ESM1 EC-EARTH3- برای جاسک، دمای کمینه مدل‌های CanESM5- IPSL-CM6A- MRI-ESM2- MPI- EC-EARTH3- ESM1 برای چابهار و جاسک را می‌توان مدل بهتری انتخاب کرد.

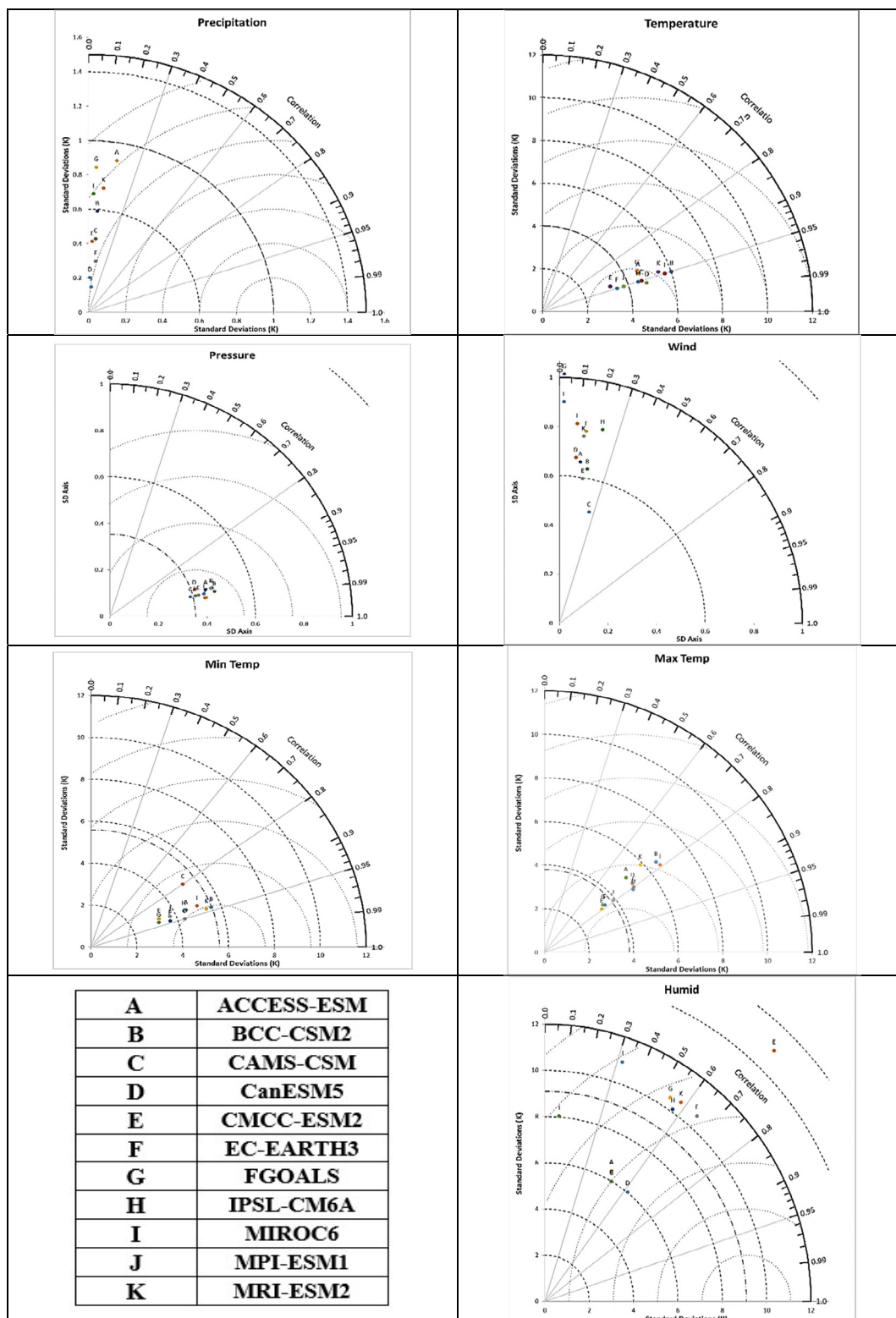
همادی مدل‌ها

هیچ‌کدام از مدل‌های تحقیق، پوشش و همبستگی کامل

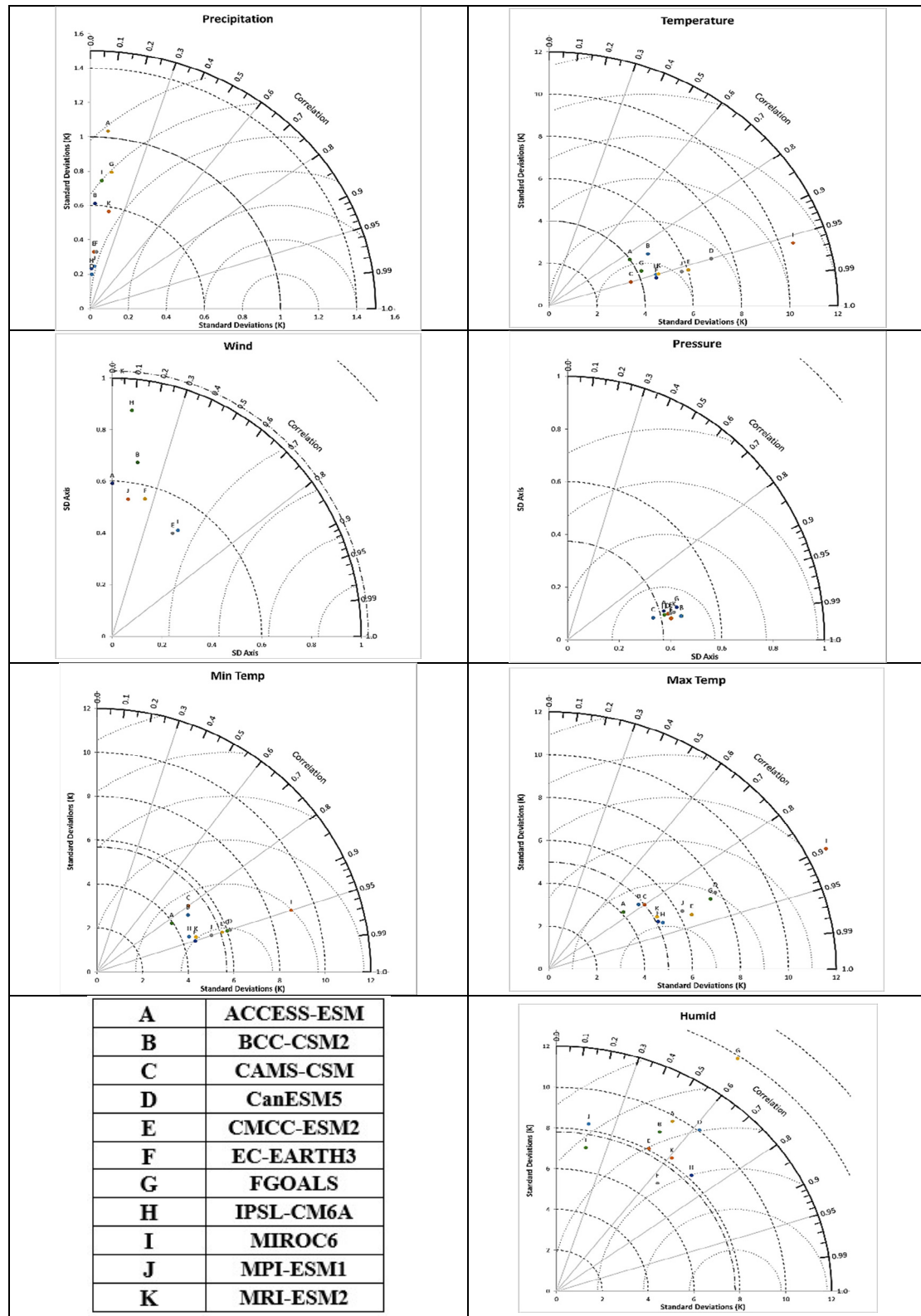
34 - Ensembl

35 - Arithmetic mean

36 - Independence Weighted Mean



شکل ۳. دیاگرام تیلور برای پارامترهای جوی در مدل‌های تحقیق برای ایستگاه چابهار



شکل ۴. دیاگرام تیلور برای پارامترهای جوی در مدل‌های تحقیق برای ایستگاه جاسک

شدند. در ادامه یک مدل همدادی به روش میانگین حسابی و میانگین وزن دهی (IWM) معرفی شد که نتایج نشان داد همدادی برون داد مدل ها به روش وزن دهی، ارتقای شاخص های آماری بهتری را در پی خواهد داشت.

زیر حاصل شد (جدول ۱۴). در روش وزنی، شاخص های آماری بهتری حاصل شد و می توان از این روش میانگین گیری در همدادی مدل های منتخب استفاده کرد.

راست آزمایی برون داد مدل همدادی نسبت به برون داد مستقیم مدل ها، آریبی کمتری نسبت به داده های ایستگاهی در دوره تاریخی نشان می دهد و بهتر می تواند تغییرات پارامترهای جوی را در دو ایستگاه چابهار و جاسک نشان دهد. در همدادی مدل ها میزان همبستگی داده های مدل با داده های مشاهداتی ارتقا پیدا کرده که در روش وزنی این ارتقا بیشتر بوده است.

نتیجه گیری

جهت انجام بررسی ها و پژوهش های اقلیمی استفاده از داده های شبکه های و خروجی مدل های اقلیمی مستلزم ارزیابی و صحت سنجی است. این صحت سنجی برای داده های تاریخی با ارزیابی دقت آن در مقابل داده های مشاهداتی انجام می پذیرد. میزان همبستگی و نزدیکی داده های خروجی مدل با داده های مشاهداتی معیار مناسبی برای انتخاب مدل اقلیمی است. در این بررسی برون داد یازده مدل از مدل های سری ششم پروژه CMIP در دوره زمانی تاریخی ۲۰۱۴-۱۹۸۵ استخراج شد. داده های هواشناسی مشاهداتی شامل مجموع بارش ماهانه، میانگین ماهانه پارامترهای دمای هوا، رطوبت هوا، بیشینه دما، کمینه دما، سرعت باد و فشار هوای دو ایستگاه همدیدی چابهار و جاسک است که با داده های متناظر مدل های معین شده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بارش، باد و همچنین رطوبت، همبستگی های بسیار ضعیفی ثبت نموده و نمی توانند معیار مناسبی برای انتخاب مدل باشند. اما مجموعه دماهای میانگین، کمینه و بیشینه و همچنین فشار هوا از همبستگی کافی برخوردار است. شاخص های نش ساتکلیف (NSE)، ریشه دوم میانگین مربع خطا (NRMSE) و کلینگ-گوپتا (KGE) نیز این نتایج را تأیید کرد. در انتها باتوجه به بررسی های ذکر شده و نتایج محاسبات، شش مدل MPI-ESM1.FGOALS، CanESM5، EC-EARTH3، IPSL، MRI-ESM2، ACCESS-ESM (بدون ترتیب خاصی) بین ۱۱ مدل معین شده آغاز پژوهش، به عنوان بهترین مدل انتخاب

مراجع

- آزادی، مجید؛ واشانی، سعید و حجام، سهراب. (۱۳۹۱). پیش بینی احتمالاتی بارش با استفاده از پس پردازش (post processing) برون داد یک سامان همدادی، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۸ (۳): ۲۰۳-۲۱۶
- احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ اکبری ازیرانی، طیب و کریمی، جمال (۱۳۹۸). کارایی مدل HadGEM2-ES در ارزیابی ناپهنجاری فصلی دمای ایران تحت سناریوهای واداشت تابشی، فیزیک زمین و فضا، ۴۵ (۳): ۶۴۴-۶۲۵
- بابائیان، ایمان، کریمیان، مدیران، حبیبی نوخندان. (۲۰۰۷). شبیه سازی بارش ماه های سرد سال های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۰ (۵)، ۵۵-۷۲
- زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی و صالح آبادی، نرگس (۱۴۰۰). بررسی بی هنجاری و روند دمای ایران در پهنه های مختلف اقلیمی با استفاده از پروژه مقایسه مدل های جفت شد مرحله ششم (CMIP6)، مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۵-۱۳
- سالاری فنودی، محمدرضا، خسروی، محمود، طابوسی، تقی، حمیدیان پور، محسن، (۱۳۹۸)، مقایسه و ارزیابی دقت داده های مدل های CMIP5 با داده های مشاهداتی و NCEP (مورد کاوی: جنوب شرق ایران)، ششمین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، تهران
- سالاری فنودی، محمدرضا، خسروی، محمود، طابوسی، تقی، حمیدیان پور، محسن، (۱۳۹۸)، مقایسه و ارزیابی دقت داده های بارش پایگاه کوردکس با داده های ایستگاهی (مورد کاوی: بارش تابستانه جنوب شرق ایران). پژوهش های اقلیم شناسی، ۱۳۹۹ (۴۳)، ۳۲-۱۵
- شکوهی، مجتبی، ثنائی نژاد، سید حسین، بنایان اول، محمد. (۱۳۹۸). اثر تغییر اقلیم بر مناطق عمده تولید گندم دیم در ایران تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰ (۶)، ۱۳۰۵-۱۲۹۳
- شهاب فر، علیرضا؛ محمدنیا قرانی، سهراب و ناصر جاودانی (۱۳۸۲)، بررسی تغییرات زمانی روزهای یخبندان در مشهد، مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم
- صداقت کردار، عبد. و ابراهیم فتاحی (۱۳۸۷). شاخص های پیش آگاهی خشکسالی در ایران، مجله جغرافیا و توسعه، ش ۱۱، بهار، ۱۳۸۷، ۵۹-۷۶
- علیزاده چوبری، امید و نجفی، محمد سعید. (۱۳۹۶). روند تغییرات دمای هوا و بارش در مناطق مختلف ایران، فیزیک زمین و فضا، ۴۳ (۳)، ۵۶۹-۵۸۴
- عزیزی، قاسم و محمد روشنی (۱۳۸۷)، مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من - کندال، مجله پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۴، ۲۸-۱۳
- قندهاری، قاسم، جابر سلطانی و محسن حمیدیان پور (۱۳۹۴). بررسی سناریوهای تخصیص پهنه آب رودخانه بار نیشابور با استفاده از مدل WEAP تحت سناریوی اقلیمی A2. فصلنامه آب و خاک، دوره ۲۹، شماره ۵، ۱۱۵۸-۱۱۷۲
- نبی بید هندی، غلامرضا؛ شاهین محمد نژاد و فاطمه عبادتی

- Bulletin of the American Meteorological Society, 90(8): 1095-1108.
27. He, S., ; Yang, J., ; Bao, Q., ; Wang, L., & Wang, B. (2019). Fidelity of the observational/reanalysis datasets and global climate models in representation of extreme precipitation in East China. *Journal of Climate*, 32(1),): 195-212.
 28. Herath, S., and Ratnayake, U., (2004), Monitoring rainfall trends, to predict adverse impacts-a case study from Sri Lanka 1964-1993. *Global Environ. Change*, Vol. 14, pp. 71-79.
 29. Houghton, R. A. (2008). Carbon flux to the atmosphere from land-use changes: 1850–2005. *TRENDS: A compendium of data on global change*, 1850-2005.
 30. IPCC (2013). *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 and New York.
 31. Khan, A. J., ; Koch, M., & Tahir, A. A. (2020). Impacts of Climate Change on the Water Availability, Seasonality and Extremes in the Upper Indus Basin (UIB). *Sustainability*, 12(4),): 1283.
 32. Kim, Y. H., ; Min, S. K., ; Zhang, X., ; Sillmann, J., & Sandstad, M. (2020). Evaluation of the CMIP6 multi-model ensemble for climate extreme indices. *Weather and Climate Extremes*, 29, : 100269.
 33. Kolieb, E. H. (2008). *Shipping Impacts on Climate: A Source with Solutions*. Oceana Protecting the World's Ocean.
 34. Kotir, J. H. (2011). Climate change and variability in Sub-Saharan Africa: a review of current and future trends and impacts on agriculture and food security. *Environment, Development and Sustainability*, 13(3), 587-605.
 35. Koutroulis, A. G., Grillakis, M. G., Tسانis, I. K., & Jacob, D. (2015). Exploring the ability of current climate information to facilitate local climate services for the water sector. *Earth Perspectives*, 2(1), 1-19.
 36. Lee, J. Y. and Wang, B. (2014). Future change of global monsoon in the CMIP5. *Climate Dynamics*, 42(1-2): 101-119.
 37. Lenhart, T., Fohrer, N., & Frede, H. G. (2003). Effects of land use changes on the nutrient balance in mesoscale catchments. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28(33-36), 1301-1309.
 38. Lorenz, R.; Herger, N.; Sedláček, J.; Eyring, V.; Fischer, E. M. and Knutti, R. (2018). Prospects and caveats of weighting climate models for summer maximum temperature projections over North America, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(9): 4509-4526.
 39. Lu, C., ; Sun, Y., and Zhang, X. (2018). Multimodel detection and attribution of changes in warm and cold spell durations. *Environmental Research Letters*, 13(7),): 074013.
 - 1386), مفاهيم و پیامدهای تغییر آبوهوا با مروری بر ملاحظات پروتکل کیوتو، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۱۸۹ صفحه.
 ۱۴. هاردي، جان تی (۲۰۰۳)، تغییر اقلیم، علل، اثرات و راهحل‌ها، ترجمه: خزانه‌داری، لیلی؛ منصوره کوهی؛ شهرزاد قندهاری و مهدی آسیایی (۱۳۹۱)، انتشارات پاپلی، چاپ دوم، ۳۶۸ صفحه، مشهد.
 15. Almazroui, M., Saeed, F., Saeed, S., Ismail, M., Ehsan, M. A., Islam, M. N., ... & Nadeem, I. (2021). Projected changes in climate extremes using CMIP6 simulations over SREX regions. *Earth Systems and Environment*, 5(3), 481-497.
 16. Anbumozhi, V., Breiling, M., Pathmarajah, S., & Reddy, V. R. (Eds.). (2012). *Climate change in Asia and the Pacific: how can countries adapt?.* SAGE Publications India
 17. Bai, H.; Xiao, D., ; Wang, B.; Liu, D. L.; Feng, P. and Tang, J. (2020). Multi-model ensemble of CMIP6 projections for future extreme climate stress on wheat in the North China Plain, *International Journal of Climatology*, 40: 21-39.
 18. Becker, E.; Kirtman, B. P. and Pegion, K. (2020). Evolution of the North American Multi-Model Ensemble, *Geophysical Research Letters*, 47: 35-53.
 19. Bishop, C. H. and Abramowitz, G. (2013). Climate model dependence and the replicate Earth paradigm, *Climate dynamics*, 41: 885-900.
 20. Brooker Peter (2009), *Aviation and Climate Change: i – uk Airport CO2 Emissions*, Air Traffic Technology International, 22-25.
 21. Dubrovský, M., Hayes, M., Duce, P., Trnka, M., Svoboda, M., & Zara, P. (2014). Multi-GCM projections of future drought and climate variability indicators for the Mediterranean region. *Regional Environmental Change*, 14(5), 1907-1919.
 22. Eby, M., Weaver, A. J., Alexander, K., Zickfeld, K., Abe-Ouchi, A., Cimadoribus, A. A., ... & Zhao, F. (2013). Historical and idealized climate model experiments: an intercomparison of Earth system models of intermediate complexity. *Climate of the Past*, 9(3), 1111-1140.
 23. Fallah-Ghalhari, G., ; Shakeri, F., & Dadashi-Roudbari, A. (2019). Impacts of climate changes on the maximum and minimum temperature in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(3-4),): 1539-1562.
 24. Gornitz, V. (1996). Monitoring sea level changes. In *Long-Term Climate Monitoring by the Global Climate Observing System: International Meeting of Experts*, Asheville, North Carolina, USA (pp. 385-414). Springer Netherlands.
 25. Gupta, H. V.; Kling, H.; Yilmaz, K. K. and Martinez, G. F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling, *Journal of hydrology*, 377(1-2): 80-91.
 26. Hawkins, E. and Sutton, R. (2009). The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions,

- 93(4): 485-498.
44. Yang, X., ; Wood, E. F., ; Sheffield, J., ; Ren, L., ; Zhang, M., . & Wang, Y. (2018). Bias correction of historical and future simulations of precipitation and temperature for China from CMIP5 models. *Journal of Hydrometeorology*, 19(3),): 609-623.
45. Yoo, J. H. and Kang, I. S. (2005). Theoretical examination of a multi-model composite for seasonal predictionm *Geophysical research letters*, 32(18): 14-27
46. Zheng, X. T.; Hui, C. and Yeh, S. W. (2018). Response of ENSO amplitude to global warming in CESM large ensemble: uncertainty due to internal variability, *Climate Dynamics*, 50(11-12): 4019-4035.
47. Zhu, Y. Y., . and Yang, S. (2020). Evaluation of CMIP6 for historical temperature and precipitation over the Tibetan Plateau and its comparison with CMIP5. *Advances in Climate Change Research*, 11(3),): 239-251.
40. Moss, R.H.; Edmonds, J.A.; Hibbard, K.A.; Manning, M.R.; Rose, S.K.; Van Vuuren, D.P.; Carter, T.R.; Emori, S.; Kainuma, M.; Kram, T. and Meehl, G.A. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment, *Nature*, 463(7282): 747-756.
41. Seager, R., Ting, M., Held, I., Kushnir, Y., Lu, J., Vecchi, G., ... & Naik, N. (2007). Model projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. *Science*, 316(5828), 1181-1184.
42. Syed, F. S., Iqbal, W., Syed, A. A. B., & Rasul, G. (2014). Uncertainties in the regional climate models simulations of South-Asian summer monsoon and climate change. *Climate dynamics*, 42(7), 2079-2097.
43. Taylor K.E., Stouffer R.J., and Meehl G.A. (2012) An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*,

Validation of CMIP6 climate model output performance with observational data of Makran banks

Chakavak khajeh Amiri Khaledi¹, Dr. Mahmood Khosravi², Dr. Taghi Tavousi², Dr. Mohsen Hamidianpour³, Mansoor Kiani moghadam⁴

¹ PhD student of Climatology, University of Sistan and Baluchestan, Daneshgah Ave., Zahedan, Iran

² Professor Dept. of Climatology, Faculty of Geography, University of Sistan and Baluchestan, Daneshgah Ave., Zahedan, Iran.

³ Associate Professor Dept. of Climatology, Faculty of Geography, University of Sistan and Baluchestan, Daneshgah Ave.,

⁴ Associate Professor Associate Professor of Maritime Transportation Technology, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran

*Corresponding Author Email: khosravi@gep.usb.ac.ir

Received: 03 November 2021 , accepted: 01 February 2022

ABSTRACT

The climate of the planet is being changed, and its major consequences are directed towards the coastal areas, especially the coastal cities. On the other hand, using the output data of climate models requires evaluating its accuracy against observational data. The purpose of this research was to evaluate the accuracy of CMIP6 climate models in Makran coast. In order to investigate the climate conditions in the coast of Makran, 11 Climate models were used in CMIP6 planetary circulation output during the period of 1985-2014. The observational meteorological data including the sum of monthly rainfall, monthly average parameters of air temperature, air humidity, maximum temperature, minimum temperature, wind speed and air pressure of corresponding time period from two synoptic stations of Makran coast (Chabahar-Jask) were used. The results showed that precipitation, wind and humidity had very weak correlations and cannot be a suitable criterion for model selection. But the set of average, minimum and maximum temperatures as well as air pressure had sufficient correlation. Nash-Sutcliffe (NSE), normalized root mean square error (NRMSE) and Kling-Gupta (KGE) indices also confirmed these results. According to the mentioned investigations and calculation results, six models including FGOALS, MPI-ESM1, CanESM5, MRI-ESM2, EC-EARTH3, IPSL-CM6A, ACCESS-ESM (in no particular order) were selected as the best models among the 11 models determined at the beginning of the research. Thereafter, two ensemble models were introduced using arithmetic mean and independence weighted mean (IWM) method in which the weighted mean model showed better results.

Keywords: Humidity, Chabahar, Jask, Model, Gulf of Oman. CMIP6

HOW TO CITE THIS ARTICLE

khajeh Amiri Khaledi, Ch.; Khosravi, M.; Tavousi, T.; Hamidianpour, M.; Kiani moghadam, M. (2022). Validation of CMIP6 climate model output performance with observational data of Makran banks. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 5(1): 22-41

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

