نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ٤، زمستان ١٤٠١

صفحات ١٢٥ - ١٤٢

ارزیابی مدل‌های CMIP۵ در ناهنجاری فصلی فشار (تراز سطح دریا) ایران مبتنی بر روش ریز مقیاس گردانی دینامیکی CORDEX تحت سناریوهای واداشت تابشی RCPs

محمود احمدی[1]؛ دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

جمال کرمی؛ دانشجوی دکتری، اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

دریافت مقاله : ۱۴۰۰/۱۰/۱۱ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳

چکیده

فرین‌های اقلیمی از موارد‌ی است که اقلیم ایران را تحت تاثیر قرار داده و پیامدهای متعددی به جا گذاشته است. فشار تراز سطح دریا از مهم‌ترین عناصر آب‌وهوایی است که می‌تواند دیگر عناصر آب و هوایی را تحت تاثیر قرار دهد. هدف این پژوهش کارایی مدل HadGEM۲-ES مبتنی بر روش ریزگردانی دینامیکی CORDEX و وردایی ناهنجاری فشار فصلی در ایران است. ابتدا داده¬های ۳۶ پیمونگاه همدید طی دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۶۰)، داده¬های این مدل HadGEM۲-ES ریزگردانی شده با استفاده از مدل CORDEX و سناریوهای RCPs برای دو دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۶۰) و پیش‌نگری شده طی سه دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱)، آینده میانی (۲۰۷۰-۲۰۴۱) و آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۷۱) استفاده شد. نتایج نشان داد مدل از عملکرد مناسبی در مناطق پست کم ارتفاع برخوردار است. ناهنجاری فصلی در تمام فصول، سناریوها و دوره‌های زمانی مورد مطالعه مثبت و فصل زمستان بیشینه ناهنجاری فشار را در بین فصول نشان داده است. بیشینه ناهنجاری فصلی فشار ایران در تمام فصول، منطبق بر ارتفاعات از جمله کانون آن در ارتفاعات البرز و زاگرس است که می‌تواند خطر جدی برای منابع آب باشد وکمینه ناهنجای فشار منطبق بر مناطق کم ارتفاع و پست همچنین، یک پاسخ فصلی از عملکرد مدل و دگرگونی فضایی آن با ارتفاع دیده می‌شود.

واژه های کلیدی: ناهنجاری فشار، مدل HadGEM۲-ES مدل ریزگردانی CORDEX، سناریوهای RCPs، ایران.

[1] . نویسنده مسئول: Email: ma-ahmadi@sbu.ac.ir

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

مقدمه

دگرگونی اقلیم و گرمایش جهانی از مهم‌ترین مخاطرات دنیای امروز به شمار می‌رود (Change, ۲۰۱۸). و بیانگر چالش بزرگی میان اقتصاد و محیط‌زیست است که امکان کاهش آثار آن بسیار سخت می‌نماید. طبق تعریف، هرگاه یک ناهنجاری اقلیمی اثر زیان باری روی زندگی انسان داشته باشد جزو بلایای اقلیمی یا طبیعی به شمار می‌آید. امروزه شواهد کافی نشان می‌دهند که پدیده‌های دگرگونی اقلیم و گرمایش جهانی، مشکلات جدی و گسترده‌ای را در سرتاسر جهان پدید آورده‌اند و روی زندگی انسان تأثیر نامطلوب گذاشته و آسیب‌های زیادی نیز بر زیرساخت‌ها وارد آورده‌اند.افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای موجب تغییر متغیرهای اقلیمی کره زمین گردیده و پیش‌بینی می‌شود که این تغییرات در آینده نیز ادامه یابد. ریچی و همکاران (Ritchie et al., ۲۰۲۰) برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در آینده بر منابع مختلف، ابتدا باید متغیرهای اقلیمی متأثر از تغییرات غلظت گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی شوند. به این منظور از مدل‌های گردش عمومی GCM استفاده می‌شود. این مدل‌ها که در حال حاضر معتبرترین ابزار تولید سناریوهای اقلیمی هستند، قادرند متغیرهای اقلیمی آینده را تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی کنند (IPCC, ۲۰۰۷). CMIP۵ به‌عنوان یک مجموعه روزآمد و بزرگ از شبیه‌سازی‌های شرایط آب و هوایی و پیش‌نگری آن مبتنی بر برونداد نسل‌های جدید GCMs پایه مطالعات بسیاری به‌ویژه دگرگونی‌های آب و هوایی تبدیل‌شده است (Gu, et al., ۲۰۱۵). ازآنجایی‌که خروجی این مدل‌ها در مقیاس مکانی بزرگ شبکه‌بندی شده‌اند، بنابراین بین مقیاس خروجی این مدل‌ها و مقیاس موردنیاز جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم و ارزیابی آن‌ها، تطابق کافی وجود ندارد؛ لذا نیاز به کاهش مقیاس این داده‌ها برای مطالعات منطقه‌ای با استفاده از روش‌های کاهش مقیاس یا ریز گردانی است. بیچم و همکاران (۲۰۱۴ ,.Beecham, et al) روش‌های متعددی برای کاهش مقیاس توسعه‌یافته‌اند که به دودسته کلی کاهش مقیاس آماری و دینامیکی تقسیم می‌شود. کاهش مقیاس آماری به سه گروه ۱- اصلی کلاسه‌بندی هواشناسی ۲- تولید داده‌های اقلیمی ۳- روش‌های رگرسیونی تقسیم می‌شود (Khan, et al., ۲۰۰۶). هر یک از این گروه‌ها، دسته‌ای از روش‌ها را در برمی‌گیرند، که اغلب بر این مفهوم استوارند که اقلیم منطقه‌ای تابعی از حالت جوی بزرگ‌مقیاس است. این تابع ممکن است به‌صورت تابعی آماری یا جبری بین متغیرهای بزرگ‌مقیاس جوی(پیش‌بینی کننده‌ها) و متغیرهای منطقه‌ای (پیش‌بینی شونده‌ها) بیان شود (Fowler, et al., ۲۰۰۷). کاهش قیاس دینامیکی با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای اقلیم RCM انجام می‌شود (Jang and kavvas, ۲۰۱۳). نتایج مطالعه فوئنتس و همکاران (Fuentes, et al., ۲۰۱۵) در خصوص ناهنجاری فشار تراز سطح دریا با استفاده از مدل‌های CORDEX و Regcm٤ دیپویس و همکاران (Dieppois, et al., ۲۰۱۵) و پژوهش استیون سون و همکاران(Stevenson, et al., ۲۰۱۲) در خصوص تأثیرات ENSO نشان داد کارایی مناسب این مدل‌ها در شبیه‌سازی تغییرات آب و هوایی مناسب است. در راستای مدل‌های ریز گردانی دینامیکی نتایج مطالعه کالونومو و همکاران(Kalognomou, et al., ۲۰۱۳). برای ارزیابی بارش در منطقه آفریقا با استفاده از مدل CORDEX نشان از کارایی بالای مدل در شبیه‌سازی بارش در منطقه موردمطالعه نسبت به سایر مدل‌ها است. ارزیابی عملکرد CORDEX در شبیه‌سازی دمای متوسط فصلی در منطقه هیمالیا برای آب‌وهوای کنونی توسط ننگر و همکاران (Nengker, et al., ۲۰۱۸) انجام شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد،یک اریب سرد بین ۶- تا ۸- درجه سلسیوس به شکل ساختار مند در تمامی مدل‌ها دیده می‌شود. بااین‌حال RCM با تفکیک فضایی بسیار مناسب توانسته‌اند ویژگی‌های منطقه‌ای دما را به تصویر بکشند. همچنین آن‌ها دریافتند که در زمستان ناهنجاری دمایی

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

مثبت در ارتفاعات بالاتر از شدت و وسعت بیشتری برخوردار است. تأثیر فشار سطح دریا (SLP) دریای عرب بر تغییرپذیری بادهای موسمی تابستانی در شمال پاکستان پژوهشی دیگری بود که توسط ریاض و همکاران (Riaz, et al., ۲۰۲۱) بدان پرداختند نتایج مطالعه آن‌ها حاکی از نقش فشار سطح دریا به عنوان یک مولفه اصلی در بارندگی‌های منطقه مورد مطالعه در طول فصل موسمی بوده است. همچنین سوکی و همکاران (Sokhi, et al., ۲۰۲۱) در بررسی فرین‌های شدید آب و هوایی در آسیا برای حال و آینده با استفاده از مدل‌های Hadgem-۲و WRF تحت سناریوهای RCP نتایج پژوهش آنها نشان از توانایی مناسب مدل‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی ناهنجاری دمایی همچنین افزایش کمینه دماهای زمستان در آینده نسبت به حال حاضر است. بر اساس تحلیل مدل‌سازی در در ایران نیز مطالعات مربوط به تغییرات اقلیمی سال‌هاست که توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است؛ بنا به دلایلی در بین مطالعات انجام‌شده استفاده از داده‌های شبکه ریز گردانی دینامیکی کمتر دیده می‌شود. در همین راستا محمدی و یزدانی (۱۳۹۲) به بررسی شناخت پهنه‌های همدید فشار مؤثر بر اقلیم ایران در نیمه سرد سال پرداختند نتایج نشان داد، در هر فصل، هفت پهنه اصلی فشار تراز دریا وجود دارد. پهنه‌های اصلی فشار در فصل پاییز شامل: کم‌فشار دریای سرخ، کم‌فشار عمان، پرفشار قزاقستان، پرفشار اروپا، پرفشار غرب روسیه (شمال دریای خزر)، کم‌فشار اسکاندیناوی و پرفشار سیبری و همچنین پهنه‌های فشار در فصل زمستان نیز شامل: کم‌فشار دریای سرخ، پرفشار شمال آفریقا، پرفشار شمال غرب ایران، پرفشار اروپا، پرفشار قزاقستان، پرفشار غرب روسیه (شمال دریای خزر) و کم‌فشار اسکاندیناوی بودند. دارند (۱۳۹۳) به شناسایی تغییرات ارتفاع ژئو پتانسیل، تاوایی و فشار تراز دریا و الگوهای گردشی جوی غالب مؤثر بر اقلیم ایران‌زمین طی بازه زمانی ۲۰۱۳- ۱۹۶۰ پرداخت. نتایج وی نشان داد بیشترین وردایی در ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال رخنمون داشته است. همچنین افزایش فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل روی سامانه‌های چرخندی سودان و منطقه مدیترانه ، به‌ویژه در فصول بارشی ایران‌زمین (پاییز و زمستان) کاهش کنش چرخندی سامانه‌ها و کاهش شیو فشار و درنهایت کاهش ناپایداری و بارش در منطقه را در پی خواهد داشت. در تحقیقی دیگر حیدری و خوش‌اخلاق (۱۳۹۴) به بررسی ناهنجاری-های فراگیر بارش غرب ایران در ارتباط با عملکرد مراکز فشار دریای مدیترانه در چهار تراز جوی (۹۲۵، ۸۵۰، ۵۰۰، و ۳۰۰) پرداختند. نتایج نشان داد در ترازهای زیرین جو به‌ویژه در مورد مؤلفه دما ارتباط معنی‌دار مستقیم و قوی با ناهنجاری بارش غرب ایران دیده‌شده است. در بررسی کارایی مدل HadGEM۲-ES در ناهنجاری فصلی دمای ایران مبتنی بر روش ریز گردانی دینامیکی CORDEX می‌توان به پژوهش احمدی و همکاران(۱۳۹۸) که با استفاده از۳۱ پیمونگاه همدید با داده‌های مدل ریز گردانی شده از مدل CORDEX و سناریوهای RCPs دو دوره تاریخی و پیش‌نگری شده طی سه دوره آینده نزدیک آینده میانی و آینده دور استفاده نمودند.یافته‌های تحقیق آن‌ها حاکی از عملکرد مناسب مدل در منطقه است. ناهنجاری فصلی در تمام فصول، سناریوها و دوره‌های زمانی موردمطالعه مثبت و فصل زمستان بیشینه ناهنجاری دما را در بین فصول نشان داده است. در بررسی رابطه تغییر تراز فشار وردایست با چرخندهای بارش‌های فراگیر ایران پژوهش دیگری بود که عساکره و همکاران (۱۴۰۱) بدان پرداختند در این پژوهش با استفاده از داده‌های دما و ارتفاع ژئو پتانسیل پایگاه ECMWF نتایج نشان داد که شروع فعالیت چرخند و در روز توأم با بارش فراگیر برروی ایران، تراز فشار وردایست تفاوت‌های قابل‌توجهی با مناطق هم‌عرض (و اطراف) خود دارد. با مرور پژوهش‌های انجام‌شده مشخص گردید محققان با استفاده از روش‌های دینامیکی و مدل‌سازی فشار و یا ارزیابی ناهنجاری آن تاکنون یافته‌های کمتری تحقق‌یافته است لذا از آنجائی که ایران یک کشور بسیار متنوع ازنظر آب و هوایی است و غالب آن را مناطق

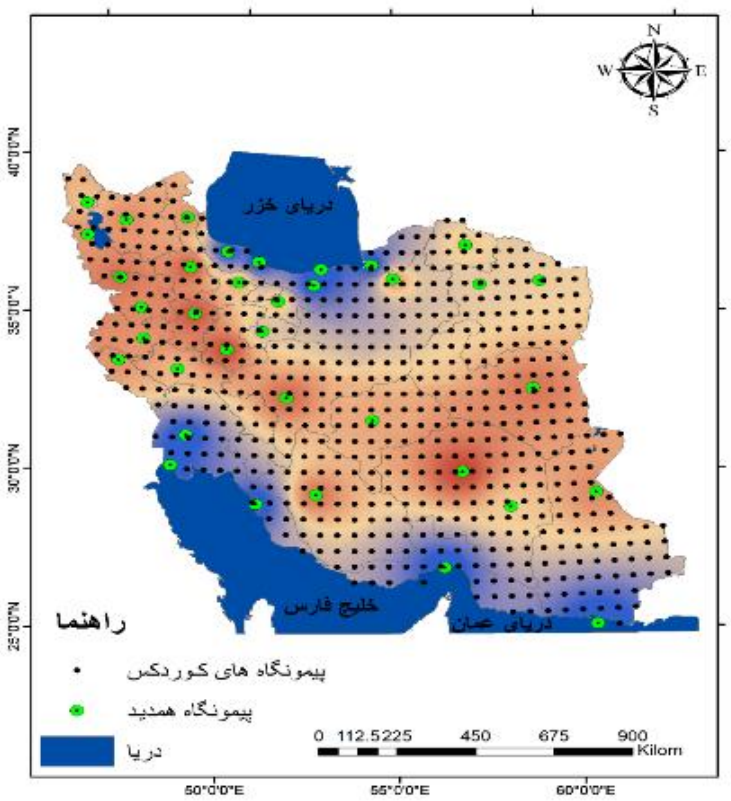
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

کوهستانی، خشک و نیمه‌خشک تشکیل داده است و شرایط آب و هوایی شکننده و تغییرپذیری فضایی بالایی دارد هدف این پژوهش ارزیابی مدل‌های دینامیکی و روش ریز گردانی دینامیکی روزآمد و همچنین ارزیابی ناهنجاری فشار فصلی ایران بر اساس استفاده از روش ریز گردانی CORDEX است.که در مطالعات و پژوهش های فارسی در موضوع فشار هوا جزء اولین کارهای تحقیقی بر مبنای مدل های CMIP۵ است

داده‌ها و روش کار

الف) داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

از مجموع پیمونگاه‌های هواشناسی موجود در کل کشور، ۳۶ پیمونگاه طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۰ گزینش شد. این داده‌ها همگام با داده‌های تاریخی مدل CORDEX و در پهنه ایران از توزیع مکانی مناسبی برخوردار بود (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه موردمطالعه به همراه پیمونگاه‌های همدید منتخب و یاخته‌های CORDEX-WAS باقدرت تفکیک مکانی ۰/۴۴ درجه قوسی

ب) مدل و سناریوهای منتخب

مدل HadGEM۲-ES از سری مدل‌های CMIP۵ به دلیل کارایی مناسب انتخاب شد. سناریوها RCP۲,۶، RCP۴,۵ و RCP۸,۵ نیز به‌منظور بررسی حالت‌های خوش‌بینانه ، متوسط و بدبینانه مدنظر قرار گرفت.

ج) روش ریز گردانی دینامیکی مبتنی اقدام هماهنگ ریز گردانی منطقه‌ای (CORDEX)

استفاده از مدل‌های آب‌وهوایی منطقه‌ای مختلف به‌منظور تولید مجموعه چندگانه از داده‌های ریز گردانی شده پروژه CMIP۵ توسط WCRP در اقدامی هماهنگ با انجمن بین‌المللی ریز گردانی منطقه‌ای CORDEX باهدف پیش‌نگری

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

تغییرات آب‌وهوایی به‌عنوان ورودی مطالعات دگرگونی آب‌وهوا و راهکارهای سازگاری با آن استفاده شد. (Beecham, et al., ۲۰۱٦; Van Vooren, et al., ۲۰۱۸; Giorg, et al., ۲۰۰۹; Laprise, et al., ۲۰۱۳; Nikulin, et al., ۲۰۱۲; Warnatzsch, et al., ۲۰۱۹)

همچنین از داده‌های محدوده CORDEX-WAS باقدرت تفکیک مکانی ۰/۴۴ درجه قوسی، مدل RCA٤ برای RCM و گروه Ensemble r۱i۱p۱ استفاده شد (جدول ۱).

جدول (۱): مشخصات مدل‌های به‌کاررفته در این مطالعه

ردیف	نام مدل	کشور سازنده	تفکیک مکانی (درجه)	منبع
۱	GFDL-CM۳	آمریکا	۲/۵*۲/۷۵	Taylor et al. ۲۰۱۱
۲	HADGEM۲-ES	انگلستان	۱/۸۸*۱/۲۵	Collins et al. (۲۰۱۱)
۳	MIROC۵	ژاپن	۲/۷۷*۲/۸۱	Watanabe et al. (۲۰۱۱)
۴	BCC-CSM	چین	۱/۳*۱/۳	Wu et al. (۲۰۱۹)

(Semenov and Stratonovitch. ۲۰۱۵, ۱۲۷)

د) روش‌های ارزیابی کارایی داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده

ارزیابی مدل با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین R^2، میانگین خطای مطلق MAE، میانگین انحراف خطا MBE و میانگین مربعات خطا RMSE با رویکرد داده‌های شبیه‌سازی‌شده فشار توسط مدل و داده‌های مشاهده‌شده (داده‌های پیمونگاهی) مورد ارزیابی قرار گرفتند. آماره ضریب تعیین در رابطه (۱) آورده شده است. آماره میانگین اریبی خطا ،که در رابطه (۳) آورده شد، اختلاف بین میانگین مقادیر مشاهده‌ای و مدل است که بیانگر انحراف از میانگین می‌باشد. این مقدار می‌تواند مثبت و منفی باشد که نشان‌دهنده برآورد کمتر و بیشتر از میانگین داده‌ها است. آماره ریشه میانگین مربعات خطا، که در رابطه (۴) آورده شد، یکی از آماره‌هایی است که معمولاً از آن برای بررسی دقت پیش‌بینی یک مدل در برابر داده‌های مشاهداتی استفاده می‌شود (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰)

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(Y_i-\bar{Y})\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{Y})^2}$$ رابطه (۱)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|x_i-Y_i\right|}{n}$$ رابطه (۲)

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-Y_i)}{n}$$ رابطه (۳)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

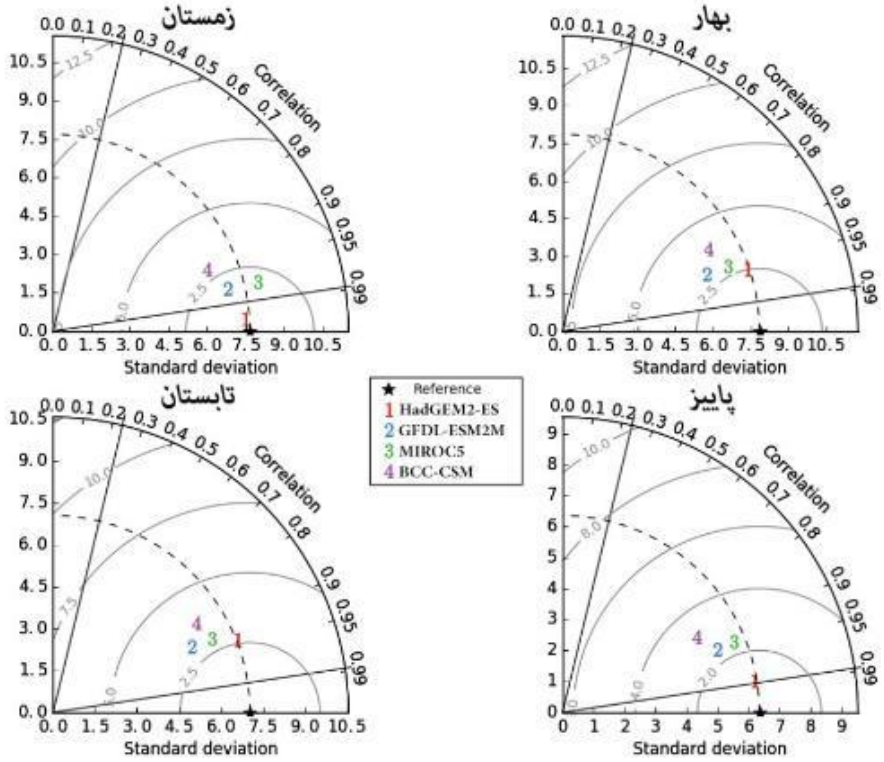
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{n}}$$

رابطه (۴)

شرح و تفسیر نتایج

- **ارزیابی مدل‌های دینامیکی**

نتایج نشان داد بر اساس شکل (۲) در بین مدل‌های دینامیکی مبتنی بر پروژه CORDEX بین مدل‌های دینامیکی BCC-CSM، GFDL،HadGEM۲-ES وMIROC با استفاده از روش دیاگرام تیلور مدل HadGEM۲-ES از سطح همبستگی و کارایی بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است.



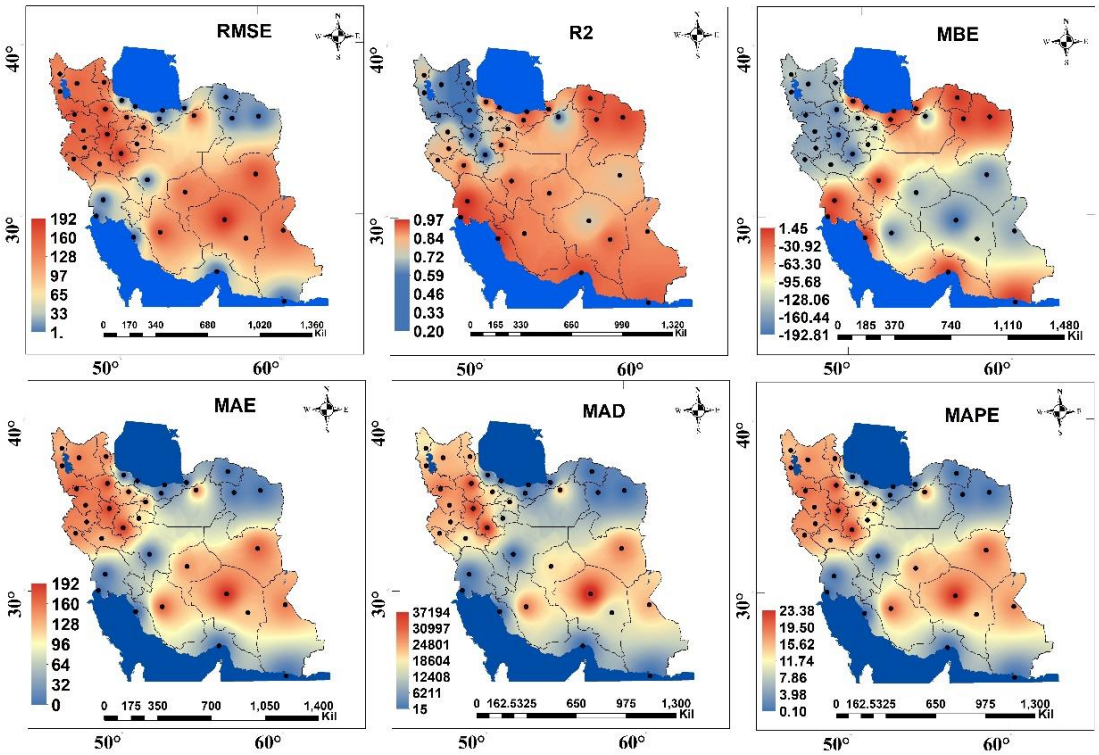
شکل ۲. میزان همبستگی دیاگرام تیلور مدل‌های دینامیکی تحت پروژه CORDEX

- **کارایی مدل‌های CMIP۵ در برآورد فشار تراز دریا (SLP) تحت پروژه ریز گردانی دینامیکی CORDEX**

بر اساس تحلیل شکل (۳) نشان داد داده‌های تاریخی SLP مدلHadGEM۲-ES تحت پروژه ریز گردانی دینامیکی CORDEX طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۰ با داده‌های ۳۶ ایستگاه همدید در ایران بررسی گردید (لازم به ذکر است از آنجائی که الگوهای فشار به‌صورت منطقه‌ای و یا حتی در کلان‌مقیاس عمل می‌کنند در این مطالعه منطقه‌ای به وسعت جغرافیایی ۱۰ تا ۴۰ درجه شمالی و ۳۰ تا ۸۰ درجه شرقی انتخاب و ناهنجاری فشار تراز دریا تحت سناریوهای منتخب موردبررسی قرار گرفتند). نتایج صحت سنجی داده‌های مدل‌سازی شده بر اساس شش روش (RMSE، MAE، MBE، t-Jacovides، R^2 و t-Jacovides/R^2) نشان داد مدل HadGEM۲-ES از توانایی مناسبی برای شبیه‌سازی SLP برخوردار

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

است. به‌طوری‌که مقادیر RMSE کمتر از ۴ میلی بار در مناطق پست کم ارتفاع همچون نواحی ساحلی خزر (ایستگاه‌های بابلسر، رامسر، رشت، گرگان) و بجنورد، بندرعباس، بوشهر، چابهار، اهواز و آبادان نشان‌دهنده دقت بالای داده‌های شبیه‌سازی‌شده است و در مناطق مرتفع و کوهستانی ازجمله ایستگاه‌های هم‌جوار با رشته‌کوه زاگرس همانند همدان و کرمانشاه، در شمال غرب تبریز، ارومیه، خوی و در مناطق مرکزی ایران، همچون کرمان و یزد مدل دقت مناسبی را ارائه نداد و همچنین ازجمله دلایل افزایش بیشینه مقدار RMSE فاصله ایستگاه تا نزدیک‌ترین یاخته است. همچنین در مناطق خشک همچون ایستگاه‌های بیرجند، زاهدان و بم مشاهده شد . آماره‌های میانگین مطلق خطا MAE و میانگین اریب خطا MBE نیز نتایج RMSE را تأیید کردند. مقدار میانگین اریبی خطا در ایستگاه‌های اهواز، آبادان، چابهار، بابلسر، گرگان، بجنورد و رشت تا ۱/۴۵ را نشان داده است. مقایسه آماری بین داده‌های شبیه‌سازی‌شده با مدل HadGEM۲-ES و داده‌های مشاهداتی فشار (ایستگاه‌های همدید) که با استفاده از ضریب تعیین محاسبه شد در تمامی ایستگاه‌ها به‌غیراز ایستگاه‌های شمال غرب بیشتر از ۰/۹۰ درصد است. به‌عبارت‌دیگر مدل HadGEM۲-ES بیش از ۹۰ درصد فشار مشاهداتی را در اکثر ایستگاه‌های موردبررسی، توصیف می‌کند. معیارهای t-Jacovides و نسبت t-Jacovides/R۲ نتایج به‌دست‌آمده از شاخص‌های پیشین را تأیید کرده است چراکه آماره‌های نامبرده صورتی از روش‌های پیشین هستند که مورد بحث واقع شدند.



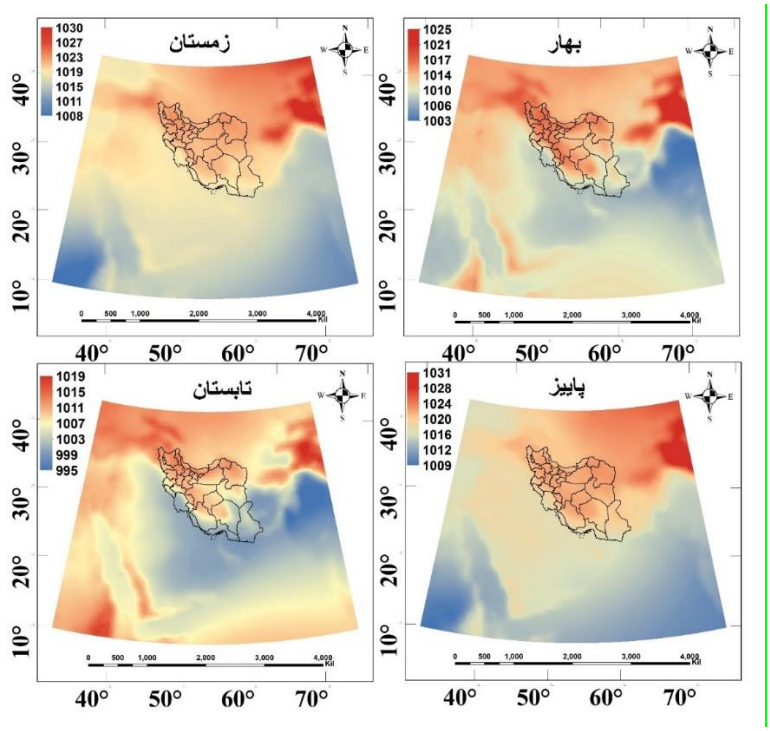
شکل ۳. کارایی مدل HadGEM۲-ES بر اساس داده‌های فشار (بر واحد هکتوپاسکال) ایستگاهی طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۰ (نام هر روش بالا گوشه سمت راست نوشته شد)

- **توزیع فصلی فشار فصلی ایران بر اساس داده‌های تاریخی مدل HadGEM۲-ES**

ارزیابی میانگین فصلی فشار تراز سطح دریا ایران بر اساس مدل HadGEM۲-ES تحت روش ریز گردانی دینامیکی CORDEX در شکل (۴) نشان داده شد. فشار کمینه و بیشینه طی فصل زمستان به ترتیب ۱۰۳۰-۱۰۰۸ میلی بار

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

به‌دست‌آمده است؛ میانگین فشار بیشینه با الگوی مکانی تغییرات ناهمواری منطبق بر رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس و ارتفاعات هیمالیا است. الگوی کمینه فشار فصل زمستان نیز سراسر مناطق پست کم ارتفاع نیمه جنوبی، جلگه خوزستان، جنوب شرق، مناطق مرکزی و دشت لوت و همچنین مناطق آبی اقیانوس هند، دریای عرب و دریای سرخ را در برگرفته است. در فصل بهار به علت نفوذ واچرخند جنب حاره و حرکت آن از جنوب به شمال میانگین حداکثر فشار رخ‌داده به میزان ۱۰۲۵ میلی بار در سراسر مناطق مرتفع رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس، ارتفاعات شمال غرب، شمال شرق و برخی مناطق مرتفع ایران مرکزی و همچنین مناطق مرتفع هیمالیا به وقوع پیوسته است و کمینه فشار نیز در این فصل به ۱۰۰۳ میلی بار در مناطق کم ارتفاع سراسر نیمه جنوبی جلگه خوزستان، جنوب شرق، دامنه‌های جنوب غربی و جنوب زاگرس مناطق کم ارتفاع داخلی و همچنین اقیانوس هند، دریای عرب و دریای سرخ به‌دست‌آمده است. با آغاز فصل تابستان بادهای غربی و سامانه‌های همراه آن‌ها نیز به عرض‌های شمالی‌تر عقب‌نشینی می‌کنند و میانگین بیشینه فشار به میزان ۱۰۱۹ میلی بار همانند فصل بهار، الگوی مکانی بر مناطق مرتفع است و کمینه فشار با ۹۵۵ میلی بار منطق بر مناطق الگوهای فشار حرارتی ازجمله کم‌فشار سند و همچنین مناطق آبی ازجمله اقیانوس هند، دریای عرب، خلیج‌فارس و دریای سرخ است. در فصل پاییز هم‌زمان با شروع و ورود بادهای غربی به ایران و همچنین گسترش جنوب سوی پرفشار جنب حاره با توجه به موقعیت ایران بین منطقه نفوذ بیشینه زبانه‌های سرد سیبری روی سرزمین توران و پرفشارهای سرد مهاجر در بستر ناوه ترازبالای هوا سپهر دمای هوا کاهشی محسوس خواهد داشت. کمینه فشار به میزان ۱۰۰۹ میلی بار و بیشینه آن ۱۰۳۱ میلی بار به‌دست‌آمده است که از الگوی کلی فشار در فصول پیشین تبعیت می‌نماید.



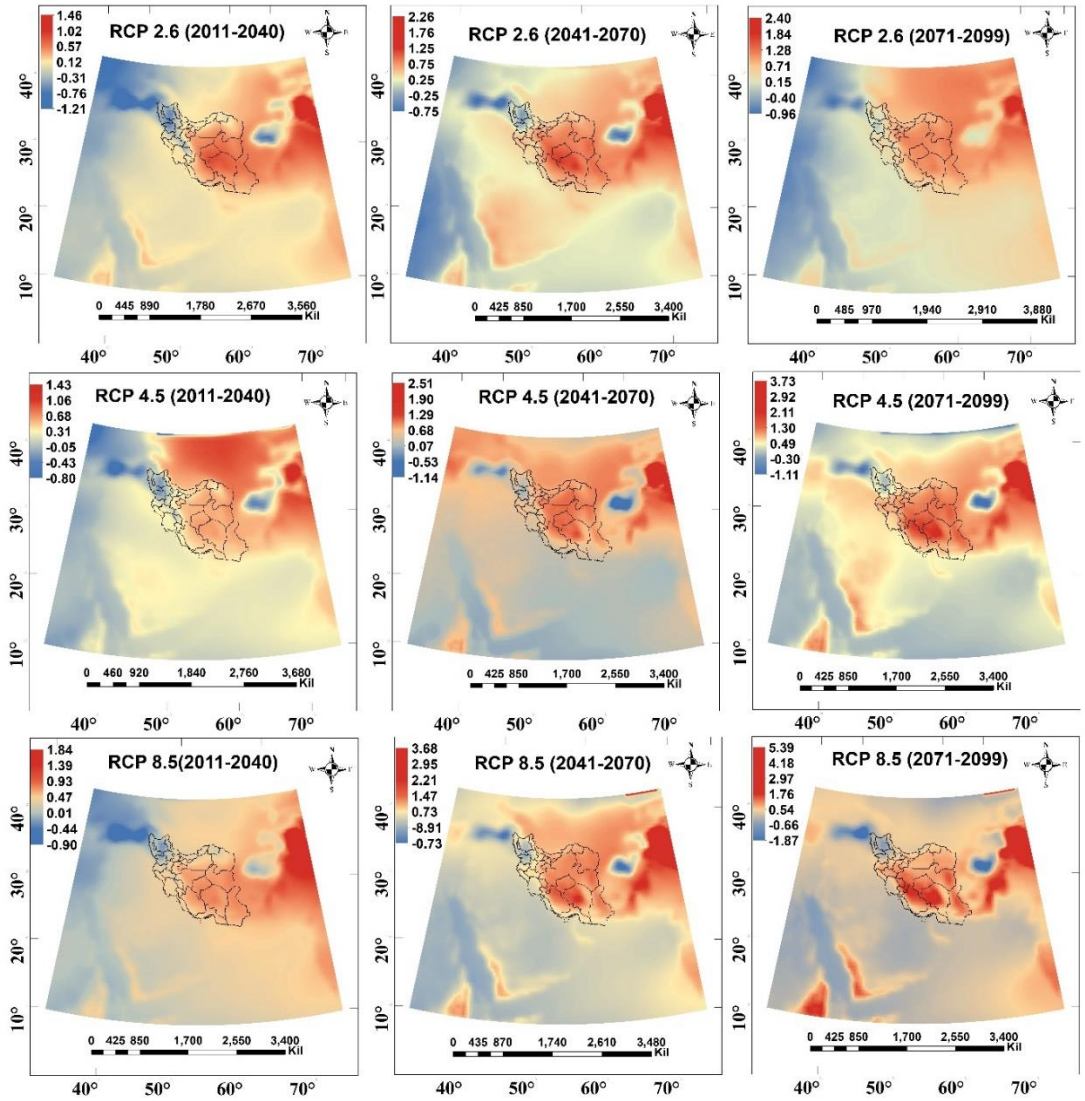
شکل ۴. الگوی فصلی فشار (بر واحد هکتوپاسکال) مشاهداتی ایران طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۰ بر اساس مدلHadGEM۲-ES

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

• ناهنجاری فصلی فشار سطح دریا SLP در ایران بر اساس مدل HadGEM۲-ES تحت سناریوهای واداشت تابشی RCPs

ناهنجاری‌های SLP طی فصل زمستان با استفاده از مدل آماری HadGEM۲-ES تحت سه سناریو واداشت تابشی در سه دوره‌ی زمانی آینده نزدیک (۲۰۱۱-۲۰۴۰)، میانی (۲۰۴۱-۲۰۷۰) و دور (۲۰۷۱-۲۰۹۹) در شکل(۵) نشان داده شد. بر اساس سناریو RCP۲،٦ ناهنجاری فشار در آینده نزدیک۱/۴۶، آینده میانی ۲/۲۶ و آینده دور ۲/۴۰ میلی بار محاسبه گردید. همان‌طور که در شکل(۴) نیز پیداست ناهنجاری فشار تراز دریا SLP در فصل زمستان کاملاً مثبت است. بیشینه ناهنجاری فشار نسبت به دوره مشاهداتی در آسیای میانه و مبتنی بر ارتفاعات رشته‌کوه هیمالیا و هندوکش و همچنین ازجمله الگوی پرفشار حرارتی سیبری، الگوی کم‌فشار سند و پرفشار دینامیکی عربستان است. لازم به ذکر است که الگوی پرفشار عربستان در ترازهای بالاتر جوی بیشتر مشخص است. کمینه ناهنجاری فشار نسبت به دوره مشاهداتی در آینده نزدیک، میانی و دور به ترتیب ۱/۲۱-، ۰/۷۵- و ۹۶/- میلی بار طی هر سه دوره زمانی بیشتر منطبق بر دریاها و اقیانوس‌ها ازجمله دریای سیاه، دریای سرخ و اقیانوس هند است. سناریو RCP٤،٥ که پیش‌نگری شرایط حد واسط را به تصویر کشیده است همانند سناریو RCP۲،٦ بیشینه تغییرپذیری فشار در هر سه دوره زمانی در مناطق آسیای میانه مبتنی بر ارتفاعات ازجمله رشته‌کوه هیمالیا و ارتفاعات هندوکش و همچنین ازجمله الگوی پرفشار حرارتی سیبری، الگوی کم‌فشار سند و پرفشار دینامیکی عربستان قرار دارد و کمینه تغییرپذیری بیشتر منطبق بر دریاها و اقیانوس‌ها ازجمله دریای سیاه، دریای سرخ و اقیانوس هند است. سناریو RCP۸،٥ همانند دو سناریو قبل در هر سه دوره زمانی آینده نزدیک، میانی و دور از الگویی مشابه اما از شدت و وسعت بیشتری پیروی می‌کند. ناهنجاری فشار در مقادیر کمینه و بیشینه همانند مناطقی که در سناریوهای پیشین ذکر شد در هر سه دوره زمانی آینده نزدیک، میانی و دور در مناطق کوهستانی و مرتفع به‌دست‌آمده است. که بیشینه آن منطبق بر رشته‌کوه هیمالیا و ارتفاعات قفقاز قرار دارد. کمینه ناهنجاری فشار در سه دوره مطالعه به ترتیب ۰/۹۰-، ۷۳/.- و ۱/۸۷- میلی بار به‌دست‌آمده است. درمجموع در هر سه سناریو و دوره‌های زمانی آینده نزدیک، میانی و دور، مناطقی نسبت به میانگین مشاهداتی بلندمدت خود بیشینه ناهنجاری را داشته‌اند. این مناطق دربرگیرنده ارتفاعات رشته‌کوه هیمالیا، هندوکش، مناطق مرکزی ایران، ارتفاعات قفقاز است. همچنین بر روی سرزمین سیبری الگوهای پرفشار حرارتی سیبری، در پاکستان کم‌فشار سند و در عربستان پرفشار دینامیکی عربستان بیشینه ناهنجاری مشخص است (شکل۵). به‌بیان‌دیگر بین دما و فشار هوا رابطه مستقیم برقرار است و بر همدیگر اثرگذار هستند.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

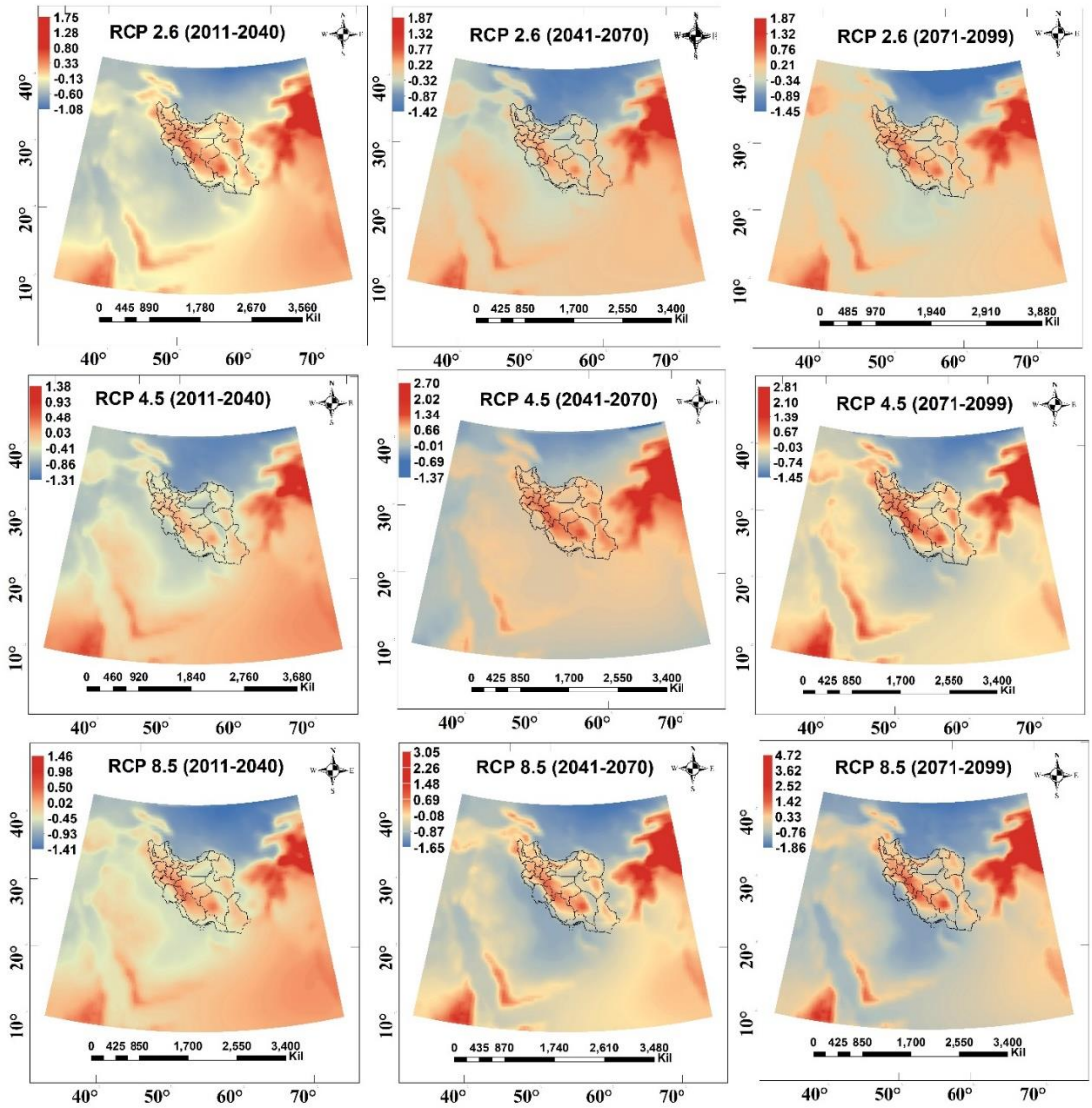


شکل ۵- ناهنجاری فشار (بر واحد هکتوپاسکال) تراز دریا (SLP) فصل زمستان طی دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱)، آینده میانی (۲۰۷۰-۲۰۴۱) و آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۷۱) بر اساس مدلHadGEM۲-ES تحت سناریوهای واداشت تابشی (RCPs)

ناهنجاری فشار تراز دریا SLP در فصل بهار در شکل (۶) نشان داده شد. ناهنجاری فشار در این فصل همانند فصل پیشین برای کل ایران در تمامی دوره‌ها و سناریوها مثبت است. کمینه ناهنجاری فشار در این فصل ۱/۸۰- و بیشینه آن ۴/۷۲ میلی بار به‌دست‌آمده است. در سناریو خوش‌بینانه RCP۲،۶ در آینده نزدیک همانند فصل زمستان بیشینه ناهنجاری و فراوانی وقوع فشارهای بیشتر از میانگین بلندمدت طی دوره تاریخی شامل ارتفاعات رشته‌کوه هیمالیا، هندوکش، مناطق مرکزی ایران، ارتفاعات قفقاز و همچنین ارتفاعات البرز و زاگرس است. در این فصل برعکس فصل زمستان که سطح دریا و اقیانوس‌ها کمینه ناهنجاری فشار را داشتند؛ بیشینه ناهنجاری فشار در سطح آب‌ها ازجمله اقیانوس هند و دریای عرب قرار دارد (شکل‌های ۵ و ۶). همچنین کمینه ناهنجاری فشار در این فصل بر روی الگوهای فشار منطقه‌ای همانند الگوی پرفشار حرارتی سیبری و پرفشار دینامیکی عربستان منطبق است که در زمستان در این مناطق بیشینه ناهنجاری فشار رخ دادند. در سناریو RCP ٤،٥ بیشینه ناهنجاری را در آینده نزدیک، میانی و دور به ترتیب ۱/۳۸، ۲/۷۰ و ۲/۸۱ میلی

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

بار محاسبه گردیده که هر دوره نسبت به دوره قبل خود افزایش ناهنجاری فشار را نشان می‌دهد که ازنظر توزیع مکانی مناطق همراه با بیشینه ناهنجاری مشابه مناطقی است که در سناریو RCP ۲٫۶ بیشینه ناهنجاری فشار را نشان دادند. در سناریو RCP۸٫۵ در آینده نزدیک بیشینه ناهنجاری فشار در ارتفاعات رشته‌کوه هیمالیا، هندوکش، مناطق مرکزی ایران، ارتفاعات قفقاز و همچنین ارتفاعات البرز و زاگرس و کمینه ناهنجاری بروی مناطق کم ارتفاع ازجمله سرزمین سیبری، شبه‌جزیره عربستان، جلگه بین‌النهرین و همچنین برخی مناطق کم ارتفاع ازجمله مناطق مرکزی، جلگه خوزستان و جلگه ساحلی خزر قرار دارد؛ اما در آینده میانی بیشینه ناهنجاری فشار همانند آینده نزدیک ولی از شدت بیشتری برخوردار خواهد بود. کمینه ناهنجاری نیز فقط محدود به مناطق کم ارتفاع است. توزیع ناهنجاری فشار در تمام دوره‌ها و سناریوها در ایران از توپوگرافی پیروی می‌کند؛ بطوریکه بیشینه ناهنجاری فشار در ارتفاعات و عرض‌های جغرافیایی بالا به‌دست‌آمده است (شکل ۶).

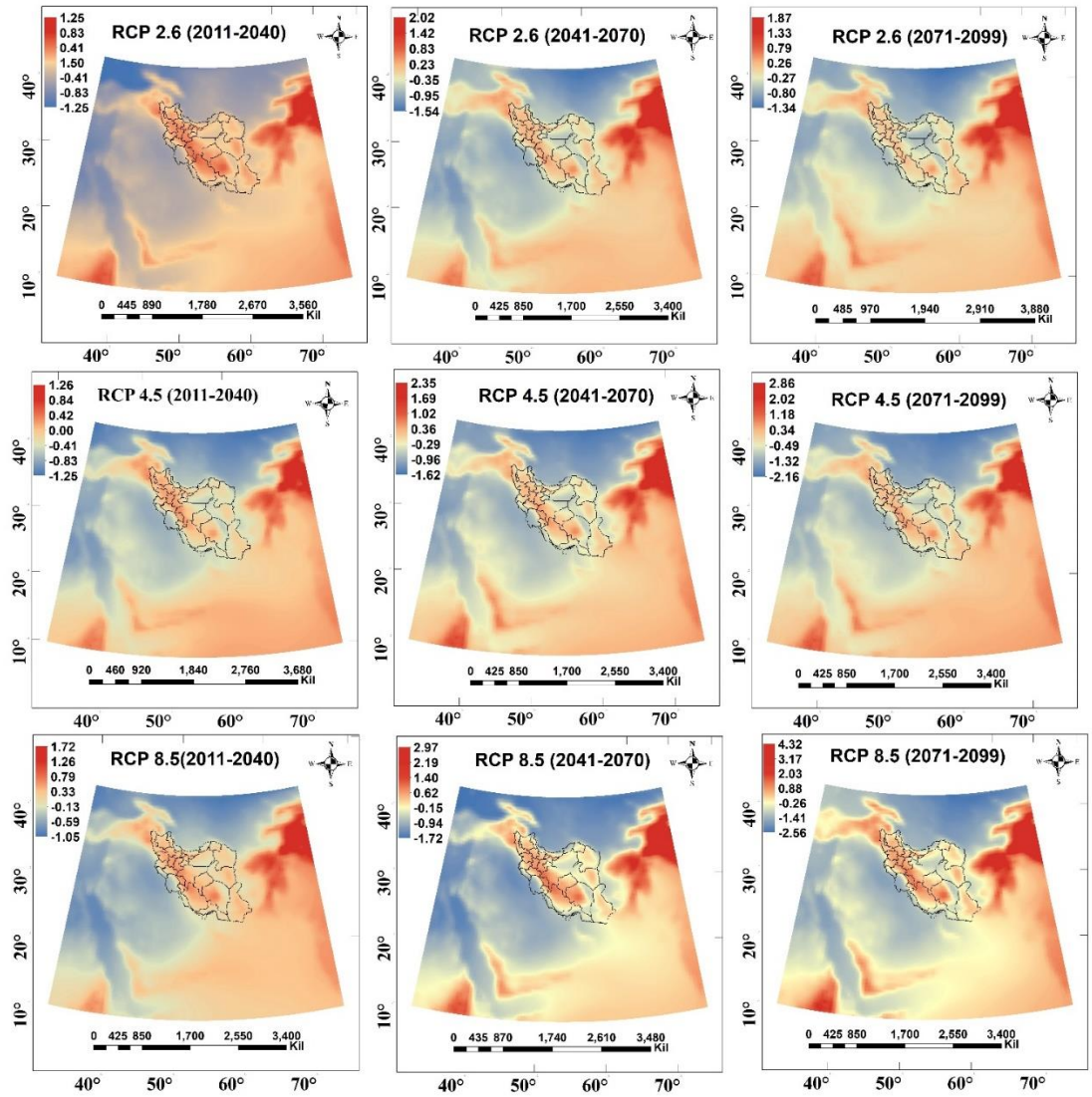


شکل ۶- ناهنجاری فشار (بر واحد هکتوپاسکال) تراز دریا SLP فصل بهار طی دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱)، آینده میانی (۲۰۷۰-۲۰۴۱) و آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۷۱) بر اساس مدل HadGEM۲-ES تحت سناریوهای واداشت تابشی RCPs

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

شکل (۷) نشان داد تغییرات ناهنجاری پیش‌نگری شده فشار تراز دریا SLP در فصل تابستان در سه دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱) آینده میانی (۲۰۴۱-۲۰۷۰) آینده دور (۲۰۷۱-۲۰۹۹) با استفاده سناریوهای واداشت تابشی RCPs هم‌زمان با فصل تابستان که انقلاب تابستانی است و خورشید در روز اول تابستان در عمودی‌ترین حالت خود در مدار ۲۳ درجه قرار دارد و دارای بیشترین ساعات آفتابی و بیشترین انرژی ورودی به زمین است. در این فصل هم‌زمان بادهای غربی و جبهه قطبی به عرض‌های بالاتر جغرافیایی بالا عقب‌نشینی می‌کنند پرفشار جنب حاره کل ایران را تا بالای کوه‌های البرز تحت سلطه خود قرار داده و مانع از ورود هرگونه رطوبت به کشور می‌شود (علیجانی، ۱۳۸۹) و فقط در منتهی‌الیه سواحل دریای خزر واقع در شمال ایران در این فصل نسیم دریا به خشکی باعث بارندگی خواهد شد و دما نیز کاهش خواهد داشت. بر اساس الگوی ناهنجاری فشار فصل تابستان در سناریو خوش‌بینانه RCP۲،٦ در آینده میانی نسبت به آینده دور روند فشار به میزان ۰/۷۷ میلی بار افزایش خواهد داشت اما در آینده دور نسبت به آینده میانی این عدد ۰/۱۵ میلی بار کاهش را بر روی مناطق کم ارتفاع ازجمله جلگه سیبری، شبه‌جزیره عربستان، جلگه بین‌النهرین و همچنین برخی مناطق کم ارتفاع ازجمله مناطق مرکزی، جلگه خوزستان و جلگه ساحلی خزر نشان داده است. همچنین بیشینه ناهنجاری فشار بروی الگوی کم‌فشار سند و همچنین در ارتفاعات رشته‌کوه هیمالیا، هندوکش، مناطق مرکزی ایران، ارتفاعات قفقاز و همچنین ارتفاعات البرز و زاگرس به‌دست‌آمده است. بر اساس نتایج سناریو بدبینانه RCP۸،۵ در فصل تابستان بیشینه ناهنجاری فشار در هر سه دوره آینده نزدیک، میانی و دور رخ خواهد داد که مقدار بیشینه و کمینه ناهنجاری به ترتیب ۱/۶ میلی بار افزایش فشار و ۰/۹۱ میلی بار کاهش فشار را از آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱) تا دور (۲۰۷۱-۲۰۹۹) خواهد داشت (شکل ۷).بنابراین با مقایسه ناهنجاری فشار در فصل تابستان و زمستان می‌توان دریافت که در فصل سرد (زمستان) زمانی که الگوی پرفشار حرارتی سیبری و پرفشارهای مهاجر فعال هستند روند بیشینه ناهنجاری فشار در سرزمین‌های مرتبط با این الگوها رخ می‌دهد؛ درحالی‌که در فصل گرم هم‌زمان با انقلاب تابستانی در مناطق ذکرشده کمینه ناهنجاری و بیشینه ناهنجاری فشار هوا بروی الگوی کم‌فشار حرارتی سند اتفاق می‌افتد (شکل‌های ۶ و ۷).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

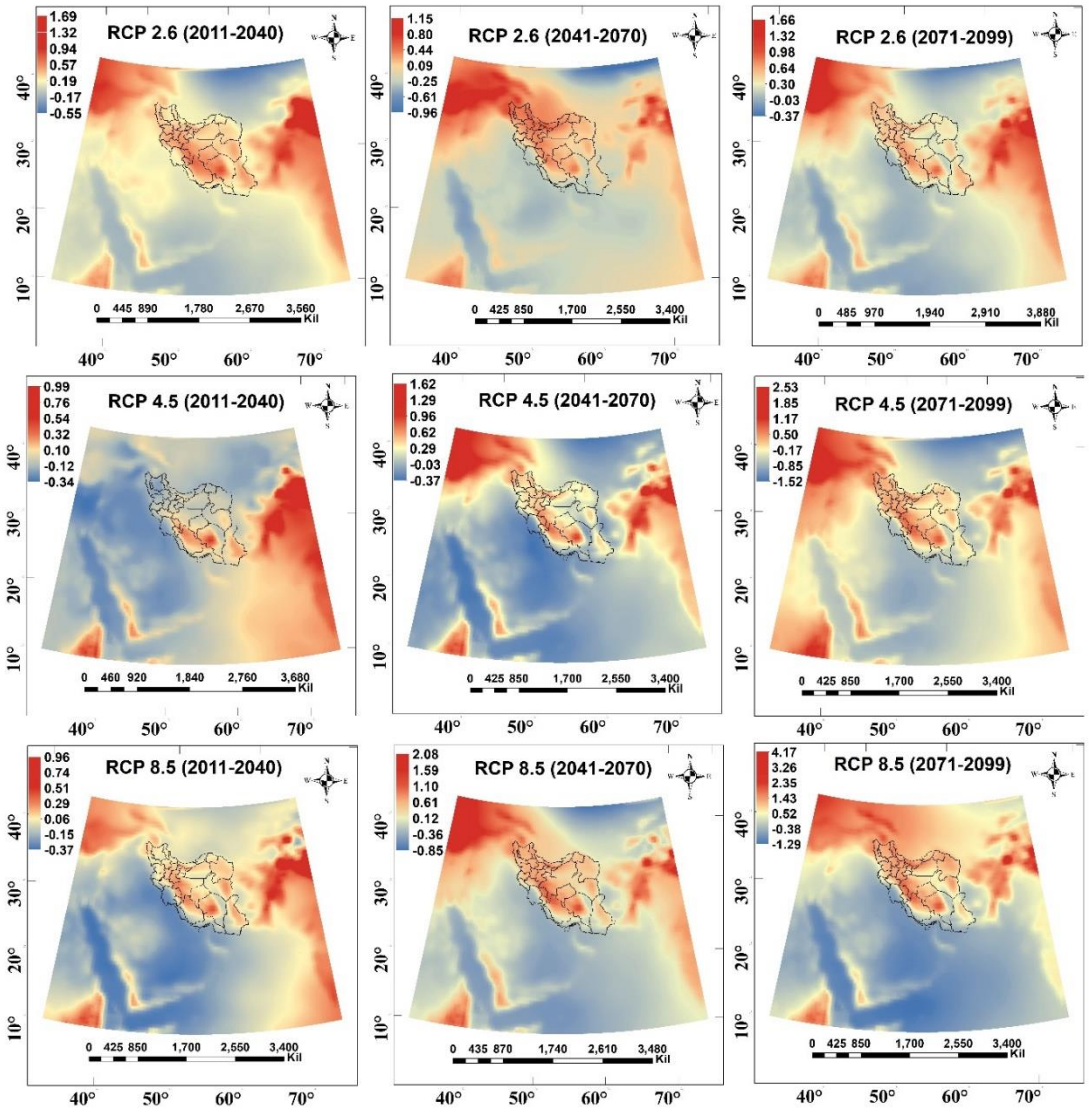


شکل ۷- ناهنجاری فشار (بر واحد هکتوپاسکال) تراز دریا SLP فصل تابستان طی دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱)، آینده میانی (۲۰۷۰-۲۰۴۱) و آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۷۱) بر اساس مدل HadGEM۲-ES تحت سناریوهای واداشت تابشی RCP

بر اساس یافته‌های شکل (۸) نشان داد فصل پاییز برخلاف فصل پیشین خود (تابستان) اگرچه ناهنجاری فشار سراسر مثبتی را ارائه کرده اما الگوی کاملاً متفاوتی از ناهنجاری فشار را در ایران نشان داده است. در فصل پاییز بیشینه ناهنجاری فشار هوا در هر سه دوره آینده نزدیک، میانی و دور و در هر سه سناریو، علاوه بر ارتفاعات رشته‌کوه‌های هیمالیا، زاگرس و البرز، بر روی دریای سیاه و ارتفاعات رشته‌کوه‌های آرارات نیز رخ خواهد داد (شکل‌های ۷ و ۸). در این فصل پرفشار جنب حاره به سمت عرض‌های پایین حرکت کرده و راه را برای نفوذ بادهای غربی جبهه قطبی فراهم کرده است. در سناریو خوش‌بینانه RCP۲،٦ در فصل پاییز در هر سه دوره زمانی ناهنجاری فشار نسبت به فصل تابستان از شدت و وسعت بیشتری برخوردار است. دوره زمانی آینده میانی نسبت به آینده نزدیک کاهش فشار را نشان داده است. اما در آینده دور نسبت به آینده میانی روند افزایشی فشار به‌دست‌آمده است. بیشینه ناهنجاری فشار در فصل پاییز منطبق بر ارتفاعات رشته‌کوه‌های هیمالیا، زاگرس و البرز بروی دریای سیاه و ارتفاعات رشته‌کوه‌های آرارات و کمینه ناهنجاری

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

فشار نیز منطبق بر مناطق کم ارتفاع جلگه سیبری، اقیانوس هند، دریای سرخ، شبه‌جزیره عربستان، جلگه خوزستان، خلیج‌فارس و دریای عمان است. بر اساس سناریو RCP۴،۵ در هر سه دوره زمانی آینده نزدیک، میانی و دور ناهنجاری SLP به ترتیب ۰/۹۹، ۱/۶۲ و ۲/۵۳ میلی بار و دارای روند افزایشی فشار خواهد بود. بر اساس نتایج سناریو RCP۸،۵ نیز همانند سناریو قبل از آینده نزدیک تا آینده دور ناهنجاری فشار در حالت بیشینه به میزان ۱/۱۲ میلی بار افزایش فشار و در حالت کمینه نیز به میزان ۰/۴۸ میلی بار افزایش فشار را نشان خواهد داد .



شکل ۸ - ناهنجاری فشار (بر واحد هکتوپاسکال) تراز دریا SLP فصل پاییز طی دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱)، آینده میانی (۲۰۷۰-۲۰۴۱) و آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۷۱) بر اساس مدل HadGEM۲-ES تحت سناریوهای واداشت تابشی RCPs

نتیجه‌گیری

این پژوهش باهدف ارزیابی مدل‌های دینامیکی و سپس گزینش مدل مناسب به بررسی روش ریز گردانی دینامیکی CORDEX به دگردیسی ناهنجاری فشار فصلی ایران بر اساس مدل HadGEM۲-E پرداخته است. مدل برای دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۶۰) و پیش‌نگری شده در آینده (۲۰۹۹-۲۰۱۱) تحت سه سناریو واداشت تابشی (RCP۲،۶، RCP۴،۵ و RCP۸،۵) اجرا شد. در گام بعدی داده‌های مدل به سه دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱)، آینده میانی (۲۰۷۰-

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

۲۰۴۱) و آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۷۱) تقسیم‌بندی شدند تا بهتر بتوان اثرات ناهنجاری فشار را در ایران مورد ارزیابی قرارداد. نتایج کارایی مدل‌های CMIP۵ در برآورد فشار سطح دریا تحت روش ریز گردانی دینامیکی CORDEX در ایران با داده‌های ۳۶ ایستگاه همدید نشان داد ، مدل HadGEM۲-ES از توانایی مناسبی برای شبیه‌سازی SLP برخوردار است. به‌طوری‌که مقادیر RMSE در مناطق پست کم ارتفاع همچون نواحی ساحلی خزر و همچنین در مناطق مرتفع و کوهستانی ازجمله ایستگاه‌های هم‌جوار با رشته‌کوه زاگرس نشان می‌دهد. در بررسی نقشه‌ها بیشینه ناهنجاری فشار فصلی منطبق بر مناطق مرتفع کوهستانی ازجمله ارتفاعات رشته‌کوه‌های هیمالیا، زاگرس و البرز بروی ارتفاعات، رشته‌کوه‌های آرارات قرارگرفته و کمینه ناهنجاری فشار منطبق بر مناطق کم ارتفاع جلگه سیبری، اقیانوس هند، دریای سرخ، شبه‌جزیره عربستان، جلگه خوزستان، خلیج‌فارس و دریای عمان قرار دارد به‌طورکلی در مناطق مرتفع و کوهستانی ناهنجاری فشار مثبت در تائید این نتایج و همان‌طور که دما رابطه مستقیمی با فشار هوا دارد لذا منطبق بر یافته‌های قالهری و داداشی رودباری(۲۰۱۸) است. همچنین ناهنجاری فشار منفی در مناطق کم ارتفاع پست در هر سه دوره زمانی آینده نزدیک، میانی و دور اتفاق خواهد افتاد. اختلاف دامنه فشار به‌دست‌آمده بیشتر مربوط به اهمیت فرآیندی فیزیکی درون مدل مانند سطح زمین، فیزیک بکار رفته در ابر و شرایط دمای سطح دریا SST است. همچنین مقدار انتشار در مدل‌های مختلف نیز به همراه آنچه گفته شد می‌تواند در تغییرپذیری فشار کمینه و بیشینه نقش داشته باشد. بیشینه ناهنجاری فشار فصلی نیز در عرض‌های جغرافیایی بالا و مناطق مرتفع کوهستانی است. به‌طور میانگین در تمام فصول ناهنجاری مثبت نشان می‌دهد که مناطق غرب، شمال غرب، مرکز و شرق کشور بیشینه ناهنجاری مثبت دما را ارائه داده است. ناهنجاری فشار در هیچ‌یک از فصول، سناریوها و دوره‌های موردمطالعه منفی نبوده است بطوریکه ناهنجاری سرتاسری مثبت در ایران دیده می‌شود. این افزایش ناهنجاری فشار که با دما رابطه مستقیمی دارد می‌تواند یک تهدید عمده برای منابع آب کشور باشد. این یافته نیز توسط براتی و موسوی (۱۳۸۴) مورد تأیید قرارگرفته است. همچنان با توجه به وجود خطاهای احتمالی که در GCM ها در خصوص کارایی بلاکینگ وجود دارد. پینشهاد می‌شود در تحقیقات بعدی GCM های بیشتری با استفاده از روش‌های گوناگون ریزگردانی در کشور مورد بررسی قرار گیرند تا بتوان مدل بهینه و کارآمد را برای کشور معرفی و از نتایج آن برای ارزیابی اثرات تغغییرات آب و هوایی در بخش‌های مختلف مدیریتی کشور بهره برد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

منابع

احمدی، محمود؛ عباسعلی داداشی رودباری ، طیبه اکبری اریزانی و جمال کرمی. ۱۳۹۸ . کارایی مدل HadGEM۲-ES در ناهنجاری فصلی دمای ایران مبتنی بر روش ریز گردانی دینامیکی CORDEX تحت سناریوهای واداشت تابشی RCPs. نشریه فیزیک زمین فضا دانشگاه تهران. **۳**: ۶۴۴-۶۲۵.

براتی، غلامرضا و سید شفیع موسوی. ۱۳۸۴. جابجایی مکانی موج‌های زمستانی گرما در ایران، مجله جغرافیا و توسعه، **۵**: ۴۱-۵۲.

حیدری،محمدامین و فرامرز خوش‌اخلاق. ۱۳۹۴ . واکاوی و مدل‌سازی ناهنجاری‌های فراگیر بارش غرب ایران در ارتباط با عملکرد مراکز فشار دریای مدیترانه. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، **۳۷**: ۲۴۴-۲۲۱.

دارند، محمد. ۱۳۹۳. شناسایی تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل، تاوایی و فشار تراز دریای الگوهای گردش جوی غالب مؤثر بر اقلیم ایران‌زمین. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، **۳**: ۳۷۴-۳۴۹.

زرین, آذر و عباسعلی داداشی رودباری. ۱۴۰۱ . بررسی مدل های (CMIP٦). در برآورد دمای ایران با تأکید بر حساسیت اقلیم ترازمند ((ECS)و پاسخ اقلیم گذرا (TCR) مجله ژئوفیزیک ایران, (), -. doi: ۲۰۲۲.۳۴۴۸۶۲.۱۴۳۰/.۱۰.۳۰۴۹۹

عساکره, حسین؛ محمد دارند و سوما زندکریمی. ۱۴۰۱. بررسی رابطه تغییر تراز فشار وردایست با چرخندهای توأم با بارش‌های فراگیر ایران. فیزیک زمین و فضا, **٤٨**(۱), ۷۵-۹۲. doi: ۲۰۲۱.۳۱۹۶۹۲.۱۰۰۷۳۰۰/jesphys.۱۰.۲۲۰۵۹

محمدی، بختیار و امید یزدانی. ۱۳۹۲ . شناخت پهنه‌های همدید فشار مؤثر بر اقلیم ایران در نیمه سرد سال. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، **۲**: ۱۴۴-۱۲۵.

Beecham, S. ; M. Rashid, and R.K. Chowdhury. ۲۰۱٤. Statistical downscaling of multi-site daily rainfall in a South Australian catchment using a Generalized Linear Model. International Journal of Climatology, ۳٤: ۳٦٥٤-۳٦۷۰

Bucchignani, E. ; L. Cattaneo, H.J. Panitz, and P. Mercogliano. ۲۰۱٦. Sensitivity analysis with the regional climate model COSMO-CLM over the CORDEX-MENA domain. Meteorology and Atmospheric Physics, ۱۲۸: ۷۳-۹۵

Change, P. C. ۲۰۱۸. Global warming of ۱,۵۰ C. World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland.

Dieppois, B. ; M. Rouault, and M. New, ۲۰۱۵. The impact of ENSO on Southern African rainfall in CMIP۵ ocean atmosphere coupled climate models. Climate dynamics, ٤۵: ۲٤۲۵-۲٤٤۲.

Fowler H. J. S.; Blenkinsopa and C. Tebaldib,. ۲۰۰۷, Review Linking climate change modelling

Fuentes-Franco, R.; E. Coppola, F. Giorgi, E.G. Pavia, G.T. Diro, and F. Graef. ۲۰۱۵. Inter-annual variability of precipitation over Southern Mexico and Central America and its relationship to sea surface temperature from a set of future projections from CMIP۵ GCMs and RegCM٤ CORDEX simulations. Climate Dynamics, ٤۵(۱-۲), pp.٤۲۵-٤٤۰.

Ghalhari, G.;F. and A.D. Roudbari. ۲۰۱۸. An investigation on thermal patterns in Iran based on spatial autocorrelation. Theoretical and applied climatology, ۱۳۱(۳), pp.۸٦۵-۸۷٦.

Giorgi, F.; C. Jones, and G.R. Asrar. ۲۰۰۹. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. World Meteorological Organization (WMO) Bulletin, ۵۸(۳), p.۱۷۵.

Gu, H.; Z. Yu, J. Wang, G. Wang, T. Yang, Q. Ju, C. Yang, F. Xu, and C. Fan. ۲۰۱۵. Assessing CMIP۵ general circulation model simulations of precipitation and temperature over China. International Journal of Climatology, ۳۵(۹), pp.۲٤۳۱-۲٤٤۰.

Jacovides, C.P. ۱۹۹۸. Reply to comment on" Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models". Agricultural water management, ۳۷:۹۵-۹۷.

Jang, S. ; and M. L. Kavvas. ۲۰۱۳, Downscaling global climate simulations to regional scales: Statistical downscaling versus dynamical downscaling, Journal of Hydrologic Engineering, ۲۰(۱): A٤۰۱٤۰۰٦.

Kalognomou, E.A.; C. Lennard, M. Shongwe, I. Pinto, A. Favre, M. Kent, B. Hewitson, A. Dosio, G. Nikulin, H.J. Panitz, and M. Büchner. ۲۰۱۳. A diagnostic evaluation of precipitation in CORDEX models over southern Africa. Journal of climate, ۲٦: ۹٤۷۷-۹۵۰٦.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

Khan, M.S.; P. Coulibaly, and Y. Dibike. ۲۰۰٦. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. Journal of Hydrology, **۳۱۹**: ۳۵۷-۳۸۲.

Laprise, R. ; L. Hernández-Díaz, K. L. Tete, Sushama, L. Šeparović, A. Martynov, K. Winger, and M. Valin, ۲۰۱۳. Climate projections over CORDEX Africa domain using the fifth-generation Canadian Regional Climate Model (CRCM۵). Climate Dynamics, **٤١**: ۳۲۱۹-۳۲٤٦.

Nengker, T.; A. Choudhary, and A.P. Dimri. ۲۰۱۸. Assessment of the performance of CORDEX-SA experiments in simulating seasonal mean temperature over the Himalayan region for the present climate: part I. Climate dynamics, **۵۰**:۲٤۱۱-۲٤٤۱.

Nikulin, G.; C. Jones, F. Giorgi, G. Asrar, M. Büchner, R. Cerezo-Mota, O.B. Christensen, M. Déqué, J. Fernandez, A. Hänsler, and E. van Meijgaard. ۲۰۱۲. Precipitation climatology in an ensemble of CORDEX-Africa regional climate simulations. Journal of Climate, **۲۵**: ٦۰۵۷-٦۰۷۸.

Riaz, S. M. F., Iqbal, M. J., & Adeel, M. ۲۰۲۱. Role of sea-level pressure of Arabian Sea on variability of summer monsoon rainfall over Northern Pakistan. Theoretical and Applied Climatology, ۱٤۵(۱), ۸٦۱-۸۷٤,

Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. ۲۰۲۰. CO_2 and greenhouse gas emissions. Our world in data.

Semenov, M A and Stratonovitch, P. ۲۰۱۵. Adapting Wheat ideotypes for climate change: accounting for uncertainties in CMIP۵ climate projections. CLIMATE RESEARCH. **٦۵**:۱۲۳-۱۳۹.

Sokhi, R. S., Tiwari, P. R., de Medeiros, J. S., Folberth, G. A., & Collins, W. J. ۲۰۲۱.Changes in extreme events over Asia for present and future climate conditions based on a modelling analysis of atmospheric circulation anomalies. Theoretical and Applied Climatology, ۱٤٦(۱), ٦۸۹-۷۱۱.

Stevenson, S.L. ۲۰۱۲. Significant changes to ENSO strength and impacts in the twenty-first century: Results from CMIP۵. Geophysical Research Letters, **۳۹**(۱۷). **doi**:۱۰,۱۰۲۹/۲۰۱۲GL۰۵۲۷۵۹, ۲۰۱۲

Van Vooren, S.; B. Van Schaeybroeck, J. Nyssen, M. Van Ginderachter, and P. Termonia, ۲۰۱۸. Evaluation of CORDEX rainfall in northwest Ethiopia: Sensitivity to the model representation of the orography. International Journal of Climatology, **۳۹**:۲۵٦۹-۲۵۸٦.

Warnatzsch, E.A. and D.S. Reay. ۲۰۱۹. Temperature and precipitation change in Malawi: Evaluation of CORDEX-Africa climate simulations for climate change impact assessments and adaptation planning. Science of the Total Environment, **٦۵٤**:۳۷۸-۳۹۲.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]