



نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی



فصلنامه علمی دانشگاه گلستان

سال دوم / شماره مسلسل ششم / تابستان ۱۴۰۰ / صفحات: ۶۳-۷۸

DOI: 10.30488/cer.2021.291260.1046



پیش‌بینی چندسالانه بارش ایران با مقیاس کاهی برون‌داد مدل‌های DCPD مطالعه موردی: دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳

ایمان بابائیان^{۱*}، راهله مدیریان^۲، مریم کریمیان^۲ و زهره جوانشیری^۱

^۱استادیار، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، مشهد

^۲کارشناس ارشد پژوهشی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، مشهد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۵

چکیده

پروژه پیش‌بینی دهه‌ای، از برنامه‌های بلندپروازانه سازمان جهانی هواشناسی برای حذف خلاء بین پیش‌بینی‌های اقلیمی با برد زمانی کمتر از یک سال و پیش‌نگری اقلیمی با برد زمانی بیش از یک دهه است. این مقاله مراحل انجام کار و یافته‌های پیش‌بینی چندسالانه بارش با استفاده از مقیاس کاهی آماری برون‌داد مدل‌های DCPD از مجموعه مدل‌های پروژه CMIP6 که با داده‌های واقعی اول نوامبر سال ۲۰۱۹ آغازگری شده‌اند را بر روی ایران ارائه می‌دهد. دوره هدف پیش‌بینی ۲۰۱۹-۲۰۲۳ است. در این مطالعه از دو نوع داده برون‌داد مدل‌های پروژه DCPD در دو دوره تاریخی (۲۰۱۸-۱۹۸۹) و پیش‌بینی (۲۰۲۳-۲۰۱۹) و بارش شبکه ای GPCC در دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۹ به عنوان داده‌های بازکاوی استفاده شده است. همچنین نقش دو دورپیوند دهه‌ای AMO و PDO بر بارش دوره هدف بررسی شد. یافته‌ها نشان دادند که در مجموع میانگین بارش در دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ در محدوده نرمال تا کمتر از نرمال خواهد بود، به اینصورت که بر اساس دو روش تصحیح اریبی و وزنی بارش در نیمه غربی و جنوب کشور بیشتر از نرمال و در شرق کشور نرمال تا کمتر از نرمال، در روش پیش‌بینی احتمالاتی بارش سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در طبقه بیشتر از نرمال و سال‌های ۲۰۲۱، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ عمدتاً در طبقه کمتر از نرمال تا نرمال و به روش دورپیوندی در محدوده کمتر از نرمال پیش‌بینی می‌شود. هر چند پروژه DCPD در مراحل اولیه توسعه قرار داشته و نتایج منطقه‌ای آن به مقدار زیادی بستگی به روش‌های مقیاس کاهی بکار رفته دارد، اما افق‌های جدیدی برای محققان و کاربران خدمات اقلیمی در حوزه منابع آب، کشاورزی، بیمه محصولات کشاورزی به وجود آورده است که می‌تواند نقشه راه کشور را در برنامه‌های توسعه پنج‌ساله هفتم (۱۴۰۵-۱۴۰۱) در حوزه منابع آب و کشاورزی شفاف سازد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی دهه‌ای، DCPD، CMIP6، بارش، ایران

مقدمه

اساس تلاش‌های پژوهشگران از حدود یک دهه پیش تاکنون بر دستیابی به دانش پیش‌بینی سالانه تا دهه‌ای متمرکز بوده است. پیش‌بینی‌های اقلیمی ظرفیت کاستن اثرات سوء نوسانات اقلیمی بر بخش کشاورزی را داشته و می‌تواند به کشاورزان برای انتخاب نوع و سطح بیمه محصولات کشاورزی و به شرکت‌های بیمه برای ارزیابی حجم انواع بیمه در مناطق مورد تقاضا کمک کند. کشاورزان محصول را در مقیاس مزرعه کشت می‌کنند که متاثر از اقلیم محلی است در حالی که آن‌را در بازارهایی با

برد پیش‌بینی‌های سازمان هواشناسی کشور از چندساعت آینده (Nowcasting) تا شش ماه آینده است؛ اما از شش ماه آینده تا یک دهه، خلایقی در پیش‌بینی‌ها وجود دارد تا اینکه از یک دهه و طولانی‌تر از آن پیش‌نگری‌های تغییر اقلیم وجود دارد که به دلیل عدم استفاده از داده‌های شرایط اولیه واقعی ماهیت متفاوتی از پیش‌بینی دارند. بر این

*نویسنده مسئول: i.babaeian@gmail.com

جهانی هواشناسی در این حوزه شامل پیش‌بینی دهه‌ای، پیش‌بینی پیوسته زمانی (Seamless)، پیش‌بینی‌های کاربردی یا Tailoreed Forecast است. از آنجا که در حوزه پیش‌بینی بلندمدت، دانش و فناوری به سرعت در حال توسعه می‌باشد، لازم است مراکز پژوهشی و اجرایی کشور همپای سایر مراکز بین‌المللی از دانش و فناوری‌های نوین پیش‌بینی برخوردار شوند. تاکنون مطالعات محدودی در زمینه پیش‌بینی‌های چندسالانه انجام شده است. از جمله اولین تلاش‌ها برای پیش‌بینی اقلیمی می‌توان به پژوهش انجام شده توسط Shukla (۱۹۸۱) اشاره کرد. او به دنبال برآورد حد بالای پیش‌بینی‌پذیری میانگین ماهانه برای متغیرهای اقلیمی بود که برای این منظور آزمایش‌هایی را برای پیش‌بینی ۶۰ روزه توسط مدل گردش کلی با ۹ شرایط اولیه مختلف اما با شرایط مرزی یکسان (شامل دمای سطح دریا، پوشش برف، پوشش یخ دریا و رطوبت خاک) انجام داد. نتایج نشان داد که امواج بزرگ مقیاس جوی به مقدار قابل قبولی بین یک ماه تا ۴۵ روز قبل قابل پیش‌بینی هستند و پیش‌بینی‌پذیری اقلیم در نیمکره شمالی بیشتر از نیمکره جنوبی است. او نتیجه گرفت که با بهبود در تفکیک مدل و پارامترسازی فیزیکی، امکان پیش‌بینی تا بیش از یک ماه ممکن خواهد شد. Leung و همکاران (۱۹۸۹) پیش‌بینی‌پذیری اقلیمی را با تکیه بر شرایط اولیه و شاخص نسبت سینگال به نویز را مطالعه کردند. آنها نشان دادند که سهم بخش قابل پیش‌بینی تابعی از مکان بوده و قابلیت ارتقاء دارد. آنها با استفاده از روش نظریه اطلاعات^۱ بخش تقریباً غیرقابل پیش‌بینی را مورد مطالعه قرار دادند. Meehl و همکاران (۲۰۱۴)، نشان دادند که آریبی در پیش‌بینی دهه‌ای که به صورت تابعی از زمان رشد می‌کند، منشاءهای مختلفی از جمله: تمایل کلی مدل‌ها به تغییر از شرایط اولیه مشاهداتی به شرایط ترجیحی ناشی از دینامیک مدل (شوگ آغازگری)، ناتوانی ذاتی مدل‌ها در شبیه‌سازی نوسانات طبیعی در مقیاس سالانه تا دهه‌ای، عدم قطعیت در

مقیاس کشوری و بین‌المللی به فروش می‌رسانند که متأثر از اقلیم بزرگ‌مقیاس است. بنابراین ارتقاء پیش‌بینی اقلیمی در مقیاس محلی موجب بهبود برنامه‌ریزی در کاشت محصولات کشاورزی می‌شود. پیش‌بینی اقلیمی در مقیاس محلی و جهانی از جمله عوامل تاثیر گذار بر قیمت محصولات و سیاست‌های کاشت، انتخاب نوع محصول و واریته سازگار با شرایط اقلیمی است. پیش‌بینی‌های چندسالانه (با برد زمانی یک سال تا کمتر از یک دهه) از جمله مهمترین عوامل موثر در سرمایه‌گذاری بلندمدت فعالان کشاورزی در این حوزه است. همچنین در حوزه آب، توانایی در سازگاری با نوسانات اقلیمی بستگی بسیار زیادی به دانش پیش‌بینی شرایط اقلیمی پیش‌رو دارد. با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک ایران، پیش‌بینی سالانه تا دهه‌ای از اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب برخوردار است. بر اساس گزارش‌های وزارت نیرو، به‌طور میانگین حدود ۵۰ درصد ظرفیت سدهای کشور برای مدیریت سیلاب خالی نگه‌داشته می‌شود، این در حالی است که با بکارگیری پیش‌بینی اقلیمی، با استفاده از ظرفیت خالی سدها در فصول بارش می‌توان بخش زیادی از منابع آب مورد نیاز برای صنعت، شرب و انرژی مورد نیاز برقایی را تامین کرد.

مطالعه و طراحی برنامه عملیاتی پیش‌بینی دهه‌ای می‌تواند حجم زیادی از خسارت‌های وابسته به آب (خشکسالی، سیل و ...) را در مناطق آسیب‌پذیر کاهش داده و عدم قطعیت در مدیریت منابع آب و کشاورزی را در کشور کاهش دهد. هدف این مطالعه پیش‌بینی دهه‌ای است که مطابق تعریف سازمان جهانی هواشناسی پیش‌بینی‌های با برد یک سال تا یک دهه را پوشش می‌دهد؛ اما در حال حاضر عمده تاکید بر پیش‌بینی یک تا پنج سال است. اولین سری از پیش‌بینی چندسالانه، که از آن به عنوان پیش‌بینی دهه‌ای یا پیش‌بینی سالانه تا دهه‌ای نیز نام برده می‌شود، برای دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۹ انجام شد که گزارش مربوطه توسط سازمان هواشناسی جهانی در سال ۲۰۱۸ منتشر شد. مهمترین برنامه‌های سازمان

مانند DCP^۱، ADCP^۲ و A2D^۳ نیز از آن نام برده می‌شود، توانایی مدل‌های در دسترس از پروژه یاد شده در پیش‌بینی گذشته‌نگر ایران و پیش‌بینی دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۹ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

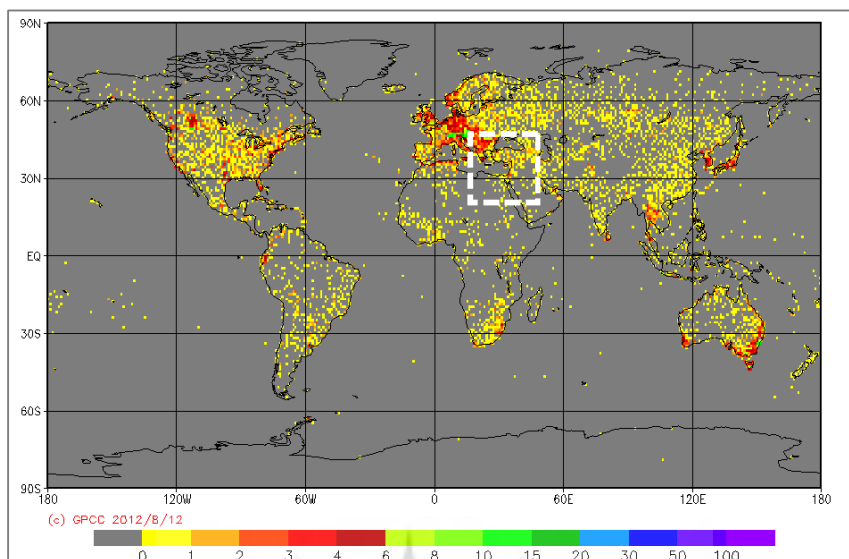
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق کشور ایران است که موقعیت جغرافیایی آن در شبکه توزیع ایستگاه‌های GPC^۴ در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل یادشده تراکم ایستگاه‌های GPC در یاخته‌های ۱×۱ درجه جغرافیایی نشان می‌دهد. در شکل مذکور ایران در داخل چهارگوشی به رنگ سفید قرار دارد که در آن تراکم ایستگاهی اغلب ۱ ایستگاه بر هر یاخته است که از صفر (در مناطق کویری مرکزی) تا ۳ (در غرب سواحل خزر) متغیر است. مجموعه داده‌های شبکه‌ای GPC متشکل از داده‌های بارش گزارش شده از ایستگاه‌های هواشناسی سطح کره زمین توسط سازمان‌های ملی هواشناسی است. توانمندی پایگاه داده GPC در برآورد بارش ایران توسط محققین مختلف از جمله میری و همکاران (۱۳۹۵)، مسعودیان و دیگران (۱۳۹۳) و دارند و زندکریمی (۱۳۹۵) تایید شده است. این داده‌ها در مرحله واسنجی مدل‌های DCP^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرند. این پایگاه دارای دو سری داده است. سری اول دوره ۲۰۱۰-۱۹۰۱ را پوشش می‌دهد و در مطالعات منطقه‌ای بیلان آب، واسنجی و درستی‌سنجی مدل‌های عددی بکار می‌رود. سری دوم داده‌های ۵۰ ساله VASCLIMO^۵ می‌باشد که برای مطالعات مربوط به نوسانات اقلیمی و تحلیل روند مورد استفاده قرار می‌گیرد. داده‌ها در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و بلندمدت، برای کل کره زمین و با سه تفکیک مکانی ۰.۵×۰.۵، ۱×۱ و ۲.۵×۲.۵ در دسترس

برآورد واداشت تابشی (مثلاً فعالیت‌های آتشفشانی و هواویزها) و داده‌های مشاهداتی ناکافی و نادرست دارد. علاوه بر آن، نبود نمونه‌های کافی از نوسانات طبیعی به دلیل کوتاه بودن طول دوره پیش‌بینی گذشته‌نگر و پیش‌بینی واقعی می‌تواند موجب عدم قطعیت در پیش‌بینی اقلیمی گردد. یافته‌های آنها نشان داد که توانایی پیش‌بینی اقلیمی با لحاظ آغازگری در مورد دمای دو متری به مراتب بیشتر از بارش است. Hawkins و Sutton (۲۰۰۹a) نشان دادند که همزمان با افزایش برد پیش‌بینی، شاخص پیش‌بینی‌پذیری با لحاظ شرایط اولیه به تدریج کاسته می‌شود و واداشت‌های بیرونی ناشی از فعالیت‌های انسانی افزایش می‌یابد. در پژوهشی Smith و همکاران (۲۰۱۲b) از ۹ مدل جفت شده جوی - اقیانوسی برای پیش‌بینی اقلیمی چندمدلی استفاده کردند. پیش‌بینی آنها با داده‌های سال ۲۰۱۱ آغازگری شد و برای دو دوره پنج ساله ۲۰۱۶-۲۰۲۰ و ۲۰۱۲-۲۰۱۶ پیش‌بینی ارائه شد. نتایج آنها گرمایش کمتر را برای حالت بدون لحاظ آغازگری در اجرای مدل‌ها را نشان داد که در این حالت واداشت‌های بیرونی مانند واداشت‌های انسان‌ساخت دارای اهمیت بیشتری بود. Doblas-Reyes و همکاران (۲۰۱۳) پیش‌بینی اقلیمی آغازگری شده برای پیش‌بینی تغییر اقلیم در آینده نزدیک (یک دهه آینده) را با استفاده از مدل‌های سری CMIP5 مطالعه کردند و دریافتند که مدل‌ها در پیش‌بینی دما توانمند هستند و پیش‌بینی بارش نیز تا حدی قابل قبول می‌باشد. پیش‌بینی‌پذیری در مناطق حاره‌ای و پهنه‌های اقیانوسی در عرض‌های جغرافیایی پایین به مراتب بیشتر از مناطق برون‌حاره و عرض‌های جغرافیایی بالا است. مطالعات نشان می‌دهند که آغازگری موجب بهبود پیش‌بینی دما در اقیانوس اطلس شمالی می‌شود (Smith et al., 2010; van Oldenbrogh et al., 2012; Kim et al., 2012; Chen, 1997; Doblas-Reyes, 2013; Pohlmann, 2016; Boer et al., 2017). در این مطالعه، ضمن معرفی جدیدترین برنامه سازمان جهانی هواشناسی در حوزه پیش‌بینی با نام "پروژه پیش‌بینی سالانه تا دهه‌ای" یا پیش‌بینی چندسالانه که با عناوین مختلف

1. Decadal Climate Prediction Project(DCPP)
2. Annual to Decadal Climate Prediction(ADCP)
3. Annual to Decadal prediction (A2D)
4. The Global Precipitation Climatology Centre
5. Variability Analysis of Surface Climate Observations

<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data>

هستند. داده‌های یادشده از لینک زیر قابل دسترس می‌باشند:



شکل ۱. تراکم ایستگاههای ایران در شبکه GPCP که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. (منبع: GPCP)

پژوهش داده‌ها در ماه می سال ۲۰۱۹ میلادی (۱۳۹۹ خورشیدی) دریافت شدند. داده‌های مدل‌های DCPP در سه گروه dcppA، dcppB و dcppC طبقه‌بندی می‌شوند که به ترتیب مربوط به hindcast، forecast و مطالعات موردی برای بررسی اثرات آغازگری، واداشتهای انسانی و دورپیوندهای دهه‌ای هستند. در جدول ۱، مشخصات مدل‌ها درج شده است. لازم به ذکر است برون داد برخی از مدل‌های مندرج در جدول در دسترس نیستند.

داده‌های مدل‌های پروژه DCPP در دوره مشاهداتی (۲۰۱۸-۱۹۸۹) شامل ۳۰ اجرای مختلف با آغازگری مدل‌ها به مبداء ماه نوامبر هر سال در واسنجی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. هر اجرای مدل حداکثر پیش‌بینی ده سال آینده را پوشش می‌دهد. این مطالعه که با استفاده از پیش‌بینی آغازگری شده به تاریخ ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ انجام شده است، دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ را پوشش می‌دهد. برون داد مدل‌های اجرا شده در نوامبر هر سال حدود ۶ ماه بعد در اختیار کاربران قرار می‌گیرد که در این

جدول ۱- مشخصات مدل‌های AOGCM و داده‌های در دسترس پروژه DCPP با آغازگری سال ۲۰۱۸

دوره	تواتر	تفکیک	شبیه‌سازی	موسسه	مدل
2019-2028	Monthly	250×250	dcppA-hindcast	MIROC	MIROC6
2019-2028	Monthly	100×100	dcppA-hindcast	MPI-M	MPI-ESM1-2-HR
2019-2028	Monthly	250×250	dcppA-hindcast	NCC	NorCPM1
2019-2028	Monthly	100×100	dcppA-hindcast	Consortium	EC-Earth3

$$W_{dcppi}^x = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_{dcppi} - x_{obs}}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

• روش کار

- چندگانه وزنی: مطابق رابطه (۱)، وزن هر یک از چهار مدل در دسترس بر اساس توانایی آنها در برآورد بارش دوره مشاهداتی تعیین شد.

تصحیح داده‌های DCPD ارائه داده است که در ادامه توضیح داده شده است:

یک سری از داده‌های خام پیش‌بینی اقلیمی را به صورت $Y_{j\tau}$ در نظر بگیرید که در آن $j=1, 2, \dots, n$ نشان‌دهنده زمان‌های آغازگری و $\tau=1, \dots, m$ برد پیش‌بینی است. عموماً در پیش‌بینی‌های اقلیمی $Y_{j\tau}$ به صورت ماهانه، فصلی، سالانه یا چندسالانه به عنوان نماینده متغیرهایی نظیر بارش و دما در نظر گرفته می‌شود. داده‌های مبتنی بر دیدبانی که برای آغازگری و ارزیابی پیش‌بینی‌ها استفاده می‌شوند با $X_{j\tau}$ نشان داده می‌شوند. بنابراین میانگین سری پیش‌بینی‌ها و مقادیر دیدبانی متناسب با آن برای برد زمانی پیش‌بینی τ به صورت زیر نشان داده می‌شوند.

$$\bar{Y}_\tau = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{j\tau} \quad (4)$$

$$\bar{X}_\tau = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{j\tau} \quad (5)$$

میانگین پیش‌بینی‌ها بستگی به تعداد پیش‌بینی‌های در دسترس دارد که از مدل به مدل دیگر و گروهی تا گروه دیگر می‌تواند متغیر باشد. میانگین پیش‌بینی نوعاً مشابه میانگین اقلیمی مدل و دیدبانی نیست. میانگین اقلیمی بلندمدت با $\langle Y \rangle$ و $\langle X \rangle$ نشان داده می‌شوند. تصحیح اریبی با استفاده از مجموعه‌ای از داده‌های پیش‌بینی تاریخی و داده‌های دیدبانی مربوط به آن انجام می‌شود. در این حالت انحراف مدل به صورت تفاوت بین میانگین پیش‌بینی‌های چندگانه و میانگین دیدبانی‌ها بر روی تمام حالات برآورد می‌شود.

$$d_\tau = \bar{Y}_\tau - \bar{X}_\tau \quad (6)$$

پیش‌بینی‌های ناریب یا پیش‌بینی‌هایی که اریبی آنها حذف شده است با $\hat{Y}_{j\tau}$ نشان داده و مطابق رابطه زیر حاصل تفریق مقدار رانش/انحراف محاسبه شده در رابطه (۶) از هر یک از اعضای پیش‌بینی چندگانه است.

$$\hat{Y}_{j\tau} = Y_{j\tau} - d_\tau = \bar{X}_\tau + (Y_{j\tau} - \bar{Y}_\tau) = \bar{X}_\tau + Y'_{j\tau} \quad (7)$$

که در آن i نشان دهنده تعداد پیش‌بینی‌ها است. x نشان دهنده متغیرهای پیش‌بینی برای دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۹ شامل بارش و دما، obs مقادیر بارش و دمای مشاهداتی یا بازکاوی به ترتیب از داده‌های شبکه‌ای GPCP است. n تعداد اجراها در دوره پایه است که هر یک شامل ده عضو با آغازگری‌ها و فیزیک مختلف می‌باشند. در معادله (۲) برای محاسبه وزن هر یک از اجراها، ابتدا صورت کسر (معکوس خطای اجرای نام) از رابطه (۱) از طریق تفریق مقادیر میانگین‌گیری شده روی وارپته‌های مختلف پیش‌بینی (rip) از مقدار میانگین دیدبانی شده محاسبه می‌شود که در آن rip مخفف realization, initialization و physics است. یک مدل اقلیمی در هر یک از اجراهای مربوط به پیش‌بینی‌های مختلف از rip مختلف استفاده می‌کند تا دامنه عدم قطعیت پیش‌بینی‌ها کاهش یابد. مخرج کسر (۱)، مجموع معکوس خطاهای هر چهار گروه از اجراهای اصلی است. لازم به ذکر است که هر اجرا دارای ۱۰ سری با شرایط اولیه مختلف با rip‌های مختلف است که جمعاً ۴۰ عضو را شامل می‌شوند. در معادله (۱)، جمع وزن‌ها برابر واحد است (معادله ۲).

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2)$$

پس از مشخص شدن وزن هر سری از اجراها، پیش‌بینی وزنی بارش برای هر یک از ماههای دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۹ بر اساس معادله (۳) بدست می‌آید.

$$x^{fcst} = \sum_{i=1}^n w_i \times x_{dcpp_i} \quad (3)$$

- **تصحیح اریبی:** در مدل سازی‌های اقلیمی همانطور که برد پیش‌بینی افزایش می‌یابد، مدل رانشی/انحرافی^۱ به سوی میانگین اقلیم مدل خواهد داشت. این اشکال وقتی که برد پیش‌بینی‌ها طولانی می‌شود، بیشتر نمود پیدا می‌کند و به همین دلیل پیش‌بینی‌های کوتاه مدت به خودی خود از نظر اریبی تصحیح شده هستند. برنامه جهانی پژوهش‌های اقلیمی سازمان جهانی هواشناسی دستورالعملی برای

نوسان دهه ای آرام (PDO^۵) به عنوان برون‌داد مدل‌های DCPD در دسترس قرار داشته و وجود تناوب دهه‌ای در طیف فرکانسی دو دورپیوند یادشده توسط پژوهش‌های متعددی تایید شده است، لذا تاثیر دورپیوندهای فوق بر بارش ایران در دوره مورد مطالعه بررسی شد. پیش‌بینی پذیری دورپیوندهای فوق به مراتب بیشتر از متغیرهای هواشناسی - به ویژه بارش - بوده و به مقدار زیادی پیش‌بینی بارش در مناطق حاره و جنب حاره توسط دورپیوندهای فوق قابل تبیین است. همچنین به دلیل اینکه شاخص‌های دو دورپیوند فوق جهانی بوده و مستقل از منطقه جغرافیایی است، لذا پس پردازش این دو شاخص توسط مراکز بین المللی انجام شده است و نیازی به پس پردازش مجدد نیست. مطالعات نشان می‌دهند که در مناطق مختلفی از کره زمین به ویژه مناطق حاره‌ای اقیانوس‌های آرام و اطلس می‌توان تغییرپذیری بارش را در مقیاس دهه‌ای توسط دو پدیده فوق تبیین نمود (Birkel, Luo et al., 2018; Wang et al., 2019a; Wang et al., 2019b, 2018). بررسی سری بارش میانگین کشور در دوره ۲۰۱۹-۱۹۶۰ و دورپیوندهای AMO و PDO، نشان می‌دهد که نوسانات دورپیوند AMO با بارش ایران رابطه معنی داری دارد (شکل و جدول ۲). مطابق جدول همبستگی منفی معنی‌داری بین میانگین بارش سالانه کشور با دورپیوند AMO وجود دارد، اما همبستگی بین دورپیوند PDO و بارش سالانه ایران ضعیف بوده و معنی‌دار نیست. در جدول مذکور ضریب همبستگی پیرسن و اسپیرمن و مقادیر p-value مربوطه آورده شده است. می‌توان گفت که تاثیر فاز سرد AMO بر بارش ایران بیشتر از فاز گرم است.

که در آن $Y'_{j\tau} = Y_{j\tau} - \bar{Y}_{\tau}$ آنومالی پیش‌بینی‌های خام نسبت به میانگین پیش‌بینی است. معمولاً بهترین روش برای تصحیح آریبی استفاده از "ارزیابی متقابل" است که در آن پیش‌بینی مورد نیاز برای تصحیح در میانگین پیش‌بینی‌ها دخالت داده نمی‌شود.

- **پیش‌بینی احتمالی:** پیش‌بینی احتمالاتی بر اساس ۴۰ سری از پیش‌بینی‌های تصحیح شده به روش قبل محاسبه شدند. در این روش آریبی ماهانه شبیه سازی شده بارش توسط مدل‌ها در دوره گذشته در مقایسه با داده‌های پایه مشاهداتی GPCP محاسبه شد. مقادیر محاسبه آریبی برای تصحیح داده‌های پیش‌بینی مدل برای سال‌های آینده استفاده می‌شود. برای بررسی توانمندی مدل از نمایه‌های آماری آریبی، مجذور میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسن استفاده شده است. برای ارزیابی نتایج مدل از دو ضریب نش-ساتکلیف^۳ (E_{NS}) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد. هر چه عدد E_{NS} و R^2 به مقدار یک نزدیکتر باشند، پیش‌بینی‌ها دارای دقت مطلوب تری خواهند داشت.

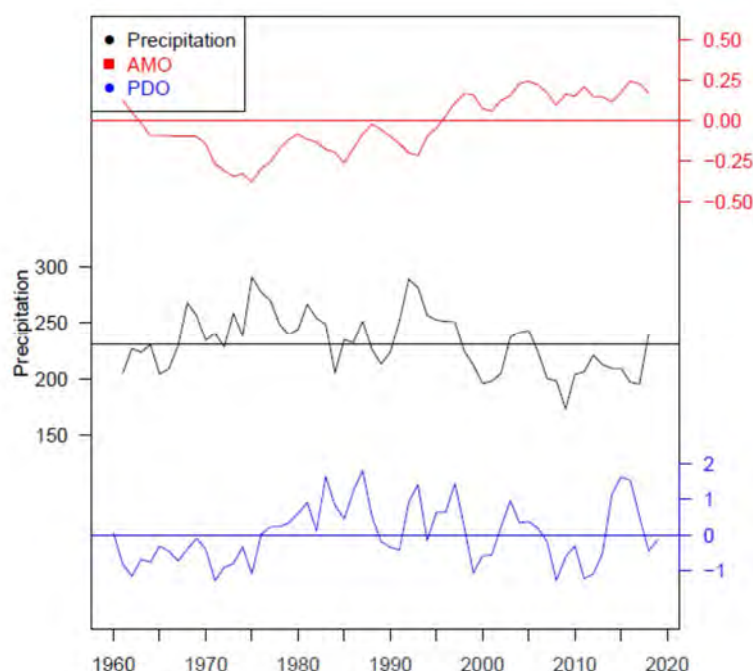
$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2} \quad (10)$$

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (11)$$

در این روابط \bar{O} و \bar{S} به ترتیب مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده است.

- **نقش دورپیوندها:** از آنجا که مقادیر دورپیوندهای نوسان نصف‌النهاری اطلس (AMO^۴) و

1. Cross-validated
2. Root Mean Squar Error
3. Nash-Sutcliffe
4. Atlantic Meridional Oscillation



شکل ۲- مقایسه متوسط بارش سالانه کشور با دورپیوندهای AMO و PDO (۱۹۶۰-۲۰۱۹)

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسن و اسپیرمن و مقادیر p-value بین بارش سالانه کشور و دورپیوندهای AMO و PDO

نوسان دهه ای آرام (PDO)		نوسان نصف‌النهاری اطلس (AMO)		ضریب همبستگی
p-value	R	p-value	R	
۰,۱۹۹	۰,۱۷۱	۰,۰۰۰۰۲۹	-۰,۵۲۰	پیرسن
۰,۱۴۳	۰,۱۹۵	۰,۰۰۰۱۵	-۰,۴۷۸	اسپیرمن

هر سال و بر روی پهنه ایران انجام شد. نتایج نشان داده که بیشترین وزن مربوط به مدل NorCPM1 به مقدار ۰,۳۸۰۵ می‌باشد که نشان‌دهنده خطای کم این مدل نسبت به سایر مدل‌ها است. این مدل همچنین توانسته است الگوی کلی بارش‌های کشور - بیشینه بارش در منطقه خزری و زاگرس - را به خوبی شبیه سازی نماید. پس از آن به ترتیب دو مدل EC-Earth3 و MIROC قرار دارند.

یافته‌های تحقیق

- بررسی توانمندی مدل‌ها: بر اساس توانمندی هر یک از مدل‌های مختلف و با بکارگیری رابطه (۱)، وزن هر یک از مدل‌ها به شرح جدول (۳) محاسبه شد. برای این منظور معکوس خطای هر مدل بر مجموع معکوس خطاهای تمامی مدل‌ها تقسیم شد. محاسبه یادشده با لحاظ داده‌های تاریخی در دوره ۱۹۸۹-۲۰۱۸ و در نظر گرفتن RMSE_{IP} های هر مدل در

جدول ۳- وزن هر یک از مدل‌های DCPD در مقایسه با داده‌های مشاهداتی GPCD در دوره ۲۰۱۸-۲۰۰۵

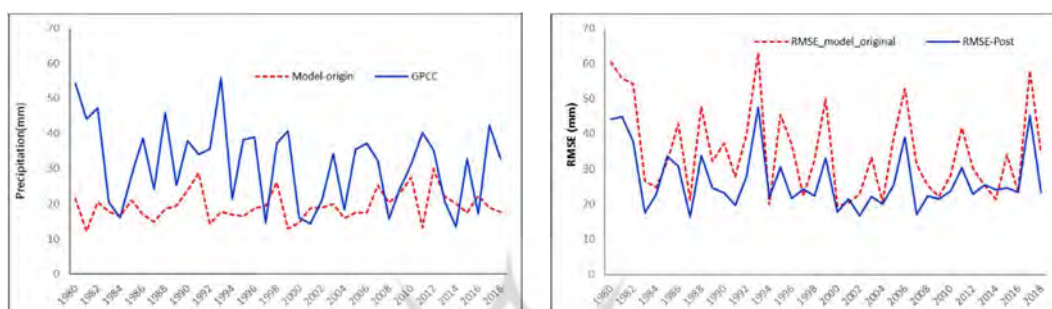
مدل	MIROC6	MPI-ESM	NorCPM1	EC-Earth3
وزن	۰,۲۲۶۰	۰,۱۳۶۳	۰,۳۸۰۵	۰,۲۵۷۳

(lead time=2)، برای دو حالت قبل (منحنی خط چین - سمت راست) و بعد از پس پردازش (منحنی توپر - سمت راست) آورده شده است. شکل نشان می

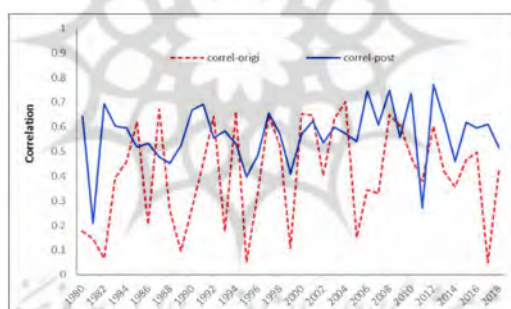
در شکل ۳، به‌عنوان نمونه نمودار بارش سالانه مدل MPI-ESM به همراه بارش بازکاوی GPCD (سمت چپ) و RMSE برای پیش‌دید ۲

هر یک از مدل‌ها قبل و بعد از انجام پس‌پردازش در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل مقدار همبستگی بین داده‌های اولیه مدل با داده‌های بازکاوی GPCC حدود ۰,۴۰ است که انجام پس‌پردازش توانسته است آن را تا ۰,۵۷ افزایش دهد. چنین محاسبات و نمودارهایی برای تمامی ماه‌ها، مدل‌ها و پیش‌دیدها انجام شده است که برای پرهیز از تطویل مقاله، آورده نشده‌اند.

دهد که مدل MPI در پیش‌دید ۲ دارای آریبی خشک (کم برآورد) به مقدار ۱۱,۷ م.م. می‌باشد. مقدار RMSE بعد از اعمال پس‌پردازش به مقدار قابل توجهی نسبت به قبل از انجام پس‌پردازش کاهش یافته و مقادیر همبستگی افزایش یافته است. به روش مشابه مقدار RMSE و آریبی سایر مدل‌ها محاسبه شد و در پیش‌بینی‌های آینده آنها اعمال گردید. یک نمونه از تاثیر اعمال پس‌پردازش بر مقادیر همبستگی بارش



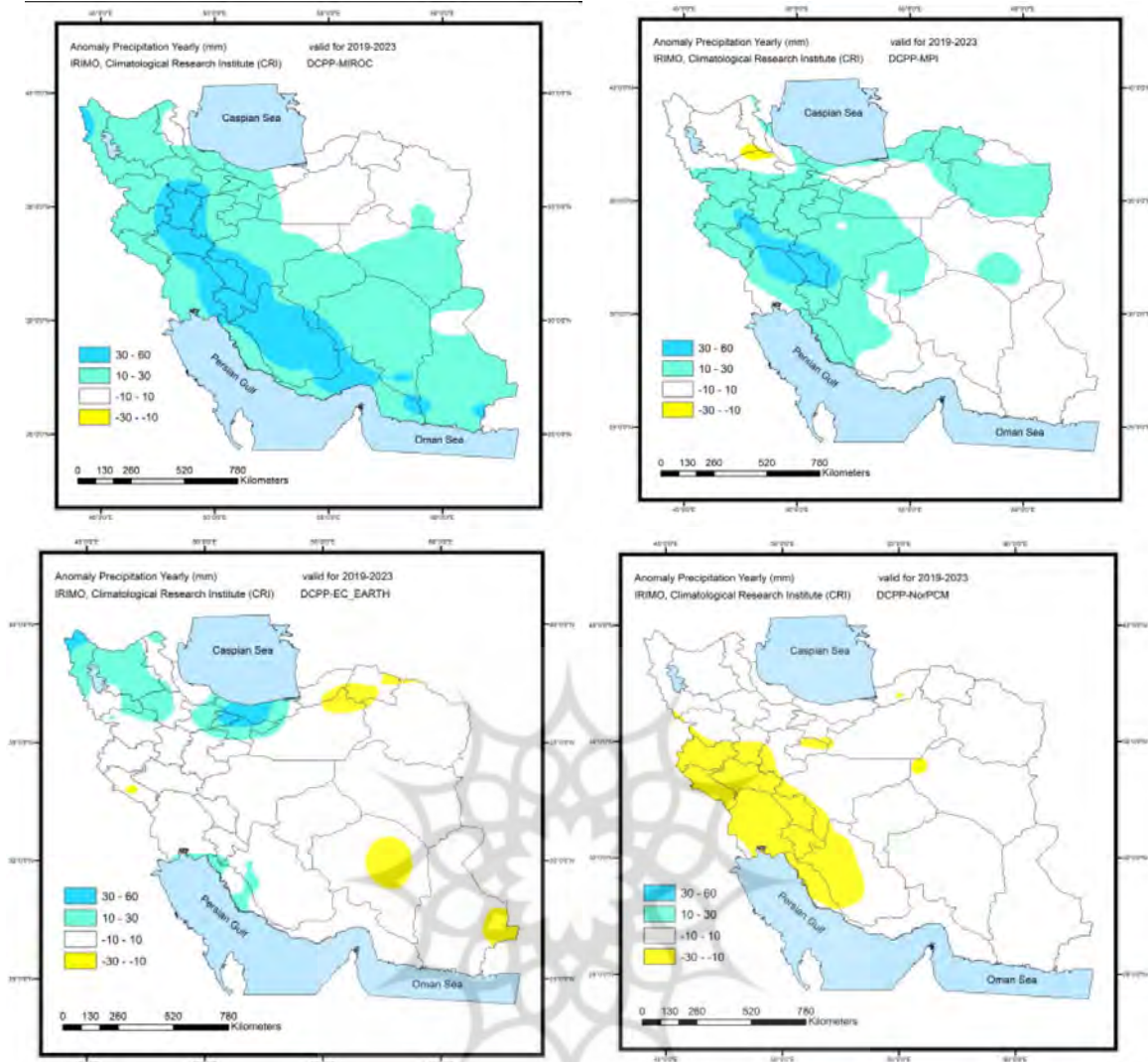
شکل ۳- مقادیر بارش شبه‌مشاهداتی کشور در دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۰ از پایگاه داده GPCC (چپ) و بارش پیش‌بینی شده توسط مدل MPI-ESM با پیش‌دید ۲ (lead time=2) قبل و بعد از پس‌پردازش؛ بهبود RMSE در شکل مشاهده می‌شود.



شکل ۴- مقادیر همبستگی بین بارش کشور در دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۰ از پایگاه GPCC و پیش‌بینی شده توسط MPI-ESM با پیش‌دید ۲ (lead time=2) قبل و بعد از پس‌پردازش.

کشور در دوره ۵ ساله مورد بررسی بارش بیش از شمال را تجربه نخواهد کرد، پیش‌بینی مدل NorCPM از این نظر که اولین رتبه را از نظر توانمندی مدل‌ها در پیش‌بینی چندسالانه را دارد، دارای اهمیت است. همچنین مدل EC-Earth برای شمال‌غرب، سواحل خزر و مناطق محدودی از جنوب‌غرب، بارش را بیشتر از شمال پیش‌بینی کرده است.

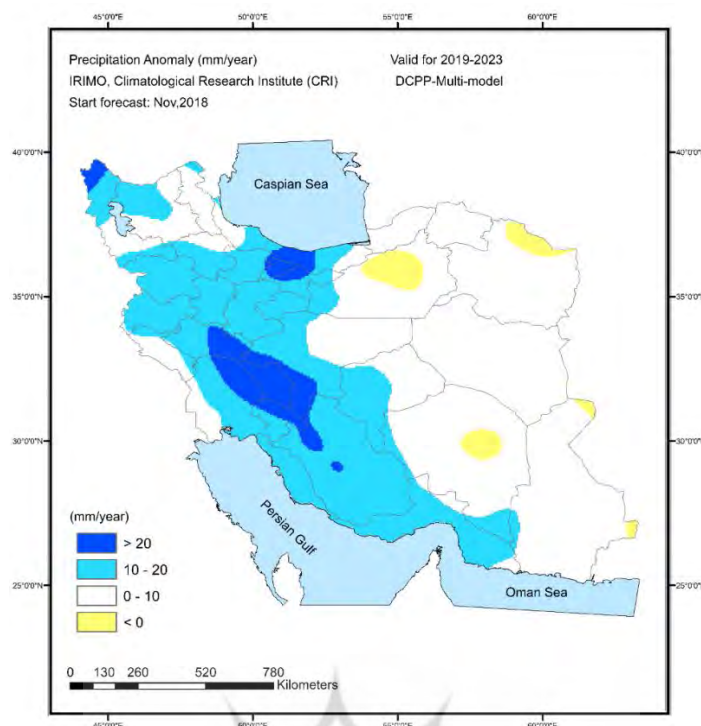
پیش‌بینی به روش تصحیح آریبی: در شکل ۵، پیش‌بینی بی‌هنجاری میانگین بارش کشور توسط چهار مدل با داده‌های در دسترس برای دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۹ بر مبنای آغازگری در ماه نوامبر ۲۰۱۸ (2018) نشان داده شده است. مطابق شکل، دو مدل MPI و MIROC بارش کشور را بیشتر از شمال پیش‌بینی کرده‌اند که بارش در مناطقی از زاگرس بیشتر از شمال است. مطابق پیش‌بینی مدل NorCPM، هیچ بخش از



شکل ۵- پیش‌بینی بی‌هنجاری بارش دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۹ کشور نسبت به دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۹ توسط چهار مدل MIROC، MPI، ES (ردیف بالا) و Nor-CPM و EC-Earth (ردیف پایین) بر مبنای ۲۰۱۸s

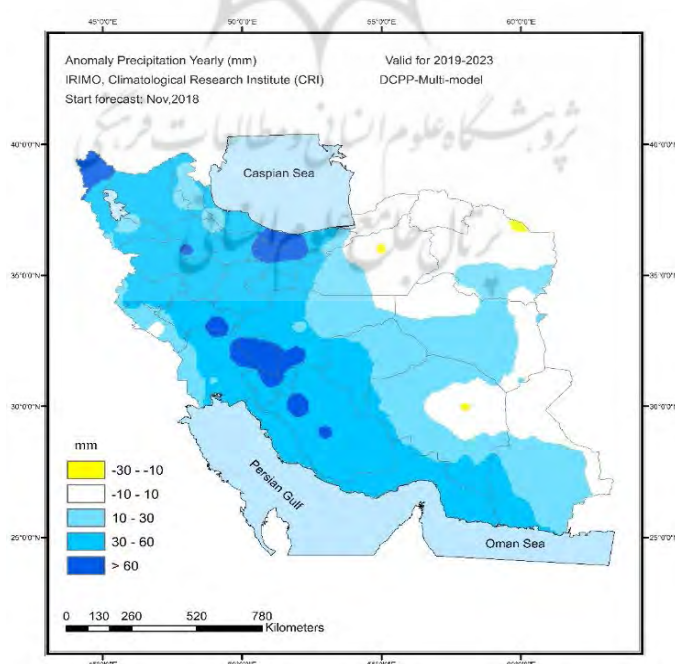
از آنجا که آغازگری مدل‌ها در پیش‌بینی یادشده نوامبر ۲۰۱۸ است، لذا در شکل بارش‌های سنگین رخ داده در مارس و آوریل ۲۰۱۹ که منجر به وقوع سیل در بسیاری از استان‌های کشور به ویژه در نیمه غربی شد، نیز در نظر گرفته شده است.

پیش‌بینی بی‌هنجاری بارش حاصل از میانگین حسابی چهار مدل در شکل ۶ آورده شده است. مطابق شکل بارش در نیمه غربی کشور به استثنای بخش‌هایی از شمال‌غرب- بیشتر از شمال خواهد بود. در همین دوره بی‌هنجاری بارش در نیمه شرقی اغلب در طبقه شمال تا کمتر از شمال پیش‌بینی شده است.



شکل ۶- پیش‌بینی میانگین بی‌هنگاری بارش برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ بر اساس داده‌های چهار مدل در دسترس نسبت به دوره نرمال (۱۹۸۹-۲۰۱۸) بر مبنای اجرای ۲۰۱۸s

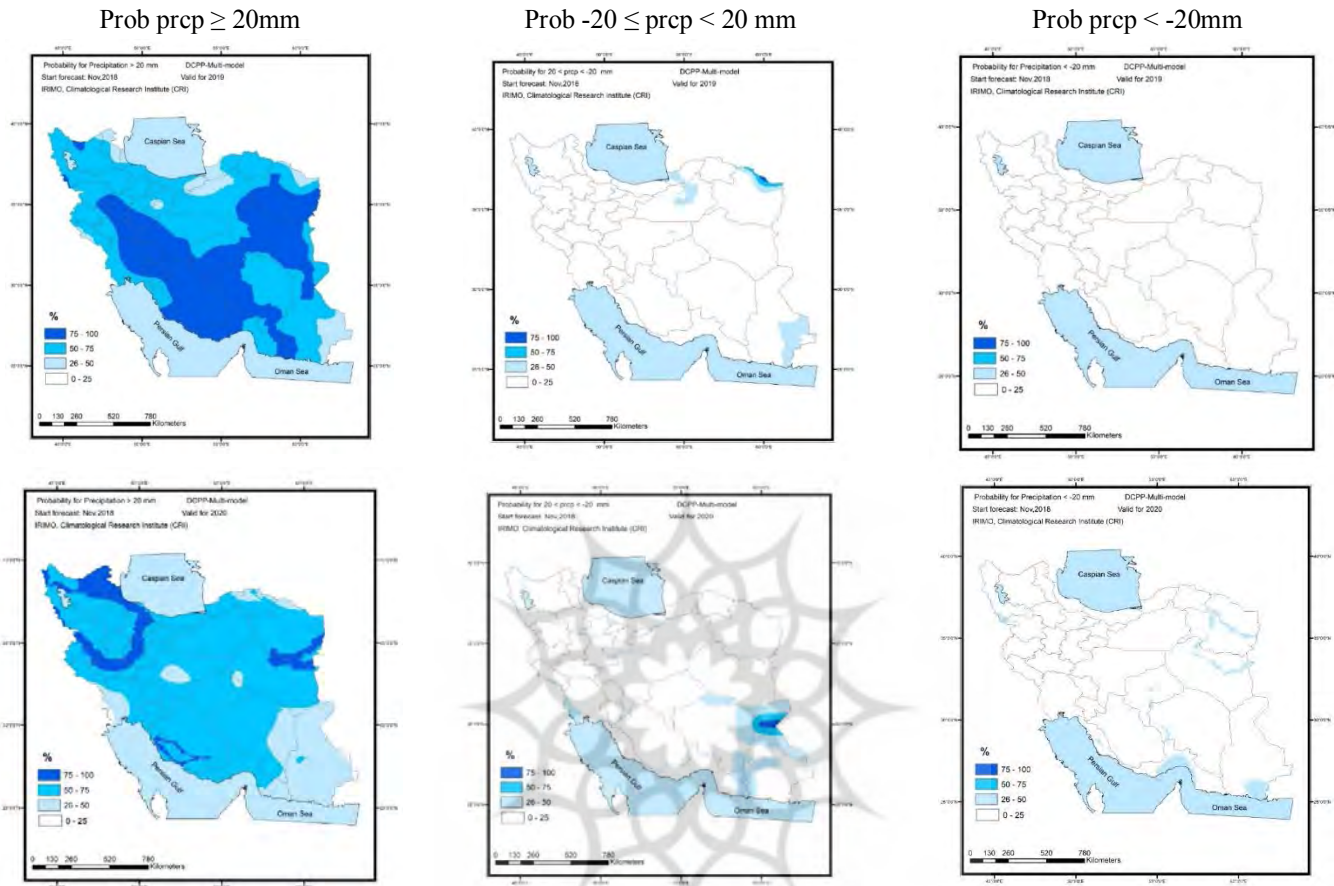
- پیش‌بینی به روش وزنی: از مقادیر جدول ۳ برای پیش‌بینی وزنی دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ استفاده شد (شکل ۷). مطابق شکل در دوره پنج ساله مورد بررسی، بارش در نیمه غربی کشور به طور میانگین
- بیش از نرمال خواهد بود. در بخش‌هایی از شرق - شمال شرق کشور بارش در محدوده نرمال تا کمتر از نرمال پیش‌بینی شده است.



شکل ۷- پیش‌بینی وزنی بی‌هنگاری بارش برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ بر اساس داده‌های چهار مدل در دسترس نسبت به دوره نرمال (۱۹۸۹-۲۰۱۸) بر مبنای اجرای ۲۰۱۸s

احتمالاتی دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ با لحاظ برون‌داد تصحیح شده هر یک از واریته‌ها تهیه شده است (شکل‌های ۸ تا ۱۰).

- پیش‌بینی احتمالاتی: با توجه به اینکه هر یک از مدل‌های DCPD دارای اعضای (واریته‌ها) مختلفی از پیش‌بینی هستند، لذا در این قسمت پیش‌بینی



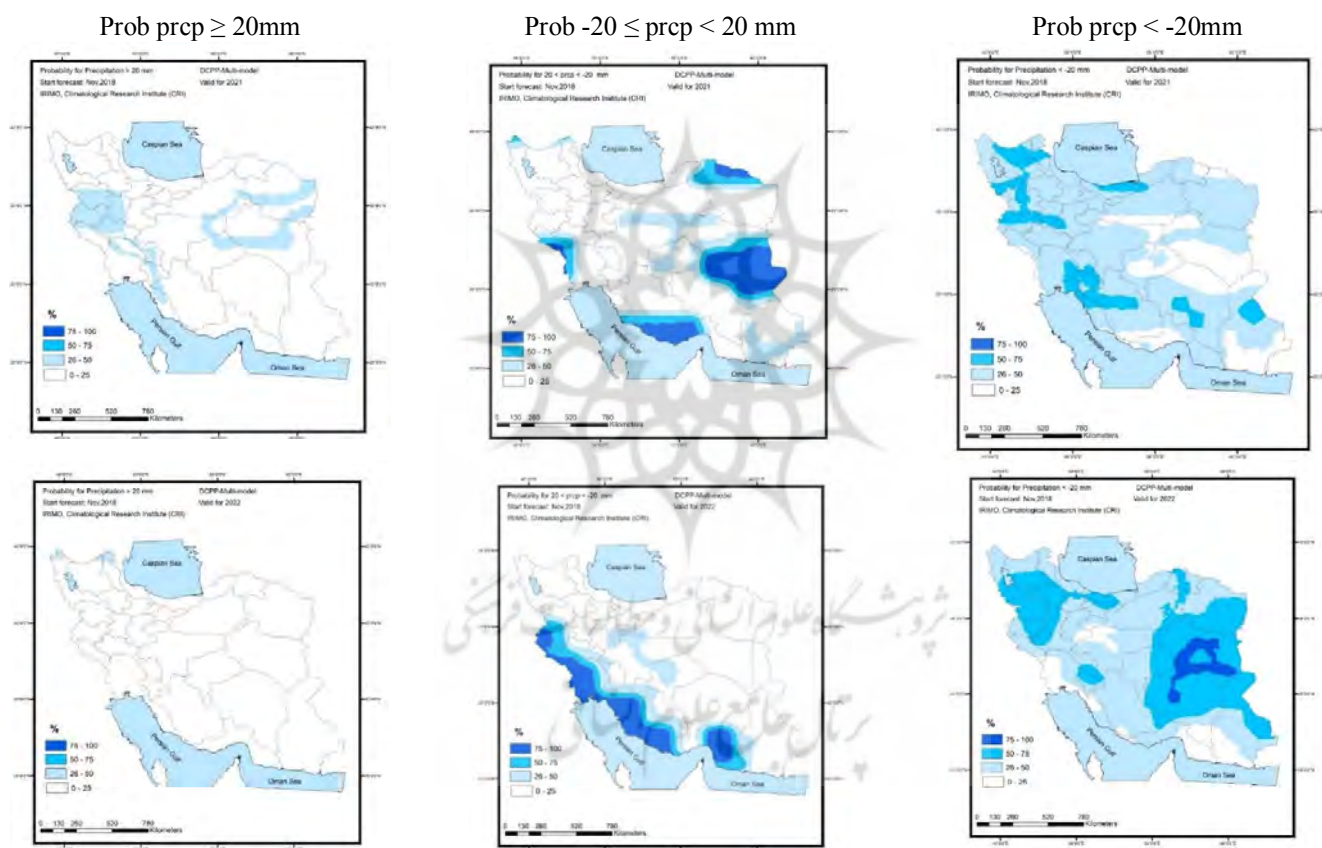
شکل ۸- پیش‌بینی احتمالاتی بی‌هنجاری بارش سال ۲۰۱۹ (بالا) و ۲۰۲۰ (پایین) با لحاظ مدل‌ها و واریته‌های مختلف بر مبنای اجرای ۲۰۱۸s برای سطوح احتمالی کمتر از نرمال (راست)، نرمال (وسط) و بیشتر از نرمال (چپ).

نشده است. در سال ۲۰۲۰ در مناطق بسیار محدودی در شمال غرب و شمال شرق با احتمال بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد بارش بیشتر از نرمال پیش‌بینی شده است. در این سال به استثنای جنوب شرق و مناطق بسیار محدودی از جنوب غرب و شمال شرق، با احتمال بین ۵۰ تا ۷۵ درصد بارش بیشتر از نرمال است. در سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳ پیش‌بینی‌های بارش عمدتاً در محدوده کمتر از نرمال تا نرمال قرار دارد، به طوری که در سال ۲۰۲۱ بیشترین احتمال وقوع به طبقه بارشی کمتر از نرمال اختصاص دارد. در این سال احتمال اینکه بارش کشور بیشتر از نرمال باشد،

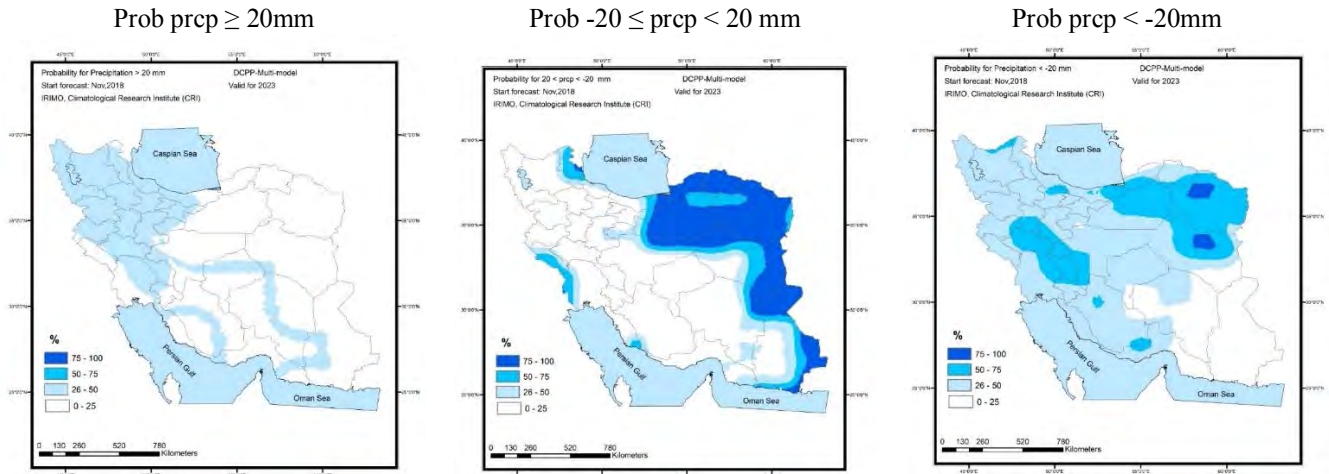
مطابق شکل‌های ۸ تا ۱۰ می‌توان گفت که در روش پیش‌بینی احتمالاتی، بیشترین احتمال وقوع در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ مربوط به طبقه بارشی بیش از نرمال است، به طوری که در سال ۲۰۱۹ تقریباً در تمامی مناطق کشور با احتمال بین ۵۰ تا ۷۵ درصد بارش بیشتر از نرمال بوده و در حدود نیمی از مساحت کشور نیز با احتمال بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد میانگین بارش بیشتر از نرمال است که با شرایط بارشی مشاهده شده در سال مذکور مطابقت خوبی دارد، با این تفاوت که بارش‌های بیشتر از نرمال در نوار شمالی کشور - به ویژه استان گلستان - به خوبی پیش‌بینی

۲۰۲۳ احتمال وقوع طبقه بارشی نرمال وزن به نسبت قابل توجهی دارد. در این سال احتمال وقوع طبقه بارشی بیشتر از نرمال نسبت به سال قبل قدری بیشتر شده است؛ در عین حال احتمال وقوع بارش در طبقه کمتر از نرمال از نرمال از طبقه بیشتر از نرمال بیشتر است. در مجموع بر اساس پیش‌بینی احتمالاتی داده‌های تصحیح شده 2018s، بارش کشور در دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در محدوده بیشتر از نرمال و در سال‌های ۲۰۲۱، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ در محدوده کمتر از نرمال پیش‌بینی شده است.

تقریباً در تمامی پهنه کشور بین صفر تا ۲۵ درصد است. در سال یادشده، بیشترین احتمال وقوع با مقدار ۲۵ تا ۵۰ درصد مربوط به طبقه کمتر از نرمال است. احتمال وقوع طبقه بارشی نرمال، توزیع مکانی مشخصی نداشته و عمدتاً بین صفر تا ۲۵ درصد قرار دارد، در عین حال در برخی از مناطق شمال شرق، شرق، جنوب غرب و نوار شمال غربی کشور، احتمال وقوع آن تا طبقه ۱۰۰-۷۵ درصد افزایش یافته است. در این سال با احتمال بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد بارش در استان‌های واقع در نوار جنوبی تا غربی کشور در محدوده نرمال پیش‌بینی شده است. در سال



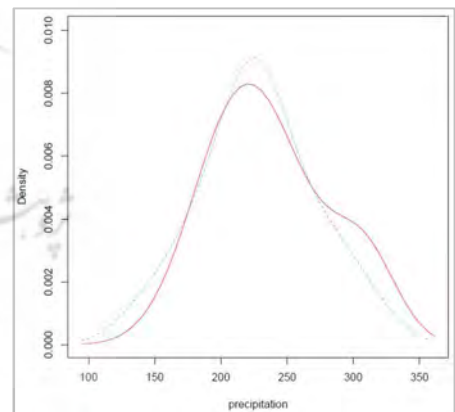
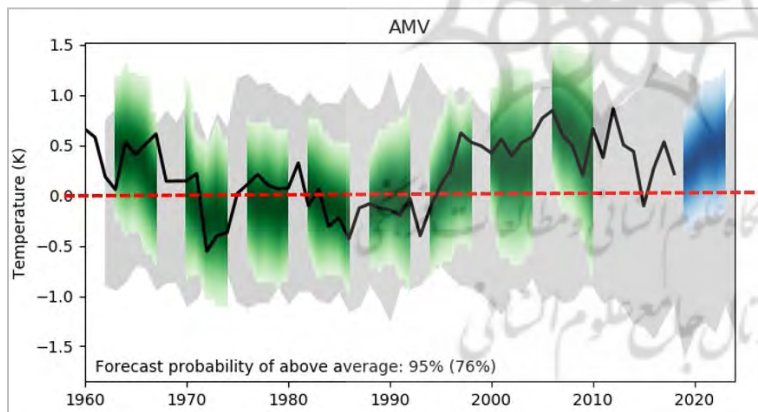
شکل ۹- پیش‌بینی احتمالاتی بی‌هنجاری بارش سال ۲۰۲۱ (بالا) و ۲۰۲۲ (پایین) با لحاظ مدل‌ها و وابسته‌های مختلف بر مبنای اجرای 2018s برای سطوح احتمالی کمتر از نرمال (راست)، نرمال (وسط) و بیشتر از نرمال (چپ).



شکل ۱۰- پیش احتمالاتی بی‌هنجاری بارش سال ۲۰۲۳ با لحاظ مدل‌ها و وارینته‌های مختلف بر مبنای اجرای S2018 برای سطوح احتمالی کمتر از نرمال (راست)، نرمال (وسط) و بیشتر از نرمال (چپ).

به عبارت دیگر در دوره با فاز گرم (نمودار به رنگ سبز) درصد سال‌هایی که بارش‌های خیلی کم داشته‌اند به طور معنی داری بیشتر از دوره با فاز سرد است. شکل ۱۱-راست نشان می‌دهد که دورپیوند AMV در دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ در فاز گرم خواهد بود.

۱۱- روش دورپیوندی: شکل ۱۱ فراوانی بارش کشور در فازهای سرد و گرم دورپیوند AMV (یا AMO) و پیش‌بینی دورپیوند مذکور را در دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ نشان می‌دهد. در نمودار توزیع فراوانی بارش (شکل ۱۱-چپ)، تفاوت برای چندک‌های ۰٫۹، ۰٫۹۵، ۰٫۹۹ و ۰٫۹۹۹ معنی دار است (نتایج آزمون آورده نشده‌اند).



شکل ۱۱- راست: فراوانی بارش کشور در فاز سرد (قرمز) و گرم (سبز) دورپیوند AMV. چپ: پیش‌بینی نمایه AMV برای پنج سال ۲۰۱۹-۲۰۲۳ بر اساس اجرای S2018

مجموع میانگین بارش کشور در دوره ۵ ساله مورد مطالعه در محدوده کمتر از نرمال تا نرمال مورد انتظار است.

در جدول ۴، خلاصه پیش‌بینی بارش دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ با لحاظ چهار روش تصحیح اریبی، وزنی، احتمالاتی و دورپیوند، درج شده است؛ در

جدول ۴- پیش‌بینی میانگین بارش در دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ با استفاده از چهار روش استفاده شده در این پژوهش

روش	پیش‌بینی بارش
تصحیح اریبی	در نیمه شرقی نرمال در برخی مناطق کمتر از نرمال و در نیمه غربی بیشتر از نرمال
وزنی	نیمه غربی و جنوب کشور بیشتر از نرمال و شرق کشور نرمال در برخی مناطق کمتر از نرمال
احتمالاتی	پیش‌بینی بارش سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در طبقه بیش از نرمال و در سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳ عمدتاً در طبقه کمتر از نرمال تا نرمال قرار دارد.
دورپیوند	میانگین بارش در دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ در محدوده کمتر از نرمال

جمع بندی

گیرد، تاثیر دورپیوندهای دهه‌ای بر بارش بررسی شد که تاثیر دورپیوند AMO به صورت معکوس و معنی‌دار بود. یافته‌ها نشان دادند که در مجموع میانگین بارش کشور در دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ در محدوده کمتر از نرمال است؛ با توجه به اینکه بارش کشور در دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در محدوده نرمال تا بیشتر از نرمال بوده است، لذا انتظار می‌رود در سه سال باقیمانده در محدوده کمتر از نرمال بوده و کشورمان کم‌وبیش با خشکسالی مواجه باشد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به اتخاذ سیاست‌های ملی برای سازگاری با کم‌بارشی و کاهش پیامدهای خشکسالی و تدوین برنامه توسعه هفتم (۱۴۰۵-۱۴۰۱) بر مبنای محدودیت‌های خشکسالی و تغییر اقلیم کمک نموده و مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پروژه "پیش‌بینی احتمالاتی ماهانه بارش و دمای کشور برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۴ بر اساس پروژه DCCP سازمان جهانی هواشناسی" است که با حمایت مالی سازمان هواشناسی کشور در پژوهشکده اقلیم‌شناسی مشهد انجام شده است.

سازمان جهانی هواشناسی و مراکز تحقیقاتی بین‌المللی هواشناسی همواره در پی حذف خلاء موجود بین پیش‌بینی‌های فصلی (برد زمانی ماهانه تا کمتر از یک سال) و پیش‌نگری‌های اقلیمی (برد زمانی بیشتر از یک دهه) بوده‌اند. در راستای نیل به هدف فوق، برنامه جهانی پژوهش‌های اقلیمی^۱ سازمان جهانی هواشناسی، اولین پیش‌بینی کاربردی از "پروژه پیش‌بینی دهه ای اقلیم"^۲ را در سال ۲۰۱۸ منتشر کرد. آغازگری مدل‌های پروژه مذکور به مبداء نوامبر هر سال است که نتایج آن قبل از نیمه سال میلادی بعد از طریق پایگاه ESGF^۳ و مرکز پیشرو پیش‌بینی بلندمدت‌ها دلی انگلیس منتشر می‌شود. هدف این پژوهش پیش‌بینی بارش دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ کشور با استفاده از چهار روش تصحیح اریبی، وزنی، احتمالاتی و تاثیر دورپیوندها بر اساس مدل‌های DCCP آغازگری شده در نوامبر ۲۰۱۸ است که داده‌های آن در می ۲۰۱۹ منتشر گردید. پس‌پردازش برون‌داد مدل‌ها بر اساس پیش‌بینی‌های تاریخی DCCP در دوره ۳۰ سال گذشته (۲۰۱۸-۱۹۸۹) انجام شد. برای افزایش اطمینان به پیش‌بینی پنج ساله که می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری‌های کلان کشور در حوزه کشاورزی، منابع آب و به ویژه برنامه‌های توسعه پنج ساله قرار

1. World Climate Research Program (WCRP)
2. Decadal Climate Prediction Project (DCPP)
3. Earth System Grid Federation

2013. Near-term Climate Change: Projections and Predictability. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
9. Leung L.Y., and North G.R. 1990. Information theory and climate prediction, *Journal of Climate*, Vol.3, 1-14.
 10. Luo, F., Li, S., and Furevik, T. 2018. Weaker connection between the Atlantic multidecadal Oscillation and Indian summer rainfall since the mid-1990s. *Atmos Oceanic Sci Lett*. <https://doi.org/10.1080/16742834.2018.1394779>
 11. Masoodian, S.A., Keikhosravi Kiany, M.S., Raiyatpishe, F. 2014. Introducing and comparison of Esfzari database with GPCC, DPCP and CMAP, *Geographical research Journal*, 1(112): 73-88.
 12. Meehl, G.A., Teng, H., Arblaster, J.M. 2014. Climate model simulations of the observed early-2000s hiatus of global warming. *Nat Clim Change* 4:898-902. DOI:10.1038/nclimate2357
 13. Miri, M., Azizi, G., Khoshakhlagh, F., and Rahimi, R. 2017. Evaluation Statistically of Temperature and Precipitation Datasets with Observed Data in Iran, *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 10(35): 39-50.
 14. Moriassi, D.N., Arnold, J.G.M., Van Liew, W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L. 2007. Model evaluation guideline for systematic quantification of accuracy in watershed simulation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0001-2351 Transactions of the ASABE* 50(3), 885-900.
 15. Pohlmann, H., Kröger, J., and Greatbatch, R.J. 2017. Initialization shock in decadal hindcasts due to errors in wind stress over the tropical Pacific. *Clim Dyn* 49, 2685-2693 (2017). <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3486-8>
- منابع
1. Birkel, S. D., Mayewski, P.A., Maasch, K.A., Kurbatov, A.V. and Lyon, B. 2018. Evidence for a volcanic underpinning of the Atlantic multidecadal oscillation. *npj Climate Atmos. Sci.*, 1, 24, <https://doi.org/10.1038/S41612-018-0036-6>.
 2. Boer, G.J., Smith, D.M., Cassou, C., Doblas-Reyes, F., Danabasoglu, G., Kirtman, B., Kushnir, Y., Kimoto, M., Meehl, G. A., Msadek, R., Mueller, W. A., Taylor, K. E., Zwiers, F., Rixen, M., Ruprich-Robert, Y., and Eade, R. 2016. The Decadal Climate Prediction Project (DCPP) contribution to CMIP6, *Geosci. Model Dev.*, 9, 3751-3777, doi:10.5194/gmd-9-3751-2016
 3. Chen, D., Zebiak, S.E., Cane, M.A., Busalacchi, A.J. 1997. Initialization and predictability of a coupled ENSO forecast model. *Mon Weather Rev* 125:773-788. doi:10.1175/1520-0493(1997)125<0773:IAPOAC>2.0.CO;2
 4. Darand, M., Zand-karimi S., 2016, Evaluation of the accuracy of the Global Precipitation Climatology Center (GPCC) data over Iran, 10(3), 95-113.
 5. Doblas-Reyes, F.J., Andreu-Burillo, I., Chikamoto, Y., García-Serrano, J., Guemas, V., Kimoto, M., Mochizuki, T., Rodrigues, L.R.L., and van Oldenborgh, G.J. 2013. Initialized near-term regional climate change prediction, *Nature Communication*, 16(4), 1715.
 6. Hawkins, E., Sutton, R. 2009a. The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 90: 1095-1107.
 7. Kim, H.M., Webster, P.J., Curry, J.A. 2012. Evaluation of short-term climate change prediction in multi-model CMIP5 decadal hindcasts. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L10701, doi:10.1029/2012GL051644.
 8. Kirtman, B., Power, S. B., Adedoyin, J.A., Boer, G.J., Bojariu, R., Camilloni, I., Doblas-Reyes, F.J., Fiore, A.M., Kimoto, M., Meehl, G.A., Prather, M., Sarr, A., Schär, C., Sutton, R., van Oldenborgh, G.J., Vecchi G., Wang, H.J.

19. Van Oldenborgh, G., Doblas Reyes, F., Wouters, B., and Hazeleger, W. 2012. Decadal prediction skill in a multi-model ensemble. *Climate Dyn.* 38, 1263–1280.
20. Wang, X., Chen, M., Wang, C., Yeh, S., and Tan, W. 2019a. Evaluation of performance of CMIP5 models in simulating the North Pacific oscillation and El Niño Modoki. *Clim Dyn* 52, 1383–1394
21. Wang, X., Guan, C., Huang, R., Tan, W., Wang, L. 2019b. The roles of tropical and subtropical wind stress anomalies in the El Niño Modoki onset. *Clim Dyn* 52(11): 6585–6597
22. WMO-WCRP portal: <https://www.wcrp-climate.org/dcp-overview>; available in: 24/1/202
16. Shukla J. 1981. Dynamical Predictability of Monthly Means, *Journal of Atmospheric Sciences*, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1981\)038<2547:DPOMM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<2547:DPOMM>2.0.CO;2)
17. Smith, D.M., Scaife, A.A., and Kirtman, B.P. 2012a. What is the current state of scientific knowledge with regard to seasonal and decadal forecasting? *Environ. Res. Lett.*, 7, 015602, doi:10.1088/1748-9326/7/1/015602.
18. Smith, D.M., Eade, R., Scaife, A.A. 2019. Robust skill of decadal climate predictions. *npj Clim Atmos Sci* 2, 13. <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0071-y>





پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی
پرتال جامع علوم انسانی



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی