



## پیش‌بینی چندسالانه بارش ایران با مقیاس کاهی برونداد مدل‌های DCPP مطالعه موردي: دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۹

ایمان بابائیان<sup>۱\*</sup>، راهله مدیریان<sup>۲</sup>، مریم کریمیان<sup>۳</sup> و زهره جوانشیری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>استادیار، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، مشهد

<sup>۲</sup>کارشناس ارشد پژوهشی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، مشهد

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

### چکیده

بروژه 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 DCPP 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 DCPP در دو دوره تاریخی (۱۹۸۹-۲۰۱۸) و پیش‌بینی (۲۰۱۹-۲۰۲۳) و بارش شبکه‌ای GPCC در دوره ۱۹۸۹-۲۰۱۸ به عنوان داده‌های بازکاوی استفاده شده است. همچنین نقش دو دوربین ددهای 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 اربیسی 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 عمده‌تا در طبقه کمتر از نرمال تا نرمال و به روش دوربین‌دنی در محدوده کمتر از نرمال پیش‌بینی می‌شود. هر چند پروژه DCPP 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 هفت‌تم (۱۴۰۱-۱۴۰۵) در حوزه منابع آب و کشاورزی شفاف سازد.

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

اساس تلاش‌های پژوهشگران از حدود یک دهه پیش تاکنون بر دستیابی به دانش پیش‌بینی سالانه تا دهه‌ای متتمرکز 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 متأثر از اقلیم محلی است در حالی که آن را در بازارهایی با

### مقدمه

برد پیش‌بینی‌های سازمان هواشناسی کشور از چندساعت آینده (Nowcasting) تا شش ماه آینده است؛ اما از شش ماه آینده تا یک دهه، خلائی 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 هوشناسی در این حوزه شامل پیش‌بینی‌دهای، پیش‌بینی پیوسته زمانی (Seamless)، پیش‌بینی‌های کاربردی یا Tailored 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 برخودار 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 گرددش کلی با ۹ شرایط اولیه مختلف اما با شرایط مرزی یکسان (شامل دمای سطح دریا، پوشش برف، پوشش بخ دریا و رطوبت خاک) انجام داد. نتایج نشان داد که امواج بزرگ‌مقیاس 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<sup>۱</sup> بخش تقریباً غیرقابل پیش‌بینی را مورد مطالعه قرار دادند. Meehl و همکاران (۲۰۱۴)، نشان دادند که اریبی در پیش‌بینی‌دهای 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 (شوک آغازگری)، ناتوانی ذاتی مدل‌ها در شبیه‌سازی نوسانات طبیعی در مقیاس سالانه تا دهه‌ای، عدم قطعیت در

مقیاس کشوری و بین‌المللی به فروش می‌رسانند که متاثر 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 ۵۰ گزارش‌های وزارت نیرو، به طور 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 بر قابی را تأمین 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 هوشناسی 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 ۲۰۱۹-۲۰۲۳ انجام شد که گزارش مربوطه توسط سازمان هوشناسی جهانی در سال ۲۰۱۸ منتشر شد. مهمترین برنامه‌های سازمان

1. Information theory

مانند DCPP<sup>۱</sup>، ADCP<sup>۲</sup> و A2D<sup>۳</sup> 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

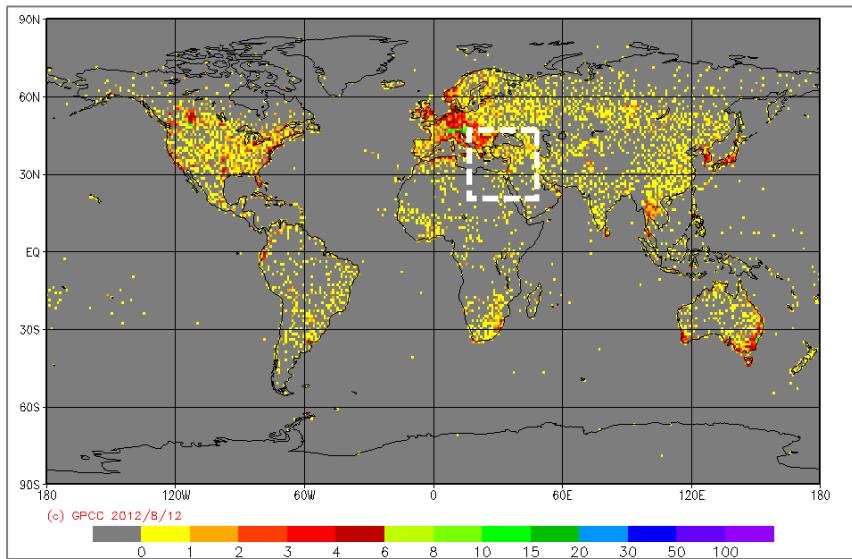
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق کشور ایران است که موقعیت جغرافیایی آن در شبکه توزیع ایستگاه‌های GPCC<sup>۴</sup> در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل یادشده تراکم ایستگاه‌های GPCC در یاخته‌های  $1 \times 1$  درجه جغرافیایی نشان می‌دهد. در شکل مذکور ایران در داخل چهارگوشی به رنگ سفید قرار دارد که در آن تراکم 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 GPCC متشکل از داده‌های بارش گزارش شده از ایستگاه‌های هواشناسی سطح کره زمین توسط سازمان‌های ملی هواشناسی است. توانمندی پایگاه داده GPCC 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 DCPP 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 درستی‌سنجدی مدل‌های عددی بکار می‌رود. سری دوم داده‌های ۵۰ ساله VASCLIMO<sup>۵</sup> 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  $5 \times 0.5$ ،  $1 \times 1$  و  $2.5 \times 2.5$  در دسترس

برآورد و اداشت تابشی (مثلاً فعالیت‌های آتش‌نشانی 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. Sutton و Hawkins (۲۰۰۹) نشان دادند که همزمان با افزایش برد پیش‌بینی، شاخص پیش‌بینی پذیری با لحاظ شرایط اولیه به تدریج کاسته می‌شود و واداشت‌های بیرونی ناشی از فعالیت‌های انسانی افزایش می‌یابد. در پژوهشی Smith و همکاران (۱۲۰۲) از ۹ مدل جفت شده جوی - اقیانوسی برای پیش‌بینی اقلیمی چندمیلی استفاده کردند. پیش‌بینی آنها با داده‌های سال ۲۰۱۱ آغازگری شد و برای دو ۲۰۱۶-۲۰۲۰ و ۲۰۱۲-۲۰۱۶ دوره پنج ساله دو 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 اهمیت بیشتری بود. 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. پیش‌بینی پذیری در مناطق حاره‌ای و پهنه‌های اقیانوسی در عرض‌های جغرافیایی پایین به مراتب بیشتر از مناطق بروون حاره و عرض‌های جغرافیایی بالا است. مطالعات نشان می‌دهند که آغازگری موجب بهبود پیش‌بینی دما در اقیانوس اطلس شمالی می‌شود (Smith et al., 2010; van Oldenborgh et al., 2012; Kim et al., 2012; Chen, 1997; Doblas-Reyes, 2013; Pohlmann, 2017; Boer et al., 2016). 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 عنوانی 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 يادشده از لینک زیر قابل دسترس می‌باشند:



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

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

داده‌های مدل‌های پروژه DCPP در دوره مشاهداتی (۱۹۸۹-۲۰۱۸) 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. برونداد 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

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

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

- 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 DCPP 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  $n = 1, 2, \dots, n$  برد  $\tau = 1, 2, \dots, m$  بر  $Y_{j\tau}$  پیش‌بینی است. عموماً در پیش‌بینی‌های اقلیمی 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  $\tau$  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 اربیی 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 برآورده می‌شود.

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

پیش‌بینی‌های ناواریب یا پیش‌بینی‌هایی که اربیی آنها حذف شده است با  $\hat{Y}_{j\tau}$  نشان داده و مطابق رابطه زیر حاصل تفریق مقدار رانش/انحراف محاسبه شده در رابطه (6) 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  $\hat{N}$  نشان دهنده تعداد پیش‌بینی‌ها است.  $X$  نشان دهنده متغیرهای پیش‌بینی برای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ شامل بارش و دما،  $obs$  مقادیر بارش و دمای مشاهداتی یا بازکاوی بهترتبه از داده‌های شبکه‌ای GPCC است.  $n$  تعداد اجراهای در دوره پایه است که هر یک شامل ده عضو با آغازگری‌ها و فیزیک مختلف می‌باشد. در معادله (2) برای محاسبه وزن هر یک از اجراهای، ابتدا صورت کسر (معکوس خطای اجرای آم) از رابطه (1) از طریق تفریق مقادیر میانگین گیری شده روی واریته‌های مختلف پیش‌بینی (rip) از مقدار میانگین دیدبانی شده محاسبه می‌شود که در آن rip realization مخفف initialization 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 (1)، 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 (1)، جمع وزن‌ها برابر واحد است (معادله ۲).

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

پس از مشخص شدن وزن هر سری از اجراهای پیش‌بینی وزنی بارش برای هر یک از ماههای دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ بر اساس معادله (3) بدست می‌آید.

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

- **تصحیح اربیی:** در مدل سازی‌های اقلیمی همانطور که برد پیش‌بینی افزایش می‌یابد، مدل رانشی/انحرافی<sup>۱</sup> 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 اربیی تصحیح شده هستند. برنامه جهانی پژوهش‌های اقلیمی سازمان جهانی هوافضایی دستورالعملی برای

نوسان دهه ای آرام ( $\text{PDO}^5$ ) به عنوان برونداد مدل‌های DCPP در دسترس قرار داشته و وجود تنابع 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 جنوب 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 بین‌المللی 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؛ ۲۰۱۹-۱۹۶۰). بررسی سری بارش میانگین کشور در دوره ۲۰۱۹ 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 اریبی استفاده از "ازیابی متقابل"<sup>۱</sup> 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 اریبی ماهانه شبیه سازی شده بارش توسط مدل‌ها در دوره گذشته در مقایسه با داده‌های پایه مشاهداتی GPCC محاسبه شد. مقادیر محاسبه اریبی برای تصحیح داده‌های پیش‌بینی مدل برای سال‌های آینده استفاده می‌شود. برای بررسی توانمندی مدل از نمایه‌های آماری اریبی، مجدور میانگین مربعات خطأ<sup>۲</sup> (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسن استفاده شده است. برای ارزیابی نتایج مدل از دو ضریب نش-ساتکلیف<sup>۳</sup> ( $E_{NS}$ ) 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.

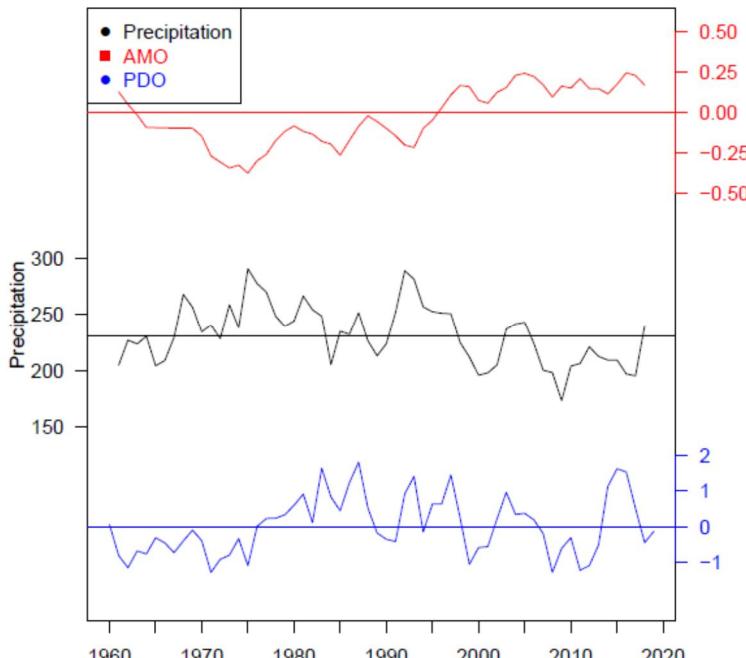
$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2} \quad (10)$$

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

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 ( $AMO^4$ ) و

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



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

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

p-value	نوسان نصف‌النهاری اطلس (AMO)		نوسان دهه‌ای آرام (PDO)		ضریب همبستگی
	R	p-value	R	p-value	
۰,۱۹۹	۰,۱۷۱	۰,۰۰۰۰۲۹	-۰,۵۲		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 ۵,۳۸۰ می باشد 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 rip‌های هر مدل در

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

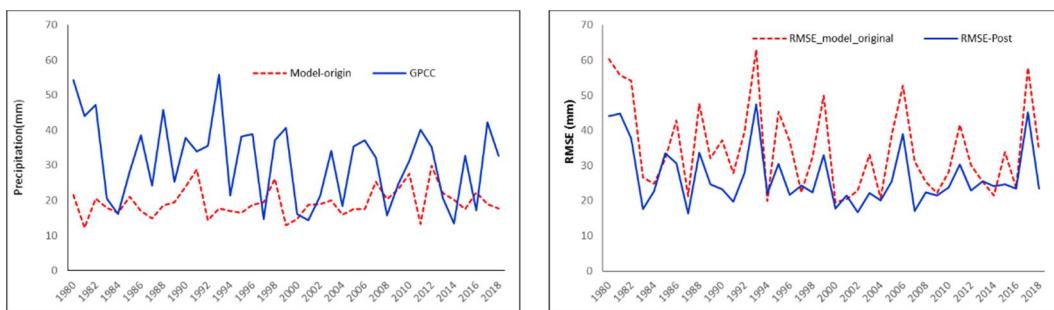
EC-Earth3	NorCPM1	MPI-ESM	MIROC6	مدل
۰,۲۵۷۳	۰,۳۸۰۵	۰,۱۳۶۳	۰,۲۲۶۰	وزن

در شکل ۳، به عنوان نمونه نمودار بارش سالانه MPI-ESM به همراه بارش بازکاوی (سمت چپ) و RMSE برای پیش‌بینی (سمت راست) آورده شده است. شکل نشان می

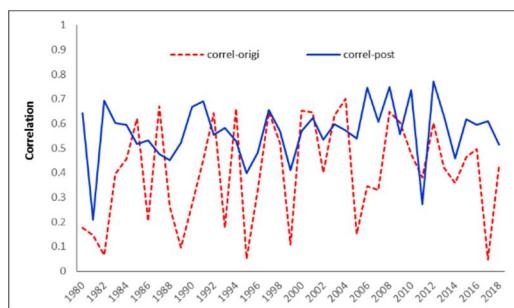
در شکل ۳، به عنوان نمونه نمودار بارش سالانه MPI-ESM به همراه بارش بازکاوی (سمت چپ) و RMSE برای پیش‌بینی (سمت راست) آورده شده است. شکل نشان می

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 پیش دید ۲ دارای اربیی خشک (کم برآورد) به مقدار ۱۱,۷ مم. 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 اربیی سایر مدل‌ها محاسبه شد و در پیش‌بینی‌های آینده آنها اعمال گردید. یک نمونه از تاثیر اعمال پس‌پردازش بر مقادیر همبستگی بارش



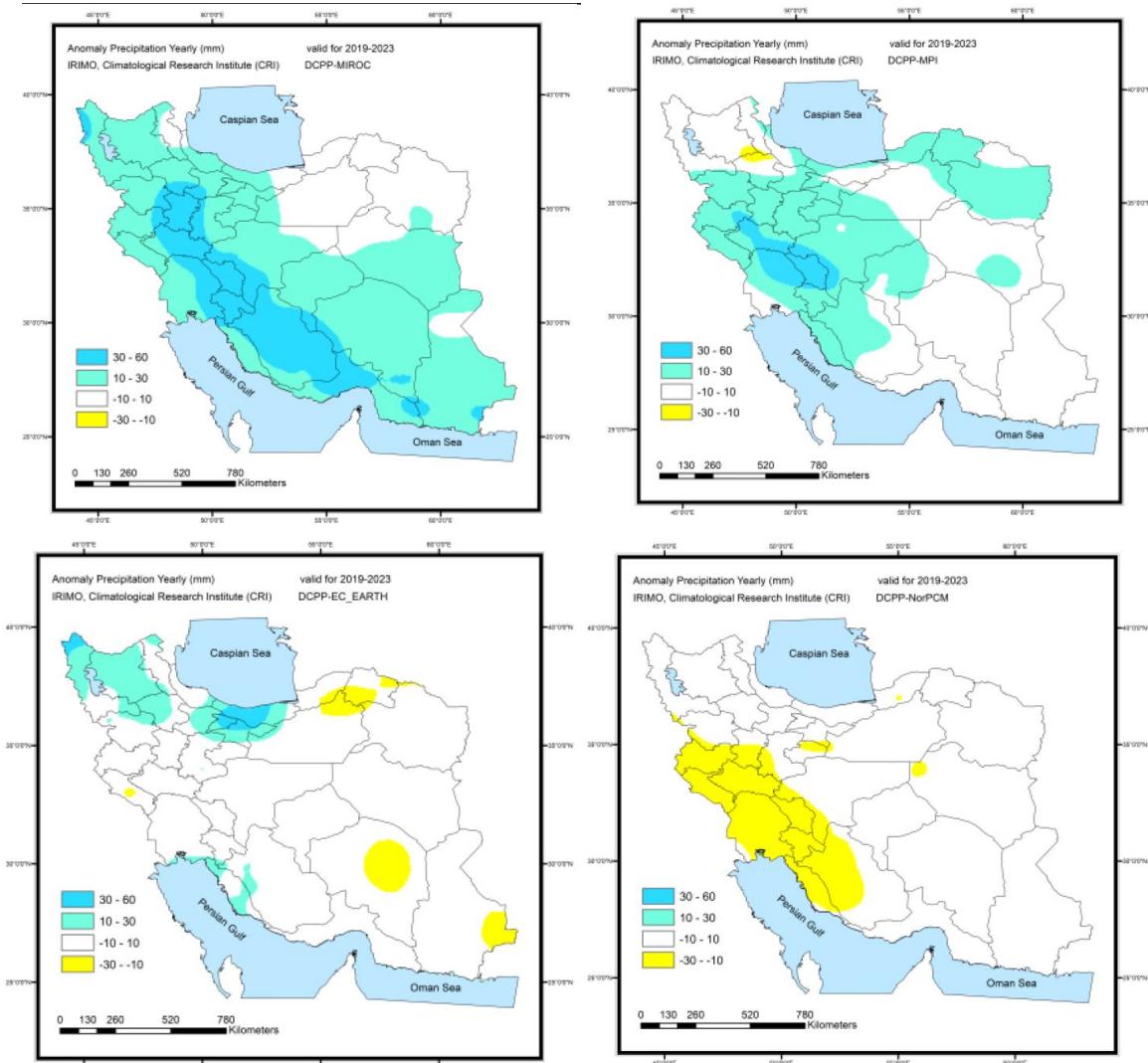
شکل ۳- مقادیر بارش شبه مشاهداتی کشور در دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۸ از پایگاه داده GPCC (چپ) و بارش پیش‌بینی شده توسط مدل MPI-ESM با پیش‌دید ۲ (lead time=2) (right) قبل و بعد از پس‌پردازش؛ بهبود RMSE در شکل مشاهده می‌شود.



شکل ۴- مقادیر همبستگی بین بارش کشور در دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۸ با پیش‌بینی شده توسط MPI-ESM با 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 نرمال 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 نرمال پیش‌بینی کرده است.

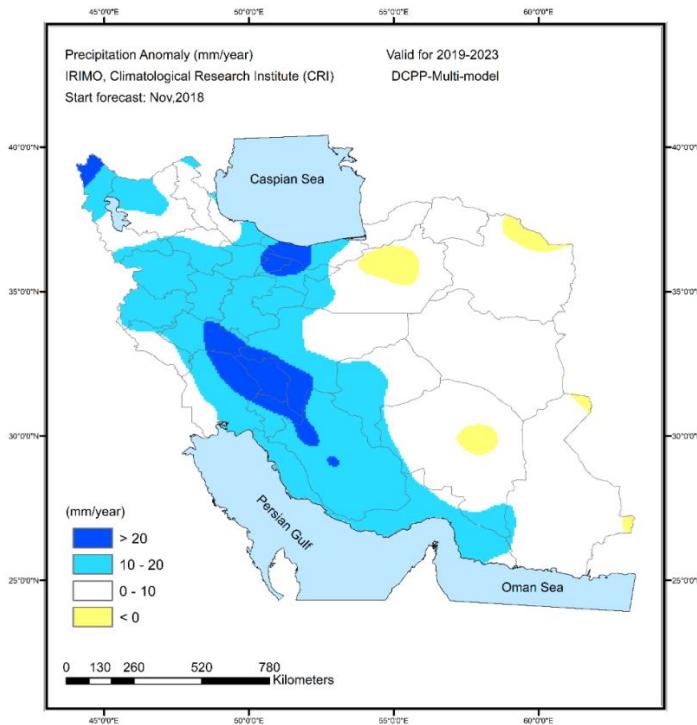
- پیش‌بینی به روش تصحیح اربیی: در شکل ۵، پیش‌بینی بی‌亨جاری میانگین بارش کشور توسط چهار مدل با داده‌های در دسترس برای دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۹ بر مبنای آغازگری در ماه نوامبر (s2018) نشان داده شده است. مطابق شکل، دو مدل MPI و MIROC بارش کشور را بیشتر از نرمال پیش‌بینی کرده‌اند که بارش در مناطقی از زاگرس بیشتر از نرمال است. مطابق پیش‌بینی مدل NorCPM، هیچ بخش از



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

از آنجا که آغازگری مدل‌ها در پیش‌بینی یادشده نوامبر ۲۰۱۸ است، لذا در شکل بارش‌های سنگین رخداده 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.

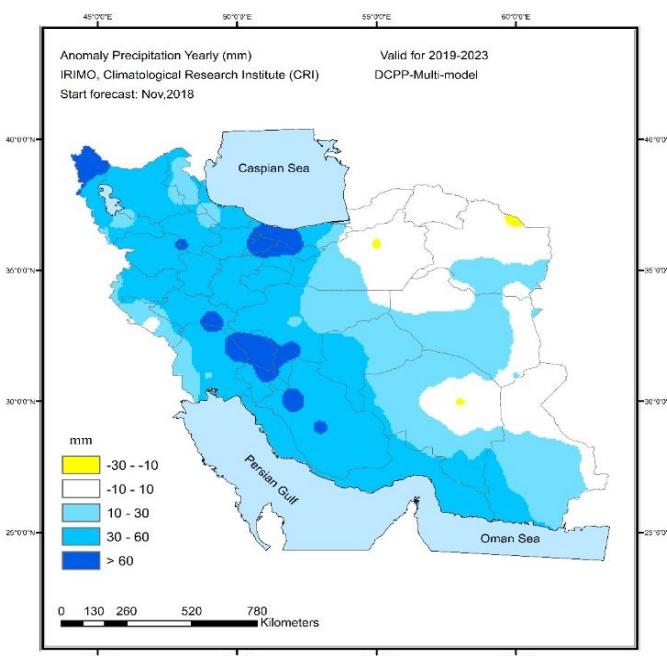
پیش‌بینی بی‌هنگاری بارش حاصل از میانگین حسابی چهار مدل در شکل ۶ آورده شده است. مطابق شکل بارش در نیمه غربی کشور به استثنای بخش‌هایی از شمال غرب- بیشتر از نرمال خواهد بود. در همین دوره بی‌هنگاری بارش در نیمه شرقی اغلب در طبقه نرمال تا کمتر از نرمال پیش‌بینی شده است.



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

بیش از نرمال خواهد بود. در بخش‌هایی از شرق – شمال شرق کشوربارش در محدوده نرمال تا کمتر از نرمال پیش‌بینی شده است.

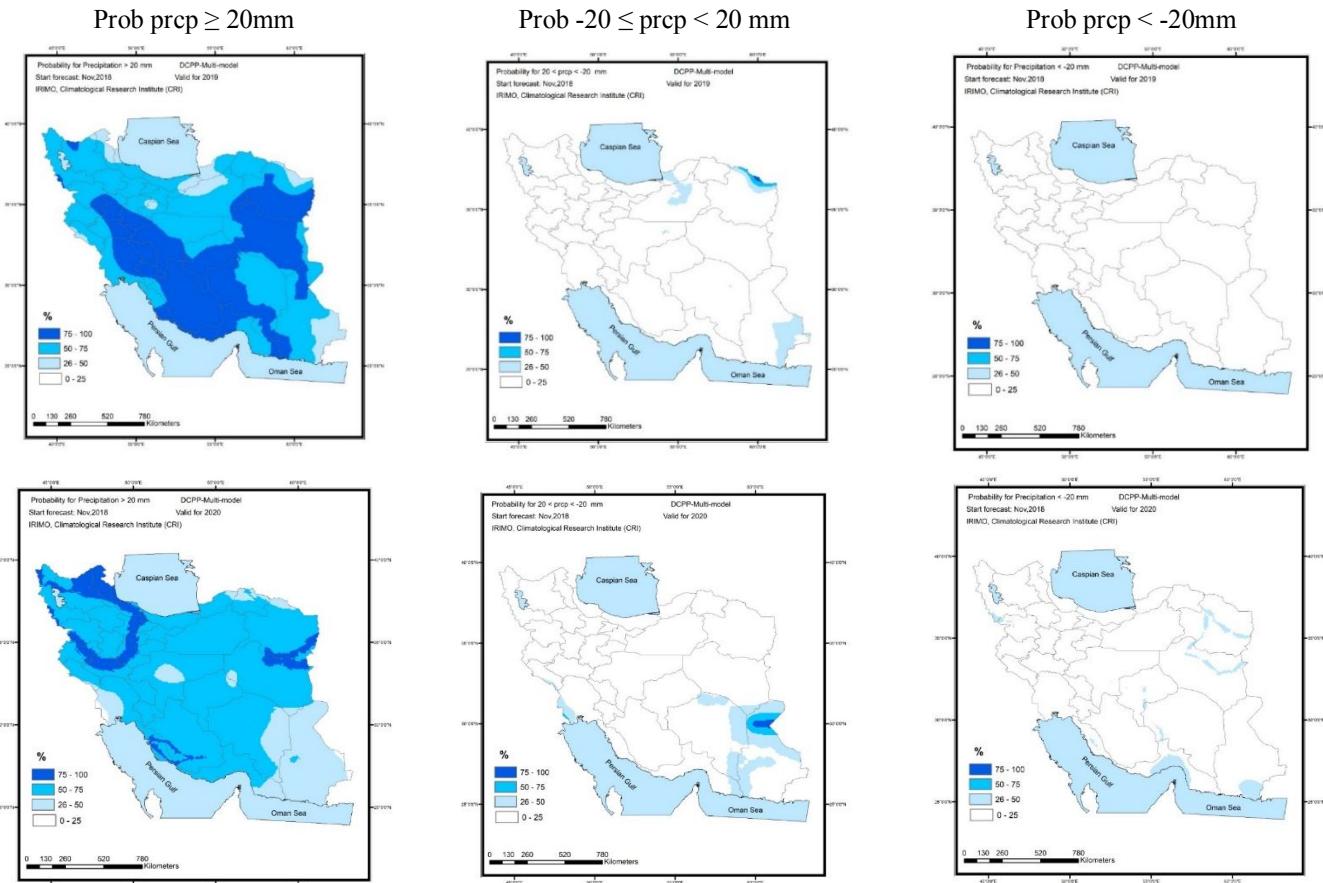
- پیش‌بینی به روش وزنی: از مقادیر جدول ۳ برای پیش‌بینی وزنی دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ استفاده شد (شکل ۷). مطابق شکل در دوره پنج ساله مورد بررسی، بارش در نیمه غربی کشور به طور میانگین



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

احتمالاتی دوره ۲۰۲۳-۲۰۱۹ 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 DCPP دارای اعضا (واریته‌ها) مختلفی از پیش‌بینی هستند، لذا در این قسمت پیش‌بینی



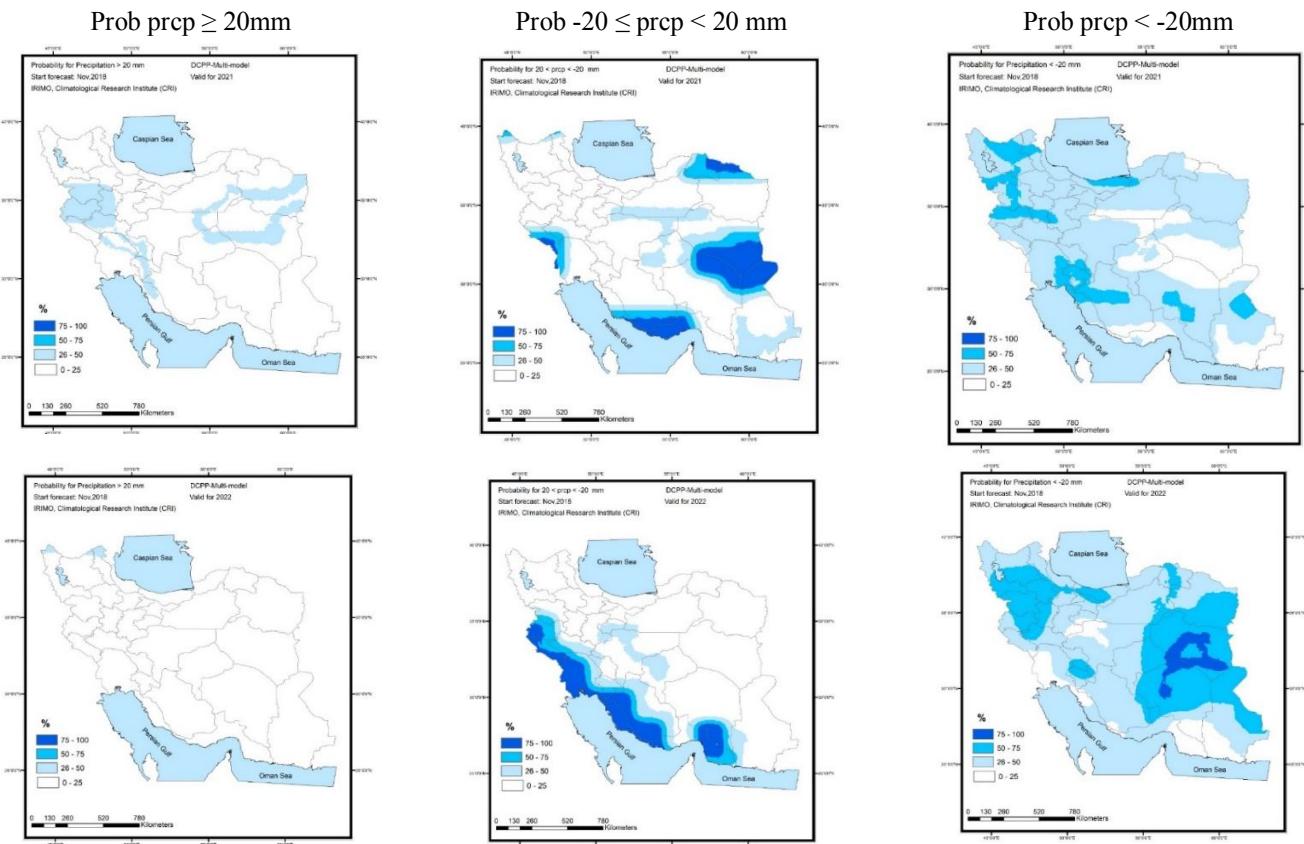
شکل ۸- پیش‌بینی احتمالاتی بی‌هنگاری بارش سال ۲۰۱۹ (بالا) و ۲۰۲۰ (پایین) با لحاظ مدل‌ها و واریته‌های مختلف بر مبنای اجرای ۲۰۱۸ برای سطوح احتمالی کمتر از نرمال (راست)، نرمال (وسط) و بیشتر از نرمال (چپ).

نشده است. در سال ۲۰۲۰ در مناطق بسیار محدودی در شمال غرب و شمال شرق با احتمال بین ۱۰۰ تا ۷۵ 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 عمده‌تر در محدوده کمتر از نرمال تا نرمال قرار دارد، به طوریکه 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،

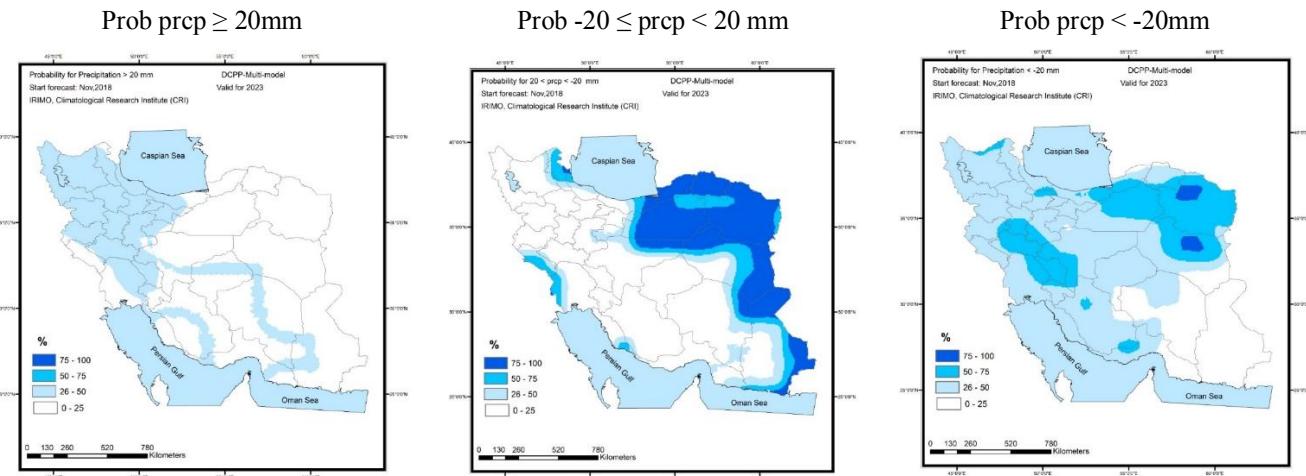
مطابق شکل‌های ۸ تا ۱۰ می‌توان گفت که در روش پیش‌بینی احتمالاتی، بیشترین احتمال وقوع در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ مربوط به طبقه بارشی بیش از نرمال است، به طوریکه در سال ۲۰۱۹ تقریباً در تمامی مناطق کشور با احتمال بین ۵۰ تا ۷۵ درصد بارش بیشتر از نرمال بوده و در حدود نیمی از مساحت کشور نیز با احتمال بین ۷۵ تا 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 طبقه بیشتر از نرمال بیشتر است. در مجموع بر اساس پیش‌بینی احتمالاتی داده‌های تصحیح شده ۲۰۱۸، 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 شمال‌شرق، شرق، جنوب، جنوب‌غرب و نوار شمال‌غربی کشور، احتمال وقوع آن تا طبقه ۷۵–۱۰۰ 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



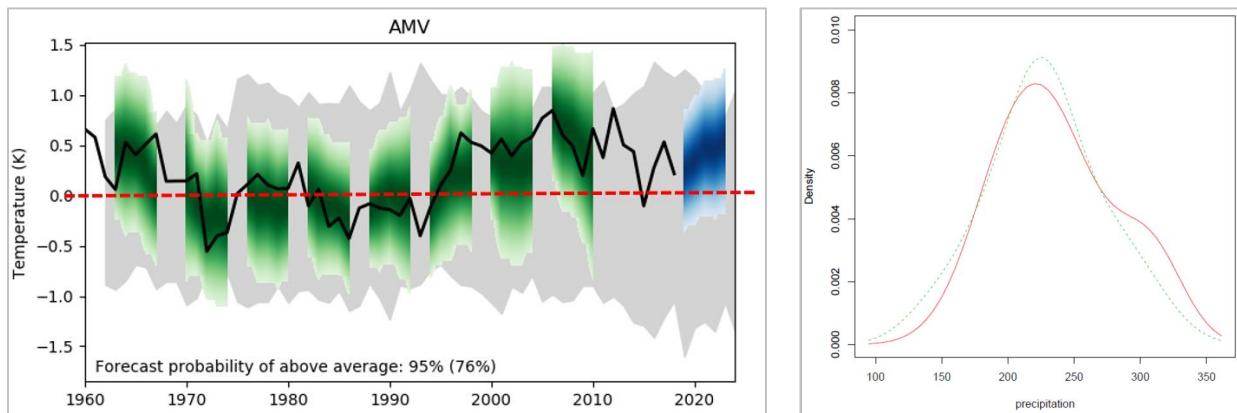
شکل ۹- پیش‌احتمالاتی بی‌هنگاری بارش سال ۲۰۲۱ (بالا) و ۲۰۲۲ (پایین) با لحاظ مدل‌ها و واریته‌های مختلف بر مبنای اجرای ۲۰۱۸ برای سطوح احتمالی کمتر از نرمال (راست)، نرمال (وسط) و بیشتر از نرمال (چپ).



شکل ۱۰- پیش احتمالاتی بی‌هنگاری بارش سال ۲۰۲۳ با لحاظ مدل‌ها و اوریته‌های مختلف بر مبنای اجرای ۲۰۱۸ 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.

- روش دورپیوندی: شکل ۱۱ فراوانی بارش کشور در فازهای سرد و گرم دورپیوند AMV (یا AMV) و پیش‌بینی دورپیوند مذکور را در دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ نشان می‌دهد. در نمودار توزیع فراوانی بارش (شکل ۱۱ چپ)، تفاوت برای چندک‌های ۱۱، ۰،۰۹، ۰،۰۹۵ و ۰،۹۹ معنی دار است (نتایج آزمون آورده نشده‌اند).



شکل ۱۱- راست: فراوانی بارش کشور در فاز سرد(قرمز) و گرم(سبز) در 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 اربی، وزنی، احتمالاتی و دورپیوند، درج شده است؛ در

## جدول ۴- پيش‌بييني ميانگين بارش در دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ با استفاده از چهار روش استفاده شده در اين پژوهش

روش	پيش‌بييني 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	پيش‌بييني بارش سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در طبقه بيش از نرمال و در سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳ عمدتاً در طبقه کمتر از نرمال تا نرمال قرار دارد.
دورپیوند	ميانگين بارش در دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ در محدوده کمتر از نرمال

گيرد، تاثير دورپیوندهای دهه‌ای بر بارش بررسی شد که تاثير دورپیوند AMO به صورت معکوس و معنی‌دار بود. يافته‌ها نشان دادند که در مجموع ميانگين بارش کشور در دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ در محدوده کمتر از نرمال است؛ با توجه به اينکه بارش کشور در دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در محدوده نرمال تا بيشتر از نرمال بوده است، لذا انتظار می‌رود در سه سال باقیمانده در محدوده کمتر از نرمال بوده و کشورمان کم‌بیش با خشکسالی مواجه باشد. يافته‌های اين پژوهش می‌تواند به اتخاذ سياست‌های ملي برای سازگاری با کم‌بارشی و کاهش پیامدهای خشکسالی و تدوین برنامه توسعه هفت‌م (۱۴۰۵-۱۴۰۱) بر مبنای محدودیت‌های خشکسالی و تغيير اقلیم کمک نموده و مورد استفاده قرار گيرد.

### تشکر و قدردانی

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

### جمع‌بندی

سازمان جهانی هواشناسی و مراکز تحقیقاتی بین‌المللی هواشناسی همواره در پی حذف خلاء موجود بین پيش‌بييني‌های فصلی (برد زمانی ماهانه تا کمتر از یک سال) و پيش‌نگري‌های اقلیمي (برد زمانی بیشتر از یک دهه) بوده اند. در راستاي نيل به هدف فوق، برنامه جهانی پژوهش‌های اقلیمي<sup>۱</sup> سازمان جهانی هواشناسی، اولین پيش‌بييني کاربردی از "پروژه پيش‌بييني دهه ای اقلیم"<sup>۲</sup> 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 و مرکز پیشرو پيش‌بييني بلندمدت‌هادلی انگلیس منتشر می‌شود. هدف این پژوهش پيش‌بييني بارش دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۳ کشور با استفاده از چهار روش تصحیح اریبی، وزنی، احتمالاتی و تاثير دورپیوندها بر اساس مدل‌های DCPP آغازگری شده در نوامبر ۲۰۱۸ است که داده‌های آن در می‌۲۰۱۹ منتشر گردید. پس پردازش برونداد مدل‌ها بر اساس پيش‌بييني‌های تاریخي DCPP در دوره ۳۰ سال گذشته (۱۹۸۹-۲۰۱۸) انجام شد. برای افزایش اطمینان به پيش‌بييني پنج ساله که می‌تواند مبنای تصمیم‌گيري‌های 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 Esfezari 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. Moriasi, 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., Kushner, 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>



