تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال سیزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶
Volume 13, No. 4, Winter 2018 (IR-WRR)
۳۸-۲۸

کاربست مدل‌های همادی آمریکای شمالی در پیش‌بینی فصلی بارش گستره‌ی ایران

حسین نجفی[۱]، علیرضا مساح بوانی[۲*]، پرویز ایران نژاد[۳] و اندرو ویلیام رابرتسون[۴]

چکیده

ارزیابی و تحلیل برونداد مدل‌های گردش کلی جفت‌شده جو- اقیانوس در پیش‌بینی فصلی متغیرهای اقلیمی توجه جهانی را به‌خود جلب کرده است. در کشور ایران نیز در صورت مشخص شدن مهارت مناسب سامانه‌های پیش‌بینی فصلی دینامیکی اقلیمی در یک دوره بلندمدت می‌توان از پیش‌بینی‌های فصلی بهنگام در کمک به تصمیم‌سازان در برنامه‌ریزی فصلی و ماهانه استفاده نمود. در این پژوهش، برونداد ۸ سامانه پیش‌بینی همادی از فاز یک پروژه همادی چندمدله آمریکای شمالی متشکل از سامانه‌های همادی سازمان ملی فضایی و هوانوردی (ناسا)، مرکز ملی اقیانوس و جو، مراکز ملی پیش‌بینی‌های زیست‌محیطی (ایالات متحده آمریکا)، مرکز زیست‌محیطی کانادا و آزمایشگاه دینامیک شاره‌های ژئوفیزیکی برای ارزیابی پیش‌بینی فصلی بارش کشور ایران مورد استفاده قرار گرفته است. این تحلیل برای نیمه اول سال آبی که بیش‌ترین سهم از مجموع سالیانه بارش در بیش‌تر محدوده مورد مطالعه را به‌خود اختصاص می‌دهد، انجام و ارائه شده است. بدین‌منظور اریبی و همبستگی بی‌هنجاری‌های بارش برونداد مدل‌های همادی آمریکای شمالی برای سه فصل و در سه زمان انتظار پیش‌بینی نسبت به یک مجموعه داده مرجع در دوره ۱۹۸۳-۲۰۱۳ محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد مهارت مدل‌های مختلف آمریکای شمالی در پیش‌بینی فصلی بارش حوزه‌های آبریز سی‌گانه (درجه ۲) کشور ایران یکسان نیست. هم‌چنین، همبستگی برونداد بارش مدل‌های آمریکای شمالی با داده‌های برآورد شده سنجش از دور بر اساس شبکه عصبی مصنوعی برای داده‌های رکورد اقلیمی بارش (مرجع) برای کلیه فصول مورد بررسی در زمان انتظار صفر و برای فصل (اکتبر تا دسامبر) در زمان انتظار یک و دو ماه نیز قابل ملاحظه است. در حوزه‌های آبریز جنوب غرب کشور، ضریب همبستگی بی‌هنجاری‌های بارش بعضی از مدل‌های آمریکای شمالی بدون اعمال هر گونه پس‌پردازشی بالای ۰/۶ برآورد گردید. اریبی مدل‌های ارزیابی شده نیز در اکثر سلول‌های واقع در کشور ایران بین ۱ تا ۱- میلی‌متر در روز است. نتایج این تحقیق، اهمیت پس‌پردازش و بهره‌گیری از نقاط قوت هر یک از مدل‌های همادی آمریکای شمالی را به‌صورت ترکیبی در پیش‌بینی بارش کشور ایران نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: سامانه‌های پیش‌بینی فصلی، مدل‌های همادی آمریکای شمالی، ارزیابی مدل‌های گردش کلی جفت‌شده جو- اقیانوس، پیش‌بینی فصلی بارش، کشور ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۱/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۳/۱۲

۱- کاندیدای دکتری مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران
۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران
۳- دانشیار گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۴- مدیر گروه اقلیم، مؤسسه پژوهش‌های بین‌المللی برای اقلیم و جامعه، مؤسسه زمین، دانشگاه کلمبیا، پلسیدز، ایالات متحده آمریکا
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان خرداد ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

Application of North American Multi-Model Ensemble for Iran's Seasonal Precipitation Forecasts

H. Najafi [1], A.R. Massah Bavani[2], P. Irannejad[3] and A. Robertson[4]*

Abstract

The analysis and assessment of climate model outputs for Atmosphere-Ocean General Circulation have become of great global interest. If the appropriate skill of the dynamic seasonal climate forecasts is approved over the long-term (hindcast period) in Iran, decision makers can be supported by real-time seasonal forecast systems for monthly and seasonal planning. In this research, the output of 8 models enrolling in the North American Multi-Model Ensemble (NMME) including NASA, National Centers for Environmental Prediction (NCEP), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Environment Canada models, and Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) models are used for evaluating seasonal precipitation forecasts over Iran. Analyses are provided for the first 6 months of the water-year when the proportion of precipitation is the highest of total annual rainfall over many parts of the country. The bias and anomaly correlation of NMME precipitation outputs are calculated for three seasons (OND, DJF, JFM) in different lead times with respect to a reference data over the period of 1983-2013. The results showed that the skill of NMME seasonal precipitation forecasts is not similar over Iran's 30 main river basins. Moreover, the anomaly correlation of NMME individual models is significant for all seasons in lead 0 over many river basins and also for 1-month and 2-month lead time for OND. For the Southwest Iran the raw NMME outputs without any post-processing exhibited anomaly correlation coefficient of more than 0.6. The bias between -1 to +1 mm/day was identified over almost all grid points within the study area. The results of the research addressed the need to apply post-processing methods and develop multi-model ensembles to benefit from high skills in each individual model for forecasting seasonal amount of precipitation in Iran.

Keywords: Seasonal Forecast Systems, North American Multi-Model Ensemble (NMME), Evaluating Atmosphere-Ocean General Circulation Models, Precipitation Forecast, Iran.

Received: February 10, 2017

Accepted: June 2, 2017

1- Ph.D. Candidate in Water Resources Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran
2- Associate Professor, Irrigation and Drainage Department, College of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran. Email:armasah@ut.ac.ir
3- Associate Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran
4- Senior Research Scientist and Head of Climate Group, International Research Institute for Climate and Society (IRI), Earth Institute, Columbia University, Palisades, USA
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

با گذشت بیش از سه دهه تحقیق در زمینه توسعه مدل‌های گردش کلی جفت‌شده جو- اقیانوس[۱]، کاربست این مدل‌ها در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، انرژی و کشاورزی روزبه‌روز آشکارتر می‌شود. این مدل‌ها با در نظر گرفتن شرایط آغازین جو، اقیانوس و سطح خشکی به حل عددی معادلات ناویر استوکس[۲] به صورت گسسته‌سازی مکانی- زمانی پرداخته و اجزای سامانه زمین را مدل‌سازی می‌کنند. مدل‌های گردش کلی جفت‌شده جو- اقیانوس می‌توانند پیش‌بینی‌های فصلی از بی‌هنجاری‌های متغیرهای اقلیمی را ارائه می‌نمایند. این سامانه‌های همادی، تغییرات در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را مشابه مدل‌های گردش کلی جفت شده جو- اقیانوس تغییر اقلیم لحاظ می‌نمایند. برخلاف مدل‌های گردش کلی جفت‌شده جو- اقیانوس تغییر اقلیم که دورنمایی از بی‌هنجاری‌های متغیرهای اقلیمی در چشم‌انداز آتی (بالای ۳۰ سال) را ارائه می‌نمایند، تفاوت سامانه‌های پیش‌بینی‌های فصلی در تولید پیش‌بینی‌های دینامیکی در زمان‌های انتظار پیش‌بینی[۳] با افق ۱۱ ماه (ماهانه) است. در تولید این پیش‌بینی‌ها، چشمه‌های عدم‌قطعیت[۴] بخصوص با در نظر گرفتن شرایط آغازین به‌صورت تولید چندین عضو همادی[۵] لحاظ می‌گردد. تعیین مهارت مدل‌های دینامیکی باید برای فصول هدف در زمان‌های انتظار و شرایط آغازین مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد. پس از ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی فصلی دینامیکی در شبیه‌سازی نوسانات بین‌سالی و بی‌هنجاری‌های ماهانه و فصلی، می‌توان از این پیش‌بینی‌ها در توسعه سامانه‌های پشتیبان از تصمیم بهنگام در خدمت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، تخصیص به بخش کشاورزی و تولید انرژی‌های پاک کمک گرفت.

مراکز عملیاتی متعددی در سطح جهانی نسبت به تولید پیش‌بینی‌های همادی فصلی اقلیمی به‌صورت دینامیکی اقدام می‌ورزند. از مراکز اروپایی پیشرو در این زمینه می‌توان به مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت وضع هوا و اداره هواشناسی پادشاهی متحده[۶] اشاره کرد. سامانه‌های همادی توسعه داده شده در این دو مرکز ارزیابی شده و در انتشارات معتبر بین‌المللی به چاپ رسیده است (Mac Lachlan et al., 2015; Molteni et al., 2011; Kim et al., 2012). دیگر مرکز معتبر جهانی ارائه‌کننده پیش‌بینی‌های فصلی واقع در کره جنوبی (مرکز اقلیمی همکاری‌های اقتصادی آسیا- اقیانوسیه[۷]) است که به ترکیب برونداد مجموعه‌ای از سایر مدل‌ها اقدام نموده و پیش‌بینی‌های فصلی سه و شش‌ماهه بارش و دما تولید می‌نماید (Min et al., 2014). اما دسترسی به برونداد این مدل‌ها چه برای دوره بازپیش‌بینی (پیش‌بینی گذشته‌نگر)[۸] یا به‌صورت عملیاتی تحت پروتکل‌هایی است که به راحتی در اختیار عموم نیست. مدل‌های توسعه داده شده در کشورهای آمریکای شمالی در سال‌های اخیر به دلیل تسهیل در استفاده از برونداد این مدل‌ها برای کلیه کاربران در سطح جهان، توجه محققان بین‌المللی را جلب نموده است (Kirtman et al., 2011). این مدل‌ها در حال حاضر به‌صورت عملیاتی، پیش‌بینی بهنگام تولید می‌کنند. پروتکل‌های خاصی با هدف هماهنگی مراکز مختلفی که در این پروژه همکاری می‌نمایند در سال‌های گذشته تعریف شده است. این پروتکل‌های مشخص بین مراکز مختلف از جمله سازمان ملی فضایی و هوانوردی (ناسا)[۹]، مرکز ملی اقیانوس و جو[۱۰]، مراکز ملی پیش‌بینی‌های زیست‌محیطی (ایالات متحد)[۱۱]، مرکز زیست‌محیطی کانادا[۱۲] و آزمایشگاه دینامیک شاره‌های ژئوفیزیکی[۱۳] تدوین شده است. به‌عنوان مثال، پیش‌بینی فصلی همادی تولیدشده هر مدل وابسته به این مراکز باید حداقل دارای ۱۰ عضو همادی باشد. برونداد هر مدل باید در یک دوره بازپیش‌بینی مشترک برای یک دوره ۳۰ ساله توسط هر مرکز ارائه گردد. بدین شکل توسعه همادی چندمدلی[۱۴] (ترکیب برونداد چندین مدل انفرادی) برای کمّی‌سازی منابع عدم‌قطعیت با تعداد بسیار زیادی اعضای همادی تولید شده بر اساس مدل‌ها با ساختار متنوع میسر می‌گردد. دسترسی به دو مجموعه داده بازپیش‌بینی و پیش‌بینی‌های عملیاتی فاز یک از پروژه مدل‌های همادی آمریکای شمالی[۱۵] از اواخر سال ۲۰۱۱ میلادی برای کلیه کاربران فراهم شده است.

در خصوص بررسی پیش‌بینی‌پذیری و مهارت مدل‌های همادی آمریکای شمالی، تحقیقات به‌تازگی برای کشورهای مختلف جهان انجام شده است. در ایالات متحده آمریکا، این مدل‌ها برای منطقه غربی این کشور برای بارش و دما مقیاس‌کاهی[۱۶] شده و نتایج نشان می‌دهد که تغییرات فصلی و جغرافیایی به‌صورت مقیاس‌کاهی‌شده قابل استخراج است که در برونداد خام با تفکیک مکانی ۱ درجه مشخص نمی‌شود (Barbero et al., 2016). در شرق آفریقا، نشان داده شده است که مهارت مدل‌های آمریکای شمالی برای بارش محدود بوده و فقط در شمال کشور اتیوپی از لحاظ آماری قابل توجه بوده و از ۲ ماه قبل قابل پیش‌بینی است. قابلیت اطمینان این مدل‌ها برای دما در مقایسه با بارش در شرق آفریقا بیش‌تر است (Shukla et al., 2016). بررسی پیش‌بینی بارش مدل‌های آمریکای شمالی برای مناطق هیدروکلیماتولوژی هفده‌گانه کشور چین (Ma et al., 2015) نشان داده است که مهارت مدل‌ها به منطقه جغرافیایی هر حوزه آبریز وابسته بوده و از فصلی به فصل دیگر تغییر می‌کند. بر اساس نتایج ارائه شده در کشور چین، مهارت مدل‌های آمریکای شمالی در پاییز و زمستان بیش‌تر از تابستان ارزیابی شده است. این پژوهش، هم‌چنین نشان داد که مدل‌ها در کلیه مناطق، به

جز بخش جنوب‌شرقی که تحت تأثیر مانسون می‌باشد، مهارت بالایی دارند. افزون بر این، ارزیابی شاخص‌های محاسبه شده برای مدل‌های آمریکای شمالی در دوره بازپیش‌بینی در ۱۷ حوزه آبریز کشور چین تفاوت قابل توجهی ندارد. اما با در نظر گرفتن زمان انتظار یک ماه، مهارت مدل CFSv2 به طرز محسوسی در مقایسه با سایر مدل‌ها در اکثر مناطق کشور چین بیش‌تر است.

مطالعات مختلفی در زمینه پیش‌بینی فصلی بارش و شاخص‌های خشکسالی در کشور ایران انجام شده است که غالباً بر مبنای توسعه روش‌های آماری یا داده- محور بوده است. به‌عنوان مثال، پیش‌بینی بارش فصلی (دسامبر تا می) در خراسان بزرگ با استفاده از روابط همبستگی به دست آمده بین بارش متوسط منطقه ای و پارامتر های جو بالا در بازه های زمانی مختلف به‌کمک مدل رگرسیون گام‌به‌گام مورد ارزیابی قرار گرفت (Fallah Ghalhary et al., 2009). در پیش‌بینی بـــارش پـــاییزه، کاربست منفرد و ترکیب پنج روش‌شناسی شامل شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی رگرسیون تعمیم‌یافته، رگرسیون بردار پشتیبان، نزدیک‌ترین K همسایه[17] و رگرسیون خطی با ساختار بهینه برای زیرحوضه سیمره در حوضه درجه ۲ کرخه در غرب کشور مورد بررسی قرار گرفت (Modaresi et al., 2015). دیگر مطالعه، استفاده از ماشین بردار پشتیبان در پیش‌بینی شاخص خشکسالی هواشناسی بارش استاندارد شده است که برای دوره‌های سه و شش ماهه پاییز و زمستان نقاط مؤثر بر بارش حوضه سدهای طالقان و ماملو در تهران مورد بررسی قرار گرفت (Nikbakht Shahbazi et al., 2012). نتایج مطالعات یادشده در اکثر موارد دقت مناسبی را در پیش‌بینی فصلی بارش نشان داده است. اما در این مطالعات، صرفاً از شاخص‌هایی چون نوسانات جنوبی یا نینو مشاهداتی استفاده شده و از برونداد مدل‌های دینامیکی پیش‌بینی فصلی استفاده نشده است. بدین‌منظور، مهارت مدل‌های دینامیکی باید طی یک دوره بلندمدت در گام اول برای کشور ایران تحلیل گردد.

باید توجه داشت که کاربست پیش‌بینی‌های فصلی دینامیکی به‌طور مشخص در توسعه سامانه‌های پیش‌بینی خشکسالی، پیش‌بینی فصلی و ماهانه میزان ورودی به مخازن کشور، برنامه‌ریزی تخصیص در طول سال آبی، فروش حجمی آب به بخش کشاورزی، بهره‌برداری از مخازن زنجیره‌ای و بازار برق است. تلاش‌ها در این خصوص در گام اول مستلزم ارزیابی مهارت سامانه‌های همادی پیش‌بینی فصلی در زمان‌های انتظار با افق فصلی و ماهانه و در آغازگری‌های مختلف می‌باشد. لذا در این پژوهش، برونداد ۸ سامانه پیش‌بینی فصلی دینامیکی اقلیمی از پروژه همادی مدل‌های آمریکای شمالی برای بارش در گستره‌ی ایران ارائه خواهد شد.

۲- منطقه مورد مطالعه، داده‌ها و روش‌شناسی تحقیق

منطقه مورد مطالعه، محدوده موقعیت جغرافیایی ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی و ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی شامل کشور ایران و بخشی از کشورهای همسایه است. برای ارزیابی عملکرد مدل‌های گردش کلی جفت‌شده جو- اقیانوس در پیش‌بینی فصلی بارش در گستره‌ی ایران، از برونداد پیش‌بینی‌های همادی مدل‌های آمریکای شمالی استفاده شد. برونداد این مدل‌ها برای یک دوره ۳۱ ساله (۱۹۸۳-۲۰۱۳) در آغازگری‌های[18] مختلف از درگاه برخط کتابخانه داده موسسه بین‌المللی اقلیم و جامعه[19] بارگیری شد (قابل دسترس از http://iridl.ldeo.columbia.edu //SOURCES/.Models/.NMME). میانگین برونداد اعضای همادی مدل‌های مورد استفاده در پروژه همادی آمریکای شمالی برای زمان‌های انتظار متفاوت متناسب با فصول هدف انتخابی بارگیری شد. جدول ۱ مشخصات مجموعه داده‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.

Table 1- Models and their correspondent characteristics used in this research from the North American Multi Model Ensemble (NMME) project

جدول ۱- مدل‌های استفاده شده در این تحقیق به‌همراه خصوصیات آن‌ها در پروژه همادی مدل‌های آمریکای شمالی (Kirtman et al., 2014)

Model Name	Ensemble members	Lead time (month)	Reference
CMC1-CanCM3	10	11	et al., 2013) (Merryfield
CMC2-CanCM4	10	11	
GFDL-CM2.1(aer04)	10	11	
GFDL-CMp2.5 (FLORA06)	12	11	2007) (Zhang et al.,
GFDL-CMp2.5 (FLORB01)	12	11	
NASA-GMAO	12	9	., 2012) (Vernieres
NCAR-CCSM4	10	11	(Gent et al., 2010)
NCEP-CFSv2	24 (28)	9	(Saha et al., 2010)

در این پژوهش، بارش برآوردشده از اطلاعات سنجش از دور بر اساس شبکه عصبی مصنوعی برای داده‌های رکورد اقلیمی (PERSIANN-CDR) به عنوان مجموعه داده مرجع در ارزیابی برونداد مدل‌های گردش کلی جفت‌شده جو- اقیانوس استفاده شده است. این مجموعه داده بر اساس اطلاعات فروسرخ سنجش از دوری است که با مقادیر ماهانه مجموعه داده پروژه بارش اقلیمی[20] جهانی میزان شده است (Ashoori et al., 2015). دقت و کارایی این مجموعه داده در تعدادی از کشورها از جمله کشور ایران به عنوان یک منطقه‌ی خشک و نیمه خشک در عرض‌های میانه نیز در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است که بـه عنوان مثال می‌توان بـه Katiraie-Boroujerdy et al. (2016), (2017) اشاره نمود. مقایسه این مجموعه داده با یکی از منسجم‌ترین شبکه ایستگاهی مشاهداتی موجود در کشور ایران (بیش از ۲۱۰۰ ایستگاه زمینی) به‌صورت تحلیـــل رونـــد بـــارش ســـالانه، شدت بارش و شاخص‌های حـــدی، عملکرد قابل قبول ایـــن مجموعـــه را نشان داده است (Katiraie-Boroujerdy et al., 2016). در مطالعه دیگر، این مجموعه داده با داده‌های ایستگاه- مبنای واحد پژوهش‌های اقلیمی[21] با تفکیک مکانی نیم‌درجه مقایسه شد و نتایج نشان داد در نیمه شرقی کشور ایران، مقادیر ماهانه PERSIANN-CDR حداکثر ۵ میلی‌متر با داده‌های CRU تفاوت داشته اما در بخش‌های غرب و شمال غـــربی کشـــور بین ۵ تا ۲۰ میلی‌متر در ماه بیش‌تر است (Katiraie-Boroujerdy et al., 2017). برای ارزیابی برونداد مدل‌های گردش کلی همادی آمریکای شمالی، مجموعه داده PERSIANN-CDR به تفکیک مکانی ۱ درجه بازشبکه شده‌اند.

۲-۱- صحت‌سنجی پیش‌بینی‌های فصلی مدل‌های دینامیکی برای متغیر بارش

به‌منظور ارزیابی خطای ساختاری مدل‌های گردش کلی جفت‌شده جو- اقیانوس مورد استفاده در این پژوهش، برونداد این مدل‌ها با یک مجموعه داده مرجع مقایسه می‌شود. این تحلیل در پاسخ به دو سؤال اساسی است: ۱) عملکرد سامانه‌های پیش‌بینی همادی مدل‌های انفرادی بر اساس معیارهای رایج صحت‌سنجی به چه شکل بوده است؟ ۲) آیا استفاده از پیش‌بینی‌های همادی تولید شده به‌صورت خام امکان‌پذیر است یا نیاز به اعمال پس‌پردازش روی داده‌های خام پیش‌بینی این مدل‌ها وجود دارد؟ پاسخ به دو سؤال یاد شده از طریق ارزیابی یک دوره بلندمدت مشخص خواهد شد. در این مقاله دو معیار برای ارزیابی برونداد این مدل‌ها محاسبه و تحلیل شده است: معیار متوسط مطلق خطا (رابطه ۱) برای بررسی دقت پیش‌بینی‌ها و ضریب همبستگی بی‌هنجاری (رابطه ۲) برای تعیین ارتباط بین پیش‌بینـی و مشاهدات. متوسط خطا بر اساس رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} y_k - o_k \qquad (۱)$$

که در آن، y_k و o_k زوج kام از n زوج پیش‌بینی و مشاهدات می‌باشند. همبستگی بی‌هنجاری فرم خاصی از تشخیص الگوی همبستگی است که توسط مراکز عملیاتی پیش‌بینی استفاده می‌شود. به دلیل در نظر گرفتن انحراف از میانگین (که معمولاً میانگین اقلیمی است) از این شاخص استفاده شده است. رابطه (۲) نحوه محاسبه همبستگی بی‌هنجاری را نشان می‌دهد. در هر سلول، مقادیر باردار در زمان میانگین‌گیری شده‌اند.

$$AC_c = \frac{\sum_{k=1}^{K}(y_k - \bar{y})(o_k - \bar{o})}{[\sum_{k=1}^{K}(y_k - \bar{y})^2 \sum_{k=1}^{K}(o_k - \bar{o})^2]^{1/2}} \qquad (۲)$$

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پیش‌بینی‌پذیری بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی در فصول مختلف

پیش‌بینی‌پذیری بارش بر اساس برونداد مجموعه‌ای از مدل‌های همادی آمریکای شمالی در ۳ فصل مختلف (OND، DJF و JFM) در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۱). بر اساس شکل ۱، همبستگی میان همادی مدل‌های پیش‌بینی فصلی آمریکای شمالی با داده‌های بارش برآورد شده در فصول مختلف نشان از قابلیت پیش‌بینی بالا در بیش‌تر مناطق کشور دارد. در فصول OND و DJF، این پیش‌بینی‌پذیری بخصوص در حوزه‌های آبریز واقع در شمال شرق و جنوب غرب کشور نمایان است. از سوی دیگر، شکل ۲ نشان می‌دهد که مهارت مدل‌های همادی آمریکای شمالی در پیش‌بینی بارش نیمه اول سال آبی در ایران متفاوت است. این تفاوت به دلیل ساختارهای فیزیکی متنوع این مدل‌ها در شبیه‌سازی برهم‌کنش جو- اقیانوس، نحوه تولید اعضای همادی، هسته دینامیکی و شیوه پارامترسازی‌های فیزیکی است. لذا لزوم توسعه همادی چند مدلی برای حوزه‌های آبریز کشور برای استفاده از مدل‌های متعدد مشخص است. بدین شکل می‌توان عدم‌قطعیت این مدل‌ها را نیز به‌نحوی کمّی‌سازی کرد و از مزیت تعداد اعضای همادی بیشتر برای در نظر گرفتن عدم‌قطعیت ذاتی سامانه زمین بهره برد.

قابل ذکر است که تحقیقات جدید روی منطقه‌ای متشکل از ایران و کشـــورهای همســـایه نشان داده است که پیش‌بینی‌های پس‌پردازش‌نشده از مجموع بارش DJF تعدادی از سامانه‌های پیش‌بینی فصلی دارای مهارت چندانی نیست (Ehsan et al., 2017) که به قابلیت این مدل‌ها در پیش‌بینی فصلی دورپیوند نوسانات اطلس

شمالی که تأثیر بسزایی در بارش زمستانه کشور ایران دارد نسبت‌دهی شده است (Dezfuli et al., 2010; Nasr Esfahani et al., 2008; Tabari et al., 2014)، اگرچه قابلیت پیش‌بینی این پدیده در مقیاس فصلی و شبیه‌سازی اثرات منطقه‌ای آن در مدل‌های گردش کلی دینامیکی کماکان مورد بحث محافل علمی جهانی است (Dunstone et al., 2016). البته همبستگی بی‌هنجاری محاسبه شده برای اکثر مدل‌های ارائه شده در شکل ۱ نشان می‌دهد که در فصل DJF، متوسط بارش در تعداد زیادی از حوزه‌های آبریز کل کشور در زمان انتظار صفر قابل پیش‌بینی است. اما در حوزه آبریز استراتژیکی چون دریاچه ارومیه، به‌طور مشخص مهارت مدل‌های همادی آمریکای شمالی در فصل DJF در مقایسه با داده مرجع مورد استفاده در این تحقیق مناسب برای تصمیم‌گیری در تخصیص آب نخواهد بود. بر خلاف حوزه آبریز دریاچه ارومیه، قابلیت پیش‌بینی حوزه‌های آبریز زهره- جراحی و کارون در جنوب غرب کشور بالا ارزیابی می‌گردد.

با در نظر گرفتن برونداد یک مدل به‌طور خاص می‌توان متوجه شد که همبستگی بی‌هنجاری‌ها در محدوده مورد مطالعه و فصول مختلف یکسان نیست. به‌عنوان مثال، همبستگی بی‌هنجاری‌های مدل CCSM4 در منطقه جنوب شرق کشور در فصل OND متفاوت از DJF و JFM است (شکل ۱). یکی از دلایل آن می‌تواند تأثیرپذیری دینامیکی حوزه‌های آبریز از نوسانات بزرگ‌مقیاس با منشا متفاوت در هر فصل خاص و پیش‌بینی‌پذیری پدیده بزرگ مقیاس (جوی یا اقیانوسی) تأثیرگذار در مقیاس منطقه‌ای باشد. در یک فصل خاص نیز، عملکرد مدل‌های متفاوت برای یک حوزه آبریز مشابه نیست. به‌عنوان مثال مطابق نتایج ارائه شده در شکل ۱، همبستگی بی‌هنجاری بارش DJF در حوضه حله برای مدل‌های CCSM4 و CFSv2 قابل‌توجه است اما همبستگی بارش برآوردشده از سنجش از دور مجموعه داده PERSIANN-CDR با برونداد مدل GFDL-FLORB برای همین حوضه و در فصل مذکور تقریباً برابر صفر است. این مسئله اهمیت ارزیابی برونداد خام مدل‌های منفرد را به تفکیک هر حوضه مشخص و بر اهمیت توسعه همادی چند مدلی به‌صورت ترکیب برونداد مدل‌های منفرد تأکید می‌کند.

در شکل ۲، اریبی پنج سامانه از مدل‌های آمریکای شمالی در حوزه‌های آبریز درجه ۲ کشور ایران نشان داده شده است. این اریبی به‌صورت متوسط در دوره ۱۹۸۳-۲۰۱۳ برای مجموع بارش ۳ فصل OND، DJF و JFM است. اریبی محاسبه شده با در نظر گرفتن متوسط اعضای همادی هر مدل در زمان انتظار صفر و کسر آن از داده‌های PERSIANN-CDR به عنوان داده‌های مشاهداتی بارش محاسبه شده است. بر اساس شکل ۲، استنباط می‌شود که اریبی برونداد مدل‌های آمریکای شمالی غالباً در امتداد رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس است که دارای ناهمواری پیچیده است. به‌صورت کلی در اغلب مدل‌ها، مقادیر اریبی محاسبه شده در فصول DJF و JFM نسبت به فصل OND بیشتر است. مقادیر اریبی در حوزه‌های آبریز اکثر مناطق کشور زیر ۱ میلی‌متر در روز است. برونداد بارش بعضی از مدل‌ها در شمال کشور دارای اریبی مثبت و در حوزه‌های جنوب غرب کشور (کارون بزرگ، کرخه و زهره- جراحی) منفی است (مدل GFDL-aer04). بیشترین مقادیر اریبی بارش مدل NASA-GMAO به‌ترتیب در فصول JFM، DJF و OND است. اریبی مدل CCSM4 به‌صورت یک الگوی دوقطبی است. در حوزه‌های آبریز شمال غرب کشور مقادیر اریبی بین ۱/۴ تا ۲ میلی‌متر در روز به شکل تر و بین ۱ تا ۲ میلی‌متر در روز در حوزه‌های آبریز جنوب غرب کشور به‌صورت خشک است. این اریبی به‌خصوص در حوزه آبریز دریاچه ارومیه که از لحاظ مدیریت منابع آب و زیست‌محیطی در سال‌های اخیر توجه مسئولین کشوری را بخود جلب نموده در فصول DJF و JFM بیشتر از سایر مناطق است. اریبی مدل CFSv2 در کلیه فصول مورد بررسی دارای الگوی یکسان از لحاظ مکانی است. همچنین، اریبی این مدل در امتداد شمال شرق به شمال غرب و شمال غرب به جنوب غرب به‌صورت تر است. این اریبی در بیش از نود و پنج درصد از سلول‌های واقع در محدوده مورد مطالعه از ۲ میلی‌متر در روز تجاوز نمی‌کند.

۳-۲- پیش‌بینی‌پذیری بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی در زمان‌های انتظار مختلف

در حالت عملیاتی، تصمیم‌گیران می‌خواهند از ماه‌های قبل اطلاعاتی در خصوص وضعیت بارش در فصول آتی کسب نمایند. بدین منظور، پیش‌بینی‌های فصلی یا ماهانه با زمان انتظار برابر یا بیش از یک ماه باید مورد ارزیابی قرار گیرند. البته ارتباط زمان انتظار پیش‌بینی با مهارت یک مدل برای هر فصل هدف به قابلیت پیش‌بینی مکانی ذاتی (در حوزه‌های آبریز مختلف) و شرایط خاص آغازین جوی- اقیانوسی در کنار سازوکارها و سایر متغیرهای بزرگ‌مقیاس وابسته است. شکل ۳ نشان می‌دهد قابلیت پیش‌بینی حوزه‌های آبریز کشور ایران با در نظر گرفتن برونداد یکی از مدل‌های همادی آمریکای شمالی به‌عنوان نمونه (مدل NASA-GMAO) در زمان‌های انتظار مختلف چگونه تغییر می‌کند. منظور از زمان انتظار پیش‌بینی برابر صفر در این تحقیق، انتخاب پیش‌بینی‌های همادی است که در ابتدای اولین ماه فصل هدف تا سه ماه آتی پس از آن به‌صورت مجموع/ متوسط سه ماهه معتبر خواهند بودند. به‌همین ترتیب در پیش‌بینی‌های ارائه شده به‌عنوان زمان انتظار ۱ برای فصل هدف، اعضای همادی در نظر گرفته شده‌اند که یک ماه قبل از آغاز فصل هدف موردنظر تولیـد شده‌اند (به‌عنوان

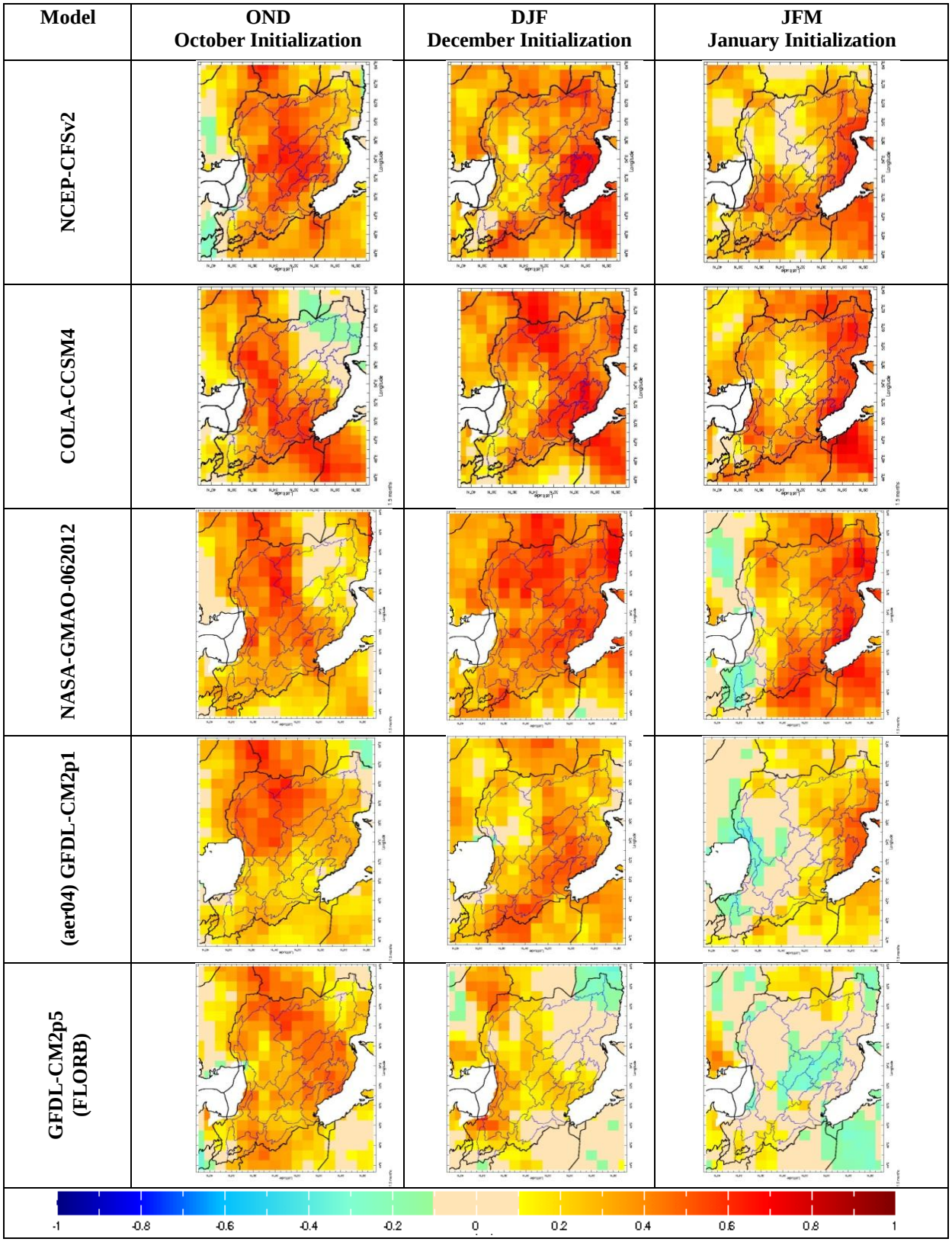

Fig. 1- Precipitation anomaly correlations from NMME models against PERSIANN-CDR for OND, DJF and JFM calculated over Iran (1983-2013)

شکل ۱- همبستگی بی‌هنجاری بارش تعدادی از مدل‌های همادی آمریکای شمالی در مقابل مجموعه داده PERSIANN-CDR برای سه فصل OND، DJF و JFM در گستره ایران محاسبه‌شده در دوره (۱۹۸۳-۲۰۱۳)

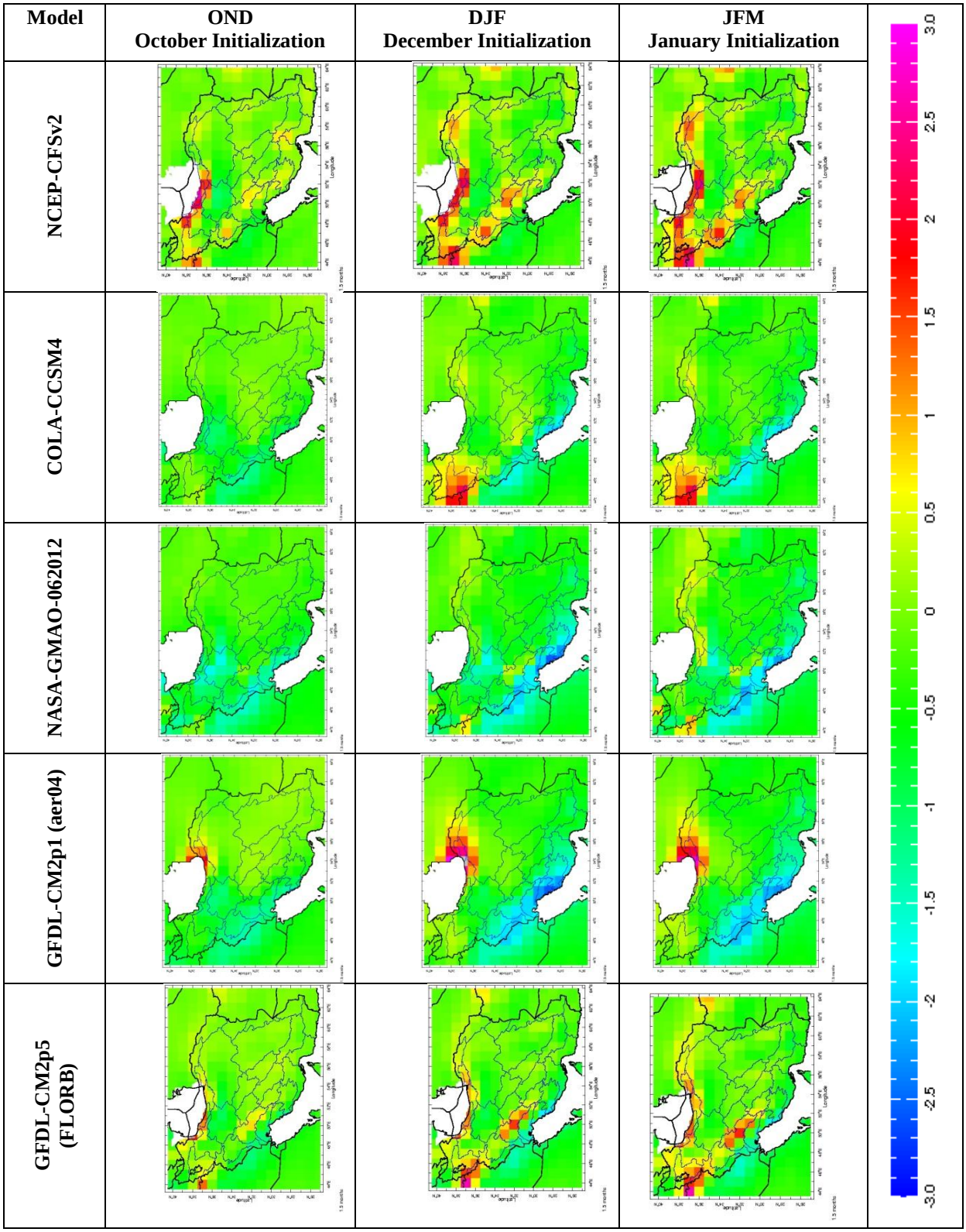

Fig. 2- Mean bias (mm/day) for a number of NMME individual models against PERSIANN-CDR for 3 seasons calculated over Iran (1983-2013)

شکل ۲- متوسط اریبی بارش تعدادی از مدل‌های همادی آمریکای شمالی در مقابل مجموعه داده PERSIANN-CDR برای سه فصل در گستره ایران بر حسب میلی‌متر در روز (۱۹۸۳-۲۰۱۳)

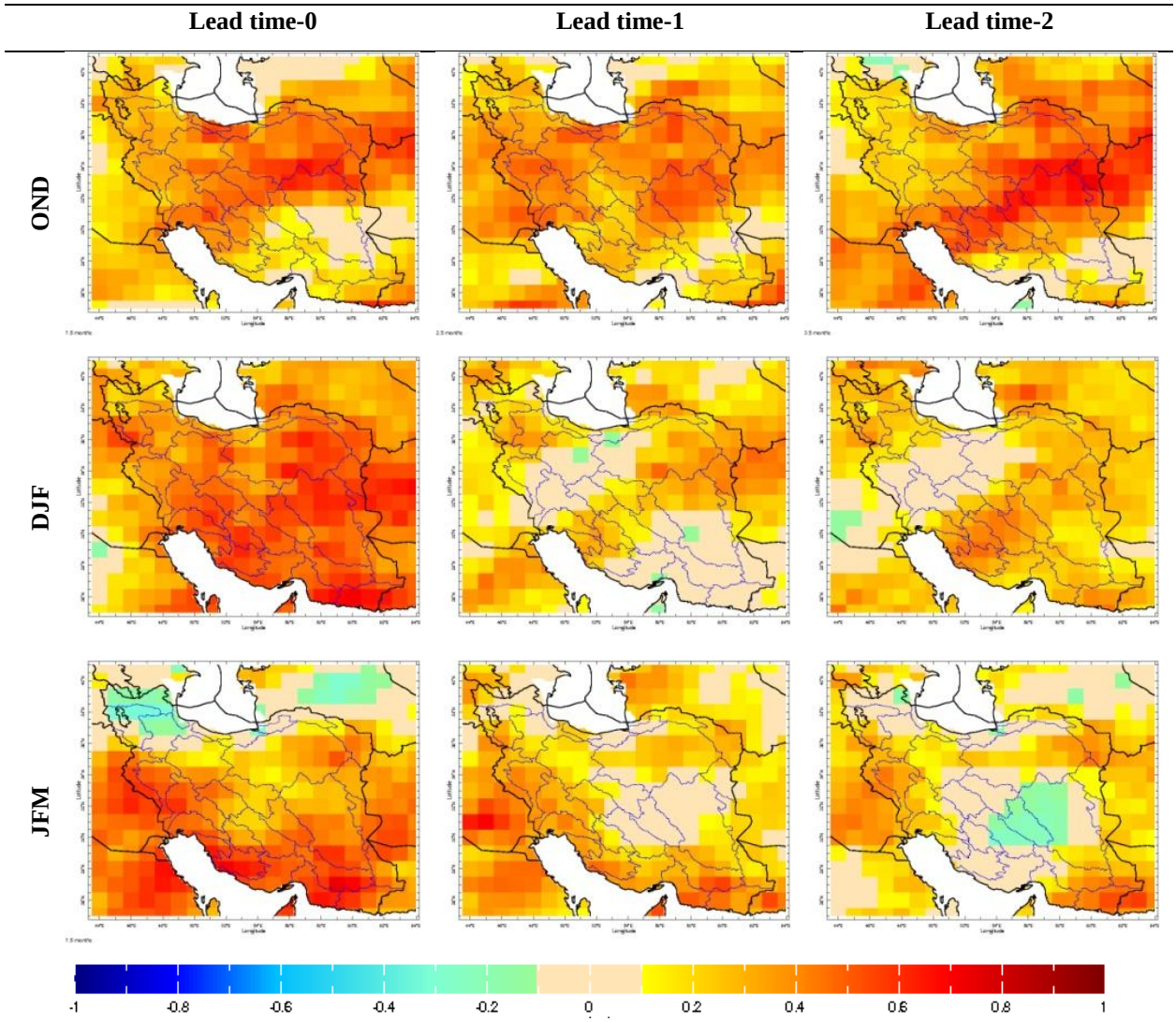

Fig. 3- Anomaly correlations of NASA-GMAO ensemble forecast system in different lead times (in month) for OND, DJF and JFM seasonal precipitation (1983-2013)

شکل ۳- همبستگی بی‌هنجاری‌های بارش سامانه همادی NASA-GMAO در زمان‌های انتظار مختلف برای مجموع بارش OND، DJF و JFM (۲۰۱۳-۱۹۸۳)

مثال پیش‌بینی‌های صادر شده در ابتدای ماه سپتامبر برای بارش سه ماهه اکتبر، نوامبر و دسامبر).

بر اساس شکل ۳، مهارت مدل پیش‌بینی فصلی NASA (با در نظر گرفتن معیار همبستگی بی‌هنجاری) برای بارش فصل OND در اکثر حوزه‌های آبریز کشور از ۲ ماه قبل (زمان انتظار ۲) بالا ارزیابی می‌شود. این تحلیل با در نظر گرفتن تحلیل همبستگی بی‌هنجاری برونداد این مدل برای متغیر بارش در یک دوره ۳۱ ساله (۲۰۱۳-۱۹۸۳) است. بر خلاف فصل OND، برونداد خام مدل‌های آمریکای شمالی برای DJF قابلیت پیش‌بینی از ماه‌های قبل را نشان نمی‌دهد. همانگونه که توضیحات آن در بخش‌های قبل ارائه شد، یک دلیل آن قابلیت پیش‌بینی کم نوسانات اطلس شمالی[۲۲] و نسبت بالای سیگنال به نویز در منطقه‌ای است که کشور ایران را نیز شامل می‌شود (Ehsan et al., 2017). برای فصل JFM قابلیت پیش‌بینی برای حوزه‌های آبریز غرب و جنوب غرب کشور در زمان‌های انتظار ۱ و ۲ ماه نیز وجود دارد که می‌تواند به تصمیم‌گیران در مدیریت مخازن زنجیره‌ای و تخصیص آب به بخش کشاورزی در برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک کمک شایانی نماید.

۳-۳- سامانه همادی با چند مدل

مدل‌های مختلف با ساختارهای دینامیکی مختلف، مهارت‌های

متفاوتی در پیش‌بینی فصول هدف مختلف در زمان‌های انتظار پیش‌بینی متفاوت خواهند داشت. نتایج ارائه شده در بخش ۳-۱ و ۳-۲ نیز نشان می‌دهد قابلیت هر یک از مدل‌های همادی آمریکای شمالی برای حوزه‌های آبریز درجه ۲ کشور ایران یکسان نیست. لذا ترکیب برونداد چندین مدل با بهره‌گیری از نقاط قوت هر مدل برای دستیابی به پیش‌بینی‌هایی با قابلیت اطمینان بیشتر می‌تواند در مطالعات دیگر مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین ترتیب با بهره‌گیری از تعداد اعضای همادی بیشتر و ترکیب برونداد چندین مدل با فیزیک و ساختارهای مختلف انتظار می‌رود بالاترین همبستگی بین پیش‌بینی و مشاهدات را در سطح حوزه‌های آبریز کشور بدست آورد. به‌عنوان مثال، مطالعات انجام شده برای پیش‌بینی بارش و دمای حوزه آبریز کرخه نشان داده است که دسترسی به ضریب همبستگی بیش از ۰/۸ در پیش‌بینی‌های ماهانه با توسعه سامانه همادی با چند مدل به روش رگرسیون گام-به-گام قابل وصول است (Najafi et al., 2017).

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن اهمیت بارش در تخصیص آب برای نهادهای متولی و بهره‌بردار منابع آب، ضروری است از تمامی امکانات موجود از جمله برونداد مدل‌های گردش کلی دینامیکی در راستای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب کشور در طول سال آبی به‌صورت بهنگام بهره برد. اهمیت کاربست این مدل‌ها به‌خصوص در مناطق استراتژیک از لحاظ برنامه‌ریزی منابع آب سطحی در توسعه سامانه‌های پشتیبان از تصمیم است.

ارزیابی برونداد مدل‌های همادی آمریکای شمالی طی یک دوره ۳۱ ساله در حوزه‌های آبریز درجه ۲ در کشور ایران نشان می‌دهد که مدل‌های آمریکای شمالی به‌خصوص در زمان انتظار صفر (ماه) مهارت قابل قبولی در پیش‌بینی بارش دارند. همبستگی بی‌هنجاری محاسبه شده برای این مدل‌ها در حوزه‌های آبریز غرب کشور که بیش از یک سوم منابع آب سطحی کشور در آن جاری بوده و مخازن زنجیره‌ای در دست بهره‌برداری است در فصول پربارش بالا ارزیابی می‌شود. خطاهای سامانمند برای میانگین همادی برونداد هر مدل در مقایسه با مجموعه داده شبکه‌بندی برآوردشده به‌کمک سنجش از دور (PERSIANN-CDR) به عنوان مجموعه داده مرجع محاسبه شده است. اریبی متغیر بارش برای بیش از نود درصد سلول‌های واقع در محدوده مورد مطالعه بین ۱- تا ۱ میلی‌متر در روز است. هم‌چنین در تعداد اندکی از سلول‌ها در امتداد رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس با ناهمواری پیچیده، این اریبی بیش از ۲ میلی‌متر در روز (به‌صورت اریبی تر) است که ضرورت پس‌پردازش برونداد این مدل‌ها با توجه به خطای سامانمند مدل‌های گردش کلی جفت‌شده را نشان می‌دهد. محاسبه بی‌هنجاری بارش در پیش‌بینی‌های بارش سه ماهه فصول OND، DJF و JFM نشان از پیش‌بینی‌پذیری فصلی بالا در اکثر حوزه‌های آبریز کشور ایران دارد. این پیش‌بینی‌پذیری به‌خصوص در ابتدای سال آبی حتی از ۲ ماه قبل می‌تواند به کمک تصمیم‌سازان کشور بیاید. بر این اساس، استخراج روابط مناسب برای حذف اریبی، تولید پیش‌بینی‌های احتمالاتی به‌صورت مقیاس‌کاهی شده برای کاربرد در حوزه‌های مدیریت منابع آب، کشاورزی و هیدروانرژی، باید در مطالعات آتی دنبال شود. نتایج این تحقیق مقدمات لازم برای توسعه سامانه‌های همادی هیدرواقلیمی (پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه و رطوبت خاک)، کمی‌سازی چشمه‌های عدم‌قطعیت و استفاده بیش از ۱۰۲ عضو همادی را به‌صورت بهنگام فراهم کرده است.

۵- تشکر

بخش اعظم این مطالعه در مؤسسه پژوهش‌های بین‌المللی برای اقلیم و جامعه وابسته به مؤسسه زمین دانشگاه کلمبیا واقع در نیویورک (IRI) انجام شده است. از معاونت محترم بین‌الملل دانشگاه تهران برای فراهم نمودن حمایت مالی نویسنده اول (در قالب دوره فرصت کوتاه‌مدت تحقیقاتی دانشجویان مقطع دکتری) و مقدمات لازم برای انتقال دانش فنی در این زمینه به کشور تقدیر و تشکر ویژه بعمل می‌آید.

پی‌نوشت‌ها

1- Atmosphere-Ocean Coupled General Circulation Models
2- Navier-Stokes Equation
3- Forecast Lead Time
4- Uncertainty Sources
5- United Kingdom (UK)
6- APEC Climate Center (APCC)
7- Enemble Member
8- Hindcast/Reforecast/Retrospective Forecast
9- National Aeronautics Space Administration (NASA)
10- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
11- National Centers for Environmental Prediction (NCEP)
12- Environment Canada
13- Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)
14- Multi-Model Ensemble (MME)
15- North American Multi Model Ensemble (NMME)
16- Downscaling
17- K-Nearest Neighbor (KNN)
18- Initializations
19- International Research Institute for Climate and Society (IRI)

20- Global Precipitation Climate Project (GPCP)
21- Climate Research Unit (CRU)
22- North Atlantic Oscillation (NAO)

۶- مراجع

Ashoori H, Hsu KL, Sorooshian S, Braithwaite DK (2015) PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatelite observations for hydrological and climate studies, Bulletin of American Meteorological Society 96(1):69-83, doi:10.1175/BAMS-D-13-00068.1

Barbero R, Abatzoglou J, Hegewisch K (2017) Evaluation of statistical downscaling of North American Multi-Model Ensemble forecasts over western USA. Weather Forecasting, 32:327–341, doi: 10.1175/WAF-D-16-0117.1

Dezfuli AK, Karamouz M, Araghinejad Sh (2010) On the relationship of regional meteorological drought with SOI and NAO over southwest Iran. Theoretical Applied Climatology, 100:57–66, doi 10.1007/s00704-009-0157-2

Dunstone N, Smith D, Scaife A, Hermanson L, Eade R, Robinson N, Andrews M, Knight J (2016) Skilful predictions of the winter North Atlantic Oscillation one year ahead. Nature Geoscience Letter, 9:809–814, doi:10.1038/ngeo282

Fallah Ghalhary GA, Mousavi Baygi SM, Habibi Nokhandan M (2009) Using statistical model for seasonal rainfall forecasting based on synoptic patterns of atmospheric upper levels. Water and Soil Science, 19(1):125-14

Gent PR, Yeager SG, Neale RB, Levis S, Bailey DA (2010) Improvements in a half degree atmosphere/land version of the CCSM. Climate Dynamic, 34:819–833

Ehsan MA, Tippett MK, Almazroui M, Ismail M, Yousef A, Kucharski F, Omar M, Hussein M, Alkhalaf A (2017) Skill and predictability in multimodel ensemble forecasts for Northern Hemisphere regions with dominant winter precipitation. Climate Dynamic, 48:3309-3324, doi:10.1007/s00382-016-3267-4

Katiraie-Boroujerdy PS, Akbari Asanjan A Hsu KL, Sorooshian S (2017) Intercomparison of PERSIANN-CDR and TRMM-3B42V7 precipitation estimates at monthly and daily time scales. Atmospheric Research, 193:36-49, doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.04.005

Katiraie-Boroujerdy PS, Ashouri H, Hsu K, Sorooshian S (2016) Trends of precipitation extreme indices over a subtropical semi-arid area using PERSIANN-CDR. Theoretical and Applied Climatology, 1-12, doi:10.1007/s00704-016-1884-9

Kim HM, Webster PJ, Curry JA (2012) Seasonal prediction skill of ECMWF System 4 and NCEP CFSv2 retrospective forecast for the Northern Hemisphere Winter. Climate Dynamics 39(12):2957, doi:10.1007/s00382-012-1364-6

Kirtman BP and Coauthors (2014) The North American Multimodel Ensemble phase-1 seasonal-to-interannual prediction; phase-2 toward developing intraseasonal prediction. Bulletin of Amererican Meteorological Society, 95:585–601, doi:10.1175/BAMS-D-12-00050.1

Ma F, Ye A, Deng X, Zhou Z, Liu X, Duan Q, Xu J, Miao C, Di Z, Gong W (2015) Evaluating the skill of NMME seasonal precipitation ensemble predictions for 17 hydroclimatic regions in continental China. International Journal of Climatology, 36(1):132-144, doi: 10.1002/joc.4333

MacLachlan C, Arribas A, Peterson K. A,Maidens A, Fereday D, Scaife AA, Gordon M, Vellinga M, Williams A, Comer RE, Camp J, Xavier P, Madec G (2014) Global seasonal forecast system version 5 (GloSea5): a high-resolution seasonal forecast system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 141, (689B):1072–1084, doi:10.1002/qj.2396

Min YM, Kryjov VN, Oh SM (2014) Assessment of APCC multimodel ensemble prediction in seasonal climate forecasting: Retrospective (1983–2003) and real-time forecasts (2008–2013). Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 119(21):132-150

Modaresi F, Araghinejad Sh, Ebrahimi K (2015) K Assessment of model fusion strategy for increasing the accuracy of autumn rainfall forecasting. Journal of Agricultural Meteorology, 3(2):1-13

Molteni F, Stockdale T, Balmaseda M, Balsamo G, Buizza R, Ferranti L, Magnusson L, Mogensen K, Palmer T, Vitart F (2011) The new ECMWF seasonal forecast system (System 4). Technical Memorandum (656) in Scientific Advisory Committee (SAC) 40th Session 3-5 October

Najafi H, Massah Bavani AR, Wanders N, Wood E, Irannejad P, Robertson AW (2017) Developing Multi-model Ensemble for precipitation and temperature seasonal forecast: Implications for Karkheh river basin. 2017 European Geosciences Union (EGU) General Assembly, 23-28 April 2017, Vienne, Austria

Nasr Esfahani MA, Ahmadi Givi F, Mohebalhojeh AR (2008) North Atlantic oscilaition link to the South West Asian climate. In: Proc. ff 13th Geophysics

Tabari H, Abghari H, Hosseinzadeh Talaee P (2014) Impact of the North Atlantic Oscillation on streamflow in Western Iran. Hydrological Processes, 28:4411–4418

Vernieres G, Rienecker M, Kovach R, Keppenne CHL (2012) The GEOS-iODAS: description and evaluation. Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation, TM-2012-104606 30:1-61

Zhang S, Harrison J, Rosati MJ, Wittenberg A T (2007) System design and evaluation of coupled ensemble data assimilation for global oceanic climate studies. Monthly Weather Review, 135:3541–3564, doi:10.1175/MWR3466.1

Conference of Iran, 6–8 May 2008, Tehran, Iran, 342–345

Nikbakht Shahbazi AR, Zahraie B, Nasseri M (2012) Seasonal meteorological drought prediction using Support Vector Machine. Journal of Water and Wastewater, 23(2):73-85

Shukla Sh, Roberts J, Hoell A, Funk C, Robertson F, Kirtman BP (2016) Assessing North American multimodel ensemble (NMME) seasonal forecast skill to assist in the early warning of anomalous hydrometeorological events over East Africa. Climate Dynamics, 1-17.doi:10.1007/s00382-016-3296-z