

## ارزیابی برونداد دمای فصلی مدل‌های پیش‌بینی همادی آمریکای شمالی در حوضه‌های آبریز درجه دو ایران

حسین نجفی<sup>۱</sup>، علیرضا مساح‌بوآنی<sup>۲\*</sup>، پرویز ایران‌نژاد<sup>۳</sup>، اندرو ویلیام رابرتسون<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰

### چکیده

هدف از این پژوهش، ارزیابی برونداد دمای سامانه‌های پیش‌بینی فصلی اقلیمی در پهنه کشور ایران است. این تحلیل‌ها بر اساس مدل‌های گردش کلی جفت‌شده جو-اقیانوس انجام شده است که در همادی مدل‌های آمریکای شمالی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مهارت هر یک از مدل‌های آمریکای شمالی با آغازگری‌های مختلف و در سه زمان انتظار صفر، یک و دو (ماه) برای سه فصل هدف (اکتبر-دسامبر)، (دسامبر-فوریه) و (فوریه-آوریل) بررسی شده است. بدین منظور از محصول دمای پایگاه CRU (دو متری سطح زمین) در دوره (۱۹۸۲-۲۰۱۰) به عنوان داده مرجع مشاهداتی استفاده شد. معیارهای صحت‌سنجی قطعی شامل همبستگی پیرسون، میانگین خطا و ریشه مربعات خطا است که برای ارزیابی پیش‌بینی‌های فصلی محاسبه شده‌اند. نمره ROC نیز به عنوان یک شاخص طبقه‌بندی برای کلیه مدل‌ها در شرایط زیر نرمال و بیش از نرمال محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد ضریب همبستگی بین سامانه‌های پیش‌بینی فصلی و پایگاه CRU در فصل FMA بیشتر از دو فصل DJF و OND است. مهارت مدل CFSv2 در جنوب کشور در OND قابل ملاحظه (همبستگی بالای ۰/۹ و ROC بیش از ۰/۷) می‌باشد. الگوی آریبی بر اساس موقعیت جغرافیایی در فصول هدف تقریباً مشابه است. کمترین تغییرات آریبی از لحاظ مقدار، مربوط به مدل GFDL-FLOR-B01 می‌باشد. با افزایش زمان انتظار، مهارت سامانه‌های پیش‌بینی فصلی در تعدادی از حوضه‌های آبریز کشور کاهش می‌یابد. با توجه به آریبی قابل‌ملاحظه تعدادی از مدل‌های همادی آمریکای شمالی، می‌توان از روش‌های پس‌پردازش مناسب برای حذف آریبی برونداد این مدل‌ها استفاده نمود. هم‌چنین می‌توان با توسعه سامانه‌های همادی چندمدلی در سطح حوضه‌های آبریز در فصول مهم از منظر بخش کشاورزی و منابع آب بهره گرفت.

**واژه‌های کلیدی:** پیش‌بینی فصلی دما، مدل‌های همادی آمریکای شمالی، حوضه‌های آبریز درجه ۲، مدل‌های گردش کلی جفت‌شده-جو-اقیانوس، ایران

### مقدمه

از سطح مخازن و پیکره‌های آبی و کانال‌های انتقال آب، ذوب برف، فرآیند تبدیل بارش به رواناب و حجم آب تجدیدپذیر نقش مهمی ایفا می‌کند. در بخش کشاورزی، پیش‌آگاهی از بی‌هنجاری‌های متغیرهای اقلیمی در کشت آبی و دیم، تهیه اطلس محصولات استراتژیک در استان‌های مختلف کشور و پیش‌بینی عملکرد و بیمه کشاورزی دارای اهمیت است. در بخش انرژی، بی‌هنجاری‌های مثبت دما می‌تواند بار شبکه در توزیع برق و عملکرد نیروگاه‌های برق-آبی را تحت تأثیر قرار دهد. لذا با در نظر گرفتن اهمیت تغییرات دمایی در حوضه‌های مختلف، بخش بزرگی از تحقیقات به بررسی این کمیت پرداخته‌اند. به عنوان مثال، تأثیر دورپیوندها و سازوکارهای دینامیکی در

دما به عنوان یکی از درون‌دادهای مهم مدل‌سازی فرآیندهای آب‌وهوایی است. این کمیت هواشناختی مهم به طور مستقیم و غیر مستقیم در برنامه‌ریزی‌های بخش آب، کشاورزی و انرژی تأثیر می‌گذارد. دما یکی از عوامل کنترل‌کننده فرآیندهای هیدرولوژیکی است که در تبخیر

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته دکتری مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

(\*) نویسنده مسئول: [armassah@ut.ac.ir](mailto:armassah@ut.ac.ir)

DOI: 10.22125/agmj.2018.113708.

<sup>۳</sup> دانشیار، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۴</sup> مدیر ارشد مطالعات اقلیمی، مؤسسه پژوهشی بین‌المللی برای اقلیم و جامعه، مؤسسه زمین، دانشگاه کلمبیا واقع در نیویورک، ایالات متحده آمریکا

NMME به صورت توسعه همادی چندمدلی می‌توان مهارت پیش‌بینی را با بهره‌گیری از نقاط قوت هر مدل در کشور ایران نیز افزایش داد (به عنوان مثال Najafi et al., 2018b). به عنوان مثال، برون‌داد بارش و دمای NMME در حوضه آبریز کرخه در مقیاس ماهانه و آغازگری‌های مختلف ارزیابی و نشان داده شد که با توسعه همادی چندمدلی می‌توان به بیشترین همبستگی در مقایسه با مدل‌های انفرادی دست پیدا کرد (Najafi et al., 2017). در مطالعات کشاورزی، هیدرواقلمی و مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در حوضه‌های آبریز ایران می‌توان از برون‌داد سامانه‌های پیش‌بینی بلندمدت اقلیمی در دوره‌های ماهانه و فصلی به صورت بهنگام بهره گرفت. این پژوهش، بستر اولیه چنین مطالعاتی را فراهم می‌سازد که لازم آن آشکار شدن مهارت سامانه‌های پیش‌بینی فصلی است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

محدوده موقعیت جغرافیایی مورد بررسی در این پژوهش شامل ۴۳ تا ۶۴ درجه شرقی و ۲۴ تا ۴۰ درجه شمالی است. این محدوده دربرگیرنده کل کشور ایران به همراه مساحتی از کشورهای همسایه است (شکل ۱).

### داده‌های دمای شبکه‌بندی شده CRU

در این پژوهش، مجموعه داده دمای شبکه‌بندی شده مرکز CRU واقع در دانشگاه ایست‌انگلیا در انگلستان (نسخه ۳.۲۲) به‌عنوان مبنای سنجش مهارت مدل‌های پیش‌بینی فصلی استفاده شده است. این مجموعه داده به صورت سری زمانی با تفکیک مکانی بالا (۵/۰ درجه) تولید شده و از سال ۱۹۰۱ دارای داده می‌باشد. فرآیند توسعه داده‌های شبکه‌بندی CRU دارای یک روش‌شناسی پیچیده است (Harris et al., 2014). این مجموعه داده در ایران با ۸۸ ایستگاه هم‌دیدی برای مؤلفه‌های دما (کمینه، بیشینه و میانگین) مورد ارزیابی قرار گرفته است (Miri et al., 2017). نتایج ارزیابی به کمک پنج آماره ضریب تبیین، ریشه میانگین مربع خطا، ریشه میانگین مربع خطای استاندارد شده، شاخص توافق، شیب خط و اریبی در تحقیق یاد شده نشان می‌دهد که:

بی‌هنجاری‌های دما و از منظر دینامیک بزرگ‌مقیاس در یک دوره بلندمدت در مناطق مختلف کشور ایران مورد بررسی قرار گرفته است (Zareabayeh and Bayat, 2011; Varkeshi, 2011; Ghasemi and Khalili, 2008; Irannejad et al., 2016; Halabian and Mohamadi, 2012; Khosravi and Mesgari., 2016; Molavi-Arabshahi et al., 2016; Sobhani et al., 2014). در مطالعات کشاورزی، تأثیر متغیرهای اقلیمی (بارش و دما) برای تعیین مناطق مستعد کشت در استان‌های مختلف کشور مورد بررسی قرار گرفته است (Fallah Ghalhari et al., 2015; Kamali et al., 2010). قابل ذکر است که در خصوص پیش‌بینی و مدل‌سازی ماهانه و فصلی دمای ایران بیشتر از روش‌های آماری و هوش مصنوعی استفاده شده است که نتایج قابل قبولی را نیز به همراه داشته است (به عنوان مثال، Amini Rakan et al., 2015; Ghasemi, 2017; Marofi et al., 2015). اما به مطالعات در زمینه ارزیابی دما با استفاده از مدل‌های گردش کلی کمتر توجه شده است. مزیت استفاده از برون‌داد مدل‌های گردش کلی، امکان استفاده به‌صورت به‌هنگام در صورت وجود مهارت این مدل‌ها در زمان‌های انتظار مختلف است. در این پژوهش، کارایی تعدادی از مدل‌های عددی که در فاز یک از پروژه مدل‌های همادی آمریکای شمالی<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرد، در پیش‌بینی فصلی دما در کشور ایران مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. ارزیابی برون‌داد تعددای از مدل‌های گردش کلی جو-اقیانوس NMME در نواحی مختلف جهان انجام شده است. برون‌داد دمای NMME در نیمکره شمالی (Becker and Van del Dool, 2016)، ایالات متحده آمریکا (Chen et al., 2017; Slater et al., 2014; Tian et al., 2017)، شرق آفریقا (Shukla et al., 2016) و حوضه رود زرد در چین (Yuan, 2016) مورد بررسی قرار گرفته است. برون‌داد بارش مدل‌های همادی آمریکای شمالی در چندی از مطالعات در کشور ایران نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. در یک مطالعه انجام شده برای حوضه‌های آبریز درجه دو کشور ایران، پیش‌بینی فصلی برون‌داد بارش NMME برای هر مدل مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که مهارت مدل‌ها در فصول مختلف یکسان نیست (Najafi et al., 2018a). همچنین تعددای از مطالعات نشان داده که با ترکیب برون‌داد

<sup>1</sup> North America Multi-model Ensemble (NMME)

ماه هر فصل هدف، بارگیری شده است. برون داد مدل CFSv2. دارای اجراهای پنج روزه (Pentad) است. هر اجرا دارای چهار آغازگری در ساعت‌های ۰۰، ۰۶، ۱۲ و ۱۸ به وقت ساعت هماهنگ جهانی (UTC) می‌باشد. برای سایر مدل‌ها، تنها یک اجرا در روز اول از ماه ابتدای فصل هدف استفاده شده است. به عنوان مثال برای فصل هدف دسامبر- فوریه، از آغازگری ساعت صفر UTC روزهای یک دسامبر استفاده شده است. برای ارزیابی برون داد مدل‌های اشاره شده در جدول ۱ از کلیه اعضای همادی هر مدل میانگین گرفته شده است. با توجه به کارایی مناسب دمای متوسط CRU در کشور ایران، از این مجموعه داده برای ارزیابی برون داد دمای مدل‌های NMME استفاده شده است. در کلیه تحلیل‌ها، برون داد مدل‌های NMME و داده‌های شبکه‌بندی CRU به صورت باز شبکه (تفکیک مکانی یک درجه) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. دو مجموعه داده CRU و NMME، از درگاه برخط کتابخانه داده موسسه بین‌المللی اقلیم و جامعه دریافت شده‌اند (قابل دسترسی از

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES>).

- مجموعه داده CRU دارای کارایی قابل قبول و دقت خوب (ضریب تبیین بالای ۰/۹ در مقایسه با ایستگاه‌های مشاهداتی در اکثر مناطق کشور) است.  
- آریبی این مجموعه داده در مقایسه با مقادیر ثبت شده در اکثر ایستگاه‌های کشور بین ۲ و ۲- درجه سانتی‌گراد است.  
- ریشه میانگین مربع خطا CRU نیز در بیشتر مناطق کشور از ۲ درجه سانتی‌گراد فراتر نمی‌رود.  
- این مجموعه در مناطق ساحلی شمال کشور فرابرد دارد و ریشه میانگین مربع خطا در تعدادی از ایستگاه‌ها از جمله تهران و کمر بند ساحلی شمال کشور بین ۴ تا ۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

### مدل‌های همادی آمریکای شمالی (NMME)

مدل‌های همادی آمریکای شمالی، مدل‌های گردش کلی جفت‌شده جو-اقیانوس هستند. این مدل‌ها پیش‌بینی‌های فصلی صادر کرده و برون‌داد آن‌ها در دوره بازبینی‌های بهنگام قابل دسترسی است (Kirtman et al., 2014). مشخصات سامانه‌های پیش‌بینی فصلی NMME در جدول ۱ نشان داده شده است. نحوه اجرای مدل‌های NMME در دوره بازبینی در مدل‌های مختلف متفاوت است. در کلیه تحلیل‌ها، پیش‌بینی مربوط به روز آغازین از اولین

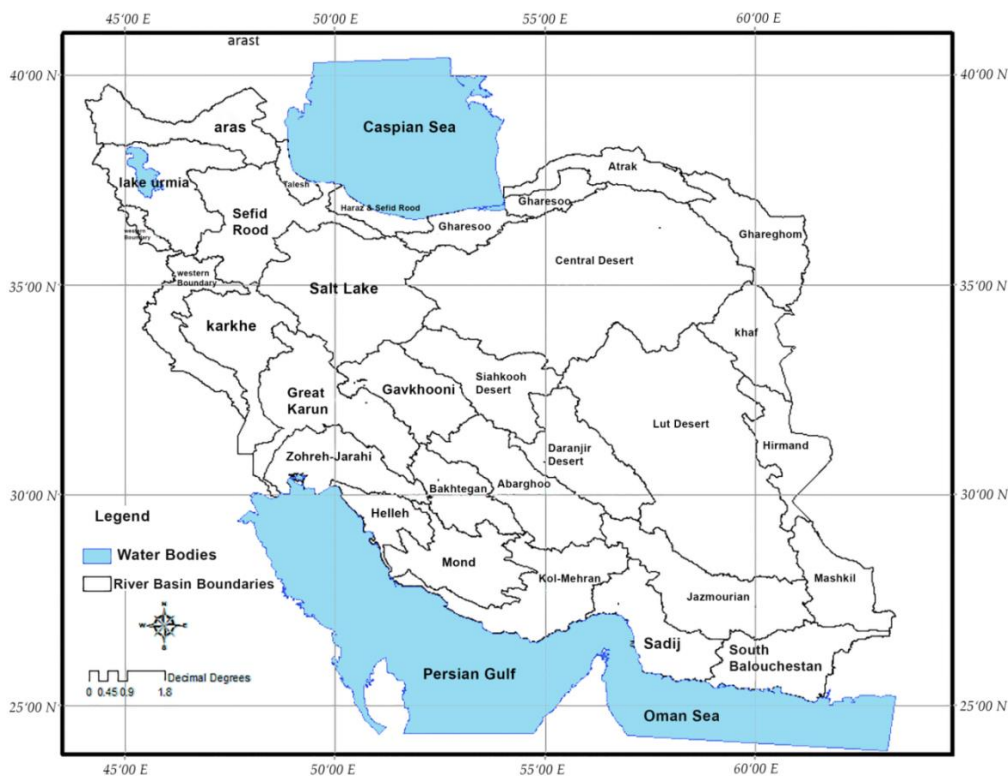


Figure 1- Area under study in this research, Iran's river basins boundaries are identified  
شکل ۱- محدوده مورد مطالعه در این پژوهش به همراه مرز حوضه‌های آبریز ۲ درجه در کشور ایران

**Table 1- Seasonal Climate Forecast System from NMME project (phase-I) and their characteristics**  
 جدول ۱- سامانه‌های پیش‌بینی اقلیمی استفاده شده در این پژوهش از فاز ۱ مدل‌های همادی آمریکای شمالی به همراه خصوصیات آن‌ها

Name	Center	Lead time	Ensemble members	Resolution of Atmospheric Model (degree)	Reference
CFSv2	NCEP	0.5-9.5	24	0.9	(Saha et al., 2014)
CMC1	Environment	0.5-11.5	10	2.5	(Merryfield et al., 2013)
CMC2	Canada	0.5-11.5	10	2	
GFDL-CM2.1	GFDL	0.5-11.5	11	0.5	(Zhang et al., 2007)
GFDL-FLOR-A06	GFDL	0.5-11.5	11	0.5	
GFDL-FLOR-B01	NCAR	0.5-11.5	10	1.25×0.9	(Gent et al., 2010)
NCAR-CCSM4	NASA	0.5-9.5	11	1.25×1	(Vernieres et al. 2012)
NASA-GMAO-062012	NCAR	0.5-11.5	10	1.25×0.9	(Neale et al., 2013)
NCAR-CESM1					

به صورت برخط از تارنمای مربوطه<sup>۱</sup> سه فصل هدف شامل ۱- اکتبر تا دسامبر معادل ۹ مهر تا ۱۰ دی، ۲- دسامبر تا فوریه معادل ۱۲ آذر تا ۱۰ اسفند و ۳- فوریه تا آوریل معادل ۱۲ بهمن تا ۱۰ اردیبهشت در این پژوهش ارزیابی می‌شوند.

### نتایج و بحث

#### مهارت مدل‌های NMME در پیش‌بینی دمای فصول

برون‌داد مجموعه‌ای از مدل‌های همادی آمریکای شمالی برای ۳ فصل اکتبر- دسامبر، دسامبر- فوریه و فوریه- آوریل در این بخش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همبستگی برون‌داد هر مدل با داده‌های CRU در فصول مختلف نشان از مهارت مناسب اکثر مدل‌های NMME در بیشتر مناطق کشور دارد (شکل ۲). ضریب همبستگی متوسط برای هر فصل در جدول ۲ برای مدل‌های NMME (در زمان انتظار صفرماه) ارائه شده است. جدول ۲ نشان می‌دهد که مهارت یک مدل مشخص در فصول مختلف یکسان نمی‌باشد. همچنین، مدل‌های مختلف دارای عملکرد متفاوت هستند که ناشی از عوامل مختلف از جمله ساختار و شیوه پارامترسازهای فیزیکی مدل‌ها به همراه سایر چشمه‌های عدم قطعیت در مدل‌سازی عددی سامانه زمین می‌باشد. این موضوع به خوبی لزوم استفاده از روش‌های مناسب در وزن‌دهی به برون‌داد مدل‌های مختلف را در توسعه سامانه‌های همادی چندمدلی نشان می‌دهد که در مطالعات مختلف نیز بدان اشاره شده است (به عنوان مثال Najafi et al., 2017; 2018b). مدل CCSM4 در پیش‌بینی فصل DJF و OND در اکثر مناطق کشور دارای عملکرد بالا است، اما در فصل OND،

#### صحت‌سنجی پیش‌بینی‌های دمای مدل‌های NMME

##### در فصول و زمان‌های انتظار مختلف

در این پژوهش از شاخص‌های مختلفی برای صحت‌سنجی برون‌داد دمای مدل‌های همادی آمریکای شمالی استفاده شده است. سه معیار شامل ضریب همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی و مشاهدات (معادله ۱)، ریشه میانگین مربعات خطا (معادله ۲) و میانگین خطای مطلق (معادله ۳) در ارزیابی قطعی مدل‌های NMME استفاده شده است. شاخص متوسط خطا و ریشه میانگین مربعات خطا برای بررسی دقت پیش‌بینی به کار برده می‌شوند.

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (o_{k,i} - y_{k,i})^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |y_k - o_k| \quad (3)$$

که در آن،  $y_k$  و  $o_k$  زوج  $k$ ام از  $n$  زوج پیش‌بینی و مشاهدات می‌باشند و مقادیر بردار میانگین در دوره زمانی بلندمدت هستند. به منظور محاسبه مهارت مدل‌های پیش‌بینی فصلی به صورت احتمالاتی، منحنی‌های ROC و مساحت زیر آن نیز علاوه بر شاخص‌های صحت‌سنجی قطعی (معادلات ۱ تا ۳) محاسبه شده است. این شاخص بر اساس جدول پیش‌بینی تعیین شده و نشان می‌دهد قدرت تشخیص مدل در پیش‌بینی وضعیت‌های مختلف (زیرنرمال/ بیش از نرمال) به چه میزان می‌باشد. ارائه ROC به طور مشخص در دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی و به عنوان یک شاخص استاندارد صحت‌سنجی پیش‌بینی‌های بلندمدت پیشنهاد شده است (قابل دسترس

<sup>1</sup> <http://www.wmo.int/pages/prog/www/DPS/Verification-LRF/verification-scores.html>

فصل DJF و OND در اکثر حوضه‌های آبریز بالاتر است. برای فصل زمستان می‌توان گفت مهارت مدل‌ها در نیمه جنوبی کشور بیشتر از بخش شمالی است. باید توجه داشت در صورتی که هدف، پیش‌بینی بی‌هنجاری‌های دمایی برای یک حوضه آبریز مشخص یا منطقه جغرافیایی خاصی باشد می‌توان از مهارت هر یک از مدل‌ها و قابلیت‌های آن‌ها به صورت ترکیبی برای حصول به یک پیش‌بینی که برتر از پیش‌بینی هر یک از مدل‌ها به صورت انفرادی باشد، اقدام نمود. لذا لزوم توسعه همادی‌های چندمدلی با ترکیب برون‌داد چندین مدل در سطح حوضه‌های آبریز کشور برای استفاده از برون‌داد کلیه مدل‌ها و استفاده حداکثری از قابلیت هر مدل با پارامترسازی‌های فیزیکی متنوع آشکار است. مطالعات در این زمینه برای ترکیب برون‌داد چندین مدل و توسعه همادی‌های چندمدلی برای متغیر بارش بر اساس NMME در سطح کشور ایران و حوضه آبریز کرخه نتایج قابل قبولی را نشان داده است (Najafi et al., 2017; Najafi et al., 2018b). ارزیابی دما در زمان انتظار صفر (ماه) برای برون‌داد تعدادی از سامانه‌های پیش‌بینی فصلی NMME در گستره‌ای دربرگیرنده کشور ایران در شکل ۳ نشان داده شده است. برای OND (آغازگری اولین روز اکتبر)، DJF (آغازگری اولین روز دسامبر) و FMA (اولین روز فوریه) در دوره بازپیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفته است. در فصل OND بعضی از مدل‌ها دارای ارزیابی گرم هستند. GFDL-aer04، CCSM4 و CFSv2 به ترتیب دارای مقادیر ارزیابی بیش از ۷، ۶ و ۴ درجه سلسیوس می‌باشند. همانطور که ذکر شد، تحلیل‌های سالانه مقادیر CRU و مقایسه آن‌ها با ایستگاه‌های هم‌دیدگی در سواحل شمالی کشور (به‌عنوان مثال در بابل‌سر و رامسر) نشان از فراب‌آورد دمای داده‌های شبکه‌ای CRU در دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴ داشته است (Miri et al., 2017) که در تحلیل برون‌داد مدل‌های NMME باید در نظر گرفته شود. بیشترین مقدار ارزیابی در این فصل مربوط به مدل CMC1-CanCM3 است که در تعداد اندکی از سلول‌های ساحل شرقی دریای خزر، ارزیابی سرد بیش از ۸ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. کم‌ترین بازه تغییرات ارزیابی در فصل OND و FMA برابر با  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  مربوط به مدل CFSv2 است. این مدل در بیش از ۸۵ درصد از محدوده کشور ایران دارای ارزیابی گرم (کم‌تر از ۲ درجه سلسیوس)

همبستگی به خصوص در حوضه‌های آبریز قرار گرفته در مناطق کویری واقع در میانه کشور (حوضه‌های آبریز گاوخونی، مهارلو، ابرقو، کویر درانجیر، مند و بخش‌های شرقی حوضه آبریز کارون بزرگ) نزدیک به صفر است.

**Table 2- Pearson correlation between NMME temperature outputs and CRU in three target seasons (1982-2010)**

جدول ۲- مقادیر ضریب همبستگی برون‌داد مستقیم مدل‌های NMME با داده‌های CRU در محدوده مورد مطالعه در دوره

۱۹۸۲-۲۰۱۰ در سه فصل هدف

Forecast System	OND	DJF R	FMA
CFSv2	0.49	0.54	0.62
CCSM4	0.19	0.29	0.55
GFDL-aer04	0.41	0.50	0.36
FLOR-B01	0.51	0.25	0.40
FLOR-A06	0.47	0.28	0.47
CMC2	0.25	0.55	0.65
CMC1	0.31	0.46	0.55
NASA-GMAO	0.33	0.42	0.50
CESM1	0.30	0.44	0.31

FLOR A06 و FLOR B01 نیز در اکثر حوضه‌ها همبستگی بالایی در پیش‌بینی فصل OND و FMA دارند، اما در پیش‌بینی بی‌هنجاری‌های دمایی در DJF حوضه‌های کارون بزرگ، جراحی، گاوخونی و کویر سیاه‌کوه مهارت قابل ملاحظه‌ای برای این دو مدل وجود ندارد. مدل‌های CMC1 و CMC2 نیز در اکثر حوضه‌های آبریز عملکرد قابل قبولی در فصول DJF و FMA دارند اما در فصل OND همبستگی پایین با مشاهدات دارند (زیر ۰/۳). در اکثر نقاط کشور و نزدیک به صفر در بخش مرکزی و شمال شرقی کشور، مدل CESM1 نیز در شمال ایران در فصل FMA از مهارت قابل قبولی برخوردار نیست. با در نظر گرفتن یک فصل مشخص، همبستگی برون‌داد مستقیم بعضی از مدل‌ها در تعدادی از حوضه‌های آبریز درجه ۲ کشور با داده‌های CRU بیش از ۰/۶ است. به عنوان مثال، در بخش شمالی حوضه آبریز کرخه، مهارت مدل‌های CFSv2، NASA-GMAO، FLOR-A06 و GFDL-aer04 بیش از سایر مدل‌هاست. بیشترین مقادیر همبستگی برای مدل CMC2 در حوضه‌های آبریز مند و ابرقو در DJF و حوضه سفیدرود و بخش زیادی از حوضه دریاچه نمک در شمال غربی و جنوب (بخشی از حوضه کل) برای فصل OND می‌باشد. مهارت مدل CFSv2 نیز در جنوب کشور در فصل OND بیش از ۰/۸ است. در مقایسه با فصل OND عملکرد مدل‌های انفرادی در پیش‌بینی دمای دو

**Table 3- Pearson correlation and bias (°C) between NMME temperature outputs and CRU for three target seasons in Karkheh river basin (1982-2010)**

جدول ۳- مقادیر ضریب همبستگی و اریبی (درجه سلسیوس)

برون‌داد هر یک از مدل‌های NMME با داده‌های CRU در

حوضه آبریز کرخه در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۰

Forecast System	OND		DJF		FMA	
	MAE (°C)	R	MAE (°C)	R	MAE (°C)	R
CFSv2	1.23	0.55	1.06	0.49	0.54	0.6
CCSM4	-0.74	0.15	0.53	0.32	-0.52	0.59
FLOR-B01	-0.64	0.38	-0.65	0.16	-2.24	0.44
FLOR-A06	-0.64	0.46	-0.54	0.22	-2.25	0.52
CMC2-	-0.8	0.13	-0.32	0.46	-0.67	0.74
CMC1-	-2.42	0.24	-1.15	0.48	-1.81	0.54
GMAO	0.26	0.50	-1	0.5	-0.55	0.51
CESM1	-0.31	0.21	2.14	0.36	2.06	0.22

در فصل OND، نمره ROC تعداد زیادی از مدل‌ها در اکثر مناطق کشور به جز مناطق ساحلی در جنوب و بخش غربی کشور (کمتر از ۰/۸ است. در این فصل، مدل CMC2 مهارت کافی در پیش‌بینی دمای زیرنرمال حوضه‌های آبریز کارون بزرگ، دریاچه نمک و کویر مرکزی ندارد. در اکثر مناطق کشور در DJF، نمره ROC مدل CFSv2 و CMC2 در دو حالت زیرنرمال و بیش از نرمال، بین ۰/۷ تا ۱ است. در همین فصل و برای مدل FLOR-B01، ROC در بخش‌های زیادی از کشور به-خصوص در محدوده مرکزی کشور در محدوده مناسب (بیش از ۰/۵) قرار نمی‌گیرد. دمای بیش از نرمال در بیش از ۸۰ درصد مواقع در حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه در شمال غرب کشور و حوضه‌های آبریز مند و کل‌مهران در جنوب غرب کشور توسط GFDL-aer04 در DJF به درستی پیش‌بینی شده است. CCSM4 در OND و DJF در سایر مناطق کشور و به طور مشخص در شمال و شمال شرق کشور دارای مهارت مناسب نمی‌باشد. CFSv2 مهارت قابل ملاحظه در پیش‌بینی دمای بیش از نرمال در نیمه شرقی و نوار ساحلی خلیج فارس در فصل FMA دارد ( $ROC \geq 0.8$ ). این مدل به همراه مدل CMC2 دارای بیشترین مهارت در پیش‌بینی دمای زیرنرمال و بیش از نرمال در فصل FMA هستند. مهارت مدل CCSM4 نیز در فصل FMA بسیار بیشتر از دو فصل OND و DJF است. دقیقاً یک الگو شبیه همان باد با ارتفاع پایین‌تر انتظار داشت زیرا عوامل دیگری مانند نسیم دریا، فشار هوا و غیره نیز بر سرعت باد مؤثر است.

است. در فصل OND و در اکثر مناطق (بیش از ۹۰ درصد از محدوده مطالعاتی) اریبی این مدل بین ۱ تا -۱- درجه سلسیوس است. اریبی مدل NASA-GMAO نیز در دو فصل OND و FMA دارای الگوی مکانی تقریباً یکسان به‌خصوص در بخش جنوب شرقی کشور است و مقادیر اریبی برای این بخش بین ۲/۵ تا ۴/۵ درجه سلسیوس (گرم) است. اریبی FLOR-B01 در فصل OND در بخش زیادی از نیمه شمالی کشور هم‌چنین درحوضه آبریز کارون کوچک، کویر مرکزی و بخش‌های شمالی حوضه کویر لوت و مهارلو بین ۲ تا ۴ درجه سلسیوس است. در کل، اریبی دمای محاسبه شده برای مدل‌های NMME نشان می‌دهد که الگوی مکانی اریبی برون‌داد مدل‌های انفرادی در فصول مختلف تقریباً یکسان است (شکل ۳). در فصل OND، تعدادی از مدل‌ها (GFDL-aero4، CCSM4، CMC1 و CMC2) دارای اریبی سرد در حوضه‌های آبریز کویر مرکزی و لوت می‌باشند. به‌جز مدل‌های NASA-GMAO و FLOR-B01، سایر مدل‌ها دارای اریبی قابل ملاحظه (۵ درجه سلسیوس به صورت سرد یا گرم) در بخش شمالی کشور ایران در این فصل هستند. کمترین تغییرات اریبی چه از لحاظ پراکنش مکانی و مقدار، مربوط به مدل GFDL-FLOR B01 است. بعنوان نمونه محاسبات مقادیر همبستگی و اریبی برای میانگین دمای حوضه آبریز کرخه برای فصول مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. جدول ۳ نشان از تفاوت زیاد مهارت مدل‌های همادی آمریکای شمالی در پیش‌بینی دمای حوضه کرخه دارد که باید در استفاده از برون‌داد این مدل‌ها در فصول مختلف مورد توجه قرار گیرد. ریشه میانگین مربعات خطا در شمال غرب کشور برای مدل CFSv2 بین ۱/۰۸ و ۳/۹۷ است. هم‌چنین در نواحی ساحلی شمال کشور در کلیه فصل‌های مورد بررسی، مقدار آن حداکثر برابر ۴/۱۷ درجه سانتی‌گراد است. RMSE مدل CMC2 در OND در مقایسه با بقیه فصل‌ها بیشتر و قابل ملاحظه می‌باشد (بین ۱/۲۲ و ۷/۴۳). در جلگه خوزستان و فصل DJF، RMSE این مدل بین ۳/۳۷ و ۷/۷۱ سانتی‌گراد می‌باشد هم‌چنین در جنوب شرق کشور بین ۱/۵۳ و ۴/۸۴ سانتی‌گراد می‌باشد. در FMA، مقدار RMSE در مناطق کویری در بخش مرکزی کشور از ۰/۹۳ تا ۵/۴۵ سانتی‌گراد متغیر است. مساحت زیرمنحنی ROC برای کلیه مدل‌های NMME در شکل ۴ ذکر شده است.

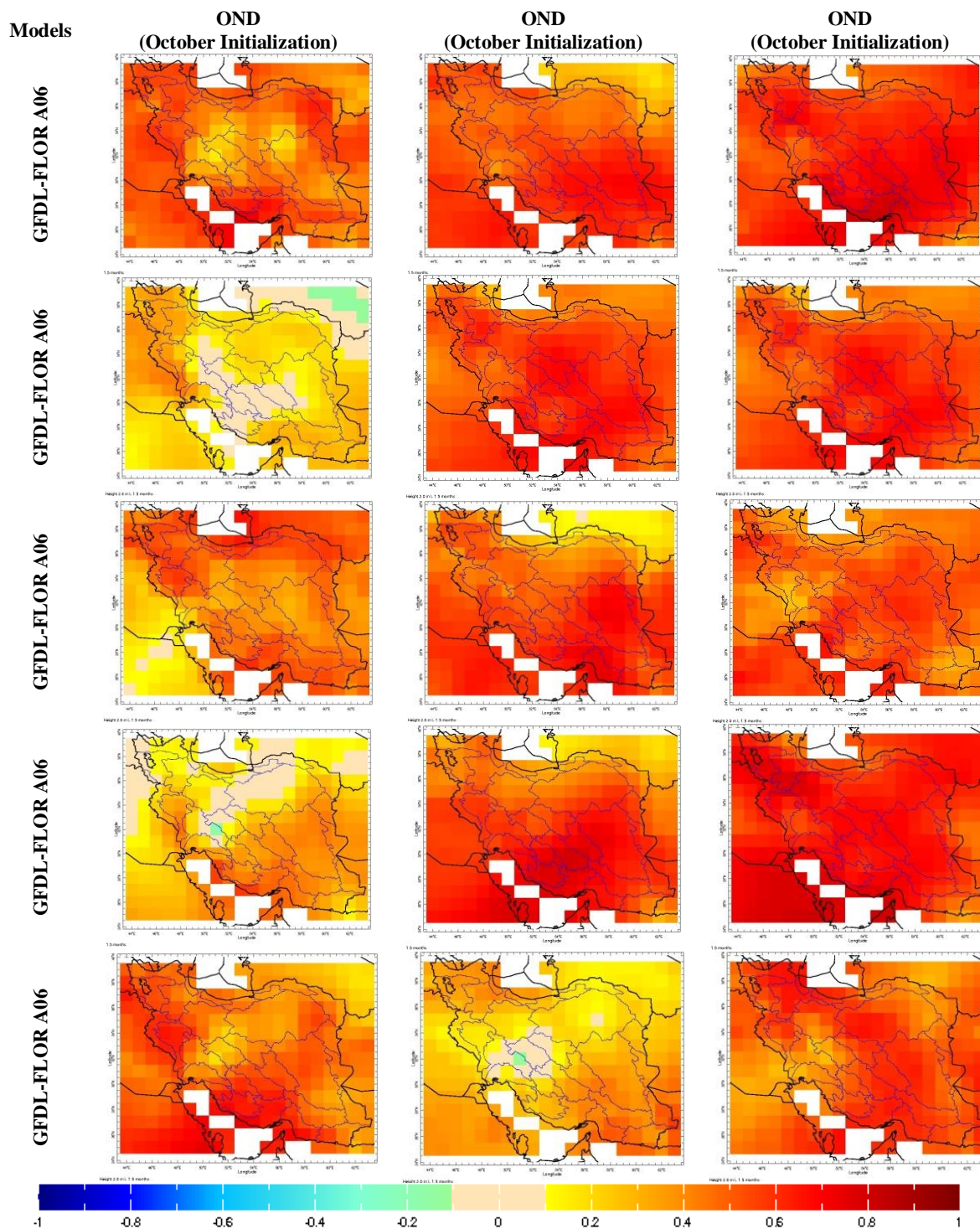


Figure 2- Temperature correlation between a number of NMME seasonal forecasting systems and CRU for OND, DJF and FMA target seasons at 0-month lead time over Iran (1982-2010)

شکل ۲- همبستگی دمای تعدادی از مدل‌های همادی آمریکای شمالی در مقابل مجموعه داده CRU برای سه فصل هدف OND (آغازگری اولین روز اکتبر)، DJF (آغازگری اولین روز دسامبر) و FMA (آغازگری اولین روز فوریه) در گستره ایران محاسبه شده در دوره بازپیش‌بینی (۱۹۸۲-۲۰۱۰)

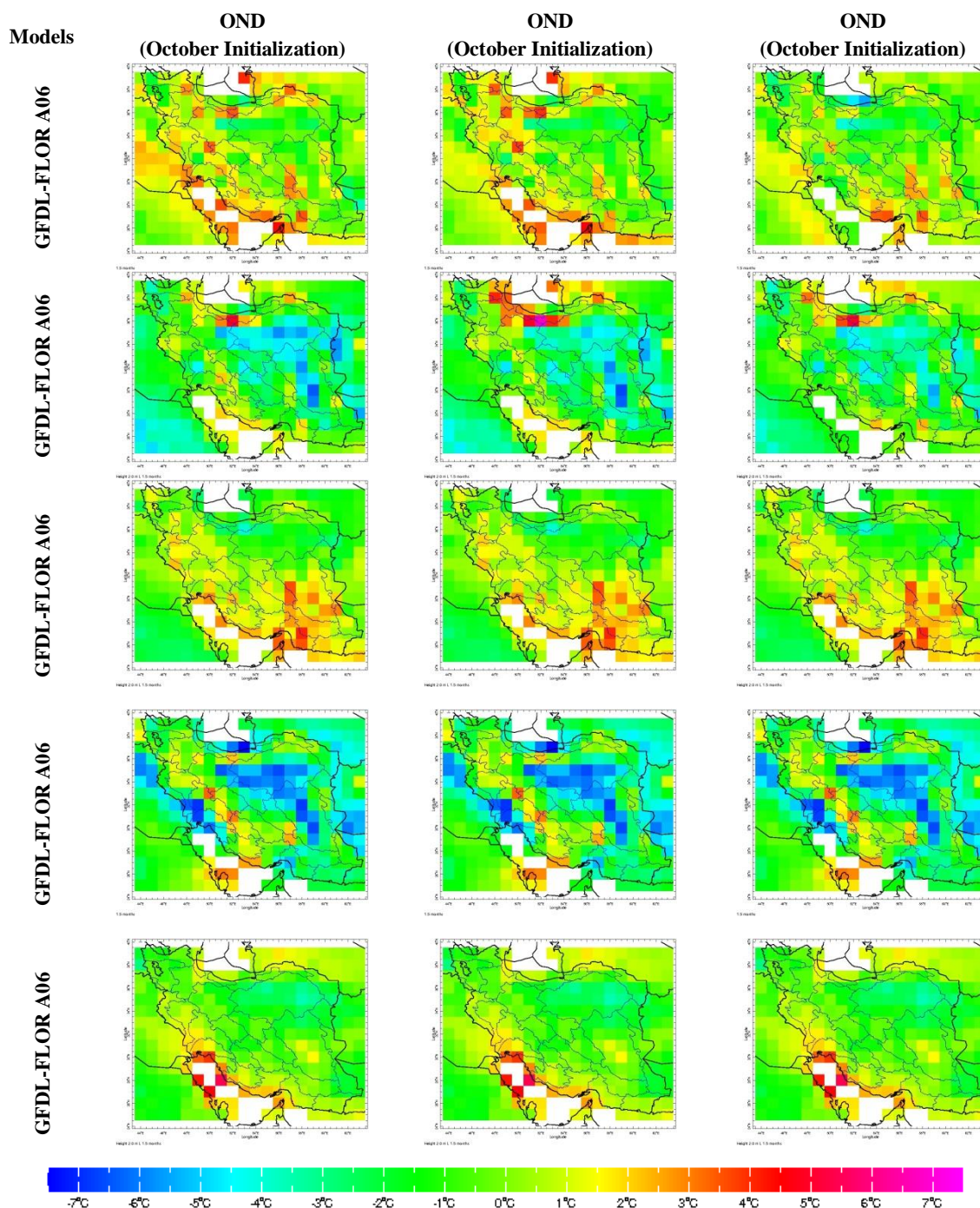


Figure 3- Mean bias (degree Celsius) for a number of NMME seasonal forecasting systems calculated based on CRU for OND, DJF and FMA target seasons at 0-month lead time over Iran (1982-2010)

شکل ۳- متوسط ارزیابی دما برای تعدادی از مدل‌های همادی آمریکای شمالی برای سه فصل هدف OND (آغازگری اولین روز اکتبر)، DJF (آغازگری اولین روز دسامبر) و FMA (آغازگری اولین روز فوریه) در گستره ایران بر حسب درجه سلسیوس در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۰ (ارزیابی در مقایسه با داده‌های CRU محاسبه شده است)



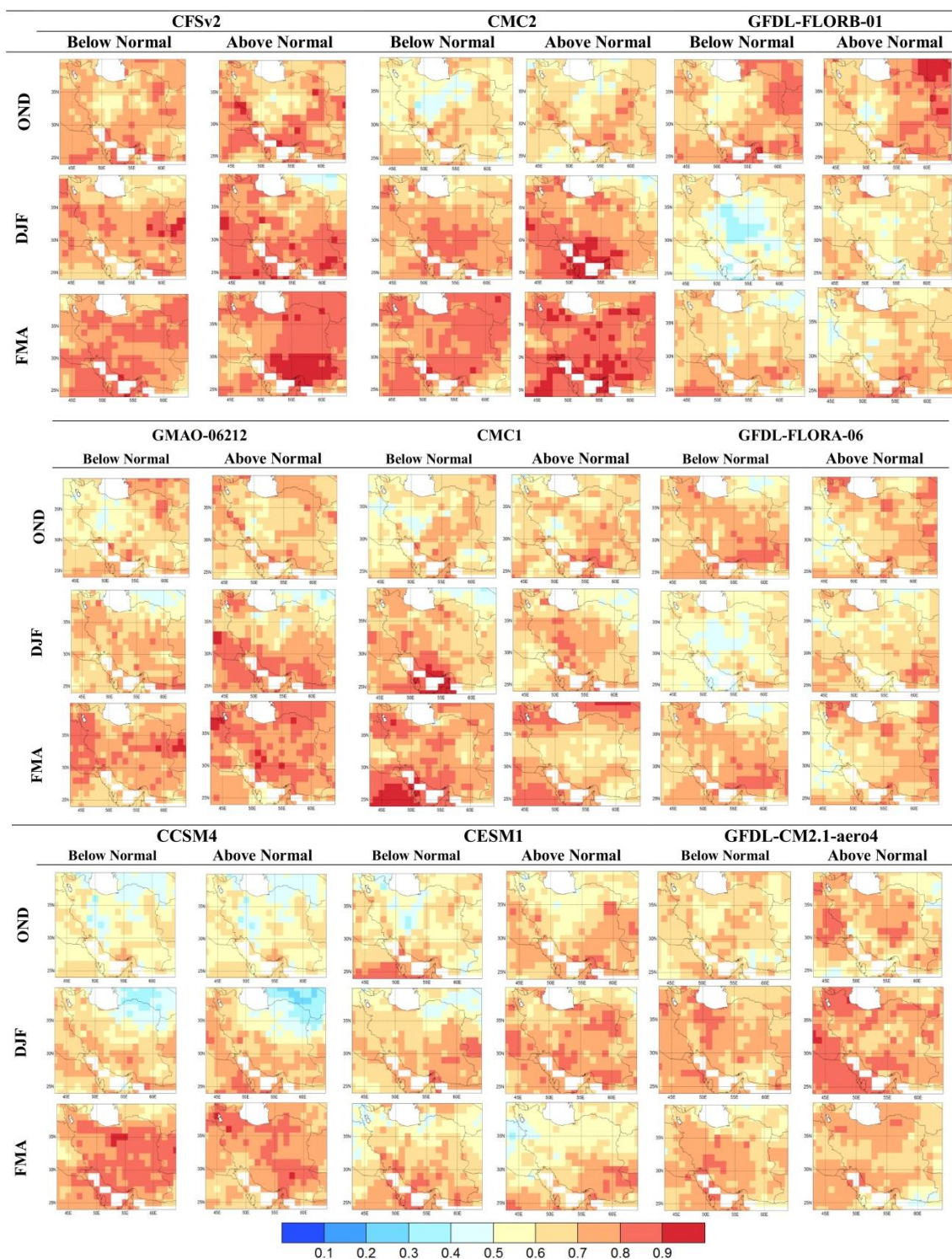


Figure 4- ROC area (below normal and above normal) for a number of NMME individual forecasting systems at 0-month lead time for OND, DJF and FMA target seasons over Iran (1982-2010)

شکل ۴- مساحت زیرمنحنی ROC (زیرنرمال و بیش از نرمال) برای پرونداد دمای مدل‌های همادی آمریکای شمالی برای سه فصل OND، DJF و FMA در زمان انتظار صفر ماه در گستره ایران در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۰

می‌دهد. این تحلیل برای مدل CFSv2 (به عنوان مثال) ارائه شده است. هر ردیف از شکل ۵، برای ارزیابی یک فصل هدف در زمان‌های انتظار مختلف صفر تا دو ماه (به ترتیب ستون چپ به راست) است. لذا با مقایسه تغییرات

مهارت مدل‌های NMME در پیش‌بینی دمای در زمان‌های انتظار مختلف (صفر تا ۲ ماه) شکل ۵ مهارت مدل‌های همادی آمریکای شمالی را در زمان‌های انتظار مختلف برای سه فصل هدف نشان

پیش‌بینی دما در فصول مختلف یکسان نیست. هم‌چنین، در اکثر مناطق کشور، مهارت مدل در زمان انتظار صفر (ماه) بیشتر از زمان‌های انتظار یک و دو ماه است. الگوی تغییرات مکانی پیش‌بینی دمای فصل OND در ماه‌های انتظار مختلف تقریباً یکسان است. اما با افزایش زمان انتظار، مهارت مدل در بخش میانی کشور (بخش‌هایی از حوضه‌های آبریز کارون بزرگ، گاوخونی و کویر لوت) کاهش می‌یابد.

مکانی در هر ردیف از شکل ۴، می‌توان مهارت مدل را برای هر حوضه آبریز در پیش‌بینی دما در زمان‌های انتظار مختلف مشاهده نمود. مقایسه هر ستون نیز نشان دهنده تغییر مهارت مدل CFSv2 در یک زمان انتظار ثابت، با تغییر فصل در حوضه‌های آبریز مختلف است. در این تحلیل میانگین برون‌داد ۲۴ عضو همادی سامانه پیش‌بینی فصلی CFSv2 برای ماه نوامبر در نظر گرفته شده است. نتایج شکل ۵ نشان می‌دهد که مهارت مدل CFSv2

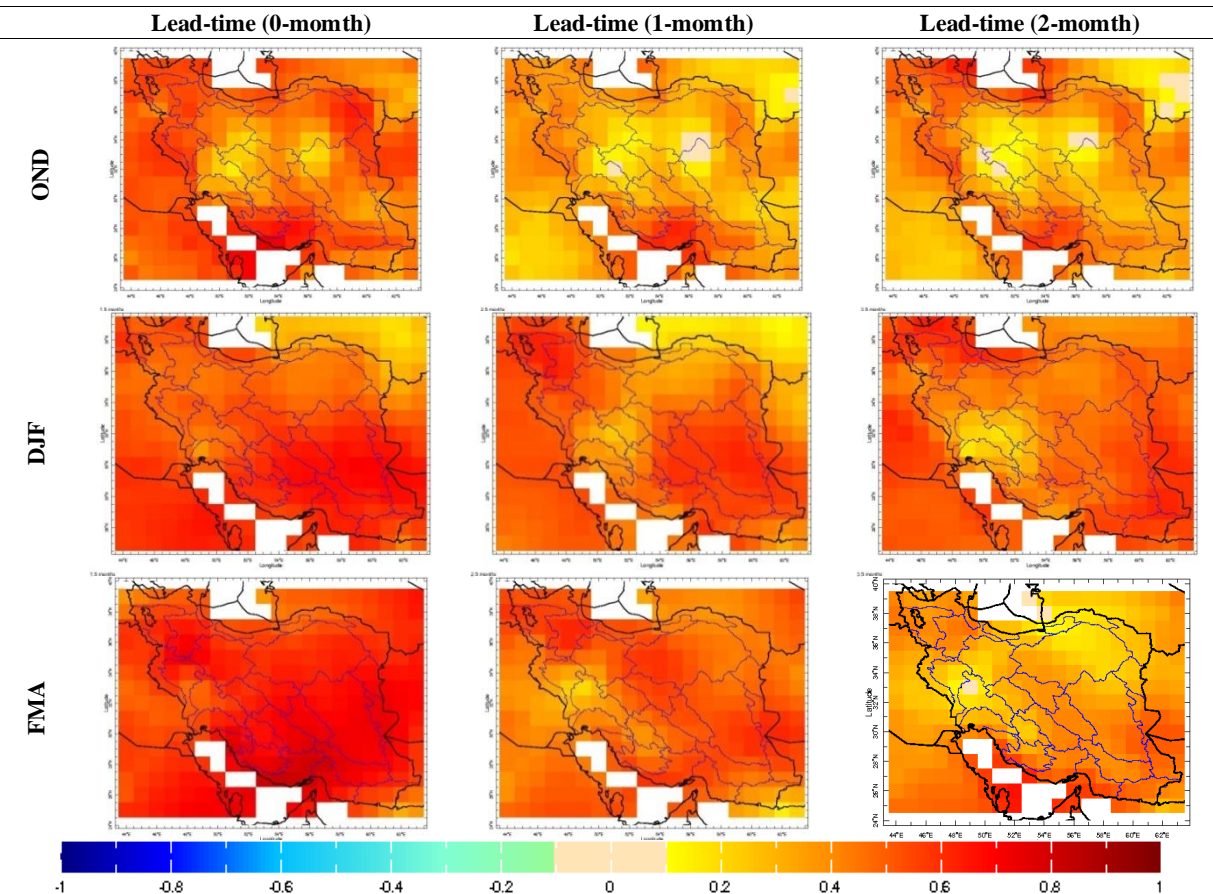


Figure 5- correlations between CFSv2 temperature forecasts and CRU at 0-month (left), 1-lead times (middle) and 2-month lead time (right) for OND, DJF and FMA target seasons (1982-2010)

شکل ۵- همبستگی برون‌داد دمای سامانه همادی CFSv2 با داده‌های CRU در زمان‌های انتظار مختلف صفر ماه (ستون چپ)، یک ماه (ستون وسط) و دو ماه (ستون راست) برای سه فصل OND، DJF و FMA (دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۰)

در بین سه فصل ارزیابی شده، بیشترین مهارت مدل در پیش‌بینی بی‌هنجاری‌های دمایی مربوط به فصل FMA است. در این فصل، ضریب همبستگی در بعضی از حوضه‌های آبریز (حوضه آبریز کل واقع در جنوب غرب کشور بالای ۰/۹ است. این ضریب برای دیگر حوضه‌های آبریز درجه ۲ کشور برای پیش‌بینی دمای فصل FMA (از ابتدای ماه فوریه) نیز بالای ۰/۶ محاسبه شده است که نشان از قابلیت پیش‌بینی مناسب متغیر دما در یک تحلیل بلندمدت برای این فصل دارد.

بیشترین ضریب همبستگی بین برون‌داد مستقیم مدل با داده‌های CRU در فصل FMA به ترتیب در حوضه آبریز کل، سرخس و بخش کوچکی از حوضه کویر مرکزی است. در فصل DJF نیز، در حوضه‌های آبریز هامون (مشکیل و هیرمند)، کویر لوت، دارنجیر و جازموریان در شرق کشور همبستگی در مقایسه با سایر حوضه‌ها بیشتر است. هم‌چنین، تغییرات کاهشی ضریب همبستگی از زمان انتظار صفر به یک و یک به دو در حوضه‌های آبریز کارون بزرگ، جراحی و گاوخونی قابل مشاهده است. اما

## نتیجه‌گیری

دارای همبستگی بالای ۰/۶ و آریبی در حدود  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  در پیش‌بینی فصلی دما در مقایسه با داده‌های CRU هستند. این پژوهش به تحلیل خطای برون‌داد مستقیم مدل‌های NMME پرداخته است. پیشنهاد می‌شود در حوضه‌های آبریزی که آریبی و ریشه میانگین مربع خطا در محدوده مناسب قرار نمی‌گیرد، روش‌شناسی‌های مختلف برای پس‌پردازش و تصحیح خطای سامان‌مند مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. هم‌چنین توسعه سامانه‌های همادی چندمدلی می‌تواند منجر به بهبود پیش‌بینی مدل‌های انفرادی شود که می‌تواند در مطالعات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

## سیاسگزاری

بخشی از این پژوهش با حمایت مالی معاونت محترم بین‌الملل دانشگاه تهران در قالب فرصت مطالعاتی کوتاه‌مدت دانشجویان مقطع دکتری (اعطا شده به نویسنده اول) در دانشگاه کلمبیا واقع در نیویورک انجام شده است که در این خصوص از دانشگاه تهران تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

- Amini Rakan, A., Haghghatjou P., Khalili, K., Behmanesh, J. 2015. Evaluation the performance of genetic programming in modeling mean monthly temperature in different climates of Iran. *Journal of Agricultural Meteorology*, 3(1): 13- 24. (In Farsi)
- Becker, E., Van Den Dool, H. 2016. Probabilistic seasonal forecasts in the North American Multimodel Ensemble: A baseline skill assessment. *Journal of Climate*, 29(8): 3015-3026.
- Gent, P. R., Yeager, S. G., Neale, R. B., Levis, S., Bailey, D. A. 2010. Improvements in a half degree atmosphere/land version of the CCSM. *Climate Dynamics*, 34: 819-833.
- Chen, L., Van den Dool, H., Becker, E., Zhang, Q. 2017. ENSO precipitation and temperature forecasts in the North American Multimodel Ensemble: Composite analysis and validation. *Journal of Climate*, 30: 1103-1125.
- Fallah Ghalhari, Gh., Asadi, M., Dadashi Roudbari, A. 2015. Determination of suitable regions for wheat cultivation in Fars Province. *Journal of Agricultural Meteorology*, 3(2): 68-73. (In Farsi)
- Ghasemi A R. 2017. Modeling feasibility and prediction of minimum and maximum temperature in Iran by bettitt and Holt-Winters methods. *Researches in Geographical Sciences*, 16 (43) :7-24. (In Farsi)
- Ghasemi, A. R., Khalili, D. 2008. The effect of the North Sea-Caspian pattern (NCP) on winter temperatures in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 92: 59-74.
- Harris, I., Jones, P., Osborn, T. J., Lister, D. H. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations- the CRU TS3.10 Dataset. *Journal of Climatology*, 36: 623-642.
- Halabian, A., Mohamadi, B. 2012. The relation of monthly temperature of some sample stations in Iran with different ENSO indices. *Geographic Space*, 12(38): 1-19. (In Farsi)
- Irannejad, P., Ahmadi-Givi, F., Nikouei, N. 2016. A study of winter temperature anomalies in Iran by using the NCEP/NCAR reanalysis dataset. *Iranian Journal of Geophysics*, 10(4):12-27. (In Farsi)
- Kamali, Gh., Mollaei, P., Behyar, M. B. 2010. Development of Zanjan Province Dry Land Wheat Atlas by using Climatic Data and GIS. *Journal of Water and Soil*, 24 (5): 894-907
- Khosravi, M., Mesgari E. 2016. Spatial Analysis of Relationship between Teleconnection Patterns and Monthly Temperature of Northwest of Iran. *Town and Country Planning*, 6(21): 203-214. (In Farsi)
- Kirtman, B. P., Min, D., Infanti J. M. 2014. The North American Multimodel Ensemble phase-1 seasonal-to-interannual prediction; phase-2 toward developing intraseasonal prediction.

پیش‌بینی بی‌هنجاری‌های دمایی در ماه‌های آتی می‌تواند اطلاعات مهمی در خصوص برنامه‌ریزی و تخصیص آب در بخش کشاورزی و به صورت به هنگام در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهد. با توجه به این که در کشور ایران، سامانه‌های پیش‌بینی فصلی (مدل‌های جهانی یا مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای) اجرا نمی‌شود، امکان استفاده از برون‌داد مدل‌های سایر مراکز معتبر جهانی که پیش‌بینی‌های به‌هنگام تولید می‌کنند وجود دارد. اما لازمه آن، تحلیل کارایی این مدل‌ها در یک دوره بلندمدت مناسب برای تحلیل‌های اقلیمی است تا مشخص گردد مهارت این مدل‌ها در دوره گذشته در فصول و حوضه‌های آبریز مختلف چگونه بوده است. در صورت محرز شدن مهارت کافی این مدل‌ها در یک دوره بلندمدت می‌توان از برون‌داد آن‌ها برای مقاصد عملیاتی بهره گرفت. نتایج مطالعه حاضر نیز نشان می‌دهد که در بیش‌تر حوضه‌های آبریز درجه ۲ کشور، مدل‌های همادی آمریکای شمالی

- Bulletin of the American Meteorological Society, 585-601.
- Marofi, S., Saghaei, S., Ershadfath, F., Khatar B. 2015. Evaluating Time Series Models to Estimate Monthly Temperature of Iran's Old Synoptic Stations During 1977-2005. *Water and Soil Science*, 24(4): 215-226. (In Farsi)
- Miri, M., Azizi, G., Mohamadi, H., Pourhashemi M. 2017. Evaluation statistically of temperature and precipitation datasets with observed data in Iran. *Iranian Journal of Mangement Science*, 10 (35) :39-50. (In Farsi)
- Molavi-Arabshahi, M., Arpe, K., Leroy, S. A. G. 2016. Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last 55 years: their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena. *International Journal of Climatology*, 36: 2156-2172.
- Merryfield, W. J., Lee, W-S., Boer, G. J., Kharin, V. V., Scinocca, J. F., Flato, G. M., Ajayamohan, R. S., Fyfe, J. C. 2013. The Canadian seasonal to interannual prediction system. Part I: Models and Initialization. *Monthly Weather Review*, 141: 2910-2945.
- Najafi, H., Massah Bavani A. R., Wanders N., Wood E. F., Irannejad P., Robertson, A. 2017. Developing Multi-model Ensemble for Precipitation and Temperature Seasonal Forecasts: Implications for Karkheh River Basin in Iran. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 19, EGU2017-18597-3, 2017 EGU General Assembly 2017, Vienne, Austria.
- Najafi., H., Massah Bavani, A. R., Irannejad, P., Robertson, A. W. 2018a. Application of North American Multi-Model Ensemble for Iran's seasonal Precipitation. *Iran Water Resources Research*, 13(4): 28-38. (In Farsi)
- Najafi., H., Massah Bavani, A. R., Irannejad, P., Robertson, A. W. 2018b. Developing Real-time Multi-model Ensemble and Downscaling of Seasonal Precipitation Forecast Systems: Application of Canonical Correlation Analysis. *Journal of the Earth and Space Physics*, 44(1): 245-264. (In Farsi)
- Neale, R. B., Richter, J., Park, S., Lauritzen, P. H., Vavrus, S. J., Rasch, P. J., Zhang, M. 2013. The mean climate of the Community Atmosphere Model (CAM4) in forced SST and fully coupled experiments. *Journal of Climate*, 26: 5150-5168.
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y. T., Chuang, H.Y., Iredell, M., Ek, M. 2014. The NCEP climate forecast system version 2. *Journal of Climate*, 27(6): 2185-2208.
- Slater, L., Villarini, G., Bradley, A. 2017. Evaluation of the skill of North-American multi-model ensemble (NMME) global climate models in predicting average and extreme precipitation and temperature over the continental USA. *Climate Dynamics*, In Press.
- Shukla, S., Roberts, J., Hoell, A., Funk, C. C., Robertson, F., Kirtman, B. 2016. Assessing North American multimodel ensemble (NMME) seasonal forecast skill to assist in the early warning of anomalous hydrometeorological events over East Africa. *Clim Dynamics*, 1-17.
- Sobhani, B. 2014. Influence of NAO to minimum, average and maximum temperature in th southwest Iran. *researches in Geographical Sciences*, 14(33): 75-90.
- Tian, D., Martinez, C. J., Graham, W. D., Hwang, S. 2014. Statistical downscaling multimodel forecasts for seasonal precipitation and surface temperature over the southeastern United States. *Journal of Climatology*, 27(22): 8384-8411.
- Vernieres, G., Rienecker, M., Kovach, R., Keppenne, C. H. L. 2012. The GEOS-iODAS: Description and evaluation. Technical report series on global modeling and data assimilation, TM-2012-104606, 30:1-61.
- Yuan, X. 2016. An experimental seasonal hydrological forecasting system over the Yellow River basin-Part 2: The added value from climate forecast models. *Hydrology and Earth System Science*, 20(6): 2453-2466.
- Zareabayneh, H., Bayat Varkeshi, M. 2011. Effect of ENSO Phenomenon on Monthly Seasonal Temperature Variations of Country Half South. *Physical Geography Research*, 44(2): 67-84. (In Farsi)
- Zhang, S., Harrison, J., Rosati, M. J. Wittenberg, A. T. 2007. System design and evaluation of coupled ensemble data assimilation for global oceanic climate studies. *Monthly Weather Review*, 135: 3541-3564.



## Evaluation of NMME seasonal temperature forecasts over Iran's river basins

H. Najafi<sup>1</sup>, A. R. Massah Bavani<sup>2\*</sup>, P. Irannejad<sup>3</sup>, A. W. Robertson<sup>4</sup>

Received: 01/07/2017

Accepted: 10/06/2018

### Abstract

The aim of this research is to evaluate the temperature outputs of climate forecasting systems over Iran. The analysis is provided based on Atmosphere-Ocean Coupled General Circulation Models from North America Multi Model Ensemble (NMME). The skill of NMME individual models are evaluated in different initializations, of lead times (0-month, 1-month and 2-month) for October-December (OND), December-February (DJF), and February-April (FMA) target seasons. Temperatures at 2m from Climate Research Unit (CRU) dataset are used as reference observation over 1982-2010. Pearson correlation, Mean Error and Root Mean Squared Error are calculated as deterministic verification criteria for seasonal forecast verification. In addition, Relative Operating Characteristic (ROC) score is calculated as a categorical measure for below-normal and above-normal conditions. The results suggest that correlation between NMME forecasts and CRU is higher in FMA (compared to DJF and OND). CFSv2 has a significant skill in the south of Iran in FMA (correlation  $\geq 0.9$ , ROC  $\geq 0.7$ ). Spatial pattern of NMME biases is similar in three target seasons. GFDL-FLOR-B01 bias is lowest among all evaluated NMME models. At longer lead times; skill of some models is dropped for forecasting temperature in some river basins in Iran. Given large temperature biases found in NMME individual models, applying Model Output Statistics is recommended. Developing Multi-model Ensemble (MME) can also help to improve seasonal forecasts in Iran's river basins for agriculture and water resources management applications.

**Key words:** Seasonal Forecasting of Temperature, North American Multi Model Ensemble (NMME), Iran's river basins, Atmosphere-Ocean Coupled General Circulation Models, Iran



<sup>1</sup> Ph. D. in Water Resources Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran

(\*Corresponding Author Email Address: armassah@ut.ac.ir)

DOI: 10.22125/agmj.2018.113708.

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Space Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>4</sup> Head of Climate Group, International Research Institute for Climate and Society (IRI), Erath Institute, Columbia University in New York, USA