

## ارزیابی مدل‌های CMIP5 جهت شبیه‌سازی بارش با استفاده از ترکیب داده‌های بارش شبکه‌ای

### APHRODIT و بارش ماهواره‌ای PERSIANN-CDR در سراسر استان خوزستان

کاظم رنگرن<sup>۱</sup>، علی شهبازی<sup>۲</sup>، زهرا جریده<sup>۳\*</sup> و مصطفی کابلی‌زاده<sup>۴</sup>

(۱) عضو هیات علمی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

(۲) دکترای منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان.

(۳) کارشناس ارشد رشته سنجش از دور و GIS.

(۴) عضو هیات علمی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

\* نویسنده مسئول: zjride@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۳۰

#### چکیده

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های مدل‌های گردش عمومی جو، بزرگ‌مقیاس بودن متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده می‌باشد. بنابراین می‌بایست به روش‌های مختلف ریزمقیاس شوند تا توانایی لازم جهت برازش به منطقه مورد مطالعه را داشته باشند. انتخاب مدل مناسب برای محدوده مورد مطالعه نقش بسیار مهمی در شبیه‌سازی پارامتر موردنظر (بارش) برای آینده دارد. در این تحقیق از مدل‌های CMIP5 شامل BCC-CSM1.1.M، MPI-ESM-MR و MPI-ESM-LR به منظور ارزیابی مدل‌ها در دوره پایه و مشخص کردن بهترین مدل جهت برازش به منطقه مورد مطالعه استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا هیستوری‌کال مدل و دیتای شاهد (ترکیب بارش ماهواره‌ای پرژین و بارش شبکه‌ای آفرودیت) به دو دوره تقسیم شد دوره اول ۱۹۹۲-۱۹۸۳ به عنوان دوره پایه و دوره دوم ۲۰۰۳-۱۹۹۴ به عنوان دوره ارزیابی. شاخص‌های راست‌آزمایی میانگین خطای مطلق و شاخص امتیاز مهارتی میانگین خطای مطلق بین مدل‌ها و شاهد در دوره ارزیابی قبل و بعد از اصلاح و ریزمقیاس‌نمایی به صورت فصلی در نرم‌افزار متلب برای تمامی پیکسل‌های استان خوزستان محاسبه شد. نتایج حاکی از آن است که قبل از اعمال روش ریزمقیاس‌نمایی عامل تغییر (دلتا) مدل BCC-CSM1.1.M دارای خطای کمتر نسبت به دو مدل دیگر بود و دو مدل دیگر از لحاظ میزان خطا تقریباً مشابه بودند. بعد از اعمال روش دلتا مدل BCC-CSM1.1.M بهترین بهبود را از خود نشان داد و مدل‌های MPI-ESM-MR، MPI-ESM-LR به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم اهمیت قرار گرفتند. بنابراین بیش‌ترین اعتماد بعد از ریزمقیاس‌نمایی به روش دلتا برای آینده تحت سناریوی RCP5.4 برای استان خوزستان به مدل BCC-CSM1.1.M اختصاص یافت.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های گردش عمومی جو، ریزمقیاس‌نمایی، بارش ماهواره‌ای Persiann-Cdr، بارش شبکه‌ای آفرودیت و ارزیابی مدل-

ها.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در ساختار کره زمین اقلیم است. طبیعتاً کلیه مظاهر طبیعی از اقلیم متأثر می‌شوند. در بین مفهوم هوا و اقلیم، شرایط جوی موقت و معینی که برای مدت کوتاهی در یک مکان معین حاکم است را اصطلاحاً هوا و میانگین طولانی مدت این شرایط متغیر جوی را نیز اقلیم می‌نامند (کاوپانی و علیجانی، ۱۳۸۰). مدل‌های گردش عمومی جو سه بعدی بوده و قادرند سیستم اقلیمی را با لحاظ نمودن اکثر فرایندها در مقیاس جهانی و یا قاره‌ای شبیه‌سازی کنند. این مدل‌ها برای محاسبه هر یک از متغیرهای اقلیمی نیازمند محاسبه، ذخیره و تکرار محاسبات در هر یک از نقاط شبکه می‌باشند (عساکره، ۱۳۸۶). شبیه‌سازی وضعیت اقلیمی از دیرباز اهمیت بسیار زیادی داشته است. یکی از مهم‌ترین و چالش‌برانگیزترین مسائل در بررسی اقلیم شبیه‌سازی پارامتر بارش برای آینده می‌باشد. شبیه‌سازی بارش عاملی بسیار مهم در کاربردهای هیدرولوژیکی و پیش‌بینی سیلاب‌ها محسوب می‌شود. مدیریت بهینه منابع آب برای بارش‌های سیل‌آسا با استفاده از پیش‌بینی‌های کمی بارش، وابسته به دقت شبیه‌سازی‌هایی است که با مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) انجام می‌شود. اما از آنجایی که یکی از محدودیت‌های عمده در استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) قدرت تفکیک مکانی کم آن‌هاست، بنابراین از روش‌های مقیاس‌کاهی<sup>۲</sup> برای رفع این محدودیت استفاده می‌شود. در این پژوهش جهت ریزمقیاس‌نمایی و اصلاح مدل‌های CMIP5<sup>۳</sup> و ارزیابی مدل‌ها در دوره پایه از روش دلتا استفاده شد. آزادی و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی پس‌پردازش برون‌داد مدل WRF برای بارندگی روزانه در ایران پرداختند. در این پژوهش برون‌داد مدل برای بارندگی‌های ۲۴ ساعته با دو روش بهترین برآوردگر ساده و روش میانگین‌متحرک برای ۲۰۵ ایستگاه هواشناسی همدید کشور تصحیح و پس‌پردازش شد، به گونه‌ای که میانگین مطلق خطا برای ایستگاه‌های مختلف در روش میانگین متحرک، بین ۵ تا ۵۰ درصد (با میانگین در حدود ۰/۲۵) و در روش بهترین برآوردگر ساده به‌طور میانگین در حدود ۰/۱۳ بهبود یافته است. حمیدیان پور و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب‌شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹ پرداختند. یافته‌های پژوهش نشان از افزایش دما بر اساس تمام مدل‌ها- سناریوها، طی دوره‌های آتی دارد. بر عکس رفتار یکنواخت افزایشی در دما، تغییرات فصلی بارش در ایستگاه‌های مختلف بسیار نوسانی است. مقدار بارش طی فصول سرد سال در تمامی ایستگاه‌ها روندی افزایشی دارد، در حالی که بارش‌های بهاره روی ایستگاه‌های واقع در خشکی نسبت به نواحی ساحلی افزایش بیشتری خواهد داشت، به طوری که در آینده می‌توان انتظار افزایش وقوع سیلاب‌های بهاره را در این مناطق داشت. طائی سمیرمی و همکاران (۱۳۹۳) به شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل

<sup>۱</sup> General circulation models

<sup>۲</sup> Downscaling

<sup>۳</sup> Coupled model intercomparison project phase

چندگانه خطی SDSM و مدل های گردش عمومی جو (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بار نیشابور) پرداختند که نتایج با توجه به پارامترهای آماری، سناریو A2 ( $R^2=0.84$ ،  $RMSE=04.4$ ،  $NASH=99.0$ ،  $MAE=33.0$ ،  $PBIS=-24.0$ ) حاکی از تطابق بیش تر مدل HADCM3 تحت سناریو A2 با دوره پایه می باشد. Ghahreman و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی عدم قطعیت در گزارش پنجم IPCC دما و بارش در سراسر ایران تحت سناریوهای RCP پرداختند. نتایج نشان داد که برای متغیر بارش مدل MPI-ESM-LR بهترین مدل با کمترین RMSE می باشد و مدل های BCC-CSM1.1(M) و MPI-ESM-MR در رتبه دوم و سوم اهمیت قرار دارند، برای متغیر دما نیز MPI-ESM-MR و CESM1(BGC) و CCSM4 بهترین مدل ها انتخاب شدند.

JURY و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی مدل های CMIP5 در زمینه ریزمقیاس نمایی دینامیکی در سراسر اروپا پرداختند. نتایج نشان داد که مهارت GCM در شبیه سازی متغیرهای نزدیک به سطح نسبت به مهارت آن در شبیه سازی LBCS برای شبیه سازی اقلیمی منطقه دارای همبستگی ۰/۶۲ است. Yao و همکاران (۲۰۱۲) به ارزیابی و طرح ریزی درجه حرارت زیاد در سراسر چین بر اساس مدل CMIP5 پرداختند. نتایج نشان داد که همبستگی فضایی مشترک از ۲۰ سال بازگشت سطح تحت سناریو RCP5.4<sup>۴</sup> از حداقل و حداکثر درجه حرارت سالانه بیشتر از ۰/۹۸ است. Rivera و Penalba (۲۰۱۳) در مقاله ای تحت عنوان تغییرات آینده خشکسالی در جنوب آمریکا با استفاده از چند مدل CMIP5 پرداختند، ارزیابی اقلیم آینده تحت سناریوهای میانه و انتشار بالا نشان داد که خشکسالی های کوتاه مدت و بلندمدت به طور مکرر در قرن ۲۱ صورت گرفته و دارای مدت زمان کوتاه تر و شدت بیشتر در بسیاری از منطقه مورد مطالعه است. هدف اصلی این پژوهش ارزیابی میزان تطابق سه مدل مورد نظر در دوره پایه با داده شاهد (ترکیب بارش شبکه ای آفرودیت و بارش ماهواره ای پرژین) و مشخص کردن اینکه کدام مدل بعد از ریزمقیاس نمایی و اصلاح به روش دلتا بهترین بهبود و شبیه سازی بارش را خواهد داشت. از طرفی به دلیل اینکه مدل های CMIP5 هنوز برای خوزستان مورد ارزیابی قرار نگرفته اند ارزیابی این مدل ها جهت تعیین بهترین مدل برای شبیه سازی بارش آینده ضروری می باشد.

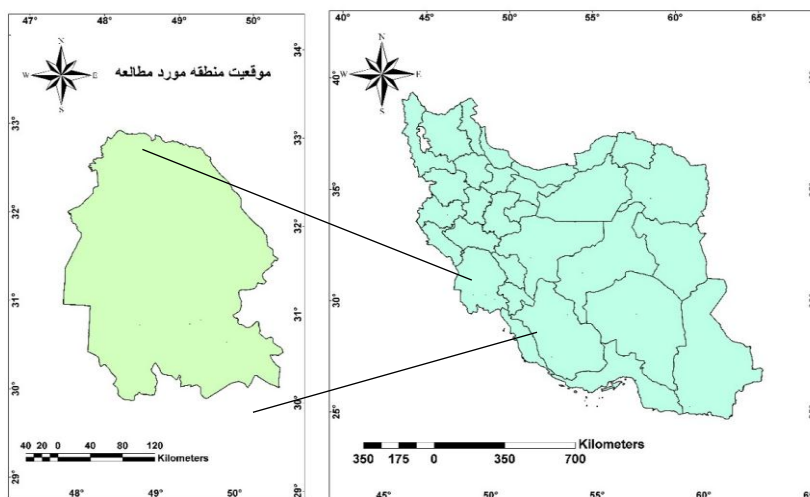
## مواد و روش ها

### منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق استان خوزستان می باشد. این تحقیق شامل سه بخش کلی می باشد. مرحله اول شامل دریافت داده های بارش سه مدل گردش عمومی جو فاز پنجم، دریافت داده های بارش ماهواره ای Persiann-Cdr و داده های بارش شبکه ای APHRODIT می باشد. مرحله دوم شامل ارزیابی مدل ها در دوره پایه به کمک دیتای شاهد

<sup>4</sup> Representative concentration pathway

(ترکیب بارش ماهواره‌ای Persiann-cdr و بارش شبکه‌ای APHRODIT قبل و بعد از ریزمقیاس‌نمایی و اصلاح به روش دلتا با استفاده از سنج‌های آماری موردنظر می‌باشد. مرحله سوم مشخص کردن بهترین مدل بعد از اصلاح برای شبیه‌سازی بارش آینده تحت سناریوی RCP5.4 می‌باشد.



شکل ۱: نقشه محدوده مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده

استفاده از سه مدل گردش عمومی جو سری CMIP5

جدول ۱: مشخصات مدل‌های مورد استفاده

Model	Institution	Spatial Resolution (Lon × Lat, degree)
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology ,Germany	۱/۸۵× ۱/۸۷۵
BCC-CSM1.1M	Beijing Climate Center , China Meteorological Administration	۲/۷۷ × ۲/۸۱
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology , Germany	۱/۸۵× ۱/۸۷۵

استفاده از بارش ماهواره‌ای Persiann-Cdr و بارش شبکه‌ای APHRODIT به عنوان دیتای شاهد جهت

اصلاح و ریزمقیاس‌نمایی مدل‌ها در دوره پایه

### بارش ماهواره‌ای Persiann-Cdr

در این مطالعه از داده های بارش روزانه پرژین مبتنی بر ماهواره استفاده می شود که در واقع تخمین بارش از اطلاعات سنجش از دور با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای ثبت داده اقلیمی می باشد. اخیراً مدیریت ملی اقیانوسی و اتمسفری<sup>۵</sup> (NOAA) مراکز ملی برای اطلاعات محیطی<sup>۶</sup> (NCEI) پرژین را منتشر کرد. این مجموعه داده های جهانی دوره‌ای از ۱۹۸۳ تا عهد حاضر را در بر می‌گیرند این مجموعه داده در مرکز هواشناسی و سنجش از دور<sup>۷</sup> (CHRS) در دانشگاه کالیفرنیا توسعه پیدا کرده است (Miao *et al.*, 2015). پرژین بیش از سه دهه از داده های بارش تاریخی را در قدرت تفکیک مکانی و زمانی ۰/۲۵ درجه و روزانه برای عرض جغرافیایی ۶۰ درجه جنوبی تا ۶۰ درجه شمالی و تمام طول جغرافیایی را فراهم می کند. این محصول مطالعه طولانی مدت تغییرات تاریخی در بارش جهانی با قدرت تفکیک بالا را فراهم می کند و پنجره‌ای از ماهواره‌های مدار زمین آهنگ (ثابت) (GEO) برای تهیه پرژین مورد استفاده قرار می‌گیرد (Katiraie-Boroujerdy *et al.*, 2016).

### بارش شبکه‌ای APHRODIT

مجموعه داده‌های آفرودیت را کنسرسیومی بین پژوهشکده انسانی و طبیعی ژاپن (RIHN)<sup>۸</sup> و پژوهشکده هواشناسی متعلق به آژانس هواشناسی ژاپن<sup>۹</sup> (MRI, JMA) توسعه داده است. کنسرسیوم مزبور داده‌های بارش با قدرت تفکیک متفاوت را در مناطق مختلف آسیا توسعه داده است. این داده‌ها بارش فاصله وزین از طریق ایستگاه‌های زمینی بارش درون‌یابی شده است. شمار ایستگاه‌های زمینی معتبر در هر درون‌یابی بین ۵۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ ایستگاه است. بازه زمانی پوشش داده شده بیش از ۵۰ سال (۱۹۵۱-۲۰۰۷) است که به صورت روزانه و با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ قوسی ارائه می شود (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۵).

### نرم‌افزارهای مورد استفاده

شامل ۱- استفاده از سیستم عامل لینوکس ۲- استفاده از نرم افزارهای گرافیکی Cdo، Ncview، Netcdf ۳- استفاده از نرم افزار MATLAB R 2012a ۴- استفاده از نرم‌افزار ArcMap 1.10 می‌باشد.

### ریزمقیاس‌نمایی و اصلاح مدل‌ها در دوره پایه

<sup>5</sup> National oceanic and atmospheric administration

<sup>6</sup> National centers for environmental information

<sup>7</sup> Center for hydrometeorology and remote sensing

<sup>8</sup> Research institute for humanity and nature

<sup>9</sup> Meteorological research institute of japan meteorological agency

یکی از محدودیت‌های عمده در استفاده از خروجی مدل‌های GCM تفکیک مکانی کم آن‌هاست که به لحاظ مکانی و زمانی با دقت مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. بنابراین از روش‌های مقیاس‌کاهی برای رفع این محدودیت استفاده می‌شود (کمال و مساح بوانی، ۱۳۹۱). روش دلتا به طور گسترده‌ای در مطالعات مربوط به مدل‌های گردش عمومی جو برای مساعدت مطالعات تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفته است. برای متغیر بارش فاکتور دلتا به وسیله تقسیم مقدار ارزیابی مدل به مقدار تاریخی مدل بدست می‌آید و سپس عامل تغییر بدست آمده برای پارامتر بارش در سری زمانی بارش شاهد ضرب می‌شود. این عملکرد در هر تفکیک پذیری زمانی از سالانه تا ماهانه انجام می‌شود به هر حال استفاده از مقیاس ماهانه امکان ارزیابی فصلی را هم فراهم می‌کند (Guilbert, 2016). قبل از انجام پردازش و ریزمقیاس‌نمایی به روش عامل تغییر برای دوره‌های آینده می‌بایست از توانایی مدل جهت شبیه‌سازی آینده اطمینان حاصل نمود بدین ترتیب ابتدا ریزمقیاس‌نمایی روی داده‌های هیستوریکال مدل به صورت زیر انجام شد: برای این کار داده‌های هیستوریکال می‌بایست به دو دوره تقسیم شوند؛ دوره اول به نام دوره پایه<sup>۱۰</sup> از سال ۱۹۸۳ تا ۱۹۹۲ و دوره دوم به نام دوره ارزیابی<sup>۱۱</sup> از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۳ و از طرف دیگر دیتای شاهد (ترکیب بارش ماهواره‌ای Persiann-Cdr و بارش شبکه‌ای APHRODIT) را نیز به دو دوره مشابه بالا تقسیم می‌کنیم. جهت اصلاح و ریزمقیاس‌نمایی مدل در دوره ارزیابی از (رابطه ۱) استفاده شد:

$$x_{cor,i} = x_{o,i} * \frac{\mu_p}{\mu_b} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه،  $X_{cor,i}$  نشان‌دهنده داده‌های اصلاح شده و ریزمقیاس‌شده در دوره ارزیابی،  $X_{o,i}$  نشان‌دهنده داده‌های شاهد در دوره پایه،  $\mu_p$  و  $\mu_b$  به ترتیب نشان‌دهنده داده‌های شبیه‌سازی شده در دوره پایه و دوره ارزیابی و داده‌های شاهد می‌باشد (Watanabe et al., 2012) جهت اصلاح داده‌ها در دوره ارزیابی به صورت ماهانه میانگین بارش تمامی ماه‌های ژانویه در دوره ارزیابی بر میانگین تمام ماه‌های ژانویه در دوره پایه تقسیم می‌شود بدین ترتیب عامل تغییر ماه ژانویه بدست می‌آید، برای ماه‌های دیگر نیز به همین ترتیب عمل میشود در مرحله بعد عامل تغییر بدست آمده برای ماه‌های ژانویه در تک تک ماه‌های ژانویه مشاهداتی در دوره پایه ضرب می‌شود و داده‌های دوره ارزیابی اصلاح و از یک درجه به ۰/۲۵ درجه ریزمقیاس می‌شود.

<sup>10</sup> Baseline

<sup>11</sup> Validation

### نمایه‌های مورد استفاده جهت ارزیابی شبیه‌سازی

سنجه‌های آماری زیر جهت ارزیابی شبیه‌سازی‌ها مورد استفاده قرار گرفت. همه سنجه‌ها بین مدل‌های تاریخی و شاهد در دوره ارزیابی قبل و بعد از ریزمقیاس‌نمایی و اصلاح به روش دلتا در نرم‌افزار متلب مورد بررسی قرار گرفت.

#### میانگین خطای مطلق<sup>۱۲</sup> (MAE)

مقدار این شاخص از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Fi - Oi| \quad \text{رابطه ۲:}$$

Fi مقدار پیش‌بینی شده بارش، Oi مقدار دیده‌بانی شده متناظر با آن، N تعداد ماه‌ها می‌باشد (sarhadi,2016).

#### شاخص امتیاز مهارتی میانگین خطای مطلق

این شاخص اشاره به اطلاعاتی درباره ارزش یک پیش‌بینی نسبت به یک پیش‌بینی مرجع دارد هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده نتایج بهتر است (آزادی و همکاران، ۱۳۹۰). این شاخص با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$MAE \text{ skill score} = 1 - \frac{MAE_{pp}}{MAE_{DMO}} \quad \text{رابطه ۳:}$$

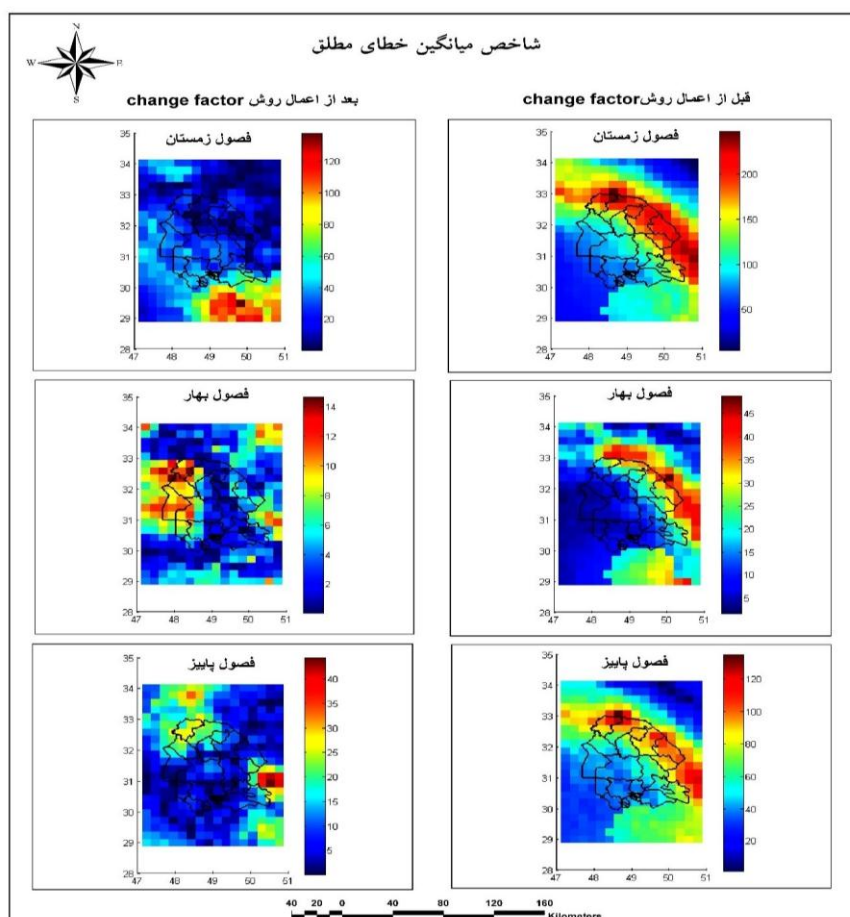
MAEDMO: میانگین خطای مطلق قبل از پردازش، MAEpp: میانگین خطای مطلق پس از پردازش (آزادی و همکاران، ۱۳۹۰).

#### نتایج و بحث

به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که روش دلتا توانسته است میزان خطای مدل و شاهد برای تمامی پیکسل‌های استان خوزستان را کاهش دهد. مطابق با (شکل‌های ۲، ۳ و ۴) که ارزیابی هر سه مدل در دوره پایه قبل و بعد از اعمال روش عامل تغییر (دلتا) به صورت فصلی صورت گرفت، میزان تغییرات میانگین خطای مطلق در تمامی نواحی استان نشان داده شده است. بدین ترتیب که قبل از اعمال روش دلتا مدل BCC-CSM1.1.M دارای خطای کم‌تر نسبت به دو مدل دیگر بود و دو مدل دیگر از لحاظ میزان خطا مشابه بودند. اما بعد از اعمال روش دلتا مدل BCC-CSM1.1.M بهترین بهبود را از خود نشان داد و مدل‌های MPI-ESM-MR و MPI-ESM-LR در رتبه‌های دوم و سوم اهمیت قرار گرفتند. همان‌طور که در بالا ذکر شد، شاخص امتیاز مهارتی میانگین خطای مطلق هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده بهبود

<sup>12</sup> Mean absolute error

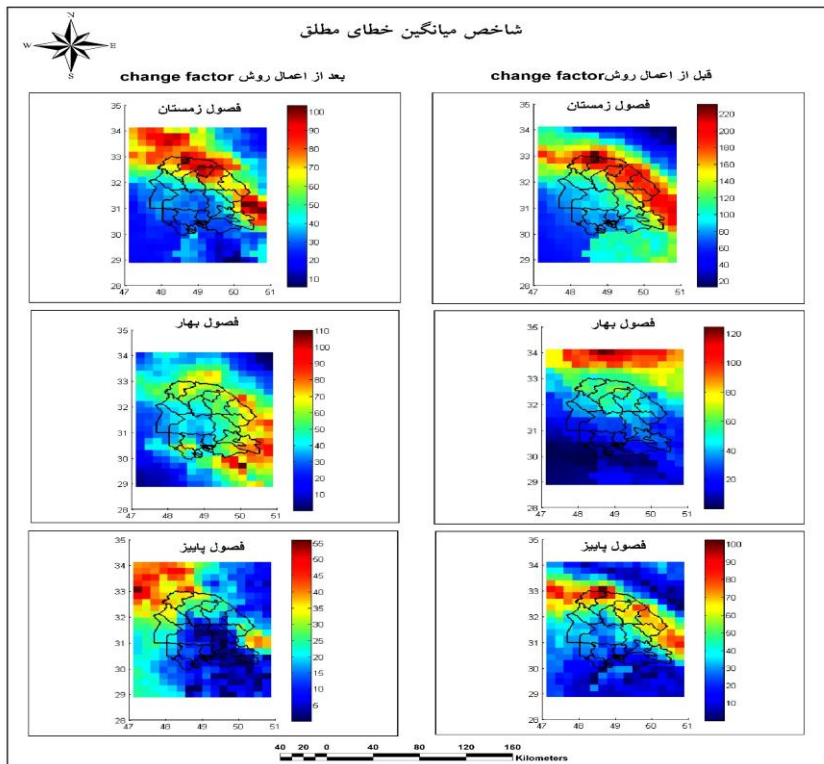
بیشتر مدل بعد از اصلاح و پردازش می‌باشد. مطابق با شکل ۵ این شاخص برای مدل BCC-CSM1.1.M در هر سه فصل در اکثر نواحی استان بهبود شبیه‌سازی تا ۰/۹ را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده این است که در مدل BCC-CSM1.1.M بعد از اصلاح و ریزمقیاس‌نمایی میزان خطا به میزان قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافته است. اشکال ۶ و ۷ نیز به ترتیب نشان‌دهنده میزان این شاخص برای مدل‌های MPI-ESM-MR و MPI-ESM-LR می‌باشند. قهرمان و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی عدم قطعیت در گزارش پنجم IPCC برای دما و بارش در سراسر ایران تحت سناریوی RCP پرداختند، که برای متغیر بارش مدل MPI-ESM-LR بهترین مدل با کم‌ترین RMSE مدل‌های BCC-CSM1.1M و MPI-ESM-MR در رتبه‌های دوم و سوم اهمیت قرار گرفتند. در تحقیق حاضر ارزیابی سه مدل برای تمامی پیکسل‌های استان خوزستان صورت گرفت، که مشخص شد مدل BCC-CSM1.1.M بهترین مدل برای شبیه‌سازی بارش بعد از اعمال روش دلتا و مدل‌های MPI-ESM-MR و MPI-ESM-LR به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم اهمیت قرار گرفتند.



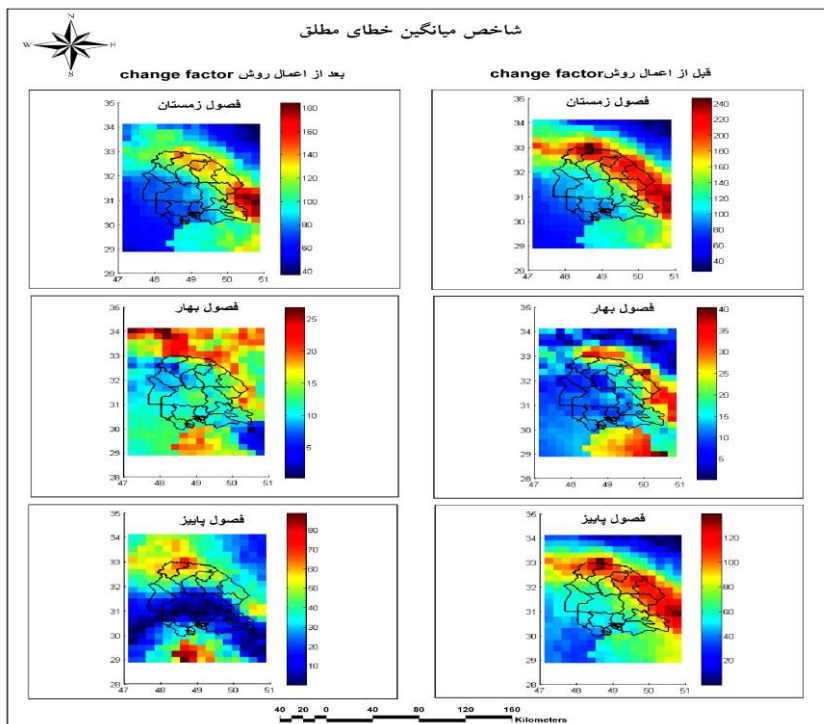
شکل ۲: شاخص میانگین خطای مطلق مدل BCC-CSM1.1.M بین دوره ارزیابی مدل و دیتای شاهد (ترکیب بارش

ماهواره‌ای پرژین و بارش شبکه‌ای آفرودیت) به صورت فصلی

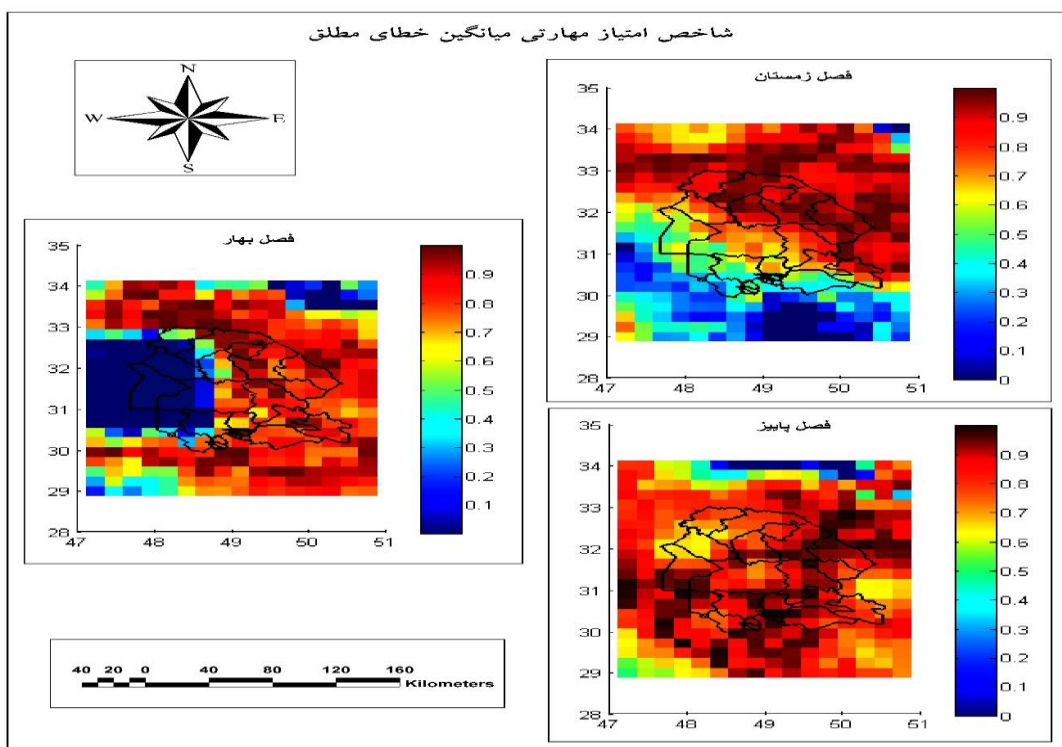




شکل ۳: شاخص میانگین خطای مطلق مدل MPI-ESM-MR بین دوره ارزیابی مدل و دیتای شاهد (ترکیب بارش ماهواره‌ای پرژین و بارش شبکه‌ای آفرودیت) به صورت فصلی

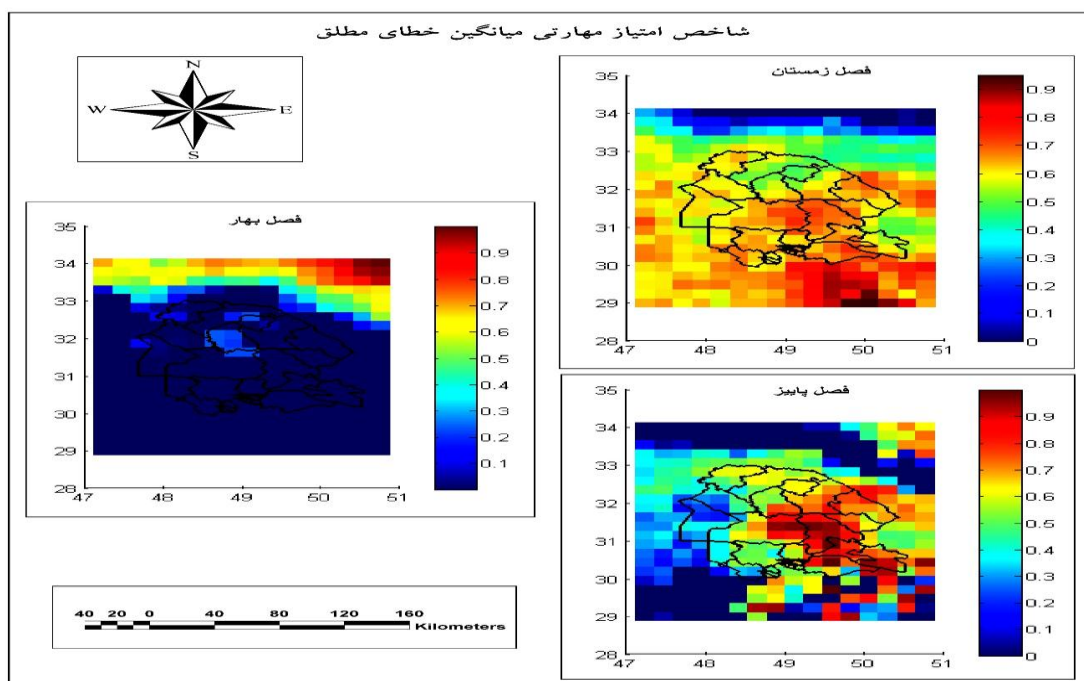


شکل ۴: شاخص میانگین خطای مطلق مدل MPI-ESM-LR بین دوره ارزیابی مدل و دیتای شاهد (ترکیب بارش ماهواره‌ای پرژین و بارش شبکه‌ای آفرودیت) به صورت فصلی



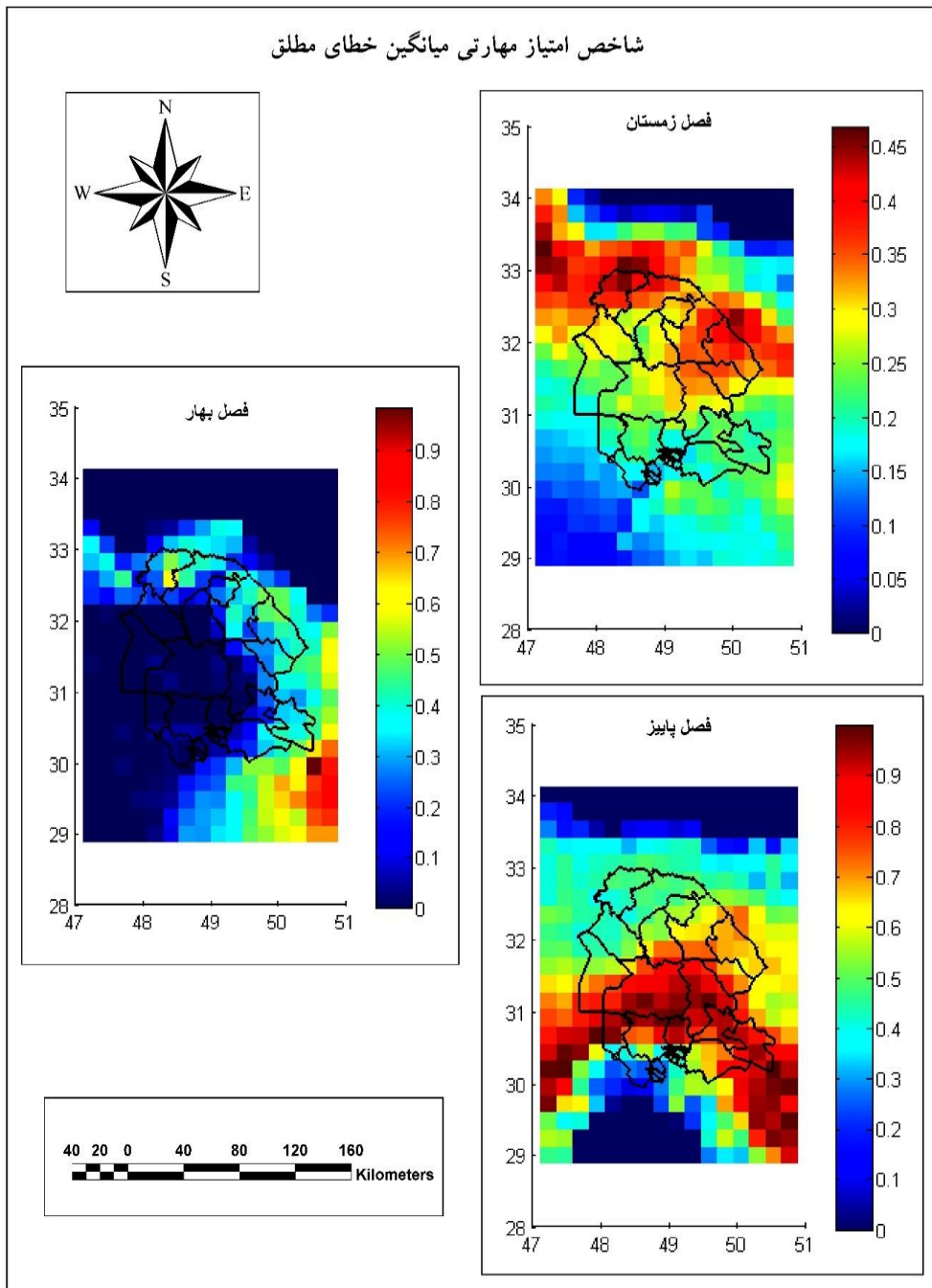
شکل ۵: شاخص امتیاز مهارتی میانگین خطای مطلق مدل BCC-CSM1.1.M بین دوره ارزیابی مدل و شاهد

(ترکیب بارش ماهواره‌پرزین و بارش شبکه‌ای آفرودیت)



شکل ۶: شاخص امتیاز مهارتی میانگین خطای مطلق مدل MPI-ESM-MR بین دوره ارزیابی مدل و شاهد(ترکیب

بارش ماهواره‌پرزین و بارش شبکه‌ای آفرودیت)



شکل ۷: شاخص امتیاز مهارتی میانگین خطای مطلق مدل MPI-ESM-LR بین دوره ارزیابی مدل و شاهد (ترکیب

بارش ماهواره پرتین و بارش شبکه‌ای آفرودیت)

### نتیجه‌گیری

شاخص‌های راست‌آزمایی مورد استفاده شامل میانگین خطای مطلق و شاخص امتیاز مهارتی میانگین خطای مطلق برای بررسی میزان مهارت روش ریزمقیاس‌نمایی دلتا در کاهش خطای مدل‌ها برای داده‌های خام مدل و داده‌های تصحیح

شده مدل در مقایسه با دیتای شاهد محاسبه شده و در نهایت مدل‌ها با هم مقایسه می‌شوند. با توجه به نتایج حاصل شده از میانگین خطای مطلق قبل از اعمال روش دلتا که ارزیابی‌ها بین دیتای خام مدل و شاهد در دوره ارزیابی (۱۹۹۴\_۲۰۰۳) صورت گرفت، مدل BCC-CSM1.1M دارای خطای کمتر نسبت به دو مدل دیگر بود و مدل‌های MPI-ESM-MR و MPI-ESM-LR تقریباً از لحاظ میزان خطا شرایط یکسانی داشتند. بعد از اعمال روش دلتا مدل BCC-CSM1.1M بهترین بهبود و شبیه‌سازی را از خود نشان داد و مدل‌های MPI-ESM-MR و MPI-ESM-LR در رتبه‌های دوم و سوم اهمیت قرار گرفتند. بنابراین برای کل استان توانایی روش دلتا در بهبود مدل BCC-CSM1.1M بسیار بالا بود. بدین- ترتیب می‌توان به خروجی مدل BCC-CSM1.1M با روش اصلاح و ریزمقیاس‌نمایی دلتا تحت سناریوی RCP5.4 برای آینده اعتماد کرد.

### سپاسگزاری

این مقاله با حمایت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز و سازمان آب و برق خوزستان تهیه شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

### منابع

- آزادی، م، شیرغلامی، م. ر، حجام، س. و صحراپیان، ف. (۱۳۹۰). پس‌پردازش برون‌داد مدل WRF برای بارندگی روزانه در ایران. تحقیقات منابع آب، سال هفتم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰.
- حمیدیان‌پور، م، باعقیده، م، عباس‌نیا، م. (۱۳۹۵). ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، ص. ۱۲۳-۱۰۷.
- طائی سمیرمی، س، مرادی، ح. ر. (۱۳۹۳). شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نیشابور). فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۲۸، بهار ۹۳.
- عزیزی، ق.، صفرراد، ط.، محمدی، ح، و فرجی‌سبکبار، ح. ع. (۱۳۹۵). ارزیابی و مقایسه داده‌های بازکوی شده جهت استفاده در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، ص. ۴۹-۳۳.
- عساکره، ح. (۱۳۸۶). تغییر اقلیم، انتشارات دانشگاه زنجان.

کمال، ع . ر، و مساح‌بوانی ، ع . ر. (۱۳۹۱). مقایسه عدم قطعیت مدل‌های تغییر اقلیم AOGCM-TAR و AOGCM-AR4 در تاثیر بر رواناب حوضه در دوره آتی. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۸، شماره ۳، ۱۳۹۱، صفحه

۱۷۵-۱۸۸.

کاویانی ، م. ر و علیجانی. ب. (۱۳۸۰). مبانی آب و هواشناسی، تهران، انتشارات سمت.

**Guilbert, J. (2016).** The Impacts Of Climate Change On Precipitation And Hydrology In The Northeastern United States. Graduate College Dissertations and Theses. University of Vermont.

**Ghahreman, N., Tabatabaei, M., and Babaeian, I. (2015).** Investigation of uncertainty in the IPCC AR5 precipitation and temperature projections over Iran under RCP scenarios. CONFERENCE PAPER · JULY 2015.

**Jury, M. W., Prein, A. F., Truhetz, H., And Gobiet, A. A. (2015).** Evaluation of CMIP5 Models in the Context of Dynamical Downscaling over Europe. Wegener Center for Climate and Global Change, University of Graz, Graz, Austria.

**Katiraie-Boroujerdy, P.-S., Ashouri, H., Hsu, K.I., and Sorooshian, S. (2016).** Trends of precipitation extreme indices over a subtropical semi-arid area using PERSIANN-CDR. doi: DOI 1007.10.s00704-016-1884-9.

**Miao, C., Ashouri, H., Hsu, K.-L., And Sorooshian, S. (2015).** Evaluation Of The Persiann-Cdr Daily Rainfall Estimates In Capturing The Behavior Of Extreme Precipitation Events Over China. Journal Of Hydrometeorology, 16.

**Penalba, O. C., & Rivera, J. A. (2013).** Future Changes in Drought Characteristics over Southern South America Projected by a CMIP5 Multi-Model Ensemble. 1Department of Atmospheric and Oceanic Sciences.

**Sarhadi, A. (2016).** Climate Change Projection and Time-varying Multi-dimensional Risk Analysis. thesis requirement for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering.

**Watanabe, S., Kanae, S., Seto, S., Yeh, P. J. F., Hirabayashi, Y., And Oki, A. T. (2012).** Intercomparison Of Bias-Correction Methods For Monthly Temperature And Precipitation Simulated By Multiple Climate Models. Journal Of Geophysical Resources.