

## Medium-Term Forecast Evaluation of TIGGE Numerical Weather Prediction Models for Karun Basin

M. Javanmard Ghassab<sup>1</sup>, M. Delavar<sup>2\*</sup> and S. Morid<sup>3</sup>

### Abstract

Flood has become a serious issue over the past decades, due to urban development and climate change and international interest in flood forecast has increased subsequently. On the other hand, due to the fact that the main cause of the flood is precipitation, its precise prediction in hydrological applications is important. This study evaluates the predicted rainfall data of the global numerical models of the TIGGE database and their improvement using bias correction for Karun Basin. Meteorological assessments were carried out in point and regional scale and the estimation of displacement error, volume and spatial pattern of precipitation of the models were performed using the CRA Object Oriented Method. At the next step, the predicted precipitation was improved using quantile mapping method. In assessing the initial data of the TIGGE database of global models, the ECMWF numerical model was dominated compared to other models in the point and region evaluation with respect to the indices compared, while CMC model had a poor performance compared to other models. The evaluation of biased correction data by quantile mapping method also indicated an improvement in evaluation of the indices compared to the results obtained without applying this method. Furthermore, in estimating the displacement error, the volume and spatial pattern of the global numerical models, the ECMWF, NCEP, and CMC models performed better than the UK model, respectively.

**Keywords:** Forecast, Precipitation, Bias Correction, CRA.

Received: September 1, 2017

Accepted: January 2, 2018

## ارزیابی پیش‌بینی میان مدت بارش مدل‌های عددی جهانی پایگاه TIGGE در حوضه کارون بزرگ

مجید جوانمردقصاب<sup>۱</sup>، مجید دلاور<sup>۲\*</sup> و سعید مرید<sup>۳</sup>

### چکیده

در طول دهه‌های اخیر، سیلاب به دلیل توسعه شهری و تغییر اقلیم به مسأله جدی تبدیل شده است. به همین سبب علاقه بین‌المللی در پیش‌بینی سیل در چند دهه گذشته افزایش یافته است. از طرفی با توجه به اینکه مهمترین عامل سیلاب، بارش است از اینرو پیش‌بینی دقیق آن در کاربردهای هیدرولوژیکی حائز اهمیت است. این تحقیق به ارزیابی داده‌های بارش پیش‌بینی شده مدل‌های عددی جهانی پایگاه TIGGE<sup>۱</sup> و بهبود آن‌ها با استفاده از تصحیح اربیی در حوضه آبریز کارون بزرگ پرداخته است. ارزیابی‌ها در بخش هواشناسی به صورت نقطه‌ای و منطقه‌ای و ارزیابی خطای جابجایی، حجم و الگوی مکانی بارش مدل‌ها با استفاده از روش شی‌گرا<sup>۲</sup> انجام گرفته است. سپس با استفاده از روش نگاشت چندک به بهبود بارش‌های پیش‌بینی شده پرداخته شده است. در ارزیابی داده‌های اولیه مدل‌های جهانی پایگاه TIGGE، مدل عددی ECMWF<sup>۳</sup> در ارزیابی نقطه‌ای و منطقه‌ای نسبت به دیگر مدل‌ها برتری داشته و مدل CMC<sup>۴</sup> عملکرد ضعیفی نسبت به دیگر مدل‌ها داشته است. ارزیابی داده‌های تصحیح اربیی شده توسط روش نگاشت چندک، نیز نشان از بهبود شاخص‌های ارزیابی نسبت به قبل از استفاده این روش دارد. همچنین، در ارزیابی خطای جابجایی، حجم و الگوی مکانی مدل‌های عددی جهانی، مدل‌های ECMWF<sup>۵</sup>، NCEP<sup>۵</sup> و CMC<sup>۶</sup> به ترتیب عملکرد مناسبتری نسبت به مدل UK<sup>۶</sup> نشان داده‌اند.

**کلمات کلیدی:** پیش‌بینی، بارش، تصحیح اربیی، CRA.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۶/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۱۰/۱۲

1- M.Sc. Graduate, Water Resources Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, TarbiatModares University, Tehran, Iran. Email: m.delavar@modares.ac.ir

3- Professor, Department of Water Resources Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

\* Corresponding Author

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲- استادیار گروه مهندسی منابع آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳- استاد گروه مهندسی منابع آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

\* نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

پیش‌بینی بارش در شرایطی که داده دبی در دسترس نیست و یا خیلی بی کیفیت است بیشتر ضروری می‌گردد. در موارد سیل‌های شدید این امر رایج است. از فواید دیگر این مدل‌ها می‌توان به افزایش مقیاس زمانی پیش‌بینی و داشتن داده بارش برای قسمت‌های بحرانی حوضه آبریز نام برد (Cloke and Pappenberger, 2009). از اینرو در این زمینه پژوهش‌هایی در سطح جهان صورت گرفته است که به اختصار به چند مورد از این مطالعات اشاره شده است. Collischonn et al., (2007) روشی برای پیش‌بینی جریان مبنی بر بارش پیش‌بینی شده و بارش مشاهده شده استفاده کردند. که بارش را از مدل Eta پیش‌بینی کردند و برای تخمین جریان از مدل هیدرولوژیکی MGB-IPH استفاده کردند. پیش‌بینی برای دوره ۲ ساله با فواصل زمانی یک هفته‌ای بر روی قسمتی از رودخانه بین دو مخزن که قسمت مهمی از نیروی برق آبی برزیل را تأمین می‌کند انجام گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داد در دقت بالای پیش‌بینی‌ها در چهار روز اول بود. همچنین به وضوح مشخص شد که به‌روزرسانی مدل یک اثر مثبت روی پیش‌بینی انجام شده دارد. به گونه‌ای که در روز اول پیش‌بینی که از بارش مشاهداتی در بروز رسانی مدل استفاده شد ضریب نش-ساتکلیف پیش‌بینی از ۰/۹ به ۰/۹۸ ارتقاء پیدار کرد. Zhang et al. (2009) با استفاده از پیش‌بینی کمی بارندگی و ترکیب آن با شبکه عصبی جریان را پیش‌بینی کردند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که زمان انتظار (هشدار) پیش‌بینی طولانی شده است و بعلاوه دقت نتایج پیش‌بینی نسبت به مدل‌های سنتی ARMA<sup>7</sup> بسیار بهتر شده است. Wetterhall et al. (2011) نیز به مقایسه داده‌های روزانه و ۶ ساعته بارش مدل عددی جهانی ECMWF برای دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹ به عنوان ورودی مدل هیدرولوژیکی پرداخته است و نتایج نشان داده است که استفاده داده‌های ۶ ساعته برای کالیبراسیون مدل هیدرولوژیکی بهتر است و موجب بهبود پیش‌بینی سیلاب می‌گردد. Juan et al. (2014) به پیش‌بینی سیلاب با استفاده از داده‌های بارش پیش‌بینی شده مدل عددی منطقه‌ای MC<sup>8</sup> در حوضه رودخانه Huaihe چین پرداخته شده است. نتایج نشان دهنده این است که استفاده مدل منطقه‌ای موجب افزایش دقت در پیش‌بینی سیلاب و کاهش عدم قطعیت در پیش‌بینی می‌شود. در تحقیق دیگر Wansik et al. (2015) با هدف بهبود در پیش‌بینی سیلاب مدل هیبریدی بر پایه رادار و مدل عددی پیش‌بینی بارش را در حوضه کوهستانی رودخانه Shingu ژاپن استفاده کرده‌اند. به منظور پیش‌بینی سیلاب از مدل هیدرولوژیکی توزیعی KWMS استفاده شده است. نتایج نشان دهنده عملکرد رضایت بخش مدل هیبریدی پیش‌بینی بارش در کاهش گستره بارش پیش‌بینی شده و متعاقباً عملکرد کافی در پیش‌بینی دبی پیک است.

سیل یکی از مهمترین بلاهای طبیعی است که خسارات وارده از آن به انسان به دلیل سرعت رخداد آن، از سایر بلاها نظیر خشکسالی و قحطی بیشتر است (Green et al., 2000). این پدیده عمدتاً از بارش‌های شدید حاصل می‌آید و اگر پیش‌بینی سیل به نحو مطلوب انجام شود زمینه را برای مدیریت مناسب و بهنگام آن ایجاد می‌کند. روش‌های پیش‌بینی سیلاب از روابط ساده تجربی و روابط همبستگی تا استفاده از مدل‌های پیچیده که شامل شبیه‌سازی تمامی مراحل بیلان آب در حوضه رودخانه است متغیر می‌باشد (Haydari et al., 2006). تکنولوژی جمع‌آوری، انتقال و پردازش داده‌های آب‌شناختی و پیش‌بینی زمان وقوع سیل از طریق مدل‌سازی طی چهل سال اخیر پیشرفت قابل توجهی نموده و امکان بیشتری را برای استفاده از سامانه‌های پیشرفته هشدار و پیش‌بینی سیل فراهم ساخته است (Javaheri et al., 2007). در مدل‌های پیش‌بینی سیل یا رواناب پارامترهای زیادی دخیل می‌باشند. یکی از این پارامترها که می‌تواند تأثیر بسزایی در پیش‌بینی سیلاب ایفا کند، پیش‌بینی کمی بارندگی است (Barthholmes et al., 2005). تند سیلاب‌ها دارای زمان انتظار بسیار کوتاهی می‌باشند (Collischonn et al., 2007) و با رخدادهای هواشناسی بیشینه همراه‌اند، معمولاً به یک توفان همرفتی با یک موقعیت آب‌شناختی خاص مثل یک حوضه آبریز کوچک یا جایی که ظرفیت نفوذپذیری پایین دارد وابسته‌اند. پیش‌بینی این تند سیلاب‌ها قویاً به پیش‌بینی کمی بارندگی بستگی دارد (krysztofowicz, 1995). لذا پیش‌بینی کمی بارش برای طرح‌های منابع آبی و سیل‌های ویرانگر، وابسته به دقت پیش‌بینی‌هایی است که توسط مدل‌های هواشناسی انجام می‌شود. اما مدل‌های هواشناسی برای پیش‌بینی کمیت‌ها (بارش، دما و غیره) همواره دچار خطای سامان مند و عدم قطعیت در نتایج حاصله می‌باشند، به دلایل مختلف از جمله ناپیوستگی بارش در زمان و مکان، خطای پیش‌بینی کمیت بارش از دیگر پارامترها مثل دما بیشتر است (Kalnay, 2003). مدل‌های عددی پیش‌بینی آب و هوا با استفاده از مدل‌های ریاضی برپایه قوانین دینامیک سیال و ترمودینامیک وضعیت آینده جو را پیش‌بینی می‌کنند. این مدل‌ها با داشتن وضعیت کنونی جو و اعمال معادلات دیفرانسیل جزئی وضعیت جو را پیش‌بینی می‌کنند. مدل‌های عددی پیش‌بینی بارش از دهه ۱۹۴۰ به دلیل پیشرفت در محاسبات و بهبود تکنولوژی‌های سنجش همچون ماهواره‌ها و شبکه‌های راداری و رادیوسوند پیشرفت کرده‌اند (Trenberth, 1992). یکی از کاربردهای اصلی استفاده از مدل‌های عددی پیش‌بینی‌های بارش، پیش‌بینی دبی است که با استفاده از داده‌های بارش آینده و مدل بارش-رواناب امکان‌پذیر می‌باشد. استفاده از مدل‌های عددی

پیش‌بینی‌های قطعی و منفرد بارش هستند لذا در این مطالعه سعی شده است پیش‌بینی همادی حاصل از چهار مدل جهانی که بیشترین کاربرد در پیش‌بینی‌های میان مدت را دارند به صورت جامعی مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور پس از ارزیابی اولیه نتایج مدل‌های در پیش‌بینی‌های ۱ تا ۱۰ روزه به صورت نقطه‌ای و منطقه‌ای، امکان بهبود پیش‌بینی‌ها با استفاده از تصحیح اریبی نتایج نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مشخصات منطقه و داده‌های مورد مطالعه

در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی مدل‌های عددی جهانی حوضه کارون بزرگ انتخاب شده است. مساحت این حوضه ۶۷۲۹۷ کیلومتر مربع که حدود ۴/۲٪ از مساحت کل ایران را شامل می‌شود. از این مساحت، حدود ۶۷ درصد آن را مناطق کوهستانی و ۳۳ درصد مابقی را دشت‌های مرتفع تشکیل داده است. تنوع اقلیمی در حوضه کارون بزرگ بسیار گسترده بوده و در آن انواع اقلیم‌ها یافت می‌شود. رژیم بارش در حوضه، مدیترانه‌ای می‌باشد؛ به این مفهوم که فصل خشک منطبق بر تابستان و فصل بارندگی متمرکز بر زمستان است. حدود ۹۶ درصد بارش‌ها در فاصله ماه‌های آبان لغایت اردیبهشت رخ می‌دهد که از ۱۸۰۰ میلی‌متر در سال در ارتفاعات تا ۱۵۰ میلی‌متر در سال در نواحی پست جلگه‌ای متغیر است (Jamab, 1999). برای این مطالعه سعی گردید که از آخرین آمار اطلاعات انتشار یافته توسط سازمان هواشناسی استفاده گردد. برای این تحقیق، داده‌های روزانه بارش از ۲۰ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی که به‌منظور استفاده در ارزیابی نقطه‌ای (دو ایستگاه) و منطقه‌ای (تمام ایستگاه‌ها) مدل‌های عددی جهانی برای طول دوره آماری ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ تهیه گردید. شکل ۱ نقشه منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های همدیدی واقع در منطقه را نشان می‌دهد.

### ۲-۲- پایگاه داده TIGGE و مدل‌های عددی جهانی پیش‌بینی

#### بارش

شبکه TIGGE شامل مجموعه‌ای از مراکز مدل‌های عددی جهانی است که هر یک پیش‌بینی‌های ترکیبی با پوشش بخش عظیمی از سطح زمین به‌منظور استفاده در پیش‌بینی سیلاب تولید می‌کنند. بنابراین، شبکه TIGGE دارای پتانسیل زیاد پیش‌بینی در مقیاس جهانی دارد و از این شبکه در مطالعات مختلف آبی-هواشناسی استفاده شده است (Ye et al., 2014). شبکه TIGGE جزئی از THORPEX<sup>12</sup> می‌باشد.

علیرغم دقت قابل قبول نتایج مدل‌های جهانی پیش‌بینی میان مدت بارش در مطالعات، ارزیابی نتایج آن‌ها در ایران کمتر مورد توجه قرار گرفته است. (Shirgholami (2009) به ارزیابی برون‌داد مدل WRF<sup>9</sup> برای بارندگی روی ایران پرداخت. ایشان بارش‌های ۲۴ ساعته برون‌داد مدل WRF برای ۲۰۵ ایستگاه همدیدی کشور را با استفاده از روش میانگین لغزان و برآورد کننده بهینه ساده مورد پس پردازش قرار داد. از عواملی که در نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مؤثر بوده است، طول دوره آموزش مناسب می‌باشد. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که روش‌های پس‌پردازش مورد استفاده توانسته است، خطای سامان‌مند موجود در برون‌داد مدل را کاهش دهد. به طوری که میانگین خطای مطلق بارندگی، به طور میانگین در حدود ۲۰ درصد کاهش یافته است. بنابراین استفاده از پس‌پردازش برای پیش‌بینی بارش مدل‌ها مفید و ضروری می‌باشد. محاسبه برخی شاخص‌های راست‌آزمایی متداول مانند اریبی، میانگین خطای مطلق و امتیاز مهارتی متناظر با آن نشان می‌دهد که هر دو روش پس‌پردازش میانگین لغزان و برآورد کننده بهینه ساده به طور قطع خطای برون‌داد مدل را بهبود می‌بخشند. همچنین نتایج به دست آمده از این شاخص‌ها نشان می‌دهد که روش پس‌پردازش میانگین لغزان نسبت به روش برآورد کننده بهینه ساده، خطای پیش‌بینی مدل را بیشتر کاهش می‌دهد. (Taghizadeh (2010) به بررسی عملکرد مدل‌های منطقه‌ای HRM<sup>10</sup>، MM5<sup>11</sup> و WRF با محاسبه کمیت‌های راست‌آزمایی برای پیش‌بینی بارش روی ایران پرداخته است. نتایج نشان داد با افزایش مقیاس زمانی پیش‌بینی، دقت پیش‌بینی‌ها کاهش پیدا کرده است. همچنین دقت پیش‌بینی سه مدل در حالت‌های بررسی شده به هم نزدیک بوده است. (Golianet al. (2015) نیز در تحقیقی به ادغام محصولات مختلف بارش ماهواره‌ای به صورت خطی روی ایران پرداخته است. نتایج نشان داد که دقت بارش‌های برآورد شده در حالت ادغام شده بهتر از حالت بارش‌های برآورده توسط یک ماهواره می‌باشد. در مطالعه دیگری توسط (Azadi et al. (2011) برون‌داد یک سامانه پیش‌بینی همادی برای انجام پیش‌بینی‌های احتمالی بارش روزانه در سطح کشور با دو مدل WRF و MM5 به ترتیب با پنج و سه پیکربندی متفاوت واسنجی و ارزیابی شده است. در این مطالعه پیش‌بینی بارندگی روزانه برای آستانه‌های مختلف بارش برای هر روز در دوره ارزیابی با استفاده از بافت‌نگار حاصل از دوره آموزش و انحراف معیار پیش‌بینی بارندگی مربوط به اعضای سامانه در همان روز واسنجی شده است. نتایج حاصل از سنجه‌های راست‌آزمایی متداول در این مطالعه نشان می‌دهد که واسنجی به روش بافت‌نگار رتبه‌ای سبب بهبود پیش‌بینی‌های احتمالی بارش روزانه (به ویژه در آستانه بارش‌های سنگین) می‌شود. مطالعات انجام شده در ایران بر طیف محدودی از مدل‌های پیش‌بینی منطقه‌ای تمرکز دارند و عمدتاً متکی بر

کره (KMA<sup>17</sup>) و دفتر هواشناسی انگلستان (UKMO). دهمین مرکز که پیش‌بینی کوتاه‌مدت تولید می‌کند هواشناسی فرانسه (Meteo-France<sup>18</sup>) است.

در این مطالعه از داده‌های پیش‌بینی شده بارش ۴ مدل (NCEP, CMC, UK, CMWF) از مدل‌های پایگاه داده TIGGE استفاده شده است که مشخصات این مدل‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. داده‌های تاریخی مدل‌های مذکور برای دو سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ برای مقیاس‌های زمانی یک‌روزه، سه‌روزه، هفت‌روزه و ده‌روزه از تارنمای (http://apps.ecmwf.int/datasets/data/tigge) برای منطقه مطالعاتی کارون بزرگ استخراج گردید. سپس فایل‌های استخراج شده در محیط لینوکس به فرمت‌های رایج (CSV و TXT). تبدیل شده و مورد ارزیابی قرار گرفتند.

### ۲-۳- روش تصحیح اریبی نگاشت چندک (QM<sup>19</sup>)

به طور کلی پیش‌بینی‌های خام حاصل از مدل‌های عددی جهانی در میانگین و گستره پیش‌بینی‌ها دارای اریب هستند (Wu et al., 2011). اریبی به تفاوت سیستماتیک بین داده‌های پیش‌بینی و مشاهداتی گفته می‌شود. لذا روش‌های تصحیح اریبی در بسیاری از مطالعات به منظور پس‌پردازش نتایج مدل‌های پیش‌بینی و حذف اریبی آن‌ها مورد توجه واقع شده‌اند (Tao et al., 2014).

روش نگاشت چندک (QM) از جمله روش‌های مطرح تصحیح اریبی می‌باشد. روش QM با استفاده از توابع توزیع تجمعی (CDF<sup>20</sup>) برای مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی در هر مقیاس زمانی موجب حذف اریب‌ها می‌گردد.

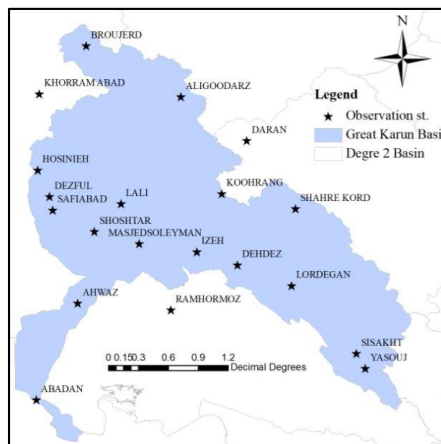


Fig. 1- Great Karoon Basin  
شکل ۱- حوضه آبریز کارون بزرگ

THORPEX یک پروژه پژوهشی آب و هوایی جهانی، با هدف بهبود سریع در صحت پیش‌بینی‌های ۱ روزه تا ۲ هفته‌ای آب و هوایی است (Bougeault et al., 2010). TIGGE یک جز کلیدی برای رسیدن به این هدف است که از سال ۲۰۰۵ آغاز به کار کرده است. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که پایگاه داده TIGGE می‌تواند هشدار سیلاب زود هنگام را تا ۱۰ روز آینده تولید کند (He et al., 2010).

ده مرکز، پیش‌بینی‌های روزانه برای آرشیو TIGGE تأمین می‌کنند که ۹ تا از آن‌ها ترکیبی میان‌مدت را ایجاد می‌کنند: مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت وضع هوا (ECMWF)؛ مرکز ملی ایالات متحده برای پیش‌بینی زیست‌محیطی (NCEP)؛ خدمات هواشناسی کانادا (CMC)؛ اداره هواشناسی استرالیا (BoM<sup>13</sup>)؛ اداره هواشناسی چین (CMA<sup>14</sup>)؛ مرکز برزیلی برای پیش‌بینی آب‌وهوا و مطالعاتی اقلیمی (CPTEC<sup>15</sup>)؛ اداره هواشناسی ژاپن (JMA<sup>16</sup>)؛ اداره هواشناسی

Table1- TIGGE weather forecast centers and their features

جدول ۱- مراکز پیش‌بینی هواشناسی پایگاه داده TIGGE و ویژگی‌های آن‌ها

Model	Spatial Resolution (degree)	Frequency of model runs	Number of Forecasts (member)	Lead time
BoM	0.5	2(00,12)	32	10
CMA	0.5	2(00,12)	14	10
CPTEC	0.5	2(00,12)	14	15
ECMWF	0.5	2(00,12)	50	10-15
JMA	0.5	2(00,12)	50	11
KMA	0.5	4(00,06,12,18)	16	10
Météo-France	0.5	2(06,18)	34	3-5
CMC	0.5	2(00,12)	20	16
NCEP	0.5	4(00,06,12,18)	20	16
UKMO	0.5	2(00,12)	23	15

$$MSE_{total} = MSE_{displacement} + MSE_{volume} + MSE_{pattern} \quad (2)$$

از طرفی خطای میانگین مربعات کل به صورت معادله ۳ بیان می‌گردد:

$$MSE_{total} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - o_i)^2 \quad (3)$$

که  $f_i$  و  $o_i$  به ترتیب بارش پیش‌بینی شده و مشاهداتی در نقطه  $i$ ام می‌باشد.  $N$  تعداد نقاط دامنه ارزیابی می‌باشد. دامنه ارزیابی در تکنیک CRA برای شامل شدن شیء جابجا شده پیش‌بینی توسعه می‌یابد.

خطای جابجایی با انطباق شیء پیش‌بینی بر روی شیء مشاهداتی به طوری که ضریب همبستگی بیشینه و یا خطای مربعات کل کمینه شود مشخص می‌گردد. در معادله ۴ مقدار خطای میانگین مربعات پس از انطباق محاسبه می‌گردد. سپس با محاسبه اختلاف خطای میانگین مربعات کل با خطای میانگین مربعات پس از انطباق خطای جابجایی محاسبه می‌گردد (معادله ۵):

$$MSE_{shift} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - o_i)^2 \quad (4)$$

که  $f_i$  و  $o_i$  به ترتیب بارش پیش‌بینی شده پس از انطباق و مشاهداتی در نقطه  $i$ ام می‌باشد.  $N$  تعداد نقاط دامنه ارزیابی می‌باشد:

$$MSE_{displacement} = MSE_{total} - MSE_{shift} \quad (5)$$

خطای حجم یا خطای اریبی به صورت معادله ۶ محاسبه می‌گردد:

$$MSE_{volume} = (F - O)^2 \quad (6)$$

که به ترتیب  $F$  و  $O$  میانگین مقادیر پیش‌بینی شده پس از انطباق و مشاهداتی می‌باشند.

خطا الگو از اختلاف خطای حجم و خطای میانگین مربعات پس از انطباق حاصل می‌شود (معادله ۷):

$$MSE_{pattern} = MSE_{shift} - MSE_{volume} \quad (7)$$

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- ارزیابی اولیه نتایج مدل‌های جهانی پیش‌بینی بارش

در این بخش ابتدا ارزیابی اولیه‌ای از میانگین داده‌های همادی مدل‌های عددی جهانی پیش‌بینی بارش انجام می‌گیرد. ارزیابی‌های مدل‌های عددی جهانی به صورت نقطه‌ای و منطقه‌ای، برای مقیاس زمانی‌های یک‌روزه، سه‌روزه، هفت‌روزه و ده‌روزه در دوره دو ساله ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ انجام شده است. برای ارزیابی نتایج از شاخص‌های آماری ضریب تعیین ( $R^2$ )، ضریب نش-ساتکلیف (NS) و میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شده است.

این روش با جایگزین کردن مقدار پیش‌بینی شده با مقدار مشاهداتی در صدک‌های مشابه انجام می‌گردد (Voisin et al., 2010). در این مطالعه روش نگاهت چندک به هر یک از پیش‌بینی‌های مدل‌های جهانی به طور روزانه برای دوره ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ بکار گرفته شده است و هر یک از اعضا پیش‌بینی مدل‌های جهانی با استفاده از این روش تصحیح اریبی می‌شوند. چندک هر یک از اعضا پیش‌بینی مدل‌های جهانی برای هر روز با توجه به تابع توزیع تجمعی پیش‌بینی (CDF) آن محاسبه می‌شود. چندک برآورد شده جایگزینی برای مقدار مشاهده شده با چندک مشابه مربوط به تابع توزیع تجمعی مشاهداتی می‌شود. تعریف مربوط به روش نگاهت چندک به صورت معادله (۱) است:

$$BC_{f_{est}} = BC_{f_{est}}^{-1}(CDF_{f_{est}}(F_{est})) = CDF_{obs}^{-1}(Q_n) \quad (1)$$

که در آن  $BC_{f_{est}}$  مقدار پیش‌بینی تصحیح شده است،  $F_{est}$  مقدار پیش‌بینی شده،  $CDF_{obs}$  تابع توزیع تجمعی برای داده‌های مشاهداتی است،  $CDF_{f_{est}}$  تابع توزیع تجمعی برای داده‌های پیش‌بینی شده است و  $Q_n$  چندک مقدار پیش‌بینی شده در  $CDF_{f_{est}}$  می‌باشد.

#### ۴-۲- ارزیابی پایگاه‌های جهانی در پیش‌بینی حجم و الگوی بارش

به منظور ارزیابی مدل‌های عددی جهانی در پیش‌بینی حجم و الگوی بارش از روش CRA استفاده می‌شود. (Ebert and MacBride 2000) تکنیک شی‌گرا CRA را که بر اساس انطباق الگوی دو مساحت پیوسته یا به عبارتی منطقه محدود شده بین خطوط همباران داده‌های پیش‌بینی شده و یا مشاهداتی می‌باشد را معرفی کردند (شکل ۲):

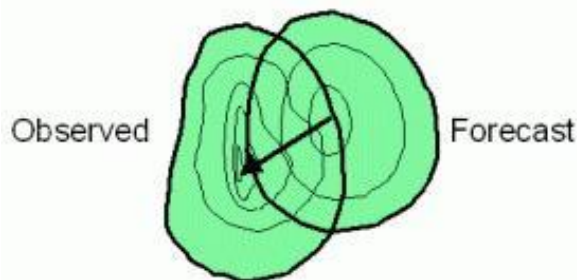


Fig. 2- Schematic of the prediction and observation rain areas in the CRA method

شکل ۲- طرحواره انطباق مساحت بارش پیش‌بینی و مشاهداتی روش CRA

مزیت اصلی اجرای این تکنیک تقسیم کل خطا به ۳ جزء خطا: مکان (یا جابجایی)، حجم (یا شدت) بارش و الگو ساختاری بارش است. بنابراین خطای میانگین مربعات کل ( $mm^2h^{-2}$ ) مجموع خطای میانگین مربعات هر ۳ جزء است (معادله ۲):

### ۳-۱-۱- ارزیابی نقطه‌ای بارش پیش‌بینی شده

نشان دهنده بهترین همبستگی مدل ECMWF با داده‌های مشاهداتی می‌باشد که مقادیر آن برای ایستگاه‌های دزفول و کوهرنگ در تمام مقیاس‌های زمانی به ترتیب برابر ۰/۵۳، ۰/۵، ۰/۳۶ و ۰/۳۳ - ۰/۵۹، ۰/۶۶، ۰/۶ و ۰/۴۸ می‌باشد و مدل UK بدترین همبستگی با داده‌های مشاهداتی بین مدل‌ها داشته است. در بعضی موارد مقادیر ۰/۶ و بالاتر برای ضریب تعیین معنادار می‌باشد. در برخی مطالعات مقادیر ۰/۳ برای ضریب تعیین همچنان معنادار می‌باشد و حتی مقادیر ۰/۴ ضریب تعیین در مقیاس زمانی ۱۰ روزه برای مدل ECMWF معنادار می‌باشد (Tao et al., 2014).

شکل ۵ شاخص نش-ساتکیف بین داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهداتی را نشان می‌دهد که مقادیر آن از منفی بی‌نهایت تا ۱ متغیر است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده پیش‌بینی خوب توسط مدل می‌باشد. در این شاخص نیز برتری ECMWF و NCEP برای ایستگاه دزفول و مدل ECMWF برای ایستگاه کوهرنگ نسبت به دیگر مدل‌ها مشاهده می‌گردد. شکل ۶ شاخص میانگین مربعات خطا مدل‌ها را نشان می‌دهد که برای ایستگاه دزفول مدل NCEP برای ایستگاه کوهرنگ مدل CMC برای ایستگاه کوهرنگ نسبت به دیگر مدل‌ها برتری داشته‌اند. با توجه به نتایج، قویاً رابطه عکس مقیاس زمانی و شاخص‌های ارزیابی احساس می‌گردد که هر چه مقیاس زمانی پیش‌بینی افزایش یابد مطلوبیت پیش‌بینی‌ها کمتر می‌گردد.

در این حالت ایستگاه‌های مشاهداتی موجود در محدوده شبکه نقاط پیش‌بینی که فاصله آن‌ها از بعضی نقاط شبکه بسیار کم (۱۵ کیلومتر) می‌باشد انتخاب شده‌اند. بدین منظور از داده‌های دو ایستگاه مشاهداتی نزدیک نقاط شبکه پیش‌بینی مدل‌های عددی جهانی استفاده گردید. این ایستگاه‌ها شامل دزفول و کوهرنگ می‌باشند. نقشه موقعیت ایستگاه‌های مذکور و شبکه پیش‌بینی در شکل ۳ آورده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی به صورت شاخص‌های  $R^2$ ، NS و MSE در مقیاس‌های زمانی متفاوت برای هر دو ایستگاه بارانسنجی، شکل‌های ۴، ۵ و ۶ آورده شده است.

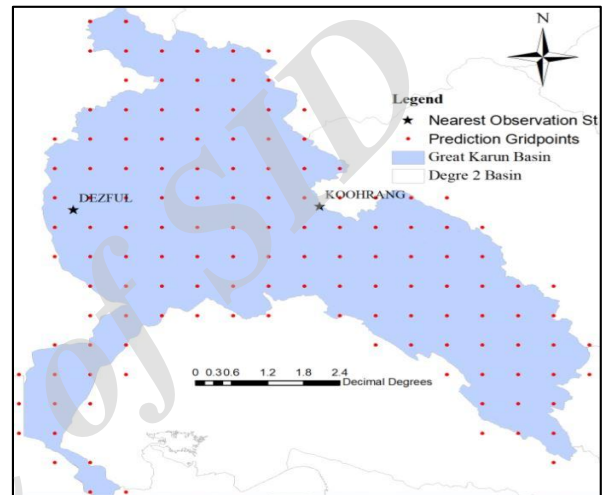


Fig. 3- Observation stations and prediction grid points in point evaluation

شکل ۳- ایستگاه‌های مشاهداتی و شبکه پیش‌بینی در ارزیابی نقطه‌ای

### ۳-۱-۲- ارزیابی منطقه‌ای بارش پیش‌بینی شده

در این قسمت مقادیر بارش منطقه‌ای برای ایستگاه‌های مشاهداتی و شبکه نقاط پیش‌بینی شده محدود در منطقه با روش تیسن تخمین زده شده است. در شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب شبکه تیسن برای نقاط پیش‌بینی و ایستگاه‌های مشاهداتی در منطقه نشان داده شده است.

شکل ۴ شاخص تعیین بین میانگین داده‌های همادی پیش‌بینی شده مدل‌های عددی جهانی و داده‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد. نتیجه

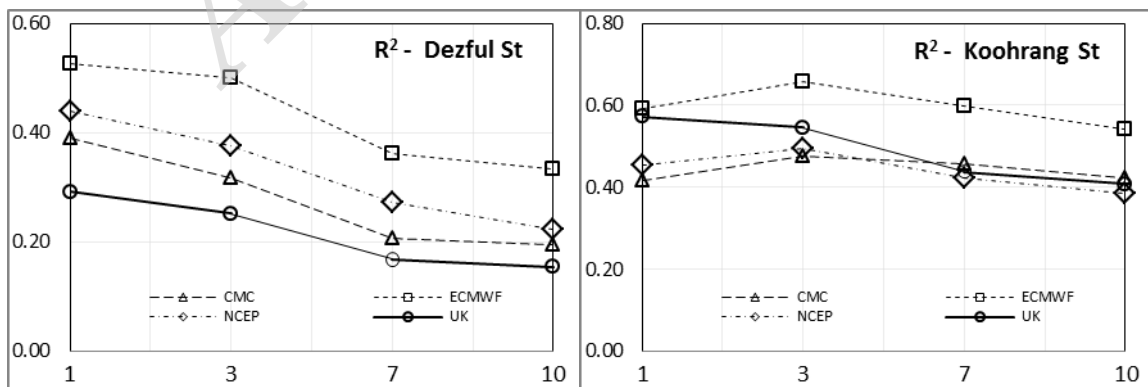


Fig. 4- Correlation coefficient in point evaluation (h axis: lead time (day))  
شکل ۴- شاخص تعیین ارزیابی نقطه‌ای (محور افقی: مقیاس زمانی (روز))

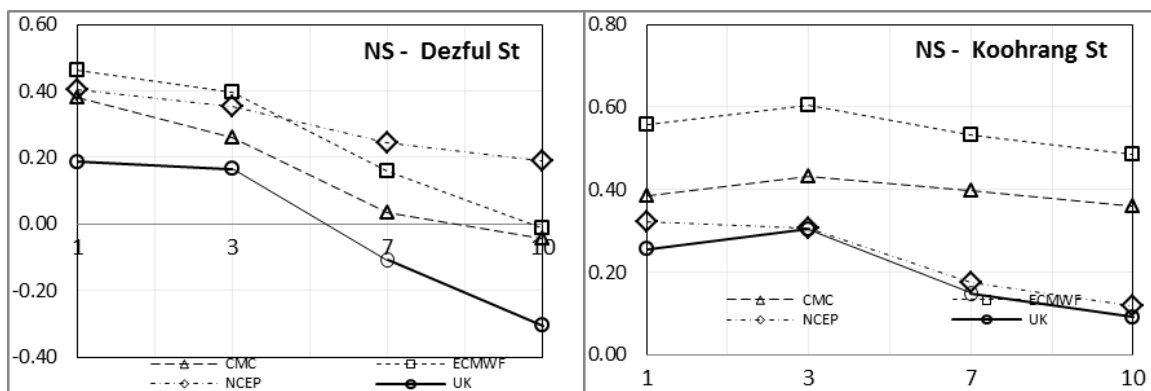


Fig. 5- Nash-sutcliff coefficient in point evaluation (h axis: lead time (day))  
 شکل ۵- شاخص نش- ساتکلیف ارزیابی نقطه‌ای (محور افقی: مقیاس زمانی (روز))

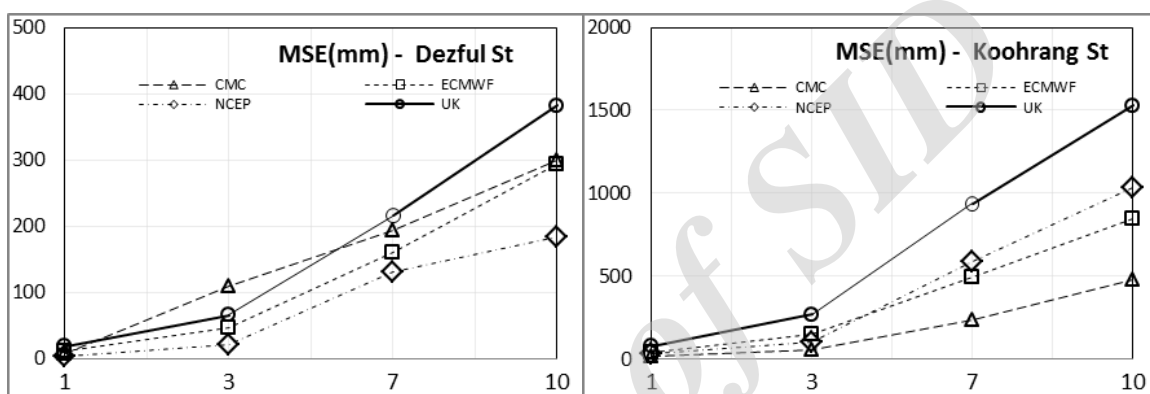


Fig. 6- Mean Square Error coefficient in point evaluation (h axis: lead time (day))  
 شکل ۶- شاخص میانگین مربعات خطا ارزیابی نقطه‌ای (محور افقی: مقیاس زمانی (روز))

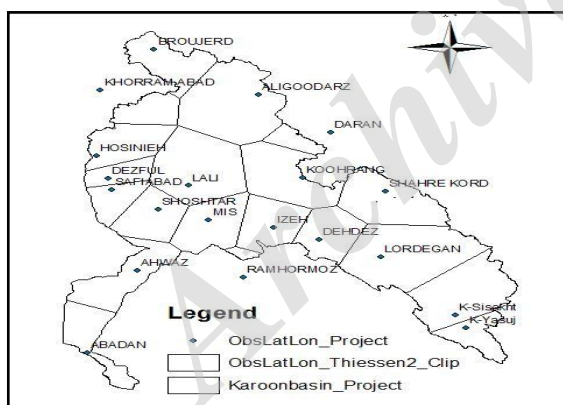


Fig. 8- Thiessen network for bservation  
 شکل ۸- شبکه تیسن برای ایستگاه‌های مشاهداتی

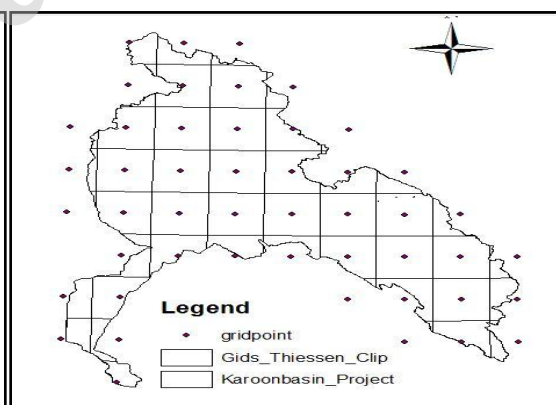


Fig. 7- شبکه تیسن برای شبکه نقاط پیش‌بینی شده  
 شکل ۷- شبکه تیسن برای شبکه نقاط پیش‌بینی شده

در شاخص تعیین مدل ECMWF نسبت به دیگر مدل‌ها برتری داشته است، برای معیار MSE مدل‌های UK و EMCWF و NCEP در تمام دوره‌ها عملکرد مشابه و مناسبی نشان داده‌اند. در این میان مدل CMC نسبت به دیگر مدل‌ها دارای عملکرد ضعیف‌تری می‌باشد. دامنه تغییرات شاخص نش-ساتکلیف در مقیاس‌های یک‌روزه به بالا به ترتیب برابر با ۰/۷۴-۰/۵۹، ۰/۷۴-۰/۵۶، ۰/۷۵-۰/۵۶، ۰/۶-۰/۳۹، ۰/۲۷-۰/۵، ۰/۶۶-۰/۶۶ می‌باشد.

نتایج حاصل از ارزیابی به صورت شاخص‌های  $R^2$ ، NS و MSE در مقیاس‌های زمانی متفاوت در شکل ۹ آورده شده است. با توجه به نتایج این قسمت مدل‌های ECMWF، NCEP و UK در هر چهار مقیاس زمانی دارای عملکرد مناسبی نشان داده‌اند. دامنه تغییرات شاخص تعیین در مقیاس‌های یک‌روزه به بالا به ترتیب برابر با ۰/۶۶-۰/۷۸، ۰/۶۴-۰/۸۱، ۰/۵۲-۰/۶۷، ۰/۴۶-۰/۶۱ می‌باشد.

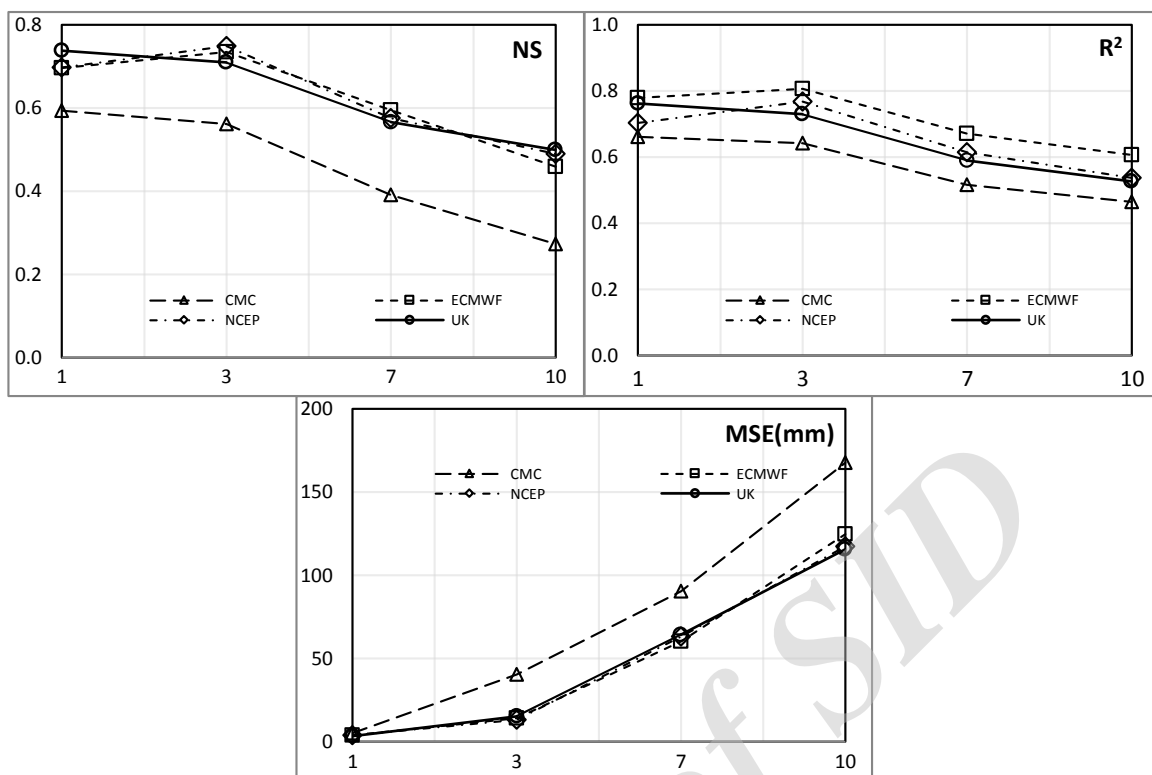


Fig. 9- Regional evaluation coefficients of NWP models  
 شکل ۹- شاخص‌های ارزیابی منطقه‌ای مدل‌های عددی جهانی (محور افقی: مقیاس زمانی (روز))

در این بین مدل‌های UK، NCEP و ECMWF بهترین عملکرد را نشان داده‌اند. شده این توزیع برای هر ایستگاه در جدول ۲ آورده شده است. برای بررسی تأثیر این روش بر داده‌های پیش‌بینی ابتدا همه پیش‌بینی‌های مدل‌های جهانی با این روش تصحیح آریبی می‌شوند سپس تمامی شاخص‌های ارزیابی مذکور نیز محاسبه می‌گردد.

۲-۳- تصحیح آریبی بارش مدل‌های پیش‌بینی

همانطور که در بخش ۲ ذکر شد پیش‌بینی‌های اولیه حاصل از مدل‌های عددی جهانی در میانگین و گستره (مجموعه اعضا) پیش‌بینی‌ها دارای آریب هستند (Wu et al., 2011). به این منظور روش نگاشت چندک برای اصلاح آریبی داده‌ها پیش‌بینی‌شده به کار گرفته شده است. توزیع احتمالاتی داده‌های بارش تمام ایستگاه‌های مشاهداتی نرمال فرض گرفته شده است که پارامترهای تخمین زده

۱-۲-۳- ارزیابی نقطه‌ای بارش پیش‌بینی‌شده پس از تصحیح آریبی

نتایج شاخص‌های ارزیابی نقطه‌ای داده‌های تصحیح شده همه مدل‌های جهانی برای دوره‌های ۱، ۳، ۷ و ۱۰ روزه برای دو ایستگاه کوه‌رنگ و دزفول در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.

Table 2- Parameters of the normal probability distribution fitted to observation stations

جدول ۲- پارامترهای توزیع نرمال برازش داده شده بر ایستگاه‌های مشاهداتی

Station	Stdev	Mean	Station	Stdev	Mean	Station	Stdev	Mean
Ramhormoz	3.07	0.54	Sisakht	4.4	1.13	Abadan	2.23	0.31
Lordegan	5.4	1.2	Yasouj	7.4	1.58	Ahwaz	2.9	0.45
ShahreKord	3.69	0.79	Daran	2.96	0.68	Dehdez	4.94	1.22
Lali	4.1	0.76	Koohrang	9.9	2.68	KhoramAbad	4.6	1.07
Boroujerd	4.29	0.95	Dezful	4.88	0.77	Aligoodarz	3.52	0.96
Izeh	5.55	1.32	Hoseinih	3.65	0.75	Shoushtar	4.56	0.65
MasjedSoleyman	3.64	0.67	SafiAbad	3.7	0.59			



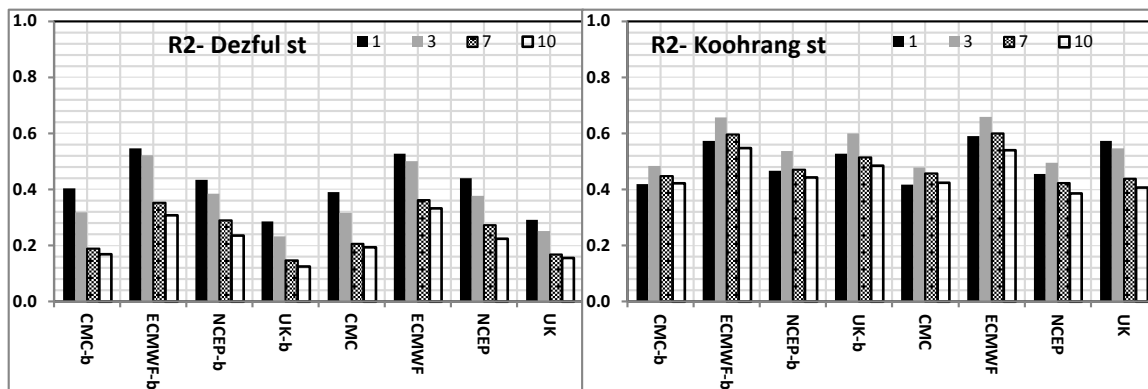


Fig. 10- Correlation coefficient in point evaluation before and after BC<sup>21</sup> (b: After BC)  
 شکل ۱۰- شاخص تعیین ارزیابی نقطه‌ای قبل و بعد از تصحیح (b: پس از تصحیح)

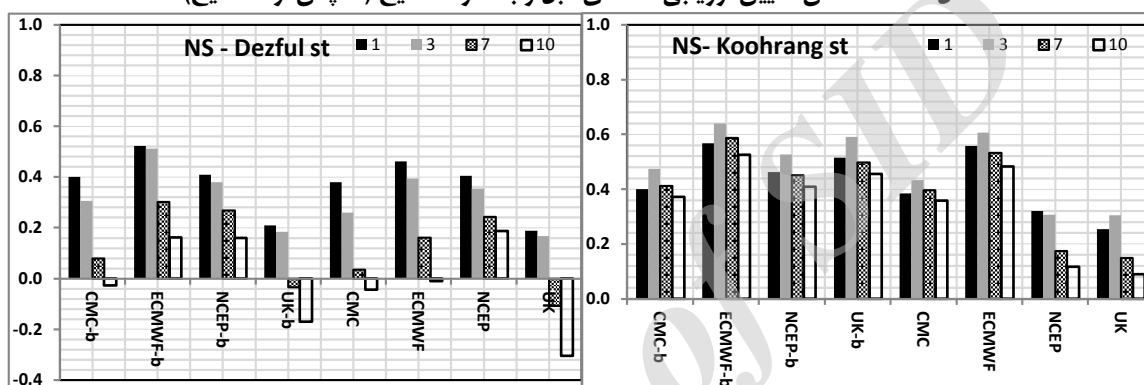


Fig. 11- Nash-sutcliff coefficient in point evaluation before and after BC (b: After BC)  
 شکل ۱۱- شاخص نش- ساتکلیف ارزیابی قبل و بعد از تصحیح (b: پس از تصحیح)

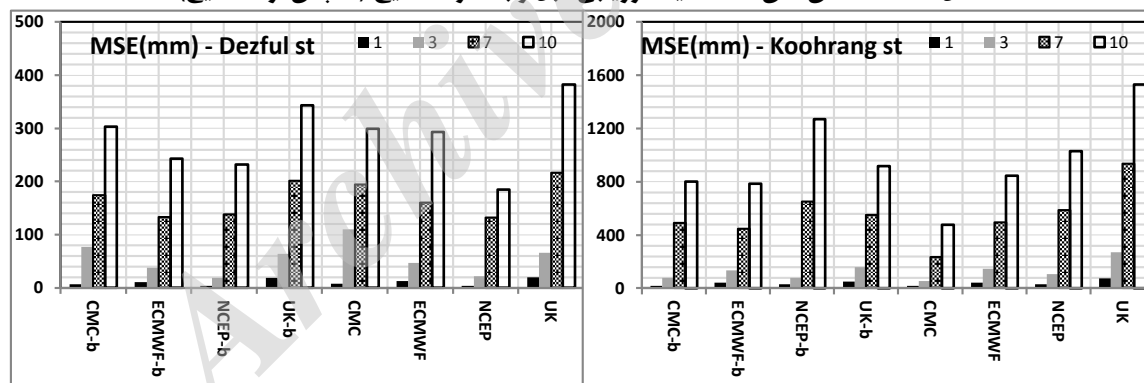


Fig. 12- Mean Square Error coefficient in point evaluation before and after BC (b: After BC)  
 شکل ۱۲- شاخص میانگین مربعات خطا ارزیابی نقطه‌ای قبل و بعد از تصحیح (b: پس از تصحیح)

نتایج نشان دهنده تأثیر مثبت روش تصحیح اریبی بر بعضی از مدل‌ها و تأثیر منفی بر دیگر مدل‌ها می‌باشد. بیشترین تأثیر این روش در شاخص نش-ساتکلیف نمایان است که نسبت به قبل برای تمامی مدل‌ها بهبود یافته است. در این بخش نیز مدل ECMWF نسبت به دیگر مدل‌ها عملکرد بهتری نشان داده است. دامنه تغییرات شاخص تعیین مدل‌ها در مقیاس‌های یک‌روزه تا ده روزه برای ایستگاه کوه‌رنگ به ترتیب برابر با ۰/۴۲-۰/۵۷، ۰/۴۸-۰/۶۶، ۰/۴۵-۰/۶۰ می‌باشد. در نتایج ایستگاه کوه‌رنگ مشاهده می‌شود که در بعضی از مقیاس‌های زمانی بیش از یک‌روزه شاخص‌های  $R^2$  و NS در بعضی مدل‌ها اندکی بهبود یافته است. در برخی از شاخص‌ها و در بعضی از مقیاس‌های زمانی روش تصحیح اریبی عملکرد ضعیفی نشان داده است. در نتایج مدل CMC در ایستگاه کوه‌رنگ و در شاخص MSE نشان‌دهنده عملکرد نسبتاً ضعیف روش تصحیح اریبی است که موجب کاهش مطلوبیت شاخص‌های ارزیابی گردیده است.

نتایج نشان دهنده تأثیر مثبت روش تصحیح اریبی بر بعضی از مدل‌ها و تأثیر منفی بر دیگر مدل‌ها می‌باشد. بیشترین تأثیر این روش در شاخص نش-ساتکلیف نمایان است که نسبت به قبل برای تمامی مدل‌ها بهبود یافته است. در این بخش نیز مدل ECMWF نسبت به دیگر مدل‌ها عملکرد بهتری نشان داده است. دامنه تغییرات شاخص تعیین مدل‌ها در مقیاس‌های یک‌روزه تا ده روزه برای ایستگاه کوه‌رنگ به ترتیب برابر با ۰/۴۲-۰/۵۷، ۰/۴۸-۰/۶۶، ۰/۴۵-۰/۶۰ می‌باشد. در نتایج ایستگاه کوه‌رنگ مشاهده می‌شود که در بعضی از مقیاس‌های زمانی بیش از یک‌روزه شاخص‌های  $R^2$  و NS در بعضی مدل‌ها اندکی بهبود یافته است. در برخی از شاخص‌ها و در بعضی از مقیاس‌های زمانی روش تصحیح اریبی عملکرد ضعیفی نشان داده است. در نتایج مدل CMC در ایستگاه کوه‌رنگ و در شاخص MSE نشان‌دهنده عملکرد نسبتاً ضعیف روش تصحیح اریبی است که موجب کاهش مطلوبیت شاخص‌های ارزیابی گردیده است.

### ۳-۳- ارزیابی حجم و الگوی بارش پیش‌بینی‌ها قبل و پس از تصحیح اریبی

برای ارزیابی الگوی مکانی نتایج حاصل از مدل‌های عددی جهانی، روش CRA استفاده گردید. این روش کل خطاهای مکانی را به سه خطای جابجایی مساحت بارش، نوع الگو بارش و حجم بارش تقسیم می‌کند. در این تحقیق روش CRA برای حوضه بالادست رودخانه دز در یک دامنه مشخص (شکل ۱۴) و با استفاده از بارش‌های پیش‌بینی شده روزانه مدل‌های جهانی و داده‌های مشاهداتی انجام گرفت. این ارزیابی برای دو روز ۲۰۰۹/۱۱/۰۲ و ۲۰۰۹/۱۸/۱۱ در دوره مورد مطالعه که دارای بیشترین مقدار بارش مشاهداتی بودند، انجام گرفت.

بدین منظور از ابزارک SpatialIVx در محیط نرم‌افزار R با استفاده شد و ارزیابی‌ها برای خطوط همباران ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر برای داده‌های خام و تصحیح اریبی شده روزانه مدل‌ها انجام گرفت. به منظور ارزیابی و مقایسه خطای جابجایی، حجم و الگو مدل‌های جهانی با داده‌های تصحیح شده، نتایج به صورت نمودار میله‌ای برای دو روز پربارش ۲۰۰۹/۱۱/۰۲ و ۲۰۰۹/۱۸/۱۱ به ترتیب در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ آورده شده است.

شاخص‌های ضریب تعیین و نش-ساتکلیف همچنان مدل ECMWF نسبت به دیگر مدل‌ها برتری دارد. در شاخص MSE در مقیاس یک روزه و سه روزه ایستگاه دزفول مدل NCEP تصحیح شده برتری داشته است.

### ۳-۲-۲- ارزیابی منطقه‌ای بارش پیش‌بینی‌شده پس از تصحیح اریبی

داده‌های منطقه‌ای شده مدل‌های جهانی نیز تصحیح اریبی شده و شاخص‌های  $R^2$ ، MSE و NS ارزیابی شده‌اند. نتایج حاصل در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

نتایج نشان دهنده تأثیر مثبت روش تصحیح اریبی بر بهبود شاخص‌های ارزیابی می‌باشد. همچنان مدل ECMWF عملکرد بهتری نسبت به دیگر مدل‌ها در شاخص‌های  $R^2$  و NS نشان داده است. برای معیار MSE مدل‌های UK، NCEP و ECMWF به ترتیب عملکرد بهتری داشته است. مدل CMC همانند ارزیابی نقطه‌ای نسبت به دیگر مدل‌ها ضعیف‌تر عمل کرده است.

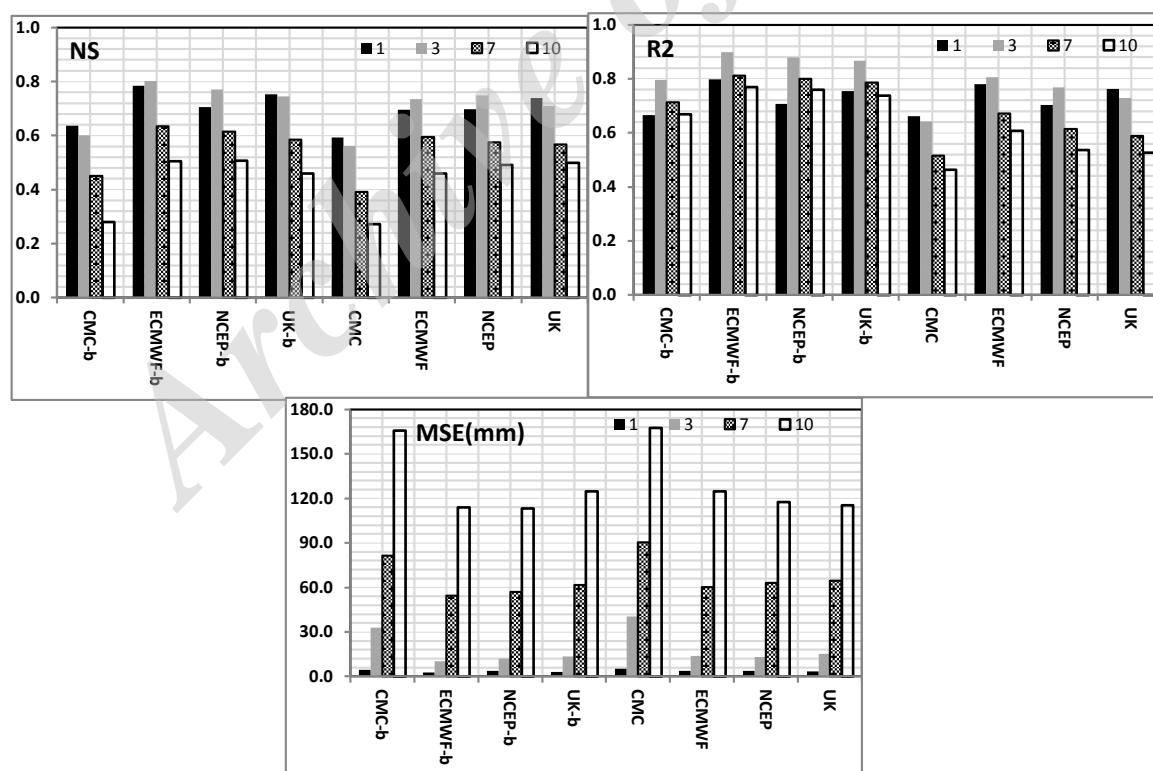


Fig. 13- Coefficients of models in regional evaluation before and after BC (b: After BC)  
شکل ۱۳- شاخص‌های ارزیابی منطقه‌ای داده‌های قبل و بعد از تصحیح (b: پس از تصحیح)

پیش‌بینی و مشاهداتی در هر آستانه و نزدیک بودن مقادیر پیش‌بینی شده به داده‌های مشاهداتی موجب کاهش خطای حجم شده است. در ارزیابی مدل‌ها، مدل UK در اکثر آستانه‌ها عملکرد بدتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته و بیشترین مقادیر MSE را برای هر آستانه نشان داده است و مدل ECMWF، NCEP و CMC، و به ترتیب نتایج بهتری در هر آستانه ارائه دادند. مشاهده می‌شود که روش نگاشت چندک اثر مثبتی در بهبود خطاهای جابجایی، حجم و الگو برای تمامی مدل‌ها داشته است به طوری که در تمامی آستانه مقادیر MSE حاصل از داده‌ها تصحیح شده کمتر از مقادیر حاصل از داده‌های اولیه می‌باشد.

#### ۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله به ارزیابی چهار نتایج حاصل از مدل عددی جهانی پیش‌بینی میان مدت بارش از جمله ECMWF، NCEP، UK و CMC در حوضه آبریز کارون بزرگ پرداخته شد. ارزیابی نتایج مدل‌ها در این مطالعه در سه بخش صورت گرفته است: (۱) ارزیابی‌های داده‌های خام مدل‌های عددی جهانی (۲) ارزیابی داده‌های تصحیح شده مدل‌های عددی جهانی (۳) ارزیابی خطا جابجایی، حجم و الگو مدل‌ها قبل و بعد از تصحیح اریبی. نتایج حاصل از بخش‌های ذکر شده به صورت زیر قابل جمع‌بندی می‌باشد:

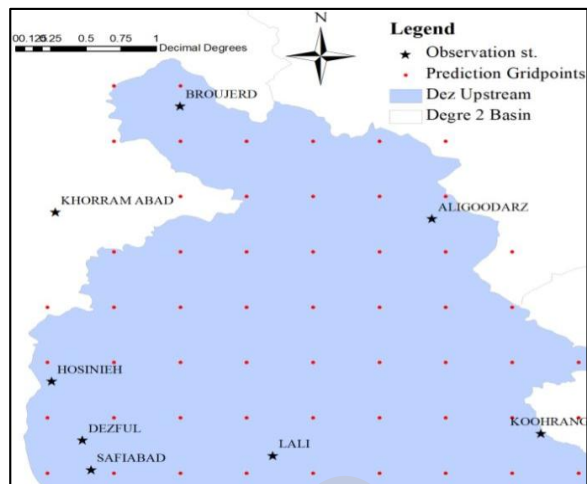


Fig. 14- Observation stations and prediction grid points in Dez river basin

#### شکل ۱۴- شبکه پیش‌بینی مدل‌های جهانی و ایستگاه‌ها بارانسنجی در حوضه دز

با توجه به اشکال مذکور بیشترین خطا مربوط به خطای الگوی مکانی و پس از آن خطای جابجایی و در آخر خطای حجم بارش است. کم بودن خطای حجم می‌تواند به دلیل پیش‌بینی نسبتاً مناسب مدل‌ها به مقادیر مشاهداتی باشد این عامل با وجود مساحت‌های مشابه به هم

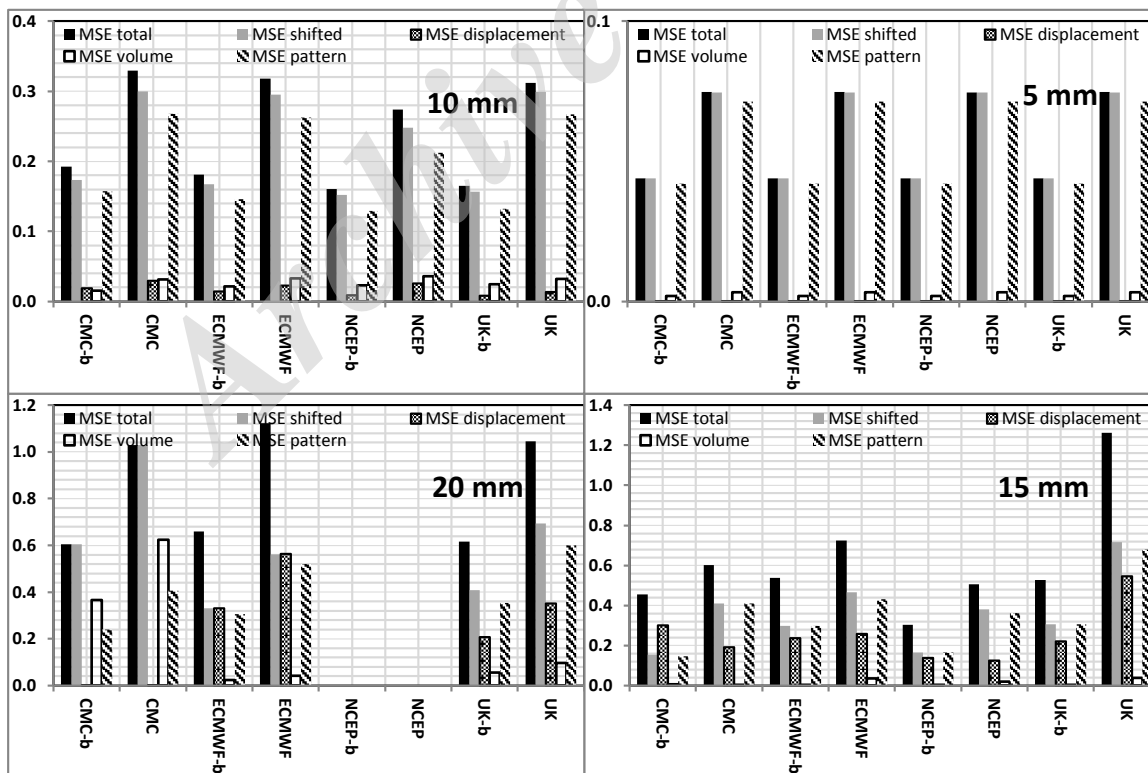


Fig. 15- Evaluation of the models using CRA method (date: 11/02/2009, unit= mm, b: after BC)

#### شکل ۱۵- ارزیابی مدل‌های جهانی با استفاده از روش CRA (روز: ۲/۱۱/۱۳۹۰، b: پس از تصحیح اریبی)

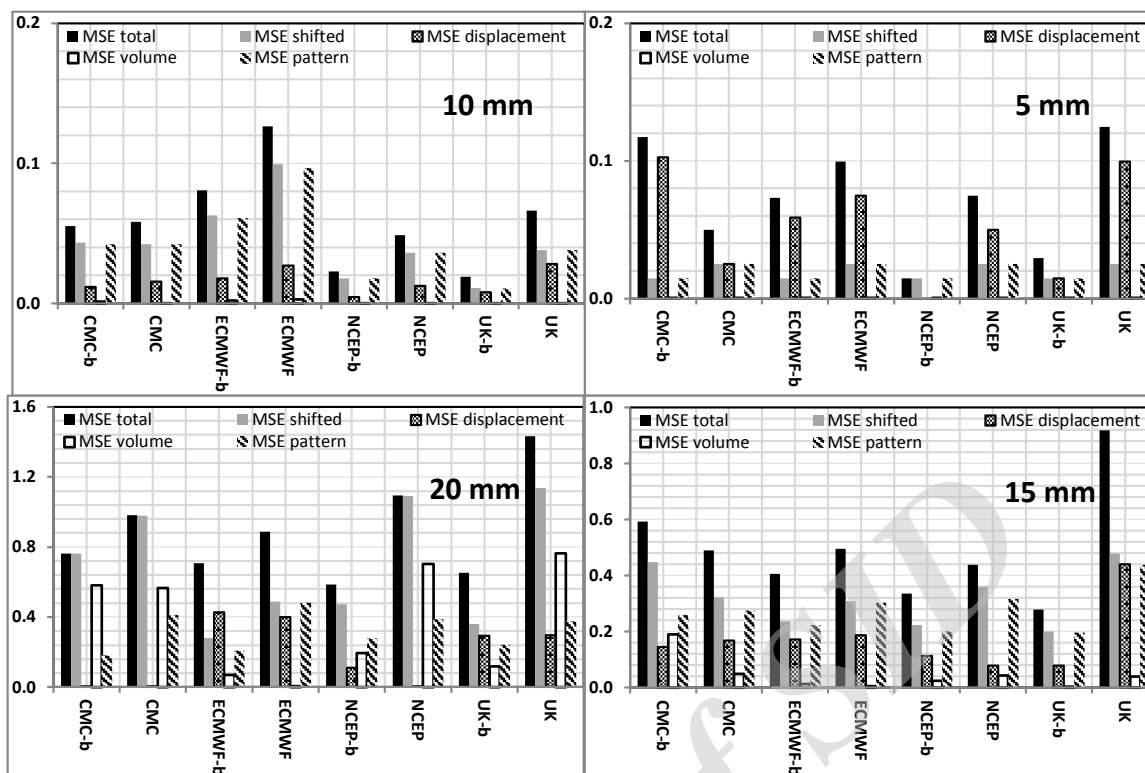


Fig. 16- Evaluation of the models using CRA method (date: 11/18/2009, unit=mm, b: after BC)  
 شکل ۱۶- ارزیابی مدل‌های جهانی با استفاده از روش CRA (روز: ۲۰۰۹/۱۱/۱۸، b: پس از تصحیح)

ارزیابی خطای جابجایی، حجم و الگوی بارش مدل‌ها قبل از تصحیح اریبی نشان داد بیشترین خطا مربوط به خطای الگوی مکانی و پس از آن خطای جابجایی و در آخر خطای حجم بارش است. در ارزیابی مدل‌ها، مدل UK عملکرد بدتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته و بیشترین مقادیر MSE را برای هر آستانه نشان داده است و مدل ECMWF، NCEP و CMC به ترتیب نتایج بهتری در هر آستانه ارائه دادند. ارزیابی خطای جابجایی، حجم و الگوی بارش مدل‌ها پس از تصحیح اریبی همانند ارزیابی قبل از تصحیح، بیشترین خطا مربوط به خطای الگوی مکانی بارش و پس از آن خطای جابجایی و در آخر خطای حجم است با این تفاوت که مقادیر MSE برای همه مدل‌ها کاهش پیدا کرده که نشان از اثر روش تصحیح اریبی نگاشت چندک می‌باشد.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- THORPEX Interactive Grand Global Ensemble
- 2- Contiguous Rain Area
- 3- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
- 4- Canadian Meteorological Center
- 5- National Centers for Environmental Prediction
- 6- United Kingdom
- 7- Auto Regressive Moving Average

ارزیابی اولیه و نقطه‌ای نتایج مدل‌های پیش‌بینی حاکی از برتری نسبی نتایج مدل ECMWF با توجه به شاخص‌های  $R^2$  و NS و داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده در افق‌های زمانی ۱ تا ۱۰ روزه است.

ارزیابی اولیه و منطقه‌ای نیز نتایج مطلوب مدل ECMWF را از منظر شاخص  $R^2$  در تمام مقیاس‌های زمانی نشان داد. از منظر شاخص‌های NS و MSE نیز برای مقیاس زمانی یک روزه و ده روزه مدل UK و برای مقیاس زمانی سه‌روزه مدل NCEP و برای مقیاس زمانی هفت‌روزه مدل ECMWF نسبت به دیگر مدل‌ها برتری داشته‌اند.

ارزیابی نقطه‌ای داده‌های پیش‌بینی پس از تصحیح اریبی با استفاده از روش نگاشت چندک نشان دهنده تأثیر مثبت روش تصحیح اریبی بر شاخص‌های ارزیابی اکثر مدل‌ها و تأثیر منفی بر شاخص‌های ارزیابی برخی از مدل‌ها می‌باشد. بیشترین تأثیر این روش در شاخص نش-سانتکلیف نمایان است که برای تمامی مدل‌ها بهبود یافته است. ارزیابی منطقه‌ای نتایج پس از تصحیح اریبی نشان‌دهنده عملکرد مناسب روش تصحیح نگاشت چندک در بهبود شاخص‌ها می‌باشد. مدل‌های ECMWF، NCEP نسبت به دیگر مدل‌ها در همه شاخص‌ها برتری داشته‌اند. مدل CMC نسبت به دیگر مدل‌ها ضعیف‌تر عملکردها است.

- Green C H, Parker D J, Tunstall S M (2000) Assessment of flood control and management options, cape town: world commission on dams. (<http://www.dams.org>)
- Golian S, Moazemi S, Kirstetter P, Hong Y (2015) Evaluating the performance of merged multi-satellite precipitation products over a complex terrain. *Journal of Water Resource Management* 29:4885-4991
- He Y, Wetterhall F, Bao H, Cloke H, Li Z, Pappenberger F, Hu Y, Manful D, Huang, Y (2010) Ensemble forecasting using TIGGE for the July-September 2008 floods in the upper Huai catchment. *Atmospheric Science Letters* 11(2):132-138
- Haydari A, Emami K, Barkhordar M, Taghikhan Sh, Moradifalah Sh, Sadatmiri M (2006) Flood forecast and warning guiding. Translated, IRNCID, Tehran (In Persian)
- Jamab (1999) Comprehensive assessment of national water resources: Karoun and Dez river basin. Jamab Consulting Engineers in Association With Ministry of Energy, Iran (In Persian)
- Javaheri N, Azadi M, Mirzaei E (2007) Introduction to flood forecasting structure software and its application in Karoun Basin. Seventh Conference on Numerical Weather Prediction, Iran Meteorological Organization
- Wu J, Lu G, Wu Z (2014) Flood forecasts based on multi-model ensemble precipitation forecasting using a coupled atmospheric-hydrological modeling system. *Journal of Natural Hazards* 74(2):325-340
- Kafashzadeh N (2010) Probability forecasting of precipitation of WRF- MM5 model measured by an ensemble system in Iran. M.Sc. Thesis, School of Meteorology, Hormozgan University
- Kalnay E (2003) Atmospheric modeling, data assimilation and predictability. Cambridge University
- Shirgholami M (2009) Post processing of WRF model's output for precipitation in Iran. M.Sc. Thesis, Science and Research branch Department of Meteorology, Islamic Azad University (In Persian)
- Taghizadeh E (2010) Evaluation of regional models HRM, MM5 and WRF precipitation forecasts over Iran. M.Sc. Thesis, Department of Physics, Yazd University
- Tao Y, Duan Q, Ye A, Gong W, Di Z, Xiao M, Hsu K (2014) An evaluation of post-processed TIGGE multimodel ensemble precipitation forecast in the Huai river basin. *Journal of Hydrology* 519:2890-2905
- 8- Mesoscale Compressible Community  
9- Weather Research Forecast  
10- High Resolution Model  
11- Fifth-Generation Pens State/NCAR Mesoscale Model  
12- The Observing System Research and Predictability Experiment  
13- Bureau of Meteorology  
14- China Meteorological Administration  
15- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos  
16- Japan Meteorological Agency  
17- Korea Meteorological Administration  
18- French National Meteorological Service  
19- Quantile Mapping  
20- Cumulative Distribution Function  
21- Bias Correction

## ۵- مراجع

- Bartholmes J, Todini E (2005) Coupling meteorological and hydrological models for flood forecasting. *Journal of Hydrology and Earth system sciences* 9(4):333-346
- Bougeault P, Toth Z, Bishop C, Brown B, Burridge D, Chen DH, Worley S (2010) The thorpex interactive grand global ensemble. *Bulletin of the American Meteorological Society* 91(8):1059-1072
- Buizza R, Milleer M, Palmer T N (1999) Stochastic representation of model uncertainties in the ECMWF ensemble prediction system. *Journal of the Royal Meteorological Society* 125:2887-2908
- Cannon A J, Whitfield P H (2002) Downscaling recent streamflow conditions in British Columbia, Canada using ensemble neural network models. *Journal of Hydrology* 259:136-151
- Cloke H L, Pappenberger F (2009) Ensemble flood forecasting: A review. *Journal of Hydrology* 375:613-626
- Collischonn W, Haas R, Andreolli I, Tucci C E M (2005) Forecasting river Uruguay flow using rainfall forecasts from a regional weather-prediction model. *Journal of Hydrology* 305:87-98
- Collischonn W, Tucci C E M, Clarke R T, Chou S C, Guilhon L G, Cataldi M, Allasia D (2007) Medium-range reservoir inflow predictions based on quantitative precipitation forecasts. *Journal of Hydrology* 344:112-122
- Ebert E E, J L McBride (2000) Verification of precipitation in weather systems: Determination of systematic errors. *Journal of Hydrology* 239:179-202
- Gneiting T, Raftery AE (2005) Weather forecasting with ensemble methods. *Atmospheric Science* 310(5746):248-9

- Journal of Weather and Forecasting 25(6):1603–1627
- Wang G, Hao J, Ma J, Jiang H (2011) A comparative assessment of ensemble learning for credit scoring. Expert Systems with Applications 38(1):223–230
- Trenberth K E (1992) Climate system modeling. Cambridge University Press, 820p
- Voisin N, Schaake J C, Lettenmaier D P (2010) Calibration and Downscaling Methods for Quantitative Ensemble Precipitation Forecasts.

Archive of SID