

Determining the Appropriate Temporal Resolution of Short and Mid-Terms Forecasts of Global Precipitation Forecasting Systems over Different Parts of Iran

S. Amini¹, A. Azizian^{2*}, and P. Danesh Kaar Arasteh³

Abstract

Precipitation forecasting models play important role in the performance of flood and meteorological warning systems. In this research, the efficiency of five Numerical Weather Prediction (NWP) models, which exist in the TIGGE database, are assessed to determine the best temporal resolution of forecasted datasets at distinct climate regions of Iran, during 2014-2018. Findings showed that by increasing the lead time the accuracy of all forecasts decreases significantly. Moreover, most of the NWP models, especially the ECMWF and UKMO perform well, based on Correlation Coefficient (CC) and RMSE metrics, up to lead time of 3 days. Also, results indicated that by removing biases from the raw forecast datasets, the performance of all NWP models in different lead times increases considerably. After bias correction, the RMSE values of ECMWF, JMA, and KMA models in the lead time of 10 days reduces by about 70, 65, and 73%, respectively, and, except for JMA, all NWP models perform well in most climate regions. The JMA model in humid climate zones (north and west parts of Iran) has a high level of bias and leads to unreliable forecasts.

Keywords: Prediction, Flood warning, Rainfall, Remote-Sensing.

Received: October 19, 2020

Accepted: February 7, 2021

تعیین مقیاس زمانی مناسب پیش‌بینی‌های کوتاه و میان‌مدت مدل‌های عددی هواشناسی جهانی در بخش‌های مختلف ایران

ستاره امینی^۱، اصغر عزیزیان^{۲*} و پیمان دانش کار آراسته^۳

چکیده

مدل‌های پیش‌بینی بارش نقش اساسی در عملکرد هر چه بهتر سامانه‌های پیش‌بینی هواشناسی و سیلاب ایفا می‌کنند. در مطالعه حاضر، عملکرد پیش‌بینی‌های پنج مدل عددی هواشناسی موجود در پایگاه TIGGE به منظور بررسی دقت پیش‌بینی‌ها طی گام زمانی‌های ۱ تا ۱۰ روزه در اقلیم‌های مختلف کشور ایران (در محل ۳۸ ایستگاه سینوپتیک) طی بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ مورد ارزیابی و اصلاح آریبی قرار گرفتند. بررسی شاخص‌های آماری و جدولی حاکی از کاهش دقت پیش‌بینی‌ها با افزایش گام زمانی می‌باشد. طبق نتایج بدست آمده عمده مدل‌های هواشناسی به ویژه دو مدل ECMWF و UKMO حداکثر تا افق زمانی ۳ روزه از همبستگی مناسبی با داده‌های زمینی برخوردار بوده و در عین حال نیز دارای خطای کمتری (در تخمین مقدار بارش و پیش‌بینی روزهای بارانی) می‌باشند. با اصلاح آریبی داده‌های خام پیش‌بینی عملکرد مدل‌های عددی آب و هوا به طور قابل توجهی افزایش یافت، به طوری که در گام زمانی ۱۰ روزه در مدل‌های JMA، ECMWF و KMA به ترتیب بیش از ۷۰، ۶۵ و ۷۳ درصد از مقدار شاخص RMSE کاهش یافت. پس از اصلاح داده‌های بارش، عملکرد عمده مدل‌های عددی به غیر از JMA حتی تا گام زمانی ۷ روزه نیز در اکثر اقلیم‌های کشور منجر به نتایج قابل قبولی گردید. مدل JMA در اقلیم‌های مرطوب که شامل مناطق غربی و شمالی کشور است، به دلیل ساختار مدل آشفتگی موجود در این مدل دارای آریبی زیادی بوده و نتایج غیرقابل اعتمادی ارائه نموده است.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی، هشدار سیل، بارش، سنجش از دور.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۷/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۱/۱۹

1- M.Sc. in Water Resources Engineering, Water engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2- Assistant Professor, Water engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: azizian@eng.ikiu.ac.ir

3- Associate Professor, Water engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین.

۲- عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین.

۳- عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

et al. (2016) ویژگی‌های اصلی باران موسمی غرب آفریقا را در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ به کمک هفت مدل عددی موجود در پایگاه TIGGE مورد ارزیابی قرار دادند. تحلیل تغییرپذیری درون-فصلی نشان داد مهارت پیش‌بینی‌ها با افزایش گام زمانی (۱ تا ۱۵ روز) کاهش می‌یابد. همچنین معیارهای مورد استفاده در این مطالعه حاکی از مهارت بالای مدل‌های UKMO و ECMWF نسبت به سایر مراکز داشت. همچنین این محققین به این نتیجه رسیدند که میانگین پیش‌بینی گروهی این دو مدل از میانگین گروهی هفت مدل از توانایی بیشتری برای پیش‌بینی بارش در غرب آفریقا برخوردار است. Cai et al. (2018) با استفاده از روش آماری SVR اقدام به ترکیب پنج مدل عددی پایگاه TIGGE و بهبود عملکرد بارش پیش‌بینی شده پرداختند و دریافتند که با اعمال فرآیند پس‌پردازش، می‌توان برای سه روز آینده سیل را با خطای نسبتاً کمی پیش‌بینی کرد. طبق مطالعات این محققین، در حالت خام مدل JMA و پس از آن ECMWF نسبت به مدل‌های UKMO، KMA و CMC دارای مقدار شاخص RMSE کمتری هستند. همچنین Javanmard Ghasab et al. (2018) پیش‌بینی میان مدت بارش توسط چهار مدل عددی NCEP، ECMWF، UKMO و CMC در حوضه کارون بزرگ را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند از منظر شاخص همبستگی، مدل ECMWF در گام زمانی ۱ تا ۱۰ روزه نسبت به سایر مدل‌ها برتری دارد. هر چند بر اساس شاخص NS و MSE در مقیاس یک و ده روزه مدل UKMO و برای مقیاس سه روزه مدل NCEP و برای مقیاس ۷ روزه مدل ECMWF خروجی مطلوبی ارائه داده‌اند. Liu et al. (2019) به ارزیابی بارش روزانه پیش‌بینی شده در فصول بارانی شرق آسیا (Plum rain) در بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ در حوضه رودخانه Qu در چین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در حالت خام و پس از حذف اریب از داده‌ها دقت پیش‌بینی‌ها به ترتیب تا ۸ و ۱۰ روز افزایش یافته است و این مساله بیانگر چشم‌انداز امیدوارکننده‌ای برای پیش‌بینی سیل می‌باشد. Saedi et al. (2019) نیز عملکرد بارش پیش‌بینی شده توسط چند مدل عددی آب و هوا را در مقیاس ۶ تا ۲۴ ساعته در حوضه‌های شمال و شرق ایران در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۱۴ مورد ارزیابی قرار دادند و نشان دادند که پیش‌بینی‌های صورت گرفته در گام زمانی ۶ ساعته نسبت به ۲۴ ساعته ضعیف‌تر هستند به طوری که در بیشتر حوضه‌ها مقدار شاخص همبستگی از مقدار متوسط ۰/۴ در گام زمانی ۶ ساعته تا ۰/۹ در مقیاس ۲۴ ساعته متغیر است. Jabbari and Bae (2020) با هدف بهبود پیش‌بینی‌های گروهی زمان واقعی از دو روش حداقل مربعات کلی (TLS) و روش رفع اریبی وابسته به گام زمانی، معروف به وزن‌دهی پویا (DW) استفاده کردند. نتایج ایشان حاکی از آن است که خطای نرمال‌سازی کاهش و شاخص پراکندگی بهبود یافته است. مقایسه بین خطای اریبی

تغییر در الگوی بارش می‌تواند مستقیماً بر فرآیندهای هیدرولوژیکی به ویژه زمان و بزرگی سیل تأثیرگذار باشد. به منظور پیش‌بینی صحیح سیلاب (به ویژه سیلابهای ناگهانی)، تعیین دقیق زمان و مقدار بارش و متعاقب آن رواناب، امری ضروری بشمار می‌آید. در دهه‌های اخیر و با توسعه روزافزون تکنولوژی‌های ماهواره‌ای و رایانه‌ای، مراکز پیش‌بینی عددی آب و هوا متعددی توسعه داده شده است که هر کدام از آنها با ارائه ساختارهای متفاوت، سعی در افزایش افق زمانی و دقت پیش‌بینی‌ها نموده‌اند (Toth and Kalnay, 1997; Buizza et al., 2005; Duan et al., 2012). در سال ۲۰۰۳ سازمان هواشناسی جهانی (WMO) با دانش بر توانایی بالقوه پیش‌بینی‌های گروهی، از پروژه THORPEX با هدف بهبود پیش‌بینی‌های هواشناسی ۱ روز تا ۲ هفته‌ای حمایت کرد (Shapiro and Thorpe, 2004). به عنوان قسمتی از این پروژه، به منظور بهبود دقت پیش‌بینی کوتاه مدت (نزدیک به واقع) و میان مدت، پایگاه داده TIGGE پیش‌بینی‌های گروهی تولید شده توسط چندین مدل عددی را از سال ۲۰۰۶، در ۶۵ گام زمانی متفاوت با افق زمانی ۱۶ روز در اختیار کاربران قرار داده است. تاکنون مطالعات مختلفی بر روی ارزیابی عملکرد مدل‌های عددی پایگاه TIGGE جهت پیش‌بینی‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و هشدار سیل صورت گرفته است. به عنوان مثال، Clock and Pappenberger (2009) در پژوهشی به ارزیابی کارایی مدل‌های عددی آب و هوای مختلف در زمینه پیش‌بینی سیلاب پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در صورت استفاده از داده‌های پایگاه TIGGE می‌توان سیلاب را تا افق زمانی ۹ تا ۱۰ روزه آینده و برای رودخانه‌های متوسط تا بزرگ، با دقت قابل قبولی پیش‌بینی نمود. Hamill (2012) نتایج چهار مدل عددی ECMWF، NCEP، UKMO، CMC و Multimodel آن‌ها را ترکیب کرد و تأثیر آن را در پیش‌بینی‌های ۱ تا ۵ روزه مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد در تمامی حالات با افزایش گام زمانی مقادیر شاخص‌های آماری BSS و CRPSS بیش از ۳۰ درصد کاهش می‌یابند. همچنین در مقادیر بارش بیشتر از ۱۰ میلی‌متر در تمامی گام‌های زمانی دقت شاخص‌های ارزیابی کاهش می‌یابد. Su et al. (2014) بارش‌های پیش‌بینی شده در تابستان سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ را در نیمکره شمالی ارزیابی کردند و با بیان شاخص‌های متنوع اعم از CRPSS و RMSE نشان دادند بین شش مدل CMA، CMC، ECMWF، JMA، UKMO و NCEP پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط مدل ECMWF نسبت به سایر مدل‌ها از دقت بالاتری برخوردار است و پس از آن به ترتیب مدل‌های JMA، UKMO و NCEP نتایج قابل قبولی ارائه داده‌اند. Louvet

نسبی پیش‌بینی بارش زمان واقعی و سیلاب نیز نشان می‌دهد که اعمال روش TLS و DW، خطای اریبی بارش پیش‌بینی شده زمان واقعی را کاهش می‌دهد. Saedi et al. (2020) به تحلیل عدم قطعیت پیش‌بینی سیل با هفت مدل عددی هواشناسی در زیرحوضه سالیان از حوضه آبریز گرگانرود پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های ECMWF و UKMO نسبت به سایر مدل‌ها، دارای مهارت بیشتری در پیش‌بینی سیلاب هستند. Kolachian et al. (2021) نیز به ارزیابی روش‌های پس پردازش و اصلاح اریبی بر پیش‌بینی‌های ماهانه بارش و دما مرکز ECMWF در حوضه آبریز کارون پرداختند و دریافتند که پس از حذف اریب از داده‌ها می‌توان دقت پیش‌بینی‌ها را در نیمی از ماه‌ها، به ویژه ماه‌های پر بارش تا حد قابل قبولی ارتقا داد.

۲-۲- داده‌های مشاهداتی

در مطالعه حاضر، از داده‌های بارش ۳۸ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی جمهوری اسلامی ایران (IRIMO) به عنوان مرجع زمینی برای ارزیابی مراکز پیش‌بینی بارش جهانی استفاده شده است. قابل ذکر است که ایستگاه‌های سینوپتیک به دلیل بروز خطای انسانی کمتر در روند مشاهدات نسبت به سایر ایستگاه‌های ثبت بارش زمینی قابلیت اطمینان بیشتری دارند. بازه زمانی مورد مطالعه با توجه به کیفیت داده‌های در دسترس بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ انتخاب گردید. در شکل ۱ توزیع مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شده است.

۲-۳- داده‌های بارش پیش‌بینی مدل‌های جهانی

در حال حاضر یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های بارشی که داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل‌های عددی هواشناسی را در اختیار عموم قرار می‌دهد، پایگاه اطلاعاتی TIGGE^۱ می‌باشد. این پایگاه ارزشمند که قسمتی از پروژه THROPEX^۲ می‌باشد، با اهدافی اعم از توسعه روش‌های جدید برای ترکیب پیش‌بینی‌های گروهی و تصحیح خطای سیستماتیک آن‌ها، دستیابی به درک عمیق‌تر از سهم مشاهدات، عدم قطعیت‌های اولیه و مدل در پیش‌بینی خطا، بررسی سیستم‌های گروهی تعاملی که به طور پویا به تغییر عدم قطعیت پاسخ می‌دهند و جهت‌دهی ارزیابی‌ها به سمت سیستم عملیاتی، سیستم پیش‌بینی تعاملی جهانی (GIFS)، راه‌اندازی شده است (Louvet et al., 2016). پیش‌بینی‌های گروهی ۱۰ مرکز پیش‌بینی عددی آب و هوای جهانی از اکتبر سال ۲۰۰۶ در آرشیو این پایگاه^۳ قابل دسترسی است. در پژوهش حاضر ۵ مرکز هواشناسی مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت وضع هوا (ECMWF)، اداره هواشناسی ژاپن (JMA)، اداره هواشناسی کره (KMA)، هواشناسی فرانسه (Meteo France)، دفتر هواشناسی انگلستان (UKMO) ارزیابی گردیدند.

بررسی تحقیقات صورت گرفته حاکی از آن است که علی‌رغم اهمیت بالای داده‌های پیش‌بینی بارش و کاربرد آنها در سامانه‌های هشدار سیل، متأسفانه تاکنون مطالعاتی کمی در این زمینه و به ویژه کشور ایران به انجام رسیده است. مطالعات اندک انجام شده در سطح کشور نیز عمدتاً معطوف به یک یا چند حوضه خاص بوده و در عمده آنها تنها به بررسی تعداد مشخصی از مدل‌های پیش‌بینی پرداخته شده است و به جرات می‌توان گفت که تاکنون عملکرد سامانه‌های پیش‌بینی بارش در اقلیم‌ها و در گام‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا پژوهش حاضر با هدف تعیین توان تفکیک زمانی مناسب داده‌های بارش پیش‌بینی شده توسط پنج مدل عددی ECMWF، UKMO، METEO، JMA و KMA در اقلیم‌های مختلف ایران و در افق‌های زمانی ۱ تا ۱۰ روزه (در دو حالت خام و پس از حذف اریب از داده‌ها) به انجام رسیده است. علت انتخاب مدل‌های مذکور که جزئیات آنها در بخش مواد و روش‌ها شرح داده شده است، کارایی بالای آنها در پیش‌بینی بارش نسبت به دیگر مدل‌های عددی موجود می‌باشد.

۲-۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مطالعاتی

کشور ایران در یک منطقه نیمه خشک در بین مختصات طولی ۳۲/۶۳- و ۴۴/۵ درجه و مختصات عرضی ۳۹/۵- تا ۲۵/۳ درجه واقع شده است که دارای مساحتی حدود ۱/۶۴ میلیون کیلومتر مربع می‌باشد. براساس طبقه‌بندی دو مارتن اصلاح شده (Rahimi et al., 2013) بیشتر مناطق مرکزی ایران (که شامل دو کویر بزرگ لوت و مرکزی هستند) دارای اقلیم خشک و خیلی خشک می‌باشند. کشور ایران شامل توپوگرافی متنوعی است، به طوری که ارتفاع از ۲۰ متر زیرسطح دریا (در کرانه دریای خزر) تا بیش از ۵۶۰۰ متر بالای متوسط سطح دریا (در محدوده رشته کوه‌های البرز) متغیر است. وجود رشته کوه زاگرس

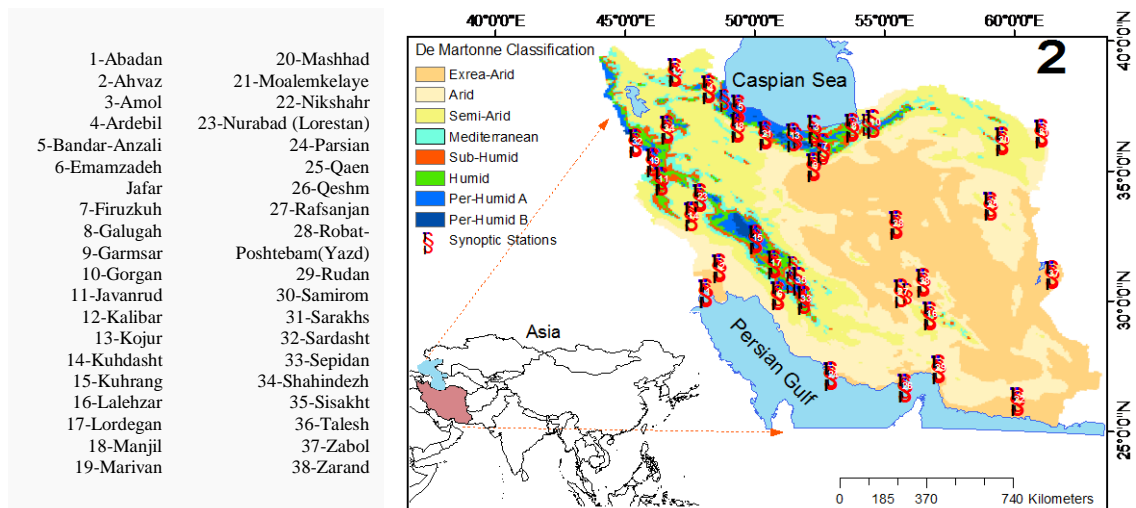


Fig. 1- Geographical location of Iran and spatial distribution of rain gauges and climate regions

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایران به همراه طبقه‌بندی اقلیمی سطح کشور و توزیع مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

دارای افق زمانی پیش‌بینی کمتری هستند نیز در پژوهش حاضر مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. مدل‌های مذکور توانایی پیش‌بینی مقادیر بارش تنها تا ۷ و ۳ روزه آینده را دارا می‌باشند و به عبارتی دارای پیش‌بینی کوتاه مدت هستند. خروجی حاصل از مدل‌های مذکور به صورت پیش‌بینی‌های احتمالاتی^۴ با توان تفکیک پائین (۱/۵ و ۱ درجه) و پیش‌بینی‌های قطعی^۵ با توان تفکیک ۰/۲۵ درجه گزارش می‌شود که برای ارزیابی با داده‌های زمینی قابل قبول است (Hamil, 2012). در پژوهش حاضر از خروجی‌های قطعی که دارای توان تفکیک بهتری هستند استفاده بعمل آمده است. در جدول ۱ مشخصات سامانه‌های پیش‌بینی مورد استفاده ارائه شده است.

سیستم پیش‌بینی گروهی این مدل‌ها به ترتیب دارای ۵۱، ۵۰، ۱۶، ۳۵ و ۲۵ عضو می‌باشند. از آنجائی که مدل‌های پیش‌بینی عددی آب و هوا دارای شرایط مرزی، اولیه و پارامترهای ورودی مختلفی می‌باشند هر یک از اعضای مذکور در بر دارند یکی از حالات بود و منجر به پیش‌بینی سری زمانی متفاوتی از بارش می‌گردد. با تلفیق نتایج تمامی اعضا، خروجی‌ای به نام Control forecast حاصل می‌شود که از آن به نام پیش‌بینی قطعی نیز نام برده می‌شود. در این پژوهش پیش‌بینی‌های قطعی صورت گرفته در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ در گامهای زمانی ۱ تا ۱۰ روزه مورد ارزیابی قرار گرفت. هر چند لازم به ذکر است که اگرچه برخی مدل‌ها همچون UKMO و METEO

Table 1- Overall attributes of global NWP systems used in this research

جدول ۱- مشخصات کلی سامانه‌های پیش‌بینی بارش جهانی مورد استفاده

Center	ECMWF	JMA	KMA	METEO	UKMO
Horizontal resolution archived (degree)	0.28 (0-10day) 0.56 (10-15)	1.25×1.25	0.37×0.56	0.73×0.73	0.83×0.56
Vertical levels	91	100	85	91	85
Ensemble Size	51	50	16	35	25
Forecast Length (days)	0-10 10-15	0-11	0-10	0-3 / 5	0-15
Initial Perturbation Strategy	SVs , EDA-SVINI	SVs, LETKF, LAF	ETKF	None (in-run Perturbation only)	ETKF
Model Uncertainty	SPPT, SKEB	SPPT	SKEB2	No	SKEB
Land Surface Model	IFS	JMA SIB (Simple Biosphere) Yamaguchi	JULEC	SURFEX 7.2	JULEC
Reference	Buizza et al 2005	Majumdar, 2010	Bowler et al 2008, Kay et al 2013	Boisserie et al. (2016)	Best et al(2011)

۴-۲- اصلاح اریبی نگاشت چندک

پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط مدل‌های پیش‌بینی با توجه به ساختار مدل‌های عددی آب و هوا و نیز شرایط مرزی و اولیه مختلف حاکم بر آنها ممکن است با واقعیت موجود متفاوت بوده و دارای خطای قابل توجهی باشد. به همین منظور قبل از استفاده از آنها بایستی فرآیند اصلاح و حذف اریب از داده‌ها صورت گیرد. در تحقیق حاضر و با توجه به کارآمد بودن روش اصلاح اریبی نگاشت چندک^۶ در رفع خطای اریبی و سیستماتیک موجود در پیش‌بینی‌های گروهی خام (Gupta et al., 2019)، خروجی مدل‌های پیش‌بینی در تمامی مقیاس‌های زمانی اصلاح و سپس با داده‌های مشاهداتی مورد بررسی قرار گرفتند. در این روش ابتدا توابع توزیع تجمعی (CDF) داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی برآزش داده شده سپس چندک هر عضو پیش‌بینی توسط تابع توزیع تجمعی متناظر پیش‌بینی تخمین زده می‌شود. چندک هر عضو از مدل پیش‌بینی عددی برای هر روز با توجه به تابع توزیع تجمعی پیش‌بینی (CDF) محاسبه می‌شود، سپس این چندک با چندک متناظر مقدار مشاهداتی در تابع توزیع تجمعی مشاهداتی روزانه، جایگزین می‌شود (معادله ۱):

$$BC_{fcst} = CDF_{obs}^{-1}(CDF_{fcst}(Fcst)) = CDF_{obs}^{-1}(Q_n) \quad (1)$$

در رابطه فوق، BC_{fcst} : مقدار پیش‌بینی تصحیح شده، $Fcst$: مقدار پیش‌بینی خام (قبل از اصلاح)، CDF_{obs}^{-1} : تابع توزیع تجمعی داده‌های مشاهداتی و Q_n : چندک مقدار پیش‌بینی در CDF_{fcst} است. برای تعیین عملکرد هر چه بهتر روش‌های تصحیح اریبی بایستی کارایی آنها در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گیرد. در پژوهش حاضر داده‌های مشاهداتی به دو دسته تقسیم و سپس توزیع تجمعی در هر مرحله محاسبه و طبق آن مقادیر بارش پیش‌بینی شده توسط مدل‌های عددی اصلاح گردید. با توجه به عدم وجود اختلاف معنی‌دار در خروجی هر دو مرحله، در بخش نتایج از توزیع تجمعی بدست آمده از کل دوره آماری برای اصلاح اریبی استفاده بعمل آمد.

۵-۲- شاخص‌های ارزیابی

به منظور بررسی کیفیت پیش‌بینی‌های کمی بارش (QPFs)، پیش‌بینی‌های خام و تصحیح شده با استفاده از معیارهای ارزیابی مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. دسته اول معیارهای مذکور که معروف به شاخص‌های آماری هستند، به بررسی کیفیت و دقت میانگین پیش‌بینی‌های گروهی نسبت به مشاهدات می‌پردازند که شامل ضریب همبستگی (CC)، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و RBias می‌باشند. دسته دوم که با نام شاخص‌های جدولی (Contingency Table) شناخته می‌شوند (Ebert, 1996)، دقت

مراکز پیش‌بینی در تشخیص روزهای بارانی و غیربارانی را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. شاخص‌های FAR, POD, CSI, ETS, FBI در این دسته جای دارند. دسته سوم نیز شامل معیارهای احتمالاتی هستند که با هدف بررسی اطمینان‌پذیری پیش‌بینی‌ها محاسبه می‌گردند (Wilks, 1995). شاخص‌های این دسته شامل نمره توانایی بریر (BSS)، نمره توانایی احتمال رتبه مداوم (CRPSS) و نمودار اطمینان‌پذیری (RD) هستند (Casati et al., 2008). در جدول ۲ خصوصیات اصلی هر یک از شاخص‌های مذکور ارائه شده است.

در جدول ۲، R_{ob} : مقادیر بارش مشاهده‌ای ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی، R_{sat} : مقادیر بارش بدست آمده از مرکز پیش‌بینی بارش عددی n : تعداد داده‌های بارش در طول بازه زمانی، \bar{R}_{obs} : میانگین مقادیر بارش مشاهداتی، \bar{R}_{sat} : میانگین مقادیر بارش بدست آمده از مرکز پیش‌بینی بارش عددی، P_i : احتمال پیش‌بینی شده و O_i : بیانگر مشاهده است، اگر رویداد رخ داده باشد، O_i : برابر یک و در غیر اینصورت صفر، \bar{O} : متوسط فراوانی مشاهده شده و N : تعداد داده‌های پیش‌بینی و مشاهداتی می‌باشد. برای ارزیابی داده‌های بارش گردیدندی شده دو روش کاربرد Point scale approach و grid-box approach وجود دارد که توسط محققین مختلف در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Brocca et al., 2014, 2019; Liu et al., 2019; Shayeghi et al., 2020). روش دوم زمانی امکانپذیر که تراکم ایستگاه‌های زمینی از کفایت لازم برای ساخت یک نقشه رستری برخوردار باشد و به همین علت عدم پراکنش صحیح ایستگاه‌های زمینی می‌تواند خود منجر به بروز خطا و عدم قطعیت معنی‌داری در نقشه گردیدندی شده (درون‌یابی شده از روی داده‌های نقطه‌ای زمینی) بارش شود. از آنجائی که توزیع مکانی ایستگاه‌های زمینی در سطح کشور ایران در بسیاری از بخش‌ها از وضعیت مطلوبی برخوردار نمی‌باشد، امکان استفاده از دیدگاه دوم در تمامی بازه‌های مطالعاتی میسر نمی‌باشد.

به همین منظور جهت پرهیز از عدم قطعیت‌های ناشی از روش‌های درونیابی برای ساخت نقشه شبکه‌بندی شده بارش از دیدگاه اول یعنی مقایسه در مقیاس نقطه‌ای در این پژوهش استفاده به عمل آمد. پس از انجام ارزیابی‌ها به صورت نقطه‌ای مقادیر شاخص‌های آماری و جدولی در اقلیم‌های مختلف ایران مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت با حذف اریب از داده‌ها، عملکرد مدل‌های پیش‌بینی بارش در گام‌های زمانی مختلف در سطح ایران بررسی گردید.

Table 2- Statistical metrics for evaluation of NWP forecasts
جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده جهت ارزیابی سامانه‌های پیش‌بینی بارش

Measure	Equation	Description	Perfect/ No Skill	Remarks
Correlation Coefficient	$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{obs} - \bar{R}_{obs})(R_{sat} - \bar{R}_{sat})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_{obs} - \bar{R}_{obs})^2 \sum_{i=1}^n (R_{sat} - \bar{R}_{sat})^2}}$	Linear dependency between forecast and observation	1/0	
Root Mean Square Error	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{sat} - R_{obs})^2}$	The sample standard deviation of differences between the forecast and observed precipitation	0/ +∞	
Relative Bias	$RBias = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{sat} - R_{obs})}{\sum_{i=1}^n R_{obs}} \times 100$	Differences between forecasts and observations over long time period	0/ ±∞	
Probability of Detection	$POD = \frac{Hit}{Hit+Miss}$	Proportion of occurrences that were correctly forecast	1/0	
False Alarm Ratio	$FAR = \frac{FalseAlarm}{Hit+FalseAlarm}$	Measure of false alarms given the event did not occur	1/0	
Critical Success Index	$CSI = \frac{Hit}{Hit+Miss+FalseAlarm}$	Takes both “miss” and “false alarm” into account, but ignores the “correct rejection”	1/0	
Equitable Threat Score	$ETS = \frac{Hit - Hit_{random}}{Hit+Miss+FalseAlarm - Hit_{random}}$	Adjustment of CSI excluding the correct forecast of occurrence by chance	1/0	$Hit_{random} = \frac{(Hit+Miss)(Hit+FalseAlarm)}{Total}$
Frequency bias index	$FBI = \frac{Hit+FalseAlarm}{Hit+Miss}$	Ratio of the number of forecast occurrences to the number of actual occurrences	1/0	

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی بارش در گام‌های زمانی مختلف

افقی نمودارها تنها تا گام‌های زمانی مذکور ترسیم شده‌اند. در شکل ۲ رنگ‌های زرد و آبی به ترتیب به معنی همبستگی بالا و پایین می‌باشند. همانطور که ملاحظه می‌گردد، مقدار شاخص CC به شدت با طول گام زمانی مرتبط می‌باشد، به طوری که در گام‌های زمانی کوتاه‌تر مقدار همبستگی بیشتری بین داده‌های پیش‌بینی و مشاهداتی بارش وجود دارد. اگرچه نتایج ۵ مدل موجود روند تقریباً مشابهی را نشان می‌دهد، اما در گام‌های زمانی بالا پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط سه مدل ECMWF، UKMO و KMA همچنان از همبستگی قابل قبولی با داده‌های زمینی برخوردار می‌باشند. همچنین لازم به ذکر است که در پیش‌بینی‌های با گام زمانی بیشتر از ۵ روز، مقدار همبستگی در حدود ۰/۴ می‌باشد. به عبارت بهتر استفاده از داده‌های با گام زمانی بزرگتر از ۵ روز در بیشتر بخش‌های ایران منجر به نتایج چندان قابل اعتمادی نمی‌گردد و همین مسأله کاربرد آنها را در مطالعات پیش‌بینی با محدودیت روبرو می‌نماید. بررسی تغییرات این شاخص در میان ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز حاکی از آن است که تمامی مدل‌های پیش‌بینی همبستگی بالایی را در ایستگاه‌های کوه‌رنگ، میروان، انزلی

پیش‌بینی‌های بارش با گام‌های زمانی مختلف با استفاده از روش‌های قطعی و جدولی مورد ارزیابی قرار گرفت. از دسته روش‌های قطعی شاخص ضریب همبستگی برای اندازه‌گیری مطابقت پیش‌بینی‌ها با مشاهدات و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) برای محاسبه مقدار خطای هر مدل استفاده شدند، به منظور کمی‌سازی صلاحیت مدل‌های عددی در پیش‌بینی وقوع یا عدم‌وقوع بارش از شاخص‌های جدولی استفاده گردید. در شکل ۲ ماتریس شاخص CC بین پیش‌بینی‌های گروهی خام و مشاهدات مربوط به ۱۴ ایستگاه منتخب (جدول ۳) واقع در اقلیم‌های مختلف و در گام‌های زمانی یک تا ۱۰ روزه نشان داده شده است. همانطور که پیشتر ذکر شد دو مدل METEO و UKMO به ترتیب دارای افق پیش‌بینی ۳ و ۷ روزه هستند و به همین علت در نمودارهای مربوط به این دو مدل، محور

و سپیدان داشته و در ایستگاه‌های گلوگاه، گرمسار، نیک‌شهر، قشم و رباط پشت‌بام نیز کمترین میزان همبستگی مشاهده می‌گردد.

ارزیابی شاخص RMSE نیز گویای این مطلب است که تا گام زمانی ۵ روزه در تمامی مدل‌ها مقدار متوسط این شاخص همواره کمتر از ۱۲ میلیمتر در روز می‌باشد که البته با اعمال فرآیند حذف اریب می‌توان مقدار آن را تا حدود زیادی کاهش داد. نتایج حاصل از کاربرد دو مدل KMA و UKMO در ایستگاه بندرانزلی حاکی از مقدار بالای این شاخص (در حدود ۴۰ میلیمتر در روز) دارد. مقدار بالای خطا در این ایستگاه و اقلیم‌های مرطوب مشابه را می‌توان به ساختار مدل سطح زمین این دو مدل که هر دو از اطلاعات مدل GloSea5-GC2 استفاده می‌کنند مرتبط دانست، همچنین قابل ذکر است سایر خصوصیات این مدل‌ها همچون شرایط مرزی تعریف شده در آنها و همچنین مدل‌های آشفتگی که در جدول ۱ ذکر شده اند می‌توانند موجب بروز این خطا شده باشند (Kay et al., 2014). برخلاف دو مدل مذکور، پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط مدل JMA با خطای نسبتاً کمتری به خصوص در گام‌های زمانی بالا همراه می‌باشد که این عامل را میتوان به ساختار مدل آشفتگی آن و استفاده از روش بردارهای منفرد (SVs) مرتبط دانست (Buizza et al., 2005).

علت اصلی این عملکرد را نیز می‌توان به ساختار مناسب مدل JMA، استفاده از یک مدل جو با توان تفکیک مکانی بالا (۲۵/۰ درجه) و روش تولید آشفتگی آن مرتبط دانست. هر چند با اعمال فرآیند حذف اریب از داده‌های خام پیش‌بینی می‌توان میزان خطای مدل‌های عددی را تا حدی زیادی کاهش داد. در شکل ۳ تأثیر حذف اریب از داده‌های خام مدل‌های پیش‌بینی بر مقادیر شاخص RMSE به ویژه در گام‌های زمانی بالا (بیش از ۶ روزه) به خوبی قابل تشخیص می‌باشد. به عنوان مثال، در گام زمانی ۱ روزه و در مدل‌های JMA، ECMWF، KMA، METEO و UKMO به ترتیب در حدود ۵۸، ۶۷، ۵۰، ۴۲ و ۳۳ درصد از مقدار شاخص RMSE کاسته شده است. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که در گام زمانی بیش از ۵ روز اعمال روش‌های پس‌پردازش و حذف اریب الزامی بوده و پس از این اقدامات می‌توان با اطمینان بالایی حتی پیش‌بینی‌های تا گام زمانی ۱۰ روز را نیز در مطالعات استفاده نمود.

تحلیل نتایج بر اساس شاخص جدولی Bias در گام‌های زمانی مختلف نیز حاکی از بیش‌برآوردی قابل توجه روزهای بارانی تمامی مدل‌ها به ویژه در اقلیم‌های خیلی خشک، خشک و نیمه خشک است که معمولاً دارای بارش‌های سبک هستند.

Table 3- Information of stations used in the study
جدول ۳- اطلاعات ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش

ID	Station	Latitude / Longitude	Climate Classification
1	Ahvaz	31/35°E , 48/74°N	Arid
2	Bandar Anzali	37/48°E , 49/46°N	Per-Humid B
3	Galugah	36/74°E , 53/84°N	Semi-Humid
4	Garmsar	35/24°E , 52/36°N	Arid
5	Kalibar	38/87°E , 47/02°N	Mediterranean
6	Kuhrang	32/46°E , 50/13°N	Per-Humid A
7	Marivan	35/50°E , 46/15°N	Humid
8	Mashhad	36/24°E , 59/63°N	Semi-Arid
9	Nikshahr	26/23°E , 60/20°N	Extra-Arid
10	Qeshm	26/75°E , 55/89°N	Extra-Arid
11	Rafsanjan	30/38°E , 55/93°N	Extra-Arid
12	Robat Poshtebam	33/01°E , 55/56°N	Extra-Arid
13	Sepidan	30/23°E , 52/00°N	Humid
14	Zabol	31/10°E , 61/54°N	Extra-Arid

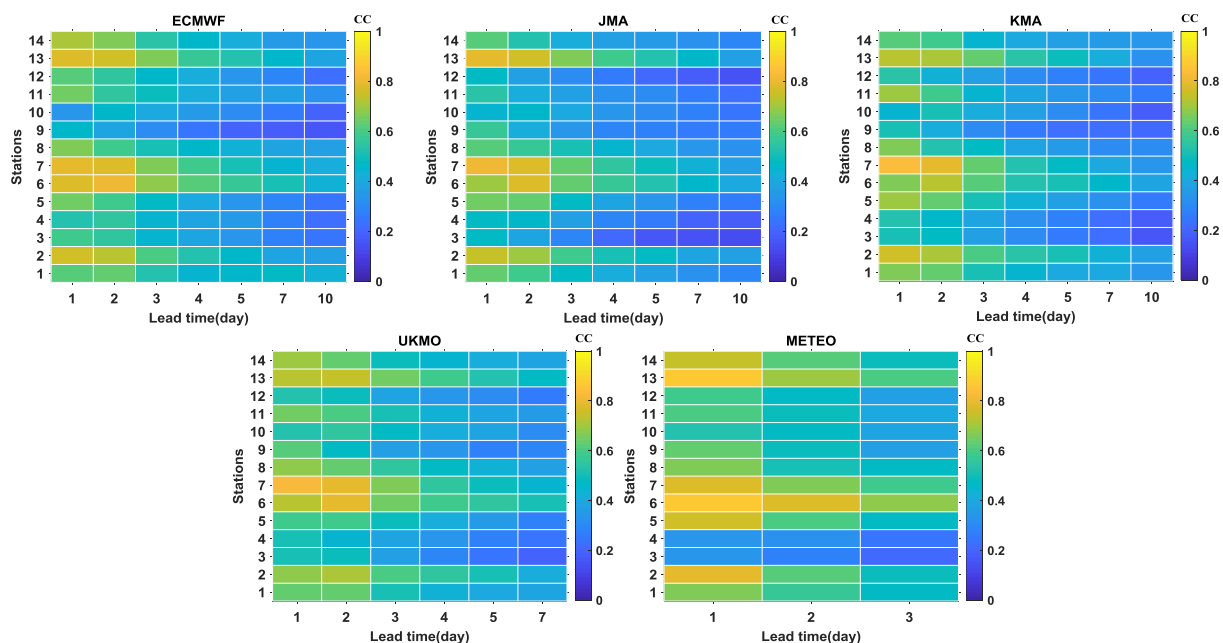


Fig. 2- The CC Matrix of all NWP forecasts at different temporal resolutions in 14 selected stations
 شکل ۲- ماتریس شاخص CC مدل‌های پیش‌بینی‌های بارش در گام‌های زمانی مختلف برای ۱۴ ایستگاه منتخب

در این مناطق تعداد رخداد‌های بارش پیش‌بینی شده توسط مدل‌های عددی به مراتب بیشتر از روزهای بارانی ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی می‌باشد و همین مساله موجب افزایش شاخص مذکور می‌گردد. بر خلاف اقلیم‌های مذکور، در اقلیم‌های مدیترانه‌ای تا خیلی مرطوب نوع B عملکرد عمده مدل‌های عددی در پیش‌بینی روزهای بارانی نسبتاً قابل قبول ارزیابی می‌گردد. این امر یک پدیده شناخته شده در بسیاری از مدل‌های پیش‌بینی عددی آب و هوا بوده و در مطالعات متعددی بیش‌برآوردی بارش‌های سبک (Drizzle) و کم‌برآوردی بارش‌های سنگین توسط سامانه‌های پیش‌بینی گروهی گزارش شده است (Hamil, 2012; Shrestha et al., 2013).

به طور کلی با افزایش گام زمانی عدم هماهنگی بین پیش‌بینی‌ها و مشاهدات افزایش می‌یابد. مدل ECMWF تقریباً در همه اقلیم‌ها و گام‌های زمانی نسبت به سایر مراکز دارای Bias کمتری است به عنوان مثال در گام زمانی ۷ در اقلیم خیلی خشک دارای اریبی ۶/۱۳ و در اقلیم خیلی مرطوب نوع B با مقدار ۲/۳۵ نتایج بهتری ارائه می‌دهد. همانطور که مشاهده میشود مدل METEO تا گام زمانی سه روز و به دنبال آن دو مدل UKMO و KMA در مناطق اقلیمی خشک خطای رطوبتی (Bias) زیادی را نشان داده‌اند. مقدار متوسط اریبی دو مدل UKMO و KMA در گام زمانی ۱۰ و ۷ به ترتیب ۱۰/۵۶ و ۹/۴۵ می‌باشد. این امر ظاهراً به دلیل خطای بیش‌برآورد باران‌های سبک در این نسخه از مدل پیش‌بینی UKMO می‌باشد (Hamill,

2012). رفتار مدل KMA را نیز می‌توان به دلیل ساختار نزدیک و مشابه به مدل UKMO نسبت داد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، عمده مدل‌های عددی در پیش‌بینی روزهای بارانی دارای خطای زیادی می‌باشند و لذا برای استفاده کاربردی از آنها بایستی تصحیحات اریبی روی آنها صورت گیرد. مقادیر ارائه شده در شکل ۶ موید این مطلب است که مقادیر Bias پس از اصلاح اریبی به طور قابل توجهی ارتقا یافتند و در بیشتر گام‌های زمانی ناریبی دیده میشود. هرچند پس از اصلاحات همچنان در اقلیم خشک همه مدل‌ها به جز UKMO و METEO دارای اندکی کم‌برآوردی در پیش‌بینی روزهای بارانی هستند. به طور کلی با توجه به نتایج نزدیک مدل‌ها تمایز آنها و انتخاب مدل برتر دشوار است و میتوان عنوان کرد در بسیاری از موارد، اریبی از بین رفته و به طور متوسط برای مدل‌های مختلف مقدار شاخص Bias بین ۰/۹۴ در اقلیم خیلی خشک تا ۱/۰۲ در اقلیم‌های مرطوب متغیر می‌باشد.

در شکل ۶ نیز مقدار شاخص آماری RBias قبل و پس از حذف اریب در گام‌های زمانی مختلف و برای چهار اقلیم خیلی خشک، نیمه خشک، نیمه مرطوب و مرطوب نوع A نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، تنها در گام زمانی روزانه میزان شاخص مذکور قابل قبول می‌باشد و با افزایش گام زمانی شبیه‌سازی مدل‌های عددی مقدار شاخص RBias تا حد زیادی افزایش می‌یابد.

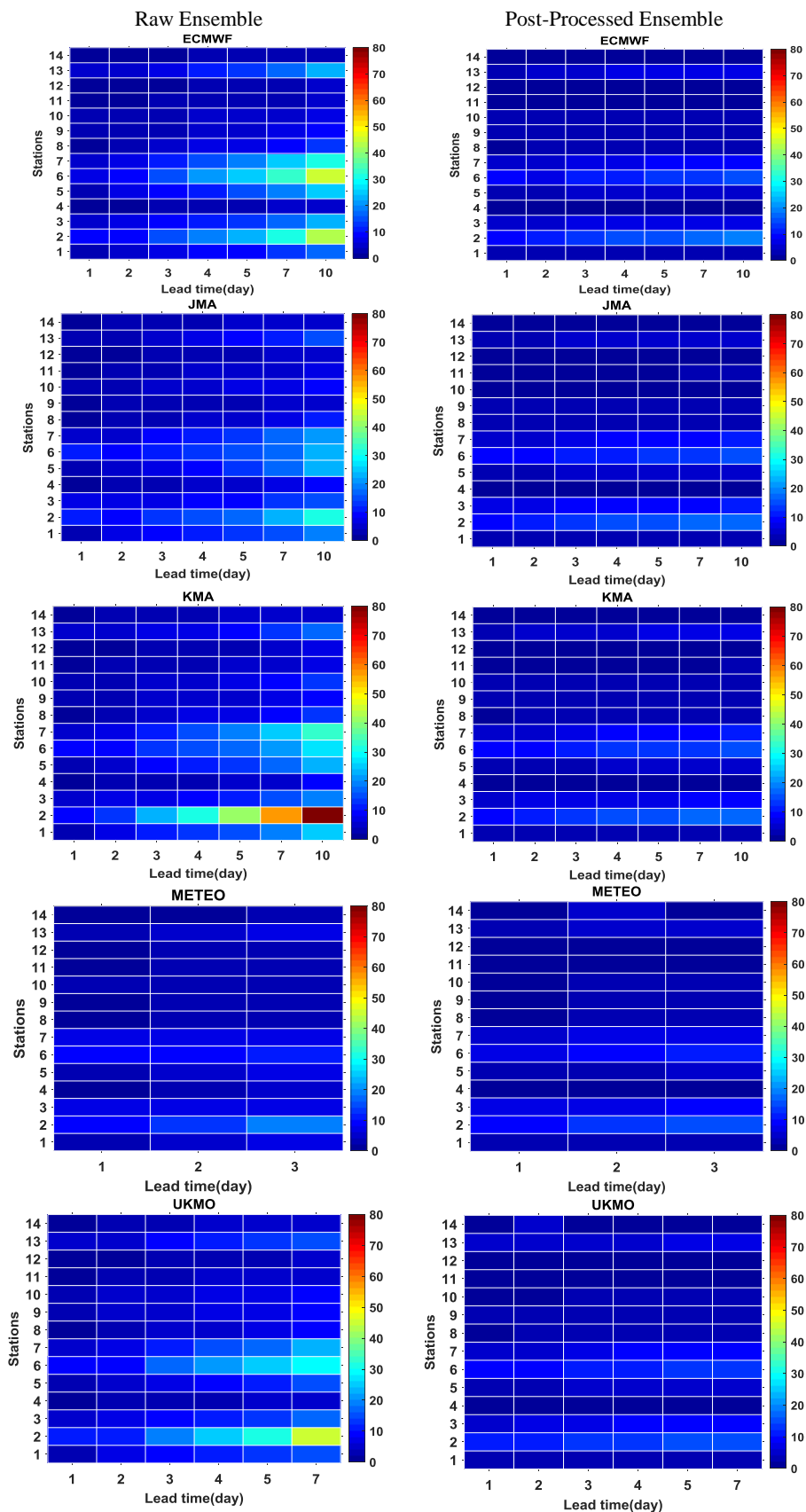


Fig. 3- The RMSE of NWP forecasts at different temporal resolutions before and after bias correction

شکل ۳- تغییرات شاخص RMSE قبل و پس از حذف اریب در ایستگاه‌های منتخب و در گام‌های زمانی مختلف

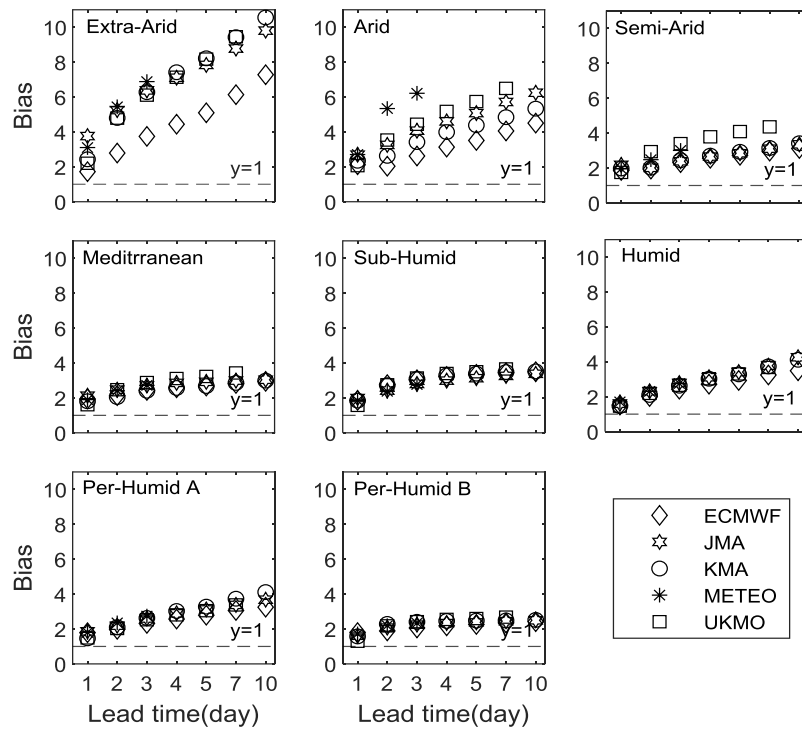


Fig. 4- Variations of Bias metric of all NWP forecasts at different temporal resolutions and climate regions of Iran

شکل ۴- روند تغییرات شاخص جدولی Bias در گام‌های زمانی و در اقلیم‌های مختلف کشور

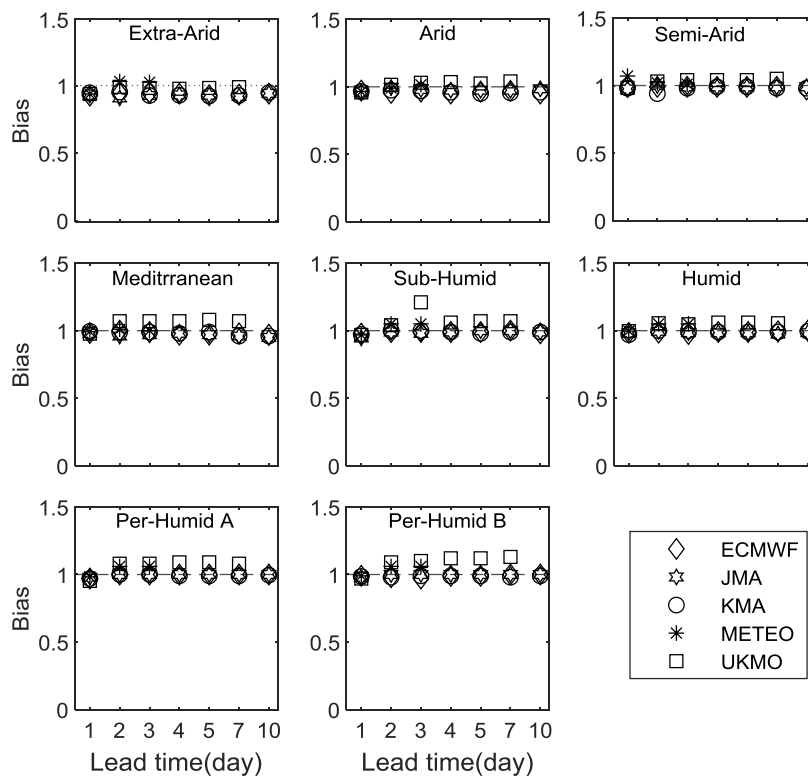


Fig. 5- Variations of Bias metric of all NWP forecasts at different temporal resolutions and climate regions of Iran before and after bias correction

شکل ۵- روند تغییرات شاخص جدولی Bias پس از حذف اریب از داده‌ها در گام‌های زمانی و در اقلیم‌های مختلف کشور

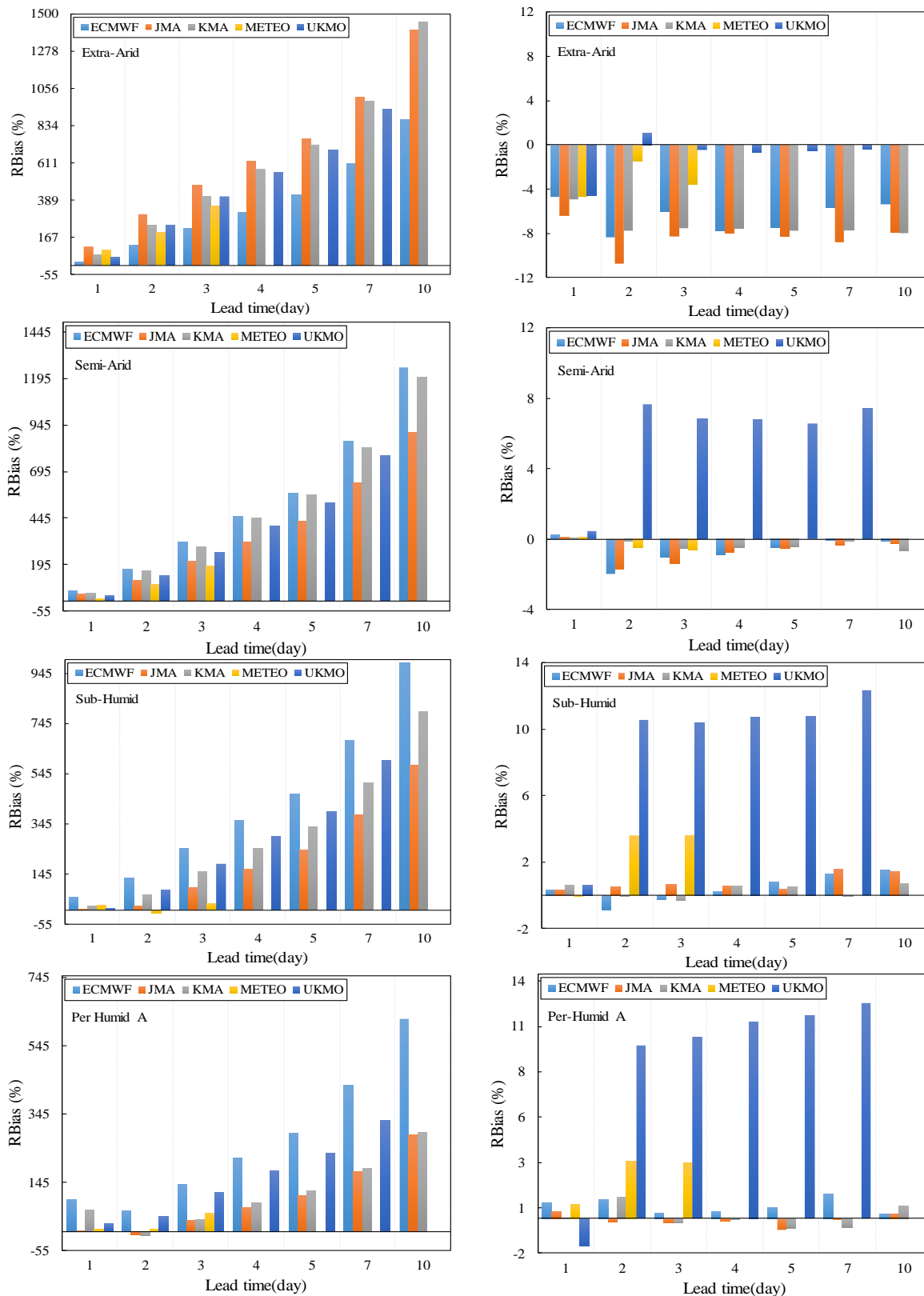


Fig. 6- The RBias metric before and after bias correction for all NWP forecasts in Extra-Arid, Semi-Arid, Semi-Humid and Per Humid A regions

شکل ۶- مقدار شاخص آماری RBias قبل و پس از حذف اریب در گام‌های زمانی مختلف و در اقلیم‌های خیلی خشک، نیمه خشک، نیمه مرطوب و مرطوب نوع A

به ترتیب ۰/۵۷، ۰/۵۱، ۰/۴۲، ۰/۳۶، ۰/۳۱، ۰/۲۸ و ۰/۲۴ می‌باشند. به عبارت دیگر شدت تغییرات شاخصهای جدولی در اقلیم‌های مرطوب به مراتب کمتر از اقلیم‌های خشک و خیلی خشک می‌باشد. علت اصلی این مساله را می‌توان به خصوصیت سامانه‌های پیش‌بینی گروهی مرتبط دانست که بیشتر اعضای آنها تمایل به پیش‌بینی بارش دارند، حتی اگر رویدادی صورت نگرفته باشد. بنابراین تعداد رخداد‌های ثبت شده درست (Hit) به طور تصادفی افزایش می‌یابد. به همین علت است که در اقلیم‌های خشک تعداد رخداد‌های پیش‌بینی شده اشتباه زیاد بوده و مقدار شاخص FAR افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد (Liu et al., 2019). همچنین نتایج حاکی از برتری دو مرکز ECMWF و UKMO در تشخیص صحیح روزهای بارانی نسبت به دیگر مدل‌ها بوده به‌طوری‌که در اقلیم‌های خیلی مرطوب تا گام زمانی ۷ روز بیش از ۶۰ درصد رخداد‌های بارشی به درستی پیش‌بینی شده‌اند.

با حذف اریب از داده‌ها، مقدار بیش‌برآوردی مدل‌های عددی به ویژه مدل‌های ECMWF، JMA و METEO به طور چشم‌گیری کاهش پیدا می‌کند. اصلاح داده‌های بارش پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مزبور موجب می‌گردد که در تمامی گام‌های زمانی مقدار شاخص RBias به کمتر از ۵ درصد محدود گردد. همچنین نتایج نشان داد که در اقلیم خیلی خشک، اعمال فرآیند حذف اریب از داده‌ها کمی منجر به کم‌برآوردی بارش شده است که با توجه به مقدار کم آن (حداکثر ۱۰ درصد) قابل اغماض می‌باشد. اگرچه حذف اریب از داده‌های خام پیش‌بینی شده میزان خطای آنها را در تخمین مقدار بارش تا حد زیادی کاهش داده است، اما بررسی مدل‌های مختلف نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط مدل UKMO همچنان دارای مقداری بیش‌برآوردی می‌باشد. مقدار شاخص RBias برای مدل مزبور حداکثر به ۱۲ درصد محدود می‌گردد.

در نهایت کیفیت پیش‌بینی‌ها با استفاده از دو شاخص CSI و مقدار اصلاح شده آن یعنی شاخص ETS مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۸). مقادیر شاخص CSI در سه اقلیم خیلی خشک تا نیمه خشک تقریباً مشابه بوده و با افزایش گام زمانی کاهش یافته است. بررسی عملکرد شاخص‌های مذکور حاکی از تشخیص درست رخداد‌های بارش توسط مدل‌های پیش‌بینی عددی و تعداد کم رخداد‌های تصادفی ثبت شده می‌باشد.

بررسی شاخص‌های جدولی POD و FAR نیز حاکی از بهبود عملکرد مدل‌های پیش‌بینی در تمامی گام‌های زمانی پس از حذف اریبی دارد (شکل ۷). نتایج نشان‌دهنده این مطلب است که در اثر افزایش گام زمانی، مقادیر شاخص FAR و POD به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابند. به عنوان مثال در اقلیم خیلی مرطوب نوع B متوسط POD ۵ مدل در گام زمانی ۱ تا ۱۰ روزه به ترتیب ۰/۷۸، ۰/۷۷، ۰/۷۱، ۰/۶۶، ۰/۶۲، ۰/۶ و ۰/۵۵ بوده در حالی که در اقلیم خیلی خشک مقادیر مذکور

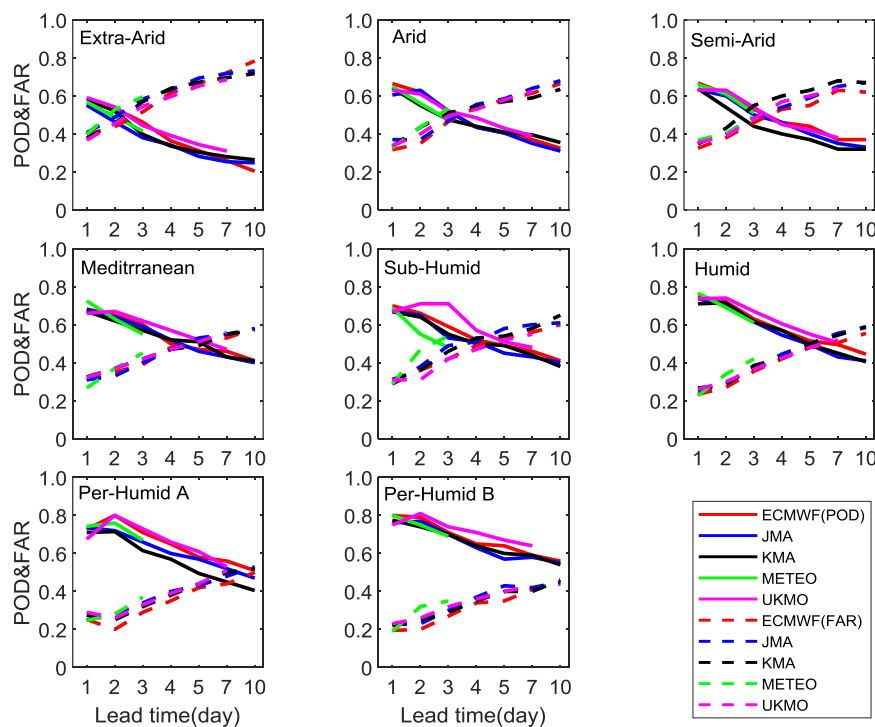


Fig. 7- POD and FAR metrics of all NWP forecasts at different temporal resolutions
شکل ۷- شاخص‌های جدولی POD و FAR مراکز پیش‌بینی عددی در گام‌های زمانی مختلف

۴- بحث و جمع‌بندی

در این مطالعه عملکرد پیش‌بینی‌های بارش پنج مدل عددی موجود در پایگاه TIGGE به نام ECMWF, JMA, KMA, METEO و UKMO در پیش‌بینی بارش روزانه ایران طی بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ و در اقلیم‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در گام نخست، خروجی خام مدل‌های عددی با گام زمانی پیش‌بینی یک تا ۱۰ روزه توسط شاخص‌های آماری ارزیابی شدند. در پژوهش حاضر شاخص همبستگی بالا نشانگر برتری دو مدل ECMWF و UKMO در اکثر مناطق کشور و طی گام‌های زمانی ۲ تا ۱۰ روزه می‌باشد. همچنین بیشترین همبستگی بین داده‌های زمینی و داده‌ها پیش‌بینی شده در مناطق شمالی و غربی کشور که دارای اقلیم‌های مرطوب و خیلی

همچنین یافته‌ها نشانگر برتری دو مدل ECMWF و UKMO و همچنین مدل KMA در گام زمانی بیشتر از ۵ روزه در این اقلیم‌ها می‌باشد. در اقلیم‌های مدیترانه‌ای تا خیلی مرطوب نوع B همانطور که پیشتر در شاخص POD ذکر شد، نسبت پیش‌بینی‌های صحیح نسبت به کل پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط مدل‌های عددی افزایش می‌یابد. بنابر به ساختار مدل‌های عددی هواشناسی و وجود پارامتر Hit تصادفی که تعدادی از رخدادها به صورت احتمالی درست ثبت شده است، اختلاف دو شاخص CSI و ETS در این مناطق افزایش یافته است. به طوری که در اقلیم خیلی مرطوب نوع B در گام زمانی ۱ و ۱۰ روزه به ترتیب حدود ۲۵ و ۵۳ درصد رخدادهای ثبت شده به صورت تصادفی محاسبه شده است.

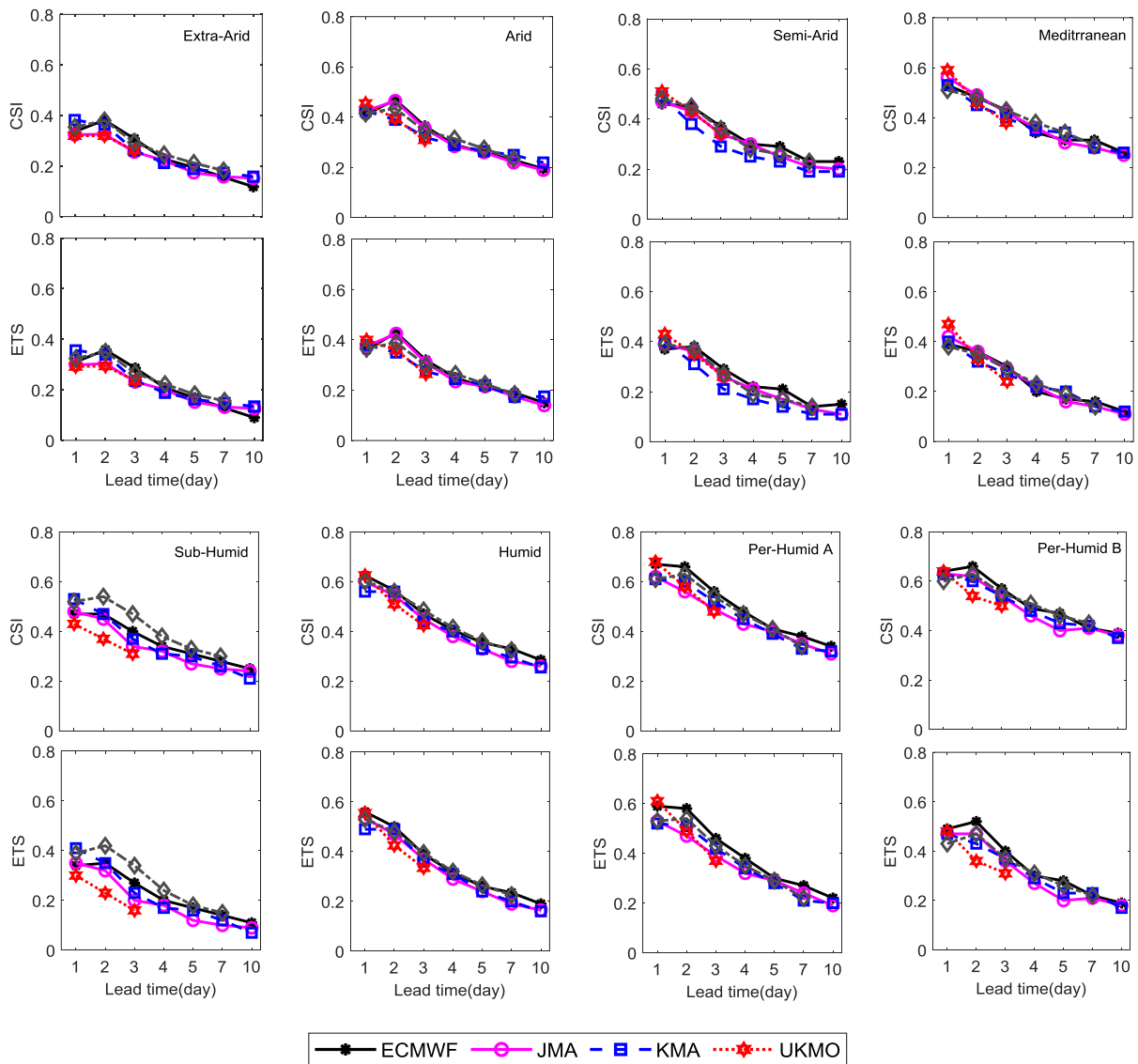


Fig. 8- CSI and ETS metrics of all NWP forecasts at different temporal resolutions
 شکل ۸- روند تغییرات شاخص‌های CSI و ETS مدل‌های پیش‌بینی عددی در گام‌های زمانی متفاوت

۵- مراجع

- Aminyavari S, Saghafian B, and Delavar M (2018) Evaluation of TIGGE ensemble forecasts of precipitation in distinct climate regions in Iran. *Advances in Atmospheric Sciences* 35(4):457-468
- Buizza R, Houtekamer P L, Toth Z, Pellerin G, Wei M, Zhu Y (2005) A comparison of the ECMWF, MSC, and NCEP global ensemble prediction systems. *Monthly Weather Review* 133(5):1076
- Cai C, Wang J, Li Z (2018) Improving TIGGE precipitation forecasts using an SVR ensemble approach in the Huaihe River Basin. *Advance in Meteorology* 2018:1-15
- Casati B, Wilson L, Stephenson D, Nurmi P, Ghelli A, Pocerich M, Damrath U, Ebert E, Browne B, Mason S (2008) Forecast verification: Current status and future directions. *Meteorological Application* 15(1):3-18
- Cloke H.L, Pappenberger F (2009) Ensemble flood forecasting: A review. *Journal of Hydrology* 37(4):613-626
- Domroes M, Kaviani M, Schaefer D (1998) An analysis of regional and intra-annual precipitation variability over Iran using multivariate statistical methods. *Theoretical and Applied Climatology* (61):151-159
- Duan M, Ma J, Wang P (2012) Preliminary comparison of the CMA, ECMWF, NCEP, and JMA ensemble prediction systems. *Acta Meteorologica Sinica* 26(1):26-40
- Ebert E E, Manton M J, Arkin P A, Allam R J, Holpin C E and Gruber A (1996) Results from the GPCP Algorithm Intercomparison Programme. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77(12):2875-2887
- Gupta R, Bhattarai R, and Mishra A (2019) Development of Climate Data Bias Corrector (CDBC) tool and its application over the agro-ecological zones of India. *Journal of Water* 11(5):1102
- Hamill T M (2012) Verification of TIGGE multimodel and ECMWF reforecast-calibrated probabilistic precipitation forecasts over the contiguous United States. *Monthly Weather Review* 140(7):2232-2252
- Jabbari A, Bae D H (2020) Improving ensemble forecasting using total least squares and lead-time dependent bias correction. *Journal of Atmosphere* 11(3):300
- Javanmard M, Delavar M, and Morid S (2016) Evaluation and uncertainty analysis of the results of the global weather forecast models to apply in flood warning systems (Case study: Karoon River basin, مرطوب هستند، بدست آمد. (2018) Aminyavari et al. نیز نشان دادند مدل ECMWF و سپس UKMO در بیشتر مناطق کشور عملکرد مناسبی داشته‌اند. همچنین Javanmard Ghassab et al. (2018) در حوضه کارون با ارزیابی اولیه، نقطه‌ای و منطقه‌ای مدل‌ها برتری ECMWF رو تا گام‌های زمانی ۱۰ روزه نشان دادند که به طور کلی با نتایج بدست آمده در این پژوهش همسو می‌باشد. ارزیابی مقادیر شاخص RMSE و Bias پیش‌بینی‌های خام صورت گرفته توسط مدل‌های عددی هواشناسی، بیانگر افزایش میزان خطای مدل‌های مذکور با افزایش گام زمانی محاسبات می‌باشد. مقدار خطای متوسط پیش‌بینی‌های گروهی تمامی مدل‌های عددی در مناطق خشک بسیار کوچک و مشابه بهم می‌باشد که این نتیجه‌گیری با تحقیقات صورت گرفته توسط Hamill (2012) نیز همخوانی دارد. علاوه بر این، اروگرافی و اثرات محلی می‌توانند بر دقت پیش‌بینی‌ها تأثیرگذار باشند و لذا این موضوعات باید با بهبود الگوریتم‌های به کار رفته در مدل‌های عددی آب و هوا مورد بررسی قرار گیرند (Wang et al., 2016). از لحاظ پیش‌بینی صحیح رخدادهای بارشی نیز عمده مدل‌های عددی آب و هوا در اقلیم‌های مرطوب نسبت به اقلیم‌های خشک از عملکرد به مراتب بهتری برخوردار هستند. علت اصلی این امر تمایل ذاتی مدل‌های پیش‌بینی عددی به تخمین بارش (هرچند ناچیز) می‌باشد و همین مساله موجب می‌شود بیشتر مدل‌های عددی در اقلیم‌های خشک از نظر شاخص جدولی FAR دارای وضعیت مناسبی نباشند. با حذف ارباب از داده‌ها عملکرد بیشتر مدل‌های عددی به ویژه دو مدل ECMWF و UKMO در پیش‌بینی صحیح روزهای بارانی در تمامی گام‌های زمانی افزایش چشم‌گیری را نشان می‌دهد. به طور کلی نتایج بیانگر کارآمد بودن روش اصلاح اربابی به خصوص در گام زمانی بیشتر از ۵ روزه و برتری مدل METEO در گام زمانی روزانه و دو مدل ECMWF و UKMO در پیش‌بینی‌های میان مدت در سطح کشور می‌باشد. اگرچه با توجه به حساسیت ساختار مدل‌ها به شرایط توپوگرافی و خصوصیات فیزیکی منطقه بررسی دقیق هر یک از مدل‌ها در محدوده مطالعاتی پیش از استفاده در مطالعاتی همچون پیش‌بینی و هشدار سیل، امری ضروری می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

- 1- THORPEX Interactive Grand Global Ensemble
- 2- The Observing system Research and Predictability Experiment
- 3- <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/tigge>
- 4- Probabilistic Forecasts
- 5- Deterministic Forecasts
- 6- Quantile Mapping

- precipitation forecasts for short-term streamflow forecasting purpose. *Hydrologic Earth System Sciences* 17:1913–1931
- Saedi A, Saghafian B, Moazami S (2020) Uncertainty of flood forecasts via ensemble precipitation forecasts of seven NWP Models for Spring 2019 Golestan Flood. *Iran-Water Resources Research* 16(1):347-359 (In Persian)
- Kolacian R, Saghafian B, Moazami S (2021) Evaluation of post-processing and bias correction of monthly precipitation and temperature forecasts in Karun Basin. *Iran-Water Resources Research* (In Persian) (In Press)
- Toth Z, Kalnay E (1997) Ensemble forecasting at NCEP and the breeding method. *Monthly Weather Review* 125(12):3297–3319
- Wang J, Wang H J, Hong Y (2016) Comparison of satellite-estimated and model-forecasted rainfall data during a deadly debris-flow event in Zhouqu, Northwest China. *Atmospheric and Oceanic Science Letters* 9(2):139–145
- Wilks D S (1995) Statistical methods in the atmospheric sciences: An introduction. *International Geophysics Series* 59
- Shayeghi A, Azizian A, and Brocca L (2020) Reliability of reanalysis and remotely sensed precipitation products for hydrological simulation over the SefidRood River Basin, Iran. *Hydrological Sciences Journal* 65(2):296-310
- Brocca L, Filippucci P, Hahn S, Ciabatta L, Massari C, Camici S, Schüller L, Bojkov B, Wagner W (2019) SM2RAIN-ASCAT (2007-2018): Global daily satellite rainfall data from ASCAT soil moisture observations. *Earth System Science Data* 11:1583–1601
- Brocca L, Ciabatta L, Massari C, Moramarco T, Hahn S, Hasenauer S, Kidd R, Dorigo W, Wagner W, Levizzani V (2014) Soil as a natural rain gauge: Estimating global rainfall from satellite soil moisture data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 119:5128–5141
- Iran). *Iran-Water Resources Research* 14(3):1-14 (In Persian)
- Katiraie Boroujerdy P, Naeini R M, Asanjan A A, Chavoshian A, Hsu K, Sorooshian S (2020) Bias correction of satellite-based precipitation estimations using quantile mapping approach in different climate regions of Iran. *Remot Sensing* 12(13):2102
- Kay J K, kim H M (2014) Characteristics of initial perturbations in the ensemble prediction system of the Korea Meteorological Administration. *American Meteorological Society* 29(3):563-581
- Liu L, Gao C, Zhu Q, Xu Y (2019) Evaluation of TIGGE daily accumulated precipitation forecasts over the Qu River Basin, China. *Journal of Meteorological Research* 33(4):747-764
- Louvet S, Sultan B, Kamsu-Tamo P H, Ndiaye O (2016) Evaluation of TIGGE precipitation forecasts over West Africa at intraseasonal timescale. *Climate Dynamics* 47:31-47
- Rahimi J, Ebrahimpour M, and Khalili A (2013) Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 112(3-4):409-418
- Raziei T, Mofidi A, Santos JA, Bordi I (2012) Spatial patterns and regimes of daily precipitation in Iran in relation to large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology* 32(8):1226–1237
- Saedi A, Saghafian B, Moazami S, Aminyavari S (2019) Performance evaluation of sub-daily ensemble precipitation forecasts. *Meteorological Application* 27(1):1872
- Shapiro M, Thorpe A (2004) THORPEX international science plan. 2:51
- Su X, Yuan H L, Zhu Y J, Luo Y, and Wang Y (2014) Evaluation of TIGGE ensemble predictions of Northern Hemisphere summer precipitation during 2008–2012. *Journal of Geophysical Research* 119(12):7292–7310
- Shrestha D L, Robertson D E, Wang Q J (2013) Evaluation of numerical weather prediction model