

Spatiotemporal Assessment of Reanalysis and  
Remotely-Sensed Precipitation Datasetsپایش زمانی و مکانی داده‌های بازتحلیل شده ECMWF  
و منابع بارشی مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور  
TRMM و PERSIANA. Azizian<sup>1\*</sup> and H. Ramezani Etedali<sup>2</sup>اصغر عزیزیان<sup>۱\*</sup> و هادی رضانی اعتدالی<sup>۲</sup>

## Abstract

Among the meteorological components precipitation is one of the complicated issues in hydrological process, due to its considerable changes over time and space. By increasing application of satellite-based technologies over the past decades, it is now easy to access high resolution precipitation products in most parts of the world. This research addressed the accuracy of European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) reanalysis datasets for estimation of daily and monthly precipitation over the SefidRood catchment. Moreover, in order to better evaluating the performance of ECMWF dataset, the PERSIAN and TRMM datasets are also used. Findings on the daily time scale showed that the correlation coefficient between ground observation and ECMWF, PERSIAN and TRMM products was respectively about 0.8, 0.47 and 0.32 and this proved the superiority of ECMWF for estimation of rainfall in daily time scale. On monthly time scale both ECMWF and PERSIAN products correlated very well with gauge measurements (CC statistic is more than 0.9) but TRMM with the CC equal to 0.57 correlated moderately with observations. According to the categorical verification statistics for SefidRood catchment, ECMWF yields better results compared with other satellite data sets, for detection of precipitation events on the basis of Probability of Detection (POD), Critical Success Index (CSI) and False Alarm Ratio (FAR). Therefore, in ungauged catchments or for hydrological modeling which requires an accurate precipitation dataset, using ECMWF dataset is suggested.

**Keywords:** Precipitation, SefidRood Catchment, Reanalysis Datasets, Remote Sensing and Rainy Days.

Received: July 11, 2018

Accepted: October 19, 2018

## چکیده

از میان مؤلفه‌های اقلیمی، بارش به علت دارا بودن تغییرات مکانی و زمانی قابل توجه، یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌ها در چرخه هیدرولوژیکی بشمار می‌آید. با توسعه روزافزون تکنولوژی‌های ماهواره‌ای در دهه‌های اخیر، امکان دسترسی به منابع بارشی با توان تفکیک مکانی و زمانی بالا برای بسیاری از نقاط جهان فراهم شده است. در پژوهش حاضر به ارزیابی عملکرد زمانی و مکانی یکی از مهم‌ترین منابع بارشی مدل مینا به نام ECMWF در گام‌های زمانی روزانه و ماهانه در سطح حوضه آبریز سفیدرود پرداخته شده است. همچنین در این پژوهش از منابع بارشی پرکاربرد مانند PERSIAN و TRMM نیز برای بررسی کارایی منبع ECMWF استفاده بعمل آمد. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد منبع ECMWF در سطح حوضه آبریز سفیدرود و در مقیاس روزانه حاکی از آن است که این منبع با دارا بودن ضریب همبستگی بالای ۰/۸ با ایستگاه‌های زمینی، دارای بهترین عملکرد بوده و این در حالی است که دو منبع PERSIAN و TRMM به ترتیب دارای ضریب همبستگی ۰/۴۷ و ۰/۳۲ می‌باشند. بر خلاف گام زمانی روزانه، در گام زمانی ماهانه عملکرد دو منبع ECMWF و PERSIAN تقریباً مشابه بوده و هر دو دارای ضریب همبستگی بالای ۰/۹ هستند. همچنین از نظر آماره‌های طبقه‌بندی منبع ECMWF در هر دو گام زمانی روزانه و ماهانه با دارا بودن کمترین شاخص FAR (گزارش‌های اشتباه)، بالاترین شاخص Accuracy (صحت پیش‌بینی‌های درست) و نیز بالاترین رتبه در تشخیص روزهای بارانی (POD) دارای عملکرد به مراتب بهتری نسبت به دیگر منابع بارشی می‌باشد و لذا توصیه می‌شود در حوضه‌های فاقد آمار و یا در مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی که نیازمند داده‌های بارشی صحیحی هستند از این منبع اطلاعاتی ارزشمند استفاده بعمل آید.

**کلمات کلیدی:** بارش، حوضه سفیدرود، داده‌های باز تحلیل شده، سنجش از دور و روزهای بارانی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۴/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۷/۲۷

1- Assistant Prof., Water Resources Engineering, Imam Khomeini International University, Ghazvin.

2- Assistant Prof., Water Resources Engineering, Imam Khomeini International University, Ghazvin.

\*- Corresponding Author

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

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

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

رسیدند که عملکرد محصول TRMM-3B42 V6 در تخمین بارش در فصول پر بارش نسبت به فصول دیگر بسیار بهتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که تفاوت بین داده‌های بارشی این محصول و داده‌های زمینی در مقیاس روزانه برای مناطق غربی چین بین ۲۰ تا ۵۰ درصد متغیر می‌باشد. (De Leeuw et al., 2015) به ارزیابی داده‌های بارش بازتحلیل شده ECMWF<sup>۳</sup> در سطح ولز و انگلستان پرداختند و نتایج بدست آمده را با داده‌های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بدست آمده حاکی از کم‌برآوردی بارش توسط این منبع به میزان ۲۲ درصد داشت و میزان همبستگی بین داده‌های ECMWF و داده‌های مشاهداتی در مقیاس روزانه ۰/۹۱ بود. همچنین در بحث بارش‌های حدی نیز تفاوت چندان زیادی بین منبع بارشی ECMWF و داده‌های زمینی مشاهده نگردید. (Tan et al., 2015) نیز با ارزیابی داده‌های بارشی چهار منبع TRMM، GPCP، PERSIANN، CMORPH و APHRODITE<sup>۵</sup> در مقیاس‌های مختلف (روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه) در سطح کشور مالزی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که داده‌های GPCP کمترین هماهنگی (بیشترین انحراف) و داده‌های TRMM-3B42 RT و APHRODITE بیشترین هماهنگی را با ایستگاه‌های زمینی دارا می‌باشند. (Dembele and Zwart (2016) به بررسی هفت منبع بارشی PERSIANN، CHIRPS، ARC2، RFE2، TAMSAT، TARCAT<sup>۱۰</sup> و TRMM در مقیاس‌های زمانی مختلف در کشور بوركینافاسو<sup>۱۲</sup> پرداختند. نتایج نشان داد که تمام منابع مذکور از توانایی لازم برای تشخیص زمان وقوع بارش برخوردار هستند ولی در برآورد مقدار بارش عملکرد مناسبی ندارند. همچنین نتایج نشان داد که برای پایش خشکسالی منابع ARC، TARCAT و RFE و برای پیش‌بینی سیلاب PERSIANN، TRMM و CHIRPS مناسب‌ترین منابع بارشی می‌باشند. در پژوهشی جامع‌تر (Duan et al., 2016) بر روی حوضه ادجیه<sup>۱۳</sup> واقع در ایتالیا ۸ منبع بارشی مختلف متشکل از سه نسخه مربوط به CMORPH و PERSIANN-CDR<sup>۱۴</sup>، PGF<sup>۱۵</sup>، CHIRPS و GSMaP\_MVK<sup>۱۶</sup> و TRMM-3B42 V7 را در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که سه منبع بارشی TRMM، CHIRPS و CMORPH\_BLD عملکرد به مراتب بهتری نسبت به سایر منابع برخوردار می‌باشند. (Ashouri et al., 2016) نیز با ارزیابی منابع بارشی PERSIANN-CDR، TRMM، PERSIANN و داده‌های تلفیقی رادار-باران‌سنج، به این نتیجه رسیدند که منابع بارشی TRMM و PERSIANN-CDR عملکرد بهتری نسبت به دیگر منابع در برآورد بارش دارند و نیز منبع بارشی PERSIANN-CDR نسبت به دیگر منابع، از توانایی بهتری برای شبیه‌سازی رواناب، برخوردار است.

در مطالعه پدیده‌های جوی، بارش از مهم‌ترین عناصر اقلیمی است که با توجه به دارا بودن تغییرات مکانی و زمانی زیاد تبدیل به یکی از مباحث بحث برانگیز در مدل‌های جوی و مدل‌های هیدرولوژیکی سطح زمین شده است (Dezfuli et al., 2016; Sahlul et al., 2017). در حال حاضر بخش‌های عمده‌ای از جهان، با چالش عدم دسترسی به اطلاعات زمینی (ایستگاه‌های بارانسنجی) قابل اعتماد، روبرو هستند (Hargreaves and Samani, 1985; Hughes et al., 2006; Sue et al., 2008; Worqlul et al., 2017). گسترش روزافزون فناوری‌های ماهواره‌ای در سالهای اخیر موجب توسعه پایگاه‌های بارشی با توان تفکیک مکانی و زمانی مختلف شده است. این محصولات عمدتاً به صورت شبکه‌بندی شده هستند و اگرچه برخلاف ایستگاه‌های بارانسنجی زمینی، دارای مشکل عدم پیوستگی مکانی و زمانی نمی‌باشند ولی به دلیل عدم قطعیت‌هایی که در تخمین بارش دارند (Greene and Morrissey, 2000; Steiner et al., 2003; Hong et al., 2006; AghaKouchak et al., 2009)، بایستی قبل از استفاده مورد ارزیابی و تصحیح قرار گیرند. لذا برای تمامی مطالعات منابع آب و مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی استفاده از این پایگاه‌های داده نیازمند یک سری بررسی‌های اولیه می‌باشد. ارزیابی پایگاه داده‌های بارش در مناطق مختلف به دو شکل مستقیم و غیر مستقیم انجام می‌پذیرد. در ارزیابی به صورت مستقیم، میزان بارش برآوردی پایگاه‌های داده و بارش مشاهداتی ایستگاه‌های بارانسنجی زمینی، با توجه به معیارهای ارزیابی که متشکل از آزمون‌های آماری پارامتری و غیرپارامتری است، مقایسه می‌شوند. در روش غیرمستقیم نیز ابتدا یک مدل هیدرولوژیکی انتخاب شده و با اجرای مدل به ازای بارش‌های ورودی مختلف خروجی آن (مانند: سری زمانی جریان، رطوبت خاک، تبخیر و تعرق و غیره) بر اساس معیارهای ارزیابی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در این حالت پایگاه داده‌ای مناسب است که منجر به شبیه‌سازی هرچه بهتر خروجی موردنظر گردد (AghaKouchak et al., 2009; Tong et al., 2014). تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه ارزیابی کارایی پایگاه‌های بارشی صورت گرفته است. به عنوان مثال، Li et al. (2013) با استفاده از شاخص‌های آماری، دقت داده‌های روزانه، ماهانه و سالانه بارش بدست آمده از سه منبع بارشی TRMM، PERSIANN و CMORPH را در حوضه آبریز رودخانه یانگ‌تسه طی دوره زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ ارزیابی نمودند. نتایج بررسی آنها نشان داد که داده‌های TRMM مقدار بارش حوضه را بیشتر از مقدار واقعی و داده‌های PERSIANN و CMORPH مقدار بارش حوضه را کمتر از مقدار بارش مشاهداتی برآورد می‌کنند. (Zhao and Yatagai (2014) با ارزیابی محصول بارشی

در کشور ایران نیز مطالعات متعددی در این زمینه انجام پذیرفته است که بیشتر آنها بر روی منابع بارشی همچون TRMM و PERSIAN و در مقیاس‌های ماهانه و فصلی معطوف بوده و کمتر به منابع بارشی دیگر پرداخته شده است. به عنوان مثال، (Javanmard et al. 2010) به ارزیابی عملکرد منبع بارشی TRMM-3B43 نسبت به داده‌های بارشی به دست آمده از ایستگاه‌های سینوپتیک کشور پرداختند در دو گام زمانی فصلی و سالانه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در مقیاس سالانه منبع بارشی TRMM در عمده مناطق کشور، مقدار بارش را کمتر از مقادیر زمینی برآورد می‌نماید. Katiraie-Boroujerdy (2013) نیز با ارزیابی منبع بارشی PERSIAN در مقیاس ماهانه در سطح کشور به این نتیجه رسید که منبع PERSIAN الگوی تغییرات مکانی بارش را به خوبی شناسایی می‌نماید ولی مقدار آن را در اغلب نقاط ایران کم برآورد می‌کند. Ghajarnia et al. (2015)، اطلاعات منابع بارشی PERSIAN، APHRODITE، TRMM و CMORPH را در گام‌های زمانی مختلف و در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد که منبع بارشی PERSIAN در مقایسه با منابع بارشی CMORPH و TRMM حتی نسخه اصلاح شده CMORPH عملکرد بهتری داشته است. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که بهترین منبع موجود برای برآورد زمان واقعی رخداد بارش، منبع PERSIAN می‌باشد. (Moazami et al. 2016) نیز با ارزیابی چهار پایگاه بارشی TRMM-3B42 RT، PERSIAN، TRMM-3B42 V7 و CMORPH در مقیاس زمانی ماهانه به این نتیجه رسیدند که منبع بارشی TRMM-3B42 RT نسبت به دیگر منابع، دارای عملکرد بهتری در تخمین بارش می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، عمده پژوهش‌های صورت گرفته در سطح کشور غالباً بر روی منابع بارشی TRMM و PERSIAN معطوف بوده و عمده آنها نیز تنها در یک مقیاس زمانی مشخص به انجام رسیده است. همچنین بررسی‌ها حاکی از آن است که منبع بارشی بازتحلیل شده ECMWF که از توان تفکیک زمانی و مکانی بالاتری برخوردار می‌باشد، کمتر استفاده شده است. لذا هدف اصلی پژوهش حاضر ارزیابی برتری داده‌های بازتحلیل شده ECMWF نسبت به منابع بارشی مبتنی بر سنجش از دور TRMM و PERSIAN در گام‌های زمانی مختلف (روزانه و ماهانه) بر روی حوضه آبریز سفیدرود می‌باشد.

## ۲-۲- ساخت لایه شبکه‌بندی شده بارش با استفاده از ایستگاه‌های زمینی

برای اینکه بهتر بتوان عملکرد منابع بارشی را با داده‌های مشاهداتی زمینی مورد ارزیابی قرار داد بایستی داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی نیز به فرمت شبکه‌بندی شده (Gridded) تبدیل شوند. علی‌رغم وجود روابط درونی یابی مختلف، در پژوهش حاضر از روش معکوس مجذور فاصله (IDW) برای این امر استفاده بعمل آمد. نقشه شبکه‌بندی شده بارش در دو گام زمانی روزانه و ماهانه برای بازه مطالعاتی استخراج و در تحلیل‌های مکانی مورد استفاده قرار گرفت.

## ۲-۳- منابع بارشی مبتنی بر سنجش از دور

### ۲-۳-۱- پایگاه اطلاعاتی TRMM

TRMM اولین ماهواره‌ای بود که با هدف اندازه‌گیری بارش راه‌اندازی و به فضا پرتاب شد. این ماهواره محصول یک پروژه تحقیقاتی مشترک بین سازمان ناسا از ایالات متحده آمریکا و آژانس ملی توسعه فضایی ژاپن می‌باشد. TRMM در مرکز پرواز فضایی Goddard در ناسا ساخته و بطور موفقیت‌آمیزی در ۲۷ نوامبر ۱۹۹۷ از ژاپن به فضا پرتاب شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز سفیدرود در محل تلاقی رشته کوه‌های البرز، زاگرس و مرکزی بین مختصات جغرافیایی  $30^{\circ} 46'$  -  $13^{\circ} 51'$  طول شرقی و

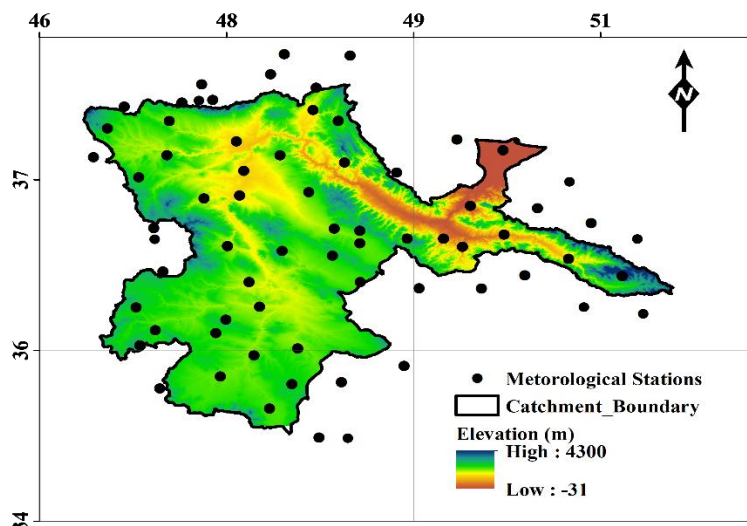


Fig. 1- The geographic location of SefidRood catchment and the distribution of meteorological stations  
 شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز سفیدرود و نحوه توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی

روزانه در دسترس می‌باشد.

۲-۳-۳- داده‌های بازتحلیل شده پایگاه اطلاعاتی ECMWF  
 از دیگر منابع مهم برآورد بارش می‌توان به داده‌های بازتحلیل شده (Reanalysis) و یا تحلیل مجدد Era-Interim پایگاه اطلاعاتی ECMWF اشاره کرد. پایگاه اطلاعاتی ECMWF یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های داده بازتحلیل شده در جهان می‌باشد که مورد توجه بسیاری از محققین قرار دارد (Dee et al., 2011). طبق تحقیقات گسترده‌ای که در این زمینه انجام شده، میزان خطای این منبع اطلاعاتی در مقایسه با داده‌های زمینی در بسیاری از نقاط جهان اندک و قابل چشم‌پوشی است و به همین علت می‌توان از آنها در کنار داده‌های زمینی و حتی در حکم جایگزینی برای داده‌های زمینی در مناطق بدون ایستگاه استفاده نمود (Moreau et al., 2003; Kidd et al., 2013; Raziei and Sotodeh, 2017). داده‌های باز تحلیل شده از ترکیب نتایج پیش‌بینی‌های کوتاه مدت مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا با داده‌های مشاهداتی زمینی بدست می‌آید. پیش‌بینی‌های مدل عددی که حدس اولیه نامیده می‌شود بر اساس داده‌های ورودی مدل و رابط ریاضی تعریف شده برای مدل بدست می‌آید (Dee et al., 2011; Balsamo et al., 2015). از آنجائی که پیش‌بینی‌های مدل‌های عددی مذکور همواره با عدم قطعیت‌هایی همراه است، این پیش‌بینی اولیه با داده‌های مشاهده‌ای زمینی که به مرکز پیش‌بینی می‌رسد کنترل می‌شود. به عبارت بهتر با اینکار مدل بهینه شده تا پیش‌بینی‌های آن خطای کمتری داشته باشد. داده‌های پایگاه اطلاعاتی ECMWF بطور کاربردی از سال ۱۹۷۹ با پوشش سراسری از ۶۰ درجه شمالی تا ۶۰ درجه جنوبی، تفکیک مکانی ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵،

TRMM برای تخمین بارش حاره‌ای توسط سنجنده‌های فضایی و استفاده از مجموعه‌ای از الگوریتم‌های بازبازی، مقدار بارش را تخمین می‌زند. تخمین‌های بارش TRMM به دو صورت (۱) تخمین بارش در نزدیکترین زمان واقعی که TRMM-3B42 RT نامیده می‌شود و (۲) تخمین بارش بعد از زمان واقعی که خطای آنها تا حدی تصحیح شده است و TRMM-3B42 V7 نام دارد، در دسترس می‌باشند. دقت زمانی و مکانی تخمین بارش محصولات TRMM به ترتیب روزانه و ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه می‌باشند. همچنین محصولات این منبع بارشی در حال حاضر با پوشش سراسری از ۶۰ درجه شمالی تا ۶۰ درجه جنوبی از سال ۲۰۰۰ تاکنون در دسترس همگان قرار دارد.

### ۲-۳-۲- پایگاه اطلاعاتی PERSIANN

در این پایگاه بارشی ارزشمند از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی و تصاویر بازتابش شده مادون قرمز توسط ماهواره‌های زمین مرجع برای تخمین میزان بارندگی استفاده می‌شود. الگوریتم PERSIANN ابتدا براساس تصاویر مادون قرمز از ماهواره‌های زمین مرجع بود، سپس به نسخه جدید آن که در حال حاضر استفاده می‌شود، داده‌های میکروویو نیز اضافه شد که این داده‌های جدید برای کالیبراسیون و تنظیم پارامترهای الگوریتم بکار می‌روند. مطالعات اعتبارسنجی نشان می‌دهند که تخمین‌های بارش بطور قابل توجهی توسط تنظیم داده‌های بدست آمده از مادون قرمز با اطلاعات میکروویو، بهبود یافته‌اند (Hsu et al., 1997). الگوریتم برآورد بارش PERSIANN بطور کاربردی از سال ۱۹۸۳ با پوشش سراسری از ۶۰ درجه شمالی تا ۶۰ درجه جنوبی، تفکیک مکانی ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه و مقیاس زمانی

یکی از ساده‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی دقت رویدادهای پیش‌بینی شده توسط منابع بارش مختلف، شاخص Accuracy می‌باشد که نشان‌دهنده کسری از همه پیش‌بینی‌های درست است. محدوده عددی این شاخص بین صفر تا ۱ می‌باشد که در بهترین وضعیت مقدار ۱ را به خود اختصاص می‌دهد. به عبارت دیگر هر چه مقدار این شاخص به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، دقت منبع بارش ماهواره‌ای بالاتر است. شاخص Bias یا مقایسه میانگین پیش‌بینی با میانگین مشاهده، معمولاً به‌عنوان یک نسبت برای تأیید جداول احتمالاتی استفاده می‌شود. Bias در واقع نسبت برآوردهای صحیح به مشاهدات صحیح می‌باشد. محدوده عددی این شاخص بین صفر تا مثبت بی‌نهایت است که در بهترین وضعیت مقدار ۱ را به خود اختصاص می‌دهد. به عبارت دیگر اگر مقدار این شاخص کمتر از ۱ باشد، کم برآوردی و اگر بیشتر از ۱ باشد، بیش برآوردی به وقوع پیوسته است. شاخص POD نشان‌دهنده نسبت شناسایی صحیح بارش منبع ماهواره‌ای به تعداد کل رخدادهای بارش مشاهده شده در ایستگاه‌های زمینی است. محدوده عددی این شاخص بین صفر تا ۱ بوده و هر چه میزان شاخص مزبور به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، عملکرد منبع بارش ماهواره‌ای در پیش‌بینی وقوع بارندگی صحیح است. شاخص FAR نسبت مواقعی که بارندگی رخ نداده است ولی مدل وقوع بارندگی را پیش‌بینی نموده است، تعیین می‌کند. محدوده عددی این شاخص بین صفر تا ۱ است و هر چه میزان شاخص FAR به صفر نزدیک‌تر باشد، عملکرد مدل ماهواره‌ای بهتر خواهد بود.

۰/۲۵×۰/۴، ۰/۴×۰/۴، ۰/۵×۰/۵ تا ۳ درجه و در مقیاس زمانی ساعتی، روزانه و ماهانه در دسترس می‌باشد. در پژوهش حاضر و با توجه به تراکم ایستگاه‌های زمینی، داده‌های منبع ECMWF در توان تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه و در مقیاس روزانه تهیه گردیدند.

#### ۴-۲- شاخص‌های آماری مورد استفاده جهت ارزیابی منابع بارشی

در این پژوهش برای ارزیابی پایگاه‌های اطلاعاتی بارش از دو جفت شاخص استفاده شده است که شاخص‌های گروه اول متشکل از RMSE و CC بوده و شاخص‌های گروه دوم که به شاخص‌های طبقه‌بندی شده معروف هستند متشکل از Accuracy، Bias، POD، FAR و CSI می‌باشند (جدول ۱).

در جدول فوق،  $R_{obs}$ : مقادیر مشاهداتی،  $R_{sat}$ : مقادیر شبیه‌سازی،  $n$ : تعداد داده‌ها،  $\bar{R}_{obs}$ : میانگین مقادیر مشاهداتی،  $\bar{R}_{sat}$ : میانگین مقادیر شبیه‌سازی توسط پایگاه داده موردنظر می‌باشد. از بین شاخص‌های جدول ۱ شاخص‌های ۱ و ۲ بر اساس مقدار بارش برآوردی تعیین می‌شوند، در حالی که شاخص‌های ۴ تا ۷ بر اساس رخداد و عدم رخداد بارش تعیین می‌شوند. در ارتباط با شاخص‌های طبقه‌بندی نیز می‌توان به جدول ۲ اشاره کرد که بر اساس آن میزان Correct، Miss، Hit، Negative و False Alarm تعیین شده و شاخص‌های مربوطه محاسبه می‌گردند (Ebert et al., 2007; Lo Conti et al., 2014).

Table 1- Statistical criteria and tabular representation for evaluation of satellite-based rainfall products

جدول ۱- شاخص‌های آماری و طبقه‌بندی جدولی مورد استفاده در این پژوهش

No	Measure	Equation
1	Root Mean Square Error	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_{obs} - R_{sat})^2}$
2	Correlation Coefficient	$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{obs} - \bar{R}_{obs})(R_{sat} - \bar{R}_{sat})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_{obs} - \bar{R}_{obs})^2 \sum_{i=1}^n (R_{sat} - \bar{R}_{sat})^2}}$
3	Accuracy	$Accuracy = \frac{Hit + Correct\ Negative}{Total}$
4	Bias	$Bias = \frac{Hit + False\ Alarm}{Hit + Miss}$
5	Probability of Detection	$POD = \frac{Hit}{Hit + Miss}$
6	False Alarm Ratio	$FAR = \frac{False\ Alarm}{Hit + False\ Alarm}$

Table 2- Contingency Table

جدول ۲- جدول طبقه‌بندی

		Observation		
		Yes	No	
Forecast	Yes	Hit	False Alarms	Forecast Yes
	No	Miss	Correct Negative	Forecast No
Total		Observation Yes	Observation No	Total

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- ارزیابی منابع بارشی در گام زمانی روزانه

#### ۳-۱-۱- ارزیابی در سطح حوضه

و غیربارانی برخوردار می‌باشد. هرچند لازم به ذکر است که در نسخه‌های اصلاح شده این منبع که به GMP-IMERG معروف است، عملکرد آن در شناسایی روزهای بارانی و همچنین مقدار بارش افزایش قابل توجهی داشته است (Sharifi et al., 2016).

در این پژوهش و برای ارزیابی عملکرد هر کدام از منابع بارشی، نمودار پراکنش متوسط اطلاعات در سطح حوضه سفیدرود (به منظور پرهیز از ارائه سلول به سلول نتایج) به صورت مجزا برای هر منبع بارشی و در بازه آماری بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ ترسیم و مؤلفه‌های آماری CC و RMSE برای هر کدام محاسبه گردید، که نتایج آنها در شکل ۲ نشان داده شده است.

از آنجایی که منبع GMP-IMERG از سال ۲۰۱۴ به بعد ایجاد و شروع به برداشت داده‌های بارش نموده است، در پژوهش حاضر مورد ارزیابی قرار نگرفت. بررسی عملکرد منبع بارشی PERSIANN-CDR، نیز اگرچه حاکی از برتری منبع ECMWF دارد، اما نسبت به منبع TRMM-3B42 RT نتایج به مراتب بهتری را بدست می‌دهد. این منبع اطلاعاتی نیز همانند دیگر منابع بارشی در تخمین بارش‌های سبک دارای خطا بوده و تقریباً از توانایی پائینی در برآورد بارش‌های کمتر از ۳ میلیمتر در روز برخوردار می‌باشد. همچنین به منظور بررسی دقیق‌تر عملکرد هر کدام از منابع بارشی مختلف، توزیع فراوانی مقادیر بارش برای آنها محاسبه گردید که نتایج آن در شکل ۳ نشان داده شده است. طبق نتایج بدست آمده، فراوانی بارش‌های با شدت کم (کمتر از ۰/۵ میلیمتر در روز) چیزی در حدود ۷۰ درصد کل رخدادهای بارشی می‌باشد. همچنین با افزایش مقدار بارش از فراوانی آنها کاسته شده و تنها چیزی در حدود کمتر از ۲ درصد از بارش‌ها در دسته بارش‌های سنگین (بزرگتر از ۱۰ میلیمتر در روز) قرار می‌گیرند. بررسی عملکرد منابع بارشی مختلف نیز حاکی از آن است که اگرچه این منابع در تخمین بارش‌های کمتر از ۴ میلیمتر در روز دارای عملکرد ضعیف‌تری هستند (به ویژه منبع بارشی TRMM) و عمدتاً تمایل به بیش برآوردی دارند، اما برای بارش‌های بزرگتر از ۴ میلیمتر در روز تقریباً نتایجی مشابه با داده‌های زمینی را بدست می‌دهند. از میان منابع بارشی مختلف نیز عملکرد منبع بارشی ECMWF نسبت به منابع دیگر به مراتب بهتر بوده و این درحالیست که منبع بارشی TRMM به ویژه برای بارش‌های با شدت کمتر از ۳ میلیمتر در روز، دارای بدترین عملکرد می‌باشد. عملکرد متفاوت منبع بارشی TRMM به ویژه برای بارش‌های کمتر از ۳ میلیمتر در روز موجب می‌شود که این منبع در شناسایی روزهای بارانی دچار مشکل شده و گزارش‌های نادرست زیادی را ارائه نماید.

بررسی شاخص‌های آماری مربوط به منبع بارشی ECMWF در مقیاس روزانه، حاکی از عملکرد بالای آن نسبت به دیگر منابع بارشی می‌باشد. نتایج نشان داد که در سطح حوضه آبریز سفیدرود ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های بازتحلیل شده ECMWF همواره بالاتر از ۰/۶ می‌باشد. همچنین محاسبات نشان داد که این منبع در تشخیص بارش‌های سبک (کمتر از ۲ میلیمتر در روز) دارای خطا می‌باشد. همچنین مقدار شاخص RMSE که مبین میانگین خطاهای موجود بین داده‌های مشاهداتی و منبع بارشی می‌باشد، در این منبع همواره کمتر از ۲/۳ میلیمتر می‌باشد. مقدار این شاخص نیز خود گویای عملکرد مناسب این منبع اطلاعاتی ارزشمند نسبت به داده‌های زمینی می‌باشد. بر خلاف منبع بارشی مذکور، محاسبات آماری صورت گرفته بر روی داده‌های بارشی TRMM حاکی از عملکرد ضعیف این منبع بارشی در تخمین مقدار و زمان بارش می‌باشد. به عنوان مثال، متوسط مقدار شاخص CC در این منبع کمتر از ۰/۳ بوده و همچنین حداقل مقدار شاخص RMSE نیز در حدود ۴ میلیمتر می‌باشد (تقریباً دو برابر مقدار بدست آمده از منبع ECMWF) که نسبت به منابع دیگر بسیار قابل توجه می‌باشد. این منبع بارشی نیز در تخمین مقدار و زمان بارش در حوضه سفیدرود نسبتاً ضعیف می‌باشد که علت اصلی آن نیز عدم توانایی در تخمین بارش‌های سبک می‌باشد. در بخش‌های بعدی این موضوع به اثبات رسیده است که منبع بارشی TRMM-2B42 RT نسبت به تمامی منابع موجود از خطای زیادی در تخمین مقدار بارش، شناسایی صحیح روزهای بارانی

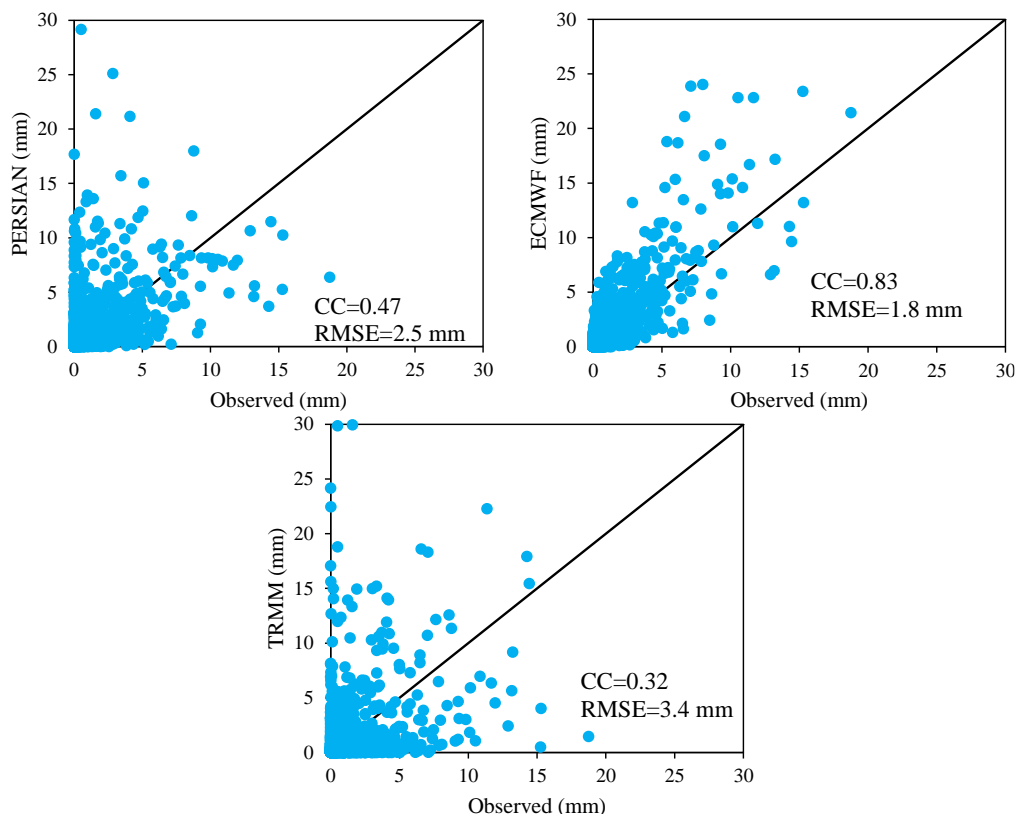


Fig. 2- Scatter plot of satellite-based products and observed rainfall over the SefidRood catchment (Daily time scale)

شکل ۲- عملکرد منابع بارشی مختلف در تخمین بارش در سطح حوضه آبریز سفیدرود (مقیاس روزانه)

ماهواره‌ای خاص، نمی‌توان اظهار نظر نمود (Ashouri et al., 2015; Duan et al., 2016). بنابراین در چنین شرایطی بررسی و تحلیل مکانی داده‌های بدست آمده از منابع بارشی مختلف، یکی از روش‌های مناسب برای تشخیص دقت هر کدام از این منابع می‌باشد. در این پژوهش توزیع مکانی شاخص‌های آماری CC و RMSE برای هر منبع تهیه گردید که در شکل ۴ قابل مشاهده می‌باشد.

بررسی شاخص آماری CC برای تمامی سلول‌های محاسباتی در سطح حوضه سفیدرود حاکی از آن است که داده‌های بدست آمده از منبع بارشی ECMWF از همبستگی مناسبی با داده‌های زمینی برخوردار می‌باشند، به طوری که در مقیاس روزانه مقدار این شاخص در کل حوضه بین ۰/۴ تا ۰/۸ متغیر می‌باشد. با توجه به شکل ۳ عملکرد منبع ECMWF در مناطق جنوبی و تا حدی مرکزی حوضه آبریز سفیدرود قابل توجه بوده، به طوری که میزان شاخص CC برای این مناطق بین ۰/۵۵ تا ۰/۷۵ متغیر می‌باشد. همچنین مقدار متوسط شاخص RMSE در سطح حوضه کمتر از ۲/۶ میلی‌متر است و این خود گویای انحراف کم داده‌های این منبع نسبت به داده‌های زمینی می‌باشد.

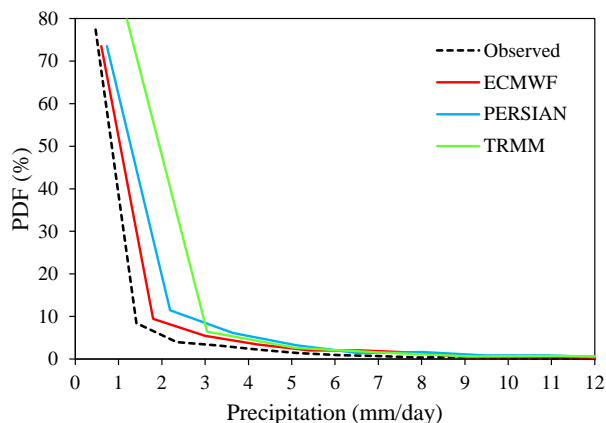


Fig. 3- Frequency distribution of rainfall over the SefidRood catchment for all data sets

شکل ۳- توزیع فراوانی بارش روزانه در سطح حوضه سفیدرود برای تمامی منابع بارشی

### ۳-۱-۲- تحلیل فضایی منابع بارشی مختلف

دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است و امروزه با اطمینان در مورد صحیح بودن اطلاعات بارش

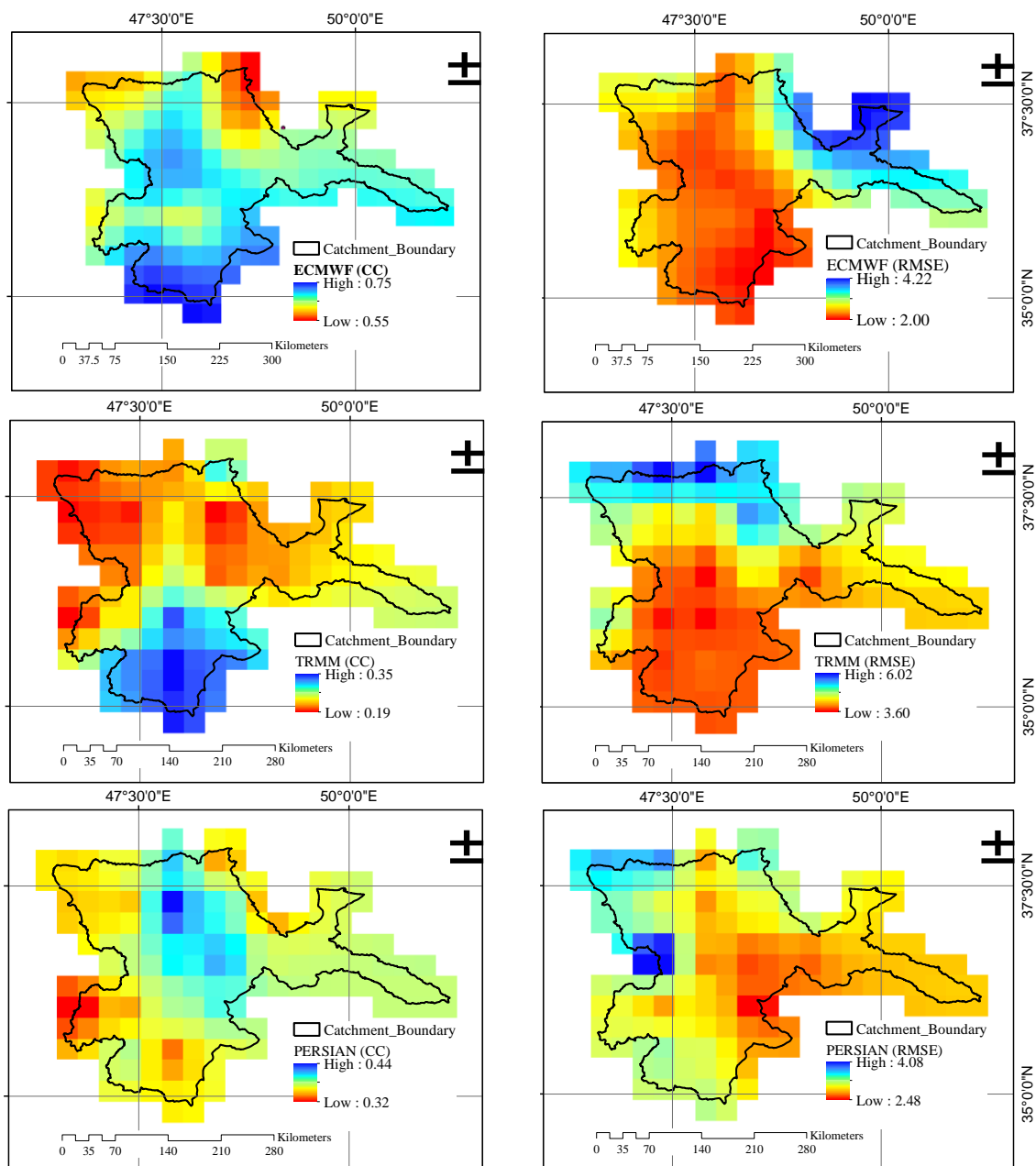


Fig. 4- Spatial distribution of CC and RMSE statistics for all rainfall products over the study area (daily time scale)

شکل ۴- تغییرات مکانی شاخص‌های آماری CC و RMSE منابع بارشی مختلف در سطح حوضه سفیدرود (در مقیاس روزانه)

بررسی شاخص آماری CC بدست آمده از منبع بارشی TRMM-3B42 RT در سطح حوضه سفیدرود نیز حاکی از آن است که داده‌های بدست آمده از این منبع نسبت به منبع ECMWF از همبستگی بسیار ضعیفی با داده‌های زمینی برخوردار می‌باشند، به طوری که در مقیاس روزانه متوسط و حداکثر مقدار این شاخص در کل حوضه به ترتیب در حدود ۰/۲۳ و ۰/۳۵ می‌باشند. همچنین مقدار شاخص RMSE نیز به علت دارا بودن محدوده تغییرات ۳/۶ تا ۶/۰۲ میلی‌متر (در بخش‌های شمالی حوضه میزان انحراف داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مشاهداتی

با توجه به توضیحات فوق می‌توان چنین استنباط نمود که این منبع اطلاعاتی ارزشمند از کفایت بسیار مناسبی برای تخمین مقدار بارش برخوردار می‌باشد. البته ذکر این نکته نیز ضروریست که این برای افزایش کارایی این پایگاه بارشی بایستی تصحیحاتی روی آن صورت گیرد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به تصحیح اریبی اشاره نمود. زیرا طبق نتایج بدست آمده، این پایگاه بارشی نسبت به دو پایگاه بارشی TRMM و PERSIAN مقدار بارش را بیش برآورد می‌نماید.



دلیل صورت گیرد که منبع بارشی TRMM از توانایی لازم برای تخمین بارش‌های سبک برخوردار نبود و روزهایی که توسط ایستگاه زمینی بارانی تشخیص داده شده توسط این منبع غیربارانی گزارش شده است. همچنین در زمینه تشخیص صحیح وقوع بارش (بر اساس شاخص POD)، دو منبع بارشی ECMWF و PERSIAN نسبت به TRMM دارای عملکرد به مراتب بهتری هستند.

### ۳-۳-۳- ارزیابی منابع بارشی در گام زمانی ماهانه

#### ۳-۳-۱- ارزیابی در سطح حوضه

در این گام زمانی نیز به منظور بررسی دقیق‌تر میزان کارایی منابع بارشی مورد استفاده، نمودار پراکنش اطلاعات بارشی به صورت مجزا برای هر منبع بارشی و به صورت متوسط‌گیری شده در سطح کل حوضه سفیدرود ترسیم (برای پرهیز از ارائه سلول به سلول نتایج) و مؤلفه‌های آماری CC و RMSE برای هر کدام محاسبه شد که نتایج آن در شکل ۵ قابل مشاهده می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، عملکرد دو منبع بارشی PERSIAN و ECMWF در تخمین مقدار بارش ماهانه از همبستگی بسیار بالایی با داده‌های مشاهداتی برخوردار بوده و در هر دو منبع ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۹ می‌باشد. همچنین علی‌رغم این همبستگی قابل توجه، هر دو منبع مذکور تقریباً در بیشتر موارد مقدار بارش را بیش برآورد نموده‌اند که این مساله در بارش‌های بزرگتر از ۲۰ میلی‌متر نمود بیشتری دارد. منبع بارشی TRMM نیز با دارا بودن ضریب همبستگی معادل ۰/۵۷ نسبت به منابع مذکور دارای عملکرد ضعیفی در تخمین مقدار بارش ماهانه حوضه آبریز سفیدرود می‌باشد.

#### ۳-۳-۲- تحلیل فضائی منابع بارشی

در این گام زمانی نیز مقادیر شاخص‌های آماری CC و RMSE برای تمامی سلول‌ها محاسبه و نتایج آن به صورت مکانی برای هر منبع تهیه گردید که در شکل ۷ قابل مشاهده می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، در گام زمانی ماهانه عملکرد منابع بارشی مختلف تا حد قابل توجهی افزایش یافته است. به عنوان مثال، میزان همبستگی داده‌های PERSIAN و ECMWF با داده‌های زمینی به ویژه در بخش‌های جنوبی حوضه از مقادیری بالاتری برخوردار بوده و اگرچه با حرکت به سمت بخش‌های شمالی حوضه از میزان همبستگی کاسته می‌شود، ولی همچنان با دارا بودن ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۷۲، از عملکرد به مراتب بهتری برخوردار می‌باشند. منبع بارشی TRMM نیز بر خلاف گام زمانی روزانه، در گام زمانی ماهانه از همبستگی بیشتری با داده‌های زمینی برخوردار می‌باشد.

بسیار قابل توجه بوده ولی بار حرکت به سمت جنوب حوضه از مقدار این انحراف کاسته می‌شود، حاکی از انحراف و خطای قابل توجه این منبع نسبت به داده‌های بارش مشاهداتی دارد. با توجه به توضیحات فوق می‌توان چنین استنباط نمود که این منبع اطلاعاتی از کفایت و کارایی لازم برای تخمین صحیح مقدار بارش در این حوضه برخوردار نمی‌باشد. بررسی شاخص‌های آماری بدست آمده از کاربرد منبع بارشی PERSIAN در سطح حوضه سفیدرود نیز حاکی از آن است که داده‌های بدست آمده از این منبع اگرچه نسبت به منبع TRMM-3B42 RT دارای عملکرد بهتری می‌باشند، اما همچنان مقدار همبستگی بین داده‌های این منبع و داده‌های بارش زمینی به کمتر از ۰/۵ محدود می‌گردد. همچنین مقدار شاخص RMSE نیز به علت دارا بودن محدوده تغییرات ۲/۵ تا ۴/۰ میلی‌متر، حاکی از عملکرد نسبتاً قابل قبول این منبع بارشی دارد. ارزیابی نتایج همبستگی مکانی نشان می‌دهد که با حرکت از سمت مرکز به شمال حوضه، میزان خطای بارش بدست آمده از منبع PERSIAN-CDR نسبت به میزان بارش مشاهداتی کمتر می‌گردد.

### ۳-۲- ارزیابی منابع بارشی بر اساس شاخص‌های آماری

#### طبقه‌بندی

در این پژوهش و برای ارزیابی عملکرد منابع بارشی از توزیع مکانی شاخص‌های آماری Accuracy، Bias، POD، FAR، CSI برای کل سلول‌های حوضه در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ استفاده بعمل آمد که نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، بر اساس شاخص Accuracy منبع بارشی ECMWF با دارا بودن بالاترین مقدار دارای بهترین عملکرد از نظر پیش‌بینی‌های صحیح بارش می‌باشد. متوسط این شاخص در سطح حوضه سفیدرود برای منابع بارشی ECMWF، TRMM و PERSIAN به ترتیب معادل ۰/۷۶، ۰/۶۰ و ۰/۷۰ می‌باشد. ارزیابی عملکرد منابع بارشی بر اساس شاخص Bias نیز حاکی از آن است که اگرچه تقریباً عمده منابع، بارش را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌نمایند، اما منبع بارشی ECMWF به طور متوسط دارای انحرافی در حدود ۱/۲۵ در سطح حوضه سفیدرود می‌باشد. از میان منابع مذکور، منبع بارشی ECMWF دارای خطای کمی در زمینه گزارش‌های اشتباه بارش می‌باشد بطوریکه مقدار متوسط شاخص FAR در سطح حوضه سفیدرود در حدود ۳۰ درصد است و این در حالیست که منبع بارشی TRMM به طور متوسط در حدود ۵۰ درصد مواقع، رخداد بارش را به اشتباه گزارش می‌نماید و همین مساله موجب کاهش کارایی آن در سامانه‌های پیش‌بینی (مانند: پیش‌بینی بارش، سیستم هشدار سیل، پایش خشکسالی و غیره) خواهد گردید. ثبت گزارش‌های اشتباه فراوان از وقوع بارندگی می‌تواند به این

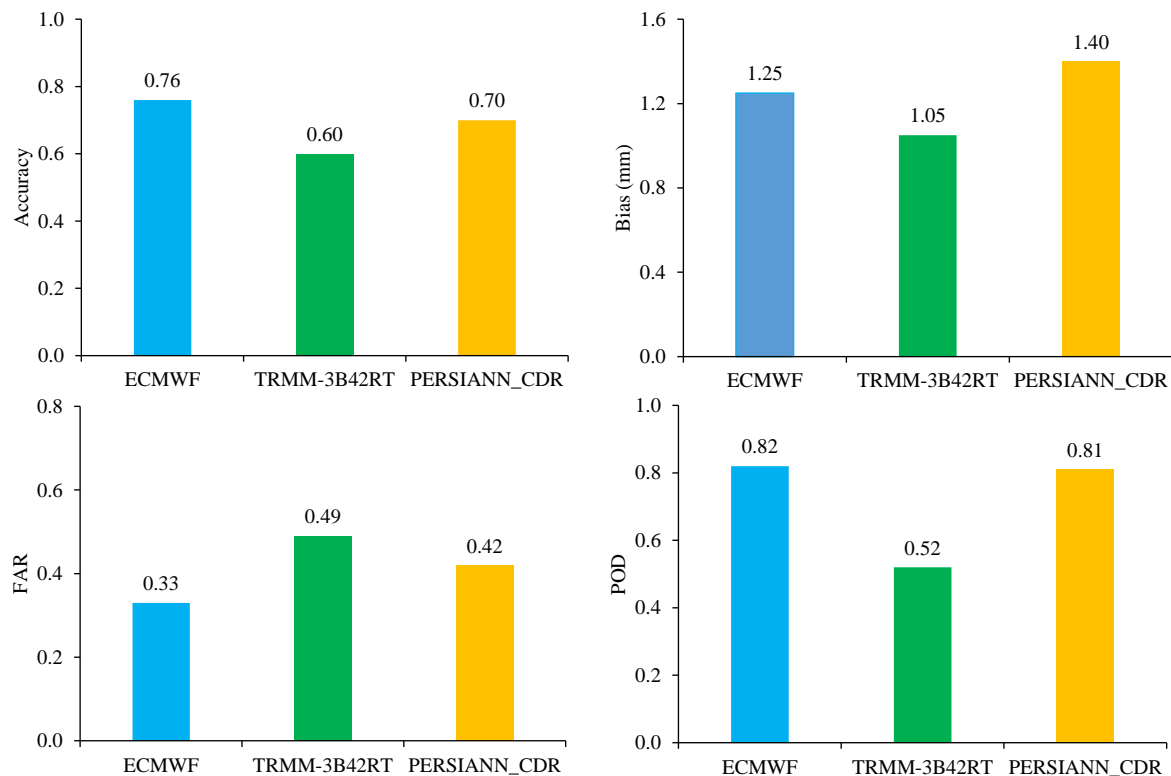


Fig. 5- Spatial variation of classification criteria over the SefidRood catchment (Daily time scale)

شکل ۵- تغییرات مکانی شاخص‌های طبقه‌بندی در سطح حوضه سفیدرود (در مقیاس روزانه)

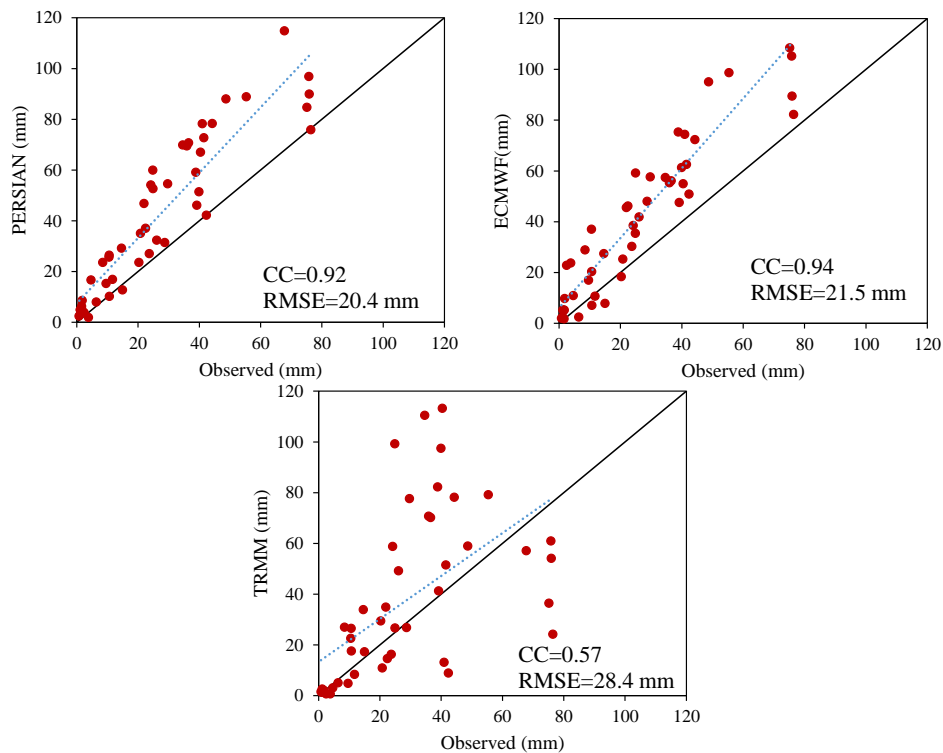


Fig. 6- Scatter plot of satellite-based products and observed rainfall over the SefidRood catchment (Monthly time scale)

شکل ۶- عملکرد منابع بارشی مختلف در تخمین بارش در سطح حوضه سفیدرود (مقیاس ماهانه)

مذکور برای مواردی همچون مدل سازی هیدرولوژیکی، مطالعات بیابان و غیره بایستی تصحیحات لازم (مانند تصحیح اریبی) بر روی آنها صورت گیرد.

لذا با توجه به توضیحات فوق، می توان چنین عنوان نمود که در مقیاس زمانی ماهانه، عملکرد پایگاه های بارشی در تخمین بارش مناسب می باشد. هر چند ذکر این نکته نیز ضروریست که برای استفاده از منابع

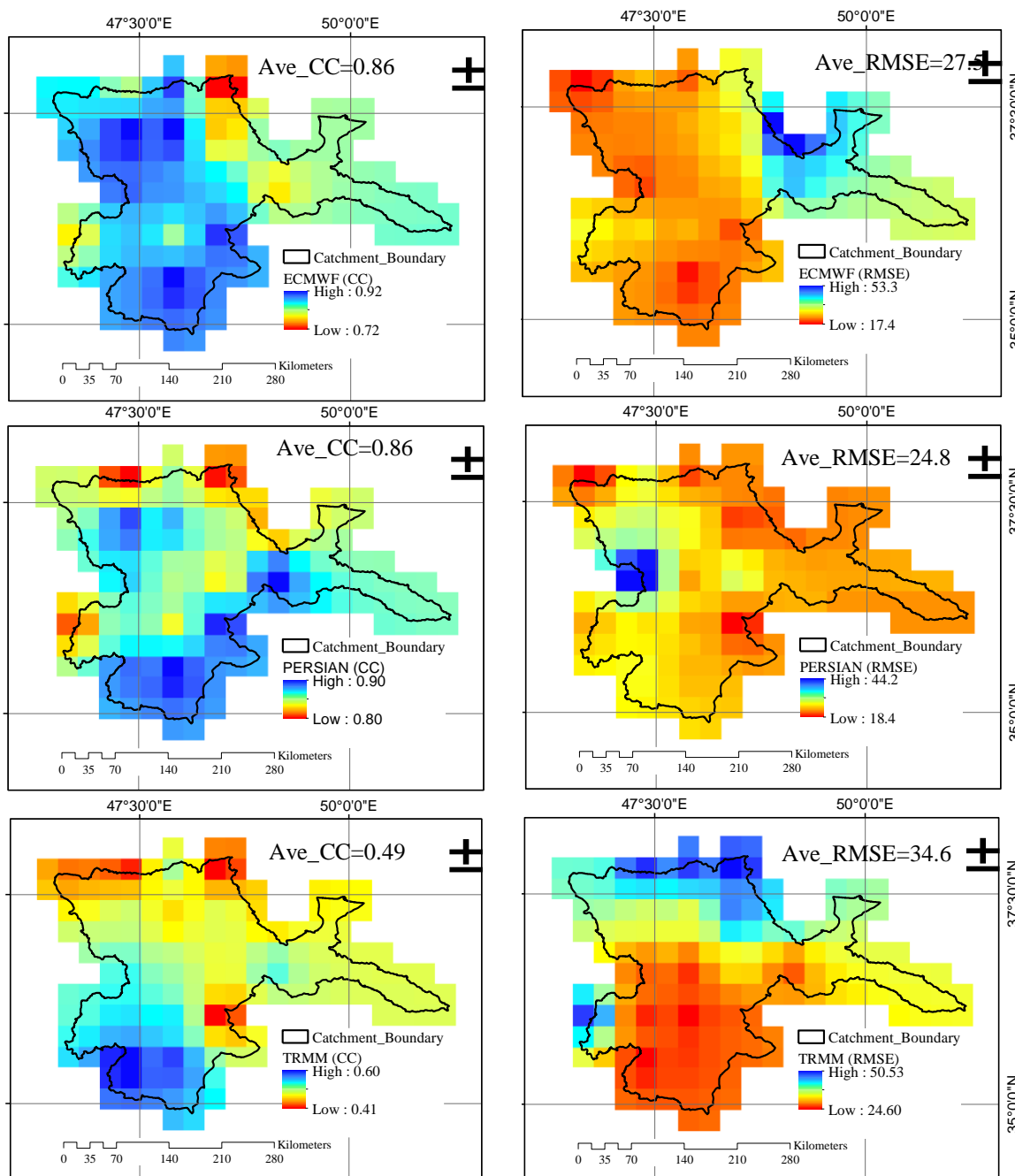


Fig. 7- Spatial distribution of CC and RMSE statistics for all rainfall products over the study area (Monthly time scale)

شکل ۷- تغییرات مکانی شاخص های آماری CC و RMSE منابع بارشی مختلف در سطح حوزه سفیدرود (در مقیاس ماهانه)

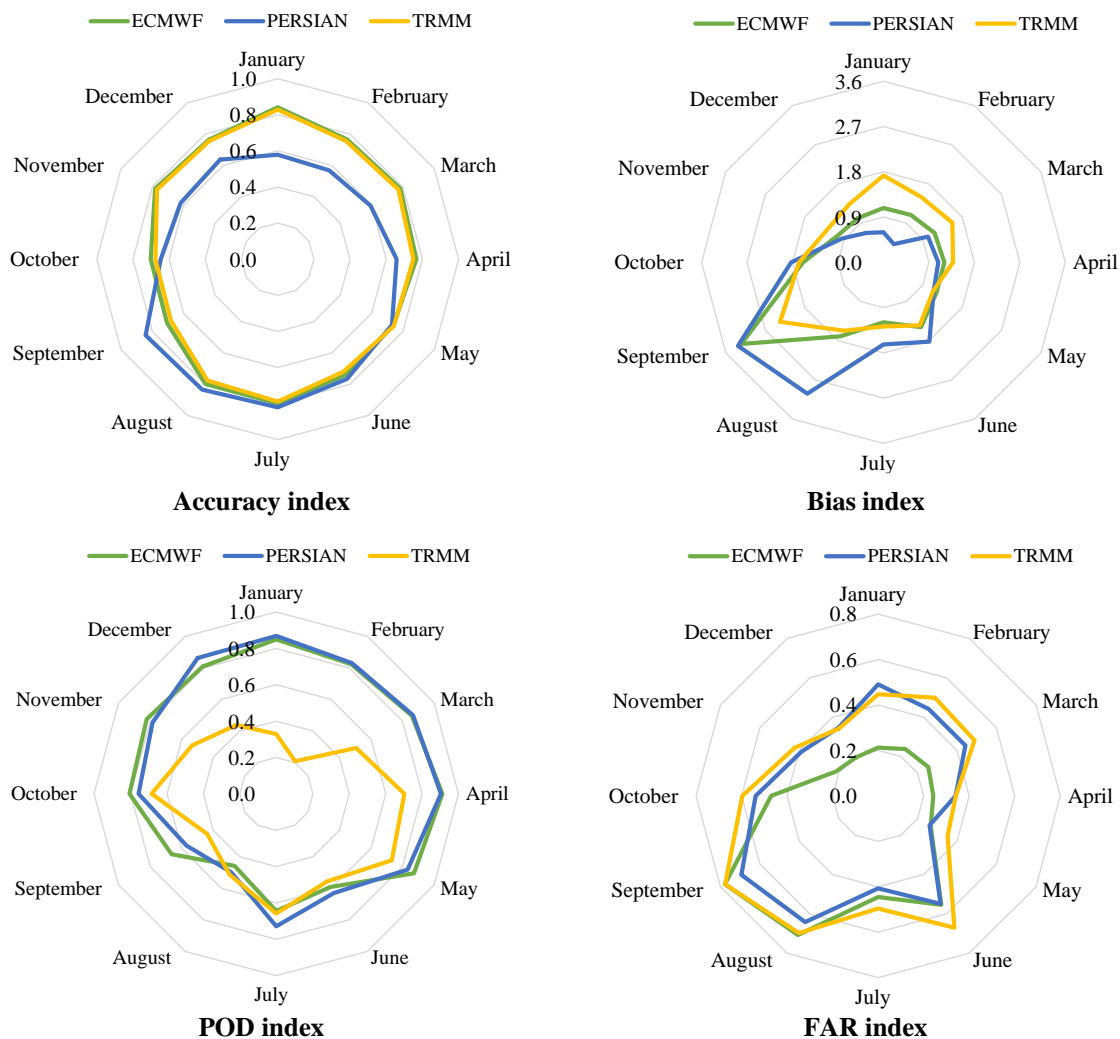
اگرچه دارای متوسط عملکردی در حدود ۰/۶۹ می‌باشد، اما بررسی شکل ۸ حاکی از آن است که این منبع در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارچ با دارا بودن متوسط شاخص Accuracy کمتر از ۰/۶، در تشخیص روزهای بارانی دچار خطای زیادی هستند.

بر اساس عملکرد منابع در شناسایی صحیح روزهای بارانی (POD)، منابع بارشی ECMWF و PERSIAN عملکرد تقریباً یکسانی را در بیشتر ماه‌ها بدست داده‌اند. نتایج حاکی از آن است که این منابع در بیش از ۷۵ درصد مواقع روزهای بارانی را درست پیش‌بینی نموده‌اند که همین مسأله نشان می‌دهد این منابع از قابلیت کاربردی قابل قبولی در سیستم‌های هشدار سیلاب (به ویژه در حوضه‌های بزرگ مقیاس) برخوردار می‌باشند.

### ۳-۳-۳- ارزیابی منابع بارشی بر اساس شاخص‌های آماری طبقه‌بندی

مشابه با بارش روزانه، در گام زمانی ماهانه نیز از میانگین شاخص‌های Accuracy، Bias، POD، FAR و CSI برای کل حوضه در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ برای عملکرد منابع بارشی مختلف استفاده بعمل آمد که نتایج آن در شکل‌های ۸ تا ۱۲ نشان داده شده است.

نتایج بدست آمده در این گام زمانی نیز حاکی از آن است که منابع بارشی ECMWF و TRMM به ترتیب با دارا بودن متوسط شاخص Accuracy معادل ۰/۷۷ و ۰/۷۵، دارای بهترین عملکرد در پیش‌بینی صحیح رخدادهای بارشی می‌باشند. همچنین منبع بارشی PERSIAN



شکل ۸- مقادیر شاخص‌های آماری طبقه‌بندی بدست آمده از منابع بارشی مختلف در سطح حوضه آبریز سفیدرود و در ماه‌های مختلف سال

ECMWF پرداخته شده است. نتایج بدست آمده در سطح حوضه آبریز سفیدرود نشان داد که منبع بارشی باز تحلیل شده Era-Interim نسبت به منابع بارشی دیگر از همبستگی به مراتب بهتری با داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های بارانسنجی زمینی برخوردار می‌باشد. به عنوان مثال، ضریب همبستگی بین داده‌های بارشی زمینی با سه منبع ECMWF، PERSIAN و TRMM به ترتیب معادل ۰/۸۶، ۰/۴۷ و ۰/۳۲ می‌باشد. همچنین بررسی توضیح مکانی تغییرات ضریب همبستگی در سطح حوضه حاکی از وجود ارتباط بسیار نزدیک با داده‌های زمینی در عمده مناطق حوضه می‌باشد و این در حالیست که منابع مذکور تنها در بخش‌هایی از حوضه دارای عملکرد مناسبی هستند و در بیشتر بخش‌ها دارای ارتباط چندان معنی‌داری با داده‌های مشاهده‌ای نمی‌باشند. یکی از علت‌های اصلی این عملکرد بسیار قابل توجه را می‌توان به ساختار مبتنی بر جذب داده<sup>۱۷</sup> پایگاه ECMWF مرتبط نمود که همواره و در بازه‌های زمانی مختلف با برقراری ارتباط با ایستگاه‌های زمینی، عملکرد خود را در تخمین بارش و همچنین شبیه‌سازی مؤلفه‌های هیدرولوژیکی مهمی همچون: رطوبت خاک، رواناب سطحی، تبخیر و تعرق و غیره بهبود می‌بخشد. همچنین این منبع نسبت به منابع بارشی مذکور از توانایی بسیار مناسبی در پیش‌بینی صحیح وقوع یا عدم وقوع بارش و ثبت گزارش‌های اشتباه کم از وقوع بارندگی، برخوردار می‌باشد. در گام زمانی ماهانه نیز عملکرد منبع بارشی ECMWF نسبت به دیگر منابع بالاتر بوده و در تخمین صحیح بارش و گزارش‌های اشتباه دارای برتری ویژه‌ای نسبت به دیگر منابع می‌باشد. هرچند ذکر این نکته نیز ضروری می‌باشد که در گام زمانی ماهانه، منبع بارشی PERSIAN نسبت به TRMM دارای عملکرد بهتری بوده و نتایجی تقریباً مشابه با منبع ECMWF را بدست می‌دهد. با توجه به توضیحات مذکور چنین می‌توان برداشت نمود که منبع بارشی ECMWF نسبت به دیگر منابع دارای عملکرد بهتری است و لذا توصیه می‌شود در حوضه‌های فاقد آمار و یا در مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی که نیازمند داده‌های بارشی صحیحی هستند از این منبع بارشی ارزشمند استفاده بعمل آید. همچنین در حوضه‌های فاقد آمار و یا دارای داده‌های کم می‌توان از این منبع بارشی ارزشمند به عنوان منبع جایگزین و یا مکمل برای ایستگاه‌های زمینی استفاده نمود. ذکر این نکته نیز ضروریست که پایگاه مذکور نیز همانند منابع بارشی دیگر قبل از استفاده بایستی تصحیحاتی صورت گیرد تا خطای بیش برآوردی آن کاهش یابد.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- Climate Prediction Center Morphing technique
- 2- Tropical Rainfall Measuring Mission

همچنین بررسی شاخص FAR نیز حاکی از آن است که منبع بارشی TRMM تقریباً در بیش از ۵۰ درصد موارد، رخداد بارش را به اشتباه گزارش نموده است و این در حالیست که مقدار این شاخص در منبع ECMWF به ۰/۳۸ محدود می‌گردد. به عبارت بهتر خطای منبع بارشی TRMM نسبت به منبع ECMWF در حدود ۳۴ درصد بیشتر می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که مقدار شاخص FAR برای منبع ECMWF در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، نوامبر و دسامبر (که تقریباً جزء ماه‌های پر بارش هستند) همواره کمتر از ۰/۳ می‌باشد که حاکی از عملکرد بسیار بالای این منبع در عدم گزارش اشتباه روزهای بارانی می‌باشد. نکته مهم دیگری که از شکل ۱۱ می‌توان برداشت نمود این است که تمامی منابع بارشی در شناسایی روزهای بارانی در ماه‌های گرم سال (جون، جولای، اوت، سپتامبر و اکتبر) دارای عملکرد ضعیفی هستند. در این ماه‌ها گزارش‌های اشتباه بسیار زیاد بوده، به طوریکه در بیش از ۶۰ درصد رخدادها موجود، هر کدام از منابع بارشی، روز بارانی پیش‌بینی کرده‌اند و این در حالیست که در ایستگاه‌های زمینی هیچگونه بارشی ثبت نشده است. علت اصلی این عملکرد ضعیف را این چنین می‌توان عنوان نمود که در ماه‌های گرم، ابرها پس از تشکیل دوام زیادی نداشته (دارای ضخامت کمی هستند) و به سرعت از بین می‌روند و لذا سنجنده‌ها نمی‌توانند به خوبی دمای بالای ابر را محاسبه نمایند که همین مسأله می‌تواند موجب کاهش دقت آنها در تخمین ضخامت ابر و مقدار بارش شود. همانطور که ملاحظه می‌گردد، منبع بارشی ECMWF بر اساس بسیاری از شاخص‌های طبقه‌بندی دارای بهترین عملکرد بوده و لذا در حوضه‌های فاقد آمار و یا دارای داده‌های کم می‌توان از این منبع بارشی ارزشمند به عنوان منبع جایگزین استفاده نمود. البته ذکر این نکته نیز ضروریست که برای رسیدن به نتایج قابل قبول بایستی تصحیحات موردنیاز (مانند تصحیح اریبی) بر روی داده‌ها صورت گیرد.

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

تخمین صحیح بارش از نظر توزیع مکانی و زمانی همواره یکی از چالش‌های اساسی محققین به ویژه در مطالعات منابع آب و مدل‌سازی هیدرولوژیکی بوده است. با توسعه تکنولوژی‌های نوین ماهواره‌ای امکان دسترسی به داده‌های بارشی با توان تفکیک زمانی و مکانی مختلف برای بیشتر نقاط کره زمین فراهم شده است. داده‌های بارشی مذکور عمدتاً حاصل کاربرد تکنیک‌های سنجنش از دور می‌باشند و یا با استفاده از ترکیب‌های مدلهای سطح زمین و مدلهای گردش عمومی جو شبیه‌سازی و باز تحلیل می‌شوند. در تحقیق حاضر به بررسی عملکرد منابع بارشی مبتنی بر تکنیک سنجنش از دور PERSIAN و TRMM نسبت به داده‌های بازتحلیل شده پایگاه اطلاعاتی

- Dembele M, Zwart S J (2016) Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso, West Africa. *International Journal of Remote Sensing* 37(17):3995-4014
- Duan Z, Liu J, Tuo Y, Chiogna C, Disse M (2016) Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Science of the Total Environment* 573:1536-1553
- Ghajarnia N, Liaghat A, Arasteh P D (2015) Comparison and evaluation of high resolution precipitation estimation products in Urmia Basin Iran. *Atmospheric Research* 158:50-65
- Hsu KL, Gao X, Sorooshian S, Gupta HV (1997) Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. *Journal of Applied Meteorology* 36:1176-1190
- Javanmard S, Yatagai A, Nodzu M, BodaghJamali J, Kawamoto H (2010) Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM\_3B42 over Iran. *Advances in Geosciences* 25:119-125
- Katiraie-Boroujerdy PS, Nasrollahi N, Hsu K, Sorooshian S (2013) Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. *Journal of Arid Environments* 97:205-219
- Krogh S A, Pomeroy J W, McPhee J (2015) Physically based mountain hydrological modeling using reanalysis data in Patagonia. *Journal of Hydrometeorology* 16(1):172-193
- Li Z, Yang D, Hong Y (2013) Multi-scale evaluation of high-resolution multi-sensor blended global precipitation products over the Yangtze River. *Journal of Hydrology* 500:157-169
- Moazami S, Golian S, Hong Y, Sheng C, Kavianpour M R (2016) Comprehensive evaluation of four high-resolution satellite precipitation products under diverse climate conditions in Iran. *Hydrological Sciences Journal* 61(2):420-440
- Raziei T, Sotodeh F (2017) Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics* 43(1):133-147
- Sharifi E, Steinacker R, Saghafian B (2016) Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary results. *Remote Sensing* 8(2):135-142
- Tan M L, Ibrahim A L, Duan Z H, Cracknell A P, Chaplot V (2015) Evaluation of six high-resolution satellite
- 3- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
- 4- Global Precipitation Climatology Project
- 5- Asian Precipitation-Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources
- 6- Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks
- 7- Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station
- 8- Africa Rainfall Climatology Version 2
- 9- Rainfall Estimation Version 2
- 10- Tropical Applications of Meteorology Using Satellite
- 11- Tropical Applications Rainfall Climatology and Time-series
- 12- Burkina Faso
- 13- Adgie
- 14- Climate Data Record
- 15- Princeton University Global Meteorological Forcing
- 16- Global Satellite Mapping of Precipitation
- 17- Data Assimilation

#### ۶- مراجع

- Ashouri H, Hsu K L, Sorooshian S, Braithwaite D K, Knapp K R, Cecil LD, Prat O P (2015) PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from Multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* 96(1):69-83
- Ashouri H, Nguyen P, Thorstensen A, Hsu K, Sorooshian S, Braithwaite D (2016) Assessing the efficacy of high-resolution satellite-based PERSIANN-CDR precipitation product in simulating streamflow. *Journal of Hydrometeorology* 17(7):2061-2076
- Balsamo G, Albergel C, Beljaars A, Boussetta S, Brun E, Cloke H, Dee D, Dutra E, Muñoz-Sabater J, Pappenberger F, de Rosnay P, Stockdale T, Vitart F (2015) ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set, *Hydrol. Journal of Earth System Science* 19:389-407
- De Leeuw J, Methven J, Blackburn M (2015) Evaluation of ERA-Interim reanalysis precipitation products using England and Wales observations. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 141(688):798-806
- Dee D, Uppala S, Simmons A, Berrisford P, Poli P, Kobayashi S, Andrae U, Balmaseda M, Balsamo G, Bauer P (2011) The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137:553-597

- surface model: methodology and application to river basins. *Journal of Hydrometeorology* 8(3):447-468
- Zhao T, Yatagai A (2014) Evaluation of TRMM 3B42 product using a new gauge-based analysis of daily precipitation over China. *International Journal of Climatology* 34(8):2749-2762
- Tong K, Su F, Yang D, Hao Z (2014) Evaluation of satellite precipitation retrievals and their potential utilities in hydrologic modeling over the Tibetan Plateau. *Journal of Hydrology* 519:432-437
- Xie ZH, Yuan F, Duan Q, Liang M, Chen F (2007) Regional parameter estimation of the VIC land and ground-based precipitation products over Malaysia. *Remote Sensing* 7:1504-1528