DOI: 10.22059/ijswr.2018.261613.667962 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۴، شهریور ۱۳۹۸ (ص ۷۹۱-۷۷۷)

Assessing the Accuracy of European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) Reanalysis Datasets for Estimation of Daily and Monthly Precipitation

ASGHAR AZIZIAN [1*], HADI RAMEZANI ETEDALI[2]

1. Assistant professor, Dept. of Water Sciences and Engineering, Imam Khomeini International University
2. Assistant professor, Dept. of Water Sciences and Engineering, Imam Khomeini International University
(Received: July. 11, 2018- Revised: Aug. 18, 2018- Accepted: Aug. 21, 2018)

ABSTRACT

An accurate estimation of precipitation is important and necessary for flood simulation, drought monitoring and water resources management. Currently, most parts of the world are suffering from the lack of the rain gauge observations and the spatial coverage of ground observations aren't enough and continues. One of the most important precipitation datasets is the model-based precipitation datasets, by which the satellite techniques, the general circulation models (GCMs) and the land surface models (LSMs) are integrated to provide high temporal and high resolution datasets for all parts of the world. This datasets can compensate the lack of adequate ground observation gauges or can be considered as an alternative for ground observations, especially in ungauged regions. In this research the accuracy of the most important reanalysis datasets, called ECMWF, for estimation of daily and monthly precipitation over the SefidRood watershed for the time period of 2000-2008 was investigated. In addition, for better assessment of the proposed precipitation datasets, TRMM dataset was used. Findings on daily and monthly time scales, show that the correlation coefficient (CC) between observed and ECMWF dataset is so remarkable, especially in south, central and west parts of the study area. For instance, the CC values of the average precipitation of ECMWF data versus gauge datasets in both daily and monthly time steps were estimated to be about 0.83, 0.94, respectively, while the CC values for TRMM dataset versus gauge datasets were estimated to be 0.32 and 0.57, respectively. In contrast to reanalysed datasets, one of the most important weakness of the precipitation datasets such as TRMM is that they estimate the rainfall only based on the cloud thickness and its available water. Moreover, according to the categorical verification statistics in both time spans, ECMWF due to having low value of false alarm ratio (FAR) and high values for accuracy and probability of detection (POD) yields acceptable results over the SefidRood watershed. SefidRood watershed is a large scale region and contains different climate and topographical conditions and hence the results of this research can be used as an appropriate guidance for other similar areas. Based on the findings in this study it's highly recommended for using this rainfall dataset as one of the best alternatives for ground observations, especially in data sparse regions that accessing to ground datasets is so hard or almost impossible.

Keywords: Reanalysis datasets, ECMWF, Rainfall estimation, Remote Sensing, SefidRood watershed.

* Corresponding Author's Email: azizian@eng.ikiu.ac.ir

ارزیابی دقت داده‌های بازتحلیل شده Era-Interim در تخمین بارش روزانه و ماهانه

اصغر عزیزیان [۱*]، هادی رمضانی اعتدالی [۲]

۱. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران

۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۲۰- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۵/۲۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۵/۳۰)

چکیده

تخمین صحیح بارش در شبیه‌سازی سیلاب، پایش خشکسالی و مدیریت منابع آب امری ضروری و مهم بشمار می‌آید. در حال حاضر بخش‌های عمده‌ای از جهان، فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش زمینی هستند و حتی در صورت وجود از نظر زمانی و مکانی دارای پوشش مناسبی نیستند و همین مساله مطالعات منابع آب را با چالشی اساسی روبرو می‌نماید. یکی از مهم‌ترین منابع بارشی موجود، پایگاه‌های بارشی مدل مبنا می‌باشد که با تلفیق فن‌آوری‌های ماهواره‌ای، مدلهای سطح زمین (LSMs) و مدل‌های عمومی گردش جو (GCMs) داده‌های شبکه‌بندی شده با توان تفکیک مکانی و زمانی بالا را برای تمامی نقاط دنیا ارائه می‌نماید. این گزینه می‌تواند کمبود اطلاعات ایستگاه‌های زمینی را به ویژه در مناطقی که از این حیث با کمبود مواجه هستند تا حدود زیادی برطرف سازد. در پژوهش حاضر به ارزیابی عملکرد یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های بارشی مدل مبنا به نام پایگاه ECMWF در گام‌های زمانی روزانه و ماهانه در سطح حوضه آبریز سفیدرود (در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸) پرداخته شده است. همچنین برای ارزیابی هرچه بهتر پایگاه مذکور از داده‌های بارش مبتنی بر سنجش از دور TRMM نیز استفاده گردید. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد پایگاه بارش ECMWF در سطح این حوضه در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه حاکی از آن است که این منبع دارای همبستگی بالایی با ایستگاه‌های زمینی به ویژه در بخش‌های جنوبی، مرکزی و غربی حوضه است. به عنوان مثال در هر دو گام زمانی روزانه و ماهانه، همبستگی بین متوسط داده‌های بارشی این منبع با داده‌های بارش زمینی به ترتیب در حدود ۰/۸۳ و ۰/۹۴ برآورد گردید در حالیکه در صورت استفاده از پایگاه TRMM مقادیر مذکور به ترتیب معادل ۰/۳۲ و ۰/۵۷ بدست آمد. برخلاف پایگاه‌های بارشی بازتحلیل شده، یکی از نقاط ضعف پایگاه‌های بارشی همچون TRMM، تخمین ضخامت ابر و میزان آب قابل بارش توسط آن، تنها بر اساس تکنیک‌های مبتنی بر سنجش از دور می‌باشد. همچنین از نظر آماره‌های طبقه‌بندی، پایگاه بارش ECMWF در هر دو گام زمانی روزانه و ماهانه با دارا بودن مقادیر کم شاخص FAR (گزارش‌های اشتباه)، مقادیر بالای شاخص Accuracy (صحت پیش‌بینی‌های درست) و نیز مقدار بالا در تشخیص روزهای بارانی (POD) دارای عملکرد بسیار مناسبی می‌باشد. از آنجائی که حوضه آبریز سفیدرود با توجه به وسعت زیاد دارای تنوع اقلیمی، توپوگرافیکی و پوشش گیاهی متفاوتی است، نتایج بدست آمده در آن می‌تواند راهنمای مناسبی برای استفاده در حوضه‌های مشابه مدنظر قرار گیرد. لذا در حوضه‌های فاقد آمار که امکان دسترسی به داده‌های زمینی برای ارزیابی عملکرد پایگاه‌های بارش مختلف میسر نمی‌باشد، استفاده از این منبع بارشی ارزشمند می‌تواند سودمند باشد.

واژه‌های کلیدی: داده‌های باز تحلیل شده، ECMWF، تخمین بارش، سنجش از دور، حوضه آبریز سفیدرود.

مقدمه

از میان مؤلفه‌های مهم اقلیمی بارندگی به علت دارا بودن تغییرات مکانی و زمانی معنی‌دار، همواره از اهمیت بسیار زیادی در مطالعات منابع آب، مدل‌سازی هیدرولوژیکی و پیش‌بینی سیلاب برخوردار می‌باشد (Bohnenstengel *et al*., 2011; Bajracharya *et al*., 2014; Kumar *et al*., 2015; Sahlu *et al*., 2016). همچنین این مؤلفه به‌عنوان مهم‌ترین ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی سطح زمین (LSMs) می‌باشد که به واسطه دارا بودن تغییرات زمانی و مکانی قابل‌توجه، پیچیده‌ترین پدیده در چرخه هیدرولوژیکی بشمار می‌آید. درنتیجه تخمین صحیح این مؤلفه برای رسیدن به نتایج هیدرولوژیکی قابل اعتماد، امری ضروری بوده و عدم دقت در برآورد مقدار بارش می‌تواند خطای معنی‌داری در مقدار رواناب شبیه‌سازی شده ایجاد نماید. در حال حاضر بخش‌های عمده‌ای از جهان به‌ویژه کشورهای در حال توسعه، با چالش عدم دسترسی به اطلاعات زمینی کافی و عدم وجود ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی (ایستگاه‌های باران‌سنجی)،

* نویسنده مسئول: azizian@eng.ikiu.ac.ir

روبرو هستند (Hargreaves and Samani, 1985; Hughes., 2006; Sue *et al*., 2008; Worqlul *et al*., 2015). ظهور تکنولوژی‌های ماهواره‌ای و افزایش توان محاسباتی رایانه‌ها (برای انجام محاسبات سنگین مدل‌سازی جو و اتصال آن به مدل‌های سطح زمین) منجر به ارائه محصولات بارشی با توان تفکیک مکانی و زمانی بالا شده است. این محصولات عمدتاً به‌صورت 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)، بدون ارزیابی اولیه نمی‌توان از این محصولات استفاده نمود.

پایگاه‌های اطلاعات بارندگی موجود را می‌توان در سه گروه مختلف دسته‌بندی نمود. گروه اول پایگاه‌هایی هستند که از طریق سنجش ضخامت لایه ابر و استفاده از روش‌های سنجش از دور، مقدار بارش را برآورد می‌نمایند. در گروه دوم نیز تنها با استفاده از ایستگاه‌های زمینی و داده‌های تاریخی اقلیمی، اقدام به درون‌یابی و برآورد متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی می‌نمایند. درنهایت در گروه سوم، با ترکیب نتایج حاصل از مدل گردش عمومی جو (GCM)، مدل LSM و واسنجی خروجی نهایی با داده‌های زمینی، مقدار بارش تخمین زده می‌شود (معروف به داده‌های بازتحلیل شده). بررسی‌ها حاکی از آن است که تاکنون مقالات متعددی در سطح ملی و بین‌المللی به پایگاه‌های اطلاعاتی بارندگی نوع اول (Javanmard *et al*. 2010; Katiraie-Boroujerdy *et al*., 2013; Li *et al*.2013; Zhao and Yatagai 2014; Tong *et al*. 2014; Krogh *et al*. 2015; Tan *et al*. 2015; Ghajarnia *et al*. 2015; Moazami *et al*., 2016; Dembele and Zwart 2016; Duan *et al*. 2016; Ashouri *et al*. 2016)، نوع دوم (Zhao and Fu, 2006; Tianobo, 2006; Morice *et al*., 2012; Harris *et al*., 2013; Harris *et al*., 2015) و نوع سوم (Moreau *et al*., 2003; Dee *et al*., 2011; Kidd *et al*., 2013; Krogh *et al*., 2015; De Leeuw *et al*., 2015, Balsamo *et al*., 2015; Raziei and Sotodeh, 2017) پرداخته‌اند.

برخلاف گروه اول، در زمینه ارزیابی پایگاه‌های بارشی گروه سوم که حاصل باز تحلیل (Reanalysis) مدل‌های عددی هستند تاکنون مطالعات نسبتاً کمی در نقاط مختلف دنیا و به‌ویژه ایران به انجام رسیده است. همان‌طور که عنوان شد، در این پایگاه بارشی از ترکیب پیش‌بینی‌های کوتاه مدت مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا (Numerical Weather Prediction, NWP) با یک مدل LSM و واسنجی آن با داده‌های مشاهداتی بدست آمده از ایستگاه‌های همدیدی زمینی، مقدار بارش و دیگر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی محاسبه می‌شود (Dee *et al*., 2011; Balsamo *et al*., 2015). اولین داده‌های بازتحلیل شده با نام FGGE[1] در سال ۱۹۷۹ ایجاد و در اختیار پژوهشگران قرار گرفت. بعدها با پیشرفت‌هایی که در زمینه امکانات رایانه‌ای، ماهواره‌ای و مدل‌های عددی ایجاد شد، پایگاه‌های بارش قدرتمندی ایجاد گردید که از مهمترین آنها می‌توان به NCEP/NCAR، NASA و ECMWF اشاره نمود. تاکنون تحقیقات متعددی در زمینه ارزیابی پایگاه‌های مذکور در نقاط مختلف دنیا به انجام رسیده است که نتایج حاکی از مقبولیت و کارایی بالای پایگاه ECMWF می‌باشد و به اذعان بسیاری از محققین این پایگاه، مهم‌ترین پایگاه داده بازتحلیل شده در جهان بشمار می‌آید (Moreau *et al*., 2003; Dee *et al*., 2011; Kidd *et al*., 2014; Raziei and Sotodeh, 2017). تاکنون مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی عملکرد این پایگاه اطلاعاتی در بخش‌های مختلف دنیا به انجام رسیده است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

Rubel and Rudolf (2001) داده‌های بارشی ۶ تا ۳۰ ساعته پایگاه بارش ECMWF و مقدار بارش روزانه برآورد شده با پایگاه GPCP را برای منطقه آلپ مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که داده‌های ECMWF نسبت به داده‌های مشاهداتی دارای خطای به مراتب کمتری می‌باشد. Schiemann *et al*. (2008) نیز با ارزیابی داده‌های باز تحلیل شده ECMWF و NCEP/NCAR در آسیای مرکزی به این نتیجه رسیدند که داده‌های ECMWF همبستگی بیشتری با داده‌های زمینی دارد. Belo-Pereira *et al*. (2011) با مقایسه داده‌های بارش Era-Interim و Era-40 با داده‌های بارش شبه‌جزیره ایبریامورد به این نتیجه رسیدند که این داده‌ها از هماهنگی بسیار زیادی با داده‌های منطقه برخوردار می‌باشند. Pena-Arancibia *et al*. (2013) دقت داده‌های بازتحلیل شده پایگاه‌های Era-Interim, ENCEP/NCAR و JRA-25 (داده‌های بازتحلیل شده ژاپن) و نیز منابع بارشی مبتنی بر سنجش از دور TRMM, PERSIAN و CMORPH را در جنوب و شرق آسیا مورد بررسی قرار داند و به این نتیجه رسیدند که پایگاه Era-Interim نسبت به منابع مذکور از دقت بیشتری برخوردار هستند. Krogh *et al*. (2015) در پژوهشی که روی حوضه رودخانه بیکر[2] واقع در پاتاگونیا[3] انجام دادند، به ارزیابی عملکرد داده‌های بارشی بدست آمده از دو منبع

1. First GARP (Global Atmospheric Research Program) Global Experiment
2. Baker
3. Patagonia

ECMWF و CFSR۱ بر عملکرد مدل هیدرولوژیکی CRHM۲ پرداختند. نتایج نشان داد که داده‌های بارش بدست آمده از منبع ECMWF نسبت به دو منبع دیگر از توانایی به مراتب بالاتری برای شبیه‌سازی رواناب برخوردار می‌باشند. De Leeuw *et al.* (2015) نیز به ارزیابی داده‌های بارش بازتحلیل شده ECMWF۳ در سطح کشور 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 بارش-های حدی نیز تفاوت چندان زیادی بین منبع بارشی ECMWF و داده‌های زمینی مشاهده نگردید. Raziei and Sotodeh (2017) به ارزیابی داده‌های بارش ماهانه ۴۵ ایستگاه همدیدی پراکنده در سطح کشور با داده‌های بارش ماهانه Era-Interim پرداخت که نتایج نشان داد در بیش از ۷۰ درصد ایستگاه‌های مورد بررسی عملکرد این پایگاه بسیار قابل توجه می‌باشد به طوریکه ضریب همبستگی بین داده‌های مذکور و داده‌های زمینی برای این ایستگاه‌ها همواره بالاتر از ۰/۷۵ می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که پایگاه Era-Interim بارش ایستگاه‌های ناحیه خزری و برخی ایستگاه‌های ناحیه ساحلی خلیج‌فارس را کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌نماید.

با توجه به توضیحات فوق و استفاده گسترده از داده‌های بازتحلیل شده در نقاط مختلف دنیا، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد پایگاه بارش Era-Interim در حوضه آبریز سفیدرود به انجام رسید است. این حوضه با وسعتی در حدود ۶۱۰۰۰ کیلومترمربع و نیز دارا بودن تنوع اقلیمی و توپوگرافیکی مختلفی یکی از مهمترین حوضه‌های آبریز کشور بشمار می‌آید. توان تفکیک مکانی (۰/۱۲۵ تا ۱ درجه) و زمانی زیاد (۳ ساعته تا سالانه) این پایگاه بارش و نیز تأکید مطالعات پیشین بر دقت بالای آن در بخش‌های مختلف دنیا، یکی از دلایل اصلی انتخاب این پایگاه در پژوهش حاضر می‌باشد. همچنین برای ارزیابی هرچه بهتر این پایگاه بارشی از داده‌های بارش پایگاه TRMM که مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دوری می‌باشد، استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

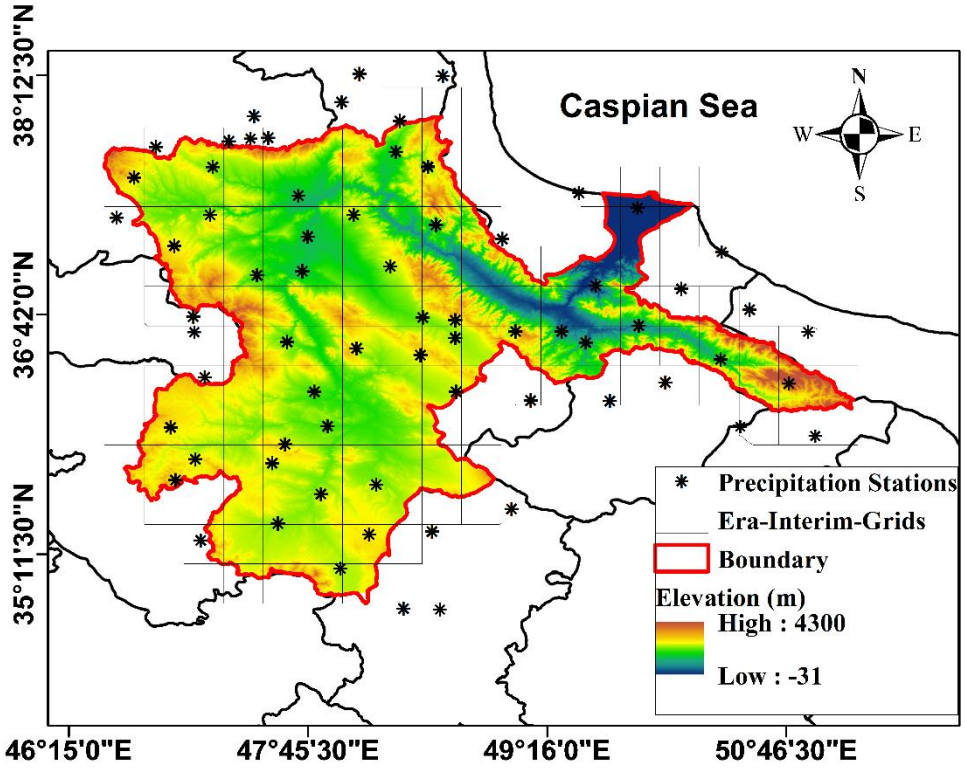
حوضه‌ی آبریز سفیدرود در محل تلاقی رشته کوه‌های البرز، زاگرس و مرکزی بین مختصات جغرافیایی ″۳۹ ′۲۸ °۴۶ تا ″۵۲ ′۱۱ °۵۱ طول شرقی و ″۴۹ ′۵۲ °۳۴ تا ″۴۶ ′۵۶ °۳۷ عرض شمالی قرار دارد. مساحت این حوضه آبریز در حدود ۶۰۴۹۴ کیلومترمربع است که حدوداً ۷۶ درصد آن را مناطق کوهستانی و ۲۴ درصد آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهند. بخش جنوبی آن در دامنه‌های شمال غربی زاگرس قرار داشته و شامل حوضه آبریز قزل اوزن و تروال می‌باشد. بخش میانی آن که در امتداد رشته کوه‌های مرکزی قرار داشته و به قله آتشفشانی سهند منتهی می‌شود، شامل حوضه آبریز رودخانه‌های زنجان، سجاس، قرنقو و آیدغموش است. بخش شرقی آن نیز که شامل حوضه‌های آبریز فیروز آباد، طارم و شاهرود می‌باشد، در امتداد کوه‌های البرز واقع شده است. سفیدرود پرآب‌ترین رودخانه واقع در مناطق مرکزی و شمال ایران می‌باشد. این رودخانه از دو شاخه اصلی بنام قزل اوزن و شاهرود تشکیل می‌شود که در شهر منجیل بهم پیوسته و از آن به بعد سفیدرود نامیده می‌شود. در این پژوهش قسمت سفیدرود- قزل اوزن (واقع در بالادست ایستگاه هیدرومتری گیلوان) مورد مطالعه قرار گرفت. در شکل (۱) نمائی از موقعیت این حوضه آبریز و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی موجود نشان داده شده است. همچنین موقعیت مناطق موردنیاز برای بررسی سلول به سلول عملکرد منبع بارشی ECMWF نسبت به داده‌های زمینی در شکل زیر و با حروف A، B، C و D نشان داده‌شده است. البته لازم به ذکر است که وسعت حوضه مورد مطالعه به‌قدری بزرگ می‌باشد که دربرگیرنده تنوع اقلیمی و توپوگرافیکی مختلفی است و به همین خاطر برای اینکه خروجی‌های تحقیق تنها به ارزیابی متوسط بارش در سطح حوضه معطوف نشود، سعی گردید در بخش‌های مختلف حوضه چند سلول انتخاب شود تا عملکرد پایگاه بارشEra-Interim هرچه بهتر مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به شکل (۱)، نقاط منتخب در بخش‌های جنوبی (مناطق کم ارتفاع و عمدتاً دشتی)، شمالی (مناطق عمدتاً کوهستانی و مرتفع با پوشش‌های گیاهی متراکم)، مرکزی (مناطق کم ارتفاع و عمدتاً دشتی) و غربی (مناطق با ارتفاع نسبتاً زیاد و پوشش گیاهی کم) حوضه واقع شده‌اند.

ایجاد داده‌های شبکه‌بندی شده از روی داده‌های زمینی

از آنجائی که داده‌های بدست آمده از منابع بارشی به صورت شبکه‌بندی شده می‌باشند، بایستی داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی نیز با استفاده از تکنیک‌های درونیابی به صورت شبکه‌بندی شده تبدیل شوند تا بتوان ارزیابی‌ها و مقایسه‌های لازم بین آنها را به خوبی انجام داد. عملکرد هرکدام از روش‌های درونیابی بسته به نوع پدیده موردنظر و تراکم نقاط موجود می‌تواند متفاوت باشد. بررسی‌های صورت گرفته توسط

1. Climate Forecast System Reanalysis
2. Cold Regions Hydrological Model
3. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

محققین مختلف در زمینه ارزیابی کارایی روش‌های مختلف درونیابی برای ساخت نقشه رستری (شبکه‌بندی شده) بارش حاکی از آن است که همواره روش‌های مبتنی بر ارتفاع یا عامل دیگر نمی‌تواند تضمین کننده برتری آن روش به روش‌های ساده‌ای همچون IDW باشد. به‌عنوان‌مثال، Dirks *et al.* (1998) به ارزیابی ۴ روش مختلف درونیابی جهت ساخت نقشه توزیع مکانی بارش در حوضه نورفولک پرداختند که نتایج نشان داد روش کریجینگ دارای برتری چندان معنی‌داری بر روش‌های IDW، پلیگون تیسن و روش متوسط وزنی نمی‌باشند. همچنین Hsieh *et al.* (2006) با استفاده از داده‌های روزانه ۲۰ ایستگاه بارشی مختلف در حوضه آبریزی در کشور تایوان به این نتیجه رسیدند که روش IDW نتایج (نقشه توزیع مکانی بارش) به مراتب بهتری را نسبت به کریجینگ معمولی (Ordinary Kriging) بدست می‌دهد. Ly *et al.* (2011) نیز با ارزیابی روش‌های IDW، پلیگون تیسن و روش‌های مختلف کریجینگ و کوکریجینگ به این نتیجه رسیدند که لحاظ نمودن اثر ارتفاع در روش‌هایی همچون کرجینگ و کوکریجینگ، دقت روش‌های درونیابی را بهبود چندان معنی‌داری نبخشیده است. همچنین نتایج نشان داد که روش IDW علی‌رغم عدم لحاظ نمودن ارتفاع از قابلیت کاربرد مطلوبی برخوردار می‌باشد. با توجه به توضیحات فوق، در پژوهش حاضر و با توجه به ساختار ساده‌تر روش IDW و نیز پیاده‌سازی راحت‌تر آن در بستر GIS، از آن به عنوان روش درونیابی برای ساخت شبکه رستری بارش بر اساس داده‌های زمینی استفاده شد (پیاده‌سازی روش درونیابی مذکور در بستر بسته نرم‌افزاری متن باز کوانتوم GIS (QGIS) و با استفاده از آمار روزانه بارش ۷۸ ایستگاه هواشناسی در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ صورت گرفت). همچنین برای ارزیابی بهتر عملکرد پایگاه ECMWF، ابعاد سلولی مورد استفاده برای ساخت شبکه بارشی از روی داده‌های زمینی، ۰/۲۵ درجه اختیار گردید. در این روش درون‌یابی از عامل معکوس مجذور فاصله به عنوان عامل وزنی در درون‌یابی داده‌های هواشناسی مطابق رابطه (۱) استفاده شده است. جهت تعیین داده‌های هواشناسی در هر سلول، فاصله به‌صورت فاصله بین مرکز سلول و مکان ایستگاه‌های هواشناسی در نظر گرفته شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز سفیدرود و نحوه توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی

$$Y_{ISD} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Y_i}{d_i^2}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i^2}} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در رابطه فوق، Y_{ISD}: مقادیر داده‌های هواشناسی هر سلول حاصل از روش معکوس مجذور فاصله، Yi: مقادیر داده‌های هواشناسی در ایستگاه iام، di: فاصله بین مرکز هر سلول با ایستگاه iام و n: تعداد ایستگاه‌های دخیل در درون‌یابی (Xie *et al.*, 2007).

شاخص‌های آماری مورد استفاده برای ارزیابی پایگاه بارش ECMWF

در این پژوهش برای ارزیابی پایگاه بارش ECMWF از دو مجموع از شاخص‌ها 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، POD و FAR می‌باشند (جدول ۱). در جدول (۱)، Robs: مقادیر مشاهداتی، Rsat: مقادیر شبیه‌سازی، $\bar{R}_{obs}$: میانگین مقادیر مشاهداتی، $\bar{R}_{sat}$: میانگین مقادیر شبیه‌سازی توسط پایگاه داده موردنظر و n: تعداد داده‌های بارشی در طول بازه زمانی می‌باشند. از بین شاخص‌های جدول (۱) شاخص‌های ۱ تا ۳ بر اساس مقدار بارش برآوردی تعیین می‌شوند، درحالی‌که شاخص‌های ۴ تا ۶ بر اساس رخداد و عدم رخداد بارش تعیین می‌شوند. یکی از ساده‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی دقت رویدادهای پیش‌بینی شده توسط یک منبع بارشی، شاخص Accuracy می‌باشد که نشان‌دهنده کسری از همه پیش‌بینی‌های درست است (Ebert *et al.*, 2007; Lo Conti *et al.*, 2014). محدوده عددی این شاخص بین صفر تا ۱ می‌باشد که در بهترین وضعیت مقدار ۱ را به خود اختصاص می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر هر چه مقدار این شاخص به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، دقت منبع بارش ماهواره‌ای بالاتر 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 صحیح‌تر است. شاخص FAR نیز به عنوان معیاری جهت بررسی عملکرد پایگاه بارشی در تشخیص‌های اشتباه می‌باشد. یعنی مواقعی وجود دارد که در ایستگاه‌های زمینی بارشی ثبت نشده است ولی پایگاه بارش وقوع بارندگی را به اشتباه ثبت نموده است. 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 (Ebert *et al.*, 2007; Lo Conti *et al.*, 2014).

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

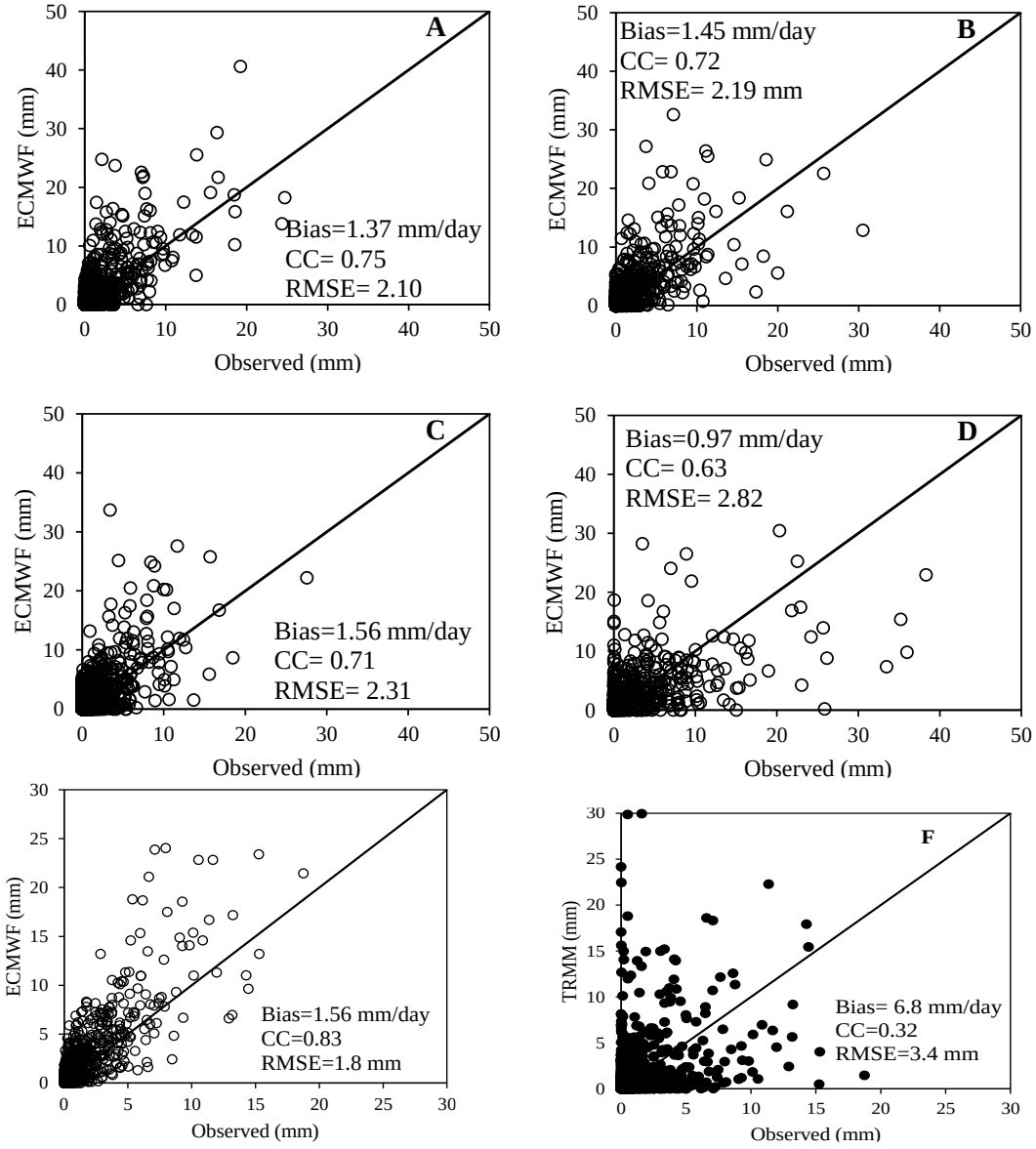
No	Measure	Equation
1	Root Mean Square Error	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{R}_{obs}-\mathrm{R}_{sat})^2}$
2	Correlation Coefficient	$CC = \frac{\sum_{i=1}^{n}(R_{obs}-\bar{R}_{obs})(R_{sat}-\bar{R}_{sat})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(R_{obs}-\bar{R}_{obs})^2\sum_{i=1}^{n}(R_{sat}-\bar{R}_{sat})^2}}$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

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد پایگاه بارش ECMWF نسبت به داده‌های زمینی

به منظور بررسی دقیق‌تر میزان کارایی پایگاه بارش مورد استفاده در این پژوهش، نمودار پراکنش اطلاعات برای چند سلول مختلف ترسیم گردید (سلول‌های A، B، C و D که بر روی شکل (۱) نیز نشان داده شده‌اند) که نتایج آن در شکل‌های (۲ و ۳) نشان داده شده است. برای ارزیابی کلی این پایگاه از متوسط اطلاعات بارش بدست آمده در سطح حوضه نسبت به متوسط داده‌های مشاهداتی نیز در دو مقیاس روزانه (شکل 2-E) و ماهانه (3-E) استفاده بعمل آمد. همچنین لازم به ذکر است که منظور از متوسط داده‌های مشاهداتی در سطح حوضه این است که ابتدا سری زمانی بارش برای تمامی سلول‌ها و از روی شبکه رستری بارش زمینی (بدست آمده از تکنیک درونیابی IDW) و پایگاه Era-Interim استخراج و سپس با متوسط‌گیری تمامی آن‌ها متوسط سری زمانی بارش در سطح حوضه برای هر دو منبع مذکور بدست آمد (شکل 2-E و

3-E). همچنین برای ارزیابی هرچه بهتر عملکرد داده‌های بازتحلیل شده Era-Interim از داده‌های بارش مبتنی بر تکنیک سنجش از دور TRMM نیز استفاده بعمل آمد (شکل 2-F) که در ادامه به بررسی نتایج مربوط به آن نیز پرداخته شده است.



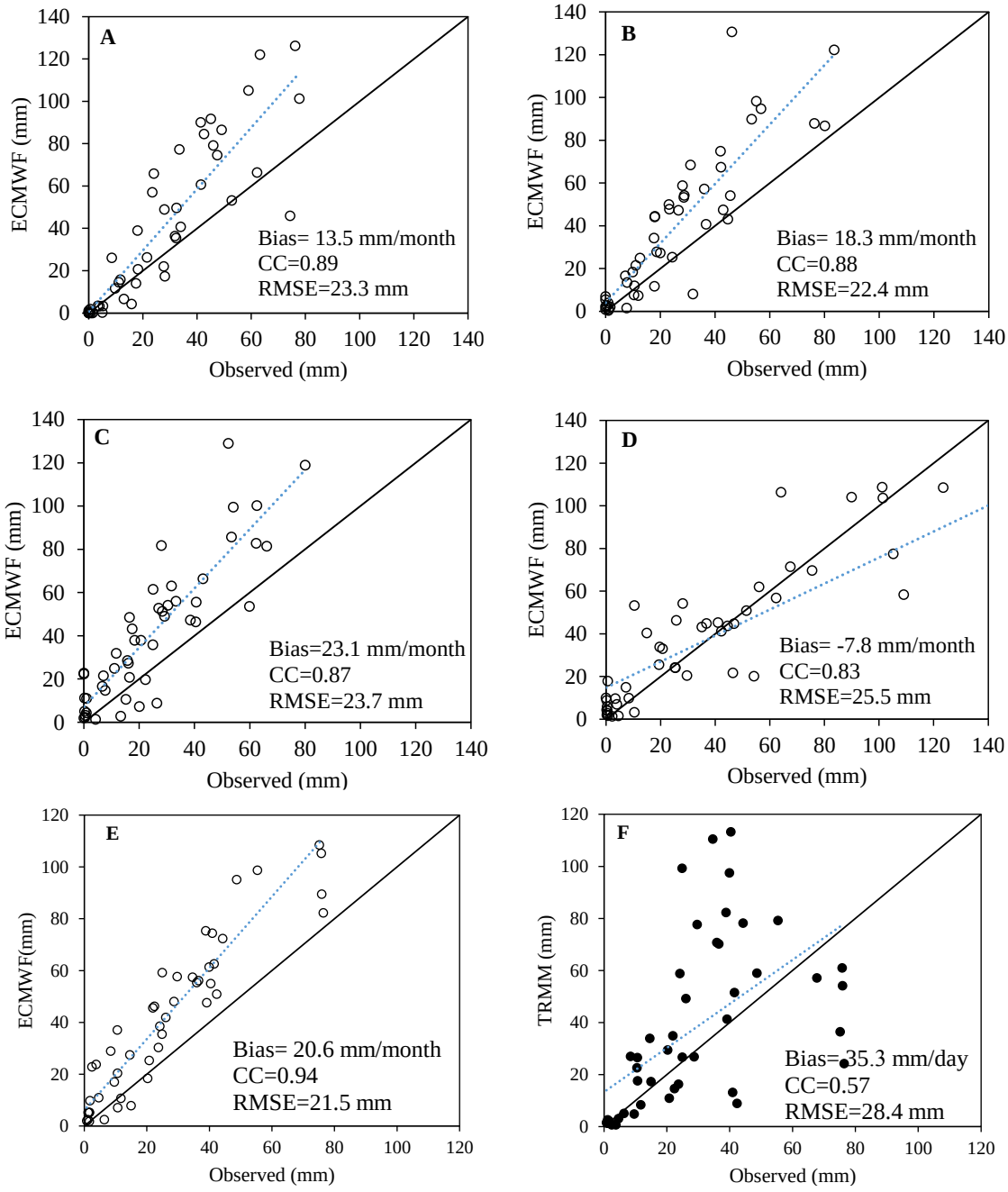
شکل ۲- عملکرد پایگاه بارش ECMWF در بخش‌های مختلف حوضه آبریز سفیدورود (مقیاس روزانه)

نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های آماری مربوط به پایگاه بارش ECMWF در مقیاس روزانه، حاکی از عملکرد بالای آن دارد. طبق محاسبات صورت گرفته در این گام زمانی، در سطح حوضه آبریز سفیدرود شاخص CC همواره بالاتر از ۰/۶ می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر این است که این پایگاه بارش در تشخیص بارش‌های کمتر از ۲ میلی‌متر در روز در سطح حوضه آبریز سفیدرود دارای خطا بوده و روزهای موردنظر را بدون بارش تشخیص می‌دهد. بررسی مقدار شاخص Bias نیز (که نشان‌دهنده متوسط اختلاف بین مقادیر بارش مشاهداتی و ماهواره‌ای است) حاکی از آن است که این پایگاه بارشی تقریباً در تمامی سطح حوضه، تمایل به بیش برآوردی داشته و مقدار بارش را بیشتر از آنچه که در ایستگاه‌های زمینی ثبت شده، برآورد نموده است. لازم به ذکر است که با اصلاح این پایگاه بارشی بر اساس روابط همبستگی موجود (در شکل (۲) قابل مشاهده است) می‌توان مقدار شاخص Bias را تا حد زیادی کاهش داد. 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 پایگاه اطلاعاتی ارزشمند نسبت به داده‌های زمینی در مقیاس زمانی روزانه می‌باشد. بررسی مقادیر بدست آمده در این پژوهش با تحقیقات صورت گرفته توسط پژوهشگران مختلف همخوانی مناسبی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، Dezfuli *et al.* (2016) با ارزیابی داده‌های بارشی مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دوری مانند PERSIAN و TRMM نشان دادند که مقدار شاخص RMSE در مقیاس روزانه و در حوضه آبریزی همچون گرگان‌رود بین ۲/۹ تا ۵/۴ میلی‌متر متغیر می‌باشد. همچنین تحقیقات Khodadost *et al.* (2017) نیز حاکی از آن است که مقدار شاخص RMSE مربوط به منابع بارشی TRMM و IMERG در حوضه‌های آبریز استان خراسان رضوی و در مقیاس روزانه به ترتیب معادل ۱/۸ و ۱/۹ میلی‌متر می‌باشد. بررسی نتایج بدست آمده از ارزیابی پایگاه بارشی TRMM در سطح حوضه آبریز سفیدرود نیز حاکی از عملکرد ضعیف آن نسبت به پایگاه ECMWF می‌باشد. همان‌طور که در شکل (2-F) نشان داده شده است، متوسط ضریب همبستگی بین داده‌های زمینی و داده‌های بازتحلیل شده Era-Interim نسبت به مقادیر متناظر بدست آمده از کاربرد پایگاه بارش TRMM در حدود ۲/۶ برابر می‌باشد که این خود حاکی از برتری قابل توجه پایگاه‌های بارشی باز تحلیل شده نسبت به روش‌های مبتنی بر سنجش از دور دارد. همچنین بر اساس شاخص Bias، پایگاه بارشی TRMM دارای انحراف قابل توجهی در برآورد بارش می‌باشد که این مقدار تقریباً بیش از ۴ برابر عملکرد ECMWF می‌باشد.

عملکرد پایگاه بارش ECMWF در تخمین مقدار بارش ماهانه نیز حاکی از وجود همبستگی بسیار بالا با داده‌های مشاهداتی می‌باشد، بطوریکه ضریب همبستگی در عمده سلول‌های حوضه بالاتر از ۰/۸ می‌باشد. همچنین میزان ضریب هبستگی بین داده‌های متوسط‌گیری شده در سطح حوضه و داده-های مشاهداتی در حدود ۰/۹۴ می‌باشد که این خود به‌خوبی گویای عملکرد بسیار بالای این پایگاه در تخمین بارش ماهانه در سطح حوضه موردمطالعه است. محاسبات مربوط به شاخص Bias نیز نشان می‌دهد که همچون مقیاس زمانی روزانه، در مقیاس ماهانه نیز پایگاه بارش ECMWF مقدار بارش را بیشتر از آنچه که در سطح زمین ثبت شده، برآورد می‌نماید. اما نکته قابل‌توجه این است که این بیش‌برآوردی در این گام زمانی به مراتب کمتر از گام زمانی روزانه است. طبق محاسبات صورت گرفته مقدار شاخص Bias در سطح حوضه بین ۳/۹ تا ۳۳ میلی‌متر در ماه متغیر بوده و مقدار متوسط آن در سطح حوضه در حدود ۲۰/۶ میلی‌متر در ماه می‌باشد. همانطور که عنوان شد، پایگاه مذکور تقریباً در بیشتر موارد مقدار بارش را بیش‌برآورد نموده که این مسئله در بارش‌های بزرگتر از ۲۰ میلی‌متر نمود بیشتری دارد. همچنین محاسبات صورت گرفته نشان می‌دهد که مقدار شاخص آماری RMSE در سطح حوضه آبریز سفیدرود و در مقیاس ماهانه بین ۱۸ تا ۲۷ میلی‌متر متغیر می‌باشد که نسبت به نتایج بدست آمده از مطالعات Miri *et al.* (2016) بسیار کمتر می‌باشد. زیرا این محققین با ارزیابی کارایی منابع بارشی TRMM و GPCC در سطح کشور ایران و در مقیاس ماهانه نشان دادند که در محدوده حوضه آبریز سفیدرود مقدار شاخص RMSE بین ۲۰ تا ۳۵ میلی‌متر متغیر می‌باشد.

همانطور که پیش‌تر نیز عنوان شد، در این پژوهش برای ارزیابی هرچه بهتر پایگاه بارشی مذکور از داده‌های پایگاه بارش TRMM نیز استفاده گردید. در شکل (3-F) نمودار پراکنش مقادیر بارش ماهانه داده‌های مشاهده‌ای و مقادیر بدست آمده از پایگاه TRMM نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور، اگرچه در گام زمانی ماهانه میزان همبستگی بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای (بر اساس متوسط داده‌های بارشی حوضه) افزایش یافته و به مقدار ۰/۵۷رسیده است، اما پایگاه بارشی ECMWF با دارا بودن ضریب همبستگی معادل ۰/۹۴ از برتری قابل توجهی برخوردار است. پایگاه بارشی TRMM نیز همچون ECMWF عمدتاً تمایل به بیش‌برآوردی بارش به ویژه در بارش-های حدی داشته و با توجه به مقدار شاخص Bias، این پایگاه بارشی از میزان خطا و انحراف زیادی در تخمین بارش برخوردار می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، پایگاه بارش Era-Interim علی‌رغم تمایل به بیش برآوردی بارش، دارای عملکرد قابل قبولی نسبتاً به پایگاه‌های بارش دیگر بوده و در مقیاس زمانی ماهانه دارای عملکرد بهتری نسبت به گام زمانی روزانه برخوردار است. هرچند با تحصیح اریبی بر روی این پایگاه بارشی می‌توان عملکرد آن را تا حد قابل توجهی بهبود بخشید. لذا چنانچه محقق یا پژوهشگری در حوضه فاقد آماری بخواهد یک پایگاه بارشی از میان چندین پایگاه بارشی موجود (خواه ایستگاه مبنا، خواه مدل مبنا و خواه مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور) را برای هدف موردنظر (شبیه‌سازی رواناب، برآورد بیلان و یا محاسبه شاخص-های خشکسالی) انتخاب نماید، پایگاه بارشی Era-Interim می-تواند یکی از گزینه‌های مناسب مدنظر قرار گیرد.



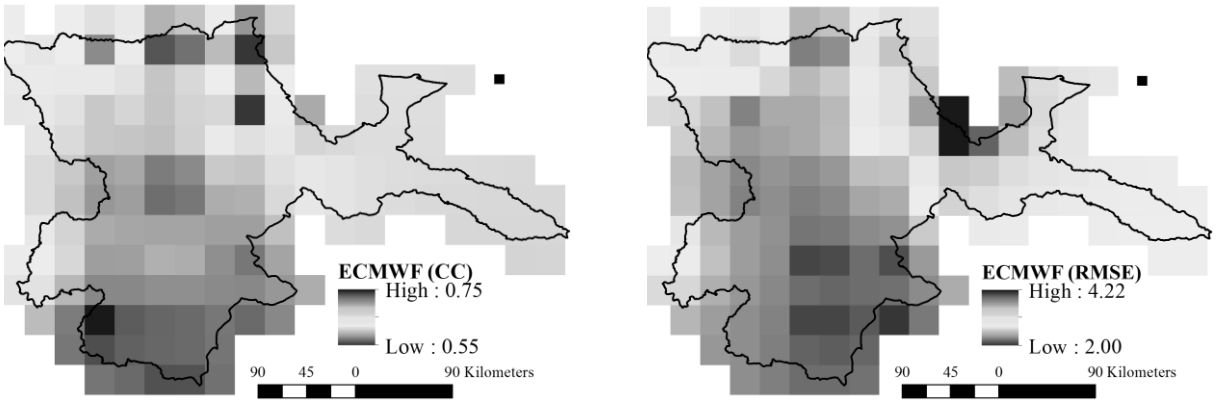
شکل ۳- عملکرد پایگاه بارش ECMWF در تخمین بارش در سطح حوضه سفیدورود (مقیاس ماهانه)

تحلیل مکانی[1] پایگاه بارش ECMWF در سطح حوضه

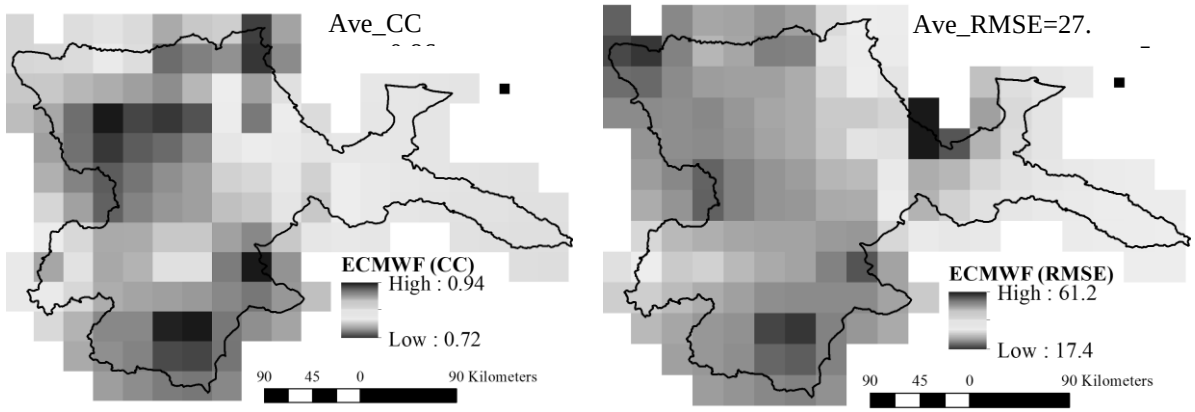
دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است و امروزه با اطمینان در مورد صحیح بـودن اطلاعات بارش ماهواره‌ای خاص، نمی‌توان اظهارنظر نمود (Ashouri *et al.*, 2015; Duan *et al.*, 2016) و لذا قبل از استفاده بایستی صحت آن‌ها در منطقه مطالعاتی مورد ارزیابی قرار گیرد. یکی از روش‌های مناسب برای ارزیابی دقت هرکدام از پایگاه‌های بارشی در منطقه موردنظر، بررسی و تحلیل مکانی داده‌های بدست آمده از منابع بارشی مختلف می‌باشد. در این پژوهش مقادیر شاخص‌های آماری CC و RMSE برای تمامی سلول‌ها محاسبه و نتایج آن به‌صورت مکانی و در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه تهیه گردید که در شکل‌های (۴ و ۵) قابل مشاهده می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که برای محاسبه شاخص‌های مذکور، ابتدا با استفاده از روش درونیابی IDW که پیشتر در مورد آن توضیح داده شد، نقشه شبکه‌بندی شده بارش از روی ایستگاه‌های هواشناسی واقع در حوضه مورد مطالعه (۷۸ ایستگاه) ایجاد گردید. سپس سری زمانی بارش مربوط به هر سلول از شبکه رستری مذکور استخراج و با سری زمانی بدست آمده از پایگاه بارش Era-Interim مقایسه و

1. Spatial Analysis

شاخص‌های آماری CC و RMSE برای هر کدام محاسبه گردید. با مشخص شدن شاخص‌های مذکور برای تمامی سلول‌ها به راحتی می‌توان روند تغییرات مکانی آن‌ها را در سطح حوضه بررسی نمود.



شکل ۴- تغییرات مکانی شاخص‌های آماری CC و RMSE پایگاه بارش ECMWF در سطح حوضه سفیدورود (در مقیاس روزانه)



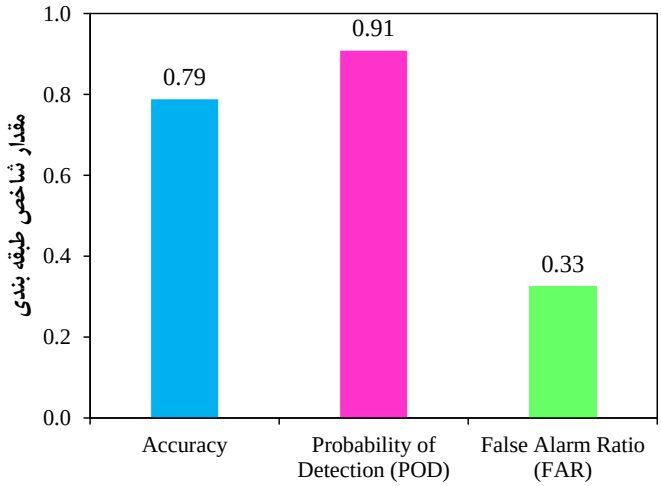
شکل ۵- تغییرات مکانی شاخص‌های آماری CC و RMSE پایگاه بارش ECMWF در سطح حوضه سفیدورود (در مقیاس ماهانه)

بررسی شاخص آماری CC برای تمامی سلول‌های محاسباتی در سطح حوضه سفیدرود و در مقیاس زمانی روزانه حاکی از آن است که داده‌های بدست آمده از پایگاه بارش ECMWF از همبستگی مناسبی با داده‌های زمینی برخوردار می‌باشند، به‌طوری‌که در این مقیاس مقدار این شاخص در کل حوضه بین ۰/۴ تا ۰/۸ متغیر می‌باشد. با توجه به شکل (۴) عملکرد پایگاه ECMWF در مناطق جنوبی و تا حدی مرکزی حوضه آبریز سفیدرود قابل توجه بوده، به‌طوری‌که 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. با توجه به شکل (۴)، مقدار این شاخص در بخش‌های جنوبی، مرکزی و غربی حوضه دارای کمترین مقدار بوده و در عین حال مقدار همبستگی بین داده‌های زمینی و داده‌های بازتحلیل شده بالاترین مقدار می‌باشد. همانطور که پیش‌تر نیز عنوان شد نتایج بدست آمده با تحقیقات انجام شده در حوضه‌های مشابه (Dezfuli *et al*., 2016; Khodadost *et al*., 2017) همخوانی داشته و حتی از نظر مقدار شاخص RMSE، عملکرد پایگاه ECMWF نسبت به آن‌ها بسیار بهتر می‌باشد. در مقیاس زمانی ماهانه نیز عملکرد این پایگاه بارشی به داده‌های زمینی بسیار نزدیک بوده (به ویژه بخش‌های واقع در جنوب، مرکز و غرب حوضه سفیدرود) بطوریکه میزان شاخص CC در سطح حوضه بین ۰/۷۲ تا ۰/۹۴ متغیر می‌باشد. با توجه به توضیحات فوق می‌توان چنین استنباط نمود که این پایگاه اطلاعاتی ارزشمند از کفایت بسیار مناسبی برای تخمین مقدار بارش در هر دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه برخوردار می‌باشد.

ارزیابی عملکرد پایگاه بارش ECMWF بر اساس شاخص‌های آماری طبقه‌بندی

همانطور که عنوان شد، در این پژوهش و برای ارزیابی عملکرد پایگاه بارش ECMWF از شاخص‌های طبقه‌بندی Accuracy،

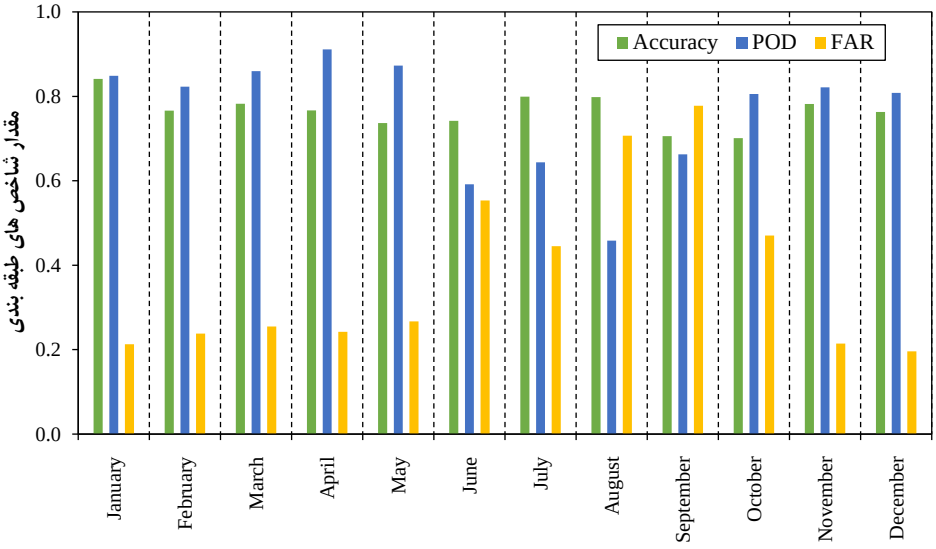
POD و FAR نیز استفاده بعمل آمد که نتایج آن برای مقیاس‌های روزانه و ماهانه به ترتیب در شکل‌های (۶ و ۷) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، در مقیاس روزانه و بر اساس شاخص Accuracy، پایگاه بارش ECMWF دارای عملکرد بالایی از نظر پیش‌بینی‌های صحیح بارش می‌باشد. متوسط این شاخص در سطح حوضه سفیدرود معادل ۰/۷۹ می‌باشد. همچنین طبق محاسبات صورت گرفته مقدار متوسط شاخص FAR در سطح حوضه سفیدرود در حدود ۳۰ درصد است که به نسبت مطالعات پیشین، این پایگاه اطلاعاتی دارای خطای کمی در زمینه گزارش‌های اشتباه است. به عنوان مثال، تحقیقات Dezfuli *et al.* (2016) بر روی پایگاه‌های بارش TRMM و PERSIAN نشان داد که مقدار شاخص FAR در آنها به ترتیب معادل ۶۳ و ۶۹ درصد می‌باشد. همچنین Sharifi *et al.* (2016) نیز با ارزیابی بارش‌های بدست آمده از دو پایگاه IMERG و TRMM مقدار شاخص FAR را به ترتیب معادل ۳۹ و ۷۵ درصد گزارش نمودند. همین مسئله حاکی از توانائی بالای پایگاه ECMWF در تشخیص روزهای بارانی می‌باشد و به نظر می‌رسد می‌توان از آن در سامانه‌های پیش‌بینی (مانند: پیش‌بینی بارش، سیستم هشدار سیل، پایش خشک‌سالی و . . .) استفاده نمود. همچنین در زمینه تشخیص صحیح وقوع بارش (بر اساس شاخص POD)، پایگاه بارش ECMWF دارای عملکرد بسیار مناسبی می‌باشد.



شکل ۶- تغییرات مکانی شاخص‌های طبقه‌بندی در سطح حوضه سفیدرود (در مقیاس روزانه)

نتایج بدست آمده در گام زمانی ماهانه نیز حاکی از آن است که پایگاه بارش ECMWF با دارا بودن متوسط شاخص Accuracy معادل ۰/۷۷ دارای عملکرد بالایی در پیش‌بینی صحیح رخدادهای بارشی می‌باشد. بر اساس عملکرد پایگاه در شناسایی صحیح روزهای بارانی (POD)، نتایج حاکی از آن است که این منبع در بیش از ۷۵ درصد مواقع، روزهای بارانی را درست پیش‌بینی نموده است که همین مسئله نشان می‌دهد این پایگاه از قابلیت کاربردی قابل قبولی در سیستم‌های هشدار سیلاب (به ویژه در حوضه‌های بزرگ مقیاس) برخوردار می‌باشد. همچنین بررسی شاخص FAR نیز حاکی از آن است که عملکرد پایگاه بارش ECMWF قابل قبول بوده و تقریباً در ۳۴ درصد مواقع، رخداد بارشی به اشتباه گزارش شده است. همچنین لازم به ذکر است که مقدار شاخص FAR برای پایگاه ECMWF در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، نوآمبر و دسامبر (که تقریباً جزء ماه‌های پر بارش هستند) همواره کمتر از ۰/۳ می‌باشد که حاکی از عملکرد بسیار بالای این پایگاه در عدم گزارش اشتباه روزهای بارانی می‌باشد. طبق تحقیقات انجام شده (Greene and Morrissey, 2000; Steiner *et al.*, 2003; Hong *et al.*, 2006; AghaKouchak *et al.*, 2009; Dembele and Zwart 2016; Duan *et al.* 2016; Ashouri *et al.* 2016)، عمده پایگاه‌های بارشی مبتنی بر سنجش از دور در شناسایی روزهای بارانی در ماه‌های گرم سال (جون، جولای، اوت، سپتامبر و اکتبر) دارای عملکرد ضعیفی هستند. همین مسئله برای پایگاه مذکور نیز صادق است. همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است، در ماه‌های گرم سال (ژوئن، جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر) مقدار شاخص FAR بالا بوده به طوریکه در ماه آگوست و سپتامبر میزان گزارش‌های اشتباه به بالای ۷۰ درصد نیز می‌رسد. 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 مسئله می‌تواند موجب کاهش دقت آن‌ها در تخمین ضخامت ابر و مقدار بارش

شود (Kidd *et al*., 2013; De Leeuw *et al*. 2015). همانطور که ملاحظه می‌گردد، پایگاه بارش ECMWF با ترکیب خروجی مدل‌های گردش عمومی جو و مدل‌های سطح زمین و واسنجی نتایج آن‌ها با استفاده از داده‌های زمینی، عملکرد بسیار مناسبی را به ویژه در تخمین بارش بدست می‌دهد.



شکل ۷- مقادیر شاخص‌های آماری طبقه‌بندی بدست آمده در سطح حوضه آبریز سفیدرود و در ماه‌های مختلف سال

بحث و نتیجه گیری

بارندگی به دلیل تغییرات مکانی و زمانی، از اهمیت زیادی در مطالعات منابع آب، کشاورزی و هیدرولوژی برخوردار است. بنابراین داشتن اطلاعات بارندگی با گستردگی مکانی و زمانی بالا در بررسی تغییرات اقلیمی و مطالعات پایه منابع آب از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است. تکنیک‌های ماهواره‌ای و سنجش از دور، در کنار مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) قابلیت تهیه اطلاعات اقلیمی به‌خصوص بارش را برای گستره‌های زمانی و مکانی مختلف ایجاد نموده‌اند. استفاده از این منابع بارشی که هر کدام دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشند، بدون ارزیابی و مقایسه با داده‌های زمینی چندان معقول و کاربردی به نظر نمی‌رسد. یکی از مهم‌ترین منابع بارشی که در حال حاضر از کاربرد زیادی در سطح جهان برخوردار می‌باشد، منبع بارشی باز تحلیل شده Era-Interim پایگاه اطلاعاتی ECMWF اتحادیه اروپا می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی این پایگاه اطلاعاتی در سطح حوضه آبریز سفیدرود در گام‌های زمانی روزانه و ماهانه به انجام رسیده است. همچنین برای ارزیابی هرچه بهتر این پایگاه بارشی از داده‌های بارشی مبتنی بر سنجش از دور TRMM نیز استفاده بعمل آمد. نتایج بدست آمده در سطح حوضه آبریز سفیدرود نشان داد که پایگاه بارشی باز تحلیل شده Era-Interim دارای همبستگی بسیار زیادی با داده‌های زمینی می‌باشد. به عنوان مثال در دو گام زمانی روزانه و ماهانه مقدار شاخص CC به ترتیب معادل ۰/۸۶ و ۰/۹۴ بدست آمد، در حالیکه در پایگاه بارشی TRMM این مقادیر به ترتیب معادل ۰/۳۲ و ۰/۵۷ بدست آمد. همانطور که ملاحظه می‌گردد داده‌های بازتحلیل شده به علت لحاظ نمودن اثر داده‌های زمینی در مرحله صحت‌سنجی مدل‌های گردش عمومی جو و مدل‌های سطح زمین، از عملکرد بهتری در تخمین مؤلفه‌های هیدرولوژیکی همچون بارش برخوردار می‌باشند و این درحالیست که پایگاه‌های بارشی مبتنی بر سنجش از دور تنها بر اساس تخمین ضخامت ابر و میزان آب قابل بارش توسط آن، بارش را برآورد می‌نمایند. همچنین بررسی توزیع مکانی تغییرات ضریب همبستگی در سطح حوضه حاکی از وجود ارتباط بسیار نزدیک با داده‌های زمینی و پایگاه ECMWF در عمده مناطق حوضه به ویژه در بخش‌های جنوبی، مرکز و غربی می‌باشد.

یکی از علت‌های اصلی این عملکرد بسیار قابل توجه را می‌توان به ساختار مبتنی بر داده گواری (Data Assimilation) 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 مولفه‌های هیدرولوژیکی مهمی همچون: رطوبت خاک، رواناب سطحی، تبخیر و تعرق و . . . بهبود می‌بخشد. علی‌رغم وجود همبستگی بسیار بالا بین این پایگاه بارش و داده‌های زمینی، پایگاه ECMWF همواره تمایل به بیش برآوردی بارش داشته و در بیشتر بخش‌های حوضه مقدار بارش بیشتر از مقدار واقعی ثبت شده در سطح زمین می‌باشد که یکی از علت‌های اصلی آن را نیز می‌توان به عدم توانائی مدل

عددی مورد استفاده در پایگاه Era-Interim جهت لحاظ نمودن شرایط پیچیده توپوگرافی در یک منطقه مرتبط نمود. به‌طورکلی مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا در مراکزی همچون ECMWF حتی NCEP/NCAR توانایی و دقت خوبی در شبیه-سازی بارش‌های همرفتی و اروگرافیک ندارند. موارد مذکور موجب می‌شود که پایگاه مذکور در برآورد مقادیر بارش به ویژه بارش‌های حدی (که از اهمیت زیادی در سامانه‌های پیش‌بینی سیلاب و خشک‌سالی برخوردار هستند) دارای عملکرد ضعیف‌تری باشد. لذا برای رسیدن به مقادیر صحیح بارش در یک منطقه خاص توصیه می‌شود ابتدا با استفاده از داده‌های زمینی موجود، میزان تصحیح اریبی پایگاه بارش ECMWF محاسبه و سپس از آن استفاده شود.

همچنین در هر دو گام زمانی روزانه و ماهانه این پایگاه از توانائی بسیار مناسبی در پیش‌بینی صحیح وقوع یا عدم وقوع بارش و ثبت گزارش‌های اشتباه کم از وقوع بارندگی، برخوردار می‌باشد. طبق نتایج بدست آمده در گام زمانی روزانه، متوسط مقدار شاخص طبقه‌بندی FAR که مبین درصد گزارش‌های اشتباه می‌باشد، در سطح حوضه آبریز سفیدرود در حدود ۳۰ درصد می‌باشد که در مقایسه با دیگر پایگاه‌های بارش بسیار مطلوب می‌باشد. در گام زمانی ماهانه نیز اگرچه پایگاه مذکور دارای عملکرد مناسبی است ولی در ماه‌های گرم سال میزان شاخص مذکور به بالای ۷۰ درصد نیز می‌رسد. با توجه به توضیحات مذکور چنین می‌توان برداشت نمود که پایگاه بارش ECMWF دارای عملکرد بسیار مناسبی در سطح حوضه آبریز سفیدرود بوده و لذا در حوضه‌های فاقد آمار مشابه با حوضه مذکور و یا در مدلسازی‌های هیدرولوژیکی که نیازمند داده‌های بارشی دقیق‌تری هستند این پایگاه بارشی می‌تواند به عنوان یکی از منابع بارشی توانمند مدنظر قرار گیرد. هرچند ذکر این نکته نیز ضروریست که پایگاه مذکور قبل از استفاده بایستی در حوضه موردنظر مورد ارزیابی قرار گیرد تا از خطاهای احتمالی موجود در مطالعات جلوگیری بعمل آید.

REFERENCES

AghaKouchak, A, Nasrollahi, N. and Habibi, E. (2009). Accounting for uncertainties of the TRMM satellite estimates. Remote sensing. 1(3): 606-619.

Ashouri, H., P. Nguyen, A. Thorstensen, K.-l. Hsu, S. Sorooshian and D. Braithwaite. (2016). Assessing the Efficacy of High-Resolution Satellite-Based PERSIANN-CDR Precipitation Product in Simulating Streamflow. Journal of Hydrometeorology. 17(7): 2061-2076.

Bajracharya, S.R., Shrestha, M.S. and Shrestha, A.B. (2014). Assessment of high-resolution satellite rainfall estimation products in a streamflow model for flood prediction in the Baghmati basin, Nepal. Journal of Flood Risk Management. 10: 5-16.

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. and Vitart, F. (2015). ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set, Hydrology and Earth System Science. 19: 389-407.

Bohnenstengel, S., Schlüenzen, K.H. and Beyrich, F. (2011). Representatively of in situ precipitation measurements - a case study for the LITFASS area in North-Eastern Germany. Journal of Hydrology. 400 (3-4): 387-395.

De Leeuw, J., J. Methven., and M. Blackburn. (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., S. Uppala, A. Simmons, P. Berrisford, P. Poli, S. Kobayashi, U. Andrae, M. Balmaseda, G. Balsamo., and P. Bauer. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 137: 553–597.

Dembele, M., and S. J. Zwart. (2016). Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso, West Africa. International Journal of Remote Sensing. 37(17): 3995-4014.

Dezfuli, D., Hosseini-Moghari, S.M., and Ebrahimi, K. (2016). Comparison of TRMM-3B42 V7 and PERSIANN Satellites Precipitation Data with Ground-Based Data (Case study: Gorganrood Basin, Iran). J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour. Water and Soil Sci., 20(6): 10-22 (In Farsi).

Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., Chiogna, C., and 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.

Ebert, E.E., Janowiak, J.E. and Kidd, C. (2007). Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. American Meteorological Society. 88: 47-64.

Ghajarnia, N., Liaghat, A., and Arasteh, P. D. (2015). Comparison and evaluation of high resolution precipitation estimation products in Urmia BasinIran. Atmospheric Research.158: 50-65.

Greene, J. and Morrissey, M. (2000). Validation and Uncertainty Analysis of Satellite Rainfall Algorithms. The Professional Geographer. 52: 247–258.

Hsieh, H.H., Cheng S. J., Liou, J.Y., Chou, S.C., and Siao, B. R. (2006). Characterization of spatially distributed summer daily rainfall. Journal of Chinese Agricultural Engineering. 52: 47–55.

Hargreaves, G.H. and Z.A. Samani. (1985). Reference

crop evapotranspiration from temperature. Transaction of ASCE. 1(2): 96-99.

Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J., Lister, D.H. (2013). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations the CRU TS3.10 Dataset. International Journal of Climatology. 34: 623–642.

Harris, I.C., and Jones, P.D. (2015). CRU TS3.23: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 3.23 of High Resolution Gridded Data of Month-by-month Variation in Climate (Jan. 1901 - Dec. 2014). Centre for Environmental Data Analysis.

Hong, Y., K. Hsu, H. Moradkhani. and S. Sorooshian. (2006). Uncertainty Quantification of Satellite Precipitation Estimation and Monte Carlo Assessment of the Error Propagation into Hydrologic Response. Water Resources Research. 42: W08421.

Hughes, D.A. (2006). Comparison of satellite rainfall data with observations from gauging station networks. J. Hydrol. 327: 399–410.

Javanmard, S., A. Yatagai, M. Nodzu, J. BodaghJamali., and H. Kawamoto. (2010). Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM_3B42 over Iran. Advances in Geosciences. 25: 119-125.

Dirks, K. N., Hay, J. E., Stow C. D., and Harris, D., (1998). High resolution studies of rainfall on Norfolk island part II: interpolation of rainfall data. Journal of Hydrology. 208(3-4): 187–193.

Katiraie-Boroujerdy, P.-S., N. Nasrollahi, K.-l. Hsu., and S. Sorooshian (2013). Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. Journal of arid environments. 97: 205-219.

Khodadost, S., Saghafian, B., and Moazami, S. (2017). Comprehensive evaluation of 3-hourly TRMM and half-hourly GPM-IMERG satellite precipitation products. International Journal of Remote Sensing. 38(2): 558-571.

Kidd, C., Dawkins, E. and Huffman, G. (2013). Comparison of precipitation derived from the ECMWF operational forecast model and satellite precipitation datasets. American Meteorological Society. 14: 1463-1482.

Krogh, S. A., J. W. Pomeroy., and J. McPhee. (2015). Physically Based Mountain Hydrological Modeling Using Reanalysis Data in Patagonia. Journal of Hydrometeorology 16(1): 172-193.

Kumar, D., Pandey, A., Sharma, N. and Flugel, W.A. (2015). Evaluation of TRMM-Precipitation with Rain-Gauge Observation Using Hydrological Model J2000. Journal of Hydrologic Engineering. E5015007.

Li, Z., Yang, D. and 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.

Lo Conti, F., Hsu, k. L., Noto, V. L. and Sorooshian, S. (2014). Evaluation and comparison of satellite precipitation estimations with reference to a local area in the Mediterranean Sea. Atmospheric Research. 138: 189-204.

Miri, M., Raziei, T., and Rahimi, M. (2016). Evaluation and statistically comparison of TRMM and GPCC datasets with observed precipitation in Iran. Journal of the Earth and Space Physics. 42 (3): 657-672 (In Farsi).

Moazami, S., S. Golian, Y. Hong, C. Sheng., and M. R. Kavianpour. (2016). Comprehensive evaluation of four high-resolution satellite precipitation products under diverse climate conditions in Iran. Hydrological Sciences Journal. 61(2): 420-440.

Moreau, E., P. Bauer. and F. Chevallier. (2003). Variational retrieval of rain profiles from space borne passive microwave radiance observations. J. Geophysics. Res. 108: 4521.

Morice, C.P., Kennedy, J.J., Rayner, N.A., and Jones, P. (2012). quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 data set. Journal of Geophysical Research. 117: 1-22.

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.

Ly, S., Charles, C., and Degré, A. (2011). Geostatistical interpolation of daily rainfall at catchment scale: the use of several variogram models in the Outré and Ambleve catchments, Belgium. Hydrology and Earth System Sciences. 15(7): 2259–2274.

Sahlu, D., Nikolopoulos, E.I., Moges, S.A., Anagnostou, E.N. and Hailu, D. (2016). First evaluation of the day-1 IMERG over the upper Blue Nile Basin. J. Hydrometeorol. 17: 2875–2882.

Sharifi, E., Steinacker, R., and Saghafian, B. (2016). Performance Evaluation of the Newest Generation Satellite-Based Precipitation Product with high Spatio-Temporal Resolution. 6th Iranian national water resources management conference, Kurdistan University.

Steiner, M., T. Bell, Y. Zhang. And E. Wood. (2003). Comparison of Two Methods for Estimating the Sampling-Related Uncertainty of Satellite Rainfall Averages Based on a Large Radar Dataset. Journal of Climate. 16: 3759–3778.

Su F., Hong Y. and Lettenmaier D.P. (2008). Evaluation of TRMM Multisatellite precipitation analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. J Hydrometeorol. 9: 622–640.

Tan, M. L., Ibrahim, A. L., Duan, ZH., Cracknell, A. P. and Chaplot, V. (2015). Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia. Remote Sensing. 7: 1504-1528.

Tianobao, Z.H., and Congbin, F. (2006). Comparison of products from ERA-40, NCEP-2 and CRU with station data for summer precipitation over China. Advance in Atmospheric Science. 23(4):593-604.

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.

Worqlul, A.W., Collick, A. S., Tilahun, S. A., Langan, S., Rientjes, T. H. and Steenhuis, T. S. (2015). Comparing TRMM 3B42, CFSR and ground-based rainfall estimates as input for hydrological models, in data scarce regions: the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. Hydrology and Earth System Sciences. 12(2): 2081–2112.

Zhao, T., and A. Yatagai. (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.

Zhao, T., and Fu, C. (2006). Comparison of products from ERA-40, NCEP-2, and CRU with station data for summer precipitation over China. Advances in Atmospheric Sciences. 23: 593-604.