

Comparative Evaluation of Global Rainfall Datasets with Observation Rainfall Values (Case Study: Karoun Basin)

A. Rahmati¹ and A.R. Massah Bavani^{2*}

Abstract

Due to the uneven spatio-temporal coverage of precipitation over Iran and using rain gauge stations to measure rainfall, there is a need for gridded data with proper spatial and temporal resolution. For this reason, global rainfall data centers are being used in water resources studies. In recent years, the number of these gridded datasets increased and many of them have been used in water resources studies. In this research, rainfall datasets have been evaluated in both pixel scale and mean basin with observation data in the Karoun basin as a case study. The datasets used in this study were PERSIANN, PERSIANN-CDR, APHRODITE, TRMM-3B42 RT, CHIRPS V2.0, ERA-INTERIM. Evaluations were made on a daily scale and for the period of 2003-2013. According to the results of statistical indices such as coefficient of determination and NRMSE, the APHRODITE and ERA-INTERIM datasets have shown better performance than others. Also, according to the contingency table indicators, the APHRODITE and ERA-INTERIM datasets have good performance. The results showed that despite the fact that the APHRODITE and ERA-INTERIM datasets have the proper accuracy in all evaluations, they have poor performance in detecting non-occurrence of rainfall. According to the evaluations, the APHRODITE dataset can be used as an alternative to observational data. Among satellite datasets, TRMM had better performance and with calibration and bias correction using observational data this satellite can be used in water resources studies for the target area.

Keywords: Global Precipitation Datasets, Gridded Data, Satellite Datasets, Karoun Basin.

Received: April 25, 2018

Accepted: October 30, 2018

ارزیابی مقایسه‌ای پایگاه‌های داده جهانی بارش با مقادیر بارش مشاهداتی (مطالعه موردی: حوزه آبریز کارون)

اکبر رحمتی^۱ و علیرضا مساح بوانی^{۲*}

چکیده

به دلیل عدم پوشش مکانی و زمانی مناسب بارندگی در سطح کشور و اندازه‌گیری بارش توسط ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش نیازمند داده‌های شبکه‌بندی شده با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسبی می‌باشند، به همین دلیل از پایگاه‌های جهانی بارش برای مطالعات منابع آبی بهره برده می‌شود. در سال‌های اخیر تعداد این پایگاه‌ها رو به افزایش بوده و در مطالعات منابع آبی بسیاری از این داده‌ها استفاده شده است. در این پژوهش به ارزیابی پایگاه داده‌های بارش با مقادیر مشاهداتی به صورت سلول به سلول و میانگین حوضه در حوزه آبریز کارون به عنوان منطقه مطالعاتی پرداخته شده است. پایگاه داده‌های جهانی بارش مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از: TRMM-3B42, APHRODITE, PERSIANN-CDR, PERSIANN, RT, CHIRPS V2.0, ERA-INTERIM. ارزیابی‌ها در مقیاس روزانه و برای دوره آماری ۲۰۰۳-۲۰۱۳ انجام پذیرفته است. با توجه به نتایج شاخص‌های آماری همچون ضریب تبیین و NRMSE، پایگاه داده APHRODITE و ERA-INTERIM در مقایسه با دیگر پایگاه داده‌ها عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند. همچنین با توجه به شاخص‌های جدول طبقه‌بندی شده، دو پایگاه داده APHRODITE و ERA-INTERIM از کارایی مناسبی برخوردار می‌باشند. نتایج نشان داد که علی‌رغم این که دو پایگاه داده APHRODITE و ERA-INTERIM از دقت مناسبی در تمامی ارزیابی‌ها برخوردار هستند ولی در تشخیص عدم وقوع بارش عملکرد ضعیفی داشتند. با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته می‌توان از پایگاه داده APHRODITE به عنوان جایگزین برای داده‌های مشاهداتی استفاده کرد. همچنین، از میان داده‌های ماهواره‌ای نیز برای حوزه کارون TRMM از عملکرد بهتری برخوردار بوده و با واسنجی و تصحیح اریبی با استفاده از داده‌های مشاهداتی می‌توان از این ماهواره در مطالعات منابع آبی برای حوزه مورد نظر بهره برد.

کلمات کلیدی: پایگاه‌های جهانی بارش، داده‌های شبکه‌بندی شده، پایگاه

داده‌های ماهواره‌ای، حوضه کارون.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۲/۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۸/۸

1- M.S. Graduate in Water Resources Engineering, Department of Irrigation and Drainage Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- Associate Prof., Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: armassah@ut.ac.ir

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۲- دانشیار گروه مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

*- نویسنده مسئول

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

TRMM-3B42 V6 و بارش مشاهداتی روزانه برای اکثر مناطق شرقی چین تفاوت تقریباً در حدود ۱۰ درصد بود ولی برای مناطق غربی بین ۲۰ تا ۵۰ درصد برآورد کم مشاهده شد، در پژوهشی دیگر (2015) de Leeuw et al. به ارزیابی داده‌های بارش بازتحلیل شده ERA-INTERIM با توجه به داده‌های مشاهداتی ولز و انگلستان پرداختند. نتایج حاصله از این پژوهش حاکی از کم‌برآوردی بارش توسط ERA-INTERIM به میزان ۲۲ درصد داشت و میزان همبستگی بین داده‌های ERA-INTERIM و داده‌های مشاهداتی در مقیاس روزانه ۰/۹۱ بود. در بحث بارش‌های حدی نیز میزان بارش برآوردی توسط ERA-INTERIM تفاوت آنچنانی با داده‌های مشاهداتی نداشته و عملکرد بهتری در این قسمت داشت. در سطح کشور ایران نیز مطالعات بسیاری در این زمینه انجام پذیرفته است که از این بین می‌توان به پژوهشی که (2010) Javanmard et al. انجام دادند اشاره کرد، در این پژوهش ابتدا داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک به داده‌های شبکه‌بندی شده تبدیل شدند و بعد با داده‌های بارش استخراجی از ماهواره TMPA-3B43 مقایسه شدند. با بررسی توزیع مکانی بارش برای میانگین بارش سالانه و فصلی دو الگوی اصلی در طول رشته کوه‌های زاگرس و همچنین دریای خزر توسط ماهواره مورد نظر و داده‌های شبکه‌بندی شده محلی نمایان گشت. همچنین از دیگر نتایج اصلی این پژوهش می‌توان به کم برآوردی بارش توسط ماهواره TMPA-3B43 برای میانگین بارش سالیانه در مقیاس‌های مکانی متشکل از تمام کشور، رشته کوه‌های زاگرس و نیز در مجاورت دریای خزر اشاره کرد. در پژوهشی که (2017) Sharifi et al. برای کل ایران انجام دادند با مقایسه ۳ منبع بارش مهم متشکل از GPM-IMERG، TMPA-3B42 و ERA-INTERIM و داده‌های مشاهداتی بارش به این نتیجه رسیدند که GPM-IMERG در مقایسه با دو منبع دیگر در برآورد بارش‌های سبک و حدی در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و فصلی عملکرد به مراتب بهتری دارد.

تمامی مطالعات ذکر شده در مقیاس مکانی یک "کشور" دقت پایگاه‌های داده شبکه‌بندی شده را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. این در حالیست که می‌توان به مطالعات دیگری نیز اشاره کرد که در سطح حوضه و یا یک منطقه پایگاه‌های داده‌ها را مورد ارزیابی قرار داده‌اند (Dinku et al., 2010; Gao and Liu, 2013; Gebere et al., 2015; Habib et al., 2009; Liang and Xie, 2007; Liu et al., 2015). در پژوهشی (2014) Worqlul et al. سه منبع بارش متشکل از TRMM-3B42، MPEG و CFSR را در سطح حوضه دریاچه تانا با داده‌های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصله نشان از برتری دو منبع بارش MPEG و CFSR نسبت به TRMM-3B42 داشت. به طوری که این دو منبع بارش هم در برآورد مقدار بارش و

بارش یکی از متغیرهای مهم در زمینه مدل‌سازی هیدرولوژیکی است. رواناب، رطوبت خاک، پوشش گیاهی و تغذیه آب‌های زیرزمینی و دیگر متغیرهای آب و هواشناسی با تغییر شدت و میزان بارش در منطقه تغییر می‌یابند، به همین دلیل برآورد دقیق بارش از موضوعات مهم در زمینه منابع آب و به خصوص مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی می‌باشد. به طور کلی، در مسائل هیدرولوژیکی برای بارش می‌توان از پایگاه داده‌های مختلفی بهره برد. از بین این پایگاه‌ها می‌توان به مهم‌ترین آن‌ها که ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش، ماهواره‌ها و پایگاه داده‌های بازتحلیل شده^۱ می‌باشند، اشاره کرد. در این بین به دلیل تراکم نامناسب ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش اعم از ایستگاه‌های همیدی، باران‌سنجی و کلیماتولوژی در سال‌های اخیر شاهد گسترش روزافزون پایگاه داده‌های شبکه‌بندی شده می‌باشیم که دارای مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلفی می‌باشند. در دهه‌های اخیر این پایگاه داده‌ها به دو صورت داده‌های مبتنی بر ماهواره و داده‌های مبتنی بر باران‌سنج‌ها در دسترس می‌باشند. اما تفاوت‌های زیادی در برآورد بارش این پایگاه داده‌ها وجود دارد و بسیاری از آن‌ها مانند تولیدات ماهواره‌ای، قدرت تفکیک مکانی^۲ مناسب و داده‌های طولانی مدت را ندارند. هرچند پایگاه داده‌های شبکه‌بندی شده مشکل پیوستگی مکانی ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش را ندارند ولی به دلیل عدم قطعیت‌هایی که در تخمین بارش دارند بدون ارزیابی اولیه نمی‌توان از این پایگاه‌های داده استفاده کرد لذا برای تمامی مطالعات منابع آبی استفاده از این پایگاه‌های داده نیازمند یک بررسی اولیه می‌باشد، در بخش ارزیابی پایگاه داده‌های بارش در مناطق مختلف مطالعات بسیاری انجام پذیرفته است (AghaKouchak et al., 2011; Bitew and Gebremichael, 2011; Bodian et al., 2016; Cecinati, 2013; Duncan and Biggs, 2012; Feidas, 2010; Gao and Liu, 2013; Geber et al., 2015; Habib et al., 2009; Li et al., 2012; Li et al., 2014; Liang and Xie, 2007; Siddique-E-Akbor et al., 2014).

ارزیابی‌ها به دو شکل مستقیم و غیر مستقیم انجام می‌پذیرد. در ارزیابی به صورت مستقیم میزان بارش برآوردی پایگاه داده‌ها و میزان بارش مشاهداتی که مربوط به ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش می‌باشد با توجه به معیارهای ارزیابی که متشکل از آزمون‌های آماری پارامتری و غیرپارامتری می‌باشند، مقایسه می‌شوند. از مطالعات انجام شده در این بخش می‌توان به چند نمونه اشاره کرد. به طور مثال در پژوهشی که (2014) Zhao and Yatagai به منظور بررسی محصول ماهواره‌ای TRMM-3B42 V6 با داده‌های مشاهداتی کشور چین انجام دادند به این نتیجه رسیدند که محصول TRMM-3B42 V6 عملکرد بهتری در تخمین بارش در فصول پر بارش دارد و بین محصول

می‌توان به این نکته اشاره کرد که کالیبره کردن مدل بارش رواناب با داده‌های ماهواره‌ای به برآورد بهتر رواناب شبیه‌سازی شده کمک شایانی می‌کند تا اینکه از داده‌های زمینی برای کالیبره کردن استفاده شود. در پژوهشی که (Sebastian et al., 2015) برای حوضه رودخانه بیکر واقع در پاتاگونیا انجام دادند پایگاه‌های داده شبکه‌بندی شده A CFSR، ERA-INTERIM و همچنین داده‌های مشاهداتی را به عنوان منابع بارش برای یک مدل هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد که داده‌های مشاهداتی به عنوان منبع بارش توانایی پیش‌بینی رواناب را نداشته ولی دو منبع بارش مورد نظر کارایی قابل قبولی داشتند. در پژوهشی دیگر که توسط (Ashouri et al., 2016) به منظور ارزیابی کارایی پایگاه داده PERSIANN-CDR برای کاربرد در مدل‌های هیدرولوژیکی صورت گرفت. در این پژوهش با در نظرگیری PERSIANN-CDR، TMPA و PERSIANN، داده‌های تلفیقی رادار-باران سنج به عنوان منابع بارش به این نتیجه رسیدند که منابع بارش TMPA و PERSIANN-CDR عملکرد بهتری نسبت به دیگر منابع در شبیه‌سازی بارش دارند. همچنین با در نظرگیری PERSIANN-CDR به عنوان تنها منبع بارش که داده‌های درازمدت بارش را دارد نتیجه حاصله به این شکل بود که این منبع بارش توانایی شبیه‌سازی رواناب برای درازمدت با دقت کافی را برخوردار است.

در مطالعه حاضر به ارزیابی پایگاه داده‌های متشکل از APHRODITE^۱، ERA-INTERIM، TRMM-3B43V7، PERSIANN-CDR (تمامی) CHIRPS V2.0، PERSIANN، کلیماتولوژی و سینوپتیک مشاهداتی که از ایستگاه‌های بارانسنجی، کلیماتولوژی و سینوپتیک تشکیل یافته است، پرداخته می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی سلول به سلول میزان بارش^{۱۰} و بارش میانگین حوضه در مقیاس روزانه با هر یک از پایگاه‌های بارش جهانی و در نهایت انتخاب یکی از این پایگاه‌ها به عنوان پایگاه بهینه جهت استفاده در مدل‌های مختلف هیدرولوژیکی می‌باشد. با توجه به این که مدل‌های هیدرولوژیکی غیرتوزیعی در شبیه‌سازی رواناب میانگین بارش حوضه را به عنوان ورودی در نظر می‌گیرند و مدل‌های توزیعی و نیمه توزیعی به داده‌های سلولی نیاز دارند لذا این مطالعه می‌تواند از این جهت نیز حایز اهمیت باشد. از پژوهش‌های انجام شده در سطح کشور نیز می‌توان به پژوهشی که (Eini et al., 2018) انجام دادند اشاره کرد، در این پژوهش با استفاده از مدل SWAT منابع بارشی CRU و NCEP در حوضه دریاچه مهارلو مورد ارزیابی قرار گرفتند. ارزیابی‌های

هم در تشخیص وقوع بارش نسبت به TRMM عملکرد بهتری داشتند. همچنین در پژوهشی جامع‌تر (Duan et al., 2016) برای حوضه Adgie واقع در ایتالیا ۸ منبع بارش را مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش منابع بارش متشکل از سه نسخه مربوط به CMORPH و PERSIANN-CDR، PGF، CHIRPS و GSMaP_MVK و TRMM-3B42V7 بودند. ارزیابی در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه و همچنین در مقیاس مکانی سلولی و در سطح حوضه انجام پذیرفت. نتایج نشان‌دهنده این بود که سه منبع بارش CHIRPS، TRMM و CMORPH_BLD عملکرد بهتری نسبت به سایرین دارند. از دیگر نتایج این پژوهش می‌توان به خطای زیاد در برآورد بارش زمستانی در مواقعی که میزان بارش کم می‌باشد اشاره کرد. در سطح کشور نیز در زمینه ارزیابی مستقیم مطالعات مختلفی انجام پذیرفته است که از این بین می‌توان به پژوهشی که (Zangenehinanlu et al., 2018) انجام دادند اشاره کرد، در این پژوهش به ارزیابی اطلاعات بارش ماهواره‌های PERSIANN و CMORPH در حوضه آبریز شاپور پرداخته شده است. نتایج نشان داد که ماهواره‌های PERSIANN و CMORPH در مقیاس ساعتی و روزانه دقت کافی ندارند، همچنین با مقایسه داده‌های روزانه ۴۱ رویداد ماهواره‌ها، مشاهده‌ای و روش درون‌یابی کریجینگ برای ایستگاه هدف (بوشیگان کازرون) نتایج حاکی از دقت پایین‌تر مدل‌های ماهواره‌ای نسبت به روش درون‌یابی کریجینگ بود.

در ابتدای این بخش به این نکته اشاره شد که ارزیابی به صورت غیرمستقیم نیز انجام می‌پذیرد به این صورت که با استفاده از یک مدل بارش-رواناب به ارزیابی میزان رواناب شبیه‌سازی شده و رواناب مشاهداتی با استفاده از پایگاه‌داده شبکه‌بندی شده پرداخته می‌شود (Behrangi et al., 2014; Behrangi et al., 2011; Bitew and Gebremichael, 2011; Bodian et al., 2016; Cecinati, 2013; Kim et al., 2016; Lauri et al., 2014; Li et al., 2012; Nikolopoulos et al., 2012; Vergara et al., 2014; Voisin et al., 2008; Wang et al., 2015). (Bitew and Gebremichael (2011) طی پژوهشی با ارزیابی چهار منبع بارش CMORPH، TMPA-3B42، TMPA-3B42RT و PERSIANN توسط مدل هیدرولوژیکی MIKE-SHE به این نتیجه رسیدند که منابع بارش CMORPH و TMPA-3B42RT برای شبیه‌سازی رواناب عملکرد بهتری دارد و همچنین بارش برآوردی توسط PERSIANN عملکرد ضعیفی نسبت به دو پایگاه داده قبلی در برآورد بارش دارد. البته ضعیف‌ترین عملکرد را در بین منابع بارش مورد اشاره TMPA-3B42 دارد که ترکیبی از داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد. با توجه به این پژوهش

صورت گرفته حاکی از برتری پایگاه CRU نسبت به پایگاه NCEP CFSR در شبیه‌سازی رواناب سطحی در سطح حوضه بود.

۲- روش تحقیق

۱-۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز کارون بزرگ از نظر منابع آبی یکی از مهمترین حوضه‌های آبریز کشور به شمار می‌آید و فراوانی ریزش‌های جوی بویژه در سرشاخه‌های این حوضه پتانسیل قابل توجهی از منابع آب سطحی و زیرزمینی را ایجاد نموده است. از نقطه نظر موقعیت جغرافیایی این حوزه در محدوده $29^{\circ} 22' 49''$ تا $38^{\circ} 38' 52''$ طول شرقی و $30^{\circ} 16'$ تا $32^{\circ} 38' 01''$ واقع شده است. حوزه آبریز کارون بزرگ شامل بیشتر مساحت استان چهارمحال و بختیاری، بخش‌های بزرگی از استان‌های لرستان و خوزستان و بخش‌هایی از استان‌های مرکزی، اصفهان، کهگیلویه و بویراحمد و فارس است. حوضه آبریز کارون بزرگ حدود ۳۴ درصد مساحت محدوده مطالعاتی و ۴/۲ درصد از مساحت کل کشور را در بر می‌گیرد. از نظر تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی، حوضه آبریز کارون بخشی از حوضه آبریز خلیج فارس می‌باشد. مجموع مساحت حوضه آبریز معادل ۶۷۲۵۷ کیلومتر مربع است که ۶۷ درصد آن را کوهستان و ۳۳ درصد آن را دشت و کوهپایه تشکیل می‌دهد.

در حوضه آبریز کارون بزرگ بیشترین بارندگی ماهانه با مقدار ۱۱۵/۴ میلیمتر و با سهم ۱۸/۳ درصد در سال، مربوط به دیماه می‌باشد. پس از دیماه، آذرماه با مقدار ۱۱۴/۹ میلیمتر و ۱۸/۲ درصد از بیشترین بارندگی برخوردار است. در این حوضه آبریز بارندگی ماه‌های خرداد تا شهریور ماه زیر یک درصد از کل بارندگی سالانه را به خود اختصاص می‌دهد. در حوضه آبریز کارون بزرگ بارندگی سالانه بین ۱۵۳ تا ۲۰۰۰ میلیمتر متغیر بوده و متوسط آن ۶۳۲ میلیمتر می‌باشد (شکل ۱).

۲-۲- اطلاعات پایگاه داده‌های شبکه‌بندی شده

۲-۲-۱- داده‌های ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش وزارت نیرو و سازمان هواشناسی

در این پژوهش از ایستگاه‌هایی استفاده شد که طول دوره آماری آن‌ها بین ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ بود، به همین منظور تعداد ایستگاه‌های قابل استناد در این پژوهش ۱۳۲ ایستگاه است. چون داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس سلول‌های ۰/۲۵ درجه بودند به همین منظور داده‌های ایستگاهی نیز می‌بایست به صورت سلولی در می‌آمدند. در این پژوهش روشی که از آن برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به سلولی استفاده شد روشی است که (Sorooshian et al. (2001 و همچنین

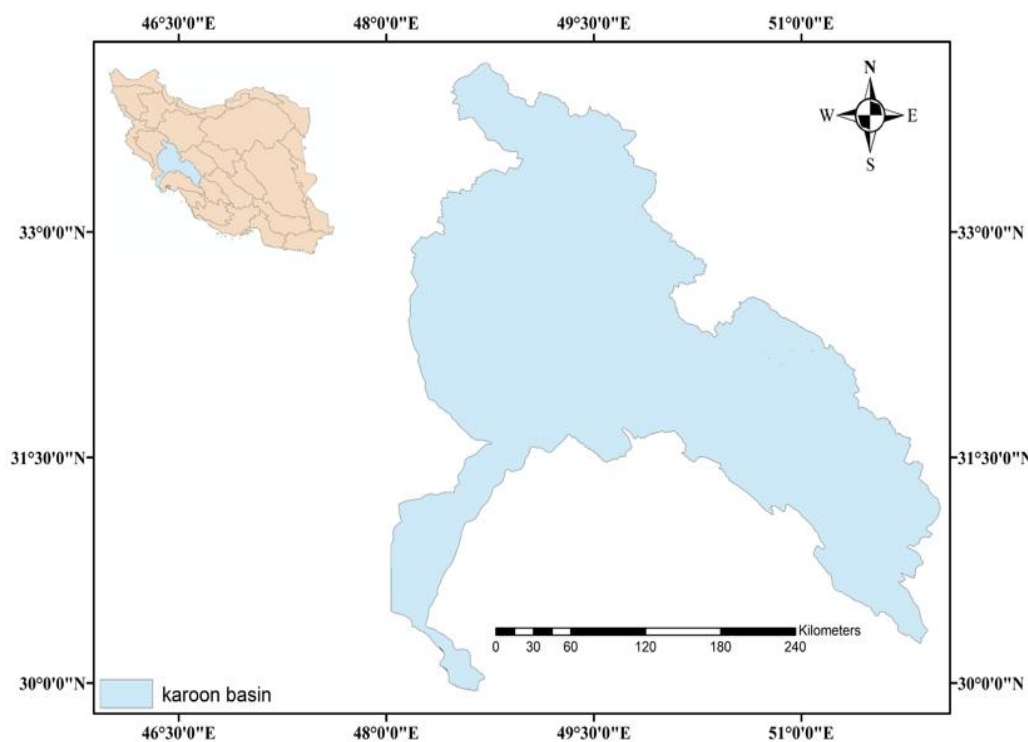


Fig. 1- Schematic map of the study area

شکل ۱- نقشه شماتیک منطقه مطالعاتی

(Habib et al. 2009) استفاده کردند، روش مورد بحث به این صورت است که ابتدا منطقه مورد مطالعه را سلول بندی کرده و میانگین بارش ایستگاه های موجود در هر سلول را به عنوان میانگین بارش آن سلول در نظر می گیرند.

۲-۲-۲- پایگاه داده APHRODITE

در سال ۲۰۰۶ پروژه ای تحت عنوان APHRODITE¹¹ توسط مرکز تحقیقات بشر و طبیعت و مرکز تحقیقات هواشناسی کشور ژاپن، به منظور ایجاد پایگاه داده های بارندگی روزانه شبکه بندی شده در سراسر قاره آسیا با قدرت تفکیک مکانی بالا و براساس مشاهدات باران سنج ها آغاز شد. این پایگاه داده که دوره آماری بیش از ۵۷ سال را پوشش می دهد با روش درون یابی ^{۱۲}ADW تهیه شده است. داده های APHRODITE، داده های یکپارچه مشاهداتی بارندگی آسیا با قدرت تفکیک بالا به منظور ارزیابی منابع آب به صورت سه مجموعه مجزا مناطق موسمی آسیا، خاورمیانه و روسیه را پوشش داده و با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵×۰/۲۵ و ۰/۵×۰/۵ درجه و با مقیاس زمانی روزانه موجود می باشد. که در این پژوهش از تفکیک مکانی ۰/۲۵×۰/۲۵ استفاده شده است. سایت مربوط به دریافت داده از این پایگاه به قرار زیر می باشد:

<http://www.chikyu.ac.jp/precip/english/products.html>

۲-۲-۳- TRMM

از اولین تلاش ها برای برآورد بارش توسط ماهواره ها می توان به پروژه ماهواره ای TRMM اشاره کرد که با هدف اندازه گیری بارش ساخته شد. این ماهواره محصول یک پروژه تحقیقاتی مشترک بین سازمان ناسا از ایالات متحده آمریکا و آژانس ملی توسعه فضایی ژاپن می باشد. TRMM در مرکز پرواز فضایی Goddard در ناسا ساخته و بطور موفقیت آمیزی در ۲۷ نوامبر ۱۹۹۷ از ژاپن به فضا پرتاب شد. این ماهواره برای تخمین بارش حاره ای توسط سنجنده های فضایی و استفاده از مجموعه ای از الگوریتم های بازیابی بارش بکار می رود. داده های بارش چند ماهواره ای TRMM براساس الگوریتمی است که مشاهدات میکروویو و مادون قرمز را با هم ترکیب می کند. تخمین های میکروویو خیلی دقیق تر از تخمین های مادون قرمز هستند. از طرف دیگر نمونه برداری ماهواره مادون قرمز از نمونه برداری میکروویو دارای فراوانی بیشتری است. تخمین های بارش TRMM به دو صورت شامل (۱) محصول تخمین بارش در نزدیکترین زمان واقعی که TRMM-3B42RT نامیده می شود و (۲) محصول تخمین بارش بعد از زمان واقعی که خطای آنها تا حدی تصحیح شده است و TRMM-3B42V7 نام دارد که در این پژوهش از داده های این

محصول استفاده شده است. در سال ۲۰۱۴ ماهواره TRMM به مأموریت خود پایان داد و فاز ۲ این پروژه تحت عنوان GPM آغاز شد که تا به حال نیز ادامه دارد. در این پژوهش از نسخه TRMM 3B42 RT با تفکیک مکانی ۰/۲۵×۰/۲۵ استفاده شده است. سایت مربوط به دریافت داده از این پایگاه به قرار زیر می باشد:

<https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm>

۲-۲-۴- PERSIANN و PERSIANN-CDR

از بین منابع ماهواره ای همچنین می توان به ماهواره PERSIANN نیز اشاره کرد. PERSIANN سیستمی است که الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی را برای تخمین میزان بارندگی در هر پیکسل ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه و با استفاده از تصاویر بازتابش شده مادون قرمز توسط ماهواره های زمین مرجع، بکار می گیرد. الگوریتم PERSIANN ابتدا براساس تصاویر مادون قرمز از ماهواره های زمین مرجع بود، سپس به نسخه جدید آن که در حال حاضر استفاده می شود داده های میکروویو نیز اضافه شد که این داده های جدید برای کالیبراسیون و تنظیم پارامترهای الگوریتم بکار می روند. در سال های بعد نسخه به روزتر این پایگاه داده به اسم PERSIANN-CDR که مناسب بررسی روند و تغییرات بارش در مقیاس روزانه در درازمدت می باشد نیز توسعه یافت. سایت مربوط به دریافت داده از این دو پایگاه به قرار زیر می باشد: <http://chrsdata.eng.uci.edu>

۲-۲-۵- ERA-INTERIM

از دیگر منابع مهم برآورد بارش می توان به پایگاه داده های بازتحلیل شده و یا تحلیل مجدد اشاره کرد. در این پژوهش از پایگاه داده بازتحلیل شده ERA-INTERIM استفاده شده است. "تحلیل مجدد" یک دیدگاه سیستماتیک برای تولید مجموعه ای از داده های اقلیمی دوره آماری برای استفاده در پژوهش و پایش اقلیم می باشد. داده های واکاوی یا تحلیل مجدد با استفاده از یک طرحواره ثابت (و از نظر دینامیکی سازگار) در داده گواری داده ها^{۱۳} و مدل ها که در آن از تمامی داده های در دسترس مشاهداتی در بازه زمانی ۶ تا ۱۲ ساعت دوره مورد تحلیل استفاده می شود، به وجود می آیند. یکی از مؤلفه هایی که در این فرآیند تغییر می کند، داده های دیدبانی است. این تغییر در داده های ورودی غیر قابل اجتناب بوده زیرا هر روزه تعداد زیادی از انواع ورودی های هواشناسی شامل داده های دریافتی از رادیو سوند، ماهواره، شناورها، هواپیما و کشتی به شبکه ایستگاه های کره زمین افزوده می شود. در حال حاضر تخمین زده می شود که حدود ۷ تا ۹ میلیون داده های دیدبانی شده در هر گام زمانی مورد استفاده قرار می گیرند. به همین دلیل در فاصله زمانی تولید هر سری از داده های

۳-۲ شاخص‌های ارزیابی پایگاه داده‌های بارش و داده‌های مشاهداتی

در این پژوهش برای ارزیابی از دو گروه شاخص استفاده شده است. شاخص‌های گروه اول متشکل از R^2 ، $NRMSE$ ، POD ، CSI ، $POFD$ هستند (جدول ۱).

از بین شاخص‌های جدول ۱ شاخص‌های دسته اول بر اساس مقدار بارش برآوردی تعیین می‌شوند. در حالی که شاخص‌های دسته دوم بر اساس رخداد و عدم رخداد بارش تعیین می‌شوند. در جدول ۱، N تعداد داده‌ها و i روز می‌باشد و O_i ، P_i به ترتیب داده‌های مشاهداتی و داده‌های برآوردی توسط پایگاه داده‌های شبکه‌بندی شده است. در ارتباط با شاخص‌های طبقه‌بندی شده می‌توان به جدول ۲ اشاره کرد که بر اساس آن میزان hit ، $miss$ و $FalseAlarm$ تعیین شده و شاخص‌های مربوطه محاسبه می‌گردد؛ شاخص POD میزان توانایی پایگاه داده در تشخیص درست "وقوع بارش" را نشان می‌دهد که بین ۰ تا ۱ متغیر می‌باشد و مقادیر نزدیک به یک عملکرد بهتر پایگاه داده در برآورد بارش را نشان می‌دهد شاخص CSI نشان‌دهنده این است که چه کسری از مقادیر "وقوع بارش" به درستی پیش‌بینی شده‌اند.

واکاوی تغییرات اندکی در رفتار اقلیمی نقاط شبکه‌ای داده‌های واکاوی بروز می‌کند. از طرفی از آنجا که در فرآیند داده‌گذاری از پیش‌بینی‌های عددی خیلی کوتاه‌مدت نیز استفاده می‌شود، لذا با بهبود و ارتقاء نسخه مدل‌های پیش‌بینی عددی، داده‌های واکاوی نیز بهبود می‌یابند. در این پژوهش از تفکیک مکانی 0.25×0.25 و مقیاس روزانه این پایگاه داده استفاده شده است. سایت مربوط به دریافت داده از این پایگاه به قرار زیر است:

[/http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc](http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc)

۲-۲-۶ CHIRPS

CHIRPS یک پایگاه داده شبه جهانی با طول دوره آماری بیش از ۳۰ سال بوده که از سال ۱۹۸۱ تا به حال دارای داده می‌باشد. این پایگاه داده، داده‌های بارش ایستگاهی و ماهواره‌ای را به منظور بررسی روند و پایش خشکسالی تلفیق کرده و یک پایگاه داده بارش شبکه‌بندی شده به صورت سری زمانی ارائه می‌دهد. در این پژوهش از نسخه CHIRPS 2.0 و تفکیک مکانی 0.25×0.25 این پایگاه داده استفاده شده است. سایت مربوط به دریافت داده از این پایگاه به قرار زیر است: <http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps/>

Table 1- Applied statistical indices
جدول ۱- شاخص‌های آماری استفاده شده در این پژوهش

No.	Measure	Equation
1	Normalized root mean square	$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}}}{O_{max} - O_{min}}$
2	Coefficient of determination	$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (O_i - O_{Ave})(P_i - P_{Ave}) \right]^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - O_{Ave})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - P_{Ave})^2}}$
3	Probability of detection	$POD = \frac{hits}{hits + misses}$
4	Critical success index	$CSI = \frac{hits}{hits + misses + falseAlarm}$
5	POFD	$POFD = \frac{FalseAlarm}{CorrectNegative + FalseAlarm}$

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		Total	Total	Total

سلول‌های ۰/۲۵ درجه تبدیل کرده و بعد از آن میانگین بارش ایستگاه‌های موجود در هر سلول ۰/۲۵ درجه بارش سلول مورد نظر در نظر گرفته شد. در شکل ۳ سلول‌های منطقه و همچنین باران‌سنج موجود در سلول‌ها مشاهده می‌شود. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود تعدادی از سلول‌ها فاقد باران‌سنج می‌باشد در ادامه کار این سلول‌ها از مقایسه‌های آماری حذف شدند، به عبارت دیگر ارزیابی‌ها صرفاً در سلول‌هایی انجام پذیرفت که دارای باران‌سنج بودند.

به عبارت ساده‌تر اگر بارشی اتفاق افتاده است، توانایی پایگاه مورد نظر در برآورد این "وقوع بارش" چه اندازه می‌باشد. آخرین شاخص مربوطه در این بخش POFD است. در توضیح این شاخص می‌توان گفت که بارشی رخ نداده است ولی به اشتباه میزان بارشی توسط پایگاه داده‌ها ثبت شده است که این مورد توسط POFD بیان می‌شود و هرچه قدر میزان این شاخص کمتر باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر پایگاه داده مورد نظر است.

۳- نتایج و تحلیل

۳-۱- پراکنش مکانی ایستگاه‌های موجود در منطقه

در شکل ۲ پراکنش مکانی ایستگاه‌های موجود در منطقه با توجه به ارتفاع مشاهده می‌شود. با توجه به شکل ۲ می‌توان گفت که عملاً در ارتفاعات بیش از ۲۵۰۰ متری ایستگاه زمینی برای اندازه‌گیری بارش موجود نمی‌باشد و ناگزیر به استفاده از پایگاه‌های جهانی بارش می‌باشیم که سطح وسیعی از مناطق را پوشش می‌دهند.

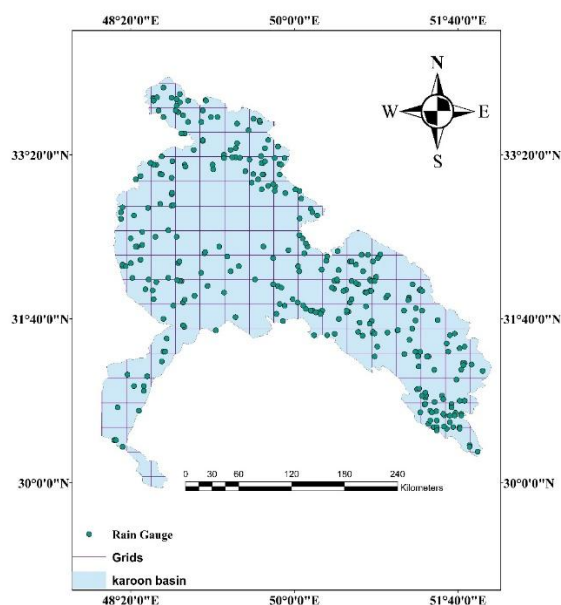


Fig. 3- The 0.25 degree pixels created for grid to grid comparison and count of rain gauge in a cell
شکل ۳- سلول‌های ۰/۲۵ درجه برای مقایسات سلول به سلول و همچنین تعداد باران‌سنج‌ها در هر سلول

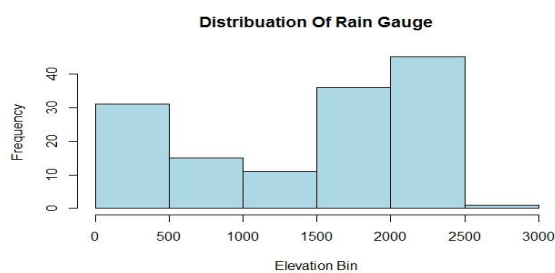


Fig. 2- Histogram plot of the rain gauge distribution over whole basin

شکل ۲- نمودار هیستوگرام مربوط به توزیع مکانی ایستگاه‌های باران‌سنجی در سطح حوضه کارون بزرگ

۳-۳- ارزیابی پایگاه داده‌های شبکه‌بندی شده

در ابتدا به بررسی کلی میانگین حوضه و پایگاه‌های مورد اشاره در مقیاس‌های مختلف زمانی پرداخته می‌شود، همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در مقیاس زمانی سالانه عملکرد پایگاه‌های TRMM, APHRODITE و PERSIANN-CDR به مراتب بهتر

۳-۲- روش سلول‌بندی حوضه مورد مطالعه

به منظور ایجاد یکنواختی در سلول‌های مورد مطالعه متناظر با پایگاه‌های شبکه‌بندی شده، منطقه مورد مطالعه را به سلول‌های ۰/۲۵ درجه تبدیل کردیم این کار در نرم‌افزار ArcGIS انجام پذیرفت به طوری که ابتدا منطقه را با استفاده از ابزار Fishnet در ArcGIS به

بارش بیشینه می‌باشد به طوری که این بیش برآوردی برای ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر خیلی بیشتر بوده و قابل اغماض نمی‌باشد و برای دیگر ماه‌ها تا حدودی بهتر برآورد کرده است هر چند باز بیش برآوردی صورت گرفته است. پایگاه‌های PERSIANN-CDR، APHRODITE، ERA-INTERIM عملکرد به نسبت بهتری داشته و تقریباً برای تمامی ماه‌های دوره مورد نظر برآورد بهتری نسبت به دیگر پایگاه‌ها انجام پذیرفته است. در بین پایگاه‌های مورد اشاره CHIRPS و TRMM عملکرد ضعیفی از خود نشان داده‌اند.

از دیگر پایگاه‌ها در برآورد بارش سالانه حوضه می‌باشد. در بین پایگاه‌های ذکر شده CHIRPS بدترین عملکرد را در برآورد بارش سالانه حوضه دارد. لازم به ذکر است که به دلیل عدم بروزرسانی پایگاه APHRODITE این پایگاه صرفاً تا سال ۲۰۰۷ داده دارد.

در ادامه به بررسی پایگاه‌های مورد نظر در برآورد بارش بیشینه برای کل دوره مذکور و ماه‌های مختلف در مقیاس کل حوضه (بارش میانگین حوضه) پرداخته شده است. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است پایگاه TRMM برای تمامی ماه‌ها دارای بیش برآوردی

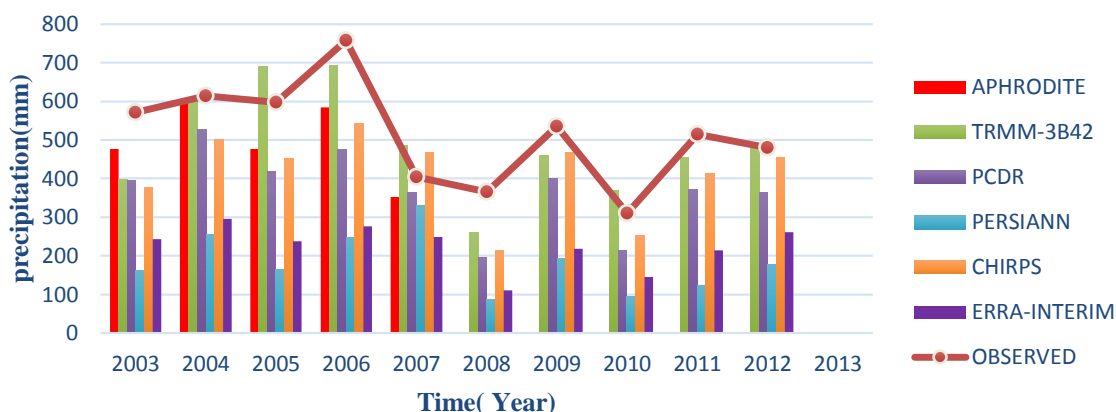


Fig. 4- Average rainfall in annual scale for all datasets for the 2003 to 2012 period (APHRODITE 2003 to 2007)

شکل ۴- بارش میانگین حوضه در مقیاس سالانه برای تمام پایگاه‌ها در دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۳ (دوره مذکور برای APHRODITE ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ می‌باشد).

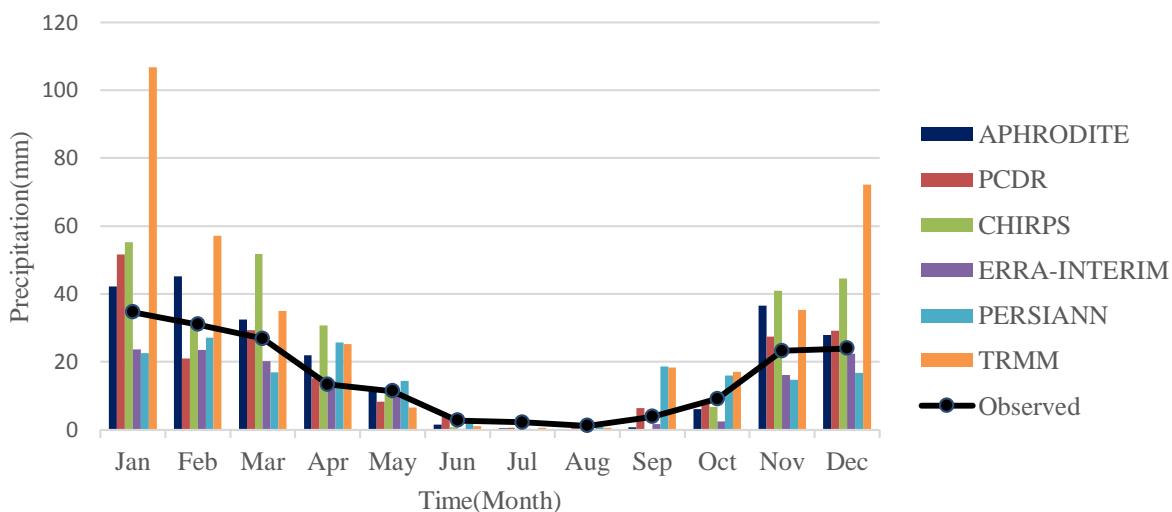


Fig. 5- Maximum precipitation for every month in the whole study period for all datasets (2003 to 2012)
شکل ۵- بیشینه بارش برای ماه‌های مختلف در کل دوره مورد مطالعه برای تمام پایگاه‌ها (۲۰۱۲ تا ۲۰۰۳)

در شکل ۶ مشاهده می‌شود برای فصل زمستان و پاییز که جزء فصول پربارش می‌باشند میزان NRMSE بین ۰/۱ تا ۰/۲ می‌باشد (به جز TRMM). برای فصول دیگر نیز تمامی پایگاه‌ها دارای دقت مناسبی بوده و میزان NRMSE آن‌ها بین ۰/۱ تا ۰/۲ می‌باشد. همانطور که از نمودار معلوم می‌باشد میزان NRMSE برای میانگین حوضه برای تقریباً اکثر مدل‌ها در فصول مختلف نیز زیر ۰/۲ می‌باشد که این نشان‌دهنده دقت مناسب این پایگاه‌ها در برآورد بارش میانگین حوضه می‌باشد. از دیگر شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش ضریب تبیین می‌باشد. شکل ۷ نمودار جعبه‌ای مربوط به پراکنش مکانی این شاخص در سطح حوضه و همچنین مقدار مربوط به میانگین حوضه را نشان می‌دهد.

ضریب تبیین هر چقدر نزدیک به ۱ باشد نشان‌دهنده برآورد بهتر پایگاه داده می‌باشد. با توجه به شکل ۷ در نگاه اول می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد این شاخص در فصول پربارش به مراتب بهتر از فصول کم بارش می‌باشد.

همانطور که در قبل آمد، در این پژوهش ارزیابی‌ها پایگاه داده‌ها و داده‌های مشاهداتی برای تمام سلول‌های حوزه آبریز کارون بزرگ یکبار بصورت تک به تک سلول‌ها و یکبار برای متوسط حوضه بوسیله شاخص‌های جدول ۱ انجام پذیرفت. همچنین لازم به ذکر است که ارزیابی‌ها در مقیاس روزانه و برای ماه‌های مختلف در طول دوره آماری انجام پذیرفته است. به دلیل تعداد زیاد سلول‌های حوضه مورد مطالعه از نمودار جعبه‌ای برای نمایش پراکنش مکانی شاخص‌های مورد بحث استفاده شده است؛ اولین شاخص مورد بررسی در این بخش خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده می‌باشد که نتایج آن در شکل ۶ نشان داده شده است.

در شکل ۶ نمودار جعبه‌ای مربوط به شاخص NRMSE تک تک سلول‌های موجود در حوضه و همچنین میانگین حوضه ارائه شده است. در این شاخص مقادیر زیر ۱۰ درصد نشان‌دهنده دقیق بودن مدل، مقادیر بین ۱۰ تا ۲۰ نشان‌دهنده مناسب بودن مدل یا همان پایگاه داده در این پژوهش، ۲۰ تا ۳۰ درصد نشان‌دهنده دقت متوسط و بالای ۳۰ درصد نشان‌دهنده ضعیف بودن مدل می‌باشد. همانطور که

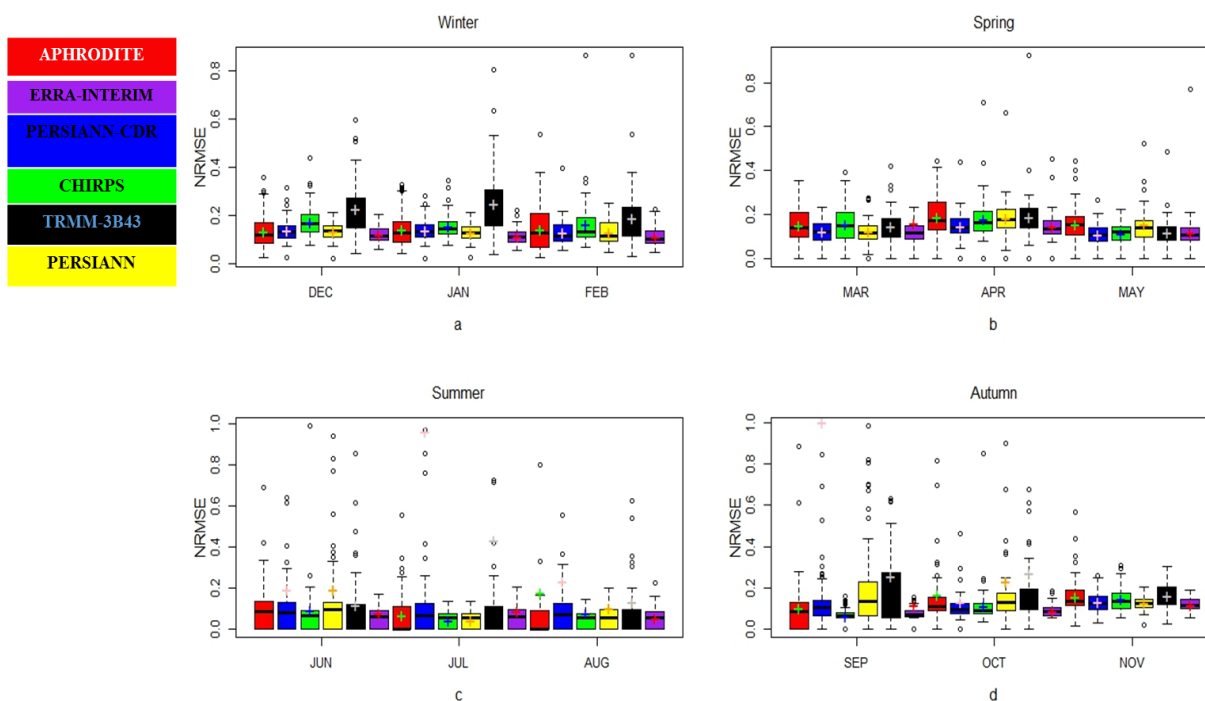


Fig. 6- Normalized root mean square error for individual grids in different seasons; a, b, c and d are representing boxplot of NRMSE respectively for winter, spring, summer and autumn. The values for the basin mean are indicated by the "+" sign.

شکل ۶- شاخص خطای میانگین مربعات نرمال شده برای تک تک سلول‌های موجود در حوضه در فصول مختلف. a, b, c و d به ترتیب مقدار NRMSE را در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز نشان می‌دهند. مقادیر مربوط به میانگین حوضه با علامت + نشان داده شده است.

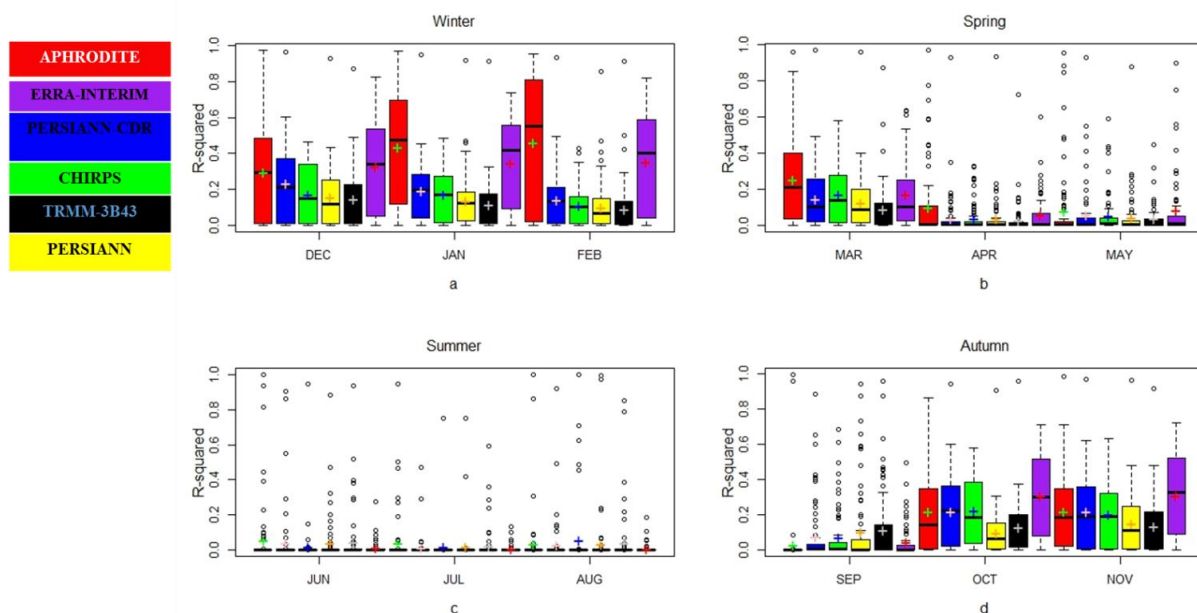


Fig. 7- R- squared for individual grids in different seasons; a, b, c and d are representing R-squared boxplots respectively for winter, spring, summer and autumn seasons. The values for the basin mean are indicated by the “+” sign.
شکل ۷- ضریب تبیین برای تمام سلول‌های موجود در منطقه برای فصول مختلف. a, b, c و d به ترتیب نشان‌دهنده باکس پلات مربوط به فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز می‌باشد. مقادیر مربوط به میانگین حوضه با علامت + نشان داده شده است.

میانگین حوضه بالای ۰/۴ می‌باشد که نسبت به دیگر پایگاه‌ها در برآورد بارش میانگین حوضه بهتر عمل کرده‌اند. با توجه به نمودار ۳ می‌توان به این نکته پی برد که عملکرد پایگاه‌های مذکور با توجه به این شاخص در برآورد بارش میانگین حوضه به مراتب ضعیف‌تر از بعضی از سلول‌های موجود به خصوص در ماه‌های پربارش در حوضه می‌باشد.

شاخص‌های NRMSE و ضریب تبیین مربوط به شاخص‌های آماری پیوسته بوده و مقدار بارش برآوردی را مد نظر قرار می‌دهند. در حالی که شاخص‌های طبقه‌بندی شده وقوع و یا عدم وقوع بارش را مد نظر دارند. در ادامه به ارزیابی پایگاه‌داده‌های مورد اشاره با توجه به این شاخص‌ها پرداخته می‌شود. اولین شاخص مبتنی بر جدول طبقه بندی شده که در این پژوهش مد نظر بوده شاخص POD است. در شکل ۸ پراکنش مکانی این شاخص در سطح حوضه و همچنین POD میانگین حوضه را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود میزان POD به طور کلی در تمامی فصول برای دو پایگاه داده APHRODITE و ERA-INTERIM به مراتب بهتر از دیگر پایگاه‌ها می‌باشد. به جز فصل تابستان که به دلیل کم‌بارش بودن عملاً همه پایگاه‌ها دارای POD پایینی می‌باشند (و همچنین ماه سپتامبر). به عنوان مثال در فصل زمستان میزان POD در تمام سلول‌های

به عنوان مثال در فصل زمستان پراکنش این شاخص برای پایگاه APHRODITE بالای ۰/۵ می‌باشد و حتی تا ۰/۸ نیز رسیده است در حالی که در فصل تابستان و بهار میزان این شاخص نه تنها برای این پایگاه داده بلکه برای تمامی پایگاه‌ها مناسب نبوده و زیر ۰/۲ می‌باشد. با توجه به مقادیر شاخص ضریب تبیین برای سه فصل زمستان، پاییز و بهار به صورت کلی (به جز ماه‌های کم بارش فصول مورد نظر که عملاً ضریب تبیین کارایی خود را در این ماه‌ها از دست داده و مقادیر کمتری دارد) می‌توان نتیجه گرفت که کارایی پایگاه داده APHRODITE و ERA-INTERIM به مراتب بهتر از دیگر پایگاه‌ها بوده و بدترین کارایی را با توجه به این شاخص پایگاه داده TRMM- 3B42V7 در دارد. همچنین بین محصولات ماهواره PERSIANN نیز PERSIANN-CDR کارایی بهتری در این فصول از خود نشان داده است. همانطور که ذکر شد ضریب تبیین در ماه‌های کم بارش کارایی خود را از دست داده است این نکته در ارتباط با بارش میانگین حوضه نیز صدق می‌کند و صرفاً برای ماه‌های پربارش می‌توان گفت که عملکرد APHRODITE و ERA-INTERIM از دیگر پایگاه‌ها بهتر می‌باشد. به عنوان مثال در ماه دسامبر این شاخص برای میانگین حوضه برای دو پایگاه ذکر شده نزدیک به ۰/۴ می‌باشد که نسبت به دیگر پایگاه‌ها از عملکرد بهتری برخوردار هستند و همچنین برای ماه ژانویه نیز مقادیر ضریب تبیین این دو پایگاه برای

میانگین حوضه و سلول‌های موجود در حوضه نشان‌دهنده این مسأله است که پایگاه‌های مختلف عملکرد نسبتاً بهتری در مقایسه با اکثر سلول‌های موجود در حوضه دارند. لازم به ذکر است که این شاخص بر خلاف دیگر شاخص‌های مورد اشاره در ماه‌های کم‌بارش عملکرد بهتری دارد به عنوان مثال میزان این شاخص برای تمامی ماه‌های فصل تابستان عملکرد بهتری داشته و تقریباً نزدیک به صفر می‌باشد.

همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود میزان CSI برای دو پایگاه APHRODITE و ERA-INTERIM برای فصول پر بارش (زمستان و پاییز) و همچنین فصل بهار به مراتب بهتر از دیگر پایگاه‌ها می‌باشد. این شاخص نیز به مانند دیگر شاخص‌های مورد اشاره در فصول کم‌بارش از کارایی پایینی برخوردار است. به عنوان مثال میزان CSI برای فصل تابستان و همچنین ماه سپتامبر که ماه کم‌بارشی می‌باشد زیر ۰/۲ می‌باشد. در ارتباط با میانگین حوضه نیز هر دوی پایگاه‌های ذکر شده عملکرد بهتری نسبت به دیگر پایگاه‌ها دارند، نکته‌ای که در ارتباط با میانگین حوضه حائز اهمیت است این مسأله می‌باشد که همچون شاخص‌های دیگر که در این پژوهش آورده شده است، شاخص CSI تعدادی از سلول‌های موجود در حوضه عملکرد بهتری نسبت به شاخص میانگین حوضه دارد و این بیانگر این مسأله است که نمی‌توان به یک عدد به عنوان نماینده شاخص مورد نظر برای کل حوضه اطمینان حاصل نمود.

مربوط به APHRODITE و ERA-INTERIM بالای ۰/۶ می‌باشد در حالی که برای دیگر پایگاه‌ها زیر ۰/۵ می‌باشد. از بین پایگاه‌های مربوطه در حالت کلی بدترین عملکرد را با توجه به این شاخص در مقیاس سلولی دو پایگاه CHIRPS و PERSIANN دارند. با توجه به شکل ۸ می‌توان به این نکته پی برد که دو پایگاه ERA-INTERIM و APHRODITE با توجه به میانگین حوضه نیز عملکرد بهتری دارند. با مقایسه میزان POD میانگین حوضه و سلول‌های موجود در حوضه نشان‌دهنده این مسأله است که برخی از سلول‌ها دارای POD بالایی نسبت به میانگین حوضه می‌باشند.

شاخص دیگری که در این پژوهش استفاده شده است POFD می‌باشد که هر چه قدر میزان این شاخص کمتر باشد نشان‌دهنده کارایی بهتر مدل یا پایگاه مربوطه می‌باشد. در شکل ۹ پراکنش مکانی این شاخص در سطح حوضه و مقدار آن برای میانگین حوضه ارائه شده است؛ با توجه به این شاخص پایگاه‌های PERSIANN-CDR، CHIRPS و PERSIANN نسبت به دیگر پایگاه‌ها عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند، نتیجه‌ای که از این ارزیابی به دست می‌آید به این صورت است که پایگاه‌های APHRODITE، ERA-INTERIM و TRMM هر چند در تشخیص درست "وقوع بارش" عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند ولی در تخمین "عدم وقوع بارش" نسبت به دیگر پایگاه‌ها عملکرد بهتری ندارند. همچنین مقایسه مقادیر

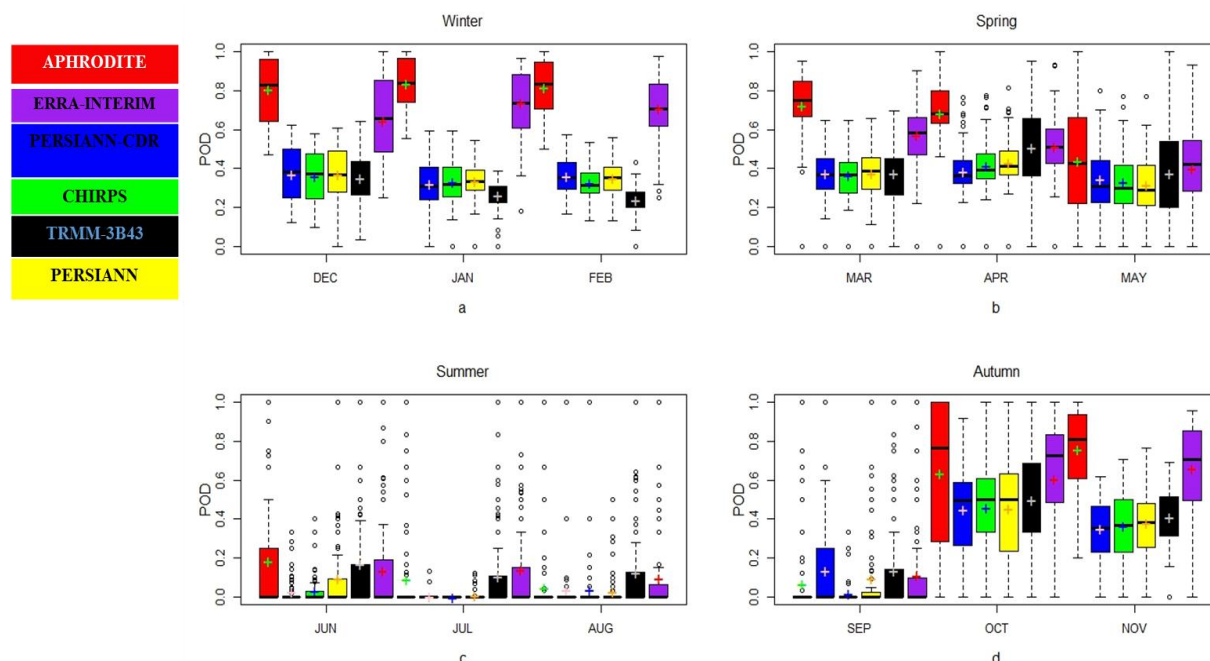


Fig. 8- Probability of Detection (POD) for different seasons in individual grids; a, b, c and d are representing boxplot respectively for winter, spring, summer and autumn. The values for the basin mean are indicated by the "+" sign. شکل ۸- شاخص POD برای فصول مختلف برای تک سلول‌ها. a, b, c و d به ترتیب باکس پلات مربوط به فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز می‌باشد. مقادیر مربوط به میانگین حوضه با علامت + نشان داده شده است.

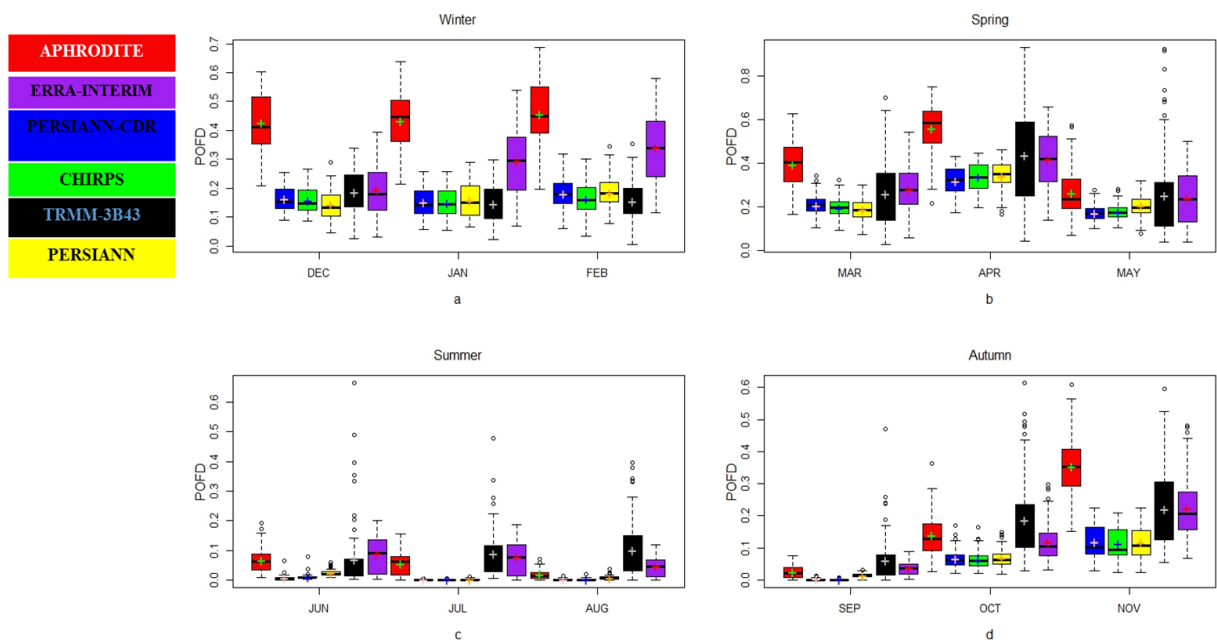


Fig. 9 - Probability of False Detection (POFD) for different seasons in individual grids; a, b, c and d are representing boxplot of POFD respectively for winter, spring, summer and autumn. The values for the basin mean are indicated by the “+” sign.

شکل ۹- احتمال تشخیص نادرست POFD برای فصول مختلف در همه گریدها. a, b, c و d به ترتیب باکس پلات مربوط به فصل زمستان، بهار، تابستان و پاییز می باشد. مقادیر مربوط به میانگین حوضه با علامت + نشان داده شده است.

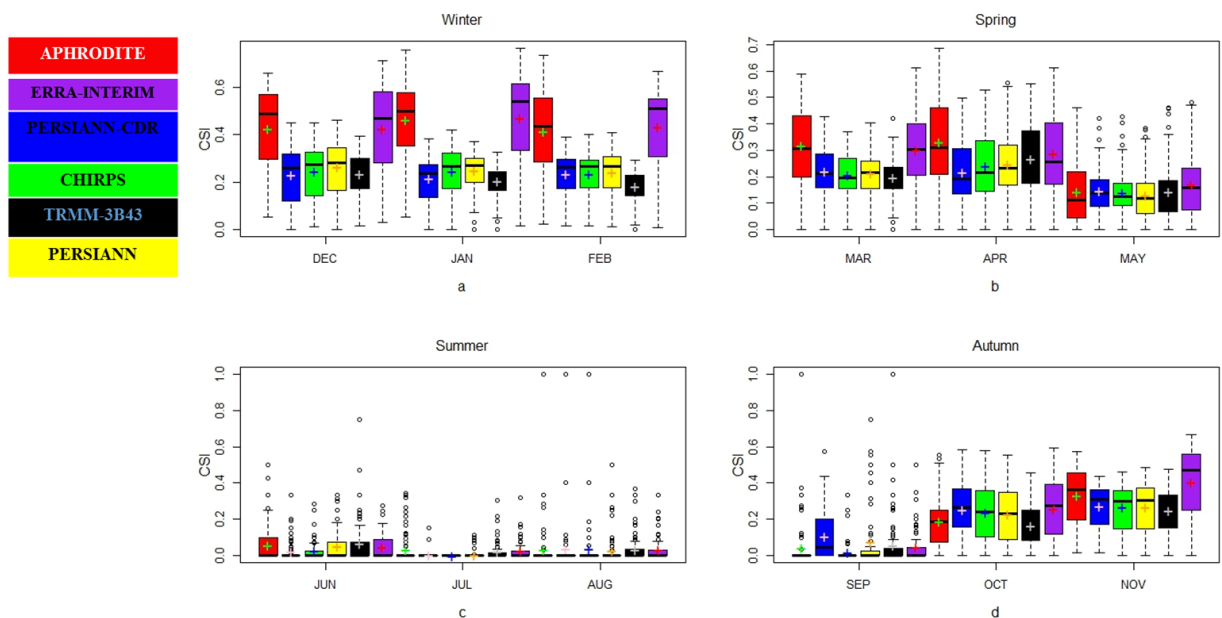


Fig. 10- CSI for different seasons in individual grids; a, b, c and d are representing boxplot of CSI respectively for winter, spring, summer and autumn. The values for the basin mean are indicated by the “+” sign.

شکل ۱۰- شاخص CSI مربوط به فصول مختلف برای سلول های موجود در حوضه. a, b, c و d به ترتیب باکس پلات مربوط به فصل زمستان، بهار، تابستان و پاییز می باشد. مقادیر مربوط به میانگین حوضه با علامت + نشان داده شده است.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

در این پژوهش پایگاه‌های ERA-INTERIM، APHRODITE، TRMM-3B43 V7، CHIRPS V2، PERSIANN و PERSIANN-CDR با داده‌های مشاهداتی در حوزه آبریز کارون بزرگ مقایسه شدند. هدف از این پژوهش بررسی سلول به سلول این پایگاه داده‌ها و داده‌های مشاهداتی و همچنین مقایسه نتایج حاصله با میانگین حوضه بود. نتایج حاکی از برتری کلی APHRODITE نسبت به سایر پایگاه‌ها در برآورد بارش میانگین حوضه و همچنین در اکثر سلول‌های مورد مقایسه بود. این نتیجه بیانگر این مسأله است که به دلیل ماهیت زمینی که پایگاه APHRODITE دارد، می‌تواند جایگزین مناسبی برای باران‌سنج‌های زمینی باشد لذا در مطالعات بعدی می‌توان از این پایگاه‌ها به عنوان منبع بارش مرجع استفاده نمود. در بین منابع ماهواره‌ای نیز محصول TRMM 3B42 RT عملکرد بهتری نسبت به دیگر منابع داشت بنابراین می‌توان با تصحیح اریبی این ماهواره با مشاهدات زمینی به عنوان یک منبع قابل اعتماد از این محصول استفاده نمود. همچنین در بین دو پایگاه PERSIANN و PERSIANN-CDR پایگاه دوم عملکرد بهتری در کل داشته و این نکته بیانگر این مسأله است که چون در PERSIANN-CDR از داده‌های زمینی نیز بهره برده می‌شود مطابقت بیشتری با داده‌های زمینی دارد تا محصول PERSIANN که صرفاً یک پایگاه ماهواره‌ای می‌باشد. نتیجه دیگری که قابل ذکر می‌باشد عملکرد بهتر پایگاه‌های مختلف در برآورد بارش میانگین حوضه نسبت به مقیاس سلولی می‌باشد که این نتیجه تقریباً برای اکثر پایگاه‌ها مشاهده شد همچنین نکته حایز اهمیت دیگر در این پژوهش این بود که تمامی منابع ماهواره‌ای نسبت به منابع زمینی از عملکرد مناسبی برخوردار نبودند این مسأله به دلیل الگوریتم محاسبه بارش توسط این منابع ماهواره‌ای می‌باشد به این صورت که منبع بارشی همچون PERSIANN با استفاده از تصاویر بازتابش شده مادون قرمز توسط ماهواره‌های زمین مرجع، بکار می‌گیرد. در حالی که احتمال دارد بارش برآوردی توسط این منابع ماهواره‌ای در واقعیت به سطح زمین نرسیده و اصلاً بارشی در سطح زمین رخ ندهد که این مسأله از عدم قطعیت‌های موجود در برآورد بارش توسط این منابع بارشی می‌باشد. در حالت کلی با توجه به نتایج ارائه شده می‌توان به این نتیجه رسید که در ارزیابی‌های مستقیم صرفاً نمی‌توان به مقایسه میانگین حوضه بسنده کرد و ارزیابی‌ها باید در مقیاس سلولی انجام پذیرد. همچنین لازم به ذکر است که در این پژوهش عدم قطعیت‌های ناشی از تأثیر ارتفاع در نظر گرفته نشده است. به همین منظور در مطالعات بعدی می‌توان از روش‌هایی همچون کریجینگ یا IDW برای منطقه مورد نظر استفاده کرد و تأثیر ارتفاع را نیز در میزان بارش هر سلول لحاظ نمود و نتایج را با نتایج روش

مورد استفاده در این پژوهش مقایسه نمود. در ادامه می‌توان به این نکته اشاره کرد که نتایج پژوهش مورد نظر با نتایج پژوهش Javanmard et al. (2010) و همچنین Sharifi et al. (2016) که عملکرد بهتر محصول TRMM را برای کل ایران ذکر کرده بودند مطابقت دارد.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Reanalysis Datasets
- 2- Spatial Resolution
- 3- Tropical Rainfall Measuring Mission
- 4- ERA-INTERIM
- 5- Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data
- 6- Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks
- 7- CPC MORPHing Technique
- 8- Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM
- 9- Climate Forecast System Reanalysis
- 10- Asian Precipitation- Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources
- 11- Asian Precipitation-Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation
- 12- Pixel to Pixel Evaluation
- 13- Data Assimilation
- 14- Angular Distance Weighting
- 15- Normalized Root Mean Square Error
- 16- Probability of Detection
- 17- Probability of False Detection

۵- مراجع

- AghaKouchak A, Behrangi A, Sorooshian S, Hsu K and Amitai E (2011) Evaluation of satellite-retrieved extreme precipitation rates across the central United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 116(D2)
- Ashouri H, Hsu KL, Sorooshian S, Braithwaite D K, Knapp K R, Cecil L D, Nelson B R and 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-1, Sorooshian S and 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
- Behrangi A, Andreadis K, Fisher J B, Turk F J, Granger S, Painter T and Das N (2014) Satellite-Based

- Funk C, Peterson P, Landsfeld M, Pedreros D, Verdin J, Shukla S, Husak G, Rowland J, Harrison L and Hoell A (2015) The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2150066
- Gao Y and Liu M (2013) Evaluation of high-resolution satellite precipitation products using rain gauge observations over the Tibetan Plateau. *Hydrology and Earth System Sciences* 17(2):837
- Gebere S B, Alamirew T, Merkel B J and Melesse A M (2015) Performance of high resolution satellite rainfall products over data scarce parts of Eastern Ethiopia. *Remote Sensing* 7(9):11639-11663
- Habib E, Henschke A and Adler R F (2009) Evaluation of TMPA satellite-based research and real-time rainfall estimates during six tropical-related heavy rainfall events over Louisiana, USA. *Atmospheric Research* 94(3):373-388
- Hsu K-I, Gao X, Sorooshian S and Gupta H V (1997) Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. *Journal of Applied Meteorology* 36(9):1176-1190
- Huffman G J, Bolvin D T, Nelkin E J, Wolff D B, Adler R F, Gu G, Hong Y, Bowman K P and Stocker E F (2007) The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology* 8(1):38-55
- Javanmard S, Yatagai A, Nodzu M, BodaghJamali J and Kawamoto H (2010) Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM_3B42 over Iran. *Advances in Geosciences* 25:119-125
- Kim J, Jung I, Park K, Yoon S and Lee D (2016) Hydrological utility and uncertainty of multi-satellite precipitation products in the mountainous region of South Korea. *Remote Sensing* 8(7):608
- Krogh S A, Pomeroy J W and McPhee J (2015) Physically based mountain hydrological modeling using reanalysis data in patagonia. *Journal of Hydrometeorology* 16(1):172-193
- Lauri H, Räsänen T A and Kummu M (2014) Using reanalysis and remotely sensed temperature and precipitation data for hydrological modeling in monsoon climate: Mekong River case study. *Journal of Hydrometeorology* 15(4):1532-1545
- Li X-H, Zhang Q and Xu C-Y (2012) Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. *Journal of Hydrology* 426:28-38
- precipitation estimation and its application for streamflow prediction over mountainous western U.S. basins. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 53(12):2823-2842
- Behrangi A, Khakbaz B, Jaw T C, AghaKouchak A, Hsu K and Sorooshian S (2011) Hydrologic evaluation of satellite precipitation products over a mid-size basin. *Journal of Hydrology* 397(3):225-237
- Bitew M and Gebremichael M (2011) Assessment of satellite rainfall products for streamflow simulation in medium watersheds of the Ethiopian highlands. *Hydrology and Earth System Sciences* 15(4):1147-1155
- Bitew M M and Gebremichael M (2011) Evaluation of satellite rainfall products through hydrologic simulation in a fully distributed hydrologic model. *Water Resources Research* 47(6):n/a-n/a
- Bodian A, Dezetter A, Deme A and Diop L (2016) Hydrological evaluation of TRMM rainfall over the Upper Senegal River basin. *Hydrology* 3(2):15
- Cecinati F (2013) Precipitation analysis for a flood early warning system in the Manafwa River Basin, Uganda. Massachusetts Institute of Technology
- de Leeuw J, Methven J and 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 and 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
- Duan Z, Liu J, Tuo Y, Chiogna G 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
- Duncan J M and Biggs E M (2012) Assessing the accuracy and applied use of satellite-derived precipitation estimates over Nepal. *Applied Geography* 34:626-638
- Eini M R, Javadi S, Delavar M (2018) Evaluating the performance of CRU and NCEP CFSR global reanalysis climate datasets, in hydrological simulation by SWAT model, Case Study: Maharlu basin. *Iran-Water Resources Research* 14(1):32-44 (In Persian)
- Feidas H (2010) Validation of satellite rainfall products over Greece. *Theoretical and Applied Climatology* 99(1-2):193-216

- system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society* 81(9):2035-2046
- Vergara H, Hong Y, Gourley J J, Anagnostou E N, Maggioni V, Stampoulis D and Kirstetter P-E (2014) Effects of resolution of satellite-based rainfall estimates on hydrologic modeling skill at different scales. *Journal of Hydrometeorology* 15(2):593-613
- Wang S, Liu S, Mo X, Peng B, Qiu J, Li M, Liu C, Wang Z and Bauer-Gottwein P (2015) Evaluation of remotely sensed precipitation and its performance for streamflow simulations in basins of the southeast Tibetan Plateau. *Journal of Hydrometeorology* 16(6):2577-2594
- Worqlul A W, Maathuis B, Adem A A, Demissie S S, Langan S and Steenhuis T S (2014) Comparison of rainfall estimations by TRMM 3B42, MPEP and CFSR with ground-observed data for the Lake Tana basin in Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences* 18(12):4871-4881
- Yatagai A, Kamiguchi K, Arakawa O, Hamada A, Yasutomi N and Kitoh A (2012) APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(9):1401-1415
- Zangenehinanlu M R and Faridhoseini A (2018) Comparison of observed rainfall and satellite rainfall data PERSIANN and CMORPH - interpolation methods in hourly and daily scale. (case study: Shopoor basin). *Iran-Water Resources Research* 14(4):1-12 (In Persian)
- Zhao T and 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
- Li Z, Yang D, Gao B, Jiao Y, Hong Y and Xu T (2014) Multiscale hydrologic applications of the latest satellite precipitation products in the Yangtze River Basin using a distributed hydrologic model. *Journal of Hydrometeorology* 16(1):407-426
- Liang J and Xie P (2007) 2.7 verifying high-resolution satellite precipitation estimates on sub-daily scales: results for southern China. 21st Conference on Hydrology
- Liu M, Xu X, Sun A Y, Wang K, Yue Y, Tong X and Liu W (2015) Evaluation of high-resolution satellite rainfall products using rain gauge data over complex terrain in southwest China. *Theoretical and Applied Climatology* 119(1-2):203-219
- Moazami S, Golian S, Hong Y, Sheng C and 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
- Nikolopoulos E I, Anagnostou E N and Borga M (2012) Using high-resolution satellite rainfall products to simulate a major flash flood event in northern Italy. *Journal of Hydrometeorology* 14(1):171-185
- Sharifi E, Steinacker R and 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
- Siddique-E-Akbor A H M, Hossain F, Sikder S, Shum C K, Tseng S, Yi Y, Turk F J and Limaye A (2014) Satellite precipitation data-driven hydrological modeling for water resources management in the Ganges, Brahmaputra, and Meghna Basins. *Earth Interactions* 18(17):1-25
- Sorooshian S, Hsu K-L, Gao X, Gupta H V, Imam B and Braithwaite D (2000) Evaluation of PERSIANN