

دوره ۳۱، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۲۱، زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۴۳-۵۷  
شناسه دیجیتال: 10.22092/WMEJ.2018.123063.1139

# پژوهش‌های آب‌نخرداری

(پژوهش و سازندگی)

## بررسی تطابق داده‌های بارش ماهواره‌ی TRMM اصلاح‌شده، با داده‌های بارش زمینی ایستگاه‌های هواشناسی حوضه‌ی آبخیز رود شاپور استان فارس

بیژن قهرمان\*

(نویسنده‌ی مسئول)\* استاد دانشگاه فردوسی مشهد

محمد رضا زنگنه اینالو

دانشجوی دوره‌ی دکتری تخصصی دانشگاه فردوسی مشهد

علیرضا فریدحسینی

استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: مردادماه ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: آبان‌ماه ۱۳۹۷

\*Corresponding Email: golzreza@gmail.com

### چکیده

بارش از اجزای اصلی چرخه‌ی آب‌شناسی است و به داده‌های آن در تحلیل‌های آب‌وهوایی و مدل‌های آب‌شناختی نیاز است. با توجه به کمبود داده‌های بارش در گستره‌های مکانی و بازه‌های زمانی، در پژوهش حاضر به ارزیابی اطلاعات بارش برآوردی از تصاویر ماهواره‌ی TRMM و TRMM اصلاح‌شده در حوضه‌ی آبخیز شاپور استان فارس پرداخته شد. از اطلاعات ۲۸ رخ‌داد بارش روزانه و ساعتی ایستگاه‌های واقع در حوضه‌ی یادشده و رخ‌دادهای بارش روزانه در بازه‌ی زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ برای پنج ایستگاه بوشیگان، کازرون، چیتی، دشت ارژن و پس‌قلات در محدوده‌ی مطالعاتی کازرون استفاده شد. معیارهای ضریب همبستگی، میانگین مجذور مربع خطا، احتمال آشکارسازی، نرخ هشدار اشتباه و شاخص موفقیت بحرانی، برای هر دو فراورده بارش ماهواره‌ای محاسبه شد. نتایج نشان دادند که مدل‌های TRMM و TRMM اصلاح‌شده در مقیاس ساعتی و روزانه دقت کمی دارند؛ گرچه همبستگی داده‌های مشاهداتی در مقیاس ساعتی با TRMM اصلاح‌شده نسبت به TRMM بیشتر است. با اصلاح داده‌ی بارش TRMM ضریب تبیین مدل از ۰/۵۲ به ۰/۷۵ بهبود یافت که نشان‌دهنده‌ی انطباق نسبی داده‌های بارش TRMM با داده‌های ایستگاه زمینی است. ضریب همبستگی مقادیر بارش برآوردی از ماهواره‌ی TRMM و TRMM اصلاح‌شده در مقیاس ماهانه با داده‌های زمینی در تمامی ایستگاه‌های بررسی‌شده، ضریب همبستگی زیادی (بیشتر از ۰/۸۵) دارد و با اصلاح داده‌ی بارش TRMM ضریب تبیین نیز بهبود یافت.

واژگان کلیدی: برآورد بارش، شاخص‌های مطابقت، ماهواره‌ی TRMM

## An Evaluation of the Accordance of Modified TRMM Satellite Precipitation Data with Observational Data in the Shapour Basin in the Fars Province

Bijan Ghahraman\*

(Corresponding Author)\* Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Mohammad Reza Zangeneh Inaloo

Ferdowsi University of Mashhad

Ali Reza Faridhoseini

Ferdowsi University of Mashhad

### Abstract

Precipitation is one of the main components of the hydrological cycle, and its data are required for the analysis of meteorological and hydrological models. Due to lack of rainfall data in spatial and temporal scales, this study was performed to evaluate the accuracy of the precipitation estimation by the TRMM Satellite and its modified form in the Shapour Basin in the Fars Province. The daily and hourly rainfall data of the Shapour Basin stations, 28 precipitation events (on an hourly basis), and the daily basic precipitation events (2011–2016) for 5 stations in Boushigan, Kazeroon, Chitti, Arjan, and Posghalat Plains located in the Kazeroon study area were used. The correlation coefficient, the root mean squared error, the probability of detection, the false alarm ratio, and the critical success index were calculated for both rainfall estimations. The results showed that the modified TRMM and TRMM models were not accurate enough on the hourly and daily bases, yet the correlation between the observational data on the hourly basis and the modified TRMM was higher than that of the TRMM. By modifying TRMM rainfall data, the TRMM correlation coefficient improved from 0.52 to 0.75, indicating a relative correlation between the TRMM rainfall data and the ground station data. The correlation coefficient of the estimated precipitation values obtained from the TRMM and TRMM satellites were corrected on a monthly basis, with the ground data at all the studied stations having a high correlation coefficient (greater than 0.85). Correction of the TRMM precipitation data, improved the coefficient of explanation.

**Keywords:** accordance indices, precipitation estimation, TRMM satellite

### مقدمه

بارش از اجزای اصلی چرخه‌ی آب‌شناسی و ورودی مورد نیاز بسیاری از مدل‌های آب‌وهوایی و آب‌شناختی است (قهرمان و همکاران ۲۰۱۸). کمبود داده‌های اعتمادکردنی و کامل، از مهم‌ترین چالش‌ها در واکاوی بارش و پیش‌بینی‌های آب‌شناسی در مدیریت منابع آب است (معظمی و همکاران ۲۰۱۳)؛ علاوه‌براین، داده‌های بارش معمولاً از ایستگاه‌های هم‌دید، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی در بازه‌های زمانی مختلف برداشت می‌شود. تعداد نابسنده، پراکندگی مکانی نامناسب این ایستگاه‌ها و پایش نکردن در فاصله‌ی زمانی کوتاه‌مدت، از مشکلات

عمده‌ی داده‌های بارش است.

برای برآورد مقادیر بارش در مناطق اندازه‌گیری‌نشده، به‌علت دشواری بودن گذرگاه و نبود تجهیزات ایستگاهی و رادار زمینی، می‌توان از روش‌های درون‌یابی فضایی، رگرسیون آماری و الگوریتم‌های تخمین بارندگی با کمک تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد. خطای روش‌های درون‌یابی در مناطق مرتفع، کوهستانی، خشک و نیمه‌خشک زیاد گزارش شده است (غضنفری و همکاران ۲۰۱۱). طی سالیان اخیر تخمین بارش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای توانسته است به‌عنوان یک راهکار نوآورانه مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد. داده‌های ماهواره‌ای

در سه حوضه‌ی آبخیز اصلی بولیوی پرداختند. بر پایه‌ی نتایج آن‌ها CFSR and MERRA دارای بیش‌برآورد مقدار بارش در حوضه‌های آبخیز آند و آمازون است؛ درحالی‌که TRMM3B42 رفتاری مشابه داده‌های زمینی ثبت‌شده دارد. ناستوس و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی ماهواره‌ی TRMM-3B43 برای ۹۶ ایستگاه کشور یونان در بازه‌ی زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ پرداختند. مطابق نتایج آن‌ها همبستگی بین دو پایگاه داده (شبکه‌ی ماهواره‌ای و زمینی) در زمستان پذیرفتنی بود و داده‌های ماهواره‌ای در مناطق پست و ساحلی یونان، دارای بیش‌برآورد و در ارتفاعات کم‌برآورد هستند. تاو و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به ارزیابی داده‌های ماهواره‌ی TRMM 3B43 در استان جینگسو کشور چین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در مقیاس‌های زمانی مختلف بین مشاهده‌ها و داده‌های بارندگی TRMM 3B43 همبستگی وجود دارد؛ با این‌وجود در تابستان تنها ۵۰٪ از ایستگاه‌ها ضریب همبستگی معنی‌داری را نشان دادند و بهترین تطابق برآورد بارش ماهانه در ماه‌های پاییز به دست آمد.

جوآنمرد و همکاران (۲۰۱۰) با ارزیابی برآورد بارش با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ی TRMM-3B42 در سطح ایران نشان دادند که مدل یادشده، حدود ۲۵٪ میانگین بارش سالانه‌ی کل کشور را کمتر برآورد کرده است. بارانی‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی داده‌های 3B43 ماهواره‌ی TRMM را با داده‌های بارش شبکه‌بندی‌شده‌ی زمینی در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۰-۲۰۰۷ ارزیابی کردند. مطابق نتایج گزارش‌شده ضمن پذیرفتنی دانستن نتایج ماهواره‌ی TRMM، ضرایب همبستگی در برآورد بارش میانگین زمستان T به‌عنوان پرباران‌ترین فصل سال، ۰/۸۳ و در فصل بهار، ۰/۸۶ و در فصل پاییز ۰/۸۳ در کل کشور گزارش شد. حجازی‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) به ارزیابی بارش TRMM-3B42 و مقایسه‌ی آن با مقادیر حاصل از درون‌یابی کریجینگ براساس داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک در مقیاس روزانه پرداختند که نتایج به‌دست آمده در جنوب رشته‌کوه‌های البرز و نواحی مرکزی و تاندازه‌ای نواحی شرقی ایران دقت کمی داشتند؛ اما در نواحی غربی و جنوب غربی کشور دقتشان مناسب ارزیابی شده است. عبدالهی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به ارزیابی دقت داده‌های بارش ماهواره‌های CMORPH و TRMM 3B42RT در حوضه‌ی گرگان‌رود پرداختند. مطابق نتایج به‌دست‌آمده داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه و فصلی از دقت بیش‌تری نسبت به مقیاس روزانه برخوردار هستند و مدل‌های CMORPH و TRMM 3B42RT مقدار بارش را کمتر از مقدار مشاهداتی تخمین می‌زنند.

برآورد صحیح داده‌های بارش، از ضروری‌ترین نیازها در مدیریت منابع آب و هرگونه تحلیل هواشناسی و آب‌شناختی است؛ از این‌رو داده‌های ماهواره‌ای می‌توانند با توجه به گستره‌ی وسیع پوششی و غلبه بر محدودیت‌های مکانی و زمانی، جایگزین مناسبی برای ایستگاه‌های

با فراهم کردن یک پوشش مکانی کامل، قادر به تخمین بارش برای کل جهان است. این امر در مناطقی که رادار زمینی ندارند یا دارای شبکه‌ی باران‌سنجی متراکمی نیستند، اطلاعات مناسبی در اختیار قرار می‌دهد. از این‌رو، در دو دهه‌ی اخیر، مطالعات زیادی برای توسعه‌ی روش‌های مختلف اندازه‌گیری بارش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به‌منظور افزایش دقت و تخمین بارش در مناطق فاقد آمار کامل و قابل‌اعتماد صورت گرفته است (معظمی و همکاران ۲۰۱۴).

یکی از منابع اطلاعاتی برآورد مقادیر بارش، داده‌های ماهواره‌ی TRMM است که به‌طور گسترده در پژوهش‌های هواشناسی و آب‌شناختی استفاده شده است و ایستگاه‌های اعتبارسنجی گسترده‌ای در سراسر جهان به اعتبارسنجی داده‌های آن اقدام می‌کنند. به‌دلیل اهمیت فراورده‌های بارش از ماهواره‌ی TRMM در سرتاسر جهان، پژوهش‌های گسترده‌ای در خصوص دقت داده‌های ساعتی تا روزانه و ماهانه‌ی بارش درباره‌ی آن صورت گرفته است که در ادامه به برخی از پژوهش‌های انجام‌شده در ایران و جهان پرداخته می‌شود.

فیداس و چریوسولاکیس (۲۰۰۸) با اعتبارسنجی و مقایسه‌ی سه فراورده بارش TRMM شامل الگوریتم‌های 3A12، 3B42 و 3B43 با ایستگاه‌های زمینی در یونان، نشان دادند که تطابق مناسبی بین فراورده‌های 3B42 و 3B43 با داده‌های باران‌سنجی در فصل‌های تابستان و پاییز برقرار است و نتایج الگوریتم 3B43 به‌دلیل خطاهای تصادفی کمتر، نسبت به فراورده 3B42 بهتر است. سو و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی نتایج بارش برآوردی از مدل TRMM 3B42V6 را با ایستگاه‌های بارشی حوضه‌ی آبخیز لاپلاتا در امریکای جنوبی مقایسه کردند و نشان دادند ضریب همبستگی بسیار زیادی میان آن‌ها در مقیاس ماهانه وجود دارد. چونگگموانگ و چو (۲۰۰۸) در پژوهشی داده‌های روزانه‌ی بارش کشور تایلند را با مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی GPCC و اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای فراورده TRMM مقایسه کردند. مطابق یافته‌های آن‌ها داده‌های برآوردی TRMM 3B43 با پایگاه ملی تطابق زیادی دارد؛ اما همخوانی بین داده‌های پایگاه GPCC با پایگاه ملی بیشتر است. المازروبی (۲۰۱۱) در پژوهشی به واسنجی داده‌های بارش‌های TRMM در عربستان در بازه‌ی زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ پرداخت. وی نشان داد در مقیاس روزانه و سالانه‌ی بارش‌های TRMM مطابقت زیادی با بارش ایستگاه‌های زمینی دارد؛ ولی در دوره‌ی مرطوب (نوامبر تا آوریل)، دارای کم‌برآوردی است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) با ارزیابی فراورده TRMM 3B43 V6 در پایش خشکسالی‌های حوضه‌ی رود لان‌سانگ در چین، ضمن تأیید دقت مدل یادشده، استفاده از آن را برای پایش خشکسالی در مناطق با داده‌های پراکنده توصیه کردند. لائوچریا و منصور (۲۰۱۵) به مقایسه‌ی داده‌های روزانه‌ی بارش CFSR, MERRA, TRMM3B42

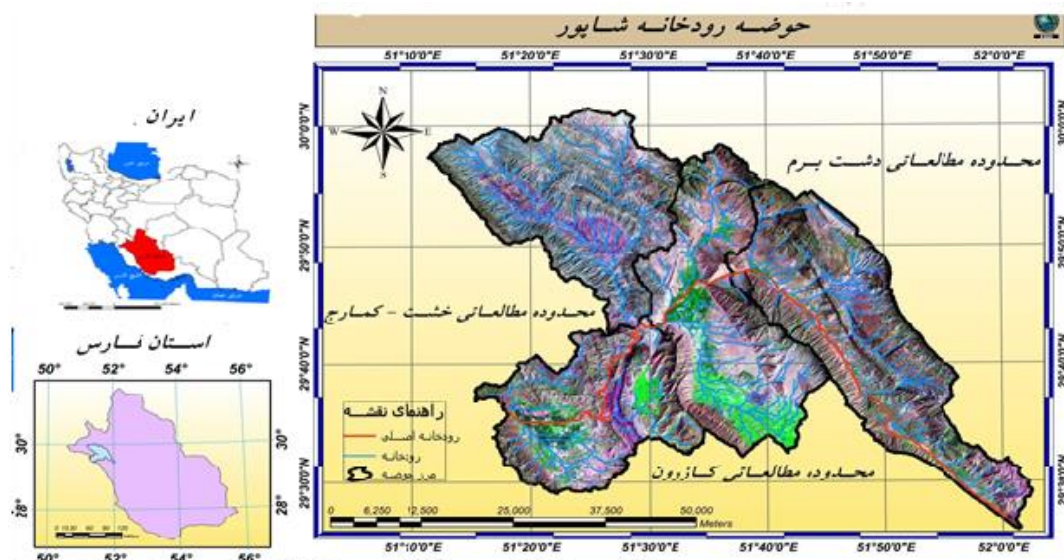
جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۵۲ درجه و سه دقیقه طول شرقی و مختصات ۲۹ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و یک دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). اقلیم منطقه تحت تأثیر توده‌های هوای مدیترانه‌ای مستقیم از غرب و شمال غرب، توده‌های هوای مدیترانه‌ای غیرمستقیم و توده‌های هوای سودانی است و در نواحی شمالی و شمال شرقی، شامل منطقه‌ی مرطوب و معتدل تا مناطق جنوبی شامل نیمه‌بیابانی است. با تهیه‌ی شبکه‌ی آبراهه‌ای در سطح حوضه، تعداد ۴۷ زیرحوضه در آن استخراج و هرکدام به‌عنوان یک واحد آب‌شناختی منظور شد. حوضه‌ی یادشده از چهار محدوده‌ی مطالعاتی دشت برم، خشت-کمارج و کازرون تشکیل شده است که هر محدوده شرایط آب‌وهوایی و زمینی (ارتفاع، شیب، مساحت، پستی و بلندی، نوع فیزیکی خاک و...) و نوع پوشش گیاهی مختلفی دارد. دلیل انتخاب این حوضه، همین شرایط متنوع بود تا در شرایط مختلف، داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاه‌های زمینی مقایسه گردند.

زمینی باشند؛ اما این موضوع نیاز به واسنجی و اعتبارسنجی با اطلاعات زمینی با توجه به ماهیت غیرمستقیم اندازه‌گیری آن دارد (چیما و باستیانسن ۲۰۱۲). هدف از این پژوهش، تعیین زمان و مکان واقعی بارش ورودی، براساس واکاوی نوع داده‌های بارش ماهواره‌ای و بررسی دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای در مقایسه با داده‌های زمینی در حوضه‌ی شاپور استان فارس است. در این پژوهش تلاش شده است تا دقت داده‌های ماهواره‌ی TRMM و مدل اصلاح‌شده‌ی آن، در مقایسه با داده‌های بارش ایستگاهی در حوضه‌ی آبخیز رود شاپور در مقیاس‌های مختلف ساعتی، روزانه و ماهانه، براساس معیارهای آماری خطا ارزیابی و بررسی شود. نتایج حاصل از این بررسی را می‌توان در مکان‌های بدون سنجنده‌ی بارش زمینی استفاده کرد که می‌تواند جایگزین داده‌های ایستگاه‌های بارش زمینی شود. در این پژوهش سعی شده است تا داده‌های ماهواره‌ای بارش نیز اصلاح گردد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه‌ی مطالعه‌شده

حوضه‌ی آبخیز شاپور، با وسعت ۲۴۹۶/۱ کیلومتر مربع بین مختصات

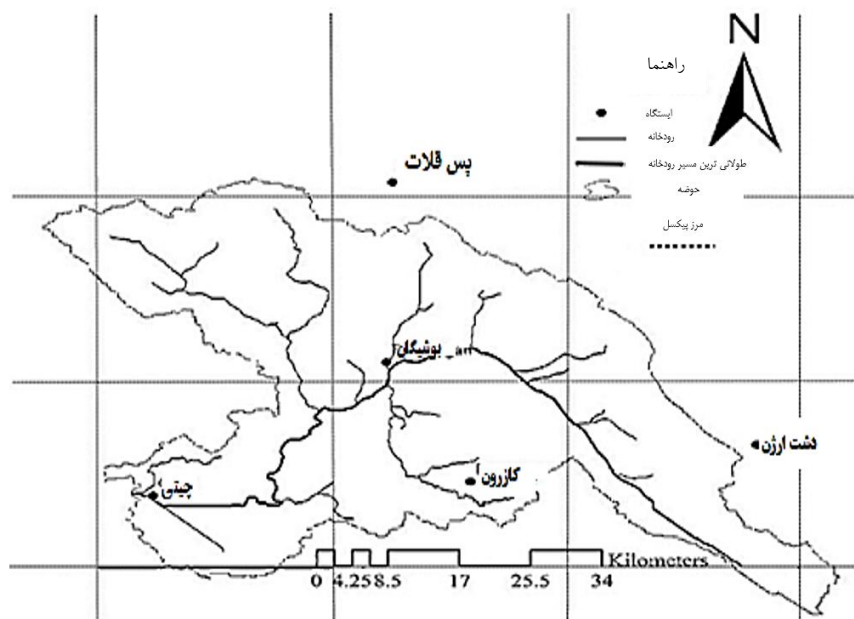


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مطالعه‌شده به همراه محدوده‌های مطالعاتی در استان فارس و ایران.

و دفتر مطالعات پایه‌ی شرکت آب منطقه‌ای فارس اخذ شده است. ایستگاه‌های دشت ارژن و پس‌قلات خارج از حوضه و بوشیگان، کازرون و چیتی داخل حوضه قرار دارند. در این پژوهش داده‌های ساعتی بارش ماهواره‌های TRMM از پایگاه سازمان فضایی آمریکا استخراج شد و پس از تحلیل شکل دریافتی داده‌ها در محیط متلب اطلاعات بارش ساعتی استخراج گردید.

### داده‌ها

در محدوده‌ی مطالعه‌شده تعداد پنج ایستگاه باران‌سنجی، شامل بوشیگان، پس‌قلات، دشت ارژن، چیتی و کازرون بررسی شدند (شکل ۲). ایستگاه باران‌سنجی بوشیگان که دارای آمار باران‌سنج ثبات است، ایستگاه مبنا و شاخص در مقیاس ساعتی، به‌منظور صحت‌سنجی داده‌های ماهواره‌ای در دوره‌ی زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۰ محسوب شد. آمار جمع‌آوری‌شده در این پژوهش، از سازمان هواشناسی



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی به کاررفته در حوضه.

(TMI)<sup>۴</sup> است که PR فقط وسیله‌ی اندازه‌گیری در فضاست و شدت بارش و قطره را با استفاده از رادار اندازه‌گیری می‌کند و نیز می‌تواند بارش را در ارتفاع‌های مختلف و در نتیجه، نیم‌رخ بارش عمودی را اندازه‌گیری کند. این وسیله دقیق بوده و اندازه‌گیری‌های آن اغلب صحیح است؛ اما هنوز بعضی مشکلات در اندازه‌گیری بارش کمتر از ۰/۷ میلی متر بر ساعت در آن دیده شده است (کاونیشی و همکاران ۲۰۰۰).

نتایج الگوریتم TRMM 3B42RT V از ترکیب فرآورده ماهواره‌ی TRMM با دیگر منابع تهیه می‌شود. این فرآورده از ترکیب چهار سطح شامل حسگر عکس‌برداری کننده‌ی فرسوخ مرئی (VIRS)، تصویربرداری میکرو موجی (TMI) و رادار بارش (PR) به همراه منابع شاخص بارش جهانی (GPI)<sup>۵</sup> تولید می‌شود. در پژوهش حاضر از این الگوریتم در تخمین بارش سه‌ساعتی و روزانه سود جست‌ه شد. هدف الگوریتم 3B43 تولید داده‌های اندازه‌گیری بارندگی حاره‌ای و برآورد میزان بارش در مقیاس ماهانه است. برآوردهای الگوریتم یادشده دارای شبکه‌ی ۰/۲۵ درجه است و با داشتن قدرت تفکیک زمانی

#### داده‌های بارش ماهواره‌ای TRMM

ماهواره‌ی TRMM فرآورده مشترک آمریکا و ژاپن است که اطلاعات ارزشمندی را در زمینه‌ی بلایای طبیعی نظیر سیل و پیش‌بینی‌های آب و هوایی در اختیار کاربران قرار می‌دهد. این ماهواره در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ در یک مدار تقریباً دایره‌ای در ارتفاع ۸۵۰ کیلومتری با یک زاویه‌ی میل ۳۵ درجه نسبت به مدار استوا با دوره‌ی گردش زمانی ۹۱/۵ دقیقه به فضا پرتاب شده است که هر سه ساعت اطلاعات ارزشمندی را از وضعیت دما و بارش برای عرض‌های جغرافیایی ۵۰ درجه‌ی شمالی تا ۵۰ درجه‌ی جنوبی در کل زمین ارائه می‌دهد. با استفاده از تصاویر ارسالی این ماهواره امکان ثبت و واکاوی مداوم مقادیر بارش در سطح زمین فراهم می‌گردد. میزان تفکیک مکانی بارش‌های ثبت‌شده ۲۵ درجه است. با توجه به اینکه این داده‌ها به صورت غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌شوند، لازم است که تصحیح شده و خطاهای موجود در آن‌ها رفع گردند تا برای پردازش‌های بعدی و در نهایت بررسی انطباق با داده‌های ایستگاه‌های زمینی آماده شوند (هافمن و همکاران ۲۰۱۰). ماهواره‌ی TRMM شامل رادار بارش (PR)<sup>۳</sup> و حسگر تصویر میکروویو

2-<https://pmm.nasa.gov>

3- Precipitation Radar

4- TRMM microwave image

5- Global Precipitation Index



ماهانه و قدرت تفکیک مکانی ۵۰ درجه‌ی شمال جغرافیایی تا ۵۰ درجه جنوب جغرافیایی را پوشش می‌دهند. داده‌های این الگوریتم شامل داده‌های شش منبع است که عبارت‌اند از: داده‌های سه حسگر عکس‌برداری‌کننده‌ی فروسرخ مرئی (VIRS) و تصویربردار میکرو موجی (TMI) و رادار بارش (PR) به همراه منابع شاخص بارش جهانی (GPI)، مرکز اقلیم بارش جهانی (GPCC) و سامانه‌ی پیش و ارزیابی اقلیمی (CAMS).<sup>۷</sup>

**تصحیح اطلاعات بارش ماهواره‌ی**

به‌منظور بهبود مقادیر بارش ماهواره‌ی ابتدا داده‌های سه‌ساعتی TRMM به مقادیر روزانه و آنگاه ماهانه تبدیل شدند؛ سپس میانگین داده‌ی باران‌سنج گرفته شد و در نهایت در هر ایستگاه باران‌سنج، مقادیر میانگین روزانه‌ی TRMM و روزانه‌ی ایستگاه زمینی برای هر ماه به دست آمد. با توجه به مقادیر بیش‌برآورد یا کم‌برآورد، یک ضریب تصحیح با توجه به رابطه‌ی ۱ به دست می‌آید:

$$R_p = \frac{\sum_{i=1}^n (SD_i - \overline{SD})(GD_i - \overline{GD})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (SD_i - \overline{SD})^2) \sqrt{(\sum_{i=1}^n (GD_i - \overline{GD})^2)}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (SD_i - GD_i)^2} \quad (3)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{GD_{Max} - GD_{Min}} \quad (4)$$

در روابط فوق n تعداد کل داده‌ها، SD داده‌های ماهواره‌ی، GD داده‌های ایستگاه باران‌سنجی و مقادیر GDmax و GDmin به‌ترتیب نیز مقادیر بیشینه و کمینه‌ی مقدار داده‌های زمینی GD هستند. در محاسبه‌ی شاخص‌های مطابقت، صرفاً به وقوع و عدم‌وقوع هر رویداد توجه شده است و در هر یک از ایستگاه‌ها جدول توافقی فراوانی وقوع یا عدم‌وقوع بارندگی مطابق جدول ۱ در مقیاس ساعتی تهیه گردید. در جدول یادشده، H تعداد پیش‌بینی‌هایی است که در هر دو روش مقدار بارندگی ثبت شده است. F تعداد پیش‌بینی‌هایی است که فقط ماهواره مقدار بارندگی را ثبت کرده است. مقدار M تعداد پیش‌بینی‌هایی است که به‌رغم وقوع بارندگی در ایستگاه زمینی، مقدار آن در ماهواره‌ی مورد نظر ثبت نشده است. N نیز تعداد نقاطی است که در هیچ‌یک از دو منبع مقدار بارندگی مشاهده نشده است (ویلکس ۲۰۱۱).

برای مثال برای بیش‌برآورد TRMM به میزان ۲۰٪، عامل تصحیح به‌صورت ۰/۲ در معادله‌ی ۱ تعریف می‌شود و به‌دنبال آن ضریب تصحیح ۰/۸ خواهد بود و برعکس. باید توجه داشت که رابطه‌ی ۱ تنها در زمانی معتبر خواهد بود که بارش روزانه بزرگ‌تر از صفر (برای جلوگیری از نامحدود شدن کسر) باشد؛ افزون‌براین، مرزهای بالا و پایین ضریب تصحیح به‌ترتیب ۰/۵ و ۱/۵ تعریف می‌شوند. پس از اعمال رابطه‌ی ۱، در هر ایستگاه باران‌سنجی یک عامل مختلف با توجه به هر ماه به دست می‌آید. مقادیر جدید TRMM در هر شبکه با استفاده از عامل‌های اصلاحی و ضرب در مقادیر اصلی به دست می‌آیند.

$$\text{Correction - factor}_{\text{Gauge-month}} = 1 + \left( 1 - \frac{\text{TRMM}_{\text{daily-mean}}}{\text{Gauge}_{\text{daily-mean}}} \right); \quad \text{Gauge}_{\text{daily-mean}} > 0$$

**روش‌ها**

**معیارهای آماری ارزیابی دقت داده‌های ماهواره‌ی**

ابتدا با توجه به شبکه‌بندی اطلاعات بارش ماهواره‌ی، پیکسل مربوط به هر ایستگاه در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی مشخص شد؛ سپس برای پیکسل‌های مورد نظر گروه زمانی، اطلاعات بارش ماهواره‌ی استخراج و آماره‌های خطا محاسبه شد. داده‌های زمینی و ماهواره‌ی در سه

جدول ۱- جدول توافقی فراوانی وقوع یا عدم‌وقوع بارندگی.

		داده‌های ایستگاهی
خیر	بله	داده‌های ماهواره‌ی
F	H	بله
N	M	خیر

6- Global Precipitation Climatology Center  
7- Climate Assessment and Monitoring System

$$CSI = \frac{H}{H + M + F} \quad (7)$$

$$TSS = \frac{N \times H - F \times M}{(N + F) \times (M + H)} \quad (8)$$

### نتایج و بحث

برای مشخص کردن محدودیت تشخیص بارش از طریق الگوریتم های بارش ماهواره ای، چهار شاخص FAR، CSI، POD و TSS در هر ایستگاه بررسی شد (جدول ۲). مطابق نتایج، مقدار شاخص POD دارای تغییرات بین ۰/۶۶ تا ۰/۷۸ است که نشان دهنده ی برآورد درست بیش از نیمی از روزهای بارانی در هریک از ایستگاه های بررسی شده است. شاخص FAR که نشان دهنده ی روزهای خشک است، با میانگین ۰/۵۲ و دامنه ی تغییرات بین ۰/۴۸ در ایستگاه پس قلات تا ۰/۵۶ در ایستگاه بوشیگان، عملکرد نسبی خوبی را در برآورد روزهای خشک دارد. براساس نتایج شاخص تطابق TSS تطابق مقادیر برآوردی و مشاهده ای، مقادیر کمی هستند که نشان دهنده ی دقت کم نقاط شناسایی شده است.

در این پژوهش از شاخص های مطابقت شامل احتمال آشکارسازی (POD)<sup>۸</sup>، نسبت هشدار اشتباه (FAR)<sup>۹</sup>، شاخص موفقیت بحرانی (CSI)<sup>۱۰</sup> و آماره ی مهارت واقعی (TSS)<sup>۱۱</sup> (چوکنگموانگ و چو ۲۰۰۸) استفاده شده است که معادلات آن ها در رابطه های ۵ تا ۸ آورده شده اند. شاخص POD نسبت تعداد برآوردهای صحیح داده ها به کل بارندگی های ثبت شده در ایستگاه هاست. مقدار POD معادل یک، بیانگر این است که ماهواره ی مورد نظر نقاط بارانی را به درستی تخمین زده است. شاخص FAR نسبت پیش بینی نادرست به تعداد کل پیش بینی هاست که مقدار آن بین صفر و یک تغییر می کند و مقادیر کمتر آن، بیانگر دقت بیشتر ماهواره است. شاخص CSI دقت نسبی ماهواره را تعیین می کند. این شاخص، هم نسبت به پیش بینی های نادرست و هم نسبت به رویدادهای ازدست رفته حساس است. شاخص TSS از مهم ترین و متداول ترین شاخص های مطابقت است. اگر مقدار این شاخص برابر یک باشد، نشان دهنده ی مطابقت کامل مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهده ای است.

$$POD = \frac{H}{H + M} \quad (5)$$

$$FAR = \frac{F}{F + H} \quad (6)$$

جدول ۲- مقادیر آماره های شاخص های مطابقت برای داده های ماهواره ای TRMM در ایستگاه های بررسی شده.

ایستگاه	POD	FAR	CSI	TSS
بوشیگان	۰/۶۶	۰/۵۶	۰/۳۶	۰/۱
پس قلات	۰/۷۸	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۱۲
دشت ارژن	۰/۷۸	۰/۵۰	۰/۴۴	۰/۰۸
چیتی	۰/۶۸	۰/۵۴	۰/۳۸	۰/۰۹
کازرون	۰/۶۶	۰/۵۳	۰/۳۸	۰/۰۲
میانگین	۰/۷۱۲	۰/۵۲۲	۰/۴۰۲	۰/۰۸۲

### نتایج ارزیابی داده های ماهواره ای TRMM در برآورد مقادیر بارش ساعتی

نتایج ارزیابی دقت داده های به دست آمده از ماهواره ی TRMM برای مقیاس زمانی سه ساعته بر مبنای ضریب همبستگی پیرسون و سطح معنی داری در جدول ۳ آمده است. براساس نتایج به دست آمده در مقیاس ساعتی، تخمین رخ داده های بارش با استفاده از مدل TRMM نتایج قابل پذیرشی مشاهده نگردید و از میان ۲۸ رخداد بارش برای سال ها آبی ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴، تنها چهار رخداد بارش به وقوع پیوسته در

### بررسی و ارزیابی داده های ماهواره ای TRMM

در ادامه، نتایج داده های ماهواره ای برای مقیاس های ساعتی و روزانه و ماهانه در ایستگاه های بررسی شده، به ترتیب آورده می شوند. لازم به ذکر است با توجه به نیاز به داده های ساعتی در این مقیاس تنها از داده های ایستگاه بوشیگان که باران سنج ثابت دارد، استفاده شده است.

8- Probability of Detection

9- False Alarm Ratio

10- Critical Success Index

11- True Skill Statistic

تاریخ‌های ۹۲/۱۰/۱۱، ۹۲/۰۸/۱۲، ۹۲/۰۹/۰۴ و ۹۱/۱۰/۰۱ را می‌توان مطلوب ارزیابی کرد که به ترتیب دارای ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۷۶، ۰/۷۷۷، ۰/۸۸۸ و حدود یک و نیز رابطه‌ی معنی‌دار است. در

رخدادهای بررسی‌شده‌ی دیگر، مقادیر ضریب همبستگی معنی‌داری به دست نیامد. در برخی از رویدادها نیز به‌ازای رخداد بررسی‌شده، مقادیر متناظر ماهواره‌ای ثبت نشده است.

جدول ۳- نتایج مقایسه‌ی داده‌های مشاهداتی و مدل TRMM در مقیاس ساعتی (سه‌ساعته).

مقدار P-Value	ضریب همبستگی	رخداد بارش
۰/۰۲۳۴ *	۰/۷۷۷	۱۳۹۲/۰۸/۱۲
۰/۴۱۲	۰/۱۵۹	۱۳۹۲/۰۸/۲۸
۰/۰۰۰۰۳ *	۰/۹۷۶	۱۳۹۲/۱۰/۱۱
۰/۶۰۱	۰/۲۲۰	۱۳۹۲/۱۰/۱۶
۰/۷۸۰	-۰/۱۱۸	۱۳۹۱/۰۹/۰۶
۰/۰۰۳۲۳ *	-۰/۸۸۸	۱۳۹۱/۰۹/۰۴
۰/۸۴۷	۰/۰۸۲	۱۳۹۱/۰۸/۳۰
۰/۹۳۸	-۰/۰۳۳	۱۳۹۱/۰۸/۲۹
۰/۷۱۹	۰/۱۵۲	۱۳۹۴/۰۱/۰۲
۰/۱۰۰	۰/۶۲۱	۱۳۹۱/۱۰/۰۲
۰/۰۰۰ *	۱/۰۰	۱۳۹۱/۱۰/۰۱
۰/۵۶۸	۰/۱۲۵	۱۳۹۱/۱۱/۱۰
۰/۴۳۳	۰/۳۲۴	۱۳۹۳/۰۸/۰۹
۰/۸۵۲	-۰/۰۷۹	۱۳۹۳/۰۹/۰۲
۰/۵۲۰	۰/۲۶۹	۱۳۹۳/۱۱/۱۱
۰/۳۷۴	۰/۳۶۵	۱۳۹۳/۱۲/۲۹
-	فاقد داده	۱۳۹۴/۰۶/۱۵
۰/۵۱۶	-۰/۲۷۱	۱۳۹۴/۰۱/۰۲
۰/۹۳۶	۰/۰۳۴	۱۳۹۳/۰۹/۰۴
۰/۸۷۰	۰/۰۶۶	۱۳۹۳/۰۱/۱۳
-	فاقد داده	۱۳۹۴/۰۶/۱۷
-	فاقد داده	۱۳۹۳/۰۶/۱۳
-	فاقد داده	۱۳۹۲/۱۲/۱۳
۰/۶۹۵	-۰/۱۶۶	۱۳۹۴/۰۷/۳۰
-	فاقد داده	۱۳۹۳/۰۹/۰۱
-	فاقد داده	۱۳۹۳/۱۲/۲۸
-	فاقد داده	۱۳۹۴/۰۲/۱۶
-	فاقد داده	۱۳۹۴/۰۶/۱۵
-۰/۶۳۵-	۰/۲۷۰	میانگین

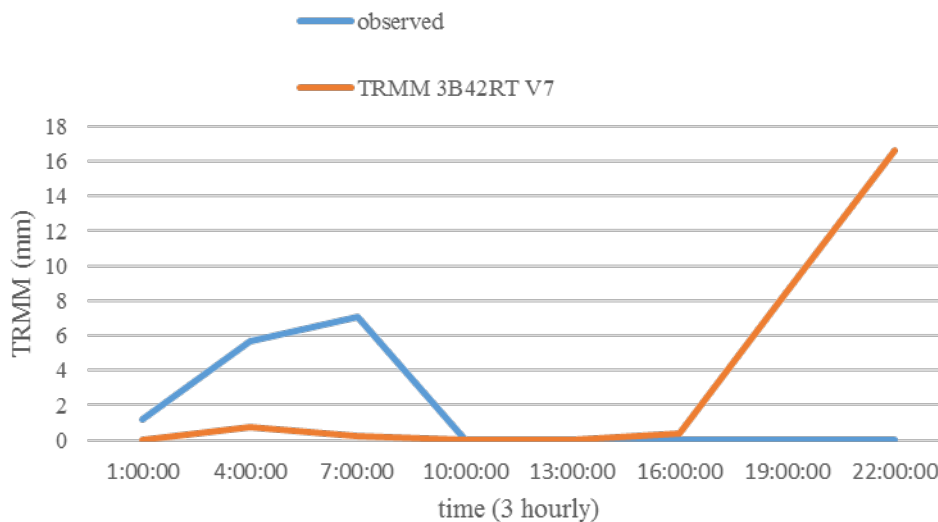
\* بیانگر معنی‌داری بین داده‌هاست

در ادامه از نمودار گروه‌های زمانی داده‌های مشاهده‌شده و ماهواره‌ای، برای بررسی اولیه‌ی چگونگی تغییرات هم‌زمان این داده‌ها استفاده شد. نتایج ارزیابی یادشده برای ایستگاه باران‌سنجی بوشیگان که تنها ایستگاه ثبات محدوده است، در شرایط مختلف از جمله روزهای کم‌باران (۱۳۹۱/۱۰/۰۱ و ۱۳۹۱/۰۸/۲۹)، پرباران (۱۳۹۱/۱۰/۰۲ و ۱۳۹۲/۱۰/۱۶)، روزهای متوالی بارش (۱۳۹۱/۰۸/۲۹، ۱۳۹۱/۰۸/۳۰، ۱۳۹۱/۱۰/۰۱ و

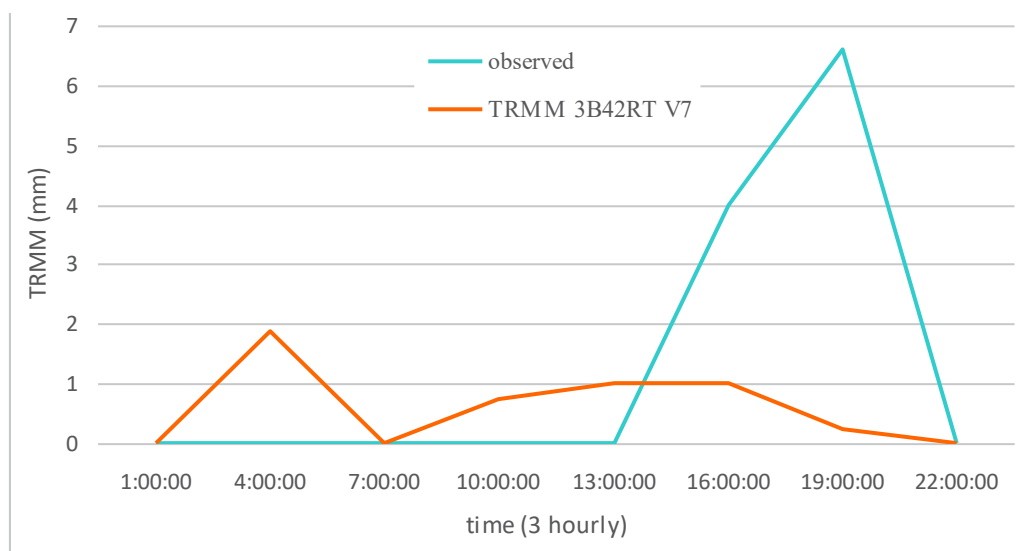
۱۳۹۱/۱۰/۰۲) و روزهای باوقفه انجام شد. نمودار گروه زمانی بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای TRMM-3B43 در مقیاس سه‌ساعته در ایستگاه بوشیگان رسم شده است که نتایج آن در شکل‌های ۳ و ۴ آمده است. بر پایه‌ی نتایج به‌دست‌آمده، نتایج باران برآوردی در مقیاس ساعتی برای ماهواره‌ی TRMM-3B43 مطلوب نبود.

روزهای متوالی بارش (۱۳۹۱/۰۸/۲۹، ۱۳۹۱/۰۸/۳۰، ۱۳۹۱/۱۰/۰۱ و





شکل ۳- مقایسه‌ی نتایج ماهواره‌ی TRMM با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه بوشیگان برای رخداد بارش ۹۳/۰۱/۱۳.



شکل ۴- مقایسه‌ی نتایج ماهواره‌ی TRMM با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه بوشیگان برای رخداد بارش ۹۳/۰۸/۰۹.

پوشیگان، پس‌قلات، دشت ارزن، چیتی و کازرون در جدول ۴ آمده است. براساس نتایج جدول یادشده، بیشترین مقدار همبستگی برای مدل TRMM مربوط به سال ۹۴-۹۵ برای ایستگاه بوشیگان معادل ۰/۹۱۳ است. مدل TRMM کمترین میزان همبستگی را برای سال آبی ۹۴-۹۵ ایستگاه دشت ارزن معادل با ۰/۱۱ داشته است؛ همچنین، کاهش خطای RMSE برای مدل TRMM برای سال آبی ۹۲-۹۳ مشاهده می‌شود.

نتایج ارزیابی داده‌های ماهواره‌ی TRMM در برآورد مقادیر بارش روزانه

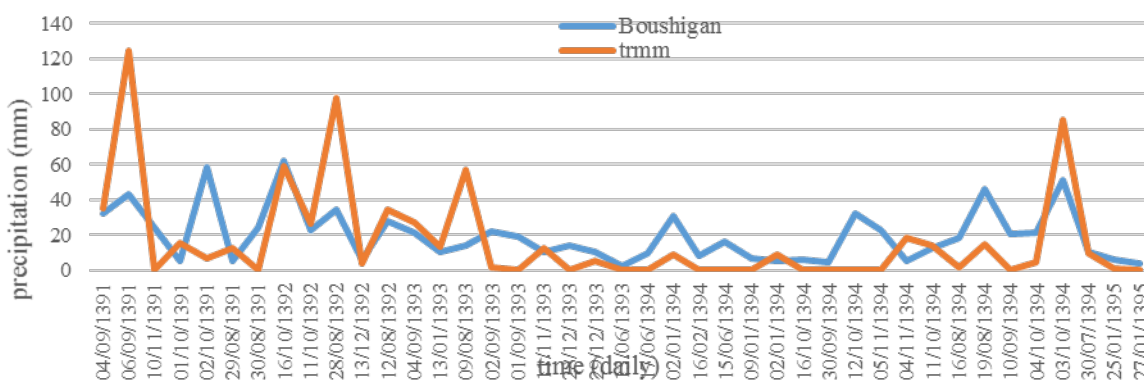
در ادامه، نتایج ارزیابی دقت مقادیر برآوردی از ماهواره‌ی TRMM و داده‌های اصلاح‌شده‌ی آن در برآورد مقادیر باران ثبت‌شده در پنج ایستگاه باران‌سنجی بررسی شده، برای ۲۸ رخداد روزانه، براساس معیارهای انتخاب‌شده‌ی آماری و ترسیم گرافیکی آمده است. نتایج مقایسه‌ی داده‌های روزانه‌ی ایستگاهی با داده‌های ماهواره‌ی TRMM و TRMM اصلاح‌شده بر مبنای معیارهای آماری برای ایستگاه‌های

جدول ۴- نتایج مقایسه‌ی داده‌های روزانه‌ی ایستگاهی با داده‌های ماهواره‌ی TRMM و TRMM اصلاح‌شده بر مبنای معیارهای آماری در ایستگاه‌های بررسی‌شده.

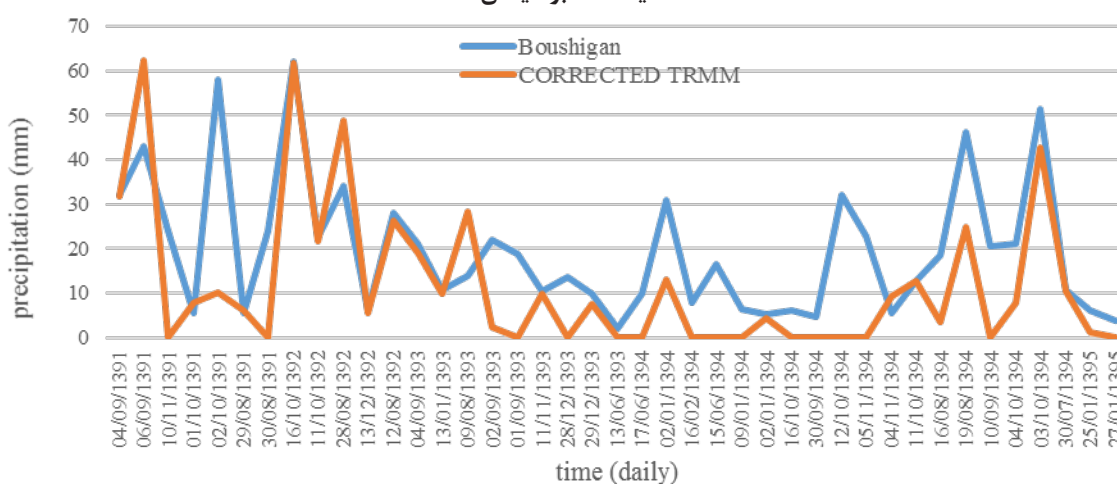
سال	تعداد رخ- داده‌ها	داده‌های ماهواره‌ی	معیارهای ارزیابی	بوشیگان	پس‌قلات	دشت ارژن	چیتی	کازرون
۱۳۹۰-۹۱	۳۵	TRMM	RMSE(mm)	۲۸/۰۴	۱۸/۳۸	۱۷/۵۸	۱۱/۲۰	۱۱/۱۱
			Rp	۰/۳۳۳	۰/۵۴۲	۰/۶۱۲	۰/۶۴۳	۰/۶۴
			P-Value	۰/۳۶۶	۰/۲۰۹	۰/۱۳۴	۰/۱۱۹	۰/۱۲۵
۱۳۹۱-۹۲	۳۰	TRMM اصلاح‌شده	RMSE(mm)	۲۲/۳۶	۱۵/۱۴	۱۱/۵۷	۱۳/۴۹	۱۱/۳۰
			Rp	۰/۴۳	۰/۷۱	۰/۹۶	۰/۸۵	۰/۹۲
			P-Value	۰/۳۴	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰
۱۳۹۱-۹۲	۳۰	TRMM اصلاح‌شده	RMSE(mm)	۲۸/۵۶	۲۵/۷۲	۱۶/۶۷	۳۸/۴۳	۲۶/۹۹
			Rp	۰/۶۴۱	۰/۷۲۷	۰/۳۷۷	۰/۶۴۸	۰/۶۲۳
			P-Value	۰/۳۶۶	۰/۲۰۹	۰/۱۳۴	۰/۱۱۹	۰/۱۲۵
۱۳۹۲-۹۳	۳۱	TRMM اصلاح‌شده	RMSE(mm)	۱۰/۶۸	۱۰/۴۷	۱۱/۵۱	۷/۷۰	۸/۵۰
			Rp	۰/۱۴۸	۰/۲۳۷	۰/۱۷۲	۰/۲۷۶	۰/۳۲۱
			P-Value	۰/۷۰۴	۰/۵۳۹	۰/۶۵۹	۰/۳۷۲	۰/۳۹۹
۱۳۹۲-۹۳	۳۱	TRMM اصلاح‌شده	RMSE(mm)	۱۵/۱۴	۱۴/۱۸	۱۸/۶۵	۱۹/۶۸	۱۳/۲۳
			Rp	۰/۱۷	-۰/۰۲	۰/۷۵	۰/۳۳	۰/۲۶
			P-Value	۰/۶۶	۰/۹۵	۰/۰۲	۰/۲۴	۰/۲۲
۱۳۹۳-۹۴	۲۵	TRMM اصلاح‌شده	RMSE(mm)	۱۹/۷۲	۲۰/۵۵	۲۳/۴۰	۱۲/۱۰	۱۴/۳۰
			Rp	۰/۲۱۷	۰/۲۲۶	۰/۱۳۵	۰/۱۸۴	۰/۱۸۰
			P-Value	۰/۴۵۷	۰/۴۳۸	۰/۶۴۶	۰/۵۲۸	۰/۵۳۷
۱۳۹۳-۹۴	۲۵	TRMM اصلاح‌شده	RMSE(mm)	۱۴/۸۷	۱۲/۷۶	۲۲/۹۴	۱۰/۸۲	۱۰/۴۲
			Rp	۰/۶۱	۰/۳۲	۰/۷۰	۰/۶۳	۰/۸۸
			P-Value	۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰
۱۳۹۴-۹۵	۳۲	TRMM اصلاح‌شده	RMSE(mm)	۱۷/۱۱	۳۲/۴۲	۳۹/۹۷	۲۱/۲۹	۲۲/۰۷
			Rp	۰/۹۱۳	۰/۷۳۳	۰/۱۱۲	۰/۷۸۴	۰/۷۲۳
			P-Value	۰/۰۱۱	۰/۰۹۰	۰/۸۳۳	۰/۰۶۵	۰/۱۰۳
۱۳۹۴-۹۵	۳۲	TRMM اصلاح‌شده	RMSE(mm)	۱۰/۸۶	۱۳/۱۴	۲۰/۸۴	۱۲/۵۵	۱۹/۴۱
			Rp	۰/۹۱	۰/۷۷	۰/۵۳	۰/۸۰	۰/۷۰
			P-Value	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۲۸	۰/۰۶	۰/۱۲

که بیانگر دقت بیشتر داده‌های بارش تخمینی از مدل TRMM اصلاح‌شده است و در بیشتر رخ‌دادهای با بارش زیاد، مقادیر برآوردی در شکل ۵ بیشتر از مقادیر ثبت شده است.

نتایج گرافیکی مقادیر روزانه‌ی بارش به‌دست‌آمده از ماهواره‌ی TRMM و TRMM اصلاح‌شده برای ایستگاه بوشیگان به‌عنوان ایستگاه ثبات منطقه نیز به‌ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است



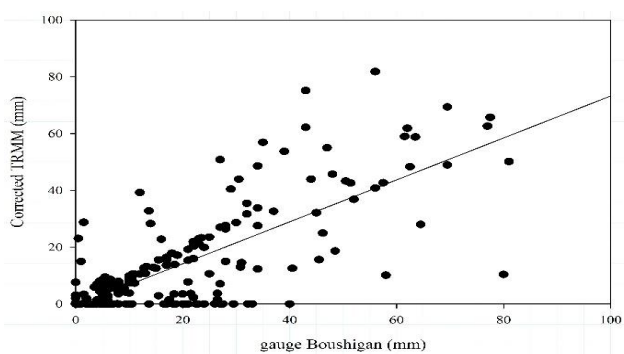
شکل ۵- مقایسه‌ی مقادیر باران برآوردی رخ داده‌های روزانه‌ی بررسی شده در ماهواره‌ی TRMM-3B42 و مقادیر ثبت شده‌ی زمینی در ایستگاه بوشیگان.



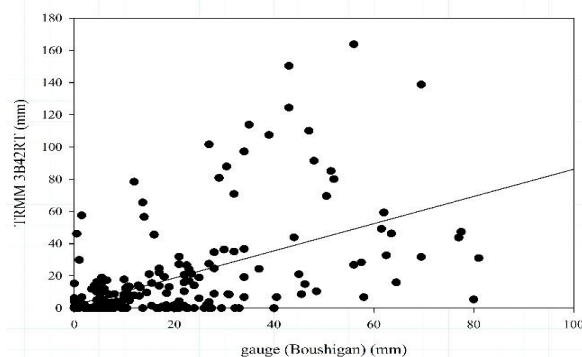
شکل ۶- مقایسه‌ی مقادیر باران برآوردی رخ داده‌های روزانه‌ی بررسی شده در ماهواره‌ی TRMM اصلاح شده و مقادیر ثبت شده‌ی زمینی در ایستگاه بوشیگان.

داده‌های اصلی ماهواره بیشتر است و ابر پراکندگی نقاط کمتری را نشان می‌دهد و ضریب تبیین TRMM از ۰/۵۲ به ۰/۷۵ بهبودی یافته که نشان‌دهنده‌ی انطباق نسبی داده‌های بارش اصلاح شده‌ی TRMM با داده‌های ایستگاه زمینی است.

نتایج مقایسه‌ی مقادیر باران روزانه‌ی ثبت شده در ایستگاه بوشیگان با مقادیر برآورد شده از ماهواره‌ی TRMM و TRMM اصلاح شده در شکل ۷ به صورت نمودار پراکندگی آمده است. مطابق نتایج، همبستگی داده‌های بارش مدل TRMM اصلاح شده نسبت به



(ب)



(الف)

شکل ۷- نتایج مقایسه‌ی مقادیر باران روزانه‌ی ثبت‌شده در ایستگاه بوشیگان با مقادیر برآوردشده از ماهواره‌ی TRMM (الف) و TRMM اصلاح‌شده (ب)

ماهواره‌ی TRMM بیش‌ترین مقدار و برابر با ۰/۹۳۱ به دست آمد؛ کمترین مقدار ضریب همبستگی نیز مربوط به ایستگاه بوشیگان معادل با ۰/۸۷۵ است که همبستگی زیادی به شمار می‌رود. با اصلاح و بهبود مقادیر تخمین بارش ماهواره‌ی TRMM در روش اصلاح‌شده مقدار ضریب همبستگی در ایستگاه‌های بررسی شده افزایش یافت و مقادیر خطا نیز کمتر شد؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین ضریب همبستگی معادل با ۰/۹۹۱ متعلق به ایستگاه بوشیگان است. در این ایستگاه با اعمال ضریب اصلاح برای داده‌ها بیش‌ترین تأثیر مثبت حاصل گردید؛ به‌طوری‌که مشاهده می‌شود، مقدار ضریب همبستگی از ۰/۸۷۵ به مقدار ۰/۹۹۱ بهبود یافت.

### نتایج ارزیابی داده‌های ماهواره‌ی TRMM و TRMM اصلاح‌شده در مقیاس ماهانه

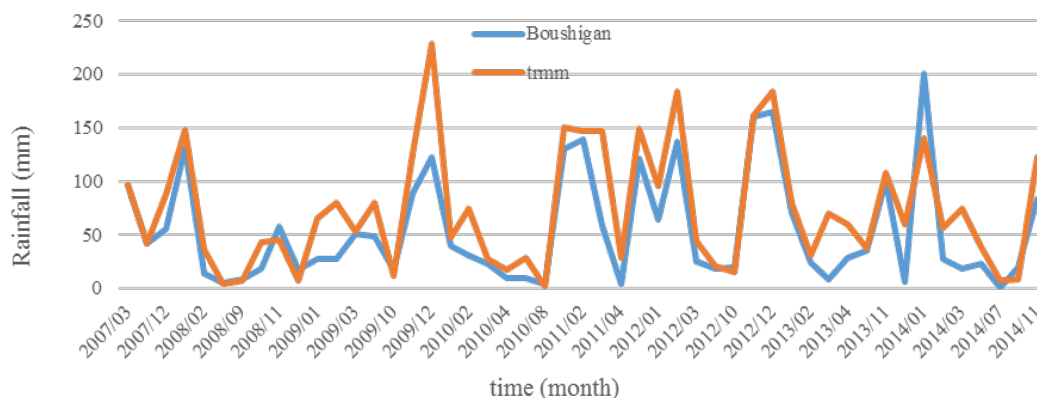
نتایج داده‌های ماهواره‌ی TRMM براساس الگوریتم 3B43 برای پنج ایستگاه بوشیگان، پس‌فلات، دشت ارزن، چیتی و کازرون در مقیاس ماهانه، در بازه‌ی زمانی ۱۰ سال (۱۳۸۵-۱۳۹۵) براساس معیارهای آماری خطا نظیر ضریب همبستگی، RMSE و NRMSE ارزیابی شد که نتایج آن برای ماهواره‌ی اصلی و داده‌های اصلاحی مربوطه در جدول ۵ آورده شده است. مطابق نتایج جدول یادشده، الگوریتم 3B43 عملکرد خوبی در مقیاس ماهانه نشان داد؛ به‌طوری‌که ضریب همبستگی پیروسون برای ایستگاه چیتی در برآورد

جدول ۵ - مقایسه‌ی داده‌های ماهانه‌ی TRMM و TRMM اصلاح‌شده در ایستگاه‌های بررسی‌شده.

داده‌های ماهواره‌ی	معیارهای ارزیابی	بوشیگان	پس‌فلات	دشت ارزن	چیتی	کازرون
TRMM	Rp	۰/۸۷۵	۰/۸۹۹	۰/۹۰۹	۰/۹۳۱	۰/۸۹۳
	P-Value	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	RMSE(mm)	۳۲/۲۲	۲۵/۷۷	۸۳/۶۸	۲۳/۶۸	۲۴/۰۵
TRMM اصلاح‌شده	Rp	۰/۹۹۱	۰/۹۸۶	۰/۹۸۵	۰/۹۳	۰/۹۷۳
	P-Value	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	RMSE(mm)	۶/۷۷	۱۱/۲۷	۱۲/۵۸	۱۶/۲۴	۱۲/۲۰
	NRMSE(%)	۳/۴۳	۶/۰۹	۵/۹۳	۸/۵۸	۶/۲۷

بیشتر از ۱۰۰ میلی‌متر در بیشتر وقایع، بیش‌برآورد داشته است؛ درحالی‌که در بارندگی‌های کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر روند خاصی دیده نمی‌شود.

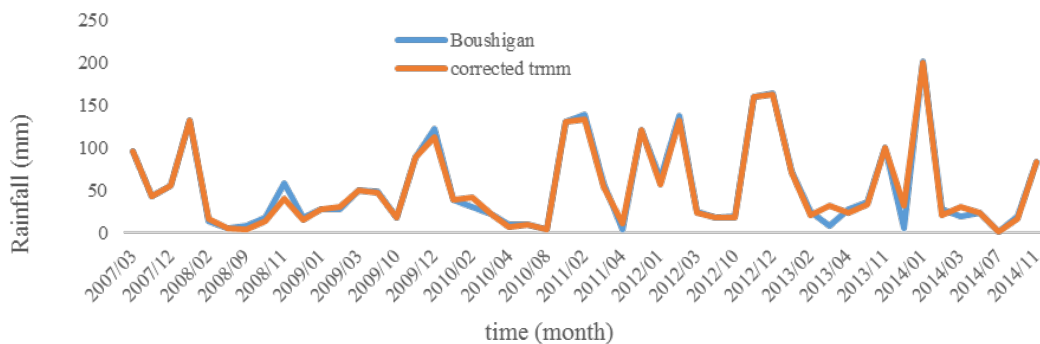
نتایج مقایسه‌ی بارش‌های برآوردی از ماهواره‌ی TRMM-3B43 در بازه‌ی زمانی سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ برای ایستگاه بوشیگان در شکل ۸ ترسیم شده است. مطابق نتایج آن، داده‌های ماهواره‌ی به‌ازای باران‌های



شکل ۸- مقایسه‌ی مقادیر باران برآوردی در ماهواره‌ی TRMM-3B43 و مقادیر ثبت‌شده‌ی زمینی در ایستگاه بوشیگان در مقیاس ماهانه.

۹ برای ایستگاه بوشیگان آمده است. مطابق شکل یادشده، در بیشتر ماه‌ها داده‌های مشاهده‌ای و تصحیح‌شده تطابق مناسب و خوبی با هم دارند.

در ادامه، به‌منظور بهبود اطلاعات باران به‌دست‌آمده از ماهواره‌ی TRMM-3B43، داده‌های تخمینی آن، مطابق آنچه در بخش مواد و روش‌ها آورده شد، تصحیح گردید که نتایج مقایسه‌ای آن در شکل

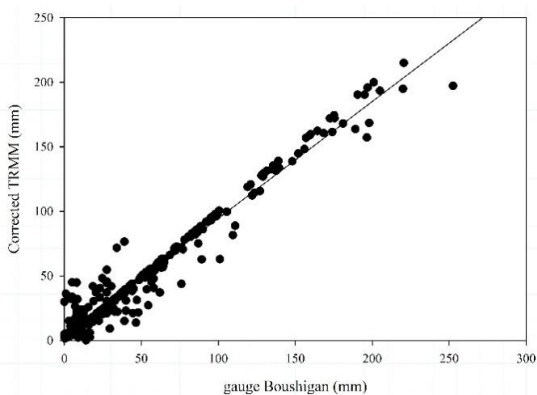


شکل ۹- مقایسه‌ی مقادیر باران برآوردی در ماهواره‌ی TRMM-3B43 اصلاح‌شده و مقادیر ثبت‌شده‌ی زمینی در ایستگاه بوشیگان در مقیاس ماهانه.

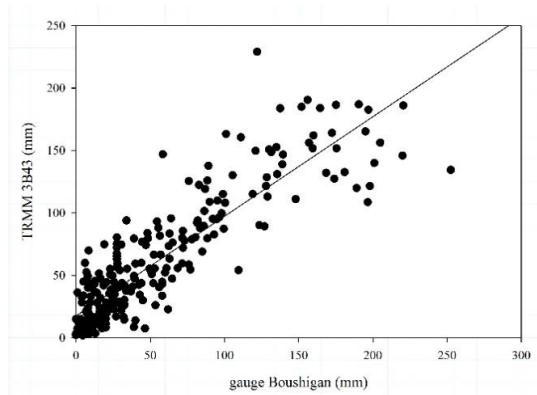
است که نشان‌دهنده‌ی ضریب همبستگی زیاد در هر دو داده‌ی TRMM و TRMM اصلاح‌شده و تطابق خوب بین برآوردهای ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی است؛ به‌طوری‌که ابر پراکنندگی برای داده‌های اصلاح روی خط برازش‌یافته محدود شده است.

در ادامه‌ی نتایج جدول ۵، نتایج مقایسه‌ی مقادیر باران ماهانه‌ی ثبت‌شده در ایستگاه بوشیگان، با مقادیر برآوردشده از ماهواره‌ی TRMM و مقادیر اصلاحی آن در قسمت الف و ب شکل ۱۰ به‌صورت نمودارهای پراکنندگی به نمایش درآمد. ضریب همبستگی مربوط به داده‌های TRMM ۰/۸۷۵ و برای داده‌های اصلاح‌شده برابر با ۰/۹۹۱





(ب)



(الف)

شکل ۱۰- نتایج مقایسه‌ی مقادیر باران ماهانه‌ی ثبت‌شده در ایستگاه بوشیگان با مقادیر برآوردشده از ماهواره‌ی TRMM (الف) و TRMM اصلاح‌شده (ب).

داده‌های بارش ماهواره‌ی TRMM در مقیاس ماهانه تخمین مناسب و قابل‌پذیرشی از مقادیر بارش ایستگاهی ارائه کردند. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج بارانی‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. ایشان در ارزیابی باران‌های برآوردی از ماهواره‌ی TRMM-3B43 در مقایسه با داده‌های زمینی مشاهداتی شبکه‌های بارش در ایران نتیجه گرفتند که ضرایب همبستگی در برآورد بارش میانگین زمستان به‌عنوان پربرارش‌ترین فصل سال در کشور ۰/۸۳، ۰/۸۴ و ۰/۷۵ به‌ترتیب در ناحیه‌ی کل کشور، رشته‌کوه‌های زاگرس و ناحیه‌ی دریای خزر است و این مقدار در فصل بهار به‌ترتیب ۰/۸۶، ۰/۸ و ۰/۶۹ و در فصل پاییز ۰/۸۳، ۰/۷۹ و ۰/۷۷ است. نتایج پژوهش امیدوار و اصلانی (۲۰۰۹) در بررسی تطابق آمار بارندگی ماهواره‌ی TRMM با ایستگاه‌های هم‌دید استان خراسان رضوی هم نشان می‌دهد که میزان انطباق و همبستگی زیاد ۹۵٪ بین آمار بارندگی سالانه و همبستگی زیاد ۹۹٪ بین آمار بارندگی ماهانه‌ی ماهواره با آمار ایستگاه‌های اقلیمی زمینی وجود دارد. نتایج پژوهش تاو و همکاران (۲۰۱۷) در ارزیابی داده‌های ماهواره‌ی TRMM-3B43 در کشور چین نشان‌دهنده‌ی همبستگی و مطابقت بین مشاهدات و داده‌های بارندگی TRMM-3B43 در مقیاس‌های زمانی مختلف است؛ هرچند که ضریب همبستگی ماه‌های تابستان کمتر است و در ماه‌های پاییز بیشترین تطابق گزارش شده است. پیشنهاد می‌شود که به‌منظور بررسی دقت تخمین بارش به‌ویژه در مقیاس‌های زمانی کوچک‌تر (ساعتی و روزانه) از تصاویر دیگر ماهواره‌ها و مدل‌های برآورد بارش نظیر CMORPH، PERSIANN (سروشیان و همکاران ۲۰۰۰؛ جوئیسه و همکاران ۲۰۰۴) نیز استفاده شود.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به ارزیابی دقت بارش برآوردی از ماهواره‌ی TRMM و مقادیر اصلاح‌شده‌ی آن در مقایسه با اطلاعات بارندگی پنج ایستگاه واقع در حوضه‌ی شاپور در مقیاس‌های زمانی ساعتی و روزانه و ماهانه پرداخته شد. نتایج بررسی شاخص‌های مطابقت عملکرد مدل TRMM نشان دادند که ماهواره‌ی یادشده در تعیین روزها و ساعت‌های بارانی و غیربارانی عملکرد مناسبی داشته است. نمودار گروه زمانی بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای در مقیاس ساعتی برای ماهواره‌ی TRMM الگوریتم 3B42RT مطلوب نبوده است؛ اما الگوی مشابهی بین بارش ایستگاهی و ماهواره‌ای برقرار است؛ به‌طوری‌که با افزایش یا کاهش بارش ایستگاهی، بارش ماهواره‌ای افزایش یا کاهش می‌یابد. خدادوست و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود با ارزیابی داده‌های ماهواره‌ی TRMM در مقیاس سه‌ساعته در ایستگاه‌های خراسان رضوی بیان داشتند که نتایج عملکرد ماهواره TRMM-3B43 در برآورد بارش ساعتی در ماه‌های مارس و دسامبر سال ۲۰۱۴ دارای ضریب همبستگی ۰/۳۶ است که در حد متوسط تلقی می‌گردد. علاوه‌براین، نمودار گروه زمانی بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای، در مقیاس روزانه برای مدل TRMM نسبت به مدل اصلاح‌شده، پراکندگی نقاط بیشتری را نشان می‌دهد و ضریب تبیین مدل TRMM از ۰/۵۲ به ۰/۷۵ در مدل اصلاح‌شده بهبود یافت که نشان‌دهنده‌ی انطباق نسبی داده‌های بارش TRMM با داده‌های ایستگاه زمینی است. نتایج داده‌های ماهواره‌ی TRMM در الگوریتم 3B43 عملکرد خوبی را در مقیاس ماهانه نشان می‌دهد و با اصلاح مقادیر تخمین بارش ماهواره TRMM، بیشترین تأثیر مثبت را در ایستگاه بوشیگان می‌توان دید که از میزان همبستگی ۰/۸۷۵ به ۰/۹۹۱ بهبود یافت. به‌طورکلی، می‌توان نتیجه گرفت که

- Abdollahi B, Hosseini-Moghari SM, Ebrahimi K. 2017. Assessment of satellite precipitation data from TRMM 3B42RT V7 and CMORPH in order to estimate precipitation in the Gorganrood Basin-Iran. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. 36(11):55-69. (In Persian).
- Almazroui M. 2011. Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998-2009. *Atmospheric Research*. 99(2): 400-414.
- Barani Zadeh A, Javanmard H, Behyar, A, Abedini K. 2011. Verification of precipitation estimation based on PERSIANN model with APHRODITE gridding data in Iran. *Iran Physics Conference*. (In Persian).
- Cheema MJM, Bastiaanssen WGM. 2012. Local calibration of remotely sensed rainfall from the TRMM satellite for different periods and spatial scales in the Indus Basin. *International Journal of Remote Sensing*. 33(8): 2603-2627.
- Chokngamwong R, Chiu LS. 2008. Thailand daily rainfall and comparison with TRMM products, *Journal of Hydrometeorology*. 9(2): 256-266.
- Feidas H, Chrysoulakis N. 2008. Comparison of TRMM climate rainfall products and gauge observations over Greece. *Proc. of the Third NASA/JAXA International Science Conference*. Las Vegas, USA.
- Gazanfari Moqhadam M, Alizadeh A, Mousavi Baygi M, Farid Hosseini A, Banayan Avail M. 2011. In order to compare interpolation methods used in forecasting models PERSIANN with daily rainfall data (Case study: Northern Khorasan). *Journal of Soil and Water*. 25(1): 215-207. (In Persian).
- Ghahraman B, Zangeneh M, Farid Hosseini A. 2018. Comparison of observed rainfall and satellite rainfall data PERSIANN and CMORPH interpolation methods in hourly and daily scale (Case study: Shapoor Basin), *Journal of Water Resources Research*. 14(4):1-12. (In Persian).
- Hejazi Zadeh Z, Alijani B, Ziaecian P, Karimi M, Rafati S. 2012. Evaluation the TB43 setelite precipitation and its comparing based on kriging interpolation method. *Iranian Remote Sensing & GIS*. 4(3): 49-64. (In Persian).
- Huffman GJ, Adler RF, Bolvin DT, Nelkin EJ. 2010. The TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA). *Satellite rainfall applications for surface hydrology*, *Journal of Hydrometeorology*. 11(2): 3-22.
- Javanmard S, Yatagai A, Nodzu MI, BodaghJamali J, Kawamoto H. 2010. Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM\_3B42 over Iran. *Adv. Geosci*. 25: 119-125.
- Joyce RJ, Janowiak JE, Arkin PA, Xie P. 2004. CMORPH: A Method that Produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrology*. 5:487-503.
- Jung G, Wagner S, Kunstmann H. 2012. Joint climate-hydrology modeling: an impact study for the data-sparse environment of the Volta Basin in West Africa. *Hydrology Research*. 43 (1-2): 231-248.
- Kawanishi T, Kuroiwa H, Kojima M, Oikawa K, Kozu T, Kumagai H, Okamoto KI, Okumura M, Nakatsuka H, Nishikawa K. 2000. TRMM precipitation radar. *Advances in Space Research*. 25(5): 969-972.
- Khodadoust Siuki S, Saghafian B, 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.
- Laouacheria F, Mansouri R. 2015. Comparison of WBNM and HECHMS for runoff hydrograph prediction in a small urban catchment. *Water Resources Management*. 29: 2485-2501.
- Moazami S, Golian S, Kavianpour MR, Hong Y. 2013. Comparison of PERSIANN and V7 TRMM Multi-satellite precipitation analysis (TMPA) products with rain gauge data over Iran. *International Journal of Remote Sensing*. 34(22): 8156-8171.
- Moazami S, Golian S, Hong Y, Sheng C, Kavianpour MR. 2014. Comprehensive evaluation of four high resolution satellite precipitation products over diverse climate conditions in Iran. *Hydrology Science Journal*, 61(2): 420-440.
- Nastos PT, Kapsomenakis J, Philandras KM. 2016. Evaluation of the TRMM 3B43 gridded precipitation estimates over Greece, *Atmospheric Research*. 169: 497-514.
- Omidvar K, Aslani A. 2009. Evaluation drought indices in the Zayandehrud Basin. *2nd National Conference on Drought Impact and its Management*. Isfahan, Iran.
- Sorooshian, S., K. Hsu, X. GAO, H.V. Gupta, B. Imam, and D. Braithwaite. 2000. Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bulletin of American Meteorology Society*, 81, 2035-2046.
- Su F, Hong Y, Lettenmaier D. 2008. Evaluation of TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin: *Journal of Hydro Geomorphology*. 4: 622-640.
- Tao H, Fischer T, Zeng Y, Fraedrich K. 2017. Evaluation of TRMM 3B43 precipitation data for drought monitoring in Jiangsu Province, China, *Journal of Water*. 8: 135-148.
- Wilks D S. 2011. *Statistical methods in the atmospheric sciences*, Vol. 100, Academic Press, 704 p.

