



Thermal Monitoring and Evaluation of Precipitation Data Applying TRMM and GPM Satellites (Case Study: Bandar Abbas City)

Hadi Siasar¹ | Amir Salari²  | Maryam Heydarzadeh³

1. Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Iran. E-mail: Hadisiasar@pnu.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Water Sciences and Engineering, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan, Minab, Iran. E-mail: Salari.1361@yahoo.com

3. Department of Water Sciences and Engineering, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan, Minab, Iran. E-mail: M.heydarzade88@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 23 Sep 2021

Received in revised form: 26

Nov 2021

Accepted: 29 Nov 2021

Available online: 25 Dec 2021

Keywords:

Bandar Abbas,
Rainfall Forecast TRMM,
GPM Satellites.

ABSTRACT

Precipitation plays a decisive role in meeting the water needs of various crops, dam reserves, feeding surface and groundwater resources, and the occurrence of floods and droughts. Lack of access to long-term daily rainfall data and the high cost of setting up ground meteorological stations necessitate the replacement of low-cost methods with high-precision, high-volume data such as satellite data. The aim of this study was to evaluate the accuracy of precipitation data predicted by TRMM and GPM satellites in Bandar Abbas metropolis during a 17-year period from 2000 to 2017. Hourly precipitation data of TRMM and GPM satellites were obtained from databases. After analyzing the data format in MATLAB environment, hourly precipitation information was extracted. The results showed that the accuracy of both TRMM and GPM models in precipitation forecasting was appropriate and close to each other; it was often overestimated so that 75% of TRMM model precipitation forecasts and all forecasts GPM models were overestimated. The results showed that the TRMM model was more accurate than the GPM model in accurately predicting the occurrence of rainfall events and had less error in predicting unrealistic rainfall and the highest accuracy of the TRMM and GPM models is on a monthly, annual and daily scale, respectively. The value of EF index in TRMM model varies from -284.52 to 0.71 and in GPM model from -25514 to -1.25. The value of the EF index in the TRMM model predictions was positive in 42% of events, while, in the GPM model, it was not positively predicted in any event. The general conclusion of the research is that TRMM satellite is a suitable tool for monitoring and forecasting precipitation

Cite this article: Siasar, H., Salari, A., Heydarzadeh, M. (2021). Thermal Monitoring and Evaluation of Precipitation Data Applying TRMM and GPM Satellites (Case Study: Bandar Abbas City). *Geography and Sustainability of Environment*, 11 (4), 107-124. DOI: 10.22126/GES.2022.6929.2450



© The Author(s).

Publisher: Razi University

DOI: 10.22126/GES.2022.6929.2450



پایش و ارزیابی زمانی داده‌های بارش توسط ماهواره‌های TRMM و GPM

(مطالعه موردی: شهر بندرعباس)

هادی سیاسر^۱ | امیر سالاری^۲ | مریم حیدرزاده^۳

۱. گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران. رایانامه: Hadisiasar@pnu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، میناب، ایران. رایانامه: Salari.1361@yahoo.com

۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، میناب، ایران. رایانامه: M.heydarzade88@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	بارش نقشی تعیین‌کننده در تأمین نیاز آبی محصولات مختلف، تأمین ذخایر سدها، تغذیه منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، وقوع سیلاب‌ها و خشک‌سالی‌ها دارد. دسترسی نداشتن به داده‌های بارش روزانه و طولانی‌مدت و هزینه بالای ایجاد ایستگاه‌های هواشناسی زمینی، جایگزینی روش‌های ارزان با داده‌هایی دارای دقت بالا و به تعداد زیاد، مانند داده‌های ماهواره‌ای، را ایجاد می‌کند. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی دقت داده‌های بارش پیش‌بینی‌شده توسط ماهواره‌های <i>TRMM</i> و <i>GPM</i> در کلان‌شهر بندرعباس طی یک دوره هفده‌ساله، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷، انجام شد. داده‌های ساعتی بارش ماهواره‌های <i>TRMM</i> و <i>GPM</i> از پایگاه‌های اطلاعاتی دریافت و پس از تحلیل فرمت دریافتی داده‌ها در محیط متلب، اطلاعات بارش ساعتی استخراج گردید. نتایج نشان داد که دقت هر دو مدل <i>TRMM</i> و <i>GPM</i> در پیش‌بینی بارش، مناسب و نزدیک به هم و غالباً دچار بیش‌برآوردی است، به طوری که ۷۵ درصد پیش‌بینی‌های بارش مدل <i>TRMM</i> و تمامی پیش‌بینی‌های مدل <i>GPM</i> دچار بیش‌برآوردی‌اند. یافته‌ها مشخص کرد که مدل <i>TRMM</i> نسبت به مدل <i>GPM</i> دقت بیشتری در پیش‌بینی صحیح وقایع بارندگی اتفاق افتاده و خطای کمتری در پیش‌بینی بارندگی‌های غیرواقعی دارد و بیشترین دقت مدل‌های <i>TRMM</i> و <i>GPM</i> به ترتیب مربوط به مقیاس‌های ماهانه، سالانه و روزانه است. در مدل <i>TRMM</i> ، ۲۵ درصد داده‌ها دارای R^2 بالاتر از ۰/۵ هستند، حال آنکه در مدل <i>GPM</i> ، در هیچ‌یک از داده‌ها، R^2 پیش‌بینی بالاتر از ۰/۵ قرار نگرفت. مقدار شاخص EF در پیش‌بینی‌های مدل <i>TRMM</i> در ۴۲ درصد وقایع، مثبت شد، در حالی که در مدل <i>GPM</i> در هیچ واقعه پیش‌بینی‌شده‌ای مثبت نگردید. نتیجه‌گیری کلی تحقیق این است که ماهواره <i>TRMM</i> ابزاری مناسب برای پایش و پیش‌بینی بارش است.
تاریخچه مقاله:	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۱	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۰۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۸	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴	
کلیدواژه‌ها:	
بندرعباس،	
پیش‌بینی بارش،	
ماهواره‌های TRMM و	
GPM.	

استناد: سیاسر، هادی؛ سالاری، امیر؛ حیدرزاده، مریم (۱۴۰۰). پایش و ارزیابی زمانی داده‌های بارش توسط ماهواره‌های TRMM و GPM

(مطالعه موردی: شهر بندرعباس). جغرافیا و پدیده‌های محیط، ۱۱ (۴)، ۱۰۷-۱۲۴. DOI: 10.22126/GES.2022.6929.2450



مقدمه

تعیین میزان بارش، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای چرخه هیدرولوژی، نقشی مهم در تخصیص و مدیریت منابع آب، تأمین نیاز آبی گیاهان، حجم مخازن آب، آبخیزداری، و فرسایش و رسوب دارد (دزفولی و همکاران، ۱۳۹۵). دسترسی نداشتن به داده‌های روزانه و طولانی‌مدت در مناطق مختلف، هزینه‌های زیاد ایجاد ایستگاه‌های هواشناسی زمینی و همچنین خطاهای مربوط به اندازه‌گیری‌ها باعث شده است محققان همواره در جست‌وجوی روش‌های جدید، ارزان، به‌روز، در دسترس و بادقت باشند. در این راستا، در حال حاضر یکی از راه‌های عملی برآورد جامع بارش در سطح جهانی استفاده از ماهواره‌هاست (هو^۱ و همکاران، ۲۰۰۸). گسترش روزافزون فناوری‌های ماهواره‌ای در سال‌های اخیر موجب توسعه پایگاه‌های بارشی با توان تفکیک مکانی و زمانی مختلف شده است. این پایگاه‌های فضایی، عمدتاً در قالب شبکه تعریف شده‌اند و برخلاف ایستگاه‌های باران‌سنجی زمینی، مشکل ناپیوستگی مکانی و زمانی ندارند، ولی به‌دلیل عدم قطعیت‌هایی که در تخمین بارش دارند، بایستی قبل از استفاده، ارزیابی و تصحیح شوند (رسولی و همکاران، ۱۳۹۵).

تحقیقات مختلفی در زمینه ارزیابی ماهواره‌ها، از جمله ماهواره‌های TRMM^۲، PERSIANN^۳، GPM^۴ و JMERG^۵ در برآورد بارش انجام شده است (خسروی و همکاران، ۱۳۹۲؛ رسولی و همکاران، ۱۳۹۵؛ مددی و همکاران، ۱۳۹۴؛ پراکاش^۶ و همکاران، ۲۰۱۶؛ معظمی^۷ و همکاران، ۲۰۱۶). در مقایسه بین این مدل‌ها در پیش‌بینی بارش مشخص شد که در برخی تحقیقات مدل GPM (علی‌بخشی و همکاران، ۱۳۹۵؛ بی‌هتا و همکاران، ۱۳۹۷؛ پراکاش و همکاران، ۲۰۱۶؛ شریفی^۸ و همکاران، ۲۰۱۶؛ تن^۹ و همکاران، ۲۰۱۵؛ ساتگه^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۷). در پاره‌ای از تحقیقات مدل TRIMM (میری و همکاران، ۱۳۹۵؛ عبداللهی و همکاران، ۱۳۹۶؛ تن و همکاران، ۲۰۱۵) و در بعضی دیگر مدل‌های 3B42V7 (معظمی و همکاران، ۲۰۱۶) و PERSIANN (غضنفری‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۰) از دقت بالاتری برخوردار بودند. به‌دلیل انطباق خوب بین داده‌های بارشی شبیه‌سازی‌شده توسط ماهواره‌ها با داده‌های مرجع زمینی، در تحقیقات دوآن^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۶) در سطح حوضه ادجیه^{۱۲} ای ایتالیا، دقت منابع TRMM و CHIRPS^{۱۳} و در پژوهش قاجارنیا و همکاران (۱۳۹۳) در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه، دقت مدل‌های PERSIANN، CMORPH-RAW، CMORPH-CRT، TPA-RT، TPA-TMPA و APHRODITE مورد تأیید قرار گرفت. البته همواره نتایج مدل‌های ماهواره‌ای مورد تأیید قرار نگرفته و رد شده است؛ برای مثال با بررسی منابع بارشی مختلف، از جمله PERSIANN، CHIRPS و TRMM، در مقیاس‌های زمانی گوناگون در کشور بورکینافاسو مشخص شد که منابع مذکور در برآورد مقدار بارش، دقت مناسبی ندارند (دمبله و زوارت^{۱۴}، ۲۰۱۶).

1. Hou
2. Tropical Rainfall Measuring Mission
3. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks
4. Global Precipitation Measurement
5. Intergrated Multi-satelitE ERA-Interim
6. Prakash
7. Moazami
8. Sharifi
9. Tan
10. Satge
11. Duan
12. Adgie
13. Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data
14. Dembele and Zwart

موضوع مهم دیگر در بحث پیش‌بینی‌های بارشی ماهواره‌ها، بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی است. بررسی‌های کلی‌تر در بیشتر ایستگاه‌های کشور نشان داد که مدل‌های TIMMM و PERSIANN در پیش‌بینی بارش دچار بیش‌برآوردی‌اند (کتیرایی بروجوردی، ۱۳۹۱؛ عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۵) و بررسی‌های جزئی‌تر مشخص کرد که اصولاً مدل TIMMM بارش‌های سبک را بیشتر و بارش‌های سنگین را کمتر برآورد کند (حبیب^۱ و همکاران، ۲۰۰۹). در ارزیابی مدل GPM در پیش‌بینی بارش در شمال غربی ایران که تقی‌زاده و احمدی گیوی (۱۳۹۷) انجام دادند نیز مشخص شد که این مدل در تخمین بارش‌های با شدت بیش از ۵ mm/day دچار کم‌تخمینی است. به‌طور کلی، به‌رغم برآورد مناسب و قابل قبول مدل TIMMM در پیش‌بینی بارش‌های سبک (حبیب و همکاران، ۲۰۰۹؛ نزرول‌اسلام و یوندا^۲، ۲۰۰۷) این مدل دقت چندان مناسبی در پیش‌بینی بارش‌های سنگین ندارد (حبیب و همکاران، ۲۰۰۹؛ چک‌گامونگ و چیو^۳، ۲۰۰۸).

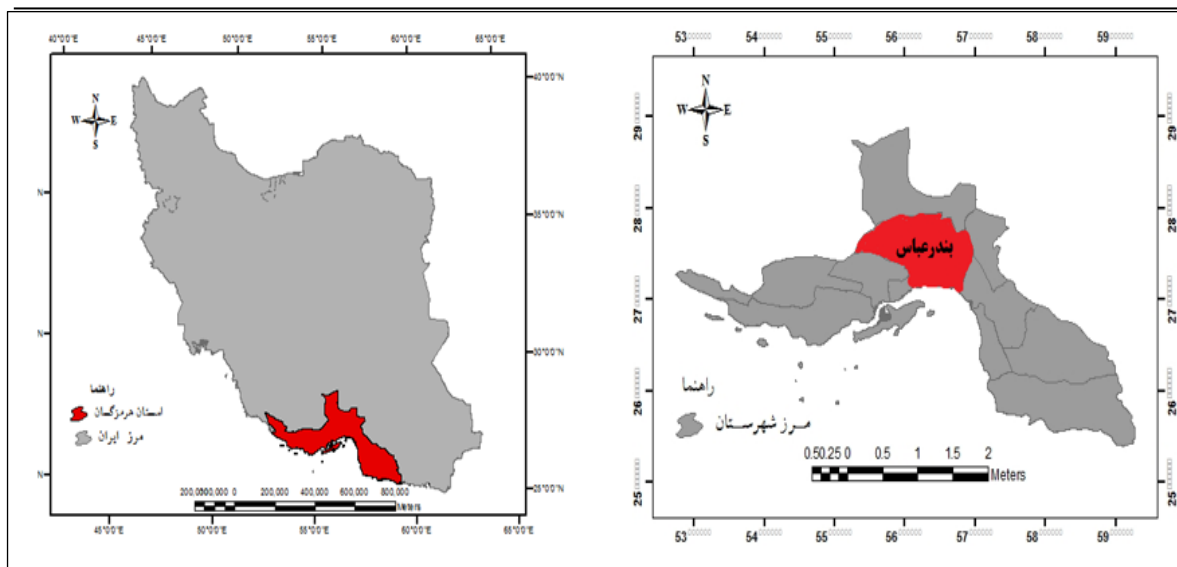
موضوع حائز اهمیت دیگر در پیش‌بینی بارش، مقیاس زمانی برآورد است. نتایج مربوط نشان می‌دهند که در دوره‌های طولانی‌تر (سالانه و ماهانه)، ماهواره TIMMM از دقت مناسبی برخوردار نیست و در پیش‌بینی‌های روزانه نمی‌توان به این تخمین‌ها اعتماد کرد (کواتیکی^۴ و همکاران، ۲۰۱۷) عرفانیان^۵ و همکاران (۲۰۱۴) نیز با ارزیابی دقت برآورد داده‌های بارش توسط ماهواره TRMM در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در مقیاس ماهانه در ۲۱ ایستگاه سینوپتیک واقع در منطقه اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران طی دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹، نتیجه گرفتند که ماهواره TRMM با ضرایب هم‌بستگی بالا (متوسط ضریب هم‌بستگی ۸۰ درصد)، مقادیر بارندگی ماهانه را برآورد می‌کند.

با توجه به حجم قابل توجه تولید داده‌های ماهواره‌ای، در دسترس بودن این داده‌ها، استفاده روزافزون و گسترده از آن‌ها، اندازه‌گیری پرهزینه و دشوار داده‌های زمینی و همچنین نبود پژوهشی جامع در زمینه پیش‌بینی ماهواره‌ای بارش‌ها در سطح کلان‌شهر بندرعباس، این تحقیق با هدف ارزیابی و پایش داده‌های ماهواره‌ای TRMM و GPM در این کلان‌شهر در گام‌های زمانی روزانه و ماهانه و در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷، برای کاربرد در موضوعات هیدرولوژیکی، آلودگی و فاضلاب شهری اجرا شد.

معرفی منطقه مورد بررسی

شهر ساحلی بندرعباس مرکز استان هرمزگان است که در جنوب ایران قرار دارد. این شهر به‌صورت نواری ساحلی در شمال تنگه هرمز واقع شده است. مختصات این منطقه شامل ۱۱° ۲۷' تا ۱۲° ۲۷' شمالی و ۲۰' ۵۶' تا ۲۱' ۵۶' شرقی، و مساحت آن ۰/۹۱۳ کیلومتر مربع است. نمایی از منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ آمده است. ایستگاه سینوپتیک بندرعباس با مشخصات ۱۵' ۲۷° شمالی و ۱۵' ۵۶° شرقی، با ارتفاع ۱۰ متر از سطح دریا، مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های مشاهداتی بارش روزانه برای دوره آماری هفده‌ساله، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷، است.

1. Habib
2. Nazrul-Islam & Uyeda
3. Chokngamwong & Chiu
4. Ouatiki
5. Erfanian



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان هرمزگان

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، از داده‌های بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک بندرعباس طی یک دوره هفده‌ساله، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷، استفاده شد. داده‌های ساعتی بارش ماهواره‌های TRMM و GPM از پایگاه‌های اطلاعاتی دریافت و پس از تحلیل فرمت دریافتی داده‌ها در محیط متلب، اطلاعات بارش ساعتی استخراج گردید. ماهواره TRMM اولین سیستم فضایی رادار بارش است و هنوز هم در مدار است و از اطلاعات آن استفاده می‌شود. ماهواره TRMM در ۲۷ نوامبر ۱۹۹۷ و ماهواره GPM در ۲۸ فوریه ۲۰۱۴ به فضا پرتاب شد.

ماهواره TRMM اندازه‌گیری‌های نظام‌مند، چندساله، مرئی، مادون‌قرمز و مایکروویو بارندگی را در مناطق حراره‌ای به‌عنوان ورودی‌های اصلی پروژه‌های آب‌وهوایی و اقلیم فراهم می‌کند. مشاهدات ماهواره‌ای توسط داده‌های باران‌سنج‌ها و رادارهای زمینی به‌منظور اعتبارسنجی تکنیک‌های ماهواره‌ای برآورد بارندگی تکمیل می‌شوند. افزون بر استفاده از شاخص‌های گیاهی و ترکیب طول‌موج‌های باندهای مرئی و مادون‌قرمز و به‌کار بردن ترکیب سنجنده رادار بارش و طول‌موج کوتاه در ماهواره TRMM، امکان ارزیابی خشک‌سالی با کمک داده‌های این ماهواره از طریق اندازه‌گیری مقدار بارش و شاخص‌های مبتنی بر بارش نیز فراهم شده است. تخمین‌های بارش TRMM به دو صورت تخمین بارش در نزدیک‌ترین زمان واقعی که «TRMM-3B42 RT» نامیده می‌شود و تخمین بارش بعد از زمان واقعی که خطای آن تا حدی تصحیح شده است و «TRMM-3B42 V7» نام دارد، در دسترس‌اند. دقت زمانی و مکانی تخمین بارش محصولات TRMM به‌ترتیب روزانه و 0.25×0.25 درجه هستند. همچنین محصولات این منبع بارشی در حال حاضر با پوشش سراسری از 60° شمالی تا 60° جنوبی از سال ۲۰۰۰ تا کنون در دسترس همگان قرار دارند.

ماهواره GPM با استفاده از دو ابزار تصویربردار مایکروویو (GMI) و رادار بارش دوفرکانسه (DPR) می‌تواند بارش‌های برف و باران را مشاهده کند. GMI یک سنسور غیرفعال مایکروویو است که از طریق دریافت انرژی مایکروویو انتشاریافته از زمین و اتمسفر، در سیزده فرکانس مختلف، مشاهده انواع بارش، از قبیل بارش سبک، سنگین و همین‌طور برف، را ممکن

می‌کند. DPR یک رادار بارش دوفرکانسه نصب شده بر روی ماهواره است که اطلاعات دوبعدی و سه‌بعدی ذرات بارش، مشتق شده از انرژی بازتابش شده از این ذرات را در ارتفاعات مختلف و همین‌طور سطح زمین، شامل شدت بارش برف و باران، ارائه می‌دهد. DPR دو فرکانس مختلف دارد که به رادار اجازه می‌دهد اندازه ذرات بارش را تخمین بزند، طیف وسیع تری از بارش را تشخیص دهد و دیدگاهی از ساختار فیزیکی طوفان را ارائه کند. سنجش جهانی بارندگی که به اختصار «GPM» نامیده می‌شود، نام پروژه‌ای مشترک بین آژانس کاوش‌های هوافضا ژاپن و ناسا و دیگر آژانس‌های فضایی بین‌المللی است که هدف آن دیده‌بانی پیوسته (هرنیم‌ساعت یک بار) بارندگی زمین است. این پروژه بخشی از برنامه ناسا به نام «مأموریت‌های روشمند زمین» است که با در اختیار داشتن مجموعه‌ای از ماهواره‌ها به منظور تأمین پوشش کلی کره زمین فعالیت می‌کند. این پروژه نقشه‌های بارش جهانی را تهیه می‌کند که به پژوهشگران در زمینه مطالعه اقلیم جهان، پیش‌بینی حوادث و بلایای طبیعی و بهبود کاربرد داده‌های ماهواره‌ای برای کمک به جامعه بشری، یاری می‌رساند. با توجه به اینکه ماهواره GPM به تازگی در مدار قرار گرفته و داده‌های بارش را منتشر کرده است، تا کنون داده‌های این ماهواره در سطح ایران ارزیابی نشده است.

معیارهای آماری ارزیابی دقت داده‌های ماهواره‌ای

به منظور ارزیابی دقت داده‌های ماهواره‌ای نسبت به ایستگاه زمینی، از ضرایب آماری ضریب هم‌بستگی (R^2)، میانگین قدرمطلق تفاوت‌ها (MAE)، میانگین مجذور مربع خطا (RMSE)، انحراف نسبی (BIAS)، شاخص توافق (IA) و شاخص کارایی (EF) استفاده شد. برای صحت‌سنجی نتایج محاسباتی از شاخص‌های مطابقت - شامل احتمال آشکارسازی (POD)^۱، نسبت هشدار اشتباه (FAR)^۲، شاخص موفقیت بحرانی (CSI)^۳ و آماره مهارت واقعی (TSS)^۴ - نیز استفاده گردید (چک‌گامونگ و چجو، ۲۰۰۸). طبق تعریف، شاخص POD نسبت تعداد برآوردهای صحیح داده‌ها به کل بارندگی‌های ثبت شده در ایستگاه‌هاست و مقدار POD برابر با ۱، بیانگر تخمین درست نقاط بارانی توسط ماهواره است. شاخص FAR نسبت پیش‌بینی نادرست به تعداد کل پیش‌بینی‌هاست و مقدار آن بین صفر و ۱ متغیر است و مقادیر کمتر از آن، بیانگر دقت بیشتر ماهواره است. شاخص CSI دقت نسبی ماهواره را تعیین می‌کند. این شاخص، هم به پیش‌بینی‌های نادرست و هم به رویدادهای ازدست‌رفته حساس است. شاخص TSS از مهم‌ترین و متداول‌ترین شاخص‌های مطابقت است و مقدار برابر با ۱ این شاخص، نشان‌دهنده مطابقت کامل مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهده‌ای است. در روابط فوق، H تعداد پیش‌بینی‌های ثبت شده مقدار بارندگی در هر دو روش، F تعداد پیش‌بینی‌های ثبت شده توسط فقط ماهواره و M تعداد پیش‌بینی‌هایی است که به‌رغم وقوع بارندگی در ایستگاه زمینی، مقدار آن در ماهواره مورد نظر ثبت نشده است (جدول ۱) (عزیزیان و رضانی اعتدالی، ۱۳۹۸؛ ویلکس^۵، ۲۰۱۱).

جدول ۱. معیارهای آماری مورد استفاده برای ارزیابی و صحت‌سنجی

1. Probability of Detection
2. False Alarm Ratio
3. Critical Success Index
4. True Skill Statistic
5. Wilks

شاخص آماری	دامنه	منابع
$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n P_i - O_i $	$0 \leq MAE$	بی‌همتا و همکاران (۱۳۹۷)، عبداللهی و همکاران (۱۳۹۶)، علی‌بخشی و همکاران (۱۳۹۵)
$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}$	$0 \leq RMSE$	بی‌همتا و همکاران (۱۳۹۷)، عبداللهی و همکاران (۱۳۹۶)، علی‌بخشی و همکاران (۱۳۹۵)
$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n O_i P_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n O_i^2 \sum_{i=1}^n P_i^2}}$	$0 \leq R^2 \leq +1$	دزفولی و همکاران (۱۳۹۵)، بی‌همتا و همکاران (۱۳۹۷)
$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$	$0 \leq EF \leq +1$	صادقی و همکاران (۱۳۹۸)، موریاسی ^۱ و همکاران (۲۰۰۷)
$BIAS = \sum_{i=1}^n \frac{P_i - O_i}{n}$		بی‌همتا و همکاران (۱۳۹۷)، عبداللهی و همکاران (۱۳۹۶)، علی‌بخشی و همکاران (۱۳۹۵)
$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O}_i + O_i - \bar{O}_i)^2}$	$0 \leq IA \leq +1$	صادقی و همکاران (۱۳۹۸)، موریاسی و همکاران (۲۰۰۷)
$POD = \frac{H}{H+M}$	$0 \leq POD \leq +1$	عزیزیان و رضانی اعتدالی (۱۳۹۸)، دزفولی و همکاران (۱۳۹۵)، بی‌همتا و همکاران (۱۳۹۷)، عبداللهی و همکاران (۱۳۹۶)، علی‌بخشی و همکاران (۱۳۹۵)
$FAR = \frac{F}{F+H}$	$0 \leq FAR \leq +1$	عزیزیان و رضانی اعتدالی (۱۳۹۸)، دزفولی و همکاران (۱۳۹۵)، بی‌همتا و همکاران (۱۳۹۷)، عبداللهی و همکاران (۱۳۹۶)، علی‌بخشی و همکاران (۱۳۹۵)
$CSI = \frac{H}{H+F+M}$	$0 \leq CSI \leq +1$	دزفولی و همکاران (۱۳۹۵)، بی‌همتا و همکاران (۱۳۹۷)، عبداللهی و همکاران (۱۳۹۶)، علی‌بخشی و همکاران (۱۳۹۵)
$TSS = \frac{N \cdot H - F \cdot M}{(N+F) \cdot (M+H)}$	$-1 \leq TSS \leq +1$	صادقی و همکاران (۱۳۹۸)، موریاسی و همکاران (۲۰۰۷)

N تعداد روزهای بارانی، P_i مقدار تخمینی ماهواره، O_i مقدار مشاهداتی داده زمینی، H تعداد پیش‌بینی‌های ثبت‌شده مقدار بارندگی در هر دو روش، F تعداد پیش‌بینی‌های ثبت‌شده فقط توسط ماهواره و M تعداد پیش‌بینی‌هایی است که به‌رغم وقوع بارندگی در ایستگاه زمینی، مقدار آن در ماهواره مورد نظر ثبت نشده است.

نتایج

نتایج نشان داد که دقت هر دو مدل GPM و TRMM نزدیک به هم و قابل قبول است (جدول های ۲ و ۳) و با توجه به نتایج این تحقیق، می توان از هر دو ماهواره TRMM و GPM برای برآورد بارش در آب و هوای گرم و مرطوب کلان شهر بندرعباس استفاده کرد.

با توجه به آماره R بین مقادیر مشاهداتی و برآورد شدت بارش، بیشترین دقت مدل های GPM و TRMM به ترتیب مربوط به مقیاس های ماهانه، سالانه و روزانه است، بیشترین مقدار ضریب R ماهانه در مدل GPM به مقدار ۹۸ و ۸۹ درصد به ترتیب از مقیاس های ماهانه و سالانه به دست آمد، در مدل TRMM نیز بالاترین مقادیر ضریب R به ترتیب در مقیاس های ماهانه و سالانه و برابر با ۹۸ و ۹۳ درصد کسب شد (جدول های ۲ و ۳).

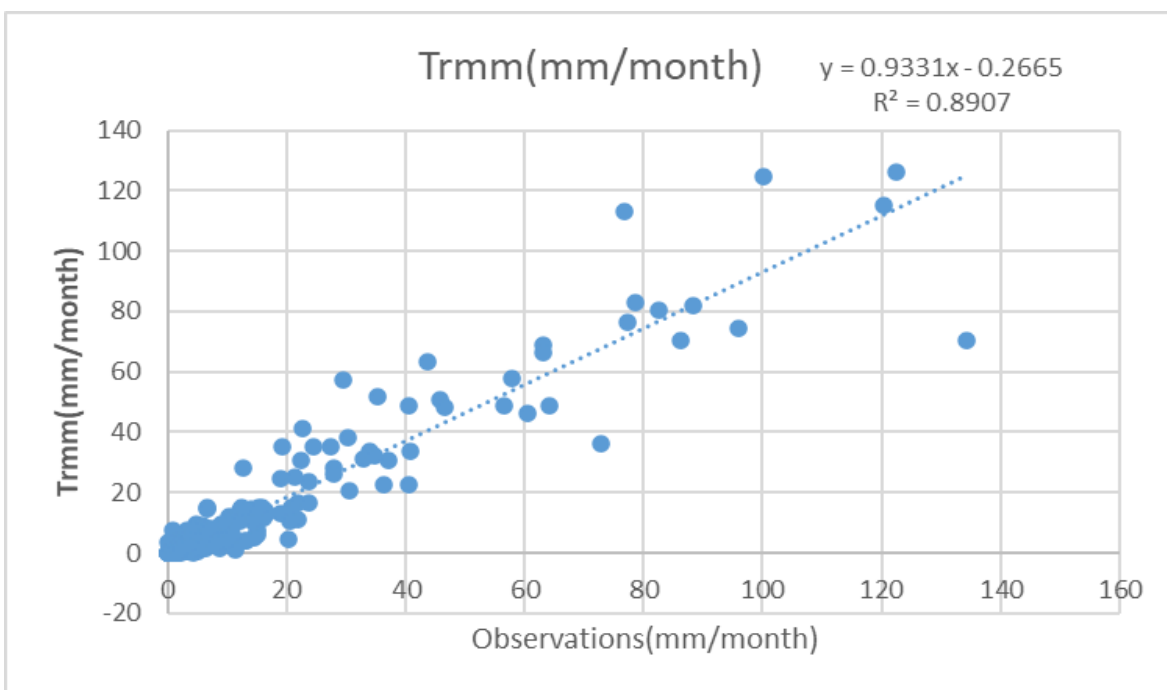
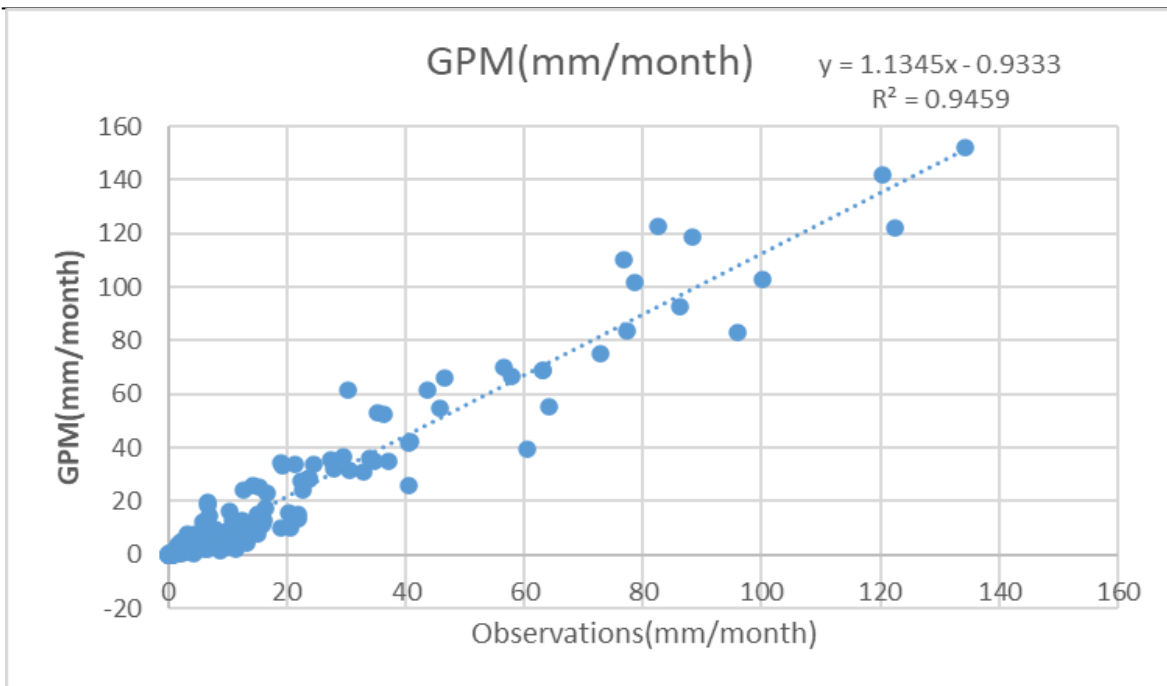
جدول ۲. مقایسه مقادیر مشاهداتی و پیش بینی شده توسط مدل GPM

مقیاس	روزانه	ماهانه	سالانه
MAE	۰/۸۶	۲۸۹/۰۳	۲۵/۵۹
RMSE	۴/۸۹	۴۱۲/۱۶	۳۹/۱۵
MAPE	۶۷/۵۷	۵۱/۳۰	۱۳/۹۶
R(xy)	۰/۶۵	۰/۹۸	۰/۸۹

جدول ۳. مقایسه مقادیر مشاهداتی و پیش بینی شده توسط مدل TRMM

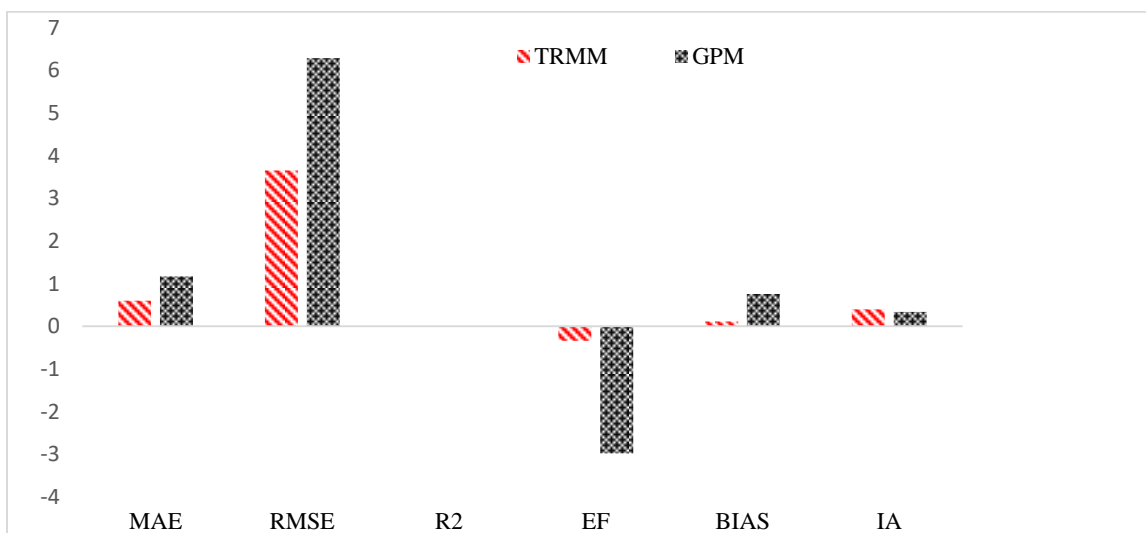
مقیاس	روزانه	ماهانه	سالانه
MAE	۰/۸۷	۲۸۸/۸۸	۲۰/۶۰
RMSE	۴/۹۱	۴۰۳/۵۸	۲۸/۱۳
MAPE	۶۷/۰۹	۵۱/۶۶	۱۲/۴۸
R(xy)	۰/۶۵	۰/۹۸	۰/۹۳

با توجه به برآوردهای دقیق تر بارش در مقیاس ماهانه، مقدار و رابطه هم بستگی بین داده های زمینی و برآوردی بارش در مقیاس ماهانه در شکل ۲ آورده شده است و توصیه می شود برای استفاده از داده های بارشی برآورد شده توسط ماهواره ها، از مقیاس ماهانه استفاده شود.



شکل ۲. مقایسه داده‌های مشاهداتی با داده‌های *GPM* و *TRMM*

مقایسه سایر آماره‌های این تحقیق نشان می‌دهد که مدل TRMM از دقت بالاتری نسبت به مدل GPM برخوردار است. مقادیر کمتر میانگین قدرمطلق تفاوت‌ها (MAE)، میانگین مجذور مربع خطا (RMSE) و انحراف نسبی (BIAS)، و مقادیر بیشتر آماره‌های ضریب تبیین یا هم‌بستگی (R^2)، شاخص توافق (IA) و شاخص کارایی (EF) مؤید این نکته‌اند (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه ضرایب آماری برآورد داده‌های بارش توسط ماهواره‌ها با ایستگاه

آماره POD معرف کسری از موارد وقوع پدیده است که به‌درستی تخمین زده شده‌اند. با توجه به نتایج آماره POD، مدل TRMM (با $POD=0.638$) نسبت به مدل GPM (با $POD=0.531$) وقایع بارندگی را در بین تمامی وقایع اتفاق‌افتاده، دقیق‌تر پیش‌بینی کرده است. نسبت هشدارهای نادرست (FAR) که بیانگر درصد مواردی است که تخمین‌ها بالاتر از آستانه مورد نظر است ولی پدیده رخ نداده است، نیز نشان داد که مدل TRMM با $FAR=0.773$ دارای پیش‌بینی بارندگی‌های غیرواقعی کمتری نسبت به مدل GPM با $FAR=0.897$ است (جدول ۴).

جدول ۴. بررسی ضرایب آماری داده‌های ماهواره‌ای با ایستگاه

	TRMM	GPM
POD	۰/۶۳۸	۰/۵۳۱
FAR	۰/۷۷۳	۰/۸۹۷
CSI	۰/۲۰۷	۰/۱۰۲
TSS	۰/۵۱۱	۰/۰۳۸

مدل TRMM در ۱۱ درصد نقاط، محل وقوع بارش را دقیق‌تر پیش‌بینی کرده است، درحالی که مدل GPM تقریباً در نیمی از نقاط نتوانسته است مکان وقوع بارش را به‌درستی تعیین کند. میزان کمتر پیش‌بینی‌های نادرست مدل TRMM نسبت به مدل GPM (اختلاف ۱۳ درصدی) نیز دقت بالاتر مدل TRMM را مجدداً تأیید کرد. آماره TSS، به‌عنوان مهم‌ترین آماره مورد بررسی، به‌خوبی نشان داد که دقت مدل TRMM بیشتر از مدل GPM است و با اطمینان بیشتری می‌توان مدل TRMM را در منطقه گرم و مرطوب کلان‌شهر بندرعباس به‌کار برد (جدول ۴).

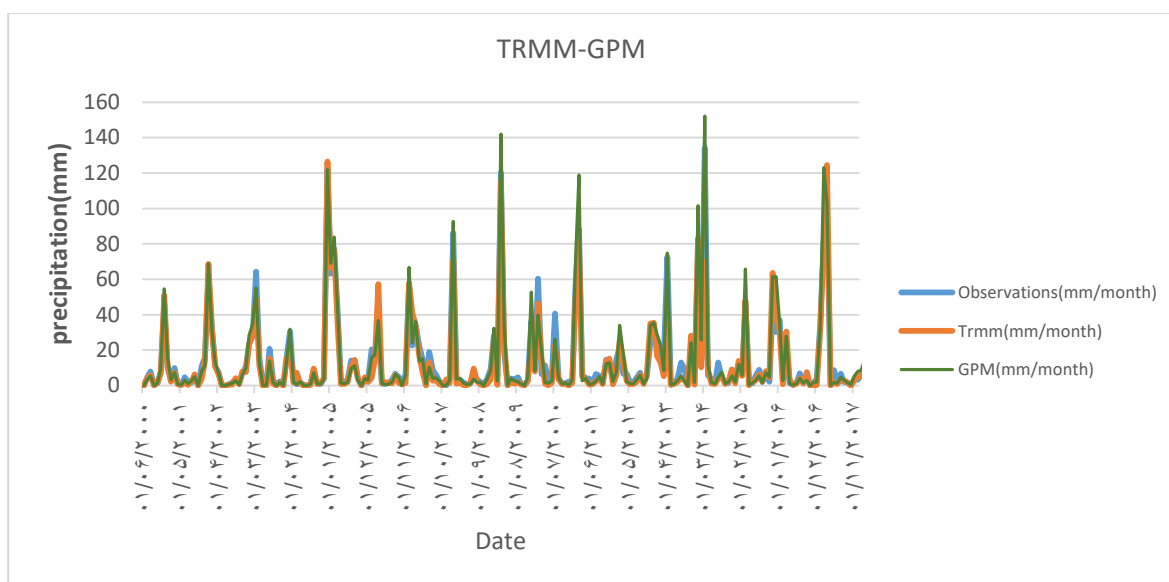
بررسی‌های بیشتر نشان داد مقدار آماره RMSE در مدل TRMM بین ۵۲/۶۰ تا ۲/۰۹ و در مدل GPM بین ۱۰۳/۶۶ تا ۵۷/۶۸ متغیر است. میانگین RMSE ماهانه مدل TRMM، ۱۶/۴۴ و میانگین RMSE ماهانه مدل GPM، ۷۴/۸۲ به‌دست آمد. مثبت بودن مقدار این آماره در هر دو مدل نشان‌دهنده دقت پایین برآوردها و مقادیر بالاتر مدل GPM نشان‌دهنده دقت کمتر این مدل است. مقدار ضریب تبیین (R^2) ماهواره TRMM بین ۱/۵۴ تا ۰/۱۲ و ماهواره GPM بین ۰/۴۵ تا ۰/۰۴ متغیر است و بیشترین مقدار ضریب تبیین (R^2) برابر با ۱/۵۴ مربوط به ماه ژوئن (خرداد) در ماهواره TRMM و کمترین مقدار ضریب تبیین (R^2) برابر با ۰/۰۴ مربوط به ماه اکتبر (مهر) در ماهواره GPM به‌دست آمد (جدول ۵).

در مدل TRMM، ۲۵ درصد داده‌ها دارای R^2 بالاتر از ۰/۵ هستند و در مورد مدل GPM، در هیچ‌یک از ماه‌ها، R^2 پیش‌بینی بالاتر از ۰/۵ قرار نگرفت. مقدار شاخص EF در مدل TRMM از منفی ۲۸۴/۵۲ تا مثبت ۰/۷۱ و در مدل GPM از منفی ۲۵۵۱۴ تا منفی ۱/۲۵ متغیر است. مقدار این شاخص در مدل TRMM در پنج ماه مثبت شد، درحالی که در مدل GPM در هیچ ماهی مثبت نگردید (جدول ۵). شاخص توافق (IA) نیز در مدل TRMM بین ۰/۰۸۷ و ۰/۹۱۱ و در مدل GPM بین ۰/۰۰۹ و ۰/۶۷۲ متغیر است. مقدار شاخص BIAS در مدل TRMM بین منفی ۱۲/۸ و مثبت ۲۱/۵۸ و در مدل GPM بین مثبت ۲۲/۶۴ و مثبت ۷۸/۸۶ متغیر است. در مدل TRMM، ۲۵ درصد داده‌های BIAS منفی به‌دست آمد؛ به عبارتی ۲۵ درصد داده‌ها دچار کم‌برآوردی‌اند. با توجه به مثبت بودن BIAS تمامی داده‌های مدل GPM، داده‌ها در این مدل دچار بیش‌برآوردی شدند (جدول ۵).

جدول ۵. مقادیر پارامترهای آماری برای بررسی دقت داده‌های ماهانه ماهواره‌های TRMM و GPM

	ماهانه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
MAE	TRMM	۲۱/۵۹	۱۷/۰	۱۶/۸۱	۵/۵۱	۱/۳۸	۱/۳۹	۵/۰۹	۵/۷۸	۲/۳۶	۲/۹۲	۵/۷۱	۷/۵۱
	GPM	۵۰/۱۳	۴۷/۷۰	۵۱/۳۸	۴۷/۲۶	۱۹/۳۰	۱۴/۶۱	۲۴/۱۵	۳۵/۴۲	۲۵/۰۵	۲۲/۹۴	۲۹/۲۹	۲۶/۳۲
RMSE	TRMM	۵۲/۶۰	۳۰/۹۵	۳۵/۸۰	۹/۲۲	۲/۰۹	۲/۳۵	۸/۰۷	۸/۸۰	۳/۶۳	۷/۵۸	۱۰/۷۶	۲۵/۴۰
	GPM	۱۰۳/۶۶	۹۸/۹۰	۹۸/۸۸	۸۷/۸۰	۶۲/۶۱	۵۷/۶۸	۶۱/۱۷	۷۰/۰۱	۶۴/۱۷	۶۰/۹۱	۶۸/۳۲	۶۳/۶۸
R^2	TRMM	۰/۱۲۳	۰/۳۶۲	۰/۳۵	۱/۱۱	۰/۲۰	۱/۵۴	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۵۳	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۳۹
	GPM	۰/۰۷۳	۰/۳۴۴	۰/۲۸	۰/۴۵	۰/۳۴	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۲۶	۰/۲۹
EF	TRMM	-۰/۱۶	-۰/۲۸۸	۰/۷۱	۰/۱۷	-۲۷/۴۲	۰/۴۹	-۷۱/۹۴	-۲۸۴/۵۲	-۱/۸۲	۰/۲۹	۰/۵۹	-۰/۱۶
	GPM	-۳/۵۱	-۱۲/۱۶	-۱/۲۵	-۷۴/۴۲	-۲۵۵۱۴	-۳۰/۸۲	-۴۱۹۰	-۱۸۰۶۴	-۸۸۲/۲	-۴۴/۵۸	-۱۵/۳۳	-۶/۲۹
BIAS	TRMM	-۱۲/۸	۲۱/۵۸	-۱/۹۳	۸/۳۸	۱/۷۷	۱/۷۱	۷/۴۷	۸/۴۹	۲/۹۶	-۰/۳۸	۳/۱۸	۸/۲۸
	GPM	۴۱/۴۵	۷۲/۰۷	۷۸/۸۶	۷۴/۵۰	۳۰/۱۴	۲۲/۶۴	۳۷/۶۶	۵۵/۴۱	۳۸/۹۱	۳۱/۵۵	۴۲/۰۷	۳۹/۷۰
IA	TRMM	۰/۵۳۸	۰/۸۲	۰/۸۹	۰/۸۶	۰/۱۹	۰/۹۱	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۵۷	۰/۵۳	۰/۹۰	۰/۸۳
	GPM	۰/۳۰۰	۰/۴۵۸	۰/۶۷	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۳۲	۰/۵۷

طی فصل زمستان که عمده بارش‌های منطقه اتفاق می‌افتد، با وقوع بارش‌ها، برآورد مدل‌ها دچار خطای بیشتری می‌شود و عمدتاً بیش‌برآوردها هم در همین مواقع رخ می‌دهد؛ به عبارتی مدل‌ها، به‌ویژه مدل GPM، طی فصل اصلی بارش (زمستان) دچار کاهش دقت قابل توجهی در برآوردها می‌شوند و برعکس، بیشترین ضریب تبیین پیش‌بینی مقدار بارش، طی ماه‌های گرم سال، به‌ویژه خرداد، و در مدل TRMM حاصل می‌شود. در مجموع مشخص شد که غالباً مدل‌های TRMM و GPM دچار بیش‌برآوردی‌اند و اصولاً دقت ماهواره‌ها در پیش‌بینی وقوع بارش‌های منطقه در ماه‌های پرباران (فصل زمستان) کاهش می‌یابد (شکل ۴).



شکل ۴. نمونه‌ای از روند بارش ماهانه بر اساس ایستگاه زمینی و ماهواره‌های GPM و TRMM

بحث

با بررسی نتایج و مقایسه آماره‌های MAE، RMSE، R و R^2 ، دقت هر دو ماهواره TRMM و GPM در برآورد بارش‌های کلان‌شهر جنوبی کشور با آب‌وهوای گرم و مرطوب مناسب ارزیابی شد. تأیید اعتبار استفاده از این ماهواره‌ها را سایر محققان نیز گزارش کرده‌اند. حاجی‌میررحیمی و فیضی‌زاده (۱۳۸۷) در غرب کشور، غفوریان و همکاران (۱۳۹۲) در استان خراسان رضوی، رسولی (۱۳۹۲) در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، احمدی^۱ و همکاران (۲۰۱۵) در استان فارس، میری و همکاران (۱۳۹۸) در سطح ۷۰ ایستگاه کشور، و بارانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) در سطح کشور، همبستگی بالایی بین داده‌های تخمینی بارش با استفاده از ماهواره TRMM و داده‌های زمینی مشاهده کردند. در سایر کشورها نیز، در سطح حوضه‌های مختلفی، از جمله هند (شارما^۲، ۲۰۰۳)، مالزی (واریکودن^۳ و همکاران، ۲۰۰۷؛ تن و همکاران، ۲۰۱۷) و چین (ژانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۱)، همبستگی خوبی بین

1. Ahmadi
2. Sharma
3. Varikoden

داده‌های زمینی و ماهواره TRMM گزارش شده است. دقت بالای برآورد و پیش‌بینی داده‌های بارش توسط دو مدل TRMM و GPM به نوع تصویربرداری، قدرت تفکیک و ادوات به کاررفته در ساختمان این دو ماهواره مربوط است (بی‌همتا و همکاران، ۱۳۹۷).

با توجه به نتایج آماره‌های R و R^2 و تأیید دقت بالاتر برآورد داده‌های بارش در مقیاس ماهانه، توصیه می‌شود برای استفاده از داده‌های بارشی برآوردشده توسط ماهواره‌ها در سایر کارهای فنی و تحقیقاتی، مقیاس ماهانه مبنا قرار گیرد. دقیق‌تر بودن بارش برآوردشده در مقیاس ماهانه توسط ماهواره TRMM در مطالعات کواتیکی و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش شده است.

برآوردهای بارش در تحقیق حاضر نشان داد که مدل TRMM نسبت به مدل GPM از دقت بالاتری برخوردار است. بارانی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) و میری و همکاران (۱۳۹۵) نیز گزارش دادند که داده‌های ماهواره TRMM کارایی موفق‌تری در پیش‌بینی باران در ایران دارد. نتایج خارج از ایران نیز نشان‌دهنده کاربرد موفق برآورد بارش با استفاده از مدل TRMM است (شارما، ۲۰۰۳). در این تحقیقات مشخص شد که مدل TRMM در مناطق خشکی نسبت به سواحل دقت بالاتری دارد. تأثیرات دریا و وجود رطوبت نسبی بیشتر در مناطق ساحلی از جمله دلایل این پدیده بیان می‌شود (بی‌همتا و همکاران، ۱۳۹۷؛ میری و همکاران، ۱۳۹۸). برآوردهای بهتر مدل TRMM حاصل نوع رادارها، تصویرگر میکروویوی و اسکنرهای مرئی و مادون قرمز به کاررفته در ماهواره TRMM است. البته علی‌بخشی و همکاران (۱۳۹۵)، بی‌همتا و همکاران (۱۳۹۷)، تن و همکاران (۲۰۱۷) و ساتگه و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقات خود، با مقایسه عملکرد ماهواره‌های TRMM و GPM نتیجه گرفتند که برعکس، ماهواره GPM نسبت به ماهواره TRMM از دقت بالاتری برخوردار است.

تفاوت دقت مدل‌ها نسبت به زمان (ماه یا فصل)، از جمله سایر نتایج این تحقیق است، به طوری که بیشترین مقدار ضریب تبیین (R^2) برابر با ۱/۵۴ مربوط به ماه ژوئن (خرداد) در ماهواره TRMM و کمترین مقدار ضریب تبیین (R^2) برابر با ۰/۰۰۴ مربوط به ماه اکتبر (مهر) در ماهواره GPM به دست آمد. محققان گوناگونی بیان داشتند که درستی برآوردهای ماهواره‌ای در فصل‌های گوناگون متفاوت است و در عرض‌های جغرافیایی پایین نیمکره شمالی، در فصل تابستان دقت بارش‌های برآوردی توسط ماهواره‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. دلیل این امر، ماهیت همرفتی ریزش‌های جوّی در این مناطق بیان شده است. در واقع ابرهای ناباران‌زایی، همچون ابرهای پرسا (سیروس) در پدیده همرفتی، در برآورد بارشی، داده‌های فروسرخ در نظر گرفته می‌شوند (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳؛ ورنیمن^۲ و همکاران، ۲۰۱۲)، اما در فصل‌های سرد سال به دلیل وجود سامانه‌های همدیدی، از دقت ماهواره‌ها کاسته می‌شود. در این شرایط، توده‌های بسیار سرد در فرایند برآورد بارش به کمک داده‌های فروسرخ اثرات نامطلوبی دارند (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳). اکبری ینگه‌قلعه و همکاران (۱۳۹۶) نیز با بررسی زمانی-مکانی بارش با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM در سطح استان خراسان رضوی، نتیجه گرفتند که برآوردهای بارش ماهواره TRMM در ماه‌های آذر و آبان از دقت کمتر و در ماه‌های فروردین و اردیبهشت از دقت بالاتری برخوردار است.

بیش‌برآوردی یکی دیگر از نتایج قابل توجه این تحقیق است. مدل TRMM در ۷۵ درصد برآوردها و مدل GPM در ۱۰۰ درصد برآوردها دچار بیش‌برآوردی است و اصولاً دقت ماهواره‌ها در پیش‌بینی وقوع بارش‌های منطقه در ماه‌های پر باران (فصل زمستان) کاهش می‌یابد. رسولی و همکاران (۱۳۹۵) طی تحقیق با ارزیابی میزان دقت ماهواره TRMM در سطح ۸۷ ایستگاه سینوپتیک ایران در مقیاس روزانه و ماهانه نتیجه گرفتند که در ۶۸ درصد ایستگاه‌ها، مقادیر بارش بیشتر از مقادیر مشاهداتی ایستگاه برآورد شده است. لی^۱ و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان کردند که داده‌های TRMM مقدار بارش حوزه را بیشتر از حالت واقعی نشان می‌دهد. چک-گامونگ و چپو (۲۰۰۸) دقت ماهواره TRMM را برای برآورد بارش‌های سنگین مناسب نمی‌دانند و حبیب و همکاران (۲۰۰۹) نتیجه گرفتند ماهواره TRMM بارش‌های سبک را بیشتر و بارش‌های سنگین را کمتر برآورد می‌کند. برخی محققان کم‌برآوردی بارش توسط ماهواره TRMM، به‌ویژه در ماه‌های سرد سال، را گزارش کرده‌اند (اکبری ینگه‌قلعه و همکاران، ۱۳۹۶). برعکس، شریفی و همکاران (۲۰۱۶) با تخمین بارش با استفاده از سه محصول IMERG، 3B42 و GPM در مناطق مختلف ایران، نتیجه گرفتند هر سه محصول تمایل به تخمین کمتر بارش نسبت به مقادیر ایستگاه‌های زمینی دارند.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت شاخص پارامتر بارش در تأمین نیاز آبی محصولات مختلف، تأمین ذخایر سدها و تغذیه منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و وقوع سیلاب‌ها و خشک‌سالی‌ها، و پیدایش و توسعه شتابان کاربرد ماهواره‌ها، اندازه‌گیری و پایش موضوعات گوناگون، از جمله بارش، سریع، ارزان و گسترده شده است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی داده‌های بارش پیش‌بینی شده توسط ماهواره‌های TRMM و GPM در شهر بندرعباس و حصول اطمینان از کاربرد این داده‌ها انجام شد. پیش‌بینی‌های هر دو ماهواره TRMM و GPM نزدیک‌به‌هم و در حد قابل قبول و از نوع بیش‌برآوردی است و بیشترین دقت مدل‌های TRMM و GPM به ترتیب مربوط به مقیاس‌های ماهانه، سالانه و روزانه به دست آمد. در مدل TRMM، ۲۵ درصد داده‌ها دارای R^2 بالاتر از ۰/۵ هستند، حال آنکه در مدل GPM، در هیچ‌یک از داده‌ها، R^2 پیش‌بینی بالاتر از ۰/۵ قرار نگرفت. نتیجه‌گیری کلی تحقیق این است که با توجه به برتری ماهواره TRMM بر GPM، می‌توان از ماهواره TRMM به‌عنوان ابزاری مناسب برای پایش و پیش‌بینی بارش‌ها استفاده کرد.

منابع

- اکبری ینگه‌قلعه، مصطفی؛ ثنایی‌نژاد، سید حسین؛ فریدحسینی، علیرضا؛ اکبری، مرتضی (۱۳۹۶). بررسی زمانی-مکانی بارش با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱ (۲۹)، ۱-۱۸.
- بارانی‌زاده، الهام؛ بهیار، محمدباقر؛ عابدینی، یوسفعلی (۱۳۹۰). ارزیابی برآوردهای بارندگی ماهواره TRMM-3B42 با استفاده از مقایسه با داده‌های زمینی مشاهداتی شبکه‌ای بارش قدرت تفکیک بالا

- (APHRODITE) در ایران. دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، اردیبهشت، زنجان.
- بی‌همتا، آرش؛ گهرنژاد، حمید؛ معظمی، صابر (۱۳۹۷). بررسی داده‌های بارش ماهواره‌های TRMM و GPM در مقیاس روزانه، ماهیانه و فصلی در شهر تهران. *فصلنامه سنجش از دور و GIS ایران*، ۱۰ (۲)، ۴۵-۶۰.
- تقی‌زاده، احسان؛ احمدی گیوی، فرهنگ (۱۳۹۷). ارزیابی محصولات بارش GPM و تصویربرداری رطوبت خاک با استفاده از داده‌های SMAP در شمال غرب ایران. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۲ (۳)، ۷۰-۸۶.
- حاجی میررحیمی، سید محمود؛ فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۸۷). بررسی دقت داده‌های رادار زمینی و TRMM در برآورد بارش. *همایش ژئوماتیک، اردیبهشت، تهران*.
- خسروی، محمود؛ بستانی، محسن؛ عزیزاقلی، محمدعلی؛ گودرزی‌فر، مصدق (۱۳۹۲). مقایسه پهنه‌بندی‌های بارشی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی. *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۴ (۱۳-۱۴)، ۹۷-۱۱۰.
- دزفولی، دنیا؛ حسینی موغاری، سید محمد؛ ابراهیمی، کیومرث (۱۳۹۵). مقایسه اطلاعات بارش ماهواره‌های PERSIANN و TRMM-3B42 V7 با مشاهدات ایستگاه‌های زمینی (مطالعه موردی: حوضه گرگانرود). *نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*، ۲۰ (۷۶)، ۸۵-۹۸.
- رسولی، علی‌اکبر؛ عرفانیان، مهدی؛ ساری‌صراف، بهروز؛ جوان، خدیجه (۱۳۹۵). ارزیابی تطبیقی مقادیر بازنگری برآوردشده TRMM و بارش ثبت‌شده ایستگاه زمینی در حوضه دریاچه ارومیه. *فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی*، ۶ (۵۴)، ۱۹۵-۲۱۷.
- صادقی، حمیدرضا؛ معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ میری، مرتضی (۱۳۹۸). ارزیابی داده‌های بارش دورسنجی GPM در مقابل داده‌های مشاهده‌ای (مورد مطالعه: غرب میانه ایران). *فصلنامه سنجش از دور و GIS ایران*، ۱۱ (۲)، ۱۱۵-۱۲۴.
- عبداللهی، بنفشه؛ حسینی موغاری، سید محمد؛ ابراهیمی، کیومرث (۱۳۹۶). ارزیابی داده‌های TRMM 3B42RTV7 و CMORPH به‌منظور تخمین بارش حوضه گرگانرود. *نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۱ (۳۶)، ۵۵-۶۸.
- عرفانیان، مهدی؛ کاظم‌پور، سیما؛ حیدری، حسن (۱۳۹۵). واسنجی داده‌های باران سری 3b43 و 3b42 ماهواره TRMM در زون‌های اقلیمی ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۸ (۲)، ۲۸۷-۳۰۳.
- عزیزیان، اصغر؛ رضانی اعتدالی، هادی (۱۳۹۸). پایش زمانی و مکانی داده‌های بازتحلیل‌شده ECMWF و منابع بارشی مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور PERSIAN و TRMM. *فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۵ (۱)، ۱۶۳-۱۷۷.
- علی‌بخشی، سیده مریم؛ فریدحسینی، علیرضا؛ داوری، کامران؛ علیزاده، امین؛ گاسچا، هنری منیکا (۱۳۹۵). مقایسه آماری بین محصولات IMERG و TMPA 3B42V7 در سطح سه داده‌های بارشی GPM و TRMM. *مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران*، ۶۹ (۴)، ۹۶۳-۹۸۱.
- غضنفری‌مقدم، محمدصادق؛ علیزاده، امین؛ موسوی بایگی، سید محمد؛ فریدحسینی، علیرضا؛ بنایان اول، محمد (۱۳۹۰). مقایسه مدل PERSIANN با روش‌های درون‌یابی به‌منظور کاربرد در تخمین مقادیر

- بارندگی روزانه (مطالعه موردی: خراسان شمالی). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۱)، ۲۷۰-۲۱۵.
- غفوریان، هادی؛ ثنایی نژاد، سید حسین؛ داوری، کامران (۱۳۹۲). بررسی پایش خشک سالی با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM در استان خراسان رضوی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی، ۱۰۴ صفحه.
- قاجارنیا، نوید؛ لیاقت، عبدالمجید؛ دانش‌کار آراسته، پیمان (۱۳۹۳). صحت‌سنجی داده‌های بارندگی ایستگاه‌های غیرثبات سازمان هواشناسی و تماب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۴ (۱)، ۱۰۹-۹۱.
- کتیرایی بروجردی، پری‌سیما (۱۳۹۱). مقایسه داده‌های بارش ماهانه ماهواره‌ای و زمینی در شبکه‌ای با تفکیک زیاد روی ایران. مجله ژئوفیزیک ایران، ۷ (۴)، ۱۴۹-۱۶۰.
- مددی، غزاله؛ حمزه، سعید؛ نوروزی، علی‌اکبر (۱۳۹۴). ارزیابی بارش در مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوزه مرزی غرب ایران). نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶ (۲)، ۷۴-۵۹.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ رعیت‌پیشه، فاطمه؛ کیخسروی کیانی، محمدصادق (۱۳۹۳). معرفی و مقایسه پایگاه‌های داده بارشی TRMM و اسفزاری. مجله ژئوفیزیک ایران، ۸ (۴)، ۳۱-۱۵.
- میری، مرتضی، رحیمی، مجتبی؛ نوروزی، علی‌اکبر (۱۳۹۸). ارزیابی دقت برآورد بارش روزانه پایگاه داده‌های TRMM و GPM در مقابل داده‌های مشاهده‌ای در ایران. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱ (۴)، ۹۸۳-۹۷۲.
- میری، مرتضی؛ رضیئی، طیب؛ رحیمی، مجتبی (۱۳۹۵). ارزیابی و مقایسه آماری داده‌های بارش TRMM و GPCC با داده‌های مشاهده‌ای در ایران. دوفصلنامه فیزیک زمین و فضا، ۴۲ (۳)، ۶۷۲-۶۵۷.
- Abdollahi, B., Hosseini-Moghari S. M. & Ebrahimi K. (2017). Evaluation of TRMM 3B42RTV7 and CMORPH data in order to estimate the rainfall of Gorganrood basin. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 11(36), 55-68 (In Persian).
- Ahmadi, M., Narengi fard, M. & Ghonodi, M. (2015). Validation TRMM satellite rainfall data based on according to data from ground-based province Fars validation. *IGC12. 12th Conference Iranian geographers*, Najafabad-Iran. 172-181.
- Akbaryenghaleh, M., Sanaeinejad, S. H., Faridhoseini, A. R. & Akbari, M. (2017). The study of spatial-temporal distribution of rainfall, using TRMM data (Case study: Khorasan Razavi province). *Journal of Climatological Research*, 8(29), 1-18 (In Persian).
- Alibakhshi, S. M., Faridhoseini, F., Alizadeh, A. & Gascha, M. (2016). Statistical comparison between IMERG and TMPA 3B42V7 products at the level of three GPM and TRMM precipitation data. *Rangeland and Watershed Management. Iranian Journal of Natural Resources*, 69(4), 963-981 (In Persian).
- Azizian, A. & RamezaniEetedali, H. (2019). Temporal and spatial monitoring of ECMWF analyzed data and precipitation sources based on PERSIAN and TRMM

- remote sensing techniques. *Iran Water Resources Research*, 15(1), 163-177 (In Persian).
- Baranizadeh, A., Behyar, M. B. & Abedini, Y. (2011). Evaluation of TRMM-3B43 satellite rainfall estimates using comparison with ground observational data of high resolution precipitation networks (APHRODITE) in Iran. *The Second National Conference on Applied Research in Iranian Water Resources*, May, Zanjan (In Persian).
- Bihamta, A., Goharnezhad, H. & Moazzami, S. (2018). Investigation of precipitation data of TRMM and GPM satellites on a daily, monthly and seasonal scale in Tehran. *Remote Sensing and Iran GIS*, 10(2), 45-60 (In Persian).
- Chokngamwong, R. & Chiu, L. S. (2008). Thailand daily rainfall and comparison with TRMM products, *Journal of Hydrometeorology*, 9, 256- 266.
- Dembele, M. & Zwart, S. J. (2016). Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso, West Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 37(17), 3995-4014.
- Dezfooli D, Hosseini-Moghari S. M. & Ebrahimi K. (2016). Comparison of TRMM-3B42 V7 and PERSIANN satellites precipitation data with ground-based data (Case study: Gorganrood Basin, Iran). *Iranian Journal of Water and Soil Science*, 20(76), 85-98. (In Persian).
- Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., Chiogna, C. & Disse, M. (2016). Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Science of the Total Environment*, 573, 1536-1553.
- Erfanian, M., Kazempour, S. & Heidari, H. (2016). Calibration of rain data of 3b42 and 3b43 series of TRMM satellite in climatic zones of Iran. *Natural Geography Research*, 48(2), 287-303 (In Persian).
- Erfanian, M., Vafaei, N. & Rezaeianzadeh, M. (2014). A new method for drought risk assessment by integrating the TRMM rainfall data and the Terra/MODIS NDVI data in Fars province, *Iran Physical Geography Research Quarterly*, 46(1), 93-108 (In Persian).
- Ghafourian, H., Sanaeinezhad, S. H. & Dawari, K. (2013). Investigation of drought monitoring using TRMM satellite data in Khorasan Razavi province. *Master Thesis in Agricultural Meteorology*. Ferdowsi University. 104 p. (In Persian).
- Ghajarnia, N., Liaghat, A. M. & Daneshkar Arasteh, P. (2014). Verifying precipitation data of TAMAB and meteorology institute in Urmia basin. *Iranian Journal of Water and Soil resource Conservation*, 4(1), 91-109 (In Persian).
- Ghazanfari Moghaddam, M. S., Alizadeh, A., Mousavi Baygi, S. M., Faridhosseini, A. R. & Bannayan Awal, M. (2011). Comparison the PERSIANN model with the interpolation method to estimate daily precipitation (a Case study: North Khorasan). *Iranian Journal of Water and Soil*, 25(1), 215- 270. (In Persian).
- Habib, H., Henschke, A., & Adler, R. (2009). Evaluation of TMPA satellite- based research and realtime rainfall estimates during six tropical- related heavy rainfall events over Louisiana, USA. *Atmospheric Research*, 94(3), 373-388
- Haji Mir Rahimi, S. M., & Feizizadeh, B. (2008). Check the accuracy of ground-based radar and TRMM data in precipitation estimation. *Geomatics Conference*, May, Tehran. (In Persian).

- Hou, A. Y., Skofronick-Jackson, G., Kummerow, C. D. & Shepherd, J. M. (2008). Global precipitation measurement: Advances in measurement, estimation and prediction, Michaelides, SH. Springer, 131-169.
- Katiraie Boroujerdy, P. S. (2014). Comparison of high-resolution gridded monthly satellite and ground-based precipitation data over Iran. *Iranian journal of Geophysics*, 7(4), 149-160 (In Persian).
- Khosrawi, M., Bostani, M., Azizoghli, M. & Goudarzi, M. (2013). Comparison of precipitation zonations of Sistan and Baluchestan province using satellite data and ground stations. *Journal of Climatological Research*, 4(13-14), 97-110 (In Persian).
- Li, Zh., Yang, D., & Hong, Y. (2013). Multi-Scale evaluation of high-resolution multi-sensor blended global precipitation products over the Ynagtze River, *Journal of Hidrology*, 500, 157-169.
- Madadi, Gh., Hamzeh, S. & Noroozi, A. A. (2015). Evaluation of rainfall on a daily, monthly and annual basis using satellite imagery (Case study: west boundary basin of Iran). *Iranian journal of RS & GIS for Natural Resources*, 6(2), 59-74 (In Persian).
- Masoodian, S. A., Rayatpishe, F. & Keykhosravi Kiani, M. S. (2014). Introducing the TRMM and Asfezariprecipitation database: A comparative study. *Iranian journal of geophysics*, 8(4), 15-31 (In Persian).
- Miri, M., Rahimi, M. & Norouzi, A. A. (2019). Evaluation of TRMM and GPCC datasets with observed precipitation in Iran. *Journal of watershed Engineering and Management*, 11(4), 972-983 (In Persian).
- Miri, M., Raziiei. T. & 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 Persian).
- Moazami, S., Golian, S., Hong, Y., Sheng, C. & Kavianpour, M. R. (2016). Comprehensive evaluation of four high resolution satellite precipitation products under diverse climate conditions in Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 61(2), 420-440.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Nazrul-Islam, Md. & Uyeda, H. (2007). Use of TRMM in determining the climatic characteristics of rainfall over Bangladesh. *Remte Sensing of environment*, 108(3), 264- 276.
- Ouatiki, H., Boudhar, A., Tramblay, Y., Jarlan, L., Benabdelouhab., Hanich, L., El Meslouhi, M. & Chehbouni, A. (2017). Evaluation of TRMM 3B42 V7 rainfall product over the Oum Er Rbia watershed in Morocco. *Climate*, 5(1), 1-11.
- Prakash, S., Mitra, A., Pai, D., & AghaKouchak, A. (2016). FROM trmm to GPM: How well can heavy rainfall be detected from space? *Advances in Water Resources*, 88, 1-7.
- Rasouli, A. A. Erfanian, M. Sarisarraf, B. & Jawan, Kh. (2016). Comparative evaluation of estimated TRMM loss values and recorded ground station precipitation in Lake Urmia basin. *Journal of Geographical Space*, 6(54), 195-217 (In Persian).

- Sadeghi, H. R., Masoompour Samakosh, J. & Miri, M. (2019). The Evaluation of GPM Precipitation Remote Sensing Data with Observed Data (Case study: Mid-West of Iran). *Iranian journal of Remote Sensing and GIS*, 11(2), 115-124 (In Persian).
- Satge F., Xavier A., Zola R. P., Hussain Y., Timouk Franck, Garnier J. & Bonnet, M-P. (2017). Comparative assessment of the latest GPM Mission spatially enhanced satellite rainfall products over the main Bolivian watersheds. *Remote Sensing*, 9, 369- 380.
- Sharifi, E., Reinhold, S., & Saghafian, B. (2016). Assessment of GPM-IMERG and other precipitaion products against gauge data under different topographiic and climatic condition Iran. *Remote Sensing*, 135, 21-29 (In Persian).
- Sharma, S. (2003). Study of precipitating systems by doppler weather radar and TRMM precipitation radar, Department of Physics, Kohima science college, Jotsoma, Kohima, Nagaland, India- 797 002.
- Taghizadeh, A. & Ahmadi-Giwi, A. (2018). Evaluation of GPM precipitation products and soil moisture imaging using SMAP data in northwestern Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 12(3), 70-86 (In Persian).
- Tan, M. & Duan, Z. (2017). ASSESSMENT OF GPM and TRMM precipitation products over Singapore. *Remote Sensing*, 9(7), 720-726.
- Tan, M. L., Ibrahim, A. L., Duan, Zh., Cracknell, A .P. & Chaplot, V. (2015). Evaluation of six high-resolution satellite and ground- based precipitation products over Malaysia. *Remote Sensing*, 7, 1504- 1528.
- Varikoden, H., Samah, A. A., & Babu, C. A. (2010). Spatial and temporal characteristics of rain intensity in the peninsular Malaysia using TRMM rain rate. *Journal of hydrology*, 387, 312-319.
- Vernimmen, R., Hooijer, A., Mamenun, C., Aldrian, E. & Van Dijk, A. I. J. M. (2012). Evaluation and bias correction of satellite rainfall data for drought monitoring in Indonesia. *Hydro: Earth System Science*, 16(1), 133-146.
- Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 100. Academic press, 704 p.
- Yong, B., Hong, Y., Ren, LL., Gourley, JJ., Huffman, GJ., Chen, X., Wang, W. & Khan, S. (2012). Assessment of evolving TRMM based multi-satellite real-time precipitation estimation methods and their impacts on hydrologic prediction in a high latitude basin. *Journal of Geophysical Research*, 117(D9): 9108-.
- Zang, W. B., Ruan B. Q., Li, J.G. & Huang, S. F. (2011). Analysis of extraordinary meteorological drought in Southwest China by using TRMM precipitation data. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, 8, 97-106.