Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

# Evaluation of GPM-IMERG precipitation estimate errors using empirical quantile mapping for runoff management in the Caspian Coastal Region

**Bromand Salahi** [*1], **Ali Shahi** [2]

[1] Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Salahi@uma.ac.ir

[2] Former Ph.D. Student, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, ali.shahi@uma.ac.ir

ARTICLE INFO

**Article type:**
Research Paper

**Article history**

**Received:** 08 June 2026

**Revised:** 23 June 2026

**Accepted:** 29 June 2026

**Published online:** 12 September 2026

**Keywords:**
Bias Correction, Northern Iran, Remote Sensing, Satellite Data, Statistical Evaluation.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate and bias-correct GPM-IMERG satellite precipitation estimates using the Empirical Quantile Mapping (EQM) method in the Caspian Sea coastal region of Iran over the 2005–2014 period. To this end, daily precipitation data from five synoptic stations—Bandar Anzali, Rasht, Ramsar, Babolsar, and Gorgan—representing the diverse climatic characteristics, were used. Ground-based observations were obtained from the Iran Meteorological Organization (IRIMO), while GPM-IMERG satellite data were retrieved via the Google Earth Engine (GEE) platform. The performance of the satellite estimates and the effectiveness of the bias correction were evaluated at daily, monthly, and annual timescales using several statistical metrics, including the Pearson correlation coefficient, Root Mean Square Error (RMSE), Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE), Percent Bias (PBIAS), Probability of Detection (POD), and False Alarm Ratio (FAR). Additionally, Taylor diagrams were employed to simultaneously assess correlation, standard deviation, and root-mean-square error, analyzing satellite performance before and after bias correction. The results indicated that applying the EQM method improved GPM-IMERG performance at most stations across both daily and monthly timescales. At the daily scale, RMSE decreased by 5.7% to 20.4% across all stations. Furthermore, the absolute percent bias (|PBIAS|) converged toward zero, showing reductions ranging from 47.1% to 98.9%. The NSE values also improved across all stations, though they remained negative in most cases at the daily level. On the monthly scale, the impact of the bias correction was more pronounced; RMSE decreased by 6.2% to 27.9% in four out of five stations, although it increased by 4.6% in Bandar Anzali. Additionally, |PBIAS| decreased across all stations, with reductions ranging from 56.5% to 98.6%. Moreover, monthly NSE exhibited notable improvements, rising from 0.43 to 0.70 in Gorgan, 0.29 to 0.41 in Rasht, and -0.29 to 0.13 in Ramsar.

**Citation**: Salahi, B., & Shahi, A. (2026). Evaluation of GPM-IMERG precipitation estimate errors using empirical quantile mapping for runoff management in the Caspian Coastal Region. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 14(3), 111-128.

**DOR:** 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5

**Publisher:** Iranian Rainwater Catchment Systems Association

© Author(s)

***Corresponding author:** Bromand Salahi
**Address:** Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
**Tel:** +989144515922
**Email:** Salahi@uma.ac.ir

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

# Evaluation of GPM-IMERG precipitation estimate errors using empirical quantile mapping for runoff management in the caspian coastal region

**Bromand Salahi** [*1], **Ali Shahi** [2]

[1] Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Salahi@uma.ac.ir

[2] Former Ph.D. Student, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, ali.shahi@uma.ac.ir

## EXTENDED ABSTRACT

**Introduction:** Precipitation serves as the fundamental driver of the hydrological cycle and acts as a critical input variable for rainfall-runoff modeling, flash flood simulation, drought monitoring, and strategic water resources management. Despite its importance, obtaining accurate and continuous long-term precipitation data remains a significant challenge. In the coastal region of the Caspian Sea, the complex interplay between the Alborz mountain range and the sea results in high spatiotemporal variability in precipitation. Consequently, existing ground-based rain gauge networks are often insufficient for precise hydrological modeling. In this context, satellite-based remote sensing products—particularly next-generation platforms such as GPM-IMERG, which offer superior spatiotemporal resolution—have emerged as a promising alternative. However, these products are inherently prone to systematic errors (bias) and uncertainties stemming from sensor limitations, topographic complexities, and retrieval algorithm deficiencies. Therefore, a rigorous evaluation and systematic bias correction are imperative before these data can be reliably utilized in hydrological studies. The primary objective of this research is to comprehensively evaluate the accuracy of GPM-IMERG precipitation estimates in the Caspian Sea coastal region and to investigate the efficacy of the Empirical Quantile Mapping (EQM) method in mitigating these biases, thereby enhancing the quality of hydro-meteorological inputs.

**Methodology:** To achieve a robust assessment, this study analyzed GPM-IMERG (Final Run) satellite data over a ten-year statistical period (2005–2014). This timeframe was selected to ensure continuous data availability and to facilitate meaningful comparisons with ground-truth observations. Satellite datasets were extracted via the Google Earth Engine (GEE) cloud computing platform and cross-referenced with selected meteorological station records. The performance assessment was conducted across daily, monthly, and annual temporal scales to elucidate the effects of temporal aggregation on data accuracy. Calculations were performed on a station-by-station basis to capture performance variances across different local climatic conditions (ranging from semi-humid to humid). To address systematic biases, the Empirical Quantile Mapping (EQM) method was employed. This approach identifies and corrects intensity-dependent biases by mapping the cumulative distribution function (CDF) of satellite estimates to that of observed data. Model performance was evaluated using a comprehensive suite of statistical metrics: the Pearson correlation coefficient (R) to assess linear correlation; Root Mean Square Error (RMSE) to quantify absolute error; Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) to measure simulation capability; and Percent Bias (PBIAS) to identify overestimation or underestimation tendencies. Furthermore, the capability of the satellite products to detect precipitation events was examined using the Probability of Detection (POD) and the False Alarm Ratio (FAR). Beyond these statistical indices, Taylor diagrams were utilized for the visual synthesis of correlation, standard deviation, and centered root-mean-square difference. Finally, spatial interpolation of both observed and satellite data was executed using the Inverse Distance Weighting (IDW) method within a GIS environment to delineate the spatial distribution patterns of precipitation across the coastal strip.

**Results and Discussion:** The results of the evaluation indicate that raw GPM-IMERG estimates consistently exhibit an “overestimation” tendency across all temporal scales, with this bias being particularly pronounced in

***Corresponding author:** Bromand Salahi
**Address:** Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
**Tel:** +989144515922
**Email:** Salahi@uma.ac.ir

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

daily (short-term) observations. Temporal analysis demonstrates that as the time scale increases from daily to monthly and annual, random errors decrease and data stability improves significantly. The application of the EQM method yielded a transformative improvement in data quality; statistical metrics such as NSE and RMSE showed substantial enhancement post-correction. This improvement was especially evident at the daily scale, particularly for moderate precipitation events. Regarding spatial analysis, the influence of topography on satellite data quality was evident. Stations located in relatively flat terrain, such as Babolsar and Gorgan, exhibited higher agreement with ground observations. In contrast, the Ramsar station—characterized by steep slopes and high-elevation topography—showed higher error rates and lower agreement, likely due to complex orographic precipitation phenomena that challenge current satellite retrieval algorithms. These findings confirm that topographic complexity remains a primary constraint for satellite-based precipitation estimation. Overall, the bias correction process successfully elevated the accuracy of satellite estimates to a level deemed reliable for operational applications in water resources management and flood analysis.

**Conclusion:** The present study demonstrates that while GPM-IMERG satellite data possess significant potential to bridge the gaps in sparsely monitored ground-based networks, their direct application in hydrological studies is associated with significant risks due to inherent systematic biases. The Empirical Quantile Mapping (EQM) method proved to be an efficient tool for structurally adjusting these errors, effectively bringing the data accuracy to a satisfactory level across all analyzed temporal scales. The findings suggest that corrected GPM-IMERG data, owing to their seamless spatial coverage, can serve as a reliable, complementary, or alternative source to ground-based stations for decision-making, drought monitoring, flood disaster management, and water resource planning in the Caspian Sea coastal zone. Future research is recommended to explore the integration of alternative correction frameworks, such as machine learning algorithms (e.g., Random Forest or Neural Networks), in conjunction with EQM to further optimize precipitation estimation accuracy.

## Ethical Considerations

**Data availability statement:** The datasets are available upon reasonable request to the corresponding author.

**Funding**: This research was conducted as independent research without any financial support.

**Authors' contribution:** **Salahi, B.:** Conceptualization, software and statistical analyses, and writing the initial version of the article; **Shahi, A.:** Editing and reviewing the article and final control of the results.

**Conflicts of interest:** The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

**Acknowledgment:** The authors would like to thank the esteemed reviewers of the article who enriched this study with their careful review.

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

# ارزیابی خطای برآوردهای بارش GPM-IMERG با نگاشت چندک تجربی برای مدیریت رواناب منطقه ساحلی خزر

**برومند صلاحی*[۱]، علی شاهی[۲]**

[۱] استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. Salahi@uma.ac.ir

[۲] دانش‌آموخته دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. ali.shahi@uma.ac.ir

**مشخصات مقاله**

**نوع مقاله:**
علمی-پژوهشی

**تاریخچه مقاله**

**دریافت:** ۱۸ خرداد ۱۴۰۵

**بازنگری:** ۰۲ مرداد ۱۴۰۵

**پذیرش:** ۰۸ مرداد ۱۴۰۵

**انتشار برخط:** ۲۱ شهریور ۱۴۰۵

**واژه‌های کلیدی:**
ارزیابی آماری، تصحیح بایاس، داده‌های ماهواره‌ای، سنجش از دور، شمال ایران

**چکیده**

این مطالعه باهدف ارزیابی و تصحیح بایاس برآوردهای بارش ماهواره‌ای GPM-IMERG با استفاده از روش نگاشت چندک تجربی (EQM) در ناحیه ساحلی دریای خزر در ایران طی دوره آماری ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ انجام شد. بدین منظور، داده‌های پنج ایستگاه همدیدی شامل بندر انزلی، رشت، رامسر، بابلسر و گرگان به‌عنوان نماینده‌های اقلیمی منطقه مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های بارش ایستگاهی از سازمان هواشناسی ایران و داده‌های ماهواره‌ای GPM-IMERG از سامانه گوگل ارث انجین دریافت شد. ارزیابی عملکرد داده‌های ماهواره‌ای و نتایج تصحیح خطا با استفاده از شاخص‌های ضریب همبستگی پیرسون، ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب کارایی نش-ساتکلیف، درصد بایاس، احتمال آشکارسازی و نرخ هشدار نادرست انجام شد. هم‌چنین به‌منظور مقایسه هم‌زمان میزان همبستگی، انحراف معیار و خطای برآوردها، از نمودار تیلور برای تحلیل عملکرد داده‌های ماهواره‌ای قبل و بعد از اعمال تصحیح بایاس استفاده گردید. نتایج نشان داد که اعمال روش EQM در بیش‌تر ایستگاه‌ها و در هر دو مقیاس زمانی موجب بهبود عملکرد داده‌های GPM-IMERG شده است. در مقیاس روزانه، مقدار RMSE در تمامی ایستگاه‌ها بین ۵/۷ تا ۲۰/۴ درصد کاهش یافت. هم‌چنین |PBIAS| در همه ایستگاه‌ها به سمت صفر میل کرد و میزان کاهش آن بین ۴۷/۱ تا ۹۸/۹ درصد بود. شاخص NSE نیز در همه ایستگاه‌ها بهبود یافت، هرچند در اغلب موارد همچنان مقادیر منفی داشت. در مقیاس ماهانه، اثر تصحیح بایاس آشکارتر بود؛ به‌طوری‌که RMSE در چهار ایستگاه از پنج ایستگاه بین ۶/۲ تا ۲۷/۹ درصد کاهش یافت، هرچند در بندر انزلی ۴/۶ درصد افزایش نشان داد. هم‌چنین |PBIAS| در تمامی ایستگاه‌ها کاهش یافت و این کاهش بین ۵۶/۵ تا ۹۸/۶ درصد بود. از سوی دیگر، NSE در بیش‌تر ایستگاه‌ها بهبود یافت؛ به‌گونه‌ای که در گرگان از ۰/۴۳ به ۰/۷، در رشت از ۰/۲۹ به ۰/۴۱ و در رامسر از ۰/۲۹- به ۰/۱۳ رسید.

**استناد:** صلاحی، برومند و شاهی، علی (۱۴۰۵). ارزیابی خطای برآوردهای بارش GPM-IMERG با نگاشت چندک تجربی برای مدیریت رواناب منطقه ساحلی خزر. *سامانه‌های سطوح آبگیر ایران*، ۱۴(۳)، ۱۱۱-۱۲۸.

**DOR:** 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5

**ناشر:** انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** برومند صلاحی

**نشانی:** گروه آموزشی جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

**تلفن:** ۰۹۱۴۴۵۱۵۹۲۲

**پست الکترونیکی:** Salahi@uma.ac.ir

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

## مقدمه

از آنجاکه دقت داده‌های بارش ورودی نقش تعیین‌کننده‌ای در قابلیت اطمینان شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی دارد (Beck et al., 2017)، برآورد دقیق بارش را می‌توان یکی از پیش‌نیازهای اساسی مدیریت رواناب و منابع آب دانست. در همین راستا، ارزیابی و واسنجی محصولات بارش ماهواره‌ای، به‌ویژه در مناطق دارای کمبود داده‌های ایستگاهی، گامی ضروری برای استفاده مطمئن از این داده‌ها در مدل‌سازی هیدرولوژیکی به شمار می‌رود (Tong et al., 2014). افزون بر این، انتخاب یا ادغام محصولات بارش باید متناسب با مقیاس زمانی–مکانی و شرایط منطقه‌ای انجام شود، زیرا عملکرد این داده‌ها در محیط‌های مختلف می‌تواند به‌طور محسوسی متفاوت باشد (Cheng et al., 2025). نیمه شمالی ایران به دلیل تنوع قابل‌توجه در شرایط اقلیمی و توپوگرافی، یکی از مناطق پیچیده کشور ازنظر الگوهای بارش به شمار می‌رود. این پیچیدگی مکانی می‌تواند بر عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو و دقت برآوردهای اقلیمی و ماهواره‌ای اثرگذار باشد، به‌گونه‌ای که در بخش‌های مختلف این ناحیه نتایج متفاوتی حاصل شود. از سوی دیگر، تراکم جمعیت بالاتر در این بخش از کشور، اهمیت دستیابی به برآوردهای دقیق‌تر بارش را برای برنامه‌ریزی منابع آب، کاهش مخاطرات هیدرولوژیکی و مدیریت رواناب دوچندان می‌سازد. ازاین‌رو، ارزیابی دقیق داده‌های بارش در مناطق مختلف نیمه شمالی ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Shahi & Salahi, 2025).

بارش یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی است که نقش اساسی در چرخه آب، مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی کشاورزی و پیش‌بینی مخاطرات طبیعی ایفا می‌کند و معرف ویژگی‌های اقلیمی و میزان آب تجدیدپذیر حوضه‌های آبریز است (Ramadhan et al., 2022). اگرچه اندازه‌گیری دقیق و پایش مستمر بارش امری ضروری است، اما داده‌های حاصل از ایستگاه‌های باران‌سنجی زمینی به دلیل پراکنش نامتوازن مکانی، طول دوره آماری کوتاه، داده‌های مفقود و خطاهای اندازه‌گیری (مانند اثر وزش باد)، قادر به ارائه تصویری کامل و پیوسته از توزیع مکانی و زمانی بارش به‌ویژه در مناطق با توپوگرافی پیچیده نیستند (Guo et al., 2016). در چنین شرایطی، محصولات بارش ماهواره‌ای و داده‌های باز تحلیل به دلیل پوشش فضایی گسترده، پیوستگی زمانی و دسترسی رایگان، به‌عنوان جایگزینی کلیدی برای غلبه بر این محدودیت‌ها مطرح شده‌اند (Tan et al., 2017; Yeditha et al., 2020). بااین‌حال، استفاده مؤثر از این محصولات نیازمند ارزیابی دقیق صحت عملکرد و تحلیل عدم قطعیت‌های آن‌ها در مقیاس‌های مختلف است تا قابلیت اعتماد آن‌ها در کاربردهای هیدرولوژیکی و اقلیمی مشخص شود (Kazemiazar et al., 2025).

در سال‌های اخیر، مأموریت اندازه‌گیری جهانی بارش (GPM[1]) و محصول ادغام شده آن، یعنی IMERG، به‌طور گسترده در مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این محصول با ترکیب داده‌های سنجنده‌های ماهواره محوری GPM، شامل مایکروویو تصویربردار GMI و رادار بارش‌سنج DPR، همراه با مشاهدات سایر ماهواره‌های مایکروویوی مدار قطبی و داده‌های فروسرخ ماهواره‌های زمین آهنگ، برآوردهای نسبتاً دقیقی از بارش را در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف ارائه می‌دهد (Mahmoud et al., 2019). بااین‌وجود، مطالعات پیشین نشان داده‌اند که عملکرد داده‌های ماهواره‌ای بارش در مناطق مختلف یکنواخت نیست و این داده‌ها همچنان تحت تأثیر خطاهای سیستماتیک و عدم قطعیت‌هایی قرار دارند که از محدودیت‌های سنجنده‌ها، الگوریتم‌های بازیابی، نوع سامانه بارشی و شرایط اقلیمی و توپوگرافی ناشی می‌شوند (Tong et al., 2014; Mahmoud et al., 2019).

منطقه خزری در شمال ایران به دلیل وجود دریای خزر، ناهمواری‌های رشته‌کوه البرز و شرایط اقلیمی مرطوب، دارای الگوهای بارشی پیچیده ای است (Janbaz Ghobadi et al., 2011). این ویژگی‌ها باعث می‌شود که برآورد بارش توسط محصولات ماهواره‌ای در این منطقه با عدم قطعیت بیش‌تری همراه باشد. ازاین‌رو، ارزیابی عملکرد داده‌های ماهواره‌ای و اصلاح خطای آن‌ها با استفاده از داده‌های مشاهداتی زمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از روش‌های متداول و کارآمد برای اصلاح بایاس داده‌های اقلیمی، روش نگاشت چارک (QM[2]) است که با تطبیق توزیع آماری داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مشاهداتی، امکان کاهش خطا و بهبود دقت داده‌ها را فراهم می‌کند؛ بنابراین، بررسی عملکرد داده‌های بارش ماهواره‌ای GPM-IMERG و اصلاح بایاس آن‌ها در منطقه خزری می‌تواند به بهبود کیفیت داده‌های مورد استفاده در مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی کمک کرده و زمینه را برای تحلیل‌های دقیق‌تر در حوزه مدیریت منابع آب و مخاطرات طبیعی فراهم سازد.

Gilewski and Nawalany (2018) به مقایسه بین داده‌های بارش ایستگاه‌های زمینی با ماهواره GPM در یک حوضه آبریز واقع در لهستان پرداختند. نتایج نشان داد که تخمین بارش توسط ماهواره GPM قابل‌اعتماد است. Masood et al. (2020) محصولات بارش چند ماهواره در کشور پاکستان برای دوره آماری ۲۰۱۷ الی ۲۰۱۹ در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه را مورد مطالعه قرار دادند، نتایج نشان داد که عملکرد تصاویر ماهواره‌ای GPM نسبت به سایر محصولات از دقت بالاتری برخوردار است. Talchabhade et al.

[1] Global Precipitation Measurement
[2] Quantile Mapping

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

(2021) در پژوهشی دقت سه محصول مختلف بارش ماهواره‌ای CHIRPS، PERSIANN-CCS و GPM را در حوزه آبخیزی در غرب نپال مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس یافته‌های آن‌ها، بهترین عملکرد مربوط به محصول GPM بوده است. Da Silva et al. (2023) در مطالعه‌ای محصولات بارشی ماهواره GPM در کشور شیلی را در دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۵ مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که محصول IMERG Early بهترین کارایی را داشت. Rodríguez et al. (2024) به ارزیابی محصولات بارشی ماهواره GPM در کشور کلمبیا در طی دو دهه (۲۰۱۹-۲۰۰۱) در ۶۰ ایستگاه پرداختند. در این راستا بررسی در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه انجام شد؛ نتایج نشان داد که تخمین بارش ماهواره مذکور در مقیاس زمانی ماهانه بیش‌تر بوده است. Salahi and Shahi (2025) عملکرد سه محصول ماهواره‌ای شامل CHIRPS، PERSIANN و TRMM در شبیه‌سازی بارش در شمال شرق ایران طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ مورد ارزیابی قرار دادند. بدین منظور، از داده‌های شش ایستگاه منتخب همدیدی استفاده شد. ارزیابی محصولات در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه انجام گرفت. یافته‌ها نشان داد که انتخاب محصولات ماهواره‌ای بارش باید متناسب با مقیاس زمانی، ویژگی‌های توپوگرافی و شرایط اقلیمی منطقه انجام شود. Bihamta et al. (2018) میزان دقت داده‌های بارش دو ماهواره GPM با محصول IMERG و TRMM با محصول 3B42 را در چهار ایستگاه سینوپتیک شهر تهران در مقیاس روزانه، ماهانه و فصلی مورد بررسی قرار دادند. در مقایسه تطبیقی بین داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های مشاهده‌ای بارش ضریب همبستگی (R)، میزان انحراف نسبی (Bias)، خطای قدر مطلق میانگین (MAE)، میانگین مربعات خطا (RMSE) به‌منظور ارزیابی و واسنجی داده‌ها، مورد استفاده قرار گرفت. به‌طورکلی نتایج نشان داد که محصولات بارشی IMERG دقت بالایی دارد و ابزار خوبی برای پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی است.

Ordooni et al. (2021) با هدف ارزیابی دقت بارش روزانه ماهواره GPM در حوزه آبخیز گرگانرود استان گلستان، داده‌های این ماهواره با تفکیک مکانی ۰/۱ درجه را در بازه زمانی ۲۰ مارس ۲۰۱۴ تا ۲۰ مارس ۲۰۱۶ با آمار ۱۶ ایستگاه هواشناسی منطقه مقایسه کردند. در این پژوهش، برای نخستین بار از آزمون ناپارامتری کلموگروف–اسمیرنوف دو نمونه‌ای و تابع توزیع تجمعی تجربی در محیط متلب برای بررسی میزان انطباق داده‌های ماهواره‌ای و مشاهداتی استفاده شد. نتایج نشان داد که در برخی ایستگاه‌ها ازجمله باغ سالیان، دشت‌شاد، قوچمز، حق‌الخواجه و زرین‌گل اختلاف آماری معنی‌داری بین داده‌های GPM و ایستگاهی وجود ندارد و بیش‌ترین میزان تطابق با مقدار P-value برابر ۰/۹۵ در ایستگاه حق‌الخواجه و کم‌ترین تطابق با مقدار ۰/۰۰۱ در ایستگاه شیرآباد مشاهده شد.

Rostamzadeh et al. (2023) توانایی‌های ماهواره (GPM) در شناسایی بارش‌های شدید روزانه (بارش‌های ۲۵ میلی‌متر به بالا) در یک دوره هشت ساله (۲۰۲۱-۲۰۱۴) در ۲۰ ایستگاه سینوپتیک را مورد ارزیابی قرار دادند. برای مقایسه و ارزیابی بین داده‌های مشاهده‌ای و ماهواره‌ای از آماره‌هایی نظیر، ضریب تبیین ($R^2$)، ضریب همبستگی و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد. مقایسه نقشه‌های حاصل از ماهواره GPM و ایستگاه‌های زمینی نشان داد که توزیع فضایی بارش حاصل از دو پایگاه داده مشابه هم بوده و نواحی کم بارش و پربارش منطبق بر یکدیگر هستند. در واقع ماهواره GPM پهنه‌های بارشی را به‌خوبی تشخیص داده است به‌طوری‌که ضریب همبستگی مکانی بین بارش ماهواره GPM و مشاهده شده ۰/۸۱ می‌باشد.

Rajabi Jaghargh et al. (2023) باهدف ارزیابی دقت محصولات بارش مبتنی بر سنجش‌ازدور در استان خراسان رضوی، عملکرد داده‌های روزانه چهار محصول TRMM، GPM، ERA5 و PERSIANN را در سه سال با شرایط اقلیمی خشک، نرمال و مرطوب بررسی کردند. داده‌های این محصولات با مشاهدات ۱۹ ایستگاه باران سنج وزارت نیرو مقایسه و درمجموع ۱۱۳،۸۸۰ تصویر بارش تحلیل شد. ارزیابی دقت با استفاده از شاخص‌های آماری CC، RMSE و PBias و شاخص‌های عملکردی KGE و d در مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای انجام گرفت و برای سنجش توان تشخیص روزهای بارانی نیز از شاخص‌های POD، FAR و CSI استفاده شد. نتایج نشان داد که محصول ERA5 در مقایسه با سایر محصولات، از دقت و کارایی بالاتری در برآورد بارش روزانه برخوردار است و در شناسایی روزهای بارانی نیز عملکرد بهتری دارد، درحالی‌که اثر ارتفاع بر شاخص‌های ارزیابی روند ثابتی نشان نداد.

Raispour et al. (2023) در پژوهشی توزیع مکانی بارش در ایران را با استفاده از محصولات بارش ماهواره GPM تحلیل کردند. دوره زمانی مورد مطالعه ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ انتخاب شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار بارش مربوط به پهنه‌ی بارشی ساحل دریای خزر و پس‌ازآن ارتفاعات زاگرس مرکزی در غرب ایران می‌باشد. کم‌ترین مقدار بارش نیز در گستره‌ی وسیعی از کشور ایران در نواحی مرکزی و شرقی برآورد شد. توزیع فصلی نیز حاکی از تفاوت معنادار توزیع بارش در فصول مختلف سال است، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار بارش مربوط به فصل زمستان و کم‌ترین مقدار آن در فصل تابستان برآورد گردید. Tayebiyan and Qaderi Nasab (2025) در مطالعه‌ای چهار مجموعه داده پرکاربرد بارش شامل GPM، CHIRPS، PERSIANN-CDR و TRMM جهت ارزیابی دقت برآورد بارش در حوزه آبریز جازموریان را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور در ۷۰ ایستگاه زمینی از آماره‌های R-squared، NRMSE، RMSE، Rp، MAE و MBE استفاده شد. ارزیابی داده‌های بارش ماهواره‌ای نشان داد در ایستگاه‌های مورد مطالعه محصول بارش GPM بهترین

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

عملکرد را داشته است. Rajabi Jaghargh et al. (2024) برای بهبود دقت داده‌های بارش باز تحلیل ERA5 در استان خراسان رضوی، از الگوریتم‌های یادگیری ماشین بر پایه داده‌های روزانه ۱۹ ایستگاه باران‌سنج در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ استفاده کردند. نتایج ارزیابی سه الگوریتم D-Tree، KNN و MLP با شاخص‌های CC، RMSE و سوگیری نشان داد که الگوریتم MLP بهترین عملکرد را در تصحیح داده‌ها داشته و با دستیابی به CC تا حدود ۰/۹۸ و RMSE کم‌تر از ۱/۵ میلی‌متر در روز در بسیاری از ایستگاه‌ها، موجب بهبود قابل‌توجه برآورد بارش روزانه ERA5 شده است. Shahi and Salahi (2025) به ارزیابی محصولات بارش ماهواره درزمینه شناسایی بارش سنگین در منطقه شمال غرب ایران در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ پرداختند. در این راستا از ۲۳ ایستگاه همدیدی منتخب واقع در پنج استان از شمال غرب ایران استفاده شده است. برای این منظور، دقت سه محصول ماهواره‌های GPM-IMERG، TRMM و AQUA-AIRS به‌صورت مقایسه بارش‌های برآورد شده ماهواره‌ای با ایستگاه‌های زمینی با استفاده از نمودار تیلور انجام گرفت. نتایج نشان داد که به‌طورکلی داده‌های بارش دو ماهواره GPM-IMERG و AQUA-AIRS در مقیاس زمانی روزانه تخمین مطلوبی از بارش سنگین در منطقه مطالعه را داشته‌اند.

جمع‌بندی مطالعات داخلی و خارجی نشان می‌دهد که محصولات بارش ماهواره‌ای، به‌ویژه GPM/IMERG، در بسیاری از مناطق جهان و ایران از توان قابل قبولی در برآورد بارش برخوردارند، بااین‌حال عملکرد آن‌ها به‌شدت تحت تأثیر مقیاس زمانی، شرایط اقلیمی، ویژگی‌های توپوگرافی و نوع شاخص ارزیابی قرار دارد. نتایج پژوهش‌های خارجی عموماً بیانگر آن است که محصول GPM در مقایسه با سایر فرآورده‌های ماهواره‌ای، به‌ویژه در مقیاس‌های ماهانه و سالانه، دقت مناسبی از خود نشان می‌دهد، هرچند میزان این دقت در مناطق مختلف متفاوت است. در مطالعات داخلی نیز اگرچه در بسیاری از موارد کارایی مطلوب محصولات GPM/IMERG گزارش‌شده، اما نتایج یکنواخت نبوده و نشان داده شده است که دقت این داده‌ها بسته به منطقه مورد مطالعه، شرایط توپوگرافی، نوع بارش و مقیاس زمانی تغییر می‌کند. هم‌چنین، بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌های انجام شده در ایران بر ارزیابی داده‌های خام ماهواره‌ای یا مقایسه چند محصول مختلف متمرکز بوده و مطالعات کم‌تری به تصحیح بایاس این داده‌ها، به‌ویژه با روش‌های تصحیح بایاس مبتنی بر توزیع، مانند نگاشت چندک تجربی، در نواحی مرطوب و پیچیده ساحلی پرداخته‌اند.

بر این اساس، ضرورت انجام پژوهش حاضر از چند جنبه قابل تبیین است. نخست، ناحیه ساحلی دریای خزر به دلیل رطوبت بالا، بارش‌های متغیر، اثرات پیچیده توپوگرافی و محدودیت پوشش مکانی ایستگاه‌های زمینی، یکی از مناطق حساس برای ارزیابی و بهبود داده‌های بارش ماهواره‌ای به شمار می‌رود. دوم، باوجود اهمیت این منطقه در مدیریت منابع آب، کنترل رواناب، کاهش خسارات ناشی از بارش‌های شدید و برنامه‌ریزی کشاورزی، هنوز ارزیابی و تصحیح بایاس داده‌های IMERG در این پهنه با تمرکز هم‌زمان بر مقیاس‌های روزانه، ماهانه و تحلیل فضایی سالانه به‌اندازه کافی بررسی نشده است. سوم، با توجه به اینکه خطاهای موجود در داده‌های خام ماهواره‌ای می‌تواند به برآورد نادرست بارش و درنتیجه تصمیم‌گیری غیر بهینه در مدیریت هیدرولوژیکی منجر شود، به‌کارگیری روش‌های تصحیح بایاس مانند نگاشت چندک تجربی (EQM) برای افزایش قابلیت اعتماد این داده‌ها ضروری است. ازاین‌رو، پژوهش حاضر می‌کوشد با ارزیابی و تصحیح بایاس داده‌های IMERG و بررسی تغییرات عملکرد آن در مقیاس‌های زمانی مختلف، گامی در جهت بهبود کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در مدیریت رواناب و مطالعات هیدرولوژیکی ناحیه ساحلی دریای خزر بردارد.

هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی و تصحیح بایاس برآوردهای بارش ماهواره‌ای GPM-IMERG در ناحیه ساحلی دریای خزر به‌منظور بهبود دقت ورودی‌های هیدرولوژیکی برای مدیریت رواناب است. در این راستا، ضمن ارزیابی عملکرد محصولات ماهواره‌ای نسبت به داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی، از روش نگاشت چندک تجربی (EQM) برای کاهش خطاهای سیستماتیک داده‌ها استفاده شده است. هم‌چنین، تغییرات مکانی و زمانی دقت داده‌ها، پیش و پس از تصحیح، با رویکردی کاربردی مورد تحلیل قرار می‌گیرد تا پتانسیل این محصولات در برآورد دقیق جریان‌های سطحی مشخص شود.

نوآوری این پژوهش نه در استفاده صرف از روش نگاشت چندک تجربی (EQM)، بلکه در ارزیابی نظام‌مند و چندمعیاره کارایی این روش برای تصحیح بایاس داده‌های GPM-IMERG در شرایط اقلیمی–توپوگرافی پیچیده ساحل جنوبی دریای خزر نهفته است. باوجود کاربرد گسترده روش‌های تصحیح بایاس، هنوز شواهد منطقه محور کافی درباره میزان اثربخشی EQM در بهبود عملکرد GPM-IMERG در اقلیم بسیار مرطوب و ناهمگن این ناحیه وجود ندارد. افزون بر این، بسیاری از مطالعات پیشین یا صرفاً به ارزیابی محصولات ماهواره‌ای پرداخته‌اند یا اثر تصحیح بایاس را بدون مقایسه هم‌زمان در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه، بدون تحلیل تفاوت‌های مکانی بین ایستگاه‌ها و بدون بهره‌گیری از یک چارچوب ارزیابی چندمعیاره بررسی کرده‌اند. ازاین‌رو، سهم اصلی این پژوهش در پر کردن این شکاف، ارزیابی جامع عملکرد GPM-IMERG پیش و پس از تصحیح بایاس، تحلیل هم‌زمان شاخص‌های عملکردی در دو مقیاس زمانی و تبیین

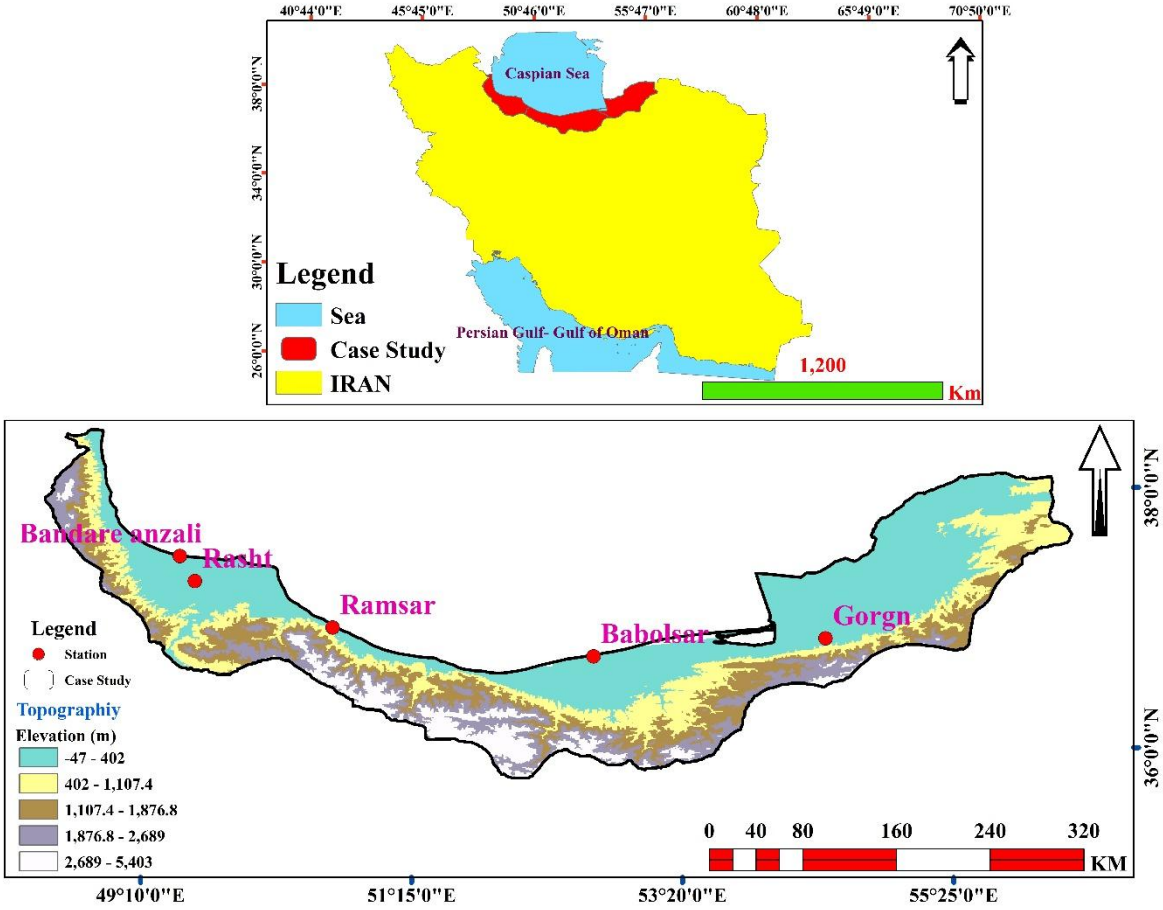
[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

ناهمگنی مکانی اثربخ شی ت صحیح بایاس در ای ستگاه‌های ساحلی دریای خزر ا ست. این رویکرد امکان می‌دهد که فراتر از یک ت صحیح آماری ساده، قابلیت عملی داده‌های تصحیح شده برای کاربردهای هیدرولوژیکی منطقه‌ای نیز ارزیابی شود.

## مواد و روش

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، نوار شمالی ایران شامل سه استان گیلان، مازندران و گلستان است. این منطقه در محدوده جغرافیایی عرض‌های ۳۶ تا ۳۸ درجه شمالی و طول‌های ۵۰ تا ۵۶ درجه شرقی قرار دارد. اقلیم منطقه عمدتاً تحت تأثیر دریای خزر، ناهمواری‌های البرز و سامانه‌های جوی مرطوب بوده و از مهم‌ترین نواحی پربارش کشور به شمار می‌رود. تنوع توپوگرافی و اقلیمی موجود در این ناحیه سبب تغییرات مکانی قابل‌توجه در الگوی بارش شده است (شکل ۱).




**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، ناهمواری‌ها و ایستگاه‌های منتخب در نوار شمالی ایران**

**Figure 1- Geographical location of the study area, topography, and selected stations in northern Iran**

### روش کار

به‌منظور ارزیابی عملکرد داده‌های ماهواره‌ای GPM[1] در برآورد بارش، از داده‌های بارندگی پنج ایستگاه همدیدی منتخب در منطقه مورد مطالعه استفاده شد؛ این داده‌ها از سازمان هواشناسی کشور ایران[2] اخذ گردید. هم‌چنین، داده‌های ماهواره GPM از طریق پایگاه گوگل ارث انجین[3] (GEE[4]) دریافت شد (جدول ۱). در این پژوهش، داده‌های محصول IMERG[5] مربوط به ماهواره GPM برای محدوده مورد مطالعه و دوره آماری موردنظر استخراج و مورد استفاده قرار گرفت. انتخاب ایستگاه‌ها بر اساس معیارهایی نظیر پراکندگی مناسب جغرافیایی، تنوع

[1] Global Precipitation Measurement
[2] https://data.irimo.ir/
[3] https://earthengine.google.com/
[4] Google Earth Engine
[5] Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

اقلیمی، اختلاف ارتفاع و دسترسی به داده‌های کامل و معتبر طی دوره آماری ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ انجام گرفت. ایستگاه‌های مورد استفاده شامل بندر انزلی، رشت، رامسر، بابلسر و گرگان هستند که به‌عنوان نمایندگان اقلیمی ناحیه خزری در این پژوهش در نظر گرفته شدند.

**جدول ۱- اطلاعات کلی ماهواره GPM**

**Table 1- General information of the GPM satellite**

| Study period | Spatial resolution (degree) | Temporal resolution | Unit | Satellite name |
|---|---|---|---|---|
| 2005-2014 | 0.1 | Daily | mm/day | GPM-IMERG |

به‌منظور بررسی عملکرد داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس‌های زمانی مختلف، ارزیابی‌ها در سه مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه انجام شد تا میزان دقت و کارایی داده‌های GPM-IMERG پیش و پس از تصحیح اریبی به‌صورت جامع مورد بررسی قرار گیرد. اگرچه مأموریت GPM در فوریه ۲۰۱۴ به صورت رسمی آغاز شد، محصول IMERG در نسخه Final Run به صورت باز تحلیل برای سال‌های پیش از آغاز این مأموریت نیز در دسترس است و داده‌های بارش را از ژوئن ۲۰۰۰ به بعد ارائه می‌دهد. بر این اساس، دوره آماری ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ با توجه به دسترسی پیوسته، کامل و قابل‌پردازش داده‌های محصول GPM-IMERG در بستر گوگل ارث انجین انتخاب شد. در گام نخست، داده‌های بارش ماهواره‌ای GPM در مقیاس زمانی روزانه دریافت گردید و سپس با تجمیع داده‌ها، مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه تولید شد. همین فرآیند برای داده‌های روزانه ایستگاه‌های همدیدی نیز اعمال گردید. تمامی محاسبات برای هر ایستگاه به‌صورت مجزا انجام شد. به‌منظور بهبود عملکرد برونداد ماهواره‌ای، تصحیح اریبی با استفاده از روش نگاشت چارک تجربی (EQM[1]) اعمال گردید. ارزیابی‌ها در هر سه مقیاس زمانی پیش و پس از اعمال تصحیح اریبی انجام شد. در گام بعد، داده‌های مشاهداتی و ماهواره‌ای در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. بدین منظور از شاخص‌های آماری متداول شامل ضریب همبستگی پیرسون، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE[2])، ضریب کارایی نش–ساتکلیف (NSE[3]) و درصد اریبی (PBIAS[4]) استفاده شد. هم‌چنین به‌منظور ارزیابی توانایی آشکارسازی رخدادهای بارش، شاخص‌های رخدادمحور شامل احتمال آشکارسازی (POD[5]) و نسبت هشدار نادرست (FAR[6]) محاسبه گردید. در ادامه، به‌منظور بررسی بصری عملکرد داده‌های ماهواره‌ای GPM، از نمودار تیلور[7] استفاده شد. تمامی محاسبات آماری و ترسیم نمودارها در محیط نرم‌افزار R انجام گرفت. درنهایت، به‌منظور بررسی الگوی فضایی بارش در مقیاس سالانه، پهنه‌بندی داده‌های بارشی مشاهداتی و برونداد ماهواره‌ای با استفاده از روش درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW[8]) در محیط نرم‌افزار GIS انجام شد.

## نگاشت چارک تجربی

روش (EQM[9]) یکی از روش‌های متداول تصحیح اریبی مبتنی بر نگاشت توزیع است که می‌توان آن را برای انواع متغیرهای اقلیمی به کار برد. اساس این روش بر مقایسه و تطبیق توابع توزیع تجمعی تجربی (ECDFs[10]) داده‌های مشاهداتی و داده‌های مدل یا ماهواره‌ای است که بر مبنای داده‌های روزانه ساخته می‌شوند. روش نگاشت چارک تجربی از سایر رویکردهای مبتنی بر نگاشت توزیع که عمدتاً بر داده‌های بارش تمرکز دارند و توابع توزیع تجمعی (CDFs[11]) را تنها برای روزهای مرطوب برآورد می‌کنند، متمایز است. مزیت اصلی این روش آن است که امکان برآورد توابع توزیع تجمعی تجربی برای هر دو حالت روزهای خشک و مرطوب را فراهم می‌کند. در رویکرد EQM، فراوانی وقوع بارش و هم‌چنین انحراف معیار مقادیر بارش می‌تواند به‌طور هم‌زمان تصحیح شود و درنتیجه توزیع آماری داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مشاهداتی سازگارتر می‌شود (Luo et al., 2018).

[1] Empirical Quantile Mapping
[2] Root Mean Square Error
[3] Nash–Sutcliffe Efficiency
[4] Percent Bias
[5] Probability of Detection
[6] False Alarm Ratio
[7] Taylor Diagram
[8] Inverse Distance Weighting
[9] Empirical Quantile Mapping
[10] Empirical Cumulative Distribution Functions
[11] Cumulative Distribution Functions

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

برای ارزیابی توانایی محصول ماهواره‌ای در آشکارسازی رخدادهای بارش، از دو شاخص آماری رخدادمحور شامل احتمال تشخیص (POD[1]) و نسبت هشدار کاذب (FAR[2]) استفاده شد. در این پژوهش، آستانه یک میلی‌متر در روز برای تعریف رخداد بارش در نظر گرفته شد؛ به‌طوری‌که مقادیر بارش روزانه کم‌تر از یک میلی‌متر به‌عنوان عدم رخداد بارش و مقادیر برابر یا بیش‌تر از یک میلی‌متر به‌عنوان رخداد بارش طبقه‌بندی شدند. شاخص POD میزان موفقیت داده‌های ماهواره‌ای را در تشخیص صحیح رخدادهای بارش نشان می‌دهد و مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است؛ به‌طوری‌که مقادیر نزدیک به یک بیانگر توان بالای ماهواره در شناسایی روزهای بارانی است (رابطه ۱). در مقابل، شاخص FAR بیانگر نسبت هشدارهای کاذب بوده و نشان می‌دهد چه سهمی از رخدادهای بارش تشخیص داده شده تو سط ماهواره، در مشاهدات زمینی به‌عنوان عدم بارش ثبت شده‌اند. مقدار FAR نیز بین صفر تا یک قرار دارد و مقادیر کوچک‌تر آن نشان‌دهنده عملکرد بهتر محصول ماهواره‌ای در کاهش اعلام بارش کاذب است (رابطه ۲) (Ebert et al., 2007).

$$POD = \frac{RR}{RR+RN} \quad (۱)$$

$$FAR = \frac{NR}{RR+NR} \quad (۲)$$

که در این روابط، حرف R بیانگر وقوع بارش و حرف N نشان‌دهنده عدم وقوع بارش است. در هر ترکیب دوحرفی، حرف اول مربوط به وضعیت ایستگاه زمینی و حرف دوم مربوط به وضعیت محصول ماهواره‌ای GPM-IMERG می‌باشد.

## نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد داده‌های خام GPM و داده‌های تصحیح شده با روش EQM در پنج ایستگاه و در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه در جدول (۲) ارائه شده است. شاخص‌های استفاده شده شامل همبستگی[3]، خطای RMSE، درصد اریبی (PBIAS)، کارایی نش–ساتکلیف (NSE)، احتمال آشکارسازی (POD) و نسبت هشدار غلط (FAR) است، که نتایج قبل و بعد از تصحیح اریبی مقایسه شده‌اند. مطابق جدول فوق در مقیاس روزانه، روش EQM تقریباً در همه ایستگاه‌ها باعث کاهش خطا و بهبود عملکرد GPM شده است تا جایی‌که RMSE در تمام ایستگاه‌ها کاهش‌یافته است. مقدار PBIAS به صفر نزدیک‌تر شده است. NSE در همه ایستگاه‌ها بهبودیافته، و هم‌چنین تغییرات ضریب همبستگی R محدود بوده است. FAR در برخی ایستگاه‌ها کاهش‌یافته اما POD گاهی کمی افت کرده است. درمجموع در مقیاس روزانه R بین حدود ۰/۲۲ تا ۰/۵۲ بوده، NSE اغلب مقدار منفی داشته، RMSE نسبتاً زیاد بوده، POD حدود ۰/۴۲ تا ۰/۶۳ را به خود اختصاص داده و FAR حدود ۰/۵۲ تا ۰/۶۲ مشاهده شده است. برای نمونه در ایستگاه انزلی، R از ۰/۳ به ۰/۳۲ افزایش‌یافته، و RMSE از ۱۶/۹۶ به ۱۴/۷۷ کاهش‌یافته است. درحالی‌که PBIAS از ۱۲/۶– به ۵/۴– رسیده و NSE از ۰/۶۶– به ۰/۲۶– بهبودیافته است. میزان POD اندکی افزایش‌یافته و FAR تقریباً ثابت مانده است. یکی از بهترین عملکردهای EQM مربوط به ایستگاه بابلسر است، زیرا تقریباً تمام شاخص‌ها بهبود یافته‌اند و بایاس تقریباً حذف شده است. در ایستگاه گرگان، اگرچه همبستگی تغییر نکرده، اما اصلاح بایاس بسیار موفق بوده و خطای سیستماتیک تقریباً حذف شده است. در ایستگاه رامسر، باوجود کاهش جزئی همبستگی، تصحیح اریبی اثر قابل‌توجهی بر کاهش بایاس و خطا داشته است. تصحیح اریبی در ایستگاه رشت نیز باعث کاهش محسوس خطا شده است. بر اساس جدول (۲) در مقیاس زمانی ماهانه R بین ۰/۵ تا ۰/۸۶ قرار داشته، NSE اغلب مثبت بوده، POD مقداری در حدود ۰/۹۷ تا ۰/۹۹ داشته و FAR مقدار بسیار کم، در بازه صفر تا ۰/۰۳ را دارا بوده است. برای مثال در ایستگاه گرگان، ضریب همبستگی قبل و بعد از تصحیح اریبی ۰/۸۶ بوده، RMSE از ۲۵/۱۱ به ۱۸/۱۰ رسیده، PBIAS از ۳۵/۳ به ۰/۵ کاهش‌یافته و شاخص NSE از ۰/۴۳ به ۰/۷ ارتقا داشته است. ایستگاه بابلسر هم عملکرد بسیار خوبی داشته و EQM منجر به بهینه شدن تخمین ماهواره در این ایستگاه شده است. کارایی ماهواره GPM در ایستگاه رشت در مقیاس زمانی ماهانه قابل‌قبول و نسبتاً مطلوب بوده است، هرچند دقت این ماهواره در ایستگاه‌های گرگان و بابلسر به‌مراتب بهتر و مناسب‌تر ارزیابی شده است. در دو ایستگاه رامسر و انزلی میزان همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاهی مطلوب بوده است؛ بااین‌حال، روش EQM در شاخص‌های RMSE و NSE بهبود قابل‌توجهی ایجاد نکرده و حتی موجب اندکی کاهش در NSE برای ایستگاه انزلی شده است. باوجود این، در هر دو ایستگاه مقدار POD بسیار بالا و FAR در سطح پایین‌تری قرار داشته است.

بررسی شاخص PBIAS در مقیاس روزانه نشان داد که داده‌های ماهواره‌ای قبل از تصحیح در اغلب ایستگاه‌ها دارای بیش‌برآورد هستند؛ به‌طوری‌که در ایستگاه‌های بابلسر، گرگان، رامسر و رشت مقادیر مثبت و قابل‌توجهی ثبت شده و تنها ایستگاه انزلی کم برآورد داشته است. پس از اعمال روش تصحیح آماری، الگوی بایاس به‌طور چشمگیری تغییر کرده و تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها به کم برآورد

[1] Probability of Detection
[2] False Alarm Ratio
[3] Correlation

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

خفیف تبدیل شده است؛ به‌گونه‌ای که مقدار PBIAS به صفر نزدیک شده و تنها ایستگاه بابلسر مقدار ناچیزی بیش‌برآورد نشان می‌دهد. این موضوع بیانگر عملکرد بسیار مؤثر فرآیند تصحیح در کاهش بایاس روزانه است. در مقیاس ماهانه نیز رفتار مشابهی مشاهده شد. پیش از تصحیح، داده‌های ماهواره‌ای در چهار ایستگاه بابلسر، گرگان، رامسر و رشت دارای بیش‌برآورد بوده و ایستگاه انزلی کم برآورد داشته است؛ این وضعیت دقیقاً مشابه الگوی روزانه است. پس از تصحیح، بایاس ماهانه به‌طور چشمگیری تعدیل شده و تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها به کم برآورد ملایم تغییر کرده است. تنها استثنا ایستگاه گرگان است که مقدار بسیار کوچک و نزدیک به صفر بیش‌برآورد دارد. درمجموع، نتایج در دو مقیاس زمانی نشان می‌دهد که اعمال روش تصحیح بایاس در بیش‌تر ایستگاه‌ها موجب کاهش بایاس اولیه داده‌های ماهواره‌ای و نزدیک‌تر شدن مقادیر آن به صفر شده است. بااین‌حال، این بهبود در همه ایستگاه‌ها و برای تمامی شاخص‌ها یکسان نبوده است؛ به‌طوری‌که در برخی موارد، مانند ایستگاه بندر انزلی در مقیاس ماهانه، کاهش شاخص NSE و افزایش RMSE مشاهده شد که بیانگر محدودیت عملکرد روش تصحیح در برخی شرایط مکانی و زمانی است.

**جدول ۲- ارزیابی دقت برآوردهای بارش ماهواره GPM در مقیاس‌های روزانه و ماهانه در ایستگاه‌های منتخب، پیش و پس از اعمال تصحیح اریبی با بهره‌گیری از روش‌های مختلف اعتبارسنجی**

**Table 2- Accuracy assessment of GPM satellite precipitation estimates at daily and monthly scales for selected stations before and after bias correction using different validation methods**

| FAR | POD | NSE | PBIAS | RMSE | P_Value | Correlation | Period | Temporal scale | Station |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.52 | 0.43 | -0.66 | -12.6 | 16.96 | 9E-78 | 0.3 | Before bias correction | Daily | Anzali |
| 0.54 | 0.45 | -0.26 | -5.4 | 14.77 | 2E-90 | 0.32 | After bias correction | Daily | Anzali |
| 0.53 | 0.5 | -0.36 | 16.2 | 9.65 | 8E-237 | 0.51 | Before bias correction | Daily | Babolsar |
| 0.52 | 0.46 | -0.04 | 1.4 | 8.46 | 2E-253 | 0.52 | After bias correction | Daily | Babolsar |
| 0.62 | 0.49 | -0.37 | 35.3 | 5.84 | 6E-183 | 0.45 | Before bias correction | Daily | Gorgan |
| 0.56 | 0.42 | -0.06 | -0.4 | 5.13 | 2E-182 | 0.45 | After bias correction | Daily | Gorgan |
| 0.6 | 0.63 | -0.5 | 46.5 | 15.08 | 5E-44 | 0.23 | Before bias correction | Daily | Ramsar |
| 0.55 | 0.46 | -0.33 | -7.2 | 14.22 | 3E-40 | 0.22 | After bias correction | Daily | Ramsar |
| 0.54 | 0.45 | -0.8 | 13.8 | 14.49 | 4E-114 | 0.36 | Before bias correction | Daily | Rasht |
| 0.54 | 0.45 | -0.14 | -7.3 | 11.54 | 8E-120 | 0.37 | After bias correction | Daily | Rasht |
| 0.02 | 0.97 | 0.27 | -12.6 | 113.84 | 3E-12 | 0.58 | Before bias correction | Monthly | Anzali |
| 0.02 | 0.97 | 0.2 | -4.7 | 119.09 | 3E-12 | 0.58 | After bias correction | Monthly | Anzali |
| 0.03 | 0.99 | 0.61 | 16.2 | 42.63 | 2E-32 | 0.84 | Before bias correction | Monthly | Babolsar |
| 0.03 | 0.98 | 0.65 | -1.3 | 39.99 | 1E-31 | 0.83 | After bias correction | Monthly | Babolsar |
| 0.03 | 0.99 | 0.43 | 35.3 | 25.11 | 1E-36 | 0.86 | Before bias correction | Monthly | Gorgan |
| 0.02 | 0.98 | 0.7 | 0.5 | 18.10 | 2E-35 | 0.86 | After bias correction | Monthly | Gorgan |
| 0.03 | 0.99 | -0.29 | 46.5 | 113.5 | 3E-09 | 0.51 | Before bias correction | Monthly | Ramsar |
| 0.02 | 0.98 | 0.13 | -4.2 | 93.19 | 9E-09 | 0.5 | After bias correction | Monthly | Ramsar |
| 0 | 0.97 | 0.29 | 13.8 | 79.75 | 3E-18 | 0.69 | Before bias correction | Monthly | Rasht |
| 0.01 | 0.97 | 0.41 | -6 | 72.64 | 2E-18 | 0.69 | After bias correction | Monthly | Rasht |

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

بررسی مقادیر p-value در جدول نتایج نشان می‌دهد که در تمامی ایستگاه‌ها و در هر دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه، مقادیر به‌دست‌آمده بسیار کوچک و در حد $10^{-12}$ تا $10^{-78}$ می‌باشد که به‌مراتب کم‌تر از سطح معنی‌داری متداول $\alpha = 0/05$ می‌باشند. این موضوع بیانگر آن است که ضرایب همبستگی محاسبه شده ازنظر آماری کاملاً معنی‌دار بوده و فرض صفر (عدم وجود رابطه بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهداتی) با اطمینان بسیار بالا رد می‌شود؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که بین داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاهی رابطه خطی معناداری وجود دارد و بهبودهای مشاهده شده پس از تصحیح آماری نیز از پشتوانه آماری قوی برخوردار هستند. به‌طورکلی، مقادیر بسیار پایین p-value در تمامی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که ضرایب همبستگی به‌دست‌آمده ازنظر آماری معنی‌دار هستند و احتمال تصادفی بودن رابطه بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی بسیار کم است. بااین‌حال، معنی‌داری آماری همبستگی الزاماً به معنای عملکرد مناسب محصول ماهواره‌ای ازنظر مقدار خطا یا کارایی عملی نیست. ازاین‌رو، تفسیر عملکرد GPM-IMERG تنها بر اساس p-value انجام نشد، بلکه شاخص‌های خطا و کارایی نظیر RMSE، Bias و NSE نیز به‌طور هم‌زمان بررسی شدند. نتایج نشان می‌دهد که در برخی ایستگاه‌ها، باوجود معنی‌دار بودن همبستگی، مقادیر NSE پایین یا منفی و RMSE نسبتاً بزرگ بوده است؛ بنابراین ارزیابی نهایی عملکرد محصول ماهواره‌ای باید بر پایه مجموعه‌ای از شاخص‌های آماری و نه صرفاً معنی‌داری همبستگی انجام شود.

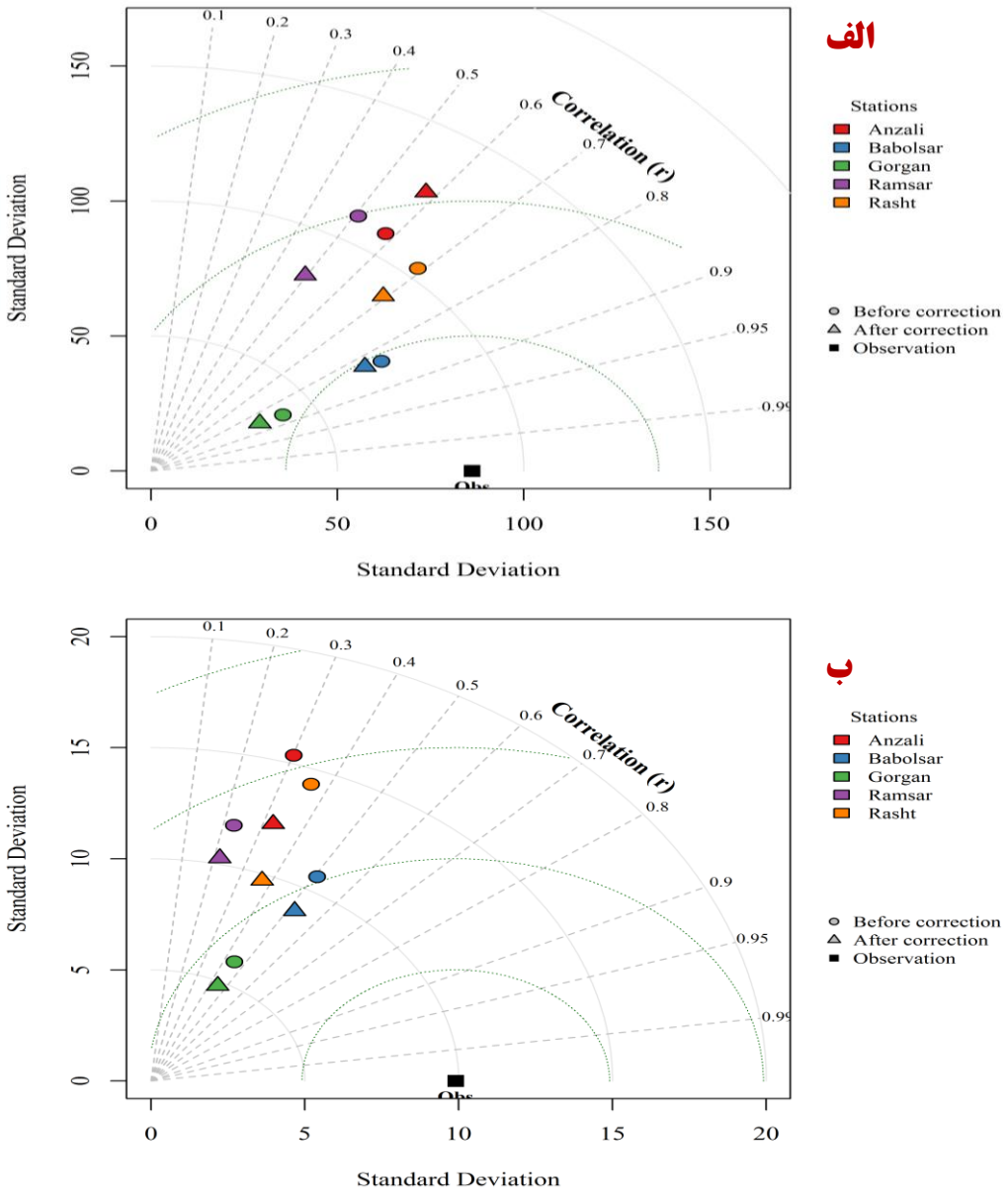
با توجه به شکل (۲)، نمودارهای تیلور ترسیم شده برای مقایسه برونداد بارشی ماهواره GPM با داده‌های مشاهداتی در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه در منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده عملکرد بهتر این ماهواره در برآورد بارش در مقیاس زمانی ماهانه نسبت به مقیاس روزانه است. در نمودار (الف) مربوط به مقیاس زمانی ماهانه، مقادیر ضریب همبستگی، انحراف معیار و ریشه میانگین مربعات خطا نسبت به نمودار (ب) که مربوط به مقیاس زمانی روزانه است، وضعیت مناسب‌تری برای تمامی ایستگاه‌ها نشان می‌دهند؛ به‌طوری‌که نقاط مربوط به ایستگاه‌ها به نقطه مرجع مشاهداتی (OBS) نزدیک‌تر قرار گرفته‌اند. این امر بیانگر تطابق بیش‌تر داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مشاهداتی در مقیاس زمانی ماهانه است. از سوی دیگر، مقایسه وضعیت قبل و بعد از تصحیح اریبی در نمودارهای تیلور نشان می‌دهد که روش تصحیح بایاس EQM موجب بهبود عملکرد داده‌های ماهواره‌ای شده است. به‌گونه‌ای که در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه، پس از اعمال تصحیح اریبی در تمامی ایستگاه‌ها مقدار انحراف معیار و RMSE کاهش‌یافته و ضریب همبستگی افزایش پیداکرده است. درمجموع، نتایج حاصل از نمودارهای تیلور با شاخص‌های آماری محاسبه شده همخوانی داشته و نشان می‌دهد که عملکرد ماهواره در برآورد بارش در مقیاس زمانی ماهانه نسبت به مقیاس زمانی روزانه بهتر بوده است.

بر اساس شکل (۳)، نقشه‌های پهنه‌بندی بارش در مقیاس زمانی سالانه برای نوار جنوبی دریای خزر شامل پنج ایستگاه همدید منتخب در دوره ده‌ساله ارائه شده است. در بخش (الف)، نقشه مربوط به داده‌های مشاهداتی بارش نشان می‌دهد که محدوده بارش سالانه منطقه مورد مطالعه بین ۴۷۸ تا ۱۶۷۲ میلی‌متر قرار دارد. بیشینه بارش در ایستگاه بندر انزلی مشاهده می‌شود و به‌طورکلی با حرکت از غرب به شرق منطقه مورد مطالعه، از مقدار بارش کاسته می‌شود. در بخش (ب)، نقشه مربوط به داده‌های خام ماهواره GPM پیش از اجرای تصحیح اریبی ارائه شده است. در این حالت، محدوده بارش سالانه بین ۶۴۷ تا ۱۷۱۱ میلی‌متر برآورد شده و بیشینه بارش در ایستگاه رامسر مشاهده می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که داده‌های خام ماهواره‌ای بیشینه بارش را بیش‌تر در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه تخمین زده‌اند. در بخش (ج)، نقشه مربوط به داده‌های بارشی تصحیح شده ماهواره GPM نشان می‌دهد که محدوده بارش سالانه بین ۴۸۰ تا ۱۵۹۳ میلی متر برآورد شده است. در این نقشه نیز بیشینه بارش در بخش غربی منطقه و در ایستگاه بندر انزلی مشاهده می‌شود و با حرکت از غرب به شرق منطقه، مقدار بارش کاهش‌یافته و کمینه بارش در بخش شرقی و در ایستگاه گرگان قرار دارد. مقایسه نقشه‌های قبل و بعد از تصحیح بایاس داده‌های ماهواره‌ای GPM با نقشه داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که اعمال روش تصحیح بایاس موجب بهبود عملکرد ماهواره در برآورد بارش منطقه شده است؛ به‌طوری‌که نتایج حاصل از داده‌های تصحیح شده شباهت بیش‌تری با الگوی مکانی داده‌های مشاهداتی دارند.

به‌طورکلی، مقایسه الگوهای مکانی بارش حاصل از داده‌های مشاهداتی و داده‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های تصحیح اریبی می‌تواند نقش مؤثری در افزایش قابلیت اعتماد داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی داشته باشد. نتایج این بررسی بیانگر آن است که اگرچه داده‌های خام ماهواره‌ای در برخی موارد الگوی مکانی بارش را با جابه‌جایی یا بزرگ‌نمایی مقادیر برآورد می کنند، اما پس از اعمال فرآیند تصحیح بایاس، توزیع مکانی بارش تا حد زیادی با الگوی مشاهده شده در ایستگاه‌های زمینی همخوانی پیدا می‌کند؛ بنابراین، به‌کارگیری روش‌های اصلاح خطا می‌تواند دقت برآوردهای ماهواره‌ای را بهبود داده و زمینه استفاده مطمئن‌تر از این داده‌ها را در مناطقی که با کمبود داده‌های زمینی مواجه هستند فراهم سازد.

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

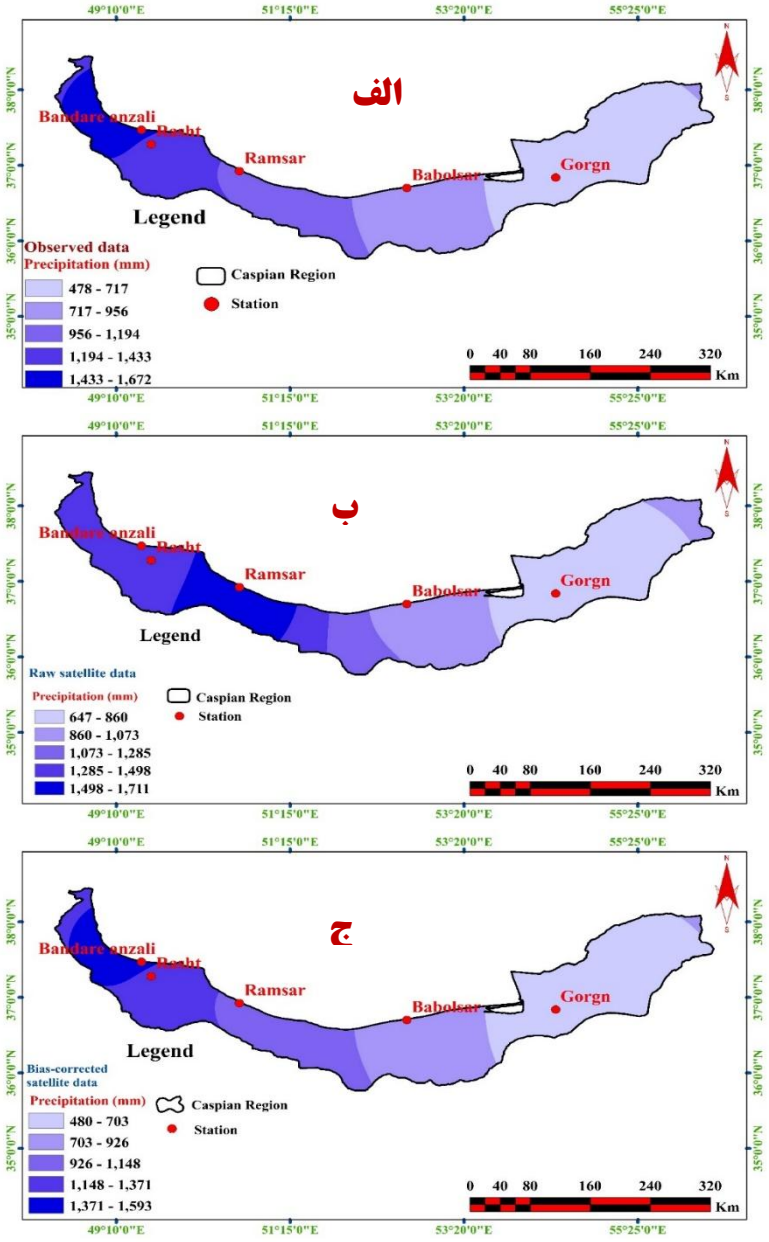



**شکل ۲- نمودارهای تیلور برای ارزیابی بصری عملکرد ماهواره GPM در ناحیه خزری در پنج ایستگاه نماینده قبل و بعد از تصحیح اریبی؛ الف: مقیاس ماهانه، ب: مقیاس روزانه.**

**Figure 2- Taylor diagrams for visual evaluation of the performance of the GPM satellite in the Caspian region at five representative stations before and after bias correction; (a) monthly scale, (b) daily scale**

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]




**شکل ۳- نقشه‌های پهنه‌بندی بارش سالانه در منطقه مورد مطالعه: الف) داده‌های مشاهداتی، ب) داده‌های ماهواره‌ای GPM پیش از تصحیح بایاس و ج) داده‌های ماهواره‌ای GPM پس از تصحیح بایاس**

**Figure 3- Spatial distribution maps of annual precipitation in the study area: (a) observed data, (b) GPM satellite data before bias correction and (c) GPM satellite data after bias correction**

یافته‌های این پژوهش ازنظر تأیید قابلیت داده‌های بارش ماهواره‌ای GPM-IMERG در برآورد بارش، با نتایج مطالعات Masood et al. (2020)، Talchabhade et al. (2021)، Bihamta et al. (2018) و Tayebiyan and Qaderi Nasab (2025) همخوانی دارد. وجه اشتراک این مطالعات با پژوهش حاضر آن است که همگی نشان داده‌اند محصولات GPM، باوجود برخورداری از کارایی مناسب در بازنمایی الگوی کلی بارش، در مقیاس‌ها و شرایط مختلف نیازمند ارزیابی محلی و در برخی موارد تصحیح بایاس هستند. این شباهت را می‌توان به ساختار الگوریتمی محصول GPM و توانایی مناسب آن در پایش بارش در مقیاس‌های منطقه‌ای نسبت داد. هم‌چنین، نتایج این پژوهش مبنی بر عملکرد بهتر GPM-IMERG در مقیاس زمانی ماهانه نسبت به مقیاس روزانه، با یافته‌های Rodríguez et al. (2024) نیز سازگار است. علت این همخوانی را می‌توان در آن دانست که در مقیاس ماهانه، نوسانات کوتاه‌مدت و خطاهای مرتبط با زمان‌بندی و شدت رخدادهای منفرد بارش تا حدی هموار می‌شوند، درحالی‌که در مقیاس روزانه، پیچیدگی رخدادهای بارشی، تغییرپذیری زیاد زمانی و محدودیت محصول

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

ماهواره‌ای در ثبت دقیق بارش‌های موضعی می‌تواند موجب افزایش خطا شود. از سوی دیگر، تأکید این پژوهش بر وابستگی دقت داده‌های ماهواره‌ای به شرایط توپوگرافی، ویژگی‌های اقلیمی و مقیاس زمانی با نتایج Salahi and Shahi (2025) نیز مطابقت دارد. در هر دو مطالعه، این نکته برجسته شده است که ارزیابی عملکرد محصولات بارش ماهواره‌ای بدون توجه به خصوصیات منطقه‌ای نمی‌تواند تصویر دقیقی از کارایی آن‌ها ارائه دهد. در پژوهش حاضر نیز تفاوت عملکرد ایستگاه‌ها، به‌ویژه عملکرد ضعیف‌تر در برخی نواحی، نشان می‌دهد که ناهمواری های محلی، رطوبت بالای منطقه ساحلی خزر و پیچیدگی سازوکارهای بارش می‌توانند از عوامل اصلی عدم تطابق میان داده‌های ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی باشند. درمجموع، شباهت نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین نشان‌دهنده قابلیت قابل‌قبول GPM-IMERG در برآورد بارش است، اما تفاوت‌های مشاهده شده نیز بیانگر آن است که میزان دقت این محصول به‌شدت تابع مقیاس زمانی، شرایط اقلیمی و ویژگی های توپوگرافی منطقه مورد مطالعه است. ازاین‌رو، استفاده از این داده‌ها بدون ارزیابی محلی و در صورت لزوم بدون اعمال روش‌های تصحیح بایاس، می‌تواند با عدم قطعیت همراه باشد. با توجه به اینکه بارش یکی از مهم‌ترین متغیرهای ورودی در مدل‌سازی بارش–رواناب، پیش‌بینی سیلاب و تحلیل پاسخ هیدرولوژیکی حوضه‌ها است، ارزیابی و تصحیح بایاس داده‌های ماهواره‌ای بارش می‌تواند نقش مهمی در بهبود کیفیت داده‌های مورد استفاده در مطالعات هیدرولوژیکی داشته باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که تصحیح بایاس داده‌های GPM-IMERG با روش نگاشت چندک تجربی، در بسیاری از ایستگاه‌ها و شاخص‌ها موجب نزدیک‌تر شدن برآوردهای ماهواره‌ای به داده‌های مشاهداتی شده است؛ بنابراین، هرچند در این مطالعه شبیه‌سازی مستقیم رواناب یا دبی انجام نشده است، بهبود دقت ورودی بارش می‌تواند زمینه استفاده مطمئن‌تر از این داده‌ها را در مطالعات مرتبط با مدل‌سازی بارش–رواناب، پایش رخدادهای حدی و مدیریت منابع آب در نواحی ساحلی دریای خزر فراهم سازد.

## نتیجه‌گیری

عملکرد برآوردهای بارش ماهواره‌ای GPM-IMERG در مقیاس زمانی ماهانه نسبت به مقیاس روزانه مطلوب‌تر ارزیابی شد. روش تصحیح بایاس مبتنی بر چندک تجربی در مقیاس ماهانه کارایی بیش‌تری نشان داد و موجب بهبود قابل‌توجه شاخص‌های ارزیابی، به‌ویژه PBIAS، RMSE و NSE شد. داده‌های خام ماهواره‌ای در بیشتر موارد دارای گرایش به بیش برآوردی بارش بودند، اما پس از اعمال روش تصحیح، میزان انحراف آن‌ها به‌طور محسوسی کاهش یافت و تطابق بیش‌تری با داده‌های مشاهداتی حاصل شد. ازنظر مکانی، پس از تصحیح بایاس، گرگان در هر دو مقیاس زمانی بهترین عملکرد را نشان داد؛ به‌طوری‌که در مقیاس روزانه دارای NSE، RMSE و |PBIAS| به‌ترتیب برابر با ۰/۰۶-، ۵/۱۳ میلی‌متر و ۰/۴ درصد بود و در مقیاس ماهانه نیز NSE، RMSE و |PBIAS| به‌ترتیب برابر با ۰/۷۰، ۱۸/۱۰ میلی‌متر و ۰/۵ درصد بهترین تطابق را با داده‌های ایستگاهی نشان داد. در مقابل، رامسر ضعیف‌ترین ارزیابی را داشت؛ به‌طوری‌که در مقیاس روزانه NSE، RMSE و |PBIAS| به‌ترتیب برابر با ۰/۳۳-، ۱۴/۲۲ میلی‌متر و ۷/۲ درصد و در مقیاس ماهانه NSE، RMSE و |PBIAS| به‌ترتیب برابر با ۰/۱۳، ۹۳/۱۹ میلی‌متر و ۴/۲ درصد به دست آمد. این الگوی مکانی نشان می‌دهد که کارایی داده‌های GPM-IMERG حتی پس از روش EQM به ویژگی‌های اقلیمی–توپوگرافی منطقه وابسته است و در نواحی با بارش‌های اوروگرافیک شدید، عدم قطعیت بیش‌تری باقی می‌ماند.

در مقیاس سالانه نیز نتایج نشان داد که پس از تصحیح بایاس، انطباق بهتری میان داده‌های ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی ایجاد شده و توانایی GPM-IMERG در بازنمایی الگوی بارش منطقه افزایش یافته است. درمجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد که داده‌های تصحیح شده GPM-IMERG می‌توانند به‌عنوان منبعی مکمل و نسبتاً قابل‌اعتماد برای برآورد بارش در مناطق دارای کمبود ایستگاه‌های زمینی به کار روند. بهبود دقت این داده‌ها می‌تواند مبنای مناسب‌تری برای مدل‌سازی بارش–رواناب، برآورد رواناب سطحی، پایش سیلاب و مدیریت منابع آب در نواحی ساحلی دریای خزر فراهم کند. برخی ملاحظات در تفسیر و تعمیم نتایج این مطالعه بر ارزیابی یک محصول ماهواره‌ای و یک روش تصحیح بایاس متمرکز بود؛ ازاین‌رو، مقایسه هم‌زمان سایر محصولات بارش ماهواره‌ای، نسخه‌های مختلف IMERG و روش‌های متنوع تصحیح بایاس می‌تواند در تکمیل و تعمیم نتایج مؤثر باشد. افزون بر این، پیچیدگی‌های اقلیمی و توپوگرافی ناحیه ساحلی خزر، به‌ویژه در نواحی کوهپایه‌ای، لزوم بررسی‌های تفصیلی‌تر را در مطالعات بعدی نشان می‌دهد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، با مقایسه محصولات و روش‌های مختلف، ارزیابی جامع‌تری از عملکرد داده‌های ماهواره‌ای انجام شود. هم‌چنین، بررسی کارایی داده‌های تصحیح شده در بازنمایی بارش‌های حدی، شبیه‌سازی رواناب، پایش سیلاب و سایر کاربردهای هیدرولوژیکی می‌تواند زمینه استفاده عملی گسترده‌تر از این داده‌ها را فراهم سازد. ازنظر اجرایی، استفاده از داده‌های تصحیح شده ماهواره‌ای می‌تواند در نواحی دارای کمبود داده‌های زمینی، به‌ویژه برای پشتیبانی از سامانه‌های هشدار سیلاب، برآورد سریع بارش و مدیریت منابع آب و رواناب، موردتوجه سازمان‌های مرتبط قرار گیرد. بااین‌حال، به‌کارگیری عملی این داده‌ها مستلزم به‌روزرسانی مستمر، واسنجی (کالیبراسیون) منطقه‌ای و تلفیق آن‌ها با مشاهدات زمینی است تا دقت و قابلیت اعتماد آن‌ها در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی افزایش یابد.

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

## ملاحظه‌های اخلاقی

**دسترسی به داده‌ها:** داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

**حمایت مالی:** این پژوهش حامی مالی نداشته است.

**مشارکت نویسندگان: صلاحی، ب.:** مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری و آماری، کنترل نهایی نتایج. **شاهی، ع.:** نگارش نسخه اولیه مقاله، ویرایش و بازبینی مقاله.

**تضاد منافع:** نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

**سپاس‌گزاری:** نویسندگان از داوران محترم مقاله که با بازبینی دقیق سبب غنی‌تر شدن این پژوهش شدند، سپاس‌گزاری می‌نمایند.

## منابع

اردونی، معصومه، معماریان، هادی، اکبری، مرتضی و پوررضا، محسن. (۱۴۰۰). ارزیابی و مقایسه داده‌های بارش ماهواره GPM با مقادیر بارندگی ایستگاه‌های زمینی با استفاده از آزمون کلموگروف–اسمیرنوف. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۹(۲)، ۱۱–۲۴. **dor:**20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9

بی‌همتا، آرش، گهرنژاد، حمید و معظمی، صابر. (۱۳۹۷). بررسی داده‌های بارش ماهواره‌های GPM و TRMM در مقیاس‌های روزانه، ماهیانه و فصلی در شهر تهران. *سنجش از دور و GIS ایران*، ۱۰(۲)، ۴۵–۶۰. https://gisj.sbu.ac.ir/article_96520.html

جانباز قبادی، غلامرضا، مفیدی، عباس و زرین، آذر. (۱۳۹۰). شناسایی الگوهای همدید بارش‌های شدید زمستانه در سواحل جنوبی دریای خزر. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۲(۲)، ۲۳–۴۰. **dor:**20.1001.1.20085362.1390.22.2.2.5

رجبی جاغرق، مجید، موسوی بایگی، محمد، عراقی، علیرضا و جباری نوقابی، هادی. (۱۴۰۲). ارزیابی دقت مقادیر بارش روزانه TRMM، GPM، ERA5 و PERSIANN در استان خراسان رضوی. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۱(۲)، ۷۹–۱۰۱. **dor:**20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4

رجبی جاغرق، مجید، موسوی بایگی، سید محمد، عراقی، سید علیرضا و جباری نوقابی، هادی. (۱۴۰۳). واسنجی بارش روزانه ERA5 با استفاده از الگوریتم‌های MLP، D-Tree و KNN در استان خراسان رضوی. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۲(۱)، ۱۲۹–۱۴۷. **dor:**20.1001.1.24235970.1403.12.1.8.1

رستم‌زاده، هاشم، جهانبخش اصل، سعید، حسینی، میرکامل و امیدفر، محمد. (۱۴۰۲). ارزیابی و تحلیل بارش‌های شدید روزانه برآوردی ماهواره GPM در مقابل داده‌های بارش مشاهده‌ای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۷(۸۶)، ۵۳–۶۹. **dor:**10.22034/gp.2022.51078.2988

رئیس‌پور، کوهزاد، ابراهیمی عماد، زهرا و خسروی، محمود . (۱۴۰۲). تحلیل توزیع مکانی بارش در ایران با استفاده از داده های بارش ماهواره GPM. *دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی*، ۲(۳)، ۱۰۸–۱۴۱. https://cccd.znu.ac.ir/article_714724.html

شاهی، علی و صلاحی، برومند. (۱۴۰۴). پیش‌بینی پارامتر بارش در شمال ایران بر اساس مدل‌های منتخب CMIP6. *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۶(۲۳)، ۷۷–۹۴. **dor:**10.30488/ccr.2025.522854.1284

شاهی، علی و صلاحی، برومند. (۱۴۰۴). ارزیابی مکانی–زمانی محصولات بارش ماهواره‌ای جهت برآورد رخدادهای بارش سنگین در شمال‌غرب ایران در دوره ۲۰ ساله. *فیزیک زمین و فضا*، ۵۱(۱)، ۱۳۳–۱۵۰. **dor:**10.22059/jesphys.2024.377656.1007612

طیبیان، آیدا و قادری، فرزانه. (۱۴۰۵). ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای TRMM، ERSIANN-CDR، GPM و CHIRPS جهت تخمین بارش در محدوده مطالعاتی پهنه جازموریان. *هواشناسی کشاورزی*، انتشار برخط. **dor:**10.22125/agmj.2025.482175.1176

کاظمی آذر، فراهم، خلیلی،کیوان، رضایی، حسین و میرعباسی نجف آبادی، رسول. (۱۴۰۴). ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land در تخمین بارش ماهانه حوضه آبریز بالادست سد زاینده‌رود. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۹(۱)، ۷۵–۸۷. https://idj.iaid.ir/article_213824.html

## References

Beck, H. E., Vergopolan, N., Pan, M., Levizzani, V., van Dijk, A. I. J. M., Weedon, G. P., Brocca, L., Pappenberger, F., Huffman, G. J., & Wood, E. F. (2017). Global-scale evaluation of 22 precipitation datasets using gauge observations and hydrological modeling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21. **doi:**10.5194/hess-21-6201-2017

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

Bihamta, A., Goharnejad, H., & moazami, S. (2018). Study of Precipitation Data of GPM and TRMM Satellites in daily, monthly and seasonal scales at Tehran. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 10(2), 45-60. https://gisj.sbu.ac.ir/article_96520.html?lang=en. [In Persian]

Cheng, Y., Zhang, X., Wang, K., Zhang, Y., Guo, Y., & Shen, Y. J. (2025). Multidimensional evaluation of satellite-based and reanalysis-based precipitation datasets in the Tibetan Plateau. Journal of Hydrology. 660. **doi:**10.1016/j.jhydrol.2025.133364

Da Silva, L. D. D. J., Mahmoud, M., González-Rodríguez, L., Mohammed, S., Rodríguez-López, L., & Arias, M. I. A. (2023). Assessment of the IMERG early-run precipitation estimates over South American country of Chile. *Remote Sensing*, 15(3): 573. **doi:**10.3390/rs15030573.

Ebert, E. E., Janowiak, J. E., & Kidd, C. (2007). Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(1), 47–64. **doi:** 10.1175/BAMS-88-1-47

Gilewski, P. G., & Nawalany, M. (2018). Inter-comparison of rain-gauge, radar, and satellite (IMERG GPM) precipitation estimates performance for rainfall-runoff modeling in a mountainous catchment in Poland. *Water*, 10(11), 1665. **doi:**10.3390/w10111665

Guo, H., Chen, S., Bao, A., Behrangi, A., Hong, Y., Ndayisaba, F., Hu, J., & Stepanian, P. M. (2016). Early assessment of integrated multi-satellite retrievals for global precipitation measurement over China. *Atmospheric Research*, 176–177, 121-133. **doi:**10.1016/j.atmosres.2016.02.020

Janbaz Ghobadi, G. R., Mofidi, A., & Zarrin, A. (2011). Recognizing the synoptic patterns of wintertime heavy precipitation in the southern coast of the Caspian Sea. *Geography and Environmental Planning*, 22(2), 23-40. **dor:** 20.1001.1.20085362.1390.22.2.2.5. [In Persian]

Kazemiazar, F, Rezaie, H,. & Mirabbasi, R. (2025). Performance evaluation of monthly ERA5 and ERA5-Land Reanalysis precipitation data in the upstream of the Zayandehroud reservoir basin. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 19(1), 75-87. https://idj.iaid.ir/article_213824.html?lang=en. [In Persian]

Luo, M., Liu, T., Meng, F., Duan, Y., Frankl, A., Bao, A., & De Maeyer, P. (2018). Comparing bias correction methods used in downscaling precipitation and temperature from regional climate models: A case study from the Kaidu River Basin in Western China. *Water*, 10(8): 1046. **doi:**10.3390/w10081046.

Mahmoud, M. T., Hamouda, M. A., & Mohamed, M. M. (2019). Spatiotemporal evaluation of the GPM satellite precipitation products over the United Arab Emirates. *Atmospheric Research*, 219: 212–200. **doi:**10.1016/j.atmosres.2018.12.029

Masood, M., Shakir, A. S., Azhar, A. H., & Nabi, G. (2020). Assessment of real time, multi-satellite precipitation products under diverse climatic and topographic conditions. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 56:591–577. **doi:**10.1007/s13143-019-00166-1.

Ordooni, M., Memarian, H., Akbari, M., & Pourreza, M. (2021). Evaluation and comparison of GPM satellite precipitation data with meteorological station using kolmogorov-smirnov test. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 9(2), 11-24. **doi:**20.1001.1.24235970.1400.9.2.5.9. [In Persian]

Raispour, K, Ebrahimi Emad, Z., & Khosravi, M. (2023). Analysis of spatial distribution of precipitation in Iran using GPM satellite precipitation data. (e714724). *Climate Change and Climate Disaster*, 2(3), e714724 https://cccd.znu.ac.ir/article_714724.html?lang=en [In Persian].

Rajabi Jaghargh, M., Mousavi Baygi, S. M., Araghi, S. A., & Jabari Noghabi, H. (2023). Evaluation of accuracy of daily rainfall values TRMM, GPM, ERA5, and PERSIANN in Razavi Khorasan Province. Journal of Rainwater Catchment Systems, 11(2), 6. **dor:**20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4[In Persian].

Rajabi Jaghargh, M., Mousavi Baygi, S. M., Araghi, S. A., & Jabari Noghabi, H. (2024). Calibration of ERA5 daily precipitation using MLP, D-Tree, and KNN algorithms in Razavi Khorasan province. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(1), 8. **dor:**20.1001.1.24235970.1403.12.1.8.1. [In Persian]

Ramadhan, R., Yusnaini, H., Marzuki, M., Muharsyah, R., Suryanto, W., Sholihun, S., Vonnisa, M., Harmadi, H., Ningsih, A. P., Battaglia, A., Hashiguchi, H., & Tokay, A. (2022). Evaluation of GPM IMERG performance using gauge data over Indonesian maritime continent at different time scales. *Remote Sensing*, 14(5):1172. **doi:**10.3390/rs14051172.

Rodríguez-Sandoval, E. A., García-Echeverri, C., González-Ramírez, A. M., Sandoval-Barrera, J. A., Patarroyo-González, M. E., Agudelo, D. E., & Roldán, M. A. (2024). Evaluating the IMERG precipitation satellite product to derive intensity-duration-frequency curves in Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 110: 47–31. **doi:**10.17533/udea.redin.20230212.

Rostamzadeh, H., Jahanbakhsh ASL, S., Hosseini, M. K., & Omidfar, M. (2023). Intensive evaluation and daily analysis of the GPM satellite versus observed precipitation data in Urmia Lake catchment area. *Journal of Geography and Planning*, 27(86), 53-69. **doi:**10.22034/gp.2022.51078.2988. [In Persian]

Salahi, B., Bromand, B., & Shahi, A. (2025). Evaluation of the accuracy of satellite precipitation data compared to station observations in northeastern Iran. Nivar. 49: 89–73. **doi:**10.30467/nivar.2026.573075.1368.

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]

Shahi, A., & Salahi, B. (2025). Forecasting precipitation in the northern half of Iran based on the output of selected CMIP6 models. Climate Change Research, 6(23), 77-94. **doi:**10.30488/ccr.2025.522854.1284. [In Persian]

Shahi, A., & Salahi, B. (2025). Spatio-temporal evaluation of satellite precipitation products to estimate heavy rainfall events in northwest Iran in the last two decades. Journal of the Earth and Space Physics, 51(1), 133-150. **doi:**10.22059/jesphys.2024.377656.1007612. [In Persian]

Talchabhadel, R., Aryal, A., Kawaike, K., Yamanoi, K., Nakagawa, H., Bhatta, B., Karki, S., & Thapa, B. R. (2021). Evaluation of precipitation elasticity using precipitation data from ground and satellite-based estimates and watershed modeling in Western Nepal. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 33, 100768. **doi:**10.1016/j.ejrh.2020.100768.

Tan, M. L., Gassman, P. W., & Cracknell, A. P. 2017. Assessment of three long-term gridded climate products for hydro-climatic simulations in tropical river basins. *Water*, 9(3), 229. **doi:**10.3390/w9030229.

Tayebiyan, A., & Qaderi Nasab, F. (2026). Evaluation of TRMM, PERSIANN-CDR, GPM and CHIRPS satellite data to estimate rainfall in the Jazmurian area. *Journal of Agricultural Meteorology*, Online Publication. **doi:**10.22125/agmj.2025.482175.1176. [In Persian]

Tong, K., Su, F., Yang, D., & Hao, Z. (2014). Evaluation of satellite precipitation retrievals and their potential utilities in hydrologic modeling over the Tibetan plateau. *Journal of Hydrology*, 519. **doi:**10.1016/j.jhydrol.2014.07.044

Yeditha, P. K., Kasi, V., Rathinasamy, M., & Agarwal, A. (2020). Forecasting of extreme flood events using different satellite precipitation products and wavelet-based machine learning methods. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 30(6). **doi:**10.1063/5.0008195.

[ Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.3.4.5 ]