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

Evaluation of accuracy of daily rainfall values TRMM, GPM, ERA5, and PERSIANN in Razavi Khorasan Province

Majid Rajabi Jaghargh[1], Seyed Mohammad Mousavi Baygi [*], Seyed Alireza Araghi[3], Hadi Jabari Noghabi[4]

1. Ph.D. Student, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: magidrajabijaghargh@mail.um.ac.ir
2. Professor, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: mousavib@um.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: a.araghi@um.ac.ir
4. Associate Professor, Department of Statistics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: jabbarimh@um.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 01 May 2023
Revised: 01 July 2023
Accepted: 08 July 2023
Published online: 02 August 2023

Keywords:
Agreement index, Daily precipitation, GEE, KGE, Remote Sensing.

ABSTRACT

Remote sensing, as a powerful tool in meteorology, is able to cover the gaps in ground measurements and provide a uniform platform for spatial analysis. However, due to the different results obtained from the accuracy and performance of sensors in different regions, it is necessary to evaluate and validate their products in each region independently. This study, therefore, aims to evaluate the performance of the satellite precipitation products (SPPs) of PERSIANN, GPM, ERA5, and TRMM in a daily rainfall scale over the Razavi Khorasan Province, against the ground observations collected from the 19 rain gauges. In this regard, 113,880 images were called to extract daily rainfall data from the above four databases. To evaluate the SPPs, statistical indices including correlation coefficient (CC), root mean square of the errors (RMSE), and percentage of bias (PBias), Kline Gupta Efficiency (KGE), and Agreement Index (d) were used. Moreover, POD, FAR, and CSI classification indices were used to evaluate the accuracy of the data presented in the indication of days with rainfall events. The climate effect was also investigated by incorporating the change in latitude. Our results revealed better performance for the ERA5 dataset with $0.2 \leq CC \leq 0.68$, $2 \leq RMSE \leq 3.7$, and its performance indicators have $KGE \geq 0.26$ and $d \geq 0.68$. Regarding classification indices, ERA5 has POD and CSI higher than 0.68 and 0.3, respectively, and TRMM has relative superiority only in the FAR index. At the level of the studied area, the index analysis shows the better performance of the ERA5 database compared to other studied data. Based on the results of this research, the increase in elevation has improved some statistical indicators in some products, whereas, in some other cases, changes in elevation have a negative effect on the accuracy. In general, the ERA5 database at the point and regional scale are evaluated to have a more appropriate performance in estimating daily precipitation data, and its data can be used in meteorological and hydrological analysis.

Citation: Rajabi Jaghargh, M., Mosavi Bighi, M., Araghi, A., & Jabari Noghabi, H. (2023). Evaluation of accuracy of daily rainfall values TRMM, GPM, ERA5, and PERSIANN in Razavi Khorasan Province. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 11(2), 79-101.
DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association © Author(s)

***Corresponding author:** Mohammad Mousavi Baygi
Address: Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
Tel: +989153167311
Email: mousavib@um.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

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

Evaluation of accuracy of daily rainfall values TRMM, GPM, ERA5, and PERSIANN in Razavi Khorasan Province

Majid Rajabi Jaghargh[1], Seyed Mohammad Mousavi Baygi [*], Seyed Alireza Araghi[3], Hadi Jabari Noghabi[4]

1. Ph.D. Student, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: magidrajabijaghargh@mail.um.ac.ir
2. Professor, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: mousavib@um.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: a.araghi@um.ac.ir
4. Associate Professor, Department of Statistics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: jabbarimh@um.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Rainfall, due to its quantitative changes and temporal and spatial distribution, affects the climatic characteristics of each region. It is considered one of the most important climatic elements. All over the world, ground stations are the most important tools for measuring precipitation. Despite the high accuracy of rainfall measurement by ground stations, there are some problems associated with them. Although radars have solved some of these defects in rainfall measurement, they require special and expensive facilities. Today, a new horizon has been opened in the field of receiving meteorological information and processing information through remote sensing. Telemetry, as an effective and powerful tool, has reduced the problems and bottlenecks in terrestrial measurement methods and eliminated them to a great extent. The different results obtained from the accuracy and performance of remote sensing data, in the corner and on the side of the world, require that the validation of their products to evaluate the accuracy and performance should be done independently in each region.

Methodology: In this research, the daily rainfall data of 19 recording rain gauges operating under the Ministry of Energy have been used against the daily rainfall values of PERSIANN, GPM, ERA5, and TRMM for three normal, dry, and wet years. In this research, various statistical criteria were used to evaluate and compare the products provided by the databases with the daily rainfall values of ground stations. Pearson's correlation coefficient (CC) was used to show the degree of correlation. The root mean square of the errors (RMSE) was also used to evaluate the amount of error in the satellite data set. The KGE statistic was used to check the accuracy of the estimation of the satellite data with the rainfall time series of the rain gauge stations. The percentage of bias (PBias) was used to evaluate the tendency of the gauges to overestimate or underestimate the amount of precipitation, and the agreement index (d) was used to evaluate the accuracy of the estimation of products provided by satellites. Finally, Taylor's diagram was used to identify the best database that provides daily precipitation. Also, POD, FAR, and CSI classification criteria were used to evaluate the ability to detect precipitation by databases.

Results and Discussion: This research showed that on a daily scale, the evaluated data provide different results, although they have differences in terms of temporal and spatial resolution. The GPM meter, despite benefiting from more sophisticated technology and increased spatial and temporal resolution has a weaker performance than the other products on a daily scale, and ERA5 as a database has an acceptable accuracy. The source of the difference in the products accuracy can be the non-use of the same ground stations in the production of the gridded precipitation maps used in the correction pattern of the estimated model data, as well as the incompatibility of the spatial scale between the gridded maps of the ground station precipitation and the products produced from other sources. There are some things that can be pointed out, the influence of the precipitation changes, from east to west and from south to north in the studied area, on the statistical indicators, performance and classification of the evaluated data is quite noticeable and should be considered as an important factor in statistical analysis.

Conclusion: This study has provided a comprehensive assessment of TRMM, GPM, ERA5, and PERSIANN daily rainfall in Razavi Khorasan Province against 19 recording rain gauges belonging to the Ministry of Energy for three wet, dry, and average years. The changes in the statistical values of the central indicators, performance,

***Corresponding author:** Mohammad Mousavi Baygi
Address: Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran..
Tel: +989153167311
Email: mousavib@um.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

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

and classification were analyzed for all four products, and the effects of altitude on SPPs were evaluated. The main conclusions are outlined below:

- The values of the statistical indicators for the evaluated data have relative changes in the location of the stations, but overall, ERA5 and TRMM have better performance than other gauges and databases.
- The average and results of daily rainfall statistical indicators at the level of the studied area indicate the accuracy and more suitable performance of ERA5 and TRMM.
- The performance of the evaluated products was different against the change in altitude so that some products have good performance in lowland areas and some others approach the optimal values with increasing altitude.
- Due to the proper performance of ERA5 in Razavi Khorasan Province, it is recommended to use the daily rainfall values of this database to conduct studies in which real-time is less important.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.
Funding: This research has been extracted from a doctoral thesis under the support of Ferdowsi University of Mashhad.
Authors' contribution: Majid Rajabi Jaghregh prepared the first draft and it was edited by other authors.
Conflicts of interest: The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.
Acknowledgment: Khorasan Razavi Regional Water Company is thanked for providing the required statistics and information.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

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

ارزیابی دقت مقادیر بارش روزانه TRMM، GPM، ERA5 و PERSIANN در استان خراسان رضوی

مجید رجبی جاغرق[۱]، سید محمد موسوی بایگی[۲*]، سید علیرضا عراقی[۳]، هادی جباری نوقابی[۴]

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، magidrajabijaghargh@mail.um.ac.ir
۲. استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، mousavib@um.ac.ir
۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، a.araghi@um.ac.ir
۴. دانشیار، گروه آمار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، jabbarimh@um.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۲
بازنگری: ۱۰ تیر ۱۴۰۲
پذیرش: ۱۷ تیر ۱۴۰۲
انتشار برخط: ۱۱ مرداد ۱۴۰۲

واژه‌های کلیدی:
بارش روزانه، شاخص توافق، KGE، GEE، سنجش از دور

چکیده

سنجش از دور به‌عنوان ابزاری قدرتمند در علم هواشناسی قادر است خلأها و شکاف‌های موجود در اندازه‌گیری‌های زمینی را پوشش داده و بستری یک پارچه برای تحلیل‌های مکانی فراهم نماید، اما با توجه به نتایج متفاوت به‌دست آمده، از دقت و عملکرد سنجنده‌ها در مناطق مختلف، ضروری است نسبت به ارزیابی و اعتبارسنجی محصولات آن‌ها در هر محدوده به‌طور مستقل اقدام شود. این مطالعه عملکرد بارندگی روزانه محصولات TRMM، GPM، ERA5 و PERSIANN را در استان خراسان رضوی، در مقابل مشاهدات ۱۹ باران‌سنج ثبات وزارت نیرو برای سه سال خشک، متوسط و مرطوب ارزیابی می‌کند. دراین راستا برای استخراج داده‌های بارش روزانه از چهار پایگاه داده فوق، تعداد 113,880 تصویر فراخوانی شد، هم‌چنین، برای ارزیابی دقت از شاخص‌های آماری CC، RMSE و PBias و برای تشخیص توان عملکرد، از ضریب کلین گوپتا (KGE) و شاخص توافق (d)، در مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای استفاده شد. از شاخص‌های طبقه‌بندی POD، FAR و CSI نیز برای ارزیابی دقت داده‌های ارائه شده در تشخیص روزهای همراه با پدیده بارش، استفاده و اثر ارتفاع بر تغییرات پارامترهای فوق ارزیابی شد. نتایج نشان داد که در مقیاس ایستگاهی، مقادیر بارش روزانه پایگاه داده ERA5 با مقادیر ۰/۶۸≤CC≤۰/۲، ۳/۷≤RMSE≤۲ و شاخص‌های عملکرد KGE≥۰/۲۶ و d≥۰/۶۸ نسبت به سایر محصولات، دارای دقت و عملکرد بهتری است. در خصوص معیارهای طبقه‌بندی، ERA5، دارای POD و CSI به‌ترتیب بالاتر از ۰/۶۸ و ۰/۳ است و TRMM تنها در شاخص FAR دارای برتری نسبی است. افزایش ارتفاع تأثیر متفاوت بر شاخص‌های آماری و عملکردی محصولات مورد ارزیابی داشته و از روند ثابتی تبعیت نمی‌کند. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که از داده‌های بارش روزانه ERA5 در تحلیل‌های آب و هواشناسی و مدل‌های هیدرولوژیکی که زمان واقعی در انجام مطالعات برای آن‌ها ضرورت ندارد، در این منطقه می‌توان استفاده نمود.

استناد: رجبی جاغرق، مجید، موسوی بایگی، سید محمد، عراقی، سید 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

© نویسندگان
ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

مقدمه

بارندگی با توجه به تغییرات کمی و توزیع زمانی و مکانی خود، ویژگی‌های اقلیمی هر منطقه را تحت تأثیر قرار داده بنابراین از اساسی‌ترین عناصر اقلیمی محسوب می‌شود. در تمام دنیا یکی از مهم‌ترین مراجع اندازه‌گیری بارش، ایستگاه‌های باران‌سنجی است. باران‌سنج‌ها با توجه به این‌که به‌صورت نقطه‌ای قادر به اندازه‌گیری بارش با دقت نسبتا" بالایی هستند (Rana et al., 2015 ،Duan Z et al., 2016) اما با مشکلاتی از قبیل هزینه بر بودن، عدم توزیع مکانی مناسب، ناکافی بودن، عدم امکان نصب در مناطق صعب‌العبور و... مواجه‌اند. رادارها در اندازه‌گیری بارش، اگرچه برخی از این نقایص را برطرف کرده‌اند، اما نیازمندی به تأسیسات خاص، گران‌قیمت بودن تجهیزات، محدودیت پوشش مکانی و وجود خطاهای ناشناخته، استفاده از رادارهای هواشناسی را با محدودیت هایی همراه ساخته است (Kumar et al. 2011,). امروزه، با ظهور فن‌آوری‌های پیشرفته، افق تازه‌ای در زمینه دریافت اطلاعات هواشناسی و پردازش آن‌ها از طریق سنجش از دور گشوده شده است. دورسنجی به‌عنوان یک ابزار مؤثر و قدرتمند، مشکلات و تنگناهای موجود در روش‌های اندازه‌گیری زمینی را کاهش داده و آن‌ها را تا حد زیادی مرتفع نموده است (Tan et al., 2016، Mahmud et al., 2020). نتایج متفاوت به‌دست آمده از دقت و عملکرد داده‌های سنجش از دور، در گوشه و کنار جهان، ایجاب می‌کند تا نسبت به اعتبار سنجی محصولات آن‌ها به‌منظور ارزیابی دقت و عملکرد، در هر منطقه‌ای به‌طور مستقل اقدام شود.

اگرچه درحال حاضر اندازه‌گیری و تخمین بارندگی از طریق باران‌سنج‌های زمینی، رادارها و سنجش از دور صورت می‌گیرد، اما درشرایط کنونی ماهواره‌ها به‌عنوان منبع ارزشمند تولید داده، مورد اقبال قرارگرفته‌اند، زیرا دسترسی به محصولات آن‌ها آسان بوده، تقریباً تمام سطح زمین را پوشش داده و از وضوح زمانی و مکانی بالا و قابل قبولی برخوردار هستند (Lu Yi et al., 2018). در مطالعاتی که به‌منظور مقایسه عملکرد مقادیر تخمینی بارش روزانه، توسط رادار و ماهواره TRMM[1] با داده‌های ایستگاهی در ایران انجام شد، مشخص شد، داده‌های تولیدی توسط رادار دارای همبستگی قوی با داده‌های ایستگاهی است اما محصول سنجنده TRMM با وجود تطابق الگوی بارش، جایگزین مناسبی برای ایستگاه‌های باران‌سنجی نیست (حاجی میررحیمی و فیضی‌زاده، ۱۳۸۷). به‌منظورارزیابی دقت وعملکرد داده‌های بارش PERSIANN[2] با داده‌های زمینی در ایران، مقادیر آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان داد که PERSIANN الگوی تغییرات بارش سالانه در ایران را به‌خوبی نشان می‌دهد، اما مقدار بارش را در اکثر نقاط ایران کم و در مناطق کویری زیاد برآورد می‌کند (کتیرایی بروجردی، ۱۳۹۲)، مقادیر بارش روزانه و ماهانه ۳۴ ایستگاه باران‌سنج زمینی برای ۱۹۲ روز طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳ توسط محققین استخراج شد و نسبت به ارزیابی آن‌ها با مقادیر بارش روزانه و ماهانه سنجنده GPM[3] و محصول MERRA در حوضه آبریز کشف رود اقدام شد و مقادیر حاصل از تحلیل شاخص‌های آماری و طبقه‌بندی CC, RMSE, BIAS, POD, FAR و CSI نشان داد که GPM در ارائه بارش روزانه در سطح ایستگاه و منطقه دارای برتری نسبی محسوسی نسبت به داده‌های MERRA است و در مقیاس ماهانه عکس این موضوع صادق است (علی‌بخشی و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهشی که با هدف بررسی و ارزیابی دقت بارش روزانه، ماهانه و فصلی در چهار ایستگاه سینوپتیک تهران با داده‌های GPM و TRMM صورت گرفت، مشخص شد که GPM در مقیاس روزانه، ماهانه و فصلی، به‌ترتیب با ضریب همبستگی ۵۳، ۸۳ و۸۷ درصد عملکرد مناسب‌تری نسبت به TRMM دارد (بی‌همتا و همکاران، ۱۳۹۷).

در مطالعه‌ای که به‌منظور ارزیابی دقت مقادیر بارش روزانه داده‌های شبکه‌بندی شده دو سنجنده TRMM و GPM صورت پذیرفت، بارش روزانه آن‌ها طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۱۴ در مقابل بارش روزانه ۷۰ ایستگاه منتخب همدید در ایران قرار گرفت. تحلیل آماری دقت داده‌های تولید شده نسبت به ایستگاه‌های مرجع انجام شد و نتیجه حاصله حاکی از عدم دقت مطلوب مقادیر بارش روزانه این دو سنجنده در ایران است به استثنا مناطق غربی کشور و دامنه‌های زاگرس که عملکرد بهتری نسبت به سایر مناطق از خود نشان می‌دهند (میری و همکاران، ۱۳۹۷). در پژوهشی که در غرب میانه ایران انجام شد، اقدام به بررسی دقت داده‌های بارش روزانه سنجنده GPM در مقابل داده‌های بارش ۳۱ ایستگاه سینوپتیک طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۱۴ شد. با بررسی ضریب همبستگی بین داده‌های سنجنده و ایستگاه‌های متناظر زمینی مشخص شد که ۷۷ درصد ایستگاه‌ها دارای ضریب همبستگی کم‌تر از ۰/۵ بوده و تنها هفت ایستگاه از این مقدار فراتر رفته و در بهترین حالت به ۰/۵۷ محدود شده است. شاخص‌های دیگر آماری مورد استفاده هم‌چون RMSE و BIAS نشان از سوگیری و انحراف زیاد مقادیر بارش روزانه این سنجنده نسبت به ایستگاه‌های زمینی داشت. این نتیجه حاکی از عدم قابلیت استفاده از داده‌های این سنجنده در مطالعات آب و هواشناسی است. این سنجنده به‌خوبی قادر به بیان الگوی فضایی بارش در منطقه بوده و می‌تواند در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه نتایج بهتری را عرضه نماید (صادقی و همکاران، ۱۳۹۷).

[1] Tropical Rainfall Measuring Missing
[2] Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks
[3] Global Percipitation Measurement

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

اکبری و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی داده‌های بارش ماهانه سنجنده TRMM در اقلیم‌های مختلف ایران پرداختند. آن‌ها ضمن ارزیابی داده‌های بارش این سنجنده طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۴ در مقابل ۴۱ ایستگاه سینوپتیک نشان دادند که TRMM در اقلیم‌های خشک بیش برآورد دارد و در مناطق پر باران کم برآورد می‌کند، اما در مجموع دارای عملکرد مناسبی در ایران است. در تحقیقی که روی مقادیر بارش روزانه، ماهانه و سالانه استخراج شده از ۷۰ ایستگاه سینوپتیک،کلیماتولوژی و باران‌سنجی در محدوده استان اردبیل طی سال‌های ۲۰۰۴تا ۲۰۱۴ انجام شد، نسبت به مقایسه مقادیر بارش ایستگاه‌های زمینی با مقادیر بارش باز تحلیل شده از پایگاه داده ERA5[1] اقدام شد و با استفاده از تحلیل شاخص‌های آماری CC و RMSE و شاخص‌های جدول توافقی شامل POD، FAR، CSI و POFD این نتیجه حاصل شد که مقادیر بارش روزانه و ماهانه باز تحلیل شده توسط پایگاه داده ERA5 می‌تواند پس از تصحیح اریبی به‌عنوان جایگزین مناسب برای نقاط فاقد ایستگاه زمینی مورد استفاده قرار گیرد (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۹).

مطالعه‌ای دیگر روی نمایه‌های حدی بارش در کشور ایران طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ کارایی چهار پایگاه داده TRMM, GPM, ERA5 و PERSIANN را برای Rx1day، Rx5day، CDD، R10mm، R20mm و R95P در مقابل داده‌های ۱۴۵ ایستگاه همدید مورد ارزیابی قرار داده است. این مطالعه کشور را با استفاده از روش مولفه‌های اصلی (PCA) به شش ناحیه اقلیمی متمایز، تفکیک نموده و نشان داد که بر اساس شاخص‌های آماری، ERA5 دارای بهترین عملکرد برای نمایه بارش حدی روزانه است و TRMM و GPM از عملکرد قابل قبولی در برآورد نمایه‌های بارش حدی روزانه برخوردارند اما PERSIANN فاقد کارایی لازم است (نجفی و همکاران، ۱۴۰۱). در کشور چین نسبت به ارزیابی عملکرد دو سنجنده TRMM و GPM از آوریل ۲۰۱۴ تا اوت ۲۰۱۷ با استفاده از یک مدل رگرسیونی مبتنی بر توپوگرافی اقدام شد و نشان دادند، هر دو سنجنده دارای سوگیری مثبت در ارائه مقادیر بارش هستند و محصولات GPM دارای عملکرد بهتری نسبت به TRMM است (Lu Yi et al., 2018)، هم‌چنین پژوهشگران دیگری در این کشور، با مطالعه‌ای بر دشت هوانگ هوای چین محصولات بارش دو سنجنده GPM و TRMM را در مقیاس‌های زمانی مختلف طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ با بارش روزانه ۵۹ ایستگاه زمینی متعلق به سازمان هواشناسی این کشور مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که در مقیاس ماهانه و سالانه ارتباط قوی‌تری نسبت به مقیاس روزانه بین بارش‌های تخمین زده شده سنجنده‌ها و ایستگاه‌های زمینی وجود دارد و سنجنده GPM در تشخیص بارندگی عملکرد بهتری داشته است، اما هر دو سنجنده دارای سوگیری مثبت در تخمین بارش هستند (Xu Fenglin et al., 2019). در مطالعه‌ای که بر رودخانه یانگ تسه چین انجام شد، داده‌های سنجنده GPM را با بارش‌های شدید رویداده بر روی حوضه آبریز این رودخانه طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند، مقادیر تخمینی سنجنده GPM در مقیاس ماهانه و در مناطق مرتفع هم‌خوانی خوب و عملکرد مناسبی از خود نشان می‌دهد، اما در مقیاس زمانی روزانه از تطابق کم‌تری برخوردار است. اگر چه بارش‌های شدید به‌خوبی توسط GPM در این ناحیه تخمین زده شده و دارای ضریب همبستگی پیرسون بالا است، اما در کل نسبت به داده‌های حاصل از ایستگاه‌های باران‌سنجی دارای سوگیری منفی است (Liu Jingyu et al., 2020). طی مطالعه موردی که در منطقه Counus با هدف بررسی اعتبار محصولات بارشی دو سنجنده GPM و TRMM طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ با شبکه داده‌های زمینی PRISM[2] صورت گرفت، دریافتند علیرغم افزایش وضوح زمانی و مکانی سنجنده GPM، برخی ازمعیارهای آماری درمقایسه با TMPA بهبود قابل توجهی نشان نمی‌دهد. عملکرد هر دو محصول ماهواره‌ای در فصول تابستان و زمستان متفاوت بوده، اما هر دو درفصل تابستان دارای عملکرد بالایی هستند. IMERG[3] در فصول و مناطق مختلف ، در مقیاس‌های زمانی و شرایط توپوگرافی ناهمگون، متفاوت بوده، اما نسبت به محصول روزانه TMPA برتری دارد (Pirmoradian et al., 2022).

انتخاب استان خراسان رضوی به‌عنوان منطقه هدف دراین تحلیل دسترسی به داده‌های استخراج شده از گراف‌های باران‌سنج‌های ثبات وزارت نیرو برای تحلیل‌های آماری بوده است.

آن‌چه نقطه قوت و وجهه تمایز این پژوهش با سایر مطالعات گذشته است، عبارت است از:

- استفاده از داده‌های مستخرج از گراف‌های باران‌سنج های ثبات وزارت نیرو دراستان خراسان رضوی با گام زمانی نیم ساعته و انطباق با زمان مرجع جهانی و سپس تجمیع آن‌ها برای به‌دست آوردن بارش روزانه، به‌عنوان داده‌های ناشناخته برای شبکه جهانی که در واسنجی محصولات سنجنده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، این فرآیند می‌تواند به‌صورت موثری اعتبارسنجی محصول سنجنده‌ها را مورد ارزیابی قرار دهد.

[1] ECMWF reanalyses V5
[2] Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model
[3] Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM

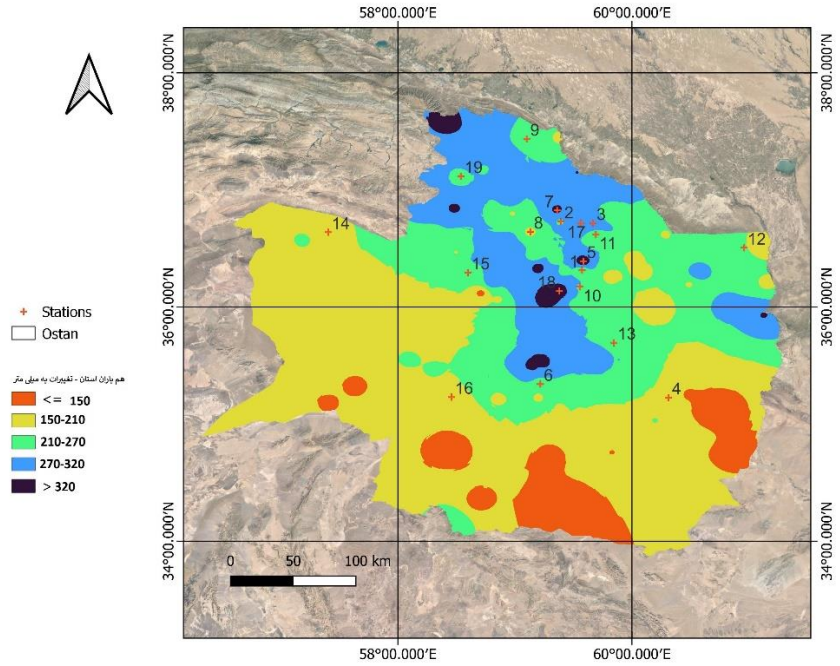
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

- دامنه تغییرات ارتفاعی متنوع ایستگاه‌های باران‌سنج ثبات وزارت نیرو نسبت به ایستگاه‌های همدید می‌تواند در فرآیند ارزیابی دقت و عملکرد تأثیرگذار باشد.
- بررسی اثر تغییر ارتفاع بر میزان دقت و عملکرد محصول سنجنده‌ها در منطقه مورد مطالعه که پژوهش داخلی در این زمینه یافت نشد.
- بررسی هم‌زمان چهار محصول بارش روزانه پایگاه‌های TRMM، GPM، ERA5 و PERSIANN با ایستگاه‌های زمینی خارج از شبکه تعریف شده جهانی.

مواد و روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

استان خراسان رضوی دارای وسعتی بالغ بر ۱۱۷ هزار کیلومتر مربع است که حدود ۸ درصد مساحت کشور را به خود اختصاص داده است، از این وسعت، ۴۹/۲ درصد آن را مناطق کوهستانی و بقیه را مناطق دشتی و کم ارتفاع تشکیل داده‌اند. مرتفع‌ترین نقطه آن در قله بینالود با ارتفاع ۳۳۳۹ متر و پست‌ترین آن در دشت سرخس با ارتفاع ۲۹۹ متر از سطح دریا قرار دارد. این استان به لحاظ اقلیمی، بر اساس شاخص آمبرژه دارای اقلیم خشک سرد است و از نظر متوسط بارش سالانه، مقداری حدود ۲۵۴ میلی‌متر در سال را دریافت می‌کند. دامنه تغییرات بارندگی در این استان، مقادیری کم‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر در جنوب، تا بیش از ۳۲۰ میلی‌متر در نواحی مرکزی و شمال غربی است. شکل ۱ نقشه همباران استان خراسان رضوی و هم‌چنین توزیع مکانی ایستگاه‌های باران‌سنج ثبات وزارت نیرو را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- نقشه متوسط بارش استان خراسان رضوی (۹۹-۱۳۶۹) و پراکندگی مکانی ایستگاه‌های باران‌سنج ثبات وزارت نیرو

Figure 1- Average precipitation map of Razavi Khorasan Province (1990-2020) and spatial distribution of automatic rain gauge stations of the Ministry of Energy

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی ثبات وزارت نیرو مورد استفاده در پژوهش

Table 1 - Specifications of the automatic rain gauge stations of the Ministry of Energy used in the research

شناسه ID	ایستگاه	مشخصات جغرافیایی			شناسه ID	ایستگاه	مشخصات جغرافیایی		
		UTM__X	UTM__Y	ارتفاع (متر)			UTM__X	UTM__Y	ارتفاع (متر)
1	اداره مشهد	731051	4021779	970	11	سد کارده	740695	4056093	1265
2	ارداک بند ساروج	713648	4067524	1320	12	سرخس	334933	4044721	273
3	آل	738162	4066787	1452	13	فریمان	757541	3953876	1415
4	باغسنگان تربت جام	281783	3900564	938	14	کارخانه قند جوین	536166	4054892	1138
5	بلغور	731838	4030506	1920	15	کارخانه قند نیشابور	643474	4017696	1199
6	تربت حیدریه	701468	3913151	1468	16	کاشمر	632645	3899535	1054
7	تلغور	710544	4078183	1540	17	گوش بالا	728919	4066633	1561
8	چناران	690538	4057482	1170	18	مغان	714070	4001739	1770
9	درگز	685794	4145323	492	19	هی هی قوچان	636561	4108912	1333
10	سد طرق	729587	4006132	1240					

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های بارش روزانه ۱۹ ایستگاه باران‌سنج ثبات وزارت نیرو که موقعیت و مشخصات آن در شکل ۱ و جدول ۱ ارائه شده است، به همراه مقادیر بارش روزانه TRMM، GPM، ERA5 و PERSIANN برای سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۳، ۱۳۹۷-۱۳۹۶و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ به‌ترتیب به‌عنوان سال نرمال، خشک و مرطوب استفاده شده است.

داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی

با توجه به اطلاعات منتشر شده توسط مدیریت منابع آب ایران در خصوص متوسط بارش استان خراسان رضوی طی دوره آماری ۴۰ ساله مختوم به سال ۱۴۰۰ هجری شمسی، سه سال آبی ۹۴-۱۳۹۳، ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ به‌عنوان سال‌های به‌ترتیب نرمال، خشک و مرطوب شناسایی و از گراف باران‌سنج‌های ثبات، مقادیر بارش‌های رخداده با گام زمانی نیم ساعته استخراج شد. زمان و مقادیر این‌رویدادها با زمان مرجع بین‌المللی (UTC)[1]، منطبق شد و بارش روزانه با جمع مقادیرساعتی محاسبه شد. اصلی‌ترین دلایل انتخاب باران‌سنج‌های ثبات وزارت نیرو در این پژوهش، توزیع مکانی آن‌ها در ارتفاعات مختلف و عدم استفاده از داده‌های آن‌ها در فرآیند تولید و واسنجی محصولات سنجنده‌ها و پایگاه‌های داده است.

داده‌های ماهواره‌ای

در حال حاضر، سنجنده‌های مختلف و پایگاه‌های داده متعددی مقادیر بارندگی با وضوح زمانی و مکانی متفاوت را مخابره می‌نمایند که TRMM، GPM، ERA5 و PERSIANN از آن جمله هستند. ماهواره TRMM در سال ۱۹۹۷ به فضا پرتاب شد و به‌عنوان نخستین تلاش قابل اعتماد جهانی برای اندازه‌گیری پدیده بارش به دنیا معرفی شد (Smith et al., 2007). این ماهواره در ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری زمین، با زاویه‌ی میل ۳۵ درجه نسبت به استوار قرار گرفته و وضوح مکانی آن ۰/۲۵ × ۰/۲۵ درجه و تفکیک زمانی آن سه ساعته است، که اطلاعات بارشی حد فاصل ۵۰ درجه عرض جغرافیایی شمالی تا ۵۰ درجه عرض جغرافیایی جنوبی را در بر می‌گیرد (Yu et al., 2021، Kummerow et al., 1998، Huffman et al., 2007). در فوریه سال ۲۰۱۴ نسل جدیدی از ماهواره‌های تخمین بارش با نام GPM به‌عنوان جانشین TRMM در مدار قرار گرفت که هدف اصلی آن تخمین دقیق بارش در سطح جهان بود (Hou et al., 2014، Huffman et al., 2019). این سنجنده در ارتفاع ۴۰۷ کیلومتری از سطح زمین قرار گرفت و قابلیت اندازه‌گیری بارش برف و باران را دارا است، وضوح مکانی و زمانی این سنجنده، به‌ترتیب ۰/۱ × ۰/۱ درجه و ۳۰ دقیقه استکه اطلاعات آن از اوایل سال ۲۰۱۴ در دسترس قرار دارد (Huffman et al., 2015). GPM قادر به مخابره اطلاعات بارشی در حد فاصل ۶۰ درجه عرض جغرافیایی شمالی تا ۶۰ درجه عرض جغرافیایی جنوبی است که از این بابت سطح وسیع‌تری از کره زمین را نسبت به TRMM پوشش می‌دهد (Pirmoradian et al., 2022). ERA5 نسل پنجم تجزیه و بازتحلیل مقادیر پدیده‌های جوی است که داده‌های خروجی آن مبتنی بر اطلاعات استخراج شده از مدل

[1] Coordinated Universal Time

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

ECMWF[1] است که تجزیه و باز تحلیل اطلاعات در آن با تأثیر مشاهدات زمینی، انجام می‌شود، متغیرهای جوی در این پایگاه با وضوح زمانی حداقل یک ساعته و دقت مکانی ۰/۲۵ × ۰/۲۵ درجه از سال ۱۹۷۵میلادی با تأخیر اندکی نسبت به زمان واقعی در دسترس است. با پیشرفت روز افزون در حوزه یادگیری ماشین و پیوند آن با اطلاعات سنجش از دور، مقادیر بارش بر اساس اطلاعات دریافت شده دمای روشنایی مادون قرمز ابر قابل تخمین است (Ashouri et al., 2015). پایگاه داده PERSIANN یک الگوریتم تخمین بارندگی با استفاده از ابزار سنجش از دور است که ساختارآن بر پایه شبکه عصبی مصنوعی بنا شده است (Sorooshian S et al., 2002). بارش در این پایگاه با وضوح زمانی حداقل یک ساعته و دقت مکانی ۰/۰۴ × ۰/۰۴ درجه در دسترس است.

به‌منظور ارزیابی دقت مکانی، زمانی و مقدار بارش ارائه شده توسط سنجنده‌ها در محدوه استان خراسان رضوی، از داده‌های تولید شده توسط دو سنجنده TRMM و GPM و دو پایگاه داده PERSIANN و ERA5 استفاده شد. این مقادیر مطابق با سال‌های آبی متناظر ایستگاه‌های زمینی، از سامانه متن باز و تحت وب GEE[2] استخراج شد. در این پژوهش، محصول مورد استفاده از سنجنده‌های GPM,TRMM به‌ترتیب 3B42-V7 و IMERG-V06 و برای پایگاه داده ERA5 از محصول ERA5_LAND/HOURLY استفاده شده است. هم‌چنین مقادیر ساعتی بارش برای محصول PERSIANN از پایگاه داده به آدرس اینترنتی https://CHRSdata.eng.uci.edu استخراج شد.

روش تحقیق

پردازش داده‌ها

مقادیر بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی ثبات وزارت نیرو به‌صورت نیم ساعته از گراف‌های باران نگار هر ایستگاه برای سال‌های نرمال، خشک و مرطوب، استخراج شد و به دنبال آن مقادیر متناظر با داده‌های زمینی، از بانک اطلاعاتی پایگاه‌های داده مورد استفاده در این پژوهش توسط کدنویسی در سامانه تحت وب و متن باز GEE استخراج شد. با توجه به اختلاف زمان برداشت داده بین باران‌سنج وزارت نیرو و سنجنده‌ها، داده‌ها از نظر زمانی، بر یکدیگر منطبق شدند و پس از آن با جمع مقادیر بارش کوتاه مدت، بارش روزانه محاسبه شد.

معیارهای ارزیابی

به‌طورکلی برای مقایسه بین چندین منبع تولید اطلاعات یکسان و تشخیص بهترین منبع از شاخص‌های آماری و عملکردی برای تعیین دقت محصولات استفاده می‌شود. در این پژوهش نیز از معیارهای آماری مختلفی برای ارزیابی و مقایسه محصولات ارائه شده توسط پایگاه‌های داده با مقادیر بارش روزانه ایستگاه‌های زمینی استفاده شد. توابع آماری شاخص‌های مورد استفاده، در جدول‌های ۲ و۳ ارائه شده است. از ضریب همبستگی پیرسون (CC)[3] (رابطه ۲)، برای نشان دادن میزان همبستگی بین مقادیر ثبت شده توسط باران‌سنج‌ها و محصولات ارائه شده ماهواره‌ای استفاده شد. هم‌چنین، از میانگین ریشه دوم خطاها (RMSE)[4] (رابطه ۳) برای ارزیابی مقدار خطا در مجموعه داده‌های ماهواره‌ای استفاده شد. از آماره KGE[5] (رابطه ۶) نیز برای بررسی دقت تخمین داده‌های ماهواره با در نظر گرفتن فاصله بین میانگین و واریانس سری‌های زمانی بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی و داده‌های ماهواره‌ای و هم‌چنین ضریب همبستگی آن‌ها استفاده شد. این شاخص به‌دلیل در نظر گرفتن تأثیر ضریب همبستگی، بایاس و ضریب تغییرات در ارزیابی دقت مدل‌ها، از کاربرد فراوانی برخوردار است (Yu et al., 2021 ،Gupta et al., 2009, 2012). درصد سوگیری (Pbias)[6] (رابطه ۴)، برای ارزیابی تمایل سنجنده‌ها به بیش برآورد یا کم برآورد مقادیر بارش استفاده شد (Sorooshian et al., 1993). از شاخص توافق (d)[7] (رابطه ۵) در ارزیابی دقت تخمین محصولات ارائه شده توسط ماهواره‌ها به‌عنوان یک شاخص معتبر در کنار دیگر شاخص‌ها استفاده شد (Willmott et al., 1985).

[1] European Centre for Medium-Range Weather
[2] Google Earth Engine
[3] Correlation Coefficient
[4] Root Mean Square Error
[5] Kling Gupta Efficiency
[6] Percentage bias
[7] Index of agreement

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

جدول ۲- شاخص‌های آماری مورد استفاده در ارزیابی و عملکرد مقادیر بارندگی روزانه

Table 2- Statistical indicators used in the evaluation and performance of daily rainfall values

رابطه	معادله	واحد	دامنه تغییرات	مقدار بهینه
(1)	$e_i = S_i - G_i$	متغیر	$(-\infty, +\infty)$	**0**
(2)	$CC = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(S_i - \bar{S})(G_i - \bar{G})}{\sigma S \sigma_G}$	بدون واحد	$[-1, 1]$	**1+** و **-1**
(3)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_i^2}$	متغیر	$(0, +\infty)$	**0**
(4)	$Pbias = 100\frac{\sum_{i=1}^{n} e_i}{\sum_{i=1}^{n} G_i}$	٪	$(-\infty, +\infty)$	**0**
(5)	$d = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} e_i^2}{\sum_{i=1}^{n}(\lvert S_i - \bar{G}\rvert + \lvert G_i - \bar{G}\rvert)}\right)$	بدون واحد	***[0,1]***	**1**
(6)	$KGE = 1 - \sqrt{(CC-1)^2 + (\beta-1)^2 + (\gamma-1)^2}$	بدون واحد	$(-\infty, +1)$	**1**

در روابط مندرج در جدول ۲، n تعداد نمونه، G مقادیر ثبت شده توسط باران‌سنج، S مقادیر شبیه‌سازی شده توسط سنجنده، $\bar{S}$ و $\bar{G}$ به‌ترتیب میانگین مقادیر تخمین زده شده بارش توسط سنجنده و باران‌سنج است. هم‌چنین تغییرات بارش توسط دو پارامتر σ_G و σ_S برآورد شد که نشان‌دهنده انحراف استاندارد مقادیر ثبت شده باران توسط باران‌سنج و بارش ماهواره‌ای است. مجذور میانگین مربع خطاها (RMSE) به‌عنوان میانگین مجذور اختلاف بین Sn و Gn محاسبه می‌شود و مقدار آن همواره عددی غیرمنفی است که مقادیر کوچک‌تر نشان‌دهنده عملکرد بهتر پایگاه داده در تخمین مقادیر شبیه‌سازی شده است. شاخص KGE شامل سه عبارت: β $\left(\beta = \frac{\mu_S}{\mu_G}\right)$ که نشان‌دهنده نسبت بین میانگین بارش ماهواره‌ای (μ_S) و میانگین بارش باران‌سنج μ_G است، γ نسبت تغییرپذیری $\left(\gamma = \frac{CV_S}{CV_G}\right)$ است که از نسبت بین ضریب تغییرات مرتبط با بارش‌های ماهواره‌ای CV_S و داده‌های باران‌سنج CV_G حاصل می‌شود ($CV_S = \frac{\sigma_S}{S}$ و به‌طور مشابه، $CV_G = \frac{\sigma_G}{G}$ است). دامنه تغییرات KGE در بازه $(-\infty, +1]$ بوده و مقادیر بزرگ‌تر نشان‌دهنده عملکرد بهتر در شبیه‌سازی مقادیر بارش توسط پایگاه داده است. شاخص d نیز مقداری مثبت بین صفر و یک را اختیار می‌کند، هر چه این مقدار به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده عملکرد مناسب‌تر مدل در تخمین داده‌هاست.

برای ارزیابی قابلیت تشخیص بارش، توسط پایگاه‌های داده، از معیارهای طبقه‌بندی موجود در جدول توافقی استفاده شد. شاخص موفقیت بحرانی CSI[1] (رابطه ۹)، توانایی سنجنده را در تشخیص رویداد بارش ارزیابی می‌کند و تابع احتمال تشخیص POD[2] (رابطه ۷)، بیانگر نسبت تشخیص رویداد (سنجنده و ایستگاه هر دو رویداد را ثبت نموده‌اند) به تعداد کل رویدادهای ثبت شده در ایستگاه است. نسبت هشدار نادرست FAR[3] (رابطه ۸)، منعکس‌کننده نسبت تعداد تشخیص رویداد فقط توسط سنجنده به مجموع تعداد رویدادهایی که به‌صورت همزمان توسط سنجنده و ایستگاه تشخیص داده شده‌اند و تعداد رویدادهایی که توسط سنجنده تشخیص داده شده اما در ایستگاه ثبت نشده است، است. دامنه تغییرات هر سه شاخص بین صفر و یک متغییر بوده و مقدار بهینه برای CSI و POD عدد یک و برای FAR عدد صفر است (Yu et al., 2021).

[1] Critical Success Index
[2] Probability of Detection
[3] False Alarm Ratio

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

جدول ۳- شاخص‌های طبقه‌بندی مورد استفاده برای مقادیر بارندگی روزانه

Table 3- Classification indices used for daily rainfall values

رابطه	معادله	واحد	دامنه تغییرات	مقدار بهینه
(7)	$POD = \frac{H}{H + M}$	بدون واحد	[0,1]	1
(8)	$FAR = \frac{F}{H + F}$	بدون واحد	[0,1]	0
(9)	$CSI = \frac{H}{H+M+F} = \frac{1}{\frac{1}{1-FAR}+\frac{1}{1-POD}-1}$	بدون واحد	[0,1]	0

در معادلات ارائه شده در جدول ۳، H رویداد بارشی است که توسط باران‌سنج و ماهواره به‌طور همزمان شناسایی می‌شود؛ M رویداد بارشی است که توسط باران‌سنج تشخیص داده می‌شود اما توسط ماهواره شناسایی نمی‌شود و F از نظر تعریف عکس M است. محاسبه شاخص‌های فوق نیازمند به تعریف یک آستانه برای تشخیص روزهای همراه با پدیده باران است. از این‌رو، با توجه به این‌که در این پژوهش، داده‌های اخذ شده از باران‌سنج‌ها و سنجنده‌ها دارای تفکیک زمانی روزانه هستند، بنابراین از نظر مقدار، ۰/۱ میلی‌متر در روز به‌عنوان آستانه برای تعیین وقوع بارش در نظر گرفته شد. این آستانه بر اساس تعریفی که توسط سازمان هواشناسی کشور از روز بارانی ارائه شده است، انتخاب شد.

نتایج

ارزیابی شاخص‌های آماری و طبقه‌بندی

به‌منظور مقایسه، ارزیابی و شناخت بهترین پایگاه داده، از میان TRMM, GPM, ERA5 وPERSIANN در محدوده استان خراسان رضوی که بارندگی روزانه را ارائه می‌نمایند، اقدام به بررسی شاخص‌های آماری، عملکرد و طبقه‌بندی برای ۱۹ ایستگاه باران‌سنج ثبات شد.

شاخص‌های آماری و عملکرد

مقادیر شاخص‌های آماری و عملکرد محصولات تولید شده دو سنجده TRMM، GPM و دو پایگاه داده ERA5 و PERSIANN برای ۱۹ ایستگاه باران‌سنج ثبات واقع درمحدوده مطالعاتی در جدول ۴ ارائه شده و تغییرات شاخص‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است، بر این اساس می‌توان اظهار داشت، ضریب همبستگی پایگاه داده ERA5 در کلیه ایستگاه بالاتر از سایر محصولات ارائه شده قرار دارد و هم‌چنین مقادیر RMSE تقریباً در کلیه ایستگاه‌ها برای محصول بارش روزانه ERA5 از کم‌ترین مقدار برخوردار است. در تمامی ایستگاه‌ها، درصد سوگیری (Pbias) داده‌های GPM و PERSIANN کم‌ترین مقدار بوده و داده‌های ERA5 بیش‌ترین جهت‌گیری مثبت را از خود نشان داده است. بررسی شاخص‌های عملکرد KGE و توافق (d) برای کلیه محصولات تولید شده در همه ایستگاه‌ها، نشان از برتری محصول TRMM و ERA5 دارد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

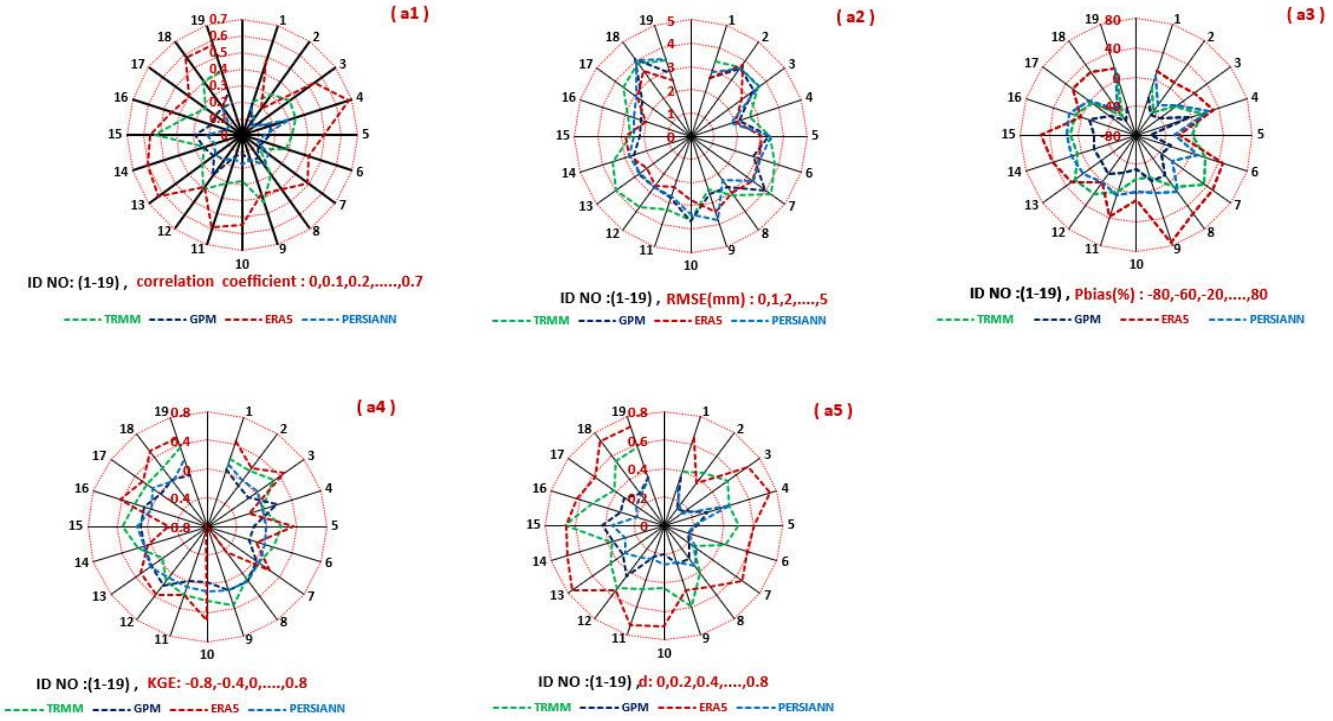
جدول ٤- مقادیر شاخص‌های آماری و عملکرد در محل ایستگاه‌های باران‌سنجی ثبات وزارت نیرو واقع در استان خراسان رضوی

Table 4- Values of statistical indicators and performance at the location of stability rain gauge stations of the Ministry of Energy located in Razavi Khorasan Province

شاخص آماری	سنجنده / پایگاه داده	مشهد	ارداک	آل	باغستگان	بلغور	تربت حیدریه	تلغور	چناران	درگز	سدطرق	سدکارده	سرخس	فریمان	جوین	نیشابور	کاشمر	گوش	مغان	هی هی
CC	TRMM	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.1	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4
	GPM	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3
	ERA5	0.5	0.2	0.5	0.7	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.4	0.6	0.2	0.6	0.4	0.4	0.6	0.6
	PERSIANN	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2
Pbias(%)	TRMM	-10.6	-40.6	-14.5	15.7	0.0	20.6	35.2	8.4	-18.5	-20.4	2.1	19.7	24.8	5.7	11.8	8.3	-5.1	-47.1	10.1
	GPM	-26.5	-45.4	-40.4	-1.2	-60.7	-30.5	-36.4	-12.5	-13	-33.6	-24.6	-13.7	-19.7	-18.9	-22.3	-10.9	-35.8	-55.2	-39.6
	ERA5	12.3	9.3	18.2	32.4	-21.7	46.3	50.1	52.8	76.4	9.4	38.9	1.2	31	40.7	51.8	0.8	28.6	27.6	17
	PERSIANN	5.6	-28.9	-10.5	24.6	-27.2	9.8	-18.7	16.4	3.4	-1.7	7.8	1.4	10.9	14.6	15.5	17.2	-0.4	-37.1	13.6
RMSE(mm /day)	TRMM	3.4	3.6	3.6	2.7	3.4	3.8	4.3	3.1	2.4	3.6	3.3	3.8	4.0	3.6	2.6	2.9	3.6	3.9	3.4
	GPM	2.7	3.6	3.4	2.2	3.4	2.8	4.0	2.7	2.589	3.7	2.8	2.7	2.8	2.6	2.2	2.2	2.6	4.1	2.8
	ERA5	2.6	3.8	2.7	2.0	3.1	3.1	3.3	3.0	3.4	2.8	2.3	2.6	2.3	2.8	2.8	2.0	2.8	3.4	2.5
	PERSIANN	2.9	3.6	2.7	1.8	3.5	3.1	3.3	2.3	3.8	3.4	2.7	2.7	2.7	2.8	2.4	2.6	2.9	4.0	3.5
KGE	TRMM	0.2	0.2	0.3	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	-0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4
	GPM	0.0	-0.1	-0.1	0.2	-0.2	-0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	-0.1
	ERA5	0.4	0.2	0.5	-0.2	0.4	-0.1	0.2	-0.4	-0.8	0.5	0.2	0.4	0.3	0.0	-0.3	0.4	0.3	0.5	0.5
	PERSIANN	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2
d	TRMM	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.2	0.4	0.6	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.7	0.5	0.4	0.6	0.6
	GPM	0.4	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4
	ERA5	0.6	0.4	0.7	0.8	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5	0.7	0.7	0.6	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7
	PERSIANN	0.3	0.2	0.1	0.5	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.3	0.3

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]



شکل ۲- مقادیر شاخص‌های آماری وعملکرد بارندگی روزانه ایستگاه‌های باران‌سنج ثبات محدوده مورد مطالعه

Figure 2- Changes in the values of statistical indicators and daily rainfall performance of rain gauge stations in the study area

شاخص‌های طبقه‌بندی

به‌منظور تعیین توان تشخیص روزهای همراه با پدیده بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی توسط سنجنده‌ها، از شاخص‌های جدول توافقی استفاده شد و مقادیر آن‌ها محاسبه و در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده و با استفاده از شکل ۳ به ارزیابی توان تشخیص روزهای بارانی، نسبت هشدار اشتباه و شاخص موفقیت بحرانی در این ایستگاه‌ها مبادرت شد. پایگاه داده PERSIANN در احتمال تشخیص روزهای بارانی (POD)، تقریباً در کلیه ایستگاه‌ها از برتری نسبی برخوردار بوده و TRMM دارای ضعف محسوسی در این زمینه است، TRMM و ERA5 دارای کم‌ترین نسبت هشدار اشتباه (FAR) در کلیه ایستگاه‌ها بوده و هر دو از نظر شاخص موفقیت بحرانی (CSI) دارای عملکردی مناسب ارزیابی شدند.

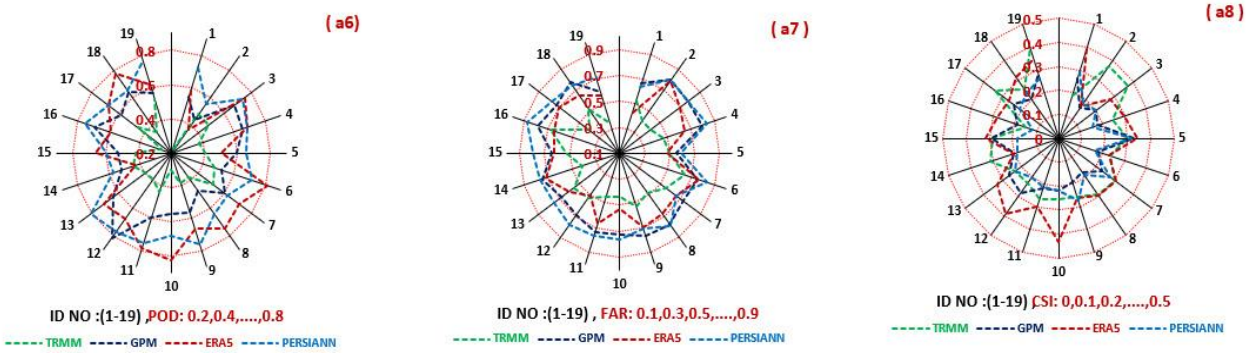
جدول ۵- شاخص‌های طبقه‌بندی در محل ایستگاه‌های باران‌سنجی ثبات وزارت نیرو واقع در استان خراسان رضوی

Table 5- Classification indices at the location of stability rain gauge stations of the Ministry of Energy located in Razavi Khorasan Province

شاخص آماری	سنجنده / پایگاه داده	مشهد	ارداک	آل	باغستگان	بلغور	تربت حیدریه	تلغور	چناران	درگز	سدطرق	سدکارده	سرخس	فریمان	جوین	نیشابور	کاشمر	گوش	مغان	هی هی
POD	TRMM	0.2	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.5	0.4	0.5
	GPM	0.5	0.4	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.8	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	0.6	0.6
	ERA5	0.6	0.4	0.7	0.7	0.5	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.4	0.7	0.6	0.7	0.8	0.6
	PERSIANN	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6	0.8	0.7	0.6	0.8
FAR	TRMM	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.3
	GPM	0.7	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.6
	ERA5	0.4	0.8	0.7	0.5	0.6	0.8	0.7	0.7	0.7	0.5	0.7	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6
	PERSIANN	0.6	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	0.7
CSI	TRMM	0.2	0.4	0.4	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
	GPM	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3
	ERA5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
	PERSIANN	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]



شکل ۳-تغییرات مقادیر شاخص‌های طبقه‌بندی بارندگی روزانه ایستگاه‌های باران‌سنج ثبات محدوده مورد مطالعه

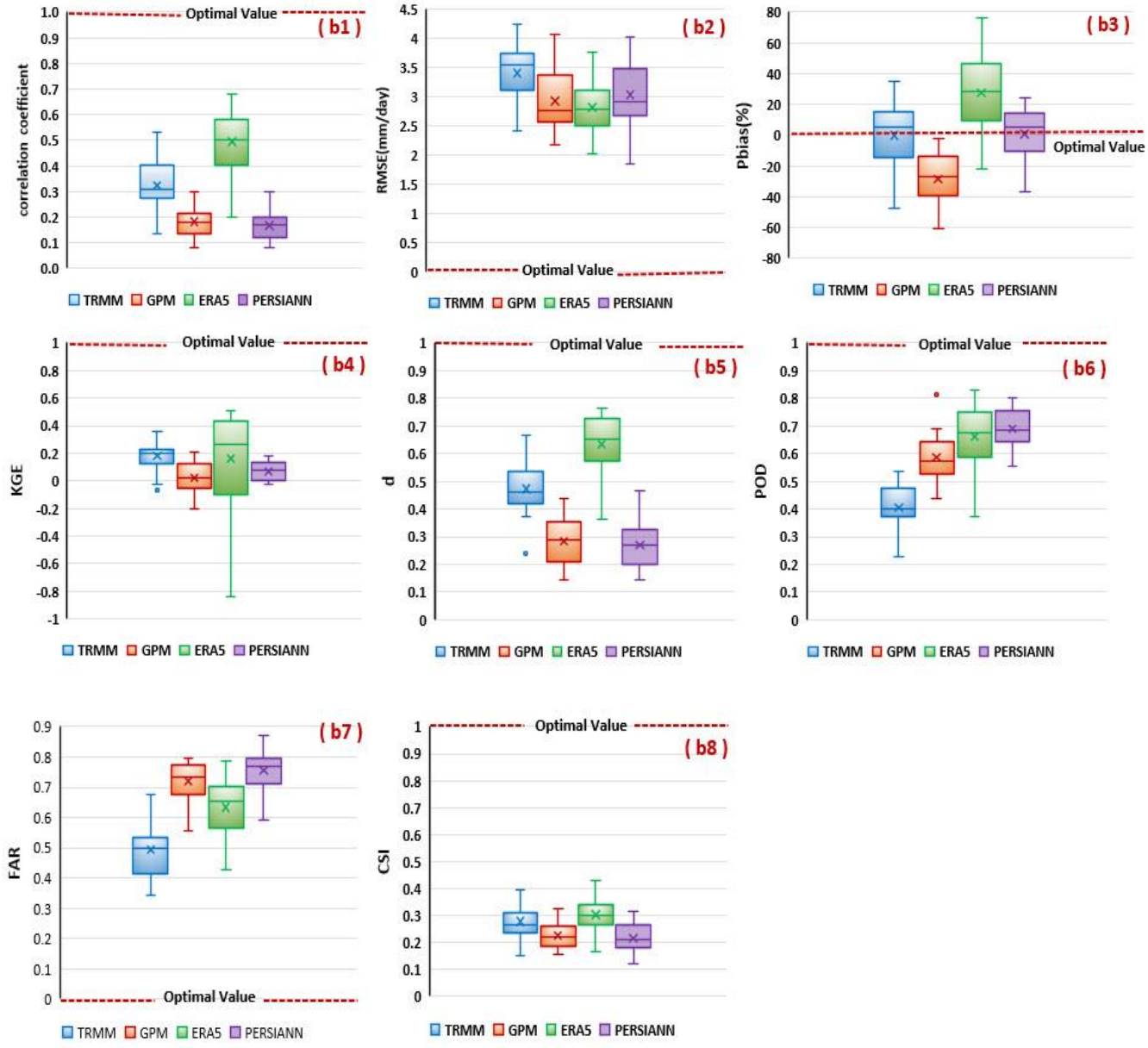
Figure 3- Changes in the values of daily rainfall classification indices of the stability rain gauge stations of the studied area

برای مقایسه و ارزیابی شاخص‌های آماری، عملکردی و طبقه‌بندی محصولات ارائه شده توسط TRMM، GPM، ERA5 و PERSIANN از دیاگرام Box-Whisker استفاده به عمل آمد، با توجه به شکل ۴، دامنه تغییرات ضریب همبستگی (CC) بین 0.08 تا 0.68 متغیر است، کم‌ترین همبستگی مربوط به داده‌های PERSIANN و GPM و بیش‌ترین آن مربوط به محصول ERA5 است، به‌طوری‌که برای این پایگاه داده، در ۷۵ درصد ایستگاه‌ها، ضریب همبستگی بیش‌تر از ۰/۴ بوده و در بیش از ۵۰ درصد موارد این ضریب بالاتر از ۰/۵ است. دامنه تغییرات RMSE بین ۱/۸۴ تا ۴/۲۵ میلی‌متر در روز متغیر است، به‌طوری که حد پایین آن مربوط به داده‌های PERSIANN و کران بالای آن به داده‌های TRMM اختصاص دارد. با توجه به ارزیابی شاخص‌های مرکزی می‌توان نتیجه گرفت که ERA5 عملکرد مناسب‌تری از خود نشان داده است، به‌گونه‌ای که در ۷۵ درصد ایستگاه‌ها، مقدار RMSE در این پایگاه داده، کم‌تر از ۳/۱ میلی‌متر در روز است. با توجه به شکل ۴، درصد سوگیری (Pbias)، تقریباً در کلیه ایستگاه‌ها، توسط ERA5 مثبت بوده و بیش برآورد دارد، در صورتی‌که GPM کاهش برآورد نسبت به مقادیر واقعی را نشان می‌دهد. کم‌ترین و بیش‌ترین درصد سوگیری مربوط به GPM و ERA5 به‌ترتیب به میزان ۶۰/۷- و ۷۶/۴ درصد است، این در حالی است که TRMM و PERSIANN نیز در بیش از ۵۰ درصد موارد دارای جهت‌گیری مثبت هستند. مقادیر Pbias برای دو محصول TRMM و PERSIANN دارای تمرکز بیش‌تری حول صفر بوده، بنابراین دارای عملکرد مناسب‌تری هستند. شاخص عملکرد KGE در بازه ۰/۸- تا ۰/۵ دارای تغییر است، در ۵۰ درصد از ایستگاه‌ها، ERA5 دارای KGE بیش از ۰/۳ است، که در مقایسه با سایر محصولات مورد ارزیابی از عملکرد مناسب‌تری در تخمین بارش روزانه برخوردار است. شاخص توافق یکی دیگر از شاخص‌های تشخیص وضعیت عملکرد مدل‌ها در تولید داده است (شکل ۴)، این شاخص بین ۰/۱۴ تا ۰/۷۶ برای داده‌های تولید شده توسط چهار محصول مورد ارزیابی، متغیر است، کم‌ترین مقدار آن مربوط به داده‌های GPM بوده و بیش‌ترین مقدار آن، متعلق به داده‌های ERA5 است. در ۵۰ درصد ایستگاه‌ها، داده‌های تولید شده توسط ERA5 دارای شاخص توافق بیش از ۰/۶۵ است و از این حیث محصولات مدل شده توسط ERA5 از عملکرد مطلوب‌تری برخوردار است.

نمودارهای شاخص‌های طبقه‌بندی برای تعیین عملکرد محصولات ارائه شده توسط TRMM، GPM، ERA5 وPERSIANN در تشخیص روزهای همراه با بارندگی در شکل ۴ ارائه شده است. دامنه تغییرات احتمال تشخیص (POD) روز بارانی چهار محصول مورد ارزیابی، بین ۰/۲ تا ۰/۸ تغییر می‌کند که پایین‌ترین و بالاترین این شاخص به‌ترتیب متعلق به TRMM وERA5 است. در نیمی از ایستگاه‌ها، ERA5 و PERSIANN با احتمال ۶۸ درصد قادر به تشخیص روز بارانی بوده‌اند، PERSIANN با توجه به دامنه تغییرات محدودتر، نسبت به ERA5، در این خصوص برتری نسبی دارد. نسبت هشدار اشتباه (FAR) یکی دیگر از معیارهای طبقه‌بندی است، حداقل و حداکثر میزان تغییرات برای این شاخص بین ۰/۳۴ تا۰/۸۷ متغیراست، که به‌ترتیب به TRMM و PERSIANN اختصاص دارد، با توجه به این‌که در ۵۰ درصد ایستگاه‌ها، TRMM دارای نسبت هشدار اشتباه با احتمال کم‌تر از ۰/۵ هستند، بنابراین TRMM نسبت به سایر سنجنده‌ها و پایگاه‌های داده از عملکرد نسبی بهتری دراین خصوص برخوردار بوده و ERA5 بعد از TRMM قرار گرفته است. علاوه بر این، شاخص موفقیت بحرانی (CSI) برای ایستگاه‌ها، بین ۰/۱۲ تا ۰/۴۳ متغیر بودکه کم‌ترین و بیش‌ترین آن به‌ترتیب مربوط به PERSIANN و ERA5 است. با توجه به مقادیر آماری به‌دست آمده از شاخص موفقیت بحرانی (CSI)، برای ۵۰ درصد ایستگاه‌های مورد ارزیابی، این شاخص برای ERA5 بیش از ۰/۲۷ برآورد شد که در مقایسه با سایر محصولات مورد ارزیابی از برتری نسبی برخوردار بود.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]



شکل ٤– نمودار باکس–ویسکر شاخص‌های آماری، عملکرد و طبقه‌بندی بارندگی روزانه

Figure 4 - Box-Whisker diagram of statistical indicators, performance and classification of daily rainfall

ارزیابی متوسط شاخص‌های آماری و طبقه‌بندی در سطح استان

به‌منظور دستیابی به متوسط تغییرات شاخص‌های آماری درسطح محدوده مورد مطالعه و ارزیابی محصولات TRMM، GPM، ERA5 و PERSIANN در استان خراسان رضوی، میانگین شاخص‌های آماری و طبقه‌بندی برای ۱۹ ایستگاه مورد استفاده محاسبه و در جدول ۶ ارائه شد. با توجه به شکل ۵، به‌طور متوسط در سطح استان خراسان رضوی، محصولات ERA5 با ضریب همبستگی ۰/۵ و RMSE برابر ۲/۸ میلی‌متر در روز، دارای عملکرد نسبی بهتری در میان محصولات مورد ارزیابی است، از نظر سوگیری نسبی (Pbias)، PERSIANN و TRMM به‌ترتیب با ۲/۴ و ۳/۴– درصد انحراف، عملکرد مناسب‌تری را از خود نشان داده‌اند. متوسط شاخص‌های ارزیابی و عملکرد KGE و d نشان از برتری عملکرد ERA5 در تولید داده در سطح استان خراسان رضوی دارد. متوسط مقادیر شاخص‌های طبقه‌بندی در سطح استان خراسان رضوی، گویای برتری ERA5 در احتمال تشخیص (POD) و شاخص موفقیت بحرانی (CSI) بوده و همین پایگاه داده، بعد از TRMM کم‌ترین نسبت هشدار اشتباه را داشته است.

علاوه بر معیارهای فوق برای تشخیص بهترین سنجنده و یا پایگاه داده، که بتواند به‌طور متوسط در سطح محدوده مطالعاتی مقادیر بارش روزانه را برآورد نماید، از دیاگرام تیلور نیز استفاده شد. شکل ۵ به‌خوبی نشان داد که پایگاه داده ERA5 به‌طور متوسط عملکرد مناسب‌تری

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

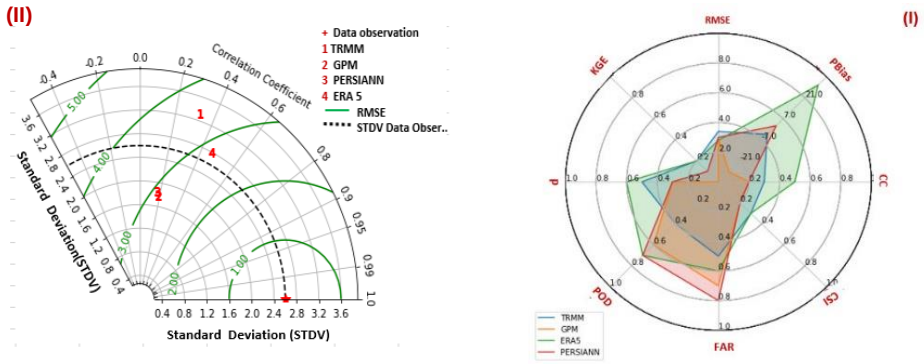
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

نسبت به سایر داده‌های موردارزیابی در ارائه بارش روزانه داشته است، زیرا دارای بالاترین ضریب همبستگی(CC)، کم‌ترین جذر میانگین مربع خطاها (RMSE) و هم‌چنین انحراف معیاری (STDV)[1] نزدیک به داده‌های مشاهداتی است.

جدول ٦– متوسط مقادیر شاخص‌های آماری، عملکرد و طبقه‌بندی بارش روزانه در سطح استان خراسان رضوی

Table 6- Average values of statistical indicators, performance and classification of daily rainfall in Razavi Khorasan Province

CSI	FAR	POD	D	KGE	RMSE (mm)	Pbias (%)	CC	سنجنده/پایگاه داده
0.3	0.5	0.4	0.5	0.2	3.4	-3.4	0.3	TRMM
0.2	0.7	0.6	0.3	0.0	2.9	-28.2	0.2	GPM
0.3	0.6	0.7	0.6	0.2	2.8	29.6	0.5	ERA5
0.2	0.8	0.7	0.3	0.1	3.0	2.4	0.2	PERSIANN



شکل ٥- تغییرات متوسط شاخص‌های آماری درسطح محدوده مورد مطالعه (I) ودیاگرام تیلور (II)

Figure 5- Average changes of statistical indicators at the level of the studied area (I) &Taylor Diagram (II)

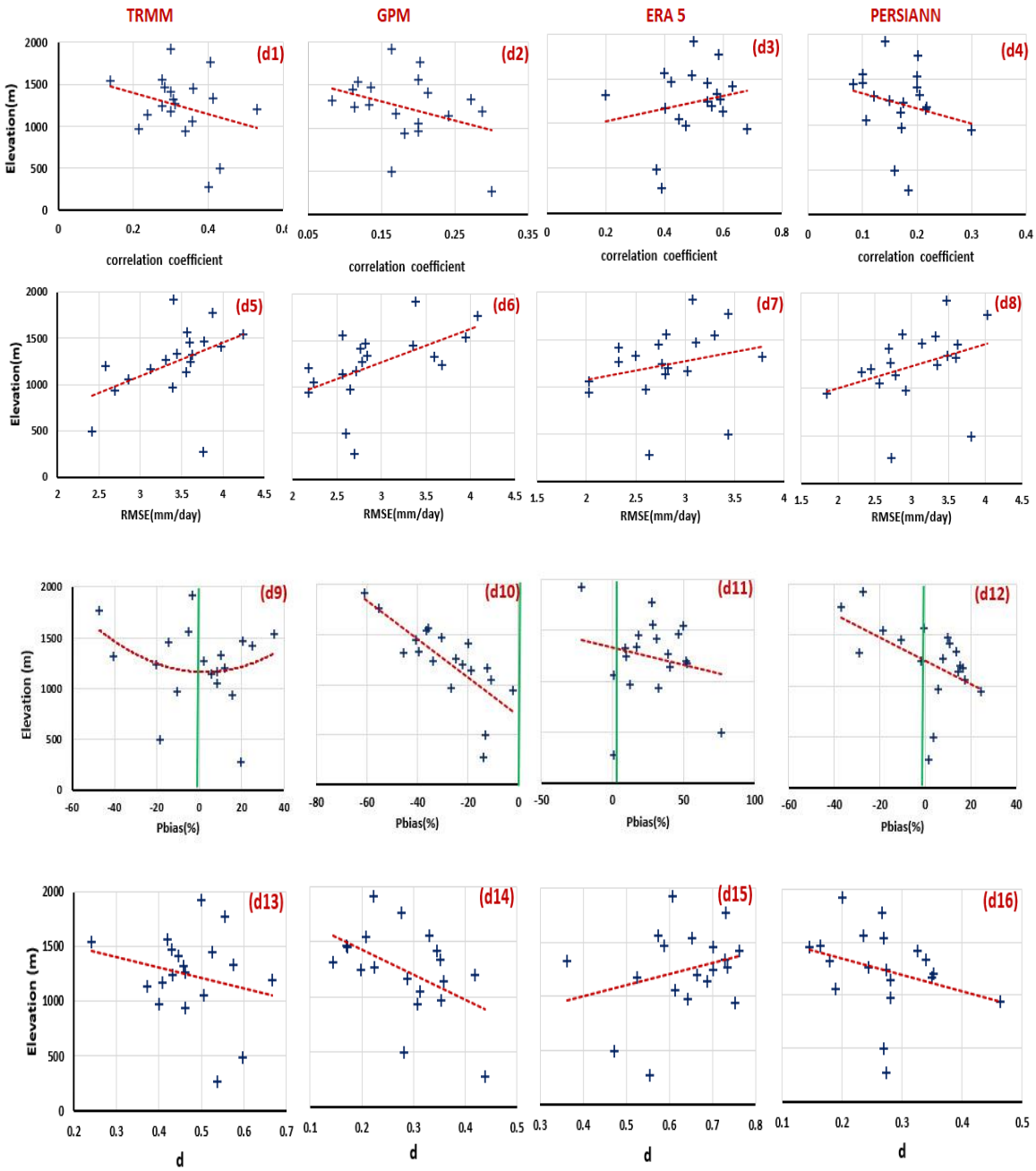
ارزیابی عملکرد داده‌های مورد استفاده با ارتفاع

به‌منظور ارزیابی محصولات مورد استفاده در این پژوهش و تعیین روند تغییرات شاخص‌های آماری، عملکرد و طبقه‌بندی با تغییر ارتفاع در محدوده مورد مطالعه، اقدام به بررسی و روندیابی این تغییرات شد (شکل ۶ نمودارهای d1 تا d28). دامنه تغییرات ارتفاع ایستگاه‌های باران‌سنج مورد استفاده، بین ۲۷۳ تا ۱۹۲۰ متر از سطح دریا بوده و توزیع مکانی آن‌ها به‌گونه‌ای است که تقریباً بخش عمده‌ای از سطح این محدوده را پوشش می‌دهند. ضریب همبستگی (CC) در کلیه محصولات، با افزایش ارتفاع کاهش یافته به استثنا ERA5 که دارای روندی افزایشی با افزایش ارتفاع است (نمودار d1 تا d4)، RMSE در تمام ایستگاه‌های مورد ارزیابی، با افزایش ارتفاع، افزایش یافته اما این آهنگ در داده‌های ERA5 کندتر از سایر محصولات است (نمودار d5 تا d8). درصد سوگیری (Pbias) در تمام محصولات با افزایش ارتفاع از مقدار بهینه (صفر) فاصله گرفته اما در ERA5 با افزایش ارتفاع این جهت‌گیری به مقدار بهینه نزدیک‌تر می‌شود (نمودار d9 تا d12). شاخص توافق (d)، در سطح محدوده مورد مطالعه برای همه محصولات با افزایش ارتفاع روندی نزولی داشته اما ERA5 از این قاعده مستثنی بوده و با افزایش ارتفاع عملکرد بهتری از خود به نمایش گذاشته است (نمودار d13 تا d16). احتمال تشخیص روز بارانی (POD) با افزایش ارتفاع در GPM و PERSIANN روندی کاهشی دارد اما برای TRMM وERA5 با افزایش ارتفاع افزایش داشته و بهتر عمل می‌کند، این افزایش در ERA5 با آهنگی کندتر نسبت به TRMM صورت می‌گیرد (نمودار d17 تا d20). روند تغییرات نسبت هشدار اشتباه (FAR) در برابر ارتفاع، در تمام محصولات، با افزایش ارتفاع، به مقدار بهینه (صفر) نزدیک می‌شود اما این روند برای ERA5 عکس سایرین است (نمودار d20 تا d24). در رابطه با شاخص موفقیت بحرانی (CSI) نیز افزایش ارتفاع نقش موثری در بهبود عملکرد این شاخص در کلیه محصولات ایجاد نموده است اما در ERA5 با افزایش ارتفاع میزان این شاخص کاهش می‌یابد.

[1] Standard Deviation

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

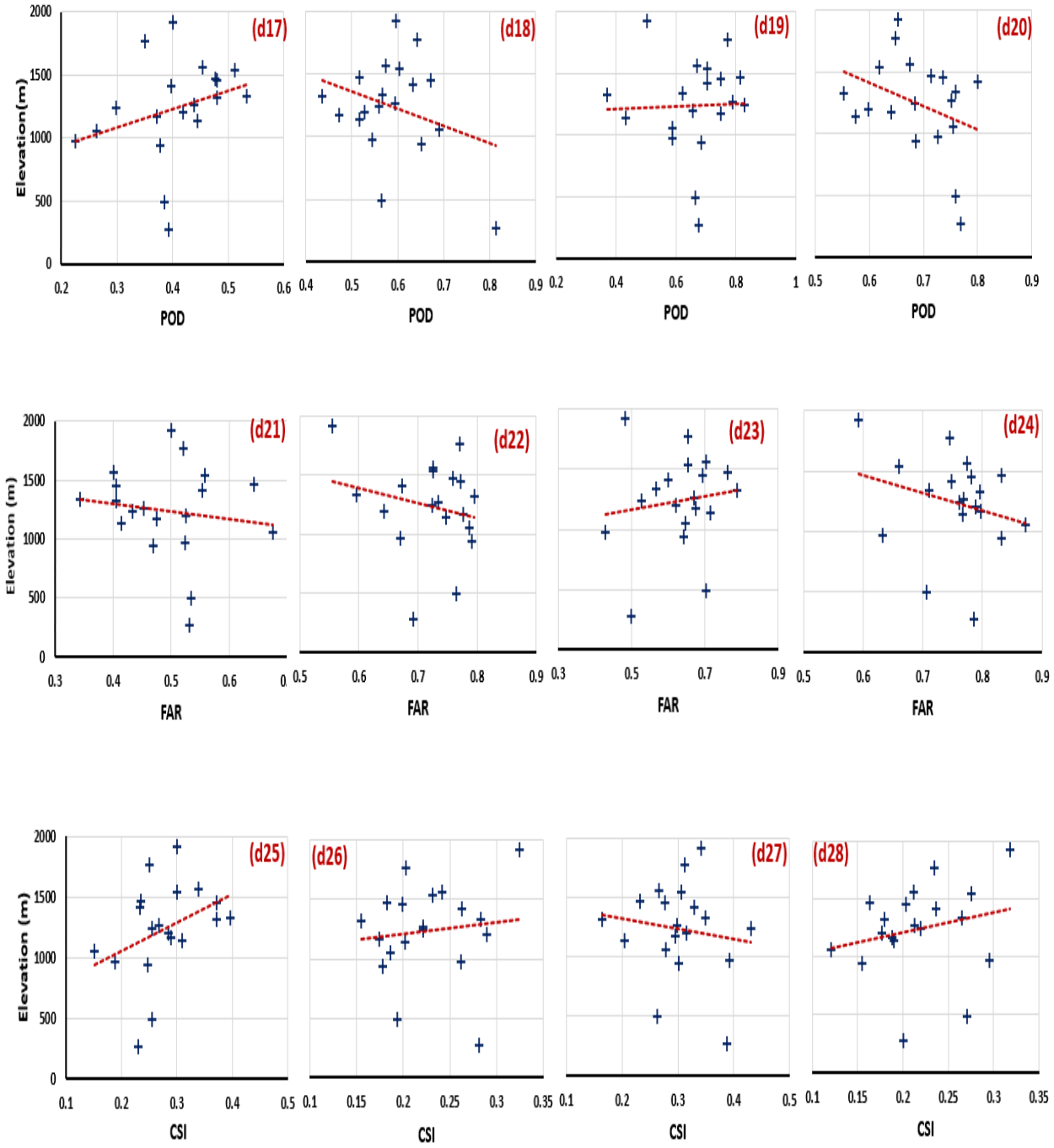


شکل ٦– تغییرات شاخص‌های آماری و عملکرد بارندگی روزانه محصولات ماهواره‌ها و سنجنده‌های با ارتفاع در محدوده مورد مطالعه

Figure 6– Changes in statistical indicators and daily rainfall performance of satellites and height gauges in the studied area

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]



ادامه شکل ٦– تغییرات شاخص‌های آماری و عملکرد بارندگی روزانه محصولات ماهواره‌ها و سنجنده‌های با ارتفاع در محدوده مورد مطالعه

Contined Figure 6– Changes in statistical indicators and daily rainfall performance of satellites and height gauges in the studied area

بحث

این تحقیق نشان داد که در مقیاس روزانه، داده‌های مورد ارزیابی، نتایج متفاوتی ارائه می‌دهند، هر چند از نظر وضوح زمانی و مکانی دارای تفاوت‌هایی هستند، اما نتایج، حاکی از آن است که سنجنده GPM علی‌رغم بهره‌مندی از تکنولوژی پیچیده‌تر و افزایش دقت مکانی و بالا رفتن وضوح زمانی، در مقیاس روزانه از عملکرد ضعیف تری نسبت به سایر محصولات مورد ارزیابی برخوردار است و ERA5 به‌عنوان یک پایگاه داده از دقت قابل قبولی بهره‌مند است.

منشأ اختلاف در دقت محصولات، می‌تواند، عدم استفاده از ایستگاه‌های زمینی یکسان در تولید نقشه‌های شبکه‌بندی بارش مورد استفاده در الگوی تصحیح داده‌های تخمینی مدل، باشد، همچنین عدم انطباق مقیاس مکانی بین نقشه‌های شبکه‌بندی شده بارش

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

ایستگاه‌های زمینی و محصولات تولید شده از دیگر مواردی است که می‌توان به آن اشاره نمود، بنابراین تغییر موقعیت مکانی، می‌تواند بر میزان دقت وعملکرد محصولات سنجنده‌ها و پایگاه‌های داده تأثیرگذار باشد، از این‌رو ارزیابی دقت آن‌ها در مکان‌های مختلف اجتناب‌ناپذیر است. تأثیر روند تغییرات بارش، از شرق به غرب و از جنوب به شمال در محدوده مورد مطالعه، بر شاخص‌های آماری، عملکرد و طبقه‌بندی داده‌های مورد ارزیابی کاملاً محسوس بوده و به‌عنوان فاکتوری مهم در تحلیل‌های آماری باید مد نظر قرار گیرد. ارتفاع به‌عنوان دیگر پارامتر موثر بر تغییر شاخص‌های آماری، عملکرد و طبقه‌بندی در محدوده مورد مطالعه مورد ارزیابی واقع شد، محصولات مورد بررسی، واکنش و حساسیت‌های متفاتی نسبت به تغییر ارتفاع از خود نشان داده به‌طوری که در بعضی افزایش ارتفاع، باعث کاهش عملکرد و دقت، در تخمین داده‌های بارش شده و در برخی دیگر منجر به افزایش دقت، عملکرد و طبقه‌بندی شده است.

تعداد کم و توزیع نامناسب ایستگاه‌های باران‌سنج ثبات در منطقه مورد مطالعه و تراکم آن‌ها در محدوده ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر ازسطح دریا، باعث به وجود آمدن محدودیت در انجام مطالعات و نتایج به‌دست آمده شده است، هم‌چنین بروز خشکسالی‌های متعدد در سال‌های اخیر در استان خراسان رضوی و پایان ماموریت سنجنده TRMM در همین دوره از یک سو و محدود بودن سنوات آماری سنجنده GPM از سوی دیگر منجر به کاهش دامنه عمل، در انتخاب سال‌های آماری مورد تحلیل، به سه سال شاخص، ترسالی، نرمال و خشکسالی شد.

حاجی میررحیمی و همکاران (۱۳۸۷)، میری و همکاران (۱۳۹۷) طی تحقیقات جداگانه بر روی کشور ایران ازعدم کارایی و عملکرد GPM و TRMM درمقیاس روزانه خبر دادند که نتایج به‌دست آمده در این پژوهش در مورد GPM نظر ایشان را تایید می‌کند، هم‌چنین، علی‌بخشی و همکاران (۱۳۹۶)، بی‌همتا و همکاران (۱۳۹۷)، صادقی و همکاران (۱۳۹۷)، اکبری و همکاران (۱۳۹۸) و پیرمرادیان و همکاران (۲۰۲۲) با مطالعه و ارزیابی داده‌های بارش روزانه GPM و TRMM در برابر داده‌های زمینی به عملکرد مناسب GPM در برابر TRMM اشاره داشته‌اند که نتایج حاصل از این تحقیق عکس موضوع را بیان می‌کند. عزیزی و همکاران (۱۳۹۹) و نجفی و همکاران (۱۴۰۱) با بررسی داده‌های بارش روزانه ERA5 و مقایسه آن بامحصولات دیگر به دقت و عملکرد مناسب این پایگاه داده در کشور اذعان داشته‌اند که نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نظرات ایشان را تأیید می‌کند. کتیرایی بروجردی (۱۳۹۲) و نجفی و همکاران (۱۴۰۱) عملکرد پایگاه داده پرشین را در کشور مناسب ارزیابی ننمودند که نتایج به‌دست آمده از این مطالعه با نظرات ایشان همسو است و نامناسب بودن داده‌های بارش روزانه پرشین را تأیید می‌کند. لویی و همکاران (۲۰۱۷)، فنکلین ژو و همکاران (۲۰۱۹) مقادیر بارش روزانه TRMM وGPM را ارزیابی نموده و داده‌های آن‌ها را دارای سوگیری مثبت ارزیابی کرده اما لیو و همکاران (۲۰۲۰) داده‌های بارش روزانه GPM را دارای سوگیری منفی تشخیص داده و از عملکرد بهتر GPM نسبت به TRMM خبر داده‌اند، اما نتایج حاصل از این تحقیق سوگیری GPM را منفی و عملکرد TRMM نسبت به GPM بهتر ارزیابی نموده است.

مقادیر بارش پایگاه‌های داده قبل از ارائه، با شبکه بارش زمینی مقایسه شده و تصحیح بر روی آن‌ها صورت می‌پذیرد، اما آن‌چه در ارتباط با عملکرد مناسب‌تر پایگاه داده ERA5 می‌توان ابراز کرد این است که:

- مقادیر بارش این پایگاه داده با تأخیر اندکی نسبت به زمان واقعی باز تحلیل شده و تصحیحات لازم بر مقادیر خروجی اعمال می‌شود.
- شبکه بارش زمینی مورد استفاده در کالیبره نمودن داده‌های ERA5 از کیفیت و دقت بالایی برخوردار است.
- الگوریتم باز تحلیل مورد استفاده برای داده‌های ERA5، الگوریتمی توانمند است که به‌نظر می‌رسد تأثیر عوامل و پدیده‌های منطقه‌ای هم‌چون توپوگرافی، پوشش گیاهی، طول و عرض جغرافیایی و دوری و نزدیکی به منابع آب به‌خوبی در آن لحاظ شده است.

نتیجه‌گیری

این مطالعه ارزیابی جامعی از بارش روزانه TRMM، GPM، ERA5 وPERSIANN در سطح استان خراسان رضوی در مقابل ۱۹ باران‌سنج ثبات متعلق به وزارت نیرو برای سه سال مرطوب، خشک و متوسط را ارائه نموده است. تغییرات مقادیر آماری شاخص‌های مرکزی، عملکرد و طبقه‌بندی را برای هر چهار محصول، مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و اثر ارتفاع بر آن‌ها شناسایی شد. مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده از این تحقیق عبارت است از:

- مقادیر شاخص‌های آماری برای داده‌های مورد ارزیابی، در محل ایستگاه‌ها دارای تغییرات نسبی زیاد بوده اما در مجموع ERA5 و TRMM دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر سنجنده‌ها و پایگاه‌های داده هستند.
- میانگین و برآیند مقادیر شاخص‌های آماری بارش روزانه، در سطح منطقه مورد مطالعه، حاکی از دقت و عملکرد مناسب‌تر ERA5 بوده و سنجنده TRMM بعد از آن، بهترین عملکرد را به‌خود اختصاص داده است.
- عملکرد محصولات مورد ارزیابی در برابر تغییر ارتفاع متفاوت بوده به‌طوری که برخی محصولات، در مناطق پست دارای عملکرد مناسب هستند و بعضی دیگر با افزایش ارتفاع به مقادیر بهینه نزدیک می‌شوند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

- با توجه به عملکرد مناسب ERA5 در استان خراسان رضوی توصیه می‌شود برای انجام مطالعاتی که زمان واقعی در آن‌ها از اهمیت کم‌تری برخوردار است، از مقادیر بارش روزانه این پایگاه داده استفاده شود.

با توجه به اهمیت موضوع و رشد فزاینده استفاده از محصولات ماهواره‌ای در حوزه تحقیقات هواشناسی و علوم جوی و سرعت چشم‌گیر پیشرفت تکنولوژی در سنجش از دور، پیشنهاد می‌شود، مقادیر بارش‌های کوتاه‌مدت پایگاه‌های داده دیگر، با وضوح زمانی و مکانی متفاوت، مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گیرند. هم‌چنین، تأثیر اقلیم‌های مختلف در نتایج عملکرد محصولات سنجنده‌ها و پایگاه‌های داده، مسئله‌ای درخور توجه است که باید مورد بررسی و واکاوی قرار گیرد. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود تأثیر عوامل مختلفی هم‌چون، طول و عرض جغرافیایی، توپوگرافی، پوشش گیاهی، دوری و نزدیکی به منابع آب، بر مقادیر بارش ارائه شده توسط پایگاه‌های داده پرداخته شده و علت اختلاف بر مقادیر ارائه شده تجزیه و تحلیل شود.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: دسترسی به داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول امکان‌پذیر است.

حمایت مالی: این پژوهش مستخرج ازرساله دکتری می باشد و تحت حمایت دانشگاه فردوسی مشهد به انجام رسیده است.

مشارکت نویسندگان: این پژوهش توسط مجید رجبی جاغرق به‌صورت طرح اولیه تهیه شد و سپس توسط سید محمد موسوی بایگی، سید علیرضا عراقی و هادی جباری نوقابی اصلاح و تکمیل شد.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: از شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی به دلیل همکاری صمیمانه در ارائه آمارواطلاعات مورد نیاز تشکروقدردانی می‌شود.

منابع

۱. حاجی میررحیمی، سید محمود، و فیضی‌زاده، بختیار(۱۳۸۷). بررسی دقت داده‌های رادار زمینی و TRMM در برآورد بارش. *همایش ژئوماتیک ۸۷ تهران*. https://civilica.com/doc/37057

۲. کتیرایی بروجردی، پر سیما (۱۳۹۲). مقایسه داده‌های بارش ماهانهٔ ماهواره‌ای و زمینی در شبکه‌ای با تفکیک زیـاد روی ایـران. *ژئوفیزیک ایران*، ۷۴، ۱۶۰-۱۴۹. magiran.com/p1229158

۳. علی‌بخشی، سیده مریم، فرید حسینی، علی رضا، داوری، کامران، علیزاده، امین، و هنری، مونیکا (۱۳۹۶). ارزیابی داده‌های بارش زمینی، ماهواره GPM و MERRA (مطالعه موردی، حوضه آبریز کشف‌رود). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۹(۱۸)، ۱۲۲-۱۱۱. http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-740-fa.html

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

۵. میری، مرتضی، رحیمی، مجتبی، و نوروزی، علی اصغر (۱۳۹۷). ارزیابی دقت برآورد بارش روزانه پایگاه داده‌های TRMM و GPM در مقابل داده‌های مشاهداتی در ایران. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۴)، ۹۷۲-۹۸۳. https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.121397.1469

۶. اکبری، جواد، و کاظم‌زاده، مجید (۱۳۹۸) ارزیابی دقت توزیع مکانی بارش ماهواره TRMM 3B43 در اقالیم مختلف کشور ایران. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۳(۴۴)، ۷۳-۸۲. http://jwmsei.ir/article-1-733-fa.html

۷. صادقی، حمیدرضا، معصوم پورسماکوش، جعفر، و میری، مرتضی (۱۳۹۷). ارزیابی داده‌های دورسنجی GPM در مقابل داده‌های مشاهداتی (مورد مطالعه: غرب میانه ایران). *سنجش از دور و GIS ایران*، ۱۱(۲)، ۱۳۴-۱۱۵. https://doi.org/10.52547/gisj.11.2.115

۸. عزیزی، جوانشیر، رسول‌زاده، علی، رحمتی، اکبر، شایقی، افشین، و باختر، آیدین (۱۳۹۹). ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل شده ERA5 در تحلیل بارش روزانه و ماهانه در استان اردبیل. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۱(۱۱)، ۲۹۳۷-۲۹۵۱. https://www.sid.ir/paper/402729/fa

۹. نجفی، محمد سعید، و اکبری مقدم‌ثانی، سجاد (۱۴۰۱). ارزیابی کارایی سه پایگاه داده در برآورد سری زمانی بارش‌های حدی در ایران. *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۳(۱۱)، ۷۹-۹۸. https://civilica.com/doc/1616873

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

References

1. Akbari Chaharborj, J., & Kazemzadeh, M. (2019), Accuracy evaluation of rainfall distribution of TRMM 43B3 satellite in the different climates of Iran. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 13*(44), 73-82. [In Persian]
2. Alibakhshi, S. M., Farid Hossini, A., Davari, K., Alizadeh, A., & Munyka, H. (2019). Assessment of Ground Station, GPM Satellite and MERRA Precipitation Products in Kashafrud Basin. *Journal of Watershed Management Research, 9*(18), 111-122. [In Persian]
3. Azizi Mobaser, J., Rasoulzadeh, A., Rahmati, A., Shayeghi, A., & Bakhtar, A. (2021). Evaluating the Performance of Era-5 Re-Analysis Data in Estimating Daily and Monthly Precipitation, Case Study; Ardabil Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research, 51*(11), 2937-2951. [In Persian]
4. Ashouri, H., Hsu, K.-L., Sorooshian, S., Braithwaite, D.K., Knapp, K.R., Cecil, L.D., Nelson, B.R., & Prat, O.P. (2015). PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96, 69–83.
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 & GIS, 10*(2), 45-60. [In Persian]
6. Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., Chiogna, G., & 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.
7. Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology, 377*(1-2), 80-91.
8. Gupta Kling, H., Fuchs, M., & Paulin, M. (2012). Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, 424, 264-277.
9. Haji Mir Rahimi, M., & Faizizadeh, B. (2017). Checking the accuracy of ground radar and TRMM data in precipitation estimation. *87th Tehran Geomatic Conference.* [In Persian]
10. Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A. A., Kummerow, C. D., Kojima, M., Oki, R., Nakamura, K., & Iguchi, T. (2014). The global precipitation measurement mission. *Bulletin of the American Meteorological Society, 95*(5), 701-722.
11. Huffman, G., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K., & Joyce, R. (2015). Algorithm theoretical basis document (ATBD) Version4. 5: For the NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite E Retrievals for GPM (IMERG), *GPM Project*.
12. Huffman, G. J., Adler, R. F., Bolvin, D. T., & Nelkin, E. J. (2007). The TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA): Quasi global, multiyear, combined-sensor precipitation estimate at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8, 38–55.
13. Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R., Kidd, C., Nelkin, E. J., Sorooshian, S., Tan, J., and Xie, P. (2019). NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG). In Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD); NASA/GSFC: Greenbelt, MD, USA. Available online: https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/public/project/GPM/IMERG_ATBD_V06.pdf (accessed on 20 March 2021).
14. Katiraie Boroujerdy, P. S. (2012). Comparison of high-resolution gridded monthly satellite and ground-based precipitation data over Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 74, 160-149. [In Persian]
15. Kumar, L.S., Lee, Y.H., Yeo, J.X., & Ong, J.T. (2011). Tropical rain classification and estimation of rain from Z-R (reflectivity-rain rate) relationships. Prog. Electromagn. Res. B, 32, 107–127
16. Kummerow, C., Barnes, W., Kozu, T., Shiue, J., & Simpson, J. (1998). The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 15*(3), 809-817.
17. Liu, J., Du, J., Yang, Y. and Wang, Y. (2020). Evaluating extreme precipitation estimations based on the GPM IMERG products over the Yangtze River Basin, China. Geomatics, Natural *Hazards and Risk, 11*(1), 601-618.
18. Yi, L., Zhang, W. & Wang, K. (2018). Evaluation of heavy precipitation simulated by theWRF model using 4D-Var data assimilation with TRMM 3B42 and GPM IMERG over the Huaihe River Basin, China. *Remote Sensing*, 10(4), 646.
19. Miri, M., Rahimi, M., & Noroozi, A. (2019). Evaluation and comparison of GPM and TRMM daily precipitation with observed precipitation across Iran. *Watershed Engineering and Management, 11*(4), 972-983. [In Persian]
20. Mahmoud, M.T., Mohammed, S.A., Hamouda, M.A., & Mohamed, M.M. (2020). Impact of topography and rainfall intensity on the accuracy of IMERG precipitation estimates in an arid region. *Remote Sensing*, 13, 13.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]

21. Najafi, M. S., & Akbari Moghadam Sani, S. (2022). Evaluation the performance of three gridded datasets in estimating the time series of extreme precipitation in Iran. *Climate Change Research, 3*(11), 79-98. [In Persian]
22. Pirmoradian, R., Hashemi, H., & Fayne, J. (2022). Performance evaluation of IMERG and TMPA daily precipitation products over CONUS (2000–2019). *Atmospheric Research, 279*, 106389.
23. Rana, S.; McGregor, J.; Renwick, J. Precipitation seasonality over the Indian subcontinent: An evaluation of gauge, reanalyses, and satellite retrievals. Journal of Hydrometeorology, 2015, 16, 631–651.
24. Sadeghi, H. R., Masoompour, 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 & GIS, 11*(2), 115-124. [In Persian]
25. Sorooshian, S., Duan, Q., & Gupta, V. K. (1993). Calibration of rainfall-runoff models: Application of global optimization to the Sacramento Soil Moisture Accounting Model. *Water Resources Research, 29*(4), 1185-1194.
26. Sorooshian, S., Gao, X., Hsu, K., Maddox, R. A., Hong, Y., Gupta, H. V., & Imam, B. (2002). Diurnal variability of tropical rainfall retrieved from combined GOES and TRMM satellite information. *Journal of Climate, 15*(9), 983-1001.
27. Smith, E. A., 2007. International Global Precipitation Measurement (GPM) Program andMission: An overview, in: Levizzani, V., Bauer, P., and Turk, F. J.: Measuring Precipitation from Space: EURAINSAT and the Future. Advances in Global Change Research, 28, 611653, Springer, Dordrecht, Netherlands, 2007.
28. Tan, J., Petersen, W. A., & Tokay, A. (2016). A novel approach to identify sources of errors in IMERG for GPM ground validation. *Journal of Hydrometeorology, 17*(9), 2477-2491.
29. Willmott, C.J. (1985) Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 90(C5), 8995-9005.
30. Xu, F., Guo, B., Ye, B., Ye, Q., Chen, H., Ju, X., & Wang, Z. (2019). Systematical evaluation of GPM IMERG and TRMM 3B42V7 precipitation products in the Huang-Huai-Hai Plain. China. *Remote Sensing, 11*(6), 697.
31. Yu, L., Leng, G., Python, A., Peng, J. A. (2021). Comprehensive evaluation of latest GPM IMERG V06 early, late and final precipitation products across China. *Remote Sensing*, 13, 1208.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-09-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.6.4]