



Evaluation and Analysis of Intensive Daily Precipitation Data of GPM Satellite Versus Observed in Urmia Lake Catchment

Hashem Rotamzadeh ^{1*} | Saied Jahanbakhsh ² | Mir Kamel Hosseini ³ | Mohammad Omidfar ⁴

1. Associate Professor Department of Hydrology and Meteorology Faculty of planning and Environmental Sciences University of Tabriz, Tabriz, Iran. hrotamzadeh@gmail.com
2. Professor of Hydrology and Meteorology Department Faculty of planning and Environmental Sciences University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3. Phd Student of Climatology University of Tabriz, Tabriz, Iran.
4. Head of Forecasting of East Azabaijan Meteorological Organization, Tabriz, Iran.

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received 11 April 2022

Received in revised form 20 July 2022

Accepted 8 November 2022

Published online 19 February 2024

Keywords:

Urmia Lake catchment, statistical index, ground rainfall, heavy rainfall, GPM satellite

Changes in the incidental behaviors are among the most important aspects of global climate change with significant consequences on human society and the environment. Monitoring and measuring heavy rainfall events are important for understanding the nature of severe weather fundamentals and future assessment. In this study, GPM satellite rainfall data was compared with ground station data to identify heavy daily rainfall (rainfalls of 25 mm or more) in an 8-year period (2014-2021) at 20 synoptic stations. Statistics such as coefficient of determination (R^2), correlation coefficient (R) and root mean square error (RMSE) were used to compare and evaluate the observational and satellite data. Comparison of the maps obtained from GPM satellites and ground stations showed that the spatial distribution of precipitation from two similar bases is the same and the low and high rainfall areas correspond to the region. GPM satellite detected precipitation zones fit well so that the spatial correlation coefficient between GPM satellite and observed was 0.81. The results of the ANOVA test between the average rainfall on the ground and the GPM satellite showed that due to the low significance level of p-value of 0.000, the assumption of the same average rainfall between the two databases is rejected and the result is that there is a significant difference between the average rainfalls in 2 data bases in ground and satellite stations. Also, the results of Kolmogorov-Smirnov test showed that considering that the obtained p-value (0.819) is higher than the error value of the test (0.05), then the difference between satellite precipitation data and ground observations is not significant. In fact, the rainfall values recorded in the GPM satellite and ground stations provide the same result, and both statistical populations have a uniform distribution, and there is a relative correspondence between the satellite data and the observed data of the ground stations, and the satellite data can be used instead of rainfall data from the stations are used to estimate damages caused by natural hazards such as floods.

Cite this article: Rostamzadeh, H; Jahanbakhsh, S; Hoseini, K; Omidfar, M . (2024). Evaluation and Analysis of Intensive Daily Precipitation Data of GPM Satellite Versus Observed in Urmia Lake Catchment . *Journal of Geography and Planning*, 27 (86), 1-20. <http://doi.org/10.22034/GP.2022.51078.2988>

© The Author(s).

Publisher: University of Tabriz.



DOI: <http://doi.org/10.22034/GP.2022.51078.2988>

Extended Abstract

Introduction

Precipitation is the most important hydrological variable that creates a link between the atmosphere and surface processes (Masoudian, 2013, 73). Therefore, accurate estimation of heavy rains is a very important and effective factor for planning related to water resources management, flood forecasting and quick warning, and natural disaster management and reduction. (Sun et al., 2018; Tan et al., 2017; Prakasha et al., 2016). Accurate estimation of precipitation using meteorological stations is very difficult due to the lack of extensive coverage of meteorological stations in mountainous and rugged areas, and this has caused geography researchers to turn to remote sensing and satellite images.

Keywords: Urmia Lake catchment, statistical index, ground rainfall, GPM satellite heavy rainfall

Data and Method

In this research, daily heavy rainfall data and also satellite data GPM satellite precipitation is used. To evaluate the accuracy and accuracy of GPM satellite precipitation data, with the data measured in terrestrial synoptic stations and the ability of GPM satellite to detect the amount of precipitation from statistical indices such as coefficient of determination (R^2), correlation coefficient (R), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Error (ME), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSCE), Slope, False Alarm Ratio (FAR), Probability of Detection (POD) Critical Success Index (CSI). Analysis of variance (Anova) analysis was also used for significant relationship between mean precipitation in both terrestrial and satellite databases and Kolmogorov-Smirnov two-sample test was used to compare between ground and modeled precipitation data.

Results and Discussion

The results of evaluation and validation of rainfall station and satellite data show that, based on the R^2 index, the coefficient of determination between observed and estimated rainfall is less than 0.50, except for Maragheh station. The values of the correlation coefficient at the significance level of 0.95 between the observed and estimated rainfalls by GPM satellite were investigated. The root mean square error (RMSE) shows that the value of this index is greater than zero in all stations, which indicates the low accuracy of the GPM satellite in estimating rainfall in the study area. Also, FAR, POD and CSI statistical indicators were checked between the observed and estimated data of the stations and the results showed that more than 90% of the daily rainfalls were correctly identified by the GPM satellite. The results of the Kolmogorov-Smirnov test also show that the obtained p-value (0.819) is higher than the error value of the test (0.05), so it can be concluded that the amount of precipitation recorded in ground stations and modeled using GPM It provides the same result.

Conclusion

In this research, the rainfall data estimated by the GPM satellite was evaluated with the rainfall recorded by the ground stations as observational data. Comparison of the maps obtained from GPM satellite and ground stations showed that the spatial distribution of rainfall from two databases is similar and the areas with low rainfall and high rainfall are consistent with each other. The results of the ANOVA test between the average rainfall on the ground and the GPM satellite showed that due to the low significance level of the p-value of 0.000, the assumption of the same average rainfall between the two databases is rejected, and therefore there is a significant difference between the average rainfall in the ground stations. And there is a satellite. Also, the results of Kolmogorov-Smirnov test showed that considering that the obtained p-value (0.819) is higher than the error value of the test (0.05), then the difference between satellite precipitation data and ground observations is not significant.

References

- Ahmadzadeh, Ebrahim, Valizadeh Kamran, Khalil, Mokhtari, Daoud, Rasouli, Ali Akbar, (1401), Exploring the extreme precipitation in Tehran province using the peak over threshold values model, Journal of Geography and Planning, Volume 26, Number 79, 1-12. [In Persian]
- Ali Bakshi, Seyedah Maryam. Farid Hosseini, Alireza. Judge, Kamran. Alizadeh, Amin. Monica, Henry, (2017), Validation of rainfall data from satellites (GPM, MERRA, TRMM) and ground stations in the CREST rainfall-runoff model (case study: Kashf Roud watershed), watershed management research paper, year IX, No. 18, 121-111. [In Persian]
- Arshad, M., Ma, X., Yin, J., Ullah, W., Ali, G., Ullah, S., Liu, M., Shahzaman, M., & Ullah, I. (2020), Evaluation of GPM-IMERG and TRMM-3B42 precipitation products over Pakistan, Atmospheric Research, Vol: 249, 1-50.

- Bi-Hamta, Arash. Gharanzad, Hamid. Moazzami, Saber. (2017), investigation of GPM and TRMM satellite rainfall data in daily, monthly and seasonal scales in Tehran. *Iran Remote Sensing and GIS*, 10th year, 2nd issue, 45-60. [In Persian]
- Biswas, S., & Chandrasekar, V. (2018), Cross-Validation of Observations between the GPM Dual-Frequency Precipitation Radar and Ground Based Dual-Polarization Radars, *Remote Sensing*, Vol: 10(11), 1773-1791.
- Boluwade, A. (2020), Spatial-Temporal Assessment of Satellite-Based Rainfall Estimates in Different Precipitation Regimes in Water-Scarce and Data-Sparse Regions, *Atmosphere*, Vol: 11 (9), 1-26.
- Dembélé, M., & Zwart, S. J. (2014), Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso West Africa. *Int. J. Remote Sens*, 37, 3995–4014.
- Doswell, C. A., Davies-Jones, R., & Keller, D. L. (1990), On summary measures of skill in rare event forecasting based on contingency tables. *Weather and Forecasting*, 5, 576–585.
- 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*, Vol, 10(11).
- 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. *Atmos. Res*, 176–177 (2016), 121–133.
- Jahanbakhsh Asal, Saeed, Sari Saraf, Behrouz, Asakreh, Hossein, Shirmohammadi, Soheila, (1401), Identification of extreme precipitation events in the west of Iran (1965-2016), *Geography and Planning Journal*, Volume 26, Number 79, 115-125 . [In Persian]
- Maghsood, F. F., Hashemi, H., Hosseini, S. H., & Berndtsson, R. (2020), Ground Validation of GPM IMERG Precipitation Products over Iran, *Remote Sensing*, Vol: 12(1). 1-23.
- 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*, Vol: 219, 200-212.
- Miri, Morteza. Rahimi, Mojtaba. Nowrozi, Ali Akbar. (2018), evaluating the accuracy of daily rainfall estimation of TRMM and GPM databases against observational data in Iran. *Watershed Engineering and Management*, Vol., 11, No., 4, 983-972. [In Persian]
- Mohammed, S. A., Hamouda, M. A., Mahmoud, M. T., & Mohamed. M. M. (2020), Performance of GPM-IMERG precipitation products under diverse topographical features and multiple-intensity rainfall in an arid region, *Hydrology and Earth System Sciences, Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/hess-2019-547>.
- Moazami, S. & Najafi, M. R. (2021), A comprehensive evaluation of GPM-IMERG V06 and MRMS with hourly ground-based precipitation observations across Canada. *Hydrology*, Vol: 594, 1-17.
- Moriasi D. N., Arnold J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007), Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, Vol 50, No 3: 885-900.
- Nashwan, M. S., Shahid, S., & Wang, X. (2019), Assessment of satellite-based precipitation measurement products over the hot desert climate of Egypt. *Remote Sens*, 11, 555.
- Ordoni, Masoumeh. Memarian, Hadi. Akbari, Morteza. Pourreza Bilandi, Mohsen, (2019), validation of GPM satellite rainfall data in half-hourly and daily scale (case study: Gorganrood watershed), *conservation researches Water and soil*, volume twenty-seven, number four, 166-144. [In Persian]
- Pakoksung, K., & Takagi, M. (2016), Effect of satellite-based rainfall products on river basin responses of runoff simulation on flood event. *Modeling Earth Systems and Environment*. Vol: 2 (3), 143, 1-14.
- Prakash, S. Mitra, A. K., Paic, D. S., & AghaKouchak, A. (2016), From TRMM to GPM: How well can heavy rainfall be detected from space? *Advances in Water Resources* 88, 1–7.
- Parandeh Khozani, Akram. (2017), Investigating the process of spatial and temporal changes in the snow cover of the Zagros mountain region and its relationship with atmospheric circulation patterns and climate changes, PhD thesis, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz. [In Persian]
- Qin, Y. Chen, Z. Shen, Y. Zhang, S. & Shi, R. (2014), Evaluation of satellite rainfall estimates over the Chinese Mainland. *Remote Sens*, 6(11), 11649–11672.
- Raziei, Tayyab. Jahanbakhsh Asal, Saeed. Parandeh Khozani, Akram. Sari Saraf, Behrouz. (2017), evaluation of the accuracy of snow phase identification models from rain in meteorological stations of Zagros mountain region, *Iran Water Resources Research*, year IV, Issue III, 85-102. [In Persian]
- Sadeghi, Hamidreza. Masoumpour Samakosh, Jafar. Miri, Morteza. (2018), evaluation of GPM remote sensing rainfall data against observational data (case study: Midwestern Iran), *Iran Remote Sensing and GIS*, 11th year, 2nd issue, 115-124. [In Persian]
- Social and Cultural Committee of Urmia Lake Restoration Headquarters, (2014), paragraphs 6-4-3. [In Persian]

- Saouabe, T. El khalki, E. El mehdi saidi, M. Najmi, A. Hadri, A. Rachidi, S. Jadoud, M. & Trambly, Y. (2020), Evaluation of the GPM-IMERG Precipitation Product for Flood Modeling in a Semi-Arid Mountainous Basin in Morocco. *J. Water*, Vol: 12, Issue: 9.
- Shirmohammadi, Z. A., & Akbari, A. (2020), Ground validation of diurnal TRMM 3B42 V7 and GPM precipitation products over the northeast of Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol: 142, 1413-1423.
- Sumin, R., Sungwook, H., 2018, Accuracy Assessment of the Satellite-based IMERG's Monthly Rainfall Data in the Inland Region of Korea. *Earth science society*, Vol: 39(6) 533-544.
- Sun, W. Sun, Y. Li, X. Wang, T. Wang, Y. Qiu, Q. & Deng, Z. (2018), Evaluation and Correction of GPM IMERG Precipitation Products over the Capital Circle in Northeast China at Multiple Spatiotemporal Scales. *Adv. Meteorol.* 4714173.
- Tan, M. L., & Santob, H. (2018), Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia, *Atmospheric Research*, Vol: 202, 63-76.
- Tan, M. & Duan, Z. (2017), Assessment of GPM and TRMM Precipitation Products over Singapore. *Remote Sens*, 9, 720, 1-16.
- 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, 229.
- Tan, M. L., Tan, K. C., Chua, V. P., & Chan, N. W. (2017), Evaluation of TRMM product for monitoring drought in the Kelantan River Basin, Malaysia. *Water*, 9, 57.
- Varikoden, H. Preethi, B. Samah, A. A., & Babu, C. A. (2011), Seasonal variation of rainfall characteristics in different intensity classes over Peninsular Malaysia. *J. Hydrol*, 404, 99-108.
- Villarini, G. Mandapaka, P. V., Krajewski, W. F., & Moore, R. J. (2008). Rainfall and sampling uncertainties: a rain gauge perspective. *J. Geophys. Res.* 113 [https://doi.org/ 10.1029/2007JD009214](https://doi.org/10.1029/2007JD009214), 1-12.
- Wilks, D. S. (2011), *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Volume 100, Third Edition (International Geophysics), USA.
- Xu, F. Guo, B. Ye, B. Ye, Q. Chen, H. Ju, X. Guo, J. & Wang, Zh. (2019), Systematical Evaluation of GPM IMERG and TRMM 3B42V7 Precipitation Products in the Huang-Huai-Hai Plain, China *Remote Sens*, 11, 697.
- Yuan, F. Limin Zhang, O. Wun Soe, K. m., Ren, L. Zhao, C. Zhu, Y. Jiang, S. & Liu, A. (2019), Applications of TRMM- and GPM-Era Multiple-Satellite Precipitation Products for Flood Simulations at Sub-Daily Scales in a Sparsely Gauged Watershed in Myanmar. *Remote Sensing*, Vol: 11(2), 1-31.
<https://Giovanni.gsfc.nasa.gov>.



ارزیابی و تحلیل بارش‌های شدید روزانه برآوردی ماهواره GPM در مقابل داده‌های بارش مشاهده‌ای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

هاشم رستم زاده^{۱*} | سعید جهانبخش^۲ | میر کامل حسینی^۳ | محمد امیدفر^۴

۱. دانشیار گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. hrostmazadeh@gmail.com
۲. استاد گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۴. رئیس پیش بینی سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تغییر در رفتار پدیده‌های بارشی از مهمترین جنبه‌های تغییرات آب و هوایی جهانی محسوب می‌شود که با پیامدهای قابل توجهی برای جامعه انسانی و محیط زیست همراه است. پایش و اندازه گیری‌های مؤثر رویدادهای بارشی شدید برای درک ماهیت اساسی پدیده‌های شدید آب و هوایی و ارزیابی تغییرات آینده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مطالعه، داده‌های بارش ماهواره GPM با داده‌های ایستگاه‌های زمینی برای شناسایی بارش‌های شدید روزانه (بارش‌های ۲۵ میلی‌متر به بالا) در یک دوره ۸ ساله (۲۰۲۱-۲۰۱۴) در ۲۰ ایستگاه سینوپتیک مقایسه گردید. برای مقایسه و ارزیابی بین داده‌های مشاهده‌ای و ماهواره‌ای از آماره‌هایی نظیر، ضریب تعیین (R^2)، ضریب همبستگی (R) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)،... استفاده شد. مقایسه نقشه‌های حاصل از ماهواره GPM و ایستگاه-های 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 به خوبی تشخیص داده است به طوری که ضریب همبستگی موقعیت مکانی بین بارش ماهواره GPM و مشاهده شده ۰/۸۱ می‌باشد. نتایج آزمون ANOVA بین میانگین بارش‌های زمینی و ماهواره GPM نشان داد که با توجه به سطح معنی‌داری پایین p -value به مقدار ۰/۰۰۰ فرض یکسان بودن میانگین بارش بین دو پایگاه داده رد می‌شود و نتیجه این که اختلاف معنی‌داری بین میانگین بارش در ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ای وجود دارد. همچنین نتایج آزمون کلموگراف-اسمیرنوف نشان داد که با توجه به اینکه p -value حاصل شده (۰/۸۱۹) عددی بالاتر از مقدار خطای آزمون (۰/۰۵) است، پس اختلاف بین داده‌های بارش ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی معنی‌دار نیست. در واقع مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی و ماهواره GPM نتیجه واحد را ارائه می‌دهد و هر دو جامعه آماری از توزیع یکنواختی برخوردار هستند و مطابقت نسبی بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده شده ایستگاه‌های زمینی وجود دارد و داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند به جای داده‌های بارش ایستگاه‌ها استفاده شده و در برآورد خسارات ناشی از مخاطرات طبیعی مثل سیل مورد استفاده قرار بگیرند.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰

کلیدواژه‌ها:

حوضه آبریز دریاچه ارومیه، شاخص آماری، بارش زمینی، بارش شدید، ماهواره GPM

استناد: رستم زاده، هاشم؛ جهانبخش، سعید؛ حسینی، میر کامل؛ 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)، ۲۰-۱.

<http://doi.org/10.22034/GP.2022.51078.2988>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

محصولات بارش ماهواره‌ای به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع داده‌های بارش در مطالعات هیدرولوژی، اقلیم‌شناسی و هواشناسی در چند دهه اخیر پدیدار شده‌اند. استفاده از این محصولات در مطالعه الگوهای بارش جهانی و منطقه‌ای موفق بوده‌اند (واریکودن و همکاران، ۲۰۱۱، ۱۰۰). بارش مهم‌ترین متغیر آب‌شناختی است که پیوند میان جو و فرایندهای سطحی را برقرار می‌سازد (مسعودیان، ۱۳۹۳، ۷۳). بنابراین برآورد دقیق بارش‌های شدید برای برنامه‌ریزی‌های مرتبط با مدیریت منابع آب، پیش‌بینی سیل و هشدار سریع، و مدیریت بلایای طبیعی و کاهش آن‌ها عاملی بسیار مهم و موثر است. (سان و همکاران، ۲۰۱۸؛ تان و همکاران، ۲۰۱۷؛ پراکاشا و همکاران، ۲۰۱۶). با این حال، برآورد دقیق این پدیده به ویژه در مناطقی با مشاهدات پراکنده و یا در زمین‌های ناهموار چالش برانگیز است. اگرچه اندازه‌گیری‌های مستقیم بارش با استفاده از باران‌سنج‌ها به عنوان دقیق‌ترین مشاهدات در نظر گرفته می‌شوند (معظمی و نجفی، ۲۰۲۱، ۲)، با وجود این، کمبود و توزیع ناهمگون این ایستگاه‌های زمینی در مناطق کوهستانی و دورافتاده، دسترسی به اندازه‌گیری‌های مکرر را با مشکل مواجه می‌سازد (نشوان و همکاران، ۲۰۱۹؛ سو و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر این، عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌های زمینی به دلیل خطاهای ناشی از وزش باد و مقادیر از دست رفته استفاده از آن‌ها را نیز محدود می‌کند (گوا و همکاران، ۲۰۱۶، ۱۲۲). در دسترس بودن اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای رصد زمین، در حال حاضر امکان ردیابی و نظارت بر سیستم‌های بارش سنگین در مقیاس منطقه‌ای و جهانی را فراهم می‌سازد (پراشکا و همکاران، ۲۰۱۶، ۲). افزایش دقت برآورد و همچنین شناسایی منابع خطاها برای بهبود الگوریتم‌ها و توسعه ماهواره‌ها و اعتبارسنجی دقیق داده‌های بارش ماهواره‌ای در هر منطقه لازم است. علاوه بر این، ارزیابی صحت داده‌ها با در نظر گرفتن جوانب مثبت و منفی برآورد بارش از آن‌ها، قبل از استفاده از داده‌ها در مدل‌سازی هیدرولوژیکی هر منطقه ضروری است (دمبله و زوارت، ۲۰۱۶، ۳۹۹۶). کاربرد محصولات بارش ماهواره‌ای به دلیل پوشش فضایی گسترده، اندازه‌گیری مداوم، رایگان و در دسترس بودن برخی از محصولات، در زمان تقریباً واقعی از طریق اینترنت به سرعت در حال افزایش است (تان و همکاران، ۲۰۱۷، ۳). مهم‌تر از همه این که، محصولات بارش ماهواره‌ای می‌توانند بر محدودیت پوشش فضایی مشاهدات زمینی مبتنی بر نقطه، در مناطق کوهستانی و اقیانوسی که شرایط دسترسی کمتری دارند غلبه کنند (تان و همکاران، ۲۰۱۷، ۶۴). مطالعات زیادی در ارتباط با محصولات ماهواره‌ای GPM^1 در تخمین مقدار بارش صورت گرفته‌اند که به طور نمونه به مواردی از آن‌ها اشاره می‌شود: پاکوکسونگ و تاکاگی^۲ (۲۰۱۶)، تأثیر داده‌های بارشی ماهواره GPM را برای شبیه‌سازی رواناب در رویداد سیل در تایلند بررسی کردند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که محصولات مبتنی بر ماهواره GPM در مقایسه با میانگین داده‌های بارشی مشاهده شده، بهترین عملکرد را ارائه داده‌اند. تان و دوان^۳ (۲۰۱۷) به ارزیابی محصولات بارش GPM و $TRMM^4$ در سنگاپور پرداختند. یافته‌ها نشان داد که همه محصولات بارشی ماهواره‌ها با اندازه‌گیری از ایستگاه‌های باران‌سنجی در مقیاس ماهانه نسبت به مقیاس روزانه، همبستگی خوبی دارند. گیلوسکی و ناوالانی^۵ (۲۰۱۸) به مقایسه بین بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی، رادار و ماهواره GPM برای تخمین عملکرد مدل‌سازی بارش-رواناب در یک حوضه آبریز کوهستانی در لهستان پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که برای مدل‌سازی مبتنی بر رویداد سیل، تخمین بارش رادار منظم بوده و تخمین بارش ماهواره GPM قابل اطمینان‌ترین منابع داده بارش هستند. بیسواس و چاندرسکار^۶ (۲۰۱۸) با استفاده از مشاهدات بین رادار بارش دو فرکانسی GPM و رادارهای دو قطبی زمینی به اعتبارسنجی متقابل در ایالات متحده آمریکا پرداخته و در نهایت عملکرد کلی آن را رضایت بخش اعلام نموده‌اند. سومین و سانگ ووک^۷ (۲۰۱۸) به ارزیابی صحت داده‌های ماهانه بارندگی $IMERG$ در منطقه داخلی کره جنوبی پرداختند که داده‌های GPM در مقایسه با مشاهدات ایستگاه‌های خودکار هواشناسی همبستگی زیاد

1. Global Precipitation Measurement
2. Pakoksung & Takagi
3. TAN & Duan
4. Tropical Rainfall Measuring Mission
5. Gilewski & Nawalany
6. Biswas & Chandrasekar
7. Sumin & Sungwook

۰/۹۵ را نشان دادند. تان و سانتوب^۱ (۲۰۱۸) محصولات بارش ماهواره‌ای GPM IMERG، TMPA 3B42 و PERSIANN-CDR را در مالزی مقایسه کرده و به این نتیجه رسیدند که تمام محصولات ماهواره‌ها در اندازه‌گیری‌های بارندگی سالانه و ماهانه عملکرد خوبی دارند. محمود^۲ و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از محصولات بارشی ماهواره GPM به ارزیابی مکانی-زمانی بارش در امارات متحده عربی پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده GPM توانسته به عنوان یک محصول قابل اعتماد برای تکمیل و یا جایگزینی اندازه‌گیری‌های بارش زمینی برای مناطق غیر قابل اندازه‌گیری یا ضعیف کاربری داشته باشد. یوان^۳ و همکاران (۲۰۱۹) کاربردهای محصولات بارش چند ماهواره TRMM و GPM برای شبیه‌سازی سیل در مقیاس روزانه در یک حوضه آبریز در میانمار را بررسی کردند، این مطالعه نشان داده که IMERG-F در مقایسه با مدل قبلی خود یعنی B42V7^۳، دقت بیشتری را در ارزیابی‌های آماری و هیدرولوژیکی دارد و جایگزینی قابل اعتمادی برای ماهواره TRMM در منطقه مورد مطالعه است. ارشد^۴ و همکاران (۲۰۲۰) محصولات بارشی GPM و TRMM را در پاکستان در بازه‌های زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از معیارهای خطای آماری متعدد ارزیابی کردند. به طور کلی همه محصولات بارشی ماهواره‌ها در مناطق مرکزی و جنوبی در مقایسه با شمال منطقه مورد مطالعه عملکرد خوبی داشته‌اند. صائب و همکاران^۵ (۲۰۲۰) در مراکش اقدام به ارزیابی محصولات بارشی GPM در یک حوضه نیمه خشک کوهستانی در مراکش برای مدل‌سازی سیل پرداخته و عنوان کرده‌اند که تخمین‌های بارش GPM می‌توانند برای مدل‌سازی سیل در مناطق نیمه خشک مانند مراکش مورد استفاده قرار گرفته و جایگزین ارزشمندی برای اندازه‌گیری‌های بارشی زمینی باشند. بولوواد^۶ (۲۰۲۰) ارزیابی مکانی-زمانی برآورد بارش ماهواره‌ای را در رژیم‌های مختلف بارش در مناطق کم آب و مناطقی با داده‌های پراکنده در کشور عمان مطالعه کردند. نتایج نشان داد که از هر دو محصول ماهواره‌ای GPM و TRMM می‌توان در مناطقی با ایستگاه‌های باران سنجی کم و یا به عنوان مشاهده اضافی برای مطالعات رخدادهای شدید آب و هوایی استفاده کرد. شیرمحمدی و اکبری (۲۰۲۰) اعتبارسنجی زمینی محصولات بارشی روزانه TRMM 3B42 V7 و GPM را در شمال شرقی ایران در بازه زمانی روزانه، ماهانه و فصلی انجام دادند. تمام محصولات بارش ماهواره‌ای با اندازه‌گیری داده‌های باران سنج در مقیاس زمانی ماهانه و روزانه، همبستگی خوبی نشان داده‌اند. محمد^۷ و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی عملکرد محصولات بارشی GPM-IMERG را در یک منطقه خشک در کشور عربستان بررسی کردند. نتایج ارزیابی نشان داد که در ارزیابی فصلی، محصولات بارشی در فصول بهار و تابستان عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند، در حالی که در فصول پاییز و زمستان از دقت نسبتاً کمتری برخوردار هستند. مقصود^۸ و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی اعتبارسنجی زمینی محصولات بارش GPM IMERG را در ایران با داده‌های بارش زمینی در ایستگاه‌های سینوپتیک در سراسر کشور (۲۰۱۷-۲۰۱۴) انجام دادند. نتایج این مطالعه درک عملکرد محصول IMERG را بهبود بخشیده و دریچه‌ای برای مطالعات آینده در مورد کاربردهای این محصولات آب و هواشناسی در ایران را باز کرده است. در داخل کشور نیز، دارند و خاندو^۹ (۲۰۲۰) به ارزیابی آماری مجموعه داده‌های بارش شبکه‌بندی شده با استفاده از مشاهدات باران‌سنج در ایران پرداختند و نتایج نشان داد که سری‌های زمانی بارش میانگین مکانی همه محصولات در ردیابی تغییرات ماه به ماه به خوبی عمل می‌کند و اکثر محصولات با توجه به مشاهدات باران‌سنج مرجع، میزان بارش را کمتر از حد برآورد می‌کنند. نتایج همچنین نشان داد که بین مشاهدات باران‌سنج و محصولات شبکه‌بندی شده در فصول بارندگی (زمستان، بهار و پاییز) نسبت به فصل خشک (تابستان) تطابق بهتری وجود دارد. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳) به معرفی و

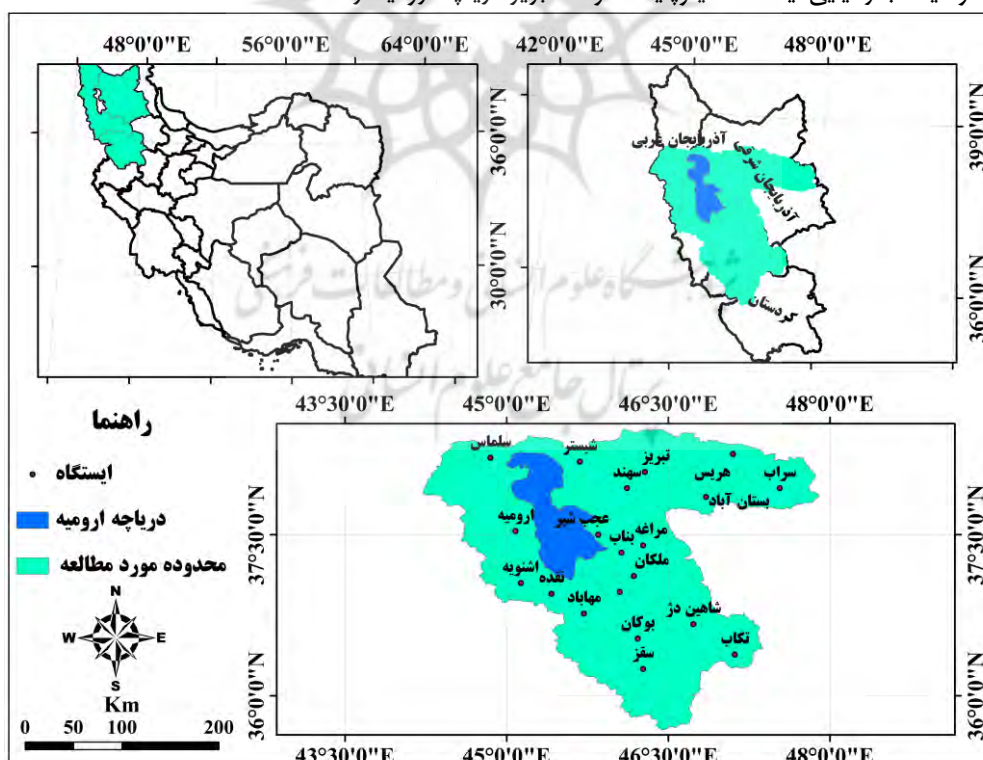
1. Tan & Santob
2. Mahmoud, et al
3. Yuan, et al
4. Arshad, et al
5. Saouabe, et al
6. Boluwade
7. Mohammed, et al
8. Maghsood, et al
9. Khandu

مقایسه پایگاه داده اسفزاری با پایگاه‌های داده^۱ GPCC،^۲ GPCP و^۳ CMAP پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که همبستگی بالایی میان پایگاه ملی و این سه پایگاه، بویژه پایگاه GPCC در فصل‌های پربارش دیده می‌شود. در تحقیقات دیگری: جهانبخش و همکاران (۱۴۰۱)، به شناسایی رخداد‌های بارش فرین غرب ایران و احمدزاده و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی بارش-های حدی در استان تهران با استفاده از مدل مقادیر اوج‌های بالاتر از آستانه و همچنین بی‌همتا و همکاران (۱۳۹۷) صادقی و همکاران (۱۳۹۷)، علی بخشی و همکاران (۱۳۹۷)، میری و همکاران (۱۳۹۸) و اردونی و همکاران (۱۳۹۹) هر کدام از پژوهشگران در مناطق مختلفی از کشور به مقایسه و تحلیل مقدار بارش ایستگاه‌های زمینی با داده‌های ماهواره GPM پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که ماهواره GPM رفتار مکانی بارش را در همه نواحی کشور به خوبی نشان می‌دهد و مطابقت خوبی بین داده‌های این ماهواره و داده‌های زمینی در همه جای کشور وجود دارد و در مقایسه با ماهواره‌های دیگر ماهواره GPM دقت لازم را برای برآورد بارش‌های کشور ایران دارد.

روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب ایران با مساحت ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع، بین مختصات $35^{\circ} 40'$ تا $38^{\circ} 30'$ عرض شمالی و $44^{\circ} 14'$ تا $47^{\circ} 53'$ طول شرقی واقع شده و یکی از شش حوضه آبریز اصلی کشور است. دریاچه ارومیه بین استان‌های آذربایجان غربی (۴۶٪)، آذربایجان شرقی (۴۳٪) و کردستان (۱۱٪) قرار دارد و به وسیله بخش شمالی کوه‌های زاگرس و دامنه‌های جنوبی کوه سبلان و نیز دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است و به عنوان بزرگترین دریاچه داخلی ایران و از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران و جهان به شمار می‌رود (ستاد احیای دریاچه ارومیه، ۱۳۹۴، ۱-۲). در جدول (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک حوضه آبریز دریاچه ارومیه ارائه شده است.



شکل (۱): منطقه جغرافیایی حوضه آبریز دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

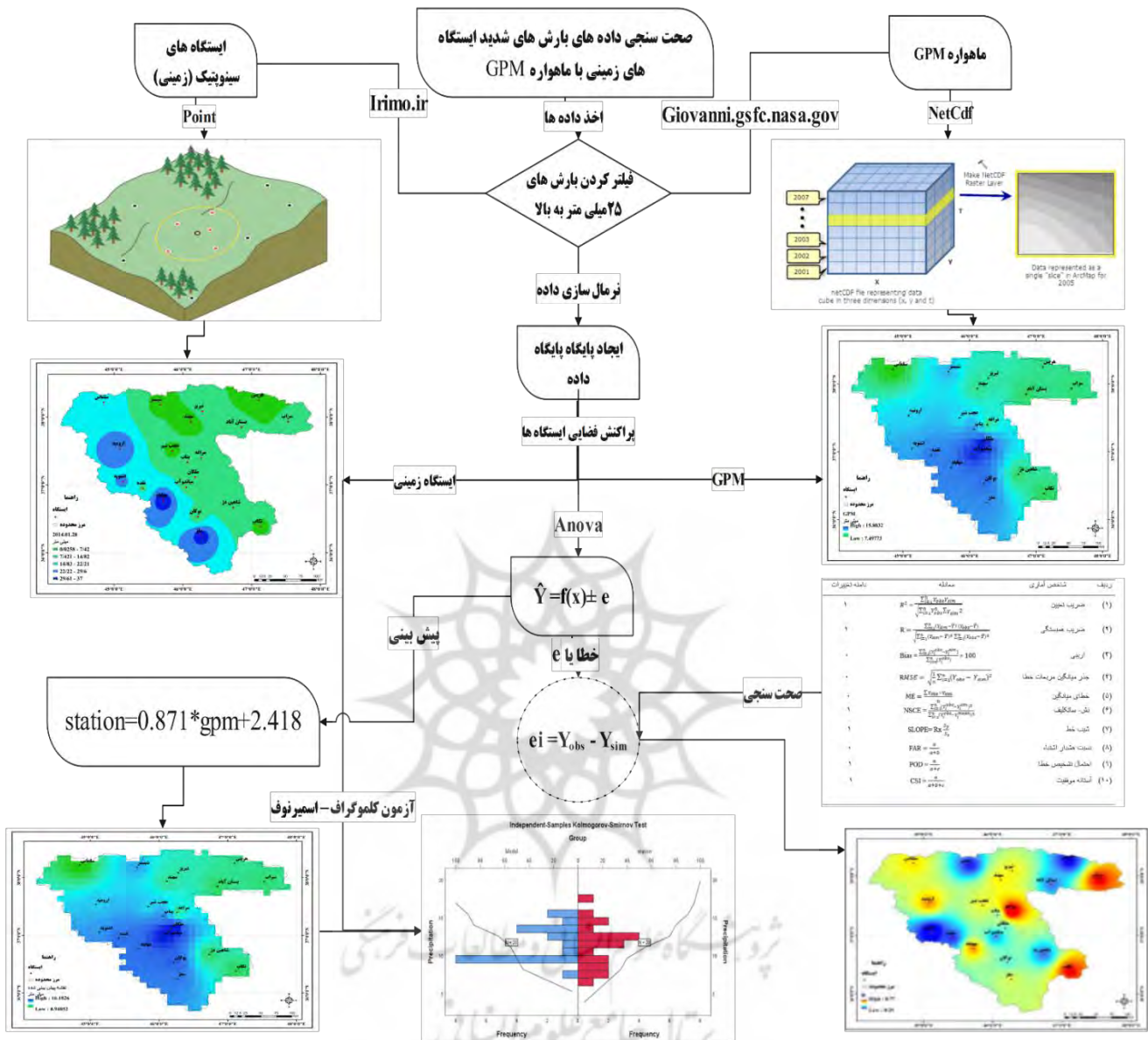
1. Global Precipitation Climatology Center
2. Global Precipitation Climatology Project
3. CPC Merged Analysis of Precipitation

جدول (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه آبریز دریاچه ارومیه

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	ارومیه	۴۵° ۰۸'	۳۷° ۵۳'	۱۳۳۵	۱۱	سهند	۴۶° ۰۷'	۳۷° ۵۶'	۱۶۴۱
۲	اشنویه	۴۵° ۱۳'	۳۷° ۰۵'	۱۴۱۴	۱۲	شاهین دژ	۴۶° ۵۷'	۳۶° ۶۶'	۱۳۶۹
۳	بستان آباد	۴۶° ۸۵'	۳۷° ۸۵'	۱۷۵۰	۱۳	مراغه	۴۶° ۱۰'	۳۷° ۰۱'	۱۳۴۴
۴	بناب	۴۶° ۰۴'	۳۷° ۲۰'	۱۲۹۰	۱۴	شبستر	۴۵° ۶۸'	۲۸° ۱۸'	۱۲۵۰
۵	بوکان	۴۶° ۲۱'	۳۶° ۵۲'	۱۳۸۶	۱۵	عجب‌شیر	۴۵° ۸۵'	۳۷° ۵۰'	۱۳۱۱
۶	تبریز	۴۶° ۱۷'	۲۸° ۰۵'	۱۳۶۴	۱۶	مهاباد	۴۵° ۷۱'	۳۶° ۷۵'	۱۲۵۲
۷	تکاب	۴۷° ۰۹'	۳۶° ۳۹'	۱۸۱۷	۱۷	میاندوآب	۴۶° ۱۵'	۳۷° ۰۰'	۱۲۷۰
۸	سراب	۴۷° ۲۳'	۳۷° ۵۶'	۱۶۸۲	۱۸	نقده	۴۵° ۴۱'	۳۶° ۹۴'	۱۳۰۷
۹	سقز	۴۶° ۲۶'	۳۶° ۲۵'	۱۵۳۳	۱۹	ملکان	۴۶° ۰۵'	۳۷° ۰۹'	۱۳۰۲
۱۰	سلماس	۴۴° ۷۶'	۲۸° ۱۸'	۱۳۷۹	۲۰	هریس	۴۷° ۱۰'	۲۸° ۲۵'	۱۹۵۰

روش تحقیق

در این پژوهش، داده‌های بارندگی روزانه زمینی و ماهواره GPM مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این تحقیق از داده‌های بارندگی شدید روزانه‌ی (بارش‌های ۲۵ میلی‌متر به بالا با استفاده از صدک ۹۰، در واقع ۵۱ مورد بارش بالای ۲۵ میلی‌متر در هر ایستگاه) ۲۰ ایستگاه سینوپتیک در حوضه آبریز دریاچه ارومیه از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱ (به لحاظ در دسترس بودن بارش ماهواره‌ی GPM) و همچنین داده‌های بارش ماهواره GPM استفاده شده است. داده‌های بارش روزانه‌ی ایستگاه‌ها از سازمان هواشناسی و داده‌های ماهواره GPM از سایت <https://Giovanni.gsfc.nasa.gov> دریافت گردید.



شکل (۲): فلوجارت مقایسه داده‌های بارش زمینی و ماهواره GPM

داده‌های بارش روزانه ماهواره GPM با محصول GPM (GPM_3IMERGDF v06) که با قدرت تفکیک مکانی 1×1 درجه از سایت Giovanni در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱ اخذ و با فرمت NetCdf داند و به کمک نرم افزار Arc GIS به داده‌های عددی تبدیل شده‌اند. در ادامه کار داده‌های زمینی به عنوان داده‌های شاهد و با کمک مدل‌های آماری مختلف، اعتبارسنجی شد و صحت سنجی داده‌های ماهواره‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده با هم مقایسه گردید. همچنین از آنالیز واریانس (Anova) برای مقایسه بین میانگین بارش‌ها در دو پایگاه داده‌ای زمینی و ماهواره‌ای و آزمون دو نمونه‌ای کلموگراف-اسمیرنوف برای مقایسه بین داده‌های بارش زمینی و مدل‌سازی شده استفاده شد. در شکل (۲) داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای GPM مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

اعتبارسنجی و صحت سنجی داده‌ها

برای ارزیابی دقت و صحت داده‌های بارش ماهواره GPM، با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک زمینی و میزان توانایی ماهواره GPM در تشخیص مقدار بارش از اندیس‌های آماری مانند ضریب تعیین (R^2)، ضریب همبستگی (R)، جذر میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE)، خطای میانگین (ME)، اریبی (Bias) شاخص یا تابع نش ساتکلیف^۲ (NSCE)، شیب خط (Slope)، نسبت هشدار اشتباه^۳ (FAR)، احتمال تشخیص خطا^۴ (POD) و شاخص آستانه موفقیت^۵ (CSI) استفاده شد. برای ارزیابی دقت مدل‌های مورد استفاده در شناسایی متغیر بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه، فراوانی روزهای بارشی و غیر بارشی برآورد شده توسط هریک از مدل‌ها با فراوانی روزهای بارشی و غیربارشی مشاهداتی هر ایستگاه مورد مقایسه قرار گرفت. برای این منظور ابتدا روزهای بارشی و غیر بارشی ایستگاه‌ها و ماهواره به وسیله مدل‌ها به مقادیر صفر و یک تبدیل و سپس فراوانی پیش‌بینی‌های درست و نادرست هر مدل از رویدادهای بارشی و غیر بارشی مشاهده‌ای در یک جدول توافقی (Cross-tabulation) دو سویه مانند جدول ۲ مرتب شد تا امکان مقایسه پیش‌بینی‌های مدل‌ها در برابر داده‌های مشاهداتی فراهم شود. در نهایت پیش‌بینی درست روزهای بارشی و غیربارشی با استفاده از ده تا از شاخص‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت (ویلکز، ۲۰۱۱ و خوزانی، ۱۳۹۷، ۳۹).

جدول (۲) نمونه شماتیک جدول توافقی دو سویه (۲*۲) از بارش‌های برآوردی و مشاهده‌ای

جدول توافقی دو سویه (۲*۲)		مشاهده	
		YES	NO
پیش‌بینی	YES	A (Hit)	B (False alarm)
	NO	C (Miss)	D (Correct Rejection)

در جدول ۲ حرف A (Hit) نشان دهنده روزهای بارشی است که به وسیله مدل درست پیش‌بینی شده‌اند، حرف B (False alarm) روزهای غیربارشی که مدل آن‌ها را به اشتباه بارش پیش‌بینی کرده است، حرف C (Miss) نشانه‌ی رویدادهای بارشی که مدل پیش‌بینی آن‌ها را از دست داده است و حرف D (Correct rejection) روزهای غیربارش که مدل هم بارشی بودن آن‌ها را به درستی رد کرده است، مشخص شده‌اند. بر این اساس، فراوانی پیش‌بینی‌های درست (Hit) و نیز رویدادهایی که روی ندادن آن‌ها به درستی تأیید شده است (Correct rejection) در یک مدل کارآمد بسیار زیاد است و در مقابل تعداد روزهایی که مدل پیش‌بینی آن‌ها را از دست داده است (Miss) و یا آن‌ها را به اشتباه هشدار داده است (False alarm) ناچیز است. برای ارزیابی دقت یک مدل در پیش‌بینی درست یک رویداد (بارش در این پژوهش) سنج‌های زیادی ارائه شده‌اند که همه آن‌ها با استفاده از اطلاعات جدول ۳ به ارزیابی و مقایسه مدل‌های مختلف می‌پردازند (رضیعی و همکاران، ۱۳۹۷، ۹۲).

1. Root Mean Square Error
2. Nash-Sutcliffe Efficiency
3. False Alarm Retio
4. Probability of Detection
5. Critical Success Index

جدول (۳) معیارهای مورد استفاده برای اعتبارسنجی و صحت‌سنجی

ردیف	شاخص آماری	معادله	دامنه تغییرات
(۱)	ضریب تعیین	$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{obs} Y_{sim}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Y_{obs}^2 \sum_{i=1}^n Y_{sim}^2}}$	۱
(۲)	ضریب همبستگی	$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{sim} - \bar{Y})(Y_{obs} - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{sim} - \bar{Y})^2 \sum_{i=1}^n (Y_{obs} - \bar{Y})^2}}$	۱
(۳)	اریبی	$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})}{\sum_{i=0}^n (Y_i^{obs})} * 100$	۰
(۴)	جزر میانگین مربعات خطا	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{obs} - Y_{sim})^2}$	۰
(۵)	خطای میانگین	$ME = \frac{\sum Y_{obs} - Y_{sim}}{n}$	۰
(۶)	نش-ساتکلیف	$NSCE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2}$	۱
(۷)	شیب خط	$SLOPE = R_x \frac{S_y}{S_x}$	۱
(۸)	نسبت هشدار اشتباه	$FAR = \frac{b}{a+b}$	۰
(۹)	احتمال تشخیص خطا	$POD = \frac{a}{a+c}$	۱
(۱۰)	آستانه موفقیت	$CSI = \frac{a}{a+b+c}$	۱

در روابط جدول (۳) Y_{obs} بارش ایستگاه‌های مشاهده‌ای، Y_{sim} بارش تخمینی ماهواره GPM، a روزهای بارشی که هم به وسیله ایستگاه و هم ماهواره درست تشخیص داده شده‌اند. b روزهای غیربارشی که ماهواره به اشتباه بارش پیش‌بینی کرده، c روزهای بارشی که ماهواره پیش‌بینی آن‌ها را از دست داده است، B ضریب رگرسیون، R همبستگی بین x و y ، S_y انحراف معیار متغیر x و S_x انحراف معیار متغیر y ، n تعداد داده‌ها است.

یافته‌های تحقیق

تجزیه و تحلیل مکانی بارش‌های زمینی و ماهواره‌ای GPM

بر اساس شاخص R^2 میزان ضریب تعیین، بین بارش‌های مشاهده‌ای و تخمینی به غیر از ایستگاه مراغه کمتر از ۰/۵۰ می‌باشد. از ۲۰ ایستگاه مورد مطالعه در حوضه مورد نظر ۱۱ تا از ایستگاه‌ها ضریب تعیین بین ۰/۲۰ تا ۰/۵۰ و بقیه ایستگاه‌ها ضریب تعیین کمتر از ۰/۲۰ دارند. مقادیر ضریب همبستگی در سطح معنی‌داری ۰/۹۵ بین بارش‌های مشاهده‌ای و برآورد شده به وسیله ماهواره GPM مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر متغیر بودن مقدار R در سطح حوضه می‌باشد (مقدار R در سطح حوضه از ۰/۳۰- تا ۰/۷۸). این امر نشان می‌دهد که از نظر ضریب همبستگی دقت بارش روزانه حاصل از ماهواره GPM در بعضی مناطق بسیار مناسب و در برخی دیگر همبستگی کمتری دارد. ضریب همبستگی بیش از نیمی از ایستگاه‌ها بالای ۵۰ درصد می‌باشد. ایستگاه مراغه با ۰/۷۸ بیشترین و ایستگاه اشنویه با ۰/۳۰ دارای کمترین همبستگی می‌باشند. ارزیابی مقدار بایاس بین داده‌های مشاهداتی و برآورد شده، نشان می‌دهد که این مقدار بین ۰/۳۵- تا ۰/۳۰ متغیر است. از ۲۰ ایستگاه مورد مطالعه در حوضه مورد نظر در ۹ تا از ایستگاه، مقدار بایاس نزدیک به صفر است که نشان دهنده کمترین میزان خطا در برآورد بارش توسط این ماهواره می‌باشد. ایستگاه عجب شیر دارای بیشترین بایاس مثبت با مقدار ۰/۳۰ است که نشان دهنده بیش برآوردی و ایستگاه بستان آباد دارای بیشترین بایاس منفی با مقدار ۰/۳۵- است که نشان دهنده کم برآوردی ماهواره در این ایستگاه می‌باشد. جزر میانگین مربعات خطا (RMSE) نشان می‌دهد که مقدار RMSE تمامی ایستگاه‌ها بیشتر از صفر است که نشان دهنده دقت کم ماهواره GPM در برآورد بارش‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شاخص آماری ME یا میانگین خطا به معنی خطای میانگین محاسبه شده در یک مجموعه داده است که مقادیر خطای میانگین نزدیک به صفر، نشان از دقت آماری بیشتر روش مورد نظر دارد.

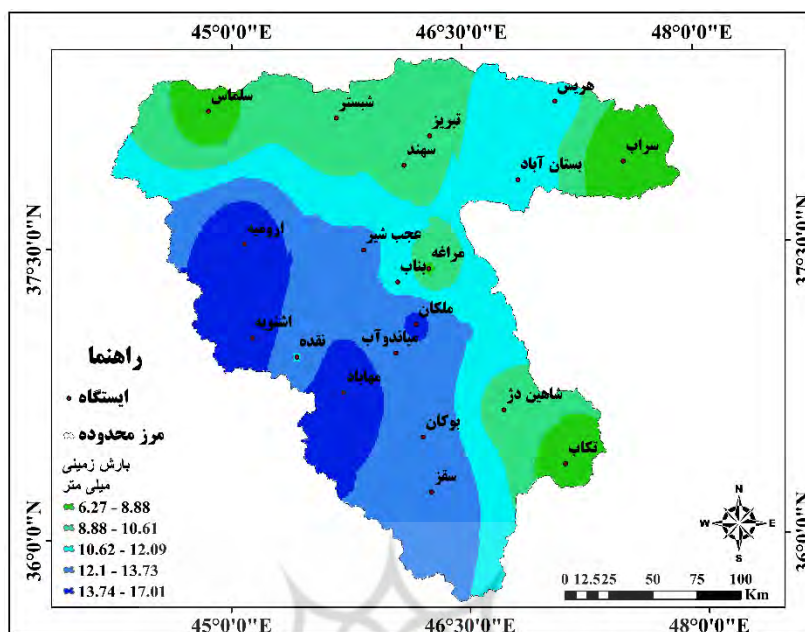
در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه در این حوضه ایستگاه ارومیه و شبستر به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان خطای میانگین می‌باشند. اگر مقدار نش ساتکلیف برابر ۱ باشد، تناسب کاملی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده وجود دارد در واقع عدد یک نشان دهنده شرایط بهینه است. ارزیابی شاخص نش ساتکلیف در این تحقیق نشان داد که حدود ۱۰ تا از ایستگاه‌ها یا تقریباً نصف ایستگاه‌ها مقدار عددی بین صفر تا یک را داشته و قابل قبول می‌باشند ولی در بقیه موارد نتایج رضایت بخشی نشان نمی‌دهد. محاسبه شاخص شیب خط (Slope) نشان داد که در بیشتر مناطق محدوده مورد مطالعه داده‌های برآورد شده به وسیله ماهواره GPM از خط رگرسیون (۱:۱) فاصله کمی دارند و مقدار شیب خط از ۰/۵ بیشتر است. مقدار شیب خط برای ۶۰ درصد از ایستگاه‌ها بالای ۰/۵ می‌باشد که بیانگر فاصله کم آن‌ها از خط رگرسیون (۱:۱) است. در بقیه موارد مقدار شیب خط ایستگاه‌ها نیز بین ۰/۲ تا ۰/۵ می‌باشد. در این بین ایستگاه تکاب با مقدار ۰/۹۱ کمترین میزان انحراف از خط رگرسیون را داشته و بیشترین انحراف از خط رگرسیون با مقدار ۰/۲۴ مربوط به ایستگاه اشنویه می‌باشد. همچنین شاخص‌های آماری FAR، POD و CSI بین داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده ایستگاه‌ها بررسی شد و نتایج نشان داد که بیش از ۹۰ درصد بارش‌های روزانه با ماهواره GPM درست تشخیص داده شده‌اند که حاکی از دقت بسیار زیاد ماهواره GPM در تشخیص بارش‌های روزانه و عملکرد قابل قبول این ماهواره می‌باشد که نشان دهنده بهترین مطابقت این داده‌ها با ایستگاه‌های زمینی در محدوده مورد مطالعه است. در جدول (۴) شاخص‌های آماری رخداد بارش‌های شدید روزانه زمینی و ماهواره‌ای ارائه شده‌اند.

جدول (۴) شاخص‌های آماری رخداد بارش‌های شدید روزانه زمینی و ماهواره‌ای

استان	ایستگاه	اعتبارسنجی داده‌ها							صحت سنجی داده‌ها		
		R2	R(XY)	Bias	RMSE	ME	NS	Slope	FAR	POD	CSI
آذربایجان شرقی	بستان آباد	0.16	0.40	-0.35	11.21	4.16	-0.15	0.31	0.04	1.00	1.00
	بناب	0.25	0.50	0.01	12.01	-0.13	-0.11	0.54	0.04	0.98	1.00
	تبریز	0.33	0.57	-0.15	9.86	1.57	0.21	0.50	0.04	0.98	1.00
	سراب	0.49	0.70	0.29	6.58	-1.84	0.15	0.84	0.04	0.96	1.00
	سهند	0.34	0.58	-0.13	9.00	1.28	0.27	0.46	0.04	1.00	1.00
	شبستر	0.12	0.35	-0.01	10.47	0.10	-0.27	0.34	0.02	0.94	1.00
	عجب شیر	0.32	0.56	0.30	11.51	-2.69	-0.49	0.79	0.11	0.95	0.90
	مراغه	0.61	0.78	-0.15	7.10	1.82	0.50	0.82	0.04	1.00	1.00
	ملکان	0.23	0.48	-0.02	11.76	0.24	-0.23	0.55	0.02	0.98	1.00
هریس	0.11	0.34	-0.24	12.33	2.69	-0.19	0.25	0.04	0.96	1.00	
آذربایجان غربی	ارومیه	0.39	0.62	-0.30	12.66	4.67	0.23	0.51	0.04	0.96	1.00
	اشنویه	0.09	0.30	-0.20	16.53	3.03	-0.24	0.24	0.14	0.95	0.86
	بوکان	0.23	0.48	0.03	13.16	-0.39	-0.20	0.54	0.09	1.00	0.91
	تکاب	0.48	0.70	0.04	6.86	-0.29	0.11	0.91	0.07	0.93	0.94
	سلماس	0.34	0.58	-0.25	7.63	1.89	0.11	0.58	0.09	0.95	0.91
	شاهیندژ	0.16	0.40	-0.19	11.63	1.84	0.05	0.28	0.13	0.98	0.88
	مهاباد	0.39	0.62	-0.15	12.30	2.48	0.13	0.67	0.04	0.96	1.00
	میاندوآب	0.18	0.42	0.05	11.71	-0.65	-0.41	0.49	0.04	1.00	1.00
نقده	0.13	0.36	0.08	17.32	-1.11	-0.30	0.37	0.15	0.91	0.86	
کردستان	سقز	0.30	0.54	-0.08	13.94	1.14	-0.30	0.71	0.00	0.96	1.00

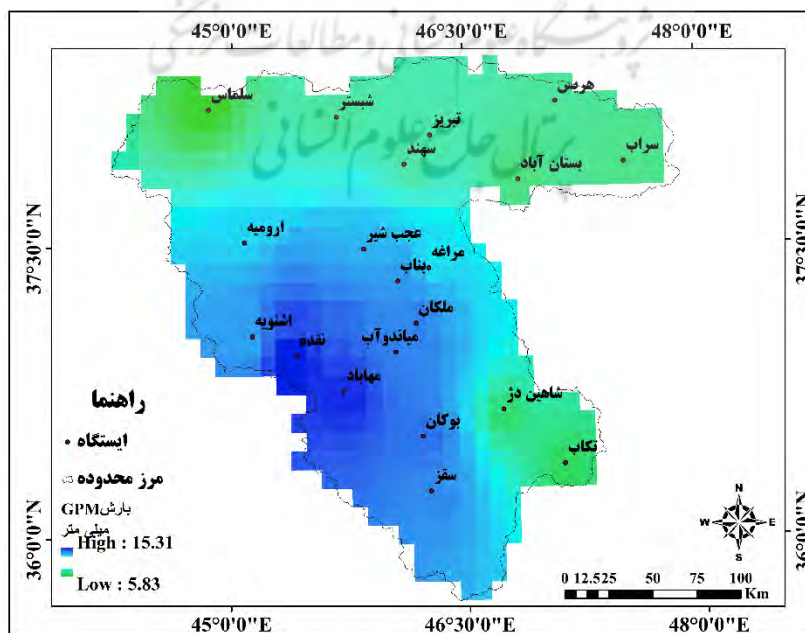
شکل (۴): توزیع فضایی میانگین بارش‌های ایستگاه‌های سینوپتیک زمینی را در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد. همان طوری که در این شکل مشخص است، قسمت‌های غرب و جنوب غربی محدوده دارای بارش بیشتر و قسمت‌های شمال، شمال شرق و جنوب شرق محدوده دارای بارش‌های کمتری می‌باشند. بیشترین میانگین بارش به دست آمده در بین ایستگاه‌های

زمینی، مربوط به ایستگاه مهاباد به مقدار ۱۷/۰۱ میلی متر و کم‌ترین آن مربوط به ایستگاه سراب به مقدار ۶/۲۷ میلی متر بوده است.



شکل (۳): توزیع فضایی میانگین بارش‌های ایستگاه‌های زمینی

شکل (۵): توزیع فضایی میانگین بارش‌های ماهواره GPM را در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد. مقایسه نقشه‌های بارش زمینی و GPM نشان دهنده این است که، قسمت‌های غرب و جنوب غربی محدوده دارای بارش بیشتر و قسمت‌های شمال، شمال شرق و جنوب شرق محدوده دارای بارش‌های کمتری می‌باشند. بیش‌ترین میانگین بارش به دست آمده در نقشه GPM، مربوط به ایستگاه نقده به مقدار ۱۵/۳۱ میلی متر و کم‌ترین آن مربوط به ایستگاه سلماس به مقدار ۵/۸ میلی متر بوده است.



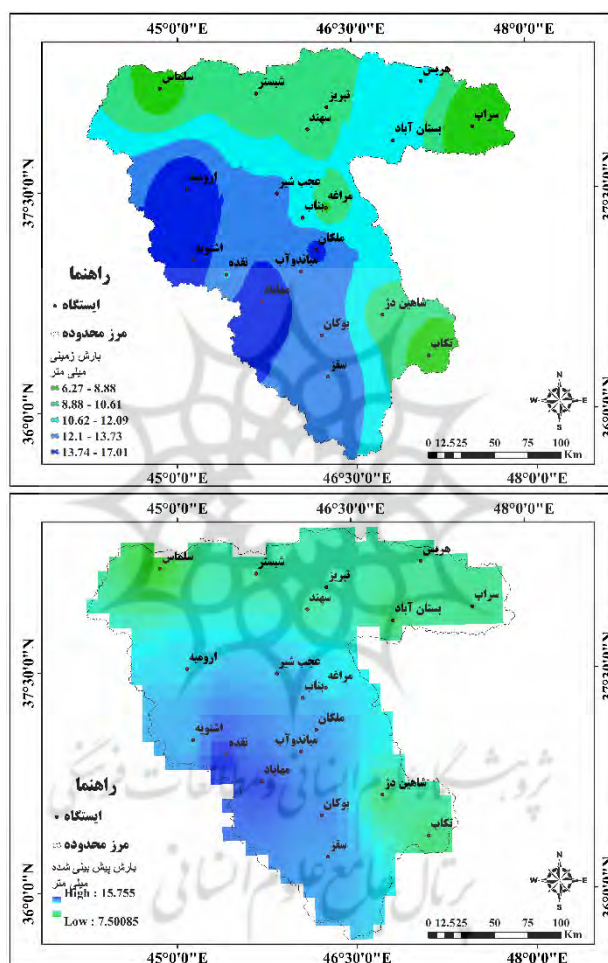
شکل (۴): توزیع فضایی میانگین بارش‌های ماهواره GPM

جدول ۵ نتایج آزمون واریانس (ANOVA) را در سه حالت ایستگاه به ایستگاه (بارش‌های روزانه زمینی و ماهواره GPM در هر یک از ایستگاه‌ها در تاریخ‌های مورد نظر) میانگین ایستگاه‌ها (میانگین بارش‌های زمینی و ماهواره GPM در ۲۰ ایستگاه مورد نظر) و میانگین موقعیت مکانی (بارش‌های زمینی و ماهواره GPM به صورت پیکسل به پیکسل) در ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ای حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد. همانطوری که در جدول ۵ مشخص است در حالت ایستگاه به ایستگاه ضریب همبستگی بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای ۵۰/۰ درصد، ضریب تعیین برابر با ۲۵/۰ درصد و دارای خطای استاندارد ۱۰ می‌باشد. با توجه به سطح بالای مربوط به آماره F یعنی به مقدار ۳۵۳ و سطح معنی‌داری پایین p-value به مقدار ۰/۰۰۰، در نتیجه فرض صفر رد و فرض یک تایید می‌شود، یعنی فرض یکسان بودن میانگین بارش در ایستگاه‌های هواشناسی و ماهواره GPM رد می‌شود بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که اختلاف معنی‌داری بین میانگین بارش در ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ای وجود دارد. بررسی میانگین ایستگاه به ایستگاه بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره GPM نشان داد که برخلاف مورد قبلی، ضریب همبستگی ۷۶/۰ درصد ضریب تعیین برابر با ۵۷/۰ درصد و دارای خطای استاندارد ۹/۱ می‌باشد. در حالت میانگین ایستگاه به ایستگاه، آماره F به مقدار ۵/۲۴ و p-value به مقدار ۰/۰۰۰، می‌باشد. در این حالت نیز فرض یکسان بودن میانگین بارش در ایستگاه‌های هواشناسی رد می‌شود و نتیجه اینکه اختلاف معنی‌داری بین میانگین بارش در ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ای وجود دارد. در حالت سوم یعنی میانگین مکانی ضریب همبستگی بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای، ۸۱/۰ درصد ضریب تعیین ۶۵/۰ و دارای خطای استاندارد ۱ می‌باشد. در حالت میانگین مکانی، با توجه به سطح بالای مربوط به آماره F یعنی به مقدار ۸۰۸۶۵ و سطح معنی‌داری پایین p-value به مقدار ۰/۰۰۰، فرض صفر رد و فرض یک تایید می‌شود. بنابراین اختلاف معنی‌داری بین داده‌های میانگین بارش زمینی و ماهواره‌ای وجود دارد. در نهایت همه این موارد نشان می‌دهند که هر مقدار نقاط ایستگاهی بیشتری در محدوده مورد مطالعه وجود داشته باشد ضریب همبستگی بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای بیشتر بوده و بارش‌های برآوردی به وسیله ماهواره GPM نسبت به بارش‌های زمینی نزدیک‌تر هستند و ماهواره نقاط بارشی را با دقت بیشتر و بهتری تشخیص می‌دهد.

جدول (۵): آزمون واریانس بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای

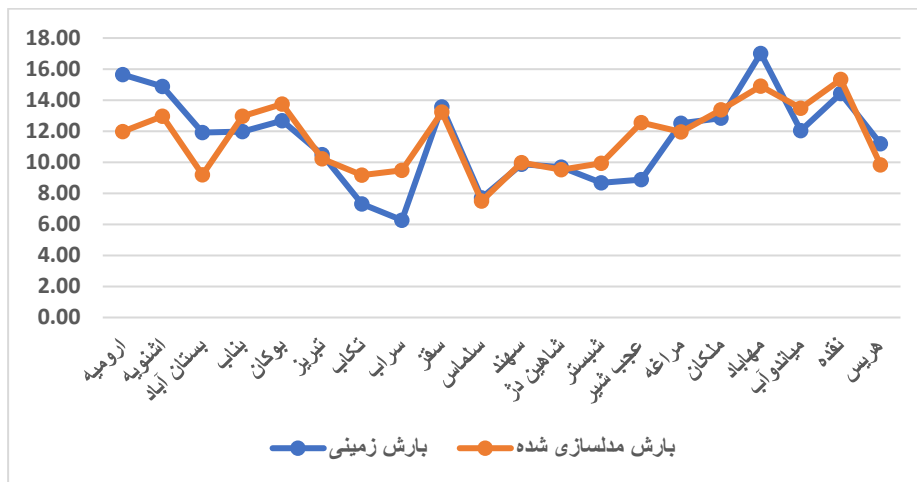
		ایستگاه به ایستگاه				میانگین ایستگاه به ایستگاه				میانگین مکانی								
Model Summary	R	R Square	Adjusted R Square		Std. Error of the Estimate		R	R Square	Adjusted R Square		Std. Error of the Estimate		R	R Square	Adjusted R Square		Std. Error of the Estimate	
		.507	.258	.257		10.06630		.760	.578	.554		1.92383		.811	.658	.658		1.08508
ANOVA		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.		
	Regression	35779.252	1	35779.252	353.095	.000	91.148	1	91.148	24.627	.000	95211.594	1	95211.594	80865.948	.000		
	Residual	103154.401	1018	101.330			66.620	18	3.701			49416.669	41971	1.177				
	Total	138933.653	1019				157.768	19				144628.263	41972					
Coefficients		Unstandardized Coefficients	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	Unstandardized Coefficients	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.	Unstandardized Coefficients	Std. Error	Standardized Coefficients Beta	t	Sig.		
	Constant	6.143	.424		14.495	.000	2.733	1.814		1.507	.149	2.418	.033		74.334	.000		
	gpm	.508	.027	.507	18.791	.000	.834	.168	.760	4.963	.000	.871	.003	.811	284.36	.000		

شکل (۵) نقشه مدلسازی بارش حاصل از ماهواره GPM و آنالیز واریانس (ANOVA) را نشان می‌دهد. با استفاده از آنالیز رگرسیون خطی رابطه بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای بوسیله معادله $Y=a+b*x$ بدست آمد، در این رابطه Y بارش پیش بینی شده زمینی، و X ، نقشه داده‌های بارش GPM می‌باشد. با انجام معادله مذکور بر روی نقشه بارش GPM، نقشه پیش بینی بارش زمینی بدست آمد. مقایسه نقشه مدلسازی 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 با یکدیگر هستند. در واقع ماهواره GPM پهنه‌های بارشی را به خوبی تشخیص داده و داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند به جای داده‌های بارش ایستگاه‌ها استفاده شوند.



شکل (۵): نقشه بارش ایستگاه‌های زمینی و بارش مدلسازی شده حاصل از ماهواره GPM

شکل (۶) مقایسه میانگین بارش‌های زمینی و مدلسازی شده حاصل از ماهواره GPM را نشان می‌دهد. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه‌های ارومیه به مقدار ۳/۶۶ میلی متر و شاهین دژ به مقدار ۰/۱۶ میلی متر به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان بارش کم برآوردی و ایستگاه‌های عجب شیر به مقدار ۳/۶۷ میلی متر و ایستگاه سهند به مقدار ۰/۱ میلی متر به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان بارش بیش برآوردی می‌باشند.



شکل (۶): نمودار میانگین بارش زمینی و بارش مدلسازی شده

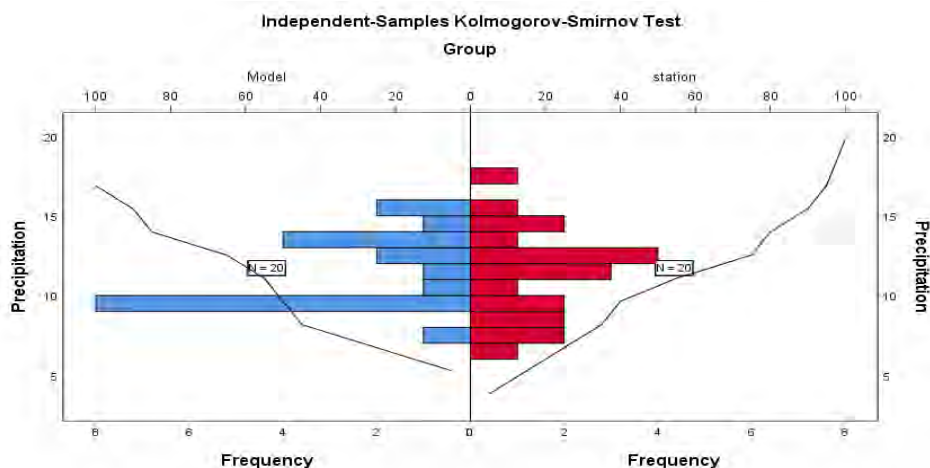
آزمون کلموگراف-اسمیرنوف

جهت مقایسه توزیع فراوانی مقادیر بارندگی زمینی و مدلسازی شده حاصل از داده‌های GPM از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف استفاده شد. در این پژوهش بارش ثبت شده ایستگاه‌های زمینی و بارش مدلسازی شده با تعداد ۲۰ ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. در جدول (۶) داده‌های بارش زمینی و مدلسازی شده با آزمون کلموگراف-اسمیرنوف (فرض H_0 نشان از مطابقت توزیع یکسان مقادیر بارش زمینی با بارش برآورد شده ماهواره GPM دارد، در حالی که فرض H_1 بیان می‌کند که مقادیر بارش زمینی و بارش برآورد شده ماهواره GPM توزیع مشابهی ندارند) مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

جدول (۶): مقایسه داده‌های بارش زمینی و مدلسازی شده در آزمون کلموگراف اسمیرنوف

Test Statistics ^a		
		Precipitation
Most Extreme Differences	Absolute	.200
	Positive	.200
	Negative	-.150
Kolmogorov-Smirnov Z		.632
Asymp. Sig. (2-tailed)		.819
Exact Sig. (2-tailed)		.832
Point Probability		.279
a. Grouping Variable: Group		

نتایج آماره‌های آزمون موردنظر نشان می‌دهند که با توجه به اینکه p-value حاصل شده (۰/۸۱۹) عدد بالاتر از مقدار خطای آزمون (۰/۰۵) است، پس اختلاف بین داده‌های بارش ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی معنی‌دار نیست. به عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی و ماهواره GPM نتیجه واحد را ارائه می‌دهد و هر دو جامعه آماری از توزیع یکنواختی برخوردار هستند و مطابقت نسبی بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده شده ایستگاه‌های زمینی وجود دارد و داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند به جای داده‌های بارش ایستگاه‌ها استفاده شده و در برآورد خسارات ناشی از مخاطرات طبیعی مثل سیل مورد استفاده قرار بگیرند. در شکل (۸) بارش‌های زمینی و مدلسازی شده با آزمون کلموگراف-اسمیرنوف دو نمونه‌ای مقایسه شده‌اند.



شکل (۷): آزمون کلموگروف اسمیرنوف دو نمونه‌ای برای مقایسه بارش زمینی و مدلسازی شده

نتیجه گیری

پایش و اندازه‌گیری‌های مؤثر رویدادهای بارشی شدید برای درک ماهیت اساسی پدیده‌های شدید آب و هوایی و ارزیابی تغییرات آینده بسیار مهم است. با این حال، برآورد دقیق آن به ویژه در مناطق با مشاهدات پراکنده و مناطق با زمین‌های ناهموار چالش برانگیز است. محصولات بارش ماهواره‌ای به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع داده‌های بارش در مطالعات هیدرولوژی، اقلیم‌شناسی و هواشناسی در چند دهه اخیر ظهور کرده‌اند. در این پژوهش داده‌های بارش برآورد شده توسط ماهواره GPM با بارش‌های ثبت شده ایستگاه‌های زمینی به عنوان داده‌های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفت و از شاخص‌های آماری که بیانگر ارتباط و همچنین ارزیابی خطا بین دو سری از داده‌ها هستند، 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 با یکدیگر هستند. در واقع ماهواره GPM پهنه‌های بارشی را به خوبی تشخیص داده و می‌تواند رفتار مکانی بارش منطقه مورد مطالعه را به خوبی نشان دهد، به طوری که ضریب همبستگی مکانی بین بارش‌های ماهواره‌ای GPM و مشاهده شده ۰/۸۱ می‌باشد. نتایج آزمون ANOVA بین میانگین بارش‌های زمینی و ماهواره GPM نشان داد که با توجه به سطح معنی‌داری پایین p-value به مقدار ۰۰۰/۰ فرض یکسان بودن میانگین بارش بین دو پایگاه داده رد می‌شود و بنابراین اختلاف معنی‌داری بین میانگین بارش در ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ای وجود دارد. همچنین نتایج آزمون کلموگراف-اسمیرنوف نشان داد که با توجه به اینکه p-value حاصل شده (۰/۸۱۹) عدد بالاتر از مقدار خطای آزمون (۰/۰۵) است، پس اختلاف بین داده‌های بارش ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی معنی‌دار نیست. به عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر بارش ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی و ماهواره GPM نتیجه واحد را ارائه می‌دهد و هر دو جامعه آماری از توزیع یکنواختی برخوردار هستند و مطابقت نسبی بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده شده ایستگاه‌های زمینی وجود دارد و داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند به جای داده‌های بارش ایستگاه‌ها استفاده شده و در برآورد خسارات ناشی از مخاطرات طبیعی مثل سیل مورد استفاده قرار بگیرند.

منابع

- احمدزاده، ابراهیم، ولیزاده کامران، خلیل، مختاری، داود، رسولی، علی اکبر، (۱۴۰۱)، بررسی بارش‌های حدی در استان تهران با استفاده از مدل مقادیر اوج‌های بالاتر از آستانه، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۶، شماره ۷۹، صص ۱۲-۱.
- اردونی، معصومه، معماریان، هادی، اکبری، مرتضی و پوررضا بیلندی، محسن، (۱۳۹۹)، صحت سنجی داده‌های بارش ماهواره GPM در مقیاس نیم ساعته و روزانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود)، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و هفتم، شماره چهارم، صص ۱۴۴-۱۶۶.
- بی‌همتا، آرش، گهرزاد، حمید، معظمی، صابر، (۱۳۹۷)، بررسی داده‌های بارش ماهواره‌های GPM و TRMM در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و فصلی در شهر تهران. سنجش از دور و GIS ایران، سال دهم، شماره دوم، صص ۴۵-۶۰.
- پرنده خوزانی، اکرم، (۱۳۹۷)، بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی پوشش برف منطقه کوهستانی زاگرس و ارتباط آن با الگوهای گردش جوی و تغییرات اقلیمی، رساله دکتری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.
- جهانبخش اصل، سعید، ساری صراف، بهروز، عساکره، حسین، شیرمحمدی، سهیلا، (۱۴۰۱)، شناسایی رخداد‌های بارش فرین غرب ایران (۲۰۱۶-۱۹۶۵)، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۶، شماره ۷۹، صص ۱۱۵-۱۲۵.
- رسولی، علی اکبر، رستم زاده، هاشم، ساری صراف، بهروز، امیدفر، محمد، (۱۳۹۹)، بررسی کارایی رادار داپلر با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه (مطالعه موردی بارش مهرماه ۱۳۹۳)، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال بیست و چهارم، شماره هفتاد و دو، صص ۲۴۷-۲۶۶.
- رضیئی، طیب، جهانبخش اصل، سعید، پرنده خوزانی، اکرم، ساری صراف، بهروز، (۱۳۹۷)، ارزیابی دقت مدل‌های شناسایی فاز برف از باران در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه کوهستانی زاگرس، تحقیقات منابع آب ایران، سال چهارم، شماره سوم، صص ۸۵-۱۰۲.
- صادقی، حمیدرضا، معصوم پور سماکوش، جعفر. میری، مرتضی، (۱۳۹۸)، ارزیابی داده‌های بارش دورسنجی GPM در مقابل داده‌های مشاهده‌ای (مورد مطالعه: غرب میانه ایران)، سنجش از دور و GIS ایران، سال یازدهم، شماره دوم، صص ۱۱۵-۱۲۴.
- علی بخشی، سیده مریم. فرید حسینی، علیرضا. داوری، کامران. علیزاده، امین. مونیکا، هنری، (۱۳۹۷)، اعتبارسنجی داده‌های بارش ماهواره‌های (GPM, MERRA, TRMM) و ایستگاه‌های زمینی در مدل بارش-رواناب CREST (مطالعه موردی: حوضه آبریز کشف رود)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال نهم، شماره ۱۸، صص ۱۱۱-۱۲۱.
- کمیته اجتماعی و فرهنگی ستاد احیای دریاچه ارومیه، (۱۳۹۴)، بندهای ۳-۴-۶، صص ۳-۴-۶.
- مسعودیان، سید ابوالفضل، کیخسروی کیانی، محمدصادق، رعیت پیشه، فاطمه، (۱۳۹۳)، معرفی و مقایسه پایگاه داده اسفزاری با پایگاه‌های داده GPCP, GPCC و CMAP، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره اول، شماره پیاپی ۱۱۲، صص ۷۳-۸۸.
- میری، مرتضی. رحیمی، مجتبی. نوروزی، علی اکبر، (۱۳۹۸)، ارزیابی دقت برآورد بارش روزانه پایگاه داده‌های TRMM و GPM در مقابل داده‌های مشاهده‌ای در ایران. مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۱۱، شماره ۴، صص ۹۷۲-۹۸۳.
- Arshad, M., Ma, X., Yin, J., Ullah, W., Ali, G., Ullah, S., Liu, M., Shahzaman, M., & Ullah, I. (2020), Evaluation of GPM-IMERG and TRMM-3B42 precipitation products over Pakistan, Atmospheric Research, Vol: 249, 1-50.

- Biswas, S., & Chandrasekar, V. (2018), Cross-Validation of Observations between the GPM Dual-Frequency Precipitation Radar and Ground Based Dual-Polarization Radars, *Remote Sensing*, Vol: 10(11), 1773-1791.
- Boluwade, A. (2020), Spatial-Temporal Assessment of Satellite-Based Rainfall Estimates in Different Precipitation Regimes in Water-Scarce and Data-Sparse Regions, *Atmosphere*, Vol: 11 (9), 1-26.
- Darand, M., & Khandu, Kh. (2020), Statistical evaluation of gridded precipitation datasets using rain gauge observations over Iran, *J. Arid Environments*, 178, 104172, 1-22.
- Dembélé, M., & Zwart, S. J. (2014), Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso West Africa. *Int. J. Remote Sens*, 37, 3995–4014.
- Doswell, C. A., Davies-Jones, R., & Keller, D. L. (1990), On summary measures of skill in rare event forecasting based on contingency tables. *Weather and Forecasting*, 5, 576–585.
- [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*, Vol, 10(11).
- 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. *Atmos. Res*, 176–177 (2016), 121–133.
- Maghsood, F. F., Hashemi, H., Hosseini, S. H., & Berndtsson, R. (2020), Ground Validation of GPM IMERG Precipitation Products over Iran, *Remote Sensing*, Vol: 12(1). 1-23.
- 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*, Vol: 219, 200-212.
- Mohammed, S. A., Hamouda, M. A., Mahmoud, M. T., & Mohamed. M. M. (2020), Performance of GPM-IMERG precipitation products under diverse topographical features and multiple-intensity rainfall in an arid region, *Hydrology and Earth System Sciences, Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/hess-2019-547>.
- Moazami, S. & Najafi, M. R. (2021), A comprehensive evaluation of GPM-IMERG V06 and MRMS with hourly ground-based precipitation observations across Canada. *Hydrology*, Vol: 594, 1-17.
- Moriyasu D. N., Arnold J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007), Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, Vol 50, No 3: 885-900.
- Nashwan, M. S., Shahid, S., & Wang, X. (2019), Assessment of satellite-based precipitation measurement products over the hot desert climate of Egypt. *Remote Sens*, 11, 555.
- Pakoksung, K., & Takagi, M. (2016), Effect of satellite-based rainfall products on river basin responses of runoff simulation on flood event. *Modeling Earth Systems and Environment*. Vol: 2 (3), 143, 1-14.
- Prakash, S. Mitra, A. K., Paic, D. S., & AghaKouchak, A. (2016), From TRMM to GPM: How well can heavy rainfall be detected from space? *Advances in Water Resources* 88, 1–7.
- Saouabe, T. El khalki, E. El mehdi saidi, M. Najmi, A. Hadri, A. Rachidi, S. Jadoud, M. & Trambly, Y. (2020), Evaluation of the GPM-IMERG Precipitation Product for Flood Modeling in a Semi-Arid Mountainous Basin in Morocco. *J. Water*, Vol: 12, Issue: 9.
- Shirmohammadi, Z. A., & Akbari, A. (2020), Ground validation of diurnal TRMM 3B42 V7 and GPM precipitation products over the northeast of Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol: 142, 1413-1423.

- Sumin, R., Sungwook, H., 2018, Accuracy Assessment of the Satellite-based IMERG's Monthly Rainfall Data in the Inland Region of Korea. Earth science society, Vol: 39(6) 533-544.
- Sun, W. Sun, Y. Li, X. Wang, T. Wang, Y. Qiu, Q. & Deng, Z. (2018), Evaluation and Correction of GPM IMERG Precipitation Products over the Capital Circle in Northeast China at Multiple Spatiotemporal Scales. Adv. Meteorol. 4714173.
- Tan, M. L., & Santob, H. (2018), Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia, Atmospheric Research, Vol: 202, 63-76.
- Tan, M. & Duan, Z. (2017), Assessment of GPM and TRMM Precipitation Products over Singapore. Remote Sens, 9, 720, 1-16.
- 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, 229.
- Tan, M. L., Tan, K. C., Chua, V. P., & Chan, N. W. (2017), Evaluation of TRMM product for monitoring drought in the Kelantan River Basin, Malaysia. Water, 9, 57.
- Varikoden, H. Preethi, B. Samah, A. A., & Babu, C. A. (2011), Seasonal variation of rainfall characteristics in different intensity classes over Peninsular Malaysia. J. Hydrol, 404, 99-108.
- Wilks, D. S. (2011), Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, Volume 100, Third Edition (International Geophysics), USA.
- Xu, F. Guo, B. Ye, B. Ye, Q. Chen, H. Ju, X. Guo, J. & Wang, Zh. (2019), Systematical Evaluation of GPM IMERG and TRMM 3B42V7 Precipitation Products in the Huang-Huai-Hai Plain, China Remote Sens, 11, 697.
- Yuan, F. Limin Zhang, O. Wun Soe, K. m., Ren, L. Zhao, C. Zhu, Y. Jiang, S. & Liu, A. (2019), Applications of TRMM- and GPM-Era Multiple-Satellite Precipitation Products for Flood Simulations at Sub-Daily Scales in a Sparsely Gauged Watershed in Myanmar. Remote Sensing, Vol: 11(2), 1-31.
- <https://Giovanni.gsfc.nasa.gov>.