

Evaluation and ranking of rainfall estimation database data, case study: Khuzestan Province, Iran

Mohammad Jafarpour¹, Arash Adib^{2✉}

1. Department of Civil Engineering, Civil Engineering and Architecture Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2. Department of Civil Engineering, Civil Engineering and Architecture Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: arashadib@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 15 May 2026

Accepted 06 August 2026

Keywords:

Precipitation datasets, NCEP CFSR, CRU, ERA 5, APHRODITE, PERSIANN CDR.

ABSTRACT

Precipitation is one of the most important climatic variables due to its direct impact on water resources, agriculture and human livelihoods. Therefore, accurately assessing it is of great significance. In recent years, gridded precipitation datasets incorporating station, satellite, and reanalysis data have become widely used due to their accessibility, affordability, suitable spatial coverage, lack of missing data, and long temporal duration. However, it is essential to examine their accuracy and validity for scientific use. This study evaluated five precipitation datasets — APHRODITE and CRU (raingauge-based), PERSIANN-CDR (satellite and raingauge combination), and NCEP CFSR and ERA5 (reanalysis-based) — using the R^2 , NSE, NRMSE, BIAS, POD, FAR and CSI indicators, in comparison with data from nine synoptic stations in Khuzestan Province. As there were many indicators, the TOPSIS multi-criteria decision-making method was used to rank the datasets at each station. The results showed that APHRODITE, CRU and NCEP/CFSR performed best, with APHRODITE showing the greatest agreement with observations across all stations. Its average indicators were $POD = 0.756$, $FAR = 0.290$ and $CSI = 0.692$. It was also found that some datasets may be less accurate at estimating precipitation amounts, but perform well at identifying rainy days. Therefore, the selection of a precipitation dataset should be application-specific.

Introduction

Precipitation is a vital climate variable that exhibits significant spatiotemporal variations. These variations have a profound influence on all aspects of human life, making accurate global measurement essential. Recent technological advances in satellite technology, remote sensing, computing and databases have introduced new meteorological datasets that overcome the limitations of traditional observations, such as accessibility, cost, missing data and uneven station distribution, while providing better spatial coverage. These datasets have been assessed in numerous studies worldwide. For instance, studies in China and Iran have compared satellite and reanalysis data with ground observations. These studies have generally favoured satellite data (Wang et al., 2020), while also demonstrating the high accuracy of certain reanalysis models in specific basins (Eini et al., 2019). Other studies have noted overestimations in data-scarce areas (Dile and Srinivasan, 2014), better performance of specific models like CFSR in different regions (Zhang et al., 2013), and increased accuracy and reduced deviations with reanalysis data like ERA5 (Tarek et al., 2020). Some studies have indicated that ERA5 may overestimate precipitation compared to observations,

while other models may underestimate it (Fallah et al., 2020). Datasets such as APHRODITE have been found to provide suitable estimates, closely matching observations (Ghajarnia et al., 2015; Darand and Khandu, 2020), although PERSIANN-CDR has sometimes shown weaker results (Hosseini-Moghari et al., 2018). CRU data has also demonstrated strong agreement with observed precipitation and temperature in certain Iranian basins (Lotfi Rad et al., 2025). This study focuses on evaluating and ranking precipitation datasets in Iran's Khuzestan province.

Materials and Methods

Subtitle

The province of Khuzestan, located in southwestern Iran, spans approximately 64,000 square kilometres, accounting for around 4% of the country's total area. The province's geography ranges from the Zagros mountain range in the north and east to a vast plain that extends south to the Persian Gulf and the Arvand River. The province experiences a variety of climates, including semi-desert conditions in the south and centre (in places such as Abadan, Khorramshahr and Ahvaz) and warm steppe climates in the north (in areas such as northern Dezful, Behbahan and Ahvaz). For

Cite this article: Jafarpour, M., Adib, A. (2026). Evaluation and ranking of rainfall estimation database data, case study: Khuzestan Province, Iran. *Journal of Engineering Geology*, 20 (2), 111-127.
<https://doi.org/10.22034/jeg.2026.11708>

this study, precipitation data from nine stations across the province were obtained from the Iran Meteorological Organization (IRIMO). The study used various precipitation datasets, which were categorised as rain gauge-based, combined rain gauge and satellite-based, or reanalysis-based. The PERSIANN-CDR dataset was developed using remote sensing and neural networks to estimate precipitation on a pixel-by-pixel basis on a 0.25-degree grid, with the aim of creating long-term time series. The CRU dataset provides high-resolution gridded climate data derived from the interpolation of numerous observational stations. APHRODITE, created by Japanese research centres, provides high-resolution gridded precipitation data across Asia, based on rain gauge observations spanning over 57 years. The CFSR is a reanalysis dataset combining atmospheric, oceanic and land surface data with 38 km resolution and 6-hour temporal accuracy. Finally, the ERA5 dataset, produced by the ECMWF, provides a wide range of atmospheric, land and sea parameters on a high-resolution, regular lat/lon grid with 137 pressure levels. This research employs two groups of indices for evaluation. The first group includes statistical performance metrics such as NSE, RMSE, NRMSE, BIAS, MAE, and R^2 , which quantify the accuracy of precipitation estimates. The second group, known as categorical indices, comprises CSI, POD, and FAR, and they are based on the occurrence or non-occurrence of precipitation. In these categorical indices, N represents the total number of data points, and ' i ' denotes a specific day. O_i and M_i are the observed and estimated data, respectively. H , J , and F represent correctly identified events, missed rainy days, and incorrectly predicted precipitation amounts, respectively. Specifically, POD measures a database's ability to correctly detect precipitation events (ranging from 0 to 1, with values closer to 1 indicating better performance). CSI indicates the fraction of actual precipitation events that were correctly predicted, essentially showing how well the database estimates a "rain occurrence" when it actually happens. FAR, on the other hand, quantifies instances where no precipitation occurred but was incorrectly recorded by the databases; a lower FAR value signifies better database performance.

The TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) method is a multi-criteria decision-making (MCDM) approach introduced by Hwang and Yoon in 1981. In this method, the best option is selected by considering the smallest distance from the ideal criterion and the largest distance from the non-ideal criterion.

Shannon entropy quantifies the uncertainty within a continuous probability distribution. The principle behind this method is that the greater the dispersion in the values of an index (or criterion), the more

significant that index's importance. When the data in a decision-making matrix are fully specified, and a decision-maker wishes to calculate the weights of these indices based on this data, the Shannon entropy technique can be utilized for weighting.

Results and Discussion

Initially, the study computed the annual mean precipitation for each station and for the evaluated databases. The results show that APHRODITE, CRU and NCEP CFSR generally estimate annual precipitation more accurately, whereas PERSIANN-CDR and ERA5 significantly deviate from observational data, often overestimating rainfall. This highlights that even models with an acceptable correlation can still produce substantial errors in actual precipitation amounts. Table 4 indicates that the R^2 values for all stations and models are relatively high (0.59–0.97). However, high R^2 does not guarantee low error since a dataset may reproduce temporal trends accurately while still being biased in terms of magnitude. APHRODITE provides the best R^2 range across all stations (0.88–0.97; mean 0.91), followed by PERSIANN-CDR, ERA5, NCEP CFSR and CRU. However, it is important to note that the practical performance of ERA5 may be weakened by strong overestimation. These findings are consistent with those of previous studies which reported relatively better performance for APHRODITE and comparable correlation ranges for the other datasets. The study found that data accuracy correlates with station elevation and average annual precipitation. Higher-elevation stations such as Masjed Soleiman and Behbahan, which also receive more rainfall, showed better R^2 values. In contrast, model performance declined in the flatter, drier southern areas due to sparser, weaker rainfall events. APHRODITE consistently outperformed other datasets across all metrics (NSE, RMSE and NRMSE), achieving an average NSE of 0.90 and an NRMSE of 0.53. This indicates a strong replication of actual rainfall. Conversely, ERA5 performed poorly with an average NSE of 0.41 and an NRMSE of 1.27. It often significantly overestimated precipitation (by 1.79–18.78 BIAS), which renders it unsuitable for precise applications. This finding is supported by multiple studies on ERA5's overestimation, but is contrasted by some research suggesting good ERA5 performance. NCEP CFSR and CRU showed mixed results, while PERSIANN-CDR also tended to overestimate, albeit less consistently than ERA5. The research also evaluated precipitation datasets using the POD, CSI and FAR metrics. CRU data demonstrated excellent performance in accurately predicting precipitation events, with CSI values ranging from 0.71 to 0.81 (average 0.78) across stations. In contrast, PERSIANN-CDR exhibited the lowest CSI values.

CRU also demonstrated favourable FAR values (average 0.16), indicating fewer erroneous reports. It is important to note that a dataset may be ineffective in estimating rainfall amounts yet excel at identifying rainy days. ERA5, for example, accurately identifies rainy days but overestimates the amount, despite estimation errors. With its balanced performance in detecting rain and reducing false alarms, CRU appears more suitable for rain event warnings and monitoring, as well as analysing rainfall occurrence and climatic monitoring. ERA5 and APHRODITE showed excellent performance in correctly detecting precipitation events based on the POD index. A Taylor diagram summarised the performance of the station precipitation datasets. APHRODITE data exhibited the best performance, with the lowest root mean square deviation (RMSD) at most stations (except Safiabad). CRU data ranked second, while ERA5 data were less desirable than the others. Overall, the station-based datasets (APHRODITE and CRU) performed better in Khuzestan Province than the reanalysis data (ERA5). The TOPSIS and Shannon entropy methods were used to rank the datasets. Bias and FAR had the most significant influence (over 75%) on the weighting, while POD and R^2 had the least influence. This suggests that systematic error metrics such as bias are given greater weighting, whereas correlation indices such as R^2 are often given less weighting because they do not solely represent the accuracy of rainfall amounts, and many datasets with high correlation may still lack acceptable precision. Consequently,

APHRODITE, CRU and NCEP CFSR showed better results in four, three and two stations respectively, whereas ERA5 and PERSIANN-CDR performed less favourably in most stations.

Conclusions

This research evaluated several precipitation estimation datasets, including gauge-based (APHRODITE and CRU), gauge-satellite merged (PERSIANN-CDR) and reanalysis (NCEP CFSR and ERA5) products. Data from nine synoptic stations with diverse climates in Khuzestan Province were used for this evaluation. The long-term statistical period allowed for stable results to be presented.

Initial comparisons showed that the APHRODITE data had the highest level of agreement with the observed data, likely due to its ground interpolation nature. Accuracy was found to correlate directly with station topography, elevation and annual rainfall, with higher, wetter stations yielding better results. To rank the datasets using multiple evaluation metrics, the multi-criteria decision-making technique TOPSIS was employed, with Shannon entropy used for weighting. The results indicated that the APHRODITE, CRU and NCEP CFSR datasets performed better overall, while the other two models performed less favourably. The study suggests that the choice of dataset can affect the outcome.

ارزیابی و رتبه بندی داده های پایگاه های تخمین بارندگی، مطالعه موردی: استان خوزستان ایران

محمد جعفرپور^۱، آرش ادیب^۲✉

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

۲. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران. رایانامه: arashadib@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	بارش یکی از مهم ترین متغیرهای اقلیمی است که به دلیل نقش مستقیم آن در منابع آب، کشاورزی و معیشت انسان، ارزیابی دقیق آن اهمیت فراوانی دارد. در سال های اخیر، داده های شبکه ای بارش شامل داده های ایستگاهی، ماهواره ای و بازتحلیل، به دلیل دسترسی آسان، هزینه کمتر، پوشش مکانی مناسب، داده های گمشده و طول دوره زمانی بلند، کاربرد گسترده ای یافته اند؛ با این حال، بررسی دقت و اعتبار آن ها برای استفاده علمی ضروری است. در این پژوهش، پنج پایگاه داده بارش شامل APHRODITE و CRU (مبتنی بر باران سنج)، PERSIANN-CDR (ترکیبی از ماهواره و باران سنج) و NCEP CFSR و ERA5 (مبتنی بر تحلیل مجدد) با استفاده از شاخص های R^2 ، NSE، NRMSE، POD، BIAS، CSI و FAR، مقایسه با داده های ۹ ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان ارزیابی شدند. از آنجا که تعداد شاخص ها زیاد بود، برای رتبه بندی نهایی پایگاه ها در هر ایستگاه از روش تصمیم گیری چندمعیاره TOPSIS استفاده شد. نتایج نشان داد که APHRODITE، CRU و NCEP/ CFSR بهترین عملکرد را ارائه داده اند و به ترتیب رتبه های اول تا سوم و در ۳، ۴ و ۲ ایستگاه رتبه اول را کسب نموده اند و APHRODITE در میان همه ایستگاه ها بیشترین انطباق را با مشاهدات داشته است؛ به طوری که میانگین شاخص های آن $CSI=0.692$ و $FAR=0.290$ ، $POD=0.756$ و پایگاه داده ERA5 در ۵ ایستگاه رتبه آخر را به دست آورده است. همچنین مشخص گردید که برخی پایگاه های داده ممکن است در برآورد مقدار بارش دقت کمتری داشته باشند، اما در شناسایی روزهای بارانی عملکرد مناسبی نشان دهند. بنابراین، انتخاب پایگاه داده باید بر اساس هدف کاربردی انجام شود.

مقدمه

بارش یکی از داده های بارش در مقیاس وسیع را فراهم آورند. تاکنون مطالعات مختلفی در خصوص ارزیابی و استفاده از این داده ها در جهان انجام شده است. وانگ و همکاران (Wang et al., 2020) به بررسی و ارزیابی داده های بارش ماهواره ای و داده های بازتحلیلی در حوضه رودخانه Xihe چین پرداختند. ایشان با استفاده از داده های ماهواره های TRMM و CDR و داده های بازتحلیل CMADS و CFSR نشان دادند که به طور کلی داده های حاصل از ماهواره مطلوبیت بیشتری داشته و داده های CDR و CFSR مقادیر را بیشتر از داده های مشاهداتی نشان میدهد. عینی فر و همکاران (Eini et al., 2019) دقت چهار مدل بازتحلیلی CRU، NCEP CFSR، APHRODITE و ASFEZARI را در تعیین دبی حوضه دریاچه

بارش یکی از مهمترین متغیرهای اقلیمی است که تغییرات زمانی و مکانی زیادی دارد. این عنصر اقلیمی سهم بسزایی در همه ابعاد زندگی بشر دارد و به همین علت اندازه گیری آن در نقاط گوناگون کره زمین بسیار مهم است. در سالهای اخیر و با پیشرفتهای به دست آمده در زمینه فناوری ماهواره ها، سنجش از دور، رایانه و بانک اطلاعاتی، نسل جدیدی از داده های هواشناسی پدید آمده است که برخی از مشکلات موجود در داده های مشاهده ای مانند نبود دسترسی آسان به داده ها، هزینه جمع آوری داده ها، وجود داده های گم شده، پراکندگی نامناسب ایستگاه ها، متفاوت بودن طول دوره داده برداری در بین ایستگاهها و نیز به روز نبودن داده ها را ندارند. داده های بارش برآوردی با استفاده از ماهواره ها و داده های تولید شده در مراکز تولید داده های اقلیمی می توانند توزیع فضایی

استناد: جعفرپور، م.، ادیب، آ. (۱۴۰۵). ارزیابی و رتبه بندی داده های پایگاه های تخمین بارندگی، مطالعه موردی: استان خوزستان ایران. مجله زمین شناسی مهندسی،

۲۰ (۲)، ۱۱۱-۱۲۷. <https://doi.org/10.22034/jeg.2026.11708>

پایگاه داده تطابق بسیار خوبی با بارش و دمای مشاهداتی در ایستگاه های موجود در حوضه خشک حبله رود داشت و این دقت بالا مبنای مدلسازی اقلیمی و در نهایت ارائه شاخص های مدیریت منابع آبی آن مطالعه قرار گرفت.

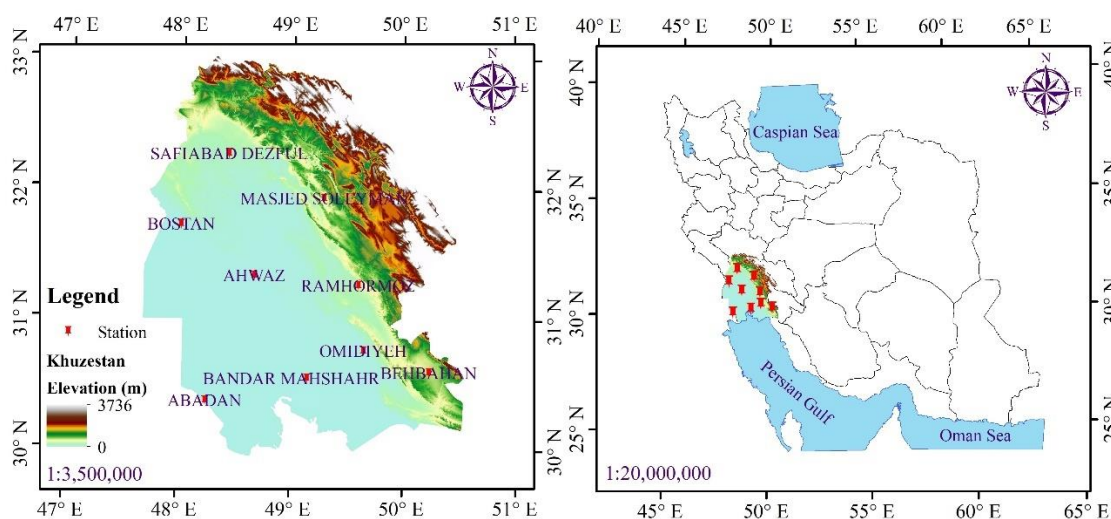
این مطالعه با هدف ارزیابی دقت داده های مبتنی بر باران سنج (APHRODITE و CRU)، داده های مبتنی بر باران سنج و ماهواره (PERSIANN-CDR) و داده های مبتنی بر تحلیل مجدد (NCEP CFSR و ERA-5) و رتبه بندی این پایگاه های بارش در استان خوزستان ایران انجام شد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحتی بالغ بر ۶۴ هزار کیلومتر مربع در جنوب غربی ایران بین عرض های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه گسترده شده است و است و تقریباً ۴ درصد مساحت ایران را تشکیل می دهد. شمال و شرق خوزستان را رشته کوه زاگرس فراگرفته است که ارتفاعات آن در جهت جنوب غربی کاهش می یابد، به طوری که در نواحی جنوبی به صورت تپه ماهورهایی نمایان می شود. استان خوزستان را از نظر پستی و بلندی می توان به دو منطقه کوهستانی و جلگه ای تقسیم کرد. منطقه کوهستانی در شمال و شرق استان قرار گرفته و منطقه جلگه ای آن از جنوب دزفول، مسجدسلیمان، رامهرمز و بهبهان آغاز شده و تا کرانه های خلیج فارس و اروندرود ادامه می یابد. استان خوزستان دارای آب و هوای مختلف است: آب و هوایی نیمه بیابانی که شهرهای آبادان، خرمشهر، ماهشهر، هندیجان، دشت آزادگان و نواحی دزفول، بهبهان، رامهرمز، شوشتر و نواحی شمال اهواز را در بر می گیرد. آب و هوای استپ گرم که نواحی شمال دزفول، بهبهان، رامهرمز، شوشتر و شمال اهواز را در بر می گیرد (شکل ۱). در این مطالعه از داده های ۹ ایستگاه در این استان مطابق شکل ۱ و جدول ۱ استفاده شد. داده های بارش مورد استفاده از سازمان هواشناسی ایران (IRIMO) دریافت شد.

مهاردلو در منطقه نیمه خشک در ایران بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که با توجه به ضریب همبستگی داده ها تنوع و تغییر پذیری زیادی در سطح حوضه دارند و کلیه مدل های مورد استفاده دقت بالایی در تخمین مقادیر بارش دارند. دیل و اسنیریواسون (Dile and Srinivasan, 2014) در مطالعه ای در اتیوپی نتایج مدل CFSR را بررسی نمودند و نشان دادند که نتایج را بیش از مقادیر مشاهداتی نشان می دهد و در مناطقی که کمبود داده وجود دارد مناسب می باشد. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2013) با بررسی داده های ۸ مدل بازتحلیلی نتیجه گرفتند که CFSR نتایج بهتری را در آفریقای جنوبی ارائه می دهد. طارق و همکاران (Tarek et al., 2020) به بررسی امکان استفاده از داده های بازتحلیلی ERA5 در مدلسازی هیدرولوژیکی با بررسی ۳۱۸۳ حوضه هیدرولوژیکی در آمریکای شمالی پرداختند. نتایج حاکی از افزایش دقت و کاهش انحرافات نتایج در بیشتر مناطق بود. فلاح و همکاران (Fallah et al., 2020) در مطالعه در حوضه رودخانه کارون با بررسی داده های بسیاری از جمله داده های ERA5، CRU CFSR و PERSIANN-CDR نشان دادند که به طور کلی داده های ERA5 مقدار بارندگی را بیشتر از مقادیر مشاهداتی و سه مدل دیگر کمتر از مقادیر مشاهداتی برآورد می کنند. قاجارنیا و همکاران (Ghajarnia et al., 2015) داده های روزانه بارندگی ۶ پایگاه داده را در حوضه ارومیه بررسی و نشان دادند که داده های APHRODITE تخمین مناسبی از داده های مشاهداتی دارد و ۳ درصد بالاتر از مقادیر مشاهداتی می باشد. دارند و همکاران (Darand and Khandu, 2020) با بررسی داده های تعدادی از داده های بارندگی و مقایسه با داده های مشاهداتی نشان دادند که نتایج داده های APHRODITE از دقت بالایی برخوردار است. مطالعه حسینی مغاری و همکاران (Hosseini-Moghari et al., 2018) در ۸۵ ایستگاه بارانسنجی ایران و مقایسه با داده های ۴ مجموعه داده بارش نیز نشان داد که PERSIANN-CDR ضعیفترین نتایج را نسبت به سایر نتایج ارائه می دهد. لطفی راد و همکاران (Lotfirdad et al., 2025)، در مطالعه ای با موضوع تخصیص منابع آب در حوضه آبریز حبله رود در ایران تحت تاثیر اثرات تغییر اقلیم از داده های پایگاه CRU بهره مند شدند؛ این



شکل ۱. موقعیت منطقه و ایستگاه های مورد مطالعه

Fig.1. Location of the study area and the studied stations

جدول ۱. مشخصات ایستگاه های مورد مطالعه

Table 1. The characteristics of synoptic stations

شماره	نام ایستگاه	میانگین بارش سالانه (میلیمتر)	ارتفاع از سطح دریا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	دوره زمانی
۱	مسجد سلیمان	447.59	320.5	42° 14' 24"	31° 58' 58"	1985-2019
۲	بستان	205.50	7.8	48° 0' 35"	31° 42' 25"	1986-2019
۳	بندر ماهشهر	209.04	6.2	49° 9' 32"	30° 32' 42"	1987-2019
۴	رامهرمز	324.79	150.5	49° 35' 45"	31° 16' 19"	1987-2019
۵	امیدیه (آغاجری)	285.56	27	49° 41' 13"	30° 44' 31"	1984-2019
۶	آبادان	169.08	6.6	48° 12' 5"	30° 22' 37"	1966-2019
۷	اهواز	228.54	22.5	48° 44' 38"	31° 20' 38"	1966-2019
۸	صفی آباد	349.40	82.9	48° 25' 58"	32° 15' 10"	1987-2019
۹	بهبهان	344.89	313	50° 13' 1"	30° 36' 18"	1993-2019

پایگاه های داده مورد استفاده

در این مطالعه، میزان بارش بر اساس داده های مبتنی بر باران سنج، داده های مبتنی بر باران سنج و ماهواره و داده های مبتنی بر تحلیل مجدد با در نظر گرفتن مقیاس زمان انجام شد. پایگاه های مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ آمده است.

پایگاه داده PERSIANN-CDR (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks Climate Data Record)

با استفاده از اطلاعات سنجش از دور و بهره گیری از شبکه های عصبی و آموزش در مرکز آب و هواشناسی و سنجش از دور کالیفرنیا برای تخمین بارندگی توسعه داده شد. بارش PERSIANN با استفاده از داده های ماهواره ای و راداری و همچنین استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی بارش را به صورت پیکسل به پیکسل تخمین می زنند. رویکرد این محصول استفاده از تصاویر فروسرخ و تخمین بارش در سلول هایی منظم به ابعاد ۰/۲۵ درجه مکانی برای طول و عرض جغرافیایی بین ۶۰ درجه شمالی تا ۶۰ درجه جنوبی است. محصول CDR باهدف ارائه سری زمانی بلندمدت بارش برای

های یکپارچه مشاهداتی بارندگی آسیا با قدرت تفکیک بالا به منظور ارزیابی منابع آب به صورت سه مجموعه مجزا مناطق موسمی آسیا، خاورمیانه و روسیه را پوشش میدهد (Yatagai et al., 2012).

پایگاه داده CFSR (Climate Forecast System Reanalysis)

یک پایگاه بازتحلیلی است که با استفاده از ترکیبی از داده های جو، اقیانوس، سطح زمین و دریا با رزولوشن ۳۸ کیلومتر و دقت زمانی ۶ ساعته به منظور برآورد داده ها مورد استفاده قرار می گیرد (Saha et al., 2010).

پایگاه داده ERA5 (Fifth generation of ECMWF Reanalysis)

تجزیه و تحلیل مجدد آب و هوا است که توسط ECMWF تولید شده است و داده های بسیاری از پارامترهای جوی، سطح زمین و دریا را ارائه می دهد. داده های ERA5 در شبکه داده های جوی در شبکه های طول و عرض جغرافیایی منظم با وضوح بالا، با پارامترهای جوی در ۱۳۷ سطح فشار در دسترس هستند (Service, 2017).

مطالعات آب و هوایی و هیدرولوژیکی تولید شده است (Ashouri et al., 2016).

پایگاه داده CRU (Climatic Research Unit)

از نهادهای پیشرو و معتبر ارائه مجموعه داده های اقلیمی مورد نیاز در پژوهش های آب و هواشناسی، سیستم های نظارتی منابع آب و مدل های نرم افزاری آب و هوایی می باشد. این پایگاه که داده های اقلیمی مورد نیاز محققان را به صورت شبکه بندی شده و با تفکیک پذیری مکانی بالا در اختیار همگان قرار می دهد؛ از درونیایی اطلاعات تعداد زیادی ایستگاه مشاهداتی استخراج می شود (Harris et al., 2014).

پایگاه داده APHRODITE (Asian Precipitation Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation Of Water Resources)

پایگاه داده APHRODITE توسط مرکز تحقیقات بشر و طبیعت و مرکز تحقیقات هواشناسی کشور ژاپن، به منظور ایجاد پایگاه داده های بارندگی شبکه بندی شده در سراسر قاره آسیا با قدرت تفکیک مکانی بالا و براساس مشاهدات بارانسنج ها آغاز شد. این پایگاه داده که دوره آماری بیش از ۵۷ سال را پوشش می دهد با روش درونیایی تهیه شده است. داده های APHRODITE، داده

جدول ۲. مشخصات پایگاه های داده مورد استفاده

Table 2. The features of the five applied datasets in this study

منبع	پوشش منطقه ای	مقیاس مکانی	دوره زمانی	پایگاه داده
http://catalogue.ceda.ac.uk/	Global	50×50 km	1901–2017	CRU
https://globalweather.tamu.edu	Global	38×38 km	1979–2014	NCEP CFSR
http://www.chikyu.ac.jp/precip/english/products.html	Asia	50×25 km	1951–2007	APHRODITE
https://chrs.web.uci.edu/	Global	0.25° × 0.25°	1983-2019	PERSIANN-CDR
https://www.ecmwf.int/en	Global	0.1° × 0.1°	1981-2019	ERA5

های طبقه بندی شده معروف هستند متشکل از CSI، POD و FAR هستند (جدول ۳). شاخص های دسته اول مقدار دقت بارش تخمینی را بیان می کنند؛ در حالی که شاخص های دسته دوم بر اساس رخداد و عدم رخداد بارش تعیین می شوند. در جدول ۳، N

معیارهای ارزیابی

در این پژوهش برای ارزیابی از دو گروه شاخص استفاده شده است. شاخص های گروه اول متشکل از NSE، RMSE، NRMSE، BIAS، MAE و R^2 بوده و شاخص های گروه دوم که به شاخص

مقادیر "وقوع بارش" به درستی پیش بینی شده‌اند. به عبارت ساده‌تر اگر بارشی اتفاق افتاده است، توانایی پایگاه مورد نظر در برآورد این "وقوع بارش" چه اندازه می‌باشد. آخرین شاخص مربوطه در این بخش FAR است. در توضیح این شاخص می‌توان گفت که بارشی رخ نداده است ولی به اشتباه میزان بارشی توسط پایگاه داده ها ثبت شده است که این مورد توسط FAR بیان می‌شود و هرچه قدر میزان این شاخص کمتر باشد نشان دهنده عملکرد بهتر پایگاه داده مورد نظر است.

تعداد داده ها و i روز میباشد و O_i و M_i به ترتیب داده های مشاهداتی و داده های برآوردی پایگاه داده و H ، J و F به ترتیب تعداد نتایجی که توسط مدل به درستی شناسایی شده اند، تعداد روزهای بارانی که تشخیص داده نشده و مقادیر بارش اشتباه مدل می‌باشد. در ارتباط با شاخص‌های طبقه بندی شده می‌توان گفت که؛ شاخص POD میزان توانایی پایگاه داده در تشخیص درست "وقوع بارش" را نشان می‌دهد که بین ۰ تا ۱ متغیر می‌باشد و مقادیر نزدیک به یک عملکرد بهتر پایگاه داده در برآورد بارش را نشان می‌دهد شاخص CSI نشان دهنده این است که چه کسری از

جدول ۳. شاخص های ارزیابی

Table 3. Evaluation criteria

شاخص	واحد	رابطه	محدوده نتایج
R^2	-	$R^2 = \left[\frac{\sum_1^N (O_i - O_{avg})(M_i - M_{avg})}{\sqrt{\sum_1^N (O_i - O_{avg})^2 \sum_1^N (M_i - M_{avg})^2}} \right]^2$	0 to 1
NSE	-	$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_1^N (O_i - M_i)^2}{\sum_1^N (O_i - O_{avg})^2} \right]$	$-\infty$ to 1
RMSE	mm	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^N (M_i - O_i)^2}{N}}$	0 to $+\infty$
NRMSE	-	$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^N (M_i - O_i)^2}{N}}$	0 to $+\infty$
BIAS	mm	$BIAS = \frac{O_{max} - O_{min}}{\sum_1^N (M_i - O_i)}$	to $+\infty$ $-\infty$
MAE	mm	$MAE = \frac{\sum_1^N M_i - O_i }{N}$	to $+\infty$ 0
POD	-	$POD = \frac{H}{H + J}$	0 to 1
FAR	-	$FAR = \frac{F}{H + F}$	0 to 1
CSI	-	$CSI = \frac{H}{H + F + J}$	0 to 1

آنتروپی شانون بیان کننده مقدار عدم اطمینان در یک توزیع احتمال پیوسته است. اساس این روش بر این پایه استوار است که هرچه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیش تر باشد، آن شاخص اهمیت بیشتری دارد. زمانی که داده‌های یک ماتریس تصمیم‌گیری به طور کامل مشخص باشد و تصمیم‌گیرنده بخواهد با توجه به این داده‌ها، اوزان شاخص‌ها را محاسبه نماید، از این تکنیک می‌تواند برای وزن‌دهی به شاخص‌ها استفاده نماید (Shannon, 1948). آنتروپی شانون به شدت به روش نرمال‌سازی وابسته است و اگر

تکنیک تاپسیس و آنتروپی شانون

مدل تاپسیس (Technique for ordering performance by similarity to ideal solution (TOPSIS)) یکی از روش‌های ارزیابی چند شاخصه (MCDM) می‌باشد که توسط هوانگ و یون (Hwang and Yoon, 1981) ارائه شد. در این روش بهترین گزینه با در نظر گرفتن کمترین فاصله از معیار ایده‌آل و بیشترین فاصله از معیار غیر ایده‌آل انتخاب می‌شود.

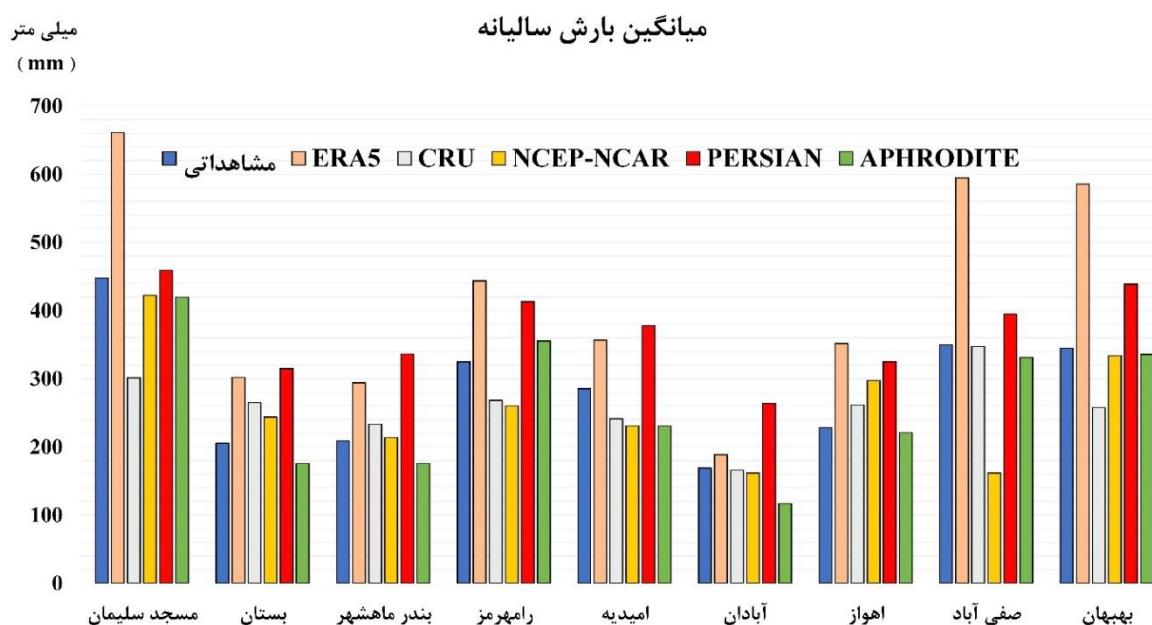
را به صورت مطلوب تری برآورد می‌کنند در حالی که پایگاه های داده PERSIAN-CDR و ERA5 اختلاف زیادی را با نتایج مشاهداتی داشته و غالباً بیش برآورد دارند. این نتیجه اهمیت زیادی دارد، چون نشان می‌دهد برخی پایگاه های داده (مطابق آنچه در ادامه خواهد آمد) اگرچه ممکن است از نظر همبستگی نتایج مطلوبی داشته باشند، اما از نظر مقدار واقعی بارش دچار خطا هستند. از آنجا که پایگاه داده APHRODITE مبتنی بر داده‌های بارش ایستگاهی در آسیا، در مناطق پرتراکم و با اقلیم مشابه مانند استان خوزستان معمولاً خطای کمتری دارد. همچنین بیش برآورد پایگاه داده ERA5 به دلیل کوهستانی بودن ایران و تفکیک مکانی محدود در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک گزارش شده است (Beck et al., 2021).

داده‌ها به درستی نرمال نشده باشند، دامنه متفاوت شاخص‌ها باعث انحراف در محاسبه وزن‌ها می‌شود. در این مطالعه داده ها ابتدا به روش میانگین درجه دو نرمال شده است.

نتایج و بحث

کارایی داده‌های استفاده شده

در ابتدا میانگین بارش سالیانه هر ایستگاه و میانگین بارش سالیانه پایگاه های داده مورد مطالعه محاسبه گردید. داده‌های پایگاه‌های شبکه‌ای (Gridded Data) معمولاً به صورت مقادیر سلولی هستند که ایستگاه در مرکز (یا درون) آن قرار دارد. در این مطالعه، استخراج مقدار بارش سلول متناظر با مختصات ایستگاه بوده است. مطابق نتایج (شکل ۲) مشاهده می‌شود که به‌طور کلی پایگاه های داده APHRODITE، CRU و NCEP CFSR میانگین بارش سالیانه



شکل ۲: مقایسه میانگین بارش سالیانه ایستگاه ها و نتایج حاصل از خروجی پایگاه های داده

Fig. 2. Comparison of the mean annual precipitation of the stations and the results obtained from the database outputs

این مطالعه در خصوص پایگاه داده ERA5 مهم است، چون ممکن است در برخی ایستگاه‌ها R^2 مناسب داشته باشد ولی به علت بیش‌برآورد شدید، از نظر کاربردی ضعیف محسوب شود. بر اساس نتایج در کلیه ایستگاه‌ها مقادیر R^2 در مدل APHRODITE مقادیر مطلوب‌تری را ارائه می‌دهد و بین ۰/۸۸ الی ۰/۹۷ (به طور میانگین ۰/۹۱) متغیر است و نتایج داده‌های PERSIAN-CDR

نتایج مربوط به بررسی کارایی داده‌های مورد استفاده در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که مقادیر R^2 در کلیه ایستگاه‌ها و در کلیه مدل‌ها مطلوب بوده و در بازه ۰/۵۹ الی ۰/۹۷ قرار دارد. البته باید توجه داشت که بالا بودن R^2 لزوماً به معنای نبود خطا نیست؛ ممکن است مدلی روند تغییرات را خوب نشان دهد اما از نظر مقدار واقعی دارای خطا باشد. این مساله در

بررسی نتایج ضریب نش ساتکلیف NSE نیز حاکی از بهتر بودن نتایج پایگاه APHRODITE نسبت به سایر مدل ها می باشد به طوری که کلیه ایستگاه ها بین ۰/۸۵ الی ۰/۹۷ (به طور میانگین ۰/۹۰) متغیر می باشد. این در حالی است که مقادیر این ضریب در کلیه ایستگاه ها به طور میانگین طبق نتایج داده های PERSIANN-CDR، NCEP CFSR، CRU و ERA5 به ترتیب ۰/۶۷، ۰/۶۴، ۰/۷۰ و ۰/۴۱ می باشد و مقادیر این ضریب در غالب ایستگاه ها در مدل ERA5 مطلوب نمی باشد. از آنجا که مقادیر نزدیک به ۱ نشان دهنده عملکرد بسیار خوب هستند و مقادیر پایین، مخصوصاً نزدیک صفر یا منفی، ضعف مدل را نشان می دهند. بنابراین می توان گفت که پایگاه داده APHRODITE از نظر بازتولید رفتار واقعی بارش، بسیار خوب عمل کرده است و پایگاه داده ERA5 با میانگین ۰/۴۱ عملکرد ضعیفی داشته و در بسیاری از ایستگاه ها برای کاربرد دقیق مناسب نیست.

نتایج مربوط به ضرایب RMSE و NRMSE نیز حاکی از این است که داده های APHRODITE در کلیه ایستگاه ها به جز ایستگاه آبادان مقادیر مطلوبتری دارد و نتایج ERA5 در غالب ایستگاه ها مطلوب نبوده و عدم اطمینان زیادی را نشان می دهد. لازم به توضیح است که ماهیت نامنظم بارش ها در استان خوزستان، به ویژه در مناطق دشت و ساحلی، که شامل بارش های رگباری شدید و همچنین دوره های طولانی عدم بارش است، می تواند منجر به تأثیر قابل توجه داده های پرت بر شاخص های آماری عملکرد (RMSE) مانند گردد. همچنین ایستگاه های بهبهان و مسجد سلیمان نسبت به سایر ایستگاه ها مطلوب تر می باشد. به طوری که مشاهده می شود میانگین مقادیر پارامتر NRMSE در کلیه ایستگاه ها طبق نتایج داده های APHRODITE، PERSIANN-CDR، NCEP CFSR، CRU و ERA5 به ترتیب ۰/۵۳، ۰/۹۵، ۰/۹۸ و ۰/۸۸ و ۱/۲۷ می باشد که حاکی از عملکرد مطلوب APHRODITE دارد. این در حالی است که نتایج برخی محققین حاکی از عملکرد مطلوب ERA5 می باشد (Taghizadeh et al., 2020; Khoshchreh et al., 2021).

با بررسی نتایج مربوط به ضریب BIAS مشاهده می شود که در غالب ایستگاه ها نتایج داده های APHRODITE، NCEP CFSR، CRU و مطلوبتر می باشد و نتایج دو مدل دیگر چندان مطلوب

، ERA، NCEP CFSR و CRU به ترتیب در ۵، ۲، ۱ و ۱ ایستگاه در جایگاه بعدی قرار دارد و نتایج داده های NCEP CFSR، CRU و ERA به ترتیب در ۴، ۴ و ۱ ایستگاه کمترین مقادیر را دارد. برخی دیگر از محققین نیز به عملکرد مطلوب داده های APHRODITE اشاره نموده اند (Darand and Khandu, 2020; Ghajarnia et al., 2015; Shayeghi et al., 2020). همچنین نتایج مربوط به سایر مدل ها نیز با مطالعات (Saemian et al., 2021) همسو است. ایشان یک ارزیابی جامع از مجموعه داده های بارش موجود در ایران را ارائه دادند. نتایج ایشان نشان داد که ضرایب همبستگی نتایج داده های PERSIANN-CDR، ERA، NCEP CFSR و CRU با داده های مشاهداتی به ترتیب، ۰/۸۳، ۰/۸۸، ۰/۸۵ و ۰/۸۲ می باشد که با نتایج بدست آمده در این تحقیق همسو می باشد.

با بررسی نتایج مشاهده می شود که دقت نتایج بدست آمده ارتباط مستقیمی با توپوگرافی و ارتفاع ایستگاه و نیز میانگین بارندگی سالیانه ایستگاه ها دارد به طوری که در ایستگاه های با ارتفاع بالاتر از سطح دریا (مسجد سلیمان و بهبهان) مقادیر R^2 بالاتر از سایر ایستگاه ها می باشد و این در حالی است که به طور کلی در سطح استان خوزستان میانگین بارندگی سالانه مناطق شمالی (مناطق با ارتفاع بیشتر و در دامنه رشته کوه های زاگرس) بالاتر از مناطق جنوبی می باشد. این یافته بسیار مهم و از نظر اقلیم شناسی قابل دفاع است. معمولاً در مناطق پربارش و کوهستانی تر عملکرد بسیاری از پایگاه های بارش بهتر است، چون رخداد بارش در این مناطق آشکارتر و شدیدتر است و برآورد آن برای مدل ها و محصولات شبکه ای آسان تر می شود. در مقابل، در مناطق کم بارش و هموار جنوبی خوزستان، رخداد های بارش پراکنده تر و ضعیف ترند و همین موضوع باعث افت عملکرد مدل ها می شود. این مساله توسط برخی دیگر از محققین (Darand and Khandu, 2020) نیز اشاره شده است. همبستگی مثبت بین ارتفاع و دقت، لزوماً به معنای فیزیک بهتر مدل نیست، بلکه می تواند ناشی از تراکم داده های ورودی در فرآیند تولید داده های پایگاه بارش باشد. این الگو معمولاً برای مدل های مبتنی بر باران سنج یکسان است، اما ممکن است برای مدل های تحلیل مجدد به دلیل خطاهای بزرگ در ناهمواری های کوهستانی، متفاوت عمل کند.

این مقادیر در پایگاه PERSIANN-CDR کمترین مقدار را دارد. همچنین طبق محاسبات صورت گرفته مقدار شاخص FAR در کلیه ایستگاه‌ها در مدل CRU مقدار مطلوبتری دارد و به طور متوسط در کلیه ایستگاه‌ها این مقدار ۰/۱۶ می‌باشد و دارای خطای کمی در زمینه گزارش های اشتباه است. نتایج نشان می‌دهد که ممکن است یک پایگاه از نظر تخمین مقدار بارش ضعیف باشد، اما در شناسایی روزهای بارانی خوب عمل کند. به طور مثال پایگاه داده ERA5 با وجود خطا در تخمین بارش، از نظر تشخیص رخداد بارش نتایج مطلوبی دارد و روزهای بارانی را خوب شناسایی می‌کند، اما مقدار بارش را بیش از حد برآورد می‌کند. و یا پایگاه داده CRU در تشخیص درست و کاهش هشدار اشتباه، عملکرد متعادلی داشته و از این نظر برای کاربردهای هشدار و پایش روزهای بارانی مناسب‌تر به نظر می‌رسد و این پایگاه می‌تواند برای تحلیل رخداد بارش، پایش اقلیمی، و ارزیابی احتمال وقوع روزهای بارانی مفید باشد. همچنین در زمینه تشخیص صحیح وقوع بارش بر اساس شاخص POD، پایگاه‌های بارش ERA5 و APHRODITE دارای عملکرد بسیار مناسبی می‌باشد و میتوان گفت برای کاربردهای هیدرولوژیکی و مدیریت سیلاب که نیازمند دقت بالا در تشخیص روزهای بارانی و ثبت مقادیر اوج بارش هستند، پایگاه APHRODITE به دلیل عملکرد بهتر در مناطق کوهستانی و پایگاه ERA-5 به دلیل توانایی در تشخیص روزهای بارانی، اولویت دارند.

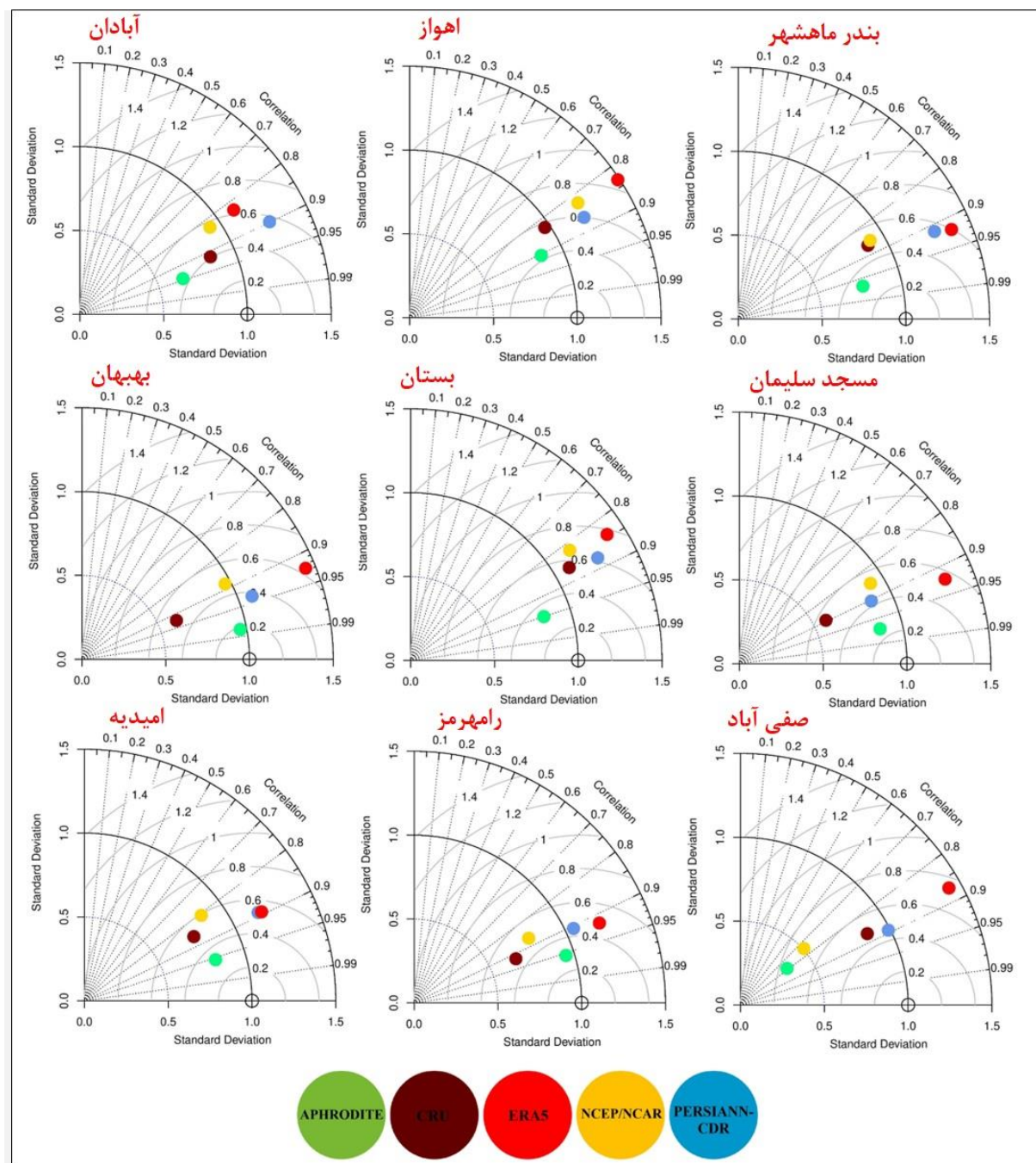
نمی‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که کلیه نتایج داده‌های ERA5 مقادیر را بیشتر از داده‌های مشاهداتی برآورد می‌کنند (بین ۱/۷۹ الی ۱۸/۷۸). این مساله در داده های PERSIANN-CDR نیز مشاهده گردید، این در حالی است که داده‌های APHRODITE در غالب ایستگاه ها مقادیر را کمتر نشان می‌دهند و در خصوص NCEP CFSR و CRU نمی‌توان اظهار نظر نمود. در خصوص CRU مشاهده می‌شود که در مناطق با ارتفاع بالا بیشترین مقادیر منفی این پارامتر رخ می‌دهد (ایستگاه مسجدسلیمان و ایستگاه بهبهان). نتایج برخی از محققین دیگر نیز حاکی از بیش برآورد داده‌های ERA5 دارد (Chen et al., 2021; Fallah et al., 2020; Izadi et al., 2021). در حالی که برخی محققین نتایج PERSIANN-CDR را بیش از مقدار واقعی (Wang et al., 2020) و برخی کمتر از مقدار واقعی (Fallah et al., 2020; Gorjizade et al., 2019) گزارش نموده‌اند. در خصوص داده‌های APHRODITE نیز نتایج قجر نیا و همکاران (Ghajarnia et al., 2015) حاکی از بیش برآورد نتایج به میزان ۳ درصد بوده است. همانطور که عنوان شد، در این پژوهش و برای ارزیابی عملکرد داده‌ها از شاخص‌های طبقه‌بندی POD، CSI و FAR نیز استفاده شد. همانطور که ملاحظه می‌گردد، بر اساس شاخص CSI، پایگاه بارش CRU دارای عملکرد بالایی از نظر پیش‌بینی‌های صحیح بارش می‌باشد. این شاخص در کلیه ایستگاه‌ها مقداری بین ۰/۷۱ الی ۰/۸۱ (به طور متوسط ۰/۷۸) دارد. همچنین در کلیه ایستگاه‌ها

جدول ۴. مقایسه نتایج خروجی پایگاه های داده بارش و نتایج مشاهداتی

Table 4. Comparison of precipitation database output results and observational results

شاخص	R ²					NSE				
	APHRODITE	PERSIANN-CDR	NCEP CFSR	CRU	ERA5	APHRODITE	PERSIANN-CDR	NCEP CFSR	CRU	ERA5
مسجد سلیمان	0.94	0.82	0.77	0.77	0.86	0.922	0.819	0.739	0.617	0.648
بستان	0.90	0.70	0.66	0.59	0.68	0.877	0.506	0.561	0.540	0.402
بندر ماهشهر	0.93	0.78	0.80	0.73	0.77	0.889	0.586	0.738	0.727	0.330
رامهرمز	0.92	0.81	0.76	0.79	0.80	0.912	0.682	0.708	0.742	0.588
امیدیه (آغاجری)	0.91	0.78	0.70	0.74	0.79	0.885	0.652	0.637	0.720	0.590
آبادان	0.90	0.74	0.62	0.80	0.60	0.835	0.513	0.590	0.792	0.448
اهواز	0.85	0.81	0.72	0.77	0.74	0.869	0.666	0.618	0.767	0.380
صفی آباد	0.92	0.80	0.61	0.72	0.76	0.914	0.784	0.365	0.716	-0.022
بهبهان	0.97	0.85	0.83	0.81	0.82	0.965	0.827	0.790	0.691	0.285
شاخص	RMSE (mm)					NRMSE				
	APHRODITE	PERSIANN-CDR	NCEP CFSR	CRU	ERA5	APHRODITE	PERSIANN-CDR	NCEP CFSR	CRU	ERA5

مسجد	17.049	23.357	29.058	33.805	32.486	0.438	0.671	0.803	0.981	0.930
سليمان										
بستان	9.796	19.429	17.785	18.775	21.328	0.573	1.202	1.113	1.180	1.317
بندر ماهشهر	10.217	19.612	15.330	15.052	23.664	0.593	1.231	0.936	0.948	1.476
رامهرمز	13.600	20.333	23.145	20.740	26.048	0.506	0.869	0.928	0.882	1.108
امیدیه										
(آغاجری)	12.364	20.515	21.542	18.395	22.222	0.539	0.965	0.982	0.867	1.040
آبادان	11.132	15.545	14.109	10.150	16.298	0.796	1.223	1.089	0.787	1.292
اهواز	11.752	17.514	19.259	15.002	23.829	0.582	0.955	1.009	0.792	1.280
صفی آباد	12.628	18.591	32.588	20.891	40.354	0.445	0.711	1.215	0.816	1.540
بهبهان	9.125	18.937	21.480	17.129	38.481	0.314	0.700	0.789	0.643	1.422
شاخص										
BIAS (mm)						MAE (mm)				
ایستگاه	APHRODITE	PERSIANN-CDR	NCEP CFSR	CRU	ERA5	APHRODITE	PERSIANN-CDR	NCEP CFSR	CRU	ERA5
مسجد	-3.540	0.704	-2.898	-12.193	15.234	7.759	13.616	13.840	15.551	18.747
سليمان										
بستان	-2.058	8.269	2.576	3.666	7.065	4.497	11.018	9.400	9.602	10.587
بندر ماهشهر	-2.733	8.525	-1.033	0.812	6.656	4.138	11.020	6.641	7.233	10.082
رامهرمز	2.633	7.484	-5.710	-3.817	9.960	6.675	11.885	10.277	9.381	13.003
امیدیه										
(آغاجری)	-3.727	6.864	-4.440	-3.687	6.313	5.392	11.686	9.697	8.545	10.505
آبادان	-4.250	6.678	-1.713	-0.802	1.786	4.638	8.840	6.868	4.774	6.851
اهواز	-0.358	7.381	3.389	0.717	8.059	5.314	9.620	9.376	7.056	11.137
صفی آباد	-1.095	3.681	-15.236	0.804	18.779	5.588	10.627	16.839	10.754	21.455
بهبهان	-0.654	4.728	-2.555	-8.115	17.822	4.701	11.063	10.222	12.433	19.472
شاخص										
CSI						FAR				
ایستگاه	APHRODITE	PERSIANN-CDR	NCEP CFSR	CRU	ERA5	APHRODITE	PERSIANN-CDR	NCEP CFSR	CRU	ERA5
مسجد	0.620	0.401	0.746	0.779	0.587	0.361	0.585	0.203	0.143	0.401
سليمان										
بستان	0.772	0.550	0.642	0.766	0.604	0.220	0.443	0.323	0.199	0.392
بندر ماهشهر	0.745	0.543	0.746	0.815	0.644	0.232	0.439	0.180	0.147	0.344
رامهرمز	0.583	0.561	0.738	0.760	0.621	0.411	0.431	0.218	0.199	0.379
امیدیه										
(آغاجری)	0.712	0.548	0.776	0.780	0.607	0.288	0.448	0.136	0.185	0.382
آبادان	0.745	0.527	0.727	0.793	0.649	0.228	0.452	0.184	0.146	0.337
اهواز	0.745	0.659	0.739	0.806	0.000	0.235	0.299	0.215	0.135	0.268
صفی آباد	0.810	0.587	0.675	0.791	0.685	0.139	0.398	0.105	0.086	0.309
بهبهان	0.500	0.421	0.733	0.711	0.500	0.500	0.579	0.196	0.200	0.496
شاخص										
POD										
ایستگاه	APHRODITE	PERSIANN-CDR	NCEP CFSR	CRU	ERA5					
مسجد	0.954	0.924	0.922	0.896	0.967					
سليمان										
بستان	0.987	0.978	0.925	0.945	0.990					
بندر ماهشهر	0.962	0.946	0.893	0.948	0.972					
رامهرمز	0.982	0.978	0.930	0.936	1.000					
امیدیه										
(آغاجری)	1.000	0.989	0.884	0.948	0.971					
آبادان	0.956	0.933	0.869	0.917	0.969					
اهواز	0.966	0.915	0.926	0.921	1.000					
صفی آباد	0.932	0.961	0.733	0.855	0.988					
بهبهان	1.000	1.000	0.892	0.865	0.984					



شکل ۳. دیاگرام تیلور ایستگاه ها و نتایج هر پایگاه داده

Figure 3. Taylor diagram of the stations and the results of each database

با در نظر گرفتن سری زمانی. بر اساس نمودارهای تیلور ترسیم شده برای هر ایستگاه نیز مشاهده می شود که داده های بارش APHRODITE بهترین عملکرد را با کمترین RMSD در غالب ایستگاه ها (به جز ایستگاه صفی آباد) دارند. و به طور کلی نتایج داده های CRU در رتبه ی بعدی قرار دارند و ERA5 در مقایسه با سایر داده ها از مطلوبیت پایین تری برخوردار است. نتایج حاکی

همچنین عملکرد مجموعه داده های بارش ایستگاه ها در این منطقه در نمودار تیلور خلاصه شد (Taylor, 2001) همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است. نمودار تیلور سه معیار آماری را ترکیب می کند (i) ضریب همبستگی پیرسون، (ii) انحراف معیار، و (iii) اختلاف ریشه میانگین مربع (RMSD) در یک واحد محاسبه شده

۴، ۳ و ۲ ایستگاه نتایج بهتری داشتند و نتایج ERA5 و PERSIANN-CDR در بیشتر ایستگاه ها مطلوب نبود. چنانچه مشاهده میشود با کمک استفاده از نتایج تکنیک تاپسیس درک مناسبی جهت کاربرد استفاده از داده های پایگاه های بارش به دست می آید که با بررسی جداگانه معیارها امکان پذیر نمی باشد به طور مثال در ایستگاه بندر ماهشهر و با بررسی شاخص R^2 مشاهده میشود که پایگاه داده CRU نتایج مطلوبی ندارد و در بین ۵ پایگاه داده در رتبه آخر قرار دارد در حالی که با وزندگی به سایر شاخص ها در نتیجه گیری نهایی این پایگاه داده رتبه برتر را کسب نموده است که یکی از علل این مساله این است که علی رغم کسب رتبه آخر در شاخص R^2 مقدار این شاخص در پایگاه یاد شده مطلوب و نزدیک به مقادیر سایر پایگاه های داده بوده است.

از آن است که به طور کلی پایگاه های داده مبتنی بر داده های ایستگاهی (APHRODITE, CRU) در استان خوزستان بهتر از داده های بازتحلیل (ERA5) عمل می کنند.

کاربرد تاپسیس و آنتروپی شانون در ارزیابی داده های پایگاه های استفاده شده

با توجه به تعدد معیارهای ارزیابی، در این پژوهش به منظور ارزیابی داده های دریافتی از روش تاپسیس به منظور رتبه بندی داده ها در هر کدام از ایستگاه ها استفاده شد و همچنین وزندگی معیارها با استفاده از آنتروپی شانون صورت پذیرفت. مقایسه جداگانه شاخص ها (مثل مقایسه جداگانه NSE, RMSE, NRMSE, BIAS, MAE, R^2 و ...) معمولاً به نتایج متناقض منجر می شود (مثلاً یک پایگاه داده در RMSE بهتر است، اما یک پایگاه دیگر در ضریب همبستگی). تاپسیس (TOPSIS) یک ترکیب ایجاد می کند؛ یعنی با در نظر گرفتن همزمان همه شاخص ها، گزینه ای را انتخاب می کند که «کوتاه ترین فاصله از ایده آل مثبت» و «بیشترین فاصله از ایده آل منفی» را دارد. این روش، تضادهای بین شاخصی را حل کرده و یک رتبه واحد و جامع ارائه می دهد که در روش های تک شاخصه نا ممکن است.

چنانچه مشاهده میشود در این مطالعه، وزن معیارها مساوی فرض نشده است. با کمک روش آنتروپی شانون، وزن هر معیار بر اساس میزان پراکندگی داده های آن شاخص تعیین می شود. اگر یک معیار (مثلاً RMSE) در بین پایگاه های مختلف تغییرات بسیار کمی داشته باشد، آنتروپی شانون به آن وزن کمتری می دهد؛ زیرا آن شاخص قدرت تفکیک و تمایز پایگاه ها از یکدیگر را ندارد.

نتایج در جدول شماره ۵ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می شود شاخص های Bias و FAR بیشترین تاثیر (بیش از ۷۵ درصد) و معیار POD و R^2 کمترین تاثیر را در وزندگی معیارها در این روش به خود اختصاص می دهند. این نتیجه نشان می دهد که معیارهای خطای سیستماتیک (Bias) معمولاً بیشترین وزن را می گیرند و شاخص های همبستگی غالباً کم وزن اند زیرا به تنهایی نماینده دقت مقدار بارش نیستند و بسیاری از پایگاه های داده علی رغم همبستگی بالا با داده های مشاهداتی، دقت مطلوبی ندارند. به این ترتیب نتایج APHRODITE، CRU و NCEP CFSR در

جدول ۵. وزندهی معیارها بر اساس آنتروپی شانون و نتایج تکنیک تاپسیس

Table 5. Weighting of criteria based on Shannon entropy and the results of the TOPSIS technique

نام ایستگاه	وزن بندی آنتروپی شانون							رتبه بندی تاپسیس				
	R ²	NSE	NRMSE	Bias	POD	CSI	FAR	APHRODITE	PERSIANN- CDR	NCEP CFSR	CRU	ERA5
مسجد سلیمان	0.0053	0.0204	0.0648	0.6643	0.0007	0.0446	0.2000	1	2	1	4	5
بستان	0.0371	0.1310	0.1224	0.5062	0.0013	0.0324	0.1695	1	5	2	3	4
بندر ماهشهر	0.0074	0.0048	0.0928	0.6992	0.0009	0.0207	0.1741	2	5	3	1	4
رامهرمز	0.0104	0.0533	0.1447	0.5044	0.0021	0.0393	0.2459	2	4	3	1	5
امیدیه (آغاجری)	0.0242	0.0626	0.1361	0.2072	0.0056	0.0555	0.5089	3	5	1	2	4
آبادان	0.0294	0.0730	0.0536	0.6078	0.0018	0.0240	0.2104	4	5	2	1	3
اهواز	0.0037	0.0691	0.0665	0.7905	0.0012	0.0042	0.0648	1	4	3	2	5
صفی آباد	0.0085	0.2348	0.0841	0.4879	0.0055	0.0067	0.1726	2	3	4	1	5
بهبهان	0.0032	0.0919	0.1576	0.5711	0.0028	0.0352	0.1382	1	3	2	4	5
میانگین								1.89	4.00	2.33	2.11	4.44

نتیجه گیری

توجه به تعدد شاخص های ارزیابی و تعدد پایگاه های بارش ابزاری مطلوب جهت رتبه بندی آنها در هر منطقه است. از آنجا که در برخی از شاخص های ارزیابی، خروجی بارش برخی پایگاه های دیگر عملکرد بهتری را نشان داد با استفاده از یکی از روش های تصمیم گیری چند متغیره یعنی تکنیک تاپسیس در هر یک از ایستگاه ها پایگاه داده مطلوب تر انتخاب گردید. وزندهی شاخص های بکار رفته در این تکنیک به کمک آنتروپی شانون انجام شد. با استفاده از نتایج تکنیک تاپسیس مشخص شد که داده های APHRODITE، CRU و CFSR عملکرد بهتری داشته اند و عملکرد دو مدل دیگر مطلوب نمی باشد. برخی از مدل ها ممکن است رخداد بارش را به خوبی شناسایی کنند (مثلاً در ۸۰ درصد روزها رخداد بارش را به درستی تشخیص دهند)، اما در محاسبه شدت بارش در آن روزها دچار خطا باشند. این موضوع به عنوان تفکیک خطای تشخیص از خطای مقدار شناخته می شود و یک نقطه عطف در ارزیابی پایگاه های داده می باشد. نتایج نشان داد که بر اساس نوع نیاز به داده های مورد نظر می توان از گروه خاصی از داده ها و پایگاه های داده استفاده نمود به طوری که در صورتی که تشخیص صحیح روزهای بارانی و یا مطالعه با هدف کمترین خطا در تشخیص روزهای بارانی مد نظر باشد، داده های مبتنی بر باران سنجی و تحلیل مجدد نتایج مطلوب تری را ارائه می نمایند. در پایان می توان گفت که در شرایطی که دسترسی به نتایج داده های مشاهداتی دشوار و یا ناممکن باشد استفاده از داده های این پایگاه های بارش با دقت و ضریب اطمینان بالا قابل استفاده است.

به طور کلی داده های پایگاه های تخمین بارش شامل داده های مبتنی بر باران سنج، داده های مبتنی بر باران سنج و ماهواره و داده های مبتنی بر تحلیل مجدد می شوند. این مطالعه به منظور ارزیابی و بررسی عملکرد تعدادی از پایگاه های تخمین بارندگی شامل پایگاه های APHRODITE و CRU (مبتنی بر باران سنج)، PERSIANN-CDR (مبتنی بر باران سنج و ماهواره) و NCEP و ERA-5 و CFSR (مبتنی بر تحلیل مجدد) انجام شد. ۹ ایستگاه سینوپتیک با اقلیم های متنوع شامل مناطق کوهستانی، کوهپایه، دشت و مناطق ساحلی در استان خوزستان مورد مطالعه قرار گرفت. استفاده از دوره آماری بلندمدت در این پژوهش، امکان ارائه تصویری پایدار از نتایج حاصله را فراهم کرده است.

در ابتدا نتایج داده های مشاهداتی با نتایج دریافتی از هر از پایگاه های داده بررسی گردید که بر اساس بیشتر شاخص های ارزیابی نتایج حاصل از داده های APHRODITE انطباق بیشتری با داده های مشاهداتی استان خوزستان داشت. بنابراین می توان نتیجه گرفت از میان پایگاه های داده، APHRODITE که ماهیتش بر اساس درونیابی داده های زمینی است بهترین عملکرد را دارد. با بررسی نتایج مشاهده می شود که دقت نتایج بدست آمده ارتباط مستقیمی با توپوگرافی و ارتفاع ایستگاه و نیز میانگین بارندگی سالیانه ایستگاه ها دارد به طوری که در ایستگاه های با ارتفاع بالاتر از سطح دریا و دارای میانگین بارندگی سالانه بیشتر نتایج مطلوب تری ارائه می دهند. استفاده از روش های تصمیم گیری چند متغیره با

References

- Ashouri, H., Sorooshian, S., Hsu, K. L., Bosilovich, M. G., Lee, J., Wehner, M. F., & Collow, A. (2016). Evaluation of NASA's MERRA precipitation product in reproducing the observed trend and distribution of extreme precipitation events in the United States. *Journal of Hydrometeorology*, 17(2), 693-711. <https://doi.org/10.1175/jhm-d-15-0097.1>
- Beck, H. E., Pan, M., Miralles, D. G., Reichle, R. H., Dorigo, W. A., Hahn, S., Sheffield, J., & Wood, E. F. (2020). Evaluation of 18 satellite-and model-based soil moisture products using in situ measurements from 826 sensors. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2020, 1-35. <https://doi.org/10.5194/hess-2020-184-supplement>
- Chen, Y., Sharma, S., Zhou, X., Yang, K., Li, X., Niu, X., Hu, X., & Khadka, N. (2021). Spatial performance of multiple reanalysis precipitation datasets on the southern slope of central Himalaya. *Atmospheric Research*, 250, 105365. <https://doi.org/10.5194/hess-2020-184-supplement>
- Darand, M., & Khandu, K. (2020). Statistical evaluation of gridded precipitation datasets using rain gauge observations over Iran. *Journal of Arid Environments*, 178, 104172. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104172>
- Dile, Y. T., & Srinivasan, R. (2014). Evaluation of CFSR climate data for hydrologic prediction in data-scarce watersheds: an application in the Blue Nile River Basin. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 50(5), 1226-1241. <https://doi.org/10.1111/jawr.12182>
- Eini, M. R., Javadi, S., Delavar, M., Monteiro, J. A., & Darand, M. (2019). High accuracy of precipitation reanalyses resulted in good river discharge simulations

- in a semi-arid basin. *Ecological engineering*, 131, 107-119. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.03.005>
- Fallah, A., Rakhshandehroo, G. R., Berg, P., O, S., & Orth, R. (2020). Evaluation of precipitation datasets against local observations in southwestern Iran. *International Journal of Climatology*, 40(9), 4102-4116. <https://doi.org/10.1002/joc.6445>
- Ghajarnia, N., Liaghat, A., & Arasteh, P. D. (2015). Comparison and evaluation of high resolution precipitation estimation products in Urmia Basin-Iran. *Atmospheric Research*, 158, 50-65. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.02.010>
- Gorjizade, A., Akhoond-Ali, A., Shahbazi, A., & Moridi, A. (2019). Comparison of two high-resolution gridded precipitation data sets at the upstream of the Maroun dam in Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(3), 527-541. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.269435.668058> (In persian)
- Harris, I. P. D. J., Jones, P. D., Osborn, T. J., & Lister, D. H. (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3. 10 Dataset. *International journal of climatology*, 34(3), 623-642. <https://doi.org/10.1002/joc.3711>
- Hosseini-Moghari, S. M., Araghejad, S., & Ebrahimi, K. (2018). Spatio-temporal evaluation of global gridded precipitation datasets across Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 63(11), 1669-1688. <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1524986>
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey* (pp. 58-191). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
- Izadi, N., Karakani, E. G., Saadatabadi, A. R., Shamsipour, A., Fattahi, E., & Habibi, M. (2021). Evaluation of ERA5 precipitation accuracy based on various time scales over Iran during 2000–2018. *Water*, 13(18), 2538. <https://doi.org/10.3390/w13182538>
- Khoshchreh, M., Ghomeshi, M., & Shahbazi, A. (2020). Hydrological evaluation of global gridded precipitation datasets in a heterogeneous and data-scarce basin in Iran: M. Khoshchreh et al. *Journal of Earth System Science*, 129(1), 201. <https://doi.org/10.1007/s12040-020-01462-5>
- Lotfirad, M., Mahmoudi, M., Esmaeili-Gisavandani, H., & Adib, A. (2025). Allocation of water resources with management approaches and under climate change scenarios in an arid and semi-arid watershed (study area: Hablehroud watershed in Iran). *Applied Water Science*, 15(4), 74. <https://doi.org/10.1007/s13201-025-02416-2>
- Saemian, P., Hosseini-Moghari, S.-M., Fatehi, I., Shoarinezhad, V., Modiri, E., Tourian, M. J., Tang, Q., Nowak, W., Bárdossy, A., & Sneeuw, N. (2021). Comprehensive evaluation of precipitation datasets over Iran. *Journal of Hydrology*, 603, 127054. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127054>
- Saha, S., Moorthi, S., Pan, H.-L., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Kistler, R., Woollen, J., & Behringer, D. (2010). The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(8), 1015-1058. <https://doi.org/10.1175/2010bams3001.1>
- Service, C. C. C. (2017). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.143582cf>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Shayeghi, A., Azizian, A., & Brocca, L. (2020). Reliability of reanalysis and remotely sensed precipitation products for hydrological simulation over the Sefidrood River Basin, Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 65(2), 296-310. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1691217>
- Taghizadeh, E., Ahmadi-Givi, F., Brocca, L., & Sharifi, E. (2021). Evaluation of satellite/reanalysis precipitation products over Iran. *International Journal of remote sensing*, 42(9), 3474-3497. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1875508>
- Tarek, M., Brissette, F. P., & Arsenault, R. (2020). Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5), 2527-2544. <https://doi.org/10.5194/hess-24-2527-2020>
- Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 106(D7), 7183-7192. <https://doi.org/10.1029/2000jd900719>
- Wang, N., Liu, W., Sun, F., Yao, Z., Wang, H., & Liu, W. (2020). Evaluating satellite-based and reanalysis precipitation datasets with gauge-observed data and hydrological modeling in the Xihe River Basin, China. *Atmospheric Research*, 234, 104746. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104746>
- Yatagai, A., Kamiguchi, K., Arakawa, O., Hamada, A., Yasutomi, N., & Kitoh, A. (2012). APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(9), 1401-1415. <https://doi.org/10.1175/bams-d-11-00122.1>
- Zhang, Q., Körnich, H., & Holmgren, K. (2013). How well do reanalyses represent the southern African precipitation?. *Climate dynamics*, 40(3), 951-962. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1423-z>