



## Temporal and Spatial Evaluation of Global Precipitation Products (Iran's Sub Basins)

Fatemeh Moghaddasi<sup>1</sup> | Mahnoosh Moghaddasi<sup>2,3✉</sup> | Mehdi Mohammadi Ghaleni<sup>3,4</sup>

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran. E-mail: [f.moghaddasi.00@msc.araku.ac.ir](mailto:f.moghaddasi.00@msc.araku.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran. E-mail: [m-moghaddasi@araku.ac.ir](mailto:m-moghaddasi@araku.ac.ir)
3. Research Institute for Water Science and Engineering, Arak University, Arak, Iran. E-mail: [m-moghaddasi@araku.ac.ir](mailto:m-moghaddasi@araku.ac.ir); [m-mohammadighaleni@araku.ac.ir](mailto:m-mohammadighaleni@araku.ac.ir)
4. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran. E-mail: [m-mohammadighaleni@araku.ac.ir](mailto:m-mohammadighaleni@araku.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

### Article history:

Received 11 May 2023  
Received in revised form  
12 June 2023  
Accepted 24 July 2023  
Published online 17 January 2024

### Keywords:

Basin  
Climate  
ERA5  
GLDAS  
Global precipitation products  
MERRA2  
TERRA

### ABSTRACT

The goal of this study, is to evaluate temporal (monthly) and spatial (in both point scale (40 synoptic stations) and region scale (30 river basins and four climate zones) global propitiation products with observational values in Iran as case study. To this end, first observational data (100 synoptic on a daily scale) and global precipitation products including ERA5, MRRRA2, GLDAS and TERRA (with different spatial resolution on a monthly scale) during the period of 1366-1398, were collected and extracted. Then, the stations and river basins were classified based on aridity index. Statistics criteria's such as coefficient of determination ( $R^2$ ), normalized square root mean square error (NRMSE) and mean oblique error (MBE) were used to compare the data products with observational data. The results of the criteria in point scale showed that the TERRA products in all seasons except summer and in the Hyper-arid, Arid and Semi-arid climate, with an average of 70 percent correlation coefficient higher than 0.5 ( $R$ ) and 90 percent error rate less than 0.5 (NRMASE) showed a better performance than the rest of the products and in the Humid climate zones of the ERA5 product. In region scale, it also showed that TERRA product in Hyper-arid, ERA5, MRRRA2, GLDAS and TERRA products in Arid climate zones, ERA5 and TERRA products in Semi-arid climate and ERA5, TERRA and MERRA2 showed more suitable efficiency in Humid climate with an average of 80% correlation coefficient higher than 0.5 and 70 percent error rate less than 0.5. Consequently, the TERRA and MERRA2 product in point, region and climate has had good performance.

**Cite this article:** Moghaddasi, F., Moghaddasi, M., & Mohammadi Ghaleni, M. (2024). Temporal and Spatial Evaluation of Global Precipitation Products (Iran's Sub Basins). *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (4), 889-908.  
DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.359108.1076>



© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.359108.1076>



## ارزیابی زمانی و مکانی پایگاه‌های جهانی بارش (حوضه‌های آبریز درجه دو ایران)

فاطمه مقدسی<sup>۱</sup> | مهنوش مقدسی<sup>۲</sup> | مهدی محمدی قلعه‌نی<sup>۳</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران. رایانامه: [f.moghaddasi.00@msc.araku.ac.ir](mailto:f.moghaddasi.00@msc.araku.ac.ir)
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران. رایانامه: [m-moghaddasi@araku.ac.ir](mailto:m-moghaddasi@araku.ac.ir)
۳. پژوهشکده آب، علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران. رایانامه: [m-mohammadighaleni@araku.ac.ir](mailto:m-mohammadighaleni@araku.ac.ir)
۴. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران. رایانامه: [m-mohammadighaleni@araku.ac.ir](mailto:m-mohammadighaleni@araku.ac.ir)

## اطلاعات مقاله

## چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

در این پژوهش هدف ارزیابی پایگاه داده‌های بارش با مقادیر مشاهداتی به صورت زمانی (ماهانه و فصلی) و مکانی (دو حالت نقطه‌ای (۴۰ ایستگاه سینوپتیک) و سطحی (۳۰ حوضه آبریز درجه دو و چهار اقلیم))، در کشور به عنوان منطقه مطالعاتی می‌باشد. بدین منظور ابتدا داده‌های مشاهداتی (۱۰۰ ایستگاه در مقیاس روزانه) و پایگاه‌های جهانی بارش شامل ERA5، MRRRA2، GLDAS و TERRA (با تفکیک مکانی مختلف در مقیاس ماهانه) طی دوره زمانی ۱۳۶۶-۱۳۹۸ گردآوری و استخراج گردید. سپس براساس شاخص خشکی، طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌ها و حوضه‌ها انجام شده است. ارزیابی دقت پایگاه‌ها با استفاده از معیارهای ضریب همبستگی (R)، میانگین خطای اریبی (MBE) و مجذور میانگین مربع خطا استاندارد شده (NRMSE) استفاده شده است. نتایج معیارهای در بارش ایستگاهی نشان داد که پایگاه TERRA در همه فصول به جز تابستان و در اقلیم‌های فراخشک، خشک و نیمه‌خشک، با متوسط ۷۰ درصد ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۵ (R) و میزان خطای ۹۰ درصد کم‌تر از ۰/۵ (NRMSE) نسبت به بقیه پایگاه‌ها و در اقلیم مرطوب پایگاه ERA5 عملکرد بهتری را از خود نشان داد. در بارش حوضه‌ای نیز نشان داد به ترتیب پایگاه TERRA در اقلیم فراخشک، پایگاه‌های ERA5، MRRRA2، GLDAS و TERRA در اقلیم خشک، پایگاه‌های ERA5 و TERRA در اقلیم نیمه‌خشک و پایگاه‌های ERA5، TERRA و MERRA2 در اقلیم مرطوب با متوسط ۸۰ درصد ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۵ و میزان خطای ۷۰ درصد کم‌تر از ۰/۵ کارایی مناسب‌تری را نشان دادند. به طور کلی پایگاه TERRA در حالت نقطه‌ای، سطحی و اقلیمی از عملکرد خوبی برخوردار بوده است که می‌توان گفت به علت دقت مکانی بالای آن بوده باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷

## کلیدواژه‌ها:

اقلیم

داده‌های جهانی بارش

حوضه

ERA5

MRRRA2

GLDAS

TERRA

استناد: مقدسی، فاطمه؛ مقدسی، مهنوش و محمدی قلعه‌نی، مهدی (۱۴۰۲). ارزیابی زمانی و مکانی پایگاه‌های جهانی بارش (حوضه‌های آبریز درجه دو ایران). نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۳ (۴)، ۸۸۹-۹۰۸. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.359108.1076>



## ۱. مقدمه

بارش یکی از متغیرهای اساسی در معادله‌ی بیلان آب می‌باشد که با تغییر شدت و میزان آن، رواناب، رطوبت خاک، پوشش گیاهی و تغذیه آب‌های زیرزمینی و دیگر متغیرهای آب و هواشناسی در منطقه تغییر می‌یابند. لذا پایش و برآورد دقیق بارش از موضوعات مهم در زمینه مدیریت منابع آب، شناسایی و آنالیز خشکسالی، پیش‌بینی سیلاب و مدل‌سازی هیدرولوژیکی می‌باشد (Schmidhuber *et al.*, 2007; Mishra *et al.*, 2010; Sorooshian *et al.*, 2011; Pachauri *et al.*, 2014; Tang *et al.*, 2016; Woznicki *et al.*, 2015). اما با توجه به پراکندگی، تراکم نامناسب، کمبود و هم‌چنین وجود خلأهای آماری در ایستگاه‌های بارانسنج، پژوهش‌گران با چالش‌های فراوانی برای پایش آن مواجه هستند (Su *et al.*, 2008; Xu *et al.*, 2016). امروزه توسعه پایگاه‌های مدل‌سازی و پیش‌بینی داده‌های اقلیمی با توان تفکیک مکانی و زمانی، امکان دسترسی به داده‌های تقریباً به‌هنگام را فراهم کرده و تا حدودی چالش‌های مذکور را مرتفع نموده است. پایگاه‌های داده‌کاوی نظیر NCEP/NCAR<sup>۱</sup>، پایگاه اقلیم جهانی (CRU)<sup>۲</sup>، مرکز پیش‌بینی میان‌مدت-جوی اروپایی (ECMWF)<sup>۳</sup> از این نوع می‌باشند. این داده‌ها از منابع مختلف ۱- ایستگاه- مبنا (Gauge-based)، ۲- ماهواره (Remote Sensing)، ۳- مدل‌های عددی و ۴- یا ترکیبی از سه مورد اول (Assimilation) تهیه می‌گردند (Hosseini-Moghari *et al.*, 2018; Sun *et al.*, 2018; Saemian *et al.*, 2022). اگرچه این داده‌ها ذاتاً از دقت کم‌تری نسبت به داده‌های مشاهداتی برخوردار هستند، اما پژوهش‌های متعددی پتانسیل آن‌ها را به‌عنوان یک منبع جایگزین مناسب در مناطق فاقد ایستگاه و مناطق با توزیع ناهمگن ایستگاه‌ها نشان داده‌اند (Pom'eon *et al.*, 2017; Salman *et al.*, 2019; Eghdami and Barros, 2019). عملکرد این پایگاه‌ها در مناطق مختلف متفاوت است بنابراین بدون ارزیابی اولیه نمی‌توان از آن‌ها استفاده نمود (Camici *et al.*, 2018). مطالعات متعددی در سطح کشور به‌منظور ارزیابی بارش صورت گرفته است که در ادامه به برخی از جدیدترین آن‌ها اشاره خواهد شد (Javanmard *et al.*, 2010; Katiraie-Boroujerdy *et al.*, 2013; Khalili and Rahimi, 2014; Shokoohi and Morovati, 2015; Katiraie-Boroujerdy *et al.*, 2016; Moazami *et al.*, 2016; Darand *et al.*, 2017; Dezfooli *et al.*, 2018; Hosseini-Moghari *et al.*, 2018; Hosseini-Moghari Saemian *et al.*, 2020; Ghazat *et al.*, 2020; Darand and Khandu, 2020). در پژوهش خود ۴۴ و ۳۴ پایگاه داده‌های بارش از منابع مختلف به‌ترتیب در مقیاس ماهانه و روزانه در سطح ایران را با استفاده از ۱۵۰۰ ایستگاه بارانسنج طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۳ بررسی نمودند. بدین منظور از دو روش point to pixel و to pixel برای ریزمقیاس‌نمودن داده‌ها استفاده گردید. نتایج نشان داد محصولات GPCP<sup>۴</sup>، PERSIANN-PDIR<sup>۵</sup>، GPCP<sup>۴</sup>، ERA-Interim<sup>۶</sup>، WFDEI-GPCC<sup>۸</sup> و MERRA-2<sup>۹</sup> بهترین عملکرد را دارند هرچند عملکرد آن‌ها در حوضه‌ها متفاوت تغییر می‌نماید. دقت داده‌های دو پایگاه CRU TS4.05 و ERA5<sup>۱۰</sup> برای متغیرهای بارش، دما و تبخیرتقرق پتانسیل ماهانه به تفکیک اقلیم‌های مختلف ایران موردبررسی قرار گرفته است. بدین منظور از داده‌های روزانه ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک و داده‌های ماهانه پایگاه‌های CRU TS4.05 و ERA5 با تفکیک مکانی ۰/۵×۰/۵ و ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه طی دوره زمانی ۱۹۸۷-۲۰۱۹ استفاده شد. نتایج حاکی از دقت بیشتر هر دو پایگاه داده در مورد متغیرهای دما، تبخیرتقرق پتانسیل و بارش است. به‌طور کلی دقت پایگاه داده ERA5 نسبت به CRU TS4.05 بیشتر است، اما پیشنهاد می‌شود برای متغیر بارش در اقلیم‌های نیمه‌مرطوب و مرطوب از پایگاه داده ERA5 استفاده شود (Ghalenimohammadi *et al.*, 2022). در پژوهش دیگری، مدل‌های جدید پایگاه ECMWF در پیش‌بینی داده‌های اقلیمی در حوزه آبریز قره‌چای استان مرکزی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا داده‌های بارش و دمای ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک همدان، قم و شازند در سطح منطقه‌ی مطالعاتی (سه استان) طی دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۸۷ جمع‌آوری گردید. سپس از دو مدل بازتخلیله شده ERA-Interim و ERA5 پایگاه

ECMWF داده‌های دما و بارش با قدرت تفکیک مکانی  $0.125^\circ \times 0.125^\circ$  درجه طی دوره ۱۹۷۹-۲۰۲۰ استخراج شد. نتایج نشان داد که داده‌های ERA5 نسبت به داده‌های ERA-Interim همخوانی بهتری با داده‌های مشاهداتی دارند ( Hosseini *et al.*, 2022). عملکرد ۱۴ پایگاه داده بارش با تفکیک مکانی بالا در برآورد بارش روزانه، ماهانه و سالانه حوضه کارون و کرخه ایران مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از داده‌های مشاهداتی ۲۵۴ ایستگاه هواشناسی، کلیماتولوژی و سینوپتیک طی دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۳ استفاده گردید. نتایج نشان داد که TMPA-3B42 هر دو نسخه، ERA5-LAND و MERRA-2 تخمین‌های سالانه و TMPA-3B42V7.0 و MERRA-2 در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه عملکرد بهتری را از خود نشان دادند (Rahmati *et al.*, 2022).

همان‌طور که در قسمت فوق گفته شد، در مطالعات متعددی عملکرد داده‌های شبکه‌بندی بارش در مقیاس جهانی یا منطقه‌ای از جمله ایران ارزیابی شده است. هرچند فقط یک یا چند مجموعه از داده‌ها را در مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت به‌ویژه نقطه‌ای (ایستگاهی) و در یک منطقه از کشور را مورد بررسی قرار دادند. لذا به‌طور کلی اهداف این پژوهش شامل موارد ذیل است ۱- ارزیابی زمانی (ماهانه و فصلی)، ۲- ارزیابی مکانی به‌صورت ایستگاهی (نقطه‌ای و اقلیمی) و حوضه‌ای (سطحی و اقلیمی) پایگاه داده‌های بارش شامل TerraClimate<sup>۱۱</sup>، MERRA2<sup>۱۲</sup>، GLDAS<sup>۱۳</sup> و ERA5 با تفکیک مکانی مختلف با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های سینوپتیک در سطح کشور برای اولین بار پرداخته خواهد شد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در پژوهش حاضر، کشور ایران با تنوع اقلیمی و ۳۰ حوضه آبریز درجه دو می‌باشد. اقلیم‌بندی براساس شاخص خشکی (AI=P/PET)<sup>۱۴</sup> که از نسبت میانگین بارش سالانه (P) به میانگین تبخیرتقریبی پتانسیل سالانه (PET) به‌دست می‌آید، انجام شده است. براساس مقدار AI اقلیم ایران به پنج طبقه فراهشک ( $P/PET < 0.3$ )، خشک ( $0.3 < P/PET < 0.5$ )، نیمه‌خشک ( $0.5 < P/PET < 0.75$ )، نیمه‌مرطوب ( $0.75 < P/PET < 1.0$ ) و مرطوب ( $P/PET > 1.0$ ) تقسیم‌بندی می‌گردد (Tsirios *et al.*, 2020; UNESCO, 1979) (شکل ۱).

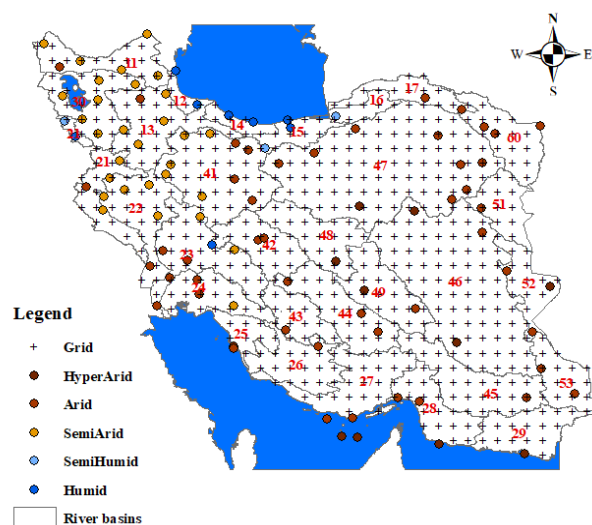


Figure 1. The location of river basins and synoptic stations

### ۳. مواد و روش‌ها

در این پژوهش از پنج منبع داده شامل داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و داده‌های باز تحلیل شده چهار پایگاه TerraClimate، MERRA2، ERA5 و GLDAS استفاده شده است. در این راستا، داده‌های روزانه بارش، دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک در سطح کشور از سازمان هواشناسی ایران (IRIMO)<sup>۱۴</sup> طی دوره ۱۳۶۶-۱۳۹۸ جمع‌آوری گردید. بارش ماهانه از داده‌های روزانه و تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش پنمن-مانتیت فائو ۵۶ (PMFAO56)<sup>۱۵</sup> و سپس متوسط بارش و تبخیر و تعرق سالانه برای برآورد شاخص خشکی در ایستگاه‌های سینوپتیک و با استفاده از روش چندضلعی تیسن در سطح حوضه‌های آبریز درجه دو محاسبه شده است (جدول‌های ۱ و ۲). البته قابل ذکر است در جدول (۱) فقط ۴۰ ایستگاه که دارای پراکنش لازم و کافی در اقلیم‌های متفاوت برای ارزیابی پایگاه‌های جهانی بوده است، انتخاب و خصوصیات آن‌ها ارایه شده است. همچنین داده‌های ماهانه بارش پایگاه‌های مذکور طی دوره منتخب استخراج شده است (جدول ۳). در ادامه پایگاه داده‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر شرح داده خواهد شد.

**Table 1.** Classification of selected synoptic stations based on aridity index during the period of 1366-1398

Climate Zones	Station	Longitude	Latitude	Average Precipitation (mm/year)	Average Evaporationtranspiration Potential (mm/year)	Aridity index
Hyper-Arid	Zabol	61.48	31.03	52.58	3904.55	0.013
	Bam	58.35	29.10	55.60	3224.40	0.017
	Anar	55.25	30.88	69.42	3097.03	0.022
	Jask	57.77	25.63	119.83	5040.25	0.024
	Khorbibank	55.08	33.78	78.72	3310.86	0.024
	Tabass	56.92	33.60	80.75	3304.76	0.024
	Chahbahar	60.62	25.28	118.06	4720.58	0.025
Arid	Iranshahr	60.70	27.20	109.12	3563.33	0.031
	Kerman	56.97	30.25	126.71	3909.60	0.032
	Bandarlenge	54.83	26.53	131.56	3532.27	0.037
	Garmsar	52.35	35.23	114.48	2915.25	0.039
	Zahedan	60.88	29.47	76.52	1882.24	0.041
	Ghom	50.85	34.70	142.96	3130.49	0.046
	Saravan	62.33	27.33	110.10	2253.75	0.049
	Abadan	48.25	30.37	159.30	2867.94	0.056
	Sirjan	55.68	29.47	139.88	2285.93	0.061
	Boushehr	50.83	28.98	246.70	3981.90	0.062
	Shahrud	54.95	36.42	151.99	2308.18	0.066
	Minab	57.08	27.10	211.64	3213.94	0.066
	Ghaen	59.17	33.72	165.60	2406.19	0.069
	Bostan	48.01	31.71	199.51	2787.67	0.072
	Kashmar	58.47	35.20	231.54	2184.27	0.106
	Abadeh	52.67	31.18	132.26	1190.93	0.111
	Fasa	53.68	28.97	281.17	2319.36	0.121
	Sarakhs	61.17	36.53	233.93	1467.23	0.159
	Sarpolzohab	45.87	34.45	442.88	2629.92	0.168
	Ghochan	58.50	37.07	398.72	2345.84	0.170
Bojnurd	57.30	37.49	264.91	1401.60	0.189	
Semi-Arid	Hamedan	48.72	35.20	302.40	1279.31	0.236
	Parsabad	47.92	39.65	281.04	1161.87	0.242
	Maragheh	46.27	37.40	289.44	1187.65	0.244
	Mako	44.43	39.33	311.15	1149.03	0.271
	Shahrkord	50.85	32.28	329.44	1195.15	0.276
	Sanandaj	46.27	36.25	391.64	1292.32	0.303
	Aligodarz	49.70	33.40	425.81	1218.44	0.349
	Dogonbadan	50.82	30.35	438.56	1206.99	0.363
	Piranshahr	45.15	36.70	691.66	1084.30	0.638
Humid	Babolsar	52.65	36.72	909.98	869.06	1.047
	Ramsar	50.67	36.90	1267.26	866.33	1.463
	Anzali	49.47	37.47	1694.70	799.81	2.119

Table 2. Classification of river basins based on the aridity index during the period of 1366-1398

Climatic Zones	Code	River basin	Area (10 <sup>3</sup> Km <sup>2</sup> )	Average Precipitation (mm/year)	Average Evaporationtranspiration Potential (mm/year)	Aridity index
Hyper-Arid	52	Hamun-Hirmand	33.6	91	3268	0.03
	49	Daranjir-Saghand	50.7	93	3372	0.03
	29	South Baluchestan	48.5	115	4058	0.03
	48	Siahkoooh	48.6	80	3102	0.03
Arid	25	Helle	21.3	325	2691	0.12
	51	Khaf	33.1	186	2464	0.08
	45	Hamun-Jazmurian	69.4	104	3270	0.03
	46	Lut Desert	206.4	107	3139	0.03
	26	Mand	47.8	277	2645	0.1
	28	Bandar Abbas	44.8	141	3640	0.04
	53	Hamun Meshkil	36.5	120	2727	0.04
	27	Mehran-Kal	62.9	169	3133	0.05
	24	Jarahi and Zohreh	40.8	315	2095	0.15
	47	Central Desert	226.5	174	2651	0.07
	41	Namak Lake	92.9	258	1983	0.13
	44	Abarghoo-Sirjan	57.1	137	2225	0.06
	60	Ghareghoom	44.3	287	2067	0.14
	43	Tashk Bakhtegan	31.5	255	1944	0.13
	42	Gavkhuni	41.6	243	1683	0.14
	16	Gharesu Gorgan	13	310	2349	0.13
Semi-Arid	30	Lake Urmia	51.8	330	1235	0.27
	17	Atrak	26.4	329	1587	0.21
	11	Aras	39.8	280	1142	0.25
	23	Karun	66.7	477	1660	0.29
	22	Karkheh	51.9	428	1539	0.28
	13	Sefidrood	59.2	393	1168	0.34
	21	West Border	39.3	509	1625	0.31
Humid	15	Haraz-Ghareso	18.8	613	1086	0.56
	12	Talesh	7	1135	942	1.2
	14	Haraz-Sefidrood	10.9	1173	963	1.22

پایگاه داده GLDAS، به‌طور مشترک توسط دانشمندان سازمان ملی هوانوردی و فضا (ناسا)، مرکز فضایی پروازهای گودارد، سازمان ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی و مرکز بین‌المللی پیش‌بینی محیط زیست به‌منظور تولید محصولات مختلف توسعه داده شده است (Rodell *et al.*, 2004). این مدل در واقع با هدف ادغام محصولات ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی با استفاده از مدل‌سازی و تکنیک‌های پیشرفته همسان‌سازی به‌منظور برآوردهای مطلوب از شار سطح زمین و منابع آب و انرژی طراحی شده است. حالت‌ها و شارهای سطح زمین با استفاده از چهار مدل سطحی پرکاربرد از جمله NOAH، Mosaic، VIC<sup>۱۶</sup> و CLM<sup>۱۷</sup> شبیه‌سازی گردیده است (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov>).

پایگاه داده TERRA (TerraClimate)، شامل مجموعه‌ای از داده‌های ماهانه آب و هوا و بیلان آب با تفکیک مکانی بالا برای سطوح زمینی جهانی است. این پایگاه از درون‌یابی، ترکیبی از نرمال‌های اقلیمی از مجموعه داده WorldClim با تفکیک مکانی بالا برای تولید مجموعه داده ماهانه بارش، حداکثر و حداقل دما، سرعت باد، فشار بخار و تابش خورشیدی استفاده می‌نماید. علاوه بر این، مجموعه داده‌های ماهانه تعادل آب سطحی را با استفاده از یک مدل بیلان آب تولید می‌کند که تبخیر و تعرق مرجع، بارش، دما و ظرفیت آب خاک قابل استخراج گیاه را در خود جای داده است (<https://climate.northwestknowledge.net/TERRACLIMATE>).

پایگاه داده ERA5، داده‌های نسل پنجم پایگاه داده ECMWF می‌باشد که در مقایسه با داده‌های ERA-Interim تغییرات مهمی از جمله وضوح مکانی و زمانی بالاتر، جذب مشاهدات بیش‌تر، مدل عددی بهبود یافته و شبیه‌سازی طرح‌های داده‌ها و نسخه‌های بهبود یافته، پیدا کرده است (Hersbach *et al.*, 2018). این داده‌ها آخرین مجموعه داده‌های باز تحلیل با تفکیک مکانی ۳۱ کیلومتر، ۱۳۷ سطح تا ۰/۰۱ هکتوپاسکال می‌باشند که پارامترهای جوی، سطح زمین و اقیانوسی را همراه با

عدم قطعیت‌های آن‌ها از سال ۱۳۵۸ تاکنون در اختیار کاربران قرار می‌دهد. مجموعه داده ERA5 به دلیل افزایش تفکیک افقی، خروجی سه ساعته، بهبود دقت و نمایش بهتر جزئیات در سطح مدل نسبت به ERA-Interim، جایگزین ERA-Interim شده است. به‌روزرسانی مجموعه داده و دقت این پارامترها به ترتیب هر پنج روز و هر سه ماه منتشر می‌شود. قابل ذکر است که در پژوهش حاضر از داده‌های ماهانه هر دو مدل فوق و با دقت مکانی  $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$  (درجه‌ی جغرافیایی حدود ۱۰ کیلومتر) استفاده شده است (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>).

پایگاه داده MERRA، مدل تحلیل گذشته‌نگر عصر مدرن برای پژوهش‌ها و کاربردها (MERRA) با استفاده از داده‌های زمینی توسط NASA توسعه یافته است (Rienecker *et al.*, 2011; Gelaro *et al.*, 2017). داده‌های ماهانه بارش از نسخه دوم مدل MERRA با عنوان MERRA2 (<https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets?project=MERRA-2>) دریافت و استفاده شده است.

**Table 3.** Information from four precipitation gridded products used in this study

Data type	Source	Time scale	Spatial resolution	Meteorological variables	Available record	Common record
Measurement	Synoptic stations	Daily	Pointwise	Precipitation minimum and maximum, Temperature, Relative humidity wind speed and daily sunshine hours	1987-2019	
Reanalyzed	ERA5	Monthly	$0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$	Precipitation	1979-2022	1987-2019
	GLDAS	Monthly	$0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$	Precipitation	1948-2022	
	TERRA	Monthly	$0.04^{\circ} \times 0.04^{\circ}$	Precipitation	1958-2022	
	MERRA2	Monthly	$0.625^{\circ} \times 0.5^{\circ}$	Precipitation	1980-2022	

### ۳.۱. روش‌های ارزیابی

در این قسمت ابتدا مراحل انجام پژوهش برای درک بهتر در شکل (۲) ارائه شده است. همان‌طور که قابل مشاهده است این مراحل به‌طور کلی دارای هفت بخش شامل ۱- جمع‌آوری اطلاعات روزانه هواشناسی ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک، ۲- جمع‌آوری داده‌های شبکه‌ای بارش پایگاه‌های مذکور، ۳- محاسبه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و سالانه مشاهداتی در ایستگاه‌ها، ۴- تبدیل سری زمانی داده‌های بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و سالانه ایستگاهی و داده‌های سلولی پایگاه‌ها به حوضه‌ای از زوش چندضلعی تیسن، ۵- محاسبه شاخص خشکی و تقسیم‌بندی ایستگاه‌ها و حوضه‌ها براساس آن، ۶- محاسبه معیارهای آماری به‌صورت ایستگاهی و حوضه‌ای و ۷- مقایسه و ارزیابی عملکرد زمانی و مکانی پایگاه‌های منتخب با داده‌های مشاهداتی می‌باشد. موارد لازم برای انجام مراحل فوق در ادامه به‌طور کامل شرح داده خواهند شد.

### ۳.۲. تبدیل داده‌های ایستگاهی به سلول و سطح

برای تبدیل داده‌های ایستگاهی به سلول و برعکس (سلول به نقطه) از روش Pixel to Point استفاده شده است (Sorooshian *et al.*, 2001; Habib *et al.*, 2009). بدین منظور ابتدا منطقه‌ی مطالعاتی براساس تفکیک مکانی سلول‌بندی شده است و میانگین بارش ایستگاه‌های موجود در هر سلول به‌عنوان میانگین بارش آن سلول در نظر گرفته می‌شود. برای تبدیل داده‌های ایستگاهی به سطح (حوضه) روش‌های متفاوتی از قبیل روش‌های میانگین‌گیری وزنی، چندضلعی تیسن، انواع روش‌های میان‌یابی (نسبت عکس فاصله، کریجینگ، اسپیلاین، کوکریجینگ) وجود دارد. در بسیاری از پژوهش‌ها از روش چندضلعی تیسن به‌منظور تبدیل داده‌های نقطه‌ای به سطح استفاده شده است (Moshir

(Panahi *et al.*, 2020). در مطالعه حاضر نیز از روش چندضلعی تیسن به منظور تبدیل داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک، به سطح حوضه‌های درجه دو استفاده شده است. البته قابل ذکر است که برای افزایش دقت روش چندضلعی تیسن، از ۱۰۰ ایستگاه سینوپتیک استفاده شده است. با توجه به امکان تغییر دقت داده‌های پایگاه‌های مورد استفاده به دلیل تفکیک مکانی‌های مختلف، ابتدا باید تفکیک داده‌های مکانی در تمامی پایگاه‌های مورد استفاده با یکدیگر یکسان شوند (Yin *et al.*, 2021). با توجه به وسعت واحدهای هیدرولوژیکی در پژوهش حاضر (حوضه‌های درجه دو کشور) تفکیک مکانی مبنا برای تمامی داده‌های شبکه‌بندی شده پایگاه‌های مختلف به صورت سلول‌های  $0.5 \times 0.5$  درجه در نظر گرفته شد (Zhang *et al.*, 2022).

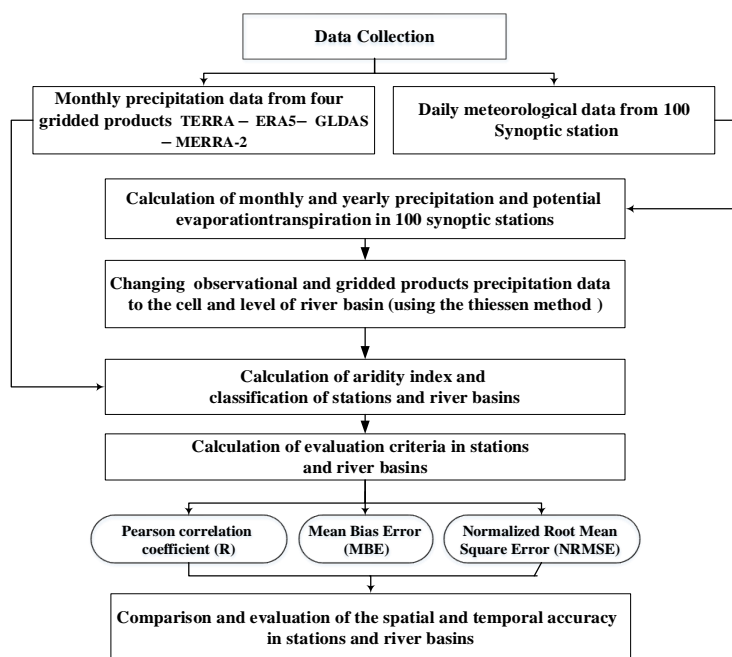


Figure 2. The research flowchart

### ۳.۳. معیارهای ارزیابی

به منظور مقایسه پیش‌بینی‌های مدل در برآورد بارش در برابر داده‌های مشاهداتی از آماره‌های ضریب همبستگی  $(R^2)$ ، مجذور میانگین مربعات خطا استاندارد شده (NRMSE) و میانگین خطای اریبی (MBE) استفاده شده است که در قسمت ذیل روابط آن‌ها ارائه شده است:

$$\text{NRMSE} = \frac{1}{O_{\text{avg}}} \sqrt{\frac{\sum_1^N (M_i - O_i)^2}{N}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_1^N (O_i - O_{\text{avg}})(M_i - M_{\text{avg}})}{\sqrt{\sum_1^N (O_i - O_{\text{avg}})^2} \sqrt{\sum_1^N (M_i - M_{\text{avg}})^2}} \right]^2 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{MBE} = \frac{\sum_1^N (M_i - O_i)}{N} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در روابط بالا، N: تعداد داده‌ها، i: روز،  $O_i$ : داده‌های مشاهداتی،  $M_i$ : داده‌های پایگاه‌های باز تحلیل شده،  $O_{\text{avg}}$ : متوسط داده‌های مشاهداتی و  $M_{\text{avg}}$ : متوسط داده‌های پایگاه‌های باز تحلیل شده است.



## ۴. نتایج و بحث

### ۴.۱. ارزیابی ایستگاهی بارش

در این قسمت نتایج معیارهای ارزیابی ایستگاهی بارش پایگاه‌های مورد بررسی با مقادیر مشاهداتی به صورت زمانی (ماهانه)، مکانی (ایستگاهی و اقلیمی) در ایستگاه‌های منتخب ارائه شده است. در شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) کلمات اختصاری TR، GLER، ME و به ترتیب نشان دهنده پایگاه‌های ERA5، TERRA، GLDAS و MERRA2 است. مقدار ضریب همبستگی به طور کلی (در همه پایگاه‌ها، اقلیم‌ها و ایستگاه‌ها) نشان داد در فصول زمستان (ژانویه، فوریه و مارس)، بهار (آوریل، می و ژوئن)، پاییز (اکتبر، دسامبر و نوامبر) و تابستان (ژولای، آگوست و سپتامبر) به ترتیب حدود ۷۳، ۶۰، ۷۳ و ۲۰ درصد بالاتر از ۰/۵ می‌باشد (شکل ۳). به عبارت دیگر، در فصول پربارش نسبت به کم‌بارش همبستگی بیش‌تری بین داده‌ها وجود دارد.

به طور جزئی‌تر در اقلیم فراخشک فصل زمستان، تغییرات ضریب همبستگی به طور یکسان در همه پایگاه‌ها بین ۰/۲ و ۰/۸ می‌باشد. ضریب همبستگی پایگاه‌ها ERA5، GLDAS، TERRA و MERRA2 به طور متوسط به ترتیب ۹۱، ۶۲، ۶۲ و ۳۸ درصد بیش‌تر از ۰/۵ بوده است. در فصل بهار نیز تغییرات ضریب همبستگی به طور یکسان در همه پایگاه‌ها بین صفر و ۰/۹ بوده است. این ضریب در برخی از ایستگاه‌ها و در همه پایگاه‌ها یکسان می‌باشد. به عنوان مثال ضریب همبستگی در ماه می و ژانویه ایستگاه چابهار در پایگاه‌ها ERA5، TERRA و MERRA2 به ترتیب صفر و ۰/۹۶ می‌باشد. به طور متوسط ضریب همبستگی پایگاه‌های ERA5، GLDAS، TERRA و MERRA2 به ترتیب از بیش‌ترین به کم‌ترین (۶۲، ۵۲، ۵۲ و ۴۳ درصد) بالاتر از ۰/۵ هستند. در فصل تابستان به طور کلی پایگاه‌ها از ضریب همبستگی بالایی برخوردار نیستند، اما به طور نسبی پایگاه ERA5 با ۳۳ درصد ضریب همبستگی بیش‌تر از ۰/۵، بهترین پایگاه بوده است. در فصل پاییز همه پایگاه‌ها بیش‌تر از ۵۰ درصد ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۵ از خود نشان دادند. البته قابل ذکر است همبستگی بین داده‌ها در ایستگاه‌های یکسان نیست. به عنوان مثال، در ایستگاه انار و چابهار، پایگاه MERRA2 در فصول پربارش کم‌ترین و بیش‌ترین همبستگی (به ترتیب ۰/۲ و ۰/۶) را از خود نشان دادند.

در اقلیم خشک و فصل زمستان، بیش‌ترین تغییرات ضریب همبستگی بین صفر (ماه فوریه ایستگاه بستان) و ۰/۹ (ماه مارس ایستگاه زاهدان و ماه فوریه ایستگاه بندرلنگه) را پایگاه MERRA2 از خود نشان داد و با ۵۰ درصد ضریب همبستگی بیش‌تر از ۰/۵ نسبت به بقیه پایگاه‌ها (بیش‌تر از ۸۰ درصد)، کم‌ترین همبستگی را داشت. در بهار کم‌ترین ضریب همبستگی در ماه ژوئن (۰/۲۵) همه ایستگاه‌ها و پایگاه‌ها نسبت به دو ماه آوریل و می ملاحظه گردید. به عبارت دیگر، فقط در برخی از ایستگاه‌ها در هر سه ماه بهار مانند سرخس، ایرانشهر و زاهدان در پایگاه GLDAS، سراوان و قوچان در پایگاه ERA5 و سرخس در پایگاه TERRA بیش‌تر از ۰/۵ است. همچنین فقط پایگاه GLDAS نسبت به بقیه پایگاه‌ها (۴۲ درصد)، ۶۰ درصد بالاتر از ۰/۵ نشان داده است. در فصل تابستان نیز مانند اقلیم فراخشک به طور کلی همه پایگاه دقت خوبی از خود نشان ندادند، اما پایگاه ERA5 با ۲۴ درصد بیش‌تر از ۰/۵ نسبت به بقیه پایگاه‌ها، بهتر عمل کرده است. در فصل پاییز تغییرات ضریب همبستگی در همه پایگاه‌ها تقریباً یکسان می‌باشد اما پایگاه GLDAS با ۵۷ درصد بالاتر از ۰/۵ نسبت به بقیه پایگاه‌ها (۷۰ درصد) از ضریب همبستگی کم‌تری برخوردار است.

در اقلیم نیمه‌خشک و فصل زمستان، همبستگی پایگاه‌های ERA5، GLDAS، TERRA و MERRA2 به ترتیب ۶۰، ۵۶، ۳۰ و ۶۷ درصد در این سه ماه بیش‌تر از ۰/۵ بوده است. به عبارت دیگر، ERA5 بیش‌ترین همبستگی را از خود نشان داد. هرچند باید گفت در برخی ایستگاه‌ها مانند همدان در پایگاه TERRA بهترین همبستگی در هر سه ماه حدود ۰/۵ و در بقیه پایگاه‌ها به‌ویژه MERRA2 بسیار پایین برآورد شده است. در فصل بهار پایگاه‌ها GLDAS و TERRA

به ترتیب با ۶۷ و ۴۱ درصد بیشترین و کمترین همبستگی را داشته‌اند. در فصل تابستان به‌طور کلی همه پایگاه دقت خوبی از خود نشان ندادند، اما پایگاه ERA5 و TERRA با ۳۰ درصد بیش‌تر از ۰/۵ نسبت به بقیه پایگاه همبستگی بیش‌تری را نشان دادند. در فصل پاییز همبستگی پایگاه‌های TERRA، GLDAS، MERRA و ERA5 به ترتیب ۸۵، ۷۰، ۶۷ و ۹۶ درصد بیش‌تر از ۰/۵ مشاهده گردید.

در اقلیم مرطوب و فصل زمستان، پایگاه GLDAS نسبت به بقیه پایگاه‌ها دارای کمترین ضریب همبستگی (۰/۳) در همه ایستگاه‌های به‌طور یکسان می‌باشد. به‌طور متوسط پایگاه ERA5 با ۴۵ درصد، پایگاه‌های MERRA2 و TERRA با ۳۳ درصد و GLDAS با صفر درصد همبستگی بیش‌تر از ۰/۵ را نشان دادند. البته بایستی گفت در ایستگاه رامسر پایگاه ERA5 کمترین همبستگی را نسبت به دو ایستگاه انزلی و بابلسر برآورد نموده است. در فصل بهار نیز مانند فصل زمستان به ترتیب همبستگی پایگاه‌ها یکسان اما با درصدهای بیش‌تر و بهتر عمل نمودند، به‌طوری‌که پایگاه ERA5 با ۱۰۰ درصد، پایگاه‌های MERRA2 و TERRA با ۸۳ درصد و GLDAS با ۲۲ درصد همبستگی بیش‌تر از ۰/۵ را نشان دادند. در فصل تابستان پایگاه ERA5 و GLDAS با ۵۵ و ۲۲ درصد بیش‌تر از ۰/۵ نسبت به بقیه پایگاه همبستگی بیش‌تری را نشان دادند. فصل پاییز پایگاه TERRA با ۶۷ درصد و GLDAS با ۱۱ درصد بیش‌ترین و کمترین همبستگی بالاتر از ۰/۵ را برآورد نمودند. البته پایگاه ERA5 و MERRA2 (به ترتیب ۵۵ و ۴۴ درصد) به نسبت نیز از همبستگی بالایی برخوردار هستند.

مقدار متوسط NRMSE به‌طور کلی مانند ضریب همبستگی عمل کرده است، بیش‌ترین و کمترین دقت در فصل زمستان و تابستان به ترتیب برابر با ۰/۷۴ و ۴ می‌باشد (شکل ۴). به‌طور جزیی‌تر، در اقلیم فراخشک و فصل زمستان پایگاه GLDAS، بیش‌ترین تغییرات میزان خطا بین ۰/۷ (ایستگاه چابهار و ماه مارس) و ۳ (ایستگاه بم و تقریباً در هر سه ماه ژانویه، فوریه و مارس) و پایگاه MERRA کمترین تغییرات میزان خطا بین ۰/۵ (ماه فوریه در ایستگاه طبس) و ۱/۶ (ماه مارس در ایستگاه جاسک) را نسبت به بقیه پایگاه‌ها از خود نشان دادند. به‌طور متوسط دقت پایگاه‌های ERA5، MERRA2 و TERRA یکسان و حدود ۶۷ درصد در طبقات متوسط و خوب بوده است که از دقت بالاتری نسبت به پایگاه GLDAS (۲۹ درصد) برخوردار هستند. در فصل بهار پایگاه TERRA کمترین خطا در ایستگاه خوربیا بانک و ماه آوریل برابر با ۰/۴، بیش‌ترین خطا در ایستگاه انار و ماه ژانویه برابر با ۲۸/۹ و پایگاه ERA5 کمترین خطا را در ایستگاه بم (۰/۳ در ماه می) و بیش‌ترین خطا در ایستگاه زابل (۲۹ در ماه ژوئن) را نشان داد. به‌طور متوسط پایگاه‌ها MERRA2 و TERRA، ۵۳ و ۴۳ درصد در طبقات متوسط و خوب بوده است که از دقت بالاتری نسبت به پایگاه GLDAS و ERA5 (۲۴ و ۱۹ درصد) برخوردار هستند. در فصل تابستان چهار پایگاه دقت خوبی از خود نشان ندادند، اما پایگاه TERRA با متوسط خطا حدود ۳/۳ و میانگین درصد طبقات متوسط و خوب ۱۹ درصد نسبت به بقیه پایگاه‌ها، بهتر عمل کرده است. در فصل پاییز ایستگاه بم در ماه دسامبر در هر سه پایگاه به‌غیر از MERRA2 کمترین دقت را از خود نشان داد. در این فصل به‌طور متوسط دقت پایگاه‌های MERRA2 و TERRA در طبقات متوسط و خوب حدود ۳۳ درصد بوده است که نسبت به پایگاه‌های ERA5 و GLDAS (به ترتیب ۱۵ و ۱۹ درصد) از دقت بالاتری برخوردار بوده است.

در اقلیم خشک و فصل زمستان پایگاه GLDAS، بیش‌ترین تغییرات میزان خطا بین ۰/۳ (ماه مارس در ایستگاه فسا) و ۱/۸ (ماه مارس در ایستگاه بوشهر) و پایگاه TERRA کمترین تغییرات میزان خطا بین ۰/۲ (ماه مارس در ایستگاه سرخس) و ۱/۶ (ماه ژانویه در ایستگاه گرمسار) را نسبت به بقیه پایگاه‌ها از خود نشان دادند. در این فصل دقت پایگاه‌ها ERA5، MERRA2، TERRA و GLDAS در طبقات متوسط و خوب (به‌طور متوسط در همه ایستگاه‌ها) به ترتیب ۸۹، ۹۰، ۹۳ و ۸۳ درصد بوده است که تقریباً دقت یکسانی دارند. در فصل بهار پایگاه TERRA کمترین خطا

در ایستگاه میناب و ماه می برابر با ۰/۲، بیش‌ترین خطا در ماه ژوئن ایستگاه فسا برابر با ۹/۱۷ و پایگاه ERA5 کم‌ترین خطا را در ایستگاه قوچان (۰/۴ در ماه آوریل) و بیش‌ترین خطا در ایستگاه بوشهر (۴۵ در ماه ژوئن) نشان دادند. در این فصل پایگاه‌ها به‌ترتیب از بیش‌ترین به کم‌ترین دقت TERRA، MERRA2، ERA5 و GLDAS (به‌ترتیب ۴۸، ۴۶، ۴۰ و ۳۵ درصد) هستند. در فصل تابستان مانند اقلیم فراخشک همه پایگاه دقت خوبی از خود نشان ندادند، اما پایگاه MERRA با متوسط خطا حدود ۴ و متوسط طبقات متوسط و خوب ۱۶ درصد نسبت به بقیه پایگاه‌ها، بهتر عمل کرده است. در فصل پاییز پایگاه GLDAS، بیش‌ترین تغییرات میزان خطا بین ۰/۴ (ماه دسامبر در ایستگاه فسا) و ۱۲ (ماه اکتبر در ایستگاه بندرلنگه) و پایگاه MERRA و TERRA کم‌ترین تغییرات میزان خطا را نسبت به بقیه پایگاه‌ها از خود نشان دادند. در این فصل پایگاه TERRA با ۶۳ درصد نسبت به بقیه پایگاه‌های بیش‌ترین دقت را دارد.

در اقلیم نیمه‌خشک و فصل زمستان پایگاه GLDAS، بیش‌ترین تغییرات میزان خطا بین ۰/۳ (ماه مارس در ایستگاه شهرکرد) و ۲ (ماه فوریه در ایستگاه ماکو) و پایگاه TERRA کم‌ترین تغییرات میزان خطا بین ۰/۲۶ (ماه مارس در ایستگاه مراغه) و ۰/۹۸ (ماه ژانویه در ایستگاه پارس‌آباد) را نسبت به بقیه پایگاه‌ها از خود نشان دادند. لذا می‌توان گفت پایگاه TERRA با وقوع ۱۰۰ درصد طبقات متوسط و خوب نسبت به بقیه (پایگاه‌های MERRA2، ERA5 و GLDAS به‌ترتیب با متوسط ۹۶، ۸۱ و ۷۰ درصد) از دقت بیش‌تری برخوردار است. در فصل بهار نیز مانند فصل زمستان، پایگاه GLDAS و TERRA به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات میزان خطا را نشان دادند. در ایستگاه سنندج و مراغه به‌طور یکسان در ماه آوریل حداکثر دقت حدود ۰/۲۷ به‌ترتیب در پایگاه‌های مذکور مشاهده گردید. به‌طور متوسط دقت پایگاه‌های ERA5، MERRA2، TERRA و GLDAS در طبقات متوسط و خوب (به‌طور متوسط در همه ایستگاه‌ها) به‌ترتیب ۵۹، ۷۴، ۷۸ و ۶۷ درصد بوده است. در فصل تابستان به‌طور کلی همه پایگاه دقت خوبی از خود نشان ندادند، اما پایگاه TERRA با متوسط درصد طبقات متوسط و خوب ۲۲ درصد نسبت به بقیه پایگاه‌ها، بهتر عمل کرده است. در فصل پاییز پایگاه TERRA، بیش‌ترین تغییرات میزان خطا بین ۰/۳ (ماه نوامبر در ایستگاه مراغه) و ۳ (ماه دسامبر در ایستگاه پارس‌آباد) و پایگاه MERRA کم‌ترین تغییرات میزان خطا بین ۰/۴ (ماه اکتبر در ایستگاه ماکو) و ۱/۳ (ماه اکتبر در ایستگاه شهرکرد) را نسبت به بقیه پایگاه‌ها از خود نشان دادند. به‌طور متوسط دقت پایگاه‌ها ERA5، MERRA2، TERRA و GLDAS در طبقات متوسط و خوب به‌ترتیب ۸۹، ۹۲، ۷۷ و ۷۷ درصد بوده است که تقریباً MERRA2 بیش‌ترین دقت را نشان داد.

در اقلیم مرطوب و فصل زمستان، پایگاه ERA5 بیش‌ترین تغییرات میزان خطا بین ۰/۳ (ماه مارس ایستگاه انزلی) و ۱/۳ (ماه ژانویه در ایستگاه رامسر) و پایگاه TERRA کم‌ترین تغییرات میزان خطا بین ۰/۴ (ماه مارس، فوریه و ژانویه ایستگاه بابلسر و ماه مارس در ایستگاه انزلی) و ۰/۶ (ماه ژانویه در ایستگاه انزلی) را نسبت به بقیه پایگاه‌ها از خود نشان دادند. به‌طور متوسط در این فصل دقت پایگاه‌ها تقریباً حدود ۹۸ درصد در طبقات متوسط و خوب بوده است. در فصل بهار تغییرات میزان خطا تقریباً در همه پایگاه‌ها یکسان است. اما دقت پایگاه‌ها به‌ترتیب از بیش‌ترین به کم‌ترین ERA5، MERRA2، TERRA و GLDAS (به‌ترتیب ۱۰۰، ۸۸، ۷۸ و ۵۶ درصد) بوده است. در فصل تابستان تغییرات خطا در پایگاه‌های ERA5، MERRA2، TERRA تقریباً یکسان و بین بازه ۰/۳ و ۱/۱ می‌باشد اما تغییرات خطا در پایگاه GLDAS بین ۱/۱ و ۱/۳ می‌باشد. به‌عبارت دیگر، دقت پایگاه‌های ERA5، MERRA2، TERRA و GLDAS به‌ترتیب ۸۹، ۷۸، ۵۶ و ۵۶ درصد بوده است. در فصل پاییز پایگاه ERA5، بیش‌ترین تغییرات میزان خطا بین ۰/۴ (ماه اکتبر ایستگاه انزلی) و ۱ (ماه دسامبر ایستگاه رامسر) و در بقیه پایگاه‌ها کم‌ترین تغییرات میزان خطا بین ۰/۶ (ماه نوامبر ایستگاه بابلسر) و ۰/۷ (ماه اکتبر ایستگاه رامسر) را نسبت به بقیه پایگاه‌ها از خود نشان دادند. دقت پایگاه‌ها تقریباً یکسان و حدود ۹۸ درصد می‌باشد.

مقدار متوسط MBE به طور کلی نشان داد پایگاه TERRA و MERRA2 مقدار کمتری را در همه فصول نسبت به مقدار بارش واقعی برآورد کرده است. در حالی که ERA5 و GLDAS بارش را در فصول پر بارش نسبت به فصول کم بارش بیش تر تخمین زده است (شکل ۵؛ مقادیر منفی نشان دهنده کم برآورد و مثبت بیش برآورد). به طور جزئی تر در اقلیم فراه خشک و فصل زمستان، پایگاه های GLDAS و TERRA به ترتیب ۹۰ و ۸۱ درصد (از همه ماه ها و ایستگاه ها) به ویژه ماه فوریه را بیش برآورد و پایگاه های ERA5 و MERRA2 به ترتیب ۵۲ و ۷۱ درصد کم برآورد نموده اند. البته باید گفت همه پایگاه ها در همه ماه ها در ایستگاه بم و در ایستگاه زابل به جز پایگاه MERRA2، بارش را به طور یکسان بیش تر برآورد کرده است، اما در بقیه ایستگاه ها یکسان نبوده است. در فصل بهار پایگاه GLDAS با ۸۶ درصد نسبت به بقیه پایگاه ها به ترتیب MERRA2، TERRA و ERA5 با درصدهای ۵۲، ۴۳ و ۲۹ درصد بیش ترین پایگاه بیش برآورد در این فصل می باشد. به عبارت دیگر، پایگاه GLDAS برای همه ایستگاه ها تقریباً رفتار یکسانی در برآورد بیش تر بارش داشته است. در فصل تابستان پایگاه های GLDAS و MERRA2 حدود ۱۰ درصد از مواقع بارش را کم تر برآورد کرده است. در فصل پاییز همه پایگاه ها حدود ۶۶ درصد بارش را بیش تر نشان داده اند.

در اقلیم خشک و زمستان، پایگاه MERRA2 با ۷۵ درصد بارش را کم تر، پایگاه های GLDAS و ERA5 با متوسط ۶۳ درصد بارش را بیش تر و TERRA به درصد یکسان بارش را برآورد نموده اند. پایگاه GLDAS در فصل بهار فقط و تابستان با ۷۱ و ۶۵ درصد بارش را نسبت به بقیه پایگاه ها بیش تر تخمین زده است، در حالی که پایگاه TERRA بارش را با ۶۳ درصد در فصل پاییز بیش تر برآورد نموده است. به عبارت دیگر، می توان گفت عملکرد پایگاه ها در ایستگاه ها و همه ماه های یک فصل یکسان نبوده است.

در اقلیم نیمه خشک و زمستان، پایگاه های MERRA2 و TERRA با ۸۱ و ۷۰ درصد از مواقع بارش را کم تر و پایگاه ERA5 و GLDAS با ۸۱ و ۶۰ درصد به ترتیب بارش را بیش تر برآورد نموده اند. در بقیه فصول همین روند حاکم می باشد. برآورد بارش پایگاه ها در ایستگاه ها و ماه ها یکسان نبوده است، اما در برخی موارد مانند ایستگاه پیرانشهر همه پایگاه ها بارش در همه ماه ها را به غیر از تابستان کم تر برآورد نموده اند.

در اقلیم مرطوب و زمستان، همه پایگاه های ERA5، MERRA2، TERRA و GLDAS به ترتیب با ۵۶، ۱۰۰، ۸۸ و ۱۰۰ درصد زیادی بارش را کم تر برآورد نموده اند. در بهار پایگاه MERRA2 ۱۰۰ درصد و TERRA و GLDAS با ۷۷ و ۶۷ درصد به ترتیب بارش را کم تر برآورد نموده است. در پاییز و زمستان تقریباً ۱۰۰ درصد همه پایگاه ها بارش را کم تر نشان داده اند.

#### ۲.۴. ارزیابی حوضه ای بارش

در این قسمت نتایج معیارهای ارزیابی حوضه ای بارش پایگاه های مورد بررسی با مشاهدات به صورت زمانی (فصلی)، مکانی (حوضه ای و اقلیمی) ارائه شده است. به طور کلی مقدار ضریب همبستگی (در همه پایگاه ها، اقلیم ها و حوضه ها) نشان داد در فصول زمستان (ژانویه، فوریه و مارس)، بهار (آوریل، می و ژوئن)، پاییز (اکتبر، دسامبر و نوامبر) و تابستان (ژولای، آگوست و سپتامبر) به ترتیب به طور متوسط ۰/۷، ۰/۶، ۰/۷ و ۰/۴ می باشد (شکل ۶). به عبارت دیگر، در فصول پر بارش همبستگی بیش تری بین داده ها در سطح حوضه مانند نقطه ای (ایستگاهی) وجود دارد.

به طور جزئی تر، در اقلیم فراه خشک (کد ۴۸-۲۹-۴۹-۵۲) و در فصل زمستان، تغییرات همبستگی تقریباً در پایگاه های ERA5 و TERRA به طور یکسان بین ۰/۶ و ۰/۹ است، در حالی که برای پایگاه MERRA2 و GLDAS تغییرات ضریب همبستگی بالایی وجود دارد. به عنوان مثال، داده های پایگاه MERRA2 در حوضه سیاه کوه و درانجیر و بلوچستان (به ترتیب کد ۴۸، ۴۹ و ۲۹) به طور متوسط ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۷ و پایگاه GLDAS در حوضه سیاه کوه و بلوچستان

به ترتیب ۰/۴ و ۰/۸ همبستگی از خود نشان دادند (شکل a-۶). در فصل بهار تغییرات ضریب همبستگی در این اقلیم تقریباً یکسان بوده است، اما دقت پایگاه‌های ERA5 و TERRA به ترتیب با ۷۰ و ۶۰ درصد بیش‌تر از ۰/۵ نسبت به GLDAS و MERRA2 (با ۵۰ درصد) همبستگی بیش‌تری را برآورد نمودند. همه پایگاه‌ها در حوضه هامون هیرمند (کد ۵۲) بیش‌ترین و در حوضه سیاه‌کوه (کد ۴۸) کم‌ترین همبستگی را از خود نشان دادند (شکل d-۶). در فصل تابستان نیز همین روند در پایگاه‌ها (ERA5 با ۷۵ درصد و GLDAS با صفر درصد بیش‌تر از ۰/۵) مشاهده گردید (شکل g-۶). همه پایگاه‌ها در فصل پاییز تقریباً بالای ۷۰ درصد بیش‌تر از ۰/۵ را نشان دادند (شکل z-۶).

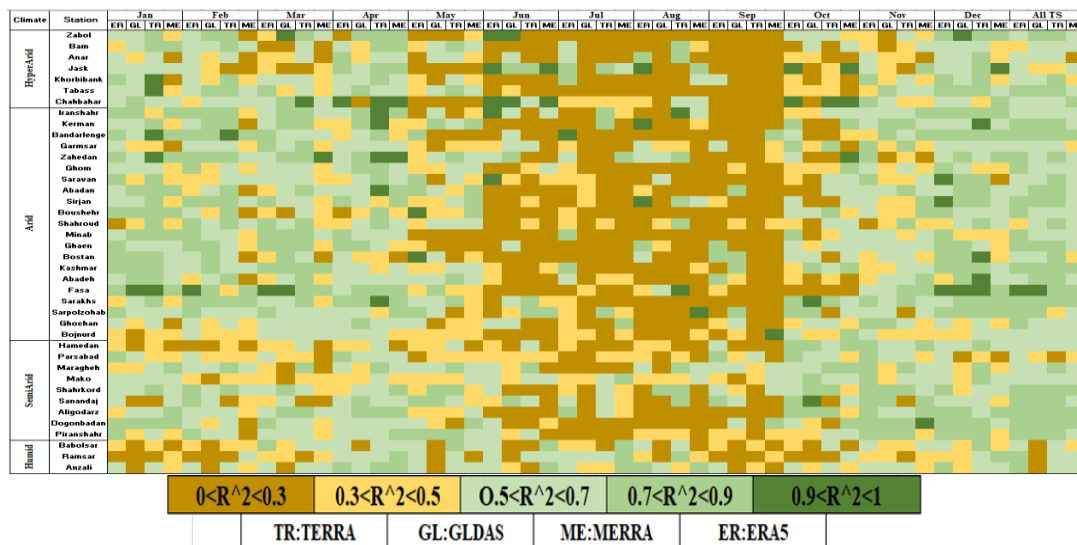


Figure 3. Correlation coefficient values of precipitation of selected datasets with observed precipitation for different months and stations

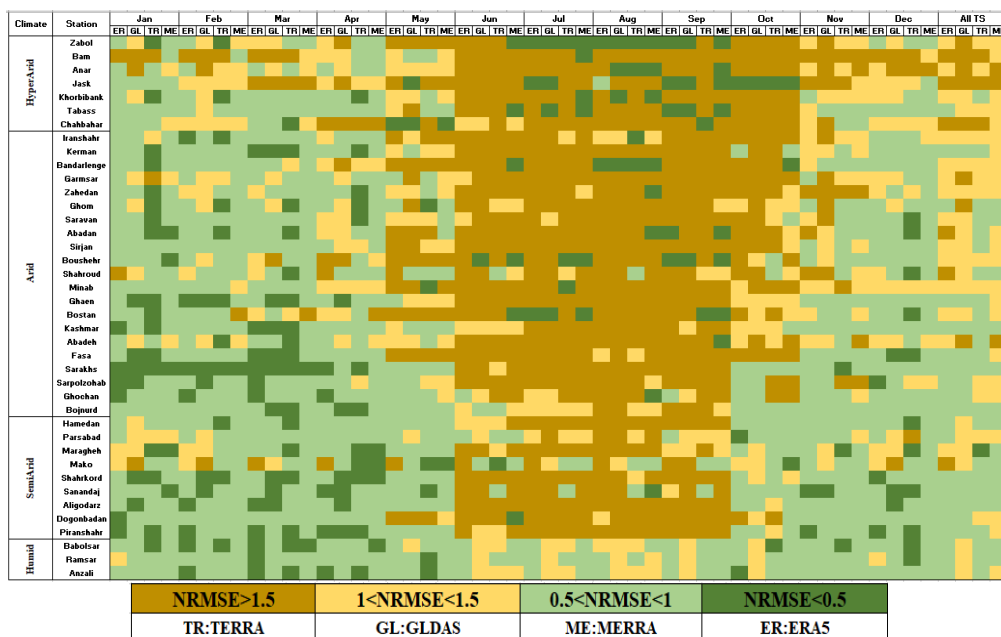


Figure 4. The NRMSE values of precipitation of selected datasets with observed precipitation for different months and stations

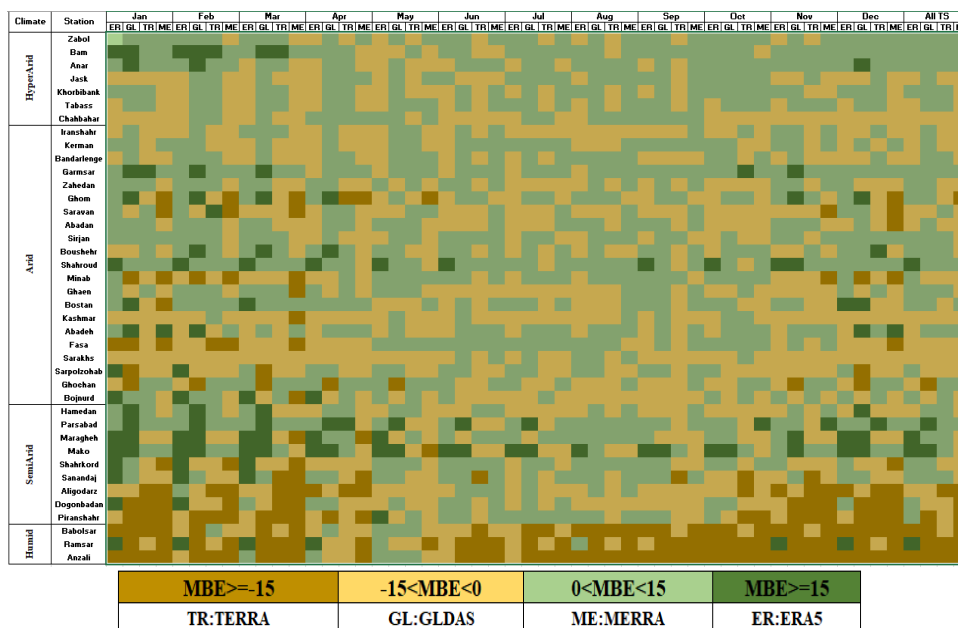


Figure 5. The MBE values of precipitation of selected datasets with observed precipitation for different months and stations

در اقلیم خشک (از کد ۲۵ تا ۱۶) و در فصل زمستان، در پایگاه‌ها ERA5، TERRA و GLDAS تغییرات ضریب همبستگی کم (به‌طور متوسط ۰/۸) مشاهده شده است، درحالی‌که تغییرات زیاد در پایگاه MERRA2 (ضریب همبستگی برای حوضه قره‌سو گرگان (کد ۱۶) ۰/۲ و حوضه مند (کد ۲۶) ۰/۸) منجر به کاهش متوسط ضریب همبستگی حدود ۰/۵ شده است (شکل ۶-۲). در بهار و پاییز به‌ترتیب متوسط همبستگی در همه پایگاه‌ها به‌ترتیب ۶۰ و ۷۰ درصد بیش‌تر از ۰/۵ بوده است، اما در حوضه قره‌سو گرگان (کد ۱۶) در فصل پاییز همه پایگاه‌ها همبستگی پایین‌تر را نشان دادند (شکل ۶-۳). در تابستان به‌طور کلی پایگاه‌ها همبستگی خوبی از خود نشان ندادند (شکل ۶-۴).

در اقلیم نیمه‌خشک (از کد ۳۰ تا ۲۱) و در فصل زمستان، همان‌طور که در شکل (۶-۵) مشاهده می‌شود فقط خط قرمز رنگ که نشان‌دهنده پایگاه MERRA2 می‌باشد در محدوده پایین‌تری (بین ۰/۲ تا ۰/۷) نسبت به بقیه قرار دارد. به‌عبارت دیگر، پایگاه MERRA2 حدود ۶۰ درصد بیش‌تر از ۰/۵، پایگاه GLDAS ۷۶ درصد و هر دو پایگاه ERA5 و TERRA با ۱۰۰ درصد بیش‌تر از ۰/۵ را برآورد نمودند. در فصل بهار تقریباً همه پایگاه در همه حوضه‌ها به نسبت همبستگی بالایی و حدود ۸۳ درصد بیش‌تر از ۰/۵ را نشان دادند، اما به‌عنوان مثال در حوضه اترک (کد ۱۷) همه پایگاه‌ها همبستگی پایینی را (۰/۵) نشان دادند. در فصل تابستان همان‌طور که در شکل (۶-۶) مشاهده می‌شود خط قرمز رنگ و آبی فیروزه‌ای که نشان‌دهنده پایگاه‌ها MERRA2 و ERA5 می‌باشد به‌ترتیب در پایین‌ترین و بالاترین سطح قرار گرفته‌اند که به‌طور متوسط ۳۰ و ۸۰ درصد بالاتر از ۰/۵ را نشان دادند. همه پایگاه‌ها کم‌ترین و بیش‌ترین همبستگی را به‌ترتیب در حوضه کرخه (کد ۲۲) و حوضه ارس (کد ۱۱) داشته‌اند در فصل پاییز همه پایگاه‌ها همبستگی بسیار خوبی را نسبت به بقیه فصل‌ها در همین اقلیم و فصل پاییز در بقیه اقلیم‌ها نشان دادند. همه پایگاه‌ها بیش‌ترین و کم‌ترین همبستگی خود را در حوضه دریاچه ارومیه (کد ۳۰) و اترک (کد ۱۷) برآورد کرده‌اند (شکل ۶-۷).

در اقلیم مرطوب (از کد ۱۵ تا ۱۴) و در فصل زمستان بیش‌ترین تغییرات ضریب همبستگی در پایگاه GLDAS نسبت به بقیه پایگاه‌ها مشاهده شد که منجر به کاهش ۲۲ درصدی در مقابل بقیه پایگاه‌ها (متوسط ۸۰ درصد بیش‌تر از ۰/۵) گردید. در

فصل بهار همان‌طور که در شکل (۶-d) مشاهده می‌شود این فصل نیز مانند فصل زمستان کم‌ترین همبستگی را پایگاه GLDAS نشان داده است. در فصل تابستان تنها پایگاه ERA5 بیش‌ترین همبستگی با ۸۰ درصد نسبت به بقیه پایگاه‌ها با ۳۳ درصد بیش‌تر از ۰/۵ را برآورد نمودند. در فصل پاییز همه پایگاه‌ها از همبستگی بالایی برخوردار بوده‌اند. به‌طوری‌که پایگاه ERA5 بیش‌ترین (۸۰ درصد) و GLDAS (۶۰ درصد) کم‌ترین همبستگی را نشان دادند.

مقدار خطا NRMSE در اقلیم فراخشک و در فصل زمستان نسبت به بقیه فصول، همه پایگاه‌ها از دقت بیش‌تری برخوردار بودند. در پایگاه TERRA و MERRA2 (خطوط بنفش و قرمز رنگ در شکل ۶-b) تقریباً در همه‌ی ماه‌ها میزان خطا کم‌تر از ۰/۵ بوده است. اما پایگاه‌ها ERA5 و GLDAS در حوضه سیاه‌کوه (کد ۴۸) خطا را بیش‌تر از ۰/۵ نشان دادند. در بهار پایگاه MERRA2 با ۶۷ درصد خطای کم‌تر از ۰/۵ (نسبت به بقیه پایگاه‌ها ۴۰ درصد) و بیش‌ترین دقت در حوضه بلوچستان (کد ۲۹) را نشان داد. در تابستان تقریباً هیچ‌کدام از پایگاه‌ها دقت خوبی را نشان ندادند (شکل ۶-h). در فصل پاییز ERA5 و TERRA بیش‌ترین و GLDAS کم‌ترین دقت (به‌ترتیب ۶۰ و ۱۷ درصد کم‌تر از ۰/۵) را برآورد نمودند (شکل ۶-k).

در اقلیم خشک و در فصل زمستان همان‌طور که در شکل (۶-b) مشاهده می‌شود کم‌ترین دقت پایگاه ERA5 در حوضه هامون جازموریان (کد ۵۶-۴۵) و بیش‌ترین دقت در کویر لوت (کد ۴۶-۲۳) برآورد شده است. پایگاه TERRA و MERRA2 نیز بیش‌ترین دقت را در حوضه‌های دریاچه نمک و کویر لوت به‌ترتیب با کدهای ۴۱ و ۴۶ با میزان خطا ۰/۳ و کم‌ترین دقت را در حوضه هامون مشکیل (کد ۵۳) با میزان خطا ۰/۸ نشان داد. در فصل بهار پایگاه ERA5، MERRA2 و GLDAS به‌طور متوسط ۶۰ درصد میزان خطای کم‌تر از ۰/۵ را نسبت به TERRA تعیین نمودند. در فصل تابستان مانند اقلیم فراخشک پایگاه‌ها دقت خوبی را نشان ندادند. در فصل پاییز تقریباً نیز مانند فصل تابستان پایگاه‌های ERA5، MERRA2 و GLDAS تغییرات کم‌تری نسبت به پایگاه TERRA در میزان خطا از خود نشان دادند. بیش‌ترین خطا که سبب تغییرات زیادی در پایگاه TERRA شده است در حوضه‌های هامون مشکیل، بندرعباس و مهران کل (به‌ترتیب با کدهای ۴۵، ۲۸ و ۲۷) اتفاق افتاده است.

در اقلیم نیمه‌خشک بیش‌ترین دقت به‌طور متوسط در همه پایگاه‌ها به‌ترتیب در فصل زمستان، پاییز و بهار با متوسط ۹۳، ۹۳ و ۷۷ درصد میزان خطا کم‌تر از ۰/۵ مشاهده گردید. در این بین پایگاه TERRA از دقت بالاتری در همه فصول برخوردار بوده است. در اقلیم مرطوب به‌جز پایگاه ERA5 که در فصل بهار و تابستان (شکل ۶-e و ۶-k) خطا بالایی دارد، در بقیه پایگاه‌ها و فصول دقت بالایی مشاهده گردید. مقدار متوسط MBE به‌طور کلی نشان داد پایگاه TERRA و MERRA2 مقدار کم‌تری را در همه فصول نسبت به مقدار واقعی بارش برآورد کردند و پایگاه ERA5 و GLDAS بارش را در فصول پربارش نسبت به فصول کم‌بارش را بیش‌تر تخمین زده‌اند (شکل ۶)؛ در اقلیم فراخشک و در همه فصول، پایگاه ERA5، GLDAS و TERRA (به‌ترتیب خطوط آبی فیروزه‌ای، آبی و بنفش در شکل ۶-c) در بیش‌تر ماه‌ها مقدار بارش را بیش‌تر از واقعی برآورد نمودند. در اقلیم خشک پایگاه ERA5 در همه فصول بیش‌برآورد به‌ویژه در حوضه جراحی و زهره (کد ۲۴) و پایگاه MERRA2 به‌جز در تابستان کم‌برآورد بودند. در اقلیم نیمه‌خشک مانند اقلیم خشک پایگاه ERA5 در همه فصول بارش را بیش‌تر برآورد نموده است، درحالی‌که بقیه پایگاه‌ها در برخی از ماه‌ها کم‌تر و در برخی بیش‌تر بارش را نشان دادند.

در اقلیم مرطوب به‌طور کامل همه‌ی پایگاه‌ها در همه ماه‌ها بارش را کم‌تر به‌جز ERA5 که بارش را بیش‌تر تعیین نموده است.

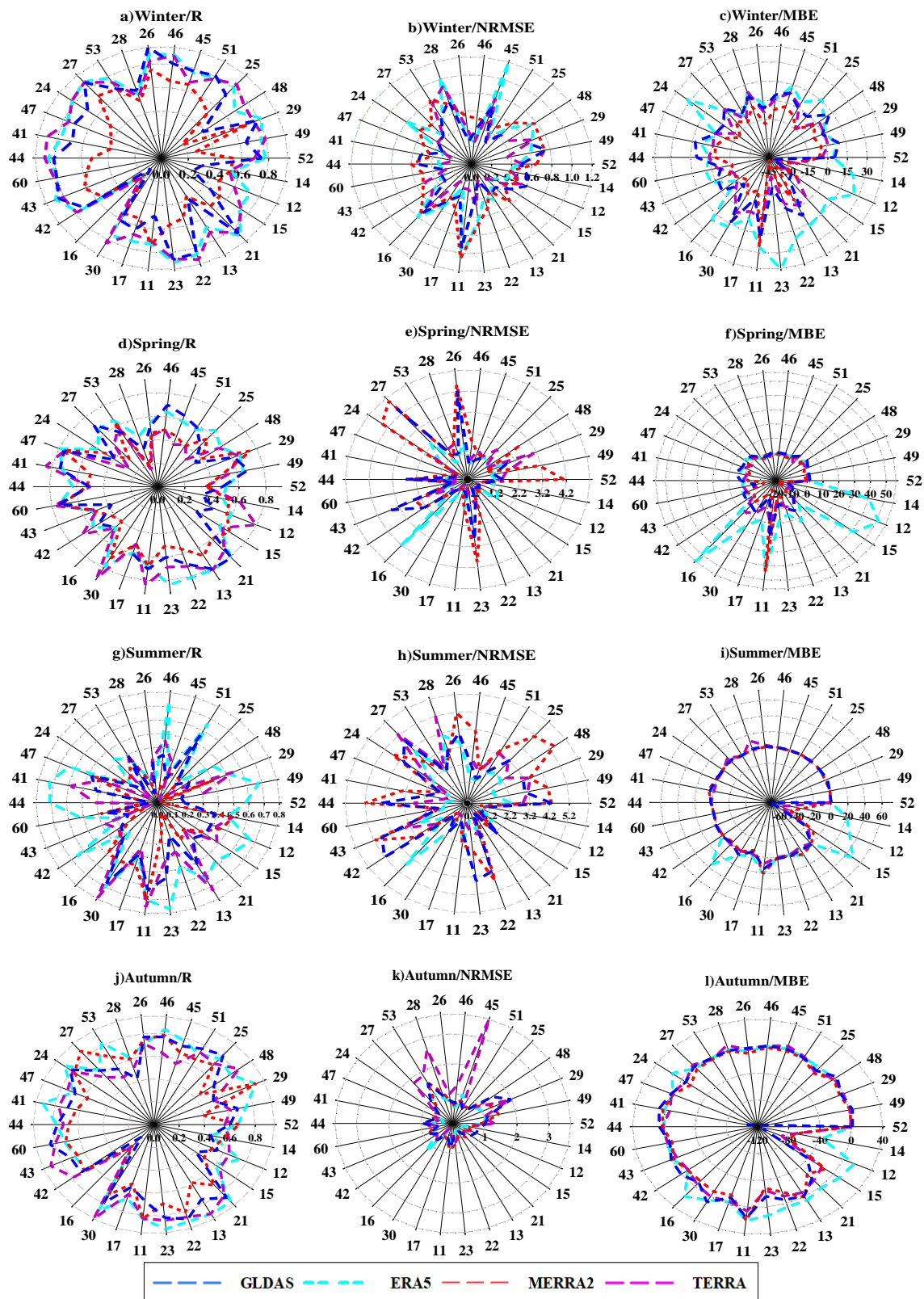


Figure 6. The results of evaluation criteria of four precipitation gridded products for different basins and seasons



## ۵. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به ارزیابی زمانی (ماهانه و فصلی) و مکانی (دو حالت ایستگاهی و حوضه‌ای) پایگاه داده‌های بارش با مقادیر مشاهداتی در کشور به‌عنوان منطقه مطالعاتی پرداخته شده است. نتایج ارزیابی ایستگاهی بارش نشان داد که به‌طور کلی همه پایگاه‌ها بیش‌ترین دقت خود را در فصول پربارش به‌ویژه زمستان و کم‌ترین را در فصل تابستان دارند. همچنین پایگاه TERRA و MERRA2 نسبت به بقیه پایگاه‌ها در همه اقلیم‌ها و فصول به‌طور نسبی از دقت بیش‌تری برخوردار بوده است. به‌طور جزئی در هر اقلیم و هر فصل، در اقلیم فراخشک پایگاه TERRA و ERA5 بیش‌ترین دقت را در فصل زمستان با ۷۰ درصد کم‌تر از ۰/۵ و MERRA2 در فصل زمستان و بهار به‌ترتیب با ۷۰ و ۵۳ درصد کم‌تر از ۰/۵ نشان دادند. در اقلیم خشک پایگاه TERRA بیش‌ترین دقت را در فصل زمستان، پاییز و بهار به‌ترتیب با ۶۳ و ۵۰ درصد کم‌تر از ۰/۵ و پایگاه‌های ERA5، MERRA2 و GLDAS فقط در فصل زمستان با ۹۰، ۹۰ و ۸۳ درصد کم‌تر از ۰/۵ برآورد نمودند. در اقلیم نیمه‌خشک پایگاه‌های ERA5، MERRA2، GLDAS و TERRA بیش‌ترین دقت را به‌ترتیب در فصل زمستان (به‌ترتیب ۸۱، ۷۰، ۱۰۰ درصد)، پاییز (به‌ترتیب ۹۰، ۹۲، ۸۰ و ۹۰ درصد) و بهار (به‌ترتیب ۶۰، ۷۴، ۷۰ و ۸۰ درصد) نشان دادند. در اقلیم مرطوب همه پایگاه‌ها در هر چهار فصل (به‌جز GLDAS در فصل تابستان) بیش‌ترین دقت را برآورد نمودند.

نتایج ارزیابی حوضه‌ای بارش نشان داد که به‌طور کلی مانند حالت ایستگاهی، همه پایگاه‌ها بیش‌ترین دقت خود را در فصول پربارش به‌ویژه زمستان و کم‌ترین را در فصل تابستان دارند. همچنین پایگاه TERRA، MERRA2 و ERA5 در همه اقلیم‌ها و فصول به‌طور نسبی از دقت بیش‌تری برخوردار بوده است. به‌طور جزئی در هر فصل، در اقلیم فراخشک ERA5، TERRA و MERRA2 بیش‌ترین دقت را در فصل زمستان و پاییز به‌ترتیب به‌طور متوسط با ۹۰ و ۶۰ درصد کم‌تر از ۰/۵ دارند. در اقلیم خشک و نیمه‌خشک همه پایگاه‌ها در فصل زمستان، پاییز و بهار به‌ترتیب با ۹۵، ۸۴ و ۶۸ درصد دقت خوبی را نشان دادند. در اقلیم مرطوب دقت پایگاه‌های MERRA2، GLDAS و TERRA در همه فصول به‌طور متوسط حدود ۷۰ درصد دارند. البته پایگاه ERA5 نیز در همه فصول به‌جز بهار خطای کمی را نشان داد. به‌عبارت دیگر، در اقلیم مرطوب ERA5 از عملکرد بهتری برخوردار است که با نتایج پژوهش *Ghalenimohammadi et al.* (2022) مطابقت دارد. به‌طور کلی از کاربردی‌ترین نتایج این پژوهش، می‌توان استفاده از پایگاه‌های متناسب شبکه‌بندی شده در هر اقلیم متناسب برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز را نام برد.

## ۶. پی‌نوشت‌ها

1. National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research
2. Climatic Research Unit
3. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
4. Global Precipitation Climatology Centre
5. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks-Dynamic Infrared Rain Rate near real-time
6. Global Precipitation Climatology Project
7. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis Systems-Interim
8. Water and Global Change applied to ERA-Interim-GPCC
9. Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications-2
10. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts reanalysis systems 5
11. A dataset of monthly climate and climatic water balance for global terrestrial surfaces
12. Global Land Data Assimilation System

13. Aridity Index (AI)
14. Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO)
15. Penman-Monteith method based on United Nations Food and Agriculture Organization in its Irrigation and Drainage Paper No. 56 (PM FAO56)
16. Community Land Model
17. Variable Infiltration Capacity
18. Correlation Coefficient
19. Normalized Root Mean Square Error
20. Mean Bias Error

## ۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۸. منابع

- Camici, S., Ciabatta, L., Massari, C., & Brocca, L. (2018). How reliable are satellite precipitation estimates for driving hydrological models: A verification study over the Mediterranean area. *Journal of Hydrology*, 563, 950–961.
- Darand, M., Amanollahi, J., & Zandkarimi, S. (2017). Evaluation of the performance of TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) estimation over Iran. *Atmospheric Research*, 190, 121-127.
- Darand, M., & Khandu, K. (2020). Statistical evaluation of gridded precipitation datasets using rain gauge observations over Iran. *Journal of Arid Environments*, 178, 104172.
- Dezfooli, D., Abdollahi, B., Hosseini-Moghari, S.M., & Ebrahimi, K. (2018). A comparison between high-resolution satellite precipitation estimates and gauge measured data: case study of Gorganrood basin, Iran. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 67 (3), 236-251.
- Eghdami, M., Barros, A.P. (2019). Extreme orographic rainfall in the eastern andes tied to cold air intrusions. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 101.
- Erfani, A., Babaeian, I., & Entezari, A. (2020). ERA-Interim. *Journal of Climate Research*, 1398(38), 77-92.
- Faridzad, M., Yang, T., Hsu, K., Sorooshian, S., & Xiao, C. (2018). Rainfall frequency analysis for ungauged regions using remotely sensed precipitation information. *Journal of Hydrology*, 563, 123-142.
- Gelaro, R., McCarty, W., Suárez, M. J., Todling, R., Molod, A., Takacs, L., ... & Zhao, B. (2017). The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). *Journal of climate*, 30(14), 5419-5454.
- Ghalenimohammadi, M., & Sharafi, S. (2022). Evaluating the accuracy of CRU TS4.05 and ERA5 databases for the variables of precipitation, temperature and potential transpiration in different climates of Iran. *Iran Irrigation and Drainage Journal*, 16(5), 879-890. (In Persian).
- Ghozat, A., Sharafati, A., & Hosseini, S.A. (2020). Long-term spatiotemporal evaluation of CHIRPS satellite precipitation product over different climatic regions of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-15. 143, 211-225.
- Habib, E., Henschke, A., & Adler, R. F. (2009). Evaluation of TMPA satellite-based research and real-time rainfall estimates during six tropical-related heavy rainfall events over Louisiana, USA. *Atmospheric Research*, 94(3), 373-388.
- Hersbach, H., de Rosnay, P., Bell, B., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., ... & Zuo, H. (2018). Operational global reanalysis: progress, future directions and synergies with NWP. 27, 63.
- Hosseini, Z.S., Moghaddasi, M., & Paymozd, Sh. (2022). Accuracy assessment of ECMWF datasets in prediction of climate data and drought monitoring of Qarechai basin of Markazi Province. *Iran water and soil research*, 53(4), 715-732. (In Persian).
- Hosseini-Moghari, S.M., & Tang, Q. (2020). Validation of GPM IMERG-V05 and v06 precipitation products over Iran. *Journal of Hydrometeorology*, 2020.21(5), 1011-1037
- Hosseini-Moghari, S.M., Araghinejad, S., & Ebrahimi, K. (2018). Spatio-temporal evaluation of global gridded precipitation datasets across Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 63 (11), 1669-1688.

- Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M., BodaghJamali, J., & Kawamoto, H. (2010). Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM\_3b42 over Iran. *Advances in Geosciences*, 25, 119-125.
- Katiraie-Boroujerdy, P.S., Nasrollahi, N., Hsu, K.L., & Sorooshian, S. (2016). Quantifying the reliability of four global datasets for drought monitoring over a semiarid region. *Theoretical and applied climatology*, 123, 387-398.
- Katiraie-Boroujerdy, P.S., Nasrollahi, N., Hsu, K.L., & Sorooshian, S. (2016). Quantifying the reliability of four global datasets for drought monitoring over a semiarid region. *Theoretical and Applied Climatology*, 123 (1-2), 387-398.
- Farshad, Eds., World Soils Book Series. Mishra, A. K., Singh, V. P., & Jain, S. K. (2010). Impact of global warming and climate change on social development. *Journal of Comparative Social Welfare*, 26(2-3), 239-260
- Moazami, S., Golian, S., Hong, Y., Sheng, C., & Kavianpour, M.R. (2016). Comprehensive evaluation of four high-resolution satellite precipitation products under diverse climate conditions in Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 61 (2), 420-440.
- Moshir Panahi, D., Kalantari, Z., Ghajarnia, N., Seifollahi-Aghmiuni, S., & Destouni, G. (2020). Variability and change in the hydro-climate and water resources of Iran over a recent 30-year period. *Scientific reports*, 10(1), 7450.
- Pachauri, R.K., Allen, M.R., Barros, V.R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J.A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., & Dubash, N.K. (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. IPCC 2014.
- Pom'eon, T., Jackisch, D., & Diekkrüger, B. (2017). Evaluating the performance of remotely sensed and reanalysed precipitation data over west Africa using HBV light. *Journal of Hydrology*, 547, 222-235.
- Rahmati, A., Bakhtar, A., Shayeghi, A., Kalantari, Z., Bavani, A. M., & Ghajarnia, N. (2022). Spatio-temporal performance evaluation of 14 global precipitation estimation products across river basins in southwestern Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 44, 101269
- Rienecker, M.M., Suarez, M.J., Gelaro, R., Todling, R., Bacmeister, J., Liu, E., Bosilovich, M.G., Schubert, S.D., Takacs, L., & Kim, G.-K. (2011). MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications. *J. Clim*, 24, 3624-3648.
- Rodell, M., Houser, P. R., Jambor, U. E. A., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C. J., ... & Toll, D. (2004). The global land data assimilation system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3), 381-394.
- Saemian, P., Hosseini-Moghari, S. M., Fatehi, I., Shoarinezhad, V., Modiri, E., Tourian, M. J., & Sneeuw, N. (2021). Comprehensive evaluation of precipitation datasets over Iran. *Journal of Hydrology*, 603, 127054.
- Saemian, P., Elmi, O., Vishwakarma, B., Tourian, M., & Sneeuw, N. (2020). Analyzing the lake urchia restoration progress using ground-based and spaceborne observations. *Science of The Total Environment*, 739, 139857.
- Saemian, P., Tourian, M. J., AghaKouchak, A., Madani, K., & Sneeuw, N. (2022). How much water did Iran lose over the last two decades?. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41, 101095.
- Salman, S.A., Shahid, S., Ismail, T., Al-Abadi, A.M., Wang, X.J., & Chung, E.S. (2019). Selection of gridded precipitation data for Iraq using compromise programming. *Measurement*, 132, 87-98.
- Schmidhuber, J., & Tubiello, F. N. (2007). Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(50), 19703-19708.
- Shokoohi, A., & Morovati, R. (2015). Basinwide comparison of RDI and SPI within an IWRM framework. *Water Resources Management*, 29 (6), 2011-2026.
- Sorooshian, S., AghaKouchak, A., Arkin, P., Eylander, J., Foufoula-Georgiou, E., Harmon, R., ... & Skofronick-Jackson, G. (2011). Advanced concepts on remote sensing of precipitation at multiple scales. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(10), 1353-1357.
- Sorooshian, S., Hsu, K-L., Gao, X., Gupta, H. V., Imam, B., & Braithwaite, D. (2000). Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(9), 2035-2046.
- Su, F., Hong, Y., & Lettenmaier, D.P. (2008). Evaluation of TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata basin. *Journal of Hydrometeorology*, 9 (4), 622-640.

- Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., & Hsu, K.L. (2018). A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56 (1), 79-107.
- Tang, Y., Zhong, S., Luo, L., Bian, X., Heilman, W. E., & Winkler, J. (2015). The potential impact of regional climate change on fire weather in the United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 105(1), 1-21.
- Woznicki, S.A., Nejadhashemi, A.P., Tang, Y., & Wang, L. (2016). Large-scale climate change vulnerability assessment of stream health. *Ecological Indicators*, 69, 578-594.
- Xu, H., Xu, C.Y., Chen, S., & Chen, H. (2016). Similarity and difference of global reanalysis datasets (WFD and APHRODITE) in driving lumped and distributed hydrological models in a humid region of China. *Journal of Hydrology*, 542, 343-356.
- Yin, W., Fan, Z., Tangdamrongsub, N., Hu, L., & Zhang, M. (2021). Comparison of physical and data-driven models to forecast groundwater level changes with the inclusion of GRACE–A case study over the state of Victoria, Australia. *Journal of Hydrology*, 602, 126735
- Zhang, M., Teng, Y., Jiang, Y., Yin, W., Wang, X., Zhang, D., & Liao, J. (2022). Evaluation of terrestrial water storage changes over china based on GRACE solutions and water balance method. *Sustainability*, 14(18), 11658.