



## Spatio-temporal Evaluation of Satellite Precipitation Products in Northwestern Iran

Ali Rasoulzadeh<sup>1✉</sup>, Sajad Mahmoudi Babolan<sup>2</sup>, Saeed Nastarani Amoghin<sup>3</sup>

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: [arasoulzadeh@gmail.com](mailto:arasoulzadeh@gmail.com)

2. Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: [mahmoudi.sa@ut.ac.ir](mailto:mahmoudi.sa@ut.ac.ir)

3. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Tehran, Iran, Email: [s.nastarani@ut.ac.ir](mailto:s.nastarani@ut.ac.ir)

---

### Article Info

**Article type:** Research Article

**Article history:**

**Received:** July. 4, 2022

**Revised:** Sep. 6, 2022

**Accepted:** Oct. 24, 2022

**Published online:** Nov. 22, 2022

**Keywords:**

Precipitation estimate,  
GPM-IMERG,  
CHIRPS,  
Persiann-CDR,  
TRMM.

---

### ABSTRACT

In the analysis of climatic and hydrological events, precipitation is considered as a main parameter and therefore, measuring precipitation data with high Spatio-temporal resolution is very important in predicting weather patterns. Accurate measurement of precipitation on the land surface is very challenging due to the scattering of rain gauge networks, temporal and spatial diversity, wind effects, and topography. In recent decades, the use and development of satellite products and remote sensing techniques have become widespread which is used in precipitation estimation. The aim of this study was to evaluate the satellite precipitation data of TRMM, CHIRPS, Persiann-CDR and GPM-IMERG and compare them with rain gauge data in the north and northwestern region of the country (including Gilan, Ardabil, East Azerbaijan, and West Azerbaijan provinces). For this purpose, after receiving the satellite data series and pre-processing them, an evaluation was performed between the satellite data on a daily, monthly and seasonal time scale with the observational data. Evaluation of the results is performed using definite indicators including POD, CSI, FAR, Bias and statistical criteria including correlation coefficient (Corr) and Normalized Root Mean Square Error (nRMSE). The study period was selected from January 1, 2017 to December 31, 2021 on 56 synoptic stations. The results of most indicators and statistical criteria (Corr, nRMSE, POD, and CSI) showed that in all products the lowest error is related to the southwest of the study area which increases (south of West Azerbaijan province) by moving toward the east of the region and the Caspian coast. In assessing the regional average precipitation, the results of IMERG, CHIRPS and Persiann-CDR were close to each other and with a slight difference (except in the nRMSE criterion) the IMERG product is superior. Also, in the study of seasonal estimates, the results of CHIRPS and Persiann-CDR were more reliable, but in order to use IMERG and TRMM, it is suggested that the estimates be accurized using different error correction methods. Finally, according to the results of this study, each product based on the type of topography and climate of the region provides a different result in estimating rainfall and there is a need for further studies according to the type of events in each region and a more detailed study of each product .

---

Cite this article: Rasoulzadeh, A., Mahmoudi Babolan, S., Nastarani Amoghin, S. (2022) Spatio-temporal evaluation of satellite precipitation products in northwestern Iran, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.345392.669311>, 53 (9), 1241-1260.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.345392.669311>

---

## ارزیابی مکانی-زمانی محصولات بارش ماهواره‌ای در مناطق شمال غرب ایران

علی رسول زاده<sup>۱</sup>، سجاد محمودی بابلان<sup>۲</sup>، سعید نسترنی عموقین<sup>۳</sup>۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، ایمیل: [arasoulzadeh@gmail.com](mailto:arasoulzadeh@gmail.com)۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکدهگان ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران، ایمیل: [mahmoudi.sa@ut.ac.ir](mailto:mahmoudi.sa@ut.ac.ir)۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدهگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: [s.nastarani@ut.ac.ir](mailto:s.nastarani@ut.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	در تحلیل رویدادهای اقلیمی و هیدرولوژیکی، بارش به عنوان یک پارامتر اصلی مطرح است و لذا اندازه‌گیری داده های بارش با تفکیک مکانی و زمانی بالا در پیش‌بینی الگوهای آب و هوایی بسیار مهم است. اندازه‌گیری دقیق میزان بارش در سطح زمین به دلیل پراکندگی شبکه‌های باران‌سنجی، تنوع مکانی و زمانی رخدادها، اثرات باد و توپوگرافی، بسیار چالش‌برانگیز است. از این رو در چند دهه اخیر، استفاده و توسعه از محصولات ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور بسیار رایج شده است که در تخمین بارش‌ها استفاده می‌گردد. این پژوهش، با هدف ارزیابی داده‌های بارش ماهواره‌ای TRMM، CHIRPS، Persiann-CDR و GPM-IMERG و مقایسه آن‌ها با داده‌های زمینی در منطقه شمال و شمال غرب کشور (شامل استان‌های گیلان، اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی) انجام شد. برای این منظور، ارزیابی بین داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و فصلی با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه های زمینی با استفاده از شاخص‌های قطعی شامل POD، CSI، FAR، Bias و معیارهای آماری شامل همبستگی (Corr) و نرمال مجذور میانگین مربعات خطا (nRMSE) انجام گرفت. دوره مطالعاتی از تاریخ ۱۲ دی ۱۳۹۵ (۱ ژانویه ۲۰۱۷) تا ۱۰ دی ۱۴۰۰ (۳۱ دسامبر ۲۰۲۱)، بر روی ۵۶ ایستگاه سینوپتیک انتخاب شد. نتایج اکثر شاخص‌ها و معیارهای آماری (Corr، nRMSE، POD و CSI) نشان داد که در همه محصولات کمترین خطا مربوط به جنوب غربی منطقه مورد مطالعه (جنوب استان آذربایجان غربی) است و با حرکت به سمت شرق منطقه و نوار ساحلی دریای خزر، خطا افزایش می‌یابد. در ارزیابی میانگین منطقه‌ای بارش، نتایج CHIRPS، IMERG و Persiann-CDR نزدیک به یکدیگر بود و با اختلافی جزئی (به جز در معیار nRMSE) محصول IMERG برتری دارد. همچنین در بررسی برآوردهای فصلی، نتایج دو محصول CHIRPS و Persiann-CDR قابل اطمینان‌تر بودند، اما برای استفاده از IMERG و TRMM پیشنهاد می‌شود که با استفاده از روش‌های مختلف تصحیح خطا، برآوردها تدقیق گردد. در نهایت بر اساس نتایج این پژوهش، هر محصول بر اساس نوع توپوگرافی و اقلیم منطقه، نتیجه‌ای متفاوت در تخمین بارش ارائه می‌دهد و نیاز به مطالعات بیشتر با توجه به نوع رخدادها در هر منطقه و بررسی جزئی‌تر هر محصول می‌باشد.
واژه‌های کلیدی: تخمین بارش، TRMM، CHIRPS، Persiann-CDR، GPM-IMERG	

استناد: رسول‌زاده، علی، محمودی بابلان؛ سجاد، نسترنی عموقین؛ سعید، (۱۴۰۱) ارزیابی مکانی-زمانی محصولات بارش ماهواره‌ای در مناطق شمال غرب ایران، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۹)، ۱۲۶۰-۱۲۴۱.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.345392.669311>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## مقدمه

اساساً در تحلیل رویدادهای اقلیمی و هیدرولوژیکی، بارش به‌عنوان یک پارامتر اصلی مطرح است. بارش به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در پدیده‌هایی مانند سیل و خشک‌سالی تأثیرگذار است (Chen *et al.*, 2018). تنوع در میزان و نوع بارش، در زمینه‌های مختلف مدیریت منابع آب از لحاظ اولویت و سهم تخصیص به شرب، صنعت، کشاورزی و محیط‌زیست نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. علاوه بر آن، بارش به‌عنوان یک پارامتر مهم در ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی، جوی و اقلیمی است. از این‌رو، اندازه‌گیری داده‌های بارش با تفکیک مکانی و زمانی بالا می‌تواند در پیش‌بینی الگوهای جوی و هیدرولوژیکی اثرگذار باشد (Ramadhan *et al.*, 2022).

ایستگاه‌های باران‌سنجی، از متداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری بارش در سطح زمین هستند. اما اندازه‌گیری توسط ایستگاه‌های باران‌سنجی، صرفاً محدود به مکان‌های نصب‌شده است و در معرض خطاهایی نظیر کالیبره نبودن باران‌سنج و قرائت مقدار و ثبت داده قرار می‌گیرند (Ramadhan *et al.*, 2022; Kidd *et al.*, 2017; New *et al.*, 2001). کمبود باران‌سنج‌ها در شبکه ایستگاهی می‌تواند باعث ایجاد خطاهای تصادفی یا سیستماتیک هنگام درون‌یابی در یک منطقه وسیع شود (Ramadhan *et al.*, 2022). به بیان ساده‌تر، اندازه‌گیری دقیق میزان بارش در سطح زمین به دلیل پراکندگی شبکه‌های باران‌سنجی، تنوع مکانی و زمانی زیاد، اثرات باد و توپوگرافی بسیار چالش‌برانگیز است. به همین سبب، برآوردهای غیرمستقیم نظیر ایستگاه‌های راداری، مدل‌های عددی شبیه‌سازی جو و سامانه‌های سنجش‌از‌دور، می‌تواند جایگزین مناسبی برای مواجهه با فقدان شبکه‌های باران‌سنجی باشد.

از لحاظ تعدد، بیش از ده محصول بارش ماهواره‌ای وجود دارد که به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ از جمله ماهواره TRMM<sup>1</sup> (عملیات اندازه‌گیری بارش گرمسیری)، ماهواره CHIRPS<sup>2</sup> (گروه مخاطرات اقلیمی بارش مادون قرمز با داده ایستگاهی)، ماهواره Persiann-CDR<sup>3</sup> (تخمین بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و اطلاعات سنجش‌از‌دور) و ماهواره GPM<sup>4</sup> (اندازه‌گیری بارش جهانی). تاکنون، مطالعات مختلفی در ارتباط با کاربرد این ماهواره‌ها انجام شده است که به برخی از این موارد اشاره می‌گردد:

Duan *et al.*, (2016)، به ارزیابی هشت نوع داده شبکه‌بندی بارش با تفکیک زمانی در ایتالیا پرداختند. این ارزیابی در مقیاس‌های زمانی (روزانه، ماهانه و سالانه) و مکانی (شبکه و حوضه) انجام گرفت. نتایج نشان داد که داده‌های TRMM، CHIRPS و CMORPH<sup>5</sup>، دقیق‌ترین برآوردها را دارند (به ترتیب با اریبی ۰/۱۳، کمتر از ۰/۰۵ و -۰/۱۹)، در حالی که PGF<sup>6</sup> (با اریبی ۰/۶۳)، بدترین تخمین را ارائه می‌دهد.

Zambranoa *et al.*, (2017)، دقت ماهانه محصولات CHIRPS، TMPA<sup>7</sup> و Persiann-CDR را در مناطق مختلف شیلی مقایسه کردند. نتایج نشان داد عملکرد محصولات در مناطق شمالی در ماه‌های بارانی (دسامبر تا مارس) مناسب است. در مناطق مرکزی، محصول TMPA سازگاری خوبی را در ماه می، جولای و اوت نشان داد. در مقابل، دو محصول دیگر از ژوئن تا سپتامبر سازگاری مناسبی با داده‌های زمینی داشتند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که داده‌های CHIRPS به‌طور کلی برای تخمین الگوهای بارش در شیلی مناسب است. Gao *et al.*, (2018)، به مقایسه دو مجموعه داده شبکه‌بندی شده ماهانه با وضوح بالا در سین کیانگ چین پرداختند. نتایج نشان داد داده‌های CHIRPS نسبت به Persiann-CDR در مقیاس ماهانه و سالانه دقت بیشتری دارد. Sharifi *et al.*, (2016)، تخمین بارش حاصل از سه محصول IMERG<sup>8</sup>، TMPA و ERA-Interim<sup>9</sup> را در مناطق مختلف ایران بررسی کردند. نتایج میانگین‌گیری شده مکانی برای کل کشور ایران نشان داد که هر سه محصول تمایل به تخمین کمتر بارش نسبت به مقادیر ایستگاه‌های زمینی دارند، اما IMERG عملکرد بهتر و اریبی خیلی کمتری نسبت به دیگر محصولات دارد.

Azizi mobaser *et al.*, (2020)، بارش بازتحلیل شده مدل ERA5 را بر گستره‌ی استان اردبیل از سال ۲۰۰۴ الی ۲۰۱۴ با بارش مشاهداتی درون‌یابی شده ایستگاهی در مقیاس‌های زمانی مختلف ارزیابی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد در مقیاس روزانه، ضریب

1 The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

2 Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)

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

4 The Global Precipitation Measurement Mission (GPM)

5 Climate Prediction Center morphing method (CMORPH)

6 Global Meteorological Forcing Dataset for Land Surface Modelling Developed by Princeton University

7 Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA)

8 The Integrated Multi-satellitE Retrievals

9 ECMWF Atmospheric Reanalysis (ERA)



همبستگی بین بارش مشاهداتی و بارش بازتحلیل شده مدل ERA5 بیشتر از ۰/۷۵ و خطای RMSE نیز کمتر از ۳ میلی متر بود. همچنین در مقیاس ماهانه باوجود افزایش ضریب همبستگی خطای RMSE نیز افزایش یافت. در این پژوهش از روش تحلیل خوشه‌ای WARD جهت طبقه‌بندی بارش استفاده شد که صحت‌سنجی نتایج خوشه‌بندی با استفاده از روش k-means و مدل ویلکز لامبدا تفاوت بین میانگین خوشه‌ها تایید کرد. در نهایت نتیجه‌گیری شد که می‌توان از بارش بازتحلیل مدل ERA5 در مقیاس‌های روزانه و ماهانه بعد از اعمال تصحیحات خطا در مناطق فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش استفاده کرد.

Mosaffa et al., (2020)، روند بارش سالانه، فصلی و ماهانه را به همراه سهم هر فصل و ماه در بارش سالانه ایران را برای دوره‌ی ۲۰۱۸-۱۹۸۳ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. برای تخمین بارش از محصول Persiann-CDR استفاده شد. تجزیه و تحلیل سهم هر فصل و ماه در بارندگی سالانه در سال‌های مرطوب و خشک نشان داد که سال‌های خشک تأثیرات حیاتی بر کاهش بارندگی ماهانه در یک منطقه خاص دارند. به‌عنوان مثال، کاهش قابل‌توجهی در میزان بارندگی طی سال‌های خشک در مناطق شرقی، شمال شرقی و جنوب غرب ایران به ترتیب طی ماه‌های اسفند، فروردین و آذر قابل مشاهده است. نتایج این مطالعه نشان داد که Persiann-CDR منبع اطلاعاتی ارزشمندی در مناطقی با تراکم کم ایستگاه‌های مشاهداتی است که تغییرات مکانی و زمانی بارش را ثبت می‌کند.

به دلیل فقدان شبکه باران‌سنجی متراکم و گاهی وجود اطلاعات ناقص در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی کشور ایران، ارزیابی‌های هیدرولوژیکی با خطا و عدم قطعیت زیادی روبه‌رو است. به همین سبب، استفاده از جدیدترین روش‌های برآورد مقدار کمی بارش به‌صورت توزیع‌شده و ارزیابی دقت آن‌ها، کمک شایانی به کاهش عدم قطعیت و افزایش دقت مطالعات مرتبط با بارش خواهد کرد. مطالعات متعددی که به تعدادی از آن‌ها اشاره شد، برآورد بارش ماهواره‌ای بر مناطق مختلف کشور و حتی تمام گستره‌ی ایران مورد ارزیابی قرار داده‌اند. اما مطالعه‌ی جامعی از بررسی توأمان پرکاربردترین محصولات بارش ماهواره‌ای با مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و ارزیابی مکانی-زمانی آن‌ها در استان‌های شمال غرب کشور انجام نشده است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی دقت عملکرد پایگاه‌های تخمین بارش به بررسی محصولات ماهواره‌ای TRMM، CHIRPS، و GPM-IMERG (از این پس در متن با نام IMERG شناخته می‌شود) در منطقه شمال غرب ایران می‌پردازد. این مطالعه، دقت محصولات بارش ماهواره‌ای مذکور از منظر معیارهای آمارهای و شاخص‌های طبقه‌بندی‌شده، در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و فصلی در منطقه‌ای با شرایط آب‌وهوایی پیچیده و توپوگرافی ناهمگون، بررسی خواهد کرد.

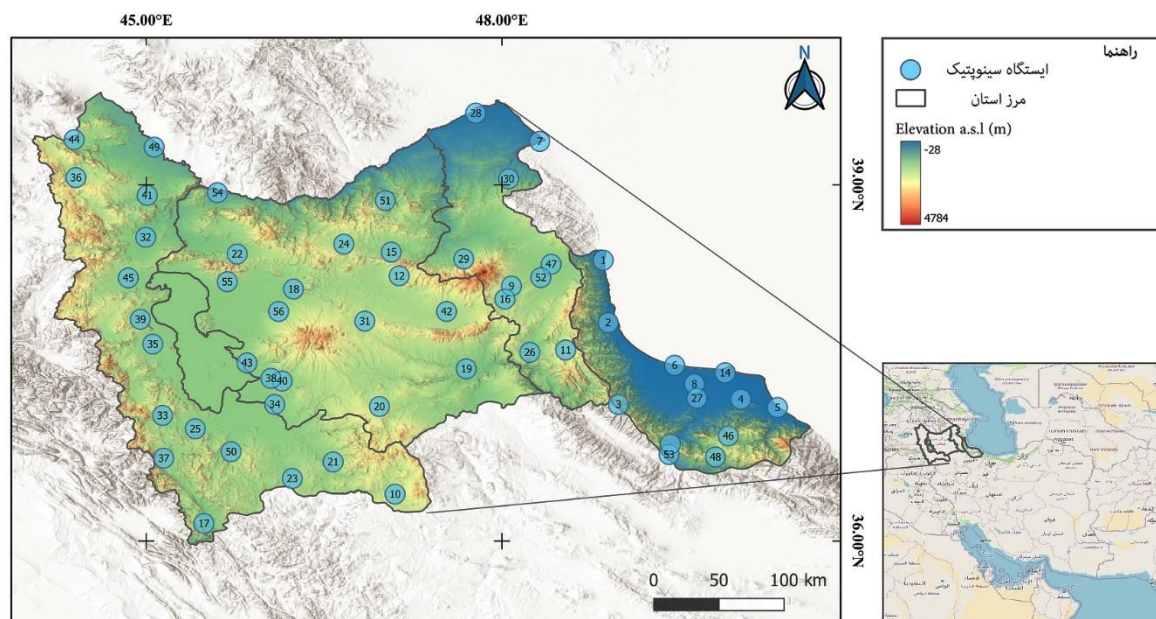
## روش تحقیق و داده‌های مورد استفاده

### محدوده مورد مطالعه

در پژوهش حاضر، شمال و شمال غرب کشور ایران به‌عنوان محدوده مورد مطالعاتی انتخاب گردید که دربرگیرنده استان‌های گیلان، اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی است. این منطقه از شرق به دریای خزر، از شمال به کشورهای آذربایجان و ارمنستان، از غرب به کشورهای ترکیه و عراق و از جنوب به استان‌های مازندران، قزوین، زنجان و کردستان محدود است (شکل ۱). توده‌های مدیترانه‌ای از اصلی‌ترین سامانه‌های بارشی است که این منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی، به دلیل وجود رشته‌کوه‌های زاگرس که از جنوب شرقی کشور ترکیه آغاز می‌شود و توپوگرافی پیچیده منطقه (از ۲۸ متر واقع در سواحل دریای خزر پایین‌تر تا ۴۷۰۰ متری ارتفاعات سبلان بالاتر از سطح آب‌های آزاد)، به‌طور قابل‌توجهی بر بارندگی منطقه مورد مطالعه تأثیر می‌گذارد.

### داده‌های مشاهداتی

با توجه به هدف مطالعه، از داده‌های روزانه بارش ثبت‌شده توسط ایستگاه‌های همدیدی سازمان هواشناسی به‌عنوان مرجع ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای استفاده شد. پس از غربال کردن داده‌های ایستگاه‌های ثبت بارش از لحاظ کامل بودن و همچنین پراکندگی مکانی ایستگاه‌ها در سطح منطقه مورد مطالعه، در مجموع از ۶۳ ایستگاه ۵۶ ایستگاه همدید به‌عنوان مرجع بارش انتخاب شدند. آمار بارش‌های مشاهده‌شده در مقیاس روزانه از ۱۲ دی ۱۳۹۵ (۱ ژانویه ۲۰۱۷) تا ۱۰ دی ۱۴۰۰ (۳۱ دسامبر ۲۰۲۱) از سازمان هواشناسی ایران اخذ گردید. میانگین بارش سالانه در این دوره آماری، برای استان آذربایجان غربی ۴۰۱ میلی‌متر، آذربایجان شرقی ۲۸۹ میلی‌متر، استان اردبیل ۲۹۷ میلی‌متر و گیلان ۹۶۵ میلی‌متر است. همچنین این منطقه از اقلیمی‌های مدیترانه‌ای و سرد کوهستانی (استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و بخشی از استان اردبیل) و خزری معتدل و مرطوب (استان گیلان و شرق استان اردبیل) و سرد و نیمه بیابانی (شمال استان اردبیل) تشکیل شده است (Vaghefi et al., 2019). شکل ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و توزیع مکانی ایستگاه‌های همدیدی منتخب را نشان می‌دهند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و پراکنش مکانی ایستگاه‌های همدید منتخب در منطقه مورد مطالعه

### محصولات بارش ماهواره‌ای

در این پژوهش، از چهار محصول ماهواره‌ای (TRMM، CHIRPS، Persiann-CDR و IMERG) استفاده شده است. جدول ۱، اطلاعات کلی در مورد پایگاه‌های ماهواره‌ای منتخب را نشان می‌دهد که در ادامه به تفصیل، هر مورد شرح داده خواهد شد.

جدول ۱- اطلاعات کلی در مورد ماهواره‌های منتخب

مجموعه داده‌ها (Data sets)	پوشش (Coverage)	دوره (Period)	رزولوشن مکانی یا تفکیک مکانی (Spatial resolution)	رزولوشن زمانی (Temporal resolution)
TRMM-TMPA (3B42 V.7)	Global 50°N-S	۱۹۹۷-۲۰۱۹	۰/۲۵° × ۰/۲۵°	Daily
Persiann-CDR	Global 60°N-S	۱۹۸۳-حال حاضر	۰/۲۵° × ۰/۲۵°	Daily
CHIRPS	Global 50°N-S	۱۹۸۱-حال حاضر	۰/۰۵° × ۰/۰۵°	Daily
GPM-IMERG (Final V.6)	Global 90°N-S	۲۰۰۰-حال حاضر	۰/۱° × ۰/۱°	30 Minutes

### داده‌های بارش TRMM

TRMM در سال ۱۹۹۷ از طریق یک مأموریت فضایی مشترک بین سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (NASA) و آژانس کاوش‌های هوافضای ژاپن (JAXA) به فضا پرتاب شد و در مدار ۳۵۰ کیلومتری از سطح زمین قرار گرفت (Huffman et al., 2010). محصولات ماهواره TRMM، از عرض جغرافیایی ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی ارائه می‌گردد که توان تفکیک مکانی آن‌ها در ثبت بارش‌ها حداقل ۰/۲۵ × ۰/۲۵ و حداکثر ۵ × ۵ درجه است (Akbari Yangheghaleh et al., 2017). ماهواره TRMM، دارای پنج ابزار است که شامل مجموعه‌ای از سه حسگر بارش رادار بارش (PR)، تصویرگر ماکروویو<sup>۱</sup> (TMI)، حسگر مرئی و مادون قرمز<sup>۲</sup> (VIRS) و دو ابزار مرتبط (حسگر تصویربرداری رعدوبرق (LIS) و ابرها و سیستم انرژی تابشی زمین (CERES) می‌باشد (Yang et al., 2020). سطوح تولیدی ماهواره شامل؛ سطح یک: داده‌های پردازش نشده، سطح دو: زمین مرجع نمودن اطلاعات داده‌ها و متصل به سطح اجرایی صفر و پردازش وابسته به حسگر واحدهای فیزیکی و سطح سه: پارامترهای هواشناسی است (Akbari Yangheghaleh et al., )

1 TRMM Microwave Imager  
2 Visible and Infrared Sensor



(2017). در پژوهش حاضر، داده‌های بارش روزانه، محصول سطح سوم (3B42)، با تفکیک مکانی  $0.25 \times 0.25$  درجه‌ای استفاده شد. شایان ذکر است برآوردهای محصول TRMM تا انتهای سال ۲۰۱۹ در دسترس است و سه سال (۲۰۱۷-۲۰۱۹) از پنج سال دوره مطالعاتی (۲۰۱۷-۲۰۲۱) را در برمی‌گیرد.

#### داده‌های بارش CHIRPS

داده‌های CHIRP یک محصول تقریباً نزدیک به زمان واقعی است که از سال ۱۹۸۱ تا به امروز در دسترس است. داده‌های این ماهواره، از ۵۰ درجه شمالی تا ۵۰ درجه جنوبی ارائه می‌گردد (Funk et al., 2015). الگوریتم محصول بارشی CHIRPS از ترکیب سه پایگاه داده اصلی تشکیل می‌شود: ۱) گروه مخاطرات اقلیمی اقلیم‌شناسی بارش<sup>۱</sup> (CHPclim)، مقدار اقلیمی بارش جهانی با وضوح  $0.5 \times 0.5$  درجه است که برای هر ماه بر اساس داده‌های ایستگاهی، میانگین مشاهدات ماهواره‌ای، ارتفاع، عرض جغرافیایی و طول جغرافیایی تخمین زده می‌شود؛ ۲) برآورد بارش ماهواره‌ای مبتنی بر TIR<sup>۲</sup> و ۳) اندازه‌گیری محل باران‌سنج (Dinku et al., 2018).

CHIRPS داده‌های بارش را در دو مرحله بر اساس دو آرشیو ژئوسنکرون<sup>۳</sup> جهانی TIR، یعنی ماهواره شبکه جهانی اداره ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده آمریکا<sup>۴</sup> (NOAA) از سال ۱۹۸۱-۲۰۰۸ و مجموعه داده NOAA CPC<sup>۵</sup> از سال ۲۰۰۰ تا زمان حاضر تخمین می‌زند. ابتدا، آستانه دمای بهینه برای مدت زمان ابر سرد<sup>۶</sup> (CCD) یک منطقه معین به‌عنوان درصدی از دسته‌های پنج‌تایی (یا میانگین پنج روز در  $0.5 \times 0.5$  درجه) با توجه به مقدار اقلیمی بلندمدت آن‌ها (۱۹۸۱-۲۰۱۲) تعریف می‌شود. سپس، یک رابطه رگرسیونی برای تفسیر مقادیر CCD ایجاد می‌شود تا عمق بارش تخمین زده شود (Goshime et al., 2020). داده‌های بارش CHIRPS از مقادیر ۶ ساعته تا ۳ ماهه در دسترس می‌باشد که به‌منظور نظارت بر خشک‌سالی و تغییرات اقلیمی در مقیاس شبکه جهانی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Gorjizade et al., 2019). در این پژوهش، از داده‌های بارش روزانه شبکه‌بندی شده CHIRPS استفاده گردید.

#### داده‌های بارش PERSIANN-CDR

PERSIANN یک الگوریتم بازیابی بارش مبتنی بر ماهواره است که عمدتاً بر اساس ماهواره‌های زمین‌آهنگ، تصاویر دمای حاصل از طیف مادون قرمز را دریافت کرده و برای برآورد بارش از آن استفاده می‌کند. الگوریتم PERSIANN از یک مدل شبکه عصبی مصنوعی برای تبدیل اطلاعات مادون قرمز به نرخ باران بهره می‌برد. سپس داده‌های ماکروویو ماهواره‌ای را برای کالیبره کردن تخمین‌های بارش مبتنی بر مادون قرمز استفاده می‌کند (Hsu et al., 1997; Tan & Santo, 2018).

پرونده داده‌های اقلیمی PERSIANN (Persiann-CDR) که بیش از ۳۰ سال بارش روزانه را پوشش می‌دهد، در سال ۲۰۱۵ دسترس عموم قرار گرفت. به‌طور خلاصه، Persiann-CDR یک محصول بارشی چند ماهواره‌ای با وضوح بالا است که تخمین بارش روزانه را با وضوح مکانی  $0.25$  درجه از سال ۱۹۸۳ تا حال حاضر ارائه می‌دهد (Ashouri et al., 2015). در این پژوهش، از داده‌های بارش روزانه مدل شبکه‌بندی Persiann-CDR برای تخمین بارش استفاده شد.

#### داده‌های بارش IMERG

در سال ۲۰۱۴، مجموعه ماهواره GPM از طریق یک مأموریت فضایی مشترک بین سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (NASA) و آژانس کاوش‌های هوافضای ژاپن (JAXA) به فضا پرتاب شد. این ماهواره، دارای دو حسگر اصلی است: ۱) ابزار تصویربرداری ماکروویو<sup>۷</sup> (GMI) که شدت، نوع و اندازه بارش را اندازه‌گیری می‌کند؛ ۲) رادار بارش دو فرکانس<sup>۸</sup> (DPR) که ساختار داخلی طوفان‌ها را در درون و زیر ابرها مشاهده می‌کند. به‌طور کلی، GPM سه سطح مختلف پردازش داده را ارائه می‌کند: سطح ۱) محصول مداری است که به‌عنوان دمای درخشندگی کالیبره شده GMI (IC-GMI) شناخته می‌شود؛ سطح ۲) محصولات مداری است که به‌عنوان تخمین‌های بارندگی یا برآوردهای ترکیبی در نظر گرفته می‌شوند و سطح ۳) محصولات شبکه‌بندی شده است که میانگین بارش GMI و DPR (3-CMB) یا

1 The Climate Hazards Group Precipitation Climatology

2 Thermal Infrared (TIR)

۳ مدار زمین-آهنگ (ژئوسنکرون) یک مدار بلند پیرامون زمین است که به ماهواره‌ها اجازه می‌دهد خود را با چرخش زمین همگام و هماهنگ کنند.

4 National Oceanic and Atmospheric Administration

5 NOAA Climate Prediction Center (CPC)

6 Cold Cloud Duration (CCD)

7 GPM Microwave Imager

8 Dual-Frequency Precipitation Radar

تخمین‌های بارشی از داده‌های ابزارهای ماکروویو فعال و غیرفعال در مدار GPM (یعنی محصولات IMERG) را ترکیب می‌کنند (Huffman et al., 2015).

محصولات سطح ۳ (IMERG)، شامل داده‌های باران و برف با تفکیک مکانی  $0.1 \times 0.1 \times 0.1$  درجه و تفکیک زمانی ۳۰ دقیقه در دسترس است. محصولات IMERG، با تأخیرهای ۵ ساعته قابل دریافت می‌باشد و بر اساس نیاز کاربر و متناسب با مدت تأخیر و دقت داده‌ها، پردازش‌های مختلفی روی داده‌ها انجام می‌شود. از این رو، IMERG اجراهایی دارد که عبارت‌اند از: اجرای آنی<sup>۱</sup> (تقریباً شش ساعت پس از زمان مشاهده)، اجرای دیر<sup>۲</sup> (تقریباً ۱۸ ساعت پس از زمان مشاهده) و اجرای نهایی<sup>۳</sup> (تقریباً چهار ماه پس از زمان مشاهده). این اجراها به ترتیب با نمادهای IMERG-E، IMERG-L و IMERG-F نشان داده می‌شوند (Taghizadeh & Ahmadi-Givi, 2018; Huffman et al., 2015). در این پژوهش، از محصول GPM-IMERG-F استفاده گردیده و زین پس در متن مقاله با عنوان IMERG شناخته می‌شود.

### معیارها و شاخص‌های ارزیابی عملکرد

در این مطالعه ارزیابی برآوردهای بارش ماهواره‌ای در مقیاس روزانه و ماهانه با استفاده از شاخص‌های قطعی و معیارهای آماری انجام می‌گیرد. همچنین، برای ارزیابی فصلی برآورد بارش هر چهار محصول CHIRPS، IMERG، Persiann-CDR و TRMM-TMPA از میانگین ماهانه به صورت منطقه‌ای استفاده شد. شاخص‌های قطعی استفاده‌شده برای مقایسه بارش روزانه توسط جدول توافقی<sup>۴</sup>  $2 \times 2$  قابل محاسبه است (جدول ۲).

جدول ۲- جدول توافقی

	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	
S <sub>1</sub>	a	b	a+b
S <sub>2</sub>	c	d	c+d
	a+c	b+d	n=a+b+c+d

در جدول بالا O و S به ترتیب مربوط به مقادیر مشاهداتی و برآورد شده است. متغیرهای جدول عبارت‌اند از: O<sub>1</sub>: تعداد دفعات وقوع پدیده، O<sub>2</sub>: تعداد دفعات عدم وقوع پدیده، S<sub>1</sub>: تعداد دفعات برآوردهای پدیده، S<sub>2</sub>: تعداد دفعاتی که پدیده برآورد نشده، a: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتد و وقوع آن برآورد شده باشد، b: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق نیفتد ولی وقوع آن برآورد شده باشد، c: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتد ولی وقوع آن برآورد نشده باشد، d: تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق نیفتد و وقوع آن نیز برآورد نشده باشد (Tartaglione, 2010).

در یک برآورد قابل قبول مقدار a و d هرچقدر بزرگ‌تر و مقدار c و b هرچقدر کوچک‌تر باشد، نتایج شاخص‌ها به مقدار بهینه نزدیک‌تر خواهد بود. شایان ذکر است، برای این پارامترها می‌توان حد آستانه<sup>۵</sup> تعریف کرد. به این صورت که اگر بارش برآورد شده، از مقدار حد آستانه کمتر باشد، برآورد در نظر گرفته نشود و اگر از مقدار آستانه بیشتر باشد، برآورد در نظر گرفته شود (Atger, 2001). در این مطالعه حد آستانه‌ی بارش در ارزیابی‌های قطعی برابر با ۱۰ درصد میانگین در مقیاس روزانه و ماهانه در نظر گرفته شده است. جدول ۳، شاخص‌های قطعی و معیارهای آماری استفاده‌شده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

شاخص احتمال تشخیص (POD)، کسری از تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتاده و وقوع آن نیز برآورد شده باشد بر تعداد کل دفعات وقوع پدیده (شامل برآورد و عدم برآورد آن) است. امتیاز موفقیت بحرانی (CSI)، برابر است با نسبت تعداد مواردی که پدیده به درستی برآورد شده به مجموع تعداد مواردی که پدیده مورد نظر رخ داده یا برآورد شده است. نسبت هشدار اشتباه (FAR)، کسری از تعداد برآوردهای نادرست به تعداد کل برآوردهای رخ داده (نسبتی از برآوردها که تحقق نیافته) است. آستانه تغییرات، در این شاخص از صفر برای بهترین

1 Early Run

2 Late Run

3 Final Run

4 Contingency Table

5 Threshold Range

حالت و یک برای بدترین حالت متغیر است. شاخص آریبی (Bias)، نشان‌دهنده حالت‌های بیش برآورد<sup>۱</sup> (مقادیر تخمین بیشتر از مشاهدات) و کم برآورد<sup>۲</sup> (مقادیر تخمین کمتر از مشاهدات) است. مقدار بهینه این شاخص برابر یک می‌باشد؛ به این معنی که مقادیر کمتر و یا بیشتر از این مقدار بهینه مربوط به حالت‌های کم برآورد و بیش برآورد است (Paredes-Trejo *et al.*, 2019).

جدول ۳- شاخص‌های قطعی و معیارهای آماری استفاده‌شده برای ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای

نام	فرمول	آستانه	بهترین مقدار
احتمال تشخیص (Probability of Detection)	$POD = \frac{a}{a+c}$	۰ الی ۱	۱
شاخص موفقیت بحرانی (Critical success index)	$CSI = \frac{a}{a+b+c}$	۰ الی ۱	۱
نسبت هشدار اشتباه (False Alarm Ratio)	$FAR = \frac{b}{a+b}$	۰ الی ۱	۰
آریبی (Bias)	$B = \frac{a+b}{a+c}$	۰ الی $\infty$	۱
ضریب همبستگی (Correlation coefficient)	$Corr = \frac{\sum_{i=1}^t (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^t (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^t (S_i - \bar{S})^2}}$	۰ الی ۱	۱
نرمال مجذور میانگین مربعات خطا (normalized RMSE)	$nRMSE = \frac{[\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (S_i - O_i)^2]^{\frac{1}{2}}}{O_{max} - O_{min}} \times 100$	۰ الی $\infty$	۰

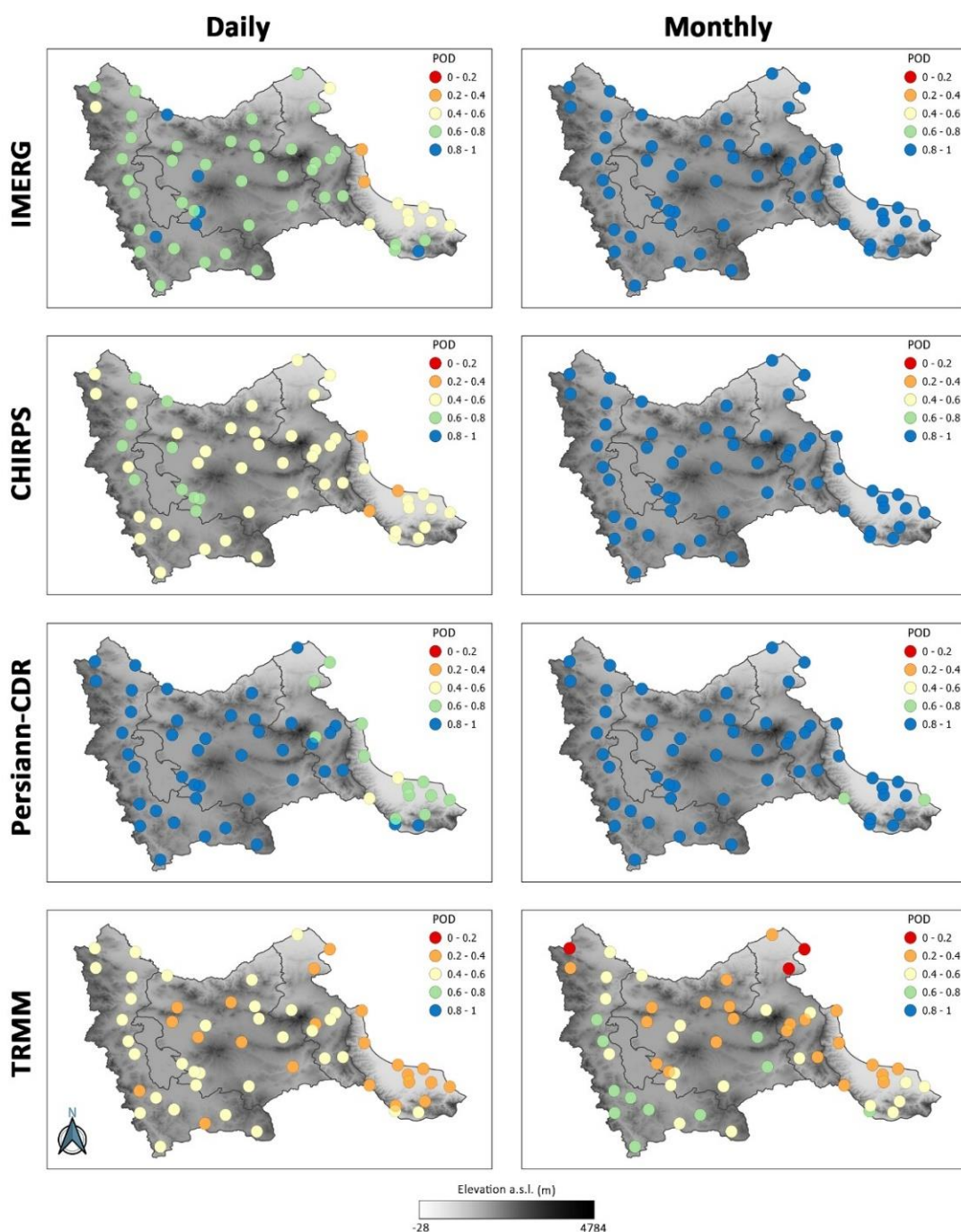
معیار همبستگی (Correlation)، همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و تخمین‌های ماهواره‌ای را بررسی می‌کند که بهترین مقدار آن برابر یک است. معیار نرمال مجذور میانگین مربعات خطا (nRMSE)، نشان‌دهنده میزان خطای بین داده‌های مشاهداتی و برآوردهای ماهواره‌ای است که بر اساس درصد بیان می‌شود. در معادلات معیارهای آماری،  $S_i$  مقادیر برآورد شده و  $O_i$  مقادیر مشاهداتی است.  $\bar{O}$  و  $\bar{S}$  به ترتیب میانگین مقادیر برآورد شده و مشاهداتی بوده و  $t$  مجموع گام‌های زمانی است که بر اساس مقیاس‌های ماهانه و روزانه تعیین می‌شود. همچنین  $O_{min}$  و  $O_{max}$  به ترتیب حداقل و حداکثر مقادیر مشاهداتی برحسب میلی‌متر است.

## نتایج

### نتایج ارزیابی توزیع مکانی بارش

در شکل‌های ۲ تا ۴، توزیع مکانی شاخص‌ها در ارزیابی عملکرد هر یک از ایستگاه نشان داده شده است. مطابق شکل ۲، سه محصول CHIRPS، IMERG و Persiann-CDR در برآوردهای ماهانه عملکرد بسیار بهتری نسبت به برآوردهای روزانه در شاخص POD داشته‌اند. در تخمین‌های روزانه Persiann-CDR بهتر از سایر محصولات عمل کرده است؛ به طوری که در تمامی ایستگاه‌های دو استان آذربایجان غربی و شرقی امتیاز بالاتر از ۰/۸ به دست آمده و در استان اردبیل از ۱۰ ایستگاه موجود، هفت ایستگاه امتیاز بالای ۰/۸ و سه ایستگاه امتیاز بالای ۰/۶ را کسب کرده‌اند. ضعیف‌ترین عملکرد محصول Persiann-CDR در ارزیابی با شاخص POD در استان گیلان و نوار ساحلی دریای خزر می‌باشد. به ترتیب IMERG و CHIRPS در شاخص POD در رتبه‌های دوم و سوم از نظر عملکرد در برآوردهای روزانه قرار می‌گیرند و هر دو محصول، مشابه Persiann-CDR، در شرق منطقه مطالعاتی و نوار ساحلی دریای خزر امتیاز کمتری کسب نموده‌اند. برآوردهای TRMM، با اختلاف زیادی در مقیاس‌های روزانه و ماهانه کمترین امتیازات را در شاخص POD کسب کرده است.



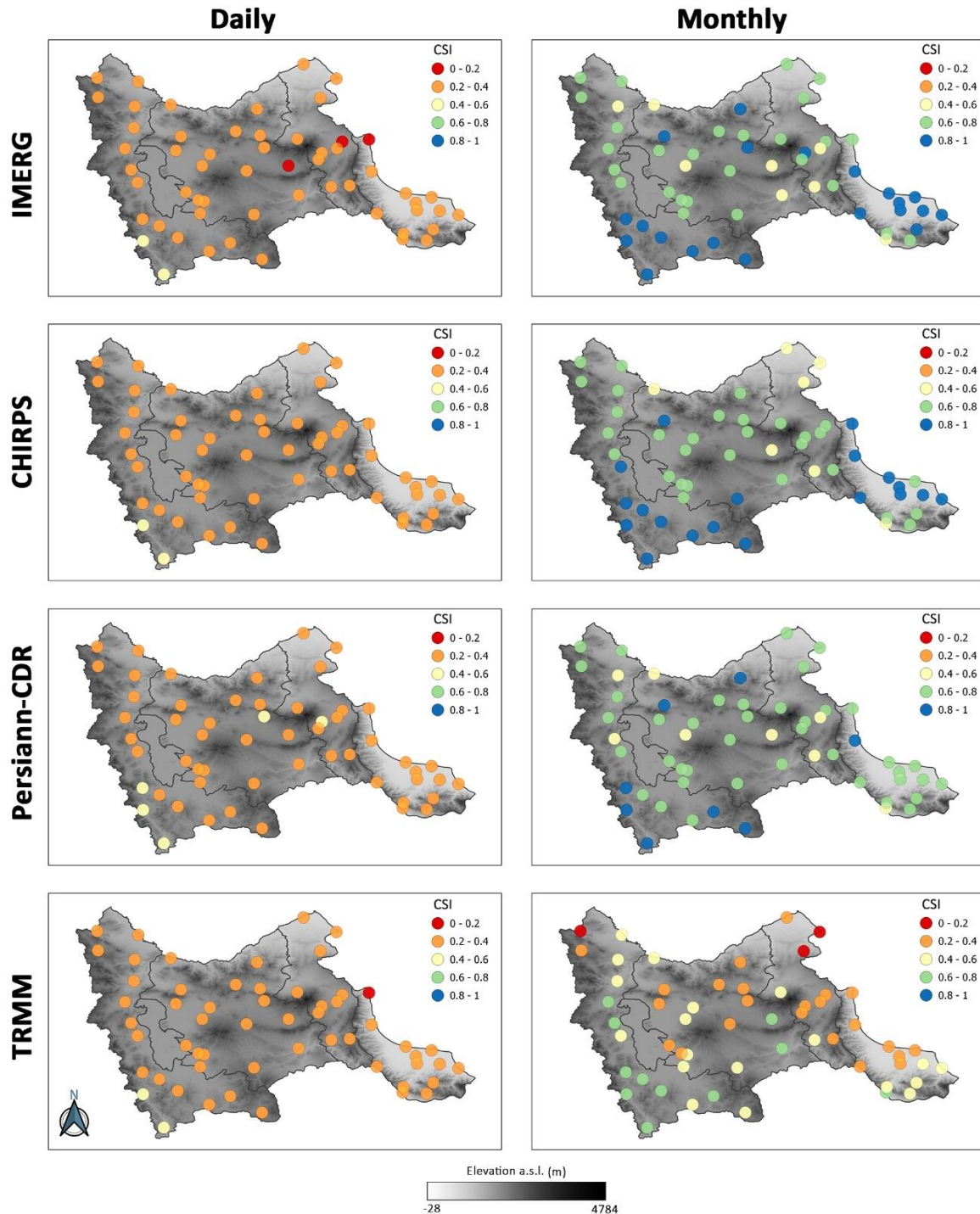


شکل ۲- نتایج شاخص POD برای هر یک از ایستگاه‌ها (بهترین مقدار یک)

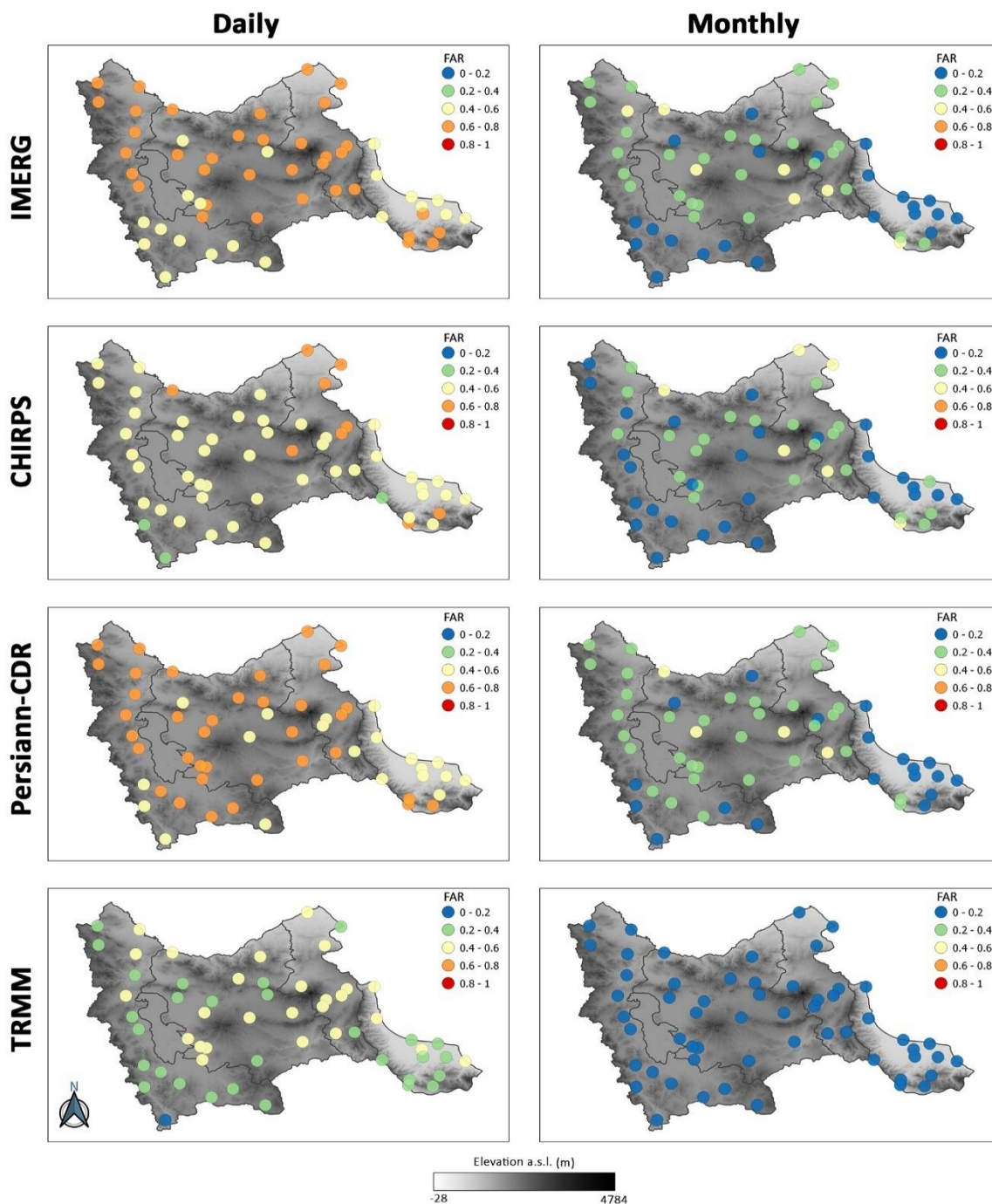
به‌طور کلی در شاخص‌های CSI و FAR (شکل ۳ و ۴)، عملکرد محصولات در مقیاس‌های ماهانه نسبت به مقیاس‌های روزانه افزایش نشان داد. برآورد اکثر ایستگاه‌ها با توجه به شاخص CSI، برای هر چهار محصول در مقیاس زمانی روزانه مشابه یکدیگر بود، اما محصول TRMM در مقیاس ماهانه نسبت به سایر محصولات عملکرد ضعیف‌تری داشت. در شاخص FAR، TRMM هم در مقیاس روزانه و همچنین در مقیاس ماهانه امتیاز بیشتری را نسبت به سایر محصولات به دست آورده است.

شکل ۵، توزیع مکانی شاخص Bias را در مقیاس‌های روزانه و ماهانه برای هر چهار محصول نشان می‌دهد. CHIRPS، IMERG و Persiann-CDR، در هر دو مقیاس زمانی بارش را در مناطق مرتفع بیش از مقدار ایستگاهی برآورد کرده‌اند، به عنوان مثال در ایستگاه شماره ۳۶ (ایستگاه چالدوران با ارتفاع ۱۸۸۰ متری از سطح آب‌های آزاد) به ترتیب محصولات ذکر شده، در مقیاس روزانه با سوگیری مثبت ۱/۷۶، ۱/۱۵ و ۲/۳۴ و در مقیاس ماهانه با سوگیری مثبت ۱/۵، ۱/۲ و ۱/۴ بارش بیشتر از مقدار مشاهداتی برآورد شده است. در

میان همه محصولات در مقیاس روزانه شدیدترین بیش برآوردها مربوط به Persiann-CDR بود. کمترین سوگیری در تمامی محصولات، در نوار ساحلی دریای خزر به دست آمد که دارای ارتفاعی پست‌تر با پوشش گیاهی متراکم‌تر است. اما، در هر دو مقیاس زمانی محصول TRMM، بارش را کمتر از میزان مشاهداتی برآورد کرده است که این مورد در مقیاس ماهانه شدیدتر از مقیاس روزانه نمود داشت.

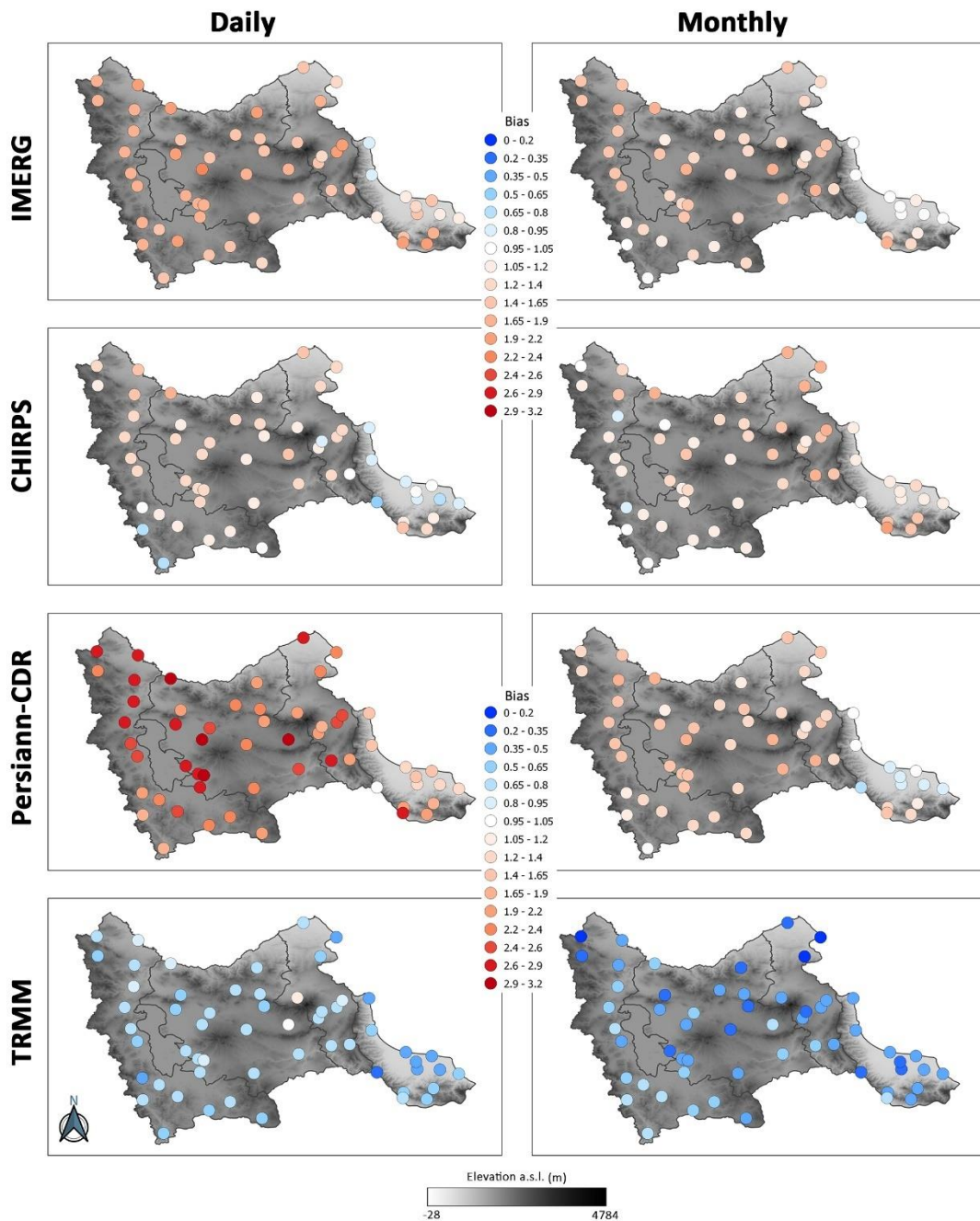


شکل ۳- نتایج شاخص CSI برای هر یک از ایستگاه‌ها (بهترین مقدار یک)



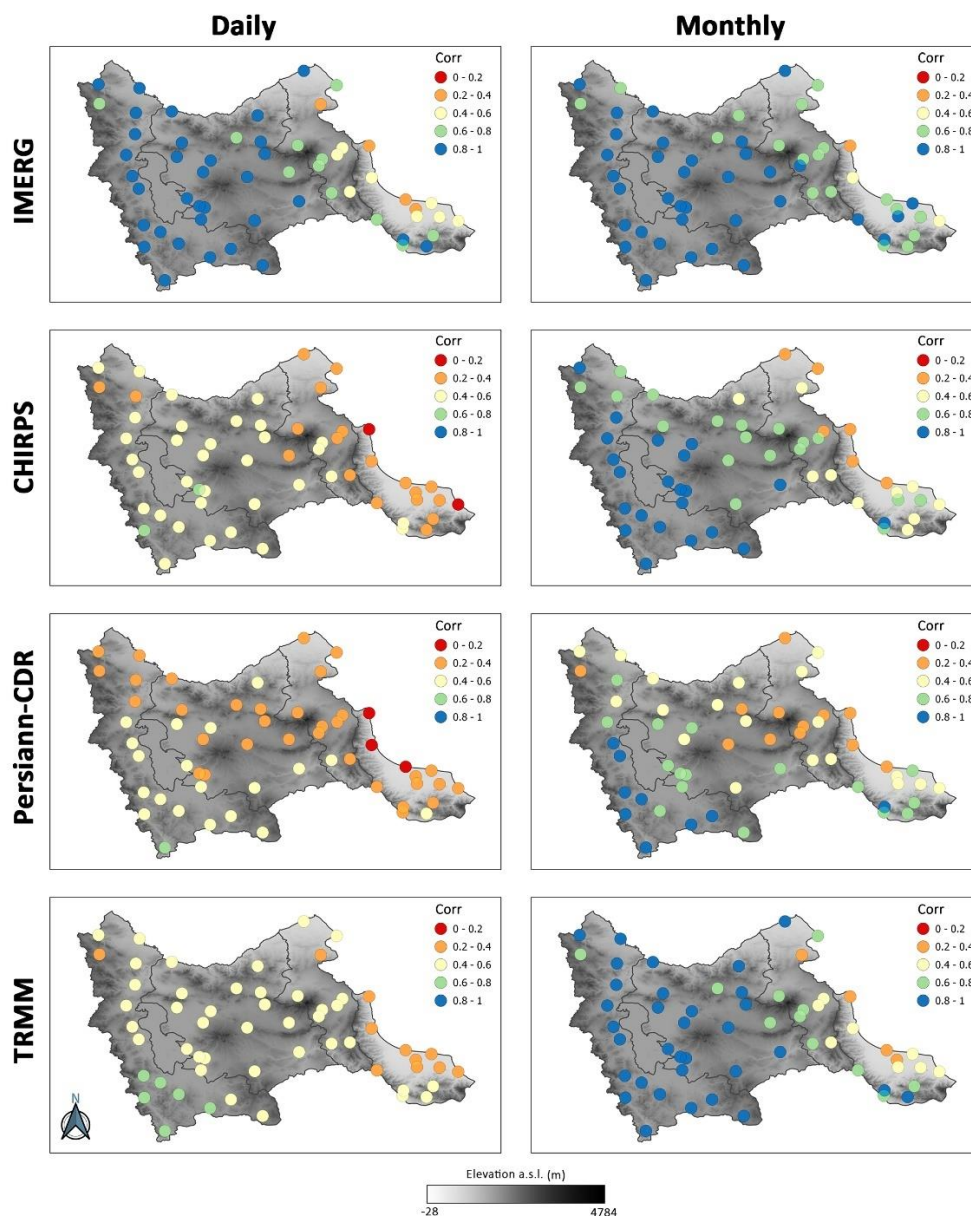
شکل ۴- نتایج شاخص FAR برای هر یک از ایستگاه‌ها (بهترین مقدار صفر)

شکل ۶، توزیع مکانی معیار همبستگی هر ایستگاه را در مقیاس‌های روزانه و ماهانه نشان می‌دهد. بیشترین همبستگی در مقیاس روزانه مربوط به محصول IMERG است که در همه ایستگاه‌های دو استان آذربایجان غربی و شرقی (به جز سه ایستگاه)، همبستگی بالای ۰/۸۰ را کسب کرده‌اند. ضعیف‌ترین همبستگی بین ایستگاه‌های مشاهداتی و مقادیر برآورد شده ماهواره‌ای مربوط به محصول Persiann-CDR است که با ۳ ایستگاه کمتر از ۰/۲ و ۳۳ ایستگاه کمتر از ۰/۴ در رتبه آخر قرار می‌گیرد. بعد از IMERG دو محصول TRMM و CHIRPS در مقیاس روزانه نتایج مشابهی به هم داشته‌اند، اما در برخی از ایستگاه‌های مرتفع، TRMM همبستگی بیشتری نسبت به CHRIPS نشان داد.



شکل ۵- نتایج شاخص Bias برای هر یک از ایستگاهها (بهترین مقدار یک)

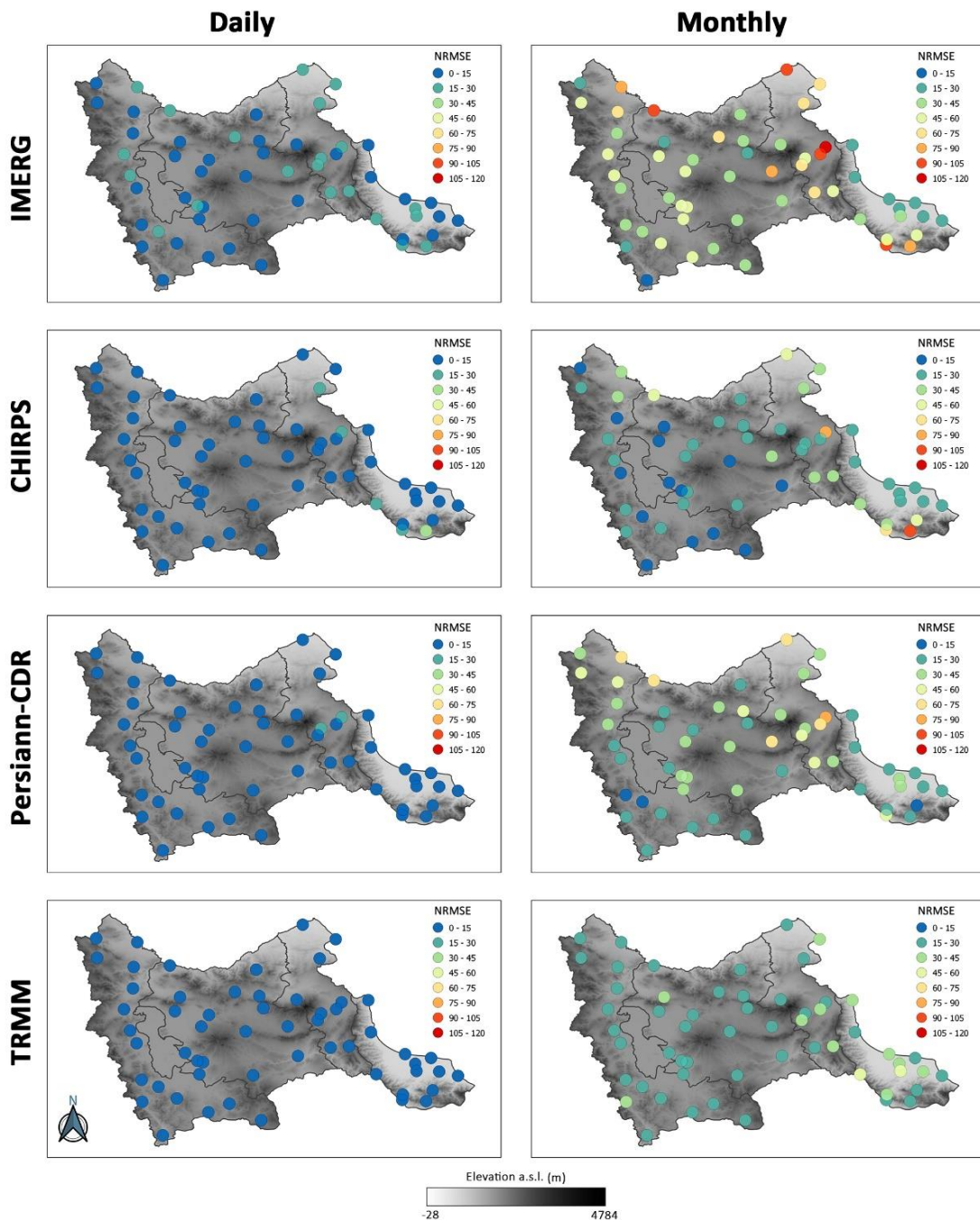
در مقیاس ماهانه نیز ترتیب محصولات در کسب بیشترین همبستگی مشابه مقیاس روزانه است. اما به طور کلی اکثر ایستگاهها در برآوردهای ماهانه، همبستگی بالاتری با دادههای مشاهداتی داشتند. در مقیاسهای روزانه و ماهانه هر چهار محصول، همبستگی ایستگاهها با حرکت از مرز غربی به سمت سواحل دریای خزر کاسته می شود. این کاهش همبستگی در مقیاس روزانه بیشتر از مقیاس ماهانه نمود داشت. در واقع با توجه به کاهش ارتفاع و از بین رفتن پیچیدگی توپوگرافی در نوار ساحلی دریای خزر، مشهود است که برآورد بارش تمامی محصولات در مناطق پست تر همبستگی کمتری با دادههای ایستگاهی دارند.



شکل ۶- نتایج معیار آماری همبستگی (Corr) برای هر یک از ایستگاه‌ها (بهترین مقدار یک)

مطابق شکل ۷، محصولات CHIRPS، Persiann-CDR و TRMM در مقیاس روزانه عملکرد مناسبی از نظر ارزیابی با معیار nRMSE داشتند. اما محصول IMERG در ۳۱ ایستگاه از ۵۶ ایستگاه، خطایی بین ۱۵ الی ۳۰ درصد داشت که نسبت به سایر محصولات ضعیف‌تر عمل کرد (جدول ۴). بهترین عملکرد در مقیاس روزانه مربوط به TRMM بود که در تمامی ایستگاه‌ها، خطایی کمتر از ۱۵ درصد داشت. محصولات CHIRPS و Persiann-CDR نیز به ترتیب با ۵۴ و ۵۱ ایستگاه، با خطای کمتر از ۱۵ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

در مقیاس ماهانه جایگاه عملکرد هر چهار محصول مشابه مقیاس روزانه است. با این حال، خطای محصولات در مقیاس ماهانه به مراتب بیشتر از مقیاس روزانه است. علت این امر، مربوط به بزرگی اختلاف میانگین بارش‌های تجمعی ماهانه مشاهداتی با برآوردهای ماهواره‌ای نسبت به مقیاس روزانه است. اکثر ایستگاه‌ها در محصول IMERG دارای nRMSE بالای ۳۰ درصد می‌باشند. حتی در استان اردبیل ایستگاهی با خطای بالای ۱۰۵ درصد وجود دارد. به همین صورت، افزایش nRMSE در مقیاس ماهانه نسبت به مقیاس روزانه در همه محصولات کاملاً مشهود است.



شکل ۷- نتایج معیار آماری نرمال مجذور میانگین مربعات خطا (nRMSE) برای هر یک از ایستگاه‌ها (بهترین مقدار صفر)

اکثر محصولات خطاهای بزرگی را در مناطق کوهستانی و در مناطق ساحلی نشان دادند. مطالعه مختلفی به نتایج مشابهی رسیده‌اند. به طوری که در (Moazami et al., 2016)، (Sharifi et al., 2016) و (Javanmard et al., 2010) کم‌برآوردی بارش در مناطق ساحلی توسط دو محصول TRMM و IMERG تأیید شده است. همچنین در (Mahmoudi et al., 2022) توانایی ارزیابی بارش‌های سنگین توسط محصولات بارش ماهواره‌ای در استان گیلان مورد بررسی قرار گرفته است که سوگیری محصولات IMERG و CHIRPS با تغییرات ارتفاع ایستگاه‌ها تأیید شده است.

دقت پایین محصولات بارش ماهواره‌ای در مناطق کوهستانی عمدتاً به دلیل ارتفاع زیاد بوده، در حالی که در مصب‌ها و نواحی ساحلی عمدتاً ناشی از تعاملات هوا در نوار ساحلی است (West et al., 2019). همچنین دقت بالاتر برآورد ماهانه نسبت به روزانه، مشابه یافته‌های سایر محققان در مورد محصولات بارش ماهواره‌ای صادق است (Tian et al., 2007; Madadi et al., 2015; Sharifi et al., 2016; )

(Xiao et al., 2020).

جدول ۴، نسبت ایستگاه‌ها در کسب امتیازات از شاخص‌های قطعی و معیارهای آماری در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه را نشان می‌دهد. مطابق این جدول، همه محصولات در مقیاس ماهانه و شاخص‌های قطعی (CSI، POD، FAR) بهتر از مقیاس روزانه عمل کرده‌اند. همچنین در همه محصولات، ایستگاه‌های بیشتری همبستگی بین ۰/۵ تا ۱ را در مقیاس ماهانه نسبت به مقیاس روزانه به دست آوردند. یافته‌های این پژوهش در رابطه با معیار همبستگی مغایر با مطالعه Sadeghi et al., (2019) است که در غرب میانی ایران محصول GPM-IMERG را مورد بررسی قرار داده‌اند و همبستگی پایین این محصول را گزارش کرده‌اند. در معیار nRMSE، محصولات IMERG، CHIRPS، Persiann-CDR و TRMM به ترتیب در ۷۸، ۲۴، ۵۱ و ۲۳ درصد از ایستگاه‌ها، با تغییر مقیاس زمانی از برآوردهای روزانه به ماهانه، با افزایش خطا روبرو هستند.

جدول ۴- طبقه‌بندی ایستگاه‌ها از شاخص‌های قطعی و معیارهای آماری برحسب درصد

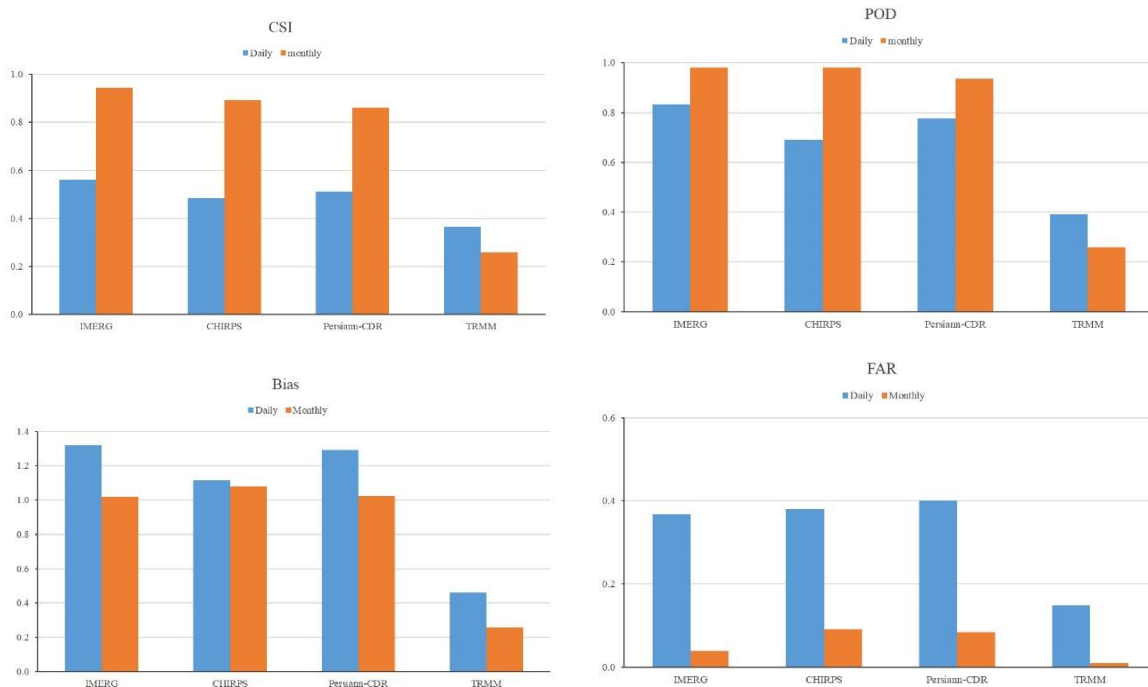
nRMSE	Corr		FAR		CSI		POD				
	۳۰-۰	۰-۳۰	۰/۵-۱	۰-۰/۵	۰/۵-۱	۰-۰/۵	۰/۵-۱	۰-۰/۵			
۰	۱۰۰	۸۰/۴	۱۹/۶	۸۹	۱۱	۰	۱۰۰	۸۷/۵	۱۲/۵	روزانه	IMERG
۷۸/۶	۲۱/۴	۹۶/۴	۳/۶	۰	۱۰۰	۹۸	۲	۱۰۰	۰	ماهانه	
۲	۹۸	۳۰/۴	۶۹/۶	۸۶	۱۴	۰	۱۰۰	۶۱	۳۹	روزانه	CHIRPS
۲۶/۸	۷۳/۲	۸۷/۵	۱۲/۵	۲	۹۸	۹۸	۲	۱۰۰	۰	ماهانه	
۰	۱۰۰	۹	۹۱	۹۶	۴	۰	۱۰۰	۱۰۰	۰	روزانه	Persiann-CDR
۵۱/۸	۴۸/۲	۶۶	۳۴	۰	۱۰۰	۱۰۰	۰	۱۰۰	۰	ماهانه	
۰	۱۰۰	۵۰	۵۰	۵	۹۵	۰	۱۰۰	۵	۹۵	روزانه	TRMM
۲۳	۷۷	۸۴	۱۶	۰	۱۰۰	۲۹	۷۱	۲۹	۷۱	ماهانه	

در نهایت به دلیل عدم توازن در بازه‌ی قابل قبول شاخص Bias، امکان ارائه تغییرات نتایج ایستگاه‌ها برای این شاخص در جدول ۳ مقدور نیست. اما همان‌طور که ذکر شد در شکل ۵، بهبود هرچند جزئی در مقیاس ماهانه نسبت به مقیاس روزانه (به‌جز محصول TRMM) در این شاخص نیز مشخص است.

#### ارزیابی بارش ماهواره‌ای به‌صورت میانگین منطقه‌ای

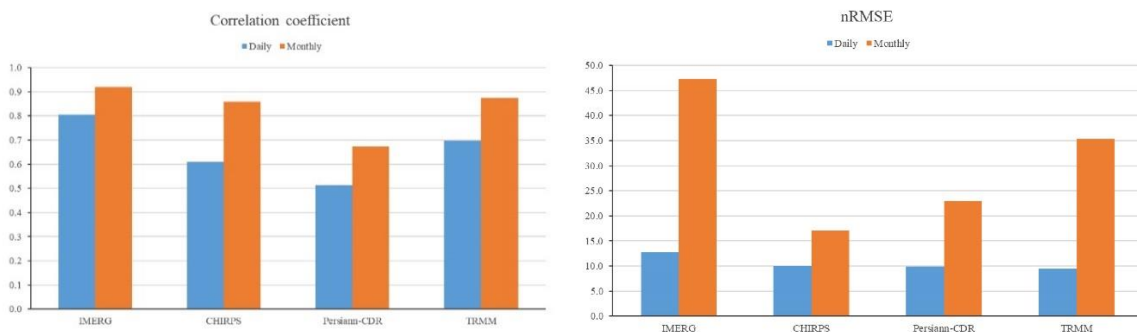
شکل ۸، نتایج ارزیابی بارش به‌صورت یکپارچه (میانگین منطقه‌ای) با شاخص‌های قطعی در مقیاس‌های روزانه و ماهانه را نشان می‌دهد. در همه محصولات به‌جز TRMM، عملکرد برآوردهای ماهانه دقیق‌تر از تخمین‌های روزانه است. به‌طوری‌که در شاخص POD هر سه محصول IMERG، CHIRPS و Persiann-CDR به ترتیب با ۱۸، ۴۲ و ۲۰ درصد در مقیاس ماهانه نسبت به برآوردهای روزانه بهبود داشته‌اند. این روند در سه شاخص FAR، CSI و Bias نیز تکرار شده است که به ترتیب محصولات IMERG، CHIRPS و Persiann-CDR؛ شاخص CSI برابر با ۶۸، ۸۴ و ۶۸ درصد، شاخص FAR برابر با ۹۰، ۷۶ و ۷۹ درصد و شاخص Bias برابر با ۲۳، ۳ و ۲۱ درصد بهبود نشان دادند.

برخلاف سه محصول دیگر، تخمین‌های ماهانه محصول TRMM در شاخص‌های CSI، POD و Bias با ۳۴، ۳۰ و ۴۴ درصد افت نسبت مقیاس روزانه برآورد شده است. این محصول در مقایسه با سایر محصولات برترین امتیاز را در شاخص FAR کسب کردند.



شکل ۸- نتایج ارزیابی با شاخص‌های قطعی به صورت میانگین منطقه‌ای

در شکل ۹، نتایج ارزیابی بارش توسط معیارهای آماری به صورت یکپارچه (میانگین منطقه‌ای) با مقیاس ماهانه و روزانه نشان داده شده است. با توجه به نتایج معیار  $CoIT$ ، همانند ارزیابی در حالت توزیع مکانی، بیشترین همبستگی در هر دو مقیاس ماهانه و روزانه، مربوط به محصول IMERG است. سپس، محصولات TRMM، CHIRPS و Persiann-CDR به ترتیب دارای بیشترین همبستگی می‌باشند. افزایش همبستگی در همه محصولات از مقیاس روزانه به ماهانه، در حالت میانگین منطقه‌ای مشهود است. این اتفاق می‌تواند دو دلیل داشته باشد؛ (۱) امکان دارد کم‌برآوردی بارش در پیکسلی، با پیکسلی که بارش در آن بیش برآورد شده است جبران شود که از یکپارچه در نظر گرفتن کل منطقه نشأت می‌گیرد، (۲) به علت کاهش دقت زمانی از مقیاس روزانه به مقیاس ماهانه، کسری بارش در یک روز با روزی که بارش بیشتر از مقدار مشاهداتی برآورد شده است، جبران گردد که در مقیاس تجمعی ماهانه این موارد قابل تفکیک نیست.



شکل ۹- نتایج ارزیابی با معیارهای آماری به صورت میانگین منطقه‌ای

در معیار  $nRMSE$  محصول IMERG به ترتیب با میانگین روزانه و ماهانه ۱۲ و ۴۷ درصد، پایین‌ترین عملکرد را در این معیار داشت. محصولات CHIRPS و Persiann-CDR در مقیاس روزانه با میانگین ۱۰ درصد خطا عملکرد مشابهی را داشتند. اما در مقیاس ماهانه عملکرد CHIRPS بهتر از Persiann-CDR بوده است. محصول TRMM بهترین عملکرد را در مقیاس روزانه از نظر معیار  $nRMSE$  داراست. علت آن می‌تواند ناشی از برآورد کمتر بارش در این محصول باشد که باعث کاهش اختلاف میانگین‌ها در محاسبه خطای  $nRMSE$  می‌شود. اما، همین محصول با رشد ۳۵ درصدی خطا در مقیاس ماهانه جایگاه سوم را به خود اختصاص داده است.

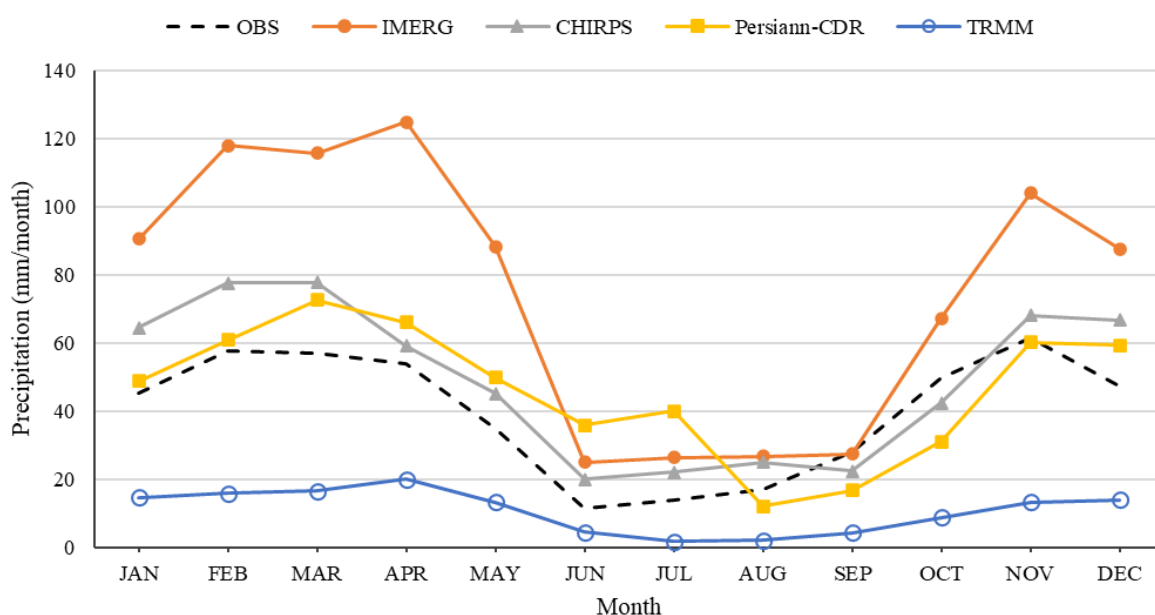


همچنین، محصول IMERG با اختلافی بیشتر از ۲/۵ برابر نسبت به مقیاس روزانه، ضعیف‌ترین عملکرد را در مقیاس ماهانه داشت.

### ارزیابی فصلی محصولات بارش ماهواره‌ای

در شکل ۱۰، تغییرات میانگین منطقه‌ای ماهانه هر یک از محصولات در طول دوره مطالعاتی ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که، محصول IMERG در تمام ماه‌های سال به غیر از ماه سپتامبر بارش را بیش برآورد کرده است. به طوری که از شروع فصل زمستان تا اواسط فصل بهار، اختلاف شدیدی بین مقدار بارش برآورد شده با مقادیر مشاهداتی وجود دارد. اما در فصل تابستان از شدت برآورد بیش‌ازحد، کاسته می‌شود و با فرا رسیدن فصل پاییز نمودار مجدداً اوج می‌گیرد. نتایج تخمین‌های Persiann-CDR و CHIRPS تقریباً نزدیک به یکدیگر بوده و مانند IMERG ماه‌های پربارش سال را بیش از مقدار مشاهداتی تخمین زده‌اند. از اواخر فصل تابستان در هر دو محصول کم برآوردی مشاهده می‌شود که در محصول Persiann-CDR با شدت و دوره‌ی زمانی طولانی‌تری (اواسط تابستان تا اواسط پاییز - اوت تا نوامبر) ادامه دارد.

در محصول TRMM برعکس سه محصول دیگر، در تمامی طول سال، بارش کمتر از میزان مشاهداتی برآورده شده است. به طوری که در ماه‌های گرم سال (ژوئن، جولای، اوت و سپتامبر)، بارش بسیار ناچیزی ثبت شده است. با توجه به شکل ۱۰، استفاده از دو محصول CHIRPS و Persiann-CDR در مقیاس‌های میانگین ماهانه قابل اطمینان‌تر خواهد بود. پیشنهاد می‌گردد برای بهره‌وری مناسب‌تر محصولات IMERG و TRMM، از روش‌های مختلف تصحیح خطا جهت تدقیق برآوردها استفاده شود.



شکل ۱۰- نمودار سری زمانی از میانگین ماهانه منطقه‌ای محصولات در دوره مطالعاتی

### نتیجه‌گیری

این مطالعه به بررسی و ارزیابی چهار محصول بارش ماهواره‌ای IMERG, CHIRPS, Persiann-CDR و TRMM-TMPA در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و فصلی بر روی منطقه شمال غرب کشور ایران پرداخته است. بر اساس معیارهای آماری و شاخص‌های قطعی، در هر چهار محصول دقت برآوردهای ماهانه بیشتر از روزانه است. نتایج هر سه محصول IMERG, CHIRPS و Persiann-CDR هم در شاخص‌های قطعی و هم معیارهای آماری، مشابه یکدیگر است. اما در اکثر معیارها، TRMM اختلاف زیادی با این محصولات دیگر دارد که می‌تواند به دلیل کمتر بودن دوره مطالعاتی این محصول (۲۰۱۷-۲۰۱۹) در مقایسه با دوره مطالعاتی اصلی (۲۰۱۷-۲۰۲۱) باشد. اما در میانگین‌های منطقه‌ای با وجود اختلاف ناچیزی در مقدار میانگین داده‌های مشاهداتی در دوره‌ی ۲۰۱۷-۲۰۱۹ و ۲۰۱۷-۲۰۲۱ همچنان این اختلاف عملکرد وجود دارد. اصلی‌ترین چالشی که محصولات بارش ماهواره‌ای در این مطالعه با آن مواجه بود، پیچیدگی‌های توپوگرافی این منطقه و هم‌جواری آن با سواحل دریای خزر است. به طوری که بیش از ۴۸۰۰ متر اختلاف ارتفاعی از غرب تا شرق این

محدوده را در برمی‌گیرد.

در همین راستا، همه محصولات سوگیری‌هایی نسبت به توپوگرافی نشان دادند و در مناطقی با ارتفاع پست‌تر دچار اختلال در تخمین دقیق بارش شدند. هر چهار محصول در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه همبستگی ضعیفی را در استان گیلان و نوار ساحلی دریای خزر داشتند. علت این موضوع را می‌توان در اندازه‌گیری نادرست دمای ابر در مناطق ساحلی، پوشش گیاهی متراکم منطقه و بارش‌های ناشی از جریانات همرفت تولیدشده در نوار ساحلی خزر دانست. از دلایل تأثیرگذار بروز خطا در محصولات و اختلاف در برآورد بارش، می‌توان به تفاوت دقت مکانی هر محصول نیز اشاره کرد. چنانچه بارش در یک منطقه ممکن است در مقیاسی کوچک‌تر از اندازه پیکسل ماهواره‌ها رخ دهد و یا برآورد بارش در پیکسل‌های مجاور بجای پیکسلی که ایستگاه در آن قرار گرفته، ثبت شود.

با توجه به یافته‌های پژوهش، در همه محصولات کمترین خطا در جنوب غربی منطقه مورد مطالعه (جنوب استان آذربایجان غربی) به دست آمد. علاوه بر آن، اکثر شاخص‌ها و معیارهای استفاده‌شده (Corr، nRMSE، POD و CSI)، نشان می‌دهند که با حرکت به سمت شرق منطقه و نوار ساحلی دریای خزر، خطا افزایش می‌یابد. در ارزیابی میانگین منطقه‌ای بارش، نتایج CHIRPS، IMERG و Persiann-CDR مشابه هم بوده و با اختلافی جزئی (به‌جز در معیار nRMSE)، محصول IMERG برتری دارد. در بررسی برآوردهای فصلی، دو محصول CHIRPS و Persiann-CDR قابل اطمینان‌تر هستند، اما برای استفاده از IMERG و TRMM پیشنهاد می‌شود که با استفاده از روش‌های مختلف تصحیح خطا، برآوردها دقیق شوند. در نهایت بر اساس این پژوهش هر محصول بر اساس نوع توپوگرافی، اقلیم منطقه و مقیاس زمانی برآوردها، می‌تواند نتیجه‌ای متفاوت در تخمین بارش داشته باشد که نیاز به مطالعات بیشتر با توجه به نوع رخدادهای و بررسی جزئی‌تر هر محصول دارد. لذا، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی مواردی نظیر انتخاب دوره مطالعاتی بلند مدت، ارزیابی بارش برآورد شده بر اساس نوع اقلیم منطقه، بررسی رخدادهای سنگین بارشی و مقایسه محصولات بارش ماهواره‌ای با مدل‌های هواشناسی در اولویت قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

## REFERENCES

- Akbari Yangehghaleh, M., sanaeinejad, S., Faridhosseini, A. and Akbari, M. (2017). The Study of Spatial - Temporal Distribution of Rainfall, using TRMM data (Case study: Khorasan Razavi province). *Journal of Climate Research*, 1396(29), 1-18. (In Farsi)
- Ashouri, H., Hsu, K. L., Sorooshian, S., Braithwaite, D. K., Knapp, K. R., Cecil, L. D., Nelson, B. R., and Prat, O. P. (2015). PERSIANN-CDR: Daily Precipitation Climate Data Record from Multisatellite Observations for Hydrological and Climate Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(1), 69-83.
- Atger, F. (2001). Verification of intense precipitation forecasts from single models and ensemble prediction systems. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 8(6), 401-417.
- Azizi mobaser, J., Rasoulzadeh, A., rahmati, A., shayeghi, A., Bakhtar, A. (2021). Evaluating the Performance of Era-5 Re-Analysis Data in Estimating Daily and Monthly Precipitation, Case Study; Ardabil Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(11), 2937-2951. (In Farsi)
- Chen, C., Chen, Q., Duan, Z., Zhang, J., Mo, K., Li, Z. and Tang, G. (2018). Multiscale Comparative Evaluation of the GPM IMERG v5 and TRMM 3B42 v7 Precipitation Products from 2015 to 2017 over a Climate Transition Area of China. *Remote Sensing*, 10(6).
- Dinku, T., Funk, C., Peterson, P., Maidment, R., Tadesse, T., Gadain, H. and Ceccato, P. (2018). Validation of the CHIRPS satellite rainfall estimates over eastern Africa. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 144, 292-312.
- Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., Chiogna, G. and Disse, M. (2016). Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Science of the Total Environment*, 573, 1536-1553.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A. and Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(1), 1-21.
- Gao, F., Zhang, Y., Chen, Q., Wang, P., Yang, H., Yao, Y. and Cai, W. (2018). Comparison of two long-term and high-resolution satellite precipitation datasets in Xinjiang, China. *Atmospheric Research*, 212, 150-157.

- Gorjizade, A., AkhondAli, A., Shahbazi, A. and Moridi, A. (2019). Comparison and Evaluation of precipitation estimated by ERA-Interim, PERSIANN-CDR and CHIRPS models at the upstream of Maroon dam. *Iran-Water Resources Research*, 15(1), 267-279. (In Farsi)
- Goshime, D. W., Absi, R., Haile, A. T., Ledésert, B. and Rientjes, T. (2020). Bias-Corrected CHIRP Satellite Rainfall for Water Level. *Journal of Hydrologic Engineering*, 25(9), 05020024.
- Hsu, K., Gao, X., Sorooshian, S. and Gupta, H. V. (1997). Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. *Journal of Applied Meteorology*, 36(9), 1176-1190.
- Huffman, G. ., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R., Xie, P. and Yoo, S.-H. (2015). NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG). *Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version*, 4(26).
- Huffman, G. J., Adler, R. F., Bolvin, D. T. and Nelkin, E. J. (2010). The TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA). In *Satellite rainfall applications for surface hydrology* (pp. 3-22).
- Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M. I., BodaghJamali, J. and Kawamoto, H. (2010). Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM\_3B42 over Iran. *Advances in Geosciences*, 25, 119-125.
- Kidd, C., Becker, A., Huffman, G. J., Muller, C. L., Joe, P., Skofronick-Jackson, G. and Kirschbaum, D. B. (2017). So, How Much of the Earth's Surface Is Covered by Rain Gauges? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(1), 69-78.
- Madadi, G., Hamzeh, S., Noroozi, A. (2015). Evaluation of rainfall on a daily, monthly and annual basis using satellite imagery (Case study: west boundary basin of Iran). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 6(2), 59-74. (In Farsi)
- Mahmoudi Babolan, S., Nastarani Amoghin, S., Rasoulzadeh, A. (2022). Evaluation of satellite precipitation products for estimating heavy precipitation on the Caspian coast. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(4), 103-118. (In Farsi)
- Moazami, S., Golian, S., Hong, Y., Sheng, C. and 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.
- Mosaffa, H., Sadeghi, M., Hayatbini, N., Afzali Gorooh, V., Akbari Asanjan, A., Nguyen, P., and Sorooshian, S. (2020). Spatiotemporal variations of precipitation over Iran using the high-resolution and nearly four decades satellite-based PERSIANN-CDR dataset. *Remote Sensing*, 12(10), 1584.
- New, M., Todd, M., Hulme, M. and Jones, P. (2001). Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(15), 1889-1992.
- Paredes-Trejo, F., Barbosa, H. and dos Santos, C. A. C. (2019). Evaluation of the performance of SM2RAIN-derived rainfall products over Brazil. *Remote Sensing*, 11(9), 1113.
- Ramadhan, R., Yusnaini, H., Marzuki, M., Muharsyah, R., Suryanto, W., Sholihun, S., Vonnisa, M., Harmadi, H., Ningsih, A. P., Battaglia, A., Hashiguchi, H. and Tokay, A. (2022). Evaluation of GPM IMERG Performance Using Gauge Data over Indonesian Maritime Continent at Different Time Scales. *Remote Sensing*, 14(5), 1172.
- Sadeghi, H., Masoompour, J., Miri, M. (2019). The Evaluation of GPM Precipitation Remote Sensing Data with Observed Data (Case Study: Mid-West of Iran). *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 11(2), 115-124. (In Farsi)
- Sharifi, E., Steinacker, R. and Saghafian, B. (2016). Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary results. *Remote Sensing*, 8(2), 135.
- Taghizadeh, E. and Ahmadi-Givi, F. (2018). Evaluation of GPM precipitation products and mapping soil moisture using SMAP data in the northwest of Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 12(3), 70-86. (In Farsi)
- Tan, M. L. and Santo, H. (2018). Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia. *Atmospheric Research*, 202, 63-76.
- Tartaglione, N. (2010). Relationship between precipitation forecast errors and skill scores of dichotomous forecasts. *Weather and Forecasting*, 25(1), 355-365.
- Tian, Y., Peters-Lidard, C. D., Choudhury, B. J. and Garcia, M. (2007). Multitemporal analysis of TRMM-based satellite precipitation products for land data assimilation applications. *Journal of Hydrometeorology*, 8(6), 1165-1183.
- Vaghefi, S. A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H., & Abbaspour, K. C.



- (2019). The future of extreme climate in Iran. *Scientific reports*, 9(1), 1-11.
- West, T. K., Steenburgh, W. J. and Mace, G. G. (2019). Characteristics of sea-effect clouds and precipitation over the sea of Japan region as observed by A-Train satellites. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(3), 1322-1335.
- Xiao, S., Xia, J., & Zou, L. (2020). Evaluation of multi-satellite precipitation products and their ability in capturing the characteristics of extreme climate events over the Yangtze River Basin, China. *Water*, 12(4), 1179.
- Yang, X., Lu, Y., Tan, M. L., Li, X., Guoqing Wang and He, R. (2020). Nine-Year Systematic Evaluation of the GPM and TRMM Precipitation Products in the Shuaishui River Basin in East-Central China. *Remote Sensing*, 12(6).
- Zambranoa, F., Wardlow, B., TsegayeTadesse, Lillo-Saavedra, M. and Lagos, O. (2017). Evaluating satellite-derived long-term historical precipitation datasets for drought monitoring in Chile. *Atmospheric Research*, 186, 26-42.