

Original Article



Temporal-Spatial Assessment of Monthly Precipitation Based on CHIRPS, TRMM and MERRA Data in Iran

Zahra Barkhordarifard and Ali Shamsoddini*

Affiliation

Dep. of Remote Sensing and GIS, Humanities Faculty, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Introduction: Precipitation, as one of the main components of the water balance, plays an important role in the spatial and temporal distribution of available water and is the most important factor that directly interferes with the hydrological cycle. Due to the lack of up-to-date and long-term precipitation data with appropriate accuracy and the high spatially and temporally variability of this quantity, it is very difficult to monitor it over large areas; also, the cost of establishing a precipitation measuring station, the shortage of stations, the lack of installation of recording devices in undulating areas, point-based measurements and the inability to generalize measurements over large areas, as well as the lack of the desired ability to record torrential and heavy convective rainfall, have always faced researchers in the fields of atmospheric and hydrology with challenges in measuring precipitation; therefore, the use of satellite products is a suitable alternative to obtain precipitation data, especially in areas without statistics and areas with a low density of ground stations. However, satellite products also have numerous errors; For this reason, it is essential to evaluate and verify the accuracy of these products before use. Therefore, in the present study, the precipitation products of the three satellites including CHIRPS, MERRA, and TRMM were evaluated on a monthly scale in the country of Iran.

Materials and Methods: In this study, data from 222 synoptic stations in Iran were received from the National Meteorological Organization on a monthly time scale from January 2005 to December 2019, and precipitation products from CHIRPS, TRMM, and MERRA satellites were downloaded from the NASA website and converted into uniform numerical data after data format was standardized; then, satellite data and data from ground-based synoptic stations were integrated together, and finally, the estimated and observed data were validated to obtain the satellite forecast error rate using statistical indices including Bias, MAE, RMSE, R, and R^2 , and the accuracy and success rate of the sensors were verified using conformity indices including POD, FAR, and CSI.

Results and Discussion: According to the results, TRMM has shown good performance compared to other satellites with $RMSE = 23.84$ and $R^2 = 0.69$. Other indicators also indicate the superiority of this satellite compared to other satellites. MERRA satellite with $RMSE = 30.57$ and $R^2 = 0.56$ has shown poor performance compared to TRMM and stronger performance compared to CHIRPS and is in second place in this respect. CHIRPS satellite also shows poorer performance compared to the other two satellites in almost all indicators. According to this table and the resulting Bias value, all three satellites have underestimated the rainfall compared to the actual value; however, TRMM satellite has less underestimation compared to the other two satellites and has performed better than the other two satellites in this indicator.

Conclusion: The accuracy of each station showed that the data of all three satellites, according to the POD index, have a low and close to zero variation range, and according to the FAR and CSI indices, this difference is around 0.5; so that the largest of them is related to the MERRA satellite products with a variation range of 0.148, which shows that according to these indices, the data of these satellites have a high reliability. Based on the FAR and CSI results, it can be seen that, although, in all stations, the MERRA products had the lowest error and mistake rate in detecting non-rainy days and rainy days with a very slight difference, but, based on the results of this study, it can be said that overall, the TRMM satellite products have appropriate accuracy, detection, and desirable consistency in all assessments.

Keywords: Precipitation estimation, Validation, Satellite precipitation products, CHIRPS.

Citation:

Barkhordarifard, Z., Shamsoddini, A., Temporal-Spatial Assessment of Monthly Precipitation Based on CHIRPS, TRMM and MERRA Data in Iran, Iran J Remote Sens GIS. 17(2):55-78.

* Corresponding Author: ali.shamsoddini@modares.ac.ir
DOI: https://gisj.sbu.ac.ir/article_104332.html

Received: 2023.12.26
Accepted: 2024.03.11





ارزیابی زمانی- مکانی بارش ماهیانه مبتنی بر داده‌های TRMM، CHIRPS و MERRA در ایران

زهرا برخوردار فرد و علی شمس‌الدینی*

سمت

گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

سابقه و هدف: بارش، به‌منزله یکی از اصلی‌ترین مؤلفه‌های بیلان آب، نقش مهمی در توزیع مکانی و زمانی آب در دسترس دارد و مهم‌ترین عاملی است که در چرخه هیدرولوژی، دخالت مستقیم دارد. به دلیل فقدان داده‌های بارش به‌روز و طولانی‌مدت با صحت مناسب و تغییرپذیری زیاد این کمیت در مکان و زمان، پایش آن در وسعت‌های زیاد، بسیار دشوار است. همچنین هزینه‌بر بودن ایجاد ایستگاه اندازه‌گیری بارش، کمبود ایستگاه، مستقر نبودن دستگاه‌های ثبت‌کننده در مناطق صعب‌العبور، برداشت‌های نقطه‌ای و تعمیم‌پذیر نبودن اندازه‌گیری‌ها در نواحی وسیع و نیز نبود توانایی مطلوب در ثبت بارندگی‌های رگباری و سنگین همرفتی، همواره پژوهشگران حوزه‌های جوی و هیدرولوژی را در اندازه‌گیری بارش، با چالش مواجه کرده است؛ از این‌رو استفاده از محصولات ماهواره‌ای جایگزین مناسبی برای دستیابی به داده‌های بارش، به‌ویژه در مناطق فاقد آمار و مناطق با تراکم ایستگاه‌های زمینی پایین است. اما محصولات ماهواره‌ای نیز خطاهای متعددی دارند؛ به همین دلیل، ارزیابی و بررسی دقت این محصولات قبل از استفاده، ضروری است. بنابراین، در تحقیق حاضر، محصولات بارش سه ماهواره CHIRPS، TRMM و MERRA در مقیاس ماهیانه، در سطح کشور ایران، ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، داده‌های ۲۲۲ ایستگاه سینوپتیک کشور ایران، از ژانویه ۲۰۰۵ تا دسامبر ۲۰۱۹، در مقیاس زمانی ماهیانه از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شد. محصولات بارش ماهواره‌های CHIRPS، TRMM و MERRA نیز از سایت ناسا داتلود و پس از همسان‌سازی فرمت داده‌ها، به داده‌های عددی هم‌واحد تبدیل شدند. در ادامه، داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک زمینی به‌صورت یکپارچه در کنار هم قرار گرفتند و در نهایت، داده‌های تخمینی و مشاهده‌ای اعتبارسنجی شدند تا میزان خطای پیش‌بینی ماهواره‌ها، با استفاده از شاخص‌های آماری شامل R^2 ، $RMSE$ ، MAE ، $Bias$ و R ، دست‌آید و موفقیت سنجیده‌ها، با استفاده از شاخص‌های مطابقت شامل POD ، FAR و CSI ، صحت‌سنجی و بررسی شود.

نتایج و بحث: با توجه به نتایج، $TRMM$ با $RMSE = ۲۳/۸۴$ و $R^2 = ۰/۶۹$ ، در مقایسه با ماهواره‌های دیگر، عملکرد خوبی داشته است. سایر شاخص‌ها نیز حاکی از برتری این ماهواره بر دیگر ماهواره‌هاست. ماهواره $MERRA$ با $RMSE = ۳۰/۵۷$ و $R^2 = ۰/۵۶$ ، در مقایسه با $TRMM$ عملکردی ضعیف و در قیاس با $CHIRPS$ عملکردی بهتر داشته است و از این لحاظ، در رتبه دوم قرار دارد. ماهواره $CHIRPS$ نیز تقریباً در همه شاخص‌ها عملکردی ضعیف‌تر از دو ماهواره دیگر نشان داده است. با توجه به این اطلاعات و مقدار $Bias$ حاصل‌شده، هر سه ماهواره بارندگی را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده‌اند اما ماهواره $TRMM$ ، در مقایسه با دو ماهواره دیگر، کم‌برآوردتر بوده و در این شاخص نیز، برتر از دو ماهواره دیگر عمل کرده است.

نتیجه‌گیری: صحت‌سنجی تک‌تک ایستگاه‌ها نشان داد که داده‌های هر سه ماهواره، طبق شاخص POD ، دامنه تغییرات اندک و نزدیک به صفر دارند و طبق شاخص‌های FAR و CSI ، این اختلاف حدود ۰/۵ است؛ بیشترین آن به محصولات ماهواره $MERRA$ ، با دامنه تغییرات ۰/۱۴۸، تعلق دارد که نشان می‌دهد طبق این شاخص‌ها، می‌توان به داده‌های این ماهواره‌ها تاحد بسیاری اعتماد داشت. نتایج FAR و CSI بیان می‌کند که هرچند محصولات $MERRA$ در تمامی ایستگاه‌ها، با اختلاف بسیار جزئی، کمترین میزان خطا و اشتباه را در تشخیص روزهای غیربارانی و بارانی داشته‌اند، براساس نتایج این تحقیق می‌توان گفت که در مجموع، محصولات ماهواره $TRMM$ دارای صحت مناسب، تشخیص و مطابقت مطلوب در تمامی ارزیابی‌هاست.

واژه‌های کلیدی: تخمین بارش، اعتبار سنجی، صحت سنجی، محصولات ماهواره‌ای بارش، CHIRPS.

استناد:

برخوردار فرد، ز.، شمس‌الدین، ع.، ارزیابی زمانی- مکانی بارش ماهیانه مبتنی بر داده‌های $TRMM$ ، $CHIRPS$ و $MERRA$ در ایران، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴: ۷۸-۵۵.



۱- مقدمه

بارش از اصلی‌ترین مؤلفه‌های بیلان آب است که در توزیع مکانی و زمانی آب در دسترس، نقش مهمی دارد و مهم‌ترین عاملی است که در چرخه هیدرولوژی دخال مستقیم دارد. برآورد دقیق بارش و اندازه‌گیری آن در سطح منطقه‌ای، برای تحلیل پدیده‌های گوناگون هیدرولوژیکی و تغییرات اقلیمی و همچنین به‌منظور ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب و دادن راهکارهای مدیریتی مناسب، مهم و ضروری است (Bihanta et al., 2016; Paridad & Farid Hosseini, 2018). به دلیل وجود نداشتن داده‌های بارش به‌روز و طولانی مدت دارای صحت مناسب و تغییرپذیری زیاد این کمیت در مکان و زمان، پایش آن در وسعت‌های زیاد بسیار دشوار است؛ هزینه‌بر بودن ایجاد ایستگاه اندازه‌گیری بارش، کمبود ایستگاه‌های لازم، مستقر نبودن دستگاه‌های ثبت‌کننده در مناطق صعب‌العبور، برداشت‌های نقطه‌ای و تعمیم پذیر نبودن اندازه‌گیری‌ها در نواحی وسیع و نیز ممکن نبودن ثبت مطلوب بارندگی‌های رگباری و سنگین همرفتی همواره پژوهشگران حوزه‌های جوی و هیدرولوژی را در اندازه‌گیری بارش، با مشکلاتی مواجه کرده است؛ از این‌رو استفاده از داده‌های بارش ماهواره‌ای، با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، منبع جایگزین مناسبی برای مطالعات گوناگون اقلیمی و هیدرولوژیکی در مناطق فاقد آمار و بدون توزیع یکنواخت ایستگاه‌هاست (Miri et al., 2019; Bihanta et al., 2018; Rasouli et al., 2016). این داده‌ها، در صورت داشتن صحت مناسب، می‌توانند به‌منزله اطلاعاتی ارزشمند برای مدیریت منابع آب در حوزه‌های وسیع به کار روند. در کشوری مانند ایران که بسیاری از بخش‌های آن در مناطق بیابانی و کوهستانی قرار دارد، تراکم پایین ایستگاه‌ها و دوره آماری کوتاه ایستگاه‌های جدید موجب می‌شود دسترسی به اطلاعات مکانی و زمانی بارش دچار مشکل شود؛ بنابراین برخورداری از داده‌های بارشی اهمیت ویژه‌ای دارد (Miri et al., 2019). تا کنون محصولات

بارش متعددی عرضه شده که بر مبنای داده‌های ماهواره‌ای است و قدرت تفکیک زمانی و مکانی متفاوتی دارد (Taghizadeh & Ahmadi-Givi, 2018). اما محصولات ماهواره‌ای نیز ممکن است خطاهای گوناگونی داشته باشند که به علت اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم با سیستم‌های سنجش از دوری به وجود می‌آیند. از این‌رو ارزیابی این ماهواره‌ها و بررسی صحت داده‌ها و محصولات آنها، پیش از استفاده، ضروری است. در دهه گذشته، مطالعات بسیاری در مورد این محصولات انجام شده است؛ از جمله مطالعاتی که در ایران، به منظور اعتبارسنجی و صحت‌سنجی داده‌های بارش حاصل از پایگاه‌های جهانی^۱ CHIRPS و^۲ TRMM انجام شده است، می‌توان به پژوهش گرجی‌زاده^۳ و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کرد که بارش برآوردشده از طریق مدل‌های ERA-Interim، PERSIANN-CDR و CHIRPS در بالادست سد مارون را مقایسه و ارزیابی کردند. این پژوهشگران، برای ارزیابی، از داده‌های بارش روزانه و ماهیانه و سالیانه طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴، داده‌های شبکه‌بندی بارش و داده‌های باران سنجی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که در برآورد بارش سالیانه، داده‌های مدل‌های شبکه‌بندی‌شده میانگین بارش سالیانه را کمتر از میانگین بارش سالیانه مشاهداتی برآورد کرده است. بی‌همتا^۴ و همکاران (۲۰۱۸) داده‌های بارش حاصل از دو ماهواره GPM و TRMM را طبق مقیاس‌های روزانه، ماهیانه و فصلی، در چهار ایستگاه سینوپتیک شهر تهران ارزیابی و صحت‌سنجی کردند و نتیجه گرفتند که هر دو محصول ماهواره‌ای مورد اشاره، در ایستگاه شمیران، کمترین خطا را با داده‌های مشاهده‌ای دارند و مقدار همبستگی در اندازه‌گیری‌های ماهیانه برابر ۸۱٪ است. شیروانی^۵ و همکاران (۲۰۱۵)

1. Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station Data
2. Tropical Rainfall Measuring Mission
3. Gorjizade
4. Bihanta
5. Shirvani

عملکرد داده‌های CHIRPS بهتر از CHIRP است. تن^۶ (۲۰۱۹) محصول TRMM را برای اندازه‌گیری بارش شدید در حوضه رودخانه مودای مالزی، ارزیابی کرد و از داده‌های بارش روزانه سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۴ بهره برد. براساس نتایج تحلیل همبستگی در مطالعه او، ماهواره TRMM در محاسبات شاخص‌های روزهای خشک متوالی، تعداد روزهای بارندگی بسیار سنگین و روزهای بسیار مرطوب عملکرد خوبی داشته است و روند افزایشی یا کاهشی مشابهی را در بیشتر شاخص‌ها نشان می‌دهد. فرانکلین^۷ و همکاران (۲۰۱۷) تخمین‌های بارش ماهواره‌ای مبتنی بر CHIRPS را در شمال شرق برزیل، طی دوره‌ای ۲۱ ساله و در مقیاس ماهیانه، اعتبارسنجی کردند. نتیجه پژوهش آنها نشان داد که داده‌های CHIRPS با مشاهدات تمامی ایستگاه‌ها همبستگی مطلوبی دارد اما، در بارندگی‌های اندک، متمایل به بیش‌برآوردی و در بارندگی‌های زیاد، متمایل به کم‌برآوردی است. کاتسانوس^۸ و همکاران (۲۰۱۶a؛ b) نیز حداکثر بارش در قبرس را براساس ماهواره CHIRPS و مجموعه داده زمینی، در مقیاس ماهیانه و سالانه، تحلیل کردند و بین داده‌های CHIRPS و بارندگی ثبت‌شده در ایستگاه‌های زمینی، همبستگی مطلوبی یافتند.

به دست آوردن اطلاعات دقیق بارش و اندازه‌گیری آن، در سطح منطقه‌ای، برای تحلیل پدیده‌های گوناگون هیدرولوژیکی و تغییرات اقلیمی بسیار ضروری است اما برآورد دقیق این مؤلفه، به دلیل وجود محدودیت‌هایی در اندازه‌گیری بارش واقعی، همواره با چالش روبه‌روست. ازاین‌رو استفاده از محصولات ماهواره‌ای جایگزین مناسبی برای دستیابی به داده‌های

مقادیر مشاهداتی بارش و محصولات ماهواره TRMM را در استان فارس ارزیابی و مقایسه کردند. ارزیابی آنها براساس داده‌های بارش روزانه دوازده ایستگاه هم‌دیدگی و ۳۷ ایستگاه باران‌سنجی، طی دوره ۱۹۹۸-۲۰۱۱ و برای مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهیانه، فصلی و سالانه انجام شد. این مطالعه نشان داد که در بیشتر مناطق استان، برای همه مقیاس‌های زمانی، بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای، همبستگی معنی‌داری در سطح ۵٪ وجود دارد. علی‌بخشی^۱ و همکاران (۲۰۱۹)، با محصولات ماهواره‌های GPM و MERRA^۲، داده‌های ۳۴ ایستگاه باران‌سنجی زمینی را در حوضه آبریز کشف‌رود، در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهیانه، ارزیابی کردند. طبق نتایج این تحقیق، در منطقه مورد مطالعه، صحت داده‌های بارش روزانه ماهواره GPM بیشتر از محصول MERRA بود و با داده‌های زمینی مطابقت مطلوبی داشت و می‌تواند توزیع مکانی و زمانی بارندگی در سطح حوضه را نشان دهد؛ درمقابل، صحت داده‌های MERRA در مقیاس زمانی ماهیانه، بیشتر از داده‌های GPM بوده است. باربوسا^۳ و همکاران (۲۰۲۰) در مقاله‌ای، با برآورد بارش CHIRPS بر فراز آمازون برزیل، شاخص‌های بارندگی شدید را در مقیاس ماهیانه و سالانه ارزیابی و این داده‌ها را با مشاهدات زمینی مقایسه کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد، در ماه‌هایی با بارندگی متوسط، داده‌های CHIRPS به داده‌های ایستگاه‌های زمینی شبیه بوده است اما، در ماه‌های پر بارش، محصولات CHIRPS تمایل به کم‌برآوردی داده دارد. شن^۴ و همکاران (۲۰۲۰) عملکرد جهانی ماهواره‌های بارش CHIRP و CHIRPS را مطالعه کردند و داده‌های این دو ماهواره را به صورت ماهیانه و طی سال‌های ۱۹۸۱-۲۰۱۶، با داده‌های مرکز اقلیم‌شناسی بارندگی جهانی (GPCC)^۵ مقایسه کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که پیش از سال ۲۰۰۰، نتایج داده‌های هر دو ماهواره CHIRPS و CHIRP اختلاف منفی با داده‌های GPCC دارد؛ پس از سال ۲۰۰۰، این کم‌برآوردی برطرف شده است و آنها این داده‌ها را اصلاح کردند. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که

1. Alibakhshi

2. The Modern – Era Retrospective Analysis for Research and Applications

3. Barbosa

4. Shen

5. Global Precipitation Climatology Center

6. Tan

7. Franklin

8. Katsanos

و بیشتر بخش‌های شمالی آن در نواحی نیمه‌گرمسیری واقع است (Erfanian et al., 2016; Alizadeh et al., 2007). متوسط بارندگی سالیانه آن ۲۵۰ میلی‌متر محاسبه شده که کمتر از یک سوم متوسط بارش جهانی است (Erfanian et al., 2016). وضعیت توپوگرافی بسیار متنوع این کشور موجب شکل‌گیری اقلیم‌های متنوع در مناطق گوناگون آن شده است. برای انجام دادن پژوهش حاضر، داده‌های بارش ۲۲۲ ایستگاه سینوپتیک از کل ایستگاه‌های سینوپتیک سطح کشور، به‌منزله داده‌های مرجع انتخاب شد.

۲-۲-۲- اطلاعات پایگاه داده‌های اندازه‌گیری بارش

۲-۲-۱- داده‌های ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش زمینی

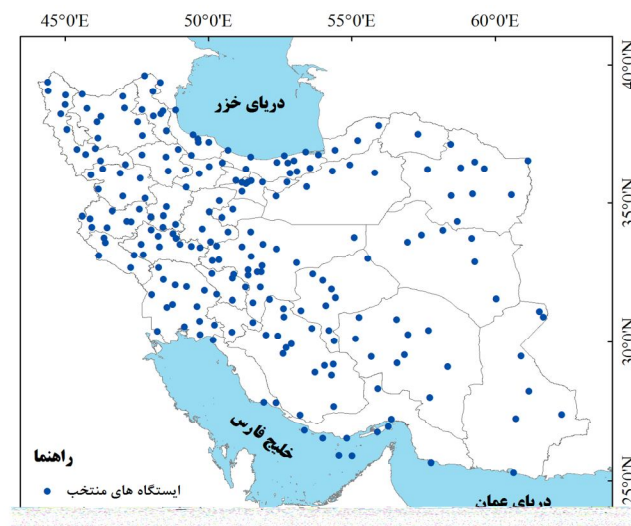
در این مطالعه داده‌های ۲۲۲ ایستگاه سینوپتیک، از میان مجموع ایستگاه‌های سینوپتیک سطح کشور ایران، انتخاب شد؛ مبنای انتخاب ایستگاه‌ها، در این تحقیق، لزوم وجود داده‌های ماهیانه برای همه ماه‌ها طی بازه زمانی ژانویه ۲۰۰۵ تا دسامبر ۲۰۱۹ می‌بود که از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شده‌اند. در شکل ۱، توزیع مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب مورد استفاده در این تحقیق آمده است.

بارش است؛ به‌ویژه در مناطق فاقد آمار و مناطقی با تراکم ایستگاه‌های زمینی اندک. اما محصولات ماهواره‌ای نیز خطاهایی دارند؛ به همین دلیل، ارزیابی و بررسی دقت این محصولات، قبل از استفاده، ضروری است. بر این مبنای، در تحقیق حاضر، محصولات بارش سه ماهواره CHIRPS، MERRA و TRMM در مقیاس ماهیانه در سطح کشور ایران ارزیابی شد. بررسی پیشینه پژوهش بیان می‌کند که تا کنون پژوهشی عملکرد هم‌زمان این سه ماهواره را در سطح کشور ایران، ارزیابی و مقایسه نکرده و مطالعات قبلی اغلب به‌صورت ناحیه‌ای و منطقه‌ای انجام شده است. دستاوردهای این پژوهش می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی منابع آب در سطحی وسیع مفید باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

کشور ایران، با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومترمربع، در نیمه جنوبی منطقه معتدل شمالی و بین ۲۵/۰۳-۳۹/۴۷ درجه عرض شمالی از خط استوا و ۴۴/۱۴-۶۳/۲ درجه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. از نظر جغرافیایی، بخش‌های جنوبی آن در نواحی گرمسیری



شکل ۱. توزیع مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب کشور که در این تحقیق از آنها استفاده شده است

۲-۲-۲- محصولات بارش ماهواره‌ای

مشخصات کلی محصولات ماهواره‌ای منتخب در جدول ۱ آورده شده است که در ادامه، به تفصیل، توضیح داده خواهند شد.

۲-۲-۲-۱- ماهواره CHIRPS

داده‌های CHIRPS از مقادیر شش ساعته تا سه ماهه در دسترس است. تقریباً تمامی داده‌ها دارای قدرت تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه است. داده‌های بارش، از سال ۱۹۸۱ تا نزدیک‌ترین زمان به حال حاضر، با پوشش نیمه‌جهانی 50° درجه شمالی تا 50° درجه جنوبی ارائه می‌شود (Funk et al., 2014). CHIRPS برای نظارت بر خشکسالی و تغییرات اقلیمی در مقیاس شبه‌جهانی (Gorjizade et al., 2019) و نیز تحلیل روند بلندمدت بارش به کار می‌رود (Gorjizade et al., 2019). داده‌های CHIRPS شامل سری داده‌های بارش ماهیانه آب و هواشناسی (CHPCLIM)^۱ می‌شود که از بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی FAO^۲ و GHCN^۳ تهیه شده است (Duan et al., 2016).

۲-۲-۲-۲- ماهواره TRMM

یکی از ماهواره‌های مورد استفاده برای برآورد بارش، ماهواره TRMM است که در سال ۱۹۹۷ به فضا پرتاب شد و در مداری به ارتفاع ۳۵۰ کیلومتر، با زاویه میل ۳۵ درجه از استوا قرار گرفت (Rasoulzadeh et al., 2022; Huffman et al., 2015). این ماهواره محصول پروژه

تحقیقاتی مشترکی بین سازمان ناسا از ایالات متحد و آژانس ملی توسعه فضایی ژاپن است. محصول ماهواره TRMM قدرت تفکیک مکانی 0.25×0.25 درجه دارد (Kummerow et al., 1998; Akbari Yangehghaleh et al., 2017) و از 50° درجه عرض جنوبی تا 50° درجه عرض شمالی کره زمین را پوشش می‌دهد (Erfanian et al., 2016). شایان ذکر است که برآوردهای محصول TRMM تا انتهای سال ۲۰۱۹ در دسترس است.

۲-۲-۲-۳- ماهواره MERRA

یکی دیگر از ماهواره‌های مورد استفاده برای تخمین بارش، نسخه ۲ ماهواره MERRA (MERRA-2) است که دفتر مدل‌سازی و جذب جهانی ناسا (GMAO)^۴ آن را به صورت پروژه‌ای ارائه کرده است (Fattahi et al., 2022). داده‌ها از سال ۱۹۸۰ در دسترس است (Mobarakhassan et al., 2020). داده‌های MERRA-2 دارای قدرت تفکیک مکانی 0.5×0.625 درجه است و از حدود ۵۰ کیلومتر در جهت عرض جغرافیایی و ۶۲ کیلومتر در جهت طول جغرافیایی را پوشش می‌دهد (Raispour & khosravi, 2021). MERRA-2 شامل آرشیوی بلندمدت از تحلیل‌های جو جهانی است که با تلفیق مشاهدات واقعی بلندمدت ذرات معلق در جو، تأثیرات آتروسول را در سایر فرایندهای فیزیکی سیستم آب‌وهوایی نشان می‌دهد (Abad et al., 2021). MERRA-2 پیشرفتی درخور توجه در قیاس با نسل قبلی خود است که داده‌های دقیق و جامع‌تری را برای

جدول ۱. مشخصات کلی محصولات ماهواره‌ای منتخب

محصول	وضوح زمانی	وضوح مکانی	دوره دسترسی
CHIRPS	شش ساعته	0.5×0.5 درجه	از سال ۱۹۸۱
TRMM	سه ساعته	0.25×0.25 درجه	از سال ۱۹۹۷
MERRA	بیست و چهار ساعته	0.5×0.625 درجه	از سال ۱۹۸۰

منبع: Mahmoudi Babolan et al., 2022; Logah et al., 2021; Alibakhshi et al., 2019

1. Climate Hazards Centers Precipitation Climatology
2. Food and Agriculture Organization
3. Global Historical Climatology Network
4. Global Modeling and Assimilation Office

جدول ۴ پیشامد احتمالی 2×2 از نوع وقایع بله و خیر را نشان می‌دهد.

۲-۴- روش تحقیق

در این مطالعه، داده‌های ۲۲۲ ایستگاه سینوپتیک کشور ایران از ژانویه ۲۰۰۵ تا دسامبر ۲۰۱۹، در مقیاس زمانی ماهیانه، از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شد و محصولات بارش ماهواره‌های CHIRPS، TRMM و MERRA از سایت ناسا دانلود و پس از همسان‌سازی، فرمت داده‌ها به داده‌های عددی هم‌واحد تبدیل شد. در ادامه، داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک زمینی به صورت یکپارچه در کنار هم قرار گرفت. در نهایت برای به دست آوردن میزان خطای پیش‌بینی ماهواره‌ها، با استفاده از شاخص‌های آماری، شامل Bias، MAE، RMSE، R و R^2 داده‌های تخمینی و مشاهده‌ای اعتبارسنجی شدند و میزان موفقیت سنجنده‌ها با استفاده از شاخص‌های مطابقت، شامل FAR، POD، CSI و صحت‌سنجی و بررسی شد. شکل ۲ نشان روند کلی این تحقیق را نشان می‌دهد.

۳- نتایج

۳-۱- اعتبارسنجی محصولات بارش ماهواره‌ای

جدول ۵ بیانگر نتایج اعتبارسنجی محصولات بارش ماهواره‌های CHIRPS، TRMM و MERRA در مقابل داده‌های مشاهده‌ای در سطح کشور، با استفاده از شاخص‌های ارزیابی آماری است. با توجه به نتایج این جدول، TRMM با $RMSE = 23/84$ و $R^2 = 0/69$ عملکردی بهتر از دیگر ماهواره‌ها نشان داده است. سایر شاخص‌ها نیز حاکی از برتری این ماهواره بر دیگر ماهواره‌هاست. ماهواره MERRA با $RMSE = 30/57$ و $R^2 = 0/56$ در مقایسه با TRMM عملکردی ضعیف و در قیاس با CHIRPS عملکردی بهتر داشته است و از لحاظ عملکرد، در رتبه دوم قرار دارد.

تحقیقات و کاربردها در اختیار قرار می‌دهد (Raispour & khosravi, 2021) و به علت توانایی جذب تشعشعات ابرطیفی و امکان دریافت مایکروویو، ابزاری ارزشمند برای درک سیستم آب‌وهوایی و اقلیم در مقیاس جهانی شمرده می‌شود.

۲-۳- شاخص‌های ارزیابی پایگاه داده‌های بارش و

داده‌های مشاهداتی

۲-۳-۱- اعتبارسنجی

برای ارزیابی صحت اطلاعات بارش، از معیارهای آماری مانند ریشه میانگین مربع خطا (RMSE)، خطای مطلق میانگین (MAE)، (Bias)، ضریب همبستگی (R) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد که در جدول ۲ نشان داده شده است.

در جدول ۲، S_i میزان بارش تخمین زده شده با ماهواره، O_i میزان بارش مشاهده‌ای، $\bar{S}$ و $\bar{O}$ به ترتیب میانگین بارش ماهواره‌ای و مشاهده‌ای و N تعداد داده‌های بارش است و کم بودن مقادیر خطا به صحت بالای تخمین در برابر مقادیر مشاهداتی اشاره دارد.

۲-۳-۲- صحت‌سنجی

شاخص‌های این گروه که به شاخص‌های مطابقت یا شاخص‌های طبقه‌بندی نیز معروف اند، براساس رخ دادن یا رخ ندادن بارش تعیین می‌شوند که در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

در جدول ۳، Hits تعداد وقایع بارشی را بیان می‌کند که در هر دو ایستگاه زمینی و ماهواره‌ای، برای بارش مقدار ثبت شده و یا به عبارتی، ماهواره توانسته است وقوع بارندگی را به درستی تشخیص بدهد. False Alarms تعداد حالاتی را نشان می‌دهد که ماهواره بارش را پیش‌بینی کرده اما، درواقع، هیچ‌گونه بارشی رخ نداده است. Misses معکوس حالت قبل است و تعداد وقایعی را بیان می‌کند که بارش اتفاق افتاده اما ماهواره آن را تخمین نزده است. در نهایت، Correct Negative تعداد وقایعی را بیان می‌کند که ماهواره توانسته است رخ ندادن بارش را به درستی پیش‌بینی کند.

جدول ۲. فهرست معیارهای آماری مورد استفاده برای اعتبارسنجی محصولات بارش

تعریف	مقدار بهینه	معادله	شاخص‌های آماری
شاخص ارببی، فاصله بین مقدار پیش‌بینی با مقدار واقعی مقدار	1	$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{N}$	Bias
میانگین قدرمطلق تفاوت بین مقدار واقعی و مقدار پیش‌بینی روی تمامی نمونه‌های آزمایش مقدار بین	0	$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n S_i - O_i }{N}$	Mean Absolute Error
بیانگر میزان خطا (تفاوت) بین مقدار پیش‌بینی شده و مقدار واقعی مقدار بین	0	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{N}}$	Root Mean Square Error
بیانگر میزان شباهت یا همبستگی بین مقدار پیش‌بینی شده و مقدار واقعی مقدار بین	1	$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}}$	Correlation Coefficient (R)
تعیین‌کننده دقت مدل یا نزدیکی داده‌ها به خط رگرسیون مقدار بین	1	$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n O_i S_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n O_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i^2}}$	R-Squared

منبع: Mekonnen et al., 2023; Rasoulzadeh et al., 2022; Zhang et al., 2022; Bayable et al., 2021; Reda et al., 2021

جدول ۳. فهرست معیارهای آماری مورد استفاده برای صحت‌سنجی محصولات بارش

تعریف	مقدار بهینه	معادله	شاخص‌های آماری
کسری از رخداد‌های مشاهداتی در ایستگاه که به‌درستی، با استفاده از ماهواره، تشخیص داده شده است	1	$POD = \frac{Hits}{Hits + Misses}$	Probability of detection
مقدار بین [0,1]			
کسری از رخداد‌های مشاهداتی که ماهواره، به‌اشتباه، بارش تشخیص داده و درواقع، بارندگی رخ نداده است	0	$FAR = \frac{False\ alarms}{Hits + False\ alarms}$	False Alarm Ratio
مقدار بین [0,1]			
کسری از کل رخداد‌های بارندگی که ماهواره درست تشخیص داده است	1	$CSI = \frac{Hits}{Hits + False\ alarms + Misses}$	Critical Success Index
مقدار بین [0,1]			

منبع: Mekonnen et al., 2023; Rasoulzadeh et al., 2022; Ghaedamini et al., 2021; Azizian & Amini, 2020

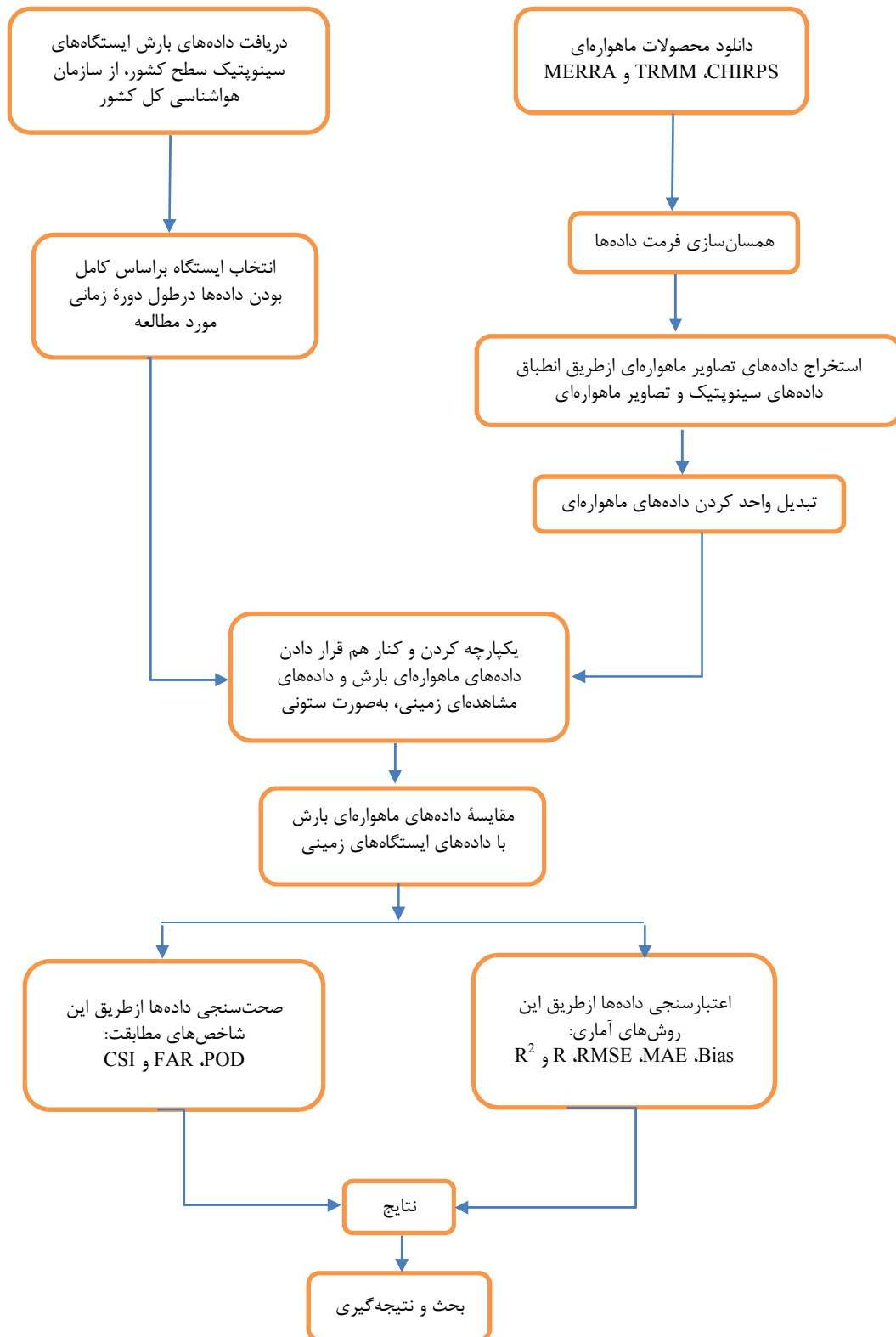
جدول ۴. جدول توافقی تعداد دفعات (فراوانی) وقوع یا رخ ندادن بارندگی

ایستگاه \ ماهواره	بله	خیر	Total
بله	Hits(a)	Misses(c)	a+c
خیر	False alarms(b)	correct negative(d)	b+d
Total	a+b	c+d	Total

منبع: Mahmoudi Babolan et al., 2022; Rahmati & Massah Bavani, 2019

جدول ۵. نتایج اعتبارسنجی محصولات ماهواره‌ای

	Bias	MAE	RMSE	R	R ²
CHIRPS	-۳/۱۲	۱۶/۵۲	۳۵	۰/۶۵	۰/۴۲
TRMM	-۲/۵۴	۱۲/۱۴	۲۳/۸۴	۰/۸۳	۰/۶۹
MERRA	-۶/۱۶	۱۶/۶۴	۳۰/۵۷	۰/۷۵	۰/۵۶



شکل ۲. نمودار جریان‌ی مقایسه محصولات ماهواره‌ای بارش با مقادیر ایستگاه‌های سینوپتیک

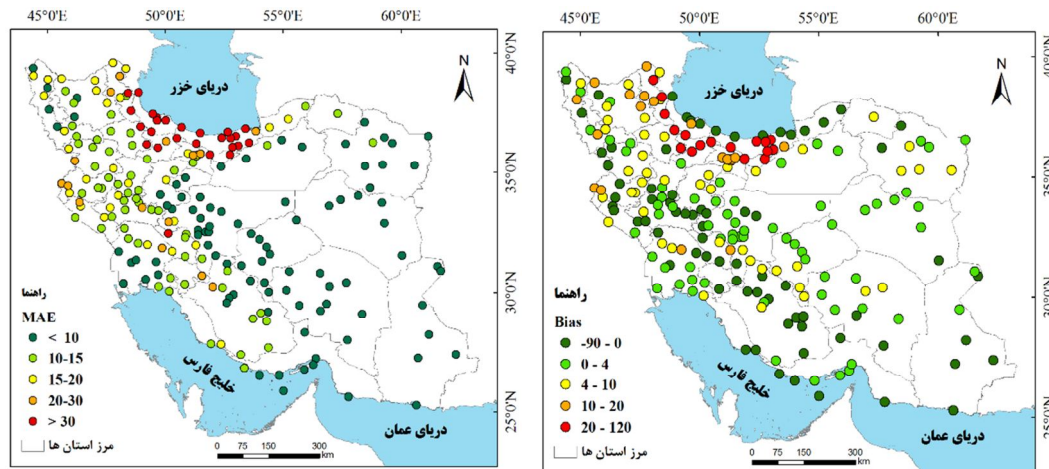
در شکل ۳، با استفاده از شاخص‌های آماری، محصولات بارش ماهواره CHIRPS با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های منتخب در سطح کشور مقایسه شده است. با توجه به شکل ۳، مقادیر شاخص اریبی نشان می‌دهد ایستگاه‌هایی که بارش آنها کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است معمولاً در امتداد سواحل دریای خزر و رشته‌کوه‌های زاگرس دیده می‌شوند؛ هرچند در سایر مناطق نیز به صورت پراکنده می‌توان آنها را مشاهده کرد. ایستگاه‌هایی که بارش آنها بیشتر از مقدار واقعی برآورد شده است اغلب در مناطق شمالی کشور مشاهده می‌شوند. در این مناطق، این بیش‌برآوردی به بیش‌از ۱۰ میلی‌متر می‌رسد. ایستگاه‌هایی که مقادیر بارندگی آنها نزدیک به واقعیت پیش‌بینی شده است بیشتر در مرکز و شرق کشور وجود دارند. مقادیر شاخص‌های میانگین قدرمطلق خطا و جذر میانگین مربعات خطا نیز بیشترین مقدار خطا را در نواحی شمالی کشور و کمترین آن را در نواحی مرکزی و شرقی کشور نشان می‌دهد. بیشترین همبستگی بین مقدار برآوردشده و مقدار واقعی بارندگی به ایستگاه‌های واقع در امتداد رشته‌کوه‌های زاگرس و کمترین همبستگی به ایستگاه‌های مناطق شمالی کشور تعلق دارد. نتایج شاخص ضریب تعیین نیز مشابه نتایج همبستگی است. در شکل ۴، با استفاده از شاخص‌های آماری، محصولات بارش ماهواره TRMM با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های منتخب در سطح کشور مقایسه شده است.

ماهواره CHIRPS نیز تقریباً در همه شاخص‌ها عملکردی ضعیف‌تر از دو ماهواره دیگر نشان داد. با توجه به جدول ۵ و مقدار Bias حاصل‌شده، هر سه ماهواره بارندگی را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده‌اند اما ماهواره TRMM، در مقایسه با دو ماهواره دیگر، کم‌برآوردی کمتری را نشان داده و در این شاخص نیز، بهتر از دو ماهواره دیگر عمل کرده است.

در جدول ۶، حداقل، میانگین و حداکثر مقادیر شاخص‌های آماری گوناگون، به منظور ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای در پهنه ایران آمده است. همچنین شکل‌های ۴، ۵ و ۶ توزیع مکانی شاخص‌های Bias، MAE، RMSE، R و R^2 را به ترتیب در مورد ماهواره‌های CHIRPS، TRMM و MERRA در موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک نشان می‌دهند. پس از بررسی و ارزیابی صحت مجموع ایستگاه‌ها، عملکرد تک تک ایستگاه‌ها نیز بررسی شد که نتایج آن در جدول ۶ نشان داده شده است. با توجه به این جدول، ارقام به دست آمده برای شاخص‌های ارزیابی گویای پراکندگی (واریانس) کمتری در مورد ماهواره TRMM است. برای نمونه، در شاخص Bias تفاوت بین حداقل و حداکثر ماهواره TRMM (دامنه تغییرات) حدود ۸۷ است؛ در حالی که این تفاوت در مورد MERRA حدود ۱۴۰ و در مورد CHIRPS حدود ۲۱۱ است. درباره دیگر شاخص‌ها نیز، این نکته به وضوح مشاهده می‌شود. در مجموع، نتایج این جدول برآورد و عملکرد بهتر ماهواره TRMM را در مقایسه با دو ماهواره دیگر، بیان می‌کند.

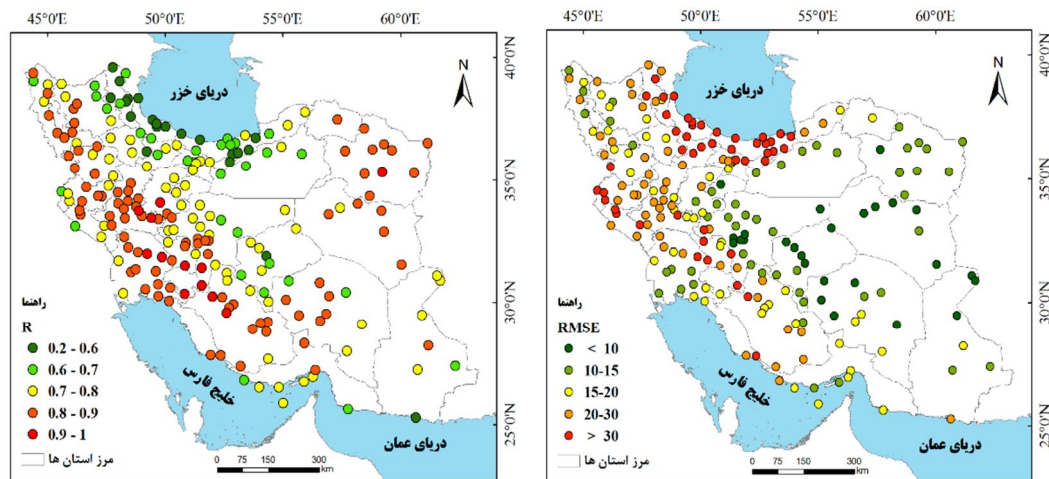
جدول ۶. حداقل، میانگین و حداکثر مقادیر شاخص‌های آماری گوناگون در ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای

	CHIRPS			TRMM			MERRA		
	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Bias	-۹۷/۵۴	-۳/۱۲	۱۱۶/۲۹	-۵۳/۹۱	-۲/۵۴	۳۳/۳۱	-۶۲/۷۰	-۶/۱۶	۷۶/۹۳
MAE	۲/۷۰	۱۶/۵۲	۱۲۱/۸۵	۲/۲۱	۱۲/۱۴	۶۱/۰۲	۴/۷۳	۱۶/۶۴	۷۸/۴۹
RMSE	۴/۹۷	۳۵	۱۵۸/۳۶	۴/۲۰	۲۳/۸۴	۹۴/۶۰	۱۰/۸۲	۳۰/۵۷	۱۱۳/۵۴
R	۰/۲۰	۰/۶۵	۰/۹۸	۰/۴۹	۰/۸۳	۰/۹۶	۰/۲۱	۰/۷۵	۰/۹۵
R^2	۰/۰۴	۰/۴۲	۰/۸۸	۰/۲۴	۰/۶۹	۰/۹۳	۰/۰۴۴	۰/۵۶	۰/۹۰



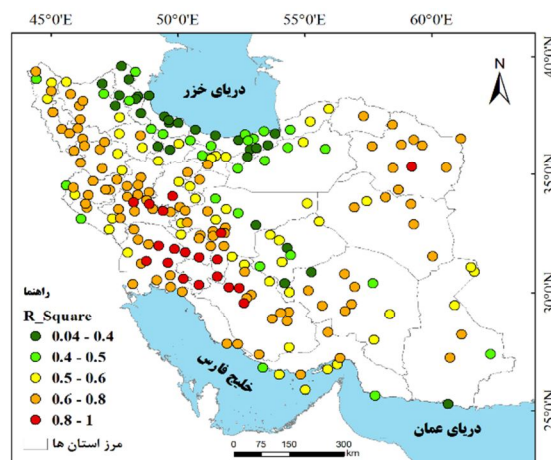
(ب- میانگین قدر مطلق خطا)

(الف- شاخص اربیبی)



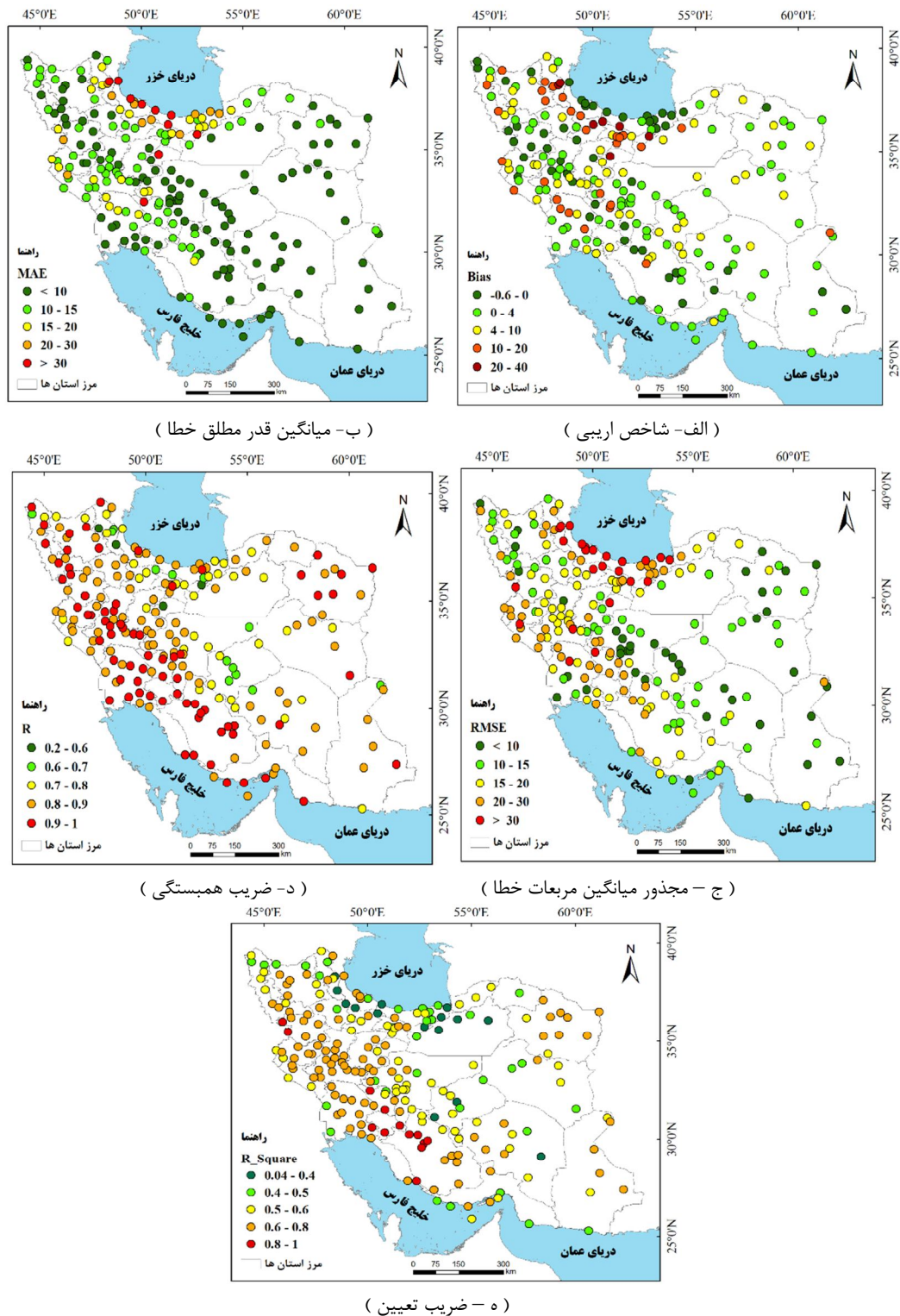
(د- ضریب همبستگی)

(ج - مجذور میانگین مربعات خطا)



(ه - ضریب تعیین)

شکل ۳. مقایسه محصولات بارش ماهواره CHIRPS با بارش واقعی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب سطح کشور با استفاده از شاخص‌های آماری

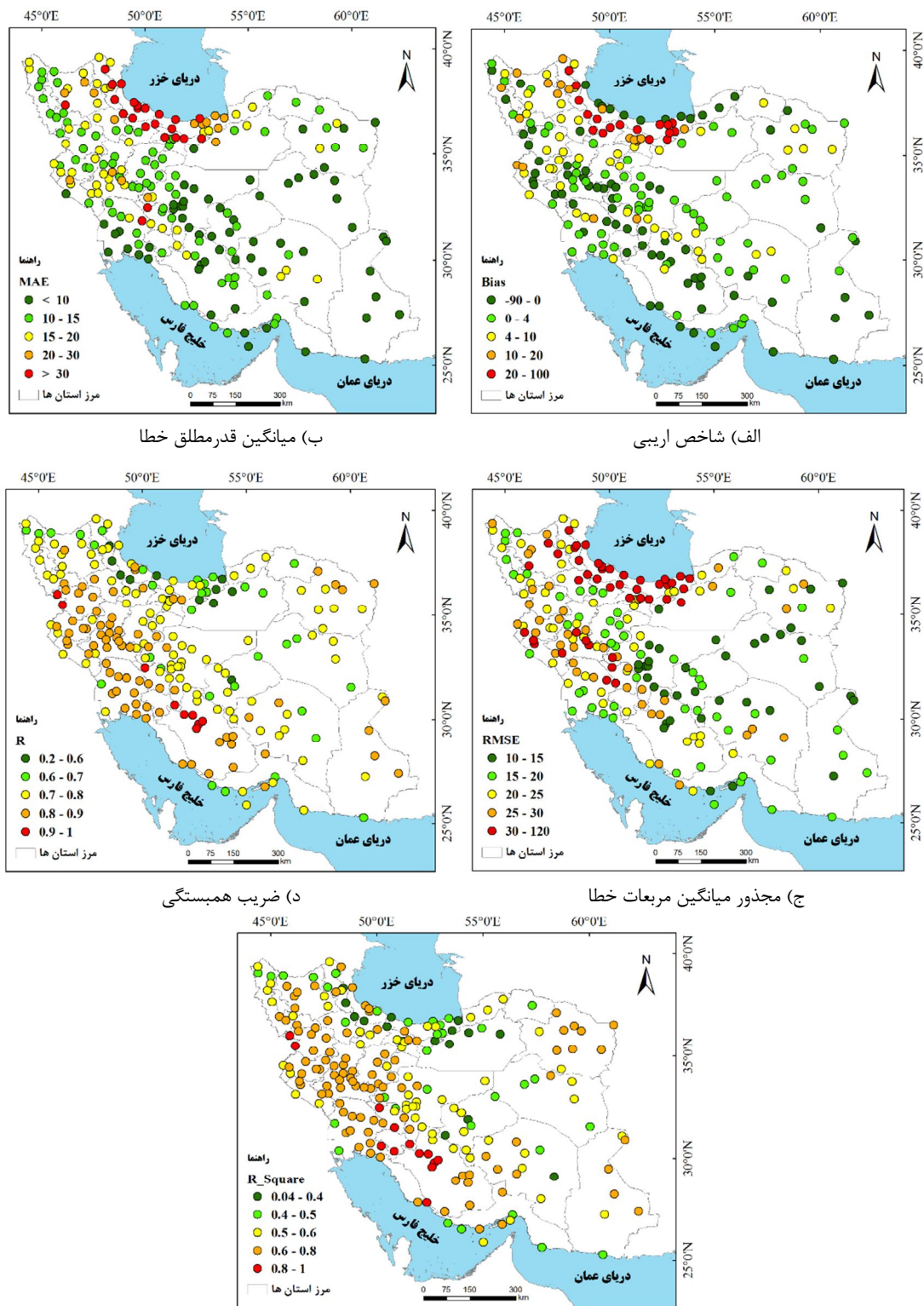


شکل ۴. مقایسه محصولات بارش ماهواره TRMM با بارش واقعی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب کشور، با استفاده از شاخص‌های آماری

با توجه به شکل ۴، مقادیر شاخص اریبی بیان می‌کند محصولات ماهواره TRMM در ایستگاه‌های واقع در امتداد سواحل دریای خزر و رشته‌کوه‌های زاگرس و چند ایستگاه نواحی غربی کشور کم‌برآورد بوده‌اند و ایستگاه‌های مناطق شمالی و نیز، به‌صورت پراکنده در مناطق غربی کشور، بارش را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده‌اند. این بیش‌برآوردی در مناطق یادشده به بیش از ۱۰ میلی‌متر می‌رسد. ایستگاه‌هایی که مقادیر بارندگی‌شان نزدیک به واقعیت پیش‌بینی شده است اغلب در نواحی مرکزی، شرق و نیمه غربی کشور و نیز حاشیه دریای عمان و خلیج فارس قرار دارند. مقادیر شاخص‌های میانگین قدرمطلق خطا بیشترین مقدار خطا را در نواحی حاشیه دریای خزر و درکُل، نواحی شمالی کشور و به‌صورت پراکنده در چند ایستگاه واقع در غرب کشور نشان می‌دهد. کمترین مقدار خطا را نیز در نواحی مرکزی، امتداد رشته‌کوه‌های زاگرس، سواحل دریای عمان و خلیج فارس و نیز مناطق شرقی کشور می‌توان مشاهده کرد. درمجموع براساس این شاخص، از شمال به جنوب و غرب به شرق، مقدار خطا کمتر می‌شود. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا نیز بیان می‌کند بیشترین مقدار خطا در نواحی شمالی کشور و به‌ویژه، نواحی حاشیه دریای خزر و به‌صورت پراکنده، در نواحی غربی کشور وجود دارد و کمترین میزان خطا اغلب در نواحی مرکزی، شرق و شمال‌شرق کشور مشاهده می‌شود. بیشترین همبستگی بین مقدار برآوردشده و مقدار واقعی بارندگی به ایستگاه‌های غرب و امتداد رشته‌کوه‌های زاگرس متعلق است که ایستگاه‌ها همبستگی بالای ۰/۸ دارند. در نواحی مرکزی و نیمه شرقی کشور، میزان همبستگی معمولاً بین ۰/۶ تا ۰/۹ است و در برخی ایستگاه‌های شمال‌شرق، این میزان به بیش از ۰/۹ هم می‌رسد و فقط تعداد کمی از ایستگاه‌ها با همبستگی اندک (کمتر از ۰/۷) در مناطق شمالی کشور قرار دارند که این خود بیان می‌کند ماهواره

TRMM عملکرد مطلوبی داشته است. نتایج شاخص ضریب تعیین نیز گویای آن است که این محصولات ماهواره‌ای، در ایستگاه‌های رشته‌کوه‌های زاگرس و غرب و جنوب‌غرب کشور، بهترین عملکرد را داشته است (ضریب تعیین بیش از ۰/۶). این نکته صحت متوسط محصولات TRMM را می‌رساند زیرا، در بیشتر نواحی کشور، مقدار ضریب تعیین بین ۰/۶ تا ۰/۸ است؛ این مقدار، در هشت ایستگاه منطقه جنوب‌غرب، به بیش از ۰/۸ نیز می‌رسد که درکُل، صحت مطلوب محصولات این ماهواره در ایستگاه‌های نیمه غربی کشور را نشان می‌دهد. محصولات TRMM در مناطق شمالی کشور عملکرد مطلوبی نداشته است و اغلب در نواحی ساحلی دریای خزر و به‌صورت پراکنده در دریای عمان، دارای کمترین ضریب تعیین (کمتر از ۰/۵) و نیز صحت پایین بود. در نواحی مرکزی و شرقی نیز، مقادیر ضریب تعیین اغلب بین ۰/۴ تا ۰/۸ است و درمواردی معدود، در چند ایستگاه، کمتر از ۰/۴ است. درمجموع، صحت داده‌های TRMM در ایستگاه‌های سطح کشور، از شرق به غرب و از شمال به جنوب، افزایش می‌یابد. در شکل ۵، محصولات بارش ماهواره MERRA با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های منتخب در سطح کشور، با استفاده از شاخص‌های آماری، مقایسه شده است.

با توجه به شکل ۵، براساس شاخص اریبی، محصول بارش ماهواره MERRA در نواحی حاشیه دریای خزر و تعدادی از ایستگاه‌های غرب و به‌صورت محدود، در جنوب‌غرب کشور، کم‌برآورد و در نواحی شمال، شمال‌غرب و امتداد رشته‌کوه‌های زاگرس، بیش‌برآورد است. ایستگاه‌هایی که مقادیر بارندگی آنها نزدیک به واقعیت پیش‌بینی شده است بیشتر در مناطق مرکزی و شرقی کشور قرار گرفته‌اند. مقادیر شاخص‌های میانگین قدرمطلق خطا بیشترین مقدار خطا را در نواحی شمالی کشور و به‌ویژه، حاشیه دریای خزر و کمترین میزان آن را در نواحی مرکزی، شرقی، به‌صورت پراکنده در غرب و حاشیه دریای عمان و خلیج فارس، نشان می‌دهد.



شکل ۵. مقایسه محصولات بارش ماهواره MERRA با بارش واقعی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب سطح کشور، با استفاده از شاخص‌های آماری

براساس این شاخص، محصولات بارش ماهواره MERRA از شمال به جنوب و از غرب به شرق، عملکرد خوبی داشته است. جذر میانگین مربعات خطا نیز بیشترین مقدار خطا را در نواحی شمالی و بخش‌هایی از مناطق غربی کشور و کمترین آن را در نواحی مرکزی و شرقی کشور نشان می‌دهد. بیشترین همبستگی بین مقدار برآوردشده و مقدار واقعی بارندگی به ایستگاه‌های غرب و جنوب‌غرب کشور متعلق است و حتی در منطقه جنوب‌غرب، پنج ایستگاه همبستگی بیش از ۰/۹ دارند. کمترین مقدار همبستگی در ایستگاه‌های مناطق شمالی کشور مشاهده شده است. نتایج شاخص ضریب تعیین نیز بیان می‌کند محصولات بارش این ماهواره، در ایستگاه‌های رشته‌کوه‌های زاگرس، غرب و جنوب‌غرب کشور، عملکرد مناسبی داشته است (ضریب تعیین بیش از ۰/۶)؛ حتی در تعدادی از ایستگاه‌های جنوب‌غرب کشور، این میزان به بیشتر از ۰/۸ هم می‌رسد که این نکته بیانگر همبستگی مناسب این مجموعه داده با داده‌های مشاهداتی است. ضریب تعیین، در تعداد اندکی از ایستگاه‌های شمال کشور و معدودی از نواحی مرکزی، کمتر از ۰/۴ است.

۲-۳- صحت‌سنجی محصولات بارش ماهواره‌ای

جدول ۷ نتایج صحت‌سنجی محصولات بارش ماهواره‌های CHIRPS، TRMM و MERRA را در سطح کشور، با استفاده از شاخص‌های مطابقت، نشان می‌دهد.

طبق جدول ۷، در آشکارسازی صحیح روزهای بارانی، محصول بارش ماهواره CHIRPS با $POD = 1$ ، با اختلاف اندکی در قیاس با محصول بارش ماهواره

TRMM با $POD = 0.992$ و محصول بارش ماهواره MERRA با $POD = 0.959$ ، بهترین عملکرد را داشته است. مقدار شاخص POD، محصول بارش ماهواره CHIRPS، ۱ برآورد شده است و نشان می‌دهد که محصول بارش این ماهواره در تشخیص روزهای بارانی، در همه ایستگاه‌های سطح کشور، با اختلاف اندکی بهتر از دو ماهواره دیگر عمل کرده است. همچنین با توجه به شاخص‌های جدول ۷، محصول بارش ماهواره MERRA با نسبت هشدار اشتباه $FAR = 0.102$ و نیز با $CSI = 0.864$ ، بهترین عملکرد را در قیاس با دو ماهواره دیگر داشته است؛ این یعنی قدرت عملکرد محصول بارش ماهواره MERRA، در تشخیص روزهای بارانی و غیربارانی، بیشتر از محصول بارش دو ماهواره دیگر بوده است و تعداد روزهای غیربارانی بیان‌شده در محصول بارش این ماهواره با ایستگاه تطابق خوبی دارد. محصول بارش ماهواره CHIRPS، با نسبت هشدار اشتباه $FAR = 0.224$ و $CSI = 0.776$ ، کمترین صحت را در مقایسه با دو ماهواره دیگر داراست که درواقع، بیانگر شباهت نه‌چندان رضایت‌بخش مقادیر برآوردی محصول بارش CHIRPS، با مقادیر ثبت‌شده در ایستگاه‌های هم‌دید، به نسبت محصولات بارش دو ماهواره دیگر است. در جدول ۸، حداقل، میانگین و حداکثر مقادیر شاخص‌های جدولی متفاوت در ارزیابی محصولات ماهواره‌ای، در پهنه ایران، آمده است. همچنین، شکل‌های ۶ و ۷ و ۸ توزیع مکانی شاخص‌های POD، FAR و CSI ماهواره‌های CHIRPS، TRMM و MERRA را در موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک نشان می‌دهد.

جدول ۷. صحت‌سنجی محصولات ماهواره‌ای با استفاده از شاخص‌های مطابقت

	POD	FAR	CSI
CHIRPS	۱	۰/۲۲۴	۰/۷۷۶
TRMM	۰/۹۹۲	۰/۱۹۸	۰/۷۹۷
MERRA	۰/۹۵۹	۰/۱۰۲	۰/۸۶۴

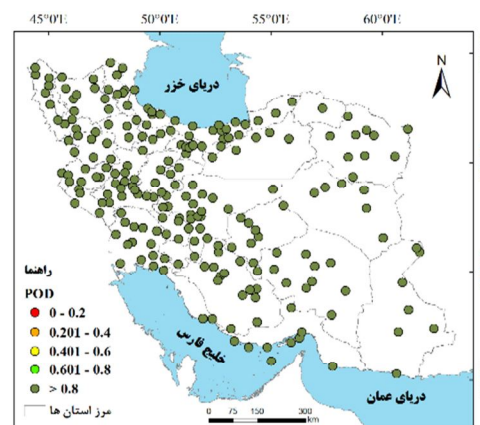
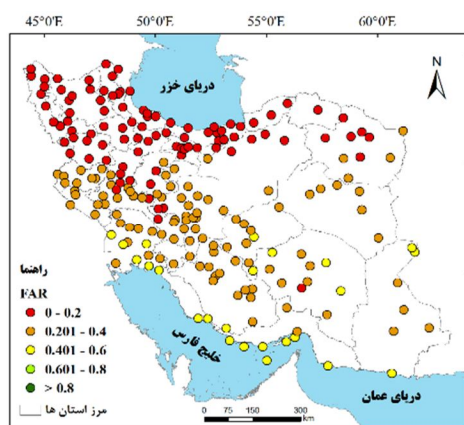
جدول ۸. حداقل، میانگین و حداکثر مقادیر شاخص‌های مطابقت در ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای

	CHIRPS			TRMM			MERRA		
	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
POD	۱	۱	۱	۰/۹۹۲	۰/۹۹۲	۱	۰/۸۵۲	۰/۹۵۹	۱
FAR	۰	۰/۲۲۴	۰/۵۸۳	۰	۰/۱۹۸	۰/۵۷۸	۰	۰/۱۰۲	۰/۵۷۳
CSI	۰/۴۱۶	۰/۷۷۶	۱	۰/۴۲۱	۰/۷۹۷	۱	۰/۴۲۶	۰/۸۶۴	۱

FAR نیز عملکرد ماهواره MERRA با دامنه تغییرات ۰/۵۷۳، با اختلاف اندکی در قیاس با دو ماهواره دیگر، بهتر است. در مجموع، نتایج این جدول گویای آن است که ماهواره TRMM، در هر سه شاخص، با اختلاف اندکی در جایگاه دوم قرار دارد.

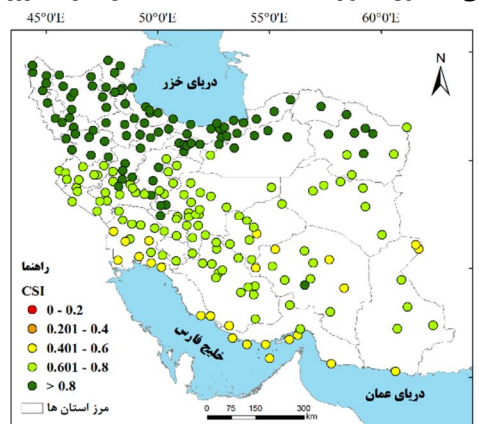
شکل ۶ محصولات بارش ماهواره CHIRPS با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های منتخب در سطح کشور را با استفاده از شاخص‌های مطابقت، مقایسه کرده است.

با توجه به جدول ۸، ارقام به‌دست‌آمده برای شاخص‌های مطابقت بیان می‌کند در شاخص‌های POD و CSI ماهواره CHIRPS، با دامنه تغییرات به‌ترتیب صفر و ۰/۵۸۴، پراکندگی کمتری را نشان داده است؛ درحالی‌که این تفاوت‌ها در مورد ماهواره TRMM، به‌ترتیب حدود ۰/۰۰۸ و ۰/۵۷۹ و در مورد MERRA، به‌ترتیب حدود ۰/۱۴۸ و ۰/۵۷۴ است. در شاخص



(ب) تشخیص نادرست روزهای غیربارانی محصول ماهواره‌ای

(الف) تشخیص درست روزهای بارانی محصول ماهواره‌ای



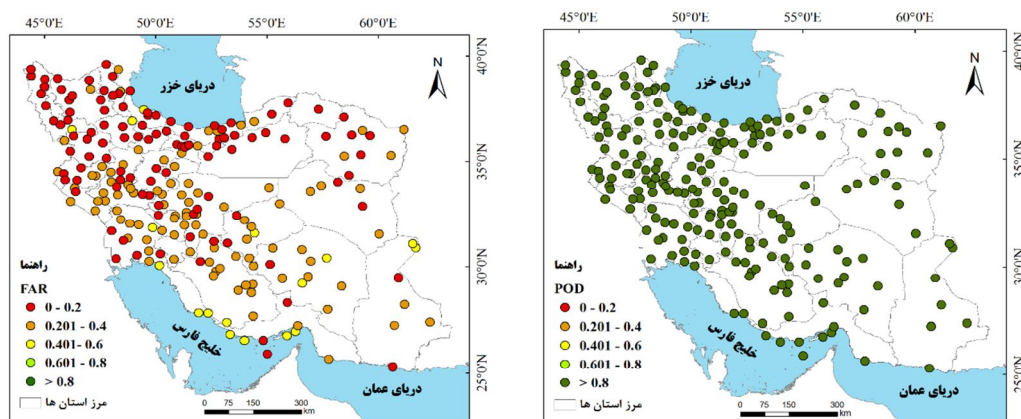
(ج) تشخیص‌های درست بارندگی ماهواره در مجموع

شکل ۶. مقایسه محصولات بارش ماهواره CHIRPS با بارش واقعی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب سطح کشور، با استفاده از شاخص‌های مطابقت

طبق شاخص CSI محصول این ماهواره در نواحی شمال، شمال غرب، شمال شرق و به صورت پراکنده در امتداد رشته کوه‌های زاگرس، بهتر عمل کرده اما عملکرد آن، در بخش‌های میانی کشور، متوسط و در بخش‌های جنوبی کشور و به خصوص حاشیه خلیج فارس و دریای عمان، نه چندان مطلوب بوده است؛ این بدان معنی است که محصول این ماه، در ایستگاه‌های واقع در نواحی بیان شده، نتوانسته روزهای بارانی و غیربارانی را به خوبی از هم تفکیک کند. به طور کلی، از شمال به جنوب و غرب به شرق، مقدار CSI کاهش یافته اما در نهایت، این مقدار از ۰/۴ کمتر نشده است.

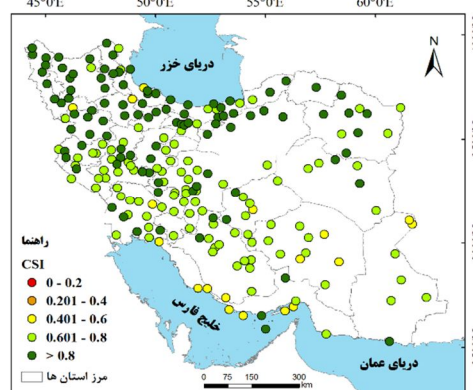
در شکل ۷، محصولات بارش ماهواره TRMM با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های منتخب در سطح کشور، با استفاده از شاخص‌های مطابقت، مقایسه شده است.

با توجه به شکل ۶، مقادیر شاخص POD گویای آن است که محصول ماهواره CHIRPS، در تمامی ایستگاه‌ها، در تشخیص روزهای بارانی کاملاً درست عمل کرده است. طبق شاخص FAR، این ماهواره در نواحی شمال، شمال غرب، شمال شرق و به صورت پراکنده در امتداد رشته کوه‌های زاگرس، عملکرد بهتری داشته و تخمین‌های آن در بیشتر ایستگاه‌ها، در محدوده‌های یاد شده، مورد قبول است و بازه تغییرات آن بین ۰ تا ۰/۲ قرار دارد اما عملکرد آن، در بخش‌های میانی کشور، متوسط و در بخش‌های جنوبی کشور و به ویژه حاشیه خلیج فارس و دریای عمان، نه چندان مطلوب بود. به طور کلی، از شمال به جنوب و غرب به شرق، مقدار FAR افزایش یافته اما در نهایت، این مقدار از ۰/۶ تا ۰ فراتر نرفته است.



ب) تشخیص نادرست روزهای غیربارانی محصول ماهواره‌ای

الف) تشخیص درست روزهای بارانی محصول ماهواره‌ای



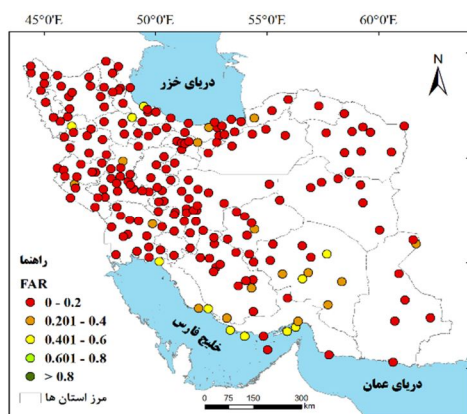
ج) تشخیص‌های درست بارندگی ماهواره در مجموع

شکل ۷. مقایسه محصولات بارش ماهواره TRMM با بارش واقعی ایستگاه‌های گوناگون سینوپتیک منتخب سطح کشور، با استفاده از شاخص‌های مطابقت

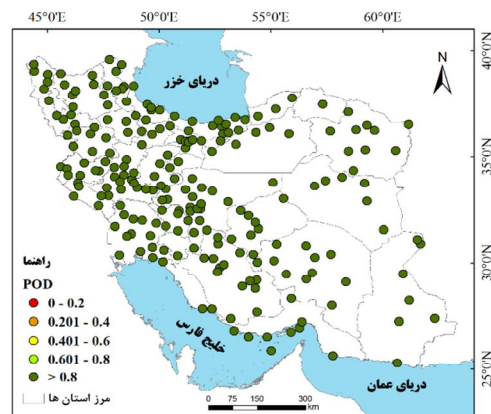
چندان مطلوب نبود. طبق شاخص CSI محصول ماهواره TRMM تقریباً در تمامی نواحی کشور (به‌غیر از برخی نواحی جنوب و جنوب شرق و چند مورد در شمال‌غرب کشور)، در تشخیص روزهای بارانی و غیربارانی، مطلوب عمل کرده و مقدار CSI در آن ایستگاه‌ها بین ۱ تا ۰/۶ بوده اما در گُل، مقدار CSI به کمتر از ۰/۴ نرسیده است.

شکل ۸ مقایسه محصولات بارش ماهواره MERRA با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های منتخب در سطح کشور، با استفاده از شاخص‌های مطابقت را نشان می‌دهد.

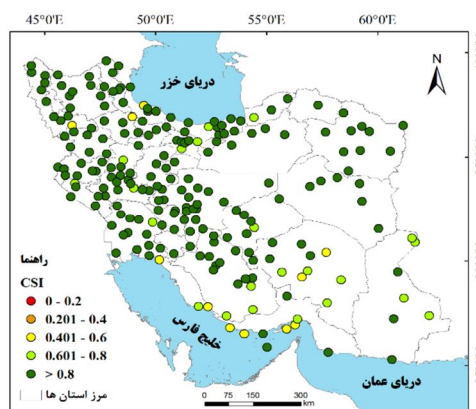
طبق شکل ۷، درمورد محصولات ماهواره TRMM نیز مقادیر شاخص POD بیانگر این است که ماهواره در تشخیص روزهای بارانی بسیار خوب عمل کرده و مقدار این شاخص، در تمامی ایستگاه‌های سطح کشور، بیشتر از ۰/۸ است. طبق شاخص FAR محصول این ماهواره در تشخیص روزهای غیربارانی، در نیمه شمالی کشور، عملکردی بهتر از نیمه جنوبی داشته و هرچند به‌صورت پراکنده، در برخی ایستگاه‌های نواحی مرکزی و جنوبی و حاشیه دریای عمان هم عملکرد آن مطلوب بوده است. البته تشخیص محصول این ماهواره در مناطق شمال و شمال‌غرب، به‌صورت پراکنده در چند ایستگاه،



ب) تشخیص نادرست روزهای غیربارانی محصول ماهواره‌ای



الف) تشخیص درست روزهای بارانی محصول ماهواره‌ای



ج) تشخیص‌های درست بارندگی ماهواره درمجموع

شکل ۸. مقایسه محصولات بارش ماهواره MERRA با بارش واقعی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب سطح کشور، با استفاده از شاخص‌های مطابقت

مطلوب ارزیابی شده و بر دو ماهواره دیگر برتری داشته و همچنین ماهواره CHIRPS ضعیف‌ترین عملکرد را داشته است.

نوذرپور^۱ و همکاران (۲۰۲۲) داده‌های بارش ماهیانه ماهواره‌های TRMM و PERSIAN-CDR را در مناطق اقلیمی گوناگون ایران مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که ماهواره TRMM، در همه شاخص‌ها، عملکردی بهتر از دیگر ماهواره‌ها داشته است. الشریان^۲ و الشرممان^۳ (۲۰۲۴) داده‌های بارش ماهواره‌های TRMM و PERSIAN-CDR را روی چند منطقه از کشور اردن مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که در مقیاس ماهیانه، عملکرد ماهواره TRMM بهتر از PERSIAN-CDR بوده است. چن و گائو^۴ (۲۰۱۸) داده‌های بارش ماهواره‌های TRMM و PERSIAN-CDR را در کشور چین مقایسه کردند و بر مبنای پژوهش آنها، ماهواره TRMM عملکردی بهتر از PERSIAN-CDR داشته است. کیخسروی- کیانی^۵ و همکاران (۲۰۲۲)، در مطالعه‌ای که به منظور ارزیابی محصولات ماهواره‌ای روی کشور ایران انجام دادند، به نتایج مشابهی دست یافتند و نشان دادند که TRMM در مقایسه با CHIRPS عملکرد بهتری نشان می‌دهد. نذافت^۵ و همکاران (۲۰۲۱)، طی تحقیقی درباره داده‌های بارندگی ماهیانه ایران، به این نتیجه رسیدند که داده‌های CHIRPS در مقایسه با ماهواره PCDR عملکرد ضعیفی داشته است. همچنین با توجه به نتایج اعتبارسنجی، در همه ماهواره‌ها، کمترین صحت در حاشیه دریای خزر و نواحی شمالی مشاهده شد. مقادیر پایین شاخص اریب نیز گویای کم‌برآوردی و بیش‌برآوردی بسیار ناچیز ماهواره TRMM است که توانایی مطلوب این ماهواره را نشان می‌دهد. در نواحی

با توجه به شکل ۸، مقادیر شاخص POD نشان می‌دهد محصولات ماهواره MERRA، در تمامی ایستگاه‌ها، عملکرد کاملاً درستی در تشخیص روزهای بارانی داشته است. طبق شاخص FAR، محصول ماهواره MERRA تقریباً در تمامی ایستگاه‌های سطح کشور عملکرد خوبی داشته و در بیشتر ایستگاه‌ها، مقدار این شاخص بین ۰/۲ تا ۰ است؛ هرچند در برخی نواحی (جنوبی و چند نقطه شمال غرب) به صورت پراکنده، مقدار این شاخص به ۰/۶ تا ۰/۲ هم رسیده است. در مقابل، بیشترین مقدار FAR بین ۰/۴ تا ۰/۶ و در ایستگاه‌های نواحی جنوبی و حاشیه خلیج فارس مشاهده شده است؛ به این معنی که در این ایستگاه‌ها، پیش‌بینی‌های ماهواره بیانگر روزهای بارانی بود، در صورتی که در محل ایستگاه، بارش رخ نداده است. طبق شاخص CSI، محصول ماهواره MERRA تقریباً در تمامی ایستگاه‌های سطح کشور عملکرد خوبی داشته و در بیشتر ایستگاه‌ها، مقدار این شاخص بیش از ۰/۸ است؛ هرچند در برخی نواحی (جنوبی و چند نقطه از شمال غرب) به صورت پراکنده، مقدار این شاخص به ۰/۸ تا ۰/۴ هم رسیده، در کل داده‌های MERRA براساس شاخص تشخیصی CSI، در تشخیص روزهای بارانی و غیربارانی تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها عملکرد بهتری داشته است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، محصولات بارش ماهواره‌های CHIRPS، MERRA و TRMM معرفی شد و عملکرد این محصولات بارشی در ۲۲۲ ایستگاه هم دید کشور، طی دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۹ و در مقیاس زمانی ماهیانه، ارزیابی شد. این کار با استفاده از روش‌های ارزیابی آماری، شامل R^2 ، R ، RMSE، MAE، Bias، متفاوت انجام شد و سپس با استفاده از شاخص‌های POD، FAR و CSI، میزان مطابقت این عملکردها بررسی شد. نتایج اعتبارسنجی بیان می‌کند صحت داده‌های بارش ماهیانه TRMM، در سطح کشور،

1. Nozarpour

2. Al-Sheriadeh & Al-Sharman

3. Chen & Gao

4. Keikhosravi-Kiany

5. Nezafat

حاشیه دریای خزر، کم‌برآوردی در همه ماهواره‌ها مشاهده می‌شود اما نسبت آن در ماهواره TRMM کمتر از دو ماهواره دیگر است. بیش‌برآوردی نیز، در این ماهواره، کمتر از سایر ماهواره‌ها مشاهده شده است و اغلب در مناطق شمالی و به‌صورت پراکنده، در غرب کشور به چشم می‌خورد. کمترین مقدار صحت در نواحی شمالی کشور (با مقدار $0.4 < R^2 < 0.7$) مشاهده شد. نتایج پژوهش بارانی‌زاده^۱ و همکاران (۲۰۱۱) بیان می‌کند خطای TRMM در ناحیه خزری ایران بیشتر است. به‌طور کلی، نتایج ارزیابی محصولات بارش TRMM در قیاس با داده‌های ایستگاهی، گویای صحت بسیار بالای داده‌های برآوردی این محصول برای پهنه ایران است و پراکندگی اندک داده‌های TRMM به‌نسبت ماهواره‌های دیگر، از لحاظ شاخص‌های اعتبارسنجی، اعتبار بالای این محصول ماهواره‌ای را می‌رساند. همین نکته گویای آن است که محصولات مورد اشاره توانایی مناسبی در برآورد بارش بیشتر نقاط ایران را دارند. نتایج شاخص‌های مطابقت نشان داد که هر سه ماهواره، در تشخیص روزهای بارانی، اختلاف بسیار جزئی با یکدیگر داشتند و با مقدار POD نزدیک به ۱، عملکرد بسیار خوبی را نشان دادند. بررسی شاخص‌های FAR و CSI بیان می‌کند که در این شاخص‌ها نیز، مانند POD، اختلاف عملکرد سه ماهواره بسیار اندک است و هر سه عملکرد خوبی دارند. طبق شاخص FAR، محصولات ماهواره TRMM در نواحی شمالی و به‌صورت پراکنده، در نواحی شمال‌غرب عملکردی ضعیف‌تر از دو ماهواره دیگر داشته و نتایج تحقیقات عرفانیان^۲ و همکاران (۲۰۱۶) نیز بیان می‌کند FAR، در نوار شمالی ایران، کمتر برآورد شده است. همچنین مقادیر بالای شاخص CSI، با مقدار بیش‌از ۰/۷۵، شباهت بسیار زیاد مقادیر تخمینی ماهواره‌ها با مقادیر مشاهده‌ای ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک را می‌رساند. طبق شاخص CSI محصولات ماهواره CHIRPS، با اختلاف جزئی، ضعیف‌ترین

عملکرد را در قیاس با محصولات دو ماهواره دیگر داشته است. نتیجه این مقاله در تضاد با نتیجه برآمده از مقاله نظافت و همکاران (۲۰۲۱) است که بیان کرده بودند در تشخیص روزهای بارانی و غیربارانی، تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها، براساس شاخص تشخیصی CSI، داده‌های CHIRPS عملکردی بهتر از ماهواره PCDR داشته است.

صحت‌سنجی تک‌تک ایستگاه‌ها نیز نشان داد که داده‌های هر سه ماهواره، طبق شاخص POD، دارای دامنه تغییرات کم و نزدیک به صفرند و بر مبنای شاخص‌های FAR و CSI، این اختلاف حدود ۰/۵ است؛ به‌گونه‌ای که بیشترین آنها به محصولات ماهواره MERRA با دامنه تغییرات ۰/۱۴۸ تعلق دارد و این نکته نشان می‌دهد، طبق این شاخص‌ها، می‌توان به داده‌های این ماهواره‌ها تاحد بسیاری اعتماد کرد. بر مبنای نتایج FAR و CSI با اینکه محصولات MERRA در تمامی ایستگاه‌ها، با اختلاف بسیار جزئی، کمترین میزان خطا و اشتباه را در تشخیص روزهای بارانی و غیربارانی داشته است، براساس نتایج این تحقیق می‌توان گفت که در مجموع، محصولات ماهواره TRMM در تمامی ارزیابی‌ها دارای صحت مناسب، تشخیص و مطابقت مطلوب است. با توجه به ارزیابی‌ها، در مورد مناطق بدون آمار و بدون داده و همچنین مواردی که به داده‌های طولانی‌مدت نیاز دارند، می‌توان از پایگاه داده TRMM به‌منزله جایگزینی مناسب برای داده‌های مشاهداتی استفاده کرد. با توجه به طول دوره آماری مناسب، صحت مکانی بسیار خوب و نیز به‌روز بودن این داده‌ها می‌توان آنها را در مطالعات گوناگون آب‌وهواشناسی، آب‌شناسی و مطالعات محیطی در مناطق متفاوت کشور، با اطمینان، در کنار داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی زمینی به کار برد.

1. Baranizadeh
2. Erfanian

۵- منابع

- Abad, B., Salahi, B., Raispour, K. & Moradi, M., 2021, **Satellite Based Communication between Land Surface Temperature and Biophysical Variables in the Jazmourian Catchment**, Iranian Journal of Geophysics, 15(2), P. 7, <https://doi.org/10.30499/ijg.2021.272063.1315>.
- Akbari Yangehghaleh, M., Sanayinejad, S., Faridhosseini, A. & Akbari, M., 2017, **The Study of Spatial-Temporal Distribution of Rainfall, Using TRMM Data (Case Study: Khorasan Razavi Province)**, Journal of Climate Research, 8(29-30), PP. 1-18, <https://sid.ir/paper/213083/en>.
- Alibakhshi, S.M., Farid Hossini, A., Davari, K., Alizadeh, A. & Munyka, H., 2019, **Assessment of Ground Station, GPM Satellite and MERRA Precipitation Products in Kashafrud Basin**, J. Watershed Manage. Res., 9(18), PP. 111-122, DOI:10.29252/jwmr.9.18.111.
- Alizadeh, A., Kamali, G., Mousavi, F. & Mousavi Bayeghi, M., 2007, **Weather and Climatology**, Ferdowsi University of Mashhad Publications, P. 392.
- Al-Sheriadeh, M. & Al-Sharman, A.R., 2024, **Evaluation of Satellite Rainfall Estimates Using PERSIANN-CDR and TRMM over Three Critical Cells in Jordan**, Journal of Hydroinformatics, 26(2), PP. 424-440, <https://doi.org/10.2166/hydro.2024.154>.
- Azizian, A. & Amini, S., 2020, **The Effect of Climate and Topographic Conditions on the Performance of PERSIANN Family Products over Iran**, Iran-Water Resources Research, 16(1), PP. 86-101.
- Baranizadeh, A., Behyar, M. & Abedini, Y., 2011, **Evaluation of TRMM-3B43 Satellite Precipitation Estimates Using Comparison with Ground-Based Observational Data from High-Resolution Precipitation Networks (APHRODITE) in Iran**, The Second National Conference on Applied Research on Iranian Water Resources, Zanjan University.
- Barbosa Lopes Cavalcante, R., Batista da Silva Ferreira, D., Rógenes Monteiro Pontes, P., Gonçalves Tedeschi, R., Priscila Wanzeler da Costa, C. & Barreiros de Souza, E., 2020, **Evaluation of Extreme Rainfall Indices from CHIRPS Precipitation Estimates over the Brazilian Amazonia**, Atmospheric Research, 238, P. 104879, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104879>.
- Bayable, G., Amare, G., Alemo, G. & Gashaw, T., 2021, **Spatiotemporal Variability and Trends of Rainfall and Its Association with Pacific Ocean Sea Surface Temperature in West Harerge Zone, Eastern Ethiopia**, Environment System Research, 10, PP. 1-21, <https://doi.org/10.1186/s40068-020-00216-y>.
- Bihanta, A., Goharnejad, H. & Moazami, S., 2018, **Study of Precipitation Data of GPM and TRMM Satellites in Daily, Monthly and Seasonal Scales at Tehran**, Iranian Remote Sensing & GIS, 10(2), PP. 45-66.
- Chen, F. & Gao, Y., 2018, **Evaluation of Precipitation Trends from High-Resolution Satellite Precipitation Products over Mainland China**, Climate Dynamics, 51, PP. 3311-3331, <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4080-z>.
- Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., Chiogna, G. & Disse, M., 2016, **Evaluation of Eight High Spatial Resolution Gridded Precipitation Products in Adige Basin (Italy) at Multiple Temporal and Spatial Scales**, Science of the Total Environment, 573, PP. 1536-1553, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.213>.
- Erfanian, M., Kazempour, S. & Heidari, H., 2016, **Calibration of TRMM Satellite 3B42 and 3B43 Rainfall Data in Climatic Zones of Iran**, Physical Geography Research, 48(2), PP. 287-303, <https://doi.org/10.22059/jphgr.2016.59370>.
- Fattahi, A., Araghizadeh, M., Mobarak Hassan, A., Khansalari, S. & Hossein Hamzeh, N., 2022, **Study of the Mechanism and Source of Dust in Khorasan Razavi Province by RegCM4 and HYSPLIT Model: A Case Study (July 1, 2014)**, Journal of Climate Research, 13(49), PP. 27-44.
- Franklin Trejo, J., Paredes, F., Barbosa, H.A., Lakshmi Kumar & T.V., 2017, **Validating CHIRPS-Based Satellite Precipitation Estimates in Northeast Brazil**, Journal of Arid Environments, 139, PP. 26-40, DOI:10.1016/j.jaridenv.2016.12.009.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Rowland, J., Romero, B., Husak, G., Michaelsen, J. & Verdin, P., 2014, **A Quasi-Global Precipitation Time Series for Drought Monitoring**, U.S. Geological Survey, 832, Technical Report, <https://doi.org/10.3133/ds832>.
- Ghaedamini, H.A., Morid, S., Nazemosadat, M., Shamsoddini, A. & Shafizadeh Moghadam, H., 2021, **Validation of the CHIRPS and**

- CPC-Unified Products for Estimating Extreme Daily Precipitation over Southwestern Iran**, Theoretical and Applied Climatology, 146, PP. 1207-1225, <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03790-y>.
- Gorjizade, A., AkhondAli, A., Shahbazi, A. & 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), PP. 267-279, <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.1.20.7>.
- Hamal, K., Sharna, S., Khadka, N., Baniya, B., Ali, M., Shretha, S., Xu, T., Shretha, D. & Dawadi, B., 2020, **Evaluation of Merra -2 Precipitation Products Using Gauge Observation in Nepal**, Hydrology, 7(40), DOI:10.3390/hydrology7030040, <https://doi.org/10.3390/hydrology7030040>.
- Huffman, G., Bolvin, D., Braithwaite, D., Hsu, K. & Joyce, R., 2015, **Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 4.5: For the NASA Global Precipitation Measurment (GPM) Integrated Multi-Satellite E Reterivals for GPM(IMERG)**, Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version, 4(26), P. 30.
- Katsanos, D., Retalis, A., Tymvios, F. & Michaelides, S., 2016a, **Analysis of Precipitation Extremes Based on Satellite (CHIRPS) and in Situ Dataset over Cyprus**, Nat. Hazards, 83, PP. S53-S63, DOI:10.1007/s11069-016-2335-8.
- Katsanos, D., Retalis, A. & Michaelides, S., 2016b, **Validation of a High-Resolution Precipitation Database (CHIRPS) over Cyprus for a 30-Year Period**, Atmospheric Research, 169, PP. 459-464, DOI:10.1016/j.atmosres.2015.05.015.
- Keikhosravi-Kiany, M.S., Masoodian, S.A., Balling Jr., R.C. & Darand, M., 2022, **Evaluation of Tropical Rainfall Measuring Mission, Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM, Climate Hazards Centre InfraRed Precipitation with Station Data, and European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis v5 Data in Estimating Precipitation and Capturing Meteorological Droughts over Iran**, International Journal of Climatology, 42, PP. 2039-2064, <https://doi.org/10.1002/joc.7351>.
- Kummerow, C., Barnes, W., Kozu, T., Shiue, J. & Simpson, J., 1988, **The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package**, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 15, PP. 809-817, DOI:10.1175/1520-0426(1998)015<0809:TTRMMT>2.0.CO;2.
- Logah, F., Adjei, K., Obouobie, E., Gyamfi, C. & Odai, S., 2021, **Evaluation and Comparison of Satellite Rainfall Products in the Black Volta Basin**, Environmental Processes, 8, PP. 119-137, DOI:10.1007/s40710-020-00465-0.
- Mahmoudi Babolan, S., Nastarani Amoghin, S. & Rasoulzadeh, A., 2022, **Evaluation of Satellite Precipitation Products for Estimating Heavy Precipitation in the Caspian Coast**, Water and Soil Management and Modeling, 2(4), PP. 107-122, DOI: 10.22098/MMWS.2022.11147.1102.
- Mekonnen, K., Manohar, N., Leh, M., Akpoti, K., Owusu, A., Tinonetsana, P., Hamouda, T., Ghansah, B., Prabhath, T. & Munzimi, Y., 2023, **Accuracy of Satellite and Reanalysis Rainfall Estimates over Africa: A Multi-Scale Assessment of Eight Products for Continental Applications**, Journal of Hydrology: Regional Studies, 49, P. 101514, <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101514>.
- Miri, M., Azizi, G., Khosh Akhlagh, F. & Rahimi, M., 2017, **Evaluation Statistically of Temperature and Precipitation Datasets with Observed Data in Iran**, Jwmseir, 10(35), PP. 39-50, <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089554.1395.10.35.8.1>.
- Miri, M., Rahimi, M. & Noroozi, A., 2019, **Evaluation and Comparison of GPM and TRMM Daily Precipitation with Observed Precipitation across Iran**, Journal of Watershed Engineering and Management, 11(4), PP. 972-983, <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.121397.1469>.
- Mobarakhassan, E., Ranjbar Saadatabadi, A. & Fatahi, E., 2020, **Dust Investigation by MERRA-2 Model in Iran: (during 2007-2017)**, Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(9), PP. 2203-2219, <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.298505.668518>.
- Mokhtari, S., Sharafati, A. & Raziei, T., 2021, **Validation of CHIRPS Satellite-Based Precipitation Data against the in Situ Observations Using the Copula Method: A Case Study of Kosar Dam Basin, Iran**, Acta Geophysica, 1-20, <https://doi.org/10.1007/s11600-021-00682-7>.

- Nezafat, A., Moridi, A., Gorjizade, A. & Yousefi, H., 2021, **Evaluating the Performance of Precipitation Products Taking into Account the Climatic and Topographic Conditions across Iran**, Iran-Water Resources Research, 17(2), PP. 62-81.
- Nozarpour, N., Mahjoobi, E. & Golian, S., 2022, **Performance Evaluation of TRMM-3B43-V7 and PERSIANN-CDR Monthly Precipitation Products in Different Climatic Regions of Iran**, Iran-Water Resources Research, 18(1), PP. 227-202.
- Paridad, P. & Farid Hosseini, A., 2016, **Extraction of Precipitation Values by Merging TRMM(TMI) and MSG-SEVIRI TIR Data**, The First National Conference on Remote Sensing and Geographic Information Systems in Geoscience, Shiraz University.
- Rahmati, A. & Massah Bavani, A., 2019, **Comparative Evaluation of Global Rainfall Datasets with Observation Rainfall Values (Case Study: Karoun Basin)**, Iran-Water Resources Research, 15(1), PP. 178-192.
- Raispour, K. & khosravi, Y., 2021, **Long-Term Monitoring of the Concentration of Carbon Black Pollutants in Iran Using NASA/MERRA-2 Base Model Data**, Environmental Sciences, 19(3), PP. 99-122, <https://doi.org/10.52547/envs.2021.33941>.
- Rasouli, A., Erfanian, M., Sari Sarraf, B. & Javan, K., 2016, **Comparative Evaluation of TRMM Estimated Precipitation Values and Recorded Precipitation from Ground Stations in the Urmia Lake Basin**, Journal of Geographic Space, 54(16), PP. 195-217.
- Rasoulzadeh, A., Mahmoudi Babolan, S. & Nastarani Amoghini, S., 2022, **Spatio-Temporal Evaluation of Satellite Precipitation Products in Northwestern Iran**, Iranian Journal of Soil and Water Research, 53(9), PP. 1241-1260, <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.345392.669311>.
- Reda, K., Liu, X., Tang, Q. & Gebremicael, T., 2021, **Evaluation of Global Gridded Precipitation and Temperature Datasets against Gauged Observations over the Upper Tekeze River Basin, Ethiopia**, Journal of Meteorological Research, 35, PP. 673-689, <https://doi.org/10.1007/s13351-021-0199-7>.
- Rivera, J., Marianetti, G. & Hinrich, S., 2018, **Validation of CHIRPS Precipitation Dataset along the Central Andes of Argentina**, Atmospheric Research, 213, PP. 437-449, DOI:10.1016/j.atmosres.2018.06.023.
- 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 Remote Sensing and GIS, 11(2), PP. 115-123, <https://doi.org/10.52547/gisj.11.2.115>.
- Shen, Z., Yong, B.J., Gourley, J., Qi, W., Lu, D., Liu, J., Ren, L., Hong, Y., & Zhang, J., 2020, **Recent Global Performance of the Climate Hazards Group Infrared Precipitation (CHIRP) with Stations (CHIRPS)**, Journal of Hydrology, 591, P. 125284, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125284>.
- Shirvani, A. & Fakhri Zade Shirazi, E., 2015, **Comparison of Ground Based Observation of Precipitation with TRMM Satellite Estimations in Fars Province**, Journal of Agricultural Meteorology, 2(2), PP. 1-15, <https://sid.ir/paper/249959/en>.
- Taghizadeh, E. & Ahmadi-Givi, F., 2018, **Evaluation of GPM Precipitation Products and Mapping Soil Moisture Using SMAP Data in the Northwest of Iran**, Iranian Geophysical Society, 12(3), PP. 70-86, <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080336.1397.12.3.5.8>.
- Tan, M.L., 2019, **Assessment of TRMM Product for Precipitation Extreme Measurement over the Muda River Basin, Malaysia**, HydroResearch (2), PP. 69-75, <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2019.11.004>.
- Zhang, Y., Wu, C., Yeh, P., Li, J., Hu, B., Feng, G. & Jun, C., 2022, **Evaluation and Comparison of Precipitation Estimates and Hydrologic Utility of CHIRPS, TRMM 3B42 V7 and PERSIANN-CDR Products in Various Climate Regimes**, Atmospheric Research, 265, P. 105881, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105881>.