

Research Paper

## The Effect of Ground Elevation and Temperature on the Performance of Satellite Products of Precipitation on a Monthly Scale in Iran

Zahra Barkhordari Fard<sup>1</sup>, Ali Shamsoddini<sup>2\*</sup>

1. MSc in Remote Sensing and GIS, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2. Associate Professor in Remote Sensing and GIS, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Received: 2024/06/22  
Accepted: 2024/10/02

### ABSTRACT

*The estimation and measurement of precipitation in situ presents considerable challenges due to factors such as exorbitant costs, a scarcity of monitoring stations, point sampling limitations, and its lack of generalizability to broader surface areas. Consequently, it is imperative to evaluate the accuracy of satellite-derived precipitation products as viable alternatives to conventional field measurements. Given that precipitation is influenced by the climatic conditions and physiographic characteristics inherent to specific regions, this study aims to not only validate and verify satellite precipitation products but also to examine the impact of temperature and elevation on the efficacy of MERRA, TRMM, and CHIRPS satellite precipitation products over a monthly scale from 2005 to 2019, utilizing data from 222 synoptic stations located throughout Iran. The findings indicated that the root mean square error for the TRMM, MERRA, and CHIRPS satellites was recorded at 23.8 mm, 30.6 mm, and 35 mm respectively, suggesting a superior performance of the TRMM satellite in comparison to the other two products. Moreover, the results demonstrated that the TRMM satellite consistently outperformed the other two satellites across all temperature and elevation classifications. At elevations below 500 m and above 1500 m, as well as at temperatures less than 18 °C, MERRA exhibited superior performance relative to CHIRPS, offering more accurate estimations of actual precipitation. Overall, the results indicate that TRMM satellite products may serve as a reliable substitute for observational data, as this satellite not only demonstrates commendable performance in the assessment of satellite products but also excels across varying elevation and temperature conditions.*

*Precipitation, satellite products, validation, Remote Sensing, MERRA.*

### Keywords:

*\*Corresponding Author:* Associate Professor in Remote Sensing and GIS, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

ORCID: 0000 0003 4559 7563

ali.shamsoddini@modares.ac.ir

**Extended Abstract****Introduction**

Water is regarded as an essential resource for both biological and anthropogenic phenomena, serving as the fundamental basis for the sustainability of life on planet Earth; Precipitation, as a critical element of the hydrological balance and a pivotal component of the hydrological cycle, significantly contributes to hydrological and meteorological research, as well as the spatial and temporal distribution of accessible water resources. However, given that precipitation is contingent upon climatic conditions and the physiographic attributes of a region, substantial temporal and spatial variability in precipitation can profoundly influence the environmental characteristics of distinct geographical locales, thereby introducing considerable complexity in the assessment of precipitation on a larger scale. Consequently, it is imperative to accurately estimate and measure precipitation across extensive areas. Nonetheless, the measurement of precipitation at ground levels poses considerable challenges due to the high variability of this parameter across both spatial and temporal dimensions, coupled with the elevated costs and the scarcity of monitoring stations, as well as the limitations of point measurements and the difficulties in extrapolating to broader surfaces, which consistently present obstacles for researchers engaged in hydrological and atmospheric investigations. Thus, the utilization of precipitation products obtained via satellite technology to estimate precipitation data at a regional scale, particularly in regions deficient in ground-based monitoring stations, represents a novel solution. However, satellite-derived data are also subject to various inaccuracies, including uncertainties in sampling, retrieval errors, and intrinsic errors resulting from indirect measurements facilitated by remote sensing systems. Therefore, it is essential to evaluate these satellite systems and verify the accuracy of their data prior to application. To date, rainfall data derived from a multitude of satellite sources with varying temporal and spatial resolutions have been disseminated, and in the past decade, numerous studies have been conducted pertaining to these datasets. Additionally, a variety of satellites are operational in this domain, including the TRMM, MERRA, and CHIRPS satellites.

**Methodology**

In the present study, while assessing the validity of satellite precipitation products through the application of the root mean square error (RMSE) statistical index and further corroborating these findings via the success threshold matching index (CSI), we examined the influence of temperature and altitude on the efficacy of precipitation products. The analysis encompassed MERRA, TRMM, and CHIRPS satellites on a monthly basis, covering the timeframe from 2005 to 2019, utilizing data from 222 synoptic stations distributed across Iran.

**Result**

The empirical findings demonstrated that the root mean square error values for the TRMM, MERRA, and CHIRPS satellites are 23.8, 30.6, and 35 mm, respectively, thereby indicating the superior performance of the TRMM satellite in comparison to the other two. By scrutinizing the success threshold index, it can be concluded that all three satellites exhibit commendable and nearly indistinguishable performance, as evidenced by index values of 0.864, 0.797, and 0.776 for MERRA, TRMM, and CHIRPS satellites, respectively. Furthermore, the results indicated that the TRMM satellite consistently outperforms the other two satellites across all temperature and altitude classifications. Specifically, at altitudes below 500 m and above 1500 m, as well as temperatures under 18 °C, MERRA has demonstrated superior performance relative to CHIRPS, thereby yielding more accurate estimations of actual precipitation.

**Discussion**

The findings derived from this investigation align significantly with the studies conducted across various global regions; for instance, Nazaf et al. from the synoptic station in Iran

---

determined that the monthly precipitation estimations derived from the CHIRPS dataset exhibited inferior performance relative to PCDR. Kikhosravi-Kiani et al. (2022), in their evaluation of satellite products pertinent to Iran, demonstrated that TRMM exhibits superior efficacy compared to CHIRPS. The collective outcomes of the investigations by Asakre et al. (2014), Naqvi et al. (2014), Azizian and Amini (2019), Mohammadi and Lashkari (2017), Pourali and Masah Bowani (2012), Jafarpour (2011), and Chen et al. (2011) indicated that variations in temperature and altitude are significantly correlated with fluctuations in precipitation.

**Conclusion**

In summary, the findings indicated that TRMM satellite products are viable alternatives to observational data due to the satellite's superior performance in the assessment of satellite products across all temperature classifications, thereby outperforming the other two satellites.

---

## تاثیر ارتفاع و دمای سطح زمین بر عملکرد محصولات بارشی ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه در ایران

### زهرا برخورداری فرد<sup>۱\*</sup>، علی شمس‌الدینی<sup>۲\*</sup>

۱. کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲. دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران (نویسنده مسئول).

چکیده	تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲
<p>استفاده از محصولات بارش ماهواره‌ای برای برآورد داده‌های بارش در مقیاس منطقه‌ای راهکاری جدید محسوب می‌شود. این محصولات خود دارای خطاهای گوناگونی هستند، به همین دلیل، ارزیابی و بررسی صحت این داده‌ها پیش از استفاده ضروری است. از آنجائی که بارش به شرایط اقلیمی و خصوصیات فیزیوگرافی منطقه وابسته است، بنابراین در پژوهش حاضر، ضمن اعتبارسنجی و صحت‌سنجی محصولات ماهواره‌ای بارش، به بررسی تاثیر دما و ارتفاع بر عملکرد محصولات بارشی ماهواره‌های <i>CHIRPS</i> و <i>TRMM</i>، <i>MERRA</i> در مقیاس ماهانه، در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۹ و با استفاده از ۲۲۲ ایستگاه سینوپتیک واقع در سطح کشور ایران پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که به ترتیب مقدار ریشه میانگین مربعات خطا برای ماهواره‌های <i>TRMM</i>، <i>MERRA</i> و <i>CHIRPS</i> برابر با ۲۳/۸، ۳۰/۶ و ۳۵ میلیمتر است که نشان دهنده عملکرد مطلوب ماهواره <i>TRMM</i> نسبت به دو ماهواره دیگر است؛ با بررسی شاخص آستانه موفقیت می‌توان گفت که طبق این شاخص، هر سه ماهواره عملکرد بسیار خوب و تقریباً مشابهی دارند به طوری که مقدار این شاخص به ترتیب برای ماهواره‌های <i>TRMM</i>، <i>MERRA</i> و <i>CHIRPS</i> برابر ۰/۸۶۴، ۰/۷۹۷ و ۰/۷۷۶ است. همچنین نتایج نشان داد که ماهواره <i>TRMM</i> در تمامی طبقات دما و ارتفاعی بهتر از دو ماهواره دیگر عمل می‌کند. در ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر و بیشتر از ۱۵۰۰ متر و دماهای زیر ۱۸ درجه سانتی‌گراد، <i>MERRA</i> عملکرد خوبی نسبت به <i>CHIRPS</i> داشته و برآورد بهتری از بارش واقعی ارائه داده است.</p>	<p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۱</p>
<p>بارش، محصولات ماهواره‌ای، اعتبارسنجی، سنجش از دور، <i>MERRA</i></p>	<p>واژگان کلیدی:</p>

### ۱. مقدمه

آب منبع حیاتی برای هر پدیده زیستی و انسانی و مبنای اصلی پایداری زندگی در زمین محسوب می‌شود و یکی از چالش‌های قرن حاضر است که می‌تواند سر منشأ بسیاری از تحولات مثبت و منفی جهان قرار گیرد؛ امروزه، مدیریت و حفاظت آب، نه تنها در کشورهای در حال توسعه، بلکه در کشورهای توسعه یافته نیز اهمیت بالایی دارد، بنابراین برای ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب و ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب، داشتن اطلاعات دقیق از حجم ذخایر آبی و

\* نویسنده مسئول

ali.shamsoddini@modares.ac.ir

میزان دسترسی به آن در هر منطقه و شناخت فرآیندهای محیطی حاکم بر این منابع امری اجتناب‌ناپذیر است (پریداد و فرید حسینی، ۱۳۹۵). بارش به عنوان یکی از اصلی‌ترین مؤلفه‌های بیلان آب، به جهت تغییرات مکانی و زمانی زیاد آن، پیچیده‌ترین پدیده در چرخه هیدرولوژیکی محسوب می‌شود (امیدوار و ترکی، ۱۳۹۱؛ عزیزیان و رضانی، ۱۳۹۸) که متأثر از عوامل مختلفی از جمله شرایط اقلیمی و خصوصیات فیزیوگرافی است که این عوامل در مکان و زمان متغیر هستند. تغییرات زمانی و مکانی زیاد این پارامتر و همچنین تأثیرگذاری زیاد آن بر محیط زیست طبیعی و انسانی سبب توجه محققین به این پارامتر در مطالعات مختلف اقلیمی، هواشناسی، هیدرولوژی، محیطی و غیره شده است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۸) و بنابراین، برآورد دقیق آن برای نیل به نتایج هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب امری اجتناب‌ناپذیر است (عزیزیان و امینی، ۱۳۹۹؛ کیوآی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). برآورد دقیق و قابل اعتماد بارش، منجر به بهبود مصرف آب و همچنین پیش‌بینی دقیق‌تری از سیل و خشکسالی و دیگر مخاطرات اقلیمی می‌شود.

هر چند بارش ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی یکی از دقیق‌ترین روشهای اندازه‌گیری بارش است، اما به دلیل فقدان داده‌های به روز و طولانی مدت با صحت مناسب و تغییر پذیری زیاد این کمیت در مکان و زمان، پایش آن در وسعت‌های زیاد، بسیار دشوار است؛ همچنین هزینه‌بر بودن ایجاد ایستگاه اندازه‌گیری بارش، کمبود ایستگاه، عدم استقرار دستگاه‌های ثبت کننده در مناطق صعب العبور، برداشت‌های نقطه‌ای، قابل تعمیم نبودن اندازه‌گیری‌ها در نواحی وسیع و نیز عدم توانایی مطلوب ثبت بارندگی‌های رگباری و سنگین همرفتی منجر به ظهور روشهای نوین تخمین بارش با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور شده است که می‌توانند به کمی‌سازی توزیع بارش در عرصه‌های وسیع کمک کرده و راهکاری برای غلبه بر محدودیت مکانی- ذاتی سیستم‌های اندازه‌گیری زمینی در مقیاس‌های مختلف باشند (میری و همکاران، ۱۳۹۸؛ بی‌همتا و همکاران، ۱۳۹۷؛ رسولی و همکاران، ۱۳۹۵).

در دهه گذشته مطالعات زیادی در رابطه با ارزیابی کارایی محصولات ماهواره‌ای مختلف انجام شده است (تقی زاده و احمدی گیوی، ۱۳۹۷)؛ از جمله ماهواره‌هایی که در این زمینه فعالیت دارند می‌توان به ماهواره‌های TRMM، MERRA و CHIRPS اشاره کرد که استفاده از این محصولات با شرط داشتن صحت کافی، برای کشوری مانند ایران که بسیاری از قسمت‌های آن به ویژه در مناطق بیابانی و کوهستانی به دلیل تراکم پایین ایستگاه‌ها و طول دوره آماری کوتاه ایستگاه‌های جدید، همواره با مشکلات دسترسی به اطلاعات مکانی و زمانی بارش مواجه است، از اهمیت زیادی برخوردار است (میری و همکاران، ۱۳۹۸). این محصولات، عملکردهای متفاوتی در شرایط مختلف اقلیمی و شرایط متفاوت فیزیوگرافی دارند (عزیزان و امینی، ۱۳۹۹؛ شاهبایی کوتنایی و عساکره، ۱۳۹۸؛ تقی زاده و احمدی گیوی، ۱۳۹۷؛ اومونگه<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). در دهه گذشته، مطالعات زیادی در رابطه با این محصولات انجام شده است. همچنین، پژوهش‌های متعددی در رابطه با بررسی اثر ارتفاع و دما بر پدیده بارش انجام شده که از این میان می‌توان به پژوهش نظافت و همکاران (۱۴۰۰) اشاره کرد که به ارزیابی عملکرد محصولات شبکه‌بندی بارش ماهواره‌های PCDR

<sup>1</sup> Qi<sup>2</sup> Omonge

و CHIRPS با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و توپوگرافی در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ با استفاده از ۸۸ ایستگاه سینوپتیک واقع در ایران پرداختند؛ ایشان به این نتیجه رسیدند که تخمین بارش ماهانه مجموعه داده PCDR در همه حوضه‌ها به غیر از ارومیه و سرخس دارای بیشترین همبستگی با داده‌های مشاهداتی نسبت به CHIRPS است. همچنین، ارتفاع به عنوان عامل موثر در عملکرد داده‌های شبکه‌ای بارش است به طوری که هر دو مجموعه داده در مناطق مرتفع کوه‌های زاگرس و مناطق شمالی رشته کوه البرز صحت کمتری در برآورد و تشخیص بارش دارند. عزیزیان و امینی (۱۳۹۹) به بررسی تاثیر شرایط اقلیمی و توپوگرافی سطح زمین بر عملکرد محصولات بارشی PERSIANN که شامل سه محصول مختلف به نام‌های PERSIANN، PERSIANN-CCS و PERSIANN-CDR است، در مقیاس ماهانه و برای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ و با استفاده از ۳۵۵ ایستگاه سینوپتیک واقع در سطح ایران پرداختند؛ ایشان به این نتیجه رسیدند که PERSIANN-CDR از همبستگی بسیار زیادی با داده‌های مشاهداتی برخوردار است. بررسی تاثیر ارتفاع بر عملکرد محصولات بارشی خانواده PERSIANN نیز نشان داد که در مناطق مرتفع (مناطق با ارتفاع ۶۰۰ تا ۲۶۰۰ متر) و کم ارتفاع (کمتر از ۶۰۰ متر)، بارش ماهواره‌ای و داده‌های زمینی به ترتیب از همبستگی بالا و پایینی برخوردار هستند. شهابی کوتنایی و عساکره (۱۳۹۸) با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ۱۲۱ ایستگاه همدید، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی شمال غرب ایران در دوره زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۴ و استفاده از داده‌های ارتفاع، عرض جغرافیایی، شیب و جهت شیب، تلاش کردند که ویژگی‌ها و روابط عوامل مکانی در تغییرات و پراکنش مکانی بارش را مورد تحلیل قرار دهند و به این نتیجه رسیدند که طی ماه اکتبر به دلیل ضعیف بودن بادهای غربی در منطقه، میزان واریانس فضایی بارش‌ها کم بوده و عوامل مکانی نقش مهمی در تغییرات بارش ایفا می‌کنند. در ماه نوامبر ضمن تقویت سامانه‌های بارش‌زا در منطقه، نقش عوامل مکانی در تغییرپذیری بارش‌ها به اوج خود می‌رسد، اما در ماه دسامبر به دلیل قدرت سامانه‌های بارشی و تغذیه رطوبتی مناسب، از نقش عوامل مکانی در بارش‌های منطقه کاسته شده و تغییرپذیری بارش‌ها بیشتر با عوامل جوی مرتبط است. فرج‌زاده‌اصل و فیضی (۱۳۸۹)، به بررسی تغییرات اقلیمی دما و بارش در ۴۰ ایستگاه واقع در کل محدوده ایران پرداخته و نشان دادند که در بیشتر ایستگاه‌ها، در متغیر دما، روند مثبت و در متغیر بارش، روند منفی وجود دارد. رسولی و همکاران (۱۳۹۵) بیان کردند که جهت مشخص نمودن الگوهای توزیع زمانی بارش‌های رعد و برقی شهر تبریز، می‌توان از آمارهای ایستگاه‌های زمینی و داده‌های TRMM استفاده کرد و به این نتیجه رسید که توزیع مکانی این نوع بارش‌ها از عوامل فیزیوگرافیک متأثر می‌شوند. تانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۳)، به ارزیابی محصولات بارشی مبتنی بر ماهواره‌های GPM (IMERG) و نقشه برداری ماهواره‌ای جهانی از بارش (GSMaP<sup>۲</sup>) در مناطق با توپوگرافی پیچیده در کوهستان‌های جنوب غربی چین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رابطه بین توپوگرافی و بارش یک رابطه خطی ساده در مناطق کوهستانی نیست. تجزیه و تحلیل جامع نشان می‌دهد که IMERG

<sup>1</sup> Tang<sup>2</sup> Global Satellite Mapping of Precipitation

و GSMaP بیشتر تحت تاثیر ارتفاع قرار می‌گیرند. ارزیابی‌های مستقل نشان می‌دهد که تنوع ارتفاع با دقت<sup>۱</sup> SBPPs همبستگی منفی دارد. دقت GSMaP وابستگی ضعیف‌تری به توپوگرافی نسبت به IMERG در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. توپوگرافی پیچیده بر عملکرد SBPP، به ویژه در مناطق کوهستانی تاثیر می‌گذارد. ریورا<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۸) نیز، در مقاله‌ای به اعتبارسنجی مجموعه داده‌های بارش CHIRPS در امتداد آند مرکزی آرژانتین در یک ناحیه نیمه خشک با توپوگرافی پیچیده و مشاهدات پراکنده زمینی در یک دوره ۳۰ ساله و در مقیاس فصلی و سالانه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که CHIRPS برای ایستگاه‌های واقع در نواحی دارای حداکثر بارندگی در تابستان نتایج مطلوبی نشان داده و در نیمه سرد سال CHIRPS مجموع بارندگی فصلی را بیشتر برآورد کرده است. برآورد دقیق بارش منطقه‌ای برای تحلیل‌های گوناگون هیدرولوژیکی و اقلیمی بسیار حائز اهمیت است؛ اما چالش‌های زیادی در برآورد دقیق این مؤلفه به دلیل وجود محدودیت‌های اندازه‌گیری بارش واقعی، وجود دارد. از این‌رو، استفاده از محصولات ماهواره‌ای که مشکل عدم پیوستگی مکانی و زمانی ندارند، راهکاری مطلوب است؛ با این حال به علت عدم قطعیت در برآورد بارش، ارزیابی و بررسی دقت این محصولات قبل از استفاده ضروری است. از این‌رو، در تحقیق حاضر، به ارزیابی محصولات بارش ۳ ماهواره CHIRPS، MERRA و TRMM در مقیاس ماهانه در سطح کشور ایران پرداخته شده است. بررسی پیشینه پژوهش نشان‌دهنده آن است که تاکنون پژوهشی که به صورت توأمان اثر دما و ارتفاع را بر صحت محصولات بارشی ماهواره‌های TRMM، MERRA و CHIRPS در سطح کشور ایران بررسی کند، وجود نداشته است و مطالعات قبلی، عمدتاً به صورت ناحیه‌ای و منطقه‌ای انجام شده است. دستاوردهای این پژوهش می‌تواند برای کاربردهای آب و هواشناسی مانند پیش‌بینی سیل و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی منابع آب در سطحی وسیع مفید باشد.

### ۳. مواد و روش‌ها

در این بخش، منطقه مورد مطالعه و داده‌های به کار رفته را معرفی کرده و شیوه تطبیق و ارزیابی داده‌ها تشریح می‌گردد.

#### ۱-۲- منطقه مورد مطالعه

کشور ایران با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع در نیمه جنوبی منطقه معتدل شمالی بین ۲۵/۰۳ تا ۳۹/۴۷ درجه عرض شمالی و ۴۴/۱۴ تا ۶۳/۲ درجه طول شرقی قرار دارد و تغییرات ارتفاعی آن، بین ۲۵ متر زیر سطح دریا در مناطق شمالی و ۵۶۰۰ متر در کوه‌های البرز است (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۵؛ رحیمی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). از نظر جغرافیایی، قسمت‌های جنوبی آن در نواحی گرمسیری و بیشتر قسمت‌های شمالی آن در نواحی نیمه گرمسیری واقع است (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۶). متوسط بارندگی سالانه آن ۲۵۰ میلی‌متر محاسبه شده است که کمتر از  $\frac{1}{3}$  متوسط بارش جهانی است (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۵)، اما بارش دریافتی مناطق کویری از ۵۰ میلی‌متر هم کمتر است. این درحالیست که

<sup>۱</sup> Satellite-based precipitation products

<sup>۲</sup> Rivera

<sup>۳</sup> Rahimi

در برخی نقاط کرانه‌های غربی خزر بارش سالانه نزدیک به ۱۸۰۰ میلی‌متر است. از آنجا که ۶۰ درصد مساحت کشور کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر بارش دریافت می‌کند و در مقابل تنها ۴ درصد سطح کشور بیش از ۶۰۰ میلی‌متر بارش دارد، توزیع نابرابر بارش‌ها بر روی کشور کاملاً مشهود است (نوذربور و همکاران، ۱۴۰۱). وضعیت توپوگرافی ایران بسیار متنوع است، بطوریکه شامل دو کوه مرتفع و دو کویر بزرگ (کویر لوت و مرکزی) است و همین مسئله موجب شده است که مناطق مختلف ایران دارای اقلیم‌های متفاوتی باشند. تفاوت توپوگرافی و اقلیمی بخش‌های مختلف ایران موجب تغییر الگو و میزان بارش در سطح آن شده است (عزیزیان و امینی، ۱۳۹۹). برای انجام پژوهش حاضر، داده‌های بارش ۲۲۲ ایستگاه سینوپتیک از کل ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در سطح کشور، به عنوان داده‌های مرجع انتخاب شد.

## 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 موجود در سطح کشور ایران انتخاب شد؛ مبنای انتخاب ایستگاه‌ها در این تحقیق، لزوم وجود داده‌های ماهانه برای همه ماهها در طی بازه زمانی ژانویه ۲۰۰۵ تا دسامبر ۲۰۱۹ است که از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شده‌اند. در شکل ۱ توزیع مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب مورد استفاده در این تحقیق آورده شده است.

شکل ۱. توزیع مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب کشور مورد استفاده در این تحقیق

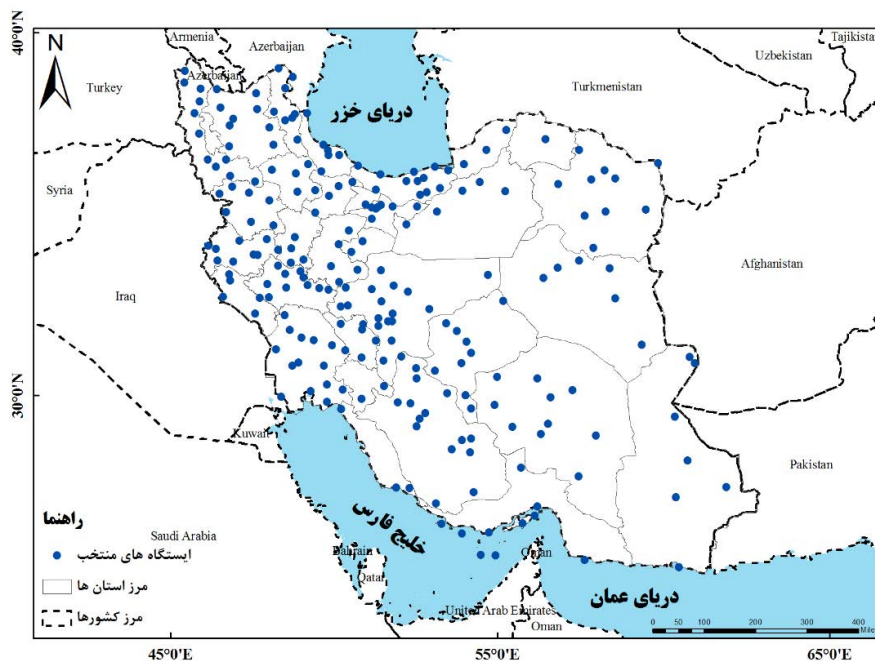


Figure 1. The spatial arrangement of chosen synoptic observation stations across the territory of Iran



## ۲-۲-۲- محصولات بارش ماهواره‌ای

مشخصات کلی ماهواره‌های بارش منتخب در جدول ۱ آورده شده است که در ادامه به تفصیل، هر مورد شرح داده خواهد شد.

جدول ۱. مشخصات کلی محصولات ماهواره‌ای منتخب

(محمودی بابلان و همکاران، ۱۴۰۱ و Logah et al., 2021)

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

**Table 1.** General specifications of satellite precipitation products (Mahmoudi Babolan et al., 2022; Logah et al., 2021)

## ۲-۲-۲-۱- ماهواره CHIRPS

CHIRPS<sup>۱</sup> یک پایگاه داده شبه جهانی (۵۰ درجه شمالی تا ۵۰ درجه جنوبی) است که برای نظارت بر خشکسالی و تغییرات اقلیمی و نیز در تجزیه و تحلیل روند بلندمدت استفاده می‌شود (گرچی زاده و همکاران، ۱۳۹۸ و احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). طول دوره آماری آن از سال ۱۹۸۱ تا کنون است (Funk et al., 2015). تخمین میزان بارش آن، بر مبنای داده‌های طولانی مدت ثبت شده بارش و بر اساس مشاهدات مادون قرمز ابر است؛ به طوریکه این پایگاه داده، داده‌های بارش ثبت شده توسط ایستگاه‌های هواشناسی زمینی و محصولات بارش تخمینی ماهواره‌ای مبتنی بر TIR<sup>۲</sup> - ماهواره شبکه جهانی اداره ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده آمریکا (NOAA<sup>۳</sup>) از سال ۱۹۸۱-۲۰۰۸ و مجموعه داده NOAA CPC<sup>۴</sup> از سال ۲۰۰۰ تاکنون (Goshime et al., 2020) - و داده‌های گروه مخاطرات اقلیمی اقلیم‌شناسی بارش (CHPCLIM<sup>۵</sup>) - 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 را تلفیق کرده و یک پایگاه داده بارش شبکه‌بندی شده به صورت سری زمانی ارائه می‌دهد (Dinku et al., 2018). این ماهواره شامل سری داده بارش ماهانه آب و هواشناسی (CHPCLIM) است که از بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی FAO<sup>۶</sup> و GHCN<sup>۷</sup> تهیه شده‌اند. (Duan et al., 2016).

<sup>1</sup> Climate Hazards group Infrared Precipitation with Station data

<sup>2</sup> Thermal Infrared

<sup>3</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration

<sup>4</sup> Climate Prediction Centre

<sup>5</sup> The Climate Hazards Center's Precipitation Climatology

<sup>6</sup> Food And Agriculture Organization Of The United Nations

<sup>7</sup> Global Historical Climatology Network

### ۲-۲-۲-۲- ماهواره TRMM

ماهواره<sup>۱</sup> TRMM (ماموریت اندازه‌گیری باران مناطق حاره‌ای) در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ (رسول‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱) با همکاری سازمان فضایی و هوانوردی ملی ایالات متحده آمریکا (NASA<sup>۲</sup>) و آژانس اکتشافات هوافضای ژاپن (JAXA<sup>۳</sup>) (محمودی‌بابلان و همکاران، ۱۴۰۱)، در یک مدار تقریباً دایره‌ای با ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری از سطح زمین (رسول‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱)، با زاویه میل ۳۵ درجه نسبت به مدار استوا و با دوره گردش زمانی ۹۱٫۵ دقیقه به فضا پرتاب شد (رستم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ پریداد و فریدحسینی، ۱۳۹۵). از آنجایی که بخش عمده‌ای از بارش زمین در مناطق استوایی روی می‌دهد، به همین جهت، اولین ماهواره هواشناسی اختصاص داده شده برای اندازه‌گیری کمی بارش در مناطق حاره‌ای و نیمه حاره‌ای با هدف بهبود تخمین بارش در این مناطق است (رسول‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱؛ عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۵) که این امر از طریق سنجنده‌های میکروویو، مادون قرمز و مرئی صورت می‌پذیرد (نوذریور و همکاران، ۱۴۰۱). برآوردهای محصول TRMM تا انتهای سال ۲۰۱۹ در دسترس است (رسول‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱).

### ۲-۲-۲-۳- ماهواره MERRA

اولین تحلیل مجدد بلندمدت جهانی، نسخه ۲ ماهواره<sup>۴</sup> MERRA (MERRA-2) است که بصورت پروژه‌ای توسط دفتر مدل‌سازی و جذب جهانی ناسا (GMAO<sup>۵</sup>) ارائه شده است. MERRA-2 از مدل‌های عددی پیشرفته و طرح‌های شبیه‌سازی برای ترکیب مشاهدات ایستگاه‌های متعدد استفاده می‌کند. یکی از مهمترین هدف‌های پایگاه MERRA قرار دادن مشاهدات ماهواره‌های مختلف NASA در یک بستر اقلیمی و ارائه آن به صورت شبکه‌بندی شده برای کل جهان است. MERRA-2 برای جایگزینی مجموعه داده اصلی MERRA معرفی شد، چرا که MERRA-2 به دلیل پیشرفت در سیستم همسان‌سازی، برتری قابل توجهی نسبت به نسل قبلی خود دارد؛ به همین جهت، داده‌های دقیق‌تر و جامع‌تری را برای تحقیقات و کاربردها ارائه می‌دهد (رئیس‌پور و خسروی، ۱۴۰۰). این مدل، انواع مختلف محصولات مناسب را برای کاربردهای تحلیل‌های بلندمدت جوی، آب و هوایی و اقلیمی در مقیاس جهانی تهیه می‌کند (مبارک حسن و همکاران، ۱۳۹۹). نام محصول ماهانه ماهواره MERRA-2، M2TMNXFLX است.

### ۲-۲-۳-۲- داده‌های ارتفاع و دما

با توجه به اهداف پژوهش، از داده‌های ارتفاعی و دمایی مربوط به حوضه مورد مطالعه به عنوان عوامل تاثیرگذار در پدیده بارش (عساکره و همکاران، ۱۴۰۰؛ نقوی و همکاران، ۱۴۰۰؛ محمدی و لشکری، ۱۳۹۷؛ پورعلی و مساح‌بوانی، ۱۳۹۲؛ جعفرپور، ۱۳۸۱ و Chen et al., 2011) استفاده شده است. داده‌های دما و ارتفاع مربوط به هر ایستگاه

<sup>1</sup> Tropical Rainfall Measuring Mission

<sup>2</sup> Natinal Aeronautics and Space Administration

<sup>3</sup> Japanese Aerospace Exploration Agency

<sup>4</sup> The Modern – Era Retrospective Analysis for Research and Applications

<sup>5</sup> Global Modeling and Assimilation Office

سینوپتیک از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شد.

## ۲-۳- شاخص‌های ارزیابی پایگاه داده‌های بارش و داده‌های مشاهداتی

در جدول ۲ شاخص‌های آماری و جدولی مهم مورد استفاده در پژوهش جهت اعتبارسنجی و صحت‌سنجی محصولات ماهواره‌ای آورده شده است.

جدول ۲. شاخص‌های آماری و جدولی مورد استفاده در پژوهش

(رسول‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱؛ Mekonnen et al., 2023؛ Zhang et al., 2022؛ Bayable et al.,

2021)

	روش	فرمول	دامنه	مقدار بهینه
شاخص آماری	Root Mean Square Error	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{N}}$	[0,+∞]	۰
شاخص جدولی	Critical Success Index	$CSI = \frac{Hits}{Hits + False\ alarms + Misses}$	[0,1]	۱

**Table 2.** Statistical methodologies and tabular indices employed within the scope of this investigation (Rasoulzadeh et al., 2023; Mekonnen et al., 2023; Zhang et al., 2022; Bayable et al., 2021)

در جدول (۲)، شاخص آماری  $RMSE$  (جذر میانگین مربعات خطا) بر اساس مقدار بارش برآوردی تعیین می‌شود؛ در این شاخص،  $S_i$  میزان بارش برآورد شده توسط ماهواره‌ها،  $O_i$  میزان بارش واقعی ایستگاه‌های زمینی و  $N$  تعداد داده‌های بارش است.  $RMSE$  واریانس خطای مدل را در پیش‌بینی مقادیر واقعی نشان می‌دهد و بین بازه ۰ تا بی‌نهایت متغیر است. مقدار کم این شاخص نشانگر تفاوت کم بین داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده است. شاخص  $CSI$  (آستانه موفقیت) احتمال پیش‌بینی درست روزهای بارانی و غیر بارانی (وقوع بارش) را بیان می‌کند که شاخص‌های قطعی استفاده شده برای مقایسه بارش ماهانه با استفاده از جدول توافقی  $2 \times 2$  قابل محاسبه است (جدول ۳).

جدول ۳. جدول طبقه‌بندی بررسی وقوع یا عدم وقوع بارش

(رسول‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱؛ عزیزیان و امینی، ۱۳۹۹؛ Mekonnen et al., 2023؛ Ghaedamini et al., 2021)

		مشاهدات (ایستگاه)		
		بله	خیر	Total
تخمین (ماهواره)	بله	Hits (a)	False Alarms(b)	a+b
	خیر	Misses(c)	Correct Negative(d)	c+d
Total		a+c	b+d	Total

**Table 3.** Contingency table  $2 \times 2$

(Mekonnen et al., 2023; Rasoulzadeh et al., 2023; Ghaedamini et al., 2021; Azizian & Amini., 2020)

## فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

در جدول (۳)، *Hits* تعداد دفعاتی است که پدیده اتفاق افتاده و وقوع آن نیز، برآورد شده است. *False alarms* تعداد دفعاتی که پدیده رخ نداده ولی وقوع آن برآورد شده باشد. *Misses* تعداد دفعاتی که پدیده اتفاق افتاده ولی وقوع آن برآورد نشده باشد. *Correct Negative* تعداد دفعاتی که پدیده رخ نداده و وقوع آن نیز برآورد نشده باشد.

## ۲-۴- روش تحقیق

در این مطالعه، داده‌های ۲۲۲ ایستگاه سینوپتیک کشور ایران، از ژانویه ۲۰۰۵ تا دسامبر ۲۰۱۹، در مقیاس زمانی ماهانه 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 شدند؛ در ادامه داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک زمینی به صورت یکپارچه در کنار هم قرار گرفتند و در نهایت، به اعتبارسنجی داده‌های تخمینی و مشاهده‌ای، جهت بدست آوردن میزان خطای پیش‌بینی محصولات از شاخص آماری RMSE و صحت‌سنجی و بررسی میزان موفقیت محصولات از شاخص مطابقت CSI استفاده شد؛ سپس، به بررسی اثر دما و ارتفاع بر محصولات ماهواره‌ای بارش پرداخته شد. شکل ۲ نشان‌دهنده روند کلی این تحقیق است.

شکل ۲- نمودار جریان‌ی روش تحقیق



Figure 2. Research Flowchart

## فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

## ۳. نتایج

## ۳-۱- اعتبارسنجی و صحت‌سنجی محصولات بارش ماهواره‌ای

جدول (۴) نتایج اعتبارسنجی و صحت‌سنجی محصولات بارش ماهواره‌های CHIRPS، TRMM و MERRA را در مقابل داده‌های مشاهداتی در سطح کشور با استفاده از شاخص‌های ارزیابی نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول (۴)، TRMM با RMSE معادل ۲۳/۸۴ میلی‌متر نسبت به سایر ماهواره‌ها عملکرد خوبی از خود نشان داده است. محصول ماهواره MERRA با RMSE معادل ۳۰/۵۷ میلی‌متر در مقایسه با محصول TRMM عملکرد ضعیف و نسبت به محصول CHIRPS عملکرد بهتری از خود نشان داده است و از این لحاظ در رتبه دوم قرار دارد. محصول ماهواره CHIRPS نیز تقریباً عملکرد ضعیفتری نسبت به محصولات دو ماهواره دیگر نشان می‌دهد.

با توجه به شاخص CSI جدول ۴، محصول بارش ماهواره‌ی MERRA با  $CSI=0/864$  بهترین عملکرد را نسبت به محصولات دو ماهواره دیگر داشته است و این یعنی محصول بارش ماهواره MERRA در تشخیص روزهای بارانی و غیربارانی دارای عملکرد بهتری نسبت به محصولات بارش دو ماهواره دیگر داشته است و تعداد روزهای غیربارانی بیان شده در محصول بارش این ماهواره و ایستگاه دارای تطابق خوبی است. محصول بارش ماهواره CHIRPS با  $CSI=0/776$  کمترین صحت را نسبت به محصولات دو ماهواره دیگر دارد که در واقع، بیانگر شباهت رضایت بخش مقادیر برآوردی هر سه محصول ماهواره‌ای بارش با مقادیر ثبت شده در ایستگاه‌های همدیدی است.

جدول ۴. نتایج اعتبارسنجی و صحت‌سنجی محصولات ماهواره‌ای

	RMSE	CSI
CHIRPS	۳۵	۰/۷۷۶
TRMM	۲۳/۸۴	۰/۷۹۷
MERRA	۳۰/۵۷	۰/۸۶۴

Table 4. Validation outcomes of satellite-derived products

شکل (۳) به مقایسه محصولات بارش ماهواره CHIRPS با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های منتخب در سطح کشور با استفاده از شاخص‌های ارزیابی پرداخته است. طبق مقادیر شاخص RMSE، مقادیر بالای خطا بیشتر در امتداد رشته کوه‌های زاگرس و البرز دیده می‌شود به طوریکه، بیشترین مقدار خطا در نواحی شمالی کشور مشاهده می‌شود؛ همچنین، مقادیر پایین خطا، بیشتر در نواحی مرکزی و نیمه شرقی کشور و به صورت پراکنده در غرب و جنوب غربی کشور دیده می‌شود که کمترین آن عمدتاً در نواحی مرکزی کشور است. طبق شاخص CSI محصول این ماهواره در نواحی شمال، شمال‌غرب، شمال‌شرق و به صورت پراکنده در امتداد رشته کوه‌های زاگرس، بهتر عمل کرده اما در بخش‌های میانی کشور عملکرد متوسط و عملکرد نه چندان مطلوبی در قسمت‌های جنوبی کشور بخصوص حاشیه خلیج فارس و دریای عمان داشته است و این بدان معنی است که محصول این ماهواره در ایستگاه‌های واقع در نواحی بیان شده به خوبی نتوانسته روزهای بارانی و غیر بارانی را از هم تفکیک کند؛ به طور کلی، از شمال به جنوب و غرب به شرق مقدار CSI کاهش یافته است.

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

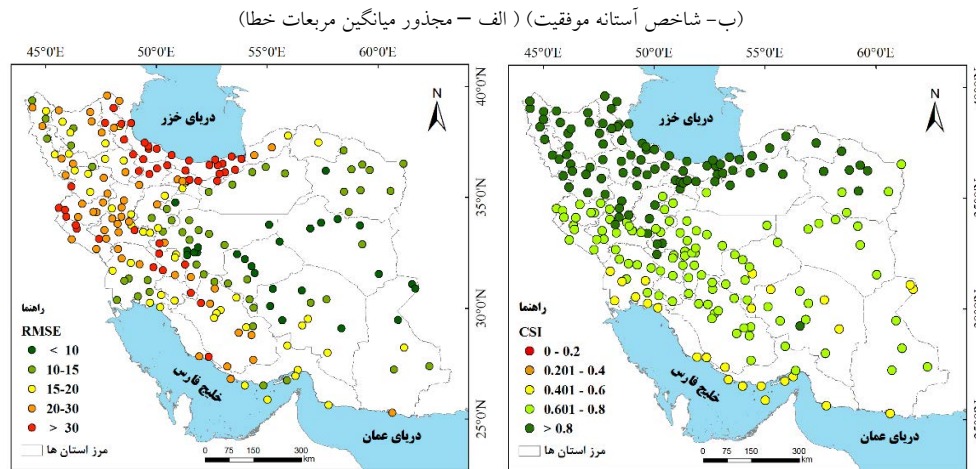


Figure 3. Assessment of the CHIRPS satellite-derived precipitation datasets utilizing evaluative metrics

شکل (۴) به مقایسه محصولات بارش ماهواره TRMM با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های منتخب در سطح کشور با استفاده از شاخص‌های آماری پرداخته است. طبق مقادیر شاخص RMSE، خطاهای بالا بیشتر در امتداد رشته کوه‌های زاگرس و البرز دیده می‌شود به طوریکه، بیشترین مقدار خطا در نواحی شمالی کشور بخصوص، نواحی حاشیه دریای خزر و به صورت پراکنده در نواحی غربی کشور وجود دارد؛ همچنین، خطاهای پایین، بیشتر در نواحی مرکزی و نیمه شرقی کشور و به صورت پراکنده در غرب و جنوب غربی کشور دیده می‌شود که کمترین آن عمدتاً در نواحی مرکزی، شرق و شمال شرقی کشور است. طبق شاخص CSI محصول ماهواره TRMM تقریباً در تمامی نواحی کشور (به غیر از برخی نواحی جنوب و جنوب شرقی و چند مورد از شمال غربی کشور) در تشخیص روزهای بارانی و غیر بارانی مطلوب عمل کرده است و مقدار CSI در آن ایستگاه‌ها بین ۱ تا ۰/۶ بوده ولی در کل، مقدار CSI به کمتر از ۰/۴ نرسیده است.

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

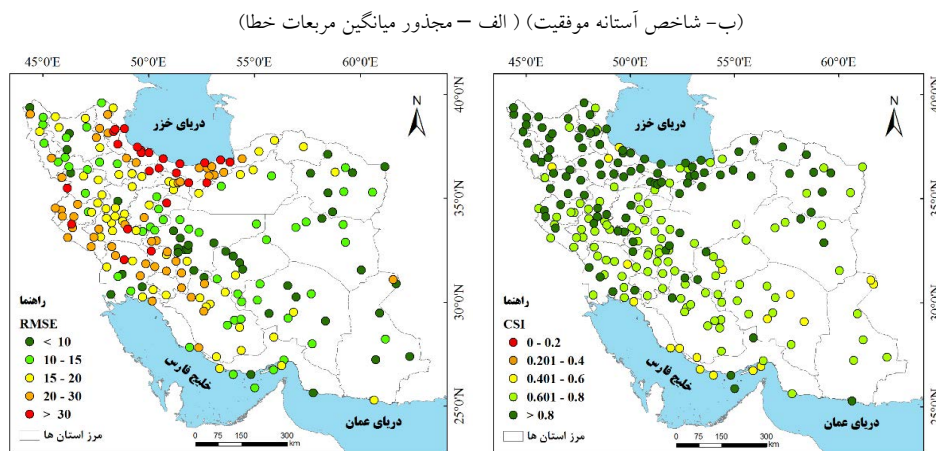


Figure 4. Evaluation of the efficacy of TRMM satellite precipitation products through the application of assessment metrics

شکل (۵) به مقایسه محصولات بارش ماهواره MERRA با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های منتخب در سطح کشور با استفاده از شاخص‌های آماری پرداخته است. طبق مقادیر شاخص RMSE، خطاهای بالا بیشتر در امتداد رشته کوه‌های زاگرس و البرز و به صورت پراکنده در نواحی شمال شرقی کشور دیده می‌شود به طوریکه، بیشترین مقدار خطا در نواحی شمالی و قسمتی‌هایی از مناطق غربی کشور وجود دارد؛ همچنین، خطاهای پایین، بیشتر در نواحی مرکزی و نیمه شرقی کشور و امتداد رشته کوه‌های زاگرس دیده می‌شود که کمترین آن عمدتاً در نواحی مرکزی و شرقی کشور است. طبق شاخص CSI محصول ماهواره MERRA، تقریباً در تمامی ایستگاه‌های سطح کشور (به غیر از برخی نواحی جنوب و جنوب شرقی و چند مورد از شمال غربی کشور) عملکرد خوبی داشته و در اکثر ایستگاه‌ها مقدار این شاخص بیش از ۰/۸ است؛ هر چند در برخی نواحی (جنوبی و چند نقطه شمال غربی) به صورت پراکنده مقدار این شاخص به ۰/۴ تا ۰/۸ هم رسیده است. در کل داده‌های MERRA بر اساس شاخص تشخیصی CSI دارای عملکرد بهتری نسبت به دیگر ماهواره‌ها در تشخیص روزهای بارانی و غیربارانی تقریباً در تمام ایستگاه‌ها است.

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

(الف - مجذور میانگین مربعات خطا) (ب- شاخص آستانه موفقیت)

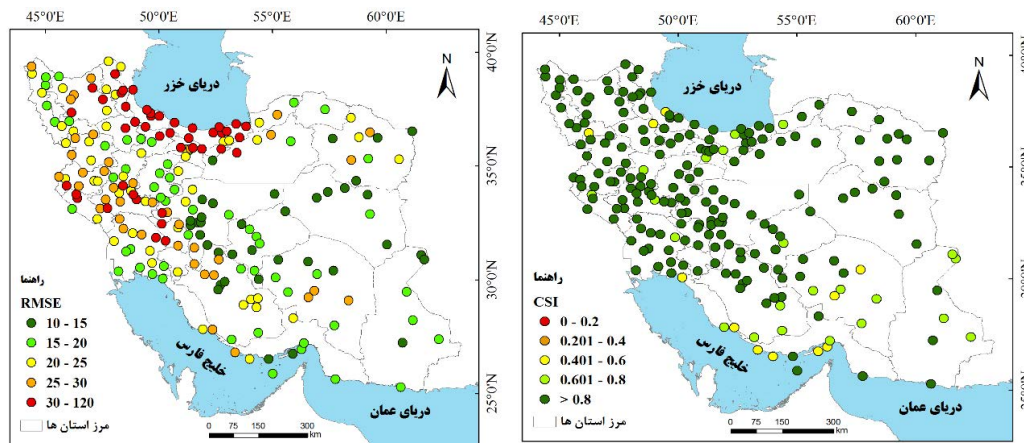


Figure 5. Evaluation of the efficacy of MERRA satellite-derived precipitation products utilizing assessment metrics

### ۳-۲- بررسی اثر دما و ارتفاع بر محصولات ماهواره‌ای بارش

برای اینکه بهتر بتوان تأثیر دما و ارتفاع را بر عملکرد هر کدام از منابع بارشی مورد ارزیابی قرار داد، نقشه دما و ارتفاع ایران به ۶ دسته دمایی و ارتفاعی مختلف تقسیم گردید (Viet et al., 2013؛ Meybeck و Demirkesen et al., 2008؛ et al., 2001) و مشخصات آماری برای هر دسته و محصول بارشی محاسبه شد.

### ۳-۲-۱- بررسی اثر ارتفاع بر محصولات ماهواره‌ای بارش

جدول (۵) مقادیر میانگین مربعات خطا محصولات ماهواره‌ای بارش را در برابر طبقات ارتفاعی مختلف نشان می‌دهد. مقادیر RMSE بدست آمده نشان می‌دهد که در تمامی طبقات ارتفاعی به غیر از طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰ متر به بالا، ماهواره TRMM نسبت به هر دو ماهواره دیگر عملکرد خوبی داشته است، هر چند که در ارتفاع ۲۰۰۰ متر به بالا با اختلاف

### فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا

بسیار جزئی (با ۰,۵۳ متر اختلاف) ماهواره MERRA بهتر عمل کرده است، اما با در نظر گرفتن این اختلاف کم، در کل، می‌توان گفت که ماهواره TRMM بهترین عملکرد را نسبت به دو ماهواره دیگر داشته است. در ارتفاعات کمتر از ۱۰۰ متر و ۱۵۰۰ متر به بالا، ماهواره MERRA بهتر از CHIRPS عمل کرده است، اما در طبقات ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ متر ماهواره CHIRPS بهتر از MERRA عمل کرده است.

جدول (۵). مقادیر میانگین مربعات خطا (RMSE) ماهواره‌ها در طبقات ارتفاعی مختلف

ردیف	نام ماهواره طبقات ارتفاعی (متر)	MERRA	CHIRPS	TRMM	تعداد ایستگاه در
					هر طبقه ارتفاعی
۱	کمتر از ۱۰۰	۴۱/۳	۵۴/۱۴	۳۶/۴۳	۳۶
۲	۱۰۰-۵۰۰	۲۳/۴۲	۲۲/۱۷	۲۰/۱۱	۱۶
۳	۵۰۰-۱۰۰۰	۲۹/۵۲	۲۷/۱۶	۲۰/۷۴	۲۴
۴	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۲۷/۰۷	۲۲/۴۳	۱۸/۸۴	۶۷
۵	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۲۹/۷۶	۳۷/۶۲	۱۹/۶۳	۶۰
۶	۲۰۰۰ به بالا	۲۷/۲۴	۳۴/۲۵	۲۷/۷۷	۱۹

Table 5. RMSE values of satellite products in different elevation classes

شکل (۶) نمودار مقادیر میانگین مربعات خطای ماهواره‌ها را در طبقات ارتفاعی مختلف نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که ماهواره TRMM در تمامی طبقات ارتفاعی عملکرد بهتری نسبت به دو ماهواره دیگر داشته است. تنها در طبقه ارتفاعی بالاتر از ۲۰۰۰ متر است که در آن ماهواره MERRA به صورت بسیار جزئی بهتر از TRMM عمل کرده است. در ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر و بیشتر از ۱۵۰۰ متر، ماهواره MERRA عملکرد خوبی نسبت به ماهواره CHIRPS داشته است، اما در ارتفاعات ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متر ماهواره CHIRPS بهتر عمل کرده است و برآورد بهتری از بارش واقعی ارائه داده است. همچنین، با توجه به فواصل متفاوت منحنی‌های این شکل نسبت به هم می‌توان گفت که در قسمت‌هایی که نمودارها نزدیک به هم هستند، عملکرد ماهواره‌ها شبیه و نزدیک به هم بوده و در قسمت‌هایی که نمودارها دور از هم هستند، عملکرد ماهواره‌ها متفاوت و با اختلاف زیادی نسبت به هم بوده است؛ برای مثال، در ارتفاع ۱۰۰ تا ۵۰۰ متری، هر سه ماهواره عملکرد نزدیک به یکدیگر دارند، اما در ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متری، اختلاف عملکردهای ماهواره‌ها زیاد است.

شکل ۶. نمودار مقادیر میانگین مربعات خطای ماهواره‌ها در طبقات ارتفاعی مختلف

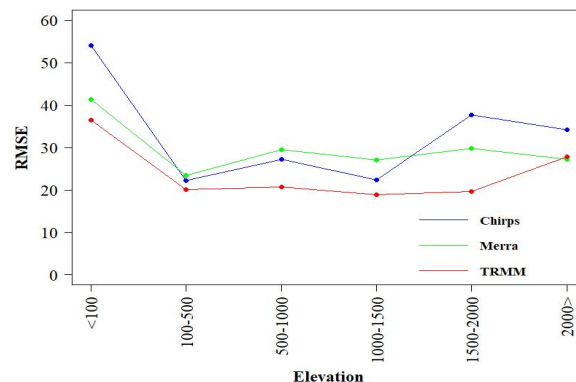


Figure 6. The diagram of RMSE values of satellite products in different elevation classes



## ۳-۲-۲- بررسی اثر دما بر محصولات ماهواره‌ای بارش

جدول (۶) مقادیر میانگین مربعات خطا محصولات ماهواره‌ای بارش را در برابر طبقات دمایی مختلف نشان می‌دهد. مقادیر RMSE بدست آمده نشان می‌دهد که ماهواره TRMM در تمامی طبقات دمایی، بهتر از دو ماهواره دیگر عمل کرده است. در دماهای زیر ۱۸ درجه سانتی گراد، ماهواره MERRA بهتر از ماهواره CHIRPS عمل کرده و مقدار RMSE کمتری نسبت به ماهواره CHIRPS داشته است، اما در دماهای بالاتر از ۱۸ درجه سانتی گراد، ماهواره CHIRPS عملکرد بهتری نسبت به ماهواره MERRA داشته است.

جدول ۶. مقادیر میانگین مربعات خطا (RMSE) ماهواره‌ها در طبقات دمایی مختلف

تعداد ایستگاه در هر طبقه دمایی	TRMM	CHIRPS	MERRA	نام ماهواره / طبقات دمایی (°C)	ردیف
۲۷	۳۰/۹۵	۵۱/۸۴	۳۷/۸۲	زیر ۱۲	۱
۴۵	۱۹/۶۲	۳۰/۰۳	۲۸/۵۱	۱۲-۱۵	۲
۵۹	۳۰/۵۳	۴۵/۷۱	۳۸/۱۹	۱۵-۱۸	۳
۴۰	۱۷/۶۸	۲۰/۲۶	۲۲/۳۵	۱۸-۲۱	۴
۱۵	۱۷/۹۹	۱۹/۸۳	۲۶/۷۵	۲۱-۲۴	۵
۳۶	۱۷/۱۶	۱۹/۲	۲۰/۳۷	۲۴ به بالا	۶

Table 6. RMSE values of satellite products in different temperature classes

شکل (۷) نمودار مقادیر میانگین مربعات خطای ماهواره‌ها را در طبقات دمایی مختلف نشان می‌دهد. همانطور که از شکل (۷) هم مشخص است، عملکرد محصول بارش ماهواره TRMM نسبت به محصولات دو ماهواره دیگر بهتر است. نمودارهای مربوط به محصولات CHIRPS و MERRA نیز نشان می‌دهند که در دماهای بالا محصول CHIRPS عملکرد بهتری نسبت به محصول MERRA داشته، در حالیکه در دماهای پایین (کمتر از ۲۱ درجه سانتی گراد) محصول MERRA عملکرد بهتری داشته است. همچنین، در دمای ۱۸ تا ۲۱ درجه سانتی گراد، هر سه ماهواره عملکرد مشابهی دارند، اما در دماهای کمتر از ۱۲ سانتی گراد، اختلاف عملکردهای ماهواره‌ها زیاد است.

شکل ۷. نمودار مقادیر میانگین مربعات خطای ماهواره‌ها در طبقات دمایی مختلف

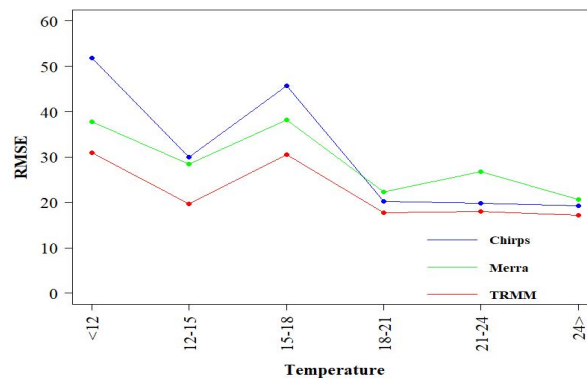


Figure 7. The diagram of RMSE values of satellite products in different temperature classes

## ۴. بحث

نتایج بدست آمده در این پژوهش با تحقیقات صورت گرفته در بخش‌های مختلف جهان از تطابق خوبی برخوردار است، به عنوان مثال نظافت و همکاران (۱۴۰۰) در تحقیقی که به ارزیابی عملکرد محصولات شبکه‌بندی بارش ماهواره‌های PCDR و CHIRPS با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک واقع در ایران پرداختند، به این نتیجه رسیدند که تخمین بارش ماهانه مجموعه داده PCDR عملکرد بهتری نسبت به CHIRPS داشته است. همچنین، ارتفاع به عنوان عامل موثر در عملکرد داده‌های شبکه‌ای بارش است به طوری که هر دو مجموعه داده در مناطق مرتفع کوهپای زاگرس و مناطق شمالی رشته کوه البرز قدرت کمتری در برآورد و تشخیص بارش دارد. عزیزیان و امینی (۱۳۹۹) به بررسی تاثیر شرایط اقلیمی و توپوگرافی سطح زمین بر عملکرد محصولات بارشی خانواده PERSIANN با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک واقع در سطح ایران پرداختند و با بررسی تاثیر ارتفاع بر عملکرد محصولات بارشی خانواده PERSIANN نشان دادند که در مناطق مرتفع (مناطق با ارتفاع ۶۰۰ تا ۲۶۰۰ متر) و کم ارتفاع (کمتر از ۶۰۰ متر)، بارش ماهواره‌ای و داده‌های زمینی به ترتیب از همبستگی بالا و پایینی برخوردار هستند. شاهبایی کوتنایی و عساکره (۱۳۹۸) با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های همدیدی، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی شمالغرب ایران تلاش کردند که ویژگی‌ها و روابط عوامل مکانی در تغییرات و پراکنش مکانی بارش را مورد تحلیل قرار دهند و به این نتیجه رسیدند که طی ماه اکتبر به دلیل ضعیف بودن بادهای غربی در منطقه، میزان واریانس فضایی بارش‌ها کم بوده و عوامل مکانی نقش مهمی در تغییرات بارش ایفا می‌کنند. در ماه نوامبر ضمن تقویت سامانه‌های بارش‌زا در منطقه، نقش عوامل مکانی در تغییرپذیری بارش‌ها به اوج خود می‌رسد اما در ماه دسامبر به دلیل قدرت سامانه‌های بارشی و تغذیه رطوبتی مناسب، از نقش عوامل مکانی در بارش‌های منطقه کاسته شده و تغییرپذیری بارش‌ها بیشتر با عوامل جوی مرتبط است. موسوی دهقانی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی محصولات بارشی ماهواره‌های TRMM-CCS، PERSIANN-CCS، CMOROH و 3B42RT V7 در مقیاس‌های زمانی ساعتی، روزانه، ماهانه و سالانه در ۵۲ ایستگاه سینوپتیک در سراسر ایران طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۲۳ پرداختند و عملکرد آنها را در اقلیم‌ها و ارتفاعات مختلف بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که CMOROH بالاترین دقت را در مقایسه با ایستگاه‌های سینوپتیک دارد، درحالی‌که ماهواره‌های TRMM و CMORPH بارش را دست کم گرفتند و همبستگی محاسبه شده برای PERSIANN به طور کلی با افزایش ارتفاع افزایش یافت. حداکثر همبستگی برای ماهواره TRMM در ارتفاعات ۱۵۰۰-۲۱۰۰ متر برای مقیاس‌های زمانی ساعتی و روزانه و همچنین در ارتفاعات کم ۲۴ تا ۲۰۰ متر برای مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه محاسبه شد. به طور کلی، ارزیابی محصولات بارش TRMM نشان داد که این همبستگی به طور چشمگیری تغییر نکرده است. حداکثر همبستگی برای محصولات بارش CMORPH برای ارتفاعات ۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر در مقیاس زمانی ساعتی و روزانه و در ارتفاعات کم ۲۴ تا ۵۰۰ متر برای مقیاس زمانی ماهانه و سالانه به دست آمد. همچنین، آنها نشان دادند که PERSIANN حداکثر RMSE را در ارتفاعات بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر دارد. حداقل RMSE برای این ماهواره در ارتفاعات بالا (۱۵۰۰-۲۱۰۰ متر) در مقیاس زمانی سالانه محاسبه شد. حداکثر RMSE برای TRMM و

<sup>1</sup> Mousavi Dehghani

CMORPH در ارتفاعات بین ۲۴-۱۰۰۰ متر برای مقیاس‌های زمانی ساعتی محاسبه شدند. نتایج همچنین نشان داد که PERSIANN-CCS بارش را بیش از حد تخمین زده است، در حالیکه TRMM و CMORPH میزان بارش را دست کم گرفتند. TRMM و CMORPH را می‌توان در ارتفاعات بالای ۱۰۰۰ متر و PERSIANN می‌تواند در ارتفاعات ۵۰۰-۱۰۰۰ متر استفاده شود. تمامی ماهواره‌های بارشی بهترین عملکرد را در ایران در مقیاس ماهانه و سالانه دارند. هر سه ماهواره عملکرد قابل قبولی در غرب و جنوب‌غربی ایران در نزدیکی خط ساحلی خلیج فارس و در امتداد نشان دادند. ماهواره TRMM بارش را در مقیاس‌های زمانی مختلف به خوبی تخمین زده است، در حالیکه عملکرد ضعیفی را در تشخیص وقوع بارش نشان داد. حبوشیان<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که با TRMM-3B42V7، CMORPH و Hydro-Estimator (HYDRO) میزان بارش در دامنه‌های نیمه گرمسیری رشته کوه‌های آند و مقادیر خطا در طول زمستان کاهش می‌یابد. یو و آن<sup>۲</sup> (۲۰۲۳)، بیان کردند که انتظار می‌رود شدت و فراوانی شدید بارش‌های کوتاه مدت، تحت شرایط گرم شدن آب و هوا افزایش یابد و با گرم شدن آب و هوا، احتمالاً افزایش بیشتری خواهد یافت و پیش‌بینی می‌شود که از یک الگوی رشدنمایی پیروی کند. شدت بارندگی شدید، می‌تواند تحت تأثیر تغییرات دمای جوی باشد. هوای گرمتر در مقایسه با هوای سردتر ظرفیت بیشتری برای نگهداری بخار آب دارد که منجر به افزایش دسترسی به آب در هنگام بارش می‌شود. در نتیجه، دماهای بالاتر به افزایش پتانسیل برای بارش شدیدی کمک می‌کند. همچنین، عنوان کردند که رابطه بین بارش شدید و دما به طور مداوم با همدیگر مطابقت و همسویی ندارد و در مناطق مختلف، نتایج متفاوتی بدست می‌آید، به طوری که در برخی مناطق کاهش شدت بارندگی با افزایش دما رخ می‌دهد. این انحرافات مختلف، به عوامل مختلفی از جمله انتخاب متغیر دما، تغییرات در رژیم‌های آب و هوایی، انواع طوفان و تأثیر فصلی نسبت داده می‌شود؛ بنابراین، سطح منطقه‌ای نقش مهمی در شکل‌دهی رفتار کلی این تعامل ایفا می‌کند، زیرا تنوع مکانی و زمانی بر الگوها و نتایج متنوع، در رابطه بین دمای جو و بارش شدید تأثیر می‌گذارد. حسینی مغاری<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۲) عنوان کردند که انتظار می‌رود شدت بارش با افزایش دما افزایش یابد، آنها بیان کردند که حساسیت بارش به دما (که با ضریب  $SF^4$  محاسبه می‌شود) در بسیاری از مناطق مانند استرالیا، فرانسه، لهستان، هند، بریتانیا و آمریکا تحلیل شده است؛ وقتی دمای سطحی ( $SAT^5$ ) کم و متوسط باشد، یک ساختار اوج در رابطه بارش و دما وجود دارد، اما در دمای سطحی زیاد، این رابطه کاهش می‌یابد، که البته در چین رابطه قوی‌تری بین بارش شدید و دمای نقطه شبنم ( $DPT^6$ ) نسبت به دمای سطحی یافت می‌شود. جائو<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۲۰) عنوان کردند که رابطه جهانی بین بارش شدید روزانه و میانگین دمای روزانه وجود دارد و دریافتند که بارش روزانه شدید به طور یکنواخت با گرم شدن میانگین روزانه دمای جو در عرض‌های جغرافیایی بالا، افزایش یافته و برای عرض‌های جغرافیایی پایین، کاهش می‌یابد. آنها همچنین اوج‌هایی را در منحنی‌های رابطه بین بارش شدید

<sup>1</sup> Hobushian

<sup>2</sup> Yoo & Ahn

<sup>3</sup> Hosseini-Moghari

<sup>4</sup> Scaling Factor

<sup>5</sup> Surface Air Temperature

<sup>6</sup> Dew Point Temperature

<sup>7</sup> Gao

روزانه و میانگین دمای روزانه در عرض‌های جغرافیایی متوسط یافتند، به این معنی که بارش شدید روزانه با گرم شدن در دماهای پایین افزایش می‌یابد و در دماهای بالا معکوس می‌شود. یافته‌های آنها توسط بسیاری از مطالعات دیگر انجام شده در سراسر جهان تأیید شد (Zhang et al., 2017؛ Chan et al., 2016 و Maeda et al., 2012). بر اساس مشاهدات جهانی مبتنی بر ایستگاه، علی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که فصلی بودن دما تأثیر قابل توجهی بر ارتباط بین بارش شدید و دمای هوای نزدیک به سطح و همچنین بین بارش شدید و دمای نقطه شبنم دارد. برگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۹) دریافتند که بارش شدید روزانه با گرم شدن در زمستان افزایش می‌یابد، اما در دمای بالا در تابستان در اروپا کاهش می‌یابد. هرس و ساروکالایج<sup>۳</sup> (۲۰۱۸)، بیان کردند که دمای اتمسفر یکی از متغیرهای غالب اقلیمی است که رابطه قوی با رویدادهای شدید بارندگی دارد. نتایج مطالعات آنها نشان می‌دهد که وابستگی بارندگی شدید به دما نیز با دوره تحلیل متفاوت است. علاوه بر این، این وابستگی یک روند افزایشی را برای بارندگی کوتاه مدت شدیدتر و یک روند کاهشی را برای رویدادهای متوسط بارش طولانی مدت در اکثر ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. طبق مطالعات آنها، مقبولیت عمومی این است که افزایش دما باعث وقوع رویدادهای بارشی با شدت بالا در بسیاری از نقاط جهان می‌شود؛ با این حال، این فرضیه نامشخص باقی می‌ماند و به معنای تأثیر یکسان بر تمام مناطق جهان نیست. کون<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی ماهواره‌های TRMM-3B42، TRMM-3B42RT، CMORPH، GSMaP1 در چین، پرداختند و گزارش کردند که مدل TRMM-3B42 برآوردهای دقیق‌تری دارد. معظمی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۶) محصولات بارشی TRMM-3B42، PERSIANN، CMORPH را در سراسر ایران ارزیابی کردند و نشان دادند که TRMM-3B42 بیشترین همبستگی را با بارش زمینی دارد. مصفا<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۲۰) توانایی محصولات مختلف مبتنی بر ماهواره TRMM 3B42-V7، SM2RAIN-CCI، PERSIANN-CDR، PERSIANN، CMORPH، CHIRPS، PERSIANN-CCS و TRMM 3B42-RT برای تخمین بارش پست و تقریباً لحظه‌ای در حوضه رودخانه کرخه، ایران را ارزیابی کردند، نتایج نشان داد که PERSIANN-CDR و PERSIANN-CCS برآوردهای بهتری را نشان دادند. تانگ<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی محصولات بارشی مبتنی بر ماهواره‌های GPM (IMERG) و GSMaP در مناطقی با توپوگرافی پیچیده در کوهستان‌های جنوب غربی چین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رابطه بین توپوگرافی و بارش یک رابطه خطی ساده در مناطق کوهستانی نیست و تنوع ارتفاع با دقت محصولات ماهواره‌ای بارش همبستگی منفی دارد و توپوگرافی پیچیده بر عملکرد SBPP ها، به ویژه در مناطق با توپوگرافی پیچیده در مناطق کوهستانی تأثیر می‌گذارد. کیخسروی کیانی<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای که به منظور ارزیابی محصولات ماهواره‌ای بر روی کشور ایران انجام دادند به نتایج مشابهی دست یافتند و نشان دادند که TRMM در مقایسه با CHIRPS

<sup>1</sup> Ali

<sup>2</sup> Berg

<sup>3</sup> Herath & Sarukkalige

<sup>4</sup> Qin

<sup>5</sup> Moazami

<sup>6</sup> Mosaffa

<sup>7</sup> Tang

<sup>8</sup> Keikhosravi-kiany

عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. ریورا و همکاران نیز، با استفاده از مجموعه داده‌های بارش CHIRPS در امتداد آند مرکزی به این نتیجه رسیدند که CHIRPS برای ایستگاه‌های واقع در نواحی دارای حداکثر بارندگی در تابستان نتایج مطلوبی نشان داده و در نیمه سرد سال CHIRPS مجموع بارندگی فصلی را بیشتر برآورد کرده است. نتایج مطالعات پورعلی و مساح بوانی (۱۳۹۲)، چن<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که تغییرات دما همبستگی معکوس با تغییرات بارش دارد، به طوری که با افزایش دما، مقدار بارش کاهش می‌یابد و بنابراین بررسی اثرات این پدیده بر بارش بسیار ضروری است. عساکره و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که تنوع عوامل مکانی (نظیر ویژگی‌های توپوگرافیک از جمله ارتفاع) موجبات تنوع مکانی عناصر اقلیمی از جمله بارش را فراهم کرده است. نقوی و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که رابطه معنادار و همبستگی شدیدی بین بارش با شاخص‌های توپوگرافی منطقه وجود دارد. جعفرپور (۱۳۸۱)، معتقد است که با افزایش ارتفاع به دلیل کاهش دما و رسیدن آن به نقطه شبنم میزان بارش افزایش می‌یابد. همچنین، طبق تحقیقات محمدی و لشکری (۱۳۹۷)، رابطه معنی‌داری با بارش و مناطق با ارتفاع بالا وجود دارد. به طور کلی، نتایج حاصل از ارزیابی محصولات بارش TRMM نسبت به داده‌های ایستگاهی، بیانگر صحت و اعتبار بسیار بالای داده‌های برآوردی این محصول برای پهنه ایران است. همچنین، مقادیر بالای شاخص CSI با مقدار بیش از ۰/۷۵ بیانگر شباهت بسیار زیاد مقادیر تخمینی ماهواره‌ها با مقادیر مشاهده‌ای ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک است. طبق شاخص CSI محصولات ماهواره CHIRPS، با اختلاف جزئی، ضعیف‌ترین عملکرد را نسبت به محصولات دو ماهواره دیگر داشته است. نتیجه حاصل از این مقاله در تضاد با نتیجه برآمده از مقاله نظافت و همکاران (۱۴۰۰) است که بیان کرده بودند که داده‌های CHIRPS نسبت به ماهواره‌ی PCDR بر اساس شاخص تشخیصی CSI دارای عملکرد بهتر در تشخیص روزهای بارانی و غیر بارانی تقریباً در تمام ایستگاه‌ها است. در نهایت، بر اساس نتایج این تحقیق، می‌توان گفت که در مجموع، محصولات ماهواره TRMM از عملکرد مناسبی در تمامی ارزیابی‌ها برخوردار است.

## ۵. نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، ضمن معرفی محصولات بارش ماهواره‌های CHIRPS، MERRA و TRMM و ارزیابی عملکرد این محصولات بارشی در ۲۲۲ ایستگاه هم‌دید کشور طی دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۹ و در مقیاس زمانی ماهانه با استفاده از روش‌های ارزیابی RMSE و CSI پرداخته شد و سپس، اثر دما و ارتفاع بر این محصولات بررسی گردید. نتایج اعتبارسنجی طبق شاخص آماری RMSE، بیانگر آن است که صحت داده‌های بارش ماهانه TRMM در سطح کشور، مطلوب ارزیابی شده و نسبت به دو ماهواره دیگر برتری داشته است. همچنین، نتایج نشان داد که ماهواره CHIRPS ضعیف‌ترین عملکرد را داشته است؛ نتایج صحت‌سنجی نیز، طبق شاخص مطابقت CSI، بیانگر آن است که صحت داده‌های بارش ماهانه TRMM در سطح کشور، مطلوب ارزیابی شده است؛ همچنین، نتایج نشان داد که ماهواره CHIRPS ضعیف‌ترین عملکرد را داشته است.

<sup>1</sup> Chen

بررسی اثر دما و ارتفاع بر محصولات ماهواره‌ای بارش بیانگر آن است که ماهواره TRMM در تمامی طبقات دمائی و ارتفاعی بهتر از دو ماهواره دیگر عمل می‌کند؛ در ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر و بیشتر از ۱۵۰۰ متر و دماهای زیر ۱۸ درجه سانتی‌گراد، MERRA عملکرد خوبی نسبت به CHIRPS داشته و برآورد بهتری از بارش واقعی ارائه داده است. در نهایت، با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته، می‌توان از پایگاه داده TRMM به عنوان جایگزینی مناسب برای داده‌های مشاهداتی برای مناطق فاقد آمار، مناطق فاقد داده و همچنین موارد نیاز به داده‌های طولانی مدت استفاده کرد. با توجه به طول دوره آماری مناسب، صحت مکانی بسیار خوب و نیز، به روز بودن این داده‌ها می‌توان با اطمینان از این داده‌ها در کنار داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی زمینی جهت مطالعات مختلف آب و هواشناسی، آب‌شناسی و مطالعات محیطی در مناطق مختلف کشور استفاده کرد.

## منابع

- احمدی، م.، داداشی رودباری، ع.، و یرمجائی، آ. (۱۳۹۹). برآورد رواناب با استفاده از مدل IHACRES براساس داده‌های ماهواره‌ای CHIRPS و مدل‌های CMIP5 (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگانرود، منطقه آق قلا)، تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱ (۳)، ۶۵۹-۶۷۱. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2019.289144.668316>
- امیدوار، ک.، و ترکی، م. (۱۳۹۱). شناسایی الگوهای ریزش بارش‌های سنگین در استان چهارمحال و بختیاری، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۶، شماره ۴، ۱۳۵-۱۶۹.
- بی‌همتا، آ.، گهرنژاد، ح.، و معظمی، ص. (۱۳۹۷). بررسی داده‌های بارش ماهواره‌های TRMM و GPM در مقیاس‌های روزانه، ماهیانه و فصلی در شهر تهران، مجله سنجش از دور و GIS ایران، ۱۰ (۲)، ۴۵-۶۰.
- پریداد، پ.، و فریدحسینی، ع. (۱۳۹۵). استخراج مقادیر بارش توسط ادغام داده‌های TRMM (TMI) و MSG-SEVIRI TIR، اولین کنفرانس ملی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم زمین، ۱۸-۱۹ آبان، دانشگاه شیراز.
- پورعلی حسین، ش.، و مساح بوانی، ع. (۱۳۹۲). تحلیل مخاطره و ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان آذربایجان شرقی دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲، فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹ (۴)، ۱۹۱-۲۰۸. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2013.35989>
- تقی‌زاده، ا.، و احمدی گیوی، ف. (۱۳۹۷). ارزیابی محصولات بارش GPM و تصویربرداری رطوبت خاک با استفاده از داده‌های SMAP در شمال غرب ایران، ژئوفیزیک ایران، جلد ۱۲ (۳)، ۷۰-۸۶. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080336.1397.12.3.5.8>

- جعفرپور، ا. (۱۳۸۱). *اقلیم‌شناسی*، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- رستم‌زاده، ه.، رسولی، ع.، وظیفه‌دوست، م.، و ملکی، ن. (۱۳۹۸). مقایسه تطبیقی بارش بدست آمده از ماهواره‌های TRMM، GPM و رادار داپلر با داده‌های ایستگاه‌های زمینی (مطالعه موردی بارش فراگیر ۲۶ تا ۲۸ اکتبر ۲۰۱۵ در غرب ایران)، *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۰ (۳۸)، ۴۹-۶۱.
- رسول‌زاده، ع.، محمودی بابلان، س.، و نسترنی عموقین، س. (۱۴۰۱). ارزیابی مکانی - زمانی محصولات بارش ماهواره‌ای در مناطق شمال غرب ایران، *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۸)، ۱۲۶۰-۱۲۴۱. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.345392.669311>
- رسولی، ع.، عرفانیان، م.، ساری‌صراف، ب.، و جوان، خ. (۱۳۹۵). ارزیابی تطبیقی مقادیر بارندگی برآورد شده TRMM و بارش ثبت شده ایستگاه‌های زمینی در حوضه دریاچه ارومیه، *فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی*، ۱۶ (۵۴): ۱۹۵-۲۱۷.
- رئیس‌پور، ک.، و خسروی، ی. (۱۴۰۰). پایش بلند مدت غلظت آلاینده کربن سیاه (BC) در ایران با استفاده از داده‌های مدل مبنای NASA/MERRA-2، *علوم محیطی*، دوره نوزدهم، شماره ۳، ۹۹-۱۲۲. <https://doi.org/10.52547/envs.2021.33941>
- شاهبایی کوتنایی، ع.، و عساکره، ح. (۱۳۹۸). تحلیل ویژگی‌های مکانی بارش‌های پاییزه شمال غرب ایران، *فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی*، ۱۹ (۶۵): ۲۴۷ - ۲۶۷.
- عرفانیان، م.، کاظم پور، س.، و حیدری، ح. (۱۳۹۵). واسنجی داده‌های باران سری B42۳ و B43۳ ماهواره TRMM در زون‌های اقلیمی ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۸ (۲)، ۲۸۷-۳۰۳.
- عزیزیان، ا.، و امینی، س. (۱۳۹۹). تأثیر شرایط اقلیمی و توپوگرافی سطح زمین بر عملکرد داده‌های بارشی خانواده PERSIANN در سطح ایران، *تحقیقات منابع آب*، ۱۶ (۱)، ۸۶-۱۰۱. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1399.16.1.7.1>
- عزیزیان، ا.، و رمضان‌اعتدالی، ه. (۱۳۹۸). پایش زمانی و مکانی داده‌های بازتحلیل شده ECMWF و منابع بارشی مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور، *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۵ (۱)، ۱۶۳-۱۷۷. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.1.12.9>.
- عساکره، ح.، مسعودیان، ا.، و ترکارانی، ف. (۱۴۰۰). تغییرپذیری نقش عوامل مکانی موثر بر بارش در ارتباط با تحولات دهه‌ای بارش سالانه ایران زمین، *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۳۲ (۳)، ۱۴۶-۱۲۹. <https://doi.org/10.22108/gep.2021.127032.1395>
- علیزاده، ا.، کمالی، غ.، موسوی، ف.، و موسوی بایگی، م. (۱۳۸۶). *هوا و اقلیم‌شناسی*، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- فرج‌زاده‌اصل، م.، و فیضی، و. (۱۳۸۹). آشکارسازی تغییرهای زمانی - مکانی عناصر دما و بارش در ایران، *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، دوره ۱۶، شماره ۴، ۴۹-۶۶.

- گرجی زاده، ع.، آخوندعلی، ع.، شهبازی، ع.، و مریدی، ع. (۱۳۹۸). مقایسه و ارزیابی بارش برآورد شده توسط مدل‌های PERSIAN-CDR.ERA-Interim و CHIRPS در بالادست سد مارون، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵ (۱)، ۲۶۷-۲۷۹.  
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.1.20.7>
- مبارک‌حسن، ا.، رنجبر سعادت‌آبادی، ع.، و فتاحی، ا. (۱۳۹۹). بررسی گرد و خاک در گستره ایران توسط مدل باز تحلیل MERRA-2 / NASA (دوره آماری ۲۰۰۷-۲۰۱۳). تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱ (۹)، ۲۲۰۳-۲۲۰۹.  
<https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.298505.668518>
- محمدی، ز.، و لشکری، ح. (۱۳۹۷). نقش توپوگرافی در تشدید بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران، مطالعه موردی: روز ۳ دسامبر ۲۰۱۵، جغرافیای طبیعی، ۱۱ (۴۰): ۱۷-۳۳.
- محمودی بابلان، س.، نسترنی عموقین، س.، و رسول‌زاده، ع. (۱۴۰۱). ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای جهت برآورد رخدادهای بارشی سنگین در نوار ساحلی دریای خزر، مدل‌سازی و مدیریت منابع آب و خاک، دوره ۲ (۴)، ۱۰۷-۱۲۲.  
<https://doi.org/10.22108/gep.2021.127032.1395>
- میری، م.، رحیمی، م.، و نوروزی، ع. (۱۳۹۸). ارزیابی دقت برآورد بارش روزانه پایگاه داده‌های TRMM و GPM در مقابل داده‌های مشاهده‌ای در ایران، نشریه علمی - پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱ (۴)، ۹۷۲ - ۹۸۳.  
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.121397.1469>
- نظافت، آ.، مریدی، ع.، گرجی‌زاده، ع.، و یوسفی، ح. (۱۴۰۰). ارزیابی عملکرد محصولات شبکه‌بندی بارش با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و توپوگرافی در ایران، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۷ (۲)، ۸۱-۶۲.  
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1400.17.2.5.8>
- نقوی، م.، علیجانی، ب.، اکبری، م.، و فتاحی، ا. (۱۴۰۰). ارتباط بین شاخص‌های توپوگرافی با بارش‌های فراگیر منطقه کوهستانی البرز، انجمن جغرافیایی ایران، سال ۱۹ (۶۸)، ۵۱-۶۷.
- نوذرپور، ن.، محجوبی، ع.، و گلپان، س. (۱۴۰۱). ارزیابی عملکرد محصولات بارش ماهانه TRMM 3B43 V7 و PERSIANN-CDR در نواحی اقلیمی مختلف ایران، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۸ (۱)، ۲۲۷-۲۴۲.  
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1401.18.1.14.2>  
[https://www.sepehr.org/article\\_38617\\_0d704e1eb68ffd59b77c36e5c79482df.pdf](https://www.sepehr.org/article_38617_0d704e1eb68ffd59b77c36e5c79482df.pdf)
- Ali, H., Fowler, H. J., & Mishra, V. (2018). Global observational evidence of strong linkage between dew point temperature and precipitation extremes. *Geophysical Research Letters*, 45(22), 12-320.
- Ahmadi, M., Dadashi Roudbari, A., & Deyrmajai, A. (2020). Runoff Estimation Using IHACRES Model Based on CHIRPS Satellite Data and CMIP5 Models (Case Study: Gorganroud Basin – Aq Qala Area), *Soil and Water Research*, 51(3): 659-671. (In Persian)



- Alizadeh, A., Kamali, G., Mousavi Bayeghi, M. (2007). Weather and climatology, *Publications of Ferdowsi Mashhad University*. (In Persian)
- Asakereh, H., Masoodian, A., Tarkarani, F. (2021). Variation in the Spatial Factors Affecting Precipitation in Relation to the Decadal Changes of Annual Precipitation in Iran, *Geography and Environmental Planning*, 32(3):129-146. (In Persian)
- Azizian, A., Amini, S. (2020). The Effect of Climate and Topographic Conditions on the Performance of PERSIANN Family Products over Iran, *Water Resources Research*, 16(1): 86-101. (In Persian)
- Azizian, A., Ramezani Etedali, H. (2019). Spatiotemporal Assessment of Reanalysis and Remotely Precipitation Datasets, *Iran-Water Resources Research*, 15(1): 163-177. (In Persian)
- 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*, 10:1-21.
- Berg, P., Haerter, J. O., Thejll, P., Piani, C., Hagemann, S., & Christensen, J. H. (2009). Seasonal characteristics of the relationship between daily precipitation intensity and surface temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114 (D18).
- Bihamta, A., Goharnejad, H., Moazami, S. (2018). Study of Precipitation Data of GPM and TRMM Satellites in Daily, Monthly and Seasonal Scales at Tehran, *Remote Sensing and GIS*, 10 (2): 45-60. (In Persian)
- Chan, S. C., Kendon, E. J., Roberts, N. M., Fowler, H. J., & Blenkinsop, S. (2016). Downturn in scaling of UK extreme rainfall with temperature for future hottest days. *Nature Geoscience*, 9(1), 24-28.
- Chen, W., Jiang, Z. and Li, L. (2011). Probabilistic projections of climate change over China under the SRES A1B scenario using 28 AOGCMs, *Climate*, 24(17), 4741-4756.
- Mousavi Dehghani, A. M., Gohari, A., Zareian, M. J., & Haghighi, A. T. (2023). A comprehensive evaluation of the satellite precipitation products across Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 46, 101360.
- Demirkesen, A., Evrendilek, F and Berberoglu, S. (2008). Quantifying coastal inundation vulnerability of Turkey to sea-level rise, *Environ Monit Assess*, 138:101–106, DOI 10.1007/s10661-007-9746-7.
- 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.
- 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): 287-303. (In Persian)
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Huska, G., Rowland, J., Harrison, L. and Hoell, A. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations – a new environmental record for monitoring extremes, *Scientific Data*, 2150066.
- Gao, X., Guo, M., Yang, Z., Zhu, Q., Xu, Z., & Gao, K. (2020). Temperature dependence of extreme precipitation over mainland China. *Journal of Hydrology*, 583, 124595.

- 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*, 146:1207-1225.
- Gorjizadeh, A., Akhondali, A., Shahbazi, A., Moridi, A. (2019). Comparison and Evaluation of Precipitation estimated by ERA-Interim, PERSIAN-CDR and CHIRPS, *Iran Water Resources Research*, 15 (1): 267-279. (In Persian)
- Goshime, D.W., Absi, R., Haile, A.T., Ledesert, B. and Rientjes, T. (2020). Bias - Corrected CHIRPS Satellite Rainfall for Water Level, *Journal of Hydrologic Engineering*, 25 (9), 05020024.
- Herath, S. M., & Sarukkalige, R. (2018). Evaluation of empirical relationships between extreme rainfall and daily maximum temperature in Australia. *Journal of hydrology*, 556, 1171-1181.
- Hoboushian, M. P., Salio, P., Skabar, Y. G., Vila, D., & Garreaud, R. (2017). Assessment of satellite precipitation estimates over the slopes of the subtropical Andes. *Atmospheric Research*, 190, 43-54.
- Hosseini-Moghari, S. M., Sun, S., Tang, Q., & Groisman, P. Y. (2022). Scaling of precipitation extremes with temperature in China's mainland: Evaluation of satellite precipitation data. *Journal of Hydrology*, 606, 127391.
- Jafarpour, A. (2002). *Climatology, Publications of Tehran University*, Tehran. (In Persian)
- 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: 2039-2064.
- 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*, 8:119-137.
- Maeda, E. E., Utsumi, N., & Oki, T. (2012). Decreasing precipitation extremes at higher temperatures in tropical regions. *Natural Hazards*, 64, 935-941.
- Mahmoudi Babolan, S., Nastarani Amoghini, 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), 107-122. (In Persian)
- 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*, 49:101514.
- Meybeck, M., Green, P and Vörösmarty, C. (2001). A New Typology for Mountains and Other Relief Classes, *Mountain Research and Development*, 21(1): 34-45.
- Miri, M., Rahimi, M., Noroozi, A. (2020). Evaluation and comparison of GPM and TRMM daily precipitation with observed precipitation across Iran, *Watershed Engineering and Management*, 11(4): 972-983. (In Persian)
- Moazami, S., Golian, S., Hong, Y., Sheng, C., Kavianpour, M.R. (2016). Comprehensive evaluation of four high-resolution satellite precipitation products under diverse climate conditions in Iran. *Hydrol. Sci. J.* 61, 420-440. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.987675>.

- Mobarak Hassan, E., Saadatabadi, A., Fattahi, E. (2020). Dust Investigation by MERRA-2 / NASA Model in Iran: (during 2007-2017), *Soil and Water Research*, 51(9): 2203-2219. (In Persian)
- Mohammadi, Z., Lashkari, H. (2018). The Role of Topography in Intensification of Precipitations in the south and South-west of Iran (Case Study:3 December 2015), *Physical Geography*, 11(40): 17-33. (In Persian)
- Mosaffa, H., Shirvani, A., Khalili, D., Nguyen, P., Sorooshian, S. (2020). Post and near real-time satellite precipitation products skill over Karkheh River Basin in Iran. *Int. J. Remote Sens.* 41, 6484–6502. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1739352>.
- Mousavi Dehghani, A. M., Gohari, A., Zareian, M. J., & Haghighi, A. T. (2023). A comprehensive evaluation of the satellite precipitation products across Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 46, 101360.
- Naghavi, M., Alijani, B., Akbari, M and Fattahi, A. (2022). Correlation between topographical indicators and widespread rainfall in Alborz mountainous region, *Iranian Geographical Association*, 19(68): 51-67. (In Persian)
- Nezafat, A., Moridi, A., Gorjizadeh, A., Yousefi, H. (2021). Evaluating the Performance of Precipitation Products Taking into Account the Climatic and Topographic Conditions across, *Iran Water Resources Research*, 17(2):62-81. (In Persian)
- 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): 227-242. (In Persian)
- Omonge. P, Schulz.K, Olang.L and Hemnegger.M. (2021). Evaluation of satellite precipitation for water allocation studies in the Sio-Malaba -Malakisi River Basin of East Africa, *Journal of Hydrology Regional Studies*, 1:43.
- 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 system in earth sciences*, Shiraz, Iran. (In Persian)
- Pooralihosein, S., Massah Bavani, A. (2013). Risk analysis and assessment of impacts of climate change on temperature and precipitation of East Azerbaijan in 2013-2022, *Earth and Space Physics*, 39(4): 191-208. (In Persian)
- Qi. W, Zhang.C, Fu. G, Sweetapple.C and Zhou.H. (2016). Evaluation of global fine resolution precipitation products and their uncertainty quantification in ensemble discharge simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 920(12):903-920.
- Qin, Y., Chen, Z., Shen, Y., Zhang, S., Shi, R. (2014). Evaluation of satellite rainfall estimates over the Chinese Mainland. *Remote Sens* 6, 11649–11672. <https://doi.org/10.3390/rs61111649>.
- Rahimi.J, Ebrahimpour.M and Khalili.A. (2013). Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 112(3-4): 409-418.
- 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):99-122. (In Persian)
- Rasouli, A., Erfanian, M., Sari sarraf, B., Javan, k. (2016). Comparative evaluation of TRMM estimated rainfall and recorded rainfall of ground stations in Urmia Lake basin, *Geographic Space*, 16(54): 195-217. (In Persian)

- Rasoulzadeh, A., Mahmoudi Babolan, S., Nastarani Amoghin, S. (2023). Spatio-temporal Evaluation of Satellite Precipitation Products in Northwestern Iran, *Soil and Water Research*, 53(9): 1241-1260. (In Persian)
- Rivera, J., Marianetti, G., Hinrich, S. (2018). Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina, *Atmospheric Research*, 213: 437-449.
- Rostamzadeh, H., Rasouli, A., Vazifeh Doost, M., Maleki, N. (2020). Comparative comparisons of precipitation obtained from TRMM, GPM and Doppler radars with ground station data (Case Study of Surface Wave from October 26 to 28, 2015 in Western Iran), *Climate Research*, 10(38): 49-61. (In Persian)
- Shahbaee Kotenaee, A., Asakereh, H. (2019). Spatial analysis features of Autumn rainfall in North West, *Geographic Space*, 19(65): 247-267. (In Persian)
- Taghizadeh, E., Ahmadi-Givi, F. (2018). Evaluation of GPM precipitation products and mapping soil moisture using SMAP data in the northwest of Iran, *Geophysics*, 12(3): 70-86. (In Persian)
- Tang, X., Li, H., Qin, G., Huang, Y., & Qi, Y. (2023). Evaluation of satellite-based precipitation products over complex topography in mountainous Southwestern China. *Remote Sensing*, 15(2), 473.
- Viet, T., Van, T., Tin, D., Hieu, H., Dinh Tuan, N and Hung, N. (2013). Geoheritage values of the Dong Van Karst Plateau Geopark: A quantitative geomorphological and topographic analysis, *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 59: 13 – 17.
- Yoo, S., & Ahn, K. H. (2023). Understanding extreme precipitation scaling with temperature: insights from multi-spatiotemporal analysis in South Korea. *Environmental Research Letters*, 18(12), 124032.
- Zhang, X., Zwiers, F. W., Li, G., Wan, H., & Cannon, A. J. (2017). Complexity in estimating past and future extreme short-duration rainfall. *Nature Geoscience*, 10(4), 255-259.
- 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*, 265:105881.