

Original Article

Iranian Remote Sensing GIS
Journal of

Evaluation of Half-Hour GPM-GSMaP_G (V04) and One-Hour GPM-IMERG_F (V06) Satellite Precipitation Products in East Azarbaijan Province

Taghi Mahdavi*

Affiliation

Dep. of Civil Engineering,
Maragheh Branch, Islamic
Azad University, Maragheh,
Iran

ABSTRACT

Background and Purpose: Indirect measurement of precipitation through remote sensing is a practical way to achieve a comprehensive estimate of precipitation and to better understand the phenomenon of precipitation and its effective parameters in a wide spatial area with high spatial and temporal resolution. On the other hand, in satellite precipitation products, due to the use of different algorithms and correction methods by using ground rain gauge observations, there is a need to check the accuracy of these satellite precipitation products in different parts of the globe. Two satellite precipitation products with high and accurate temporal and spatial resolution in the new era are: 1-GPM-IMERGE precipitation product with a spatial resolution of 0.1 degrees and a temporal resolution of 0.5 hours, which is presented in three versions. 2- GPM-GSMaP rainfall product with a spatial resolution of 0.1 degrees and a time resolution of 1 hour, which this satellite rainfall product often provides in three versions. Most of the researches comparing the GSMaP and IMERGE products have compared these two products on a daily and larger time scale, and there are rare studies on an hourly scale. The purpose of this study is two research satellite precipitation products GPM-IMERG_F and GPM-GSMaP_G on a 6-hour scale (sub-daily) in East Azarbaijan province. Considering the lack of a dense rain gauge network in the region, along with the environmental disaster of drought in Lake Urmia, and the importance of rainfall information as a primary data in most water studies, it is necessary to move towards the use of satellite data to estimate rainfall in different areas; Therefore, it is necessary to evaluate the accuracy of these satellite precipitation products in the study area.

Materials and Methods: In this research, to evaluate the detection capability of satellite precipitation products, seven binary matching criteria including: probability of detection (POD), critical success index (CSI), false alarm ratio (FAR), Hick skill score index (HSS), bias frequency index (FBI), The correct ratio (PC) and the statistical index of true skill (TSS) and for the quantitative analysis of the accuracy of satellite precipitation products from six statistical indices including regression coefficient (R), root mean square error (RMSE), three bias indices (MBias, RBias, Bias) and the mean absolute error (MAE) index is used. Also, from the analysis of the Taylor diagram and the comparison of the spatial patterns of precipitation and the probability density curve of cumulative 6-hour precipitation and the performance of satellite precipitation products in terms of topography and altitude have been compared.

Results: Despite the more accurate spatial and temporal resolution of both precipitation products, they still present a significant bias in some stations. Based on the Taylor diagram analysis, in all stations, the point corresponding to the IMERG_F satellite was closer to the observed point, and as a result, the IMERG_F product is better than the GSMaP_G product. Although both products had relatively similar spatial patterns in terms of statistical and binary indices, the GPM-IMERG_F product had much better accuracy and detection capability than the GPM-GSMaP_G product, so that the GPM-IMERG_F product has a cumulative probability density curve very close to the ground synoptic stations in terms of topography and altitude.

Conclusion: GSMaP_G product has the best performance in the region. Compared to station observations, the IMERG_F product is underestimated, while the GSMaP_G product is overestimated. Compared to GSMaP_G, the IMERG_F product can better reproduce the 6-hour rainfall intensity PDF. In the region, the highest frequency of 6-hour rainfall occurs in the range of 0-0.1 mm and 5-10 mm in 6 hours, and the lowest frequency of rainfall occurs in the rainfall intensity of more than 20 mm in 6 hours. The IMERG_F product agrees well with the station observations in terms of frequency, when the rainfall intensity is greater than 1 mm in 6 hours. This study will be valuable to algorithm developers of these products as well as users of these products and can help in applications such as natural disaster risk reduction and hydrological modeling, especially in areas with a sparse rain gauge network.

Keywords: Satellite precipitation products, GPM-GSMaP_G (V04), GPM-IMERG_F (V06), Binary matching criter, Statistical indices.

Citation:

Mahdavi, T., Evaluation of Half-Hour GPM-GSMaP_G (V04) and One-Hour GPM-IMERG_F (V06) Satellite Precipitation Products in East Azarbaijan Province, Iran J Remote Sens GIS, 18(1): 79-96.

* Corresponding Author: taghi.mahdavi@iau-maragheh.ac.ir
DOI: <https://doi.org/10.48308/gisj.2025.237011.1232>

Received: 2024.09.25

Accepted: 2025.03.08





ارزیابی دو محصول بارش ماهواره‌ای نیم‌ساعته GPM-GSMAP_G (V04) و یک‌ساعته GPM-IMERG_F (V06) در استان آذربایجان شرقی

تقی مهدوی*

سمت

گروه عمران، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران

چکیده

سابقه و هدف: اندازه‌گیری غیرمستقیم بارش از طریق سنجش از دور، برای دستیابی به برآوردی جامع در مورد بارش و شناخت بهتر این پدیده و پارامترهای مؤثر در آن، در گستره مکانی وسیع با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا و دقیق، شیوه‌ای عملی است. از سویی، به دلیل به کارگیری الگوریتم‌ها و روش‌های تصحیح گوناگون با استفاده از مشاهدات باران‌سنج زمینی در محصولات بارشی ماهواره‌ای، باید دقت این محصولات در بخش‌های متفاوت کره زمین بررسی شود. دو محصول بارش ماهواره‌ای با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا و دقیق، در عصر جدید، عبارتند از: (۱) محصول بارشی GPM-IMERG با وضوح مکانی ۰/۱ درجه و وضوح زمانی ۰/۵ ساعت که در سه نسخه عرضه می‌شود؛ (۲) محصول بارشی GPM-GSMAP با وضوح مکانی ۰/۱ درجه و وضوح زمانی ۱ ساعت که این محصول هم اغلب در سه نسخه عرضه می‌شود. بیشتر تحقیقاتی که دو محصول GSMAP و IMERG را مقایسه کرده‌اند مقیاس زمانی روزانه و بزرگ‌تر را در نظر داشته‌اند و مطالعات اندکی هم در مقیاس ساعتی انجام شده است. هدف از این پژوهش بررسی دو محصول بارش ماهواره‌ای تحقیقاتی GPM-IMERG_F و GPM-GSMaP_G، در مقیاس شش‌ساعتی (کمتر از روزانه)، در استان آذربایجان شرقی است. با توجه به وجود داشتن شبکه باران‌سنجی متراکم در منطقه، همراه با فاجعه زیست‌محیطی بروز خشکی در دریاچه ارومیه و اهمیت اطلاعات بارش به‌منزله داده‌های اولیه در بیشتر مطالعات آبی، روی آوردن به استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد بارش در مناطق متفاوت، ضروری است؛ بنابراین باید دقت و صحت این محصولات بارشی ماهواره‌ای، در منطقه مورد مطالعه هم، ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، برای ارزیابی توانمندی تشخیص محصولات بارش ماهواره‌ای، از هفت معیار مطابقت دودویی استفاده شده است که عبارتند از مقدار احتمال تشخیص (POD)، شاخص موفقیت بحرانی (CSI)، مقدار نسبت هشدار اشتباه (FAR)، شاخص امتیاز مهارت هیک (HSS)، شاخص فرکانس انحراف (FBI)، نسبت صحیح (PC) و شاخص آماری مهارت واقعی (TSS). برای تحلیل کمی دقت محصولات بارشی ماهواره‌ای نیز این شش شاخص آماری به کار رفته است: ضریب رگرسیون (R)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، سه شاخص انحراف (Bias, RBias, MBias) و شاخص میانگین خطای مطلق (MAE). همچنین تحلیل دیاگرام تیلور، بررسی تغییرات مکانی بارش، ترسیم منحنی چگالی احتمال تجمعی بارش شش‌ساعته و بررسی عملکرد محصولات، در ارتفاعات گوناگون، انجام شده است.

نتایج: با وجود وضوح مکانی و زمانی دقیق‌تر هر دو محصول بارشی، این دو محصول هنوز هم سوگیری شایان توجهی را در برخی ایستگاه‌ها ارائه می‌دهند. براساس تحلیل دیاگرام تیلور در همه ایستگاه‌ها، نقطه مربوط به ماهواره IMERG_F به نقطه مشاهده شده نزدیک‌تر بود و در نتیجه، عملکرد محصول IMERG_F بهتر از محصول GSMaP_G است. اگرچه هر دو محصول الگوهای مکانی نسبتاً مشابهی، از نظر شاخص‌های آماری و دودویی داشتند، محصول GPM-IMERG_F دقت و توانایی تشخیص بسیار بهتری در قیاس با محصول GPM-GSMaP_G داشت؛ به طوری که محصول GPM-IMERG_F منحنی چگالی احتمالی تجمعی بسیار نزدیک به ایستگاه‌ها را از نظر شدت بارندگی، بازتولید کرد. عملکرد توپوگرافی و ارتفاعی هر دو محصول روند نسبتاً مشابهی دارد.

نتیجه‌گیری: محصول GSMaP_G بهترین عملکرد را در منطقه دارد. در مقایسه با مشاهدات ایستگاه‌ها، محصول IMERG_F کم‌تخمینی و از دیگر سو، محصول GSMaP_G بیش تخمینی دارد. محصول IMERG_F می‌تواند PDF شدت بارش شش‌ساعته را بهتر از محصول GSMaP_G بازتولید کند. در این منطقه، بیشترین فرکانس بارش شش‌ساعته در محدوده ۰-۰/۱ میلی‌متر و ۵-۱۰ میلی‌متر طی شش ساعت رخ می‌دهد و کمترین بارندگی، در شدت بارندگی بیش از ۲۰ میلی‌متر، طی شش ساعت ظاهر می‌شود. زمانی که شدت بارش بیشتر از ۱ میلی‌متر طی شش ساعت است، فرکانس محصول IMERG_F با مشاهدات ایستگاهی مطابقت دارد. این مطالعه برای کاربران و توسعه‌دهندگان الگوریتم این محصولات ارزشمند خواهد بود و می‌تواند در کاربردهایی مانند کاهش خطر بلایای طبیعی و مدل‌سازی هیدرولوژیکی، به‌ویژه در مناطقی با شبکه باران‌سنجی پراکنده، یاری‌گر باشد.

واژه‌های کلیدی: محصولات بارش ماهواره‌ای، GPM-IMERG_F (V06) GPM-GSMAP_G (V04)، معیارهای مطابقت دودویی، شاخص‌های آماری.

استناد:

مهدوی، ت. ارزیابی دو محصول بارش ماهواره‌ای نیم‌ساعته GPM-GSMAP_G (V04) و یک‌ساعته GPM-IMERG_F (V06) در استان آذربایجان شرقی، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵: ۷۹-۹۶.



۱- مقدمه

به‌دست‌آوردن داده‌های بارش دقیق با وضوح مکانی و زمانی مناسب، برای پیش‌بینی سیل، پایش خشک‌سالی و مدیریت ریسک یکی از چالش‌های مهم در جهان است (Zhou et al., 2020). اندازه‌گیری بارش و تخمین‌های آن، به‌منزله محرک اصلی چرخه هیدرولوژیکی، در مدیریت منابع آب و استراتژی سازگاری با تغییرات اقلیم نقش مهمی ایفا می‌کند (Liu et al., 2020). برآثر گرم‌شدن کره زمین و افزایش شدید بارش، اندازه‌گیری دقیق بارش برای درک تغییر و تنوع آن در مکان و زمان، بسیار اهمیت می‌یابد؛ بنابراین مجموعه داده‌های بارش شبکه‌ای با وضوح بالا به درک بهتر چرخه آب‌وهواشناسی کمک می‌کند (Biswas & Chandrasekar, 2018). روش متداول اندازه‌گیری بارش سنجش مستقیم آن از طریق ایستگاه‌های زمینی، به‌صورت نقطه‌ای است که مقدار بارش را در یک نقطه از محل اندازه‌گیری، به‌صورت دقیق نشان می‌دهد اما در سایر نقاط باید با روش‌های درون‌یابی، با استفاده از داده‌های نقطه‌ای ایستگاهی، تخمین زده شود و این کار سبب کاهش دقت اندازه‌گیری می‌شود. در نتیجه، برای افزایش دقت باید تعداد ایستگاه‌های زمینی را افزایش داد و این کار مشکلاتی از قبیل هزینه‌بر بودن و مستقر نبودن دستگاه‌های ثبت‌کننده در مناطق صعب‌العبور و روی آب دریاها را به همراه دارد (Turk & Miller, 2005).

اندازه‌گیری غیرمستقیم بارش به‌صورت جهانی، از طریق ماهواره‌ها، شیوه‌ای عملی برای دستیابی به برآوردی جامع درباره بارش در نقاط است. مزیت بررسی بارندگی، با استفاده از روش‌های سنجش از دور، شناخت بهتر پدیده بارش و پارامترهای مؤثر در آن در گستره مکانی وسیعی، با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا و دقیق است (Hou et al., 2014). دو محصول بارش ماهواره‌ای، با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا و دقیق، در عصر جدید عبارت‌اند از: (۱) محصول بارشی GPM-IMERGE با وضوح مکانی ۰/۱ درجه و وضوح زمانی ۰/۵ ساعت، که در سه نسخه «اجرای زودهنگام،

IMERG_E»، «اجرای دیرنگام، IMERG_L» و «اجرای نهایی، IMERG_F» عرضه می‌شود؛ (۲) محصول بارشی GPM-GSMAP با وضوح مکانی ۰/۱ درجه و وضوح زمانی یک ساعت، که در سه نسخه غالب (محصول تقریباً بی‌درنگ، GSMaP_N)، محصول بردار متحرک با فیلتر کالمن (GSMaP_M) و محصول استاندارد کالیبره‌شده با داده‌های بارشی ایستگاه‌های زمینی (GSMaP_G) عرضه می‌شود.

به‌دلیل به‌کارگیری الگوریتم‌های تخمین بارندگی متفاوت و روش‌های تصحیح گوناگون، با استفاده از مشاهدات باران‌سنج زمینی این محصولات بارشی، باید دقت این محصولات در بخش‌های متفاوت کره زمین بررسی شود (Sunilkumar et al., 2015). از سویی، تخمین بارش مبتنی بر مشاهدات ماهواره‌ای دارای عدم قطعیت‌های درخور توجهی است که از عوامل گوناگونی، از جمله شرایط جوی (بازتاب ابر، تابش حرارتی)، هندسه مدار، الگوریتم بازیابی و شرایط توپوگرافی، ناشی می‌شود (Carr et al., 2015; Vergara et al., 2014; Lakshmi, 2014; Hussain et al., 2018; Kim et al., 2016; Sunilkumar et al., 2015). بنابراین با توجه به اهمیت بالقوه داده‌های ماهواره‌ای در کاربردهای هیدرولوژیکی، تلاش‌های عمیق برای ارزیابی عدم قطعیت این داده‌ها ضروری است.

برخی از مطالعات (Huang et al., 2020; Kim et al., 2017; Gebregiorgis et al., 2018; Anjum et al., 2018; Tan & Duan, 2017; He et al., 2017; Beria et al., 2017; Anjum et al., 2019; Wang et al., 2019; Chen et al., 2018; Wei et al., 2018; Fang et al., 2019; Li et al., 2019; Tan & Santo, 2018; Xu et al., 2019; Yuan et al., 2017; Zhang et al., 2019) نشان داده‌اند که محصولات GPM برتر از محصولات در TMPA هستند. نتایج برخی تحقیقات نشان می‌دهد عوامل بسیاری، مانند توپوگرافی پیچیده منطقه (Derin & Yilmaz, 2014)، شدت بارندگی و فصل خشک و مرطوب (Anjum et al., 2018; Chen et al., 2013; Guo et al., 2015) در تخمین بارش ماهواره‌ای تأثیر می‌گذارد. بیشتر تحقیقات که دو محصول GSMAP و

در شناسایی بارش از دست‌رفته و بارش کاذب، عملکرد مطلوبی داشت. نپال^۵ و همکاران (۲۰۲۱) دو محصول (IMERG-V06) و GSMaP_G-V07 را در مقیاس روزانه مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که بین این دو، عملکرد محصول IMERG سازگارتر از محصول GSMaP بوده است. ارزیابی، براساس شاخص‌های بارش شدید، نشان داد محصول IMERG می‌تواند جایگزین مناسبی به‌منظور نظارت بر رخدادهای روزانه باشد. همچنین GSMaP را می‌توان گزینهٔ بهتری برای رخدادهای مبتنی بر مدت‌زمان، در منطقهٔ کوهستانی، در نظر گرفت. لو و یونگ^۶ (۲۰۱۸) عملکرد چهار محصول بارش ماهواره‌ای (IMERG-C، IMERG-UC، GSMaP-MVK، و GSMaP_G) را در فلات تبت ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، با استفاده از هر چهار محصول بارش ماهواره‌ای، می‌توان الگوهای مکانی بارش روی فلات تبت را ثبت کرد. دو محصول IMERG-C و GSMaP_G، از نظر ارزیابی آماری، با اندازه‌گیری‌های زمینی سازگارتر از دیگر محصولات ماهواره‌ای بودند. لی‌یو^۷ و همکاران (۲۰۲۰a) عملکرد سه محصول بارش ماهواره‌ای GSMaP، IMERG و CHIRPS را در جزیرهٔ بالی، در ارتفاعات و شدت بارندگی گوناگون و با مقیاس‌های زمانی روزانه، پنج‌روزه، ماهیانه و فصلی ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی آن‌ها نشان داد که محصولات IMERG بهترین عملکرد را در مقیاس‌های زمانی روزانه، پنج‌روزه و فصلی دارند؛ در حالی که CHIRPS، در مقیاس زمانی ماهیانه، بهتر از دو محصول دیگر بود. علاوه بر این، در تشخیص رویدادهای بارندگی در ارتفاعات متفاوت، IMERG کارآمدتر بود اما تخمین آن از رویدادهای بارندگی، در ارتفاعات، زیاد بود. GSMaP، IMERG و CHIRPS فرکانس رویدادهای بارندگی سبک (۱-۰ میلی‌متر در روز)

IMERGE را مقایسه کرده‌اند، مقیاس زمانی روزانه و بزرگ‌تر را در نظر گرفته‌اند و مطالعات اندکی نیز به مقیاس ساعتی پرداخته‌اند.

سالس^۱ و همکاران (۲۰۱۹) با ارزیابی سالیانه، ماهیانه و روزانهٔ محصولات بارش ماهواره‌ای TRMM (TMPA)، (IMERG V05) و GSMaP-v7 در فلات مرکزی برزیل، برای هر دو فصل مرطوب و خشک، به این نتیجه رسیدند که به‌طور کلی، IMERG بهترین نتایج سالیانه و ماهیانه را دارد. با این حال عملکرد GSMaP، برای گام زمانی روزانه، قدری بهتر است. هر دو تخمین IMERG و GSMaP تحت تأثیر فصلی قرار می‌گیرند و بیشترین مشکل، در تخمین بارش، طی فصل خشک رخ می‌دهد. شی^۲ و همکاران (۲۰۲۰) با مقایسهٔ چهار محصول IMERG (محصولات بارشی IMERG-E، IMERG-F، IMERG-L، و پنج محصول (محصولات GSMaP-MVK، GSMaP_G، GSMaP-NOW، Gauge-NRT، GSMaP-NRT، و GSMaP-NOW) در حوضهٔ رودخانهٔ زرد، به این نتیجه رسیدند که بین سه محصول IMERG، IMERG-F کمترین خطای سیستماتیک و بهترین کیفیت را دارد و در بین پنج محصول GSMaP، GSMaP-G، دارای بهترین عملکرد از نظر معیارهای آماری گوناگون است. تانگ^۳ و همکاران (۲۰۲۰) طی ارزیابی جامعی از نه محصول بارشی ماهواره‌ای، شامل TRMM 3B42، CMORPH، SM2RAIN، CHIRPS، GSMaP، PERSIANN-CDR، ERA5، ERA-Interim و MERRA2 در چین، نتیجه گرفتند که عملکرد IMERG از سایر مجموعهٔ محصولات بارشی، به جز GSMaP_G، بهتر است. پراکش^۴ و همکاران (۲۰۱۸)، با مقایسهٔ محصولات بارشی GSMaP-IMERG، در TMPA و GPM، دریافتند که محصول IMERG میانگین بارندگی موسمی و تغییرپذیری آن را واقعی‌تر از GSMaP_G نشان می‌دهد و در عین حال GSMaP_G خطای ریشهٔ میانگین مربع نسبتاً کمتری در قیاس با محصولات IMERG و TMPA، به‌ویژه در رژیم‌های کم‌بارش دارد. محصول IMERG نیز،

1. Salles
2. Shi
3. Tang
4. Prakash
5. Nepal
6. Lu & Yong
7. Liu

است. این استان محل اتصال دو رشته‌کوه مهم اصلی ایران، یعنی البرز و زاگرس، است و بلندترین نقطه آن قله کوه سهند است. در سی سال گذشته، دمای حداقل سردترین منطقه ۳۰- درجه و دمای گرم‌ترین منطقه ۴۱+ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. متوسط نزولات جوی بیست‌ساله، براساس آمارهای موجود در ایستگاه‌های سینوپتیک، ۲۸۵ میلی‌متر است.

مجموعه داده‌های مرجع مورد استفاده، در این مطالعه، میزان بارندگی شش‌ساعته ثبت‌شده در هجده ایستگاه سینوپتیک (از مارس تا ژوئن ۲۰۱۷) را دربرمی‌گیرد.

در این تحقیق، دو محصول بارش ماهواره‌ای GPM-IMERG_F نیم‌ساعته و GSMaP_G یک‌ساعته به کار رفته است. از آنجاکه در ایران، داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک در مقیاس شش‌ساعته در اختیار محققان قرار می‌گیرد، در پژوهش پیش رو، داده‌های IMERG نیم‌ساعته، با تجمیع دوازده بارش نیم‌ساعته و داده‌های GSMaP یک‌ساعته، با تجمیع شش بارش یک‌ساعته به بارش شش‌ساعته تبدیل شدند تا با داده‌های بارندگی شش‌ساعته ایستگاه‌های سینوپتیک مستقیم، مقایسه شوند. به این علت که واحد محصولات نیم‌ساعته IMERG برحسب میلی‌متر در ساعت است، برای به‌دست‌آوردن بارش شش‌ساعته انباشته IMERG، با انباشتن مقادیر بارندگی از دوازده محصول نیم‌ساعته IMERG تولید می‌شوند و سپس مقدار بارندگی انباشته‌شده در ۵/۰ ضرب می‌شود.

۲-۲- اعتبارسنجی

برای ارزیابی صحت داده‌های ماهواره‌ای در برابر داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی سینوپتیک، از هفت شاخص مطابقت یا احتمالاتی دودویی ساده (TSS، PC، FBI، HSS، FAR، CSI، FAR) طبق روابط (۱) تا (۷) و شاخص آماری Bias، MBias، RBias، MAE، RMSE و R براساس روابط (۸) تا (۱۳) استفاده شده است.

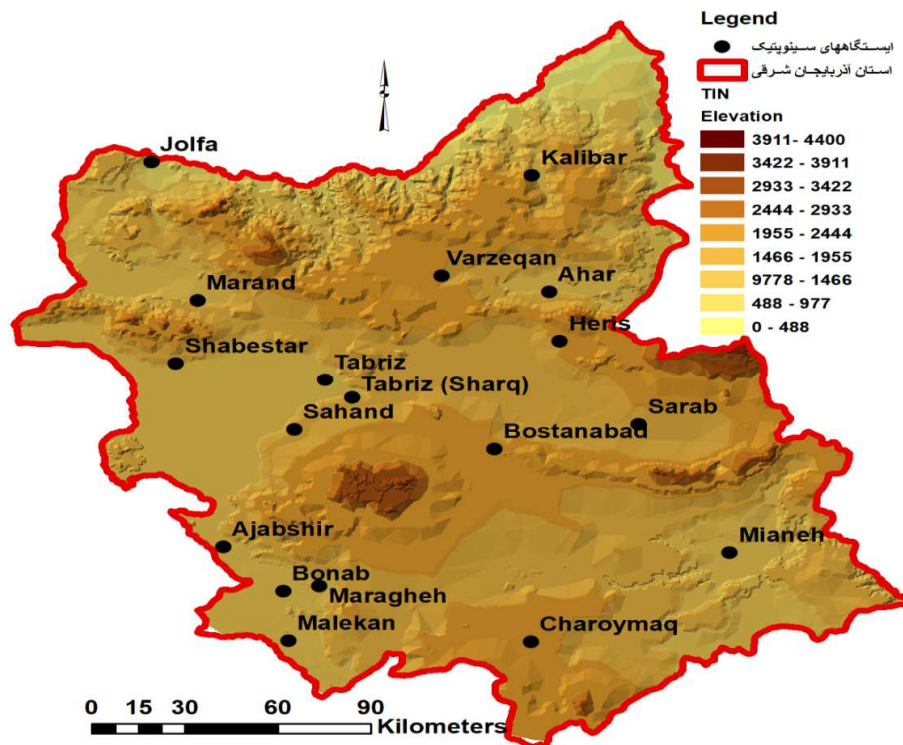
و رویدادهای بارندگی شدید (روزانه بیش از ۵۰ میلی‌متر) را دست‌کم می‌گیرند اما فرکانس متوسط رویدادهای بارندگی (۱۰-۵ میلی‌متر در روز) را بیش‌ازحد تخمین می‌زنند. جو^۱ و همکاران (۲۰۲۰)، با بررسی عملکرد محصولات IMERG و GSMaP در چین، دریافتند که GSMaP_G در مقیاس‌های روزانه، ماهیانه و فصلی، عملکردی بهتر از سایر محصولات بارش ماهواره‌ای دارد. در مقایسه با سایر محصولات بارش ماهواره‌ای، عملکرد GSMaP_G در تمامی ارتفاعات بهتر است. باین‌حال خطاهای چشمگیری، ناشی از ارتفاع، در GSMaP_N و دیده می‌شود. به‌طور کلی، عملکرد GSMaP_G و IMERG_F در کاهش خطاهای گوناگون، مطلوب‌تر از محصولات بارش ماهواره‌ای دیگر است.

با توجه به وجودنداشتن شبکه باران‌سنجی متراکم در منطقه، فاجعه زیست‌محیطی دریاچه ارومیه و اهمیت اطلاعات بارش به‌منزله داده اولیه در بیشتر مطالعات آبی، روی آوردن به استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد بارش در مناطق گوناگون، ضروری است؛ بنابراین دقت و صحت این محصولات بارشی ماهواره‌ای، در مناطق گوناگون، باید ارزیابی شود. در این راستا، در مقاله حاضر، دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای GPMGSMAP_G (V04) (محصول یک‌ساعته استاندارد کالیبره‌شده با داده‌های بارش روزانه زمینی) و GPMIMERG_F (V06) (محصول نیم‌ساعته اجرای نهایی) در استان آذربایجان شرقی، در شرق دریاچه ارومیه، بررسی شده است. نتایج این پژوهش به توسعه‌دهندگان الگوریتم کمک می‌کند تا الگوریتم‌های ارزیابی بارش نیم‌ساعته IMERG و یک‌ساعته GSMaP را بهبود ببخشند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه و داده‌های مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی، شرق دریاچه ارومیه، در ایران است (شکل ۱). ارتفاع عمومی استان از ۱۶۰ تا ۴۸۱۱ متر متغیر است و دارای تغییرات اقلیمی متفاوت و به‌طور کلی، اقلیم سرد و کوهستانی



شکل ۱. تغییرات ارتفاع در منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک

شاخص‌های مطابقت

رابطه (۱) $CSI = \frac{a}{(a+b+c)}$

رابطه (۲) $TSS = \frac{(a*d-b*c)}{(b+d)*(a+c)}$

رابطه (۳) $PC = \frac{(a+d)}{(a+b+c+d)}$

رابطه (۴) $Frequency\ of\ bias\ index\ (FBI) = \frac{(a+b)}{(a+c)}$

رابطه (۵) $HSS = \frac{2*(a*d-b*c)}{(a+c)(c+d)+(a+b)(b+d)}$

رابطه (۶) $FAR = \frac{b}{(a+b)}$

رابطه (۷) $POD = \frac{a}{(a+c)}$

شاخص موفقیت بحرانی (CSI) بیانگر نسبتی از وقوع بارش است که از طریق ماهواره، به درستی تشخیص داده شده است. اگر مقدار شاخص آماری مهارت واقعی (TSS) برابر با ۱ باشد، گویای مطابقت کامل مقادیر ماهواره‌ای و

این شاخص‌ها با استفاده از جدول توافقی ۲×۲، مانند جدول ۱، تعریف می‌شوند. در این جدول، a نشان‌دهنده تعداد حالاتی است که هم ایستگاه زمینی و هم ماهواره بارش ثبت کرده، d تعداد حالاتی است که نه ایستگاه زمینی و نه ماهواره بارش ثبت کرده‌اند، b تعداد حالاتی است که ایستگاه زمینی بارش ثبت کرده اما ماهواره بارش ثبت نکرده است، c تعداد حالاتی است که ایستگاه زمینی بارش ثبت نکرده اما ماهواره بارش آن‌ها را ثبت کرده است (Jolliffe & Stephenson, 2012).

جدول ۱. جدول توافقی

		ثبت بارش از طریق ایستگاه زمینی	
		بارش	بدون بارش
از طریق ماهواره	بارش	a	b
	بدون بارش	c	d

منبع: Jolliffe & Stephenson (2012)

کم‌بودن این شاخص نشانه تخمین بهتر بارندگی با استفاده از داده ماهواره‌ای است. مقدار r برابر ۱ بیانگر تناسب مثبت کامل و مقدار -1 نیز گویای تناسب منفی کامل است. اگر هیچ همبستگی خطی یا همبستگی خطی ضعیفی وجود نداشته باشد، r نزدیک به صفر است.

$$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^N (PS_i - PO_i)}{N} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\text{MBias} = \frac{\sum_{i=1}^N PS_i}{\sum_{i=1}^N PO_i} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\text{RBias} = \frac{\sum_{i=1}^N (PS_i - PO_i)}{\sum_{i=1}^N PO_i} * 100 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^N |PS_i - PO_i|}{N} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$\text{RMSE} = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (PS_i - PO_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (PO_i - \bar{PO}) * \sum_{i=1}^N (PS_i - \bar{PS})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (PO_i - \bar{PO})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^N (PS_i - \bar{PS})^2}} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

۳- نتایج

در شکل ۲، موقعیت ایستگاه‌های ثبت بارش زمینی به‌همراه شبکه سلولی $1/1 \times 1/1$ درجه دو ماهواره GSMAP و IMERG نشان داده شده است. در این بخش، با توجه به مقدار بارش ثبت‌شده در ایستگاه‌ها، این موارد با داده‌های دو ماهواره در سلول مرتبط با آن ایستگاه، براساس شاخص‌های دودویی و شاخص‌های آماری، مقایسه می‌شود.

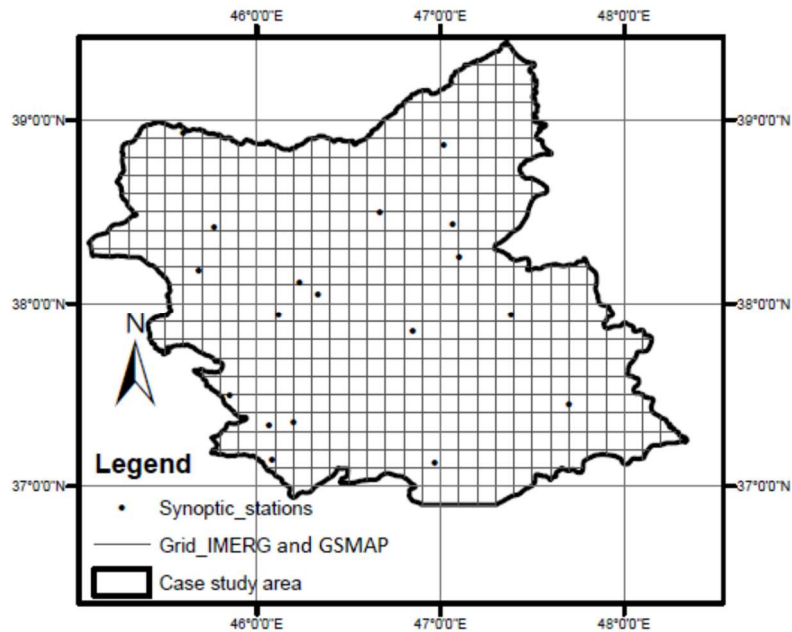
۳-۱- تحلیل داده‌های بارشی محدود در مقیاس ایستگاهی با شاخص‌های آماری

در این تحقیق، داده‌های بارشی شش‌ساعته محدود به داده‌های بارشی شش‌ساعته‌ای گفته می‌شود که طی شش ساعت، دست‌کم ۳۰٪ ایستگاه‌های سینوپتیک در محدوده مورد مطالعه، بارش بیشتر از $0/1$ میلی‌متر را ثبت کرده باشند. نتایج تحلیل داده‌های بارشی محدود ایستگاهی با شاخص‌های آماری در جدول ۲ نشان داده شده است.

مشاهده‌ای است. نسبت صحیح (PC) نقاط تشخیص دقیق بارش و نبود بارش به کل نقاط اندازه‌گیری بارش است. این شاخص، اگر نزدیک به ۱ باشد، بهتر است. شاخص FBI برابر است با نسبت رویدادهای بارش ثبت‌شده از طریق ماهواره به مشاهدات زمینی از بارش. اگر مقدار شاخص FBI بیشتر از ۱ باشد، نشان‌دهنده تخمین بیش‌ازحد با استفاده از ماهواره است. اگر شاخص امتیاز مهارت هیک (HSS) برابر با ۱ باشد، تطابق کامل بین بارش تخمینی ماهواره و بارش زمینی مشاهده‌شده را نشان می‌دهد. مقدار نسبت هشدار اشتباه (FAR) کوچک‌تر نشان‌دهنده برآورد بهتر بارش از طریق ماهواره است. در بهترین حالت ممکن، این شاخص می‌تواند صفر باشد که بیانگر پیش‌بینی کامل بارش از طریق ماهواره است و در بدترین حالت، می‌تواند حداکثر ۱ باشد که بیانگر هشدار اشتباه کامل است. مقدار احتمال تشخیص (POD) نیز بین ۰ تا ۱ است. اگر این شاخص برابر ۱ باشد، بیان می‌کند که ماهواره بارش را به‌خوبی تشخیص می‌دهد.

شاخص‌های آماری

Bias یا تورش، به‌منزله میانگین تفاوت بین بارندگی مشاهده‌ای و داده‌های ماهواره‌ای، ممکن است مثبت یا منفی باشد. تورش منفی نشان‌دهنده دست‌کم برآورد کردن میزان بارندگی از طریق ماهواره و تورش مثبت نیز بیانگر برآورد بیش‌ازحد است. MBias نسبت داده ماهواره‌ای به مقدار باران مشاهده‌ای است. اگر این مشخصه کمتر از ۱ باشد، گویای برآورد کمینه میزان بارندگی مبتنی بر ماهواره است و در حالتی که بیشتر از ۱ باشد، برآورد بیش‌ازحد را نشان می‌دهد. RBias نشان‌دهنده سوگیری منظم بارندگی مبتنی بر ماهواره و بارندگی مشاهده‌ای است. ضریب همبستگی (R) بیانگر میزان توافق بین بارندگی مبتنی بر ماهواره و مشاهده‌ای است. میانگین خطای مطلق (MAE) نشان‌دهنده میانگین بزرگی خطاست. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به بزرگی خطای کلی اشاره دارد؛ بنابراین



شکل ۲. شبکه سلولی ۰/۱×۰/۱ درجه دوم ماهواره IMERG و GMAP، به همراه موقعیت ایستگاه‌های ثبت بارش زمینی

محصول GPM-IMERG برابر ۱/۲۱ است که بیش‌برآوردی زیاد محصول GSMAP را می‌رساند. بررسی شاخص RBias در هجده ایستگاه بیان می‌کند، وقتی محصول GPM-IMERG دارای کم‌برآوردی است، محصول GSMAP بیش‌برآوردی جزئی دارد اما، وقتی محصول GPM-IMERG دارای بیش‌برآوردی است، محصول GSMAP دارای بیش‌برآوردی زیاد است.

مقایسه دو شاخص میانگین خطای مطلق و ریشه میانگین مربعات خطا نیز نشان می‌دهد میانگین بزرگی خطا و بزرگی خطای کلی محصول GSMAP به ترتیب، ۲/۰۱ و ۳/۶۱ میلی‌متر است؛ درحالی‌که میانگین بزرگی خطا و بزرگی خطای کلی محصول GPM-IMERG به ترتیب، ۱/۲۳ و ۲/۴۴ میلی‌متر است و در نتیجه، محصول GPM-IMERG برتر است.

ضریب همبستگی، در هر دو محصول بارشی ماهواره‌ای، در یک ایستگاه منفی است و در چهار ایستگاه بیشتر از ۰/۵ است؛ بنابراین دو محصول از نظر ضریب همبستگی برتری چندانی بر یکدیگر ندارند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، شاخص Bias و RBias در محصول GSMAP در تمامی ایستگاه‌ها مثبت است؛ درحالی‌که با استفاده از محصول GPM-IMERG، این شاخص‌ها در ۴۵٪ ایستگاه‌ها منفی است. این نکته نشان می‌دهد محصول GSMAP دارای بیش‌برآوردی و محصول GPM-IMERG، در هشت ایستگاه، دارای کم‌برآوردی و در ده ایستگاه، دارای بیش‌برآوردی است. اما نکته شایان توجه این است که Bias در هجده ایستگاه، برای محصول GSMAP، از حداقل ۰/۲۷ در ایستگاه هریس تا حداکثر ۲/۰۳ میلی‌متر در ایستگاه جلفا است اما تورش مثبت، در محصول GPM-IMERG، از حداقل ۰/۰۹ در ایستگاه ملکان تا حداکثر ۱/۳ میلی‌متر در ایستگاه جلفا و تورش منفی، در محصول GPM-IMERG، از حداقل ۰/۰۳ در ایستگاه سراب تا حداکثر ۰/۶۹ میلی‌متر در ایستگاه تبریز است. این موارد بیان می‌کند تورش محصول GSMAP بیش از دو برابر محصول GPM-IMERG است. متوسط شاخص نسبت داده ماهواره‌ای به مقدار باران مشاهده‌ای (MBias)، در هجده ایستگاه، در محصول GSMAP برابر ۲/۳۹ و در

جدول ۲. نتایج تحلیل داده‌های بارشی محدود ایستگاهی با شاخص‌های آماری

Station name	Bias		MBias		RBias		MAE		RMSE		r	
	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG
Jolfa	2.03	1.30	4.16	3.02	315.93	201.81	2.48	1.51	4.24	3.70	0.50	0.77
Ahar	0.63	0.19	1.84	1.25	84.35	25.13	1.31	0.72	2.67	1.16	0.35	0.68
Tabriz	0.95	-0.69	1.51	0.63	51.31	-36.86	2.91	2.05	5.42	4.73	0.37	0.25
Sahand	0.93	0.25	2.12	1.30	112.48	30.08	1.62	1.29	2.88	2.66	0.46	0.24
Sarab	0.70	-0.03	1.81	0.96	83.66	-4.07	2.02	1.26	3.84	2.61	-0.04	0.37
Kalibar	1.79	0.21	3.04	1.24	204.34	23.71	2.09	1.12	3.90	2	0.66	0.46
Maragheh	1.72	0.44	4.59	1.93	359.13	92.75	2.02	0.85	3.54	1.52	0.37	0.36
Mianeh	0.84	0.19	2.22	1.28	122	28.42	1.19	0.90	2.01	1.34	0.51	0.45
Marand	1.24	-0.32	1.80	0.79	79.94	-20.63	2.43	1.46	4.26	2.59	0.54	0.60
Varzeqan	1.22	0.57	2.34	1.62	133.69	62.45	1.92	1.43	3.90	3.43	0.35	0.35
Shabestar	0.88	-0.54	1.63	0.61	63.10	-38.65	1.99	1.41	3.94	3.15	0.53	0.38
Heris	0.27	-0.01	1.26	0.99	26.49	-1.27	1.79	1.30	3.15	2.69	0.25	0.17
Tabriz (Sharq)	1.18	-0.46	2.02	0.6	102.49	-39.74	2.52	1.19	4.65	2.80	0.28	0.49
Ajabshir	0.81	-0.17	1.98	0.80	98.17	-20.08	1.69	0.80	3.08	1.84	0.34	0.54
Bonab	1.37	0.22	3.35	1.37	235.15	37.30	2.12	1.22	3.47	2.07	0.04	-0.11
Bostanabad	0.61	-0.11	1.69	0.87	68.81	-12.93	1.76	1.04	2.94	1.79	0.26	0.33
QareAghaj	1.44	0.37	2.66	1.42	165.86	42.37	2.37	1.37	3.62	2.17	0.31	0.29
Malekan	1.27	0.09	3	1.14	199.64	13.97	1.92	1.14	3.51	1.76	0.15	0.13

ماهواره‌ای نزدیک به هم‌اند. مقدار متوسط FBI در یک ایستگاه، در محصول IMERG، برابر ۱/۳۹ و در محصول GSMAP، برابر ۱/۳۱ است؛ بنابراین محصول GSMAP روزهای بارش را قدری بیشتر از محصول GSMAP تشخیص می‌دهد.

۳-۳- تحلیل داده‌های بارشی در مقیاس ایستگاهی با دیاگرام تیلور

در دیاگرام تیلور، اگر نقطه شبیه‌سازی به نقطه مشاهده شده نزدیک باشد، به این معنی است که این دو، از نظر انحراف معیار، مشابه‌اند و همبستگی آن‌ها زیاد است و RMSE آن‌ها نزدیک به صفر است. همچنین خط چین قرمزی وجود دارد که نشان‌دهنده انحراف معیار سری زمانی مشاهده شده است. در واقع، دیاگرام تیلور تغییرات سه شاخص انحراف معیار استاندارد و ضریب همبستگی و کمترین مربعات خطا را، در محصولات بارش ماهواره‌ای، با داده مشاهده‌ای می‌سنجد و هرچه مقادیر این سه شاخص در محصول بارش ماهواره‌ای به

۳-۲- تحلیل داده‌های بارشی محدود در مقیاس ایستگاهی با شاخص‌های دودویی

نتایج تحلیل داده‌های بارشی محدود ایستگاهی با شاخص‌های آماری در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقدار احتمال تشخیص در محصول IMERG بین ۰/۲۹ تا ۰/۹۱ و در ده ایستگاه از هجده ایستگاه، بیشتر از ۰/۷ است اما، در محصول GSMAP، بین ۰/۴۳ تا ۰/۸۶ و در هشت ایستگاه از هجده ایستگاه، بیشتر از ۰/۷ است. بنابراین محصول IMERG هنگامی که بارش واقعاً اتفاق می‌افتد، فرکانس بالاتری از شناسایی موفق در مورد رویدادهای بارش را به دست می‌دهد. مقدار نسبت FAR، در محصول IMERG، بین ۰/۲۴ تا ۰/۸۸ و در محصول GSMAP، بین ۰/۲۴ تا ۰/۸۳ است و مقدار FAR در هر دو محصول، فقط در پنج ایستگاه، کمتر از ۰/۳۵ است.

مقادیر متوسط CSI، مقدار CSI شاخص آماری مهارت واقعی، شاخص امتیاز مهارت هیک و نسبت صحیح، در هجده ایستگاه، در هر دو محصول بارشی

شاخص‌های دودویی نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در محدوده ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ متر، دو محصول روند مشابهی دارند و اختلاف زیادی ندارند اما، در ارتفاع‌های بیش از ۱۶۰۰ و کمتر از ۱۰۰۰، عملکرد محصول IMERG به مراتب بهتر از محصول GSMAP است؛ این نشان می‌دهد که ترکیب عوامل توپوگرافی زمین در الگوریتم محصول، در منطقه مورد مطالعه، کارآتر است.

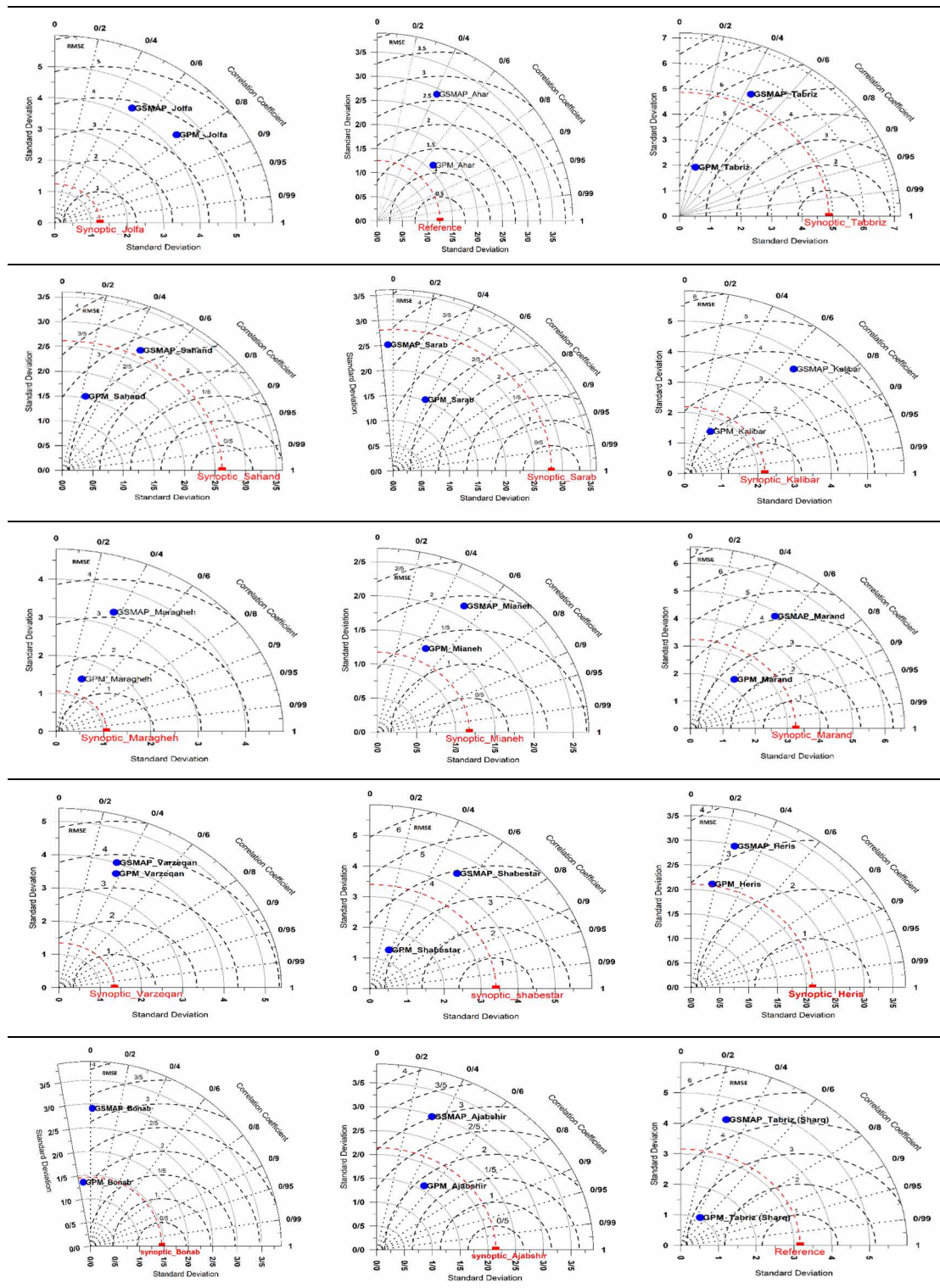
در شکل ۵، عملکرد دو محصول بارشی در ارتفاع، براساس شاخص‌های آماری، نشان داده شده است. این شکل هم بار دیگر تأیید می‌کند که در محدوده ارتفاعی منطقه مورد مطالعه، دو محصول روند مشابهی، به‌ویژه در شاخص‌های آماری MBias, RBias, Bias, RMSE و MAE دارند.

داده مشاهده‌ای مرجع نزدیک باشد، پیش‌بینی با استفاده از ماهواره بهتر بوده است. در شکل ۳، موقعیت دو محصول بارشی ماهواره‌ای در مقایسه با داده مشاهده‌ای رفرنس، در مورد هر هجده ایستگاه سینوپتیک، نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در تمامی هجده ایستگاه، نقطه نشان داده‌شده با ماهواره IMERG (که در شکل با GPM نمایش داده شده) در قیاس با نقطه مربوط به ماهواره GSMAP، به نقطه مشاهده‌شده نزدیک‌تر است. بنابراین از نظر تحلیل نمودار تیلور، محصول بارشی IMERG مزیت بیشتری از محصول بارشی GSMAP دارد.

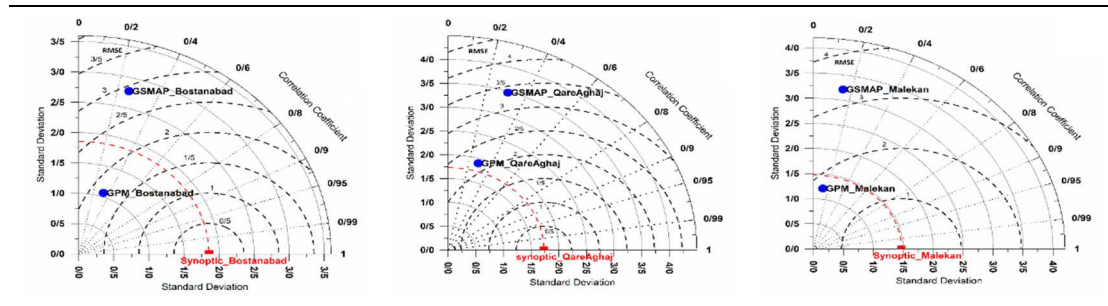
۳-۴- تحلیل عملکرد محصولات بارشی در ارتفاع
در شکل ۴، عملکرد دو محصول بارشی در ارتفاع براساس

جدول ۳. نتایج تحلیل داده‌های بارشی محدود ایستگاهی با شاخص‌های دودویی

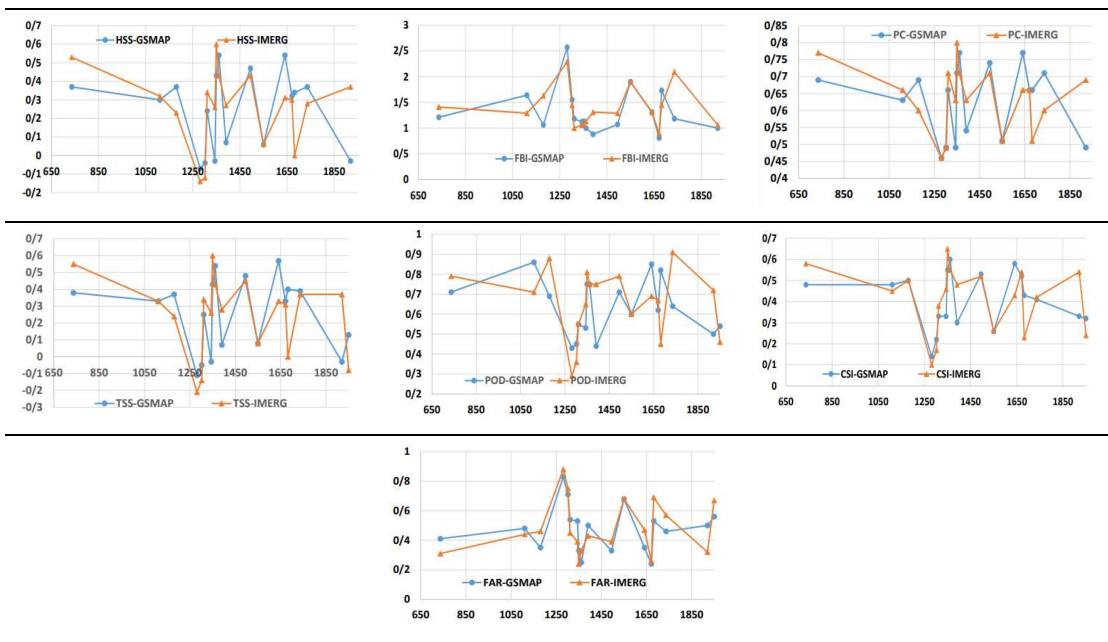
Station name	POD		FAR		CSI		TSS		PC		FBI		HSS	
	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG
Jolfa	0.71	0.79	0.41	0.31	0.48	0.58	0.38	0.55	0.69	0.77	1.21	1.41	0.37	0.53
Ahar	0.44	0.75	0.5	0.43	0.3	0.48	0.07	0.28	0.54	0.63	0.88	1.31	0.07	0.27
Tabriz	0.75	0.75	0.25	0.33	0.6	0.55	0.54	0.43	0.77	0.71	1	1.13	0.54	0.43
Sahand	0.85	0.69	0.35	0.47	0.58	0.43	0.57	0.33	0.77	0.66	1.31	1.31	0.54	0.31
Sarab	0.82	0.45	0.53	0.69	0.43	0.23	0.40	0	0.66	0.51	1.73	1.45	0.34	0
Kalibar	0.69	0.88	0.35	0.46	0.5	0.5	0.37	0.24	0.69	0.6	1.06	1.63	0.37	0.23
Maragheh	0.53	0.65	0.53	0.39	0.33	0.46	-0.03	0.26	0.49	0.63	1.12	1.06	-0.03	0.26
Mianeh	0.86	0.71	0.48	0.44	0.48	0.45	0.33	0.33	0.63	0.66	1.64	1.29	0.3	0.32
Marand	0.6	0.6	0.68	0.68	0.26	0.26	0.08	0.08	0.51	0.51	1.90	1.90	0.06	0.06
Varzeqan	0.62	0.67	0.24	0.26	0.52	0.54	0.33	0.31	0.66	0.66	0.81	0.90	0.32	0.30
Shabestar	0.75	0.81	0.33	0.24	0.55	0.65	0.43	0.6	0.71	0.8	1.13	1.06	0.43	0.60
Haris	0.54	0.46	0.56	0.67	0.32	0.24	0.13	-0.08	0.57	0.46	1.23	1.38	0.12	-0.08
Tabriz (Sharq)	0.71	0.79	0.33	0.39	0.53	0.52	0.48	0.45	0.74	0.71	1.07	1.29	0.47	0.43
Ajabshir	0.55	0.55	0.54	0.45	0.33	0.38	0.25	0.34	0.66	0.71	1.18	1	0.24	0.34
Bonab	0.43	0.29	0.83	0.88	0.14	0.10	-0.11	-0.21	0.46	0.46	2.57	2.29	-0.07	-0.14
Bostanabad	0.64	0.91	0.46	0.57	0.41	0.42	0.39	0.37	0.71	0.6	1.18	2.09	0.37	0.28
QareAghaj	0.50	0.72	0.50	0.32	0.33	0.54	-0.03	0.37	0.49	0.69	1	1.06	-0.03	0.37
Malekan	0.45	0.36	0.71	0.75	0.22	0.17	-0.05	-0.14	0.49	0.49	1.55	1.45	-0.04	-0.12



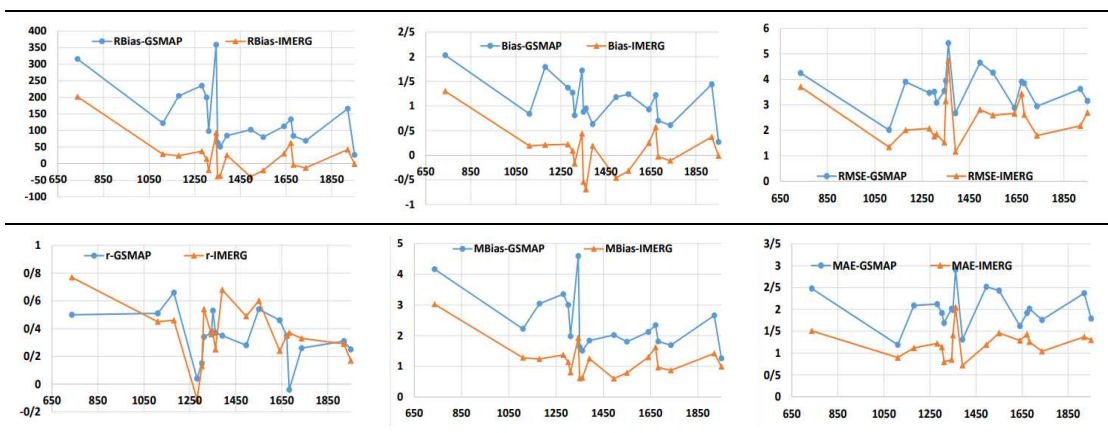
شکل ۳. موقعیت دو محصول بارشی ماهواره‌ای شش‌ساعته، در مقایسه با داده بارش شش‌ساعته مشاهده‌ای ایستگاه‌های سینوپتیک



ادامه شکل ۳



شکل ۴. عملکرد دو محصول بارشی در ارتفاع، براساس شاخص‌های دودویی



شکل ۵. عملکرد دو محصول بارشی در ارتفاع، براساس شاخص‌های آماری

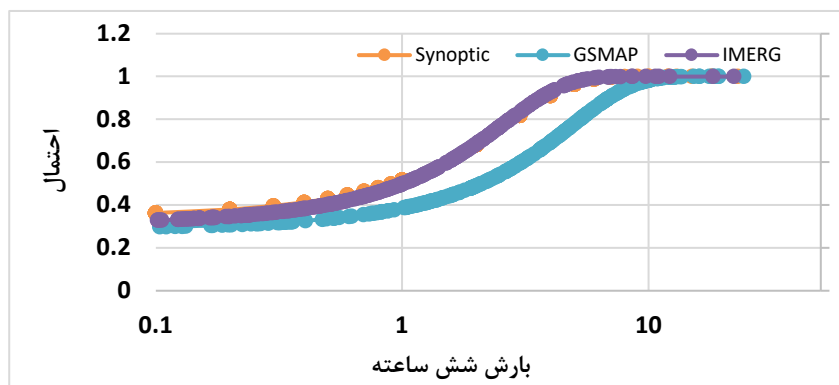
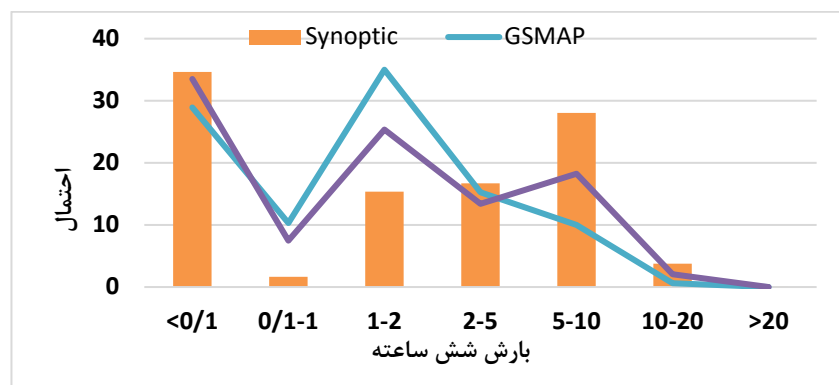
۳-۵- تابع چگالی احتمال (PDF) شدت بارندگی‌های

شش‌ساعته

در شکل ۶، منحنی احتمال تجمعی و تابع چگالی احتمال داده‌های سینوپتیک، در مقایسه با دو محصول بارشی ماهواره‌ای نشان داده شده است. بیشترین فراوانی بارش در رویدادهای بارشی (۰-۱ میلی‌متر طی شش ساعت) رخ می‌دهد. محصول GSMAP، در بازتولید صحیح PDF رویدادهای ردیابی بارش، عملکردی نسبتاً ضعیف‌تر از محصول IMERG دارد و به‌اشتباه، برخی رویدادهای بارانی را به‌منزله رویدادهای غیربارانی شناسایی می‌کند. تخمین بیش‌ازحد رویدادهای بارش ۲/۱-۰ میلی‌متر و کم‌تخمینی بارش‌های ۵ تا ۱۰ میلی‌متر طی شش ساعت، از دو محصول، در شکل ۶ باید مورد توجه توسعه‌دهندگان الگوریتم قرار گیرد. عملکرد محصول IMERG، در بازتولید صحیح PDF رویدادهای ردیابی بارش، بهتر از محصول GSMAP بوده است.

۳-۶- بررسی عملکرد محصولات در توزیع مکانی

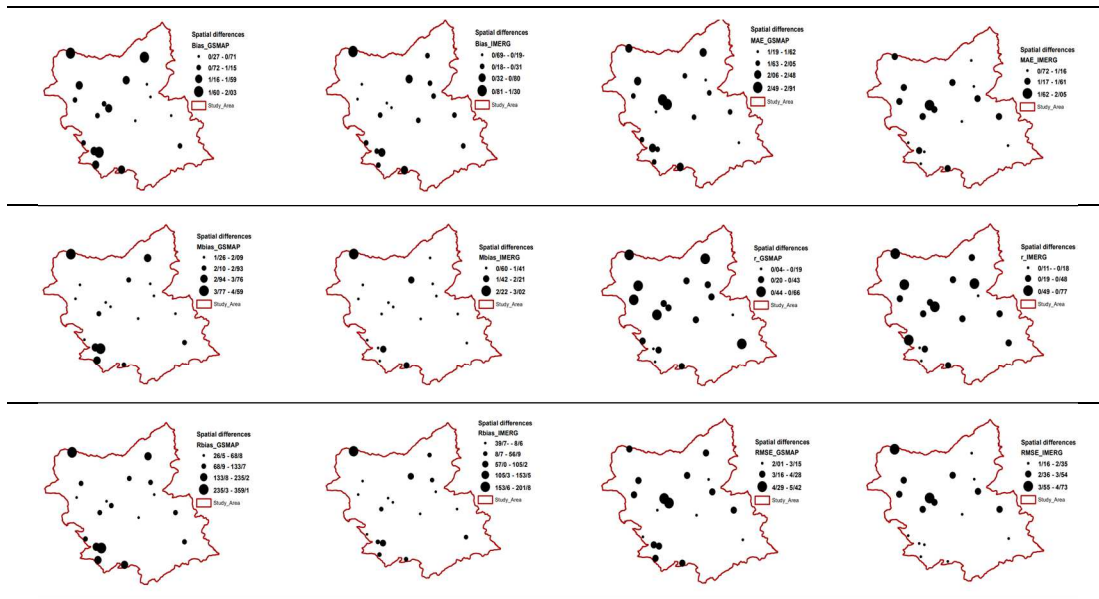
توزیع مکانی شاخص‌های آماری می‌تواند به پیش‌بینی انتشار خطا در کاربردهای هیدرولوژیکی کمک کند. توزیع مکانی شاخص‌های آماری، در مورد دو محصول ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه، در شکل ۷ نشان داده شده است. عملکرد مکانی دو محصول الگوهای مکانی نسبتاً مشابهی، با مقادیر بالا، در جنوب و شمال منطقه دارند. اگرچه محصول IMERG_F با داده‌های بارش ماهیانه ایستگاهی و همین‌طور محصول GSMaP_G با داده‌های بارش روزانه ایستگاهی تصحیح شده است، همچنان در بیشتر مناطق مورد مطالعه، همبستگی بیشتری وجود ندارد؛ به‌طوری که حدود ۳۰٪ ایستگاه‌ها ضریب r بیشتر از ۰.۵۰ دارند. از نظر RMSE، تعداد ایستگاه‌هایی که این مقدار در آن‌ها کمتر از ۳ میلی‌متر یا مساوی با آن است، در محصول IMERG_F حدود ۷۷٪ است اما در مورد محصول GSMaP_G، حدود ۲۲٪ از تعداد کل ایستگاه‌ها را تشکیل می‌دهد.



شکل ۶. منحنی احتمال تجمعی و تابع چگالی احتمال داده‌های سینوپتیک، در مقایسه با دو محصول بارشی ماهواره‌ای

هر دو محصول با داشتن POD بالاتر و مقادیر FAR پایین در ایستگاه‌های جلفا، تبریز، کلیبر، ورزقان، شبستر و تبریز (شرق) توانمندی بهتری در تشخیص بارش در آن ایستگاه‌ها دارند.

توزیع مکانی شاخص‌های دودویی روی منطقه مورد مطالعه در شکل ۸ نشان داده شده است. هر دو محصول بارشی ماهواره‌ای، در توزیع مکانی همه شاخص‌های دودویی، شباهت‌های شایان توجهی دارند. به طور کلی،



شکل ۷. توزیع مکانی شاخص‌های آماری برای دو محصول ماهواره‌ای، در منطقه مورد مطالعه



شکل ۸. توزیع مکانی شاخص‌های دودویی برای دو محصول ماهواره‌ای، در منطقه مورد مطالعه

۴- بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه ارزیابی جامعی از دو محصولIMERG_F و GSMaP_G با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا و دقیق، در استان آذربایجان شرقی، در مقیاس شش‌ساعته (کمتر از روزانه) به دست می‌دهد که متعلق به مارس تا ژوئن ۲۰۱۷ و با استفاده از داده‌های هجده ایستگاه مرجع است. در این پژوهش، هفت معیار دودویی طبقه‌بندی‌شده POD، TSS، PC، FBI، HSS، FAR و CSI برای ارزیابی توانمندی تشخیص بارش، توسط محصولات بارشی ماهواره‌ای و از شش معیار آماری R، MBias، RBias، Bias، RMSE و MAE برای تحلیل کمی دقت محصولات بارشی ماهواره‌ای به کار رفته است.

نتیجه‌گیری کلی پژوهش به شرح زیر است:

- در مقیاس‌های زمانی شش‌ساعته (کمتر از روزانه)، محصولIMERG_F در مقایسه با محصول GSMaP_G بهترین عملکرد را در منطقه دارد. در قیاس با مشاهدات ایستگاه‌ها، محصولIMERG_F کم‌تخمینی و محصول GSMaP_G نیز بیش‌تخمینی دارد؛

- در تحلیل با دیاگرام تیلور در تمامی ایستگاه‌ها، نقطه مربوط به ماهوارهIMERG_F به‌نسبت نقطه مربوط به ماهواره GSMaP_G، به نقطه مشاهده‌شده نزدیک‌تر بود و در نتیجه، محصولIMERG_F مناسب‌تر از محصول GSMaP_G است؛

- عملکرد هر دو محصول دارای تنوع مکانی نسبتاً مشابهی از نظر شاخص‌های آماری و دودویی است؛

- محصولIMERG_F در مقایسه با محصول GSMaP_G، می‌تواند PDF شدت بارش در مقیاس کمتر از روزانه را بهتر بازتولید کند. در منطقه، بیشترین فرکانس بارش طی شش ساعت، در محدوده ۱-۰/۱ میلی‌متر و ۵-۱۰ میلی‌متر رخ می‌دهد و کمترین فراوانی بارندگی در شدت بیش از ۲۰ میلی‌متر طی شش ساعت ظاهر می‌شود. زمانی که شدت بارش بیشتر از ۱ میلی‌متر طی شش ساعت است، محصولIMERG_F، از نظر فرکانس، مطابقت خوبی با مشاهدات ایستگاهی دارد؛

- عملکرد هر دو محصول بارشی ماهواره‌ای، در ارتفاعات، روند مشابهی دارد.

۵- منابع

- Anjum, M.N., Ding, Y., Shangguan, D., Ahmad, I., Ijaz, M.W., Farid, H.U., ... & Adnan, M., 2018, **Performance Evaluation of Latest Integrated Multi-Satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement (IMERG) over the Northern Highlands of Pakistan**, Atmospheric Research, 205, PP. 134-146, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.02.010>.
- Anjum, M.N., Ahmad, I., Ding, Y., Shangguan, D., Zaman, M., Ijaz, M.W., ... & Yang, M., 2019, **Assessment of IMERG-V06 Precipitation Product over Different Hydro-Climatic Regimes in the Tianshan Mountains, North-Western China**, Remote Sensing, 11(19), P. 2314, <https://doi.org/10.3390/rs11192314>.
- Beria, H., Nanda, T., Singh Bisht, D. & Chatterjee, C., 2017, **Does the GPM Mission Improve the Systematic Error Component in Satellite Rainfall Estimates over TRMM? An Evaluation at a Pan-India Scale**, Hydrology and Earth System Sciences, 21(12), PP. 6117-6134, <https://doi.org/10.5194/hess-21-6117-2017>, 2017.
- Biswas, S.K. & Chandrasekar, V., 2018, **Cross-Validation of Observations between the GPM Dual-Frequency Precipitation Radar and Ground Based Dual-Polarization Radars**, Remote Sensing, 10(11), P. 1773, <https://doi.org/10.3390/rs10111773>.
- Carr, N., Kirstetter, P.E., Hong, Y., Gourley, J.J., Schwaller, M., Petersen, W., ... & Xue, X., 2015, **The Influence of Surface and Precipitation Characteristics on TRMM Microwave Imager Rainfall Retrieval Uncertainty**, Journal of Hydrometeorology, 16(4), PP. 1596-1614, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0194.1>.
- Chen, S., Hong, Y., Gourley, J.J., Huffman, G.J., Tian, Y., Cao, Q., ... & Xue, X., 2013, **Evaluation of the Successive V6 and V7 TRMM Multisatellite Precipitation Analysis over the Continental United States**, Water Resources Research, 49(12), PP. 8174-8186, <https://doi.org/10.1002/2012WR012795>.

- Chen, G., Lan, R., Zeng, W., Pan, H. & Li, W., 2018, **Diurnal Variations of Rainfall in Surface and Satellite Observations at the Monsoon Coast (South China)**, *Journal of Climate*, 31(5), PP. 1703-1724, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0373.1>.
- Derin, Y. & Yilmaz, K.K., 2014, **Evaluation of Multiple Satellite-Based Precipitation Products over Complex Topography**, *Journal of Hydrometeorology*, 15(4), PP. 1498-1516, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-0191.1>.
- Fang, J., Yang, W., Luan, Y., Du, J., Lin, A. & Zhao, L., 2019, **Evaluation of the TRMM 3B42 and GPM IMERG Products for Extreme Precipitation Analysis over China**, *Atmospheric Research*, 223, PP. 24-38, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.03.001>.
- Gebregiorgis, A.S., Kirstetter, P.E., Hong, Y.E., Gourley, J.J., Huffman, G.J., Petersen, W.A., ... & Schwaller, M.R., 2018, **To What Extent Is the Day 1 GPM IMERG Satellite Precipitation Estimate Improved as Compared to TRMM TMPA-RT?**, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(3), PP. 1694-1707, <https://doi.org/10.1002/2017JD027606>.
- Guo, H., Chen, S., Bao, A., Hu, J., Gebregiorgis, A.S., Xue, X. & Zhang, X., 2015, **Inter-Comparison of High-Resolution Satellite Precipitation Products over Central Asia**, *Remote Sensing*, 7(6), PP. 7181-7211, <https://doi.org/10.3390/rs70607181>.
- He, Z., Yang, L., Tian, F., Ni, G., Hou, A. & Lu, H., 2017, **Intercomparisons of Rainfall Estimates from TRMM and GPM Multisatellite Products over the Upper Mekong River Basin**, *Journal of Hydrometeorology*, 18(2), PP. 413-430, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0198.1>.
- Hou, A.Y., Kakar, R.K., Neeck, S., Azarbarzin, A.A., Kummerow, C.D., Kojima, M., ... & Iguchi, T., 2014, **The Global Precipitation Measurement Mission**, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(5), PP. 701-722, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00164.1>.
- Huang, W.R., Liu, P.Y., Chang, Y.H. & Liu, C.Y., 2020, **Evaluation and Application of Satellite Precipitation Products in Studying the Summer Precipitation Variations over Taiwan**, *Remote Sensing*, 12(3), P. 347, <https://doi.org/10.3390/rs12030347>.
- Hussain, Y., Satgé, F., Hussain, M.B., Martinez-Carvajal, H., Bonnet, M.P., Cárdenas-Soto, M., ... & Akhter, G., 2018, **Performance of CMORPH, TMPA, and PERSIANN Rainfall Datasets over Plain, Mountainous, and Glacial Regions of Pakistan**, *Theoretical and Applied Climatology*, 131, PP. 1119-1132, <https://doi.org/10.1007/s00704-016-2027-z>.
- Jolliffe, I.T. & Stephenson, D.B. (Eds.), 2012, **Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science**, John Wiley & Sons.
- Kim, J.P., Jung, I.W., Park, K.W., Yoon, S.K. & Lee, D., 2016, **Hydrological Utility and Uncertainty of Multi-Satellite Precipitation Products in the Mountainous Region of South Korea**, *Remote Sensing*, 8(7), P. 608, <https://doi.org/10.3390/rs8070608>.
- Kim, K., Park, J., Baik, J. & Choi, M., 2017, **Evaluation of Topographical and Seasonal Feature Using GPM IMERG and TRMM 3B42 over Far-East Asia**, *Atmospheric Research*, 187, PP. 95-105, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.12.007>.
- Lakshmi, V., 2014, **Remote Sensing of the Terrestrial Water Cycle (Vol. 206)**, John Wiley & Sons.
- Li, R., Shi, J., Ji, D., Zhao, T., Plermkamon, V., Moukomla, S., ... & Kruasilp, J., 2019, **Evaluation and Hydrological Application of TRMM and GPM Precipitation Products in a Tropical Monsoon Basin of Thailand**, *Water*, 11(4), P. 818, <https://doi.org/10.3390/w11040818>.
- Liu, C.Y., Aryastana, P., Liu, G.R. & Huang, W.R., 2020a, **Assessment of Satellite Precipitation Product Estimates over Bali Island**, *Atmospheric Research*, 244, P. 105032, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105032>.
- Liu, J., Du, J., Yang, Y. & Wang, Y., 2020b, **Evaluating Extreme Precipitation Estimations Based on the GPM IMERG Products over the Yangtze River Basin, China**, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), PP. 601-618, <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1734103>.
- Lu, D. & Yong, B., 2018, **Evaluation and Hydrological Utility of the Latest GPM IMERG V5 and GSMaP V7 Precipitation Products over the Tibetan Plateau**, *Remote Sensing*, 10(12), P. 2022, <https://doi.org/10.3390/rs10122022>.

- Nepal, B., Shrestha, D., Sharma, S., Shrestha, M.S., Aryal, D. & Shrestha, N., 2021, **Assessment of GPM-Era Satellite Products' (IMERG and GSMaP) Ability to Detect Precipitation Extremes over Mountainous Country Nepal**, *Atmosphere*, 12(2), P. 254, <https://doi.org/10.3390/atmos12020254>.
- Prakash, S., Mitra, A.K., AghaKouchak, A., Liu, Z., Norouzi, H. & Pai, D.S., 2018, **A Preliminary Assessment of GPM-Based Multi-Satellite Precipitation Estimates over a Monsoon Dominated Region**, *Journal of Hydrology*, 556, PP. 865-876, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.029>.
- Salles, L., Satgé, F., Roig, H., Almeida, T., Olivetti, D. & Ferreira, W., 2019, **Seasonal Effect on Spatial and Temporal Consistency of the New GPM-Based IMERG-v5 and GSMaP-v7 Satellite Precipitation Estimates in Brazil's Central Plateau Region**, *Water*, 11(4), P. 668, <https://doi.org/10.3390/w11040668>.
- Shi, J., Yuan, F., Shi, C., Zhao, C., Zhang, L., Ren, L., ... & Liu, Y., 2020, **Statistical Evaluation of the Latest GPM-Era IMERG and GSMaP Satellite Precipitation Products in the Yellow River Source Region**, *Water*, 12(4), P. 1006, <https://doi.org/10.3390/w12041006>.
- Sunilkumar, K., Narayana Rao, T., Saikranthi, K. & Purnachandra Rao, M., 2015, **Comprehensive Evaluation of Multisatellite Precipitation Estimates over India Using Gridded Rainfall Data**, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(17), PP. 8987-9005, <https://doi.org/10.1002/2015JD023437>.
- Tan, M.L. & Duan, Z., 2017, **Assessment of GPM and TRMM Precipitation Products over Singapore**, *Remote Sensing*, 9(7), P. 720, <https://doi.org/10.3390/rs9070720>.
- Tan, M.L. & Santo, H., 2018, **Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR Satellite Precipitation Products over Malaysia**, *Atmospheric Research*, 202, PP. 63-76, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.11.006>.
- Tang, G., Clark, M.P., Papalexiou, S.M., Ma, Z. & Hong, Y., 2020, **Have Satellite Precipitation Products Improved over Last Two Decades? A Comprehensive Comparison of GPM IMERG with Nine Satellite and Reanalysis Datasets**, *Remote Sensing of Environment*, 240, P. 111697, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111697>.
- Turk, F.J. & Miller, S.D., 2005, **Toward Improved Characterization of Remotely Sensed Precipitation Regimes with MODIS/AMSR-E Blended Data Techniques**, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(5), PP. 1059-1069, DOI:10.1109/TGRS.2004.841627.
- Vergara, H., Hong, Y., Gourley, J.J., Anagnostou, E.N., Maggioni, V., Stampoulis, D. & Kirstetter, P.E., 2014, **Effects of Resolution of Satellite-Based Rainfall Estimates on Hydrologic Modeling Skill at Different Scales**, *Journal of Hydrometeorology*, 15(2), PP. 593-613, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-0113.1>.
- Wang, X., Ding, Y., Zhao, C. & Wang, J., 2019, **Similarities and Improvements of GPM IMERG upon TRMM 3B42 Precipitation Product under Complex Topographic and Climatic Conditions over Hexi region, Northeastern Tibetan Plateau**, *Atmospheric Research*, 218, PP. 347-363, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.12.011>.
- Wei, G., Lü, H.T., Crow, W., Zhu, Y., Wang, J. & Su, J., 2018, **Evaluation of satellite-based precipitation Products from IMERG V04A and V03D, CMORPH and TMPA with Gauged Rainfall in Three Climatologic Zones in China**, *Remote Sensing*, 10(1), P. 30, <https://doi.org/10.3390/rs10010030>.
- Xu, F., Guo, B., Ye, B., Ye, Q., Chen, H., Ju, X., ... & Wang, Z., 2019, **Systematical Evaluation of GPM IMERG and TRMM 3B42V7 Precipitation Products in the Huang-Huai-Hai Plain, China**, *Remote Sensing*, 11(6), P. 697, <https://doi.org/10.3390/rs11060697>.
- Yuan, F., Zhang, L., Win, K.W.W., Ren, L., Zhao, C., Zhu, Y., ... & Liu, Y., 2017, **Assessment of GPM and TRMM Multi-Satellite Precipitation Products in Streamflow Simulations in a Data-Sparse Mountainous Watershed in Myanmar**, *Remote Sensing*, 9(3), P. 302, <https://doi.org/10.3390/rs9030302>.
- Zhang, Z., Tian, J., Huang, Y., Chen, X., Chen, S. & Duan, Z., 2019, **Hydrologic Evaluation of TRMM and GPM IMERG Satellite-Based Precipitation in a Humid Basin of China**, *Remote Sensing*, 11(4), P. 431, <https://doi.org/10.3390/rs11040431>.

Zhou, Z., Guo, B., Xing, W., Zhou, J., Xu, F. & Xu, Y., 2020, **Comprehensive Evaluation of Latest GPM Era IMERG and GSMaP Precipitation Products over Mainland China**, Atmospheric Research, 246, P. 105132, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105132>.