

Evaluation of half-hour GPM-GSMaP_G (V0.6) and one-hour GPM-IMERG_F (V2.6) satellite precipitation products in East Azarbaijan province

Taghi Mahdavi*

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

* Corresponding Author: taghi.mahdavi@iau-maragheh.ac.ir

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 0.5 degrees and a temporal resolution of 3 hours, which is presented in three versions. 2- GPM-GSMaP rainfall product with a spatial resolution of 0.5 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 1-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 (BFI), 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 1-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 0.1-1 mm and 1-10 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.

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

تقی مهدوی*

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

*نویسنده عهده دار مکاتبات: taghi.mahdavi@iau-maragheh.ac.ir

خلاصه:

سابقه و هدف:

اندازه‌گیری غیرمستقیم بارش از طریق سنجش از دور، برای دستیابی به یک برآورد جامع از بارش و شناخت بهتر پدیده بارش و پارامترهای مؤثر در آن در یک گستره مکانی وسیع با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا و دقیق یک‌راه عملی است. از طرفی در محصولات بارشی ماهواره‌ای به دلیل به‌کارگیری الگوریتم‌ها و روش‌های تصحیح مختلف با استفاده از مشاهدات باران‌سنج زمینی نیاز به بررسی دقت این محصولات بارشی ماهواره‌ای در بخش‌های مختلف کره زمین هست. دو محصول بارش ماهواره‌ای با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا و دقیق در عصر جدید عبارت‌اند از: ۱- محصول بارشی GPM-IMERG با وضوح مکانی 0.1 درجه و وضوح زمانی 0.5 ساعت که در سه نسخه ارائه می‌شود. ۲- محصول بارشی GPM-GSMaP با وضوح مکانی 0.1 درجه و وضوح زمانی 1 ساعت که این محصول بارش ماهواره‌ای هم غالباً در سه ارائه می‌دهد. غالب تحقیقات مقایسه‌کننده دو محصول GSMaP و IMERG به مقایسه این دو محصول در مقیاس زمانی روزانه و بزرگ‌تر پرداخته‌اند و مطالعات نادری در مقیاس ساعتی وجود دارد. هدف این مطالعه دو محصول بارش ماهواره‌ای تحقیقاتی GPM-IMERG_F و GPM-GSMaP_G را در مقیاس 6 ساعتی (زیر روزانه) در استان آذربایجان شرقی است. با توجه به عدم وجود شبکه باران‌سنجی متراکم در منطقه در کنار فاجعه زیست‌محیطی بروز خشکی در دریاچه ارومیه و اهمیت اطلاعات بارش به‌عنوان یک داده اولیه در اکثر مطالعات آبی حرکت به سمت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد بارش در مناطق مختلف ضروری است؛ بنابراین لازم است دقت و صحت این محصولات باشی ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه هم مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روشها:

در این تحقیق برای ارزیابی قابلیت تشخیص محصولات بارش ماهواره‌ای از هفت معیار مطابقت دودویی شامل 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) و برای تجزیه و تحلیل کمی دقت محصولات باشی ماهواره‌ای از شش شاخص آماری شامل ضریب رگرسیون (R)، جذر

میانگین مربعات خطا (RMSE)، سه شاخص انحراف (MBias, RBias, Bias) و شاخص میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده شده است. همچنین از تحلیل دیاگرام تیلور و مقایسه الگویی‌های مکانی بارش و منحنی چگال احتمالی تجمعی بارش ۶ ساعته و عملکرد محصولات از نظر توپوگرافی و ارتفاعی مقایسه شده است.

نتایج:

با وجود وضوح مکانی و زمانی دقیق‌تر هر دو محصول بارشی آن‌ها هنوز هم سوگیری قابل‌توجهی را در برخی ایستگاه‌ها ارائه می‌دهند. بر اساس تحلیل دیاگرام تیلور در همه ایستگاه‌ها نقطه مربوط به ماهواره IMERG_F به نقطه مشاهده‌شده نزدیک‌تر بود و در نتیجه محصول IMERG_F بهتر از محصول GSMaP_G هست. اگرچه هر دو محصول الگویی‌های مکانی نسبتاً مشابهی از نظر شاخص‌های آماری و دودویی داشتند ولی محصول GPM-IMERG_F دقت و قابلیت تشخیص بسیار بهتری نسبت به محصول GPM-GSMaP_G داشت به‌طوری‌که محصول GPM-IMERG_F منحنی چگال احتمالی تجمعی بسیار نزدیک به ایستگاه‌ها را از نظر شدت بارندگی بازتولید کرد. عملکرد هر دو محصول از نظر توپوگرافی و ارتفاعی روند نسبتاً مشابهی دارند.

نتیجه‌گیری:

محصول GSMaP_G بهترین عملکرد را در منطقه دارد. در مقایسه با مشاهدات ایستگاه‌ها، محصول IMERG_F کم تخمینی، در حالی‌که محصول GSMaP_G بیش تخمینی دارد. محصول IMERG_F در مقایسه با محصول GSMaP_G می‌تواند PDF شدت بارش ۶ ساعته را بهتر بازتولید کند. در منطقه بیشترین فرکانس بارش ۶ ساعته در محدوده ۰.۱-۰.۵ میلی‌متر و ۵-۱۰ میلی‌متر در ۶ ساعت رخ می‌دهد و کمترین فراوانی بارندگی در شدت بارندگی بیش از ۲۰ میلی‌متر در ۶ ساعت ظاهر می‌شود. محصول IMERG_F از نظر فرکانس به‌خوبی با مشاهدات ایستگاهی، زمانی که شدت بارش بیشتر از ۱ میلی‌متر در ۶ ساعت است، موافق هست. این مطالعه برای توسعه‌دهندگان الگوریتم این محصولات و همچنین کاربران این محصولات بالارزش خواهد بود و می‌تواند در کاربردهایی مانند کاهش خطر بلایای طبیعی و مدل‌سازی هیدرولوژیکی، به‌ویژه در مناطقی با شبکه باران‌سنجی پراکنده کمک کند.

کلمات کلیدی: محصولات بارش ماهواره‌ای، (V۰۴) GPM-GSMaP_G، (V۰۶) GPM-IMERG_F، معیارهای مطابقت دودویی، شاخصهای آماری

۱- مقدمه:

به دست آوردن داده‌های بارش دقیق با وضوح مکانی و زمانی خوب برای پیش‌بینی سیل، پایش خشک‌سالی و مدیریت ریسک یکی از چالش‌های بزرگ در جهان است (Zhou et al., ۲۰۲۰). اندازه‌گیری بارش و تخمین‌های آن به‌عنوان محرک اصلی چرخه هیدرولوژیکی، نقش مهمی در مدیریت منابع آب و استراتژی سازگاری با تغییرات اقلیم ایفا می‌کند (Liu et al., ۲۰۲۰). در اثر گرم شدن کره زمین و افزایش شدید بارش، اندازه‌گیری دقیق بارش برای درک تغییر و تنوع آن در مکان و زمان بسیار مهم است؛ بنابراین، مجموعه داده‌های بارش شبکه‌ای با وضوح بالا به درک بهتر چرخه آب و هواشناسی کمک می‌کند (Biswas and Chandrasekar, ۲۰۱۸). روش متداول اندازه‌گیری بارش، سنجش مستقیم آن توسط ایستگاه‌های زمینی به‌صورت نقطه‌ای است که مقدار بارش را در یک نقطه از محل اندازه‌گیری به‌صورت دقیق نشان می‌دهد ولی در سایر نقاط باید با روش‌های درون‌یابی از داده‌های نقطه‌ای ایستگاهی تخمین زده شود و این کار سبب کاهش دقت اندازه‌گیری می‌شود. در نتیجه باید برای افزایش دقت تعداد ایستگاه‌های زمینی را افزایش داد که مشکلاتی از قبیل هزینه‌بر بودن و عدم استقرار دستگاه‌های ثبت‌کننده در مناطق صعب‌العبور و روی آب دریاها را به همراه دارد. (Turk and Miller, ۲۰۰۵).

اندازه‌گیری غیرمستقیم بارش به‌صورت جهانی از طریق ماهواره‌ها، یک‌راه عملی برای دستیابی به یک برآورد جامع از بارش که برای نقاط است. مزیت بررسی بارندگی با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور، شناخت بهتر پدیده بارش و پارامترهای مؤثر در آن در یک گستره مکانی وسیع با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا و دقیق است (Hou et al., ۲۰۱۴). 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 زود هنگام، IMERG_E»، «اجرای دیر هنگام، IMERG_L» و «اجرای نهایی،

IMERG_F» ارائه می‌شود. ۲- محصول بارشی GPM-GSMAP با وضوح مکانی ۰.۱ درجه و وضوح زمانی ۱ ساعت که در سه نسخه غالب (محصول تقریباً بی‌درنگ، GSMaP_N)، (محصول بردار متحرک با فیلتر کالمن، مخفف GSMaP_M) و (محصول استاندارد کالیبره شده با داده‌های بارشی ایستگاه‌های زمینی، GSMaP_G) ارائه می‌دهد.

به دلیل به‌کارگیری الگوریتم‌های تخمین بارندگی متفاوت و روش‌های تصحیح مختلف با استفاده از مشاهدات باران‌سنج زمینی این محصولات بارشی نیاز به بررسی دقت این محصولات در بخش‌های مختلف کره زمین هست. (Sunilkumar et al., ۲۰۱۵). از طرفی تخمین بارش مبتنی بر مشاهدات ماهواره‌ای دارای عدم قطعیت‌های قابل توجهی ناشی از عوامل مختلف از جمله شرایط جوی (بازتاب ابر، تابش حرارتی)، هندسه مدار، الگوریتم بازیابی و شرایط توپوگرافی هستند (Vergara et al., ۲۰۱۴; Carr et al., ۲۰۱۵; Sunilkumar et al., ۲۰۱۵; Kim et al., ۲۰۱۶; Hussain et al., ۲۰۱۸; Lakshmi, ۲۰۱۴). بنابراین با توجه به اهمیت بالقوه داده‌های ماهواره‌ای در کاربردهای هیدرولوژیکی، تلاش‌های عمیق جهت ارزیابی عدم قطعیت این داده‌ها ضروری است.

برخی از مطالعات (Tan and Anjum et al., ۲۰۱۸; Gebregiorgis et al., ۲۰۱۸; Kim et al., ۲۰۱۷; Huang et al., ۲۰۲۰) و (Wang et al., ۲۰۱۹; Beria et al., ۲۰۱۷; He et al., ۲۰۱۷; Kim et al., ۲۰۱۷; Duan Xu et al., ۲۰۱۹; Yuan et al., ۲۰۱۸; Wei et al., ۲۰۱۸; Fang et al., ۲۰۱۹; Li et al., ۲۰۱۹; Tan and Santo, ۲۰۱۸) نشان داده‌اند که محصولات GPM برتر از محصولات TMPA هستند. نتایج برخی تحقیقات نشان می‌دهد عوامل زیادی مانند توپوگرافی پیچیده منطقه (Derin et al., ۲۰۱۴)، شدت بارندگی و فصل خشک و مرطوب (Guo et al., ۲۰۱۵; Chen et al., ۲۰۱۳; Anjum et al., ۲۰۱۸) بر تخمین بارش ماهواره‌ای تأثیر می‌گذارد.

غالب تحقیقات مقایسه کننده دو محصول GSMAP و IMERGE به مقایسه این دو محصول در مقیاس زمانی روزانه و بزرگ‌تر پرداخته‌اند و مطالعات نادری در مقیاس ساعتی وجود دارد.

Salles et al. (۲۰۱۹) با ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای TRMM (TMPA) و (IMERG ۷۰۵) GPM و (GSMaP-v۷) در فلات مرکزی برزیل به‌صورت سالانه، ماهانه و روزانه برای هر دو فصل مرطوب و خشک به این نتیجه رسیدند که به‌طور کلی، IMERG بهترین نتایج سالانه و ماهانه را دارد. با این حال، GSMaP برای گام زمانی روزانه کمی بهتر عمل می‌کند. هر دو تخمین IMERG و GSMaP تحت تأثیر فصلی قرار می‌گیرند و بیشترین مشکل در تخمین بارش در طول فصل خشک رخ می‌دهد. (Shi et al., ۲۰۲۰). با مقایسه ۴ محصول IMERG (محصولات بارشی IMERG-E، IMERG-L، IMERG-F، GSMaP-MVK، GSMaP-G، GSMaP-NOW، GSMaP-NRT، GSMaP-Gauge-NRT) و ۵ محصول GSMaP (محصولات، رسیدند که در بین سه محصول IMERG، IMERG-F کمترین خطای سیستماتیک و بهترین کیفیت را دارد و در بین ۵ محصول GSMaP، GSMaP-G بهترین عملکرد را از نظر معیارهای آماری مختلف ارائه کرد. (Tang et al., ۲۰۲۰). در یک ارزیابی جامع از ۹ محصولات بارشی ماهواره‌ای شامل (TRMM ۳B4۲، CMORPH، PERSIANN-CDR، GSMaP، CHIRPS، SM2RAIN، ERA-Interim، ERA۵ و MERRA۲) در چین به این نتیجه رسیدند که IMERG از سایر مجموعه محصولات بارشی به‌جز GSMaP-G بهتر عمل می‌کند. (Prakash et al., ۲۰۱۸). با مقایسه محصولات بارشی GPM-IMERG و GPM-GSMaP و TMPA در هند به این نتیجه رسیدند که محصول IMERG میانگین بارندگی موسمی و تغییرپذیری آن را به‌طور واقعی‌تر از GSMaP-G می‌دهد. با این حال، GSMaP-G خطای ریشه میانگین مربع نسبتاً کوچک‌تری نسبت به محصولات IMERG و TMPA به‌ویژه در رژیم‌های کم بارش دارد. همچنین محصول IMERG عملکرد خوبی در شناسایی بارش ازدست‌رفته و بارش کاذب نشان داد. Nepal et al. (۲۰۲۱) در مقایسه دو محصول (IMERG-۷۰۶) و (GSMaP-G-۷۰۷) در مقیاس روزانه به این نتیجه رسیدند که بین این دو، محصول IMERG عملکرد سازگارتری نسبت به محصول GSMaP نشان می‌دهد. ارزیابی بر اساس شاخص‌های بارش شدید نشان داد که محصول IMERG می‌تواند جایگزین خوبی برای نظارت بر رخداد‌های روزانه باشد. در همین حال، GSMaP می‌تواند

گزینه بهتری برای رخدادهای مبتنی بر مدت زمان در منطقه کوهستانی باشد. (Lu & Yong ۲۰۱۸) به ارزیابی عملکرد چهار محصول بارش ماهواره‌ای (IMERG-UC, IMERG-C, GSMaP-MVK و GSMaP-G) در فلات تبت پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد هر چهار محصول بارش ماهواره‌ای می‌توانند الگوهای مکانی بارش بر روی فلات تبت را ثبت کنند. دو محصول IMERG-C و GSMaP-G از نظر ارزیابی آماری با اندازه‌گیری‌های زمینی نسبت به دیگر محصولات ماهواره‌ای سازگارتر بودند. (Liu et al., ۲۰۲۰) به ارزیابی عملکرد سه محصول بارش ماهواره‌ای GSMaP, IMERG و CHIRPS در جزیره بالی در انواع مختلف ارتفاعات، شدت بارندگی و مقیاس‌های زمانی روزانه، پنج‌روزه، ماهانه و فصلی پرداختند. نتایج ارزیابی آن‌ها نشان داد که محصولات IMERG بالاترین عملکرد را در مقیاس‌های زمانی روزانه، پنج‌روزه و فصلی دارد، درحالی‌که CHIRPS از دو محصول دیگر در مقیاس زمانی ماهانه بهتر بود. علاوه بر این، IMERG در تشخیص رویدادهای بارندگی در ارتفاعات مختلف کارآمدتر بود، اما تمایل داشت که رویدادهای بارندگی را در ارتفاعات، زیاد تخمین بزند. GSMaP, IMERG و CHIRPS فرکانس رویدادهای بارندگی سبک (۱-۰ میلی‌متر در روز) و رویدادهای بارندگی شدید (بیش از ۵۰ میلی‌متر در روز) را دست کم می‌گیرند، اما فرکانس متوسط رویدادهای بارندگی (۵-۱۰ میلی‌متر در روز) را بیش از حد تخمین می‌زنند. (Zhou et al., ۲۰۲۰) به ارزیابی عملکرد محصولات IMERG و GSMaP در چین پرداختند نتایج آن‌ها نشان داد که GSMaP-G در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و فصلی بهتر از سایر محصولات بارش ماهواره‌ای عمل می‌کند. در مقایسه با سایر محصولات بارش ماهواره‌ای، عملکرد GSMaP-G در تمام ارتفاعات بهتر است. باین‌حال، خطاهای وابسته به ارتفاع قابل توجهی در GSMaP-N وجود دارد. به‌طور کلی، GSMaP-G و IMERG-F بهتر از سایر محصولات بارش ماهواره‌ای در کاهش خطاهای مختلف عمل می‌کنند.

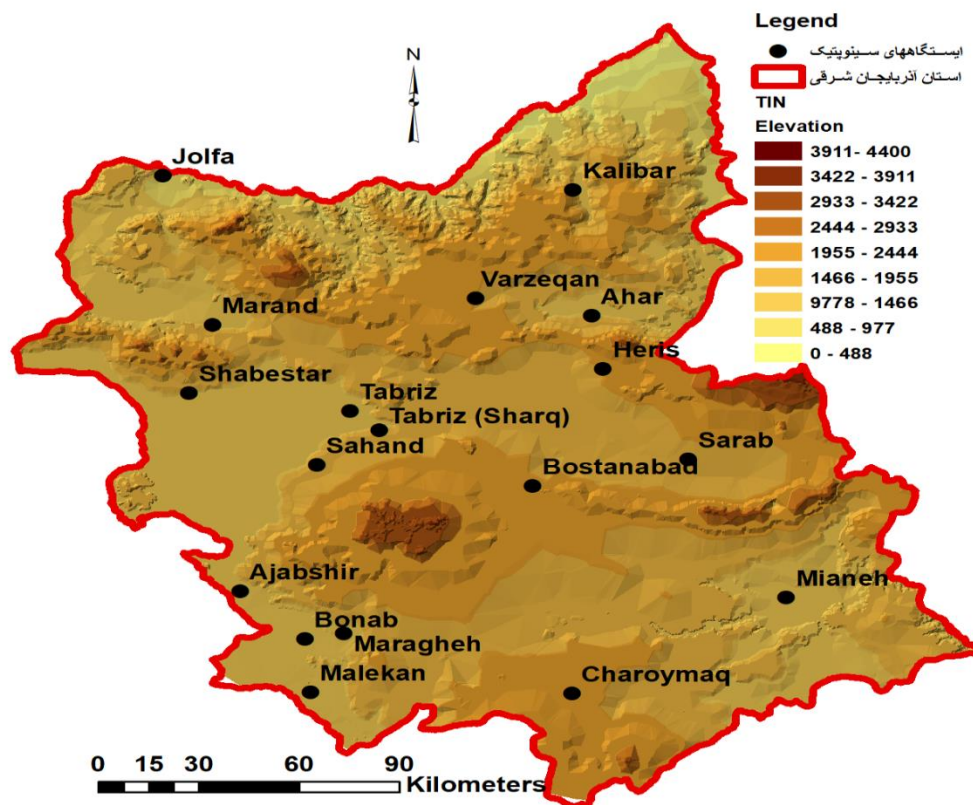
با توجه به عدم وجود شبکه باران‌سنجی متراکم در منطقه، فاجعه زیست‌محیطی دریاچه ارومیه، اهمیت اطلاعات بارش به‌عنوان یک داده اولیه در اکثر مطالعات آبی، حرکت به سمت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد بارش در مناطق مختلف ضروری است؛ بنابراین لازم است دقت و صحت این محصولات باشی ماهواره‌ای در مناطق مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد. در این راستا در مقاله حاضر دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای (V۰۴) GSMaP-G (محصول یک‌ساعته استاندارد کالیبره شده با داده‌های بارش روزانه زمینی) و (V۰۶) IMERG-F (محصول نیم‌ساعته اجرای نهایی) در استان آذربایجان شرقی در شرق دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج ما به توسعه‌دهندگان الگوریتم کمک می‌کند تا الگوریتم‌های بازایی بارش نیم‌ساعته IMERG و یک‌ساعته GSMaP را بهبود ببخشند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه و داده‌های مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی در شرق دریاچه ارومیه در ایران است (شکل ۱). ارتفاع عمومی استان از ۱۶۰ تا ۴۸۱۱ متر متغیر است و از تغییرات اقلیمی متفاوتی برخوردار بوده و به‌طور کلی دارای اقلیم سرد و کوهستانی 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 در سردترین منطقه دمای حداقل ۳۰- درجه سانتی‌گراد و در گرم‌ترین منطقه دمای ۴۱+ درجه سانتی‌گراد به ثبت رسیده است. متوسط نزولات جوی ۲۰ ساله بر اساس آمارهای موجود در ایستگاه‌های سینوپتیک برابر ۲۸۵ میلی‌متر است.

مجموعه داده‌های مرجع مورد استفاده در این مطالعه میزان بارندگی ۶ ساعته ثبت شده در ۱۸ ایستگاه سینوپتیک (از مارس تا ژوئن ۲۰۱۷) است.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک

در این تحقیق دو محصول بارش ماهواره‌ای GPM-IMERG_F نیم‌ساعته و GSMaP_G یک‌ساعته مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجایی که در ایران داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک در مقیاس ۶ ساعته در اختیار محققان قرار می‌گیرد لذا در این تحقیق داده‌های IMERG نیم‌ساعته با تجمیع ۱۲ بارش نیم‌ساعته و داده‌های GSMaP یک‌ساعته با تجمیع ۶ بارش یک‌ساعته به بارش ۶ ساعته تبدیل شدند تا با داده‌های بارندگی ۶ ساعته ایستگاه‌های سینوپتیک مستقیم مقایسه شوند. از آنجایی که واحد محصولات نیم ساعته IMERG بر حسب میلی‌متر در ساعت است. برای به دست آوردن بارش ۶ ساعته انباشته IMERG با انباشتن مقادیر بارندگی از ۱۲ محصول نیم‌ساعته IMERG تولید می‌شوند و سپس مقدار بارندگی انباشته‌شده در ضریب ۰.۵ ضرب می‌شود.

۲-۲- اعتبار سنجی

برای ارزیابی صحت داده‌های ماهواره‌ای در برابر داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی سینوپتیک، از ۷ شاخص مطابقت یا احتمالاتی دودویی ساده، TSS, PC, FBI, HSS, FAR, CSI, FAR، به شرح روابط ۱ تا ۷ و شش شاخص آماری Bias, MBias, RBias, R, MAE, RMSE به شرح روابط ۸ تا ۱۳ در این مطالعه استفاده شده است.

شاخص‌های مطابقت:

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 است d تعداد حالاتی است که نه ایستگاه زمینی و نه ماهواره بارش ثبت نکرده است b تعداد حالاتی است که ایستگاه زمینی بارش ثبت کرده ولی ماهواره بارش ثبت نکرده است c تعداد حالاتی است که ایستگاه زمینی بارش ثبت نکرده ولی ماهواره بارش ثبت کرده است (Jolliffe and Stephenson, ۲۰۱۲).

جدول ۱: جدول توافقی (Jolliffe and Stephenson, ۲۰۱۲)

ثبت بارش توسط ایستگاه زمینی			
		بارش	بدون بارش
تخمین بارش توسط ماهواره	بارش	a	b
	بدون بارش	c	d

$$CSI = \frac{a}{(a + b + c)} \quad (۱)$$

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

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

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

$$HSS = \frac{۲ * (a * d - b * c)}{(a + c)(c + d) + (a + b)(b + d)} \quad (۵)$$

$$FAR = \frac{b}{b + a} \quad (۶)$$

$$POD = \frac{a}{a + c} \quad (۷)$$

شاخص موفقیت بحرانی (CSI) بیانگر نسبتی از وقوع بارش است که توسط ماهواره به درستی تشخیص داده شده است. اگر مقدار شاخص آماری مهارت واقعی (TSS) برابر ۱ باشد بیانگر مطابقت کامل مقادیر ماهواره‌ای و مشاهده‌ای است. نسبت صحیح (PC) نقاط تشخیص دقیق بارش و عدم 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 توسط ماهواره به مشاهدات زمینی از بارش. اگر مقدار شاخص FBI بزرگ‌تر از ۱ باشد، نشان‌دهنده تخمین بیش‌ازحد توسط ماهواره است. اگر شاخص امتیاز مهارت هیک (HSS) برابر یک باشد، نشان‌دهنده تطابق کامل بین بارش تخمینی ماهواره و بارش زمینی مشاهده شده است. مقدار نسبت هشدار اشتباه (FAR) کوچک‌تر، نشان‌دهنده برآورد بهتر بارش توسط ماهواره است. در بهترین حالت ممکن این شاخص می‌تواند صفر باشد که بیانگر پیش‌بینی کامل بارش توسط 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 بیانگر این است که ماهواره بارش را به‌خوبی تشخیص می‌دهد.

شاخص‌های آماری:

Bias یا تورش به‌عنوان میانگین تفاوت بین بارندگی مشاهده‌ای و داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند مثبت یا منفی باشد. تورش منفی نشانگر دست‌کم برآورد کردن میزان بارندگی توسط ماهواره در حالی که تورش مثبت بیانگر برآورد بیش‌ازحد است. MBias نسبت داده ماهواره‌ای به مقدار باران مشاهده‌ای است. اگر این مشخصه کمتر از ۱ باشد نشانگر دست‌کم برآورد کردن میزان بارندگی توسط ماهواره است و در حالتی که بزرگ‌تر از ۱ باشد بیانگر برآورد بیش‌ازحد است. RBias نشان‌دهنده سوگیری منظم بارندگی مبتنی بر ماهواره و بارندگی مشاهده‌ای است. ضریب همبستگی (R) نشان‌دهنده میزان توافق بین بارندگی مبتنی بر ماهواره و مشاهده‌ای است. میانگین خطای مطلق (MAE) نشان‌دهنده میانگین بزرگی خطا است. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) نشان‌دهنده بزرگی خطای کلی است بنابراین کم بودن این شاخص نشانه تخمین بهتر بارندگی توسط داده ماهواره‌ای است. مقدار r برابر ۱ نشانگر تناسب مثبت کامل درحالی‌که مقدار -۱ نشانگر تناسب منفی کامل است. اگر هیچ همبستگی خطی یا همبستگی خطی ضعیف وجود داشته باشد، r نزدیک به ۰ است.

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{Si} - P_{Oi})}{N} \quad (8)$$

$$MBias = \frac{\sum_{i=1}^N P_{Si}}{\sum_{i=1}^N P_{Oi}} \quad (9)$$

$$RBias = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{Si} - P_{Oi})}{\sum_{i=1}^N P_{Oi}} * 100 \quad (10)$$

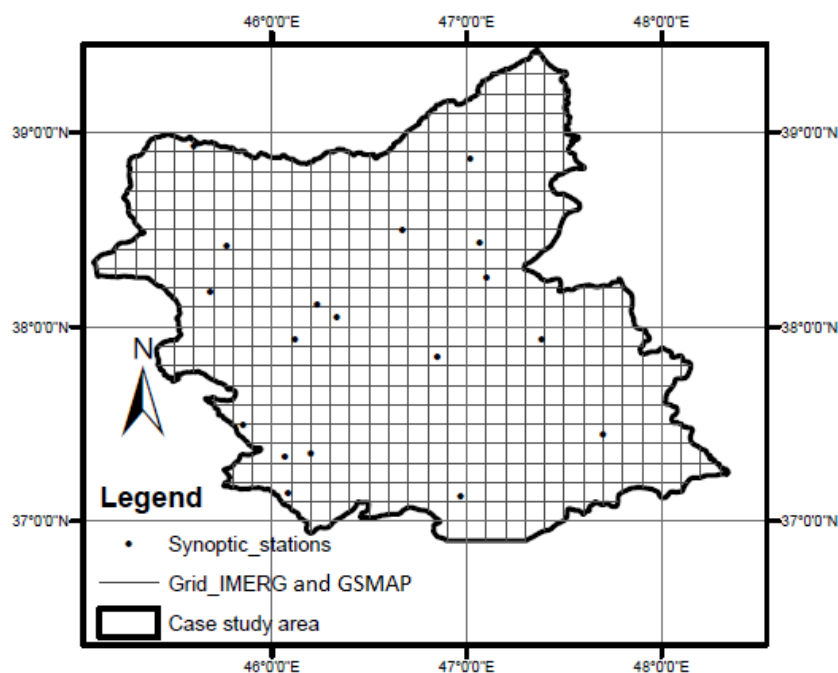
$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |P_{Si} - P_{Oi}|}{N} \quad (11)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_{Si} - P_{Oi})^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{Oi} - \bar{P}_O) * \sum_{i=1}^N (P_{Si} - \bar{P}_S)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_{Oi} - \bar{P}_O)^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_{Si} - \bar{P}_S)^2}} \quad (13)$$

۳- نتایج

در شکل ۲ موقعیت ایستگاه‌های ثبت بارش زمینی به همراه شبکه سلولی ۰.۱*۰.۱ درجه دو ماهواره GSMAP و IMERG را مشخص را نشان می‌دهد. در این بخش با توجه به مقدار بارش ثبت شده در ایستگاه‌ها به مقایسه آن‌ها با داده‌های دو ماهواره در سلول مرتبط با آن ایستگاه بر اساس شاخص‌های دودویی و شاخص‌های آماری پرداخته شده است.



شکل ۲: شبکه سلولی ۰.۱*۰.۱ درجه دو ماهواره GSMAP و IMERG به همراه موقعیت ایستگاه‌های ثبت بارش زمینی

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

در این تحقیق داده‌های بارشی ۶ ساعته محدود به داده‌های بارشی ۶ ساعته ای گفته می‌شود که در آن ۶ ساعت حداقل ۳۰ درصد ایستگاه‌های سینوپتیک در محدوده مورد مطالعه بارش بیشتر از ۰.۱ میلی‌متر ثبت کرده باشند. نتایج تحلیل داده‌های بارشی محدود ایستگاهی با شاخصه‌ای آماری در جدول ۲ نشان داده شده است.

همان‌طوری که ملاحظه می‌کنید شاخص Bias و RBias در محصول GSMAP در کلیه ایستگاه‌ها مثبت است در حالی که در محصول GPM-IMERG در ۴۵ درصد ایستگاه‌ها منفی است که نشان می‌دهد محصول GSMAP دارای بیش برآوردی و محصول GPM-IMERG در ۸ ایستگاه دارای کم برآوردی و در ۱۰ ایستگاه دارای بیش برآوردی است. اما نکته قابل توجه این است که Bias در ۱۸ 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 که نشان می‌دهد تورش محصول GSMAP بیش از ۲ برابر محصول GPM-IMERG است. متوسط شاخص نسبت داده ماهواره‌ای به مقدار باران مشاهده‌ای (MBias) در ۱۸ ایستگاه در محصول GSMAP برابر ۲.۳۹ و در محصول GPM-IMERG برابر ۱.۲۱ است که نشان‌دهنده بیش برآوردی زیاد محصول GSMAP است. بررسی شاخص RBias در ۱۸ ایستگاه نشان می‌دهد وقتی که محصول GPM-IMERG دارای کم برآوردی است محصول GSMAP دارای بیش برآوردی جزئی است اما وقتی که محصول GPM-IMERG دارای بیش برآوردی است محصول GSMAP دارای بیش برآوردی زیاد است.

مقایسه دو شاخص میانگین خطای مطلق (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) هم نشان می‌دهد میانگین بزرگی خطا و بزرگی خطای کلی محصول GSMAP به ترتیب ۲.۰۱ و ۳.۶۱ میلی‌متر بوده در حالی که میانگین بزرگی خطا و بزرگی خطای کلی محصول GPM-IMERG به ترتیب ۱.۲۳ و ۲.۴۴ میلی‌متر است در نتیجه محصول GPM-IMERG برتر است.

ضریب همبستگی (R) در هر دو محصول باشی ماهواره‌ای در یک ایستگاه منفی است و در ۴ ایستگاه بالای ۰.۵ است بنابراین دو محصول از نظر ضریب همبستگی (R) خیلی برتری نسبت به هم ندارند.

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	۲,۰۳	۱,۳۰	۴,۱۶	۳,۰۲	۳۱۵,۹۳	۲۰۱,۸۱	۲,۴۸	۱,۵۱	۴,۲۴	۳,۷۰	۰,۵۰	۰,۷۷
Ahar	۰,۶۳	۰,۱۹	۱,۸۴	۱,۲۵	۸۴,۳۵	۲۵,۱۳	۱,۳۱	۰,۷۲	۲,۶۷	۱,۱۶	۰,۳۵	۰,۶۸
Tabriz	۰,۹۵	-۰,۶۹	۱,۵۱	۰,۶۳	۵۱,۳۱	-	۲,۹۱	۲,۰۵	۵,۴۲	۴,۷۳	۰,۳۷	۰,۲۵
Sahand	۰,۹۳	۰,۲۵	۲,۱۲	۱,۳۰	۱۱۲,۴۸	۳۰,۰۸	۱,۶۲	۱,۲۹	۲,۸۸	۲,۶۶	۰,۴۶	۰,۲۴
Sarab	۰,۷۰	-۰,۰۳	۱,۸۱	۰,۹۶	۸۳,۶۶	-۴,۰۷	۲,۰۲	۱,۲۶	۳,۸۴	۲,۶۱	-۰,۰۴	۰,۳۷
Kalibar	۱,۷۹	۰,۲۱	۳,۰۴	۱,۲۴	۲۰۴,۳۴	۲۳,۷۱	۲,۰۹	۱,۱۲	۳,۹۰	۲	۰,۶۶	۰,۴۶
Maragheh	۱,۷۲	۰,۴۴	۴,۵۹	۱,۹۳	۳۵۹,۱۳	۹۲,۷۵	۲,۰۲	۰,۸۵	۳,۵۴	۱,۵۲	۰,۳۷	۰,۳۶
Mianeh	۰,۸۴	۰,۱۹	۲,۲۲	۱,۲۸	۱۲۲	۲۸,۴۲	۱,۱۹	۰,۹۰	۲,۰۱	۱,۳۴	۰,۵۱	۰,۴۵
Marand	۱,۲۴	-۰,۳۲	۱,۸۰	۰,۷۹	۷۹,۹۴	-	۲,۴۳	۱,۴۶	۴,۲۶	۲,۵۹	۰,۵۴	۰,۶۰
Varzeqan	۱,۲۲	۰,۵۷	۲,۳۴	۱,۶۲	۱۳۳,۶۹	۶۲,۴۵	۱,۹۲	۱,۴۳	۳,۹۰	۳,۴۳	۰,۳۵	۰,۳۵
Shabestar	۰,۸۸	-۰,۵۴	۱,۶۳	۰,۶۱	۶۳,۱۰	-	۱,۹۹	۱,۴۱	۳,۹۴	۳,۱۵	۰,۵۳	۰,۳۸
Heris	۰,۲۷	-۰,۰۱	۱,۲۶	۰,۹۹	۲۶,۴۹	-۱,۲۷	۱,۷۹	۱,۳۰	۳,۱۵	۲,۶۹	۰,۲۵	۰,۱۷

Tabriz (Sharq)	۱,۱۸	-۰,۴۶	۲,۰۲	۰,۶	۱۰۲,۴۹	-	۲,۵۲	۱,۱۹	۴,۶۵	۲,۸۰	۰,۲۸	۰,۴۹
					۳۹,۷۴							
Ajabshir	۰,۸۱	-۰,۱۷	۱,۹۸	۰,۸۰	۹۸,۱۷	-	۱,۶۹	۰,۸۰	۳,۰۸	۱,۸۴	۰,۳۴	۰,۵۴
					۲۰,۰۸							
Bonab	۱,۳۷	۰,۲۲	۳,۳۵	۱,۳۷	۲۳۵,۱۵	۳۷,۳۰	۲,۱۲	۱,۲۲	۳,۴۷	۲,۰۷	۰,۰۴	-۰,۱۱
Bostanabad	۰,۶۱	-۰,۱۱	۱,۶۹	۰,۸۷	۶۸,۸۱	-	۱,۷۶	۱,۰۴	۲,۹۴	۱,۷۹	۰,۲۶	۰,۳۳
					۱۲,۹۳							
QareAghaj	۱,۴۴	۰,۳۷	۲,۶۶	۱,۴۲	۱۶۵,۸۶	۴۲,۳۷	۲,۳۷	۱,۳۷	۳,۶۲	۲,۱۷	۰,۳۱	۰,۲۹
Malekan	۱,۲۷	۰,۰۹	۳	۱,۱۴	۱۹۹,۶۴	۱۳,۹۷	۱,۹۲	۱,۱۴	۳,۵۱	۱,۷۶	۰,۱۵	۰,۱۳

۲-۳- 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 می‌کنید. مقدار احتمال تشخیص (POD) در محصول IMERG بین ۰.۲۹ - ۰.۹۱ بوده و در ۱۰ ایستگاه از ۱۸ ایستگاه بالای ۰.۷ است اما در محصول GSMAP بین ۰.۴۳ - ۰.۸۶ بوده و در ۸ ایستگاه از ۱۸ ایستگاه بالای ۰.۷ است. بنابراین محصول IMERG فرکانس بالاتری از شناسایی موفق از رویدادهای بارش را در زمانی که بارش واقعاً اتفاق می‌افتد، ارائه می‌کند. مقدار نسبت هشدار اشتباه (FAR) در محصول IMERG بین ۰.۲۴ - ۰.۸۸ بوده و در محصول GSMAP بین ۰.۲۴ - ۰.۸۳ بوده و در هر دو محصول فقط در ۵ ایستگاه مقدار FAR کمتر از ۰.۳۵ است.

مقادیر متوسط شاخص موفقیت بحرانی (CSI)، مقدار شاخص آماری مهارت واقعی (TSS)، شاخص امتیاز مهارت هیک (HSS) و نسبت صحیح (PC) در ۱۸ ایستگاه در هر دو محصول بارشی ماهواره‌ای نزدیک به هم هستند. مقدار متوسط شاخص FBI در ۱ ایستگاه در محصول IMERG برابر ۱.۳۹ و در محصول GSMAP برابر ۱.۳۱ است بنابراین محصول IMERG روزهای بارش را قدری بیشتر از محصول GSMAP تشخیص می‌دهد.

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

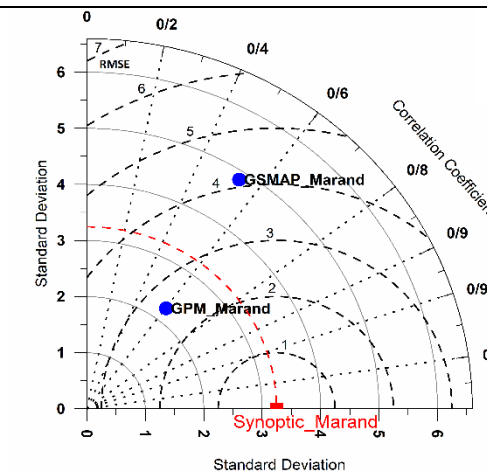
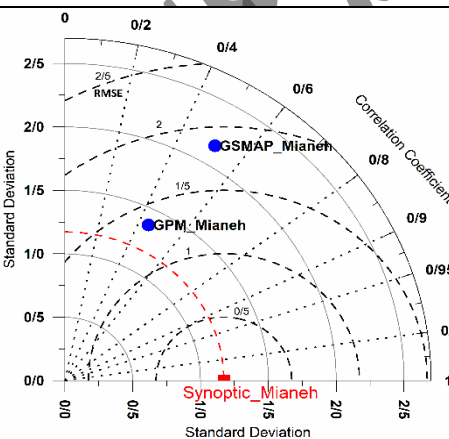
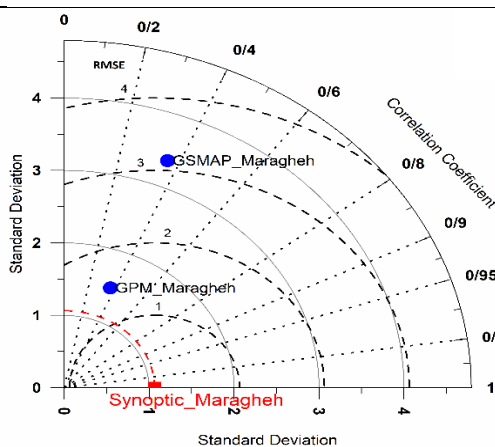
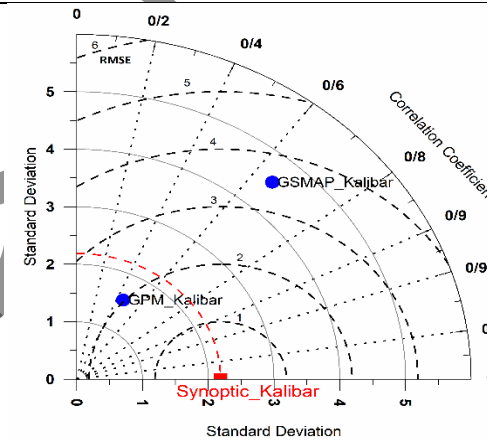
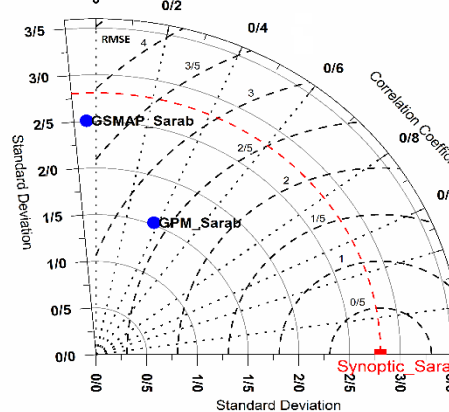
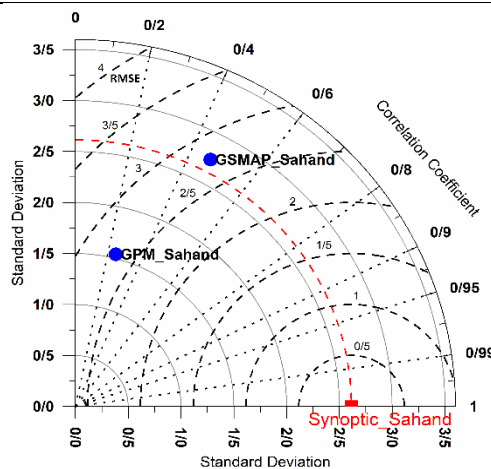
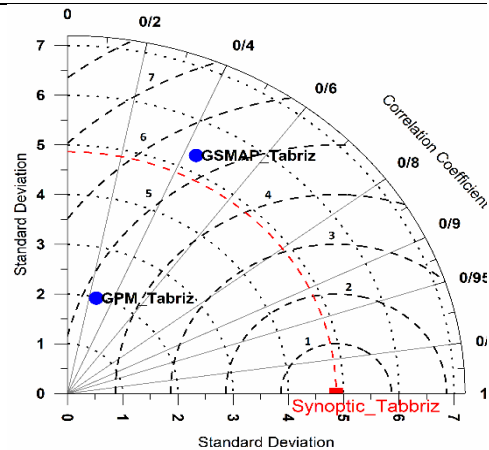
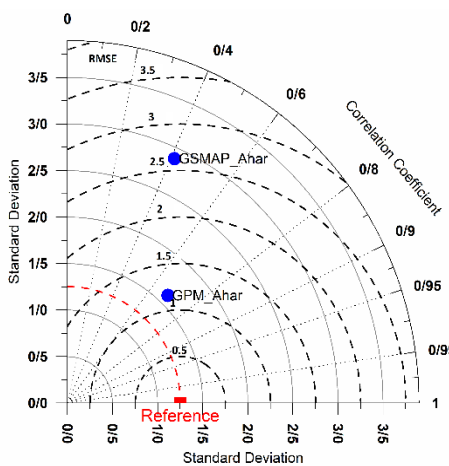
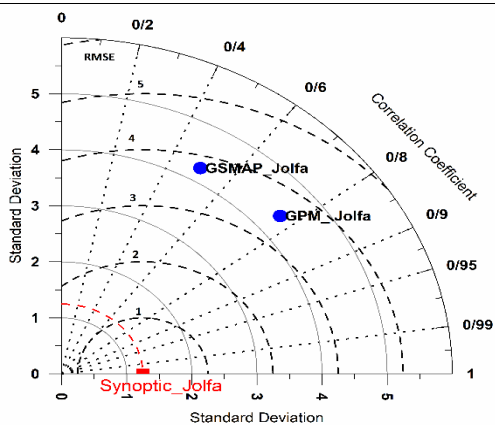
Station name	POD		FAR		CSI		TSS		PC		FBI		HSS	
	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG
Jolfa	۰,۷۱	۰,۷۹	۰,۴۱	۰,۳۱	۰,۴۸	۰,۵۸	۰,۳۸	۰,۵۵	۰,۶۹	۰,۷۷	۱,۲۱	۱,۴۱	۰,۳۷	۰,۵۳
Ahar	۰,۴۴	۰,۷۵	۰,۰	۰,۴۳	۰,۳	۰,۴۸	۰,۰۷	۰,۲۸	۰,۵۴	۰,۶۳	۰,۸۸	۱,۳۱	۰,۰۷	۰,۲۷
Tabriz	۰,۷۵	۰,۷۵	۰,۲۵	۰,۳۳	۰,۶	۰,۵۵	۰,۵۴	۰,۴۳	۰,۷۷	۰,۷۱	۱	۱,۱۳	۰,۵۴	۰,۴۳
Sahand	۰,۸۵	۰,۶۹	۰,۳۵	۰,۴۷	۰,۵۸	۰,۴۳	۰,۵۷	۰,۳۳	۰,۷۷	۰,۶۶	۱,۳۱	۱,۳۱	۰,۵۴	۰,۳۱
Sarab	۰,۸۲	۰,۴۵	۰,۵۳	۰,۶۹	۰,۴۳	۰,۲۳	۰,۴۰	۰	۰,۶۶	۰,۵۱	۱,۷۳	۱,۴۵	۰,۳۴	۰
Kalibar	۰,۶۹	۰,۸۸	۰,۳۵	۰,۴۶	۰,۵	۰,۵	۰,۳۷	۰,۲۴	۰,۶۹	۰,۶	۱,۰۶	۱,۶۳	۰,۳۷	۰,۲۳
Maragheh	۰,۵۳	۰,۶۵	۰,۵۳	۰,۳۹	۰,۳۳	۰,۴۶	-	۰,۲۶	۰,۴۹	۰,۶۳	۱,۱۲	۱,۰۶	-	۰,۲۶
							۰,۰۳						۰,۰۳	
Mianeh	۰,۸۶	۰,۷۱	۰,۴۸	۰,۴۴	۰,۴۸	۰,۴۵	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۶۳	۰,۶۶	۱,۶۴	۱,۲۹	۰,۳	۰,۳۲
Marand	۰,۶	۰,۶	۰,۶۸	۰,۶۸	۰,۲۶	۰,۲۶	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۵۱	۰,۵۱	۱,۹۰	۱,۹۰	۰,۰۶	۰,۰۶
Varzeqan	۰,۶۲	۰,۶۷	۰,۲۴	۰,۲۶	۰,۵۲	۰,۵۴	۰,۳۳	۰,۳۱	۰,۶۶	۰,۶۶	۰,۸۱	۰,۹۰	۰,۳۲	۰,۳۰
Shabestar	۰,۷۵	۰,۸۱	۰,۳۳	۰,۲۴	۰,۵۵	۰,۶۵	۰,۴۳	۰,۶	۰,۷۱	۰,۸	۱,۱۳	۱,۰۶	۰,۴۳	۰,۶۰
Heris	۰,۵۴	۰,۴۶	۰,۵۶	۰,۶۷	۰,۳۲	۰,۲۴	۰,۱۳	-	۰,۵۷	۰,۴۶	۱,۲۳	۱,۳۸	۰,۱۲	-
							۰,۰۸						۰,۰۸	
Tabriz (Sharq)	۰,۷۱	۰,۷۹	۰,۳۳	۰,۳۹	۰,۵۳	۰,۵۲	۰,۴۸	۰,۴۵	۰,۷۴	۰,۷۱	۱,۰۷	۱,۲۹	۰,۴۷	۰,۴۳
Ajabshir	۰,۵۵	۰,۵۵	۰,۵۴	۰,۴۵	۰,۳۳	۰,۳۸	۰,۲۵	۰,۳۴	۰,۶۶	۰,۷۱	۱,۱۸	۱	۰,۲۴	۰,۳۴
Bonab	۰,۴۳	۰,۲۹	۰,۸۳	۰,۸۸	۰,۱۴	۰,۱۰	-	-	۰,۴۶	۰,۴۶	۲,۵۷	۲,۲۹	-	-
							۰,۱۱	۰,۲۱					۰,۰۷	۰,۱۴

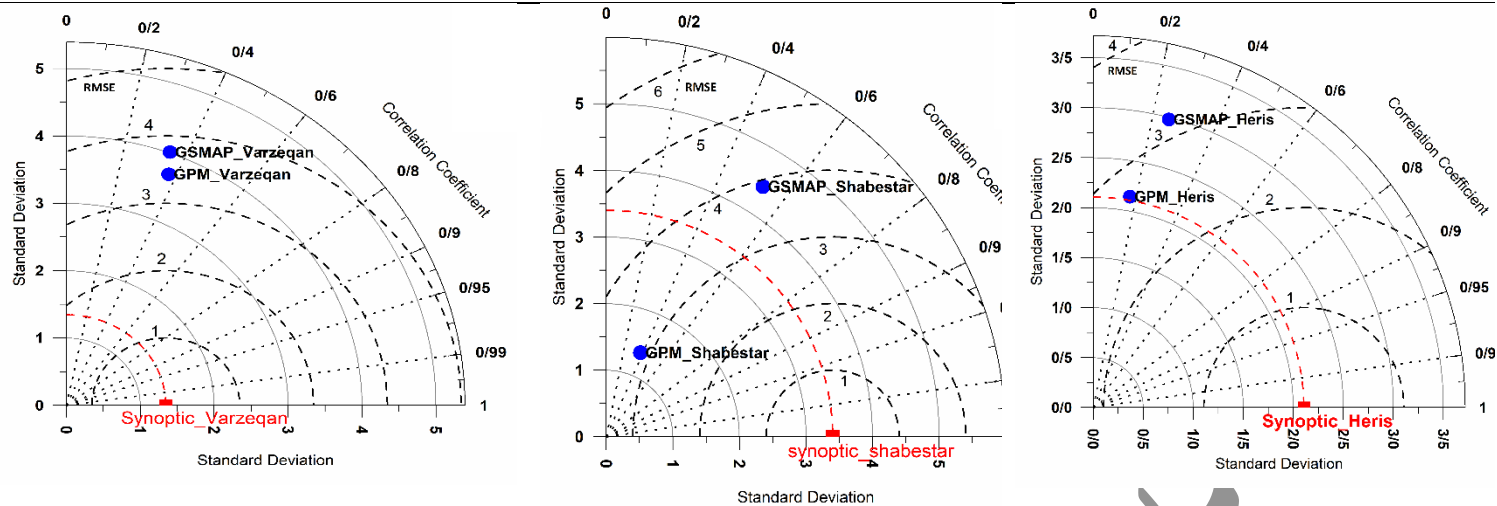
Bostanabad	۰,۶۴	۰,۹۱	۰,۴۶	۰,۵۷	۰,۴۱	۰,۴۲	۰,۳۹	۰,۳۷	۰,۷۱	۰,۶	۱,۱۸	۲,۰۹	۰,۳۷	۰,۲۸
QareAghaj	۰,۵۰	۰,۷۲	۰,۵۰	۰,۳۲	۰,۳۳	۰,۵۴	۰,۳	۰,۳۷	۰,۴۹	۰,۶۹	۱	۱,۰۶	۰,۳	۰,۳۷
Malekan	۰,۴۵	۰,۳۶	۰,۷۱	۰,۷۵	۰,۲۲	۰,۱۷	۰,۵	۰,۱۴	۰,۴۹	۰,۴۹	۱,۵۵	۱,۴۵	۰,۴	۰,۱۲

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

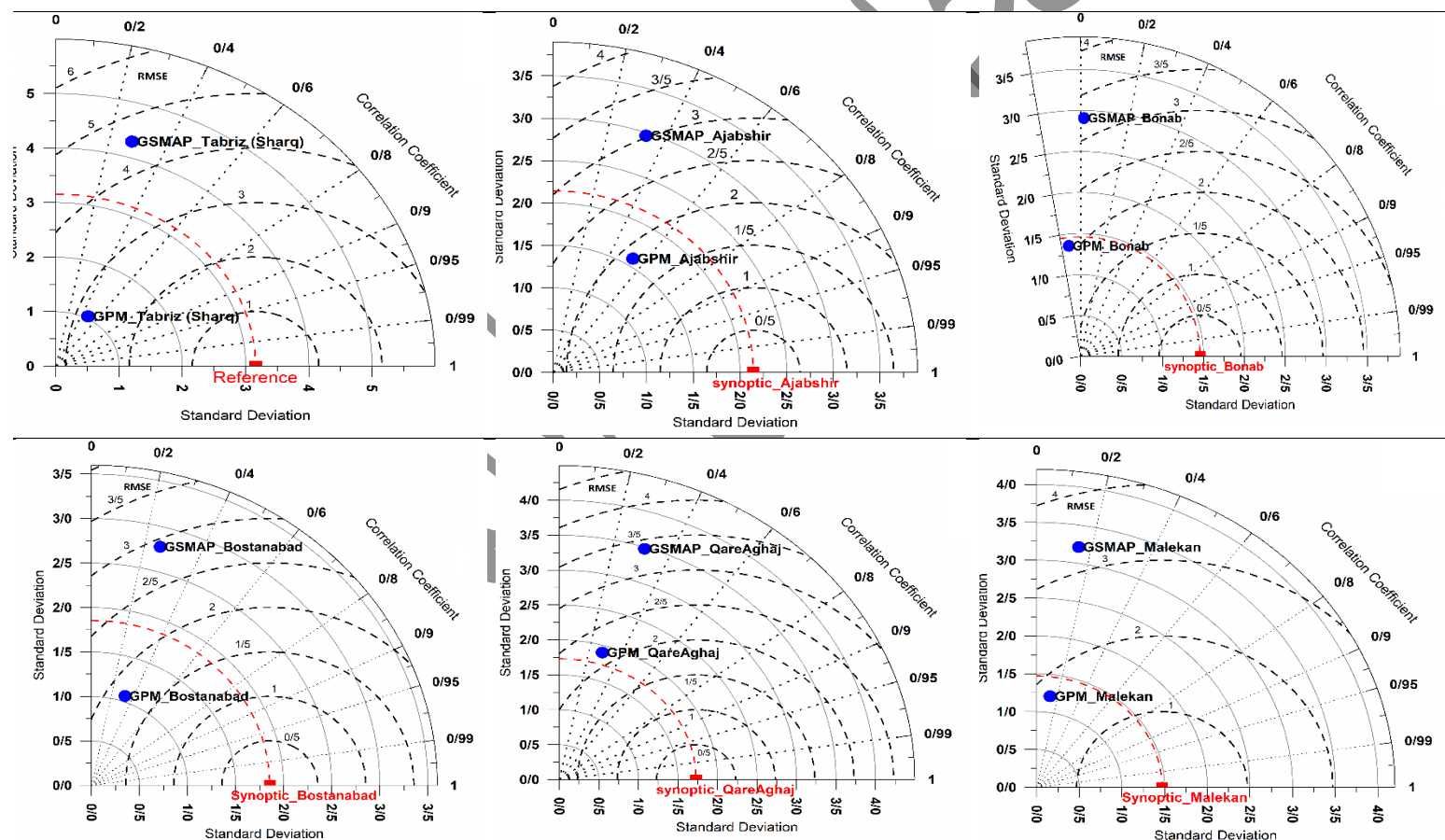
در دیاگرام تیلور اگر نقطه شبیه‌سازی به نقطه مشاهده‌شده نزدیک باشد، به این معنی است که از نظر انحراف معیار مشابه هستند، همبستگی آن‌ها زیاد است و RMSE آن‌ها نزدیک به صفر است. همچنین یک خط‌چین قرمز وجود دارد که نشان‌دهنده انحراف معیار سری زمانی مشاهده‌شده است. درواقع دیاگرام تیلور تغییرات سه شاخص انحراف معیار استاندارد و ضریب همبستگی و کمترین مربعات خطا را در محصولات بارش ماهواره‌ای را با داده مشاهده‌ای می‌سنجد و هرچقدر مقادیر این سه شاخص در محصول بارش ماهواره‌ای به داده مشاهده‌ای رفرنس نزدیک باشد پیش‌بینی توسط ماهواره بهتر صورت گرفته است. در شکل ۳ موقعیت دو محصول بارشی ماهواره‌ای در مقایسه با داده مشاهده‌ای رفرنس برای هر ۱۸ ایستگاه سینوپتیک نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در تمامی ۱۸ ایستگاه نقطه مربوط به ماهواره IMERG (که در شکل با GPM نمایش داده‌شده) نسبت به نقطه مربوط به ماهواره GSMAP به نقطه مشاهده‌شده نزدیک هست. بنابراین از نظر تحلیل نمودار تیلور محصول بارشی IMERG نسبت به محصول بارشی GSMAP در موقعیت برتری قرار دارد.

سی‌انتشار





شکل ۳: موقعیت دو محصول بارشی ماهواره‌ای ۶ ساعته در مقایسه با داده بارش ۶ ساعته مشاهده‌ای ایستگاه‌های سینوپتیک

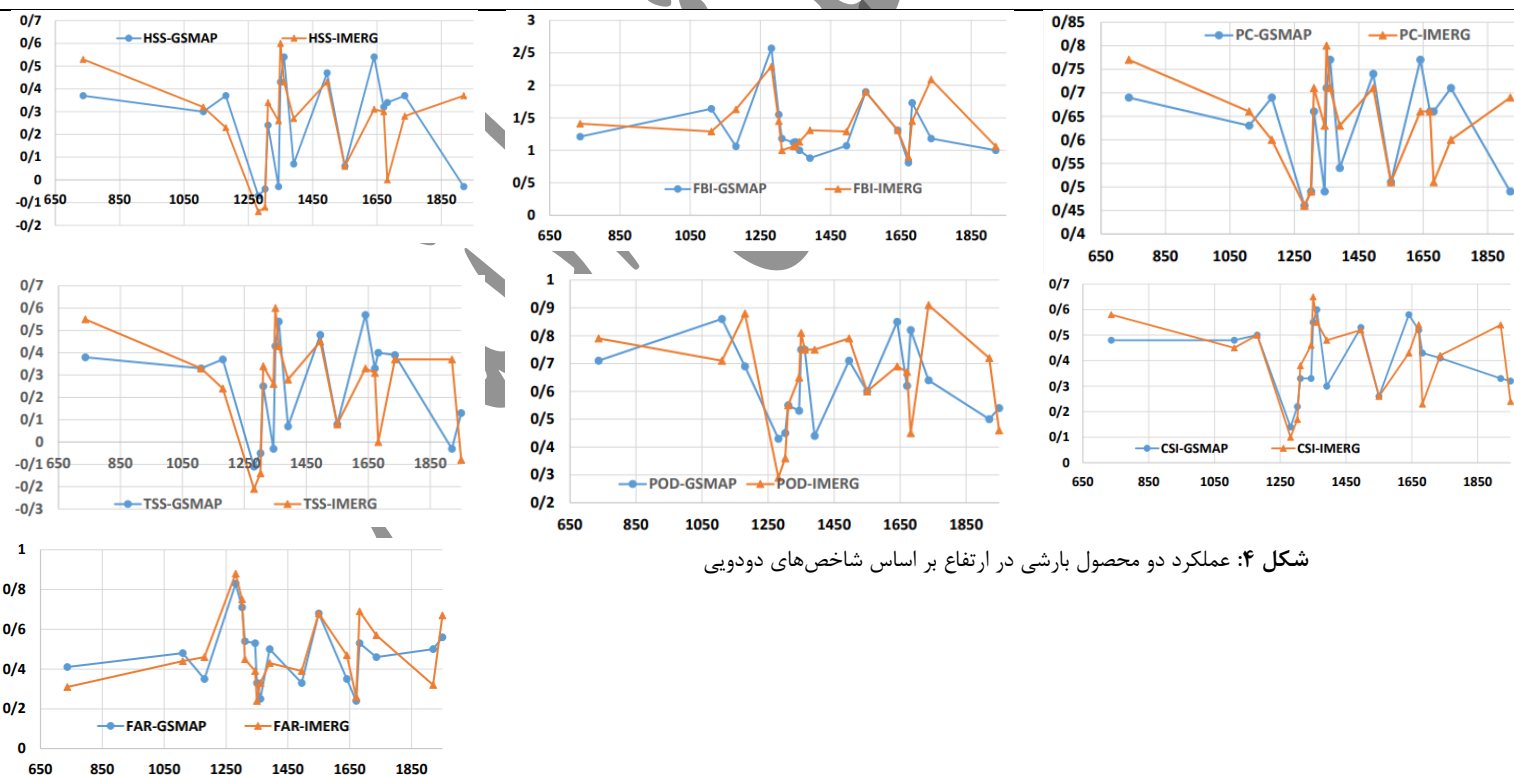


ادامه شکل ۳: موقعیت دو محصول بارشی ماهواره‌ای ۶ ساعته در مقایسه با داده بارش ۶ ساعته مشاهده‌ای ایستگاه‌های سینوپتیک

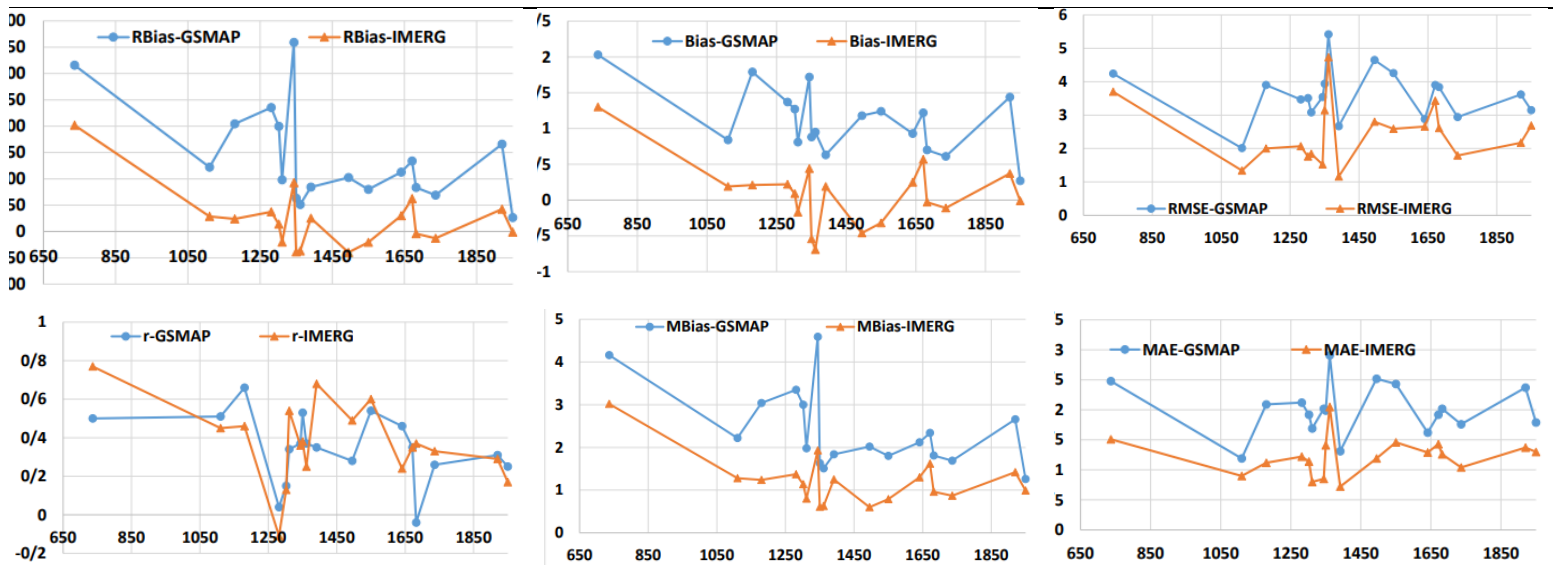
۴-۳- تحلیل عملکرد محصولات بارشی در ارتفاع

در شکل ۴ عملکرد دو محصول بارشی در ارتفاع بر اساس 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 که نشان می‌دهد ترکیب عوامل توپوگرافی زمین در الگوریتم محصول در منطقه مورد مطالعه کارا تر است.

در شکل ۵ عملکرد دو محصول بارشی در ارتفاع بر اساس شاخص‌های آماری نشان داده شده است. این شکل هم مجدداً تأیید می‌کند که در محدوده ارتفاعی محدوده مورد مطالعه دو محصول روند مشابهی بخصوص در شاخص‌های آماری MAE و $MBias, RBias, Bias RMSE$ دارند.



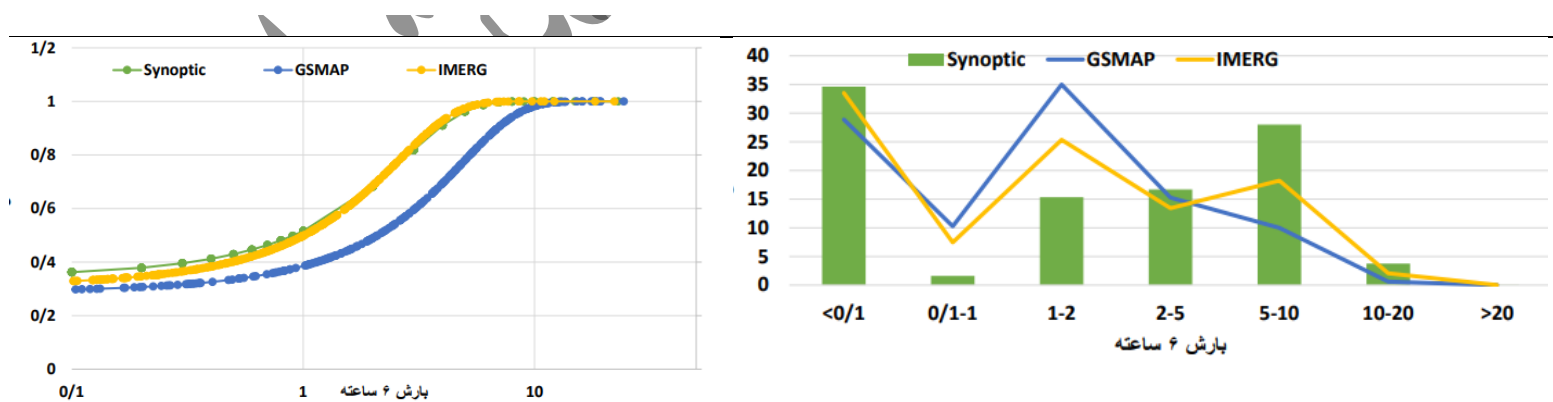
شکل ۴: عملکرد دو محصول بارشی در ارتفاع بر اساس شاخص‌های دودویی



شکل ۵: عملکرد دو محصول بارشی در ارتفاع بر اساس شاخص‌های آماری

۳-۵- تابع چگالی احتمال (PDF) شدت بارندگی‌های ۶ ساعته

در شکل ۶ منحنی احتمال تجمعی و تابع چگالی احتمال داده‌های سینوپتیک در مقایسه با دو محصول بارشی ماهواره‌ای را نشان می‌دهد. بیشترین فراوانی بارش در رویدادهای بارشی (۰.۱-۰ میلی‌متر در ۶ ساعت) رخ می‌دهد. محصول GSMAP نسبت به محصول IMERG در بازتولید صحیح PDF رویدادهای ردیابی بارش عملکرد نسبتاً ضعیفی دارد و به‌اشتباه برخی رویدادهای بارانی را به‌عنوان رویدادهای غیر بارانی شناسایی می‌کند. تخمین بیش‌ازحد رویدادهای بارش ۰.۱-۲ میلی‌متر و کم تخمینی بارش‌های ۵-۱۰ میلی‌متر در ۶ ساعت از دو محصول در شکل ۶ باید توجه توسعه‌دهندگان الگوریتم قرار گیرد. محصول IMERG نسبت به محصول GSMAP در بازتولید صحیح PDF رویدادهای ردیابی بارش عملکرد خوبی دارد.



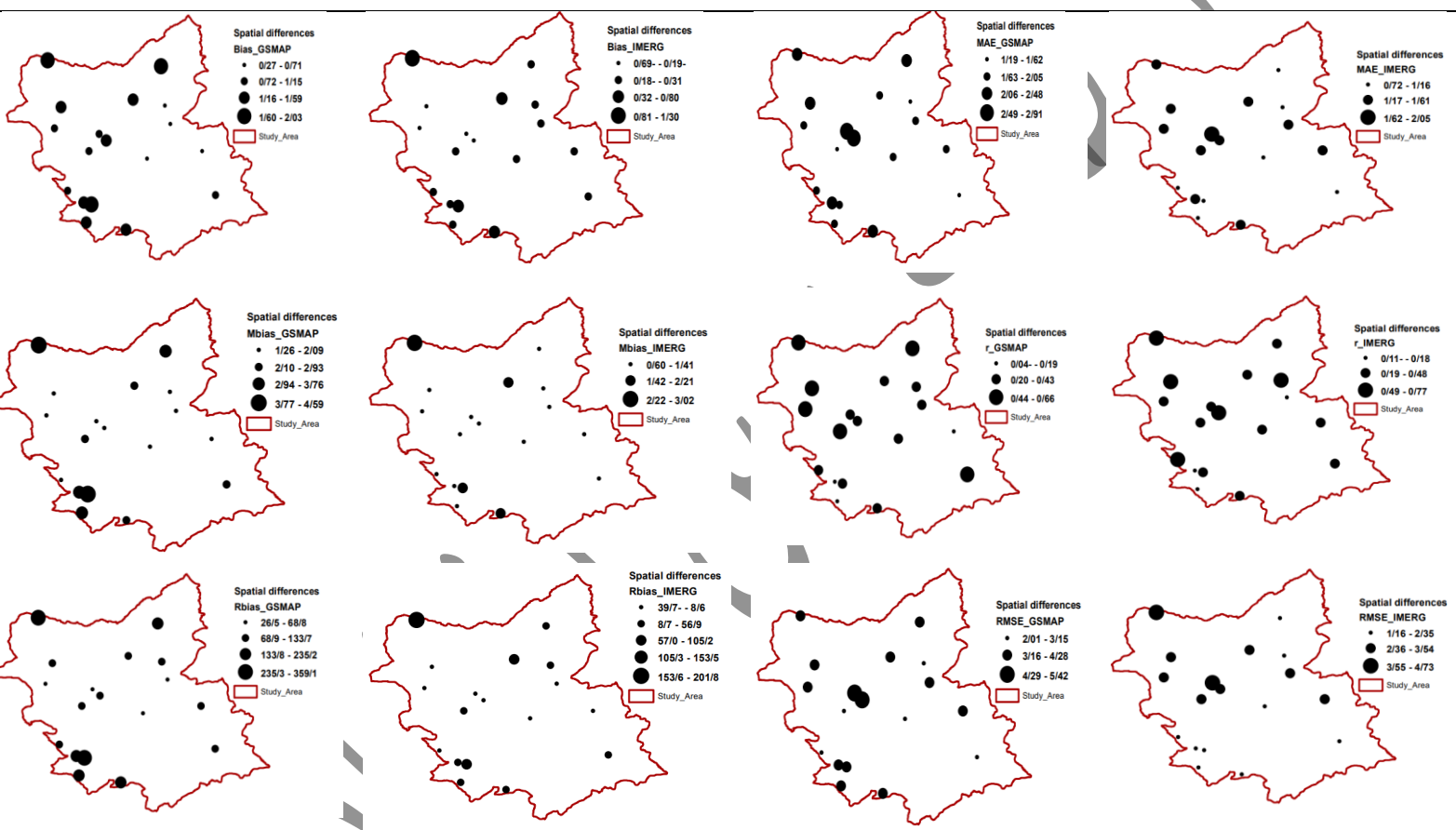
شکل ۶: منحنی احتمال تجمعی و تابع چگالی احتمال داده‌های سینوپتیک در مقایسه با دو محصول بارشی ماهواره‌ای

۳-۶- بررسی عملکرد محصولات در توزیع مکانی

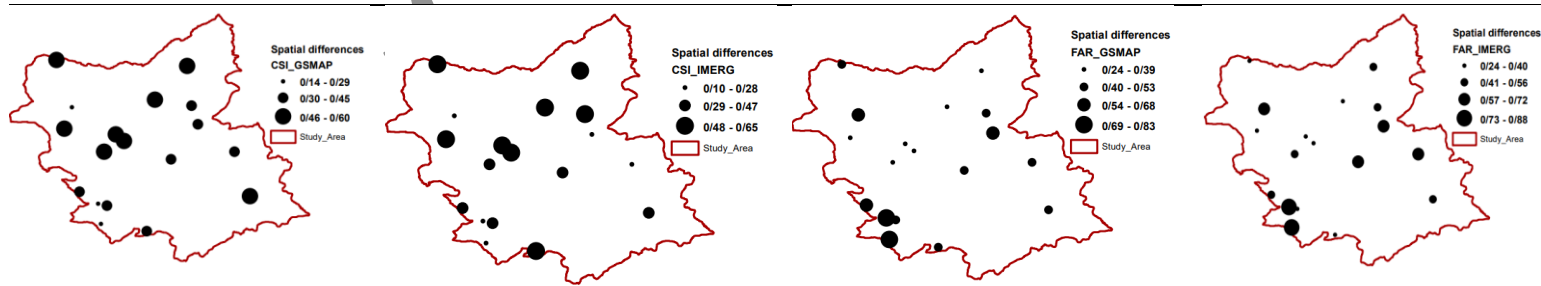
توزیع مکانی شاخص‌های آماری می‌تواند به پیش‌بینی انتشار خطا در کاربردهای هیدرولوژیکی کمک کند. توزیع مکانی شاخص‌های آماری برای دو محصول ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه در شکل ۷ نشان داده شده است. عملکرد مکانی دو محصول الگوهای مکانی نسبتاً مشابهی با مقادیر بالا در جنوب و شمال منطقه

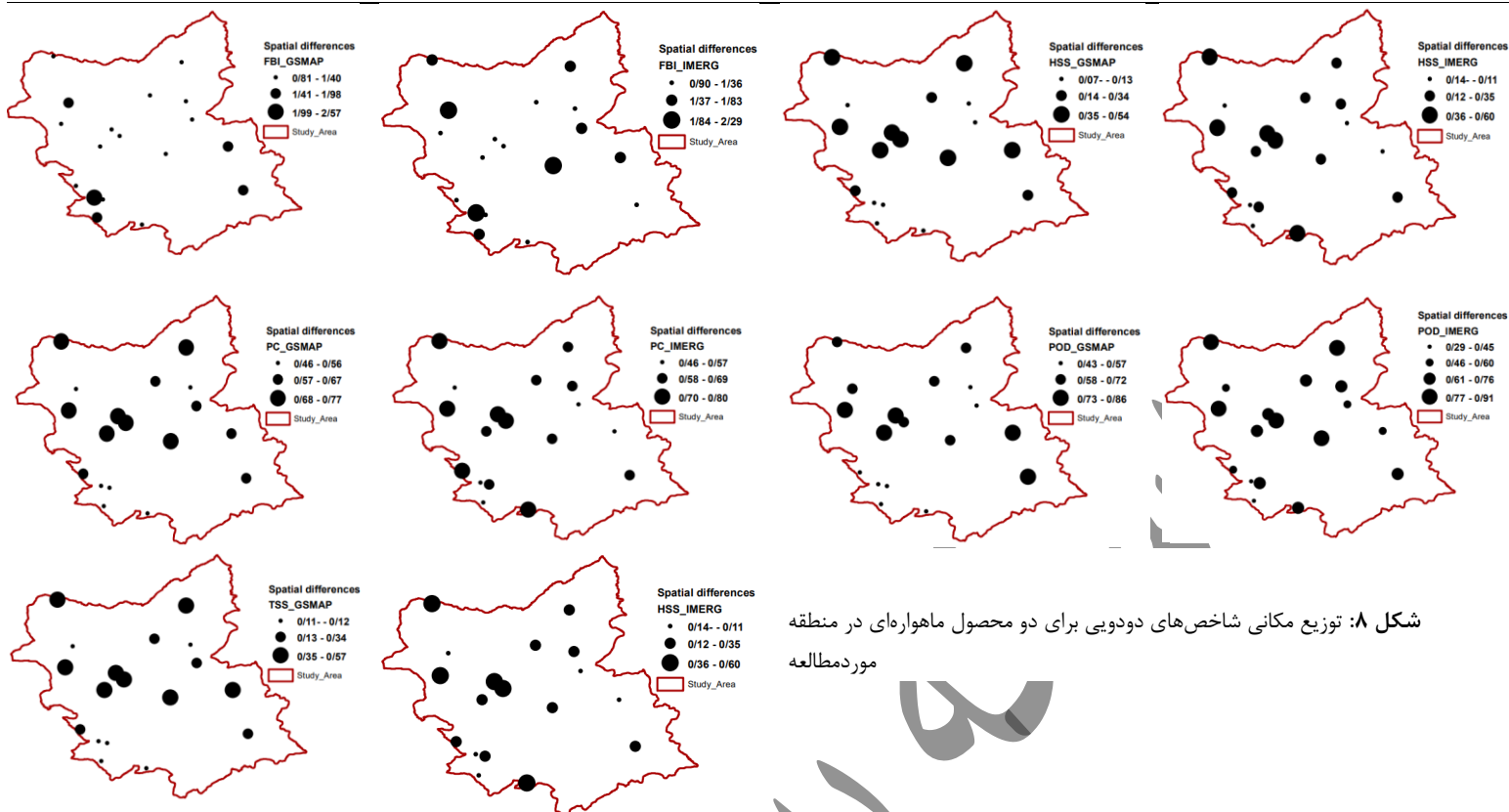
دارند. اگرچه محصول IMERG_F با داده‌های بارش ماهانه ایستگاهی و همین‌طور تصحیح محصول GSMaP_G با داده‌های بارش روزانه ایستگاهی تصحیح شده است ولی هنوز همبستگی بالاتری در بیشتر مناطق مورد مطالعه وجود ندارد به‌طوری‌که حدود ۳۰ درصد ایستگاه‌ها ضریب r بیشتر از ۵۰٪ دارند. از نظر RMSE، تعداد ایستگاه‌های با مقدار RMSE کمتر یا مساوی ۳ میلی‌متر در محصول (IMERG_F) برابر حدود ۷۷٪ است اما در خصوص محصول GSMaP_G حدود ۲۲٪ از تعداد کل ایستگاه‌ها را تشکیل می‌دهد.

توزیع مکانی شاخص‌های دودویی بر روی منطقه مورد مطالعه در شکل ۸ نشان داده شده است. هر دو محصول بارشی ماهواره‌ای شباهت‌های قابل توجهی در توزیع مکانی همه شاخص‌های دودویی دارند. به‌طور کلی هر دو محصول با داشتن POD بالاتر و مقادیر FAR پایین در ایستگاه‌های جلفا، تبریز، کلیبر، ورزقان، شبستر و تبریز (شرق) قابلیت تشخیص بارش بهتری در آن ایستگاه‌ها را دارند.



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 یک ارزیابی جامع از دو محصول IMERG_F و GSMaP_G با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا و دقیق در استان آذربایجان شرقی در مقیاس ۶ ساعته (زیر روزانه) از مارس تا ژوئن ۲۰۱۷ با داده‌های ۱۸ ایستگاه مرجع ارائه می‌کند. در این مطالعه از ۷ معیار دودویی طبقه‌بندی شده POD، TSS, PC, FBI, HSS, FAR CSI برای ارزیابی قابلیت تشخیص بارش توسط محصولات بارشی ماهواره‌ای و از ۶ معیار آماری R, RMSE, MBias, RBias, Bias و MAE برای تجزیه و تحلیل کمی دقت محصولات باشی ماهواره‌ای استفاده شده است. نتیجه‌گیری کلی پژوهش به شرح زیر است:

در مقیاس‌های زمانی ۶ ساعته (کمتر از روزانه) محصول IMERG_F در مقایسه با محصول GSMaP_G بهترین عملکرد را در منطقه دارد. در مقایسه با مشاهدات ایستگاه‌ها، محصول IMERG_F کم تخمینی، در حالی که محصول GSMaP_G بیش تخمینی دارد.

در تحلیل با دیاگرام تیلور در همه ایستگاه‌ها نقطه مربوط به ماهواره IMERG_F نسبت به نقطه مربوط به ماهواره GSMaP_G به نقطه مشاهده شده نزدیک‌تر بود و در نتیجه محصول IMERG_F بهتر از محصول GSMaP_G است.

عملکرد هر دو محصول دارای تنوع مکانی نسبتاً مشابهی از نظر شاخص‌های آماری و دودویی دارند.

محصول IMERG_F در مقایسه با محصول GSMaP_G می‌تواند PDF شدت بارش را در مقیاس کمتر از روزانه را بهتر بازتولید کند. در منطقه بیشترین فرکانس بارش در محدوده ۰.۱-۰.۵ میلی‌متر و ۵-۱۰ میلی‌متر در ۶ ساعت رخ می‌دهد و کمترین فراوانی بارندگی در شدت بارندگی بیش از ۲۰ میلی‌متر در ۶ ساعت ظاهر می‌شود. محصول IMERG_F از نظر فرکانس به خوبی با مشاهدات ایستگاهی، زمانی که شدت بارش بیشتر از ۱ میلی‌متر در ۶ ساعت است، موافق است.

عملکرد هر دو محصول باشی ماهواره‌ای در ارتفاعات روند مشابهی دارد.

- Anjum, M. N., Ahmad, I., Ding, Y., Shangguan, D., Zaman, M., Ijaz, M. W., ... & Yang, M., ٢٠١٩. **Assessment of IMERG-V٠٦ precipitation product over different hydro-climatic regimes in the Tianshan Mountains, North-Western China.** *Remote Sensing*, ١١(١٩), ٢٣١٤. <https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/rs١١١٩٢٣١٤>
- Anjum, M. N., Ding, Y., Shangguan, D., Ahmad, I., Ijaz, M. W., Farid, H. U., ... & Adnan, M., ٢٠١٨. **Performance evaluation of latest integrated multi-satellite retrievals for Global Precipitation Measurement (IMERG) over the northern highlands of Pakistan.** *Atmospheric Research*, 205, ١٢٤-١٤٦. <https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.atmosres.٢٠١٨,٠٢,٠١٠>
- Beria, H., Nanda, T., Singh Bisht, D., & Chatterjee, C., ٢٠١٧. **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*, ٢١(١٢), ٦١١٧-٦١٣٤. <https://doi.org/١٠,٥١٩٤/hess-٢١-٦١١٧-٢٠١٧>
- Biswas, S. K., & Chandrasekar, V. (٢٠١٨). **Cross-validation of observations between the GPM dual-frequency precipitation radar and ground based dual-polarization radars.** *Remote Sensing*, 10(١١), ١٧٧٣ <https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/rs١٠١١١٧٧٣>.
- Carr, N., Kirstetter, P. E., Hong, Y., Gourley, J. J., Schwaller, M., Petersen, W., ... & Xue, X., ٢٠١٥. **The influence of surface and precipitation characteristics on TRMM Microwave Imager rainfall retrieval uncertainty.** *Journal of Hydrometeorology*, ١٦(٤), ١٥٩٦-١٦١٤. <https://doi.org/١٠,١١٧٥/JHM-D-١٤-٠١٩٤,١>
- Chen, G., Lan, R., Zeng, W., Pan, H., & Li, W., ٢٠١٨. **Diurnal variations of rainfall in surface and satellite observations at the monsoon coast (South China).** *Journal of Climate*, ٣١(٥), ١٧٠٣-١٧٢٤. <https://doi.org/١٠,١١٧٥/JCLI-D-١٧-٠٣٧٣,١>
- Chen, S., Hong, Y., Gourley, J. J., Huffman, G. J., Tian, Y., Cao, Q., ... & Xue, X. (٢٠١٣). **Evaluation of the successive V٦ and V٧ TRMM multisatellite precipitation analysis over the Continental United States.** *Water Resources Research*, 49(١٢), ٨١٧٤-٨١٨٦. <https://doi.org/١٠,١٠٠٢/٢٠١٢WR.١٢٧٩٥>
- Derin, Y., & Yilmaz, K. K. (٢٠١٤). **Evaluation of multiple satellite-based precipitation products over complex topography.** *Journal of Hydrometeorology*, 15(٤), ١٤٩٨-١٥١٦. <https://doi.org/١٠,١١٧٥/JHM-D-١٣-٠١٩١,١>
- Fang, J., Yang, W., Luan, Y., Du, J., Lin, A., & Zhao, L. (٢٠١٩). **Evaluation of the TRMM ٣B٤٢ and GPM IMERG products for extreme precipitation analysis over China.** *Atmospheric research*, 223, ٢٤-٣٨. <https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.atmosres.٢٠١٩,٠٣,٠١١>
- Gebregiorgis, A. S., Kirstetter, P. E., Hong, Y. E., Gourley, J. J., Huffman, G. J., Petersen, W. A., ... & Schwaller, M. R., ٢٠١٨. **To what extent is the day ١ GPM IMERG satellite precipitation estimate improved as compared to TRMM TMPA-RT?.** *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, ١٢٣(٣), ١٦٩٤-١٧٠٧. <https://doi.org/١٠,١٠٠٢/٢٠١٧JD.٢٧٦٠٦>
- Guo, H., Chen, S., Bao, A., Hu, J., Gebregiorgis, A. S., Xue, X., & Zhang, X. (٢٠١٥). **Inter-comparison of high-resolution satellite precipitation products over Central Asia.** *Remote Sensing*, 7(٦), ٧١٨١-٧٢١١. <https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/rs٧٠٦٠٧١٨١>
- He, Z., Yang, L., Tian, F., Ni, G., Hou, A., & Lu, H. (٢٠١٧). **Intercomparisons of rainfall estimates from TRMM and GPM multisatellite products over the Upper Mekong River Basin.** *Journal of Hydrometeorology*, 18(٢), ٤١٣-٤٣٠. <https://doi.org/١٠,١١٧٥/JHM-D-١٦-٠١٩٨,١>
- Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A. A., Kummerow, C. D., Kojima, M., ... & Iguchi, T. (٢٠١٤). **The global precipitation measurement mission.** *Bulletin of the American meteorological Society*, 95(٥), ٧٠١-٧٢٢. <https://doi.org/١٠,١١٧٥/BAMS-D-١٣-٠٠١٦٤,١>
- Huang, W. R., Liu, P. Y., Chang, Y. H., & Liu, C. Y. (٢٠٢٠). **Evaluation and application of satellite precipitation products in studying the summer precipitation variations over Taiwan.** *Remote Sensing*, 12(٣), ٣٤٧. <https://doi.org/١٠,٣٣٩٠/rs١٢٠٣٠٣٤٧>
- Hussain, Y., Satgé, F., Hussain, M. B., Martinez-Carvajal, H., Bonnet, M. P., Cárdenas-Soto, M., ... & Akhter, G. (٢٠١٨). **Performance of CMORPH, TMPA, and PERSIANN rainfall datasets over plain, mountainous, and glacial regions of Pakistan.** *Theoretical and applied climatology*, 131, ١١١٩-١١٣٢. <https://doi.org/١٠,١٠٠٧/s٠٠٧٠٤-٠١٦-٢٠٢٧-z>
- Jolliffe, I. T., & Stephenson, D. B. (Eds.), ٢٠١٢. **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(9), 1018. <https://doi.org/10.3390/rs8091018>
- 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, 90-100. <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), 818. <https://doi.org/10.3390/w11040818>
- Liu, C. Y., Aryastana, P., Liu, G. R., & Huang, W. R. (2020). **Assessment of satellite precipitation product estimates over Bali Island.** *Atmospheric Research*, 244, 105032. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105032>
- Liu, J., Du, J., Yang, Y., & Wang, Y. (2020). **Evaluating extreme precipitation estimations based on the GPM IMERG products over the Yangtze River Basin, China.** *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 101-118. <https://doi.org/10.1080/19447070.2020.1734103>
- Lu, D., & Yong, B. (2018). **Evaluation and hydrological utility of the latest GPM IMERG V0 and GSMaP V2 precipitation products over the Tibetan Plateau.** *Remote Sensing*, 10(12), 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), 204. <https://doi.org/10.3390/atmos12020204>
- 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, 860-876. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.029>
- 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-v0 and GSMaP-v2 satellite precipitation estimates in Brazil's Central Plateau region.** *Water*, 11(4), 768. <https://doi.org/10.3390/w11040768>
- 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), 1006. <https://doi.org/10.3390/w12041006>
- Sunilkumar, K., Narayana Rao, T., Saikranthi, K., & Purnachandra Rao, M. (2010). **Comprehensive evaluation of multisatellite precipitation estimates over India using gridded rainfall data.** *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(17), 8987-9000. <https://doi.org/10.1002/jgrd.20233>
- Tan, M. L., & Duan, Z. (2017). **Assessment of GPM and TRMM precipitation products over Singapore.** *Remote Sensing*, 9(9), 920. <https://doi.org/10.3390/rs9090920>
- Tan, M. L., & Santo, H. (2018). **Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia.** *Atmospheric Research*, 202, 73-76. <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, 111697. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111697>
- Turk, F. J., & Miller, S. D. (2000). **Toward improved characterization of remotely sensed precipitation regimes with MODIS/AMSR-E blended data techniques.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(0), 1009-1019. 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), 593-612. <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, 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 V04D, CMORPH and TMPA with gauged rainfall in three climatologic zones in China.** *Remote Sensing*, 10(1), 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), 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), 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), 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, 105132. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105132>

مذہب کی پیشکش
انتشار