

مقایسه دو محصول بارش ماهواره‌ای کوتاه‌مدت GPMGSMAP و GPMIMERG در غرب دریاچه ارومیه

تقی مهدوی^{1*}¹ استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی

دریافت: 00/00/00، بازنگری: 00/00/00، پذیرش: 00/00/00، نشر آنلاین: 00/00/00

چکیده

این مطالعه یک ارزیابی جامع از دو محصول بارش ماهواره‌ای تحقیقاتی GPM-IMERG_F و GPM-GSMaP_G در مقیاس 6 ساعته (زیر روزانه) برای فصل بارندگی (از مارس تا ژوئن 2017) با استفاده از داده‌های بارش 6 ساعته 17 ایستگاه سینوپتیک در غرب دریاچه ارومیه ارائه می‌کند. روش تحقیق تکنیک‌های مقایسه داده‌های بارش ماهواره‌ای و زمینی است. اگرچه محصول GPM-IMERG_F به دلیل تصحیح با داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های زمینی مرکز جهانی بارش (GPCC) و اداره ملی اقیانوسی و جوی (NOAA) و محصول GPM-GSMaP_G به دلیل تصحیح با داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های زمینی مرکز پیش‌بینی اقلیم (CPC) می‌توانند وضوح مکانی و زمانی دقیق‌تری را برای تخمین بارش ارائه دهند، ولی نتایج این مطالعه استنباط کرد که آن‌ها هنوز هم سوگیری قابل‌توجهی را در برخی ایستگاه‌ها ارائه می‌دهند. در این تحقیق برای تجزیه و تحلیل کمی دقت محصولات بارشی ماهواره‌ای از 6 شاخص‌های آماری R، MBias، RBias، Bias RMSE و MAE و برای ارزیابی قابلیت تشخیص از 7 معیار دودویی طبقه‌بندی شده TSS، PC، FBI، HSS، FAR، CSI، POD استفاده شده است. در دیاگرام تیلور در همه ایستگاه‌ها نقطه مربوط به ماهواره IMERG_F به نقطه مشاهده شده نزدیک‌تر بود و در نتیجه محصول IMERG_F بهتر از محصول GSMaP_G می‌باشد. در تحلیل بارش‌های فراگیر 6 ساعته اختلاف دو محصول خود بیشتر نمایان شد. اگرچه هر دو محصول الگوهای مکانی نسبتاً مشابهی 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 چگالی احتمالی جمعی بسیار نزدیک به ایستگاه‌ها را از نظر شدت بارندگی بازتولید کرد و همین‌طور عملکرد محصول GPM-IMERG_F از نظر توپوگرافی و ارتفاعی بهتر از محصول GPM-GSMaP_G بود. این مطالعه برای کاربران این محصولات در منطقه مورد مطالعه بارز خواهد بود و می‌تواند در کاربردهایی مانند کاهش خطر بلایای طبیعی و مدل‌سازی هیدرولوژیکی، به‌ویژه در مناطقی با شبکه باران‌سنج پراکنده پشتیبانی کند.

کلیدواژه‌ها: GPM-IMERG، GPM-GSMaP، بارش 6 ساعته، غرب دریاچه ارومیه.

1- مقدمه

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 (2018)). روش متداول اندازه‌گیری بارش، سنجش مستقیم آن توسط ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی به‌صورت نقطه‌ای است که مقدار بارش را در سل محل اندازه‌گیری به‌صورت دقیق نشان می‌دهد ولی در سایر سل‌ها باید با روش‌های درون‌یابی از داده‌های نقطه‌ای ایستگاهی تخمین زده شود؛ بنابراین جهت افزایش دقت در این روش باید تعداد ایستگاه‌های

داده‌های دقیق بارش برای پیش‌بینی سیل، پایش خشک‌سالی و مدیریت ریسک بسیار مهم است؛ بنابراین، چگونگی به دست آوردن داده‌های بارش دقیق با وضوح مکانی و زمانی خوب یکی از چالش‌های بزرگ در جهان است (Guo et al., 2016; Zhou et al., 2020). داده‌های بارش به دلیل ماهیت گسسته دارای توزیع مکانی و زمانی بسیار متغیر است. به‌عنوان محرک اصلی چرخه هیدرولوژیکی، اندازه‌گیری و تخمین‌های آن نقش مهمی در مدیریت منابع آب و استراتژی سازگاری با تغییرات اقلیم ایفا می‌کند (Liu et al., 2020). در اثر گرم شدن کره زمین و افزایش



مربوطه، ممکن است به دقت متفاوتی منجر شوند (Sunilkumar et al., 2015).

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 (Carr et al., 2015; Vergara et al., 2014; Lakshmi, 2014; Hussain et al., 2018; Kim et al., 2016; Sunilkumar et al., 2015).

با توجه به اهمیت بالقوه داده‌های ماهواره‌ای در کاربردهای هیدرولوژیکی، تلاش‌های عمیق جهت ارزیابی عدم قطعیت این داده‌ها ضروری است.

چندین مطالعه محدودیت‌های حسگرهای IR و PMW را در اندازه‌گیری بارش به‌ویژه در طول ابرهای باران‌زای چندلایه، رویدادهای بارشی مناطق کوهی گرم و مناطق برفی سطح زمین شناسایی و مورد بحث قرار داده‌اند (Dinku et al., 2008; Tian & Peters-Lidard, 2010).

اگرچه GPM تنها دو ابزار اصلی در مقابل پنج ابزار TRMM دارد، اما این دو ابزار رادار بارش با فرکانس دوگانه (DPR) و رادیومتر به نام تصویرگر میکروویو (GMI) از پیشرفته‌ترین ابزارهایی هستند که تاکنون برای اندازه‌گیری بارش از فضا ساخته شده‌اند. برخی از مطالعات نشان داده‌اند که محصولات در دوره GPM عموماً برتر از محصولات در دوره TRMM هستند مانند:

Kim et al., 2017; Gebregiorgis et al., 2018; Anjum et al., 2018; Tan and Duan (2017); Chen and Li (2016); Tang et al., 2016; Sharifi et al., 2016;; Kim et al., 2017; He et al., 2017; Beria et al., 2017;; Ma et al., 2016; Anjum et al., 2019; Wang et al., (2019); Chen et al., (2018); Wei et al., (2017); Fang et al., 2019; Li et al., 2019; Tan and Santo, 2018; Xu et al., 2019; Yuan et al., 2017; Zhang et al., 2019; Huang et al., (2020)

نتایج برخی تحقیقات نشان می‌دهد عوامل زیادی مانند توپوگرافی پیچیده منطقه (Yilmaz et al., 2005; Derin et al., 2014) شدت بارندگی و فصل خشک و مرطوب (Anjum et al., 2018; Chen et al., 2013; Guo et al., 2015; Habib t et al., 2009) 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.

(Veerakachen et al., 2014) با مقایسه دو محصول GSMaP_M و GSMaP_N نشان دادند که در مقیاس روزانه، هر دو محصول در فصل بارانی عملکرد خوبی دارند GSMaP_N تمایل به برآورد کمتر دارد در حالی که GSMaP_M میزان بارندگی را کمی بیش از حد تخمین می‌زند. (Lu and Yong, 2018)

لندازه‌گیری افزایش یلبد که عملاً مقرون به صرفه نیست. همچنین این روش دارای مشکلاتی از قبیل هزینه بر بودن، کمبود ایستگاه، عدم استقرار دستگاه‌های ثبت کننده در مناطق صعب العبور و عدم توانایی ثبت بارندگی‌های رگباری و سنگین همرفتی است. ایستگاه‌های هم دیدی (سینوپتیک) و باران سنجی موجود به خوبی در مناطق مختلف توزیع نشده‌اند و فاصله آن‌ها بر اساس قوانین خاصی نیست، همچنین بر روی آب‌ها، دریاها و دریاچه‌ها شبکه هم دیدی و باران سنجی موجود نمی‌باشد به طوری که برای اندازه‌گیری باران در این مناطق که آب موجود است، از ترکیب داده‌های ساحلی و جزیره‌ای استفاده می‌شود و در نتیجه پایش بارش در این مناطق بر دقت لندازه‌گیری بر روی این منابع عظیم چرخه هیدرولوژی تأثیر گذار است (Turk and Miller, 2005).

یک راه عملی برای دستیابی به یک برآورد جامع از بارش که برای کلیه سل‌ها مقدار بارش متناظر را نشان دهد اندازه‌گیری غیرمستقیم بارش به صورت جهانی از طریق ماهواره‌های مشاهده زمین است. مزیت بررسی بارندگی با استفاده از روش‌های سنجش از دور، شناخت بهتر پدیده بارش و پارامترهای مؤثر در آن در یک گستره مکانی وسیع با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا و دقیق است (Chang and Hong, 2012; Hou et al., 2014).

دو محصول بارش ماهواره‌ای با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا و دقیق در عصر جدید عبارت‌اند از:

GPM-IMERGE به عنوان جانشین TMPA-TRMM که عمدتاً با تلاش NASA راه اندازه شده و با وضوح مکانی 0.1 درجه و وضوح زمانی 0.5 ساعت با دامنه‌ای که 60 تا 60 S سه زیر محصول زیر را ارائه می‌دهد:

i. IMERG_Early نسخه اجرای زودهنگام، IMERG_E

ii. IMERG_Late نسخه اجرای دیر هنگام، IMERG_L

iii. IMERG_Final نسخه اجرای نهایی، IMERG_F

GPM-GSMAP که عمدتاً با تلاش JAXA راه اندازه شده و با وضوح مکانی 0.1 درجه و وضوح زمانی 1 ساعت با دامنه‌ای که 60 تا 60 S پوشش می‌دهد، سه زیر محصول را ارائه می‌دهد:

- 1) GSMaP_NRT محصولات تقریباً بی‌درنگ، GSMaP_N
- 2) GSMaP_MVK بردار متحرک با فیلتر کالمن، مخفف GSMaP_M
- 3) GSMaP_Gauge محصولات استاندارد کالیبره شده با

ایستگاه، GSMaP_G.

با وجود اینکه این محصولات بارشی داده‌های ورودی مشابهی دارند ولی الگوریتم‌های تخمین بارندگی متفاوت دارند علاوه بر این، روش‌های تصحیح مختلف نیز با ترکیب مشاهدات باران سنج زمینی برای کاهش سوگیری‌ها به این الگوریتم‌های بازیابی اضافه می‌شوند. با توجه به تفاوت‌های بین الگوریتم‌ها و فناوری تصحیح

IMERG v6، GSMaP Gauge و ERA5 در تمام جنبه‌های ارزیابی عملکرد خوبی داشتند اکثر محصولات، رویدادهای بارش سنگین را کمتر از حد واقعی تخمین زدند همچنین عملکرد اکثر محصولات برای ارتفاعات بیش از 1000 متر کاهش داشت.

(Nepal et al., (2021 در مقایسه دو محصول IMERG-V06 و GSMaP-V07 کالیبره شده با ایستگاه 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 مدت‌زمان در منطقه کوهستانی باشد.

با توجه به فاجعه زیست‌محیطی ناشی از خشک شدن بخش وسیعی از دریاچه ارومیه، عدم وجود شبکه باران‌سنجی متراکم در منطقه 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 اما دقت اطلاعات پایگاه‌های داده بارشی ماهواره‌ای گوناگون برای مناطق مختلف یکسان نیست و با توجه به نتایج تحقیقات گذشته، در هر منطقه با توجه به خصوصیات بارش و نوع منطقه، عملکرد متفاوتی دارند؛ بنابراین لازم است دقت و صحت این داده‌ها در مناطق مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد. در این راستا در مقاله حاضر دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای GPM GSMaP V04 (محصول یک‌ساعته استاندارد کالیبره شده با ایستگاه) و GPM IMERG V06 (محصول نیم‌ساعته اجرای نهایی) در غرب دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج پژوهش ما به‌به کاربران این محصولات در منطقه مورد مطالعه با ارزش خواهد بود.

2- مواد و روش‌ها

2-1- منطقه و داده‌های مطالعه

منطقه مورد مطالعه غرب دریاچه ارومیه است. شکل 1 توپوگرافی و تعداد ایستگاه‌های باران‌سنج را در منطقه نشان می‌دهد. ایستگاه‌های سیнопیتیک عمدتاً در نواحی با ارتفاع پایین پراکنده هستند و ایستگاه‌های باران‌سنج کمی در کوهستانی با ارتفاع بالاتر وجود دارد. تفاوت مکانی بارندگی در منطقه وجود دارد و خشک‌سالی و سیل به‌طور مکرر رخ می‌دهد. بنابراین لازم است ارزیابی سیستماتیک عملکرد محصولات باشی ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گیرد. مرتفع‌ترین نقطه استان قله اورین به ارتفاع 3622 متر در خوی و کم‌ترین 620 متر در محل خروج رودخانه زاب به عراق در سردشت است. بر اساس میانگین آمار

دریافتند که محصولات بارشی ماهواره‌ای تصحیح شده با ایستگاه به‌خصوص محصول GSMaP_G دقت بالاتری در فلات تبت دارد. (Prakash et al., (2018 با مقایسه محصولات بارشی GPM-IMERG و GSMaP-TMPA در هند به این نتیجه رسیدند که محصول IMERG میانگین بارندگی موسمی و تغییرپذیری آن را به‌طور واقعی‌تر از GSMaP تنظیم‌شده با ایستگاه نشان می‌دهد. با این حال، GSMaP میانگین خطای ریشه مربع نسبتاً کوچک‌تری نسبت به IMERG و TMPA به‌ویژه در رژیم‌های کم بارش دارد. همچنین IMERG بهبود واضحی را در بایاس بارش از دست‌رفته و کاذب نشان می‌دهد.

(Shi et al., (2020 با مقایسه 8 محصول بارشی ماهواره‌ای IMERG-E، IMERG-L، IMERG-F، GSMaP-G، GSMaP-MVK، GSMaP-NOW، GSMaP-NRT، GSMaP-Gauge-NRT در حوزه رودخانه زرد به این نتیجه رسیدند که در بین سه محصول IMERG، IMERG-F کمترین خطای سیستماتیک و بهترین کیفیت را نشان داد و پس از آن IMERG-E و IMERG-L قرار دارند و IMERG-L وقوع رویدادهای بارانی خفیف را دست‌کم گرفتند اما رویدادهای بارانی متوسط و شدید را بیش از حد برآورد کردند. در بین چهار محصول GSMaP-Gauge، GSMaP-Gauge بهترین عملکرد را از نظر معیارهای آماری مختلف ارائه کرد و به دنبال آن GSMaP-NRT، GSMaP-Gauge قرار گرفت و GSMaP-MVK و GSMaP-NRT به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کل بارش را بیش از حد تخمین زدند و GSMaP-NOW کم برآوردی آشکار را نشان داد. با مقایسه عملکرد محصولات IMERG و GSMaP، GSMaP-Gauge-NRT، بهترین تخمین‌های بارش را در بین تمام محصولات بارشی زمان واقعی و نزدیک به زمان واقعی ارائه کرد. در محصولات بارشی بلادرنگ، GSMaP-Gauge بالاترین قابلیت را در مقیاس روزانه ارائه کرد و IMERG-F کمی بهتر از سایر محصولات بارشی ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه عمل کرد. (Tang et al., (2020 یک ارزیابی جامع از 9 محصول بارش ماهواره‌ای شامل TRMM 3B42، CHIRPS، PERSIANN-CDR، CMORPH، ERA5، ERA-Interim و MERRA2 در چین به این نتیجه رسیدند که IMERG از سایر محصولات بارشی به‌جز GSMaP_G که از داده‌های ایستگاه در مقیاس روزانه برای تنظیم تخمین‌های بارش ماهواره‌ای استفاده می‌کند، بهتر عمل می‌کند. (Hisam et al., (2023 در یک ارزیابی جامع از هشت محصول بارش مبتنی بر شبکه شامل TRMM 3B42، PERSIANN CDR، GSMaP MVK، PDIR-Now، ERA5، GSMaP Gauge و IMERG v6 در منطقه مدیترانه‌ای ترکیه از سال 2017 تا 2021 در مقیاس‌های ماهانه و شبکه‌ای، با استفاده از داده‌های 193 ایستگاه هواشناسی زمینی به این نتیجه رسیدند که شش محصول CHIRPS، PERSIANN CDR،

یک ساعته به بارش 6 ساعته تبدیل شدند تا با داده‌های بارندگی 6 ساعته ایستگاه‌های سنوپتیک مستقیم مقایسه شوند. از آنجایی که واحد محصولات نیم ساعته IMERG بر حسب میلی متر در ساعت است. برای به دست آوردن بارش 6 ساعته انباشته IMERG با انباشتن مقادیر بارندگی از 12 محصول نیم ساعته IMERG تولید می‌شوند و سپس مقدار بارندگی انباشته شده در ضریب 0.5 ضرب می‌شود. به جهت اینکه واحد محصولات یک ساعته GSMaP بر حسب میلی متر است ضریب برابر 1 است که تاثیری در محاسبات ندارد.

جهت آشنایی بیشتر خوانندگان این مقاله با فرمت و مشخصات این دو محصول بارش ماهواره‌ای بر اساس راهنمای کارشناسان مراکز jaxa و NASA فایل "GPMMSG_MAP_1703021800_H_L3S_MCH_04C.h5" داده‌های حاوی مقدار انباشته بارندگی از ساعت UTC 18:00:00 تا ساعت UTC 18:59:59 در 2 مارس 2017 است و همین‌طور فایل

3B-HHR.MS.MRG.3IMERG.20170322-S000000-E002959.0000.V06B.HDF5.SUB.nc4

داده‌های حاوی مقدار انباشته بارندگی نیم ساعت اول از تاریخی که در نام فایل نوشته شده است، یعنی 22 مارس 2017 را پوشش می‌دهد.

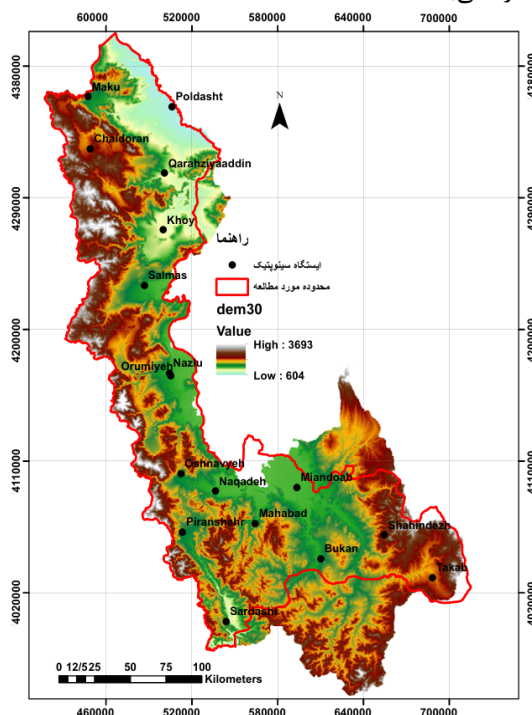
2-2- اعتبار سنجی

برای ارزیابی صحت داده‌های ماهواره‌ای در برابر داده‌های ایستگاه‌های باران سنجی سنوپتیک، از شش شاخصهای آماری R, MBias, RBias, Bias RMSE و به شرح روابط 1 تا 6 و شش شاخص مطابقت یا احتمالاتی دودویی ساده POD, CSI, FAR, HSS, FBI, PC, TSS به شرح روابط 7 تا 13 در این مطالعه استفاده شده است.

شاخص‌های آماری:

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. Bias به عنوان میانگین تفاوت بین بارندگی مشاهده‌ای و داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند مثبت یا منفی باشد. بایاس منفی نشانگر دست کم برآورد کردن داده‌های بارندگی توسط ماهواره در حالی که بایاس مثبت بیانگر برآورد بیش از حد است. MBias نسبت داده ماهواره‌ای به مقدار باران مشاهده‌ای است. اگر این مشخصه کمتر از 1 باشد نشانگر دست کم برآورد کردن میزان بارندگی توسط ماهواره است و در حالی که بزرگ‌تر از 1 باشد بیانگر برآورد بیش از حد است. RBias نشان‌دهنده سوگیری منظم بارندگی مبتنی بر ماهواره و

درازمدت بیشترین دما در داشبند 44 + و کمترین 34- در خوی و متوسط بارندگی 30 ساله منتهی به سال آبی 2017-2018 استان 354 میلی متر است. به علت شرایط آب و هوایی و موقعیت خاص جغرافیایی اکثر مناطق آن دارای اقلیم نیمه خشک و خشک سرد می‌باشد.



شکل 1: منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های سنوپتیک

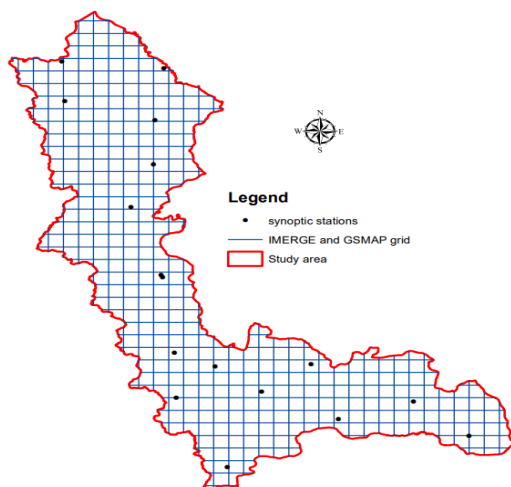
مجموعه داده‌های مرجع مورد استفاده در این مطالعه میزان بارندگی 3 ساعته ثبت شده در 17 ایستگاه سنوپتیک فصل بارندگی (از مارس تا ژوئن 2017) است. اطلاعات بارندگی از سازمان هواشناسی گرفته شده است. همان‌طور که در شکل 1 نشان داده شده است، توزیع ایستگاه‌های سنوپتیک که تنها ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه برای اندازه‌گیری میزان بارش باران سه ساعته هستند، بسیار ناهمگن و ناکافی است، به همین خاطر این مطالعه مبتنی بر حوضه آبریز دریاچه ارومیه انتخاب نشد تا با کمبود اطلاعات بارش ساعتی روبرو نشود. بنابراین استفاده از محصولات بارش ماهواره‌ای با وضوح مکانی و زمانی زیاد جهت تخمین داده‌های بارشی ورودی به مدل‌های هیدرولوژیکی برای برآورد دقیق هیدرولوژیکی در منطقه ضروری است.

در این تحقیق دو محصول بارش ماهواره‌ای-GPM-IMERG_F نیم ساعته و GSMaP_G یک ساعته مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجایی که در ایران داده‌های ایستگاه‌های سنوپتیک در مقیاس 6 ساعته در اختیار محققان قرار می‌گیرد لذا در این تحقیق داده‌های IMERG نیم ساعته با تجمیع 12 بارش نیم ساعته و داده‌های GSMaP یک ساعته با تجمیع 6 بارش

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 1 باشد که بیانگر هشدار اشتباه کامل است. مقدار احتمال تشخیص (POD) نیز بین 0 تا 1 است اگر این شاخص برابر 1 باشد بیانگر این است که ماهواره بارش را به‌خوبی تشخیص می‌دهد. شاخص موفقیت بحرانی (CSI) بیانگر نسبتی از وقوع بارش است که توسط ماهواره به‌درستی تشخیص داده‌شده است. اگر مقدار شاخص آماری مهارت واقعی (TSS) برابر 1 باشد بیانگر مطابقت کامل مقادیر ماهواره‌ای و مشاهده‌ای است. نسبت صحیح (PC) نقاط تشخیص دقیق بارش و عدم بارش به‌کل نقاط اندازه‌گیری بارش است. این شاخص اگر نزدیک به 1 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 1 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 مشاهده‌شده است.

3- نتایج

در شکل 2 شبکه سلولی 0.1*0.1 درجه دو ماهواره GSMAP و IMERG به همراه موقعیت ایستگاه‌های ثبت بارش زمینی را مشخص را نشان می‌دهد. در این بخش با توجه به مقدار بارش ثبت‌شده در ایستگاه‌ها به مقایسه آن‌ها با داده‌های دو ماهواره در سلول مرتبط با آن ایستگاه بر اساس شاخص‌های آماری و شاخص‌های دودویی پرداخته شده است.



شکل 2: شبکه سلولی 0.1*0.1 درجه دو ماهواره GSMAP و IMERG به همراه موقعیت ایستگاه‌های ثبت بارش زمینی

بارندگی مشاهده‌ای است. ضریب همبستگی (R) نشان‌دهنده میزان رابطه قوی و یا ضعیف به شکل مثبت و یا منفی بین بارندگی مبتنی بر ماهواره و مشاهده‌ای است. مقدار R برابر 1 نشانگر رابطه مثبت کامل درحالی‌که مقدار -1 نشانگر رابطه منفی کامل است. اگر هیچ همبستگی خطی یا همبستگی خطی ضعیف وجود داشته باشد، R نزدیک به 0 است.

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

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

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{Si} - P_{Oi})}{N} \quad (3)$$

$$MBias = \frac{\sum_{i=1}^N P_{Si}}{\sum_{i=1}^N P_{Oi}} \quad (4)$$

$$RBias = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{Si} - P_{Oi})}{\sum_{i=1}^N P_{Oi}} * 100 \quad (5)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{Oi} - \bar{P}_O) * \sum_{i=1}^N (P_{Si} - \bar{P}_S)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_{Oi} - \bar{P}_O)^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_{Si} - \bar{P}_S)^2}} \quad (6)$$

شاخص‌های مطابقت:

این شاخص‌ها با استفاده از جدول توافقی 2*2 مانند جدول 1 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 نکرده ولی ماهواره بارش ثبت کرده است c تعداد حالاتی است که ایستگاه زمینی بارش ثبت کرده ولی ماهواره بارش ثبت نکرده است (Jolliffe and Stephenson, 2012).

جدول 1: جدول توافقی (Jolliffe and Stephenson, 2012)

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

$$FAR = \frac{b}{b + a} \quad (7)$$

$$POD = \frac{a}{a + c} \quad (8)$$

$$CSI = \frac{a}{(a + b + c)} \quad (9)$$

$$TSS = \frac{(a * d - b * c)}{(b + d) * (a + c)} \quad (10)$$

$$PC = \frac{(a+d)}{(a+b+c+d)} \quad (11)$$

$$Frequency\ of\ bias\ index\ (FBI) = \frac{(a + b)}{(a + c)} \quad (12)$$

$$HSS = \frac{2 * (a * d - b * c)}{(a + c)(c + d) + (a + b)(b + d)} \quad (13)$$

6 ساعت ثبت کرده باشند. نتایج تحلیل داده‌های بارشی فراگیر ایستگاهی با شاخص‌های آماری در جدول 3 نشان داده شده است. در تحلیل بارش‌های فراگیر دو شاخص Bias و RBias در محصول GSMAP در 3 ایستگاه از 17 ایستگاه منفی است در حالی که در محصول GPM-IMERG در 14 ایستگاه منفی است که نشان می‌دهد محصول GSMAP فرمت غالب بیش برآوردی و محصول GPM-IMERG فرمت غالب کم برآوردی را حفظ کرده است. اما متوسط Bias در 17 ایستگاه برای محصول GSMAP برابر 1.64 میلی‌متر در حالی که برای محصول GPM-IMERG برابر 1.05- میلی‌متر است به عبارت دیگر در بارش‌های فراگیر اختلاف دو محصول اندکی بیشتر می‌شود.

متوسط شاخص نسبت داده ماهواره‌ای به مقدار باران مشاهده‌ای (MBias) در 17 ایستگاه در محصول GSMAP حدود 3.46 برابر محصول GPM-IMERG است به عبارت دیگر در بارش‌های فراگیر اختلاف دو محصول اندکی بیشتر می‌شود. مقایسه دو شاخص میانگین خطای مطلق (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای محصول GSMAP به ترتیب 3.5 و 4.95 میلی‌متر بوده در حالی که برای محصول GPM-IMERG به ترتیب 1.73 و 2.51 میلی‌متر است در نتیجه محصول GPM-IMERG باز هم در موقعیت برتر قرار دارد. در بارش‌های فراگیر از نظر ضریب همبستگی (R) دو محصول بارشی اختلاف چندانی ندارند.

3-3- تحلیل داده‌های بارشی محدود در مقیاس

ایستگاهی با شاخص‌های دودویی

نتایج تحلیل داده‌های بارشی محدود ایستگاهی با شاخص‌های دودویی در جدول 4 نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید مقدار متوسط نسبت هشدار اشتباه (FAR) در 17 ایستگاه در هر دو محصول بارشی باهم برابر 0.42 هست. مقدار احتمال تشخیص (POD) متوسط در 17 ایستگاه در محصول IMERG برابر 0.73 و در محصول GSMAP برابر 0.66 است. بنابراین محصول IMERG فرکانس بالاتری از شناسایی موفق از رویدادهای بارش را در زمانی که بارش واقعاً اتفاق می‌افتد، ارائه می‌کند. مقادیر متوسط شاخص موفقیت بحرانی CSI، مقدار شاخص آماری مهارت واقعی (TSS)، شاخص امتیاز مهارت هیک (HSS) و نسبت صحیح (PC) در 17 ایستگاه در هر دو محصول بارشی ماهواره‌ای نزدیک به هم هستند. مقدار متوسط شاخص FBI در 17 ایستگاه در محصول IMERG برابر 1.36 و در محصول GSMAP برابر 1.24 است بنابراین محصول IMERG روزهای بارش را قدری بیشتر از محصول GSMAP تشخیص می‌دهد

3-1- تحلیل داده‌های بارشی محدود در مقیاس

ایستگاهی با شاخص‌های آماری

در این تحقیق داده‌ای بارشی 6 ساعته محدود به داده‌های بارشی 6 ساعته گفته می‌شود که حداقل 30 درصد ایستگاه‌های سنوپتیک در محدوده مورد مطالعه بارش بیشتر از 0.1 میلی‌متر در 6 ساعت ثبت کرده باشند. نتایج تحلیل داده‌های بارشی محدود ایستگاهی با شاخص‌های آماری در جدول 2 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 غالب ایستگاه‌ها منفی است که نشان می‌دهد محصول GSMAP دارای بیش برآوردی و محصول GPM-IMERG غالباً دارای کم برآوردی است. اما نکته قابل توجه این است که متوسط Bias در 17 ایستگاه برای محصول GSMAP برابر 1.8 میلی‌متر در حالی که برای محصول GPM-IMERG برابر 0.16- میلی‌متر است و همین‌طور متوسط RBias در 17 ایستگاه برای محصول GSMAP برابر 188 درصد در حالی که برای محصول GPM-IMERG برابر 2.7 درصد است. بنابراین بیش برآوردی محصول GSMAP به مراتب بسیار بیشتر از مقدار کم برآوردی محصول GPM-IMERG است در نتیجه محصول GPM-IMERG برتر است. متوسط شاخص نسبت داده ماهواره‌ای به مقدار باران مشاهده‌ای (MBias) در 17 ایستگاه در محصول GSMAP به مقدار 2.8 برابر محصول GPM-IMERG است که نشان‌دهنده بیش برآوردی زیاد محصول GSMAP 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 2.95 و 5.72 میلی‌متر بوده در حالی که میانگین بزرگی خطا و بزرگی خطای کلی محصول GPM-IMERG به ترتیب 1.33 و 2.47 میلی‌متر است در نتیجه محصول GPM-IMERG برتر است.

ضریب همبستگی (R) محصول GSMAP در دو ایستگاه منفی است اما در محصول GPM-IMERG فقط در یک ایستگاه منفی است و ضریب همبستگی (R) در محصول GPM-IMERG در 9 ایستگاه از 17 ایستگاه بیش از 60 است در حالی که در محصول GSMAP در 4 ایستگاه از 17 ایستگاه بیش از 60 است.

3-2- تحلیل داده‌های بارشی فراگیر در مقیاس

ایستگاهی با شاخص‌های آماری

در این تحقیق داده‌ای بارشی 6 ساعته فراگیر به داده‌های بارشی 6 ساعته گفته می‌شود که حداقل 70 درصد ایستگاه‌های سنوپتیک در محدوده مورد مطالعه بارش بیشتر از 0.1 میلی‌متر در

متوسط شاخص FBI در 17 ایستگاه در محصول IMERG برابر 1.33 و در محصول GSMAP برابر 1.24 است بنابراین محصول IMERG روزهای بارش را قدری بیشتر از محصول GSMAP تشخیص می‌دهد. شاخص امتیاز مهارت هیک (HSS) در هر دو محصول به یک‌میزان از 1 فاصله دارد.

3-4- تحلیل داده‌های بارشی فراگیر در مقیاس ایستگاهی با شاخص‌های دودویی

نتایج تحلیل داده‌های بارشی فراگیر ایستگاهی با شاخص‌های دودویی در جدول 5 نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید مقادیر متوسط نسبت هشدار اشتباه (FAR)، شاخص موفقیت بحرانی CSI، مقدار شاخص آماری مهارت واقعی (TSS)، نسبت صحیح (PC) در 17 ایستگاه در هر دو محصول بارشی ماهواره‌ای نزدیک به هم هستند. مقدار احتمال تشخیص (POD) متوسط در 17 ایستگاه در محصول IMERG برابر 0.78 و در محصول GSMAP برابر 0.74 است بنابراین محصول IMERG بارش را قدری بهتر از محصول GSMAP تشخیص می‌دهد. مقدار

جدول 2: نتایج تحلیل داده‌های بارشی محدود ایستگاهی با شاخص‌های آماری

Station name	Bias		MBias		RBias		MAE		RMSE		r	
	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSM AP	IMER G	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG
Orumiyeh	2.23	-0.02	3.19	0.98	219	-2.37	2.78	0.95	6.50	1.75	0.50	0.71
Bukan	2.29	0.14	3.02	1.13	202.06	12.72	3.51	1.63	5.81	2.63	0.46	0.30
Nazlu	1.84	-0.41	2.31	0.71	131.42	-29.17	2.88	1.30	6.83	2.63	0.36	0.66
Khoy	2.80	0.13	3.56	1.12	255.98	12.10	3.13	1.250	5.54	2.42	0.68	0.40
Mahabad	1.16	-0.52	1.75	0.66	75.49	-33.67	2.98	1.31	4.70	2.25	0.24	0.50
Maku	1.66	0.10	3.49	1.15	248.94	15.37	1.84	0.56	4.36	1.12	0.74	0.71
Miandoab	1.13	-0.11	1.89	0.91	89.41	-8.93	3.05	2.02	5.13	3.65	-0.11	0.13
Naqadeh	0.50	-0.41	1.39	0.68	38.53	-32.05	2.17	1.35	3.92	2.48	0.23	0.53
Oshnavyeh	0.21	-0.92	1.06	0.40	6.46	-59.51	4.16	2.82	7.39	5.73	0.33	0.66
Piranshahr	0.90	-0.06	1.59	0.96	58.82	-3.62	2.42	1.17	4.43	2.26	0.34	0.65
Poldasht	2.66	0.69	8.04	2.82	704.05	182.3	2.95	0.96	6.73	2.17	0.06	0.32
Qarahziyaaddin	3.26	-0.22	3.66	0.82	265.54	-18.04	4	1.20	8.03	2.11	0.21	0.44
Salmas	1.71	-0.14	2.22	0.90	121.97	-9.67	2.05	1.16	3.97	2.42	0.70	0.73
Sardasht	1.32	-0.50	1.72	0.73	72.47	-27.16	2.35	0.91	4.92	1.37	0.88	0.95
Shahindezh	1.92	0.22	2.69	1.20	168.75	19.76	2.59	1.19	5.16	1.91	0.59	0.61
Takab	2.69	0.20	4.42	1.25	341.56	25.17	3.12	0.85	6.10	1.49	0.77	0.63
Chaldoran	2.39	-0.90	3.11	0.92	210.63	-8.36	4.17	1.98	7.73	3.54	-0.13	-0.13
Average	1/80	-0/16	2/89	1/02	188/89	2/70	2/95	1/33	5/72	2/47		

جدول 3: نتایج تحلیل داده‌های بارشی فراگیر ایستگاهی با شاخص‌های آماری

Station name	Bias		MBias		RBias		MAE		RMSE		r	
	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG	GSMAP	IMERG
Orumiyeh	0.61	-0.25	1.40	0.84	39.50	-16.10	1.43	1.04	2.04	1.34	0.80	0.64
Bukan	4.87	-1.11	2.79	0.59	179.40	-41.03	6.28	2.05	8.33	2.92	0.73	0.58
Nazlu	-2.36	-3.21	0.48	0.29	-52.47	-71.41	3.19	3.21	4.41	4.78	0.27	0.06
Khoy	2.93	0.49	8.03	2.19	702	118	3.26	0.83	4.30	1.03	0.11	0.25
Mahabad	1.10	-0.81	1.93	0.32	93.13	-68.48	2.64	1.48	3.49	2.07	-0.37	-0.49
Maku	1.19	0.52	4.56	2.54	355	154	1.19	0.52	2.18	0.68	0.99	0.87
Miandoab	0.15	-1.96	1.06	0.23	6.04	-76.62	3.36	2.55	4.33	3.36	-0.17	-0.05
Naqadeh	0.40	-1.91	1.17	0.19	16.98	-81.29	3.12	2.03	3.70	2.88	0.17	0.32
Oshnavyeh	-0.63	-4.59	0.89	0.17	-11.27	-82.76	5.08	4.59	6.71	7.63	0.25	0.02
Piranshahr	1.70	0.17	3.04	1.20	203.83	20.19	2.03	0.69	2.97	1.05	0.16	0.36
Poldasht	1.53	-0.09	4.82	0.77	382.13	-23.21	2.16	0.35	5.54	0.45	-0.41	0.31
Qarahziyaaddin	0.02	-1.88	1.01	0.18	0.92	-82.16	2.99	2.03	4.20	3.42	-0.21	-0.11
Salmas	2.15	-0.16	2.64	0.88	163.5	-12.30	2.82	0.68	4.78	0.85	0.86	0.90
Sardasht	1.46	-0.82	1.83	0.53	83.29	-47.06	2.79	0.97	4	1.18	0.73	0.81
Shahindezh	5.61	0.29	3.20	1.11	219.9	11.18	6.28	1.95	7.50	2.29	0.80	0.86
Takab	7.40	-0.17	5.93	0.89	493	-11.40	7.40	1.63	11.17	2.46	0.93	0.81
Chaldoran	-0.22	-2.30	0.55	0.15	-44.95	-84.56	3.44	2.87	4.52	4.23	-0.37	-0.38
Average	1/64	-1/05	2/67	0/77	166/47	-23/24	3/50	1/73	4/95	2/51		

جدول 4: 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
Orumiyeh	0.73	0.73	0.39	0.52	0.50	0.41	0.38	0.13	0.69	0.54	1.20	1.53	0.37	0.13
Bukan	0.60	0.70	0.65	0.65	0.29	0.30	0.16	0.18	0.57	0.54	1.70	2	0.13	0.14
Nazlu	0.64	0.82	0.61	0.61	0.32	0.36	0.18	0.23	0.57	0.54	1.64	2.09	0.15	0.18
Khoy	0.94	0.82	0.16	0.18	0.80	0.70	0.77	0.66	0.89	0.83	1.12	1	0.77	0.66
Mahabad	0.54	0.77	0.63	0.47	0.28	0.45	-0.01	0.36	0.49	0.66	1.46	1.46	-0.01	0.33
Maku	0.83	0.92	0.44	0.39	0.50	0.58	0.49	0.61	0.71	0.77	1.50	1.50	0.43	0.55
Miandoab	0.55	0.45	0.68	0.71	0.25	0.22	0	-0.05	0.49	0.49	1.73	1.55	0	-0.04
Naqadeh	0.50	0.38	0.50	0.57	0.33	0.25	0.08	-0.05	0.54	0.49	1	0.88	0.08	-0.05
Oshnavyeh	0.57	0.81	0.33	0.15	0.44	0.71	0.14	0.60	0.57	0.80	0.86	0.95	0.14	0.59
Piranshahr	0.62	0.67	0.28	0.30	0.50	0.52	0.26	0.24	0.63	0.63	0.86	0.95	0.25	0.24
Poldasht	0.67	0.75	0.50	0.47	0.40	0.45	0.32	0.40	0.66	0.69	1.33	1.42	0.30	0.37
Qarahziyaaddin	0.83	0.67	0.44	0.50	0.50	0.40	0.49	0.32	0.71	0.66	1.50	1.33	0.43	0.30
Salmas	0.79	0.68	0.06	0.07	0.75	0.65	0.73	0.62	0.86	0.80	0.84	0.74	0.72	0.61
Sardasht	0.78	0.94	0.18	0.23	0.67	0.74	0.60	0.65	0.80	0.83	0.94	1.20	0.60	0.65
Shahindezh	0.55	0.85	0.21	0.19	0.48	0.71	0.35	0.58	0.66	0.80	0.70	1.05	0.33	0.59
Takab	0.71	0.79	0.33	0.42	0.53	0.50	0.48	0.40	0.74	0.69	1.07	1.36	0.47	0.38
Chaldoran	0.40	0.60	0.75	0.71	0.18	0.24	-0.08	0	0.49	0.46	1.60	2.10	-0.07	0
Average	0/66	0/73	0/42	0/42	0/45	0/48	0/31	0/35	0/65	0/66	1/24	1/36	0/30	0/33

جدول 5: نتایج تحلیل داده‌های بارشی فراگیر 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
Orumiyeh	0.8	0.80	0	0.20	0.80	0.67	0.80	-0.20	0.83	0.67	0.80	1	0.57	-0.20
Bukan	1	0.75	0.20	0	0.80	0.75	0.50	0.75	0.83	0.83	1.25	0.75	0.57	0.67
Nazlu	0.67	0.83	0	0	0.67	0.83	*	*	0.67	0.83	0.67	0.83	0	0
Khoy	0.75	0.75	0.25	0	0.6	0.75	0.25	0.75	0.67	0.83	1	0.75	0.25	0.67
Mahabad	0.67	0.67	0.6	0.50	0.33	0.40	-0.33	0	0.33	0.50	1.67	1.33	-0.33	0
Maku	1	1	0.75	0.80	0.25	0.20	0.40	0.20	0.50	0.33	4	5	0.18	0.08
Miandoab	0.80	0.60	0.20	0.25	0.67	0.50	-0.2	-0.40	0.67	0.50	1	0.80	-0.20	-0.29
Naqadeh	0.50	0.50	0	0	0.50	0.50	*	*	0.50	0.50	0.50	0.50	0	0
Oshnavyeh	0.80	0.80	0	0	0.80	0.80	0.80	0.80	0.83	0.83	0.80	0.80	0.57	0.57
Piranshahr	0.80	0.80	0	0	0.80	0.80	0.80	0.80	0.83	0.83	0.80	0.80	0.57	0.57
Poldasht	0.33	0.67	0.50	0.33	0.25	0.50	0	0.33	0.5	0.67	0.67	1	0	0.33
Qarahziyaaddin	0.75	0.75	0	0	0.75	0.75	0.75	0.75	0.83	0.83	0.75	0.75	0.67	0.67
Salmas	0.80	0.60	0	0.25	0.80	0.50	0.80	-0.40	0.83	0.50	0.80	0.80	0.57	-0.29
Sardasht	0.6	1	0	0	0.60	1	0.60	1	0.67	1	0.60	1	0.33	1
Shahindezh	0.75	0.75	0.25	0.40	0.60	0.50	0.25	-0.25	0.67	0.50	1	1.25	0.25	-0.29
Takab	1	1	0.75	0.75	0.25	0.25	0.40	0.40	0.50	0.50	4	4	0.18	0.18
Chaldoran	0.5	1	0.33	0.20	0.40	0.80	0	0.50	0.50	0.83	0.75	1.25	0	0.57
Average	0/74	0/78	0/23	0/22	0/58	0/62	0/39	0/34	0/66	0/68	1/24	1/33	-1/68	0/25

می‌شود در محدوده ارتفاعی 1000 تا 1500 متر دو محصول اختلاف زیادی ندارند اما در ارتفاع‌های بیش از 1500 و کمتر از 100 عملکرد محصول IMERG به‌مراتب بهتر از محصول GSMAP است که نشان می‌دهد ترکیب عوامل توپوگرافی زمین در الگوریتم محصول در منطقه مورد مطالعه کارا تر است.

در شکل 5 عملکرد دو محصول بارشی در ارتفاع بر اساس شاخص‌های آماری نشان داده شده است. این شکل هم مجدداً تأیید می‌کند که در محدوده ارتفاعی 1000 تا 1500 متر دو محصول اختلاف زیادی ندارند اما در ارتفاع‌های بیش از 1500 و کمتر از 100 عملکرد محصول IMERG به‌مراتب بهتر از محصول GSMAP است که نشان می‌دهد ترکیب عوامل توپوگرافی زمین در الگوریتم محصول در منطقه مورد مطالعه کارا تر است.

3-7- تابع چگالی احتمال (PDF) شدت بارندگی‌های 6 ساعته

در شکل 6 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 (0.1-0 میلی‌متر در 6 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

3-5- تحلیل داده‌های بارشی در مقیاس ایستگاهی با دیاگرام تیلور

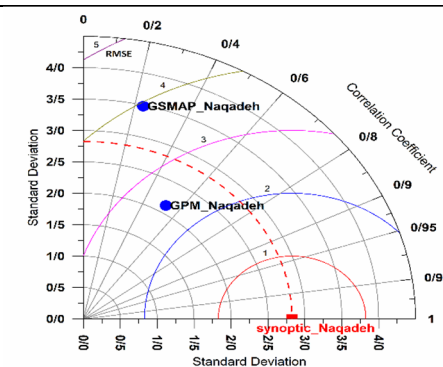
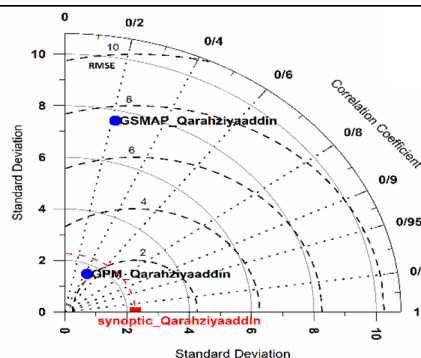
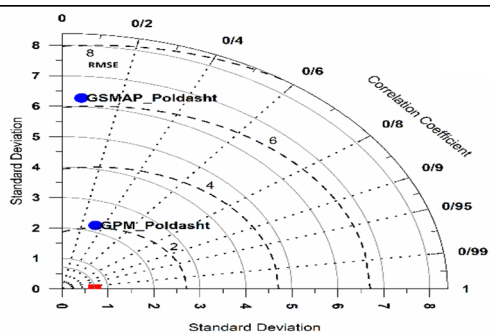
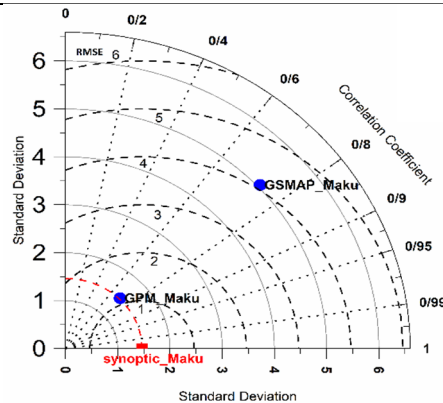
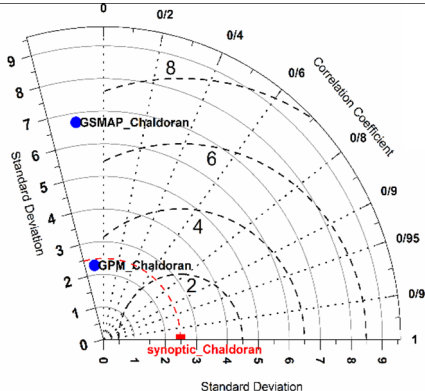
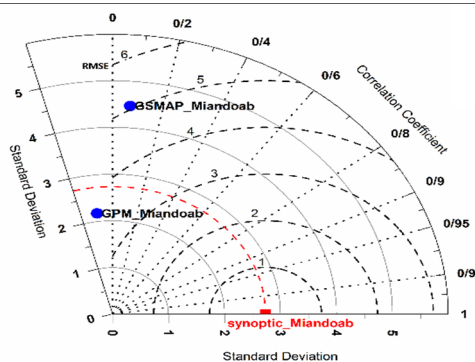
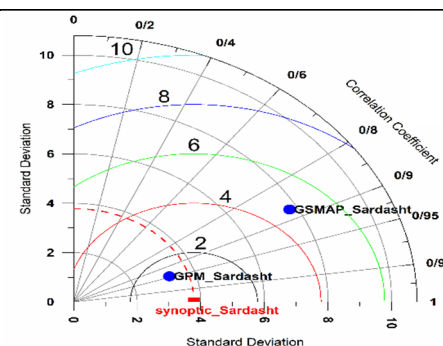
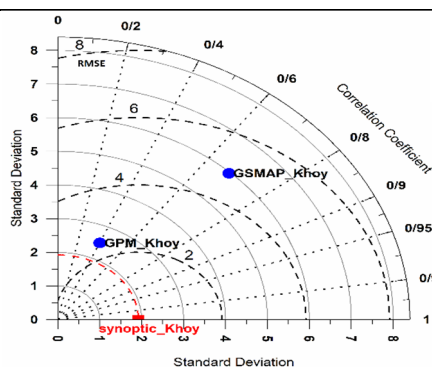
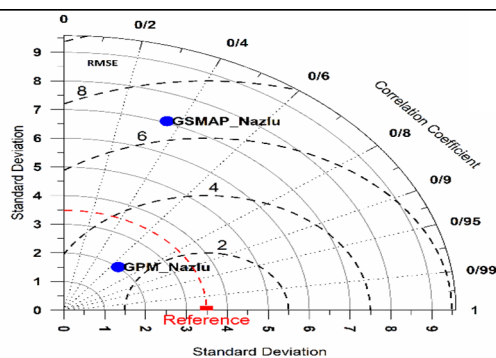
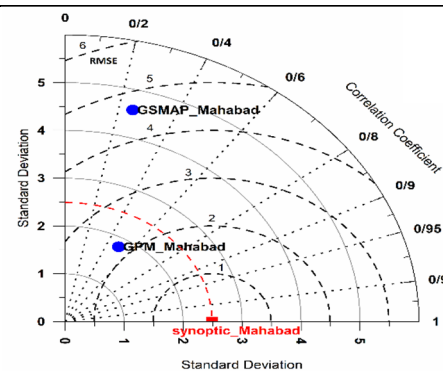
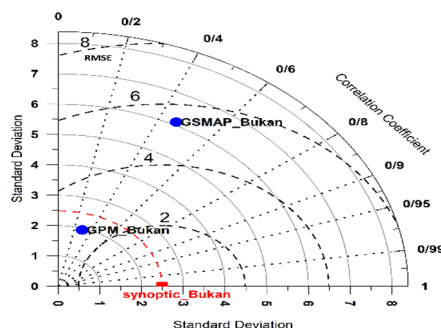
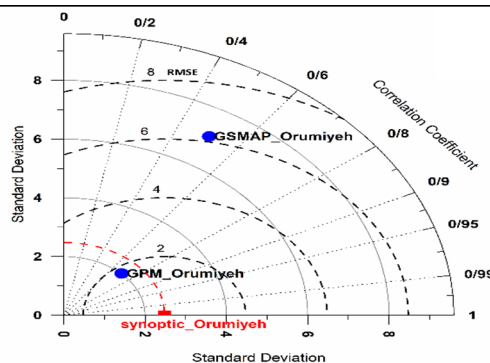
دیاگرام تیلور تغییرات سه شاخص انحراف معیار استاندارد و ضریب همبستگی و کمترین مربعات خطا را در محصولات بارش ماهواره‌ای را با داده مشاهده‌ای می‌سنجد و هرچقدر مقادیر این سه شاخص در محصول بارش ماهواره‌ای به داده مشاهده‌ای رفرنس نزدیک باشد پیش‌بینی توسط ماهواره بهتر صورت گرفته است. اگر نقطه شبیه‌سازی به نقطه 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. در شکل 3 موقعیت دو محصول بارشی ماهواره‌ای در مقایسه با داده مشاهده‌ای رفرنس برای هر 17 ایستگاه سینوپتیک نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در تمامی 17 ایستگاه نقطه مربوط به ماهواره IMERG (که در شکل با GPM نمایش داده شده) نسبت به نقطه مربوط به ماهواره GSMAP به نقطه مشاهده‌شده نزدیک می‌باشد. بنابراین از نظر تحلیل نمودار تیلور محصول بارشی IMERG نسبت به محصول بارشی GSMAP در موقعیت برتری قرار دارد.

3-6- تحلیل عملکرد محصولات بارشی در ارتفاع

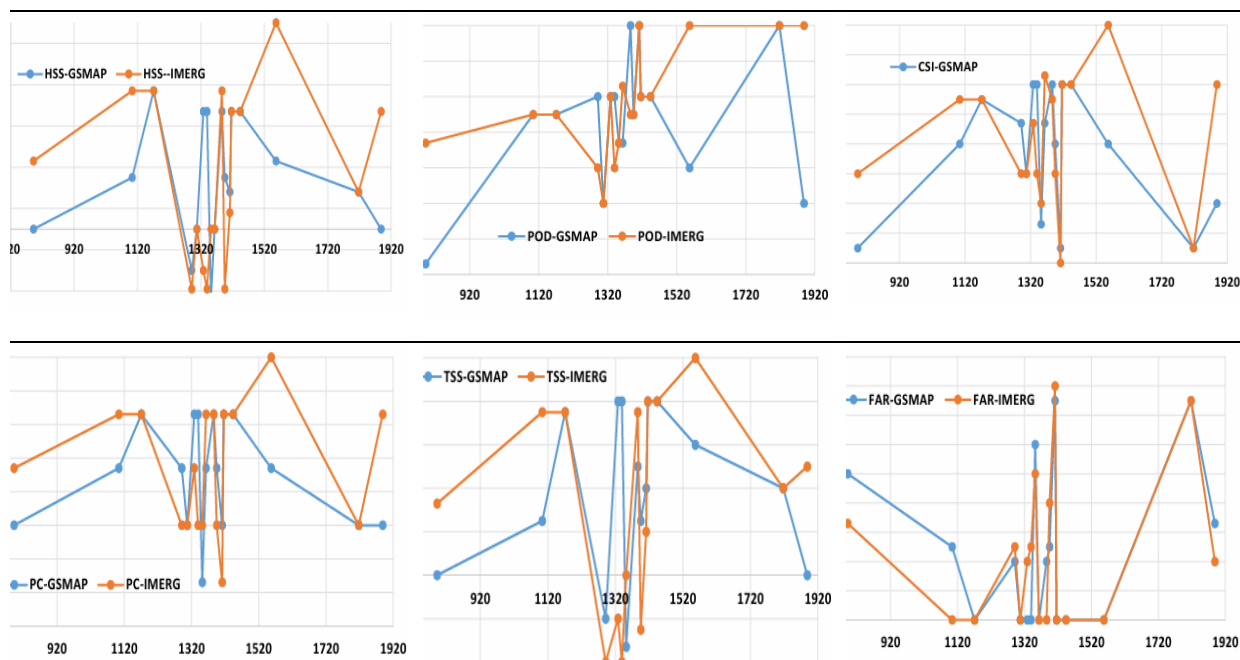
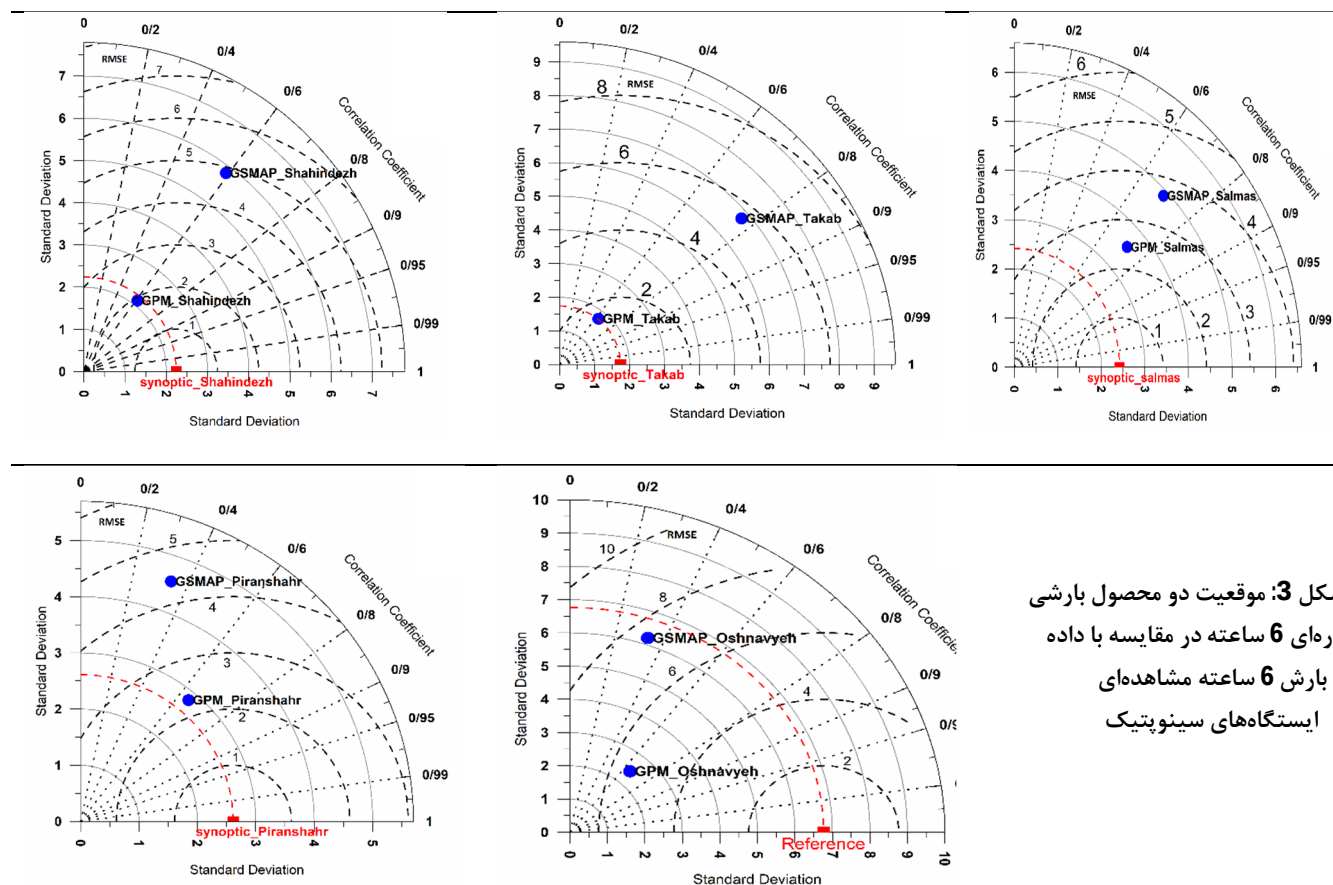
در شکل 4 عملکرد دو محصول بارشی در ارتفاع بر اساس شاخص‌های دودویی نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه

محصولIMERG نسبت به محصول GSMAP در بازتولید صحیح PDF رویدادهای ریدایی بارش عملکرد خوبی دارد.

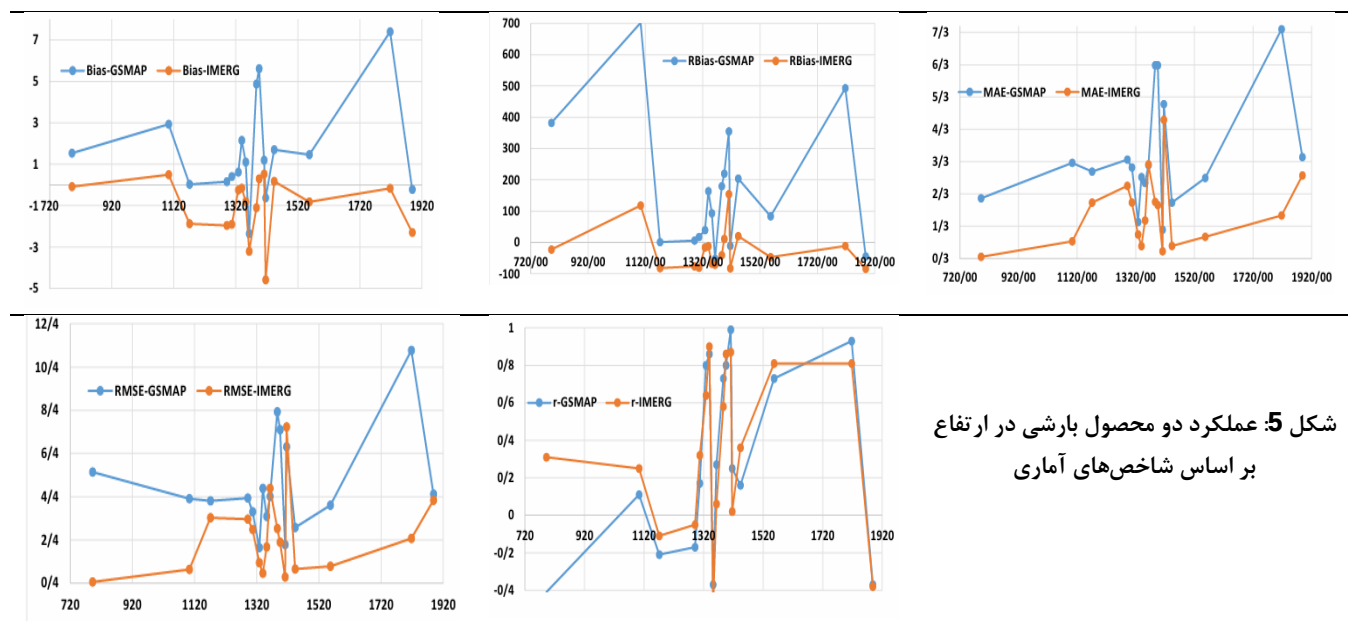
می‌کند. تخمین بیش‌ازحد رویدادهای بارش 2-0.1 میلی‌متر و کم تخمینی بارش‌های 5-10 میلی‌متر در 6 ساعت از دو محصول در شکل 6 باید توجه توسعه‌دهندگان الگوریتم قرار گیرد.



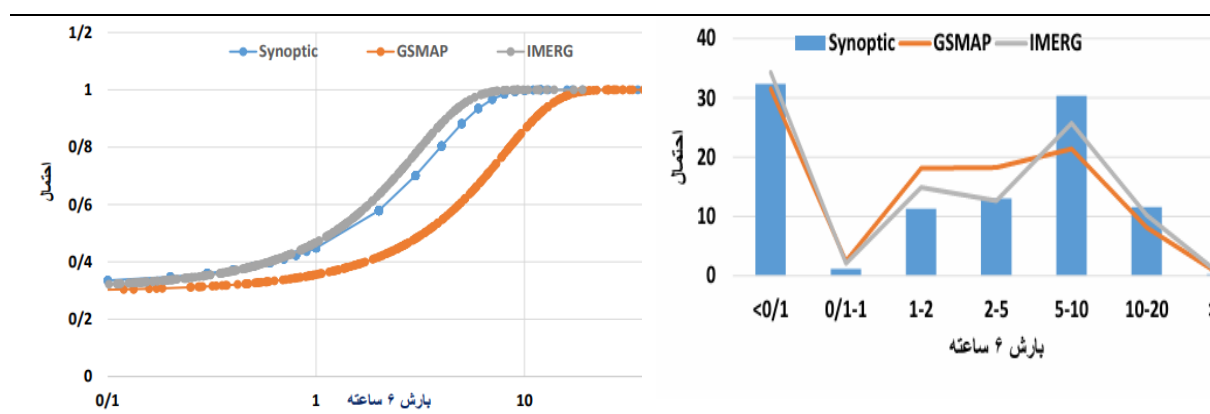
شکل 3: موقعیت دو محصول بارشی ماهواره‌ای 6 ساعته در مقایسه با داده بارش 6 ساعته مشاهده‌ای ایستگاه‌های سینوپتیک



شکل 4: عملکرد دو محصول بارشی در ارتفاع بر اساس شاخص‌های دودویی



شکل 5: عملکرد دو محصول بارشی در ارتفاع بر اساس شاخص‌های آماری

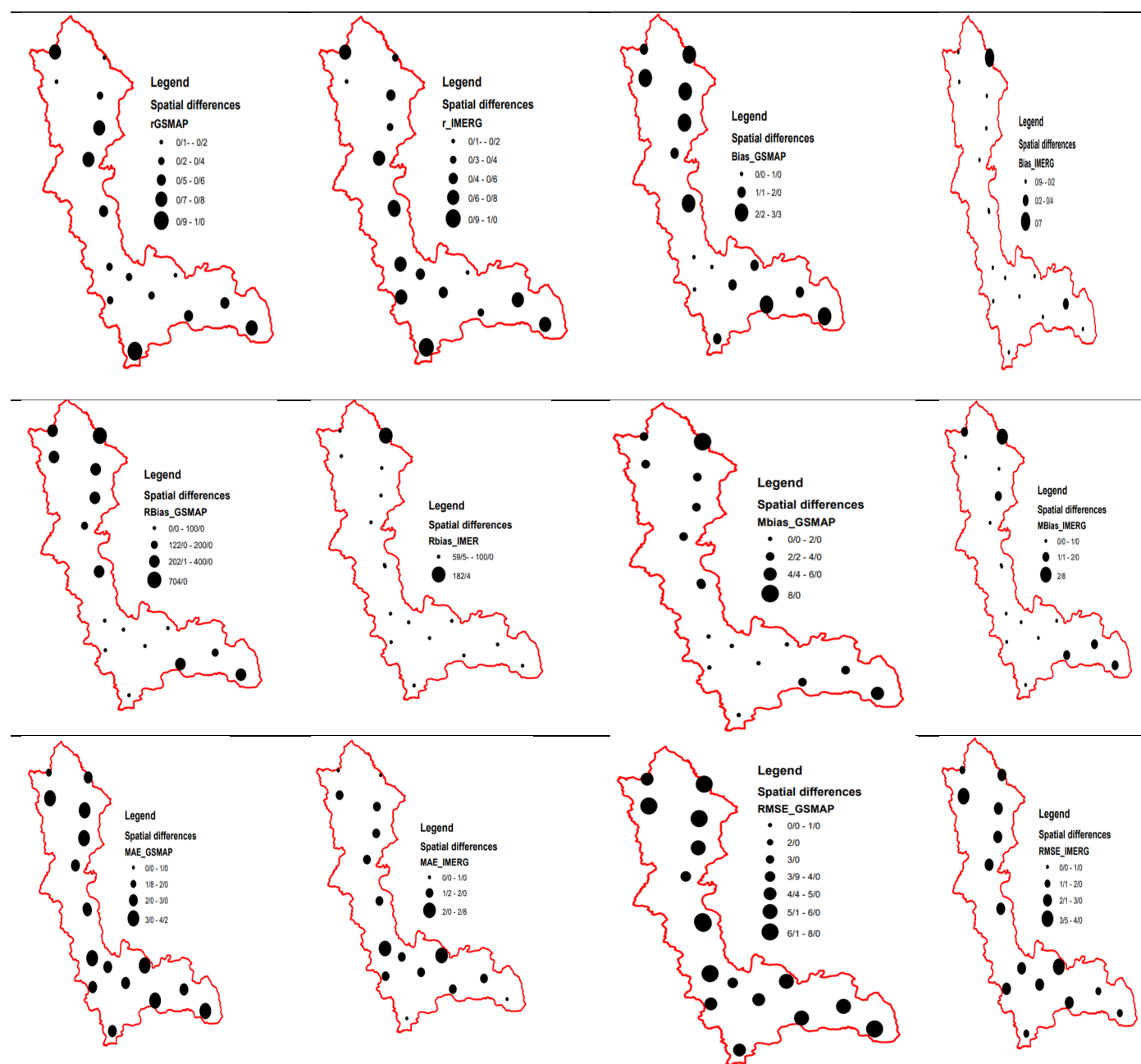


شکل 6: منحنی احتمال تجمعی و تابع چگالی احتمال داده‌های سینوپتیک در مقایسه با دو محصول بارشی ماهواره‌ای

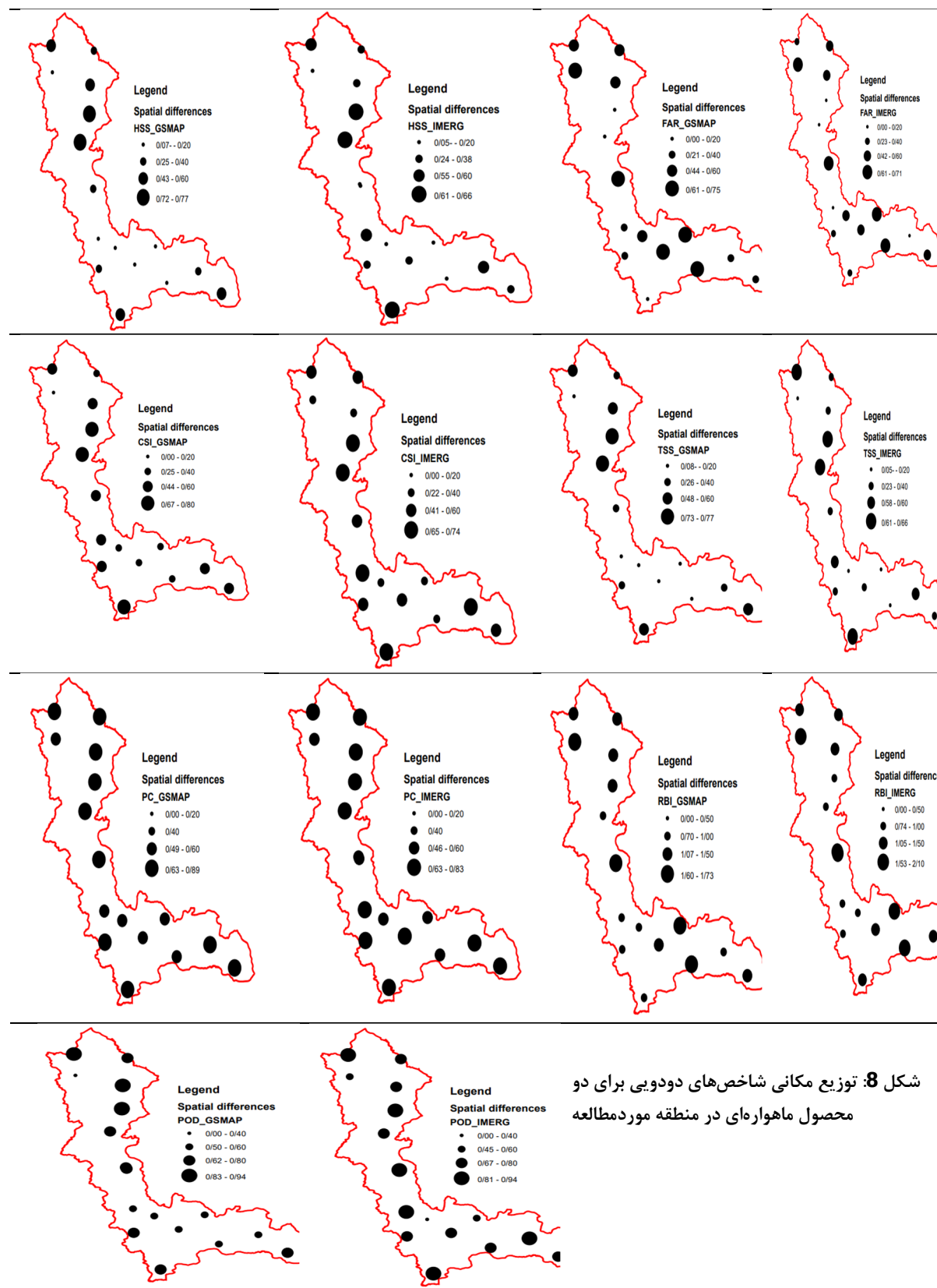
کمتر یا مساوی 3 میلی‌متر در محصول (IMERG_F) برابر حدود 70% است اما در خصوص محصول GSMaP_G حدود 20% از تعداد کل ایستگاه‌ها را تشکیل می‌دهد. توزیع مکانی شاخص‌های دودویی بر روی منطقه مورد مطالعه در شکل 8 نشان داده شده است. هر دو محصول بارشی ماهواره‌ای شباهت‌های قابل توجهی در توزیع مکانی همه شاخص‌های دودویی دارند. به‌طور کلی هر دو محصول با داشتن POD بالاتر و مقادیر FAR پایین در ایستگاه‌های نازلو، اشنویه، پیرانشهر، قره ضیاءالدین، سردشت، ارومیه، خوی، سلماس، بوکان و میاندوآب قابلیت تشخیص بارش بهتری در آن ایستگاه‌ها را دارند.

3-8- 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 7 نشان داده شده است. عملکرد مکانی دو محصول الگوهای مکانی نسبتاً مشابهی با مقادیر بالا در جنوب و شمال منطقه دارند. به دلیل تصحیح محصول IMERG_F با داده‌های بارش ماهانه ایستگاهی و همین‌طور تصحیح محصول GSMaP_G با داده‌های بارش روزانه ایستگاهی همبستگی بالاتری در بیشتر مناطق مورد مطالعه وجود دارد به‌طوری که بیش از 40 ایستگاه‌ها ضریب R بیشتر از 60% دارند. از نظر RMSE، تعداد ایستگاه‌های با مقدار RMSE



شکل 7: توزیع مکانی شاخص‌های آماری برای دو محصول ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه



9-3- مراجع

- 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), 2314.
- 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, 134-146.
- 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), 6117-6134.
- 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), 1773.
- 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), 1596-1614.
- Chang, N. B., & Hong, Y. (Eds.), 2012. *Multiscale hydrologic remote sensing: Perspectives and applications*. CRC Press
- Chen, F., & Li, X., 2016. Evaluation of IMERG and TRMM 3B43 monthly precipitation products over mainland China. *Remote Sensing*, 8(6), 472.
- 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), 1703-1724.
- 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), 8174-8186.
- Derin, Y., & Yilmaz, K. K. (2014). Evaluation of multiple satellite-based precipitation products over complex topography. *Journal of Hydrometeorology*, 15(4), 1498-1516.
- Dinku, T., Chidzambwa, S., Ceccato, P., Connor, S. J., & Ropelewski, C. F. (2008). Validation of high-resolution satellite rainfall products over complex terrain. *International Journal of Remote Sensing*, 29(14), 4097-4110.
- 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, 24-38.
- 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), 1694-1707.
- Guo, H., Chen, S., Bao, A., Behrangi, A., Hong, Y., Ndayisaba, F., ... & Stepanian, P. M. (2016). Early assessment of

4- 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 غربی در مقیاس 6 ساعته (زیر روزانه) از مارس تا ژوئن 2017 با داده‌های 17 ایستگاه مرجع ارائه می‌کند. از 6 معیار آماری R ، $MBias$ ، $RBias$ ، $BiasRMSE$ و MAE برای تجزیه و تحلیل کمی دقت محصولات باشی ماهواره‌ای استفاده شده و از 7 معیار دودویی طبقه‌بندی شده TSS ، PC ، FBI ، HSS ، FAR ، CSI ، POD ، ارزیابی قابلیت تشخیص بارش در محصولات ماهواره‌ای در این مطالعه استفاده شده است. اگرچه محصول بارشی IMERG_F توسط داده‌های ماهانه ایستگاه مرکز جهانی بارش (GPCC) و سازمان ملی اقیانوسی و جوی (NOAA) و محصول بارشی GSMaP_G توسط بارش‌های روزانه مرکز پیش‌بینی اقلیم (CPC) تصحیح شده‌اند؛ اما ضریب رگرسیون بالا بین داده‌های بارشی ماهواره‌ای و آن ایستگاه‌های سنوپتیکی که در آنها داده‌های باران‌سنج GPCC و CPC قرار ندارند نشان‌دهنده اعتبار این پژوهش است. نتیجه‌گیری کلی پژوهش به شرح زیر است:

- (1) محصول IMERG_F در مقایسه با محصول GSMaP_G بهترین عملکرد را در مقیاس‌های زمانی 6 ساعته (کمتر از روزانه) در منطقه دارد. در مقایسه با مشاهدات ایستگاه‌ها، محصول IMERG_F میزان بارش را دست‌کم می‌گیرد، در حالی که محصول GSMaP_G بیش از حد تخمین زده می‌شوند.
- (2) در تحلیل با دیگرام 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 می‌باشد.
- (3) عملکرد هر دو محصول دارای تنوع مکانی نسبتاً مشابهی از نظر شاخص‌های آماری و دودویی دارند.
- (4) 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 0-0.1 میلی‌متر و 5-10 میلی‌متر در 6 ساعت رخ می‌دهد و کمترین فراوانی بارندگی در شدت بارندگی بیش از 20 میلی‌متر در 6 ساعت ظاهر می‌شود. محصول IMERG_F از نظر فرکانس به خوبی با مشاهدات ایستگاهی، زمانی که شدت بارش بیشتر از 8 میلی‌متر و کمتر از 1 میلی‌متر در 6 ساعت است، موافق هست.
- (5) هر دو محصول بارشی ماهواره‌ای در ارتفاعات متوسط شبیه به هم عمل می‌کنند اما در ارتفاعات خیلی بالا و خیلی پایین IMERG_F عملکرد بهتری نسبت به GSMaP_G دارد.

- Ma, Y., Tang, G., Long, D., Yong, B., Zhong, L., Wan, W., & Hong, Y. (2016). Similarity and error intercomparison of the GPM and its predecessor-TRMM multisatellite precipitation analysis using the best available hourly gauge network over the Tibetan Plateau. *Remote sensing*, 8(7), 569.
- 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), 254.
- 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, 865-876.
- Sharifi, E., Steinacker, R., & Saghafian, B. (2016). Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary results. *Remote Sensing*, 8(2), 135.
- 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.
- 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), 8987-9005.
- Tan, M. L., & Duan, Z. (2017). Assessment of GPM and TRMM precipitation products over Singapore. *Remote Sensing*, 9(7), 720.
- Tan, M. L., & Santo, H. (2018). Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia. *Atmospheric Research*, 202, 63-76.
- 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.
- Tang, G., Ma, Y., Long, D., Zhong, L., & Hong, Y. (2016). Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales. *Journal of hydrology*, 533, 152-167.
- Tian, Y., & Peters-Lidard, C. D. (2010). A global map of uncertainties in satellite-based precipitation measurements. *Geophysical Research Letters*, 37(24).
- 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), 1059-1069.
- Veerakachen, W., Raksapatcharawong, M., & Seto, S. (2014). Performance evaluation of global satellite mapping of precipitation (gsmap) products over the chaophraya river basin, thailand. *Hydrological Research Letters*, 8(1), 39-44.
- 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 integrated multi-satellite retrievals for global precipitation measurement over China. *Atmospheric Research*, 176, 121-133.
- 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), 7181-7211.
- Habib, E., Henschke, A., & Adler, R. F. (2009). Evaluation of TMPA satellite-based research and real-time rainfall estimates during six tropical-related heavy rainfall events over Louisiana, USA. *Atmospheric Research*, 94(3), 373-388.
- 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), 413-430.
- Hisam, E., Mehr, A. D., Alganci, U., & Seker, D. Z. (2023). Comprehensive evaluation of Satellite-Based and reanalysis precipitation products over the Mediterranean region in Turkey. *Advances in Space Research*, 71(7), 3005-3021.
- 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), 701-722.
- 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), 347.
- 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, 1119-1132.
- 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), 608.
- 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, 95-105.
- 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.
- 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.
- 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), 601-618.
- 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), 2022.

- emphasis on hydrologic forecasting. *Journal of Hydrometeorology*, 6(4), 497-517.
- 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.
- 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.
- 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.
- on hydrologic modeling skill at different scales. *Journal of Hydrometeorology*, 15(2), 593-613.
- 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.
- Wei, G., Lü, H., T. Crow, W., Zhu, Y., Wang, J., & Su, J. (2017). 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), 30.
- 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.
- Yilmaz, K. K., Hogue, T. S., Hsu, K. L., Sorooshian, S., Gupta, H. V., & Wagener, T. (2005). Intercomparison of rain gauge, radar, and satellite-based precipitation estimates with