



دانشگاه گواران، دانشکده مهندسی آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و هفتم، شماره چهارم، ۱۳۹۹
۱۴۹-۱۶۶

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.17531.3301

مقاله کامل علمی - پژوهشی

صحت‌سنجی داده‌های بارش ماهواره GPM-IMERG در مقیاس‌های زمانی نیم‌ساعته و روزانه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگانرود)

معصومه اردونی^۱، هادی معماریان^۲، *مرتضی اکبری^۳ و محسن پوررضا بیلندی^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه بیرجند، ^۲دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه بیرجند،

^۳استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد، ^۴دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۳

چکیده

سابقه و هدف: جهت تخمین دقیق بارش از روش‌های مختلفی از جمله استفاده مستقیم از داده‌های ایستگاه‌های زمینی هواشناسی و مشاهدات مستقیم، به کارگیری داده‌های ماهواره‌های سنجنش از دور و یا استفاده از روش‌های دورن‌یابی که مبتنی بر روش‌های زمین آمار هستند، استفاده می‌شود. استفاده از فن‌آوری‌های سنجنش از دور راداری در تخمین دقیق مقدار بارش، اهمیت حیاتی دارد. بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی داده‌های بارش ماهواره GPM-IMERG و مقایسه آن با داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی زمینی در استان گلستان - حوضه گرگانرود انجام شد.

مواد و روش‌ها: پس از دریافت سری داده‌های ماهواره‌ای GPM و پردازش اولیه آن‌ها، مقایسه تطبیقی بین داده‌های ماهواره در مقیاس زمانی نیم‌ساعته و روزانه با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه باران‌سنجی زمینی (ثبات و معمولی) انجام گرفت. با توجه به وضوح مکانی (۰/۱ درجه در ۰/۱ درجه) و دقت زمانی (ارائه داده‌های روزانه و ۳۰ دقیقه‌ای) داده‌های IMERG ماهواره GPM، جهت مقایسه تطبیقی، صحت‌سنجی و تعیین دقت تخمین بارش، از ایستگاه‌های باران‌سنجی با دوره آماری ۲۰۱۴/۳/۲۰-۲۰۱۶/۳/۲۰ و ۲۰۱۶/۳/۲۰-۲۰۱۶/۹/۲۱ ایستگاه ثبات با دوره آماری ۲۰۱۶/۳/۲۰-۲۰۱۶/۹/۲۱ حوضه گرگانرود استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج عملکرد بارندگی نیم‌ساعته IMERG با مقادیر CC برابر با ۰/۲۳-۰/۰۵ و CSI برابر با ۰/۵۲-۰/۲۰ نسبتاً قابل‌قبول ارزیابی شد. اعتبارسنجی داده‌های بارش ماهواره GPM با استفاده از شاخص‌های آماری MAE، RMSE و MBE نیز از دقت نسبتاً قابل‌قبولی برخوردار بوده است. بر اساس اعمال شاخص‌های مربوط به مقایسه روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی با داده‌های ماهواره GPM، شاخص RBias با مقدار ۰/۷۴ بالاترین میزان مطابقت داده‌های GPM با داده‌های مشاهده‌ای را داشت و کم‌ترین میزان مطابقت با مقدار ۲/۲۷ مربوط به ایستگاه نوده می‌باشد. شاخص POD نیز نشان داد که ایستگاه‌های نوده و حق‌الخواجه به‌ترتیب با مقادیر ۰/۵ و ۰/۲۵ بیش‌ترین و

* مسئول مکاتبه: m_akbari@um.ac.ir

کم‌ترین مطابقت را با ایستگاه‌های زمینی داشته است. براساس مقادیر شاخص مطابقت FAR ملاحظه شد که کم‌ترین مقدار FAR در ایستگاه‌های باغ سالیان و زرینگل ۰/۶۴ و بیش‌ترین مقدار ۰/۸۰ در ایستگاه شیرآباد می‌باشد. بوده است.

نتیجه‌گیری: اعتبارسنجی داده‌های بارش ماهواره GPM با استفاده از معیارهای آماری MAE، RMSE و MBE نیز نشان داد که از دقت قابل‌قبولی برخوردار است. مقادیر POD نیز عملکرد قابل‌قبول داده‌های این ماهواره را نشان داده است. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که مطابقت نسبی و خوبی بین داده‌های ایستگاه‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای GPM وجود داشته است.

واژه‌های کلیدی: بارش، تغییرات زمانی-مکانی، حوضه گرگانرود، معیارهای آماری، ماهواره‌های هواشناسی

مقدمه

ماهواره‌های جهانی تخمین زنده بارش شامل؛ ماهواره^۱ TRMM (۱۳)،^۲ CMORPH (۱۵)،^۳ GMP (۱۹) و^۴ PERSIANN (۱۱ و ۳۱) می‌باشند. در این میان ماهواره رادار محور همچون GPM به دلیل قابلیت اندازه‌گیری بارش‌های سبک و هم‌چنین بارش برف و تگرگ از عملکرد قابل‌قبولی نسبت به دیگر ماهواره‌ها برخوردار بوده است. این ماهواره بر پایه موفقیت‌ها و استراتژی ماهواره TRMM که محصول مشترک سازمان فضایی ایالات‌متحده آمریکا و آژانس اکتشافات هوایی ژاپن می‌باشد، ساخته شده است. ماهواره GPM نیز در سازمان فضایی ناسا طراحی و ساخته شد و در کشور ژاپن به فضا پرتاب گردید. ارتفاع مداری این ماهواره ۴۰۷ کیلومتری زمین بوده و در مدار غیر خورشیدآهنگ در حرکت است (۱۴ و ۱۸).

بارش یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعادل آب و انرژی در جهان و متغیرهای مهم هواشناسی است (۱۷). به‌طوری‌که توزیع و تغییرات مکانی-زمانی آن در چرخه هیدرولوژیکی، تعاملات زمین-جو و هم‌چنین مدیریت منابع آبی اهمیت زیادی دارد (۲۲). جهت تخمین میزان بارش از روش‌های مختلفی از جمله استفاده مستقیم از داده‌های ایستگاه‌های زمینی هواشناسی و مشاهدات مستقیم، به کارگیری داده‌های ماهواره‌های سنجنش از دور و یا استفاده از روش‌های دورن‌یابی که مبتنی بر روش‌های زمین آمار هستند، استفاده می‌شود. (۸ و ۹). کمبود داده‌های با وضوح بالا می‌تواند منجر به تغییرات فضایی بارندگی شوند. بنابراین توسعه رویکردهای نوآورانه برای تخمین بارش در مناطقی که داده‌های نامناسب یا ناکافی دارند، اهمیت حیاتی دارد (۳). در مسیر توسعه سریع فن‌آوری‌های مشاهداتی در دهه‌های اخیر، استفاده از امکانات سنجنش از دور مزایای منحصر به فردی برای به دست آوردن اطلاعات دقیق بارش در بُعد فضایی-زمانی در مناطقی که فاقد مشاهدات هواشناسی هستند، داشته است (۳۲). در حال حاضر محصولات

- 1- Tropical Rainfall Monitoring Mission, TRMM
- 2- Climate Predication Centre Morphing Technique, CMORPH
- 3- Global Satellite Mapping of Precipitation, GPM
- 4- Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks, PERSIANN

باشد (۲۶). علاوه بر آن، می‌توان به مطالعات تان و همکاران (۲۰۱۷) در مقایسه عملکرد نتایج تولیدات بارش در ماهواره GPM و TRMM (۳۳)، مطالعات سالو و همکاران (۲۰۱۶) در ارزیابی صحت بارش‌های روزانه حاصل از داده‌های ماهواره GPM در بخش‌های بالادستی حوضه آبریز نیل در آفریقا (۲۸) و نینگ و همکاران (۲۰۱۶) در مقایسه داده‌های GPM و ایستگاه‌های زمینی در تولیدات بارش در اراضی کوهستانی چین (۲۵) اشاره نمود. در ایران نیز به برخی از مطالعات مانند مطالعات عبدالمهدی و همکاران (۲۰۱۷) در مقایسه و تخمین مقادیر بارش با استفاده از داده‌های TRMM و CMORPH در حوضه کشف‌رود (۱) و مطالعات علی‌بخشی و همکاران (۲۰۱۷) در برآورد و مقایسه مقادیر بارش حاصل از GPM و TRMM در حوضه کشف‌رود استان خراسان رضوی (۴) اشاره نمود.

آنچه قابل توجه است، آنست که روند رو به توسعه تخریب زمین و گسترش بیابان‌زایی در مناطق خشک، به دلیل دسترسی محدود به آب، اهمیت ارزیابی دقیق میزان بارش را دو چندان نموده است (۲ و ۲۳). بنابراین، در این پژوهش به ارزیابی و مقایسه تخمین، توزیع و مقادیر بارندگی برآورد شده از ماهواره GPM با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی زمینی در شمال شرق ایران و در حوضه آبریز گرگانرود استان گلستان توجه شده است. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی صحت داده‌های بارش GPM با داده‌های ایستگاه بارانسنجی ثبات و معمولی در مقیاس‌های زمانی نیم‌ساعته و روزانه به منظور ارزیابی عملکرد آن‌ها می‌باشد. با توجه به عدم ارزیابی داده‌های بارش سیستم ماهواره‌ای GPM با داده‌های ایستگاه‌های زمینی در بسیاری از نقاط ایران و از جمله حوضه آبریز گرگانرود، نتایج این پژوهش علاوه بر نوآوری می‌تواند برای کارشناسان، مدیران و برنامه‌ریزان اجرایی در موضوع مدیریت منابع آبی، کارآمد و مفید باشد.

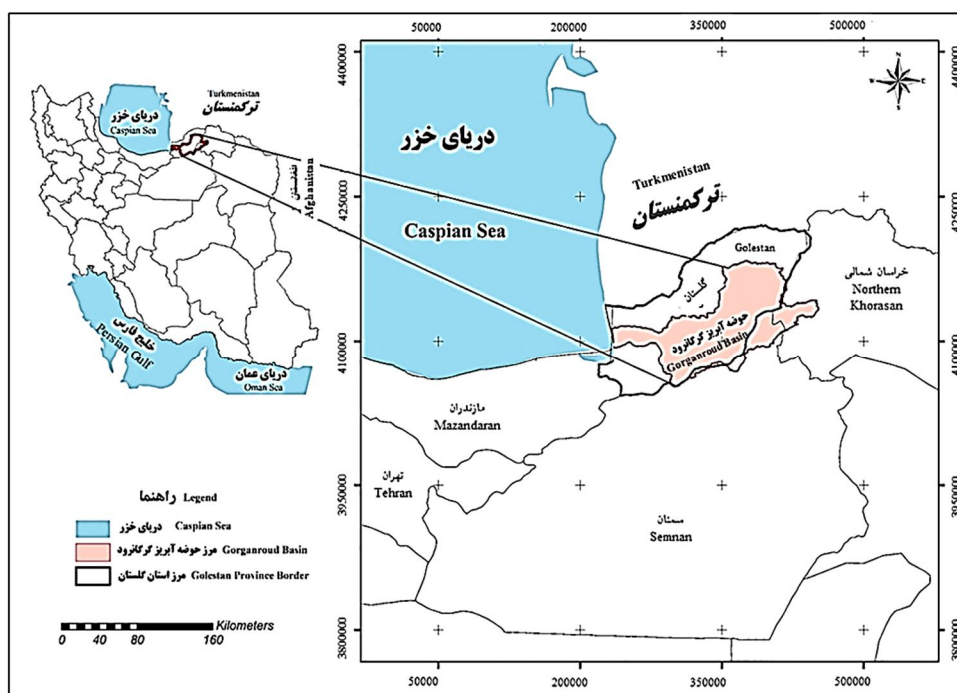
در ارتباط با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در تخمین مقدار بارش مطالعات زیادی صورت گرفته است که به طور نمونه می‌توان به مقایسه بارش داده‌های ایستگاهی در استرالیا و ایالات متحده آمریکا با استفاده از فناوری CMORPH (۱۵)، مقایسه داده‌های ایستگاه زمینی با داده‌های CMORPH و TRMM3B42 در منطقه زمبزی آفریقا (۲۰) اشاره نمود. پراکاش و همکاران (۲۰۱۶)، عملکرد TRMM و IMERG^۱ را در تشخیص و برآورد باران سنگین در هند بررسی نمودند. نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که صحت برآورد بارش ماهواره‌ای IMERG که بر اساس ماهواره GPM در فصل‌های بارندگی موسمی جنوب غرب انجام می‌شود، نسبت به TRMM در تشخیص بارش سنگین قابل ملاحظه بوده است (۲۷). تانگ و همکاران (۲۰۱۶)، نیز در ارزیابی دقت داده‌های بارش پایگاه‌های IMERG 3B42V7 در مقایسه با داده‌های زمینی در شش منطقه در چین نشان دادند که عملکرد IMERG در عرض‌های جغرافیایی بالا، متوسط و مناطقی با آب و هوای خشک بسیار مناسب بوده است (۳۲). لی و همکاران (۲۰۱۷)، محصول IMERG و RQPE^۲ را با داده‌های درون‌یابی بارندگی مقایسه کردند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر برآورد نسبتاً خوب هر دو محصول سنجش از راه دور بوده است، درحالی‌که RQPE نسبت به IMERG تقریباً عملکرد بهتری داشته است (۲۱). او و کیستر (۲۰۱۸)، نیز دقت الگوریتم IMERG ماهواره GPM در ایالات متحده را بررسی کردند. مطالعه آن‌ها برحسب تغییرات روزانه بارش در دوره تابستانی دوساله (ژوئن-اوت، ۲۰۱۴-۲۰۱۵) بوده و نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که تخمین‌های بارش IMERG توانسته جایگزین قابل‌اعتمادی برای اندازه‌گیری مشاهدات زمینی حتی در مقیاس روزانه

1- Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM
2- Radar Mosaic Quantitative Precipitation Estimation

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز گرگانرود از نظر موقعیت جغرافیایی، در شمال شرقی ایران و در محدوده ۴۲° ۵۳' تا ۲۸' ۵۶° طول جغرافیایی و ۴۳° ۴۹' تا ۳۷° عرض جغرافیایی واقع شده است (۶). حداکثر ارتفاع از سطح آب‌های آزاد ۳۶۰۰ متر و حداقل ارتفاع ۱۲- متر می‌باشد (۷). کاربری‌های اصلی این منطقه شامل کاربری‌هایی هم‌چون کشاورزی، مرتع و جنگل می‌باشند. وقوع بارش‌های شدید به همراه تشکیلات زمین‌شناس حساس به فرسایش و تغییر شدید کاربری اراضی از جنگل به اراضی دیم، سبب فراهم آمدن پتانسیل لازم برای تشکیل رواناب و در نتیجه فرسایش خاک و رسوب در حوضه شده است (۶). اقلیم حوضه بر اساس روش دمارتن از خشک در شرق تا نیمه‌خشک در بخش‌های غربی منطقه متغیر بوده و میزان بارش سالانه از ۲۳۱ میلی‌متر تا ۶۷۹ میلی‌متر تغییر می‌کند. این حوضه بر اساس روش دومارتن

دارای اقلیم‌های مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک و خشک است و (۲۴). میانگین سالانه بارش در حوضه از حدود ۳۰۰ میلی‌متر در کناره‌های جنوبی و شمالی حوضه تا ۱۰۰۰ میلی‌متر در بخش مرکزی آن متغیر است و روند تغییرات سالانه بارندگی شبه مدیترانه‌ای است. میانگین سالانه دما در این حوضه از حدود ۱۷ درجه سانتی‌گراد در نواحی کم‌ارتفاع تا ۷/۵ درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات جنوبی متغیر می‌باشد (۲۳). مساحت حوضه آبریز گرگانرود ۱۱۳۸۰ کیلومترمربع، معادل ۴۸ درصد سطح استان گلستان است. این منطقه از شمال به حوضه آبریز رودخانه اترک سفلی، از جنوب به حوضه آبریز اصلی ایران مرکزی در استان سمنان و از غرب به دریای خزر محدود شده است. ۶۷ درصد آب سطحی استان، یعنی ۸۲۸ میلیون مترمکعب در این حوضه جریان دارد (۷). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را در ایران و استان گلستان نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران.

Figure 1. Geographical location of the study area in Iran and Golestan province.

به صورت سری زمانی روزانه و نیم ساعته بودند. در این پژوهش از داده های نرخ بارندگی نیم ساعته و روزانه و الگوریتم IMERG ماهواره GPM با تفکیک مکانی ۰/۱ درجه برای مطالعه و بررسی استفاده گردید. همان طور که اشاره شد، این ماهواره تخمین های بارش ماهانه و نیم ساعته را در شبکه های ۰/۱ درجه طولی و عرضی برای محدوده ۶۰ درجه شمالی و جنوبی تولید می کند. به طوری که در ابتدا مقادیر بارش IMERG برای ساعات و تاریخ های مورد نظر با فرمت TIF از سایت ناسا دریافت و در محیط نرم افزاری GIS نقشه های رستری (۰/۱*۰/۱) مربوطه فراخوانی شدند. سپس مقادیر بارش نیم ساعته و روزانه تمام ایستگاه ها استخراج و در محیط نرم افزار اکسل مورد تجزیه و تحلیل های آماری قرار گرفتند. جدول ۱ مشخصات ایستگاه های باران سنجی معمولی حوضه گرگانرود را نشان می دهد.

معرفی کلی ماهواره GPM: در فوریه ۲۰۱۴، نسل جدید ماهواره های تخمین بارش با نام GPM، دارای تجهیزات و سنسورهای پیشرفته، به فضا پرتاب شد. این ماهواره، با استفاده از ابزار تصویربرداری مایکروویو^۱ (GMI) و رادار بارش دو فرکانسه^۲ (DPR)، می تواند بارش های برف و باران را مشاهده کند و محصول نهایی آن IMERG نام دارد. این محصول دارای وضوح مکانی ۰/۱*۰/۱ درجه است (۱۴). این پروژه بخشی از برنامه ناسا به نام مأموریت های روشمند زمین است که با در اختیار داشتن مجموعه ای از ماهواره ها به منظور تأمین پوشش کلی کره زمین فعالیت می کند. این پروژه نقشه های بارش جهانی را تهیه می کند که به پژوهشگران در زمینه مطالعه اقلیم جهان، پیش بینی حوادث و بلایای طبیعی و بهبود کاربرد داده های ماهواره ای در زمینه کمک به جامعه بشری یاری می رساند (۱۰ و ۱۲).

منابع داده و تجزیه و تحلیل آماری: در این پژوهش از آمار بارندگی ایستگاه های هواشناسی موجود در استان گلستان به عنوان داده های مرجع و از داده های روزانه و ۳۰ دقیقه ای ماهواره GPM برای صحت سنجی و تعیین دقت در تخمین بارش استفاده گردید. به دلیل شروع به کار ماهواره GPM از سال ۲۰۱۴ و هم چنین عدم دسترسی به داده های زمینی به روز، داده های ۱۶ ایستگاه باران سنجی معمولی با دوره آماری ۲۰۱۴/۳/۲۰-۲۰۱۶/۳/۲۰ و ۶ ایستگاه ثابت با دوره آماری ۲۰۱۴/۳/۲۰-۲۰۱۶/۹/۲۱ حوضه گرگانرود برای انجام این پژوهش جمع آوری گردید. ایستگاه های منتخب دارای آمار کافی و معتبر

1- GPM Microwave Imager
2- Dual-Frequency Precipitation Radar

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های باران‌سنجی معمولی و ثابت حوضه گرگانرود (۷).

Table 1. Geographical location of ordinary/ stabilizer rain gauge stations in Gorganroud basin (7).

نوع ایستگاه باران‌سنجی Type of rain gauge	ارتفاع (متر) Elevation(m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ایستگاه Station
باران‌سنجی معمولی Ordinary	500	36° 48 '	54° 49 '	سرمو Sarmoo
باران‌سنجی معمولی Ordinary	148	36° 52 '	54° 38 '	تقی‌آباد Taghi Abad
باران‌سنجی معمولی Ordinary	307	36° 52 '	54° 57 '	زرینگل Zaringol
باران‌سنجی معمولی Ordinary	130	36° 53 '	54° 53 '	کبودوال Kaboodval
باران‌سنجی معمولی Ordinary	130	37° 00 '	55° 02 '	شیرآباد Shir Abad
باران‌سنجی معمولی Ordinary	255	37° 04 '	55° 15 '	نوده Nodeh
باران‌سنجی معمولی Ordinary	344	37° 08 '	55° 59 '	حق‌الخواجه Haghoh Khaje
باران‌سنجی معمولی Ordinary	14	37° 08 '	54° 43 '	باغسالیان Baghsalyan
باران‌سنجی معمولی Ordinary	38	37° 13 '	55° 01 '	قزاقلی Ghezaghli
باران‌سنجی معمولی Ordinary	64	37° 14 '	55° 11 '	گنبد Gonbad
باران‌سنجی معمولی Ordinary	213	37° 15 '	55° 26 '	گالیکیش Galikish
باران‌سنجی معمولی Ordinary	1596	37° 16 '	55° 45 '	دشت شاد Dasht Shad
باران‌سنجی معمولی Ordinary	438	37° 23 '	55° 45 '	تنگراه Tangrah
باران‌سنجی معمولی Ordinary	204	37° 23 '	55° 30 '	قوچمز Ghochmz
باران‌سنجی معمولی Ordinary	500	37° 42 '	55° 42 '	قرناق Ghornagh
باران‌سنجی معمولی Ordinary	-12	37° 01 '	54° 30 '	آق‌قلا Agh ghla
باران‌سنجی ثابت Stabilizer	4	37° 12 '	54° 44 '	سد گرگان Gorgan dam
باران‌سنجی ثابت Stabilizer	69	37° 19 '	55° 17 '	سد گلستان Golestan dam
باران‌سنجی ثابت Stabilizer	122	37° 29'	55° 30 '	تمر Tamer
باران‌سنجی ثابت Stabilizer	41	37° 13 '	55° 09 '	ارازکوسه Arazkoose
باران‌سنجی ثابت Stabilizer	64	37° 14 '	55° 11 '	گنبد Gonbad
باران‌سنجی ثابت Stabilizer	-12	37° 01 '	54° 30 '	آق‌قلا Agh ghla

قوت الگوریتم‌های بارش ماهواره‌ای کمک نماید و هم‌چنین در نظارت بر عملکرد الگوریتم‌های موجود، ارزیابی پیشرفت آن‌ها و شناخت جنبه‌هایی که نیاز بیش‌تری به بهبودی دارند، مؤثر باشد (۱۶، ۲۹ و ۳۰). در این پژوهش در ابتدا از روش صحت‌سنجی پیوسته (آماری)، برای ارزیابی کارایی محصولات

صحت‌سنجی داده‌های ماهواره‌ای GPM-IMERG:

بررسی کامل محصولات بارش مبتنی بر ماهواره، باید میزان دقت آن‌ها را در محدوده وسیعی از رژیم‌های آب‌وهوایی و اقلیمی تعیین کند، به کاربران اطلاعاتی را درباره خطای مورد انتظار در برآوردها بدهد، به توسعه‌دهندگان الگوریتم‌ها در شناخت نقاط ضعف و

(MBE)، بی‌بعد اریبی (DBE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و احتمال تشخیص (POD)، نسبت هشدار اشتباه (FAR)، شاخص موفقیت بحرانی (CSI) و شاخص اریبی (RBias) برای توصیف صحت بارش ماهواره‌ای استفاده شد (۵، ۳۴ و ۳۶). جدول ۲ شاخص‌های آماری صحت‌سنجی را نشان می‌دهد.

ماهواره‌ای در برآورد مقدار بارش و از روش صحت‌سنجی نامقید (تأیید صحت برآورد بارش) برای ارزیابی توانایی تشخیص بارش توسط محصولات ماهواره‌ای استفاده شد. بنابراین، برای ارزیابی جامع داده‌های بارش IMERG از شاخص‌های آماری، شاخص ضریب همبستگی، شاخص‌های میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین انحراف خطا

جدول ۲- شاخص‌های آماری صحت‌سنجی داده‌های ماهواره‌ای (۱۶ و ۳۰).

Table 2. Statistical methods for satellite data validation (16, 30).

بهترین ارزش Perfect Score	معادله Formula	شاخص آماری Statistical Index
1	$CC = \frac{cov(Pest, Pobs)}{\sigma(Pest)\sigma(Pobs)}$	ضریب همبستگی (CC) Correlation Coefficient (CC)
0	$MAE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T P_{obs} - P_{est} $	میانگین خطای مطلق (MAE) Mean Absolute Error (MAE)
1	$MBE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (P_{obs} - P_{est})$	میانگین انحراف خطا (MBE) Mean Bias Error (MBE)
1	$DBE(\%) = \frac{\sum_{t=1}^T (P_{obs} - P_{est})}{\sum_{t=1}^T (P_{obs})} * 100$	بی‌بعد اریبی (DBE) Dimensionless Bias Error (DBE)
0	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (P_{obs} - P_{est})^2}$	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) Root Mean Squared Error (RMSE)
1	$POD = \frac{Hits}{Hits + Misses}$	احتمال تشخیص (POD) Probability of Detection (POD)
0	$FAR = \frac{False\ alarms}{Hits + False\ alarms}$	نسبت هشدار اشتباه (FAR) False Alarm Ratio (FAR)
1	$CSI = \frac{Hits}{Hits + False\ alarms + Misses}$	شاخص موفقیت بحرانی (CSI) Critical Success Index (CSI)
0	$RBias(\%) = \frac{Hits + False\ alarms}{Hits + Misses}$	شاخص اریبی (RBias) Relative Bias (RBias)

نکته: در روابط فوق P_{obs} ، P_{est} به ترتیب مقدار بارش تخمین زده شده ماهواره‌ای و مشاهداتی، $cov(Pest, Pobs)$ کوواریانس آن‌ها، $\sigma(Pest)$ و $\sigma(Pobs)$ به ترتیب انحراف معیار بارش مشاهداتی و ماهواره‌ای، t گام زمانی و T طول کل سری زمانی در نظر گرفته شده است. $Hits$ تعداد وقایع بارشی را بیان می‌کند که در هر دو ایستگاه زمینی و ماهواره‌ای، برای بارش مقدار ثبت شده است. $False\ alarms$ تعداد حالت‌هایی را نشان می‌دهد که ماهواره بارش را پیش‌بینی کرده ولی در واقع، هیچ گونه بارشی رخ نداده است. $Misses$ معکوس حالت قبل است و تعداد وقایعی را بیان می‌کند که بارش اتفاق افتاده ولی ماهواره آن را تخمین نزده است.

نتایج و بحث

در این پژوهش همان‌طور که اشاره شد با به‌کارگیری داده‌های بارش نیم‌ساعته و روزانه ایستگاه‌های استان گلستان-حوضه گرگانرود و اطلاعات داده‌های بارش پایگاه GPM در مقیاس نیم‌ساعته و روزانه اعتبارسنجی انجام شد. همان‌طور که اشاره گردید برای استخراج داده‌ها در مقیاس نیم‌ساعته از داده‌های سری GPM-IMERG و داده‌های بارندگی نیم‌ساعته ایستگاه‌های باران‌سنجی ثابت موردمطالعه با دوره آماری ۲۰۱۴/۳/۲۰-۲۰۱۶/۹/۲۱ استفاده گردید. جدول ۳ مقادیر شاخص‌های آماری در ایستگاه‌های باران‌سنجی ثابت (نیم‌ساعته) را نشان می‌دهد.

POD شاخصی است که نشان می‌دهد چه کسری از رخداد‌های مشاهداتی بارندگی در ایستگاه به‌درستی، توسط ماهواره تشخیص داده شده‌اند. FAR کسری از رخداد‌هایی را نشان می‌دهد که ماهواره به اشتباه بارندگی تشخیص داده، ولی در واقعیت بارندگی رخ نداده است. شاخص CSI کسری از کل رخداد‌های بارندگی را نشان می‌دهد که توسط ماهواره درست تشخیص داده شده است. RBias نشان‌دهنده مقدار اریبی مقادیر برآوردشده (ماهواره) با مقادیر واقعی (ایستگاه زمینی) می‌باشد. مقادیر شاخص‌های بالا بین ۰ و ۱ است. بهترین حالت CSI و POD، یک محسوب می‌شود؛ درحالی‌که بهترین مقدار، برای FAR و RBias صفر است (۳۷).

جدول ۳- شاخص‌های آماری رخداد‌های بارش نیم‌ساعته هر یک از ایستگاه‌های باران‌سنجی ثابت.

Table 3. Statistical indicators of half-hour precipitation events for each of the stabilizer rain gauge Stations.

Rbias (%)	CSI	FAR	POD	DBE	RMSE (mm)	MBE (mm)	MAE (mm)	CC	ایستگاه Station
1.83	0.52	0.46	0.98	54.78	1.28	0.42	0.42	0.14*	ارازکوسه Arazkoose
2.56	0.38	0.61	1.00	57.53	1.55	0.50	0.50	0.09 ^{ns}	تمر Tamer
1.93	0.51	0.48	1.00	23.68	1.68	0.18	0.18	0.23*	سدگرگان Gorgan dam
2.06	0.48	0.51	1.00	39.02	1.09	0.29	0.29	0.21*	گلستان Golestan
2.11	0.47	0.52	1.00	51.84	1.56	0.41	0.41	0.22*	گنبد Gonbad
4.86	0.20	0.79	1.00	57.87	1.15	0.16	0.16	0.05 ^{ns}	آق‌قلا Agh ghla

* در سطح ۵ درصد اطمینان معنی‌دار و ^{ns} در سطح ۵ درصد اطمینان معنی‌دار نمی‌باشد.

Note: * indicates results are statistically significant based on p-value < 0.05 and ^{ns} indicates results are not statistically significant based on p-value < 0.05.

شاخص در ایستگاه ارازکوسه با مقدار ۱/۸۳ بالاترین میزان مطابقت داده‌های GPM با داده‌های مشاهده‌ای و در ایستگاه آق‌قلا و با مقدار ۴/۴۸ کم‌ترین میزان مطابقت وجود دارد. در شاخص POD نیز مقادیر بالا

با توجه به جدول ۳ نتایج حاصل از اعمال شاخص RBias بر روی داده‌های بارندگی منطقه موردمطالعه نشان داد که مقدار این شاخص در تمامی ایستگاه‌ها بیش‌تر از یک می‌باشد. با توجه به این

مشاهداتی و برآورد شده در دو ایستگاه آق قلا و تمر همبستگی وجود ندارد و در سایر ایستگاه ها خیلی کم است. نتایج مقادیر MBE منفی نشان از بیش تخمینی و مقادیر مثبت نشان از کم تخمینی ماهواره دارد. بررسی مقادیر MBE نیز نشان می‌دهد که ماهواره GPM مقدار بارندگی را کم‌تر از مقدار واقعی برآورد کرده است. تغییرات MBE بین ۰/۱۶-۰/۵۰ می‌باشد ولی به لحاظ اینکه از نظر کمیت خطا نمی‌توان به معیار میانگین انحراف خطا (MBE) تکیه کرد، از RMSE نیز استفاده می‌شود. مقدار MAE و RMSE کم‌تر از ۲ میلی‌متر به دست آمده که از دقت نسبتاً بالایی برخوردار است؛ و مقادیر DBE بین ۰۳/۵۷-۰۳/۲۳ می‌باشد. در مقایسه نتایج مقادیر شاخص‌های RMSE و CC این پژوهش با پژوهش تانگ و همکاران (۲۰۱۶b) که به بررسی مقادیر ساعتی در مقیاس منطقه‌ای چین پرداختند مشابه است اما در مقیاس ملی تفاوت دارد (۳۶). لیکتی و همکاران (۲۰۱۲) در مقایسه داده‌های زمینی با داده‌های TRMM3B42 و CMORPH در آفریقا به این نتیجه دست یافتند هر دو محصول بارش را بیش‌تر از مقدار برآورد مشاهداتی تخمین می‌زنند (۲۰) که با نتایج به دست آمده برای حوضه گرگانرود نیز مطابقت دارد.

برای استخراج داده‌ها در مقیاس روزانه از داده‌های سری GPM-IMERG و داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی معمولی مورد مطالعه با دوره آماری ۲۰۱۴/۳/۲۰-۲۰۱۶/۳/۲۰ استفاده شد. جدول ۴ شاخص‌های آماری رخدادهای بارش روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی معمولی حوضه گرگانرود را نشان می‌دهد.

نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول داده‌های GPM می‌باشد که بهترین مطابقت این داده‌ها با ایستگاه‌های زمینی در دوره آماری می‌باشد. شاخص CSI کسری از کل رخدادهای بارندگی را نشان داد که توسط ماهواره درست تشخیص داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در ایستگاه‌ها میزان CSI بین ۰/۲۰-۰/۵۲ به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های آق قلا و ارازکوسه در نوسان است. CSI نشان می‌دهد مطابقت نسبی بین داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مشاهده شده ایستگاه‌های زمینی وجود دارد. با توجه به مقادیر FAR در تمام ایستگاه‌ها می‌توان گفت مطابقت نسبی بین داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مشاهده شده ایستگاه‌های زمینی وجود دارد. ملاحظه می‌شود کم‌ترین مقدار FAR در ایستگاه ارازکوسه ۰/۴۶ و بیش‌ترین مقدار ۰/۷۹ در ایستگاه آق قلا می‌باشد. به‌طور کلی با توجه به مقادیر FAR در حوضه گرگانرود، می‌توان نتیجه گرفت که ماهواره GPM تعداد وقوع بارش را بیش‌تر برآورد کرده است.

نتایج به دست آمده در جدول ۳ میانگین معیارهای خطا را نیز در وقایع بارشی دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در ایستگاه‌ها ضریب همبستگی بین ۰/۲۳-۰/۰۵ در نوسان است که بیش‌ترین و کم‌ترین عدد به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های سدگرگان و آق قلا است. براساس آزمون ضریب همبستگی پیرسون نیز ارتباط بارش ماهواره GPM و بارش مشاهداتی ایستگاه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت؛ که بر اساس نتایج آزمون در تمام ایستگاه‌ها به جز ایستگاه آق قلا و تمر مقادیر P-Value در سطح ۵ درصد معنی دار بوده است؛ و براساس میزان همبستگی بین داده‌های بارش

جدول ۴- شاخص‌های آماری رخدادهای بارش روزانه در همه ایستگاه‌های باران‌سنجی معمولی.

Table 4. Statistical indicators of daily precipitation events at all ordinary rain gauge stations.

Rbias (%)	CSI	FAR	POD	DBE	RMSE (mm)	MBE (mm)	MAE (mm)	CC	ایستگاه Station
1.79	0.20	0.74	0.46	55.34	6.55	1.23	1.23	0.13*	تنگراه Tangrah
1.54	0.17	0.75	0.38	42.41	5.68	0.73	0.73	0.19*	تقی‌آباد Taghi Abad
1.25	0.16	0.74	0.32	58.72	8.65	1.43	1.43	0.14*	سرمو Sarmoo
2.27	0.18	0.77	0.50	67.00	7.30	1.70	1.70	0.11*	نوده Nodeh
1.47	0.20	0.70	0.42	9.90	4.60	0.11	0.11	0.18*	کیبودوال Kaboodval
0.74	0.16	0.66	0.25	-44.05	3.80	-0.25	0.25	0.07 ^{ns}	حق‌الخواجه Haghoh Khaje
1.65	0.21	0.71	0.46	30.44	4.46	0.40	0.40	0.23*	گنبد Gonbad
1.56	0.19	0.73	0.41	31.83	4.32	0.39	0.39	0.20*	قرناق Ghornagh
1.72	0.20	0.73	0.45	10.08	3.74	0.10	0.10	0.31*	قراقلی Ghezaghli
1.85	0.19	0.74	0.47	63.90	7.19	1.66	1.66	0.16*	گالیکیش Galikish
1.04	0.15	0.74	0.27	14.16	5.51	0.16	0.16	0.56*	دشت شاد Dasht Shad
1.75	0.21	0.72	0.48	21.1	3.85	0.22	0.22	0.36*	آق‌قلا Agh ghla
1.06	0.22	0.64	0.37	38.95	5.56	0.63	0.63	0.05 ^{ns}	زرینگل Zaringol
1.35	0.20	0.70	0.40	27.91	4.74	0.42	0.42	0.26*	قوچمز Ghochmz
0.97	0.21	0.64	0.34	-4.77	4.14	-0.04	0.04	0.28*	باغسالیان Baghsalyan
1.53	0.13	0.80	0.30	71.62	7.66	1.78	1.78	0.12*	شیرآباد Shir Abad

* در سطح ۵ درصد اطمینان معنی‌دار و ^{ns} در سطح ۵ درصد اطمینان معنی‌دار نمی‌باشد.

Note: * indicates results are statistically significant based on p-value < 0.05 and ^{ns} indicates results are not statistically significant based on p-value < 0.05.

بیش‌ترین و کم‌ترین مطابقت با ایستگاه‌های زمینی در دوره آماری می‌باشد. مقادیر شاخص CSI در تمام ایستگاه‌ها بین ۰/۲۲ - ۰/۱۳ محاسبه شد که به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های آق‌قلا و آرازکوسه است. CSI نشان داد که مطابقت نسبی بین داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مشاهده‌شده ایستگاه‌های زمینی وجود دارد.

نتایج حاصل از اعمال شاخص RBias بر روی داده‌های بارندگی منطقه مورد مطالعه طبق جدول ۴ نشان داد که مقدار این شاخص در ایستگاه حق‌الخواجه با مقدار ۰/۷۴ بالاترین میزان مطابقت داده‌های GPM با داده‌های مشاهده‌ای و در ایستگاه نوده با مقدار ۲/۲۷ کم‌ترین میزان مطابقت را نشان می‌دهد. شاخص POD نشان داد در ایستگاه‌های نوده و حق‌الخواجه به‌ترتیب با مقادیر ۰/۲۵ و ۰/۵

کمتر از $1/78$ میلی‌متر به‌دست آمده که نشان از دقت نسبتاً قابل‌قبول تخمین‌های ماهواره‌ای است. با توجه به این‌که GPM بارش‌های سبک و برف را نیز برداشت می‌کند در قسمت‌هایی که ماهواره داده بیش‌تری از ایستگاه‌های زمینی را برداشت می‌کند به همان میزان مقدار MAE بیش‌تری به‌دست آمده است. بررسی مقادیر MBE نیز نشان داد که ماهواره GPM مقدار بارندگی را در تمام ایستگاه‌ها به‌جز باغ‌سالیان و حق‌الخواجه که مقادیر منفی دارند کم‌تر از مقدار واقعی برآورد کرده است. مقادیر کم‌تر $RMSE$ و MAE در حوضه گرگانرود در مقایسه پژوهش شریفی و همکاران (۲۰۱۶) که به بررسی عملکرد الگوریتم‌های بارش در مقایسه با رادار منطقه گلستان پرداختند (۲۹)، در مجموع مطابقت نسبتاً خوبی را با داده‌های مشاهداتی نشان داد، اما ضریب همبستگی مقادیر بالاتری در مطالعات آن‌ها داشته است. نتایج مقادیر $RMSE$ و MBE در حوضه گرگانرود در مقایسه پژوهش عبدالهی و همکاران (۲۰۱۷) که در همین حوضه برای ماهواره $TRMM$ محاسبه نموده‌اند (۱) مشابهت دارد اما مقادیر $RBias$ در این پژوهش کم‌تر است؛ البته ایستگاه‌های مورد مطالعاتی آنان با ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش متفاوت بوده است.

جهت مقایسه عملکرد داده‌های $IMERG$ در اندازه‌گیری بارش روزانه سراسر جهان و برای مقایسه با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، جدول ۵ ارائه شده است.

براساس مقادیر شاخص مطابقت FAR ملاحظه شد که کم‌ترین مقدار FAR در ایستگاه‌های باغ‌سالیان و زرینگل $0/64$ و بیش‌ترین مقدار $0/80$ در ایستگاه شیرآباد بوده است. مقادیر POD و FAR در حوضه گرگانرود مشابه نتایج مقادیر POD و FAR پژوهش شریفی و همکاران (۲۰۱۶) بوده که در مناطق آب‌وهوایی مختلف ایران (ایستگاه‌های کرمانشاه، گیلان، تهران و بوشهر) انجام شده است (۳۰).

نتایج حاصل از ضریب همبستگی بر روی داده‌های بارندگی بیانگر آنست که بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های ماهواره در محدوده تغییرات $0/05$ تا $0/56$ می‌باشد که به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های دشت‌شاد و زرینگل (ایستگاه زرینگل و حق‌الخواجه معنی‌دار نشده‌اند) است. عدم انطباق کافی بین دو نوع داده را می‌توان به اختلاف دقت مکانی و زمانی آن‌ها مرتبط دانست (۳). براساس آزمون ضریب همبستگی پیرسون نیز ارتباط بارش ماهواره GPM و بارش مشاهداتی ایستگاه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت؛ که نتایج آزمون در تمام ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه‌های حق‌الخواجه و زرینگل بر اساس مقادیر P -Value (در سطح معنی‌داری ۵ درصد) همبستگی بین داده‌های بارش مشاهداتی و برآورد شده را نشان داد. مقادیر DBE بین $71/62$ - $44/05$ - که به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های شیرآباد و حق‌الخواجه می‌باشد. کم‌ترین مقدار $RMSE$ نیز مربوط به ایستگاه قزاقلی با مقدار $3/74$ که دارای بیش‌ترین دقت است و مقدار MAE در این ایستگاه

جدول ۵- مقایسه ارزیابی عملکرد روزانه IMERG در مطالعات دیگران.

Table 5. Comparison of IMERG daily performance evaluation in other studies.

CC	RMSE (mm/day)	POD	دوره آماری Period	منطقه مطالعاتی Study Area	مرجع References
0.62-0.9	4.44-13.09	-	مه - سپتامبر ۲۰۱۴ May to September 2014	چین China	تانگ و همکاران (۲۰۱۶-a) Tang et al. (2016a)
0.96	0.5	0.91	آوریل - دسامبر ۲۰۱۴ April to December 2014	حوضه رودخانه گنجیانگ، چین Ganjiang River Basin, China	تانگ و همکاران (۲۰۱۶-b) Tang et al. (2016b)
0.55	-	0.87	مه - اکتبر ۲۰۱۴ May to October 2014	حوضه آبی نیل Blue Nile Basin	ساهلو و همکاران (۲۰۱۶) Sahlu et al. (2016)
0.68	6.43	0.79	آوریل ۲۰۱۴ - نوامبر ۲۰۱۵ April 2014 to November 2015	چین China	نینگ و همکاران (۲۰۱۶) Ning et al. (2016)
0.93	0.56	-	۱۲ مارس ۲۰۱۴ - ۳۱ مارس ۲۰۱۵ 12 March 2014 to 31 March 2015	چین China	گوا و همکاران (۲۰۱۶) Guo et al. (2016)
0.4-0.52	6.38-19.41	0.46-0.7	مارس ۲۰۱۴ - فوریه ۲۰۱۵ March 2014 to February 2015	ایران Iran	شریفی و همکاران (۲۰۱۶-b) Sharifi et al. (2016b)
0.5-0.6	12.94-14.93	0.86-0.89	۱۲ مارس ۲۰۱۴ - ۲۹ فوریه ۲۰۱۶ 12 March 2014 to 29 February 2016	مالزی Malaysia	تان و سنتو (۲۰۱۷) Tan and Santo (2017)
0.53	11.83	0.78	آوریل ۲۰۱۴ - ژانویه ۲۰۱۶ April 2014 to January 2016	سنگاپور Singapore	تان و دیون (۲۰۱۷) Tan and Duan (2017)
0.53-0.68	6.68-23.41	0.6-0.73	مارس - اوت ۲۰۱۴ March to August 2014	کره، ژاپن Korea, Japan	کیم و همکاران (۲۰۱۷) Kim et al. (2017)
0.04-0.72	2.8-5.98	0.52-0.71	۱۲ مارس ۲۰۱۴ - ۲۲ سپتامبر ۲۰۱۴ 12 March 2014 to 22 September 2014	ایران Iran	علی‌بخشی و همکاران (۲۰۱۷) Ali Bakhshi et al. (2017)
0.05-0.56	3.74-8.65	0.25-0.5	۱۲ مارس ۲۰۱۴ - ۳۱ مارس ۲۰۱۶ 12 March 2014 to 31 March 2016	ایران Iran	نتایج مطالعه حاضر This study's result

پژوهش علی‌بخشی و همکاران (۲۰۱۷) به نسبت در پژوهش حاضر داشته است. ارتباط همبستگی قوی ($CC > 0.7$) بین IMERG و سنجنده‌های بارش در چین با مطالعات گوا و همکاران (۲۰۱۶) و در

همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است داده‌های ماهواره‌ای GPM-IMERG توانایی تشخیص بارش بسیار بالایی در بیش‌تر مناطق، به‌جز در حوضه رودخانه چیندوین، میانمار و حوضه کشف‌رود در

MBE نشان داد که ماهواره GPM مقادیر بارش نیم‌ساعته را بیش‌تر از مقدار مشاهده‌ای برآورد می‌کند و سایر شاخص‌های MAE، MBE، RMSE، CSI و FAR نشان داد که مطابقت نسبی بین داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مشاهده‌شده ایستگاه‌های زمینی وجود دارد. شاخص POD عملکرد قابل‌قبول ماهواره GPM در حوضه گرگانرود را نشان داده است. با توجه به این‌که محاسبه مقادیر شاخص‌های آماری و شاخص‌های مطابقت برای اولین بار برای داده‌های نیم‌ساعته داده‌های ماهواره GPM با داده‌های مشاهداتی انجام شد، مشخص گردید که الگوریتم IMERG ماهواره GPM مطابقت نسبی با مقادیر ثبت‌شده ایستگاه‌های زمینی در مقیاس روزانه را دارد. مقادیر شاخص‌های خطا (RBias)، نسبت هشدار اشتباه (FAR)، احتمال تشخیص (POD)، موفقیت بحرانی (CSI) در کل حوضه برای تمام وقایع روزانه به ترتیب در محدوده ۰/۷۴-۱/۸۵، ۰/۸۰-۰/۶۴، ۰/۵۰-۰/۲۵ و ۰/۲۲-۰/۱۳ به دست آمد. بر اساس شاخص RBias در حوضه گرگانرود، می‌توان نتیجه گرفت که ماهواره GPM میزان بارش را بیش‌تر برآورد کرده است. با توجه به مقادیر FAR در تمام ایستگاه‌ها می‌توان گفت مطابقت نسبی، بین داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های مشاهده‌شده ایستگاه‌های زمینی وجود دارد. مقادیر POD نیز عملکرد قابل‌قبول داده‌های این ماهواره را نشان داده است. اعتبارسنجی داده‌های بارش ماهواره GPM با استفاده از معیارهای آماری MAE، RMSE و MBE صورت گرفت که به ترتیب ۰/۴۲-۰/۱۶، ۱/۶۸-۱/۰۹ و ۵۷/۵۸-۲۳/۶۸ به دست آمد که از دقت نسبتاً قابل‌قبولی برخوردار است. استفاده از معیارهای مختلف خطا و شاخص‌های ارزیابی صحت داده‌های ماهواره‌ای از مزیت‌های پژوهش حاضر به‌شمار می‌رود. این پژوهش می‌تواند کمک مؤثری در انتخاب راه‌کارهای

مطالعات تانگ و همکاران (۲۰۱۶) دیده می‌شود (۴، ۷، ۳۵ و ۳۶). به‌طورکلی IMERG همبستگی متوسط ($0.5 < CC < 0.7$) با سنجنده‌های بارش در بسیاری از مطالعات منتشر شده، مانند حوضه‌آبی نیل (سالو و همکاران، ۲۰۱۶)، چین (نینگ و همکاران، ۲۰۱۶)، ایران (شریفی و همکاران، ۲۰۱۶)، سنگاپور (تان و دیون، ۲۰۱۷)؛ کره و ژاپن (کیم و همکاران، ۲۰۱۷)؛ تان و ستو، ۲۰۱۸) را نشان می‌دهد (۲۸، ۲۵، ۳۳، ۱۸ و ۳۴). همبستگی متوسط می‌تواند ناشی از این واقعیت باشد که مقادیر ماهانه بارش در واسنجی IMERG استفاده می‌شود و واسنجی نمی‌تواند به‌طور واضح میزان بارندگی روزانه را نشان دهد؛ بنابراین، برای بهبود الگوریتم IMERG، به‌ویژه برای مناطق گرمسیری که دارای توزیع مکانی و تغییرات زمانی بارش بالایی می‌باشند؛ علاوه بر سنجش میزان بارش روزانه محصولات باید واسنجی محصولات بارش ماهواره‌ای برای بهبود دقت آن‌ها در اندازه‌گیری بارش روزانه توسعه داده شود.

با استفاده از نتایج به‌دست آمده از این پژوهش و مقایسه آن با پژوهش‌های مشابه در ایران (۴) می‌توان به این واقعیت اشاره نمود که تطابق داده‌های GPM در مقایسه با مشاهدات زمینی با سایر پژوهش‌های انجام شده در خارج از ایران به‌خصوص مناطق استوایی پایین‌تر بوده است. البته بخشی از این تطابق کم‌تر می‌تواند به صحت داده‌های زمینی مربوط باشد. به‌رحال این نتایج نشان‌دهنده این است که نیاز به مطالعات منطقه‌ای بیش‌تر برای ارزیابی صحت محصولات ماهواره GPM داریم.

نتیجه‌گیری کلی

آگاهی از توزیع مکانی و زمانی باران در هر منطقه می‌تواند برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب بسیار مفید باشد. نتایج ارزیابی براساس شاخص RBias و

با هدایت عالمانه تمامی عزیزانی که در به سرانجام رسیدن نتایج این پژوهش همکاری نموده‌اند، کمال تشکر و سپاسگزاری را داریم.

داده‌ها و اطلاعات

این پژوهش، ارایه بخشی از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، در گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند با "کد طرح ۱۴۲۲۷۸۰" می‌باشد.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

صحیح و مناسب برای برآوردهای مورد نیاز مدیریت منابع آب کشور باشد. این پژوهش بر اساس دوره آماری کوتاه‌مدتی انجام شد. بنابراین، به سایر پژوهشگران پیشنهاد می‌شود که داده‌های بارش را در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه در سایر حوضه‌های آبریز ایران با دوره آماری بلندتر مورد ارزیابی قرار دهند.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از سازمان آب منطقه‌ای گلستان به‌خاطر در اختیار قرار گذاشتن آمار و اطلاعات مورد نیاز جهت انجام این پژوهش تشکر و سپاسگزاری می‌شود. هم‌چنین از زحمات بی دریغ، خالصانه، همراه

منابع

1. Abdollahi, B., Hosseini-Moghari, S.M., and Ebrahimi, K. 2017. Assessment of Satellite Precipitation Data from TRMM 3B42RT V7 and CMORPH in Order to Estimate Precipitation in Gorganroud Basin-Iran, *J. Water. Manage. Sci. Eng.* 11: 36. 55-68. (In Persian)
2. Akbari, M., Ownegh, M., Asgari, H.R., Sadoddin, A., and Khosravi, H. 2016. Drought Monitoring based on the SPI and RDI Indices under Climate Change Scenarios (Case Study: Semi-Arid Areas of West Golestan Province). *ECOPERSIA*. 4: 1585-1602.
3. Akbari Yengeghaleh, M., Sanaeenejad, S.H., Faridhosseini, A., and Akbari, M. 2017. The Study of Spatial -Temporal Distribution of Rainfall, using TRMM data (Case study: Khorasan Razavi province), *J. Clim. Res.* 29: 1-18. (In Persian)
4. Alibakhshi, S.M., Farid Hossini, A.R., Davari, K., Alizadeh, A., and Munyka, H. 2017. Statistical comparison between IMERG and TMPA 3B42V7 products at the level of three GPM and TRMM precipitation data Case study: Kashafrood catchment, Razavi Khorasan province. *Iranian J. Nat. Resour.* 4: 69. 963-981. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2017.61194>. (In Persian)
5. Anjum, M.N., Ding, Y., Shangguan, D., Ijaz, M.W., and Zhang, S. 2016. Evaluation of high-resolution satellite-based real-time and post-real-time precipitation estimates during 2010 extreme flood event in Swat River Basin, Hindukush region. *Adv. Meteorol.* 1-8. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/2604980>.
6. Azari, M., Moradi, H.R., Saghafeian, B., and Faramarzi, M. 2013. Assessment of Hydrological Effects of Climate Change in Gorganroud River Basin. *J. Water Soil.* 27: 3. 537-547. (In Persian)
7. Golestan province Regional Water Company. 2016. Integrated Water Resources Studies Update Report for Gharasu and Gorganroud River Basin. 247p. (In Persian)
8. Guo, H., Chen, S., Bao, A., and Hu, J. 2015. Inter-comparison of high-resolution satellite precipitation products over Central Asia," *Remote Sens.* 7: 6. 7181-7211. <https://doi.org/10.3390/rs70607181>.

9. Guo, H., Chen, S., Bao, A., Behrang, A., Hong, Y., Ndayisaba, F., and Stepanian, P.M. 2016. Early assessment of integrated multi-satellite retrievals for global precipitation measurement over China. *Atmos. Res.* 176: 121-133.
10. Hou, A.Y., Kakar, R.K., Neeck, S., Azarbarzin, A.A., Kummerow, C.D., Kojima, M., and Iguchi, T. 2014. The global precipitation measurement mission. *B. AM. Meteorol. Soc.* 95: 5. 701-722.
11. Hsu, K. 1997. Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks," *J. Appl. Meteorol. Clim.* 36: 1176-1190. <https://doi.org/10.1175/1520-0450> <http://trmm.gsfc.nasa.gov> (1/06/2016 available access date).
12. Huffman, G.J., Adler, R.F., and Bolvin, D.T. 2007. The TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales, *J. Hydrometeorol.* 8: 1. 38-55. <https://doi.org/10.1175/JHM560.1>.
13. Huffman, G.J., Bolvin, D.T., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R., Xie, P., and Yoo, S.H. 2015. NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG). Algorithm theoretical basis document, *Nat. Aero. Space Admin.* 4: 1-30.
14. Joyce, R.J., Janowiak, J.E., Arkin, P.A., and Xie, P. 2004. CMORPH: a method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at the high spatial and temporal resolution, *J. Hydrometeorol.* 5: 3. 487-503. <https://doi.org/10.1175/1525-7541>.
15. Khwarazmi, S. 2013. Validation of microwave satellite rain rate algorithms based on observations. M.Sc. Thesis. The University of Hormozgan. Iran. 121p. (In Persian)
16. Kidd, C., and Huffman, G. 2011. Global precipitation measurement. *Meteorological Applications.* 18: 3. 334-353. <https://doi.org/10.1002/met.284>. (In Persian)
17. Kim, K., Park, J., Baik, J., and Choi, M. 2017. Evaluation of topographical and seasonal features using GPM IMERG and TRMM 3B42 over Far-East Asia. *Atmos. Res.* 187: 95-105.
18. Kubota, T., Shige, S., Hashizume, H., and Aonashi, K. 2007. Global precipitation map using satellite-borne microwave radiometers by the GSMaP project: production and validation," *IEEE T. Geosci. Remote Sens.* 45: 7. 2259-2275. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.895337>.
19. Liechti, T., Matos, G.C., Pedro, J., Boillat, J.L., and Schleiss, A. 2012. Comparison and evaluation of satellite-derived precipitation products for hydrological modeling of the Zambezi River Basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16: 489-500.
20. Li, N., Tang, G., Zhao, P., Hong, Y., Gou, Y., and Yang, K. 2017. Statistical assessment and hydrological utility of the latest multi-satellite precipitation analysis IMERG in the Ganjiang River basin. *Atmos. Res.* 183: 212-223.
21. Liu, J., Zhang, W., and Nie, N. 2018. Spatial Downscaling of TRMM Precipitation Data Using an Optimal Subset Regression Model with NDVI and Terrain Factors in the Yarlung Zangbo River Basin, China, *Adv. Meteorol.* 1: 1-13. <https://doi.org/10.1155/2018/3491960>.
22. Modaresi, F., Araghinejad, S.H., Ebrahimi, K., and Kholghi, M. 2010. Regional Assessment of Climate Change Using Statistical Tests: Case Study of Gorganroud-Gharehsou Basin, *J. Water Soil.* 24: 3. 476-489.
23. Mohammadi, R., Dastorani, M.T., Akbari, M., and Ahani, H. 2019. The impacts of magnetized water treatment of different morphological and physiological factors of plant species in the arid regions, *Water Supply.* 19: 6. 1587-1596. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.027>.
24. Mosaedi, A., Ghabaei Sough, M., Sadeghi, S.H., Mooshakhian, Y., and Bannayan, M. 2017. Sensitivity analysis of monthly reference crop evapotranspiration trends in Iran: a qualitative approach, *Theor. Appl. Climatol.* 128: 3. 857-873.

25. Ning, S., Wang, J., Jin, J., and Ishidaira, H. 2016. Assessment of the latest GPM-era high-resolution satellite precipitation products by comparison with observation gauge data over the Chinese Mainland. *Water*. 8: 11. 481.
26. O'h, S., and Kirstetter, P.E. 2018. Evaluation of diurnal variation of GPM IMERG-derived summer precipitation over the contiguous US using MRMS data. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 144: 1. 270-281. <https://doi.org/10.1002/qj.3218>.
27. Prakash, S., Mitra, A.K., AghaKouchak, A., Liu, Z., Norouzi, H., and Pai, D.S. 2016. A preliminary assessment of GPM-based multi-satellite precipitation estimates over a monsoon dominated region. *J. Hydrol.* 556: 865-876. <https://10.1016/j.jhydrol.2016.01.029>.
28. Sahl, D., Nikolopoulos, E.I., Moges, S.A., Anagnostou, E.N., and Hailu, D. 2016. First evaluation of the Day-1 IMERG over the upper Blue Nile basin. *J. Hydrometeorol.* 17: 11. 2875-2882.
29. Sharifi, E., Saghafian, B., and Steinacker, R. 2016a. Performance evaluation of the latest generation of high temporal-spatial resolution satellite precipitation products. National Conference on Water Resources Management, University of Kurdistan. 10p.
30. Sharifi, E., Steinacker, R., and Saghafian, B. 2016b. Assessment of GPM-IMERG and Other Precipitation Products against Gauge Data under Different Topographic and Climatic Conditions in Iran: Preliminary Results". *Remote Sens.* 8: 2. 1-25.
31. Sorooshian, S., Hsu, K.L., Gao, X., Gupta, H.V., Imam, B., and Braithwaite, D. 2000. Evaluation of PERSIAN system satellite-based estimates of tropical rainfall," *B. AM. Meteorol. Soc.* 81: 2035-2046. <https://doi.org/10.1175/1520-0477>.
32. Tao, J., Hua, Y., Rui, L., Tairong, H., and Jianfeng, W. 2014. Applicability analysis of the TRMM precipitation data in the Sichuan-Chongqing region," *Prog. Phys. Geog.* 33: 10. 1375-1386. <https://doi.org/10.11820/dlkxjz.2014.10.009>.
33. Tan, M.L., and Duan, Z. 2017. Assessment of GPM and TRMM precipitation products over Singapore. *Remote Sens.* 9: 7. 720.
34. Tan, M.L., and Santo, H. 2018. Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42, and PERSIAN-CDR satellite precipitation products over Malaysia. *Atmos. Res.* 202: 63-76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.11.006>.
35. Tang, G., Ma, Y., Long, D., Zhong, L., and Hong, Y. 2016a. Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales. *J. Hydrometeorol.* 17:5.1407-1423. <http://dx.doi.org/10.1175/JHM-D-15-0081.1>.
36. Tang, G., Zeng, Z., Long, D., Guo, X., Yong, B., Zhang, W., and Hong, Y. 2016b. Statistical and hydrological comparisons between TRMM and GPM level-3 products over a mid-latitude basin: Is day-1 IMERG a good successor for TMPA 3B42V7? *J. Hydrometeorol.* 17: 1. 121-137.



Accuracy assessment of GPM-IMERG satellite precipitation data on half-hourly and daily time scales (Case study: Gorganroud Basin)

M. Ordouni¹, H. Memarian², *M. Akbari³ and M. Pourreza Bilondi⁴

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Watershed Management Engineering, University of Birjand, Iran,

²Associate Prof., Dept. of Watershed Management Engineering, University of Birjand, Iran,

³Assistant Prof., Dept. of Desert Area Management, Ferdowsi University of Mashhad, Iran,

⁴Associate Prof., Dept. of Water Science and Engineering, University of Birjand, Iran

Received: 01.02.2020; Accepted: 06.23.2020

Abstract

Background and Objectives: Precipitation is one of the most important factors affecting water and energy balance in the world and important meteorological variables. To accurately estimate precipitation, various methods are used, including the direct use of meteorological ground station data and direct observations, the use of remote sensing satellite data, or the use of interpolation methods based on geo-statistical methods. The lack of high-resolution data can lead to spatial variations in rainfall. Therefore, developing innovative approaches for accurate estimation of precipitation in areas with inadequate or inadequate data is critical. The use of radar remote sensing technologies in the accurate estimation of precipitation is crucial as the most important factor affecting water and energy balance in areas with unsuitable and inadequate data. Therefore, this research was conducted to evaluate GPM-IMERG satellite precipitation data and compare it with the data of observatory stations in the Golestan province-Gorganroud basin.

Materials and Methods: To do this research, after obtaining the GPM satellite data and processing it, we performed a comparison between half-hourly daily satellite data set with the ground-based (stabilizer and ordinary) observational data. Concerning the spatial (0.1*0.1) and temporal (daily and half-hourly) resolutions of GPM-IMERG satellite data, we employed enough and valid ground-based rainfall records dated 20/03/2014-20/03/2016 (for daily series) and 20/03/2014-21/09/2016 (for half-hourly series). To assess the accuracy of GPM data in rainfall estimation, some statistical indicators such as FAR (error warning ratio), CSI (critical success index), POD (probability of detection), RBias (relative deviation) and some other validation indicators were used.

Results: The results showed that the half-hour rainfall IMERG records with CC values equal to 0.05-0.23 and CSI equal to 0.20-0.52 were relatively acceptable. Validation of GPM satellite rainfall data using MAE, RMSE and MBE statistical indicators has also been relatively acceptable. Based on the validation analysis of daily records, the RBias index showed the highest level of accordance of GPM data with observational data at 0.74 (at the station of Hagholkhajeh), and the lowest level corresponding to 2.27, that belongs to Nodeh station. The POD index also showed that Nodeh and Hagholkhajeh stations had the highest and lowest correspondence with ground stations with the values of 0.5 and 0.25, respectively. The values of the CSI index in all stations were calculated to be between 0.13 and 0.22, which were related to Zarrin Gol and Shirabad stations, respectively. The CSI showed a relative correlation between

* Corresponding Author; Email: m_akbari@um.ac.ir

satellite and observed data. Based on the values of the FAR index, it was observed that the lowest value of FAR in Bagh Salian and Zarringol stations was 0.64 and the highest value was 0.80 in Shirabad station. Therefore, to improve the data obtained from the IMERG algorithm, especially in arid regions with the extensive spatial distribution and temporal changes in precipitation, satellite precipitation products should be calibrated to improve their accuracy in measuring daily precipitation.

Conclusion: In this study, the calculation of statistical and matching indicators was performed for the first time to compare half-hour data of the GPM satellite with observational data. It was found that the IMERG algorithm of the GPM satellite is relatively consistent with the recorded values of ground stations daily, as well. The validation of GPM satellite rainfall data using MAE, RMSE, and MBE statistical criteria also showed that it has acceptable accuracy. Given the FAR values at all stations, it can be said that there is a relative correspondence between satellite data and observed data from ground stations. POD values also showed acceptable performance of this satellite's data. The results of this study also showed that there was a relative correlation between the data of ground stations and GPM satellite data. Therefore, considering the non-evaluation of precipitation data of the GPM satellite system with data of ground stations in many regions of Iran, including the study area of Gorganroud, the results of this study can be very useful for innovation and increasing the efficiency in water resources management.

Keywords: Gorganroud Basin, Meteorological satellites, Precipitation, Spatio-temporal variations, Statistical criteria