

ارزیابی آماری محصولات بارش ماهواره‌ای به صورت ایستگاهی در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه

زهرا خان‌محمدی^۱، عماد محجوبی^{۲*}، سعید قره‌چلو^۳ و اشکان بنی خدمت^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ^۲ استادیار گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ^۳ استادیار گروه نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود و ^۴ دانشجوی دکتری، مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۶

چکیده

تخمین بارش در محاسبات بیلان انرژی، مطالعات هیدرولوژیکی، هواشناسی و اهداف کشاورزی، صنعتی، خانگی و آشامیدنی از اهمیت والایی برخوردار است. با توجه به اهمیت داده‌های بارش در علوم مختلف و فقدان شبکه باران‌سنجی گسترده و مناسب به‌ویژه در حوزه‌های آبخیز کوهستانی، لازم است داده‌های بارش به‌نحوی برآورد و دقت آن‌ها ارزیابی شود. هدف از این تحقیق، ارزیابی داده‌های بارش سه محصول ماهواره‌ای IMERG از نوع Near Real Time، 3B42RT-7 از نوع Real Time و PERSIANN-CDR از نوع Final Run در بازه زمانی ۲۰۰۰/۰۶/۰۱ تا ۲۰۱۸/۰۹/۳۱ در ۴۱ ایستگاه باران‌سنجی و سه ایستگاه سینوپتیک در داخل و اطراف حوزه آبخیز نیشابور در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه است. بررسی شاخص‌های آماری مختلف نشان داد که هیچ‌یک از سه محصول ماهواره‌ای نماینده مناسبی برای داده‌های زمینی در وسعت منطقه‌ای در مقیاس روزانه نیستند. لذا، استفاده از این محصولات در مقیاس روزانه در این حوضه در مدل‌های هیدرولوژیکی توصیه نمی‌شود. از سوی دیگر، مقیاس ماهانه به‌واسطه تعدیل خطای برآورد بارش‌های روزانه، هر سه محصول بارش ماهواره‌ای عملکرد به‌مراتب بهتری را نشان دادند. به‌طوری‌که میانگین همبستگی و ضریب نش‌ساکلیف PERSIANN-CDR با داده‌های بارش ماهانه در سطح حوضه به‌ترتیب در حدود ۹۰ درصد و ۰/۷۵ و ارزیابی این محصول به‌مراتب بهتر از دو محصول 3B42RT-7 و IMERG است. بر این اساس، استفاده از محصولات بارش ماهواره‌ای مقیاس ماهانه از نوع Final Run در مطالعات بیلان آب به‌ویژه در حوضه‌های فاقد آمار، می‌توانند مورد توجه قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز نیشابور، سنجش‌ازدور، IMERG، TRMM، PERSIANN-CDR

مقدمه

اندازه‌گیری دقیق بارش پیش‌نیاز توسعه پایدار در زمینه‌های اقتصادی، کشاورزی، اکولوژیکی و اجتماعی است (Tan و همکاران، ۲۰۱۸). علاوه بر این، بارش مهمترین داده ورودی برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی رواناب است (Zeng و همکاران، ۲۰۱۸). محققان

بارش، مهمترین و موثرترین منبع آب یک حوزه آبخیز است که از نظر زمانی و مکانی دارای تنوع قابل توجهی است و اغلب توزیع نامنظم و ناهمگن از خود نشان می‌دهد (Wang و همکاران، ۲۰۲۰). برآورد و

در سال‌های اخیر، روش‌های برآورد بارش با استفاده از محصولات بارش ماهواره‌ای در مقیاس جهانی و با وضوح زمانی و مکانی بالا به‌عنوان جایگزینی برای داده‌های زمینی توسعه‌یافته و در مطالعات متعددی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (Serrat-Capdevila و همکاران، ۲۰۱۴؛ Jiang و همکاران، ۲۰۱۶). محصولات بارشی مبتنی بر ماهواره که از تنوع بالایی نیز برخوردارند، قادرند به‌طور موثر برآورد بارش را به مناطقی که با کمبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری متداول یا توزیع ناهمگون و نامنظم آن‌ها مواجه هستند، گسترش دهند (Katiraie-Boroujerdy و همکاران، ۲۰۱۷). به‌دلیل تاثیر عوامل منطقه‌ای مانند گردش هوا و توپوگرافی، کاربرد داده‌های بارش به‌دست آمده توسط ماهواره‌ها در مناطق مختلف تفاوت‌های آشکاری دارد. به‌هرحال، محصولات بارش ماهواره‌ای یک گزینه امیدوارکننده برای بهبود اندازه‌گیری‌های بارش فضایی هستند. در دهه‌های اخیر، محصولات بارش ماهواره‌ای با پوشش تقریباً جهانی و وضوح زیاد مکانی و زمانی توسعه یافته‌اند.

محصولات بارشی مبتنی بر ماهواره به‌طور فزاینده‌ای اندازه‌گیری بارش را در بیشتر نقاط جهان تسهیل کرده و به یک گزینه مکمل برای کاربردهای آب و هواشناسی، شبیه‌سازی رواناب و مطالعات اقلیمی در مناطق با محدودیت دسترسی و با مشاهدات زمینی پراکنده تبدیل شده‌اند (Zubieta و همکاران، ۲۰۱۵). اطلاعات ارائه‌شده به‌وسیله محصولات بارش ماهواره‌ای نزدیک به زمان واقعی (NRT¹) و زمان واقعی (RT²) از چند ساعت تا چند روز تاخیر دارد و می‌تواند برای ارزیابی میزان سیلاب و برنامه‌هایی مانند سامانه‌های هشداردهنده بسیار مفید باشد (Mastrantonas و همکاران، ۲۰۱۹). از جمله داده‌های NRT می‌توان به IMERG Early، TRMM، PERSIANN-CCS و PERSIANN-PDIR اشاره کرد و تنها داده RT از محصولات ماهواره TRMM از جمله TRMM_3B42RT_Daily_7 و TRMM_3B42RT_7 است (Masih و همکاران، ۲۰۱۱؛ Li و همکاران،

مختلف بر این نکته تاکید دارند که بارش از انتخاب نوع مدل هیدرولوژیکی اهمیت بسیار بالاتری دارد، به - این دلیل که مبنای شبیه‌سازی رواناب در مدل‌های مختلف هیدرولوژیکی داده‌های هواشناسی و مهمترین آن‌ها داده بارش است (Bennett و Tobin، ۲۰۱۳). برآورد و پیش‌بینی بارش و اثرات آن بر شکل‌گیری رواناب، نه تنها در مدیریت و بهره‌برداری صحیح از حوزه آبخیز با اهمیت است، بلکه برای کاهش خسارات ناشی از سیلاب و خشکسالی نیز، نقش موثری را ایفا می‌کند (Yuan و همکاران، ۲۰۱۷).

حوزه‌های آبخیز کوهستانی به‌دلیل حساسیت بالا نسبت به تغییرات آب و هوایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Panthi و همکاران، ۲۰۱۵). به‌واسطه شرایط خاص این مناطق، از جمله شیب‌های تند، توپوگرافی ناهموار، تغییرات سریع ارتفاعی در فواصل کوتاه، صعب‌العبور بودن و عدم امکان دسترسی مطلوب و همچنین، محدودیت‌های فنی و اقتصادی، شرایط استقرار شبکه پایش مناسب بارش در این حوضه‌ها فراهم نیست (Ruan و همکاران، ۲۰۱۷).

علاوه بر موارد فوق، محدودیت دیگر، دقت برداشت داده‌ها در این مناطق است. به این دلیل که شیب‌های تند و وزش باد شدید بر میزان سنجش بارندگی تاثیرگذار بوده و خطاهای سیستماتیک در اندازه‌گیری بارش را موجب می‌شود (Han و همکاران، ۲۰۱۹). از طرف دیگر، شرایط خاص اقلیمی مناطق کوهستانی امکان استقرار نیروی انسانی به‌صورت دائم را فراهم نمی‌کند؛ بنابراین، فناوری باران‌سنج‌ها در حوضه‌های کوهستانی به سمت باران‌سنج‌های ذخیره‌ای می‌رود. باران‌سنج‌های ذخیره‌ای به‌جای مقدار لحظه‌ای بارش، مقدار دوره‌ای آن را ثبت می‌کنند. ضمن این‌که هر چقدر شرایط منطقه به‌لحاظ دسترسی دشوارتر باشد، باران‌سنج‌های ذخیره‌ای را برای دوره‌های طولانی‌تری طراحی می‌کنند. این موارد باعث می‌شود کیفیت مناسبی از داده زمان وقوع بارش برای این مناطق وجود نداشته باشد. این امر سامانه‌های هشداردهنده اولیه سیل را با مشکل روبرو می‌کند و می‌تواند خسارات گسترده اجتماعی و اقتصادی را به بار آورد (Zubieta و همکاران، ۲۰۱۵).

¹ Near Real Time

² Real Time

³ Tropical Rainfall Measuring Mission

مقیاس روزانه به دست آمد. ضمن این‌که، به‌طور کلی IMERG دقت بالاتری دارد. Sharifi و همکاران (۲۰۱۸) به مقایسه ساعتی محصولات بارش ماهواره‌ای IMERG-Real-Time و Run GPM-IMERG-Final از طریق یک شبکه مترامک در شمال شرقی اتریش پرداختند. هر دو محصول بارش ماهواره‌ای در مقیاس زمانی، به جز بارش ۱۲ ساعته و روزانه IMERG-RT، نسبت به باران‌سنج‌ها در سطح بارندگی سبک، مقدار کمتری را نشان می‌دهند. برای تمام مقیاس‌های زمانی، عملکرد توزیع تجمعی (CDF) هر دو محصول IMERG برآورد بالاتری از میزان بارش ایستگاه‌ها هستند. برای بارش سبک، مقادیر IMERG-RT کمی پایین‌تر از IMERG-FR است. درحالی‌که IMERG-RT در سطح بارندگی شدید، بالاتر از IMERG-FR است. علاوه بر این، IMERG-FR در مقایسه با IMERG-RT بهبود قابل توجهی در جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) نشان می‌دهد.

Vu و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی محصولات بارش چندین ماهواره برای شبیه‌سازی جریان در حوضه رودخانه هان در شبه‌جزیره کره، آسیای شرقی پرداختند. آن‌ها صحت محصولات مختلف بارندگی ماهواره‌ای از قبیل TRMM، PERSIANN، CMADS و PERSIANN-CDR را با مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده بارش بررسی کرده و نشان دادند که بارش TRMM و CMADS نسبت به PERSIANN و PERSIANN-CDR در مقایسه با داده‌های باران‌سنج دقت بهتری دارند. Zanganeh و Inalu و همکاران (۲۰۱۸) به مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و اطلاعات بارش ماهواره‌ای CMORPH و PERSIANN در مقیاس ساعتی و روزانه در حوزه آبخیز شاپور پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که هر دو محصول در هر دو مقیاس دقت کافی ندارند. البته همبستگی داده‌های مشاهداتی در مقیاس ساعتی با CMORPH نسبت به PERSIANN بیشتر است.

همچنین، نتایج آن‌ها نشان می‌دهد اگرچه مدل CMORPH در مقیاس ساعتی همبستگی بیشتری را با داده‌های مشاهداتی دارد، اما در آشکارسازی تعداد روزهای بارانی شاخص محصول PERSIANN نتایج بهتری را ارائه کرده است. Miri و همکاران (۲۰۱۹) به

داده‌های FR^۱ منبع ارزنده‌ای از داده‌های بارندگی برای مطالعات حوادث مربوط به بارش مانند گردبادهای گرمسیری، سیل، رانش زمین، خشکسالی، تاثیر انسان بر میزان بارش، اقلیم‌شناسی باران با کیفیت بالا و مدل‌سازی هیدرولوژیکی برای نظارت بر جریان‌ها است. این داده‌ها به‌وسیله سایر پایگاه‌های بارشی اصلاح می‌شوند و تاخیر چندساعته تا چندماهه دارند به‌همین دلیل، در مطالعات اقلیمی بسیار استفاده می‌شوند (Weerts و همکاران، ۲۰۱۶). از جمله داده‌های FR می‌توان به PERSIANN-CDR، TRMM Final و IMERG Final اشاره کرد.

در سال‌های اخیر، محققین زیادی به بررسی محصولات بارش ماهواره‌ای در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف پرداخته‌اند (Erfanian و همکاران، ۲۰۱۶؛ Alibakhshi و همکاران، ۲۰۱۶؛ Abdullahi و همکاران، ۲۰۱۷). Nguyen و همکاران (۲۰۱۸) سه محصول بارش TRMM، CMORPH و ERA-Interim را با داده‌های مشاهداتی ۱۳ باران‌سنج، واقع در داخل و در مجاورت زیرحوضه سره‌پوک در حوزه آبخیز رودخانه مکونگ مورد مقایسه قرار دادند. نتایج اعتبارسنجی آن‌ها نشان داد که محصولات بارش مورد بررسی، به‌ویژه TRMM و ERA-Interim، به‌خوبی می‌توانند الگوی بارندگی ماهانه در منطقه مورد مطالعه را مشخص کنند. علاوه بر این، استفاده از محصولات بارش ماهواره‌ای را فرصتی عالی برای مدل‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه در حوزه‌های آبخیز با داده‌های مشاهداتی محدود دانستند.

Bihamta و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی محصولات بارش ماهواره‌ای GPM و TRMM-3B42 V7 در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و فصلی در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ در شهر تهران پرداختند. آن‌ها در این مقایسه تطبیقی، ضریب همبستگی، میزان انحراف نسبی، خطای قدر مطلق میانگین و میانگین مربعات خطا را به‌منظور ارزیابی و واسنجی داده‌ها و مقادیر احتمال تشخیص و نسبت هشدار اشتباه و شاخص موفقیت را با هدف راستی‌آزمایی داده‌ها بررسی کردند. در مقیاس بارش ماهیانه و فصلی، همبستگی بیشتر از

¹ Final Run

جایگزین مفید برای بارش اندازه‌گیری شده در به‌دست آوردن اطلاعات قابل قبول فرایند هیدرولوژیک در مناطقی است که ایستگاه‌های باران‌سنجی کم است و یا وجود ندارند.

Adane و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای TRMM3B43v7 و PERSIANN-CDR پرداخته و سپس، اقدام به شبیه‌سازی رواناب حوزه آبخیز رودخانه Awash در اتیوپی با بهره‌گیری از مدل هیدرولوژیکی GR2M کردند. نتایج آن‌ها بیانگر عملکرد مطلوب هر دو محصول در نواحی ارتفاعات غربی حوضه و عملکرد ضعیف‌تر در نواحی شرقی است. Talchabhadel و همکاران (۲۰۲۱) عملکرد سه محصول مختلف بارش ماهواره‌ای CHIRPS، PERSIANN-CCS و IMERG را ارزیابی کرده و به بررسی کاربرد آن‌ها در شبیه‌سازی جریان حوزه آبخیزی در غرب نپال پرداختند. طبق یافته‌های آن‌ها، بهترین عملکرد مربوط به محصول IMERG است. در مقابل، PERSIANN-CCS بیشترین کم‌برآوردی را نشان می‌دهد.

در مجموع، مطالعاتی که مرور شد، هر کدام یک یا دو مورد از داده‌های TRMM، IMERG و PERSIANN را استفاده کردند و هیچ‌کدام به‌طور خاص از سه نوع داده TRMM_3B42RT_Daily_7، PERSIANN-CDR و IMERG Late Run به‌عنوان سه نوع داده بارش ماهواره‌ای Real Time، Near Real Time و Final Run در مقایسه با یکدیگر استفاده نکرده‌اند. همچنین، نتایجی که هر کدام از مقالات در ارزیابی داده‌ها داشتند، با تغییر شرایط اقلیمی منطقه متفاوت بود. لذا، به نظر می‌رسد همچنان ارزیابی این محصولات در مناطق و حوضه‌های دیگر مورد توجه باشد. هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی بارش ماهواره‌ای سه نوع محصول، TRMM_3B42RT_Daily_7، PERSIANN-CDR و IMERG Late Run به‌عنوان داده‌های Real Time و Near Real Time و PERSIANN به‌عنوان داده‌های Final Run از طریق مقایسه با داده‌های زمینی در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه در حوزه آبخیز کوهستانی نیشابور است. در این راستا، سعی شده است تا از بیشترین تعداد ایستگاه‌های

ارزیابی دقت برآورد بارش روزانه محصولات TRMM و GPM در مقابل داده‌های مشاهده‌ای در ایران طی دوره زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در حالت کلی، مقادیر بارش روزانه سنجنده‌های نام برده شده از دقت مناسبی در سطح ایران برخوردار نیستند و میزان خطای بارش برآوردی برای بیشتر ایستگاه‌ها قابل توجه است. مقایسه دقت سنجنده‌های TRMM و GPM در برابر داده‌های مشاهده‌ای نشان داد که دقت محصول روزانه سنجنده GPM در سطح ایران نسبت به TRMM بیشتر است. از نظر مکانی، بهترین دقت این دو محصول در غرب کشور و به‌ویژه در امتداد کوه‌های زاگرس است و کمترین دقت در نواحی ساحلی و به‌ویژه سواحل دریای خزر مشاهده می‌شود.

Ghorbani و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی کارایی تولیدات ماهانه و سالانه PERSIANN و PERSIANN-CDR در برآورد بارش مناطق نیمه‌خشک زاگرس پرداختند. این محصولات از نظر سه شاخص آماری ضریب همبستگی، خطای جذر میانگین مربعات و اریبی نسبی با داده‌های ایستگاه‌های استان چهارمحال و بختیاری در بازه زمانی سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در هر دو مقیاس ماهانه و سالانه بیشترین ضریب همبستگی، کمترین RMSE و کمترین اریبی نسبی متعلق به PERSIANN-CDR بود. ضمن این‌که برآورد بارش هر دو محصول در مقیاس ماهانه از دقت بیشتری نسبت به مقیاس سالانه برخوردار است.

Song و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی دو محصول بارشی IMERG و CMADS و کاربرد آن‌ها در شبیه‌سازی جریان رودخانه کوچیانگ چین با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از عملکرد بهتر محصول CMADS در تشخیص وقایع بارندگی است. Chen و Huang (۲۰۲۰) به ارزیابی کاربرد و جایگزینی هیدرولوژیکی محصول بارش ماهواره TMPA در حوزه آبخیز Feilaixia در چین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که عملکرد کلی TMPA به جز در عرض‌های جغرافیایی بالا و مکان‌هایی که اقلیم زمین بسیار تغییر می‌کند، قابل قبول است. آن‌ها نشان دادند که محصول TMPA یک

آن در حدود ۱۳ درجه سانتی‌گراد است. بر این اساس، شرایط اقلیمی حوضه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن به صورت سرد و خشک بیابانی است. شکل ۱، موقعیت این حوضه را در ایران و استان خراسان رضوی به همراه مدل رقومی ارتفاعی و شبکه آبراهه و پراکندگی شبکه سنجش باران نشان می‌دهد.

به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، در راستای ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای مختلف در حوزه آبخیز نیشابور، ابتدا داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک حوضه نیشابور از سازمان هواشناسی کل کشور و آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی اخذ شد. مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده در این پژوهش، شامل ۴۴ ایستگاه با دوره آماری ۲۰۰۰/۰۶/۰۱ تا ۲۰۱۸/۰۹/۳۰ در جدول ۱، آورده شده است.

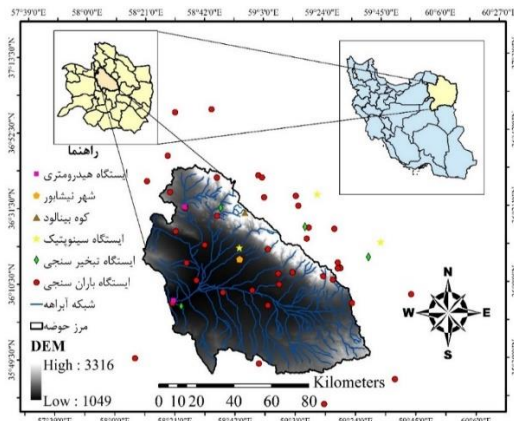
باران‌سنجی درون و در مجاورت حوضه و با در نظر گرفتن بیشترین طول آماری ممکن استفاده شود.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز نیشابور بخشی از حوزه آبخیز کویر مرکزی ایران به عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و به طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی با بیشینه ارتفاع ۳۳۱۶ متر در کوهستان بینالود و کمینه ارتفاع ۱۰۴۹ متر در خروجی رودخانه اصلی در حسین‌آباد جنگل است. این حوضه، از شمال به خط‌الراس ارتفاعات بینالود، از شرق به بلندی‌های لیلاجوق و یالپلنگ و از جنوب به تپه‌ماهورهای نیزه بند، سیاه کوه و کوه نمک و از غرب به حوزه آبخیز دشت سبزوار محدود می‌شود. متوسط بارش سالانه حوضه در حدود ۲۳۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی در داخل و اطراف حوزه آبخیز نیشابور

کد ایستگاه	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	کد ایستگاه	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
S01	نیشابور	۳۶/۲۶	۵۸/۸۰	۱۲۱۳	P20	اسحاق‌آباد	۳۵/۹۹	۵۸/۹۴	۱۱۲۰
S02	مشهد	۳۶/۲۳	۵۹/۶۳	۹۹۹/۲	P21	سنگ بست	۳۵/۹۸	۵۹/۷۸	۱۵۰۰
S03	گلمکان (هوا)	۳۶/۴۸	۵۹/۲۸	۱۱۷۶	P22	طرقبه	۳۶/۳۱	۵۹/۳۶	۱۳۶۰
P01	امام تقی	۳۵/۹۶	۵۹/۴۳	۱۳۰۵	P23	اخلمد علیا	۳۶/۵۸	۵۸/۹۶	۱۳۵۰
P02	پیوه جن	۳۶/۰۸	۵۹/۳۳	۱۷۰۴	P24	اداره نیشابور	۳۶/۲۱	۵۸/۸۰	۱۲۱۰
P03	دارود	۳۶/۱۳	۵۹/۰۱	۱۴۴۵	P25	حسین‌آباد جنگل	۳۶/۰۳	۵۸/۳۸	۱۰۷۲
P04	قره مغان	۳۶/۱۳	۵۹/۳۶	۱۹۰۰	P26	مغان	۳۶/۱۳	۵۹/۳۷	۱۷۸۸
P05	سلیمانی	۳۶/۳۶	۵۸/۴۳	۱۲۹۰	P27	برزنون	۳۶/۶۰	۵۸/۲۸	۱۵۱۰
P06	بوژان	۳۶/۲۵	۵۸/۹۶	۱۵۵۵	P28	روح‌آباد	۳۶/۰۶	۵۸/۸۵	۱۱۳۸
P07	شورگشت	۳۶/۲۱	۵۸/۴۸	۱۴۸۰	P29	ساق بیک	۳۶/۷۱	۵۸/۴۱	۱۳۵۲
P08	برسلان	۳۶/۹۱	۵۸/۴۸	۱۶۶۰	P30	دیزباد علیا	۳۶/۱۰	۵۹/۲۷	۱۹۸۸
P09	خیام	۳۶/۰۸	۵۹/۰۱	۱۲۳۰	P31	قند نیشابور	۳۶/۲۹	۵۸/۵۹	۱۲۰۷
P10	شورچه	۳۶/۹۱	۵۸/۷	۱۲۵۰	P32	آبقد فریزی	۳۶/۴۹	۵۸/۹۶	۱۳۹۰
P11	باقیه	۳۶/۶	۵۸/۷	۲۰۳۵	P33	طاغون	۳۶/۴۲	۵۸/۶۸	۱۵۰۳
P12	کنگ	۳۶/۲۸	۵۹/۲	۲۰۰۰	P34	کاریز نوفریمان	۳۵/۵۹	۵۹/۶۴	۱۷۹۸
P13	شاندیز	۳۶/۳۳	۵۹/۲۱	۱۸۳۰	P35	سنگرد سبزوار	۳۵/۷۹	۵۸/۱۴	۱۲۹۱
P14	همت‌آباد زمانی	۳۶/۱۳	۵۸/۵۳	۱۰۹۰	P36	دهانه اخلمد	۳۶/۵۹	۵۸/۹۴	۱۴۶۷
P15	شهرک امام	۳۶/۱۶	۵۹/۳۷	۹۸۰	P37	دولت‌آباد	۳۶/۴۳	۵۹/۱۶	۱۵۷۵
P16	اکبرآباد پسکال	۳۶/۱۳	۵۹/۰۱	۱۲۰۰	P38	غنچی	۳۵/۵۱	۵۹/۲۲	۱۸۹۲
P17	عشق‌آباد	۳۶/۰۶	۵۸/۶۸	۱۱۷۰	P39	زرنده	۳۶/۴۷	۵۸/۵۰	۱۴۰۳
P18	سرچاه	۳۶/۵۵	۵۸/۴۱	۱۶۳۵	P40	تلخ بخش	۳۵/۷۲	۵۸/۸۶	۱۴۹۶
P19	آغانج	۳۶/۱۳	۵۹/۳۸	۱۴۸۰	P41	گلمکان (نیرو)	۳۶/۴۸	۵۹/۱۵	۱۴۴۰



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز نیشابور در ایران و استان خراسان رضوی و شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی مربوطه

جدول ۲- مشخصات داده‌های بارش ماهواره‌ای

پوشش زمانی	پوشش مکانی	وضوح مکانی	وضوح زمانی	نام داده ماهواره‌ای	نوع داده ماهواره‌ای
۲۰۱۹-۱۹۹۸	۵۰ درجه شمالی-جنوبی	۰/۲۵°×۰/۲۵°	روزانه	TRMM_3B42RT_Daily_7	Real time
۲۰۲۰-۲۰۰۰	۶۰ درجه شمالی-جنوبی	۰/۱°×۰/۱°	روزانه	IMERG Late Run	Near Real Time
۲۰۱۸-۱۹۸۳	۶۰ درجه شمالی-جنوبی	۰/۲۵°×۰/۲۵°	روزانه	PERSIAN-CDR	Final Run

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{S_i} - \bar{P}_S)(P_{O_i} - \bar{P}_O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_{S_i} - \bar{P}_S)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_{O_i} - \bar{P}_O)^2}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_{S_i} - P_{O_i})^2}{N}} \quad (2)$$

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

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_{O_i} - P_{S_i})^2}{\sum_{i=1}^N (P_{O_i} - \bar{P}_O)^2} \quad (4)$$

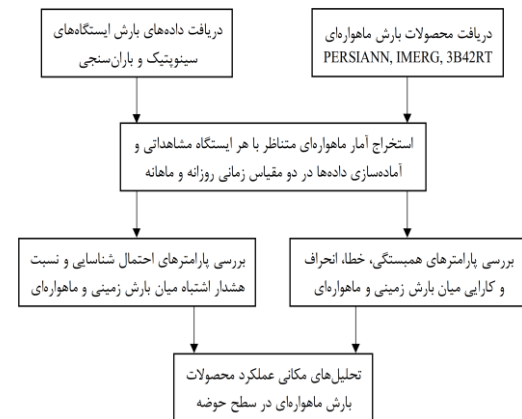
$$POD = \frac{N_H}{N_H + N_M} \quad (5)$$

$$FAR = \frac{N_F}{N_H + N_F} \quad (6)$$

در روابط ارائه شده، P_{S_i} مقدار داده‌های بارش ماهواره‌ای برای ماه نام، \bar{P}_S میانگین داده‌های بارش ماهواره‌ای، P_{O_i} مقدار داده‌های بارش ایستگاه‌های زمینی برای ماه نام، \bar{P}_O میانگین داده‌های بارش ایستگاه‌های زمینی، N تعداد نمونه‌ها، N_H تعداد دفعاتی که بارش مشاهده شده به درستی به طور همزمان به وسیله ماهواره و ایستگاه تشخیص داده شده، N_F تعداد دفعاتی که بارش رخ نداده اما ماهواره به اشتباه بارندگی تشخیص داده و N_M تعداد روزهایی که در ایستگاه زمینی بارش گزارش شده اما ماهواره بارش گزارش نکرده است.

ضریب همبستگی (CC)، شدت و نوع رابطه بین دو متغیر بارش‌مشاهداتی و بارش ماهواره‌ای را نشان

همچنین، شبکه پایش به‌عنوان داده‌های شاهد برای سنجش دقت محصولات بارش ماهواره‌ای استفاده شدند. محصولات روزانه بارش ماهواره‌ای TRMM، GPM و الگوریتم PERSIANN از پایگاه اینترنتی <http://apdr.c.soest.hawaii.edu/> دریافت شد که به مشخصات آن‌ها در جدول ۲، اشاره شده است. طبق فلوجارت روش انجام تحقیق در شکل ۲، رویکرد اتخاذ شده در این پژوهش، برای ارزیابی محصولات ماهواره‌ای، به‌صورت ایستگاهی و در مقیاس‌های روزانه و ماهانه است.



شکل ۲- فلوجارت روش انجام تحقیق

برای ارزیابی داده‌ها از مجموعه‌ای از شاخص‌های آماری شامل ضریب همبستگی (CC)^۱، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)^۲، انحراف نسبی (Bias)، ضریب نش‌ساتکلیف (NSE)^۳، احتمال شناسایی (POD)^۴ و نسبت هشدار اشتباه (FAR)^۵ استفاده شد (روابط ۱ تا ۶).

¹ Correlation Coefficient

² Root Mean Square Error

³ Nash Sutcliffe Coefficient

⁴ Probability of Detection

⁵ False Alarm Ratio

در این حوضه نشان می‌دهد؛ اما در بخش شاخص‌های ارزیابی آماری کیفی، نتایج حاکی از آن است که دو محصول PERSIANN-CDR و IMERG به‌طور متوسط بیش از ۸۰ درصد بارش‌های روزانه در ایستگاه‌های زمینی را تشخیص داده‌اند، درحالی‌که 3B42RT-7 در حدود ۵۶ درصد روزهای بارانی را به درستی شناسایی کرده است. از طرفی، هر سه محصول، خطایی بیشتر از ۷۰ درصد در تشخیص روزهای بارانی در مقایسه با کل تشخیص‌های خود داشته‌اند. شکل ۳، نقشه‌های مقایسه مقادیر شاخص‌های آماری مختلف در ارزیابی محصولات بارش روزانه ماهواره‌ای در بازه زمانی مطالعاتی در موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی را نشان می‌دهد. مقایسه تعداد ایستگاه‌های قرار گرفته در هر رده، در هر یک از شاخص‌های آماری مختلف نیز در شکل ۴، آمده است. مقادیر ضریب همبستگی حاکی از آن است که در هر محصول، تنها یک ایستگاه، همبستگی بین ۰/۴۶ تا ۰/۵۴ به‌عنوان بالاترین رده را دارد. در PERSIANN-CDR، ۶۱/۳۶ درصد ایستگاه‌ها همبستگی بین ۰/۳۲ تا ۰/۳۹ دارند. در IMERG و 3B42RT-7 به‌ترتیب ۴۷/۷۳ درصد و ۶۱/۹ درصد ایستگاه‌ها همبستگی بین ۰/۲۵ تا ۰/۳۲ دارند. مقادیر RMSE نیز نشان می‌دهد که تعداد ایستگاه‌های بیشتری در محصول PERSIANN-CDR در مقایسه با دو محصول دیگر دارای خطای کمتری هستند. به‌طوری‌که ۱۳ ایستگاه، خطایی بین ۲/۱ تا ۲/۵۲ میلی‌متر دارند. در حالی‌که در IMERG و 3B42RT-7 به‌ترتیب تنها دو و یک ایستگاه در این محدوده خطا قرار دارند. در PERSIANN-CDR، ۳۸/۶۴ درصد ایستگاه‌ها خطایی بین ۲/۵۲ تا ۲/۹۴ میلی‌متر و در IMERG و 3B42RT-7 به‌ترتیب ۳۱/۸۲ درصد و ۴۷/۷۳ درصد ایستگاه‌ها خطایی بین ۲/۹۴ تا ۳/۳۶ دارند. مقادیر انحراف نسبی نشان می‌دهد در هر سه محصول، تعداد ایستگاه‌هایی که کم‌برآورد شده‌اند، از تعداد ایستگاه‌هایی که بیش‌برآورد شده‌اند، بیشتر است. البته در هر سه محصول بیشترین تعداد ایستگاه در محدوده بدون انحراف قرار دارد. به‌طوری‌که در PERSIANN-CDR، IMERG و 3B42RT-7 به‌ترتیب ۴۷/۷۳ درصد، ۳۸/۶۴ درصد و ۶۸/۶۴ درصد در محدوده

می‌دهد. هرچه مقدار CC بیشتر و به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان از دقت بالای تخمین‌ها دارد. RMSE واریانس خطای مدل را در پیش‌بینی مقادیر واقعی نشان می‌دهد. بنابراین، هرچه مقدار این آماره به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده خطای کمتر مدل در پیش‌بینی مقادیر مشاهده‌ای است.

NSE از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است. اگر مقدار آن برابر یک باشد، تناسب کاملی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی وجود دارد. اگر مقدار آن بزرگتر از ۰/۶ باشد، نتایج شبیه‌سازی خوب توصیف می‌شود و چنانچه این ضریب بین ۰/۳ تا ۰/۶ باشد، نتایج مدل قابل قبول به‌شمار می‌رود (Zandi و Dargharibi و همکاران، ۲۰۱۷). انحراف نسبی میانگین تمایل مدل را در بیش‌برآورد کردن یا کم‌برآورد کردن مقادیر نشان می‌دهد. مقدار انحراف نسبی برابر با صفر نشان‌دهنده این است که مدل به خوبی توانسته مقادیر مشاهده‌ای را پیش‌بینی کند. مقادیر مثبت و منفی نیز به‌ترتیب بیانگر بیش‌برآورد کردن و کم‌برآورد کردن مدل است. شاخص POD، نسبت تعداد پیش‌بینی‌های صحیح محصولات ماهواره‌ای به کل بارندگی‌های ثبت شده در ایستگاه‌ها است. اگر مقدار POD معادل یک باشد، بیانگر این است که محصولات ماهواره‌ای نقاط بارانی را به‌درستی تخمین زده‌اند. شاخص FAR، نسبت پیش‌بینی‌های نادرست به تعداد کل پیش‌بینی‌ها است که مقدار آن بین صفر و مثبت یک متغیر است. هرچه کمتر باشد، بیانگر دقت بیشتر ماهواره است (Alibakhshi و همکاران، ۲۰۱۶).

نتایج و بحث

در جدول ۳، نتایج مقایسه کلی سه نوع محصول ماهواره‌ای با ایستگاه‌های زمینی در مقیاس روزانه آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، همبستگی مناسبی میان محصولات ماهواره‌ای با ایستگاه‌های زمینی دیده نمی‌شود. البته میانگین ضریب همبستگی PERSIANN-CDR بهتر از دو محصول دیگر است. خطای هر سه محصول در برآورد داده‌های بارش در این مقیاس زمانی قابل توجه است. مقادیر ضریب نش‌ساتکلیف نیز عملکردهای پایین این سه محصول را

شده است، در حالی که محصول 3B42RT-7 نتوانسته در هیچ ایستگاهی به این میزان احتمال شناسایی برسد؛ اما با این حال مقدار نسبت هشدار اشتباه در بیش از ۸۵ درصد تعداد ایستگاه‌ها در هر سه محصول بالاتر از ۰/۶۸ است که بیانگر دقت کم ماهواره‌ها در تشخیص درست روزهای بارانی از میان تعداد کل تشخیص‌ها است.

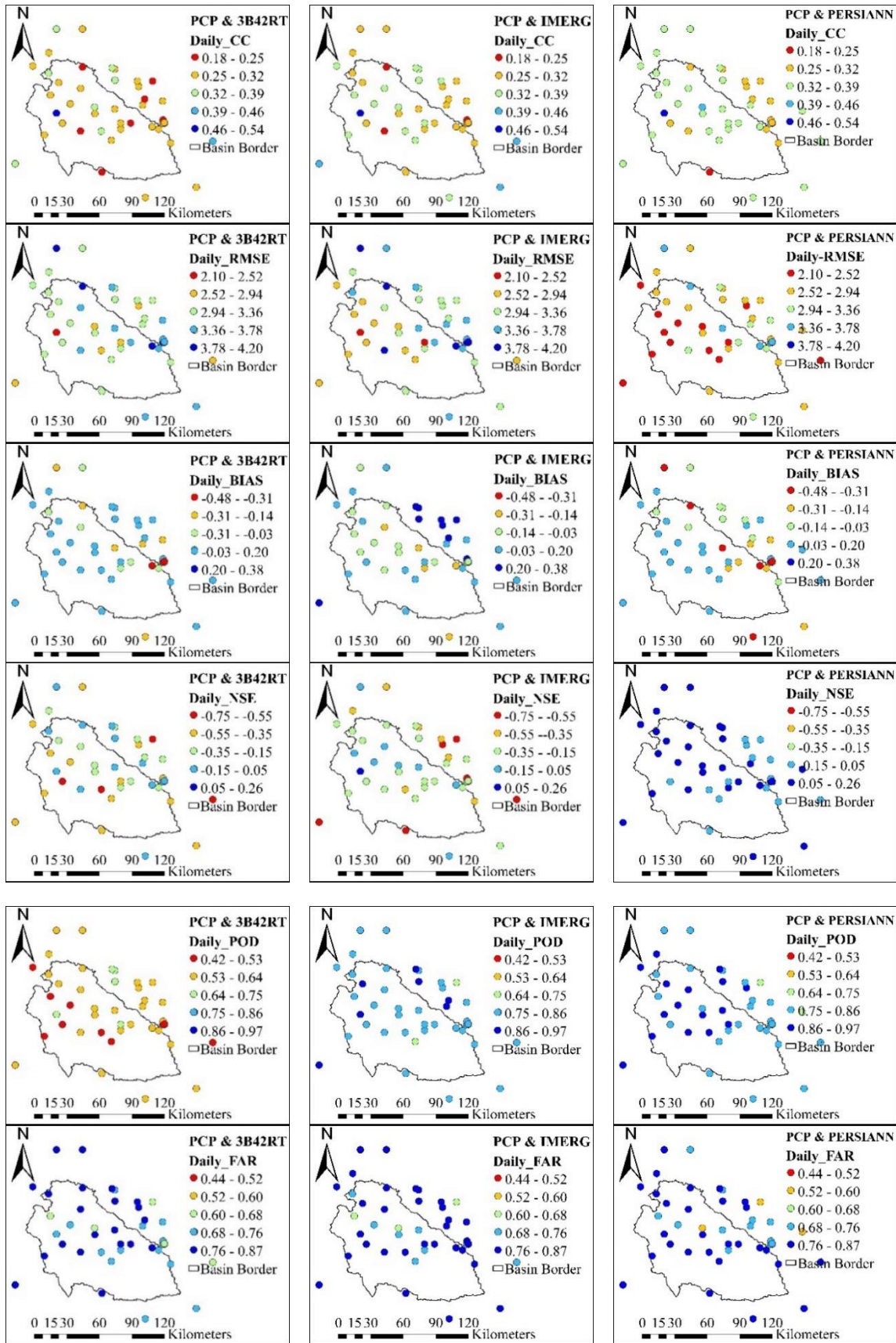
انحراف نسبی ۰/۰۳- تا ۰/۲ قرار دارند. علاوه بر این، با وجود نامطلوب بودن نتایج NSE، بهترین عملکرد را محصول PERSIANN-CDR داشته است، به طوری که ۶۵/۹۱ درصد ایستگاه‌ها در محدوده ضریب نش‌ساتکلیف ۰/۰۵ تا ۰/۲۶ قرار گرفته‌اند. نکته قابل توجه این است که در ۹۵/۴۵ درصد ایستگاه‌ها در دو محصول PERSIANN-CDR و IMERG با احتمال بالای ۰/۷۵، روزهای بارانی به درستی تشخیص داده

جدول ۳- خلاصه نتایج ارزیابی محصولات مختلف بارش ماهواره‌ای روزانه

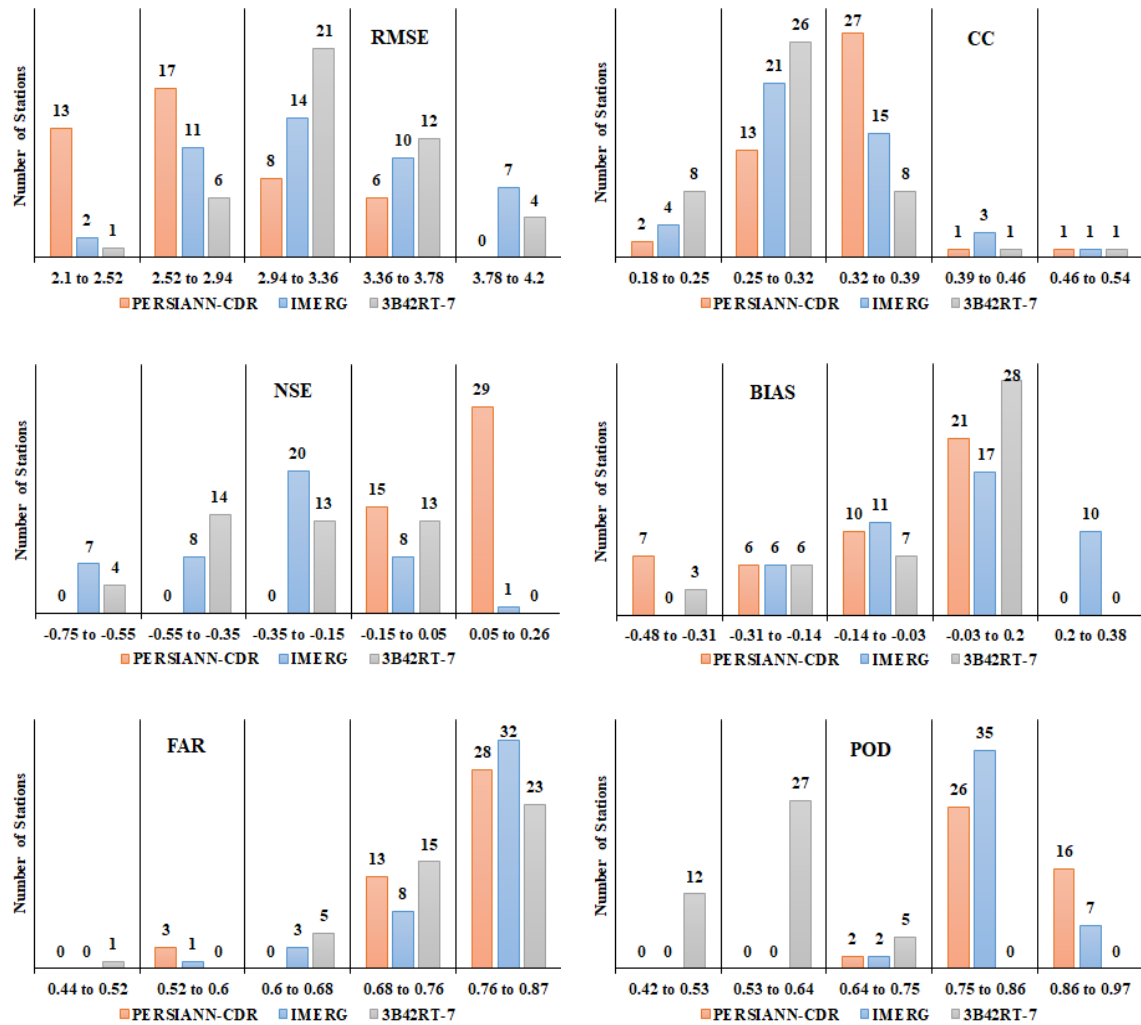
شاخص آماری	PERSIANN-CDR	3B42RT-7	IMERG	شاخص آماری	PERSIANN-CDR	3B42RT-7	IMERG
کمینه	۰/۲۲۴	۰/۲۲۸	۰/۱۸۴	کمینه	۰/۰۶۸	۰/۷۵۴	۰/۷۴۹
CC میانگین	۰/۳۳۱	۰/۳۰۶	۰/۳۲۴	NSE میانگین	۰/۰۵۳	۰/۳۲۷	۰/۳۳۱
بیشینه	۰/۵۲۲	۰/۵۲۲	۰/۵۳۹	بیشینه	۰/۲۶۶	۰/۰۱۲	۰/۱۹۶
کمینه	۲/۱۰۲	۲/۴۹۴	۲/۲۰۱	کمینه	۰/۷۳۶	۰/۴۲۲	۰/۷۴۷
RMSE میانگین	۲/۷۰۸	۳/۱۷۲	۳/۱۵۳	POD میانگین	۰/۸۲۹	۰/۵۶۰	۰/۸۰۹
بیشینه	۳/۷۵۵	۴/۰۴۹	۴/۱۹۱	بیشینه	۰/۹۶۱	۰/۷۲۱	۰/۹۱۷
کمینه	-۰/۴۸۲	-۰/۴۵۲	-۰/۲۰۶	کمینه	۰/۵۴۹	۰/۴۴۳	۰/۵۹۷
Bias میانگین	-۰/۰۶۱	۰/۰۰۲	۰/۰۴۹	FAR میانگین	۰/۷۱۹	۰/۷۱۰	۰/۷۳۶
بیشینه	۰/۱۲۴	۰/۱۹۷	۰/۳۸۸	بیشینه	۰/۸۶۶	۰/۸۷۸	۰/۸۷۱

قابل قبول 3B42RT-7 و عملکرد ضعیف IMERG دارد. در بخش شاخص‌های ارزیابی آماری کیفی نتایج حاکی از آن است که هر سه محصول به طور متوسط بیش از ۹۸ درصد بارش‌های ماهانه در ایستگاه‌های زمینی را تشخیص داده‌اند. از طرفی، هر سه محصول خطایی کمتر از ۲۰ درصد در تشخیص ماه‌های بارانی در مقایسه با کل تشخیص‌های خود داشته‌اند. با این حال، بیشتر بودن شاخص FAR در PERSIANN-CDR نشان می‌دهد که نسبت پیش‌بینی‌های نادرست بر مجموع پیش‌بینی‌های درست و نادرست این محصول در مقایسه با دو محصول دیگر بیشتر بوده است؛ اما با این وجود، توانسته وقوع بارندگی را به خوبی پیش‌بینی کند.

پس از ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای در مقیاس روزانه، به بررسی آن‌ها در مقیاس ماهانه پرداخته شد. جدول ۴، نتایج مقایسه کلی سه نوع محصول ماهواره‌ای با ایستگاه‌های زمینی در مقیاس ماهانه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مقیاس ماهانه همبستگی مناسبی میان محصولات ماهواره‌ای با ایستگاه‌های زمینی دیده می‌شود. به طوری که میانگین ضریب همبستگی PERSIANN-CDR، 3B42RT-7 و IMERG به ترتیب برابر ۰/۸۹، ۰/۸۲ و ۰/۶۵ است. کمترین متوسط خطا در برآورد داده‌های بارش در مقیاس ماهانه را PERSIANN-CDR دارد. از طرفی، مقادیر ضریب نش‌ساتکلیف نشان از عملکرد خوب PERSIANN-CDR، عملکرد



شکل ۳- مقایسه مقادیر شاخص‌های آماری مختلف در ارزیابی محصولات بارش روزانه ماهواره‌ای در موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی



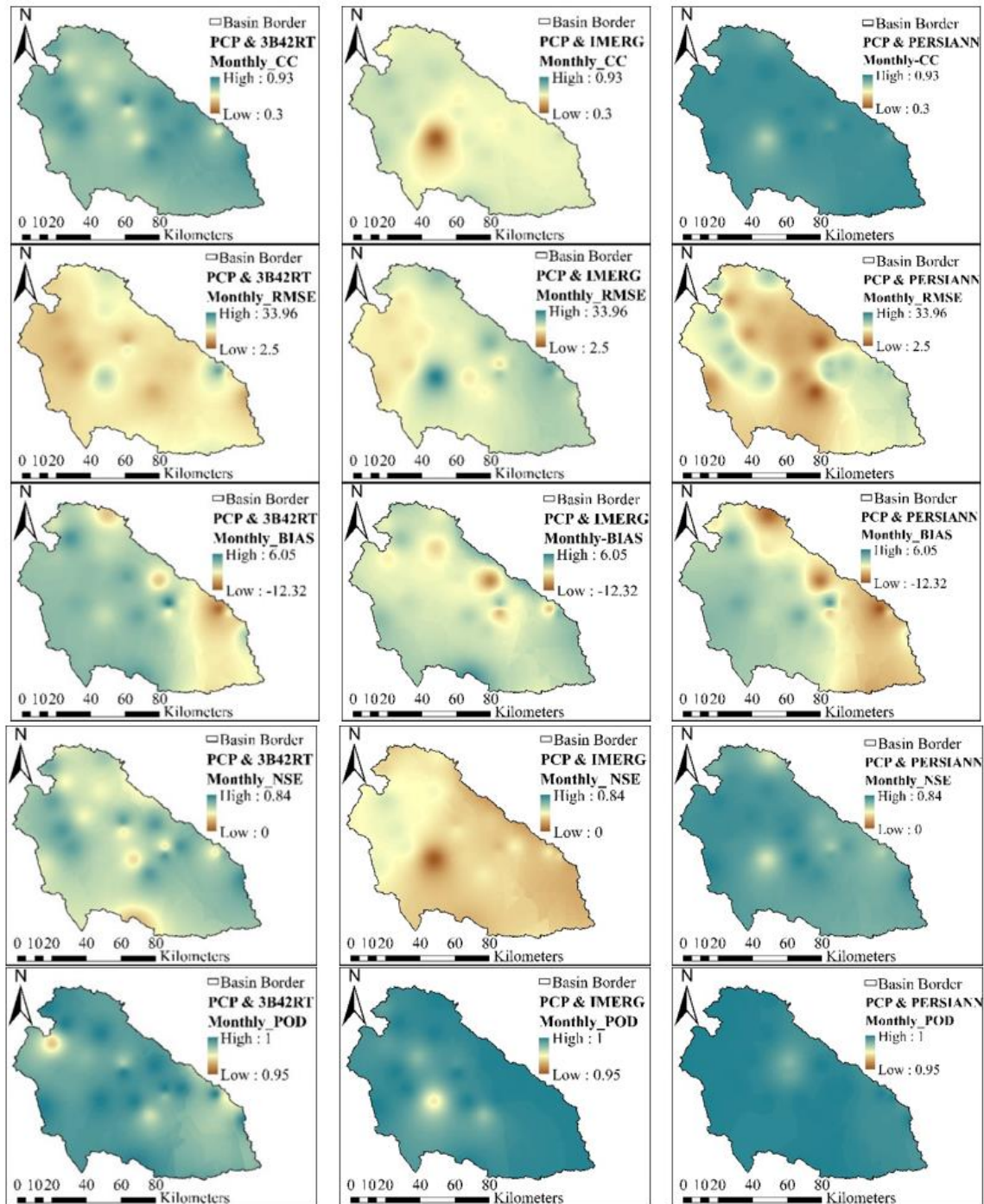
شکل ۴- مقایسه تعداد ایستگاه‌های قرار گرفته در هر رده در هر یک از شاخص‌های آماری مختلف در ارزیابی محصولات بارش روزانه ماهواره‌ای

جدول ۴- خلاصه نتایج ارزیابی محصولات مختلف بارش ماهواره‌ای ماهانه

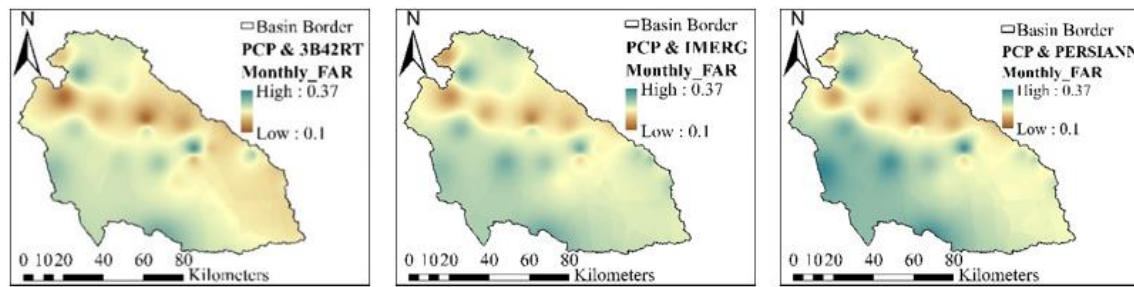
شاخص آماری	PERSIANN-CDR	3B42RT-7	IMERG	شاخص آماری	PERSIANN-CDR	3B42RT-7	IMERG
کمینه	۰/۴۸۵	-۰/۲۲۷	-۰/۲۴۱	کمینه	۰/۷۲۹	۰/۵۹۱	۰/۳۱۵
میانگین	۰/۷۴۵	۰/۵۹۴	۰/۲۵۵	میانگین	۰/۸۸۸	۰/۸۱۵	۰/۶۵۲
بیشینه	۰/۸۵۳	۰/۸۷۲	۰/۴۹۹	بیشینه	۰/۹۳۸	۰/۹۳۵	۰/۷۳۵
کمینه	۰/۹۶۷	۰/۹۰۷	۰/۹۷۲	کمینه	۲/۳۶۵	۷/۹۴۱	۱۴/۸۳۵
میانگین	۰/۹۹۳	۰/۹۸۱	۰/۹۹۶	میانگین	۱۳/۷۵	۱۴/۹۶۸	۲۰/۷۰۶
بیشینه	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	بیشینه	۲۴/۳۶۱	۲۸/۹۶۳	۳۳/۹۷۶
کمینه	۰/۰۸۲	۰/۰۴۹	۰/۰۸۱	کمینه	-۱۴/۷۴۴	-۱۳/۳۶	-۹/۳۵۷
میانگین	۰/۱۹۹	۰/۱۸۷	۰/۱۶۷	میانگین	۱/۸۷۷	۰/۰۰۷	۱/۵۳۵
بیشینه	۰/۳۶۱	۰/۳۴۹	۰/۳۴۶	بیشینه	۴/۱۸۲	۶/۰۹	۱۱/۹۶۳

در تمام حوضه بسیار خوب است. به دنبال آن، عملکرد 3B42RT-7 در سطح قابل قبولی دیده می‌شود؛ اما IMERG ضریب همبستگی پایین‌تری را با داده‌های زمینی نشان می‌دهد.

شکل ۵، نقشه‌های پهنه‌بندی مقادیر شاخص‌های آماری مختلف در ارزیابی محصولات بارش ماهانه ماهواره‌ای در موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ضریب همبستگی PERSIANN-CDR با ایستگاه‌های زمینی



شکل ۵- پهنه‌بندی مقادیر شاخص‌های آماری مختلف در ارزیابی محصولات بارش ماهانه ماهواره‌ای با ایستگاه‌های باران‌سنجی



ادامه شکل ۵- پهنه‌بندی مقادیر شاخص‌های آماری مختلف در ارزیابی محصولات بارش ماهانه ماهواره‌ای با ایستگاه‌های باران‌سنجی

۲۰۱۲). اطلاعات قابل اعتماد بارش برای مدل‌سازی فرایندهای چرخه هیدرولوژی، نظارت بر حوادث شدید آب و هوایی و پیش‌بینی خطرات و بلایای مربوطه (مانند سیل، رانش زمین و خشکسالی) در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و حتی جهانی بسیار مهم است (Tan و همکاران، ۲۰۱۸). حوادث ناشی از خشکسالی و سیل می‌تواند بر عملکرد طبیعی تامین آب، آبیاری و سامانه‌های برق‌آبی تاثیر منفی بگذارد (Orellana-Alvear و همکاران، ۲۰۲۰). اندازه‌گیری میزان بارش ماهواره‌ای با وضوح بالا در بسیاری از مطالعات به‌عنوان منبع داده‌ای ارزشمند برای کاربردهای هیدرولوژیکی و اهداف برنامه‌ریزی منابع آب به‌خصوص در حوضه‌های فاقد شبکه پایش مناسب و یا فاقد آمار مورد استفاده قرار گرفته است (Masih و همکاران، ۲۰۱۱؛ Li و همکاران، ۲۰۱۸).

در این تحقیق سه محصول بارش ماهواره‌ای مختلف در حوزه آبخیز کوهستانی نیشابور در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه در یک دوره آماری ۱۸ ساله با استفاده از ۴۴ ایستگاه زمینی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در مقیاس روزانه، مقایسه شاخص‌های آماری مختلف نشان داد که هیچ‌یک از سه محصول ماهواره‌ای نماینده خوبی برای داده‌های زمینی در وسعت منطقه‌ای نیستند. با این حال، PERSIANN_CDR عملکرد بهتری نسبت به دو محصول دیگر داشته است. علاوه بر این، به‌طور کلی هر سه محصول، مقادیر بارش روزانه را کم‌برآورد می‌کنند. در مقابل بررسی شاخص‌های آماری مختلف در مقیاس ماهانه حاکی از بهبود قابل توجه عملکرد هر سه محصول ماهواره‌ای است. به این معنی که خطاهای این محصولات در برآورد بارش روزانه با تجمیع مقادیر در هر ماه به شدت تعدیل می‌یابد.

پهنه‌بندی RMSE، بیانگر وجود خطا در محدوده‌هایی در مرکز، شمال و شرق حوضه یعنی محدوده‌های با تغییرات ارتفاعی شدیدتر است. با این حال، در کل حوضه، خطای PERSIANN-CDR و 3B42RT-7 در محدوده قابل قبولی است. در حالی که IMERG در محدوده‌های غربی حوضه دقت مناسبی دارد. نقشه پهنه‌بندی BIAS نشان می‌دهد که به‌طور کلی PERSIANN-CDR محدوده‌های شرقی حوضه را کم‌برآورد و محدوده‌های غربی آن را بیش‌برآورد می‌کند. در 3B42RT-7، غرب و مرکز حوضه بیش‌برآورد می‌شود؛ اما در IMERG نوار پیرامونی حوضه بیش‌برآورد و مرکز حوضه کم‌برآورد می‌شود. بررسی مقادیر NSE در محدوده حوضه حاکی از عملکرد بسیار مطلوب PERSIANN-CDR به‌جز در محدوده کوچکی در مرکز و شمال حوضه است. 3B42RT-7 نیز عملکرد قابل قبولی در محدوده‌های شرقی و غربی حوضه دارد. در مقابل، مقادیر NSE در IMERG نشان از کارایی نامناسب این محصول دارد؛ البته عملکرد به سمت غرب حوضه بهتر می‌شود. نکته قابل توجه این است که هر سه محصول در ۱۰۰ درصد ایستگاه‌ها، با احتمال بالای ۰/۹۶، ماه‌های بارانی را به درستی تشخیص داده‌اند. علاوه بر این، مقدار نسبت هشدار اشتباه در هر سه محصول کمتر از ۰/۳۷ است که بیانگر دقت قابل قبول آن‌ها در تشخیص درست ماه‌های بارانی از میان تعداد کل تشخیص‌ها است.

نتیجه‌گیری

بارش، کلیدی‌ترین متغیر ورودی در شبیه‌سازی رواناب بوده و توزیع زمانی و مکانی آن تاثیر قابل توجهی بر جریان‌های سطحی دارد (Li و همکاران،

مختلف دنیا در زمینه ارزیابی محصولات بارش ماهواره‌ای و نتایج حاصل از این تحقیقات، به نظر می‌رسد این محصولات در شرایط آب و هوایی، ارتفاعی و عرض‌های جغرافیایی متفاوت، دارای دقت‌های متفاوتی هستند. به همین دلیل، لزوم بررسی آن‌ها در انواع شرایط اقلیمی، همچنان احساس می‌شود.

مقایسه‌ی دو محصول IMERG و 3B42RT-7 در مقیاس روزانه، نشان از عملکرد بهتر IMERG داشته اما در مقیاس ماهانه، مقادیر شاخص‌های آماری وضعیت بهتری را برای 3B42RT-7 ترسیم می‌کنند. لازم به تاکید است که این نتیجه با یافته‌های Miri و همکاران (۲۰۱۹) و Bihamta و همکاران (۲۰۱۸)، فقط در مقیاس روزانه همخوانی دارد.

مسئله قابل توجه دیگر در توانایی قابل قبول محصولات ماهواره‌ای در تشخیص صحیح رخداد بارش روزانه و نیز توانایی بسیار بالا در تشخیص بارش ماهانه است. البته مشخص است که نباید انتظار نتیجه مطلوبی در استفاده از این محصولات در مقیاس روزانه در مدل‌های هیدرولوژیکی که بارش روزانه به‌منزله پارامتر ورودی در آن‌ها محسوب می‌شود، را داشت. با این حال، به واسطه دقت قابل قبول این محصولات در مقیاس ماهانه، بهره‌گیری از آن‌ها در مدل‌سازی در این مقیاس زمانی می‌تواند گزینه مطلوبی باشد. لذا، به کارگیری آن‌ها در مطالعات بیلان آب به‌ویژه در حوضه‌های فاقد آمار مناسب، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

این یافته در نتایج Bihamta و همکاران (۲۰۱۸) و Abdullahi و همکاران (۲۰۱۷) نیز مورد توجه قرار گرفته است. در این بین عملکرد PERSIANN-CDR در سطح حوضه بسیار مطلوب و قابل قبول است؛ به طوری که با داده‌های بارش ماهانه به صورت میانگین همبستگی بالای ۸۹ درصد و ضریب نش‌ساتکلیف بالای ۰/۷۵ دارد. از طرفی، با وجود نزدیکی عملکرد دو محصول IMERG و 3B42RT-7 در مقیاس روزانه، 3B42RT-7 داده‌های بارش ماهانه را به مراتب بهتر از IMERG نمایندگی می‌کند.

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که در هر دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه، عملکرد محصول PERSIANN-CDR در برآورد بارش حوضه آبخیز نیشابور مطلوب‌تر از دو محصول 3B42RT-7 و IMERG است. یکی از دلایل این امر می‌تواند قرارگیری PERSIANN-CDR در دسته داده‌های Final Run باشد؛ چرا که این نوع داده‌ها به وسیله سایر پایگاه‌های بارشی اصلاح می‌شوند. بنابراین، انتظار داشتن دقت بالاتر از این محصول نسبت به دو نوع محصول دیگر که در دسته‌های Real Time و Near Real Time قرار دارند، معقول به نظر می‌رسد. البته Vu و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود در حوضه رود هان در کره جنوبی، اشاره به دقت بالاتر محصول ماهواره TRMM نسبت به محصول PERSIANN-CDR کرده‌اند که در تضاد با یافته‌های این تحقیق است. در توضیح این مطلب باید به این نکته توجه کرد که با توجه به مطالعات گسترده صورت گرفته در نقاط

منابع مورد استفاده

1. Abdullahi, B., M. Hosseini Moghari and K. Ebrahimi. 2017. Evaluation of TRMM-3B42RT-V7 and CMORPH satellite data to estimate precipitation in Gorganrood Basin. *Iranian Watershed Management Science and Engineering*, 11(36): 55-68 (in Persian).
2. Adane, G.B., B.A. Hirpa, B.M. Gebru, C. Song and W.K. Lee. 2021. Integrating satellite rainfall estimates with hydrological water balance model: rainfall-runoff modeling in Awash River Basin, Ethiopia. *Water*, 13(6): 800.
3. Alibakhshi, M., A. Farid Hosseini, K. Referee, A. Alizadeh and H.M. Gascha. 2016. Statistical comparison between IMERG and TMPA 3B42V7 products at the level of three precipitation data GPM and TRMM, case study: Kashfaroud Catchment, Khorasan Razavi Province. *Rangeland and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*, 69(4): 963-981 (in Persian).
4. APDRC. 2008. Asia-pacific data research center. Available online at: <http://apdrc.soest.hawaii.edu/>, accessed 2008.
5. Bihamta, A., H. Goharnejad and P. Moazami. 2018. Review of GPM and TRMM-3B42-V7 satellite precipitation data on daily, monthly and seasonal scales. *Remote Sensing and Iran GIS*, 10(2): 45-60 (in Persian).

6. Chen, X. and G. Huang. 2020. Applicability and hydrologic substitutability of TMPA satellite precipitation product in the Feilaixia Catchment, China. *Water*, 12(6): 1803.
7. Erfanian, M., S. Kazempoor and H. Heydari. 2016. Calibration of rain data of 3B42 and 3B43 series of TRMM satellites in climatic zones of Iran. *Natural Geography Research*, 48(2): 287-303 (in Persian).
8. Ghorbani, L., R. Jafari and H. Human. 2019. Evaluation of monthly and annual production efficiency of PERSIANN and PERSIANN-CDR in estimating rainfall in semi-arid regions of Zagros. *Journal of Desert Management*, 7(14): 15-28 (in Persian).
9. Han, P., D. Long, Z. Han, M. Du, L. Dai and X. Hao. 2019. Improved understanding of snowmelt runoff from the headwaters of China's Yangtze River using remotely sensed snow products and hydrological modeling. *Remote Sensing of Environment*, 224: 44-59.
10. Jiang, S., L. Ren, B. Yong, Y. Hong, X. Yang and F. Yuan. 2016. Evaluation of latest TMPA and CMORPH precipitation products with independent rain gauge observation networks over high-latitude and low-latitude basins in China. *Chinese Geographical Science*, 26(4): 439-455.
11. Katiraie-Boroujerdy, P.S., A.A. Asanjan, K.L. Hsu and S. Sorooshian. 2017. Intercomparison of PERSIANN-CDR and TRMM-3B42V7 precipitation estimates at monthly and daily time scales. *Atmospheric Research*, 193: 36-49.
12. Li, D., G. Christakos, X. Ding and J. Wu. 2018. Adequacy of TRMM satellite rainfall data in driving the SWAT modeling of Tiaoxi Catchment (Taihu Lake Basin, China). *Journal of Hydrology*, 556: 1139-1152.
13. Li, X.H., Q. Zhang and C.Y. Xu. 2012. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang Catchment, Poyang Lake Basin. *Journal of Hydrology*, 426: 28-38.
14. Masih, I., S. Maskey, S. Uhlenbrook and V. Smakhtin. 2011. Assessing the impact of areal precipitation input on streamflow simulations using the SWAT Model 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 47(1): 179-195.
15. Mastrantonas, N., B. Bhattacharya, Y. Shibuo, M. Rasmay, G. Espinoza-Dávalos and D. Solomatine. 2019. Evaluating the benefits of merging near-real-time satellite precipitation products: a case study in the Kinu Basin region, Japan. *Journal of Hydrometeorology*, 20(6): 1213-1233.
16. Miri, M., M. Rahimi and A. Nowruz. 2019. Assessing the accuracy of estimating daily precipitation of TRMM and GPM databases versus observational data in Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(4): 983-972.
17. Nguyen, T.H., I. Masih, Y.A. Mohamed and P. Van der Zaag. 2018. Validating rainfall-runoff modeling using satellite-based and reanalysis precipitation products in the Sre Pok Catchment, the Mekong River Basin. *Geosciences*, 8(5): 164.
18. Orellana-Alvear, J., R. Célleri, R. Rollenbeck, P. Muñoz, P. Contreras and J. Bendix. 2020. Assessment of native radar reflectivity and radar rainfall estimates for discharge forecasting in mountain catchments with a random forest model. *Remote Sensing*, 12(12): 1986.
19. Panthi, J., P. Dahal, M.L. Shrestha, S. Aryal, N.Y. Krakauer, S.M. Pradhanang and R. Karki. 2015. Spatial and temporal variability of rainfall in the Gandaki River Basin of Nepal Himalaya. *Climate*, 3(1): 210-226.
20. Ruan, H., S. Zou, D. Yang, Y. Wang, Z. Yin, Z. Lu and B. Xu. 2017. Runoff simulation by SWAT model using high-resolution gridded precipitation in the upper Heihe River Basin, northeastern Tibetan Plateau. *Water*, 9(11): 866.
21. Serrat-Capdevila, A., J.B. Valdes and E.Z. Stakhiv. 2014. Water management applications for satellite precipitation products: synthesis and recommendations. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 50(2): 509-525.
22. Sharifi, E., R. Steinacker and B. Saghafian. 2018. Multi time-scale evaluation of high-resolution satellite-based precipitation products over northeast of Austria. *Atmospheric Research*, 206: 46-63.
23. Song, Y., J. Zhang, X. Meng, Y. Zhou, Y. Lai and Y. Cao. 2020. Comparison study of multiple precipitation forcing data on hydrological modeling and projection in the Qujiang River Basin. *Water*, 12(9): 2626.
24. Tan, X., B. Yong and L. Ren. 2018. Error features of the hourly GSMaP multi-satellite precipitation estimates over nine major basins of China. *Hydrology Research*, 49(3): 761-779.
25. Talchabhadel, R., A. Aryal, K. Kawaike, K. Yamanoi, H. Nakagawa, B. Bhatta, S. Karki and B.R. Thapa, 2021. Evaluation of precipitation elasticity using precipitation data from ground and satellite-based estimates and watershed modeling in Western Nepal. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 33: 100768.

26. Tobin, K.J. and M.E. Bennett. 2013. Temporal analysis of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) performance based on remotely sensed precipitation products. *Hydrological Processes*, 27(4): 505-514.
27. Vu, T.T., L. Li and K.S. Jun. 2018. Evaluation of multi-satellite precipitation products for streamflow simulations: a case study for the Han River Basin in the Korean Peninsula, East Asia. *Water*, 10(5): 642.
28. Wang, X., B. Li, Y. Chen, H. Guo, Y. Wang and L. Lian. 2020. Applicability evaluation of multisource satellite precipitation data for hydrological research in arid mountainous areas. *Remote Sensing*, 12(18): 2886.
29. Weerts, A., M.F. Rios Gaona, A. Overeem, H. Leijnse and R. Uijlenhoet. 2016. First-year evaluation of GPM-rainfall over the Netherlands: IMERG day 1 final run (V03D). The American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, 15 pages.
30. Yuan, F., L. Zhang, K.W.W. Win, L. Ren, C. Zhao, Y. Zhu and Y. Liu. 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.
31. Zandi Dargharibi, F., Z. Khorsandi Koohestani, M. Mazin and N. Arman. 2017. Evaluation of the efficiency of GR4J and GR2M rainfall-runoff models in simulating watershed flow in Takht. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 9(3): 370-360 (in Persian).
32. Zanganeh Inalu, M., B. Ghahraman and F. Hosseini. 2018. Comparison of observable precipitation values and precipitation information of PERSIANN and CMORPH satellites introspection methods on an hourly and daily scale, case study: Shapur Catchment. *Iranian Water Resources Research*, 14(4): 1-12 (in Persian).
33. Zeng, Q., H. Chen, C.Y. Xu, M.X. Jie, J. Chen, S.L. Guo and J. Liu. 2018. The effect of rain gauge density and distribution on runoff simulation using a lumped hydrological modelling approach. *Journal of hydrology*, 563: 106-122.
34. Zubieta, R., A. Getirana, J.C. Espinoza and W. Lavado. 2015. Impacts of satellite-based precipitation datasets on rainfall-runoff modeling of the Western Amazon Basin of Peru and Ecuador. *Journal of Hydrology*, 528: 599-612.

Statistical assessment of satellite rainfall products in daily and monthly gauge spatial scales

Zahra Khanmohammadi¹, Emad Mahjoobi^{2*}, Saeed Gharachelou³ and Ashkan Banikhedmat⁴

¹ MSc Student, Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, ² Assistant Professor, Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, ³ Assistant Professor, Department of Surveying, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology and ⁴ PhD Candidate, Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology

Received: 17 September 2021

Accepted: 13 March 2022

Abstract

Precipitation estimation is of great importance in energy balance calculations, hydrological studies, meteorology and agricultural, industrial, domestic and drinking purposes. Due to the importance of precipitation data in various sciences and the lack of an extensive and appropriate rainfall network, especially in mountainous catchments, it is necessary to estimate precipitation data and evaluate their accuracy. The purpose of this study is to evaluate the precipitation data of three IMERG satellite products of near real-time type, 3B42RT-7 of real-time type and PERSIANN-CDR of final-run type in the period of 06/01/2000 to 09/31/2018 in 41 rain gauge stations and three synoptic stations in and around the Neishabour Catchment area on a daily and monthly time scale. Examination of various statistical indicators showed that none of the three satellite products is a good representative of terrestrial data on a regional and daily scale. Therefore, the use of these products on a daily basis in this basin in hydrological models is not recommended. On the other hand, the monthly scale showed much better performance due to the adjustment of the error of estimating daily precipitation. So that, the correlation coefficient and Nash Sutcliffe coefficient of PERSIANN-CDR with monthly precipitation data in the basin are about 90% and 0.75, respectively, and the evaluation of this product is much better than the two products 3B42RT-7 and IMERG. Accordingly, the use of monthly scale precipitation products of the final-run type in water balance studies, especially in basins without statistics, can be considered.

Keywords: IMERG, Neishabour Watershed, PERSIANN-CDR, Remote sensing, TRMM

* Corresponding author: emahjoobi@shahroodut.ac.ir