

ارزیابی دقت برآورد بارش روزانه پایگاه داده‌های TRMM و GPM در مقابل داده‌های مشاهده‌ای در ایران

مرتضی میری^{۱*}، مجتبی رحیمی^۲ و علی‌اکبر نوروزی^۳

^۱ دکترای اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر و ^۲ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۶

چکیده

امروزه داده‌های بارش ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، یک منبع جایگزین مناسب برای انجام مطالعات مختلف اقلیمی و هیدرولوژیکی در مناطق فاقد آمار و مناطق با عدم توزیع یکنواخت ایستگاه‌ها است. استفاده از این داده‌ها با شرط داشتن دقت کافی، برای کشور ایران که بسیاری از قسمت‌های آن به‌ویژه مناطق بیابانی و کوهستانی به‌دلیل تراکم پایین ایستگاه‌ها، طول دوره آماری کوتاه ایستگاه‌های جدید و غیره، همواره با مشکلات دسترسی به اطلاعات مکانی و زمانی اقلیم مواجه می‌باشند، از اهمیت زیادی برخوردار است. از این‌رو، هدف اصلی تحقیق حاضر ارزیابی دقت داده‌های بارش GPM و TRMM در مقابل داده‌های ثبت شده ایستگاه‌های منتخب در سطح ایران است. برای رسیدن به این منظور، از روش‌های سنجش از دوری و آماری استفاده شد. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های بارش روزانه ۷۰ ایستگاه هم‌دیدنی منتخب و داده‌های شبکه‌بندی شده بارش GPM و TRMM با قدرت تفکیک مکانی 0.25×0.25 درجه جغرافیایی طی دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۴ است. 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 هر چند شباهت زیادی بین مقادیر بارش برآوردی GPM و TRMM وجود دارد، ولی دقت داده‌های روزانه سنجنده GPM در سطح ایران نسبت به داده‌های TRMM بیشتر است. زیرا مقدار ضریب تعیین برای داده‌های بارش TRMM در بهترین حالت به 0.46 و برای GPM به 0.6 می‌رسد. از نظر مکانی، بهترین دقت پایگاه داده‌های سنجش از دوری GPM و TRMM در غرب کشور و به‌ویژه در امتداد کوه‌های زاگرس است و همانند بسیاری از پایگاه داده‌های دیگر کمترین دقت در نواحی ساحلی و به‌ویژه سواحل دریای خزر مشاهده می‌شود. بررسی و مقایسه مجموع بارش سالانه ایستگاه‌ها و پایگاه داده‌های دورسنجی نشان داد که نه‌تنها بین مقادیر بارش برآوردی بلکه از نظر مکانی نیز بین هسته‌های پر بارش و کم بارش اختلاف وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: آزمون‌های آماری، باران و برف، دورسنجی، سنجنده GPM، سنجنده TRMM

مقدمه
 ویژگی‌های بارش یک منطقه نقش مهمی در درک چرخه و مدیریت منابع آب ایفا می‌کند (Su و همکاران، ۲۰۰۸؛ Qi و همکاران، ۲۰۱۶). مقدار، شدت

بارش (باران و برف) از اصلی‌ترین ورودی‌های سامانه‌های هیدرولوژی هستند. دانش و آگاهی از

پایش شرایط جوی، نظارت و پیش‌بینی، مطالعات مدل‌سازی اقلیمی و هیدرولوژی (Oliveria و همکاران، ۲۰۱۶) در سطح جهان مورد ارزیابی و استفاده قرار می‌گیرد. Feidas (۲۰۱۰) با مقایسه داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های باران‌سنجی در یونان دقت شش پایگاه داده‌برداری ماهواره‌ای را مورد ارزیابی قرار داد و نشان داد که داده‌های TRMM 3B43 در هر سه مقیاس مکانی (۲/۵، ۱ و ۰/۵ درجه) عملکرد بسیار خوبی دارد. Li و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از شاخص‌های آماری نظیر مجموع مربع خطا و اریبی دقت داده‌های روزانه، ماهانه و سالانه بارش، TRMM، PERSIANN و CMORPH را در مقایسه با داده‌های زمینی برای حوضه رودخانه یانگ تسه طی دوره ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ ارزیابی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که داده‌های TRMM مقدار بارش حوضه را بیشتر از مقدار واقعی و داده‌های PERSIAN و CMORPH مقدار بارش حوضه را کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد می‌کنند. Tan و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی دقت داده‌های بارش برآوردی TRMM و GPM در مقیاس‌های زمانی فصل، ماه و روز بیان کردند که در مجموع بارش برآوردی به‌وسیله سنجنده GPM نسبت به TRMM برای سنگاپور با اختلاف کمی از دقت بالاتری برخوردار است. همچنین، می‌توان به تحقیقات Chokngamwong و Chiu (۲۰۰۸)، Li و همکاران (۲۰۱۳)، Ochoa و همکاران (۲۰۱۴) و Skok (۲۰۱۶) نیز اشاره کرد.

در داخل کشور نیز تحقیقاتی در زمینه ارزیابی داده‌های دورسنجی به‌ویژه در مقیاس ماهانه و سالانه (Shirvani و همکاران، ۲۰۱۴؛ Miri و همکاران، ۲۰۱۶؛ Dezfooli و همکاران، ۲۰۱۶؛ Erfanian و همکاران، ۲۰۱۶) انجام شده است. Noroozi و همکاران (۲۰۱۴) با ارزیابی محصولات بارش روزانه و ماهانه سنجنده TRMM به‌منظور بررسی خسارات وارده به محصول برنج در شمال کشور، بیان کردند که داده‌های روزانه این سنجنده برای شمال کشور از دقت مناسبی برخوردار نیست. Sharifi و همکاران (۲۰۱۶) با ارزیابی و مقایسه داده‌های روزانه TRMM و GPM برای چهار منطقه اقلیمی ایران بیان کردند که هرچند در مقیاس روزانه هر سه پایگاه داده مقادیر بارش را

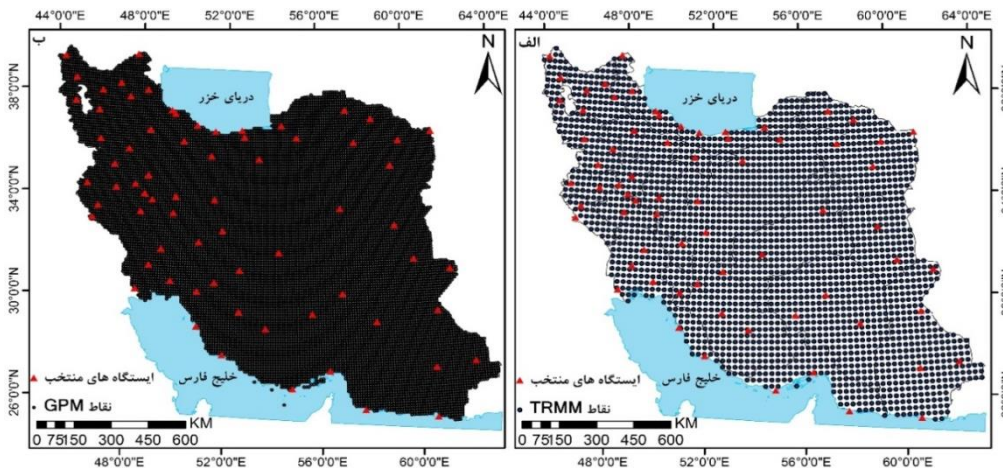
و توزیع زمانی بارش را می‌توان از منابع مختلفی چون ایستگاه‌های دیده‌بانی هواشناسی، رادار، لیدار و ماهواره‌های هواشناسی به‌دست آورد. بارش به‌طور معمول به‌وسیله باران‌سنج‌ها و رادارهای هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود که قابل اطمینان‌ترین منابع اطلاعاتی بارش هستند (Miri و همکاران، ۲۰۱۶؛ Gairola و همکاران، ۲۰۱۵). با وجود این، در این روش مقادیر اندازه‌گیری شده تحت تأثیر خطاهای سیستماتیک (کاهش ناشی از مرطوب شدن، تبخیر و اثرات آثرودینامیک) قرار می‌گیرند (Porcu و همکاران، ۲۰۱۴؛ Blacutt و همکاران، ۲۰۱۵). از طرف دیگر تراکم پائین ایستگاه‌های هواشناسی به‌ویژه در نواحی کوهستانی و بیابانی جهان به‌دلیل محدودیت‌های اقتصادی و یا جغرافیایی، استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی را در مقیاس جهانی و منطقه‌ای با محدودیت مواجه کرده است (Gairola و همکاران، ۲۰۱۵؛ Mishra و همکاران، ۲۰۱۱). در نتیجه، کمبود داده‌ها به همراه مشکلات نام برده شده، سبب عدم شناخت عمیق و دانش محدود از ویژگی‌های مکانی و زمانی بارش می‌شود (Blacutt و همکاران، ۲۰۱۵). برای رفع مشکلات باران‌سنج‌ها و بارش برآوردی رادار، طی دهه‌های گذشته اندازه‌گیری بارش بر اساس تکنیک‌های دورسنجی به‌عنوان روشی دیگر برای برآورد بارش توسعه یافته است (Jiang و همکاران، ۲۰۱۶). تا کنون پایگاه داده‌های بارش زیادی همچون Persian، برآورد بارش بر اساس اطلاعات دورسنجی و با استفاده از شبکه مصنوعی عصبی (Sorooshian و همکاران، ۲۰۰۲)، GLDAS سامانه همسان‌سازی داده‌های زمینی (Rodell و همکاران، ۲۰۰۴) و پایگاه داده CMORPH (Joyce و همکاران، ۲۰۰۴) بر مبنای اطلاعات دورسنجی ایجاد شده‌اند. طی دهه‌های اخیر، تکنیک‌های ماهواره‌ای برآورد بارش در توصیف کمی از توزیع و شدت این عنصر جوی (Porcu و همکاران، ۲۰۱۴)، به‌ویژه با ظهور ماهواره‌های با این هدف از جمله؛ TRMM (اندازه‌گیری بارش حاره‌ای) و GPM (اندازه‌گیری بارش جهانی) به‌طور قابل‌توجهی بهبود یافته است (Kummerow و همکاران، ۱۹۹۸؛ Hou و همکاران، ۲۰۱۴). بارش برآورد شده به‌وسیله ماهواره‌ها به‌طور گسترده برای اهداف مختلف از جمله

جهان مانند ایران که از تیپ‌های اقلیمی متفاوتی برخوردار است، لازم است. علاوه بر این، ارزیابی پایگاه داده‌ها، در بهبود الگوریتم ثبت بارش کمک قابل توجهی می‌کند (Alimorad و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین، قبل از این‌که داده‌ها و نتایج این منابع به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری در یک منطقه به‌کار رود، باید داده‌های حاصل از سنجنده‌ها و مراکز اقلیمی در مقیاس محلی و کشوری مورد ارزیابی قرار گیرد. از این‌رو، هدف اصلی تحقیق حاضر، ارزیابی دقت داده‌های بارش روزانه ماهواره‌ای TRMM و GPM در سطح کشور ایران است.

مواد و روش‌ها

داده‌ها: در پژوهش حاضر، از داده‌های بارش روزانه سنجنده TRMM، بارش سنجنده GPM و بارش روزانه ۷۰ ایستگاه هم‌دیدگی طی دوره ۲۰۱۴-۲۰۱۶ در سطح کشور استفاده شده است. در ابتدا، با مراجعه به سازمان هواشناسی، داده‌های بارش ۷۰ ایستگاه هم‌دیدگی با پراکنش مناسب در پهنه ایران زمین (شکل ۱) دریافت و پردازش شد. همچنین، داده‌های بارش سنجنده TRMM با قدرت تفکیک مکانی 0.25×0.25 درجه جغرافیایی (شکل ۱- الف) و داده‌های بارش سنجنده GPM با قدرت تفکیک مکانی 0.1×0.1 درجه جغرافیایی (شکل ۱- ب)، از تارنمای جی‌ووانی (<https://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov>) دریافت و مورد استفاده قرار گرفتند.

کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند، با وجود این، داده‌های سنجنده GPM از عملکرد بهتری نسبت به TRMM و Era-Interim برخوردار است. Alibakhshi و همکاران (۲۰۱۷) نیز در پژوهشی به ارزیابی و مقایسه داده‌های بارش GPM و TRMM در مقابل بارش ثبت شده برای حوزه آبخیز کشف رود در استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد به‌طور کلی داده‌های بارش ماهواره TRMM دقت بالاتری نسبت به داده ماهواره GPM در این منطقه دارد. بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که هرچند در خارج از کشور ارزیابی دقت داده‌های بارش دورسنجی به‌خوبی انجام شده است، اما در داخل کشور به‌ویژه در مقیاس روزانه برای سنجنده GPM مطالعات محدود و به‌صورت حوضه‌ای انجام شده است. ارزیابی داده‌های این سنجنده در مقیاس روزانه و مقایسه آن با محصولات قبلی در سطح کشور به‌خوبی احساس می‌شود. از طرف دیگر، هرچند پایگاه داده‌های ماهواره‌ای یک منبع ارزشمند برای انجام تحقیقات مختلف اقلیمی هستند، اما بارش برآوردی ماهواره‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی همچون محدودیت‌های الگوریتم و حساسه برآورد بارش، نوع سطح، کاربری اراضی و پوشش زمین دارای عدم قطعیت هستند (Hong و همکاران، ۲۰۰۶؛ Tang و همکاران، ۲۰۱۴). از این‌رو، ارزیابی آن‌ها به‌منظور درک بهتر و عمیق‌تر از داده‌ها در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف و انجام اصلاحات لازم به‌هنگام استفاده از این داده‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک



شکل ۱- توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده (مثلث‌های قرمز رنگ) و نقاط شبکه‌بندی سنجنده TRMM (الف) و سنجنده GPM (ب) بر روی ایران

روش پژوهش: در تحقیق حاضر، از پنج آزمون آماری برای مقایسه و ارزیابی دقت داده‌های TRMM و GPM در برابر داده‌های مشاهده‌ای بارش روزانه ۷۰ ایستگاه هم‌دیدگی کشور استفاده شد. پس از دریافت پردازش داده‌ها، سری زمانی بارش و دمای ماهانه نقاط مختلف شبکه (شکل ۱) ساخته، آماده تجزیه و تحلیل شد. از آنجائی که هدف از انجام این پژوهش ارزیابی دقت داده‌های GPM و TRMM در پیش‌بینی بارش ۷۰ نقطه بوده است، مقدار بارش هر یک از این دو پایگاه در نزدیک‌ترین نقطه به هر ایستگاه استخراج و برای مقایسه مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب، سه ماتریس به ابعاد ۱۰۲۷×۷۰ تشکیل و مورد استفاده قرار گرفت. در این ماتریس‌ها، عدد ۱۰۲۷ تعداد مشاهده‌ها در روزهای پیاپی از سه سال مورد مطالعه را نشان می‌دهد و عدد ۷۰ نیز معرف تعداد ایستگاه‌ها یا نقاطی است که مقایسه‌های آماری برای آن‌ها به انجام رسیده است. در مرحله بعد، با استفاده از پنج آزمون آماری مختلف ماتریس داده‌های مشاهده‌ای (ایستگاهی) با ماتریس داده‌های TRMM و GPM مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت و میزان خطای هر یک از این دو پایگاه داده در پیش‌بینی بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه شناسایی و به‌صورت نقشه ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای ارزیابی دقت برآورد بارش هر یک از پایگاه‌های GPM و TRMM در محل هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه (شکل ۱)، از آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)، مجذور میانگین مربع خطای استاندارد شده (NRMSE) شاخص توافق (IA)، شیب خط (Slope)، اربیبی (Bias) و راندمان یا کارایی مدل (EF) استفاده شده است. این آماره‌ها بیشترین کاربرد را در تجزیه و تحلیل‌های مقایسه‌ای مانند مقایسه پیش‌بینی‌های یک مدل با داده‌های مشاهده‌ای دارند (Moriasi, ۲۰۰۷). جزئیات کامل آماره‌های ذکر شده در مقاله Miri و همکاران (۲۰۱۶) تشریح شده است.

سنجنده TRMM: ماهواره TRMM در ۲۸ نوامبر سال ۱۹۹۷ با همکاری سازمان فضایی دو کشور آمریکا و ژاپن به فضا پرتاب شد. حسگرهای سنجش بارش در ماهواره TRMM شامل رادار بارش، تصویرگر میکروویو TRMM و اسکنرهای مرئی و مادون‌قرمز هستند. محصولات این ماهواره به سه سطح طبقه‌بندی می‌شوند که محصولات سطح ۳، به‌عنوان محصولات اقلیمی نامیده می‌شوند. محصولات اقلیمی TRMM در حال حاضر در مقیاس‌های زمانی سه ساعته (TRMM 3B42-RT)، روزانه (TRMM 3B42V7) و ماهانه (TRMM 3B43) و با قدرت تفکیک مکانی $۰/۲۵ \times ۰/۲۵$ درجه جغرافیایی برای منطقه حاره و عرض‌های میانی کره زمین (۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی) از سال ۱۹۹۸ الی ۲۰۱۵ در دسترس هستند، در حال حاضر نیز محصول 3b42 بر اساس همان الگوی قبلی به‌وسیله سنجنده GPM تهیه و تولید می‌شود (Miri و همکاران، ۲۰۱۶؛ Feidas, ۲۰۱۰). برای این پژوهش، محصول بارش روزانه (TRMM 3B42V7) از مارس ۲۰۱۴ الی دسامبر ۲۰۱۶ استفاده شده است.

سنجنده GPM: با توجه به موفقیت‌های سنجنده TRMM و از طرفی، پایان مأموریت این سنجنده در آوریل ۲۰۱۵، یک سال قبل از پایان سوخت سنجنده TRMM و سقوط آن، ناسا و آژانس اکتشافات فضایی ژاپن، سنجنده^۱ GPM را در ۲۷ فوریه ۲۰۱۴ راه‌اندازی و برای اندازه‌گیری بارش جهانی به فضا پرتاب کردند. این سنجنده، شبکه‌ای بین‌المللی از ماهواره‌های مختلف همچون TMPA، CMORPH و PERSIANN است که با به‌کارگیری رادار دو فرکانسه و تصویربرداری مایکروویو چندکاناله اندازه‌گیری‌های دقیق‌تری از مشاهدات جهانی باران و برف فراهم می‌کند. محصولات این ماهواره با قدرت تفکیک زمانی ۰/۵ ساعت، روز و ماه و قدرت تفکیک مکانی $۰/۱۰ \times ۰/۱۰$ درجه جغرافیایی با توجه به زمان تأخیر از ۱۲ مارس ۲۰۱۴ در اختیار محققان و کاربران مختلف قرار گرفته است.

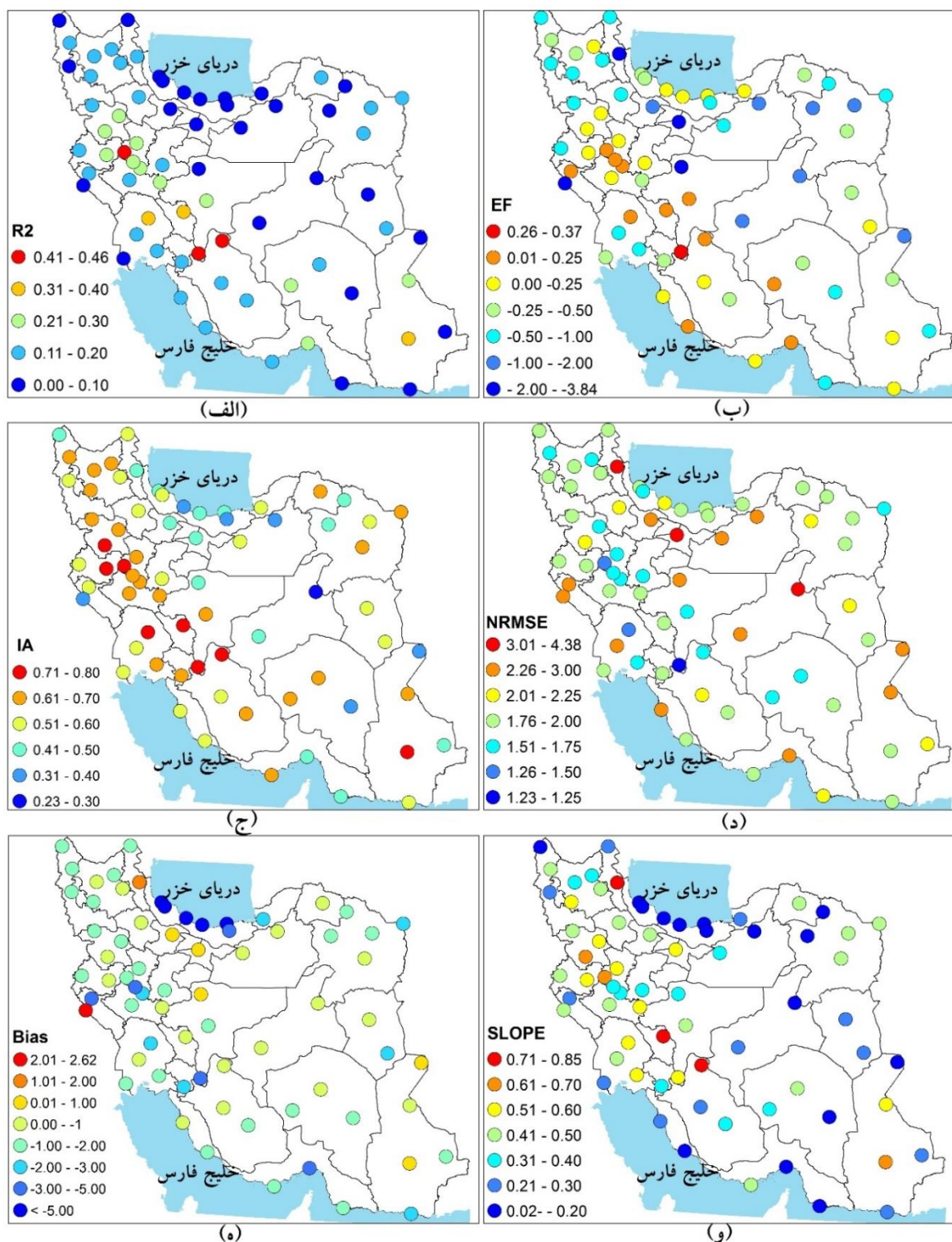
¹ Global Precipitation Measurement

نتایج و بحث

شمال غربی و دامنه‌های جنوبی البرز بهتر است. زیرا در مناطق خزری مقدار EF بین صفر تا ± 0.25 قرار دارد در حالی که این مقدار در شمال غرب ایران و دامنه‌های جنوبی البرز بین ۲- تا ۴- است (شکل ۲-ب). از این رو، می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه داده‌های بارش ماهواره TRMM در سواحل شمالی کشور از کمترین اعتبار و دقت برخوردار هستند، اما از آنجا که رخدادهای فرین بارش در این مناطق بالاست، ماهواره در برآورد بارش‌های فرین این ناحیه موفق‌تر از شمال غرب و نواحی مرکزی ایران عمل می‌کند. بررسی مقادیر شاخص توافق (IA) نیز نشان داد که بیشترین مقدار توافق در محدوده زاگرس و برای نقاط مرتفع این محدوده یعنی شهرکرد و یاسوج بین ۰/۶۱ تا ۰/۸۱ قرار دارد. همچون دو شاخص دیگر (ضریب همبستگی و ضریب تبیین)، پایین‌ترین توافق بین سری داده‌های بارش مشاهده‌ای و داده‌های بارش حاصل از ماهواره TRMM در سواحل کشور به‌ویژه سواحل جنوبی دریای خزر مشاهده می‌شود (شکل ۲-ج). به کارگیری شاخص‌های دیگر نیز نظیر NRMSE، BIAS و Slope که هر یک به‌گونه‌ای نشان‌دهنده دقت سنجنده در برآورد مقدار پارامتر مورد نظر است، نشان داد که داده‌های بارش روزانه برآوردی سنجنده TRMM برای سطح ایران نسبت به مقدار بارش روزانه ثبت شده در ایستگاه‌ها همراه با بیش برآوردی و کم برآوردی بالایی است. بررسی مقادیر شاخص BIAS نشان داد که مقدار انحراف بارش برآورد شده به‌وسیله سنجنده نسبت به داده‌های ایستگاهی در سطح وسیعی از ایران (۹۰ درصد ایستگاه‌ها) همراه با کم برآوردی و بین یک تا دو میلی‌متر است، که این مقدار در مقیاس روزانه برای کشور ایران زیاد است (شکل ۲-د). مقادیر آماره شیب (Slope) نیز نشان داد که در بیشتر نقاط ایران داده‌های برآورد شده به‌وسیله ماهواره، از خط رگرسیون (۱:۱) فاصله زیادی دارند و مقدار آماره شیب در بیشتر ایستگاه‌های کشور کمتر از ۰/۵ است (شکل ۲-و).

شکل ۳، نتایج حاصل از مقایسه داده‌های بارش روزانه سنجنده GPM و ایستگاه‌های زمینی با روش‌های مختلف آماری را نشان می‌دهد.

شکل ۲، مقادیر آماره‌های به‌کار رفته برای ارزیابی دقت داده‌های بارش روزانه سنجنده TRMM در مقابل داده‌های مشاهده‌ای در سطح کشور را نشان می‌دهد. بررسی مقادیر ضریب همبستگی (R) بین بارش برآورد شده به‌وسیله مدل و داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه‌ها بیانگر دقت متوسط تا ضعیف بارش روزانه برآوردی به‌وسیله این سنجنده در بخش‌های مختلف ایران است. زیرا مقدار r در غالب نقاط کشور کمتر از ۰/۵ است و مقدار همبستگی در بهترین حالت در ایستگاه‌های غرب کشور به ۰/۵۱ تا ۰/۶۸ می‌رسد. دقت نه‌چندان مناسب بارش روزانه ماهواره TRMM در کشور به‌وسیله آماره ضریب تعیین نیز مورد تأیید قرار گرفت. به‌طوری که با توجه به شکل ۲-الف، توزیع مکانی میزان ضریب تعیین هم‌سو و منطبق با ضریب همبستگی می‌باشد و مقدار R^2 در مناطق مختلف ایران پایین و در بهترین حالت برای برخی ایستگاه‌های واقع در ارتفاعات زاگرس بین ۰/۳ تا ۰/۴۷ است. این بدان معنی است که در بهترین وضعیت فقط ۳۰ تا ۴۷ درصد واریانس بارش داده‌های ایستگاهی، به کمک داده‌های بارش Trmm تبیین می‌شود. همچون ضریب همبستگی، پایین‌ترین مقادیر ضریب تعیین نیز در محدوده سواحل دریای خزر مشاهده می‌شود. در این مناطق بین صفر تا ۱۰ درصد واریانس بارش داده‌های ایستگاهی، به کمک داده‌های بارش Trmm تبیین می‌شود که مقداری بسیار ناچیز و اعتبار داده‌های بارش روزانه ماهواره نام برده بسیار پایین است. هم‌سو با آماره ضریب همبستگی نتایج آماره EF نیز گواه بر کارایی نه‌چندان مناسب سنجنده TRMM در برآورد بارش روزانه است، زیرا مقدار شاخص EF در سطح کشور فاصله بسیار زیادی از مقدار بهینه این شاخص یعنی عدد یک دارند. همچون شاخص‌های دیگر، بهترین هماهنگی در نواحی زاگرس قابل مشاهده است که البته با توجه به مقادیر شاخص در این مناطق یعنی صفر تا ۰/۳۸ دقت مدل در برآورد بارش‌های حدی حتی در این ناحیه از کشور نیز بسیار پایین می‌باشد. در مقایسه با سه شاخص پیشین، در نواحی خزری مقدار EF نسبت به نواحی مرکزی،



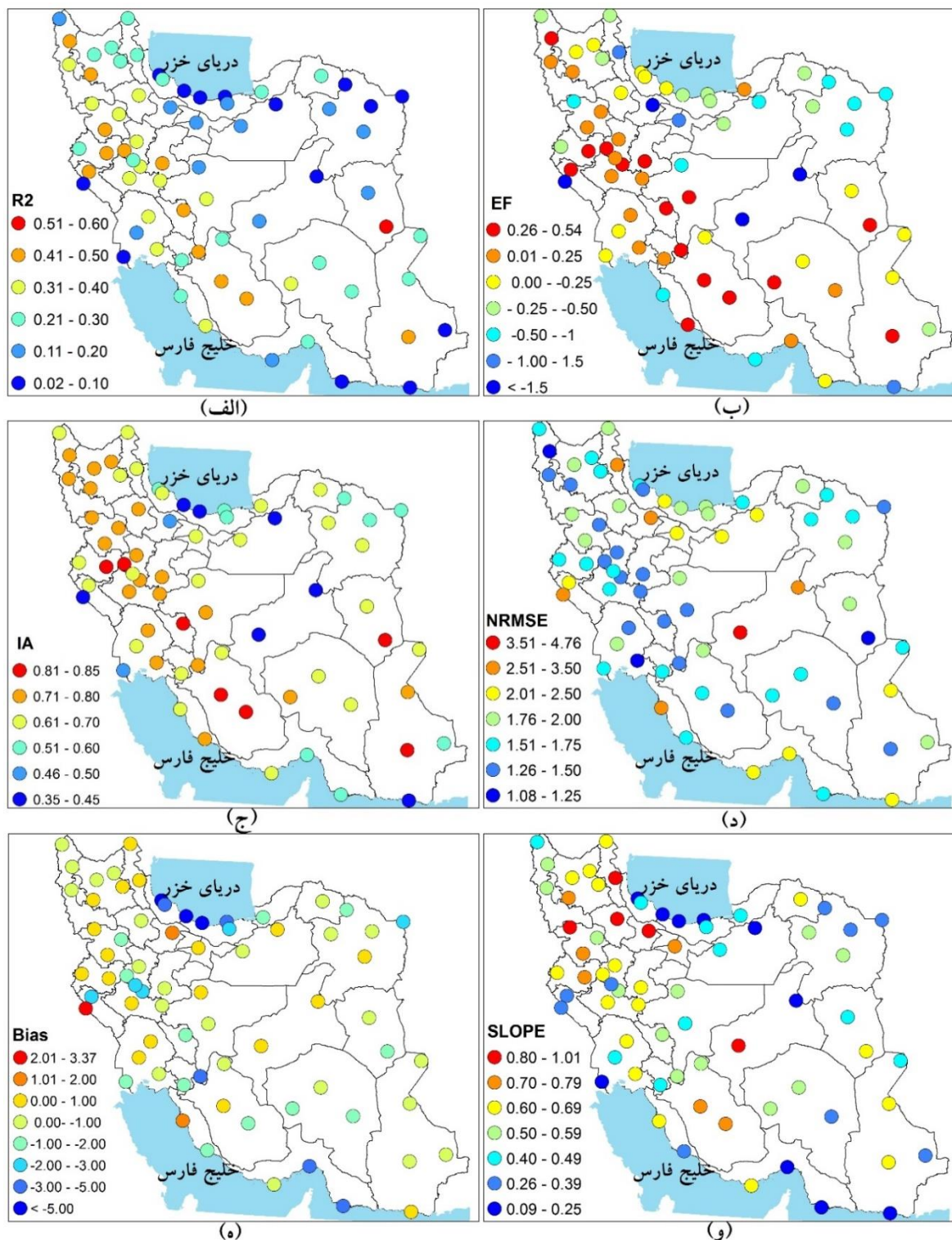
شکل ۲- مقایسه داده‌های بارش روزانه TRMM با بارش روزانه واقعی ایستگاه‌های هم‌دیدگی منتخب در سطح کشور با استفاده از شاخص‌های آماری، الف) ضریب تعیین (R^2)، ب) کارایی مدل (EF)، ج) شاخص توافقی (IA)، د) مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)، ه) شاخص اریب (BIAS) و و) شیب خط (Slope).

برآوردی به‌وسیله این سنجنده در بخش‌های مختلف ایران است، زیرا مقدار آماره R در سطح کشور از حدود ۰/۸ تا ۰/۱۵ متغیر است. این امر نشان می‌دهد که از

بررسی مقادیر ضریب همبستگی بین بارش برآورد شده به‌وسیله سنجنده و داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه‌ها بیانگر درجات متفاوتی از دقت بارش

۰/۲۱ تا ۰/۴ است. بنابراین، در این مناطق هم دقت ماهواره منتخب مناسب نیست. زیرا بارش برآوردی این ماهواره نمی‌تواند حتی ۵۰ درصد واریانس بارش ایستگاهی را تبیین کند (شکل ۳- الف). نتایج سایر شاخص‌های مورد استفاده نیز هم‌سو با ضریب همبستگی و ضریب تعیین می‌باشند. مقادیر شاخص کارایی (EF) در سطح کشور فاصله بسیار زیادی از مقدار بهینه یعنی عدد یک دارد. این وضعیت نشان می‌دهد که بارش ماهواره GPM توانایی مناسبی در برآورد رخدادهای حدی بارش در کشور ندارد. بهترین میزان کارایی یا راندمان مربوط به دو ایستگاه واقع در شرق ایران یعنی ایرانشهر و نهبندان و همچنین، ارتفاعات زاگرس است. در این دو ایستگاه مقدار شاخص EF بین ۰/۴۵ تا ۰/۵۵ است که با قراردادن مقدار ۰/۶ به‌عنوان معیاری برای کارایی مناسب، فقط در این دو نقطه ماهواره GPM رخدادهای فرین بارش را می‌تواند مناسب برآورد کند. در سایر نقاط کشور مقدار این آماره کمتر از ۰/۴ است و در برخی نقاط حتی به ۲- و کمتر نیز می‌رسد (شکل ۳- ب). مقادیر شاخص توافق نیز نشان داد که در سطح وسیعی از کشور مقدار توافق بین دو سری داده‌ها بیش از ۰/۵ است و همانند دو شاخص دیگر بیشینه توافق در نیمه غربی کشور و به‌ویژه برای ایستگاه‌های منطبق بر امتداد کوه‌های زاگرس با مقدار ۰/۷ تا ۰/۸۵ است. در مقابل، کمترین مقدار توافق در قسمت‌های شمال شرقی بین ۰/۵ تا ۰/۷ و شمالی به‌ویژه در سواحل دریای خزر با مقدار توافق بین ۰/۳۵ الی ۰/۴۵ است (شکل ۳- ج). مقادیر آماره شیب خط (شکل ۴- و) نشان داد که وضعیت این شاخص هم‌سو و مطابق با آماره‌های پیشین است و در بیشتر نقاط ایران داده‌های برآورد شده به‌وسیله ماهواره منتخب (GPM)، از خط رگرسیون (۱:۱) فاصله زیادی دارند و مقدار آماره شیب در بیشتر ایستگاه‌های کشور کمتر از ۰/۷ است. بهترین برآورد و ابازشی سنجنده مربوط به ایستگاه‌های غربی و کمترین آن در سواحل شمالی و قسمت‌های شرقی ایران است. در ایستگاه‌هایی نظیر قزوین، اردبیل و سقز خط شیب فاصله نزدیکی به خط مبنا (۱:۱) دارد و مقدار آماره شیب بین ۰/۸ تا ۱/۰۱ است.

نظر ضریب همبستگی در برخی مناطق دقت بارش روزانه حاصل از ماهواره GPM مناسب و در برخی مناطق غیر قابل قبول است. همچون داده‌های ماهواره TRMM بیشترین دقت داده‌های ماهواره GPM مربوط به نواحی غربی به‌ویژه ارتفاعات زاگرس میانی با مقدار ضریب همبستگی بین ۰/۶ تا ۰/۷ است. در سایر مناطق کشور مقدار آماره r کمتر از حد قابل قبول ۰/۶ است. در استان آذربایجان شرقی، سواحل خلیج فارس و بخش‌هایی از شرق ایران دقت GPM در برآورد بارش روزانه در حد متوسط و مقدار ضریب همبستگی بین ۰/۵ تا ۰/۶ قرار دارد. در سایر نقاط کشور اعتماد به داده‌های بارش این ماهواره ضعیف است و نمی‌توان آن را مبنای مناسبی برای تصمیم‌گیری قرار داد. این امر به‌ویژه در سواحل دریای خزر و استان خراسان رضوی قابل توجه است، زیرا در این مناطق مقدار همبستگی دو مجموعه داده در پایین‌ترین حد خود در کشور یعنی بین ۰/۲۴ تا ۰/۵ قرار دارد. مقادیر آماره ضریب تعیین (R^2) نیز هم‌سو و منطبق با آماره R است. مقادیر ضریب تعیین نشان می‌دهد که فقط در ناحیه زاگرس و دو ایستگاه ایرانشهر و نهبندان بالاترین تبیین واریانس بارش ایستگاهی به‌وسیله ماهواره GPM امکان‌پذیر است. زیرا در این مناطق مقدار ضریب تبیین بین ۰/۴ تا ۰/۶ قرار دارد که نشان می‌دهد که در بهترین حالت بین ۴۰ تا ۶۰ درصد واریانس بارش ایستگاهی به‌وسیله داده‌های ماهواره مذکور تبیین می‌شوند. هر چند این سطح از تبیین نمی‌تواند سطح خیلی خوبی باشد، ولی با توجه به مقیاس روزانه بودن می‌توان گفت که دقت GPM در این نواحی قابل قبول است. همچون ضریب همبستگی پایین‌ترین مقادیر ضریب تعیین نیز در محدوده سواحل دریای خزر و ایران مرکزی مشاهده می‌شود. در این مناطق بین صفر تا ۲۰ درصد واریانس بارش داده‌های ایستگاهی، به کمک داده‌های بارش GPM تبیین می‌شود که مقداری بسیار ناچیز و اعتبار داده‌های بارش ماهواره مذکور در این نواحی بسیار پایین می‌باشد. در سواحل جنوبی، جنوب شرق کشور، دامنه‌های جنوبی البرز و شمال غرب ایران به همراه دشت‌های غربی زاگرس، مقدار ضریب تبیین بین



شکل ۳- مقایسه داده‌های بارش روزانه GPM با بارش روزانه واقعی ایستگاه‌های هم‌دیدگی منتخب در سطح کشور با استفاده از شاخص‌های آماری، الف) ضریب تعیین (R^2)، ب) کارایی مدل (EF)، ج) شاخص توافق (IA)، د) مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)، ه) شاخص اریب (BIAS) و و) شیب خط (Slope)

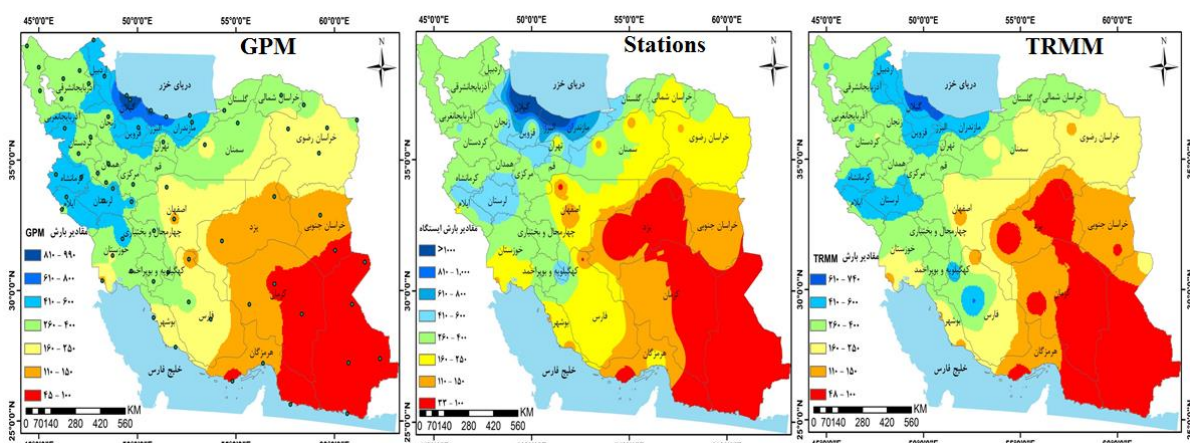
مقایسه شد (شکل ۴). مقایسه نقشه بارش حاصل از سنجنده‌های GPM و TRMM در مقابل نقشه داده‌های ایستگاهی نشان داد که توزیع مکانی بارش

پس از بررسی دقت داده‌های روزانه سنجنده‌های نام برده در مقابل داده‌های ایستگاهی، نقشه‌های مجموع بارش سالانه طی دوره مورد مطالعه تهیه و

بیشینه بارش غرب کشور را به صورت زائده‌ای خطی از جنوب آذربایجان غربی تا شمال خوزستان نشان می‌دهد و منطقه کهگیلویه و بویراحمد را جدا از منطقه پر بارش زاگرس در نظر گرفته است. این وضعیت را می‌توان با توجه به نقشه آماره bias توجیه کرد. زیرا در مناطقی که هسته پر بارش زاگرس شکل گرفته مقدار اریبی بارش حدود ۰/۵ میلی‌متر مثبت است. در حالی که در محدوده کهگیلویه و بویراحمد و به‌ویژه ایستگاه یاسوج مقدار اریبی بارش حدود یک میلی‌متر منفی است. همین مقادیر ناچیز انحراف منجر به اختلاف بزرگی در نقشه بارشی کشور در این محدوده شده است.

مقایسه نقشه‌های بارش از نظر مقدار نشان داد که اگرچه پایگاه داده‌های بارش GPM و TRMM توانایی مناسبی در ارائه نقشه توزیع مکانی بارش دارند و مناطق پر بارش و کم بارش آن هماهنگ با نقشه حاصل از پایگاه داده ایستگاهی در ایران است، اما در برآورد مقدار دقیق بارش به‌ویژه در نواحی مرطوب با اختلاف‌های قابل‌توجهی همراه است. به‌طوری که نقشه حاصل از داده‌های ایستگاهی، مقدار بارش سواحل غربی خزر را بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر نشان می‌دهد، در حالی که نقشه حاصل از داده‌های GPM بیشینه بارش این منطقه را ۹۹۰ میلی‌متر و سنجنده TRMM ۷۴۰ میلی‌متر نشان می‌دهد.

حاصل از دو پایگاه داده مشابه هم بوده و نواحی کم بارش و پر بارش منطبق با یکدیگر هستند. به‌طوری که در هر دو نقشه مناطق جنوب شرقی و مرکزی ایران از کمترین مقدار بارش و در مقابل سواحل جنوب غرب دریای خزر یعنی استان گیلان و نواحی مجاور آن یعنی شرق خزر از بیشترین مقدار بارش برخوردار می‌باشند. این هماهنگی در سایر نواحی بارشی کشور با اختلاف جزئی نیز قابل مشاهده است. تنها اختلاف در توزیع مکانی بارش در سنجنده TRMM را می‌توان در محدوده استان فارس و با مرکزیت ایستگاه شیراز مشاهده کرد. این اختلاف از آنجا سرچشمه می‌گیرد که با توجه به آماره اریبی بیشترین بیش برآوردی بارش به‌وسیله TRMM با مقدار یک میلی‌متر در ایستگاه شیراز مشاهده می‌شود. این مقدار بیش برآوردی در بارش روزانه منجر به اختلاف بزرگی در میانگین بارش سالانه طی دوره مورد مطالعه شده است و منجر به ایجاد اختلاف در توزیع مکانی بارش در این ناحیه از کشور شده است. یکی از تفاوت‌های مکانی قابل توجه در سنجنده GPM مربوط به نواحی پر بارش زاگرس است. در نقشه حاصل از داده‌های ایستگاهی دو هسته پر بارش در غرب کشور یکی در محدوده ایلام تا لرستان و دیگری در محدوده یاسوج مشاهده می‌شود، در حالی که نقشه هم‌بارش به‌دست آمده از ماهواره GPM



شکل ۴- میانگین بارش سالانه حاصل از ایستگاه‌های منتخب در سطح کشور، سنجنده TRMM و سنجنده GPM در دوره ۲۰۱۴-۲۰۱۶

کوهستانی و بیابانی از داده‌های شبکه‌ای و ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا استفاده می‌کنند. اطمینان از دقت داده‌های شبکه‌ای و دورسنجی در

نتیجه‌گیری

امروزه در بسیاری از نقاط جهان برای آگاهی از شرایط بارشی نواحی فاقد آمار به‌ویژه برای نواحی

GPM نیز در غرب کشور و به‌ویژه در امتداد کوه‌های زاگرس و کمترین دقت در محدوده خزر مشاهده می‌شود. هرچند دقت ماهواره مذکور در غرب کشور تا حدودی مناسب و قابل قبول است، اما آماره EF نشان داد که این پایگاه داده همچون پایگاه داده TRMM نمی‌تواند رخدادهای فرین بارش در کشور را به‌خوبی برآورد نماید. همچنین، مشخص شد که میزان کم برآوردی پایگاه GPM در ایران شدیدتر از بیش برآوردی آن است. اما فراوانی نقاطی که بارش را بیشتر از واقعیت برآورد می‌کند، بیشتر است. بالاترین مقدار کم برآوردی بارش مربوط به ناحیه خزری می‌باشد که این وضعیت برای داده‌های TRMM نیز صادق است. مقایسه نتایج ارزیابی هر دو سنجنده نشان داد که در مجموع، دقت داده‌های GPM در سراسر ایران بیشتر از داده‌های TRMM است. این دو سنجنده نیز همانند بسیاری از پایگاه داده‌های (Miri) CRU و همکاران، (۲۰۱۶)، (Miri) GPCC و همکاران، (۲۰۱۷) و ECMWF (Raziei و Sotoudeh، ۲۰۱۷)، مقدار بارش ناحیه خزری را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. کم برآورد کردن بارش در ناحیه خزری می‌تواند در نتیجه پیچیدگی توپوگرافی و موقعیت خاص جغرافیایی این منطقه از ایران باشد. در نهایت، می‌توان گفت هرچند دقت داده‌های بارش این دو پایگاه داده در سطح کشور بالا نیست و می‌توان آن را برای برخی مناطق در حد متوسط در نظر گرفت. اما توزیع مکانی دقت آن‌ها در گستره ایران بسیار مشابه داده‌های ایستگاهی است. به‌طوری که دقت این دو پایگاه داده در غرب ایران به بیشترین مقدار و در سواحل خزر و نواحی مرکزی به کمترین مقدار می‌رسد.

مقابل داده‌های ایستگاهی یکی از مهمترین شرایط استفاده از این داده‌ها در تحقیقات مختلف اقلیمی و هیدرولوژی است. از این‌رو، هدف پژوهش حاضر ارزیابی دقت داده‌های بارش روزانه دو سنجنده TRMM و GPM در مقابل داده‌های روزانه ۷۰ ایستگاه همدیدی با پراکنش مناسب در سطح ایران طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۱۴ است.

نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های بارش روزانه ماهواره TRMM در مقابل داده‌های مشاهداتی بارش نشان داد که بر اساس آماره‌هایی که ارتباط، همبستگی و هماهنگی دو پایگاه داده را مورد سنجش قرار می‌دهد، دقت داده‌های روزانه ماهواره TRMM در ایران چندان مناسب نبوده، در بهترین حالت از دقت متوسطی برخوردار است. از نظر مکانی بهترین دقت این ماهواره در غرب کشور و به‌ویژه در محدوده زاگرس میانی و کمترین دقت آن مربوط به سواحل دریای خزر است. همچنین، در نواحی مرکزی دقت داده‌های این ماهواره پایین و قابل قبول نیست. از این‌رو، دقت داده‌های TRMM از غرب به شرق و از جنوب به شمال کاهش می‌یابد. نتایج آماره بازده مدل نیز نشان می‌دهد که علاوه بر این که داده‌های روزانه TRMM در سطح کشور از دقت چندان مناسبی برخوردار نیستند، توانایی خوبی هم در برآورد رخدادهای فرین بارش ندارند. این آماره به‌ویژه در دامنه‌های جنوبی البرز بسیار پایین است. نتایج ارزیابی داده‌های ماهواره GPM نیز شباهت زیادی به داده‌های ماهواره TRMM دارد. تفاوت عمده در آن است که مقدار دقت داده‌های این ماهواره بر اساس همه آماره‌های مورد استفاده حدود ۰/۲ بیشتر از داده‌های TRMM است. از نظر مکانی بهترین دقت داده‌های

منابع مورد استفاده

1. Alibakhshi, S.M., A. Faridhosseini, K. Davari, A. Alizadeh and H. Munyka Gathecha. 2017. Statistical comparison of IMERG and TMPA 3B42V7 Level-3 precipitation products of TRMM and GPM, case study: Kashafrud Basin, Khorasan Razavi Province. *Journal of Range and Watershed Management*, 69(4): 963-981 (in Persian).
2. Alimohammad, S.H., D. Entekhabi and D.B. McLaughlin. 2014. Evaluation of long-term SSM/I-based precipitation records over land. *Journal of Hydrometeorology*, 15(5): 2012-2029.
3. Blacutt, L.A., D.L. Herdies, L.G.G. Gonçalves, D.A. Vila and M. Andrade. 2015. Precipitation comparison for the CFSR, MERRA, TRMM3B42 and combined scheme datasets in Bolivia. *Atmospheric Research*, 163(15): 117-131.
4. Collischonn, B., W. Collischonn and C.E. Tucci. 2008. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. *Journal of Hydrology*, 360(1-4): 207-216.

5. Dezfooli, D., S.M. Hosseini Moghari and K. Ebrahimi. 2016. Comparison of TRMM-3B42 V7 and Persian satellites precipitation data with ground-based data, case study: Gorganrood Basin, Iran. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 20(76): 85-98 (in Persian).
6. Erfanian, M., S. Kazempour and H. Heidari. 2016. Calibration of TRMM satellite 3B42 and 3B43 rainfall data in climatic zones of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 48(2): 287-303 (in Persian).
7. Feidas, H. 2010. Validation of satellite rainfall products over Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 99(1-2): 193-216.
8. Gairola, R.M., S. Prakash and P.K. Pal. 2015. Improved rainfall estimation over the Indian monsoon region by synergistic use of Kalpana-1 and rain gauge data. *Atmosphere*, 28(1): 51-61.
9. Hou, A.Y., R.K. Kakar, K.S. Neec, A.A. Azarbarzin, C.D. Kummerow, M. Kojima, R. Oki, K. Nakamura and T. Iguchi. 2014. The global precipitation measurement mission. *American Meteorological Society*, 95: 701-722.
10. Huffman, G.J., R.F. Adler, D.T. Bolvin, G. Gu, E.J. Nelkin, K.P. Bowman, Y. Hong, E.F. Stocker and D.B. Wolff. 2007. The TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multi-year, combined sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8: 38-55.
11. Jiang, S.H., M. Zhou, L. Ren, X.R. Cheng and P.J. Zhang. 2016. Evaluation of latest TMPA and CMORPH satellite precipitation products over Yellow River Basin. *Water Science and Engineering*, 9(2): 87-96.
12. Joyce, R.J., J.E. Janowiak, P.A. Arkin and P. Xie. 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, 5: 487-503.
13. Kummerow, C., W. Barnes, T. Kozu, J. Shiue and J. Simpson. 1988. The tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 15: 809-817.
14. Li, Z., D. Yang and Y. Hong. 2013. Multi-scale evaluation of high-resolution multi-sensor blended global precipitation products over the Yangtze River. *Journal of Hydrology*, 500(13): 157-169.
15. Miri, M. 2016. Analysis of relationship between climate change and Zagros Forests decline, case study: Ilam Province. PhD Thesis, University of Tehran, 130 pages (in Persian).
16. Miri, M., G. Azizi, F. Khoshakhlagh and M. Rahimi. 2017. Evaluation statistically of temperature and precipitation datasets with observed data in Iran. *Watershed Management Science and Engineering*, 10(35): 39-50 (in Persian).
17. Miri, M., T. Raziiei and M. Rahimi. 2016. Evaluation and statistically comparison of TRMM and GPCC datasets with observed precipitation in Iran. *Journal of Earth and Space Physics*, 42(3): 657-672 (in Persian).
18. Moriasi, D.N., J.G. Arnold, M.W. van Liew, R.L. Bingner, R.D. Harmel and T.L. Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3): 885-900.
19. Noroozi, A.A., Z. Shoaie and N. Jalai. 2014. Design and create a support system to assessment damage to rice crops using the RS-GIS. Final Report of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 157 pages.
20. Ochoa, A., L. Pineda, P. Crespo and P. Willems. 2014. Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific-Andean region of Ecuador and Peru. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(8): 3179-3193.
21. Oliveira, R., V. Maggioni, D. Vila and C. Morales. 2016. Characteristics and diurnal cycle of GPM rainfall estimates over the central amazon region. *Remote Sensing*, 8(7): 544, <https://doi.org/10.3390/rs8070544>.
22. Porcù, F., L. Milani and M. Petracca. 2014. On the uncertainties in validating satellite instantaneous rainfall estimates with raingauge operational network. *Atmospheric Research*, 144(1): 73-81.
23. Qi, W., C. Zhang, G. Fu, C. Sweetapple and H. Zhou. 2016. Evaluation of global fine-resolution precipitation products and their uncertainty quantification in ensemble discharge simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(12): 903-920.
24. Raziiei, T. and F. Sotoudeh. 2017. Investigation of the accuracy of the European Center for medium range weather forecast (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran. *Earth and Space Physics*, 43(1): 133-147 (in Persian).
25. Rodell, M., P.R. Houser, U. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, C.J. Meng, K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, M. Bosilovich, J.K. Entin, J.P. Walker, D. Lohmann and D. Toll. 2004. The global land data assimilation system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3): 381-394.

26. Sharifi, E., R. Steinacker and B. Saghafian. 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: doi.org/10.3390/rs8020135.
27. Shirvani, A. and E. Fakharzadeh Shirazi. 2014. Comparison of ground-based observations of precipitation with TRMM satellite estimations in Fars Province. *Agricultural Meteorology Journal*, 2(2): 1-15 (in Persian).
28. Skok, G., N. Zagar, L. Honzak, R. Zabkar, J. Rakovec and A. Ceglar. 2016. Precipitation intercomparison of a set of satellite and raingauge-derived datasets, ERA Interim reanalysis and a single WRF regional climate simulation over Europe and the North Atlantic. *Theoretical and Applied Climatology*, 123(1-2): 217–232.
29. Sorooshian, S., X. Gao, K. Hsu, R.A. Maddox, Y. Hong, H.V. Gupta and B. Imam. 2002. Diurnal variability of tropical rainfall retrieved from combined GOES and TRMM satellite information. *Journal of Climate*, 15: 983–1001.
30. Sorooshian, S., X. Hsu Gao, H.V. Gupta, B. Imam and D. Braithwaite. 2000. Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81: 2035–2046.
31. Su, F.G., Y. Hong and D.P. Lettenmaier. 2008. Evaluation of TRMM multi satellite precipitation analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. *Journal of Hydrology*, 9: 622-640.
32. Tang, L., Y. Tian, F. Yan and E. Habib. 2015. An improved procedure for the validation of satellite-based precipitation estimates. *Atmospheric Research*, 163(15): 61–73.
33. Tian, Y., C.D. Peters-Lidard, J.B. Eylander, R.J. Joyce, G.J. Huffman, R.F. Adler, K. Hsu, F.J. Turk, M. Garcia and J. Zeng. 2009. Component analysis of errors in satellite-based precipitation estimates. *Journal of Geophysical Research*, 114: 1–15.