

ارزیابی و مقایسه آماری داده‌های بارش TRMM و GPCC با داده‌های مشاهده‌ای در ایران

مرتضی میری^۱، طیب رضیئی^{۲*} و مجتبی رحیمی^۳

۱. دانش آموخته‌ی دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

۲. استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۴/۸/۲۰، پذیرش نهایی: ۹۴/۱۱/۱)

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی دقت داده‌های بارش سنجنش گر TRMM-3B43V7 و داده‌های شبکه‌بندی شده GPCC در برآورد بارش واقعی ایستگاه‌های همدیدی کشور به انجام رسیده است. برای این منظور داده‌های ماهانه بارش ۴۶ ایستگاه همدیدی ایران با پراکندگی مناسب در سطح کشور، داده‌های بارش سنجنش گر TRMM-3B43V7 و داده‌های بارش ماهانه GPCC برای طول دوره مشترک آماری ۱۹۹۸-۲۰۱۰ از تارنماهای مربوط دریافت شد و مورد استفاده قرار گرفت. دقت مکانی داده‌های سنجنش گر TRMM-3B43V7 و GPCC به ترتیب 0.25×0.25 و 0.5×0.5 درجه جغرافیایی است. برای ارزیابی دقت این داده‌ها از آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، مجذور میانگین مربع خطا (Rmse)، شیب خط (Slope)، آریبی (Bias) و ضریب کارایی مدل (EF) استفاده شد. مقایسه‌های آماری صورت گرفته روشن ساخت اگرچه داده‌های TRMM-3B43V7 در برخی مناطق مانند ایستگاه‌های سواحل خلیج فارس و شمال غرب ایران و یا به صورت موردی برای ایستگاه‌هایی مانند تهران بارش را بیشتر و یا کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند، اما در مجموع برآورد بارش با TRMM-3B43V7 در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی دقت خوبی دارد. ارزیابی داده‌های شبکه‌بندی شده GPCC نیز نتایج مشابه‌ای را به دست داد که بیانگر دقت مناسب داده‌های GPCC در سطح ایران است. بیشترین میزان ضریب همبستگی برای مناطق شمال شرق، غرب میانه و شمال غرب ایران به دست آمد که علت آن تراکم زیاد ایستگاه‌های باران‌سنجی در این مناطق است که GPCC از آن برای تولید این داده‌ها بهره برده است. بررسی توزیع زمانی بارش ماهانه TRMM-3B43V7 و GPCC در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای نیز نشان داد که هر دو این داده‌ها به خوبی روند تغییرات بارش ماهانه داده‌های مشاهده‌ای را شبیه‌سازی می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: بارش، GPCC، TRMM، آزمون‌های آماری، ایران.

۱. مقدمه

مقدار درون‌یابی در مناطق با تراکم ایستگاهی زیاد با دقت بیشتری صورت می‌گیرد در حالی که در مناطق با تراکم ایستگاهی کم، دقت برآوردها حتی با روش‌های کارآمد زمین آماری نیز کم است (چپل و همکاران، ۲۰۱۳). تراکم پائین ایستگاه‌های هواشناسی در نواحی کوهستانی و بیابانی جهان به علت محدودیت‌های اقتصادی و یا جغرافیایی، استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی را در مقیاس جهانی و منطقه‌ای با محدودیت مواجه کرده است (گیرولا و همکاران، ۲۰۱۵؛ میسرا و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج به دست آمده از روش‌های گوناگون درون‌یابی در مناطق با تراکم کم ایستگاه‌های هواشناسی همواره اختلاف‌های زیادی را نشان می‌دهند و مقدار برآوردی برای این مناطق با مقدار واقعی بارش، فاصله زیادی دارد (واگنر و همکاران، ۲۰۱۲).

بارش به‌مثابه بخشی اساسی از چرخه آب، فرایندی بسیار پویا است که به‌طور مداوم در شکل و شدت آن تغییر رخ می‌دهد و با ویژگی‌هایی مانند تغییرپذیری فضایی و زمانی زیاد مشخص می‌شود (جنیفر و همکاران، ۲۰۱۰). مقدار، شدت و توزیع زمانی بارش را می‌توان از منابع گوناگونی چون ایستگاه‌های دیده‌بانی هواشناسی، رادار، لیدار و ماهواره‌های هواشناسی به دست آورد. بارش معمولاً با باران‌سنج‌ها و رادارهای هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود که قابل اطمینان‌ترین منابع اطلاعاتی بارش هستند (گیرولا و همکاران، ۲۰۱۵). به‌طور کلی این ابزارها میزان بارش را برای نقاطی که ایستگاه‌های هواشناسی در آنها جای گرفته‌اند، برآورد می‌کنند و مقدار بارش نقاط بین ایستگاهی با استفاده از یکی از روش‌های درون‌یابی برآورد می‌شود. از این رو

در سال‌های اخیر و با پیشرفت‌های به‌دست آمده در زمینه فناوری ماهواره‌ها، سنسور از دور، رایانه و بانک اطلاعاتی، نسل جدیدی از داده‌های هواشناسی پدید آمده است که برخی از مشکلات موجود در داده‌های مشاهده‌ای مانند نبود دسترسی آسان به داده‌ها، هزینه خرید داده‌ها، وجود داده‌های گم شده، پراکندگی نامناسب ایستگاه‌ها، متفاوت بودن طول دوره داده‌برداری در بین ایستگاه‌ها و نیز روزآمد نبودن داده‌ها را ندارند. داده‌های بارش برآوردی با استفاده از ماهواره‌ها و داده‌های تولید شده در مراکز تولید داده‌های اقلیمی می‌توانند توزیع فضایی مناسبی از داده‌های بارش در مقیاس وسیع را فراهم آورند. داده‌های GPCC (Global Precipitation Climatology Centre) و APHRODITE (Asian Precipitation - Highly-Resolved) Observational Data Integration Towards Evaluation) از جمله داده‌های بارش هستند که با اجرای کنترل‌های کیفی فراوان روی داده‌های ایستگاه‌های زمینی و سپس درون‌یابی آنها با روش‌های زمین‌آماری و عرضه داده‌ها با دقت مکانی مناسب برای بخشی و یا کل کره زمین صورت می‌گیرد (رضیعی و همکاران، ۲۰۱۲؛ رضیعی و همکاران، ۲۰۱۴). داده‌های ماهواره‌ای TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) و PERSIANN (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks) نیز از جمله منابع اطلاعاتی به‌دست آمده از ماهواره‌ها هستند که توانسته‌اند برآوردهای به‌نسبت دقیقی از مقدار بارش در نقاط گوناگون جهان به‌دست دهند و به همین سبب مورد توجه پژوهشگران کشورهای گوناگون و به‌ویژه مراکز تحقیقاتی بین‌المللی قرار دارند (لیو و همکاران، ۲۰۱۴، پریجنت، ۲۰۱۰). به‌طور کلی، داده‌های شبکه‌بندی شده بارش دارای مزایای بسیاری در مقایسه با منابع زمینی هستند، که می‌توان از جمله به پوشش یکنواخت و پیوسته کره زمین با تفکیک مکانی زیاد، در دسترس بودن رایگان داده‌ها و روزآمد بودن داده‌ها اشاره کرد (ویستی و همکاران، ۱۹۹۸؛ کلینگ و گان، ۲۰۱۰). این داده‌ها را می‌توان در حکم منبعی مناسب و قابل اطمینان برای طیف

گسترده‌ای از پژوهش‌های کاربردی آب‌شناسی مانند مدل‌سازی و پیش‌بینی سیل مورد استفاده قرار داد (ساکهان و همکاران، ۲۰۱۱). طی سال‌های اخیر داده‌های بارش TRMM در بسیاری از تحقیقات اقلیمی و آب‌شناسی در سطح جهان مورد ارزیابی و استفاده قرار گرفته است. چوگامونگ و چو (۲۰۰۸)، به مقایسه داده‌های بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی در تایلند برای دوره آماری ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۷ پرداختند. آنها با مقایسه داده‌های بارش روزانه حاصل از ۱۰۰ باران‌سنج با داده‌های GPCC نشان دادند که مقدار اُریبی GPCC در مقایسه با داده‌های زمینی بسیار اندک (۱/۱۱ درصد) است و این اختلاف با افزایش تعداد باران‌سنج‌ها قابل رفع است. همچنین مقایسه داده‌های ماهواره TRMM با داده‌های باران‌سنجی نشان از افزایش دقت نسخه ۶ این محصول نسبت به نسخه ۵ آن دارد، ولی همچنان این ماهواره در برآورد بارش‌های سنگین ناکارآمد است. فیداس (۲۰۱۰) با مقایسه داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های باران‌سنجی در یونان، دقت شش پایگاه داده‌برداری ماهواره‌ای را مورد ارزیابی قرار داد و روشن ساخت که داده‌های TRMM 3B43 در هر سه مقیاس مکانی (۲/۵، ۱ و ۰/۵ درجه) عملکرد بسیار خوبی دارد. لی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از شاخص‌های آماری مانند مجموع مربع خطا و اُریبی، 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 PERSIANN و CMORPH مقدار بارش حوضه را کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد می‌کنند. فی و همکاران (۲۰۱۴) هفت پایگاه داده بارش از جمله GPCC، CMAP، NCEP، GPCP (Global Precipitation Climatology Project) را در ده حوضه آبریز اصلی چین طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۷ ارزیابی کردند و روشن ساختند که داده‌های GPCC بیشترین همبستگی را با باران‌سنج‌ها دارد و مقدار خطای آن در همه حوضه‌های مورد بررسی بسیار کم

TRMM با داده‌های ایستگاهی در مقیاس سالانه پیدا کردند. رضیئی و همکاران (۲۰۱۱) روند تغییرات داده‌های بارش GPCC را با داده‌های ایستگاهی در ایران مقایسه کردند و نشان دادند که این داده‌ها هماهنگی بسیار خوبی با داده‌های ایستگاهی در نقاط گوناگون کشور دارند. همچنین رضیئی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های بارش GPCC علاوه بر تحلیل توزیع مکانی بارش ماهانه، فصلی و سالانه در کشور، روند تغییرات بارش در کشور را نیز برای دوره زمانی ۲۰۰۹-۱۹۵۱ مورد بررسی قرار دادند. کتیرایی و همکاران (۲۰۱۳) دقت داده‌های بارش سنجش‌گرهای TRMM، PERSIANN و TRMM-3B42 را برای ایران مورد ارزیابی قرار دادند و چنین نتیجه گرفتند که در نواحی با تراکم ایستگاهی کم مانند کوه‌های زاگرس، محصولات سنجش‌گرهای TRMM و PERSIANN برآورد بهتری به دست می‌دهند. معظمی و همکاران (۲۰۱۳) نیز دقت داده‌های روزه سنجش‌گر TRMM را برای ۴۷ مورد بارش فراگیر ایران مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که محصول 3B42V7 نسبت به 3B42RT و PERSIANN دقت بیشتری دارد. همچنین می‌توان به تحقیقات حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۱)، مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳)، دارند و همکاران (۱۳۹۳) نیز اشاره کرد.

هرچند استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های شبکه‌بندی‌شده جهانی جایگزین مناسبی برای مناطق فاقد ایستگاه و مناطق با توزیع ناهمگن ایستگاه‌ها است، درعین حال این منابع نیز با چالش‌هایی مواجه هستند. برآورد غیر مستقیم بارش شاخص‌ترین نقص روش‌های استخراج بارش از تصاویر ماهواره‌ای است و اعمال اصلاحات لازم روزآمد استفاده از این روش‌ها (ترولو و جورج، ۲۰۰۳)، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مانند ایران که دارای رژیم بارشی بسیار بی‌نظمی است، اهمیت زیادی دارد. بنابراین قبل از اینکه داده‌ها و نتایج این منابع به‌منزله ابزار تصمیم‌گیری در یک منطقه به کار رود، باید داده‌های حاصل از سنجش‌گرها و مراکز اقلیمی در مقیاس محلی و کشوری مورد ارزیابی قرار گیرد. پیش از این رضیئی و

و در حد قابل قبولی است. تن و همکاران (۲۰۱۵) داده‌های بارش TRMM, GPCP, PERSIANN, CMORPH و داده‌های زمینی APHRODITE در مقیاس‌های روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه را با داده‌های مشاهداتی در مالزی برای دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که داده‌های GPCP کمترین هماهنگی و داده‌های TRMM 3B42RT و APHRODITE بیشترین هماهنگی را با ایستگاه‌های زمینی دارند. همچنین می‌توان به تحقیقات کولیسون و همکاران (۲۰۰۸)، داینکو و همکاران (۲۰۱۴)، سیدی (۲۰۱۰)، روزانتی و همکاران (۲۰۱۰)، ساکهان و همکاران (۲۰۱۱)، اوچوا و همکاران (۲۰۱۴)، کونتی و همکاران (۲۰۱۴)، هایگن و همکاران (۲۰۱۵)، اسکاگ و همکاران (۲۰۱۵) اشاره کرد.

تفاوت‌های مکانی بارش در ایران تابع عرض جغرافیایی گسترده کشور (بین ۲۵ تا ۴۰ درجه جغرافیایی) و توپوگرافی پیچیده آن است (رضیئی و همکاران، ۲۰۱۴). از این رو پیچیدگی توپوگرافی و گسترش زیاد عرض جغرافیایی سبب شده است تا در هر منطقه از کشور مقدار و زمان بارش متفاوت باشد (مسعودیان، ۱۳۹۱؛ رضیئی و همکاران، ۲۰۱۴). رضیئی و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های بارش روزانه APHRODITE که دارای قدرت تفکیک مکانی زیاد هستند (۲۵/۰ درجه جغرافیایی)، به ترتیب چهار و پنج رژیم بارشی برای فصل‌های بهار، پاییز و زمستان ایران شناسایی کردند. آنها با استفاده از داده‌های روزانه بارش APHRODITE به‌جای داده‌های ایستگاهی توانستند مشکل تراکم نامناسب ایستگاه‌ها در سطح کشور را نیز به نوعی برطرف کنند و اطلاعات بهتری از رژیم‌های بارشی در کشور عرضه سازند. داده‌های بارش ماهواره‌ای مانند TRMM نیز می‌تواند نبود داده‌های روزآمد بارش در ایران را برطرف کند و در تحقیقات اقلیم‌شناسی، آب‌شناسی و منابع آب در کشور مورد استفاده قرار گیرد. جوانمرد و همکاران (۲۰۱۰) داده‌های فصلی و سالانه بارش TRMM را با داده‌های ایستگاهی کشور طی دوره ۲۰۰۶-۱۹۹۸ مورد مقایسه قرار دادند و ارتباط مناسبی بین داده‌های بارش

همکاران (۲۰۱۱، ۲۰۱۴) از داده‌های بارش GPCC برای بررسی خشک‌سالی و تغییرات زمانی و مکانی بارش در ایران استفاده کرده‌اند ولی دقت GPCC در برآورد بارش نقاط گوناگون کشور کمتر مورد آزمون و بررسی قرار گرفته است. همچنین از میزان دقت TRMM در برآورد بارش مناطق گوناگون کشور نیز اطلاع کافی در دست نیست. از این رو هدف از پژوهش پیش‌رو ارزیابی دقت داده‌های شبکه‌بندی شده GPCC و داده‌های ماهواره‌ای TRMM-3B43V7 در برآورد بارش واقعی نقاط گوناگون کشور است که با طیف گسترده‌ای از آزمون‌های آماری به انجام رسیده است. ارزیابی دو پایگاه داده‌ای بارش با ماهیتی کاملاً متفاوت با داده‌های بارش مشاهده‌ای در گستره کل کشور نیز از دیگر ویژه‌گی‌های این پژوهش است که در پژوهش‌های پیشین کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

۲. داده‌ها و روش

۲.۱ داده‌ها

در پژوهش حاضر از داده‌های بارش ماهانه TRMM-3B43V7 و GPCC ۴۶ ایستگاه همدیدی کشور طی دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۸ استفاده شده است. در ابتدا با مراجعه به سازمان هواشناسی، داده‌های بارش ۴۶ ایستگاه همدیدی با پراکنده‌گی مناسب در پهنه ایران زمین (شکل ۱) دریافت و پردازش شد. داده‌های شبکه‌بندی شده بارش GPCC با قدرت تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه جغرافیایی (شکل ۱-الف) و داده‌های سنجنش گر TRMM-3B43V7 با قدرت تفکیک مکانی 0.25×0.25 درجه جغرافیایی (شکل ۱-ب) نیز از سایت‌های مربوط دریافت شد و مورد استفاده قرار گرفت. ماهواره TRMM در ۲۸ نوامبر ۱۹۹۷ با همکاری سازمان فضایی دو کشور آمریکا و ژاپن به فضا پرتاب شد. سنجنش‌گرهای سنجنش بارش در ماهواره TRMM شامل رادار بارش، تصویرگر میکروویو TRMM و اسکنرهای مرئی و فرسرخ است. محصولات این ماهواره در سه سطح طبقه‌بندی می‌شود و محصولات سطح ۳ را محصولات اقلیمی می‌نامند. محصولات اقلیمی TRMM خروجی‌های گوناگونی دارد که در این تحقیق از محصول

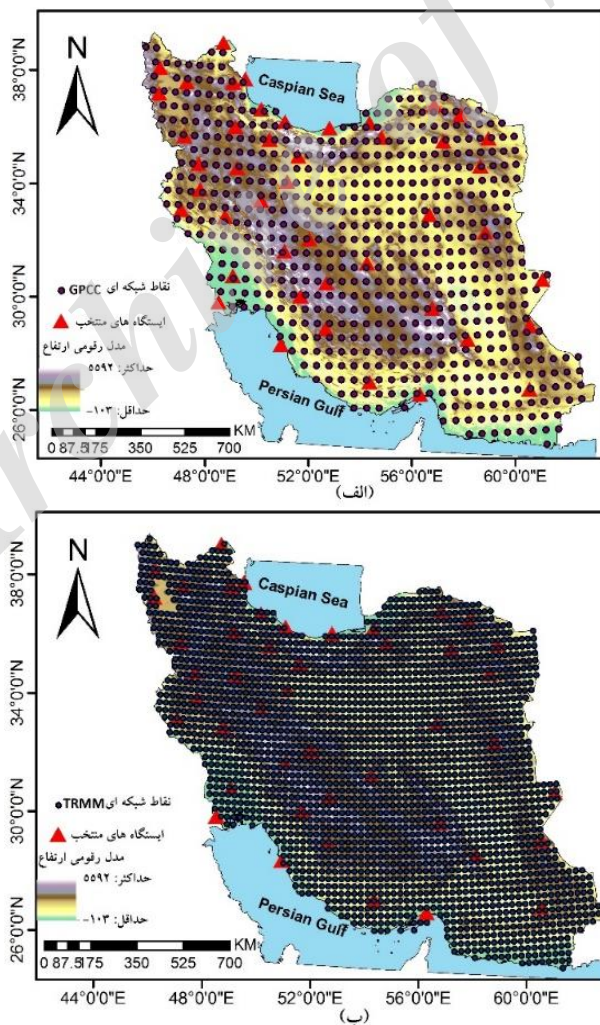
داده‌های GPCC که با درون‌یابی داده‌های ماهانه بارش ایستگاه‌های زمینی سرتاسر کره زمین (۷۰۰۰ تا ۸۰۰۰ ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی) تولید می‌شوند نیز در سه تفکیک مکانی 2.5×2.5 ، 1.0×1.0 و 0.5×0.5 درجه جغرافیایی هر دو سال یک‌بار به‌روز و به‌صورت رایگان در اختیار پژوهشگران جهان قرار می‌گیرد. این داده‌ها از ۱۹۰۱ به بعد را پوشش می‌دهد و هر دو سال یک‌بار نسخه جدیدی از آن عرضه می‌شود که در آن ایرادهای موجود در نسخه‌های قبلی شناسایی و حذف می‌شود. برای تولید این داده‌ها کوشش می‌شود تا از حداکثر ایستگاه‌های ممکن که کیفیت لازم را دارند، استفاده شود. علاوه بر این، GPCC از بسیاری از منابع اطلاعاتی دیگر مانند؛ داده‌های تاریخی اقلیمی (GHNC)، داده‌های سازمان غذا و کشاورزی (FAO) و داده‌های بارش واحد تحقیقات اقلیمی دانشگاه ایست آنجلیا در شهر نوریچ انگلستان (CRU) برای افزایش کیفیت داده‌های بارش تولیدی خود استفاده می‌کند تا داده‌های تولید شده هر چه بیشتر با بارش نقاط مورد پیش‌بینی همخوانی داشته باشد (پیرا و همکاران، ۲۰۱۱). برای اطلاعات بیشتر در زمینه چگونگی تولید داده‌های GPCC به ردولف و اشنايدر (۲۰۰۵) و اشنايدر همکاران (۲۰۰۸) مراجعه کنید.

۲.۲ روش‌ها

در تحقیق حاضر از پنج آزمون آماری برای مقایسه و ارزیابی دقت داده‌های TRMM-3B43V7 و GPCC در برابر داده‌های مشاهده‌ای بارش در ۴۶ ایستگاه همدیدی کشور

گوناگون، ماتریس داده‌های مشاهده‌ای (ایستگاهی) با ماتریس داده‌های TRMM-3B43V7 و GPCC مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت و میزان خطای هر یک از این دو پایگاه داده در پیش‌بینی بارش ایستگاه‌های مورد بررسی شناسایی شد، به صورت نقشه درآمد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای ارزیابی دقت برآورد بارش هر یک از پایگاه‌های TRMM و GPCC در محل هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی (شکل ۱) از آماره‌های ضریب تعیین (r^2)، مجذور میانگین مربع خطا (Rmse)، شیب خط (Slope)، اُریبی (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 (موریاسی، ۲۰۰۷).

استفاده شد. پس از دریافت و پردازش داده‌ها، سری زمانی بارش ماهانه نقاط گوناگون شبکه (شکل ۱) ساخته و آماده تجزیه و تحلیل شد. از آنجا که هدف از این پژوهش ارزیابی دقت داده‌های بارش TRMM-3B43V7 و GPCC در پیش‌بینی بارش این ۴۶ نقطه بوده است، مقدار بارش هر یک از این دو پایگاه در نزدیک‌ترین نقطه به هر ایستگاه استخراج شد و برای مقایسه مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب سه ماتریس به ابعاد ۱۵۶×۴۶ تشکیل و مورد استفاده قرار گرفت (یک ماتریس برای هر یک از سه پایگاه ایستگاهی، TRMM و GPCC). در این ماتریس‌ها عدد ۱۵۶ تعداد مشاهده‌ها در ماه‌های پیاپی از ۱۳ سال مورد تحقیق را نشان می‌دهد (۱۲×۱۳) و عدد ۴۶ 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



شکل ۱. توزیع نقاط شبکه‌بندی شده (الف) GPCC و (ب) TRMM-3B43V7 در سطح کشور، مثلث‌های سرخ‌رنگ پراکنندگی ایستگاه‌های هم‌مدیدی مورد استفاده در تحقیق را نشان می‌دهند.

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (o_i - p_i)^2}}{\bar{o}_i} \quad (۳)$$

ضریب کارایی (EF) که از رابطه (۴) به دست می آید نیز یکی از مهم ترین و دقیق ترین آماره هایی است که بیشترین کاربرد را در مقایسه مدل ها با مقادیر مشاهده ای دارد. ضریب کارایی (EF) در واقع بزرگی نسبی واریانس باقی مانده ها را در مقایسه با واریانس داده های مشاهده ای نشان می دهد. با توجه به رابطه (۴)، این آماره از تقسیم میانگین مربع خطای مدل بر واریانس داده های مشاهده ای به دست می آید. از این رو، چنانچه واریانس باقی مانده ها برابر با واریانس داده های مشاهده باشد، مقدار ضریب کارایی برابر با یک خواهد بود. در مقابل، وقتی که مقدار EF برابر با صفر باشد یا به سمت منفی گرایش پیدا کند، نشان دهنده این است که میانگین مشاهدات پیش بینی بهتری از مدل به دست می دهد (موریاسی، ۲۰۰۷؛ رضیعی و پریرا، ۲۰۱۳). ضریب کارایی به صورت بی بعد نشان داده می شود و مقدار آن بین منفی بی نهایت و مثبت یک است. مقدار منفی این ضریب نشان دهنده دقت بسیار کم مدل در پیش بینی مقادیر مشاهده ای است و هر چه به یک نزدیک تر باشد بیانگر دقت بسیار زیاد مدل است.

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2} \quad (۴)$$

در رابطه های (۲)، (۳) و (۴)، مقدار پیش بینی شده، o_i مقدار مشاهده شده، \bar{o}_i میانگین مقادیر مشاهده شده، \bar{p}_i میانگین مقادیر پیش بینی شده و N تعداد داده ها یا طول سری زمانی است.

آماره دیگری که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است آماره اُریبی (BIAS) است که میانگین تمایل مدل را در بیش برآورد کردن یا کم برآورد کردن مقادیر مشاهده ای نشان می دهد. مقدار اُریبی برابر با صفر نشان دهنده این است که مدل به خوبی توانسته است مقادیر مشاهده ای را پیش بینی کند. مقادیر مثبت و منفی نیز به ترتیب بیانگر بیش برآورد کردن و کم برآورد کردن مدل است.

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i - o_i) \quad (۵)$$

ضریب تعیین که به شکل رابطه (۱) بیان می شود یکی از مهم ترین معیارهای ارزیابی ارتباط میان دو متغیر p و o است که به صورت بی بعد نمایش داده می شود. این ضریب، ارتباط مستقیمی با ضریب همبستگی دارد؛ به این ترتیب که با جذر گرفتن از ضریب تعیین می توان ضریب همبستگی میان دو سری مورد بررسی را به دست آورد. همانند ضریب همبستگی هر چه مقدار ضریب تعیین به یک نزدیک تر باشد نشان دهنده ارتباط قوی تر میان دو متغیر o و p است (موریاسی، ۲۰۰۷).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N o_i p_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N o_i^2 \sum_{i=1}^N p_i^2}} \quad (۱)$$

ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) واریانس خطای مدل را در پیش بینی مقادیر واقعی نشان می دهد. بنابر این هر چه مقدار این آماره به صفر نزدیک تر باشد نشان دهنده خطای کمتر مدل در پیش بینی مقادیر مشاهده ای است. از آنجا که مقدار این آماره به دامنه تغییرات داده ها وابسته است نمی توان مقدار RMSE به دست آمده از دو مقایسه متفاوت را با هم مقایسه کرد. همچنین نمی توان گفت که کدام مقدار RMSE نشان دهنده کفایت مدل است. این مسئله به این موضوع بر می گردد که مقدار RMSE متناسب با دامنه تغییرات سری های مورد بررسی از موضوعی به موضوعی دیگر متفاوت خواهد بود. برای مثال در مقایسه بارش TRMM و GPCC با داده های زمینی مقدار RMSE در ایستگاه هایی مانند رشت و انزلی که مقادیر بارش بیشتری دارند همواره بزرگ تر از مقدار به دست آمده در ایستگاه هایی مانند یزد و زابل است که مقادیر بارشی کمتری دارند. برای برطرف کردن این مشکل بهتر است مقدار RMSE به صورت استاندارد شده عرضه شود تا بتوان مقدار RMSE به دست آمده در نقاط گوناگون را با هم مقایسه کرد. به همین علت در این تحقیق از آماره دیگری به نام NRMSE نیز استفاده شده است که به شکل رابطه (۳) نمایش داده می شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (o_i - p_i)^2} \quad (۲)$$

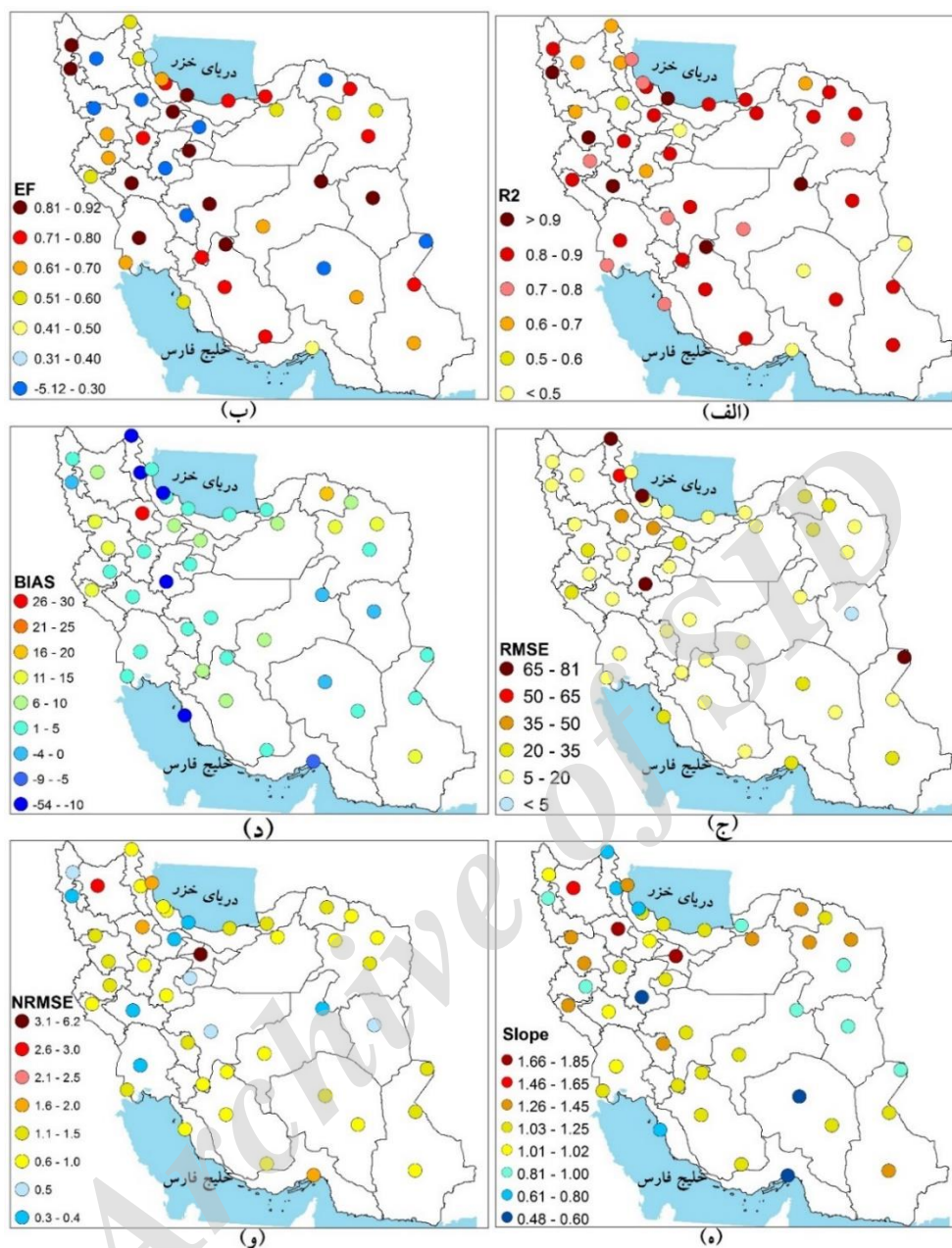
۳. نتایج

۳.۱ ارزیابی داده‌های بارش سنجش گر TRMM

شکل ۲ دقت داده‌های بارش به‌دست آمده از تصاویر سنجش گر TRMM-3B43V7 را در مقایسه با داده‌های بارش مشاهده‌ای در ایستگاه‌های همدیدی کشور نشان می‌دهد. بررسی مقادیر ضریب تعیین (R^2) بین بارش برآورد شده با سنجش گر TRMM-3B43V7 و داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه‌ها، بیانگر دقت مناسب بارش برآوردی با این سنجش گر در بخش‌های گوناگون ایران است. با توجه به شکل ۲-الف ملاحظه می‌شود که مقدار R^2 در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی بیش از ۰/۷ است و این مقدار در برخی از ایستگاه‌ها از ۰/۹ نیز فراتر می‌رود؛ که نشان از دقت قابل قبول داده‌های TRMM-3B43V7 در برآورد مقدار بارش در مناطق گوناگون کشور دارد. مقدار R^2 فراتر از ۰/۹ در ایستگاه‌هایی مانند رشت و ارومیه نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد واریانس موجود در داده‌های بارش این ایستگاه‌ها با داده‌های TRMM-3B43V7 توصیف می‌شود. برخلاف دقت خوب TRMM-3B43V7 در برآورد بارش در بسیاری از ایستگاه‌های کشور، دقت این سنجش گر در برآورد بارش برخی از ایستگاه‌ها مانند بندرعباس، زابل و تهران ضعیف‌تر است و مقدار ضریب تعیین در این ایستگاه‌ها به کمتر از ۰/۶ کاهش می‌یابد. اگر مقدار ضریب تعیین بیش از ۰/۶ را در حکم آستانه ارتباط قابل قبول بین داده‌های ایستگاهی و سنجش گر TRMM-3B43V7 در نظر بگیریم، می‌توان گفت که دقت داده‌های TRMM-3B43V7 در اکثر مناطق ایران در سطح بسیار خوبی قرار دارد و می‌توان از این داده‌ها در کنار داده‌های واقعی بارش ایستگاه‌ها استفاده کرد. شکل ۲-ب نیز گواه بر کارایی سنجش گر TRMM-3B43V7 در پیش‌بینی قابل قبول بارش در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی است. با توجه به شکل ۲-ب مقدار EF در بیشتر ایستگاه‌ها بیشتر از ۰/۶ است که بیانگر هماهنگی خوب داده‌های TRMM-3B43V7 با داده‌های زمینی در این ایستگاه‌ها است. به‌رغم توان زیاد TRMM-3B43V7 در پیش‌بینی قابل قبول بارش

در بسیاری از ایستگاه‌ها، مقدار بسیار کم EF در برخی از ایستگاه‌ها (مانند تهران، زنجان زابل) نشان از توانی مدل در پیش‌بینی بارش‌های فرین در این ایستگاه‌ها دارد. شکل ۲-ج نیز نشان می‌دهد که مقدار RMSE در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی کمتر از ۵ میلی‌متر است که بیانگر انحراف بسیار ناچیز بارش پیش‌بینی شده با TRMM-3B43V7 در مقایسه با بارش واقعی در این دسته از ایستگاه‌ها است. فقط در برخی از ایستگاه‌های ساحلی و کوهپایه‌ای البرز مقدار RMSE رقم‌های بزرگ‌تری را نشان می‌دهد که با توجه به رقم بزرگ ضریب تعیین و EF در این ایستگاه‌ها (شکل‌های ۲-الف و ۲-ب) می‌توان گفت که بزرگ بودن مقدار RMSE در این ایستگاه‌ها دلیلی بر کم بودن دقت مدل در پیش‌بینی بارش نیست. با توجه به شکل ۲-د نیز مشاهده می‌شود که آریبی مقادیر پیش‌بینی شده در بیشتر ایستگاه‌ها بین ۱۰ و ۱۰- است که حکایت از دقت خوب مدل در پیش‌بینی مقدار واقعی بارش در این ایستگاه‌ها دارد. فقط در برخی ایستگاه‌های ساحلی ناحیه خزری (انزلی)، منطقه شمال‌غربی (اردبیل، پارس‌آباد) و جنوبی (بندرعباس و بوشهر) کشور مقدار زیاد آریبی نشانگر کم‌برآورد کردن بارش با مدل در این ایستگاه‌ها است. در مقابل در برخی از ایستگاه‌های شمال‌غربی و شمال‌شرقی کشور مانند زنجان و بجنورد، مقدار بارش بیشتر از مقدار واقعی برآورد شده است. شکل ۲-ه نیز نشان می‌دهد که در اکثر ایستگاه‌ها خط وایزش به‌خوبی از میان داده‌ها عبور کرده است و فاصله نقاط از خط وایزش (خط ۱:۱) در سطح قابل قبولی قرار دارد. با توجه به شکل ۲-ه ملاحظه می‌شود که در تعداد قابل توجهی از ایستگاه‌ها، مقدار شیب خط بین ۰/۹۵ تا ۱/۰۵ است که این نشان‌دهنده ارتباط خوب میان هر دو داده و خطای اندک TRMM-3B43V7 در برآورد بارش این ایستگاه‌ها است. در تأیید شکل‌های ۲-الف تا ۲-ه، مقدار نرمال شده مربع خطا (شکل ۲-و) نیز به‌خوبی نشان می‌دهد که مقدار شاخص در اکثر ایستگاه‌ها رقمی برابر با ۱ یا کوچک‌تر از ۱ است و فقط در تعداد محدودی از ایستگاه‌ها مانند تهران و تبریز این مقدار بالاتر از ۱/۵ است.

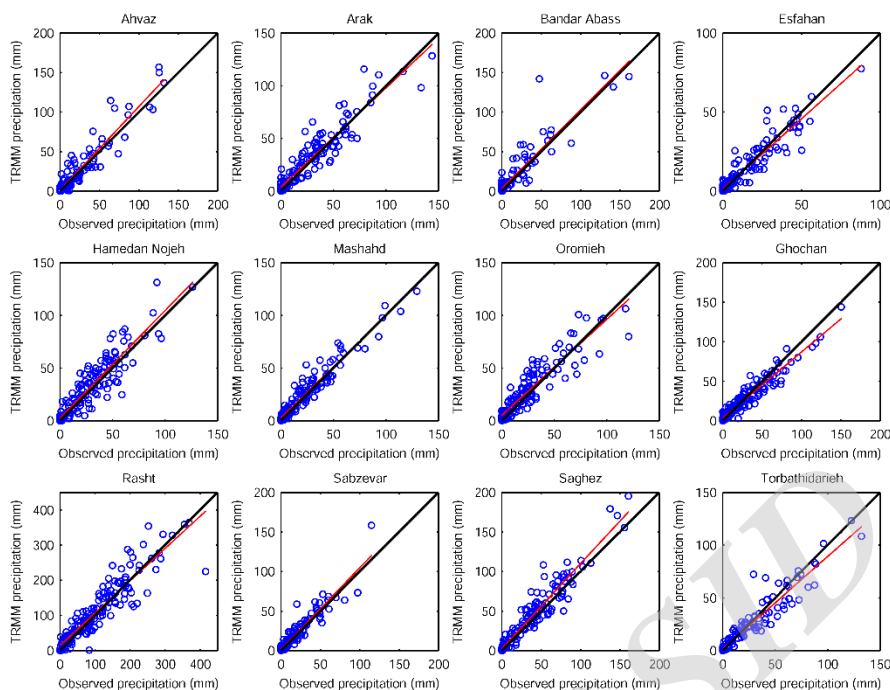
شکل ۲ دقت داده‌های بارش به‌دست آمده از تصاویر سنجش گر TRMM-3B43V7 را در مقایسه با داده‌های بارش مشاهده‌ای در ایستگاه‌های همدیدی کشور نشان می‌دهد. بررسی مقادیر ضریب تعیین (R^2) بین بارش برآورد شده با سنجش گر TRMM-3B43V7 و داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه‌ها، بیانگر دقت مناسب بارش برآوردی با این سنجش گر در بخش‌های گوناگون ایران است. با توجه به شکل ۲-الف ملاحظه می‌شود که مقدار R^2 در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی بیش از ۰/۷ است و این مقدار در برخی از ایستگاه‌ها از ۰/۹ نیز فراتر می‌رود؛ که نشان از دقت قابل قبول داده‌های TRMM-3B43V7 در برآورد مقدار بارش در مناطق گوناگون کشور دارد. مقدار R^2 فراتر از ۰/۹ در ایستگاه‌هایی مانند رشت و ارومیه نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد واریانس موجود در داده‌های بارش این ایستگاه‌ها با داده‌های TRMM-3B43V7 توصیف می‌شود. برخلاف دقت خوب TRMM-3B43V7 در برآورد بارش در بسیاری از ایستگاه‌های کشور، دقت این سنجش گر در برآورد بارش برخی از ایستگاه‌ها مانند بندرعباس، زابل و تهران ضعیف‌تر است و مقدار ضریب تعیین در این ایستگاه‌ها به کمتر از ۰/۶ کاهش می‌یابد. اگر مقدار ضریب تعیین بیش از ۰/۶ را در حکم آستانه ارتباط قابل قبول بین داده‌های ایستگاهی و سنجش گر TRMM-3B43V7 در نظر بگیریم، می‌توان گفت که دقت داده‌های TRMM-3B43V7 در اکثر مناطق ایران در سطح بسیار خوبی قرار دارد و می‌توان از این داده‌ها در کنار داده‌های واقعی بارش ایستگاه‌ها استفاده کرد. شکل ۲-ب نیز گواه بر کارایی سنجش گر TRMM-3B43V7 در پیش‌بینی قابل قبول بارش در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی است. با توجه به شکل ۲-ب مقدار EF در بیشتر ایستگاه‌ها بیشتر از ۰/۶ است که بیانگر هماهنگی خوب داده‌های TRMM-3B43V7 با داده‌های زمینی در این ایستگاه‌ها است. به‌رغم توان زیاد TRMM-3B43V7 در پیش‌بینی قابل قبول بارش



شکل ۲. مقایسه داده‌های بارش سنجنشگر TRMM-3B43V7 با بارش واقعی ایستگاه‌های همدیدی منتخب در سطح کشور با استفاده از شاخص‌های آماری: (الف) ضریب تعیین (R^2)، (ب) کارایی مدل (EF)، (ج) مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)، (د) شاخص آریبی (BIAS)، (ه) شیب خط (Slope) و (و) نمره استاندارد شاخص مجذور میانگین مربع خطا (NRMSE).

داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های TRMM-3B43V7 در ایستگاه‌های سبزوار، اهواز، بندرعباس، مشهد سقر و اصفهان دیده می‌شود که با توجه به پراکندگی این ایستگاه‌ها در مناطق گوناگون اقلیمی کشور می‌توان برآورد TRMM-3B43V7 از بارش مناطق گوناگون کشور را خوب ارزیابی کرد.

رابطه و ایازشی بین بارش پیش‌بینی شده با TRMM-3B43V7 و بارش مشاهده‌ای برای ۱۲ ایستگاه که بالاترین ضریب کارایی را در شکل ۲ نشان دادند در شکل ۳ نمایش داده شده است. پراکندگی نقطه‌های پیرامون خط وایازش در همه ایستگاه‌ها بیانگر ارتباط خوب بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های TRMM-3B43V7 در این ایستگاه‌ها است. بهترین ارتباط بین



شکل ۳. خط وایزش بین داده‌های مشاهده‌ای و TRMM-3B43V7 در ایستگاه‌های با بیشترین ضریب کارایی

خشکی در یک فاصله کوتاه و نقش فعالیت‌های همرفتی در این مناطق از جمله علت‌هایی است که برآورد درست بارش را بسیار سخت می‌کند.

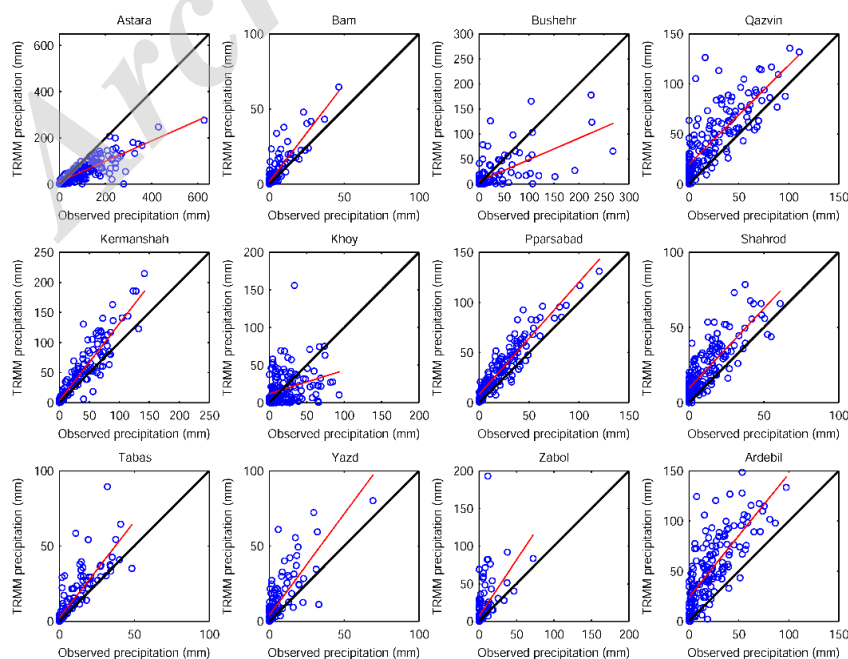
۳.۲. ارزیابی داده‌های بارش GPCC

مقایسه آماری داده‌های بارش GPCC با داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه‌های همدیدی کشور در شکل ۵ نشان داده شده است. مقادیر r^2 بزرگ‌تر از ۰/۸ در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی نشان از همبستگی بسیار مناسب بین داده‌های GPCC و ایستگاه‌های زمینی در بیشتر نقاط ایران دارد (شکل ۴-الف). به غیر از تعداد محدودی ایستگاه مانند یاسوج، بم و یزد که در آنها مقدار ضریب تعیین کمتر از ۰/۷ است در بقیه ایستگاه‌ها این مقدار بسیار بزرگ است و نشان از این دارد که بیش از ۷۰ درصد واریانس بارش در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی با داده‌های GPCC قابل توصیف است. این همبستگی قوی در شکل ۵-ب نیز تأیید می‌شود. با توجه به شکل ۵-ب ملاحظه می‌شود که در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی مقدار EF بیشتر از ۰/۷ است و این نشان‌دهنده ارتباط

شکل ۴ نیز رابطه وایزشی بین داده‌های مشاهده‌ای و TRMM-3B43V7 را برای ایستگاه‌هایی نشان می‌دهد که کمترین ضریب کارایی را در شکل ۲ به نمایش گذاشته‌اند. با توجه به شکل ۴ ملاحظه می‌شود که برای بیشتر این ایستگاه‌ها توده نقاط پیرامون خط وایزش پراکنده شده‌اند که این نشان‌دهنده همبستگی خوب میان داده‌های مشاهده‌ای و TRMM-3B43V7 است. با این حال فاصله خط وایزش و توده نقاط از خط ۱:۱ در همه این ایستگاه‌ها به وضوح دیده می‌شود. در ایستگاه‌های غربی کشور مانند اردبیل و کرمانشاه و همچنین در ایستگاه‌های یزد، بم، طبس و شاهرود در مرکز و شرق کشور، خط وایزش بالاتر از خط ۱:۱ قرار گرفته است که بیانگر بیش‌برآورد شدن مقدار واقعی بارش در این ایستگاه‌ها است. این مورد پیش‌تر نیز در شکل ۲ نمایش داده شد. با توجه به شکل ۴ همچنین ملاحظه می‌شود که TRMM-3B43V7 در ایستگاه‌های بوشهر و آستارا که در نواحی مرطوب شمالی و جنوبی قرار دارند، بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. پیچیدگی توپوگرافی، درهم‌تنیدگی شرایط هوایی دریا و

است. براساس این نقشه همچنین می‌توان دریافت که مقدار بارش برآوردی GPCC در ایستگاه‌هایی که در آنها بیش برآورد صورت گرفته است، رقم بسیار بزرگی نیست. اطلاعات عرضه شده در شکل ۵-۵ نیز کاملاً هماهنگ با شکل ۵-۵ است. با توجه به این شکل می‌توان گفت که مقدار انحراف از خط ۱:۱ در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی کمتر از ۰/۰۵ است و همه نقاط، پیرامون خط وایزش و یا با فاصله‌ای اندک از آن قرار گرفته‌اند. براساس این شکل مقدار بارش برآورد شده با GPCC در ایستگاه‌های ناحیه خزری بسیار کمتر از مقدار واقعی این ایستگاه‌ها است که این مسئله بیشتر ناشی از ناتوانی GPCC در برآورد بارش‌های فرین در این ناحیه است. با توجه به این شکل همچنین می‌توان دریافت که مقدار بارش برآورد شده در برخی از ایستگاه‌های منطقه شمال غرب کشور کمی بیش از بارش واقعی این ایستگاه‌ها است. پراکندگی مکانی نمایه مربع خطای استاندارد شده که در شکل ۵ و نمایش داده شده است بیانگر خطای اندک GPCC در برآورد بارش در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی است. با توجه به این شکل مقدار خطا در اکثر ایستگاه‌ها کمتر از واحد است و فقط در دو ایستگاه یزد و بم مقدار خطا بزرگ‌تر از ۲ است.

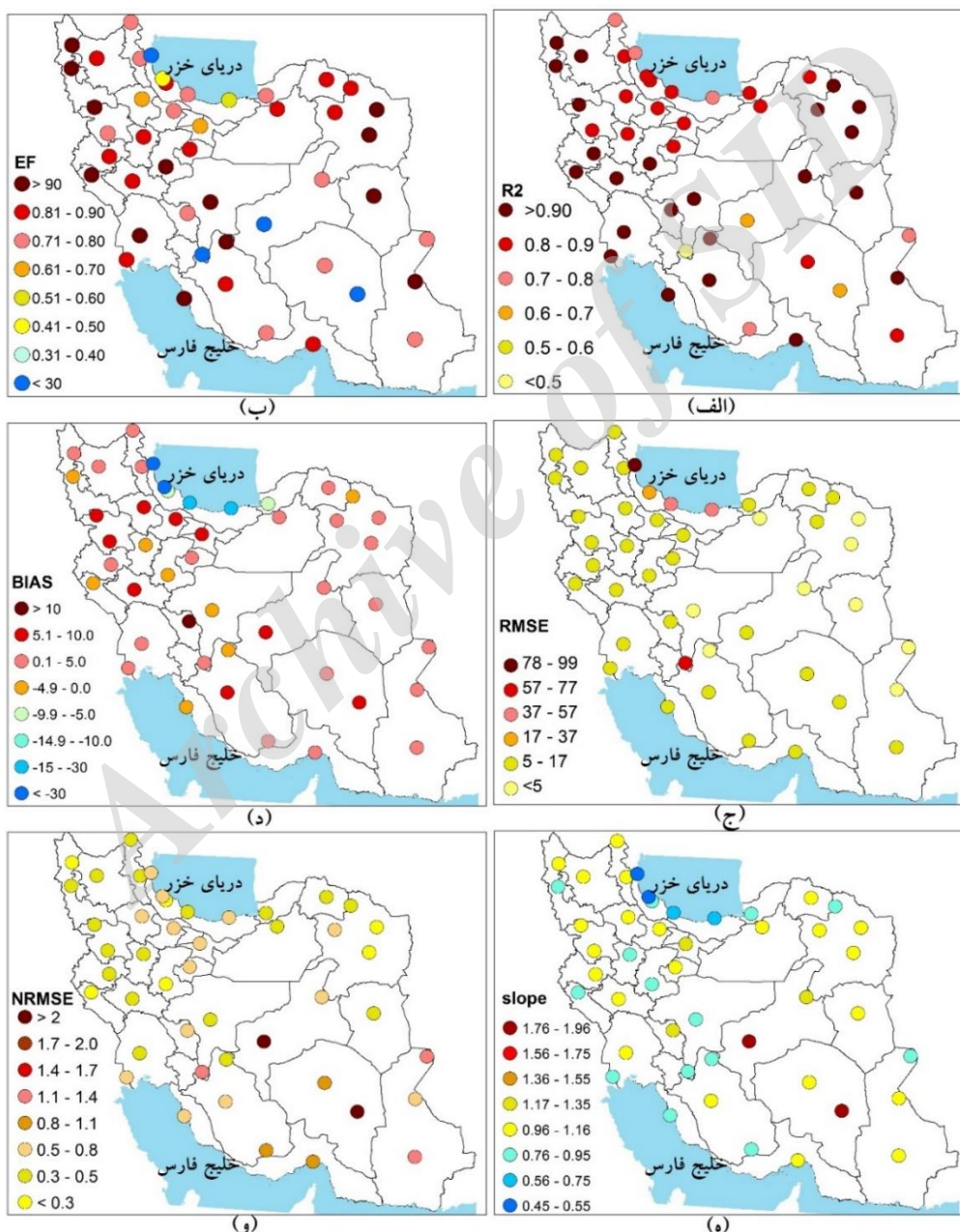
خوب میان داده‌های GPCC و داده‌های مشاهده‌ای در این دسته از ایستگاه‌ها است. رقم بزرگ EF در این ایستگاه‌ها همچنین نشان‌دهنده توان زیاد GPCC در برآورد داده‌های فرین بارش در این ایستگاه‌ها است. مقدار کوچک EF در ایستگاه‌های ساحلی ناحیه خزری نشان می‌دهد که اگر چه GPCC هبستگی خوبی با داده‌های بارش ایستگاه‌های این ناحیه دارد (شکل ۵-۵ الف) ولی در برآورد درست داده‌های فرین بارش در این ایستگاه‌ها ناتوان است. مقدار کوچک RMSE در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی (شکل ۵-۵ ج) نیز نشان‌دهنده دقت خوب مدل در برآورد درست بارش در این ایستگاه‌ها است. مقدار زیاد RMSE در ایستگاه‌های ناحیه خزری ناشی دقت کم مدل نیست بلکه دامنه بارش‌های این منطقه رقم‌های بزرگی را نشان می‌دهد و در نتیجه دامنه تغییرات RMSE در هر ایستگاه تابعی از دامنه تغییرات بارش در آن ایستگاه است. شکل ۵-۵ د نیز نشان می‌دهد که انحراف مقادیر بارش GPCC از بارش مشاهده‌ای در بیشتر ایستگاه‌های هم‌مدیدی کشور بسیار کم و بین ± 5 میلی‌متر است. با توجه به این شکل مقدار بارش برآوردی GPCC در ایستگاه‌های ساحلی دریای خزر کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده در این ایستگاه‌ها



شکل ۴. خط وایزش بین داده‌های مشاهده‌ای و TRMM-3B43V7 در ایستگاه‌های با کمترین ضریب کارایی

تا حد زیادی با شاخص EF نیز تأیید می‌شود. اگر رقم ۰/۶ را درحکم آستانه قابل قبول این شاخص در نظر بگیریم، فقط شش ایستگاه یاسوج، بم، آستارا، رشت، ساری و کاشان دارای دقت کمی هستند و در سایر نواحی ایران دقت داده‌های GPCC در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده بسیار زیاد است.

به‌طور کلی دقت داده‌های شبکه‌بندی شده GPCC در نیمه شمالی و غربی ایران در مقایسه با نیمه جنوبی و شرقی بیشتر است که این خود از تمرکز ایستگاه‌های با مقادیر ضریب تعیین بالاتر از ۰/۹ در شمال شرق، غرب میانه و گوشه شمال غرب ایران پیدا است. در دامنه‌های البرز نیز ضریب تعیین غالب بین ۰/۸ تا ۰/۹ است که بیانگر دقت مناسب داده‌های GPCC در این مناطق است. این وضعیت

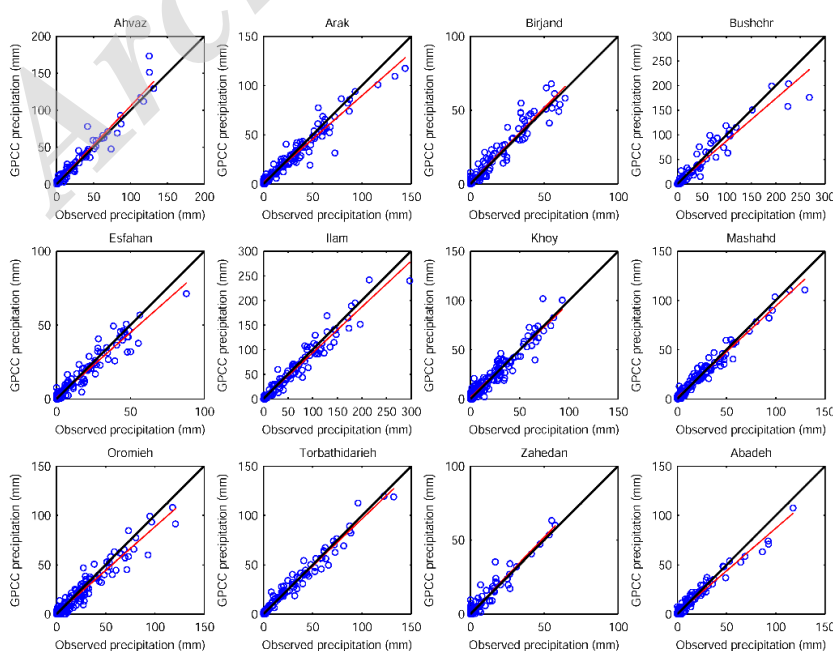


شکل ۵. مقایسه داده‌های بارش شبکه‌بندی شده GPCC با بارش واقعی ایستگاه‌های هم‌مدیدی منتخب در سطح کشور با استفاده از شاخص‌های آماری: (الف) ضریب تعیین (R^2)، (ب) کارایی مدل (EF)، (ج) مجذور میانگین مربع خطا (RMSE)، (د) شاخص آریبی (BIAS)، (ه) شیب خط (Slope)، و (و) نمره استاندارد شاخص مجذور میانگین مربع خطا (NRMSE).

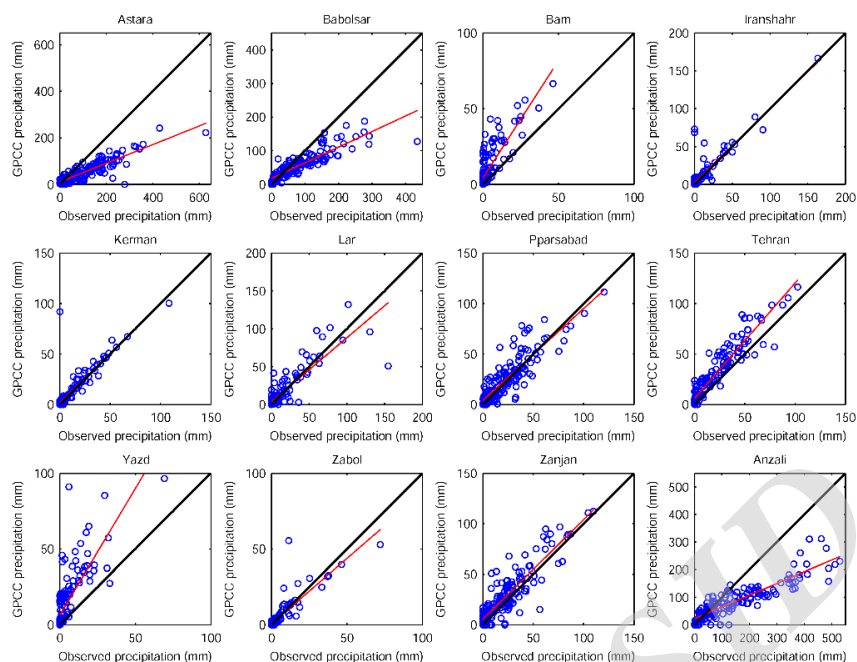
غربی و مرکزی کشور مانند زنجان، تهران و بم خط وایزش بالاتر از خط ۱:۱ قرار گرفته است که بیانگر بیش‌برآورد شدن مقدار واقعی بارش در این ایستگاه‌ها است. این مورد پیش‌تر نیز در شکل ۵ نمایش داده شد. با وجود این هرچند در این ایستگاه‌ها مقادیر بیش‌برآوردی مشاهده می‌شود ولی با توجه به اینکه همه نقاط در راستای خط همبستگی قرار دارند، می‌توان با استفاده از رابطه آماری بین داده‌های ایستگاهی و مدل، مقادیر بارش برآوردی GPCC را برای این ایستگاه‌ها و ایستگاه‌های مشابه اصلاح و به داده‌های ایستگاهی نزدیک کرد. با توجه به شکل ۵ همچنین ملاحظه می‌شود که مقدار بارش GPCC در ایستگاه‌های انزلی، آستارا و بابل سر که نماینده ناحیه مرطوب خزری هستند، همانند مقادیر بارش سنجش گر TRMM بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است. همان‌طور که در قسمت قبل بیان شد علت اصلی کم‌برآوردی بارش در این ناحیه علاوه بر پیچیدگی توپوگرافی منطقه و شیب شدید آن در یک فاصله کوتاه، به تعداد اندک و پراکنده ایستگاه‌های هواشناسی منطقه که GPCC برای تولید داده‌ها از آن بهره برده است نیز مربوط می‌شود.

رابطه وایزشی بین بارش پیش‌بینی شده با GPCC و بارش مشاهده‌ای برای ۱۲ ایستگاه که بزرگ‌ترین ضریب کارایی را در شکل ۵-ب نشان دادند در شکل ۶ نمایش داده شده است. پراکندگی نقاط پیرامون خط وایزش در همه ایستگاه‌ها بیانگر ارتباط خوب بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های GPCC در این ایستگاه‌ها است. بهترین ارتباط بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های GPCC در ایستگاه‌های اهواز، اراک، خوی، تربت حیدریه و زاهدان دیده می‌شود که با توجه به پراکندگی این ایستگاه‌ها در مناطق گوناگون اقلیمی کشور می‌توان برآورد GPCC از بارش مناطق گوناگون کشور را خوب ارزیابی کرد.

شکل ۷ نیز رابطه وایزشی بین داده‌های مشاهده‌ای و GPCC را برای ایستگاه‌هایی نشان می‌دهد که کمترین ضریب کارایی را در شکل ۵-ب به نمایش گذاشته‌اند. با توجه به شکل ۷ ملاحظه می‌شود که برای بیشتر این ایستگاه‌ها توده نقاط پیرامون خط وایزش پراکنده شده‌اند که نشان‌دهنده همبستگی خوب بین داده‌های مشاهده‌ای و GPCC است. با این حال فاصله خط وایزش و توده نقاط از خط ۱:۱ در همه این ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های کرمان و ایرانشهر به روشنی دیده می‌شود. در ایستگاه‌های



شکل ۶. خط وایزش بین داده‌های مشاهده‌ای و GPCC در ایستگاه‌های با بزرگ‌ترین ضریب کارایی



شکل ۷. خط وایزش بین داده‌های مشاهده‌ای و GPCC در ایستگاه‌های با کمترین ضریب کارایی

۴. بحث

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که هر دو داده GPCC و TRMM-3B43V7 در پیش‌بینی بارش برای مناطق گوناگون کشور دقت مناسبی دارند. مقایسه شکل ۵ج با شکل ۳ج نشان می‌دهد که زمان‌های بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی داده‌های GPCC و TRMM-3B43V7 تقریباً قرینه یکدیگر هستند. با توجه به اینکه داده‌های بارش TRMM-3B43V7 با سنجش‌گرهای ماهواره‌ای اندازه‌گیری و با داده‌های زمینی تنظیم می‌شود، دارای دقت مناسبی است. از این‌رو هماهنگی خوب بین داده‌های TRMM-3B43V7 با داده‌های مشاهده‌ای امیدها را برای پیشرفت‌های بیشتر در فناوری ماهواره‌ها و افزایش دقت پیش‌بینی بارش با آنها را دوچندان می‌کند. درخصوص TRMM-3B43V7، در صورت چشم‌پوشی از اندک مواردی که در آن ممکن است پیش‌بینی درستی از بارش‌های فرین برخی ایستگاه‌ها به‌دست ندهد، می‌توان گفت که برآورد بسیار خوبی از بارش در همه ایستگاه‌های مورد بررسی عرضه می‌کند. با توجه به پیش‌بینی تقریباً خوب آن در بیشتر ایستگاه‌ها و نیز با توجه به روزآمد بودن این داده‌ها و پوشش مکانی و زمانی بسیار خوب آن می‌توان از

در این پژوهش همچنین دقت برآورد بارش ماه‌های گوناگون با هر دو پایگاه GPCC و TRMM-3B43V7 مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به حجم زیاد مقاله از آوردن شکل‌های مربوط خودداری شده است. بررسی‌های ماهانه روشن ساخت که مقادیر بارش برآوردی با TRMM-3B43V7 برای ماه‌های سرد سال و درواقع زمانی که در بیشتر مناطق کشور بارش دریافتی در حد قابل‌توجهی است، بیشتر برآورد شده است. درحالی‌که مقدار بارش برای برخی از ماه‌های گرم سال و نیز ماه‌های اکتبر و نوامبر کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است. باوجود این می‌توان گفت که مقدار بارش برآورد شده با TRMM-3B43V7 در همه ماه‌های سال با مقدار مشاهده‌ای هماهنگ است و این سنجش‌گر به‌خوبی روند تغییرات زمانی بارش در کشور را شبیه‌سازی می‌کند. بررسی داده‌های بارش ماهانه GPCC نیز نشان داد که مقدار بارش برآورد شده این پایگاه در اغلب ماه‌های سال برابر با بارش مشاهده‌ای و یا کمی بیشتر از آن است و فقط در ماه‌های اوت تا دسامبر GPCC بارش واقعی ایستگاه‌ها را تا حدودی کم‌برآورد می‌کند.

آن درحکم یک منبع اطلاعاتی آرمانی برای تحقیقات گوناگون اقلیمی و آب‌شناسی در کشور استفاده کرد. نتایج این تحقیق همچنین نشان از دقت خوب GPCC در پیش‌بینی درست و نزدیک به یقین بارش در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی دارد.

برخلاف داده بارش TRMM-3B43V7 که حاصل سنجش‌های ماهواره‌ای و زمینی است، داده‌های GPCC از ترکیب پایگاه داده‌های گوناگون و داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی پراکنده در کره زمین و درون‌یابی آنها به نقاط شبکه‌بندی از پیش تعیین شده به‌دست می‌آید. از این رو می‌توان گفت که این داده‌ها مستقل از داده‌های مشاهده‌ای نیستند و به همین سبب دقت آنها در هر منطقه جغرافیایی به تراکم ایستگاه‌های مورد استفاده در آن منطقه بستگی دارد. این مسئله می‌تواند دقت خوب GPCC را در برآورد بهتر بارش در منطقه غرب، شمال غرب و شمال شرق کشور توجیه کند. در مقابل، دقت کمتر GPCC در برآورد بارش در ایستگاه‌های منطقه مرکزی و شرقی ایران (مانند یزد) به تراکم کم ایستگاه‌های باران‌سنجی در این منطقه از کشور باز می‌گردد. در ناحیه خزری نیز علاوه بر تراکم فضایی کم ایستگاه‌های مورد استفاده GPCC، تغییرات شدید بارش در مسافت‌های کوتاه به علت توپوگرافی پیچیده منطقه نیز سبب شده است که GPCC نتواند پیش‌بینی درستی از بارش این منطقه عرضه کند و مقدار برآوردی آن به‌ویژه در ایستگاه انزلی کمتر از مقدار واقعی مشاهده‌ای باشد. تراکم کم شبکه ایستگاهی مورد استفاده GPCC به همراه توپوگرافی پیچیده در برخی مناطق کوهستانی کشور را نیز می‌توان مهم‌ترین علت کم بودن هماهنگی بین GPCC و داده‌های مشاهده‌ای در برخی از ایستگاه‌های کوهستانی کشور دانست.

۵. نتیجه‌گیری

ارزیابی‌های آماری صورت گرفته در این پژوهش نشان می‌دهد که داده‌های سنجش‌گر TRMM-3B43V7

دقت مناسبی در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی در سطح کشور دارد. با وجود این در برخی مناطق همچون نواحی ساحلی جنوب کشور، شمال غرب و به‌صورت موردی ایستگاه‌های تهران، بندر انزلی و زنجان، داده‌های بارش TRMM-3B43V7 مقدار بارش را کمی بیشتر و یا کمتر از مقدار واقعی در این ایستگاه‌ها برآورد می‌کند. کم‌برآورد شدن بارش در ایستگاه‌های ساحلی جنوب و شمال کشور می‌تواند به توان کم ماهواره در تفکیک شرایط جوی روی آب و روی خشکی در این مناطق مربوط باشد. البته شرایط پیچیده توپوگرافی در منطقه ساحلی خزر نیز می‌تواند به این پیچیدگی بیافزاید و باعث کاهش توان ماهواره در برآورد درست بارش در این منطقه شود. در مقیاس ماهانه نیز دقت کلی داده‌های این سنجش‌گر در منطقه گسترده‌ای از ایران مناسب ارزیابی شد. در بیشتر ماه‌های سال مقادیر ضریب تعیین بین داده‌های بارش TRMM-3B43V7 و ایستگاه‌های زمینی بیش از ۰/۷ است. بیشترین ضریب همبستگی برای ماه اکتبر و کمترین آن برای ماه ژوئن حاصل شد. به‌طور کلی بیشترین ارتباط بین داده‌های بارش TRMM-3B43V7 و نقاط ایستگاهی برای ماه‌های دوره سرد سال و کمترین ارتباط برای ماه‌های گرم سال به‌دست آمد که این نشان‌دهنده آن است که TRMM-3B43V7 در برآورد بارش‌های همرفتی و اروگرافیک که اغلب در فصل گرم سال روی می‌دهد، کمتر موفق است. ارزیابی داده‌های شبکه GPCC با روش مشابه در پهنه ایران نیز بیانگر دقت مناسب داده‌های این پایگاه برای نقاط گوناگون کشور است. همانند سنجش‌گر TRMM-3B43V7، داده‌های GPCC نیز دقت مناسبی در مقیاس ماهانه دارد، با این تفاوت که مقادیر ضریب تعیین به‌دست آمده برای داده‌های GPCC بیشتر از داده‌های بارش TRMM-3B43V7 است. هرچند قدرت تفکیک مکانی GPCC کمتر از TRMM-3B43V7 است ولی دقت GPCC در برآورد بارش نقاط گوناگون کشور بیشتر است. این شرایط هم در مقیاس سالانه و هم در مقیاس ماهانه نمایان

این داده‌ها در کنار داده‌های ایستگاهی برای تحقیقات گوناگون اقلیم‌شناسی، آب‌شناسی و به‌ویژه پژوهش‌های خشک‌سالی در سطح ایران استفاده کرد.

مراجع

- حجازی‌زاده، ز.، علیجانی، ب.، ضیائی‌ان، پ.، کریمی، م. و رفعتی، س.، ۱۳۹۱، ارزیابی بارش ماهواره‌ای 3B43 و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درون‌یابی کریجینگ، سنجش از دور و GIS ایران، ۴(۳)، ۶۴-۴۹.
- دارند، م.، ظرافتی، ه.، کفایت مطلق، ا.ر. و سمندر، ر.، ۱۳۹۳، مقایسه بین پایگاه‌های داده‌های جهانی و منطقه‌ای بارش با پایگاه بارش اسفزاری و ایستگاهی ایران زمین، تحقیقات جغرافیایی، ۳۰(۲)، ۸۴-۶۵.
- مسعودیان، س.ا.، رعیت‌پیشه، ف. و کیخسروی کیانی، م. ص.، ۱۳۹۳، معرفی و مقایسه پایگاه‌های داده بارشی TRMM و اسفزاری، م. ژئوفیزیک ایران، ۸(۴)، ۳۱-۱۵.
- Chappell, A., Renzullo, L. J. L., Raupach, T. T. H. and Haylock, M., 2013, Evaluating geostatistical methods of blending satellite and gauge data to estimate near real-time daily rainfall for Australia, *J. Hydrol.*, 493, 105-114, doi:10.1016/j.jhydrol.2013.04.024.
- Chokngamwong, R. and Chiu, L., 2008, Thailand daily rainfall and comparison with TRMM products, *J. H. Geomorphol.*, 9(2), 256-266.
- Collischonn, B., Collischonn, W. and Tucci, C. E., 2008, Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates, *J Hydrol.*, 207-216.
- Conti, F., Hsu, K., Noto, L. V. and Sorooshian, S., 2014, Evaluation and comparison of satellite precipitation estimates with reference to a local area in the Mediterranean Sea, *Atmos. Res.*, 138, 189-204.
- Dinku, T., Chidzambwa, S., Ceccato, P., Connor, S. J. and Ropelewski, C. F., 2014, Validation of high-resolution satellite rainfall products over complex terrain, *Int. J. Remote Sens.*, 29, 4097-4110.
- Feidas, H., 2010, Validation of satellite rainfall products over Greece, *Theor Appl Climatol.*, 99, 193-216.
- Fu, Y., Xia, J., Yang, W., Xu, B., We, X., Chen, Y. and Zhang, H., 2014, Assessment of multiple precipitation products over major river basins of China, *Theor Appl Climatol.*, 1-12.
- Gairola, R. M., Prakash, S. and Pal, P. K., 2015, Improved rainfall estimation over the Indian monsoon region by synergistic use of Kalpana-1 and rain gauge data, *Atmós.*, 28, 51-61.
- Haigen, ZH., Shengtian, Y., Zhiwei, W., Xu, ZH., Ya, L. and Linna, W., 2015, Evaluating the suitability of TRMM satellite rainfall data for hydrological simulation using a distributed hydrological model in the Weihe River catchment in China, *J. Geogr. Sci.*, 25, 177-195.
- Huffman, G. J., Adler, R. F., Bolvin, D. T., Gu, G., Nelkin, E. J., Bowman, K. P., Stocker, E. F. and Wolff, D. B., 2007, The TRMM Multi-satellite precipitation analysis: quasi-global, multi-year, Combined-Sensor Precipitation, *J. Hydrometeor.*, 8, 33-55.
- Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M. I., BodaghJamali, J. and Kawamoto, H., 2010, Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM_3B42 over Iran, *Ad in Geo.*, 25, 119-125.
- Jeniffer, K., Su, ZH., Woldai, T. and Maathuis, B., 2010, Estimation of spatial-temporal rainfall distribution using remote sensing

- techniques: a case study of Makanya catchment, Tanzania, *Intl J App Earth Observ Geoinform. Ens.*, 12(1), 90-99.
- Kalinga, O. A. and Gan, T. Y., 2010, Estimation of rainfall from infrared-microwave satellite data for basin-scale hydrologic modeling, *Hydrol. Process*, 24, 2068-2086.
- Katiraie-Boroujerdy, P. S., Nasrollahi, N., Hsu, K. L. and Sorooshian, S., 2013, Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran, *J. Arid Environ.* 97, 205-219.
- Liu, J., Duan, Z., Jiang, J. and Zhu, A.X., 2014, Evaluation of three satellite precipitation products TRMM 3B42, CMORPH, and PERSIANN over a subtropical watershed in China, *Adv Meteorol*, 9, 1-14.
- Li, Zh., Yang, D. and Hong, Y., 2013, Multi-scale evaluation of high-resolution multi-sensor blended global precipitation products over the Yangtze River, *J. Hydrol*, 500, 157-169.
- Mishra, A. K., Gairola, R. M., Varma, A. K. and Agarwal, V. K., 2011, Improved rainfall estimation over the Indian region using satellite infrared technique, *Adv Space Res.* 48, 49-55.
- Moazami, S., Golian, S., Kavianpour, M. R. and Hong, Y., 2013, Comparison of PERSIANN and V7 TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) products with rain gauge data, *Int. J. R. Sens*, 34(22), 8156-8171.
- Moriassi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L. Harmel, R. D. and Veith, T. L., 2007, Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Ochoa, A., Pineda, L., Crespo, P. and Willems, P., 2014, Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific–Andean region of Ecuador and Peru, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 3179-3193.
- Pereira, M., Dutra, E. and Viterbo, P., 2011, Evaluation of global precipitation data sets over the Iberian Peninsula, *J of Geo Res.*, 116, 1-16.
- Prigent, C., 2010, Precipitation retrieval from space, *C. R. Geosci.*, 380-389.
- Raziei, T., Bordi, I. and Pereira, L. S., 2011, An application of GPCC and NCEP/NCAR datasets for drought variability analysis in Iran, *Water Resour Manage*, 25, 1075-1086.
- Raziei, T., Daryabari, J., Bordi, I., Modarres, R. and Pereira, L. S., 2014, Spatial patterns and temporal trends of daily precipitation indices in Iran, *Clim. Change*, doi 10.1007/s10584-014-1096-1.
- Raziei, T., Mofidi, A., Santos, J. A. and Bordi, I., 2012, Spatial patterns and regimes of daily precipitation in Iran in relation to large-scale atmospheric circulation, *Int J. Climatol.*, 32, 1226-1237.
- Raziei, T. and Pereira, L. S., 2013, Spatial variability analysis of reference evapotranspiration in Iran utilizing fine resolution gridded datasets, *Agric. Water Management*, 126, 104-118.
- Rozante, J. R., Moreira, D. S., Gustavo, L., and Vila, D. A., 2010, Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America, *W. A. F.* 3(25), 885-894.
- Rudolf, B. and Schneider, U., 2005, Calculation of gridded precipitation data for the global land-surface using in-situ gauge observations, in: proceedings of the 2nd workshop of the international precipitation working group IPWG, Monterey October 2004, EUMETSAT, ISBN 92-9110-070-6, ISSN 1727-432X, 231-247.
- Schneider, U., Fuchs, T., Meyer-Christoffer, A. and Rudolf, B., 2008, Global precipitation analysis products of the GPCC. Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), DWD, Internet Publication (<http://www.dwd.de>), 1-12.
- Seyyedi, H., 2010, comparing satellite derived rainfall with ground based radar for North-Western Europe, Thesis for the degree of Master, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Netherlands.
- Skok, G., Zagar, N., Honzak, L., Zabkar, R., Rakovec, J. and Ceglar, A., 2015, 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, *Theor Appl Climatol*, doi 10.1007/s00704-014-1350-5, 1-16.
- Suk Han, W., Burian, S. J. and Shepherd, J. M., 2011, Assessment of satellite-based rainfall estimates in urban areas in different geographic and climatic regions, *Nat Hazards*, 56(3), 733-747.
- Tan, M. L., Ibrahim, A. L., Duan, ZH., Cracknell, A. P. and Chaplot, V., 2015, Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia, *Remote Sens*, 7, 1504-1528.
- Tarruella, R. and Jorge, J., 2003, Comparison of three infrared satellite techniques to estimate accumulated rainfall over the iberian peninsula, *Int. J. Climatol.*, 23, 1757-1769.
- Wagner, P. D., Finer, P., Wilken, F., Kumar, SH. and Schneider, K., 2012, Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions, *J Hydrol*, 464, 388-400.

Evaluation and statistically comparison of TRMM and GPCC datasets with observed precipitation in Iran

Miri, M.¹, Raziqi, T.^{2*} and Rahimi, M.³

1. Ph.D. Graduated, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran

3. Ph.D. Student, Department of Natural Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

(Received: 11 Nov 2015, Accepted: 31 Jan 2016)

Summary

The lack of reliable and updated precipitation datasets is the most important limitation in the study of many climatological and hydrological subjects, including climate change and temporal variability of precipitation in many data sparse areas around the globe. This is particularly valid for Iran where vast areas of central-eastern country that host the Iranian deserts, suffer from an inadequate network of rain-gage stations, required for climatological studies. The highlands of the mountainous regions of western and northern Iran have the same problem and limited representative stations are available for high elevation areas of these regions. One of solution to overcome this obstacle is to use available gridded precipitation datasets that have proved their representativeness for many different parts of the world. Among many available precipitation datasets are the Global Precipitation Climatology Center (GPCC) and the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) that have been widely used in many researches, indicating their accurate estimation of precipitation values and inter-annual variation for the regions studied. The GPCC is a gage based dataset that is routinely creating through interpolation of worldwide precipitation stations combined with satellite records, whereas the TRMM is a purely remote sensed data developed by joint collaboration between NASA and the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). The representativeness and performance of the GPCC and TRMM-3B43V7 precipitation datasets in estimating precipitation amounts at the locations of 46 Iranian synoptic stations distributed across the country is herein examined. Spatial resolutions of TRMM-3B43V7 and GPCC datasets used in this study are respectively 0.25×0.25 and 0.5×0.5 latitude and longitude. For each station, the closest grid point of each of the datasets to the station coordinates were chosen for statistically comparison analysis. To evaluate the performance of these datasets in comparison with the observed precipitation records at the considered locations we have used R squared, the Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient, RMSE, Bias, B slope of the regression and the standardized RMSE indicators. The performances of the datasets were also graphically represented through scatter plots of the established regression between the observation and each of the two used datasets. The results of the statistical indicators were represented through plotting the indicators over the map of Iran to ease revealing spatial tendency of the indicators and explaining the possible geographical role in controlling the spatial variation of the indicators. The results revealed that both GPCC and TRMM-3B43V7 perform well in majority of the studied stations with strong correlation coefficients. However, it was found that the TRMM-3B43V7 underestimates precipitation in some stations located in the coastal areas of the Caspian Sea as well as in some stations along the Persian Gulf and the Oman seas, indicating that TRMM-3B43V7 is somewhat inefficient in adequately estimating precipitation in the coastal areas; which is very likely due to being unable to remove the effect of sea atmosphere interaction in stations nearby the seas. Contrarily, in some locations mostly situated in northwestern and northeastern mountainous areas of the country the TRMM-3B43V7 moderately over estimates the observed precipitation. Similarly, the GPCC well estimates precipitation in almost all stations with very high correlation coefficient and Nash–Sutcliffe model efficiency coefficient. Similar to TRMM-3B43V7, again it was found that the GPCC underestimates precipitation in most stations located along the coastal areas of the Caspian Sea. As for TRMM-3B43V7, the over-estimations of GPCC are mostly observed in northwestern Iran which is very likely due to not incorporating enough stations from high elevation areas of western Iran by the GPCC. On the whole, the results indicate that both datasets perform well in most locations of Iran and can be confidentially used in climatological and hydrological studies with or without the observation data. The results also indicate that the GPCC perform better in areas that share a denser network of stations with GPCC and vice versa. However, the very good results achieved with TRMM-3B43V7 that are completely independent from the observation indicates a promising future in having much improved remotely sensed precipitation records that well match the observed precipitation in very remote areas having no rain gages.

Keywords: Precipitation, TRMM, GPCC, Statistical indicators, Iran.

*Corresponding author:

tayebrazi@yahoo.com