

واسنجی داده‌های باران سری 3B42 و 3B43 ماهواره TRMM در زون‌های اقلیمی ایران

مهدی عرفانیان* - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
سیما کاظم‌پور - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
حسن حیدری - استادیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۸/۰۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۰/۱۴

چکیده

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی میزان صحت داده‌های باران ماهواره TRMM در ۸۷ ایستگاه سینوپتیکی ایران در مقیاس‌های روزانه و ماهانه انجام شده است. بدین منظور، ابتدا داده‌های روزانه TRMM-3B42 و ماهانه TRMM-3B43 دانلود شد. مقایسه بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های انتخابی واقع در شش زون اقلیمی ایران (بیابانی، نیمه‌بیابانی، کوهستانی، نیمه‌کوهستانی، بیابان ساحلی و مرطوب ساحلی) در دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۰۹ انجام شد. برای ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای از معیارهای آماری خطا و شاخص‌های مطابقت استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که ماهواره TRMM مقادیر بارندگی روزانه و ماهانه را در ۶۸٪ از ایستگاه‌ها بیش از مقادیر مشاهده‌ای برآورد می‌کند. به دلیل وجود خطای قابل توجه داده‌های ماهواره‌ای، مقادیر تخمینی TRMM در دو مقیاس زمانی به تفکیک زون‌های اقلیمی و ایران واسنجی شد و ضرایب تصحیح بر اساس روش رگرسیون خطی ارائه شد. بیشترین مقدار ضریب همبستگی در سطح معناداری ۰/۰۱ در دو مقیاس روزانه و ماهانه در زون نیمه‌کوهستانی به ترتیب برابر ۰/۸۶ و ۰/۹۹ و کمترین مقدار آن‌ها ۰/۴۹ و ۰/۷۸ در زون مرطوب ساحلی به دست آمد. داده‌های واسنجی‌شده TRMM در بیشتر زون‌ها و ایستگاه‌ها، مشابه یا نزدیک به مقادیر مشاهده‌ای است و در زون اقلیمی مرطوب شمال ایران، خطای داده‌های ماهواره‌ای کاهش نیافت.

کلیدواژه‌ها: باران، سینوپتیک، واسنجی (کالیبراسیون)، TRMM.

مقدمه

مقادیر بارندگی در مقیاس‌های مکانی و زمانی نه تنها برای هواشناسان و دانشمندان اقلیم مهم است، بلکه نیاز طیف گسترده‌ای از جمله اقلیم‌شناسان، هیدرولوژیست‌ها، کشاورزان و تصمیم‌گیران را در برمی‌گیرد. امروزه، اندازه‌گیری درست و سریع بارندگی در هر منطقه کاربرد فراوانی دارد و از اهم وظایف کارشناسان و برنامه‌ریزان محیطی است که باید با استفاده از فناوری روز، بارندگی منطقه را برآورد کنند (حجازی‌زاده و مقیمی، ۱۳۸۹). مشاهدات زمینی بارندگی اغلب توسط باران‌سنج‌ها یا از طریق رادارهای زمینی انجام می‌شود. در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، شبکه ایستگاه‌های زمینی،

پراکنده و نامنظم و تراکم توزیع مکانی آن‌ها در نقاط مختلف متفاوت است. برای مثال، در مناطق بیابانی و کوهستانی ایران توزیع مکانی باران‌سنگ‌ها بسیار پراکنده است. بنابراین در مناطق فاقد ایستگاه‌های زمینی، اطلاعات دقیقی از بارندگی در دسترس نیست. در بسیاری از مطالعاتی که تاکنون در ایران انجام شده است، محققان از روش‌های زمین‌آماری به‌منظور درون‌یابی داده‌های بارندگی و تعمیم اطلاعات نقطه‌ای به سطح استفاده کرده‌اند. در سال‌های اخیر، ماهواره‌های مختلف مربوط به سنجش از دور با جمع‌آوری و ذخیره داده‌های سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی و زمانی متفاوت به‌خصوص در نواحی فاقد ایستگاه‌های هواشناسی یا اندازه‌گیری، تا حدود زیادی مشکلات و محدودیت‌های رایج در استفاده از داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌ها را برطرف کرده است. ماهواره TRMM^۱ (مأموریت اندازه‌گیری باران مناطق حاره‌ای) در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ با همکاری سازمان فضایی ایالات متحده آمریکا و ژاپن به فضا پرتاب شد و اولین مأموریت اختصاص داده‌شده برای اندازه‌گیری باران مناطق حاره‌ای و نیمه‌حاره‌ای از طریق سنجنده‌های میکروویو، مادون قرمز و مرئی است (لیانگ و همکاران، ۲۰۱۲). بارندگی مناطق حاره‌ای بیش از ۷۵ درصد از بارندگی‌های کل جهان را شامل می‌شود و عامل اصلی توزیع گرما از طریق جریان اتمسفر است (کاوایانی و علیجانی، ۱۳۸۸).

در سال‌های اخیر، تحقیقات مختلفی در زمینه ارزیابی داده‌های TRMM در ایران و سایر کشورها انجام شده است. میررحیمی و فیضی‌زاده (۱۳۸۷) دقت داده‌های رادار زمینی و ماهواره TRMM را در برآورد بارندگی برای روز ۲۷ دسامبر ۲۰۰۶ بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که بین داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای همبستگی نسبتاً خوبی وجود دارد. باران‌یازده و همکاران (۱۳۹۰) داده‌های سری TRMM-3B43 را با استفاده از داده‌های مشاهداتی شبکه‌های بارش در طول دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ میلادی در ایران ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده ضرایب همبستگی ۰/۸۳، ۰/۸۴ و ۰/۷۵ در فصل زمستان، ۰/۸۶، ۰/۸۰ و ۰/۶۹ در فصل بهار و ۰/۷۹، ۰/۷۷ و ۰/۷۷ فصل پاییز به ترتیب در کل کشور، رشته‌کوه‌های زاگرس و ناحیه دریای خزر بود. به‌طور کلی، نتایج آن‌ها بیانگر این بود که TRMM-3B43 کارایی قابل قبول در تشخیص رخداد باران و الگوی بارشی حاکم بر هر فصل دارد. به‌علاوه، امیدوار و همکاران (۱۳۹۲) داده‌های بارندگی سیزده ایستگاه سینوپتیکی واقع در استان خراسان رضوی را با آمار بارندگی ماهواره TRMM در دوره آماری چهارده ساله (۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱) مقایسه کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان‌دهنده میزان انطباق و همبستگی بالای ۹۵٪ بین آمار بارندگی سالانه و همبستگی بالای ۹۹٪ بین آمار بارندگی ماهانه ماهواره با آمار ایستگاه‌های زمینی بود. شیروانی و فخاری‌زاده (۱۳۹۳) داده‌های بارش روزانه دوازده ایستگاه همیدی و ۳۷ ایستگاه باران‌سنجی را برای ارزیابی داده‌های ماهواره TRMM در استان فارس طی دوره ۱۹۹۸-۲۰۱۱ استفاده کردند. بدین منظور، از معیارهای ضریب همبستگی پیرسون، میانگین، میانه، واریانس، دامنه میان‌چارکی، نرمال‌شده جذر میانگین توان دوم خطا و اختلاف میانگین برای مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه استفاده کردند. نتایج نشان داد که همبستگی معناداری بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای در بیشتر مناطق استان در همه مقیاس‌های زمانی وجود دارد و مقدار آن در همه

1. Tropical Rainfall Measuring Mission

ایستگاه‌های همدیدی (به‌جز اقلید) و باران‌سنجی (به‌جز شش ایستگاه) در مقیاس سالانه به‌ترتیب بین ۰/۸ تا ۰/۹۵ و ۰/۶۴ تا ۰/۹۳ و برای مقیاس ماهانه به‌ترتیب بین ۰/۶۴ تا ۰/۹۶ و ۰/۵ تا ۰/۹ بود.

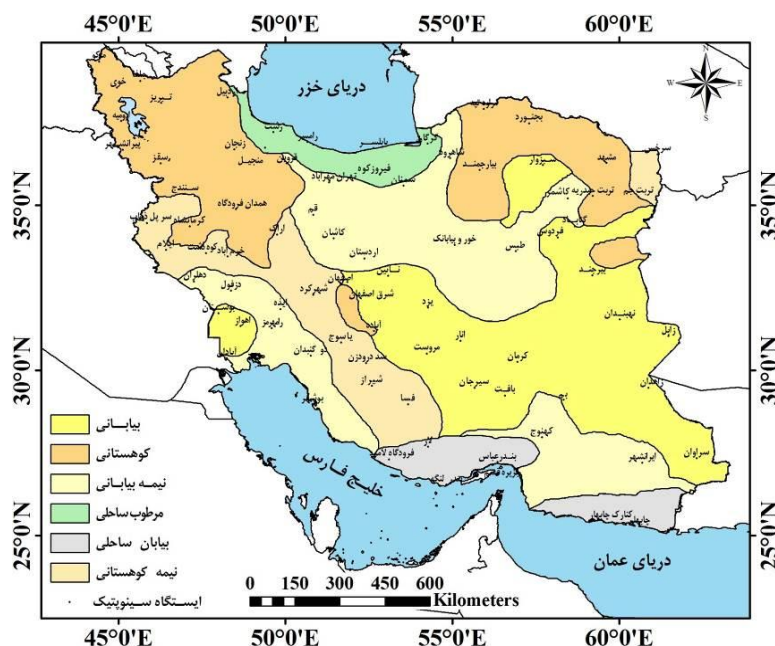
اسلام و همکاران (۲۰۱۰)، داده‌های TRMM-3B42 را با استفاده از داده‌های بارندگی روزانه پانزده ایستگاه زمینی واقع در نپال واسنجی (کالیبره) کردند. داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه تطابق زیادی با داده‌های زمینی داشت. نتایج آن‌ها در مقیاس روزانه نشان داد با اینکه TRMM در بیشتر روزها، مقادیر باران را کمتر برآورد می‌کند، ولی روند بسیار مشابه با داده‌های زمینی دارد. پس از واسنجی، نتایج آن‌ها نشان داد که داده‌های TRMM قادر است ۹۹/۹۱٪ از داده‌های مشاهده‌ای را برآورد کند. جوانمرد و همکاران (۲۰۱۰) به‌منظور ارزیابی داده‌های ماهواره TRMM، داده‌های سری TRMM-3B42 را با داده‌های شبکه‌بندی‌شده زمینی با قدرت تفکیک بالا مبتنی بر باران‌سنج‌های سینوپتیکی نوع IS0902 در کشور ایران مقایسه کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که TRMM میانگین بارندگی سالانه را در دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۰۶ در مقیاس مکانی ایران، ناحیه خزری و رشته‌کوه‌های زاگرس به‌ترتیب ۰/۱۷، ۰/۳۹ و ۰/۱۵ میلی‌متر در روز کمتر برآورد می‌کند و در نواحی مرطوب خزری، میزان خطای TRMM قابل‌ملاحظه است. همچنین، ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و TRMM را برای ایران، ناحیه خزری و رشته‌کوه‌های زاگرس به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۵۷ و ۰/۷۵ به‌دست آوردند. علی‌رغم اینکه الگوی زمانی مقادیر بارندگی ماهانه TRMM با مقادیر مشاهده‌ای مطابقت نشان می‌دهد، پلات پراکنش داده‌ها بیانگر مطابقت پایین داده‌های TRMM 3B42 در سه مقیاس مذکور به‌خصوص در نواحی مرطوب است. المزروی (۲۰۱۱)، به واسنجی بارش‌های TRMM در عربستان در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۹ پرداخت و به این نتیجه رسید که در مقیاس روزانه و سالانه، بارش‌های TRMM مطابقت زیادی با بارش ایستگاه‌های زمینی از نظر الگوی زمانی (کاهش یا افزایش) دارد. علاوه بر این، به این نتیجه رسید که برخی الگوریتم‌های TRMM به‌خصوص در طول فصل مرطوب، بارندگی‌ها را کمتر از مقادیر مشاهداتی برآورد می‌کند. ارزیابی عملکرد داده‌های TRMM در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از شاخص‌های مطابقت از نقاط قوت تحقیق ایشان است.

جمع‌بندی نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که داده‌های بارندگی ماهواره TRMM از پتانسیل بالایی برای تخمین مقادیر بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف برخوردار است. همچنین، اکثر پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه واسنجی داده‌های بارندگی TRMM اغلب در خارج از کشور انجام شده است و ارزیابی و واسنجی سری داده‌های روزانه در ایران براساس داده‌های بلندمدت ایستگاه‌های سینوپتیکی واقع در زون‌های اقلیمی مختلف انجام نشده است. از آنجا که بیشتر مناطق ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است، آگاهی از مقدار و تغییرات زمانی باران (کلیماتولوژی باران) در هر منطقه برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب سطحی بسیار مفید است. لذا، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی و واسنجی داده‌های روزانه و ماهانه TRMM در ۸۷ ایستگاه سینوپتیکی واقع در زون‌های اقلیمی ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کشور ایران با وسعت ۱۶۴۵۰۰۰ کیلومتر مربع در نیمه جنوبی منطقه معتدل شمالی بین $25^{\circ} 03'$ تا $39^{\circ} 47'$ عرض شمالی از خط استوا و $44^{\circ} 14'$ تا $63^{\circ} 20'$ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. از نظر عرض جغرافیایی، قسمت‌های جنوبی آن در نواحی گرمسیری و بیشتر قسمت‌های شمالی آن در نواحی نیمه‌گرمسیری واقع است (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۶: ۳۵۹). متوسط بارندگی سالانه آن ۲۵۰ میلی‌متر محاسبه شده است که کمتر از یک‌سوم متوسط بارش جهانی است (ذوالفقاری، ۱۳۷۶). کشور پهناور ایران با توجه به پارامترهای اقلیمی مختلف به شش منطقه اقلیمی مشخص شامل بیابانی، نیمه‌بیابانی، کوهستانی، نیمه‌کوهستانی، مرطوب ساحلی و بیابان ساحلی تقسیم شده است (علیجانی و همکاران، ۲۰۰۸). موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیکی انتخابی در زون‌های اقلیمی ایران در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیکی مورد مطالعه (اقتباس از علیجانی و همکاران، ۲۰۰۸)

داده‌های مشاهداتی و ماهواره‌ای

در این تحقیق، از داده‌های بارندگی روزانه و ماهانه ۸۷ ایستگاه سینوپتیکی وابسته به سازمان هواشناسی کشور و داده‌های ماهواره TRMM سری داده‌های TRMM-3B42 (روزانه) و TRMM-3B43 (ماهانه) با دوره آماری دوازده ساله از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ استفاده شده است. این ماهواره، محصولات مختلفی دارد که هر کدام برای اهداف خاصی طراحی و استفاده می‌شود. محصولات استاندارد TRMM، به سه دسته تقسیم می‌شود: ۱. محصولات سنجنده‌های اصلی

TRMM شامل اسکتر مادون قرمز و مرئی (VIRS)^۱، تصویرساز مایکروویو (TMI)^۲ و رادار بارش (PR)^۳؛ ۲. محصولات ترکیبی TRMM شامل PR و TMI؛ و ۳. محصولات ترکیبی TRMM و دیگر ماهواره‌ها شامل SSMI^۴ و AMSRE^۵ (استاکر، ۲۰۰۷). داده‌های سری 3B42 و 3B43 از محصولات ترکیبی TRMM است. این داده‌ها از قدرت تفکیک زمانی ساعتی و روزانه (3B42) و ماهانه (3B43) با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه برخوردار است و از ۵۰ درجه عرض جنوبی تا ۵۰ درجه عرض شمالی کره زمین را پوشش می‌دهد.

شایان ذکر است در زمان انجام تحقیق، داده‌های بارندگی روزانه در ایستگاه‌های سینوپتیکی انتخاب شده فقط تا پایان سال ۲۰۰۹ در دسترس بوده است. لذا داده‌های ماهواره‌ای نیز در دوره ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ دانلود شد. مراحل پردازش لایه‌های دانلود شده (روزانه و ماهانه) با فرمت BIN و استخراج مقادیر بارندگی در مقیاس ایستگاه‌های انتخابی با استفاده از کد تهیه شده نویسنده مقاله در محیط برنامه‌نویسی فرترن انجام گرفته است. داده‌های ماهانه TRMM در فرمت NetCDF نیز دانلود شد و از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 برای نمایش لایه‌های خام ماهانه (تصحیح نشده) استفاده شده است. همچنین، در تولید نقشه‌های مکانی میانگین بارندگی سالانه ایران طی دوره آماری مذکور، از روش زمین‌آماري کوکریجینگ با دخالت دادن متغیر کمکی ارتفاع متوسط ایستگاه‌های سینوپتیکی استفاده شد.

انتخاب ایستگاه‌های سینوپتیکی با استفاده از نقشه زون‌های اقلیمی تهیه شده علیجانی و همکاران (۲۰۰۸)، و با توجه به طول دوره آماری، قابلیت دسترسی داده‌ها و پراکنش آن‌ها در زون‌های اقلیمی شش‌گانه انجام شده است. در هر یک از زون‌های اقلیمی مورد مطالعه، تعداد ایستگاه‌ها با توجه به مساحت تحت پوشش آن‌ها انتخاب شد. زون‌های اقلیمی کوهستانی، بیابانی، نیمه‌بیابانی، نیمه‌کوهستانی، بیابان ساحلی و زون مرطوب ساحلی به ترتیب شامل ۲۲، ۱۹، ۱۹، ۱۲، ۸ و ۷ ایستگاه است (شکل ۱). مراحل پیش‌پردازش شامل کنترل کیفیت، آزمون همگنی، صحت و سقم داده‌های بارندگی (روزانه و ماهانه) در هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیکی انجام شد.

ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای TRMM

برای تعیین میزان انطباق بارندگی برآورد شده با ماهواره TRMM با مقادیر مشاهده‌ای در ایستگاه‌های سینوپتیکی از معیارهای آماری و شاخص‌های مطابقت استفاده شده است. معیارهای آماری شامل ضرایب همبستگی اسپیرمن (R_s) و پیرسون (R_p)، میانگین خطا (ME)، میانگین خطای مطلق (MAE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) است که طی دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۰۹ به‌طور میانگین محاسبه شده است (روابط ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵). با توجه به اینکه داده‌های بارندگی روزانه اغلب دارای مقادیر صفر و حداکثر است، عمدتاً از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند. لذا، در مقیاس روزانه از ضریب همبستگی اسپیرمن که یکی از روش‌های ناپارامتری است برای محاسبه میزان همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و ماهواره‌ای به دلیل وجود داده‌های صفر استفاده شد.

1. Visible Infrared Scanner
2. TRMM Microwave Imager
3. Precipitation Radar
4. Special Sensor Microwave Imager
5. Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System

$$R_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n d_i^r}{n(n^r - 1)} \quad (1)$$

$$R_p = \frac{\sum_{i=1}^n (SD_i - \overline{SD})(GD_i - \overline{GD})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (SD_i - \overline{SD})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (GD_i - \overline{GD})^2}} \quad (2)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (SD_i - GD_i) \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |SD_i - GD_i| \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (SD_i - GD_i)^2} \quad (5)$$

در این روابط n تعداد کل داده‌ها، SD داده‌های ماهواره‌ای (TRMM) و GD داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی است. مقدار n با توجه به دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ در مقیاس روزانه برابر ۴۳۸۳ و ماهانه ۱۴۴ است. در محاسبه شاخص‌های مطابقت، صرفاً به وقوع و عدم وقوع رویداد توجه شده و برای هر یک از ایستگاه‌ها، جدول توافقی ۲×۲ مطابق جدول ۱ تهیه می‌شود که اعداد این جدول، تعداد روز (در مقیاس روزانه) یا تعداد ماه (در مقیاس ماهانه) است.

جدول ۱. جدول توافقی فراوانی وقوع یا عدم وقوع بارندگی (وبلکس، ۲۰۱۱)

		داده‌های ایستگاه	
		بله	خیر
		داده‌های ماهواره‌ای	
F	H	بله	
N	M	خیر	

در این جدول H تعداد پیش‌بینی‌هایی است که در هر دو روش مقدار بارندگی ثبت شده است، F تعداد پیش‌بینی‌هایی است که فقط TRMM مقدار بارندگی را ثبت کرده است. مقدار M تعداد پیش‌بینی‌هایی است که علی‌رغم وقوع بارندگی در ایستگاه زمینی، مقدار آن در TRMM ثبت نشده است، و اما N تعداد نقاطی است که در هیچ یک از دو منبع مقدار بارندگی مشاهده نشده است. در این تحقیق، از شاخص‌های مطابقت POD ^۵، FAR ^۶، CSI ^۷ و TSS ^۸ (چکنگوانگ و چپو، ۲۰۰۸) استفاده شده است (روابط ۶، ۷، ۸ و ۹).

1. Hits
2. False
3. Misses
4. Null
5. Probability of Detection
6. False Alarm Ratio
7. Critical Success Index
8. True Skill Statistic

$$POD = \frac{H}{H + M} \quad (۶)$$

$$FAR = \frac{F}{F + H} \quad (۷)$$

$$CSI = \frac{H}{H + M + F} \quad (۸)$$

$$TSS = \frac{N \times H - F \times M}{(N + F) \times (M + H)} \quad (۹)$$

شاخص POD نسبت تعداد پیش‌بینی‌های صحیح TRMM به کل بارندگی‌های ثبت شده در ایستگاه‌هاست. اگر مقدار POD معادل یک باشد، بیانگر این است که ماهواره TRMM نقاط بارانی را به درستی تخمین زده است. شاخص FAR نسبت پیش‌بینی‌های نادرست به تعداد کل پیش‌بینی‌هاست که مقدار آن بین صفر و ۱+ متغیر است. هر چه کمتر باشد، بیانگر دقت بیشتر ماهواره است. شاخص CSI دقت نسبی TRMM را محاسبه می‌کند. این شاخص، هم نسبت به پیش‌بینی‌های نادرست و هم نسبت به رویدادهای از دست‌رفته حساس است. شاخص TSS یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین شاخص‌های مطابقت است. اگر مقدار این شاخص برابر ۱ باشد، نشان‌دهنده مطابقت کامل مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهده‌ای است.

واسنجی داده‌های TRMM

در صورت عدم تطابق داده‌های ماهواره TRMM با داده‌های زمینی (میانگین منطقه‌ای در مقیاس روزانه و ماهانه)، واسنجی با هدف حداقل کردن خطای بین داده‌های TRMM و داده‌های مشاهده‌ای از طریق آنالیز رگرسیون خطی به صورت زیر انجام می‌شود.

$$GD_i = c_{RF} + m_{RF} \times SD_i \quad (۱۰)$$

در این رابطه، c_{RF} مقدار عرض از مبدأ، m_{RF} شیب خط، SD داده‌های TRMM و GD داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی (مقادیر مشاهده‌ای) است. ضرایب خط رگرسیون در واقع ضرایب تصحیح‌کننده داده‌های TRMM است که مقدار آن‌ها به تفکیک در مقیاس روزانه و ماهانه در هر منطقه اقلیمی قابل محاسبه است.

یافته‌های پژوهش

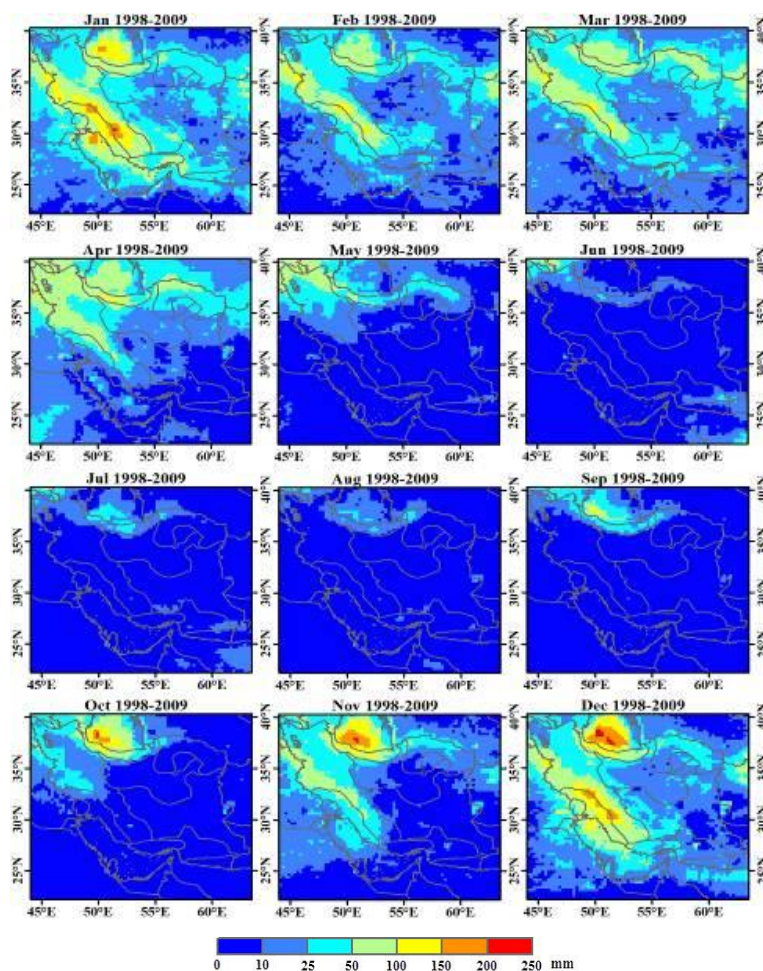
توزیع مکانی و زمانی بارندگی ماهانه

آگاهی و شناخت از توزیع زمانی و مکانی بارش در تصمیم‌گیری، طراحی و ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیکی و نیز مدیریت و برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک یا نواحی فاقد ایستگاه باران‌سنجی اهمیت

اساسی دارد. براساس میانگین مقادیر خام داده‌های TRMM در دوره زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۹، نقشه‌های توزیع مکانی مقادیر بارندگی (میلی‌متر) در ماه‌های مختلف در محدوده پوشش‌دهنده ایران در شکل ۲ آمده است. حداکثر مقدار میانگین بارندگی در ماه‌های مختلف مطابق جدول ۲ بیانگر این است که در ایران عمدتاً بارندگی‌ها در اواخر پاییز، فصل زمستان و اوایل بهار رخ داده است.

جدول ۲. حداکثر میانگین بارندگی داده‌های TRMM در ماه‌های مختلف سال

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
بارندگی (میلی‌متر)	۲۰۷/۸۴	۱۵۶/۵۱	۱۲۹/۴۹	۱۳۴/۲۹	۱۳۴/۶۳	۷۹/۴۷	۷۰/۸۱	۵۰/۲۹	۱۱۸/۶۲	۲۰۶/۹۸	۲۰۳/۹۰	۲۲۹/۴۶



شکل ۲. توزیع مکانی میانگین ماهانه بارندگی بر اساس داده‌های ماهواره TRMM در دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۹
(منبع: <http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>)

در ماه‌های ژانویه، فوریه، نوامبر و دسامبر بیشترین مقدار بارندگی ماهانه در نواحی شمالی، غربی و جنوب‌غربی کشور اتفاق افتاده است. در ماه‌های جولای تا اکتبر نواحی شمالی و در ماه‌های می و ژوئن نواحی شمالی، شمال‌شرقی و غربی و در ماه‌های مارس و آوریل نواحی شمالی، غربی، شمال‌شرقی و شمال‌غربی کشور بیشترین مقدار بارندگی ماهانه

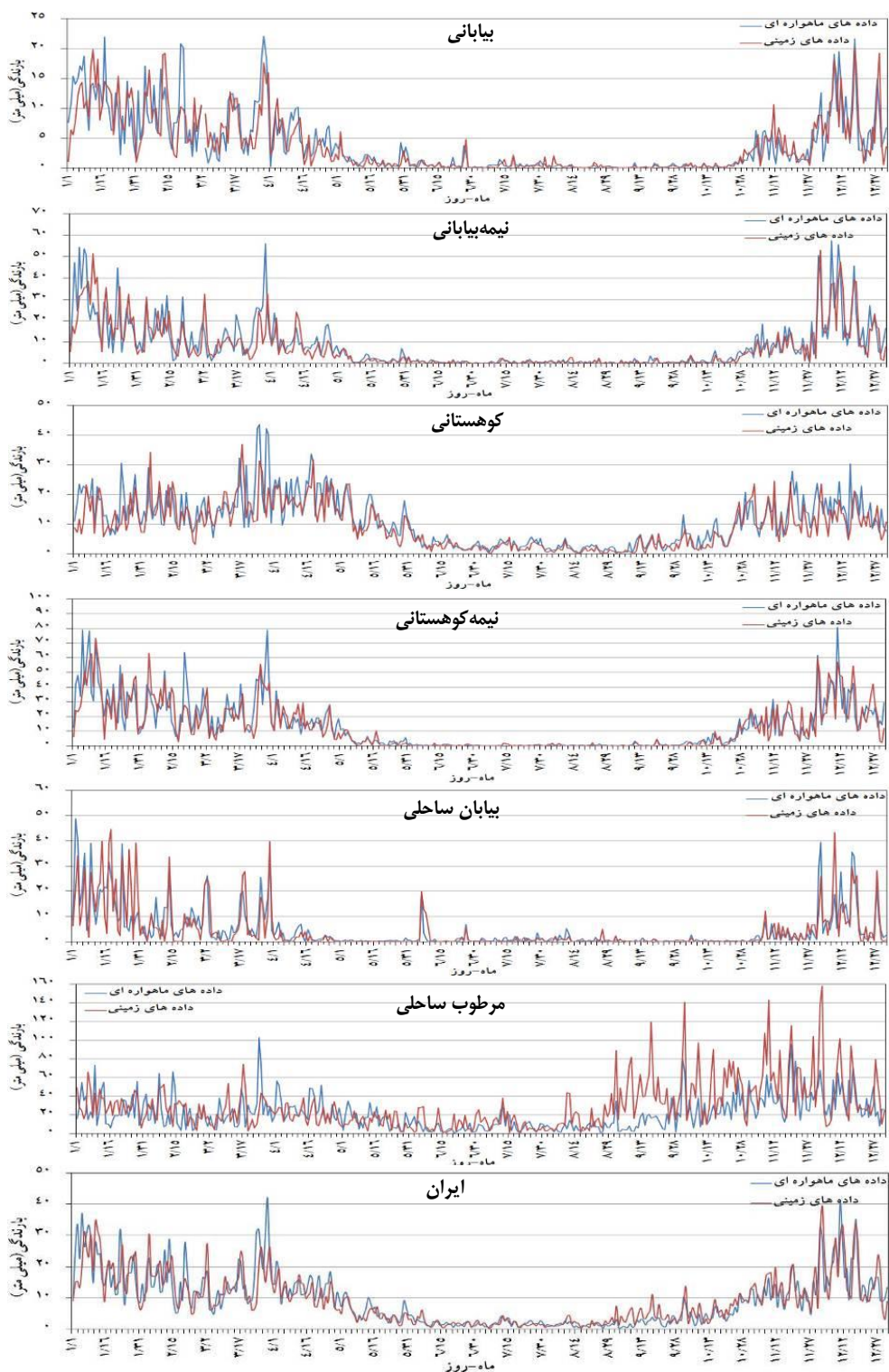
را دارد. در ماه‌های می تا اکتبر، مقدار بارندگی ماهانه در نواحی مرکزی کشور بسیار ناچیز و در برخی نواحی تقریباً صفر است. با توجه به نتایج می‌توان گفت نواحی مرکزی، شرقی و جنوب‌شرقی ایران در مقایسه با دیگر مناطق کمترین مقدار بارندگی را در ماه‌های مختلف سال دریافت می‌کند.

مقایسه توزیع زمانی بارندگی روزانه

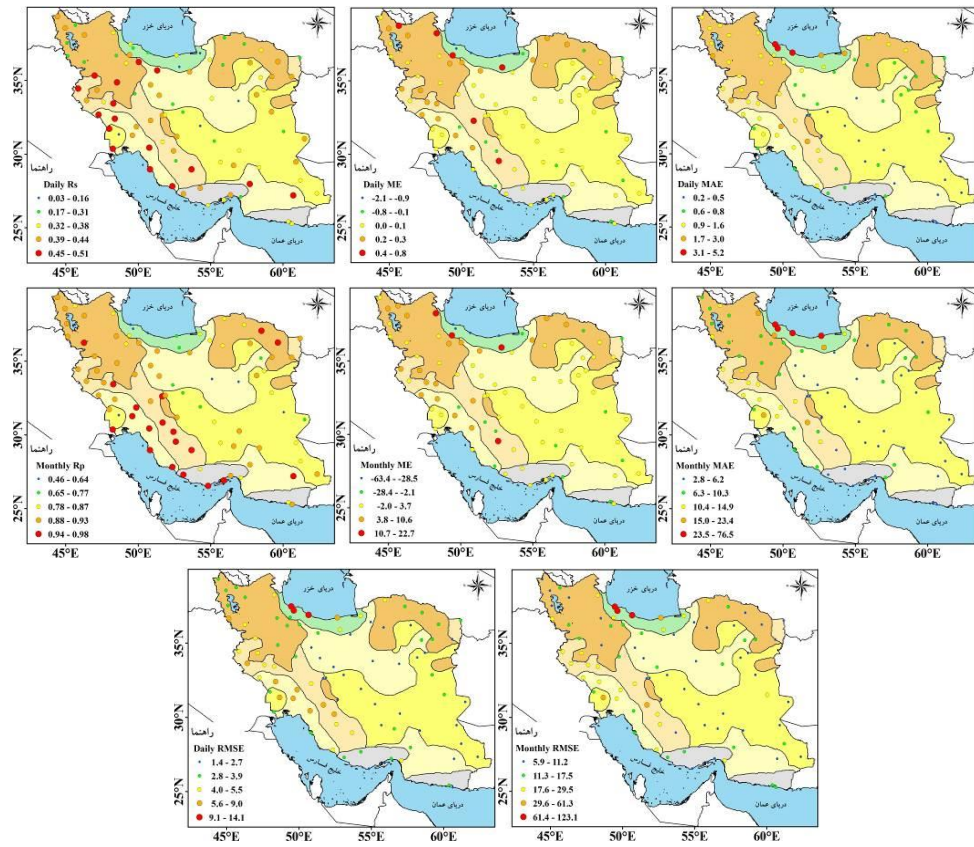
تغییرات زمانی میانگین مقادیر روزانه مشاهداتی و ماهواره‌ای ایستگاه‌های زمینی واقع در زون‌های اقلیمی شش‌گانه در دوره زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۹ در شکل ۳ نشان داده شده است. روند (صعودی یا نزولی) داده‌های روزانه TRMM در زون‌های اقلیمی و کل ایستگاه‌های سینوپتیکی مورد مطالعه، تقریباً مشابه داده‌های مشاهداتی است، هر چند TRMM در برخی روزهای سال مقدار بارندگی را کمتر یا بیشتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد می‌کند. به‌علاوه، در زون اقلیمی مرطوب ساحلی، داده‌های ماهواره‌ای (TRMM) در بیش‌تر روزهای سال (۶۲٪)، بارندگی را کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیکی واقع در این زون اقلیمی برآورد کرده است. مطابق شکل ۳، میزان انطباق تغییرات زمانی و مقادیر دو منبع اطلاعاتی در کل ایران، بیش از هر یک از زون‌های اقلیمی است. به‌طور کلی، ماهواره TRMM توانست اکثر روزهای بارانی را در اغلب زون‌های اقلیمی و در مقیاس کل کشور شناسایی یا تشخیص دهد.

توزیع مکانی معیارها و شاخص‌های ارزیابی

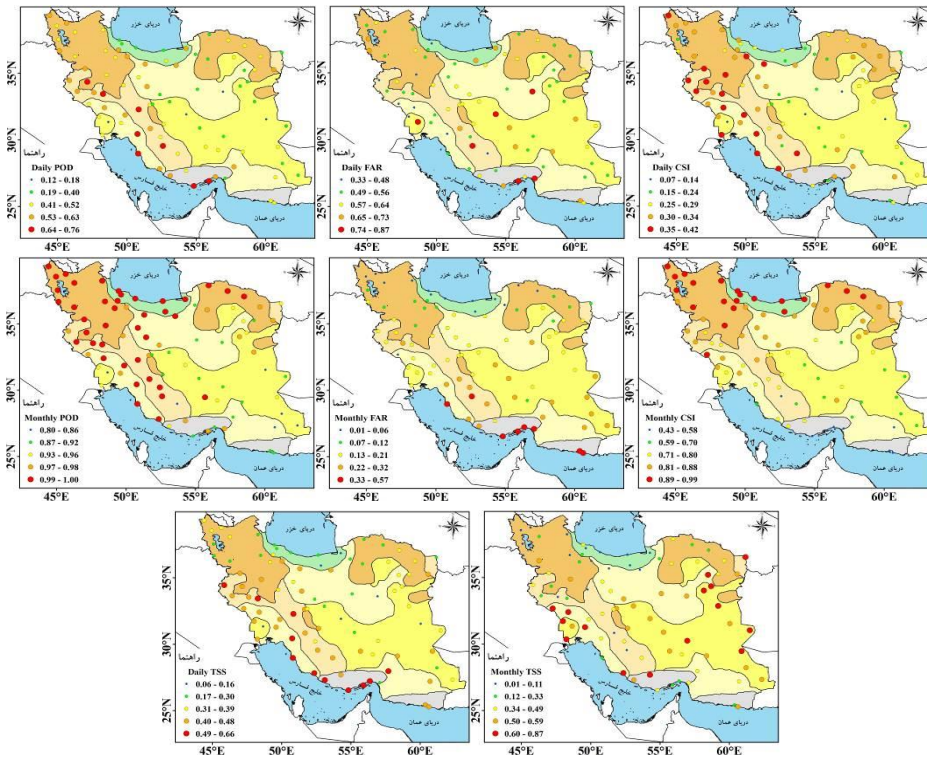
نتایج ارزیابی داده‌های سری 3B42 و 3B43 ماهواره TRMM از طریق توزیع مکانی مقادیر معیارهای آماری و شاخص‌های مطابقت، برای تمامی ایستگاه‌های سینوپتیکی مورد مطالعه به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ آمده است. در مقیاس روزانه، داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاه‌های شیراز، جزیره قشم، فسا، آباده و دو گنبدان (به ترتیب برابر ۰/۷، ۰/۷، ۰/۶۹، ۰/۶۷ و ۰/۶۷) بیشترین همبستگی را نشان داد. ماهواره TRMM مقدار بارندگی روزانه را برای ایستگاه‌های زاهدان، بم، زابل، یزد، سراوان با کمترین مقدار خطا برآورد کرده است. بیشترین مقدار خطا مربوط به ایستگاه‌های رامسر، بندر انزلی، رشت و بابلسر است. به عبارت دیگر، کمترین مقدار خطا مربوط به ایستگاه‌های واقع در زون اقلیمی بیابانی و بیشترین خطا مربوط به زون اقلیمی مرطوب ساحلی است. در مناطق خشک ایران، چون فراوانی روزهای خشک یا بدون باران بیشتر است، می‌توان گفت حتی اگر خطای بین دو منبع داده‌ها زیاد باشد، ضریب همبستگی بین آن‌ها بالاتر از سایر مناطق است. برعکس در مناطق شمالی ایران، به‌خصوص ناحیه خزری، چون تعداد روزهای بارانی بیشتر است، طبیعتاً انتظار می‌رود که میزان خطا در نواحی مرطوب بیش از زون‌های اقلیمی خشک باشد.



شکل ۳. مقایسه میانگین داده‌های روزانه TRMM و ایستگاه‌های سینوپتیکی واقع در زون‌های اقلیمی و ایران



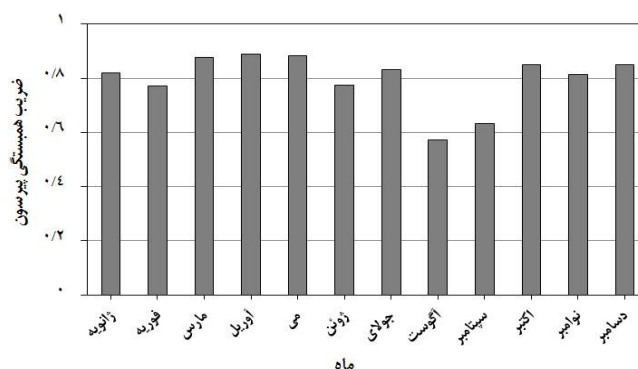
شکل ۴. توزیع مکانی معیارهای خطا در ایستگاه‌های انتخابی ایران برای داده‌های بارندگی روزانه و ماهانه



شکل ۵. توزیع مکانی شاخص‌های مطابقت در ایستگاه‌های انتخابی ایران برای داده‌های بارندگی روزانه و ماهانه

شاخص FAR در بندر انزلی، آبادان و دزفول در مقایسه با دیگر ایستگاه‌ها کمتر برآورد شده است که نشان می‌دهد نسبت پیش‌بینی‌های نادرست بر مجموع پیش‌بینی‌های درست و نادرست ماهواره TRMM در ایستگاه‌های مذکور بیشتر بوده است. با وجود مقدار خطای بالای برآورد شده در بندر انزلی، TRMM توانسته است وقوع بارندگی در این ایستگاه را بهتر پیش‌بینی کند. در ایستگاه بوشهر، پیش‌بینی‌های نادرست (False) و ازدست‌رفته (Misses) کمتر بوده و در نتیجه شاخص TSS بیشتر محاسبه شده است. داده‌های ماهواره‌ای مقدار بارندگی ماهانه را برای ایستگاه‌های رامسر، بندر انزلی، رشت و بابلسر با بیشترین مقدار خطا برآورد کرده و کمترین خطا مربوط به زاهدان، بم، اصفهان و مشهد است. مقدار منفی شاخص TSS در بابلسر، اردبیل، ماکو، رشت و رامسر نشان‌دهنده این است که TRMM در مقیاس ماهانه طی دوره آماری، هیچ پیش‌بینی ازدست‌رفته‌ای در این ایستگاه‌ها نداشته است.

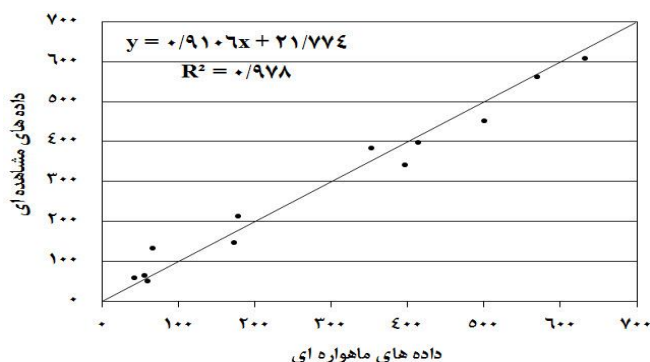
در مقیاس ماهانه، داده‌های اولیه ماهواره TRMM مقدار بارندگی ماهانه را در ۶۸٪ از کل ایستگاه‌های سینوپتیکی انتخابی بیش از مقادیر مشاهده‌ای برآورد می‌کند. با این حال، تغییرات ضرایب همبستگی در ماه‌های مختلف سال بیانگر همبستگی خوبی بین دو منبع اطلاعاتی در مقیاس ایران است (شکل ۶). این ضریب در تمام ماه‌های سال، معنادار و بین ۰/۵۷ تا ۰/۸۹ متغیر است و متوسط آن برابر ۰/۸ است.



شکل ۶. همبستگی ضرایب همبستگی بین میانگین ماهانه بارندگی TRMM و مشاهده‌ای (ایران)

واسنجی داده‌های ماهواره TRMM

با توجه به وجود خطا بین داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های مشاهده‌ای در مقیاس روزانه و ماهانه، واسنجی داده‌های ماهواره‌ای در زون‌های اقلیمی مورد مطالعه و کل ایران به‌طور جداگانه انجام شد. بدین منظور، از میانگین روزانه و ماهانه داده‌های ماهواره‌ای و مشاهداتی (میلی‌متر) در دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۹ استفاده شد. شکل ۷ پراکنش مقادیر ماهانه داده‌های TRMM و داده‌های مشاهده‌ای را در ۸۷ ایستگاه سینوپتیکی ایران نمایش می‌دهد. مقدار تجمعی بارندگی ماهانه طی دوره دوازده ساله در تمامی ایستگاه‌ها به‌دست آمد. سپس، مقدار میانگین عدد تجمعی برای هر ماه در مقیاس ایران محاسبه شد. در این شکل، عدد تجمعی باران مشاهداتی ماه ژانویه طی دوره دوازده ساله آماری حدود ۶۰۰ میلی‌متر است. ولی میانگین عدد تجمعی TRMM در این ماه برای ایران حدود ۶۵۰ میلی‌متر است. این موضوع نشان می‌دهد که مقادیر بارندگی TRMM در تمامی ایستگاه‌ها باید تصحیح یا واسنجی شود.



شکل ۷. نمودار پراکنش میانگین ماهانه مقادیر تجمعی بارندگی تمامی ایستگاه‌ها طی دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۹

در جدول ۳، ضرایب تصحیح و ضریب همبستگی پیرسون (R) به‌دست‌آمده در مقیاس روزانه و ماهانه، برای ایران و زون‌های اقلیمی آمده است. مطابق این جدول، در زون اقلیمی نیمه‌کوهستانی ضرایب همبستگی در مقیاس روزانه و ماهانه به ترتیب برابر ۰/۸۶ و ۰/۹۹۸ و در زون مرطوب ساحلی برابر ۰/۴۹ و ۰/۷۸ به‌دست آمد.

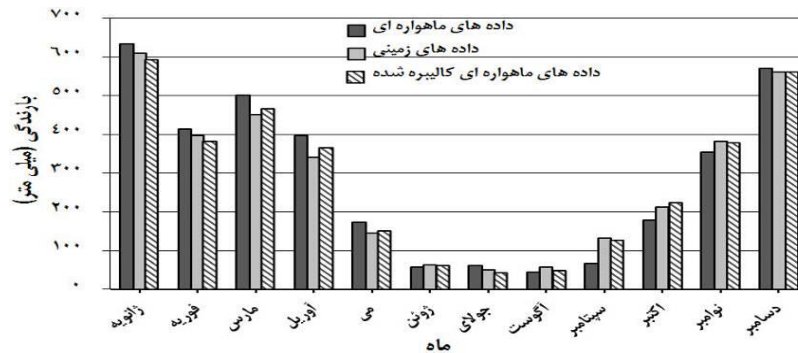
جدول ۳. ضرایب تصحیح TRMM و مقادیر ضریب همبستگی در مقیاس‌های روزانه و ماهانه در زون‌های اقلیمی ایران

مقیاس	ضرایب رابطه	ایران	بیابانی	نیمه‌بیابانی	کوهستانی	نیمه‌کوهستانی	بیابان ساحلی	مرطوب ساحلی
روزانه	m_{RF}	۰/۷۹۹	۰/۸۱۰	۰/۷۵۹	۰/۶۹۴	۰/۸۳۰	۰/۸۴۹	۰/۷۱۴
	C_{RF}	۱/۷۶۶	۰/۶۲۲	۱/۰۶۱	۱/۷۶۲	۱/۵۲۰	۰/۵۰۶	۱۳/۹۶۸
	R	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۸۶	۰/۸۰	۰/۴۹
ماهانه	m_{RF}	۰/۹۱۰۶	۰/۹۶۲۵	۰/۹۵۲	۰/۸۸۹۱	۰/۹۵۵۱	۱/۰۴۳	۱/۱۷۳۹
	C_{RF}	۲۱/۷۷	۰/۱۸۹۵	-۱۶/۷۱	-۱۱/۴۱۲	-۴/۰۴۱	-۱۳/۱۳۸	۱۲۷/۹۵
	R	۰/۹۸۸	۰/۹۹۵	۰/۹۹۴	۰/۹۹۵	۰/۹۹۸	۰/۹۹۳	۰/۷۸

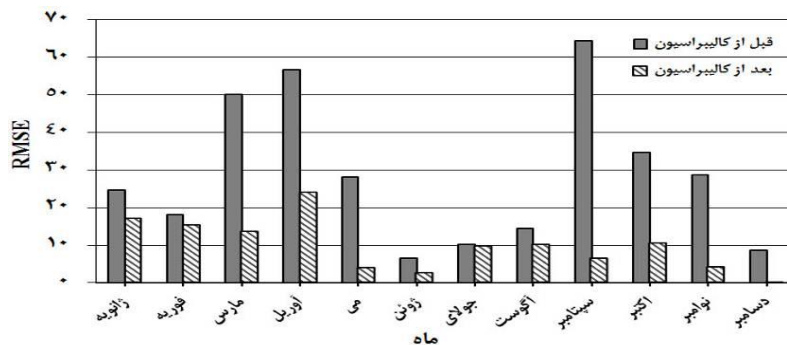
لذا، در مرحله بعدی بر اساس مقادیر جدول ۳، داده‌های TRMM در هر یک از زون‌های اقلیمی و کل منطقه مورد مطالعه با استفاده از ضرایب تصحیح (m_{RF} ، C_{RF}) واسنجی شد. نتایج واسنجی برای کل محدوده مورد مطالعه در شکل ۸ نشان داده شده است. مطابق شکل، داده‌های ماهواره‌ای واسنجی شده تطابق بهتری با داده‌های زمینی دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، داده‌های TRMM در اکثر ماه‌های سال مقدار باران را بیشتر برآورد می‌کند، ولی پس از واسنجی آن‌ها بهبود قابل‌ملاحظه‌ای در تخمین ماهواره TRMM اتفاق می‌افتد. همان‌طور در شکل ۹ نشان داده شده است، مقادیر ماهانه RMSE نیز پس از واسنجی داده‌های TRMM به مقدار قابل‌توجهی کاهش یافته است. این نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از داده‌های TRMM و اعمال ضرایب تصحیح می‌توان مقادیر تخمین را به مقدار زیادی به داده‌های مشاهده‌ای نزدیک‌تر کرد.

بر اساس داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی TRMM (تصحیح‌شده)، نقشه‌های توزیع مکانی میانگین سالانه بارندگی

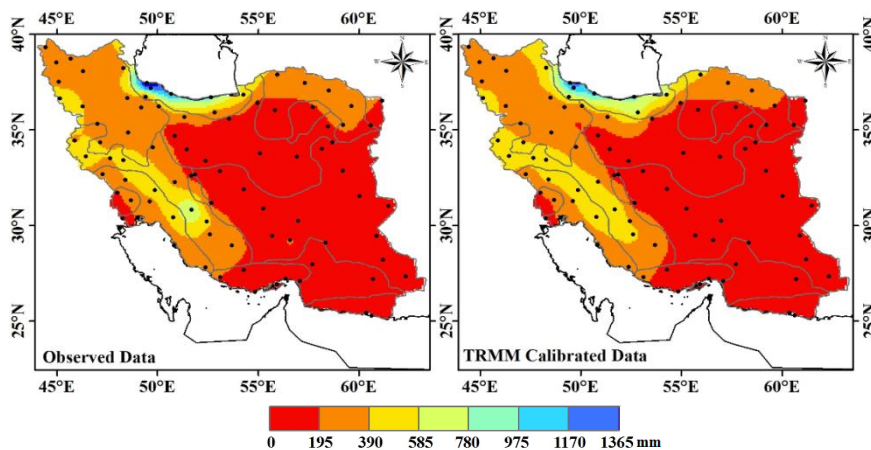
طی دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۰۹ در ایستگاه‌های سینوپتیکی انتخابی با کاربرد روش زمین آماری کوکریجینگ مطابق شکل ۱۰ تهیه شد. مقایسه نقشه‌ها بیانگر کارایی قابل قبول TRMM تصحیح شده در تخمین مقادیر بارندگی سالانه در بیشتر زون‌های اقلیمی (به جز نواحی مرطوب شمال کشور با بیشترین خطا در رشت و بندر انزلی) است. شایان ذکر است که در مقاله حاضر، نقشه‌های بارندگی ماهانه تصحیح شده ماهواره TRMM در دوره آماری مذکور ارائه نشده است.



شکل ۸. مقایسه میانگین مشاهده‌ای و تخمینی مقدار تجمعی بارندگی طی دوره آماری در مقیاس ایران



شکل ۹. مقادیر خطای بین داده‌های تجمعی مشاهده‌ای و TRMM طی دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۹



شکل ۱۰. مقایسه توزیع مکانی میانگین سالانه بارندگی در دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۹ بر اساس مقادیر مشاهداتی (سمت چپ) و مقادیر تصحیح شده TRMM (سمت راست) در زون‌های اقلیمی ایران بر اساس روش زمین آماری کوکریجینگ

بحث و نتیجه‌گیری

تخمین مقدار بارندگی به‌وسیله داده‌های ماهواره‌ای یکی از راهکارهای نوین است. در سال‌های اخیر، اندازه‌گیری دقیق بارش، توزیع مکانی و جهانی آن در سطح جهان اهمیت یافته است. هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی داده‌های باران ماهواره TRMM و ارائه ضرایب تصحیح (واسنجی داده‌ها) در زون‌های اقلیمی بیابانی، نیمه‌بیابانی، کوهستانی، نیمه‌کوهستانی، بیابان ساحلی و مرطوب ساحلی ایران در مقیاس‌های روزانه و ماهانه بوده است.

استفاده از معیارهای آماری مختلف و شاخص‌های مطابقت برای ارزیابی صحت داده‌های ماهواره‌ای از مزیت‌های تحقیق حاضر است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که داده‌های برآوردی ماهواره TRMM در مقیاس روزانه و ماهانه توزیع مشابهی با الگوی به‌دست‌آمده از داده‌های زمینی دارد. نتایج مطالعات المزروری (۲۰۱۱) در عربستان و اسلام و همکاران (۲۰۱۰) در نپال نیز بیانگر این واقعیت است. داده‌های اولیه TRMM مقدار بارندگی روزانه و ماهانه را در ۶۸٪ از کل ایستگاه‌های سینوپتیکی انتخابی بیش از مقادیر مشاهده‌ای برآورد می‌کند. با این حال، تغییرات ضرایب همبستگی در ماه‌های مختلف سال بیانگر همبستگی خوبی بین دو منبع اطلاعاتی است. کمترین خطای TRMM در مقیاس روزانه، مربوط به ایستگاه‌های زاهدان، بم، زابل و یزد (زون بیابانی) و در مقیاس ماهانه مربوط به ایستگاه‌های زاهدان، بم، اصفهان و مشهد است. ایستگاه‌های بندرانزلی، رامسر، رشت و بابلسر (زون مرطوب ساحلی) TRMM بیشترین مقدار خطا را در مقیاس‌های روزانه و ماهانه دارد.

نتایج تحقیق بارانیزاده و همکاران (۱۳۹۰) در مقیاس ماهانه نیز بیانگر بیشتربودن خطای ماهواره TRMM در ناحیه خزری ایران است. با این حال، مقدار شاخص FAR در ایستگاه‌های واقع در نوار شمالی ایران در مقایسه با دیگر ایستگاه‌ها کمتر برآورد شده است که نشان می‌دهد نسبت پیش‌بینی‌های نادرست بر مجموع پیش‌بینی‌های درست و نادرست انجام‌شده با ماهواره TRMM در ایستگاه‌های مذکور کمتر بوده است. به‌عبارت دیگر، با وجود مقدار خطای بالای برآوردشده در زون مرطوب ساحلی، TRMM توانسته است وقوع بارندگی در این ایستگاه را بهتر پیش‌بینی کند. واسنجی داده‌های TRMM در مناطق اقلیمی شش‌گانه نشان داد که تصحیح داده‌های روزانه و ماهانه TRMM در مقیاس منطقه‌ای باعث بهبود مقادیر تخمین‌زده‌شده ماهواره‌ای می‌شود. آگاهی از میزان خطای این داده‌ها در مناطق مختلف ایران و ارائه ضرایب تصحیح (واسنجی) در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه برای بسیاری از محققان و کارشناسان علوم جغرافیا، هوا و اقلیم‌شناسی و هیدرولوژیست‌ها اهمیت بسیار بالایی دارد.

به محققان توصیه می‌شود از سایر روش‌های واسنجی مانند کاربرد رگرسیون غیرخطی در مرحله تصحیح داده‌های ماهواره‌ای استفاده کنند. به‌علاوه، تأکید می‌شود از مقادیر مشاهده‌ای تعداد مطلوبی از سایر ایستگاه‌های سینوپتیکی واقع در هر زون اقلیمی که در مرحله واسنجی از آن‌ها استفاده نشده است، در اعتبارسنجی داده‌های تصحیح‌شده ماهواره‌ای استفاده شود تا بتوان در مورد میزان تأثیر ضرایب تصحیح یا واسنجی بهتر قضاوت کرد.

منابع

- امیدوار، ک.؛ فنودی، م. و بنی‌واهب، ع. ر. (۱۳۹۲). بررسی تطابق آمار بارندگی ماهواره TRMM با ایستگاه‌های اقلیمی زمینی، اولین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، دانشگاه کرمان، ۳۰-۳۱ اردیبهشت، ۱۲ ص.
- بارانزاده، ا.؛ بهیار، م. ب. و عابدینی، ی. ع. (۱۳۹۰). ارزیابی برآوردهای بارندگی ماهواره TRMM-3B43 با استفاده از مقایسه با داده‌های زمینی مشاهداتی شبکه‌های بارش قدرت تفکیک بالا (APHRODIT) در ایران، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه زنجان، ۲۸-۲۹ اردیبهشت، ۸ ص.
- حجازی‌زاده، ز. و مقیمی، ش. (۱۳۸۹). کاربرد اقلیم در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۷۲.
- ذوالفقاری، ح. (۱۳۷۶). تحلیل الگوهای زمانی و مکانی بارش‌های روزانه در غرب ایران با استفاده از روش‌های آماری، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تبریز.
- شبروانی، ا. و فخاری‌زاده شیرازی، ا. (۱۳۹۳). مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس، نشریه هواشناسی کشاورزی، ۲: ۱-۱۵.
- علیزاده، ا.؛ کمالی، غ.؛ موسوی، ف. و موسوی بایگی، م. (۱۳۸۶). هوا و اقلیم‌شناسی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۹۲ ص.
- کاوایانی، م. و علیجانی، ب. (۱۳۸۸). مبانی آب‌وهواشناسی، انتشارات سمت، ۵۹۴ ص.
- میررحیمی، س. و فیضی‌زاده، م. ب. (۱۳۸۷). بررسی دقت داده‌های رادار زمینی و TRMM در برآورد بارش. همایش ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور، ۷ ص.
- Alijani, B.; Ghohroudi, M. and Arabi, N. (2008). Developing a Climate Model for Iran using GIS, *Theoretical and Applied Climatology*, 92(1): 103-112.
- Alizadeh, A.; Kamali, Gh.; Mousavi, F. and Mousavi Bayeghani, M. (2007). *Climatology*, Mashhad Ferdowsi University Press, 392pp. (In Persian).
- Almazroui, M. (2011). Calibration of TRMM Rainfall Climatology over Saudi Arabia during 1998-2009, *Atmospheric Research Journal*, 99(3): 400-414.
- Baranizadeh, E.; Behyar, M. and Abedini, Y. (2011). Evaluation of Satellite Rainfall Estimates from TRMM-3B43 through comparison with Ground-Based data of High-Resolution Network (APHRODITE) in Iran, *The second Iranian National conference on applied research in water resources*, Zanjan University, May 18-19, 8 pp. (In Persian).
- Chokngamwong, R. and Chiu, L.S. (2008). Thailand Daily Rainfall and Comparison with TRMM Products, *Journal of Hydrometeorology*, 9(2): 256-266.
- Hejazizadeh, Z. and Moghimi, Sh. (2010). *Applied Climatology in Urban and Regional Planning*, Payame Noor University Press, (In Persian).
- Islam, M.; Das, S. and Uyeda, H. (2010). Calibration of TRMM Derived Rainfall over Nepal during 1998-2007, *Atmospheric Science Journal*, 4: 12-23.
- Javanmard, S.; Yatagai, A.; Nodzu, M.I.; Bodagh Jamali, J. and Kawamoto, H. (2010). Comparing High resolution Gridded Precipitation Data with Satellite Rainfall Estimates of TRMM 3B42 over Iran, *Advances in Geosciences*, 25(25): 119-125.
- Kaviani, M. and Alijani, B. (2009), *Principles of Climatology*, Samt Press, 594 pp. (In Persian).
- Khole, M. (2012). Operational Weather Forecasting during Monsoon Season-Technical Aspects, Tyagi, A., G.C. Asnani, U.S. De, H.R. Hatwar, A.B. Mazumdar, Monsoon Monograph, BS Publications, Hyderabad, India, 330-359pp.
- Liang, S.; Li, X. and Wang, J. (Eds.) (2012). *Advanced Remote Sensing: Terrestrial Information Extraction and Applications*, Academic Press.
- Mirrahimi, S. and Fayzizadeh, M.B. (2008). Investigating Ground-Based Radar and TRMM Data for Precipitation Estimation, *Geomantic Conference*, National Mapping Agency, 7pp. (In Persian).

- Omidvar, K.; Fanoodi, M. and Banivaheb, A. (2013). Evaluation of Rainfall data of TRMM Satellite with Observations at Synoptic Stations, Case study: Synoptic Stations in Khorasan-e-Razavi, *The First National Conference on Meteorological of Iran*, Kerman University, May 20-21, 12 pp. (In Persian).
- Shirvani, A. and Fakharzadeh Shirazi, E. (2014). Comparison of Ground-Based Observations of Precipitation with TRMM Satellite Estimations in Fars Province, *Agricultural Meteorology Journal*, 2(2): 1-15 (In Persian).
- Stocker, E. (2007). Overview of TRMM Data Products and Services, *Journal of Geophysical Research*, 9: 7.
- Wilks, D. S., 2011, *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Vol. 100, Academic press.
- Zolfagari, H. (1997). Analysis of Temporal and Spatial Patterns of Daily Precipitation in the West of Iran by Using Statistical Methods. PhD Thesis, Tabriz University, (In Persian).