



فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه‌ای)

علمی - پژوهشی

سال سوم، شماره سوم، تابستان ۱۳۹۲

- ۲۶-۷ بررسی نقش سیستم‌های اَکم فشار بریده شده^۱ در شکل‌گیری گرد و غبارهای فراگیر جنوب غرب ایران
کوهزاد رئیس پور، محمود خسروی، تقی طاوسی و محمد شریفی کیا
- ۳۸-۲۷ آسیب‌شناسی مطالعات آب و هواشناسی در ایران (با تأکید بر آب و هواشناسی گردنگری)
حسن ذوالفقاری
- ۵۰-۳۹ شناسایی امواج گرما و سرما در استان کردستان و تغییرات بامد رخداد آنها طی چند دهه‌ی اخیر
محمد دازند
- مباری تابستانه در دست سیستان
ارزیابی توان مدل RegCM4 پیوند خورده با طرحواره غبار در آنتکار سازی ساختار توفان‌های گرد و
عباس مقیدی، سمیه کنالی و آذر زرین
- ۸۱-۶۹ کاوشی در بارش‌های فرین ایران (پرفشار کاسپین) مطالعه موردی: بارش‌های سنگین خراسانی
محمد سلیمه
- ۹۵-۸۳ ارزیابی و کالیبراسیون داده‌های باران ماهواره TRMM در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران
مهدی عرفانیان، سیما کاظم پور و حسن حیدری
- ۱۱۳-۹۷ ارزیابی توان مدل‌های سیاره‌ای آب و هوا در شبه سازی تغییرات مؤلفه‌های دمای استان فارس
حمید نظری پور و اکبر زهرایی
- ۱۲۸-۱۱۵ پایش و ارزیابی خشکالی‌های استان کرمان با شاخص‌های خشکالی هواشناسی
صادق کریمی و زهرا کریمی
- ۱۳۹-۱۲۹ اثر وردایست بر تنظیم کوفشار
علی محمدی و علیرضا محب‌الحجه
- تحلیل روندهای شاخص بارش استاندارد شده و شواهد تغییر اقلیم در ایران (۱۹۵۱-۲۰۱۰)
مهدی صداقت و فروزان خنجری
- ۱۰-۱ چکیده انگلیسی مقاله‌ها

Quarterly of Geography (Regional Planning)

Vol 3, No 3, Summer 2013

Studying the Role of Cut Off Low Systems Information of Broad Dusts in Western South of Iran	K. Raïspour, M. Kïostravi, T. Tavousi & M. Sharifikiya	7-26
Pathology of climatology studies in Iran (With Emphasize to Tourism climatology)	Hasan Zolfaghari	27-38
Recognition of warm and cold waves and trend analysis of their occurrence frequency during recent decades over Kurdistan Province	Mohammad Darand	39-50
Evaluation of the RegCM4 model coupled with Dust module on identification of dust storm features over the Sistan region	Abbas Mofidi, Somayeh Kamali & Azar Zarrin	51-69
Explore the extreme rainfall's Iran (high pressure caspian) Case Study: Khorasan Heavy rainfall	Mohammad Saligheh	71-81
Evaluation and Calibration of TRMM Satellite Rainfall Data in Arid and Semi-arid Regions of Iran	Mahdi Erfanian, Sima Kazempour & Hassan Heidari	83-95
Evaluation of Global Climate Models in simulations of temperature components variation in Fars province	Hamid Nazaripour & Akbar Zahraei	97-113
Monitoring and assessment of droughts by meteorological indices in Kerman	Sadegh Karimi & Zahra Karimi	115-128
The effects of tropopause on baroclinic adjustment	Ali Mohammadi & Alireza Mohebalhojeh	129-139
Trends Analysis of Standard Precipitation Index as Climate Change Evidences in Iran (1951-2010)	Mahdi Sedaghat & Firoozan Khanjari	141-148



ارزیابی و کالیبراسیون داده‌های باران ماهواره TRMM در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران

مهدی عرفانیان^۱

استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

سیما کاظم پور

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

حسن حیدری

استادیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۴/۲۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۲۵

چکیده

در دهه اخیر، استفاده از داده‌های سنجش از دور در مدیریت منابع آب و پایش خشکسالی‌ها مورد توجه بسیاری از محققان بوده است. تحقیق حاضر، با هدف ارزیابی میزان دقت داده‌های باران ماهواره TRMM در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در مقیاس ماهانه انجام شده است. ابتدا سری داده‌های ماهانه TRMM-3B43 از سایت ناسا دانلود شد و پس از پردازش اولیه، مقایسه تطبیقی بین داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های مشاهده‌ای باران در ۲۱ ایستگاه سینوپتیک واقع در منطقه اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران طی دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۰۹ انجام شد. برای ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای از معیارهای خطا (R، ME، MAE و RMSE) و شاخص‌های مطابقت (CSI، SR، FAR، POD، TSS) استفاده شد. نتایج ارزیابی نشان داد که ماهواره TRMM مقادیر بارندگی ماهانه را در ۸۰ درصد از ایستگاه‌های سینوپتیک بیشتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد می‌کند. بدلیل وجود اختلاف قابل توجه بین مقادیر TRMM و داده‌های زمینی، مقادیر تخمین زده TRMM به کمک میانگین منطقه‌ای آمار باران ایستگاه‌های زمینی و در مقیاس ماهانه، کالیبره شد و ضرایب تصحیح با روش آنالیز رگرسیونی بدست آمد. داده‌های کالیبره شده TRMM به طور قابل ملاحظه‌ای مشابه یا نزدیک به مقادیر مشاهده‌ای شد.

کلید واژه‌ها: باران، ارزیابی، کالیبراسیون TRMM، خشک و نیمه‌خشک

مقدمه

بارش، مؤلفه بنیادی چرخه جهانی آب و یکی از مهمترین پارامترهای هیدرولوژیکی برای مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی است. در سالهای اخیر، اندازه‌گیری دقیق بارش، توزیع مکانی و جهانی آن در سطح جهان مورد توجه قرار گرفته است. برخلاف دیگر پارامترهای هواشناسی، پراکندگی مکانی و زمانی بارندگی بسیار متغیر بوده و ممکن است شدت بارش از ۰/۱ تا ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت تغییر کند و مدت بارش نیز از چند ثانیه تا چند روز به طول انجامد. ساختار مکانی و زمانی بارندگی، بر روی فرآیندهای هیدرولوژیکی از جمله تولید رواناب و میزان رطوبت خاک تأثیر می‌گذارد. بنابراین اندازه‌گیری دقیق بارش و تهیه نقشه توزیع مکانی و زمانی آن کاملاً چالش برانگیز است. بطور کلی، اندازه‌گیری میزان بارندگی توسط ایستگاه‌های زمینی، رادارهای زمینی و ماهواره انجام می‌گیرد. در ایران شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی بسیار پراکنده و نامنظم است. بنابراین، اندازه‌گیری میزان بارندگی به روش سنتی که مستلزم شبکه باران‌سنجی متراکم است، از لحاظ اجرایی و اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. رادارهای بارش هم دارای مشکلاتی چون نیازمندی به تأسیسات گران‌قیمت، ناهمگنی جمع‌آوری داده‌ها به خاطر پراکندگی مکانی و محدودیت پوشش مکانی می‌باشد.

سنجش از دور ماهواره‌ای با داشتن دیدی وسیع، نوید یک ابزار تقریباً کامل جهت برطرف سازی گپ‌های اندازه‌گیری زمینی را می‌دهد. ماهواره‌ها با متمرکز کردن جمع‌آوری، ذخیره، توزیع و کنترل داده‌ها مطابق با روش‌های استاندارد، در دسترس بودن توزیع مکانی بارش با قدرت تفکیک مکانی یک تا ۵ کیلومتر و قدرت تفکیک زمانی نیم تا یک ساعت، پوشش دادن سطح وسیعی از منطقه در یک لحظه و از همه مهمتر پایش مناطقی که توسط باران‌سنج‌ها انجام نمی‌گیرد برخی از این مشکلات را حل کرده‌اند (متکان، ۱۳۸۸، ص ۳۱).

ماهواره ^۱ TRMM (مأموریت اندازه‌گیری باران مناطق حاره‌ای) اولین سیستم فضایی رادار بارش است و هنوز هم در مدار بوده و از اطلاعات آن استفاده می‌شود (Kummerow, 1998, p809). این ماهواره در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ با همکاری سازمان فضایی ایالات متحده آمریکا و ژاپن به فضا پرتاب شد و اولین مأموریت اختصاص داده شده برای اندازه‌گیری باران مناطق حاره‌ای و نیمه حاره‌ای از طریق سنسورهای مایکروویو، مادون قرمز و مرئی است. این ماهواره، اندازه‌گیری‌های سیستماتیک، چندساله، مرئی، مادون قرمز و مایکروویو بارندگی را در مناطق حاره‌ای بعنوان ورودی‌های اصلی پروژه‌هایی آب و هوایی و اقلیم فراهم می‌کند. مشاهدات ماهواره‌ای توسط داده‌های باران-سنج‌ها و رادارهای زمینی، به منظور اعتبارسنجی تکنیک‌های ماهواره‌ای برآورد بارندگی تکمیل می‌شوند.

تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه ارزیابی داده‌های TRMM در ایران و سایر کشورها انجام شده است. عسکری و همکارانش در مطالعه خود اقدام به دانلود، پردازش و مقایسه بصری و آماری محصول 3B42RT ماهواره TRMM با داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک ایران برای آذر ماه سال ۱۳۸۶ کردند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده انطباق ۷۰ درصدی داده‌های باران ماهواره TRMM با مقادیر زمینی در این ماه بود (عسکری و همکاران، ۱۳۸۶، ص ۸). میررحیمی و فیضی‌زاده دقت داده‌های رادار زمینی و ماهواره TRMM در برآورد بارندگی را برای روز ۲۷

¹ Tropical Rainfall Measuring Mission

دسامبر ۲۰۰۶ مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که بین داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای همبستگی نسبتاً خوبی وجود دارد (فیضی‌زاده، ۱۳۸۷، ص ۷). بارانیزاده و همکاران، برآورد باران ماهواره TRMM-3B43 را با استفاده از داده‌های مشاهداتی شبکه‌های بارش با قدرت تفکیک بالا را در ایران ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که TRMM-3B43 عملکرد بهتری در شناسایی رخداد باران و تشخیص الگوی بارشی حاکم بر هر فصل دارد (بارانیزاده و همکاران، ۱۳۹۰، ص ۸). کالیسکان و همکاران، داده‌های باران ماهواره TRMM را در حوزه رودخانه تاپاجو، انشعاب اصلی رودخانه آمازون واقع در سرزمین برزیل، مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها مقادیر بارندگی سه‌ساعته ماهواره TRMM را پس از درون‌یابی با داده‌های زمینی مقایسه کردند. سپس مقادیر بارندگی روزانه ماهواره TRMM و داده‌های باران سنج‌ها را بعنوان ورودی مدل هیدرولوژیکی بزرگ مقیاس MGB-IPH مورد استفاده قرار داده و هیدروگراف‌های حاصل از محاسبات را با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای، مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که داده‌های TRMM 3B42 را می‌توان به‌عنوان ورودی مدل‌های توزیعی باران-رواناب در حوزه‌های گرمسیری جنوب آمریکا مورد استفاده قرار داد (Collischonn et al, 2008, p207). واریکودن و همکاران از داده‌های بارندگی ماهواره TRMM با قدرت تفکیک زمانی سه‌ساعته، به منظور آنالیز توزیع مکانی بارندگی روزانه، تغییرات روزانه، توزیع کلاس‌های مختلف شدت بارندگی و سهمشان در بارندگی کل در فصول مختلف در شبه جزیره مالزی استفاده کردند. علاوه بر این، داده‌های بارندگی ایستگاه‌های زمینی را برای اعتبارسنجی داده‌های بارندگی TRMM استفاده کرده و همبستگی معنی‌داری بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی را نشان دادند. مقادیر ضرایب همبستگی در نقاط مختلف شبه جزیره مالزی نشان داد که داده‌های TRMM برای مطالعه تغییرات روزانه و توزیع مکانی کلاس‌های مختلف شدت در فصل‌های مختلف سال مناسب است (Varikoden et al, 2010, p312). اسلام و همکاران، داده‌های TRMM را در مقیاس روزانه با استفاده از داده‌های ۱۵ ایستگاه زمینی واقع در نپال کالیبره کردند. داده‌های برآوردی ماهواره در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه توزیع مشابهی با الگوی بدست آمده از داده‌های زمینی داشت. نتایج آن‌ها در مقیاس روزانه نشان داد با وجود این‌که در بیشتر روزها، TRMM مقادیر باران را کمتر برآورد می‌کند ولی روند بسیار مشابه با داده‌های زمینی دارد (Islam et al, 2010, p12). المزوری در یک پژوهش، کلیماتولوژی بارش کوتاه مدت کشور عربستان سعودی را با استفاده از داده‌های TRMM مورد بررسی قرار داد. وی پس از مقایسه بارندگی روزانه TRMM با داده‌های زمینی، مقادیر فصلی، ماهانه و سالانه حاصل از هر دو منبع اطلاعاتی را با هم مقایسه کرده و نقشه توزیع مکانی و زمانی آن‌ها را تهیه کرد. مقایسه بارش روزانه نشان داد که روند داده‌های TRMM بسیار شبیه به مقادیر مشاهده‌ای است. او به منظور ارزیابی عملکرد ماهواره TRMM از چهار شاخص مطابقت FAR، POD، TS و SS استفاده کرد و نتیجه گرفت که TRMM می‌تواند در انواع مختلفی از کاربردهای مرتبط با آب در عربستان سعودی مورد استفاده قرار گیرد (Almazroui, 2010, p400). چن و همکاران به منظور ارزیابی داده‌های ماهواره TRMM و کاربرد آن در حوزه رودخانه سونگ جیانگ از داده‌های سه‌ساعته TRMM استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که داده‌های سه‌ساعته TRMM دارای دقت بالا و تطابق خوب با داده‌های مشاهده‌ای در مقیاس حوزه آبخیز بوده ولی در مقیاس

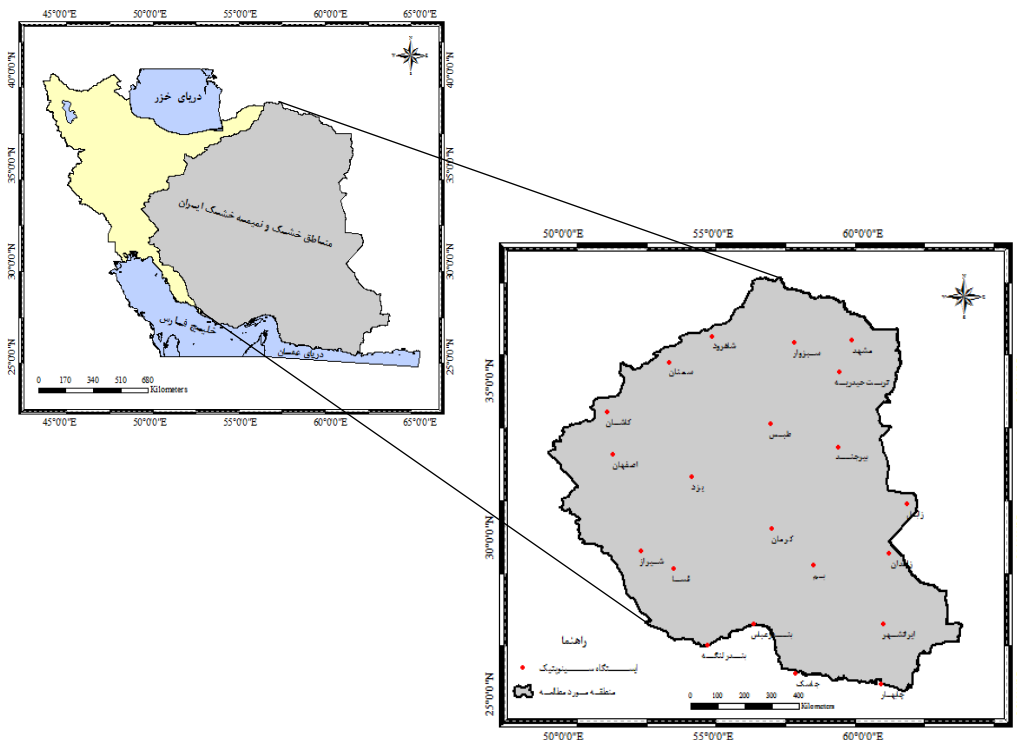
نقطه‌ای (ایستگاه) نشان‌دهنده خطای بیشتر می‌باشند (Chen, 2011, p.396). لی و همکاران داده‌های TRMM را با داده‌های باران‌سنج‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف مقایسه و کارایی داده‌های بارش TRMM برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و آنالیز تعادل آب در حوزه آبخیز زنجینگ واقع در رودخانه ینگتزی در کشور چین را ارزیابی کردند. آن‌ها در مقیاس زمانی ماهانه، روابط خطی معنی‌داری را بین مقادیر TRMM و مقادیر اندازه‌گیری شده زمینی بدست آوردند. همچنین، شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی ماهانه نشان داد که داده‌های بارندگی TRMM می‌تواند عملکرد خوبی برای شبیه‌سازی جریان در حوزه آبخیز مذکور داشته باشد (Li et al, 2012, 28).

در بیشتر حوزه‌های آبخیز ایران، نبود یا کمبود داده‌های بارندگی بعنوان یکی از مشکلات اساسی بالاخص در مطالعات بیلان آب و مدل‌سازی باران-رواناب می‌باشد. تاکنون داده‌های باران ماهواره TRMM در کشورهای زیادی مورد ارزیابی قرار گرفته است ولی ارزیابی و کالیبراسیون (واسنجی) سری داده‌های روزانه TRMM در ایران در ایستگاه‌های سینوپتیک در سطح وسیع و با یک نوع اقلیم مشخص انجام نشده است. لذا تحقیق حاضر با هدف ارزیابی و کالیبراسیون داده‌های TRMM در ۲۱ ایستگاه سینوپتیک واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران انجام شده است. یافته‌های این تحقیق برای بسیاری از محققان و کارشناسان علوم جغرافیا، هوا و اقلیم‌شناسی و هیدرولوژیست‌ها کاربرد دارد. استفاده از معیارهای مختلف خطا و شاخص‌های مطابقت برای ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای، یکی از ویژگی‌های بارز و نوین تحقیق حاضر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

در این تحقیق، به منظور ارزیابی و مقایسه داده‌های باران ماهواره TRMM با داده‌های زمینی در مقیاس ماهانه، مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران شامل ۲۱ ایستگاه سینوپتیک مجهز به باران‌سنج انتخاب شده است. در این مناطق، شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی بسیار پراکنده و نامنظم بوده و بارندگی از تغییرات زیادی برخوردار است. داده‌های مورد استفاده شامل (۱) داده‌های بارندگی ماهانه ۲۱ ایستگاه سینوپتیک و (۲) داده‌های سری TRMM-3B43 با دوره آماری ۱۲ ساله از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ می‌باشند. داده‌های TRMM-3B43 از سایت ناسا دانلود و پس از پردازش اولیه و آماده‌سازی، مورد استفاده قرار گرفت. پراکنش مکانی و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی

الف- ارزیابی داده‌های TRMM

به منظور ارزیابی مقادیر برآورده شده باران توسط ماهواره TRMM، مقایسه تطبیقی داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های زمینی و داده‌های سری روزانه TRMM با استفاده از معیارهای آماری خطا و شاخص‌های مطابقت انجام شد که در بخش‌های بعدی شرح داده می‌شوند.

معیارهای آماری ارزیابی داده‌های TRMM

ضریب همبستگی پیرسون (R)

ضریب همبستگی پارامتری پیرسون، یکی از رایج‌ترین و مفیدترین روش‌های آماری می‌باشد که درجه همبستگی بین دو متغیر را نشان می‌دهد. مقدار این ضریب بین ۱- و ۱+ است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود. این ضریب در مقیاس‌های ماهانه و سالانه (مقادیر باران بزرگتر از صفر) محاسبه شد.

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

که در آن n تعداد کل داده‌ها، SD داده‌های ماهواره‌ای (TRMM) و GD داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی هستند. مقدار n با توجه در دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ و مقیاس ماهانه برابر ۱۴۴ می‌باشد.

میانگین خطا (ME)

میانگین خطا، میزان اربیی یا انحراف داده‌های برآوردی را از مقادیر مشاهده‌ای بطور متوسط نشان می‌دهد. معیار ME مثبت بیانگر این است که مقادیر TRMM بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای است ولی ME منفی بیانگر برآورد کمتر TRMM در مقایسه با میانگین منطقه‌ای مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد.

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

میانگین خطای مطلق (MAE)

میانگین خطای مطلق، متوسط مقدار مطلق خطاها را نشان می‌دهد. این معیار آماری از رابطه زیر بدست می‌آید:

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

ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)

ریشه دوم میانگین مربعات خطا، میانگین خطاهای کوچک و بزرگ را نشان داده و در مقایسه با MAE برای خطاهای بزرگ نسبت به خطاهای کوچک، وزن بیشتری را در نظر می‌گیرد. رابطه محاسبه این معیار آماری به صورت زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (SD_i - GD_i)^2} \quad (4)$$

معیارهای مطابقت

در محاسبه شاخص‌ها یا معیارهای مطابقت، صرفاً به وقوع و عدم وقوع رویداد توجه شده و با توجه به این که در دوره آماری ۱۲ ساله، در هر ایستگاه چه تعداد از پیش‌بینی‌ها (وقوع بارندگی)، درست و یا نادرست بوده است، ابتدا یک جدول بنام جدول توافقی تهیه شده و سپس شاخص‌های تطابق محاسبه شدند. جدول توافقی یک جدول دو بعدی است که توزیع مشترک مشاهدات و پیش‌بینی‌ها را از لحاظ فراوانی و یا فراوانی نسبی نمایش می‌دهد.

جدول ۱: جدول توافقی برای محاسبه شاخص‌های مطابقت

داده‌های زمینی \ داده‌های ماهواره‌ای	بله	خیر
بله	Hits	False
خیر	Misses	Null

در جدول ۱ عبارت Hits بیانگر فراوانی یا تعداد حالات پیش‌بینی TRMM است که با رخداد‌های مشاهده‌ای مطابقت دارند. تعداد پیش‌بینی‌هایی با رویدادهای مشاهده‌ای مطابقت ندارند با عبارت False نشان داده می‌شود. تعداد رویدادهای پیش‌بینی نشده علیرغم وقوع باران در ایستگاه زمینی با عبارت Misses بیان شود. عبارت Null بیانگر تعداد روزهای مطابقت پیش‌بینی عدم وقوع باران توسط TRMM با مشاهدات زمینی است.

شاخص^۱ POD

این شاخص نسبت تعداد پیش‌بینی‌های درست بر تعداد مشاهده‌ای در هر کلاس جدول توافقی را بیان می‌کند. این شاخص نسبت به رویدادهای از دست رفته حساس است نه تعداد پیش‌بینی‌های نادرست و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$POD = \frac{Hits}{Hits + Misses} \quad (۵)$$

شاخص^۲ FAR

این شاخص عبارت است از نسبت تعداد پیش‌بینی‌های نادرست بر تعداد کل پیش‌بینی‌ها. همانطور که از اسم شاخص پیداست صرفاً نسبت به پیش‌بینی‌های نادرست حساس است و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$FAR = \frac{False}{Hits + False} \quad (۶)$$

شاخص^۳ SR

این شاخص عبارت است از نسبت تعداد پیش‌بینی‌های درست بر تعداد کل پیش‌بینی‌ها و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SR = \frac{Hits}{Hits + False} \quad (۷)$$

این شاخص همچنین برابر است با:

$$SR = 1 - FAR \quad (۸)$$

شاخص^۴ CSI

این شاخص، به اختصار TS^۵ نیز نامیده می‌شود. شاخص CSI دقت نسبی ماهواره TRMM را محاسبه می‌کند. بعنوان مزیت این شاخص باید گفت که هم نسبت به پیش‌بینی‌های نادرست و هم نسبت به رویدادهای از دست رفته حساس است و بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CSI = \frac{Hits}{Hits + Misses + False} \quad (۹)$$

شاخص^۶ TSS

این شاخص، پیش‌بینی‌های درست و تصادفی را شامل می‌شود که باید نااریب باشند و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$TSS = \frac{(Null \times Hits - False \times Misses)}{(Null + False) \times (Misses + Hits)} \quad (۱۰)$$

^۱ Probability of Detection

^۲ False Alarm Ratio

^۳ Success Ratio

^۴ Critical Success Index

^۵ Treat Score

^۶ True Skill Statistic

ب- کالیبراسیون (واسنجی) داده‌های TRMM

در صورت عدم تطابق داده‌های ماهواره TRMM با داده‌های زمینی (میانگین منطقه‌ای در مقیاس ماهانه)، عمل کالیبراسیون با هدف حداقل کردن خطای بین داده‌های TRMM و داده‌های مشاهده‌ای از طریق آنالیز رگرسیونی به صورت زیر انجام می‌شود:

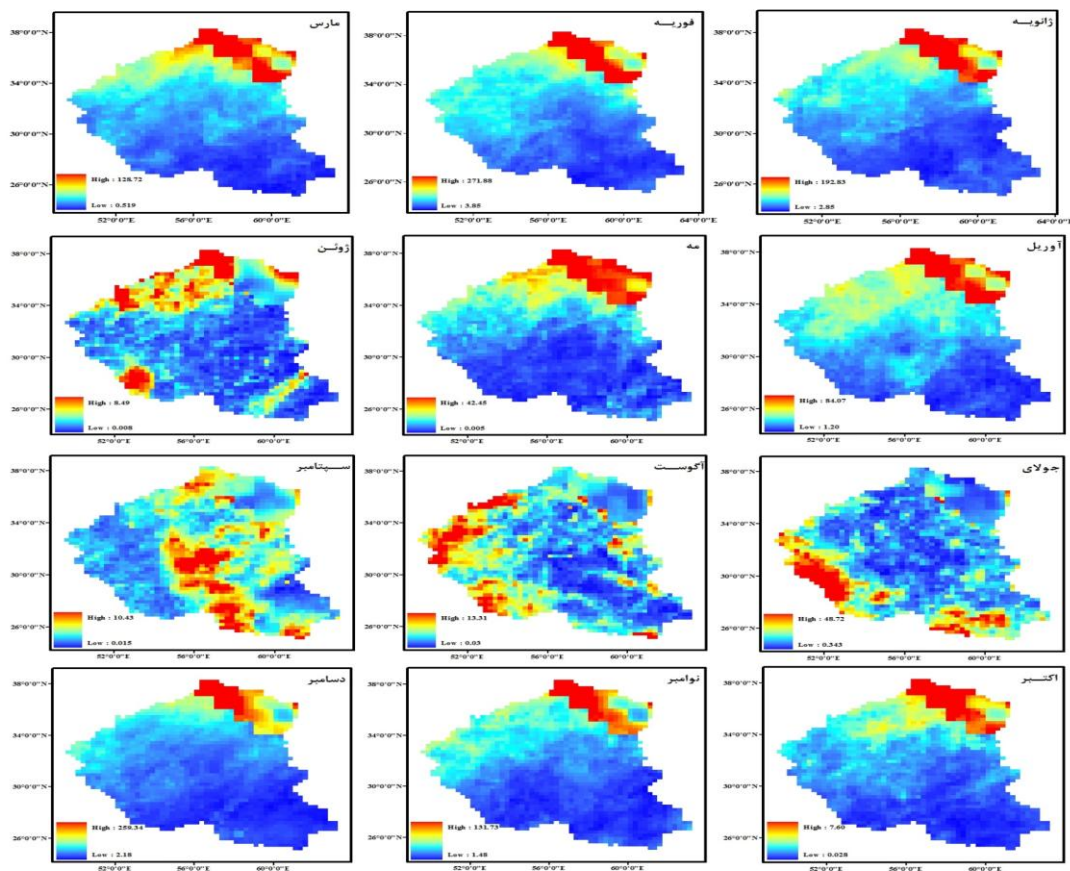
$$GD_i = c_{RF} + m_{RF} \times SD_i \quad (11)$$

که در آن c_{RF} مقدار ثابت، m_{RF} شیب، SD داده‌های ماهواره‌ای (TRMM) و GD داده‌های ایستگاه‌های باران-سنجی (مقادیر مشاهده‌ای) می‌باشد.

نتایج و بحث

توزیع مکانی-زمانی بارندگی ماهانه ماهواره TRMM

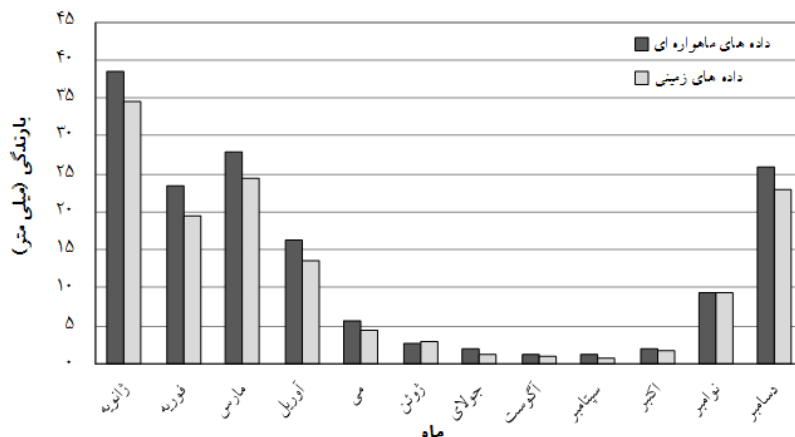
توزیع مکانی بارندگی ماهانه بر حسب میلی‌متر برای منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ نمایش داده شده است. بارندگی ماهانه از داده‌های TRMM و متوسط سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ بدست آمده است. در ماه‌های ژانویه تا مه و اکتبر تا دسامبر بیشترین مقدار بارندگی ماهانه در شمال شرقی منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است، در حالی که توزیع مکانی آن در سایر ماه‌های سال متفاوت می‌باشد.



شکل ۲: توزیع مکانی میانگین ماهانه باران برآورد شده ماهواره TRMM در دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۰۹

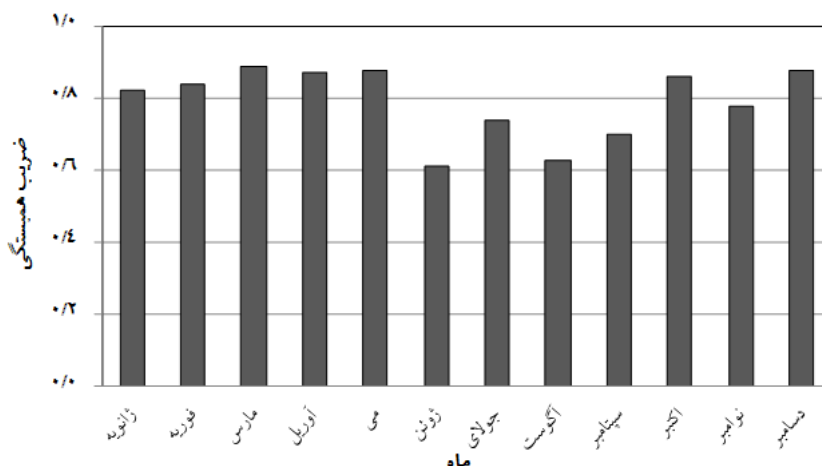
مقایسه متوسط ماهانه بارندگی

میانگین بارندگی ماهانه کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه انتخابی و داده‌های TRMM در طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۹۸ مقایسه شده است (شکل ۳). داده‌های TRMM در طول سال به جز ماه‌های ژوئن و نوامبر، مقدار متوسط ماهانه منطقه را بیش از مقدار مشاهده‌ای تخمین زده است.



شکل ۳: مقایسه میانگین ماهانه منطقه‌ای داده‌های TRMM و مشاهده‌ای در دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۰۹

هیستوگرام ضرایب همبستگی بین متوسط داده‌های ماهانه باران‌سنج‌ها و TRMM طی دوره ۱۲ ساله ۲۰۰۹-۱۹۹۸ در شکل ۴ نشان داده است. این ضریب در تمام ماه‌های سال، معنی‌دار بوده و بین ۰/۸۹ تا ۰/۶۱ متغیر است و متوسط آن برابر ۰/۷۹ می‌باشد.



شکل ۴: هیستوگرام ضرایب همبستگی بین میانگین منطقه‌ای داده‌های TRMM و مشاهده‌ای

معیارهای آماری خطای محاسبه شده در هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه، در جدول ۲ ارائه می‌شود. مقدار ضریب تعیین بین ۰/۹۷ برای ایستگاه‌های فسا و مشهد، و ۰/۴۰ برای ایستگاه جاسک قرار دارد. نتایج میانگین خطا (ME) نشان می‌دهد که داده‌های TRMM، بارندگی ماهانه را در تمامی ایستگاه‌ها بجز اصفهان، تربت حیدریه، چابهار و فسا، بیشتر برآورد می‌کند. بیشترین مقدار RMSE نیز مربوط به ایستگاه جاسک و کمترین مقدار مربوط به ایستگاه زاهدان است.

جدول ۲: معیارهای آماری خطا محاسبه شده در ایستگاه‌های انتخابی

شماره	نام ایستگاه	R ²	ME	MAE	RMSE*
۱	اصفهان	۰/۹۵	-۰/۵۷	۳/۳۲	۶/۳۰
۲	ایران شهر	۰/۹۳	۰/۷۱	۳/۳۴	۶/۸۴
۳	بم	۰/۹۱	۲/۲۲	۲/۷۵	۵/۹۸
۴	بندرعباس	۰/۹۱	۲/۳۵	۴/۷۴	۱۱/۱۷
۵	بندر لنگه	۰/۹۳	۱/۹۶	۳/۱۶	۷/۸۵
۶	بیرجند	۰/۹۲	۱/۷۹	۴/۸۳	۹/۸۶
۷	تربت حیدریه	۰/۹۳	-۱/۴۹	۶/۴۷	۱۲/۰۸
۸	جاسک	۰/۴۰	۰/۰۵	۱۲/۰۹	۳۱/۳۲
۹	چابهار	۰/۸۵	-۱/۷۳	۴/۴۲	۱۱/۴۸
۱۰	زابل	۰/۷۰	۱/۲۲	۳/۳۷	۷/۸۸
۱۱	زاهدان	۰/۸۳	۰/۴۸	۲/۷۵	۵/۹۲
۱۲	سبزوار	۰/۹۴	۰/۳۴	۵/۲۹	۹/۸۵
۱۳	سمنان	۰/۹۲	۱/۶۳	۴/۵۷	۷/۸۱
۱۴	شاهرود	۰/۹۴	۴/۵۲	۶/۸۹	۱۰/۰۲
۱۵	شیراز	۰/۹۶	۱۲/۰۶	۱۳/۲۵	۲۸/۲۵
۱۶	طیس	۰/۷۰	۲/۷۲	۷/۸۴	۱۴/۰۲
۱۷	فسا	۰/۹۷	-۰/۹۴	۵/۳۱	۱۰/۴۲
۱۸	کاشان	۰/۹۳	۲/۲۶	۴/۹۰	۸/۳۲
۱۹	کرمان	۰/۹۳	۱/۸۲	۴/۱۵	۷/۸۹
۲۰	مشهد	۰/۹۷	۰/۰۲	۴/۴۵	۶/۴۹
۲۱	یزد	۰/۷۸	۳/۱۹	۴/۹۲	۸/۹۴

* RMSE, MAE, ME بر حسب میلی‌متر می‌باشند.

در ادامه به منظور ارزیابی عملکرد ماهواره TRMM معیارهای مطابقت ذکر شده محاسبه و در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که شاخص FAR کمترین مقدار را در شاهرود و بیشترین مقدار را در جاسک دارد. مقدار POD در ایستگاه کاشان معادل یک است. مقدار شاخص SR نیز بین ۰/۳۹ تا ۰/۹۵ متغیر می‌باشد و مقدار ۰/۹۵ در ایستگاه شاهرود بیانگر این است که ۹۵ درصد از کل پیش‌بینی‌های انجام شده توسط ماهواره TRMM درست است. هرچه مقدار TSS به عدد یک نزدیکتر باشد بیان انطباق بیشتر یا افزایش مطلوبیت است.

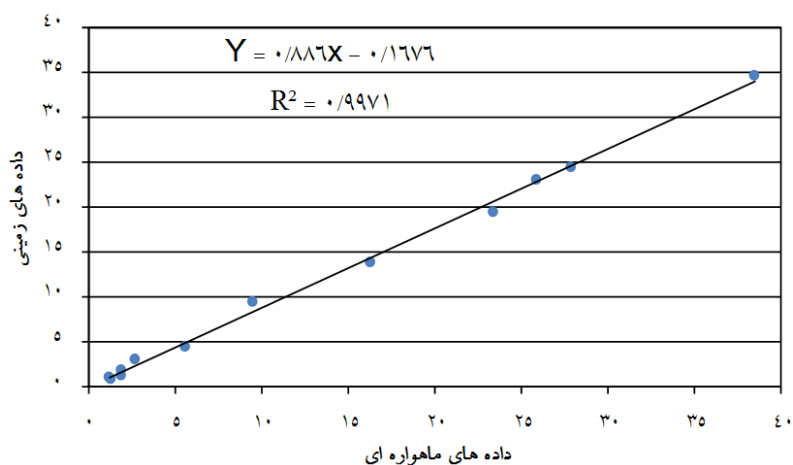
جدول ۳: شاخص‌های مطابقت بین داده‌های TRMM و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های انتخابی

شماره	نام ایستگاه	POD	FAR	SR	CSI	TSS
۱	اصفهان	۰/۹۴	۰/۱۵	۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۵۹
۲	ایران شهر	۰/۸۰	۰/۳۲	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۴۸
۳	بم	۰/۸۸	۰/۳۱	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۵۴
۴	بندرعباس	۰/۹۳	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۳۸
۵	بندر لنگه	۰/۹۴	۰/۴۰	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۸
۶	بیرجند	۰/۹۸	۰/۱۹	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۶۷
۷	تربت حیدریه	۰/۹۱	۰/۱۴	۰/۸۶	۰/۷۹	۰/۴۸
۸	جاسک	۰/۸۲	۰/۶۱	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۱۴
۹	چابهار	۰/۹۰	۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۵۴	۰/۵۵

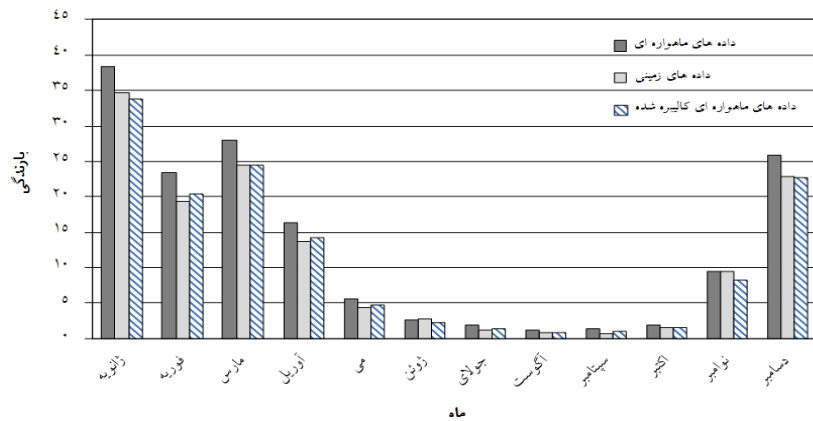
۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۷۱	۰/۲۹	۰/۸۸	زابل	۱۰
۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۷۳	۰/۲۷	۰/۹۳	زاهدان	۱۱
۰/۳۷	۰/۸۰	۰/۸۴	۰/۱۶	۰/۹۴	سبزوار	۱۲
۰/۳۸	۰/۸۳	۰/۸۷	۰/۱۳	۰/۹۵	سمنان	۱۳
۰/۳۳	۰/۸۷	۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۹۲	شاهرود	۱۴
۰/۵۱	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۲۷	۰/۹۹	شیراز	۱۵
۰/۵۴	۰/۷۰	۰/۷۶	۰/۲۴	۰/۸۹	طس	۱۶
۰/۴۶	۰/۶۵	۰/۷۳	۰/۲۷	۰/۸۶	فسا	۱۷
۰/۳۲	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۲۳	۱/۰۰	کاشان	۱۸
۰/۴۷	۰/۷۲	۰/۷۷	۰/۲۳	۰/۹۸	کرمان	۱۹
۰/۴۵	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۱۰	۰/۹۷	مشهد	۲۰
۰/۵۰	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۲۸	۰/۹۵	یزد	۲۱

بدلیل وجود خطا بین دو منبع اطلاعاتی، عمل کالیبراسیون داده‌های TRMM در مقیاس ماهانه برای منطقه مورد مطالعه انجام شد. پلات پراکنش (شکل ۵) پراکنش مقادیر ماهانه منطقه‌ای TRMM و داده‌های مشاهده‌ای را نشان می‌دهد. رابطه خطی بین داده‌های زمینی و TRMM طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۹۸ و در مقیاس ماهانه در این شکل مشاهده می‌شود. مقادیر m_{RF} ، c_{RF} و ضریب تعیین (R^2) در رابطه بدست آمده بترتیب معادل ۰/۱۶۷۶، ۰/۸۸۶ و ۰/۹۹۷۱ می‌باشند. در ادامه، داده‌های TRMM با استفاده از ضرایب تصحیح (m_{RF} ، c_{RF}) کالیبره شدند.

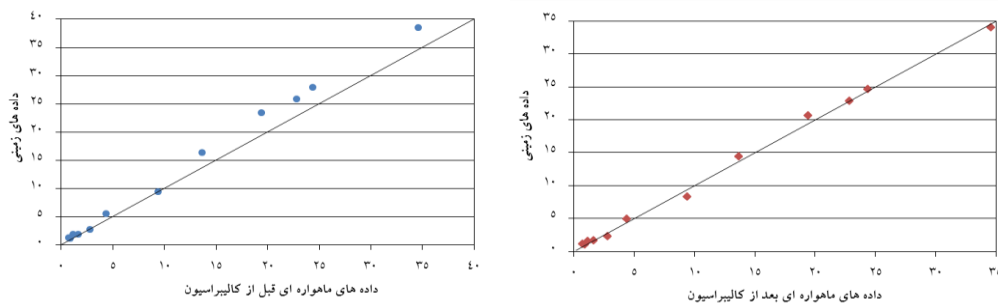
مطابق شکل ۶ داده‌های ماهواره‌ای کالیبره شده تطابق بهتری با داده‌های زمینی دارند. برای درک بهتر این موضوع، پراکنش مقادیر ماهانه منطقه‌ای زمینی و ماهواره TRMM قبل و بعد از واسنجی روی دو پلات پراکنش مجزا ترسیم شده است (شکل ۷). داده‌های دانلود شده ماهواره TRMM در اکثر ماه‌های سال مقدار باران را بیشتر برآورد می‌کند ولی پس از واسنجی آن‌ها بهبود قابل ملاحظه‌ای در تخمین ماهواره TRMM در مقایسه با خط برازش ایده‌آل (خط نیمساز) اتفاق می‌افتد. همانطور در شکل ۸ نشان داده شده است مقادیر ماهانه RMSE نیز پس از کالیبراسیون داده‌های TRMM به مقدار قابل توجهی 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 مشاهده نزدیکتر کرد.



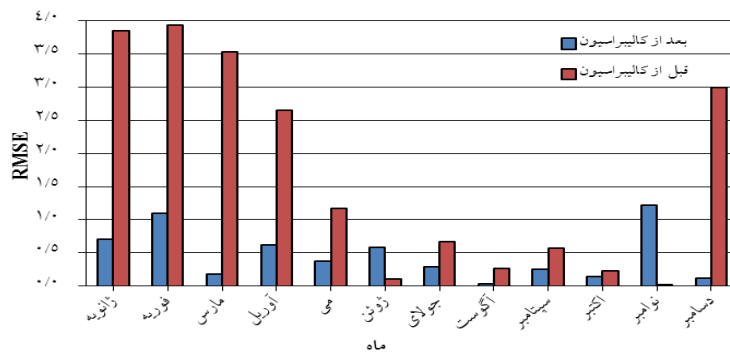
شکل ۵: رابطه خطی بین مقادیر میانگین ماهانه منطقه‌ای داده‌های TRMM و مشاهده‌ای



شکل ۶: مقایسه میانگین ماهانه منطقه‌ای داده‌های TRMM و مشاهده‌ای قبل و بعد از کالیبراسیون



شکل ۷: پراکنش مقادیر میانگین ماهانه منطقه‌ای داده‌های TRMM قبل و بعد از عمل کالیبراسیون



شکل ۸: مقادیر RMSE میانگین ماهانه منطقه‌ای TRMM و مشاهده‌ای قبل و بعد از عمل کالیبراسیون

نتیجه‌گیری

بیشتر مناطق ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشند. لذا آگاهی از توزیع مکانی و زمانی باران در هر منطقه می‌تواند برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب سطحی بسیار مفید باشد. هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی داده‌های باران ماهواره TRMM و ارائه ضرایب تصحیح (کالیبراسیون داده‌ها) در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در مقیاس ماهانه می‌باشد. استفاده از معیارهای مختلف خطا و شاخص‌های نوین ارزیابی صحت داده‌های ماهواره‌ای از مزیت‌های تحقیق حاضر بشمار می‌رود. نتایج این مطالعه نشان داد که حداکثر مقدار بارندگی TRMM در بیشتر ماه‌های سال در شمال شرقی منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است در صورتی که در ماه‌های گرم سال توزیع مکانی حداکثر بارندگی کاملاً متغیر است. داده‌های اولیه ماهواره TRMM، مقدار بارندگی ماهانه را در ۸۰ درصد از

ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد می‌کند. با این حال، تغییرات ضرایب همبستگی در ماه‌های مختلف سال بیانگر همبستگی خوبی بین دو منبع اطلاعاتی است. نتایج بدست آمده با نتایج سایر محققان نیز هم‌خوانی دارد (Almazroui, 2010, p400). ارزیابی و کالیبراسیون داده‌های TRMM در منطقه اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران نشان داد که کالیبراسیون داده‌های ماهانه و سالانه TRMM می‌تواند در مقیاس منطقه‌ای و نقطه-ای باعث بهبود تخمین شود. ارزیابی و اعتبارسنجی داده‌های TRMM در حدود ۹۰ ایستگاه سینوپتیک ایران واقع در اقلیم‌های مختلف و مقیاس‌های زمانی متفاوت، توسط نویسندگان مقاله در حال انجام است. بر همین اساس ضرایب تصحیح TRMM برای اقلیم‌های مختلف کشور در آینده نزدیک برای استفاده محققان ارائه می‌شود.

منابع

- بارانیزاده، الهام و بهیار، محمدباقر و عابدینی، یوسفعلی (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. ۸ص.
- عسکری، قاسم و پور باقری، سید مهدی و مبارکی، زهرا (۱۳۸۷). اعتبارسنجی داده‌های بارش بدست آمده از ماهواره TRMM به کمک ایستگاه‌های خودکار هواشناسی در آذر ماه ۸۶. همایش ژئوماتیک ۸۷. ۹ص.
- متکان، علی اکبر و شکیبیا، علیرضا و بداق جمالی، جواد و عاشورلو، داوود و محمدیان، وهب و بهارلو، ایمان (۱۳۸۸). قابلیت الگوریتم‌های ترکیبی مادون قرمز و مایکروویو ماهواره در تخمین بارندگی. همایش ملی ژئوماتیک ۸۸. ۹ص.
- میررحیمی، سید محمود و فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۸۷). بررسی دقت داده‌های رادار زمینی و TRMM در برآورد بارش. همایش ژئوماتیک ۸۷. ۷ص.
- Almazroui, M. (2010). *Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009*. Atmospheric Research Journal, 99, 400-414.
- Cheng, Ch. (2011). *Adaptability Evaluation of TRMM Satellite Rainfall and Its Application in the Dongjiang River Basin*. 3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology. 10, 396-402.
- Collischonn, B. Collischonn, W. & Morelli Tucci, C. E. (2008). *Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates*. Journal of Hydrology, 360, 207-216.
- Islam, M. Das, S. & Uyeda, H. (2010). *Calibration of TRMM Derived Rainfall Over Nepal During 1998-2007*. Atmospheric Science Journal, 4, 12-23.
- Kummerow, C. & Barnes, W. (1998). *The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 15, 809-817.
- Li, X. H. Zhang, Q. & Xu, C. Y. (2012). *Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment: Poyang lake basin*. Journal of Hydrology, 427, 28-38.
- Varikoden, H. Samah, A. A. & Babu, C. A. (2010). *Spatial and temporal characteristics of rain intensity in the peninsular Malaysia using TRMM rain rate*. Journal of Hydrology, 387, 312–319.

Quarterly of Geography (Regional Planning)
Vol 3, No 3, Summer 2013

Evaluation and Calibration of TRMM Satellite Rainfall Data in Arid and Semi-arid Regions of Iran

Mahdi Erfanian¹

Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

Sima Kazempour

MSc Student, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

Hassan Heidari

Assistant Professor, Faculty of Literature and Humanities, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

In recent decades, remote sensing data have been widely used by many researchers in drought monitoring and water resources management. This study aims to evaluate the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite monthly rainfall data in one arid and semi-arid region in Iran. The daily TRMM-3B43 collection data were downloaded from the NASA website and processed. A comparative analysis was carried out at daily scale for both satellite data and observed rainfall data at 21 synoptic stations, located in the study area during a 12-year data period of 1998-2009. To evaluate satellite data, we utilized different statistical error measures (R, ME, MAE and RMSE) and agreement indices (POD, FAR, SR, CSI and TSS). The TRMM overestimates average monthly rainfall at 80% of stations. Since there were noticeable errors, regional mean-monthly data were calibrated and finally two correction coefficients were introduced based on regression analysis. The calibrated TRMM data showed very similar estimations and mostly close to the measured values.

Keywords: Rainfall, Evaluation, TRMM Calibration, Arid and Semi-Arid

* (Corresponding Author) Erfanian.ma@gmail.com