



"مقاله پژوهشی"

ارزیابی صحت داده‌های بارندگی حاصل از ماهواره‌ی TRMM در حوزه‌آبخیز طالقان

محمد طاوسی^۱، مهدی وفاخواه^۲ و وحید موسوی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، (نویسنده مسوول: vafakhah@modares.ac.ir)

۳- استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۸

صفحه: ۱۱ تا ۲۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: با توجه به تعداد محدود ایستگاه‌های هواشناسی بخصوص در مناطق کوهستانی، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای استخراج میزان بارندگی از اهمیت زیادی برخوردار است. از سوی دیگر عدم وجود داده‌های با توزیع مناسب مکانی بارندگی از چالش‌های مهم در پیش‌بینی وقوع سیل یا خشکسالی و هشدار به موقع در این مورد است. یکی از راه‌کارهای ارائه شده در این مورد، اندازه‌گیری بارندگی از فضا است.

مواد و روش‌ها: این تحقیق با هدف بررسی دقت و صحت داده‌های بارندگی حاصل از تصاویر ماهواره TRMM در حوزه‌آبخیز طالقان در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه طی دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ انجام شد. برای این منظور تصاویر TRMM با قدرت تفکیک مکانی سه ساعته طی دوره آماری مورد نظر برای منطقه مورد مطالعه دریافت شد. سپس با ادغام بارندگی‌های سه ساعته، بارندگی روزانه برآورد شد. در ادامه ضرایب تعدیل به منظور کاهش خطا داده‌های بارندگی ارائه، و در نهایت دقت داده‌های تصاویر ماهواره‌ای با دو روش معمول درون‌یابی، عکس فاصله وزنی و کریجینگ مقایسه شد.

یافته‌ها: نتایج شاخص‌های خطا نشان داد که بارندگی تصاویر TRMM ارتباط مناسبی با داده‌های ایستگاه‌های زمینی به خصوص ایستگاه جویستان دارد، اما در برخی ماه‌ها مشکل کم‌تخمینی و بیش‌تخمینی وجود دارد. به همین دلیل ضرایب اصلاحی برای رفع این مشکل اعمال شد که به طور میانگین در اکثر ماه‌ها این ضریب کمتر از یک محاسبه شد که بیانگر بیش‌تخمینی داده‌های بارش تصاویر TRMM بود. بررسی داده‌های اصلاح شده نشان داد که با اعمال ضرایب تخمین علاوه بر رفع مشکل بیش تخمینی، میزان خطا نیز کاهش پیدا کرد و نمایه کارایی نش- ساتکلیف تا حدودی بهبود یافت. همچنین در بارندگی سالانه با اعمال ضرایب تعدیل مقدار جذر میانگین مربعات خطا در ایستگاه گراب از ۸۸ به ۲۶ میلی‌متر کاهش پیدا کرد که نشان از افزایش کارایی داده‌ها پس از اعمال ضرایب اصلاحی است. نتایج مقایسه داده‌های اصلاح شده با روش‌های درون‌یابی نشان داد که در همه شاخص‌های خطا داده‌های اصلاح شده TRMM کارایی بالاتری در تخمین بارندگی دارد.

نتیجه‌گیری: در مجموع می‌توان گفت بارندگی حاصل از تصاویر TRMM در صورت اعمال ضرایب تعدیل می‌تواند نتایج رضایت‌بخشی را به دست دهد و در مناطقی با کمبود ایستگاه هواشناسی و داده، می‌تواند منبع قابل اطمینانی برای داده‌های بارندگی باشد.

واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی، ایستگاه زمینی، توزیع مکانی، درون‌یابی، سنجش‌ازدور، شاخص‌های خطا

مقدمه

افزایش فراوانی بارندگی‌های شدید در دهه اخیر باعث زیان‌های اقتصادی قابل توجه شده است و نگرانی‌های جهانی را به خود جلب کرده‌است. بنابراین همیشه میزان دقت مکانی و زمانی اطلاعات بارندگی به منظور پیش‌بینی سیل و کاهش خسارات ناشی از بلایای طبیعی مدنظر کاربران بوده است. اندازه‌گیری‌های معمول بارندگی در ایستگاه‌های اندازه‌گیری مبتنی بر نقطه، نمی‌تواند نمایش منطقی از توزیع مکانی بارندگی به‌ویژه برای مناطق با توزیع کم ایستگاه‌های باران سنج و زمین‌هایی با توپوگرافی پیچیده ارائه دهند (۷، ۱۴). مزیت بررسی بارندگی با استفاده از روش‌های سنجش از دور، شناخت بهتر پدیده بارش و پارامترهای موثر در آن در یک گستره مکانی وسیع است، به همین دلیل طی دهه‌های اخیر محققان زیادی به تلاش و تحقیق در زمینه‌ی تخمین بارندگی توسط ماهواره پرداخته‌اند (۲۴). امروزه ماهواره‌ها با بهره‌گیری از امواج مایکروویو فعال و غیرفعال، رادار و سنجنده‌های عملگرها در نور مرئی و مادون قرمز، قادر به تخمین بارش در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت برای کل دنیا می‌باشند. ماهواره TRMM^۱ اولین ماهواره‌ای است که با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب اطلاعات ارزشمندی در زمینه بلایای طبیعی در اختیار کاربران قرار می‌دهد (۱۷). برای استفاده از این سری داده‌ها، ابتدا لازم است که کیفیت و

ویژگی‌های خطای آن‌ها در مکان‌های متفاوت بررسی و ارزیابی شود. از طرفی، اگر این بررسی‌ها منجر به شناخت منابع خطا و تصحیح و کاهش خطا شود، برای بهبود و توسعه روش تولید داده در آینده بسیار مفید خواهد بود (۲). برای بررسی صحت داده‌های بارندگی تصاویر ماهواره‌ای می‌توان از مقایسه با روش‌های زمین آماری بهره جست (۱۲). محققان زیادی به بررسی دقت داده‌های بارندگی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای پرداخته‌اند که در ادامه به برخی از این تحقیقات اشاره می‌شود. در مطالعه‌ای بکاروس و همکاران (۳) بارندگی حاصل از رادار و TRMM را زدر نپال مقایسه کردند. نتایج نشان داد که بارندگی حاصل از ماهواره TRMM نتایج بهتری به خصوص در مناطق کم ارتفاع دارد. نیکولسون و همکاران (۱۹) از ۹۲۰ ایستگاه برای ارزیابی بارندگی TRMM در آفریقای غربی استفاده نمودند. نتایج پژوهش نشان داد که بارندگی ماهانه TRMM همبستگی مناسب با ایستگاه‌های باران‌سنجی دارد. در پژوهش دیگر که فرانیشیو و همکاران (۱۰) در رابطه با صحت‌سنجی بارندگی حاصل از تصاویر TRMM در پنج منطقه‌ی جغرافیایی با رژیم‌های بارش مختلف در برزیل انجام دادند، نتایج نشان داد که بارندگی فصلی TRMM ارتباط خوبی با بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنج دارد و ضریب رگرسیون در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. دوآن و همکاران (۷) به اعتبارسنجی دو محصول

ماهواره‌ای CMORPH و TRMM را در حوزه‌آب‌خیز گرگانرود ارزیابی کردند. محاسبه شاخص‌های آماری خطا نشان داد که داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه و فصلی از دقت بالاتری نسبت به روزانه برخوردار است. رسولی و همکاران (۲۴) به ارزیابی تطبیقی مقادیر بارندگی برآورد شده TRMM و بارش ثبت شده ایستگاه‌های زمینی در حوضه دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج حاکی از انطباق نسبی داده‌های بارش TRMM با مقادیر زمینی می‌باشد. پریسوج و همکاران (۲۳) به ارزیابی پتانسیل اطلاعات بارش ماهواره‌ای TRMM و PERSIANN برای توسعه مدل معتبر بارش-رواناب جهت تولید اطلاعات هشدار سیلاب در حوزه سد وشمگیر پرداختند. نتایج نشان داد که مدل در هنگام استفاده از بارندگی تصاویر ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه مقدار رواناب را بهتر تخمین می‌زند. در پژوهش دیگر علی‌بخش و همکاران (۲) به مقایسه کمی محصولات بارش MERRA و ماهواره GPM با ایستگاه‌های زمینی به عنوان داده مرجع در حوضه کشف‌رود پرداختند. نتایج نشان داد که به طور کلی داده بارش روزانه متعلق به ماهواره GPM دقت بالاتری از داده MERRA در منطقه مورد مطالعه داشته است. با توجه به عدم وجود شبکه باران‌سنجی متراکم در اکثر مناطق کشور، حرکت به سمت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد بارندگی در مناطق مختلف ضروری است. اما دقت اطلاعات پایگاه‌های گوناگون برای مناطق مختلف یکسان نیست و با توجه به نتایج تحقیقات گذشته، در هر منطقه با توجه به خصوصیات بارندگی و نوع منطقه، عملکرد متفاوتی دارند. بنابراین لازم است دقت و صحت این داده‌ها در مناطق مختلف مورد ارزیابی قرارگیرد. لذا هدف از این مطالعه ارزیابی صحت داده‌های بارندگی مربوط به ماهواره TRMM در حوزه‌آب‌خیز طالقان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (شکل ۱)، حوزه‌آب‌خیز بالادست سد طالقان با مساحت حدود ۹۴۰ کیلومتر مربع و بین عرض جغرافیایی ۳۶°۰۵'۳۰" تا ۳۶°۱۱'۱۵" شمالی و طول جغرافیایی ۴۵°۰۰'۴۵" تا ۵۰°۱۱'۲۲" شرقی می‌باشد. حداکثر و حداقل ارتفاع آب‌خیز طالقان به ترتیب ۴۰۷۵ و ۱۷۷۸ متر از سطح دریا بوده و ارتفاع متوسط منطقه نیز ۲۷۸۷ متر از سطح دریا است از نظر کاربری اراضی بیش از ۸۵ درصد حوزه‌آب‌خیز مرتع می‌باشد که از این بین بیش از ۶۰ درصد مرتع دارای پوشش ضعیف و ۴۰ درصد نیز دارای پوشش گیاهی متوسط می‌باشد (۲۰). در شکل (۱) حوزه‌آب‌خیز طالقان و موقعیت هر یک از ایستگاه‌های زمینی نشان داده شده است.

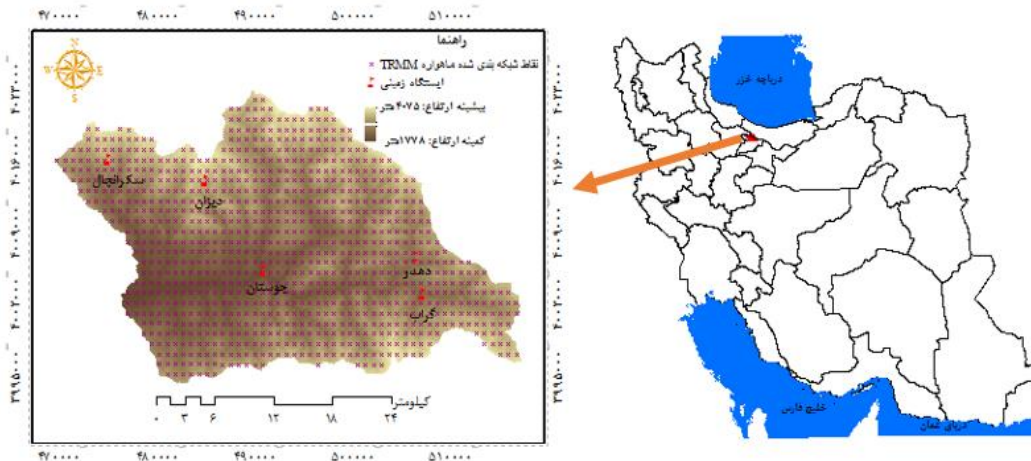
داده‌های بارندگی TRMM

ماهواره TRMM در ۲۸ نوامبر سال ۱۹۹۷ با همکاری سازمان فضایی دو کشور آمریکا و ژاپن به فضا پرتاب شد و از ۳۱ ژانویه سال ۲۰۰۰ توزیع داده‌ها به صورت تقریباً همزمان آغاز شد. حسگرهای سنجنش بارش در ماهواره TRMM شامل رادار بارش تصویرگر میکروویو TRMM و اسکنرهای مرئی و مادون قرمز هستند (۱۸). طرح اندازه‌گیری بارش استوا

بارندگی سه ساعته و ماهانه ماهواره TRMM (TRMM 3B42/ 3B43) با استفاده از ۳۹ ایستگاه باران‌سنج طی دوره ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۳ در منطقه دریای خزر ایران پرداختند. نتایج نشان داد که هر دو محصول بارش ماهانه مشابهی را فراهم می‌کند. در پژوهش دیگر لی و همکاران (۱۶) بارندگی TRMM را با داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی در مقیاس زمانی مختلف مقایسه و کارایی آن را برای شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی چین بررسی کردند. نتایج نشان داد که داده‌های بارندگی TRMM عملکرد خوبی را در شبیه‌سازی جریان ماهانه دارد اما در بارندگی ماهانه دارای کم‌تخمینی می‌باشد. در مطالعه‌ای پریسیتیا و همکاران (۲۲) به اعتبارسنجی بارندگی ماهانه و فصلی حاصل از ماهواره TRMM در اندونزی پرداختند. نتایج کلی تجزیه و تحلیل نقطه به نقطه نشان‌دهنده همبستگی متوسط مقادیر داده‌های ماهواره‌ای بوده است در حالی که مقادیر آماری MBE^1 و $RMSE^2$ تمایل به کم تخمینی را نشان داده است. در مورد برآورد شاخص‌های خشکسالی دی‌جیسوس و همکاران (۶) استفاده از بارندگی ماهواره TRMM در برآورد خشکسالی مکزیک را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که محصول بارندگی ماهواره TRMM می‌تواند به‌درستی شاخص‌های خشکسالی منطقه را برآورد کند. در مطالعه‌ای دیگر فنگ و همکاران (۹) به مقایسه بارندگی حاصل از تصاویر TRMM و تصاویر ماهواره GPM³ طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در چین پرداختند. نتایج نشان داد که محصول هر دو ماهواره بارندگی چین را با کم تخمینی ارائه می‌دهد. محصول بارندگی سه ساعته ماهواره TRMM توانایی محدود برای تشخیص وقایع شدید بارندگی نسبت به بارندگی حاصل از ماهواره GPM دارد. در ایران نیز اخیراً خسروی کیانی و همکاران (۱۴) قابلیت محصول بارندگی سه ساعته ماهواره TRMM را طی دوره زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶ در جنوب غرب ایران بررسی کردند. نتایج نشان داد که محصول بارندگی سه ساعته ماهواره TRMM قادر به تشخیص الگوفضایی و زمانی شاخص‌های ثابت و آستانه‌ای می‌باشد و از نظر خطاهای آماری در بخش‌های جنوب و جنوب‌شرق منطقه عملکرد بهتری نسبت به مناطق مرتفع میانی دارد. در رابطه با مقایسه بارندگی تصاویر TRMM، حجازی و همکاران (۱۲) دقت مجموع بارندگی ماهانه و سالانه محصول 3B43 را در طول سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی سازمان هواشناسی بررسی کردند. نتایج به طور متوسط بیش برآوردی برای بارش‌های اندک و کم برآوردی برای بارش‌های زیاد نشان داد. خسروی و همکاران (۱۵) برای پهنه‌بندی بارندگی در استان سیستان و بلوچستان از دوسری داده بارندگی TRMM و ۱۴۵ ایستگاه زمینی طی یک دوره ۱۲ ساله استفاده کردند. مقایسه پهنه‌بندی با دوسری داده نشان داد که پهنه‌بندی با داده‌های ماهواره‌ای TRMM دارای خطای بالایی در تقسیم‌بندی بارشی استان بوده است. همچنین در قیاس با برآوردهای حاصل از روش‌های درون‌یابی کریجینگ دقت کمتری دارد. در مطالعه‌ای عبداللهی و همکاران (۱) دقت داده‌های بارش

۲۰۱۵ از سامانه Google Earth Engine (https://earthengine.google.com) شامل ۲۰۴۴۰ تصویر استخراج شد. سپس بارندگی سه ساعته هشت تصویر در هر روز جمع شد و بارندگی روزانه محاسبه شد. همچنین بارندگی روزانه ایستگاه‌های زمینی در دوره آماری موردنظر از شرکت تحقیقات منابع آب وابسته به وزارت نیرو دریافت شد. بارندگی ماهواره TRMM در محل ایستگاه‌های زمینی در مقیاس روزانه استخراج شد.

که بخشی از طرح بین‌المللی NASA با هدف برآورد دقیق‌تر از بارش در پهنه‌های استوایی و مناطق جنب حاره‌ای بوده است. این پایگاه دارای نسخه‌های گوناگونی است. از جمله آن TRMM 3B42 است (۱۳). بر طبق اطلاعات ارائه شده از طرف ناسا (۲۰۰۱) که این داده‌ها دارای بارندگی سه ساعته با توان تفکیک مکانی در ثبت بارش‌ها $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ درجه است. به‌منظور ارزیابی بارندگی حاصل از تصاویر ماهواره TRMM ابتدا محصول بارندگی سه ساعته (TRMM 3B42) با فرمت *.Tif برای بازه زمانی ۲۰۰۹ تا



شکل ۱- محدوده حوزه آبخیز طالقان و موقعیت هر یک از ایستگاه‌های زمینی
Figure 1. Boundary of Taleghan watershed and location of each ground station

شده است. تحلیل داده‌ها در دو مقیاس ماهانه و سالانه و برای هفت سال انجام شد همچنین راهکاری برای اصلاح خطا بارندگی تصاویر TRMM ارائه شد که در ادامه توضیح داده می‌شود.

ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای TRMM
برای مقایسه و صحت‌سنجی داده‌های بارندگی حاصل از تصاویر TRMM، از داده‌های پنج ایستگاه زمینی وابسته به وزارت نیرو استفاده شد که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) ارائه

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های زمینی

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (X UTM)	عرض جغرافیایی (Y UTM)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
دهدر	باران سنجی	۵۰۶۰۴۳	۴۰۰۶۴۷۲	۲۸۰۰
گراب	باران سنجی	۵۰۶۲۴۵	۴۰۰۲۶۵۲	۲۶۰۰
جوستان	کلیماتولوژی	۴۹۰۲۳۴	۴۰۰۴۸۱۲	۱۹۹۰
دیزان	باران سنجی	۴۸۴۹۰۴	۴۰۱۳۵۰۸	۱۹۵۰
سکرانچال	باران سنجی	۴۷۵۹۷۷	۴۰۱۵۵۰۰	۲۲۰۰

$$R^2 = \left(\frac{\sum (X_i - \bar{X})(\hat{X}_i - \bar{\hat{X}})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum (\hat{X}_i - \bar{\hat{X}})^2}} \right)^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \hat{X}_i)^2}{N}} \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum (X_i - \hat{X}_i)^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \quad (3)$$

که در آن X_i سری داده‌های مشاهداتی، $\bar{X}$ میانگین سری داده‌های مشاهداتی، $\hat{X}_i$ سری داده‌های تخمینی، میانگین سری داده‌های تخمینی، N تعداد داده‌ها و i متغیر نام می‌باشد (۱۳).

برای بررسی دقت بارندگی حاصل از تصاویر TRMM در مقیاس ماهانه و سالانه، ابتدا این داده‌ها در تصاویر ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی مورد بررسی از جمع مقادیر بارندگی در ماه‌های مختلف و در طی سال محاسبه شد و مورد تحلیل قرارگرفت. برای صحت‌سنجی داده‌های TRMM در هر مقیاس، از داده‌های بارندگی ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ استفاده شد و نمایه‌های ضریب تبیین R^2 ، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و نمایه کارایی نش- ساتکلیف NSE (۳) به‌منظور ارزیابی محاسبه شد. (روابط ۱، ۲ و ۳).

1- Coefficient of Determination

2- Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient

واسنجی داده‌های ماهواره‌ای TRMM

در صورت عدم تطابق داده‌های ماهواره‌ای TRMM با داده‌های زمینی، واسنجی با هدف حداقل کردن خطای بین داده‌های TRMM و داده‌های مشاهده‌ای انجام می‌گیرد (۸). برای این منظور از روش میانگین‌ها (رابطه ۴) استفاده می‌شود (۲۱).

$$APH_{adj} = \frac{\bar{\mu}_{Obs}}{\bar{\mu}_{Aph}} \times APH \quad (4)$$

در این روش APH داده‌های بارندگی TRMM، $\bar{\mu}_{Obs}$ و $\bar{\mu}_{Aph}$ به ترتیب میانگین داده‌های ایستگاه‌های زمینی و TRMM در هر ماه است. بنابراین با تقسیم میانگین داده‌های ایستگاه زمینی به میانگین داده‌های TRMM ضریب اصلاح به دست می‌آید که با ضرب آن در بارندگی TRMM داده‌های اصلاح شده محاسبه می‌شود.

مقایسه داده‌های TRMM با روش‌های درون‌یابی

درون‌یابی راهکار مناسبی برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به تصاویر شبکه‌بندی با تفکیک مکانی یکسان است (۲۶). طبق پژوهش‌های انجام گرفته، از بین روش‌های درون‌یابی روش‌های تیسن، عکس فاصله وزنی، رگرسیون خطی با ارتفاع و کریجینگ مناسب‌ترین روش برای میان‌یابی بارندگی می‌باشد (۱۲، ۱۵، ۲۶). در پژوهش حاضر از روش‌های درون‌یابی عکس فاصله وزنی^۱ و کریجینگ معمولی^۲ برای تبدیل اطلاعات نقطه‌ای بارندگی ایستگاه‌های زمینی به تصاویر شبکه‌بندی با تفکیک مکانی یکسان در نرم‌افزار ArcMap استفاده شد و پس از تهیه نقشه‌های توزیع مکانی بارندگی با داده‌های TRMM مقایسه شد.

نتایج و بحث

با تبدیل داده‌های روزانه به ماهانه و سالانه ابتدا همگنی داده‌ها از طریق آزمون توالی^۳ در نرم‌افزار SPSS16 مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاکی از معنی‌داری داده‌های

بارندگی در تمام ایستگاه‌ها بود. سپس صحت داده‌های بارندگی TRMM بررسی شد که نتایج آن در جداول (۲ و ۳) نشان داده شده است. بررسی جدول نشان می‌دهد که ریشه میانگین مربعات خطا داده‌های TRMM در تخمین بارندگی ماهانه در ایستگاه‌های مختلف بین ۴/۵ تا ۱۳۸/۴۹ میلی‌متر متغیر است که کمترین میزان ریشه میانگین مربعات خطا مربوط به ماه سپتامبر و ایستگاه جویستان و بیشترین مقدار در ماه نوامبر و در ایستگاه دیزان رخ داده است. بررسی مقادیر نمایه کارایی نش-ساتکلیف نشان داد که پیش‌بینی بارندگی داده‌های TRMM در ماه‌های مختلف ایستگاه جویستان نسبت به سایر ایستگاه‌ها بهتر بوده است ارتباط بین داده‌های مشاهداتی و تخمینی در ماه‌های مختلف متفاوت بوده است اما در ایستگاه جویستان بیشترین ارتباط بین داده‌های بارندگی ماهانه وجود داشته است که به نظر می‌رسد به دلیل آن که ایستگاه جویستان یک ایستگاه کلیماتولوژی بوده و دقت ثبت داده‌ها در آن بیشتر است نتایج بهتری به دست آمده است. در مورد داده‌های سالانه (جداول ۲ و ۳) نیز ریشه میانگین مربعات خطا بارندگی TRMM از ۸۸ تا ۲۶۴/۲۹ میلی‌متر به ترتیب در ایستگاه گراب و سکرانچال متغیر بوده است. که این مقدار خطا با توجه به حداقل و حداکثر بارندگی سالانه منطقه قابل قبول است. نمایه کارایی نش-ساتکلیف به جز ایستگاه سکرانچال و دیزان که منفی به‌دست آمده است در سایر ایستگاه‌ها قابل قبول و بیش از ۰/۵ برآورد شد. که این نشان‌دهنده تخمین مناسب داده‌های TRMM از بارندگی سالانه منطقه می‌باشد. به‌منظور اصلاح داده‌های بارندگی TRMM ضرایب تعدیل از رابطه (۴) محاسبه شد. در جدول (۳) ضرایب اصلاحی ماهانه و سالانه به تفکیک ایستگاه و همچنین برای میانگینی بارندگی ماهانه و سالانه نشان داده شده است.

جدول ۲- ارزیابی صحت داده‌های ماهانه بارندگی تصاویر TRMM در ایستگاه‌های جویستان و دهر

Table 2. Evaluation of the accuracy of monthly rainfall data of TRMM images in Joestan and Dehdar stations

دهر			جویستان			ایستگاه
R^2	RMSE (mm)	NSE	R^2	RMSE (mm)	NSE	ماه
۰/۰۰۲	۴۲/۸۸	-۰/۸۷	۰/۱۳	۳۶/۵۹	-۱/۳۸	ژانویه
۰/۳	۵۲/۴	-۰/۲۴	۰/۴۴	۲۴/۰۸	-۰/۲۵	فوریه
۰/۰۰۴	۵۸/۵۴	-۰/۶۸	۰/۱۴	۳۴/۸۶	-۰/۱۳	مارس
۰/۲۹	۲۸/۰۴	-۰/۱۶	۰/۶۵	۳۰/۳۷	-۰/۵۴	آوریل
۰/۰۳	۳۰/۲۴	-۰/۷	۰/۵۴	۲۵/۴	-۰/۸۷	مه
۰/۰۹	۲۱/۴۲	-۰/۱	۰/۵۷	۱۲	-۰/۳۹	ژوئن
۰/۰۵	۴۷/۹۵	-۱/۱۳	۰/۴۷	۱۵/۵۷	-۰/۰۵	ژوئیه
۰/۱	۴۷/۳۱	-۱/۸۹	۰/۸۸	۱۴/۳۶	-۰/۴۹	اوت
۰/۱۲	۹۶/۱	-۲/۵۴	۰/۵۴	۴/۵	-۰/۵۳	سپتامبر
۰/۱۱	۶۶/۷۶	-۴	۰/۲۸	۴۱/۴۳	-۱/۵۲	اکتبر
۰/۵۲	۱۱۴/۶۳	-۲۸/۷۲	۰/۸۲	۲۳/۱۳	-۰/۵۹	نوامبر
۰/۲۷	۷۰/۱	-۳/۸۸	۰/۶۴	۲۱/۰۹	-۰/۶۲	دسامبر
۰/۹۶	۱۴۷/۷۸	۰/۵	۰/۷۱	۹۵/۶۸	-۰/۶۴	سالانه

1- Inverse Distance Weighting (IDW)

2-Ordinary kriging (OK)

3- Runs Test

جدول ۲- ارزیابی صحت داده‌های ماهانه بارندگی تصاویر TRMM در ایستگاه‌های دیزان، سکرانچال، گراب

Table 2. Evaluation of the accuracy of monthly rainfall data of TRMM images in Dizan, Sekranchal, Garab stations

ایستگاه	دیزان			سکرانچال			گراب		
	R ²	RMSE (mm)	NSE	R ²	RMSE (mm)	NSE	R ²	RMSE (mm)	NSE
ژانویه	۰/۰۶	۳۲/۹۶	۰/۴۴	۰/۷۶	۱۷/۴	-۰/۷۷	-۰/۷۷	۳۵/۱۵	-۰/۱۹
فوریه	۰/۳۹	۳۰/۷	۰/۴۵	-۲/۹۱	۴۳/۳۶	-۰/۲۷	-۰/۲۷	۱۲/۳۹	-۰/۶
مارس	-۰/۳۴	۵۴/۱۷	۰/۰۹	-۰/۳۳	۵۱/۵۴	-۰/۲۱	-۰/۲۱	۲۲/۱۵	-۰/۴۱
آوریل	۰/۵۵	۲۹/۹۱	۰/۸۷	-۱۰/۲۱	۶۱/۳۵	-۰/۰۵	-۰/۰۵	۴۶/۹۲	-۰/۲
مه	-۹/۶۳	۶۳/۸۳	-۰/۰۱	-۷/۳۵	۴۸/۵۹	-۰/۰۷	-۰/۰۷	۴۶/۹۷	-۰/۳۶
ژوئن	-۱/۴۷	۴۳/۵۸	-۰/۰۱	-۴/۲	۲۴/۹۵	-۰/۱۶	-۰/۱۶	۱۲/۲۸	-۰/۶۷
ژوئیه	-۳/۹۵	۴۰/۱۵	۰/۲	-۲/۰۹	۳۲/۲۷	.	.	۳۰/۲۲	-۰/۰۷
اوت	-۳۴/۹۸	۶۲/۰۳	-۰/۰۶	-۱/۵۲	۷۴/۵۳	-۰/۲۳	-۰/۲۳	۱۳/۸۳	-۰/۹۷
سپتامبر	-۱/۸۱	۱۰۳/۹۸	۰/۸۲	-۲/۴۸	۹۸/۵۸	-۰/۰۵	-۰/۰۵	۱۸/۶۳	-۰/۰۳
اکتبر	-۴/۴۳	۱۰۵/۲۹	.	-۱۸/۱۵	۱۰۹/۰۲	-۰/۲	-۰/۲	۸۱/۱۳	-۰/۰۴
نوامبر	-۴۲/۲۳	۱۳۸/۴۹	.	-۳۵/۵۳	۱۰۲/۷۱	-۰/۴۸	-۰/۴۸	۶۷/۴۹	-۰/۴۹
دسامبر	-۱/۹۸	۷۷/۳۳	-۰/۱۲	-۳/۱۷	۵۶/۹۹	-۰/۳	-۰/۳	۲۷/۹۷	-۰/۶۷
سالانه	-۰/۲۹	۲۲۲/۱۴	-۰/۸	-۴/۱۹	۲۶۴/۲۹	-۰/۵۵	-۰/۵۵	۸۸	-۰/۸۶

می‌رسد ضریب اصلاح در ماه‌های گرم به استثنای ماه سپتامبر کمتر از ماه‌های سرد می‌باشد. به عبارتی مشکل پیش برآوردی داده‌های TRMM در ماه‌های گرم بیشتر از ماه‌های سرد بوده است. برای میانگین داده‌های سالانه نیز ضریب اصلاحی ۰/۸۳ محاسبه شد.

براساس نتایج جدول (۳) ضرایب اصلاح در ماه‌های مختلف از ۰/۳۹ تا ۵/۶۹ به ترتیب برای ماه‌های نوامبر و سپتامبر متغیر است. ماه‌هایی که بارندگی TRMM کم برآورد بوده ضریب اصلاح بیش از یک و بالعکس در ماه‌هایی که بیش برآورد بوده ضریب اصلاح کمتر از یک محاسبه شد. به نظر

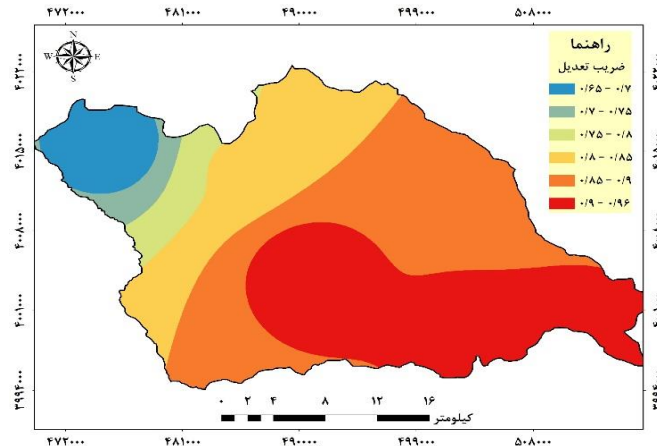
جدول ۳- ضرایب تعدیل برای هر ماه

Table 3. Adjustment coefficients for each month

ماه	ضریب اصلاح جویستان	ضریب اصلاح دهر	ضریب اصلاح دیزان	ضریب اصلاح سکرانچال	ضریب اصلاح گراب	ضریب اصلاح میانگین
ژانویه	-۰/۵۶	۱/۱۷	۱/۲۳	-۰/۹۹	۱/۰۵	۱/۰۲
فوریه	۱/۱۴	۱/۱۶	۱/۰۸	-۰/۵۲	۱/۳۶	۱/۰۳
مارس	۱/۰۵	-۰/۷۷	۱/۰۱	-۰/۸۴	-۰/۹۷	-۰/۹۲
آوریل	۱/۲۲	-۰/۷۹	-۰/۷۸	-۰/۳۷	۱/۲۹	-۰/۸۷
مه	۱/۵	-۰/۵۳	-۰/۲۵	-۰/۲۷	۲/۰۵	-۰/۸۰
ژوئن	-۰/۶۸	۱/۰۹	-۰/۴۱	-۰/۲۷	۱/۲۸	-۰/۶۲
ژوئیه	-۰/۷۵	-۰/۸	-۰/۶۱	-۰/۷۲	-۰/۶۱	-۰/۶۸
اوت	-۰/۶	-۰/۷۲	-۰/۲۴	۱/۷۴	-۰/۸۳	-۰/۷۵
سپتامبر	۱/۱۰	۷/۷۶	۶/۳۱	۱۶/۹۱	-۰/۷	۵/۹۶
اکتبر	-۰/۷	-۰/۵۹	-۰/۶۹	-۰/۲۸	-۰/۶۳	-۰/۵۸
نوامبر	-۰/۸۲	-۰/۲۱	-۰/۲۹	-۰/۲	-۰/۵۹	-۰/۳۹
دسامبر	۱/۰۲	۱/۰۸	۱/۲۴	-۰/۷۵	-۰/۹۴	۱/۰۱
سالانه	-۰/۹۴	-۰/۸۴	-۰/۸	-۰/۶۶	-۰/۹۶	-۰/۸۳

ضرایب تعدیل سالانه نیز از شرق به غرب کاهش یافته است، می‌توان بیان داشت که بارندگی تصاویر ماهواره‌ای برخلاف نتایج باروس و همکاران (۳) در مناطق مرتفع حوزه با مقادیر مشاهداتی مطابقت بالاتری داشته به نحوی که در مناطق مرتفع ضریب تعدیل نزدیک به یک بوده است و عملاً داده‌های TRMM در این مناطق نیاز چندانی به اصلاح نداشته است.

همچنین نقشه ضرایب تعدیل داده‌های سالانه منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش درون‌یابی عکس فاصله وزنی در شکل (۲) تهیه شد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد ضریب تعدیل در بخش بزرگی از منطقه بیش از ۰/۵ می‌باشد، اما در هیچ بخشی بیش از یک نشده است. زیرا بارندگی TRMM در برآورد بارندگی سالانه بیش تخمین بوده است. از آن جایی که ارتفاع حوزه آبخیز طالقان از شرق به غرب کاهش می‌یابد و



شکل ۲- نقشه ضرایب تعدیل بارندگی سالانه حوزه‌آب‌خیز طالقان

Figure 2. Map of annual rainfall adjustment coefficients of Taleghan watershed

پیدا نکرد اما مقادیر خطا و نمایه کارایی نش-ساتکلیف تا حدودی بهبود پیدا کرد که این تغییر در ایستگاه جویستان به سبب منطقی بودن داده‌ها نسبت به سایر ایستگاه‌ها، محسوس‌تر است به طوری که در این ایستگاه نمایه نش-ساتکلیف منفی به دست نداد.

پس از محاسبه ضرایب تعدیل شاخص‌های آماری خطا نیز برای داده‌های اصلاح شده برآورد شد و در جداول (۴ و ۵) نشان داده شده است. با توجه به این که ضرایب به صورت یک عدد ثابت در داده‌های هر ماه ضرب شد مقدار ضریب تبیین نسبت به حالت قبل از اعمال ضرایب اصلاحی تغییری

جدول ۴- ارزیابی صحت داده‌های ماهانه بارندگی اصلاح شده تصاویر TRMM در ایستگاه جویستان و دهدر

Table 4. Evaluation of the accuracy of the modified monthly rainfall data of TRMM images in Joestan and Dehdar stations

ایستگاه ماه	جویستان			دهدر		
	NSE	RMSE (mm)	R^2	NSE	RMSE (mm)	R^2
ژانویه	۰/۱	۲۹/۴۹	۰/۱۳	-۱/۰۴	۴۴/۸۱	۰/۰۰۲
فوریه	۰/۲۶	۲۳/۹۲	۰/۴۳	۰/۲۹	۵۰/۷۸	۰/۳
مارس	۰/۱۴	۳۴/۶۳	۰/۱۵	-۰/۲۵	۵۰/۶۰	۰/۰۰۴
آوریل	۰/۶۴	۲۷/۱۶	۰/۶۵	۰/۲۸	۲۱/۹۳	۰/۲۹
مه	۰/۴۸	۱۳/۳۱	۰/۵۴	۰/۰۳	۲۲/۷۷	۰/۰۳
ژوئن	۰/۵۶	۱۰/۲۵	۰/۵۷	-۰/۰۲	۲۱/۷۳	۰/۰۹
ژوئیه	۰/۳۶	۱۲/۰۵	۰/۴۷	-۰/۷۷	۴۳/۷۶	۰/۰۵
اوت	۰/۸۷	۷/۲۱	۰/۸۸	-۱/۰۷	۴۰/۱۱	۰/۱
سپتامبر	۰/۵۴	۴/۴۲	۰/۵۴	-۱/۰۵	۷۳/۲۲	۰/۱۲
اکتبر	۰/۰۳	۲۵/۶۸	۰/۲۸	-۰/۴	۳۴/۸۱	۰/۱۱
نوامبر	۰/۸۱	۳۱/۱۵	۰/۸۲	۰/۴۱	۱۶/۱۶	۰/۵۲
دسامبر	۰/۶۱	۲۱/۲۱	۰/۶۴	-۴/۳۹	۷۳/۶۹	۰/۲۷
سالانه	۰/۶۸	۹۰/۴۶	۰/۷۱	۰/۰۸	۱۱۶/۸۵	۰/۹۶

جدول ۵- ارزیابی صحت داده‌های ماهانه بارندگی اصلاح شده تصاویر TRMM در ایستگاه دیزان، سکرانچال و گراب

Table 5. Assessing the accuracy of modified monthly rainfall data of TRMM images in Dizan, Sekranchal, Garab stations

ایستگاه ماه	دیزان			سکرانچال			گراب		
	NSE	RMSE (mm)	R^2	NSE	RMSE (mm)	R^2	NSE	RMSE (mm)	R^2
ژانویه	۰/۲۱	۳۰/۳۰	۰/۴۴	۰/۷۶	۱۷/۴۲	۰/۷۷	۰/۰۵	۳۵/۵۵	۰/۱۹
فوریه	۰/۴۳	۲۹/۶۴	۰/۴۵	۰/۲۴	۱۹/۱۰	۰/۲۷	۰/۵۸	۲۹/۶۶	۰/۶
مارس	-۰/۳۴	۵۴/۳۶	۰/۱	-۰/۱۹	۴۸/۷۱	۰/۲۱	۰/۲۷	۲۱/۶۲	۰/۴
آوریل	۰/۷۷	۲۱/۶۰	۰/۸۷	-۰/۲۲	۲۰/۲۶	۰/۰۵	۰/۱۹	۴۱/۳۰	۰/۲
مه	-۰/۰۹	۲۰/۴۹	۰/۰۰۱	-۰/۲۷	۱۹/۰۱	۰/۰۷	۰/۳۲	۲۰/۴۱	۰/۲۶
ژوئن	-۰/۰۴	۲۸/۲۹	۰/۰۱	۰/۱۶	۱۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۶۷	۱۰/۹۴	۰/۶۷
ژوئیه	-۱/۵۱	۲۸/۶۲	۰/۲	-۱/۰۲	۲۶/۱۳	۰	-۰/۳۱	۲۱/۴۱	۰/۰۷
اوت	-۱/۶۲	۱۶/۷۶	۰/۰۰۶	-۳/۱۹	۹۵/۹۱	۰/۲۳	۰/۸۱	۱۷/۵۴	۰/۹۷
سپتامبر	۰/۸۲	۲۵/۹۷	۰/۸۲	-۲/۷۲	۱۰۱/۸۸	۰/۰۵	-۰/۳۹	۱۶/۵۷	۰/۰۳
اکتبر	-۱/۶۴	۷۳/۶۹	۰	-۱/۱۲	۳۶/۳۴	۰/۲	-۱/۰۷	۵۵/۹۷	۰/۰۴
نوامبر	-۰/۴۵	۲۵/۴۳	۰	۰/۴۲	۱۲/۸۷	۰/۴۸	۰/۴۳	۳۵/۰۹	۰/۴۹
دسامبر	-۲/۵۵	۸۴/۴۴	۰/۱۲	-۱/۸۳	۴۶/۹۴	۰/۳	۰/۶۱	۲۶/۵۴	۰/۶۷
سالانه	-۲/۱۰	۱۹۵/۹۹	۰/۸	-۵/۱۴	۲۵۴/۵۷	۰/۵۵	۰/۹۵	۲۶/۲۰	۰/۸۶

نش-ساتکلیف به داده‌های اصلاح شده تعلق گرفته است که نشان از دقت مطلوب این داده‌ها می‌باشد. بنابراین به منظور تحقیقات هیدروکلیماتولوژی و منابع آب، برآورد بارندگی در مناطق فاقد آمار یا دارای ایستگاه‌های هواشناسی محدود به خصوص در کشور ایران که فاقد شبکه منظم ثبت بارندگی به ویژه در مناطق مرتفع می‌باشد، ضروری است. امروزه با گسترش فن سنجش از دور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روش‌های متعددی به منظور برآورد بارندگی مطرح شده است که به دلیل قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا در برخی از تصاویر، مورد توجه قرار گرفته است. از این میان ماهواره TRMM اولین تلاش بین‌المللی برای اندازه‌گیری قابل اعتماد بارش از فضا می‌باشد (۲۶). در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی بارندگی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، از محصول TRMM 3B42 در حوزه آبخیز طالقان استفاده گردید. نتایج نشان داد که با اعمال ضرایب تعدیل، ارتباط قابل قبولی بین داده‌های این ماهواره و داده‌های زمینی وجود دارد و به لحاظ دقت و کارایی، حداقل با ایستگاه‌های زمینی برابری دارد. که در این مورد سو و همکاران (۲۸)، کلاچون و همکاران (۵)، چن و همکاران (۴)، ژائو و همکاران (۳۰)، میری و همکاران (۱۸) به نتایج مشابه دست یافتند.

برای درک بهتر از میزان دقت بارندگی TRMM کارایی این داده‌ها با روش‌های معمول درون‌یابی کریجینگ معمولی و عکس فاصله وزنی مقایسه شد. در جدول (۶) خطای این روش‌ها و داده‌های TRMM اصلاح شده برای میانگین بارندگی ماهانه و سالانه نشان داده شده است. برای استفاده از روش عکس فاصله وزنی در این پژوهش، در اکثر موارد توان دو کمترین خطا را به همراه داشت. همچنین در مدل نیم‌تغییرنما^۱ برازش یافته بر داده‌ها مدل Stable به دست آمد. بر اساس جدول (۴) مقایسه داده‌های اصلاح شده با روش‌های درون‌یابی در اکثر ماه‌های مورد بررسی نشان داد که خطای هر دو روش درون‌یابی از داده‌های TRMM بیشتر است. در هر دو روش درون‌یابی با وجود ضریب تبیین بالا، میزان نمایه کارایی نش-ساتکلیف در تمام ماه‌ها منفی و غیر قابل قبول می‌باشد اما در داده‌های اصلاح شده در نیمی از ماه‌ها نتایج رضایت بخش است. احتمال داده می‌شود علت عدم نتیجه مطلوب در برخی ماه‌ها در داده‌های اصلاح شده، ثبت بارندگی‌های غیرمعمول در ایستگاه‌های زمینی است. به طوری که در برخی فصول ایستگاه‌های باران‌سنجی بارندگی‌های ثبت شده است که مورد انتظار نیست. در مورد داده‌های سالانه نیز کمترین خطا و بهترین نمایه کارایی

جدول ۶- مقایسه کارایی داده‌های بارندگی ماهواره TRMM با روش‌های مختلف درون‌یابی
Table 6. Comparison of TRMM satellite rainfall data performance with different interpolation methods

روش درون‌یابی ماه			عکس فاصله وزنی IDW			کریجینگ معمولی OK			TRMM اصلاح شده		
R^2	%RMSE	NSE	R^2	%RMSE	NSE	R^2	%RMSE	NSE	R^2	%RMSE	NSE
ژانویه	-۰/۸۲	۸۲	-۰/۸۶	۲۲/۸۸	-۰/۱۴	-۰/۷۸	۱۴/۹۳	-۰/۵۱	-۰/۷۸	۱۴/۹۳	-۰/۵۱
فوریه	-۰/۷۵	۳۳/۴۸	-۱/۱۶	۲۳/۵۵	-۱/۱۶	-۰/۰۵	۱۹/۶۲	-۰/۲۲	-۰/۰۵	۱۹/۶۲	-۰/۲۲
مارس	-۱/۲۰	۱۷/۰۳	-۴/۲۵	۲۶/۲۵	-۴/۲۵	-۰/۳۸	۹/۷۱	-۰/۲۸	-۰/۳۸	۹/۷۱	-۰/۲۸
آوریل	-۰/۸۸	۳۵/۰۷	-۰/۶۷	۳۳/۰۳	-۰/۶۷	-۰/۰۶	۲۵/۶۶	-۰/۰۱	-۰/۰۶	۲۵/۶۶	-۰/۰۱
مه	-۰/۸۸	۳۸/۶۳	-۰/۵۴	۳۴/۹۷	-۰/۵۴	-۰/۲۹	۳۴/۹۹	-۰/۵۴	-۰/۲۹	۳۴/۹۹	-۰/۵۴
ژوئن	-۰/۴۹	۶/۰۷	-۰/۶۴	۶/۳۷	-۰/۶۴	-۰/۰۵	۸/۲۶	-۱/۷۶	-۰/۰۵	۸/۲۶	-۱/۷۶
ژوئیه	-۰/۸۹	۵/۴۴	-۱/۱۲	۵/۷۷	-۱/۱۲	-۰/۸۷	۱/۹۸	-۰/۷۴	-۰/۸۷	۱/۹۸	-۰/۷۴
اوت	-۰/۸۳	۱۵/۵۲	-۰/۸۶	۱۵/۶۷	-۰/۸۶	-۰/۳۲	۱۵	-۰/۷	-۰/۳۲	۱۵	-۰/۷
سپتامبر	-۰/۹۶	۶۱/۹۷	-۰/۴۲	۳۳/۵۵	-۰/۴۲	-۰/۱۹	۴۰/۷۶	-۰/۱۵	-۰/۱۹	۴۰/۷۶	-۰/۱۵
اکتبر	-۱/۱۰	۳۴/۳۳	-۳/۲۲	۴۸/۶۹	-۳/۲۲	-۰/۵۱	۱۶/۹۵	-۰/۴۸	-۰/۵۱	۱۶/۹۵	-۰/۴۸
نوامبر	-۱/۰۴	۳۴/۸۴	-۰/۷۱	۳۰/۸۰	-۰/۷۱	-۰/۰۴	۲۸/۶۳	-۰/۳۸	-۰/۰۴	۲۸/۶۳	-۰/۳۸
دسامبر	-۱/۰۸	۳۴/۶۴	-۲/۷۰	۳۲/۸۸	-۲/۷۰	-۰/۶۳	۱۱/۷۶	-۰/۵۲	-۰/۶۳	۱۱/۷۶	-۰/۵۲
سالانه	-۱/۱۰	۱۶۱/۸۷	-۲/۸۸	۲۱۹/۷۲	-۲/۸۸	-۰/۵۴	۷۹/۲۲	-۰/۵	-۰/۵۴	۷۹/۲۲	-۰/۵

برآورد گردید، می‌توان نتیجه گرفت که بارندگی تصاویر ماهواره‌ای TRMM در مناطق مرتفع تخمین بهتری از بارندگی ارائه می‌دهد. در نهایت برخلاف نتایج حجازی و همکاران (۱۲)، بارندگی اصلاح شده TRMM کارایی بالاتری نسبت به روش‌های معمول درون‌یابی دارد، به نظر می‌رسد اصلاح داده‌های بارندگی تصاویر TRMM مجموعه ارزشمندی از داده‌های متراکم بارندگی را در مناطق فاقد آمار و با قدرت تفکیک مکانی بالا در اختیار محققین قرار دهد.

احتمالاً به دلیل ثبت بارندگی‌های خلاف انتظار در برخی ماه‌ها، نتایج خطا نامطلوب به دست آمد اما به طور کلی به خصوص در ایستگاه جویستان ارتباط مناسبی بین داده‌های ماهواره‌ای و زمینی وجود داشت. ضرایب اصلاحی در اکثر ماه‌ها کمتر یک برآورد شد که نشان‌دهنده بیش‌تخمینی داده‌های TRMM است که در این مورد پژوهشگران دیگر صفوی گردینی و همکاران (۲۵)، ژو و همکاران (۲۹)، سبحانی و همکاران (۲۷) نیز به نتایج مشابه رسیدند. با توجه به این که ضرایب اصلاحی در مناطق مرتفع حوضه نزدیک به یک

منابع

1. Abdollahi, B., S.M. Hosseini Moghari and Q. Ebrahimi. 2014. Evaluation of satellite data TRMM 3B42RT V7 and CMORPH in order to estimate precipitation in Gorganrood basin. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 11(36): 55-68 (In Persian).
2. Alibakhsh, S., A. Hosseini, K. Davari, A. Alizadeh and E. Monica. 2018. Assessment of Ground Station, GPM Satellite and MERRA Precipitation Products in Kashafrud Basin. *Journal of Watershed Management Research*, 9(18): 111-122 (In Persian).
3. Barros, A.P., M. Joshi, J. Putkonen and D.W. Burbank. 2000. A study of 1999 monsoon rainfall in a mountainous region in central Nepal using TRMM products and rain gauge observations. *Geophysical Research Letters*, 27(22): 3683-3686.
4. Chen, Y., E.E. Ebert, K.J. Walsh and N.E. Davidson. 2013. Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates of tropical cyclone rainfall using PACRAIN data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(5): 2184-2196.
5. Collischonn, B., W. Collischonn and C.E.M. Tucci. 2008. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. *Journal of Hydrology*, 360(1-4): 207-216.
6. De Jesús, J., A. Breña-Naranjo, A. Pedrozo-Acuña and V.H. Alcocer Yamanaka. 2016. The use of TRMM 3B42 product for drought monitoring in Mexico. *Water*, 8(8): 325.
7. Duan, Z., W.G.M. Bastiaanssen and J. Liu. 2012. Monthly and annual validation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) products in the Caspian Sea Region for the period 1999–2003. In 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 3696-3699.
8. Erfanian, M., S. Kazempour and H. Heydari. 2016. Calibration of TRMM 3B42 and 3B43 Series Rainfall Data in Iranian Climatic Zones. *Physical Geography Research*, 48(2): 287-303 (In Persian).
9. Fang, J., W. Yang, Y. Luan, J. Du and A. Lin. 2019. Evaluation of the TRMM 3B42 and GPM IMERG products for extreme precipitation analysis over China. *Atmospheric Research*, 223(2019): 24-38.
10. Franchito, S.H., V.B. Rao, A.C. Vasques, C.M.E. Santo and J.C. Conforte. 2009. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. *Journal of Geophysical Research*, 114(D2).
11. Goovaerts, P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228(1-2): 113-129.
12. Hejazi, Z., B. Alikhani, P. Ziayan, M. Karimi and S. Rafati. 2012. Evaluation of satellite precipitation 3B43 and comparison with values obtained from kriging interpolation technique. *Iran Remote Sensing and GIS*, 4(3): 49-64 (In Persian).
13. Kazemzadeh, M. and J. Akbari. 2020. Spatial accuracy analysis of TRMM satellite images in estimating meteorological drought index, case study: Iran. *Iranian Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(4): 903-916 (In Persian).
14. Keikhosravi Kiany, M.S., S.A. Masoodian, R.C. Balling Jr and M. Montazeri. 2020. Evaluation of the TRMM 3B42 product for extreme precipitation analysis over southwestern Iran. *Advances in Space Research*, 66(9): 2094-2112.
15. Khosravi, M., M. Bostani, M.A. Azizoghly and M. Goodarzifar. 2013. Comparison of the Sistine and Baluchistan Province Precipitation Zones Using Satellite Data and Ground Stations. *Journal of Climate Research*, 4(13): 97-110 (In Persian).
16. Li, X.H., Q. Zhang and C.Y. Xu. 2012. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. *Journal of Hydrology*, 426(2012): 28-38.
17. Madadi, GH., S. Hamzeh and A.A. Nowruz. 2015. Evaluation of rainfall on a daily, monthly and annual scale by using satellite imagery (Case study: Western Border Area of Iran). *Remote sensing and GIS in Natural Resources*, 6(2): 59-74 (In Persian).
18. Miri, M., M. Rahimi and A.A. Norouzi. 2019. Evaluation and comparison of GPM and TRMM daily precipitation with observed precipitation across Iran. *Iranian Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(4): 972-983 (In Persian).
19. Nicholson, S.E., B. Some, J. McCollum, E. Nelkin, D. Klotter, Y. Berte, B. M.Diallo, I. Gaye, G. Kpabeba, O. Ndiaye, J. N. Noukpozounkou, M.M. Tanu, A. Thiam, A.A. Toure and A.K. Traore. 2003. Validation of TRMM and other rainfall estimates with a high-density gauge dataset for West Africa. Part II: Validation of TRMM Rainfall Products. *Journal of Applied Meteorology*, 42(10): 1337-1354.
20. Noor, H., M. Vafakhah and M. Moghaddasi. 2016. Decision Support tool for determine of WMPs optimal pattern (Case study: Taleghan Reservoir dam watershed). *Watershed Management Research (Pajohesh-va-Sazandegi)*, 113: 70-80 (In Persian).
21. Ono, K. and S. Kazama. 2011. Analysis of extreme daily rainfall in Southeast Asia with a gridded daily rainfall data set. *IAHS Publication*, 344: 169-175.
22. Prasatia, R. and A.R. As-syakur. 2013. Validation of TRMM Precipitation Radar satellite data over Indonesian region. *Theoretical and Applied Climatology*, 112(3): 575-587.

23. Parisooj, P., H. Goharnejad and S. Moazami. 2018. Hydrological simulation of precipitation-runoff using modified satellite precipitation algorithms, Case study: Voshmgir Dam Basin, Golestan. *Iranian Water Resources Research*, 14(3): 140-159 (In Persian).
24. Rasooli, A., M. Erfanian, B. Sari Sarraf and Kh. Javan. 2016. Comparative evaluation of estimated rainfall values of TRMM and recorded precipitation of ground stations in Urmia Lake Basin. *Journal of Geographical Space*, 16(54): 195-217 (In Persian).
25. SafaviGerdini, M., M. Delbari, M. Amiry and Piri. 2019. Calibration of TRMM 3B43 precipitation data in Hormozgan province. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 9(35): 90-112 (In Persian).
26. Siabi, N., SH. Sanaeinejad and B. Ghahraman. 2017. Evaluation of rainfall data obtained from TRMM satellite, MM5 model and spatial-temporal ground observations in arid and semi-arid mountainous regions. *Geography and Environmental Hazards*, 6(3): 163-179 (In Persian).
27. Sobhany, B., M. Alijahan and B. Zeynali. 2017. Synoptic - Satellite Analysis of Super Heavy Rainfall Wave in Chaharmahal-O Bakhtiari Province. *Journal of Geography and Enviromental Hazards*, 5(4): 109-134.
28. Su, F., Y. Hong and D.P. Lettenmaier. 2008. Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. *Journal of Hydrometeorology*, 9(4): 622-640.
29. Xu, R., F. Tian, L. Yang, H. Hu, H. Lu and A. Hou. 2017. Ground validation of GPM IMERG and trmm 3B42V7 rainfall products over Southern Tibetan plateau based on a high-density rain gauge network. *Journal of Geophysical Research*, 122(2).
30. Zhao, T. and A. Yatagai. 2014. Evaluation of TRMM 3B42 product using a new gauge-based analysis of daily precipitation over China. *International Journal of Climatology*, 34(8): 2749-2762.

Assessing the Accuracy of Rainfall Data from TRMM Satellite in Taleghan Watershed

Mohammad Tavosi¹, Mehdi Vafakhah² and Vahid Moosavi³

-
- 1- M.Sc. Student of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University
2- Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, (Corresponding author: vafakhah@modares.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University
Received: 25 April, 2021 Accepted: 20 October, 2021
-

Extended Abstract

Introduction and Objective: Due to the limited number of meteorological stations especially in mountainous areas, the use of satellite data to extract rainfall is very important. On the other hand, the lack of spatial appropriate rainfall data is one of the major challenges in flood or drought prediction and timely warning in this case. One of the available solutions in this case is to measure rainfall from space.

Material and Methods: The aim of this study was to investigate the accuracy of rainfall data obtained from TRMM satellite images in Taleghan watershed on a monthly and annual time scale during the period 2010 to 2015. For this purpose, TRMM images with three-hour spatial resolution were received during the statistical period for the study area. Then using the sum of three hours rainfall, daily rainfall was estimated. In the following the adjustment coefficients were also presented to reduce the error of rainfall data, and finally the accuracy of satellite image data was compared with two common interpolation methods i.e. invers distance weighting and Kriging.

Results: The results of error indices showed that the rainfall of TRMM images is well correlated with the data of ground stations, especially Joestan station, but in some months, there is a problem of under-estimation and over-estimation. For this reason, correction coefficients were applied to solve this problem, which on average in most months; this coefficient was calculated less than one, which indicates the overestimation of TRMM image precipitation data. Examination of the corrected data showed that by applying the estimation coefficients, in addition to solving the overestimation problem, the error rate was also reduced and the Nash-Sutcliffe performance index was somewhat improved. The root mean square error (RMSE) at Garab station also decreased from 88 to 26 mm in annual rainfall time scale by applying the adjustment coefficients, which indicates an increase in data efficiency after the application of correction coefficients. The results of comparing the modified data with interpolation methods showed that in all error indices, the modified TRMM data is more efficient in estimating rainfall.

Conclusion: Overall, it can be said that rainfall from TRMM images can give satisfactory results if adjustment coefficients are applied, and in areas with a shortage of meteorological and data stations, it can be a reliable source of rainfall data.

Keywords: Error indices, Ground station, Interpolation, Remote sensing, Spatial distribution, Validation