

واسنجی داده های باران سری 3B43 ماهواره TRMM در استان هرمزگان

مریم صفوی گردینی^۱، معصومه دلبری^۲، میثم امیری^۳، جمشید پیری^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۴

چکیده

بارش یکی از پارامترهای مهم اقلیمی موثر در مدل‌های هیدرولوژیکی است. لذا برآورد صحیح مقدار و توزیع مکانی آن در یک حوزه آبخیز از اهمیت زیادی برخوردار است. در سال‌های اخیر به دلیل تعداد و تراکم محدود ایستگاه‌های بارانسنجی در سطح کشور و نبود ایستگاه در مناطق کوهستانی و صعب‌العبور، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بارش به عنوان ابزاری موثر در پیش‌بینی توزیع مکانی منطقه‌ای بارش مورد توجه محققین قرار گرفته است. در پژوهش حاضر به بررسی صحت داده‌های بارشی TRMM 3B43 که یکی از محصولات بارشی ماهواره TRMM است در ۴۰ ایستگاه باران‌سنجی و ۹ ایستگاه سینوپتیک استان هرمزگان در مقیاس ماهانه پرداخته شد. مقایسه بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های منتخب واقع در دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۱۲ انجام شد. برای ارزیابی میزان انطباق بارندگی برآوردشده توسط ماهواره TRMM با مقادیر مشاهده‌ای در ایستگاه‌های بارانسنجی و سینوپتیک از معیارهای آماری شامل ضرایب همبستگی اسپیرمن (Rs)، ضریب همبستگی پیرسون (Rp)، میانگین مطلق خطا (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مجذور خطا (MSE)، و نیز شاخص‌های مطابقت (POD, FAR, TSS و CSI) استفاده شد. براساس نتایج به دست آمده، بیشترین مقدار شاخص POD (۱) در ماه آگوست و کمترین مقدار آن (۰/۹۲) در ماه می برآورد شد. از طرفی بیشترین مقدار شاخص FAR (۰/۹۱) و کمترین مقدار شاخص CSI (۰/۰۸) در ماه می، و همچنین کمترین مقدار شاخص FAR (۰/۱۶) و بیشترین مقدار شاخص CSI (۰/۸۳) در ماه ژانویه برآورد شد. علاوه بر این‌ها، بیشترین مقدار ضریب همبستگی پیرسون (۰/۶۴) و اسپیرمن (۰/۷۶) در ماه دسامبر و کمترین آن‌ها در ماه‌های آوریل، می و جولای اتفاق افتاد. این نتایج نشان می‌دهد که بیشترین دقت ماهواره TRMM در فصل‌های زمستان و بهار و کمترین آن، در تابستان اتفاق افتاده است. بعبارت دیگر، ماهواره TRMM توانسته است وقوع بارندگی در ماه‌های سرد سال را بهتر از ماه‌های گرم سال پیش‌بینی کند. همچنین نتایج نشان داد داده‌های TRMM در اکثر ماه‌های سال مقدار باران را بیشتر برآورد می‌کند که پس از واسنجی، با توجه به نقشه‌های پهنه بندی ماه‌های آگوست و دسامبر بهبود قابل ملاحظه‌ای در تخمین بارش توسط ماهواره TRMM اتفاق افتاد.

کلمات کلیدی: بارش ماهانه، تخمین، شاخص مطابقت، واسنجی، TRMM

^۱ گروه مهندسی آب، کارشناسی ارشد دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، Maryamsafavi66@gmail.com

^۲ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل *نویسنده مسئول masoomeh.delbari@uoz.ac.ir

^۳ مربی، هیئت علمی پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، دانشگاه زابل Meysam65am@gmail.com

^۴ مربی، هیئت علمی دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل jamshideng@gmail.com

مقدمه

بارش یک پارامتر مهم در چرخه هیدرولوژی بوده که هم در بعد مکان و هم در بعد زمان بویژه در مناطقی که از بارش کمتری برخوردار است به شدت متغیر است. از طرفی یکی از مهمترین چالش‌ها در تحلیل بارش و پیش بینی های هیدرولوژیک در مدیریت منابع آب کمبود داده های بارش و یا پراکندگی مناسب است (Moazami et al., 2013)

ماهواره TRMM به منظور بررسی و مطالعه بارندگی در مناطق گرمسیر استوایی، در ۲۷ نوامبر ۱۹۹۷ از تانگشیمای ژاپن در یک مدار تقریباً دایره‌ای در ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری با یک زاویه میل ۳۵ درجه نسبت به استوا با دوره گردش زمانی ۹۱/۵ دقیقه به فضا پرتاب شده است (Huffman and Bolvin, 2012). این ماهواره محصول مشترک سازمان فضایی ایالات متحده آمریکا (NASA) و ژانسن اکتشافات فضایی ژاپن (JAXA) می‌باشد. بارندگی مناطق حاره ای بیش از ۷۵ درصد از بارندگی های کل جهان را شامل می شود و عامل اصلی توزیع گرما از طریق جریان اتمسفر است (کویانی و علیجانی، ۱۳۸۸).

در کشور ایران، داده‌های بارش اندازه گیری شده در بسیاری از نقاط به دلیل پراکنش نامناسب یا صعب العبور بودن، دارای محدودیت است. برای غلبه بر این محدودیت، میتوان از انواع روش‌های درون‌یابی فضایی، رگرسیون آماری و الگوریتم های تخمین بارندگی با کمک تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد. در سال های اخیر، تحقیقات مختلفی در سطح جهان و ایران در زمینه ارزیابی داده های TRMM بویژه به منظور افزایش دقت میان یابی روش های سنتی انجام شده است (Qin et al., 2014). شیروانی و فخاری زاده (۱۳۹۳) به بررسی و ارزیابی داده های ماهواره TRMM با استفاده از داده های بارندگی روزانه ۱۲ ایستگاه همدیدی و ۳۷ ایستگاه باران سنجی در استان فارس طی دوره ۱۹۹۸-۲۰۱۱ پرداختند. از معیارهای ارزیابی ضریب همبستگی پیرسون، میانه، میانگین، واریانس، نرمال شده جذر میانگین مربع خطا و اختلاف میانگین برای مقایسه نتایج در مقیاس های زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه استفاده کردند. نتایج نشان داد که همبستگی معنا داری بین داده های زمینی و ماهواره ای در بیشتر مناطق وجود دارد و مقدار آن در همه

ایستگاه های همدیدی (به جز اقلید) و باران سنجی (به جز شش ایستگاه) در مقیاس سالانه به ترتیب بین ۰/۸ تا ۰/۹۵ و ۰/۶۴ تا ۰/۹۳ و برای مقیاس ماهانه به ترتیب بین ۰/۶۴ تا ۰/۹۶ و ۰/۵ تا ۰/۹ بود. امیدوار و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تطابق آمار بارندگی ماهواره TRMM با ایستگاه‌های همدید زمینی در استان خراسان رضوی پرداختند؛ نتایج تحقیق نشان داد که میزان انطباق و همبستگی بالای ۹۵ درصد بین آمار بارندگی سالانه و همبستگی بالای ۹۹ درصد بین آمار بارندگی ماهانه ماهواره با آمار ایستگاه‌های همدید زمینی وجود دارد. Almazroui (۲۰۱۱) به واسنجی داده های بارندگی ماهواره TRMM در عربستان سعودی برای یک دوره ۱۲ ساله (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹) پرداختند و از آمار ۲۹ ایستگاه بارندگی برای واسنجی استفاده کردند. نتایج نشان داد روند داده‌های ماهواره TRMM و داده‌های واقعی در فصل مرطوب نتایج نزدیک به هم داشته و ضریب همبستگی میان داده‌های واقعی و داده‌های واسنجی شده TRMM حدود ۰/۹۹ شده است. Cheng (۲۰۱۱) به بررسی و مقایسه داده‌های TRMM 3B42RT با هدف کاربرد آن در مدل های هیدرولوژیکی، پرداخت. نتایج نشان داد داده های TRMM3B42RT دارای دقت بسیار بالایی هستند و همبستگی خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده در حوزه آبخیز مورد مطالعه دارند. در این بررسی شبیه‌سازی جریان رودخانه با داده‌های واقعی خطای کمتر و ضریب کارایی بالاتری نسبت به شبیه‌سازی انجام شده با داده‌های TRMM 3B42RT نشان داد. Karaseva et al. (2012) به بررسی و ارزیابی دقت داده‌های ماهواره TRMM(3B43) در منطقه قرقیزستان پرداختند. نتایج آنها نشان داد بین داده‌های ماهواره‌ای و داده های ایستگاه های مشاهداتی، همبستگی و تطابق بالایی وجود دارد. Kizza et al. (2012) به برآورد بارندگی با استفاده از روش های درون‌یابی (روش‌های کریجینگ و وزن دهی عکس فاصله) و داده های ماهواره ای (ماهواره PERSIANN و TRMM3B42) در دریاچه ویکتوریا پرداختند. نتایج نشان داد که میانگین تفاوت های TRMM3B42 در برآورد بارش بیشتر از PERSIANN بود، اما همبستگی آن با تغییرات درون‌سالی بهتر بود. Li et al. (2012) نشان دادند که در منطقه سین کیانگ چین تخمین بارندگی روزانه توسط ماهواره TRMM بهتر

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

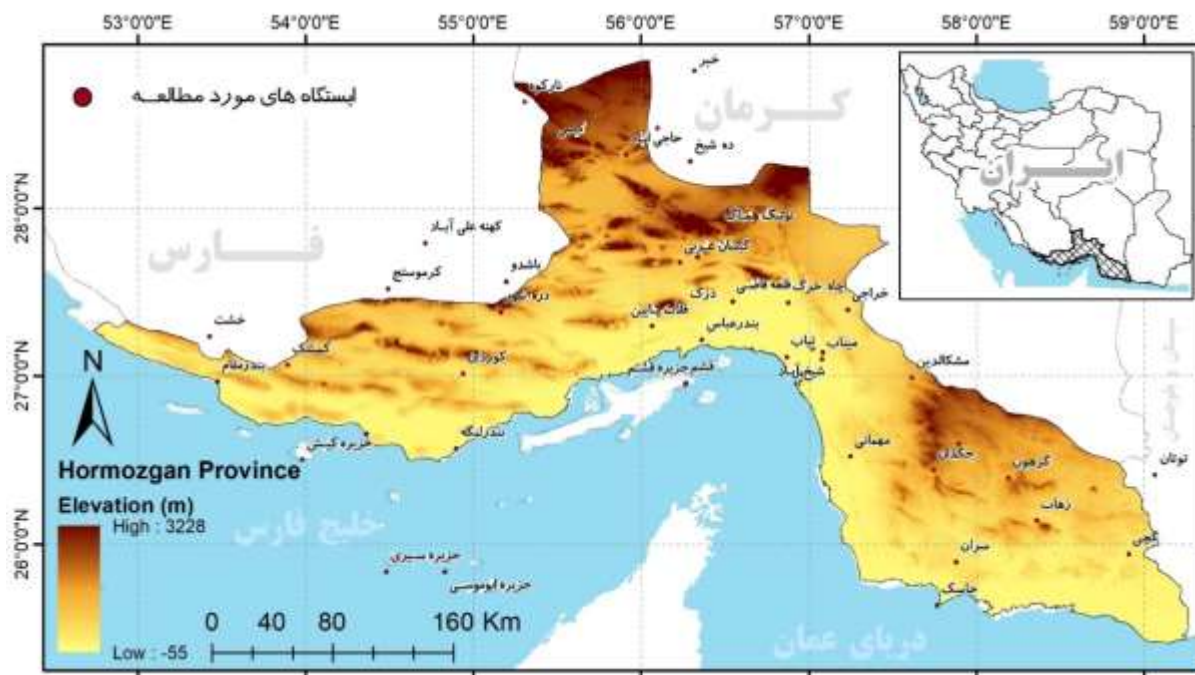
استان هرمزگان در جنوب ایران با وسعت ۶۸۴۷۵/۸ کیلومتر مربع و بین مختصات ۲۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی (از نصف النهار گرینویچ) قرار دارد. استان هرمزگان از شمال با استان کرمان، از جنوب با خلیج فارس و دریای عمان، از شرق با استان سیستان و بلوچستان و از غرب با استان‌های فارس و بو شهر هم‌سایه است. استان هرمزگان از مناطق گرم و خشک ایران است و اقلیم آن تحت تأثیر آب و هوای نیمه بیابانی و بیابانی قرار دارد. هوای نوار ساحلی در تابستان‌ها بسیار گرم و مرطوب است و گاهی نیز دمای آن از ۵۲ درجه سانتیگراد تجاوز می‌کند. دمای متوسط سالانه این منطقه در حدود ۲۷ درجه سانتیگراد است. از ویژگی‌های آب و هوایی استان هرمزگان، یک فصل طولانی گرم و یک فصل کوتاه خنک است. فصل گرم همراه با هوای شرجی ۹ ماه به درازا می‌کشد (سایت سازمان هواشناسی کشور).

داده‌های مشاهداتی و ماهواره‌ای

در این تحقیق، از داده‌های بارندگی ماهانه ۴۰ ایستگاه باران‌سنجی وابسته به اداره مطالعات منابع آب و ۹ ایستگاه سینوپتیک مربوط به سازمان هواشناسی کشور و داده‌های ماهواره TRMM سری داده‌های TRMM-3B43 (ماهانه) با دوره آماری ۱۵ ساله از ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۲ استفاده شد. شکل ۱ مدل رقومی ارتفاع (با قدرت تفکیک ۹۰ متر × ۹۰ متر) و موقعیت ۴۹ ایستگاه مورد مطالعه در استان هرمزگان را نشان می‌دهد. از بین این ۴۹ ایستگاه، تعداد ۹ ایستگاه متعلق به سازمان هواشناسی و ۴۰ ایستگاه متعلق به وزارت نیرو (باران‌سنجی) می‌باشد. همچنین داده‌های ماهواره ای TRMM با فرمت NetCDF در دوره ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۲ از سایت NASA تهیه شد. از نرم افزار ArcGIS 9.3 برای نمایش لایه‌های خام ماهانه (تصحیح نشده) استفاده شد.

از بارش‌های حدی است هم‌چنین در مقیاس ماهانه هرچند ماهواره بارندگی را بیشتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند اما هم‌بستگی مناسبی (۰/۸۹) بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای مشاهده گردید. Milewski et al. (2015) به ارزیابی و بررسی دقت نسخه‌های مختلف TMPA براساس ۱۲۵ ایستگاه باران‌سنجی در شمال مراکش در شرایط مختلف اقلیمی و توپوگرافی پرداختند. نتایج نشان داد که نسخه‌های مختلف TMPA بارش را در مناطق خشک بیشتر و در مناطق با ارتفاع بالا کمتر برآورد می‌کنند. اما الگوریتم توسعه یافته (TRMM 3B42 V7) بهتر از نسخه قبلی (V6) در مناطق کم باران و با ارتفاع زیاد عمل می‌کند.

باتوجه به اهمیت اطلاعات بارش، تخمین دقیق آن همواره به عنوان یک چالش اساسی در مناطق دارای تعداد کم ایستگاه باران‌سنجی و یا فاقد ایستگاه (مناطق صعب العبور) مطرح بوده است. استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای یکی از راهکارهای پیشرو برای دستیابی به داده‌های بارش در این مناطق می‌باشد. اما دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است و امروزه با اطمینان در مورد صحیح بودن اطلاعات بارش ماهواره‌ای خاص، نمی‌توان اظهار نظر کرد. بنابراین در چنین شرایطی بررسی دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای موجود در مناطق مختلف، یکی از نیازهای تحقیقاتی است از طرفی بررسی منابع نشان داد که داده‌های بارندگی ماهواره TRMM از پتانسیل بالایی برای تخمین مقادیر بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف برخوردار است. با وجود تحقیقات نسبتاً زیاد انجام شده در خارج از کشور تحقیقات اندکی در زمینه واسنجی داده‌های بارندگی TRMM در مناطق کشور صورت گرفته است. لذا تحقیق حاضر با هدف ارزیابی و واسنجی داده‌های ماهواره TRMM براساس داده‌های بارش زمینی در ۴۰ ایستگاه باران‌سنجی و ۹ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان هرمزگان انجام شد. در صورت معتبر بودن داده‌های ماهواره‌ای، می‌توان از آنها در مدل‌سازی و مطالعات مدیریت منابع آب سطحی در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد.



شکل (۱): مدل رقومی ارتفاع و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان هرمزگان

در گام زمانی i ام، \bar{P}_S متوسط مقدار بارش ماهواره ای در هر پیکسل و \bar{P}_O متوسط بارش در ایستگاه‌های مشاهداتی است. واضح است که زیاد بودن مقدار PCC و کم بودن مقدار RMSE و MAE نشان از دقت بالای تخمین‌ها دارد. بر اساس این معیارها بهترین روش، روشی است که حداقل (RMSE, MAE) و بیشترین مقدار Rp (نزدیک به یک) را داشته باشد (Isaaks and Srivastava, ۱۹۸۹). با توجه به اینکه داده‌های بارندگی اغلب دارای مقادیر صفر و حدی است، عمدتاً از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند. لذا برای محاسبه میزان همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و ماهواره ای از ضریب همبستگی ناپارامتری اسپیرمن (Rs) نیز استفاده شد. همچنین در محاسبه شاخص‌های مطابقت، صرفاً به وقوع و عدم وقوع رویداد بارندگی توجه شده و برای هر یک از ایستگاه‌ها، جدول 2×2 مطابق جدول ۱ تهیه شد که اعداد این جدول، تعداد ماه (در مقیاس ماهانه) است.

ارزیابی داده‌های ماهواره ای TRMM

برای تعیین میزان انطباق بارندگی برآوردشده توسط ماهواره TRMM با مقادیر مشاهده ای در ایستگاه‌های بارانسنجی و سینوپتیک از معیارهای آماری و شاخص‌های مطابقت استفاده شده است. معیارهای آماری شامل میانگین مطلق خطا (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مجذور خطا (MSRE) و ضریب همبستگی پیرسون (Rp) است که طی دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۲ به طور میانگین محاسبه شده است.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |z_i^* - z_i| \quad (1)$$

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [z_i^* - z_i]^2 \right\}^{0.5} \quad (2)$$

$$MSRE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(z_i - z_i^*)^2}{z_i^2} \quad (3)$$

$$Rp = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{S_i} - \bar{P}_S)(P_{O_i} - \bar{P}_O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_{S_i} - \bar{P}_S)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_{O_i} - \bar{P}_O)^2}} \quad (4)$$

در روابط فوق:

z_i^* مقدار پیش‌بینی شده، z_i مقدار مشاهده شده، \bar{z} میانگین مقدار مشاهده شده، \bar{z} میانگین مقدار پیش‌بینی شده و N تعداد مقادیر پیش‌بینی شده، P_{S_i} مقدار بارش ماهواره‌ای در گام زمانی i ام، P_{O_i} مقدار بارش مشاهداتی

جدول (۱): جدول توافقی فراوانی وقوع یا عدم وقوع بارندگی (ویلکس، ۲۰۱۱)

	بله	داده‌های زمینی	
خبر			داده‌های ماهواره
F	H		بله
N	M		خبر

می‌دهد (Moazami et al., 2014). این شاخص، هم نسبت به پیش بینی های نادرست و هم نسبت به رویدادهای ازدست رفته حساس است. شاخص TSS میزان دقت تخمین ها بر مبنای احتمال تشخیص درست یک رخداد را نشان می دهد. اگر مقدار این شاخص برابر ۱ باشد، نشان دهنده مطابقت کامل مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهده ای است و اگر ۱- باشد، نشان می دهد تخمین ها از یک پیش بینی تصادفی هم بدتر هستند (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۵؛ خان و همکاران، ۲۰۱۵).

واسنجی داده‌های TRMM

در صورت عدم تطابق داده های ماهواره TRMM با داده های زمینی (میانگین منطقه ای در مقیاس ماهانه)، واسنجی با هدف حداقل کردن خطای بین داده های TRMM و داده‌های مشاهداتی از طریق تحلیل رگرسیون خطی به صورت زیر انجام می شود.

$$GD_i = C_{RF} + m_{RF} \times SD_i \quad (9)$$

در این رابطه، C_{RF} مقدار عرض از مبدا، m_{RF} شیب خط، SD داده‌های TRMM و GD داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی (مقادیر مشاهده‌ای) است. ضرایب خط رگرسیون در واقع ضرایب تصحیح کننده داده های TRMM است که مقدار آن در کل منطقه قابل محاسبه است.

در این جدول H تعداد پیش بینی هایی است که از هر دو طریق (ایستگاه های زمینی و ماهواره) مقدار بارندگی ثبت شده است. F تعداد پیش بینی هایی است که فقط TRMM مقدار بارندگی را ثبت کرده است و مقدار M تعداد پیش بینی هایی است که علی رغم وقوع بارندگی در ایستگاه زمینی، مقدار آن در TRMM ثبت نشده است. N تعداد نقاطی است که در هیچ یک از دو منبع مقدار بارندگی مشاهده نشده است. در این تحقیق از چهار شاخص طبقه بندی آماری شامل احتمال پیش‌بینی بارش^۱ (POD)، نسبت هشدار نادرست (FAR) و شاخص آستانه موفقیت^۲ (CSI) و شاخص آماره مهارت صحیح^۳ (TSS) استفاده شد (Wilks, 2006). فرمول ریاضی شاخص های POD، FAR، CSI و TSS به ترتیب در روابط ۵، ۶، ۷ و ۸ ارائه شده است (چکنگوانگ و چپو، ۲۰۰۸؛ خان و همکاران، ۲۰۱۵):

$$POD = \frac{H}{H+M} \quad (5)$$

$$FAR = \frac{F}{H+F} \quad (6)$$

$$CSI = \frac{H}{H+M+F} \quad (7)$$

$$TSS = \frac{N \times H - F \times M}{(N+F) \times (M+H)} \quad (8)$$

شاخص CSI دقت نسبی TRMM را محاسبه می کند یا نسبت کلی تعداد رخداد های بارش را که به درستی توسط ماهواره TRMM پیش‌بینی شده است، نشان

^۱True skill statistics

۵- Probability of detection

۶- False alarm ratio

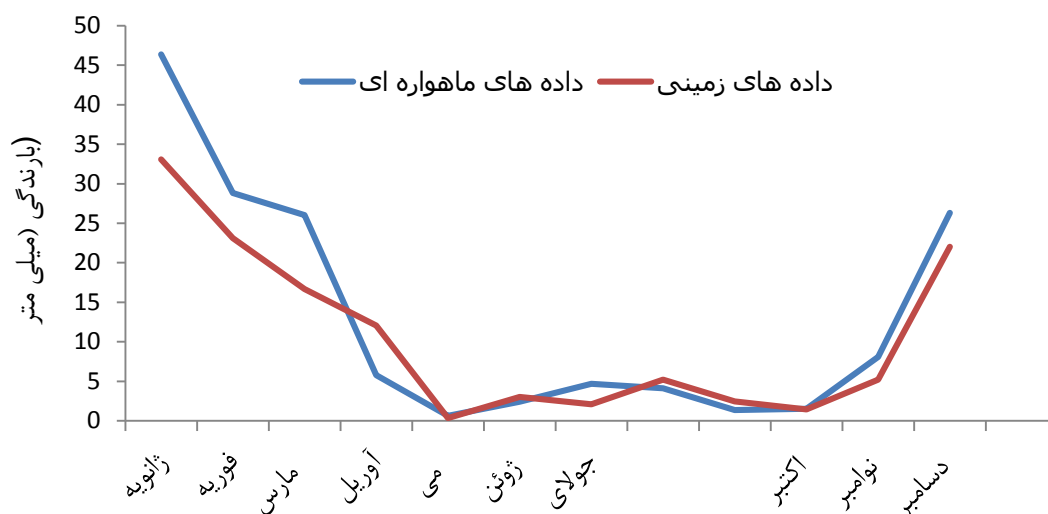
۷- Critical success index

مطالعه، تقریباً مشابه داده های مشاهداتی است، و کمترین میزان بارندگی مربوط به ماه های می تا اکتبر است. ماهواره TRMM در بیش تر ماه های سال (۸۰٪ ایام) بارندگی را بیشتر از مقادیر اندازه گیری شده در ایستگاه های مشاهداتی برآورد کرده است. به طور کلی، ماهواره TRMM توانسته اکثر ماه های بارانی را در استان هرمزگان شناسایی کند. همچنین با توجه به شکل ۲، بیشترین میزان بارندگی مربوط به ماه های ژانویه و فوریه می باشد.

نتایج و بحث

مقایسه توزیع زمانی بارندگی ماهانه

تغییرات زمانی میانگین مقادیر ماهانه مشاهداتی و ماهواره ای ایستگاه های منتخب در استان هرمزگان در دوره زمانی ۱۹۹۸ - ۲۰۱۲ در شکل (۲) نشان داده شده است. روند (صعودی یا نزولی) داده های ماهانه TRMM در کل ایستگاه های مورد



شکل (۲): مقایسه میانگین داده های ماهانه TRMM و ایستگاه های مشاهداتی در استان هرمزگان (۱۹۹۸-۲۰۱۲)

(جدول ۲). لازم به ذکر است بیشترین میزان خطای ماهواره TRMM در پیش بینی بارندگی در ماه ژانویه (mm) $40/65$ (MAE) اتفاق افتاده است. در مناطق خشک چون فراوانی روزهای خشک، یا بدون باران بیشتر است، می توان گفت حتی اگر خطای بین دو منبع داده ها زیاد باشد، ضریب همبستگی بین آن ها بالاتر از سایر مناطق است. بیشترین مقدار شاخص POD (۱) در ماه آگوست و کمترین مقدار آن (۰/۹۲) در ماه می برآورد شده است که پیش بینی صحیح بارش توسط ماهواره نسبت به بارش های مشاهده شده در ایستگاه های زمینی را نشان می دهد. مقادیر بالای POD نشان دهنده آن است که مدل به خوبی توانسته است تعداد روزهای بارانی را آشکار کند. بیشترین شاخص FAR (۰/۹۱) در ماه می و کمترین آن (۰/۱۶) در ماه ژانویه برآورد شده است که نشان می دهد نسبت پیش بینی های نادرست بر مجموع پیش بینی های درست و نادرست ماهواره TRMM ماه ژانویه بیشتر بوده

نتایج مقایسه شاخص های ارزیابی

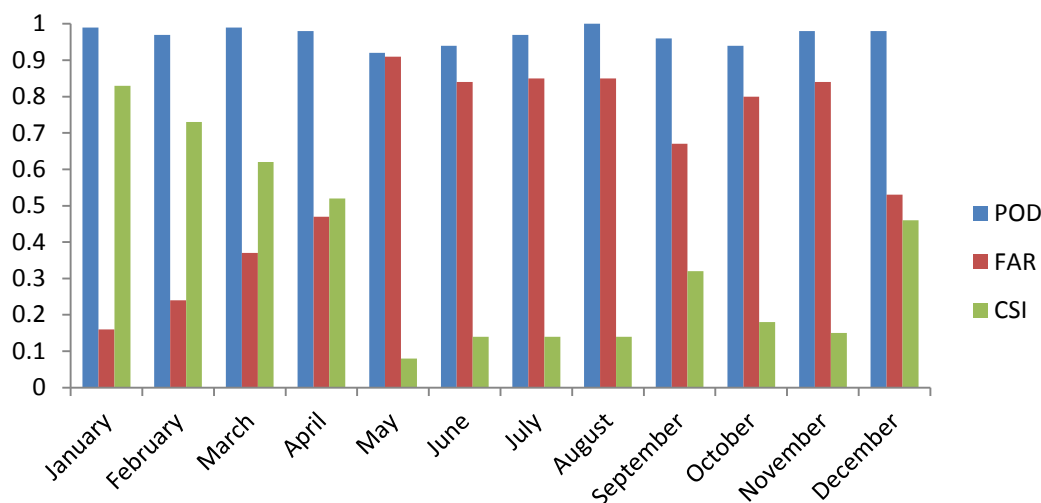
با توجه به اینکه داده های بارندگی ماهانه در استان هرمزگان اغلب دارای مقادیر صفر و حداکثر است، عمدتاً از توزیع نرمال تبعیت نمی کند. لذا، در مقیاس ماهانه از ضریب همبستگی اسپیرمن که یک روش ناپارامتری است برای محاسبه میزان همبستگی بین داده های مشاهداتی و ماهواره ای استفاده شد. نتایج نشان داد که همبستگی به میزان قابل توجهی افزایش پیدا کرده است (جدول ۲). بیشترین مقدار همبستگی اسپیرسون (۰/۶۴) و همبستگی اسپیرمن (۰/۷۶) در ماه دسامبر برآورد شده است. کمترین میزان همبستگی در ماه های آپریل و جولای اتفاق افتاده است. به عبارتی دیگر بیشترین مقدار همبستگی در فصل زمستان و بهار اتفاق افتاده است و کمترین مقدار همبستگی در تابستان اتفاق افتاده است (جدول ۲). ماهواره TRMM مقدار بارندگی ماهانه را برای استان هرمزگان در ماه می با کمترین مقدار خطا ($MAE= 1/15$ mm) برآورد کرده است

کند. لازم به ذکر است هر چقدر مقدار شاخص FAR کمتر باشد، شاخص CSI (دقت ماهواره) بیشتر است. شاخص TSS یکی از مهم ترین و متداول ترین شاخص های مطابقت است. اگر مقدار این شاخص برابر ۱ باشد، نشان دهنده مطابقت کامل مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهده ای است. مقدار این شاخص در اکثر ماهها منفی به دست آمد که نشان دهنده این است که TRMM در مقیاس ماهانه طی دوره آماری، برای تمامی ماه ها مقادیری را پیش بینی کرده است و هیچ مقدار از دست رفته ای نداشته است (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۵). شکل ۳ مقادیر شاخص های POD، FAR و CSI و شکل ۴ مقادیر RMSE و MAE برآورد شده را برای ماه های مختلف سال نشان می دهد.

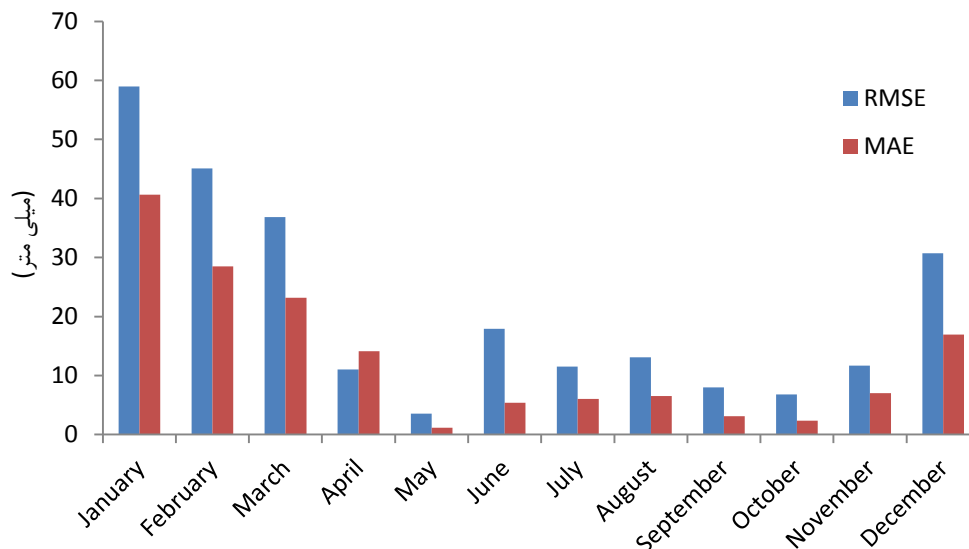
است. با وجود مقدار خطای بالای برآورد شده که در ماه ژانویه اتفاق افتاده است، TRMM توانسته است وقوع بارندگی در ماه های سرد سال را بهتر پیش بینی کند. مقادیر زیاد FAR بیانگر آن است که تعداد روزهای غیر بارانی در مدل و ایستگاه دارای تطابق خوبی نمی باشند. شاخص CSI دقت نسبی TRMM یا نسبت کلی تعداد رخدادهای بارش را که به درستی توسط ماهواره TRMM پیش بینی شده است نشان می دهد. این شاخص، هم نسبت به پیش بینی های نادرست و هم نسبت به رویدادهای از دست رفته حساس است. این شاخص در ماه ژانویه بیشترین مقدار (۰/۸۳) و در ماه می کمترین مقدار (۰/۰۸) را داشت. مقادیر بالای CSI نشان دهنده آن است که ماهواره TRMM به خوبی توانسته است روزهای بارانی و غیربارانی را در ایستگاه های مورد بررسی از هم تفکیک

جدول (۲): ضرایب همبستگی، معیارهای ارزیابی و شاخص های مطابقت بارش زمینی و داده های ماهواره TRMM در ماه های مختلف

شاخص	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
Rp	0.18	0.15	0.29	0.04	0.14	0.23	0.08	0.14	0.11	0.36	0.43	0.64
Rs	0.24	0.26	0.28	0.26	0.15	0.16	0.13	0.30	0.15	0.33	0.50	0.76
MAE (mm)	40.65	28.52	23.16	14.15	1.15	5.39	6.05	6.55	3.14	2.34	7.01	16.95
RMSE (mm)	58.98	45.09	36.85	11.05	3.57	17.93	11.5	13.07	8.02	6.78	11.67	30.73
POD	0.99	0.97	0.99	0.98	0.92	0.94	0.97	1	0.96	0.94	0.98	0.98
FAR	0.16	0.24	0.37	0.47	0.91	0.84	0.85	0.85	0.67	0.8	0.84	0.53
CSI	0.83	0.73	0.62	0.52	0.08	0.14	0.14	0.14	0.32	0.18	0.15	0.46
TSS	-0.325	-2.7	-1.49	-2.36	-3.64	-5.04	-2.54	0	-4.01	-4.19	-2.13	-2.21



شکل (۳): مقایسه داده های بارش ماهواره ای و زمینی براساس شاخص های POD، FAR و CSI در مقیاس ماهانه



شکل (۴): مقایسه داده های بارش ماهواره ای و زمینی براساس معیارهای RMSE و MAE در مقیاس ماهانه

سپس، میانگین مقدار تجمعی برای هر ماه محاسبه شد. در این شکل، عدد تجمعی باران مشاهداتی ماه ژانویه طی دوره ۱۵ ساله آماری حدود ۳۳/۴۹ میلی متر است. ولی میانگین مقدار تجمعی TRMM در این ماه حدود ۴۷/۳۲ میلی متر است. همچنین عدد تجمعی باران مشاهداتی ماه فوریه طی دوره ۱۵ ساله آماری حدود ۲۴/۳۴ میلی متر است ولی میانگین عدد تجمعی TRMM در این ماه حدود ۲۹/۶۶ میلی متر است. بنابراین مقادیر بارندگی TRMM در تمامی ایستگاه ها نیاز به واسنجی دارند. در جدول ۳، ضرائب تصحیح شامل عرض از مبدأ (CRF) و شیب خط رگرسیونی (MRF) در مقیاس ماهانه ارائه شده است. مقدار ضریب همبستگی مربوط به خط رگرسیون

واسنجی داده های ماهواره ای

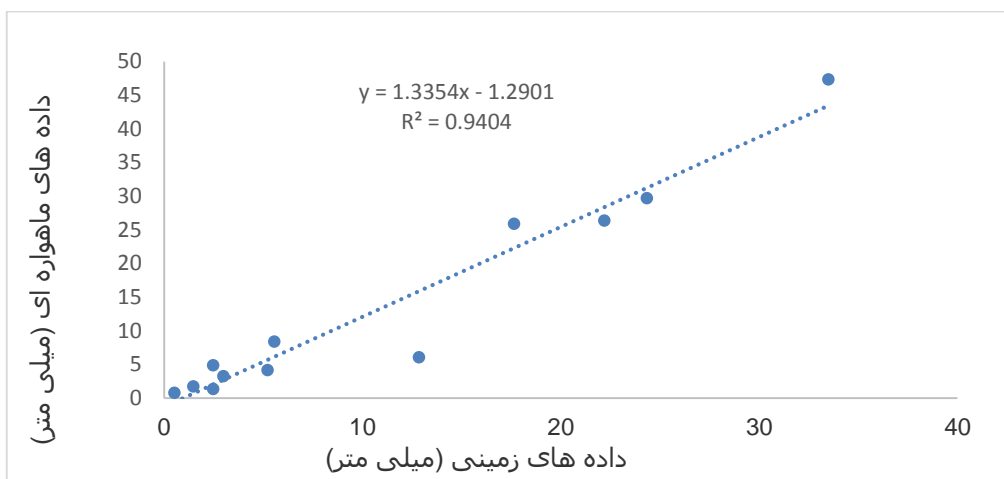
با توجه به وجود خطا بین داده های ماهواره ای و داده های مشاهده ای در مقیاس ماهانه، واسنجی داده های ماهواره ای در استان هرمزگان انجام شد. بدین منظور، از میانگین ماهانه داده های ماهواره ای و مشاهداتی (میلی متر) در دوره ۱۹۹۸ - ۲۰۱۲ استفاده شد. شکل ۵ پراکنش مقادیر ماهانه داده های TRMM و داده های مشاهده ای را در ۴۹ ایستگاه مشاهداتی در استان هرمزگان نشان می دهد. مقدار تجمعی بارندگی ماهانه طی دوره ۱۵ ساله در تمامی ایستگاه ها به دست آمد.

دارای مناطق کوهستانی و دارای آب و هوایی نسبتاً خنک تر نسبت به ایستگاه‌های نزدیک به دریا می باشد و ضریب همبستگی داده های زمینی با ماهواره در ایستگاه های کوهستانی و مرتفع بیشتری مقدار را نشان می دهد. همچنین ایستگاه های نزدیک به دریا دارای آب و هوای گرم و شرجی و نسبتاً خشک می باشند و برآورد بارندگی توسط ماهواره در ایستگاه های پربارش شمالی این منطقه نسبت به ایستگاه های نزدیک به سطح دریا از دقت بیشتری برخوردار می باشد و ضریب همبستگی داده های زمینی با ماهواره در ایستگاه های کوهستانی و مرتفع بیشتری مقدار را نشان می دهد. داده های TRMM در اکثر ماه های سال مقدار باران را بیشتر برآورد می کرد ولی پس از واسنجی، بهبود قابل ملاحظه ای در تخمین بارش با استفاده از ماهواره TRMM اتفاق افتاد. همانطور که در شکل (۸) نشان داده شده است، مقادیر ماهانه RMSE نیز پس از واسنجی داده های TRMM به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. این نتایج نشان می دهد که با استفاده از داده های TRMM و اعمال ضریب تصحیح می توان مقادیر تخمین زده شده بارش را به مقدار زیادی به داده های مشاهده ای نزدیک کرد. در پژوهشی که به واسنجی داده های بارش ماهواره TRMM در عربستان سعودی در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۹ پرداخته شد، در مقیاس روزانه و سالانه، بارش های TRMM مطابقت زیادی با بارش ایستگاه های زمینی از نظر الگوی زمانی (کاهش یا افزایش) داشتند (المزروی، ۲۰۱۱). همچنین این نتیجه حاصل شد که برخی الگوریتم های TRMM مخصوصاً در طول فصل مرطوب، بارندگی ها را کمتر از مقادیر ایستگاه های زمینی برآورد می کند

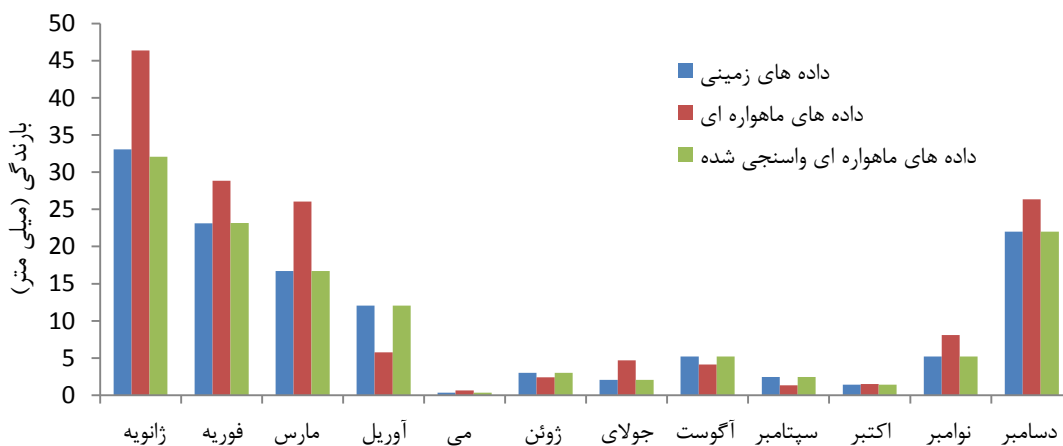
(Rp) نیز در جدول ۲ ارائه شده است. همانطوری که در جدول ۲ مشاهده می شود بیشترین میزان همبستگی به ترتیب مربوط به ماه های دسامبر (۰/۶۴)، نوامبر (۰/۴۳) و اکتبر (۰/۳۶) می باشد. از طرفی منطقه مورد مطالعه نزدیک به سواحل خلیج فارس بوده و در تابستان تحت تاثیر سامانه های بارش زای مانسون می باشد که این سامانه ی بارشی میزان بارندگی در خرداد ماه را به اوج می رساند و نسبت به دیگر ماه ها با توجه به اینکه فصل تابستان می باشد بارندگی نسبتاً بالایی را دارد. مقدار همبستگی داده های زمینی با داده های ماهواره ای در این ماه نسبتاً بالا (۰/۲۳) می باشد. در مرحله بعد، داده های TRMM در کل منطقه مورد مطالعه با استفاده از ضرائب تصحیح (m_{RF}, c_{RF}) واسنجی شد. نتایج واسنجی برای منطقه مورد مطالعه در شکل (۶) نشان داده شده است. همچنین نقشه های پهنه بندی داده های مشاهداتی، داده های ماهواره ای TRMM قبل از واسنجی و داده های ماهواره ای TRMM بعد از واسنجی برای ماه های آگوست و دسامبر در شکل (۷) نشان داده شده است. مطابق شکل، داده های واسنجی شده تطابق بهتری با داده های زمینی دارد. با توجه به نقشه های پهنه بندی ماه آگوست ماهواره TRMM مقدار بارندگی را برای ایستگاه های نزدیک به دریا که دارای ارتفاع کمی از سطح دریا می باشند کم برآورد کرده است، همچنین برای ایستگاه های مرتفع و کوهستانی که دارای بارندگی بیشتری می باشند ماهواره ی TRMM برآورد دقیق تری را نشان داده است. با توجه به نقشه های پهنه بندی ماه دسامبر که ماه پربارشی می باشد، ماهواره در تمامی ایستگاه ها مقدار بارندگی را دقیق تر پیش بینی کرده است که پس از واسنجی داده های ماهواره ای با داده های مشاهداتی تطابق بیشتری دارند. استان هرمزگان دارای چندین اقلیم آب و هوایی می باشد؛ ایستگاه های شمالی این استان

ضرائب رابطه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
m_{RF}	0.169	0.1607	0.226	0.1348	0.242	0.0103	0.0881	0.3867	0.456	0.0325	0.4229	0.615
c_{RF}	25.241	18.467	10.80	11.27	0.1827	-0.202	1.6756	3.6303	1.8533	0.3394	6.0418	5.82

جدول (۳): ضرائب تصحيح داده های بارش TRMM در مقیاس ماهانه



شکل (۵): نمودار پراکنش میانگین ماهانه مقادیر جمعیتی بارندگی تمامی ایستگاه ها طی دوره ۱۹۹۸-۲۰۱۲



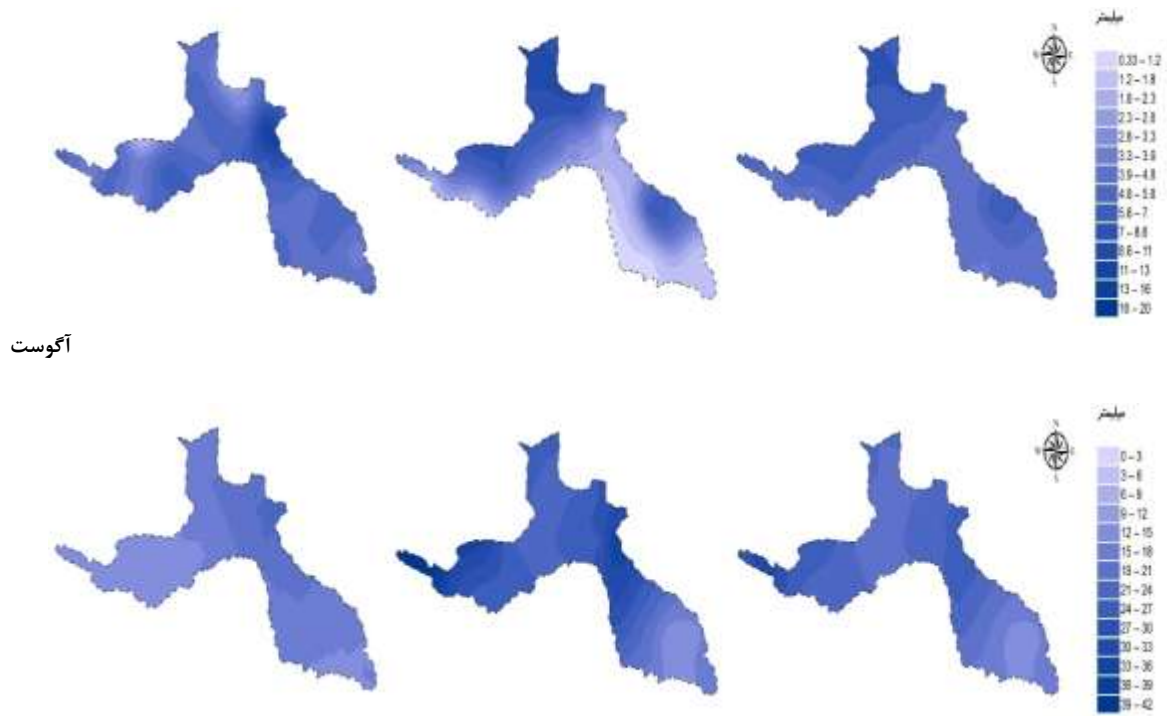
شکل (۶): مقایسه میانگین مقادیر بارش جمعیتی مشاهده ای، ماهواره ای و واسنجی شده طی دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۱۲

داده‌های ماهواره ای TRMM بعد از واسنجی

ماه (میلادی)

داده‌های مشاهداتی

داده‌های ماهواره ای TRMM قبل از واسنجی

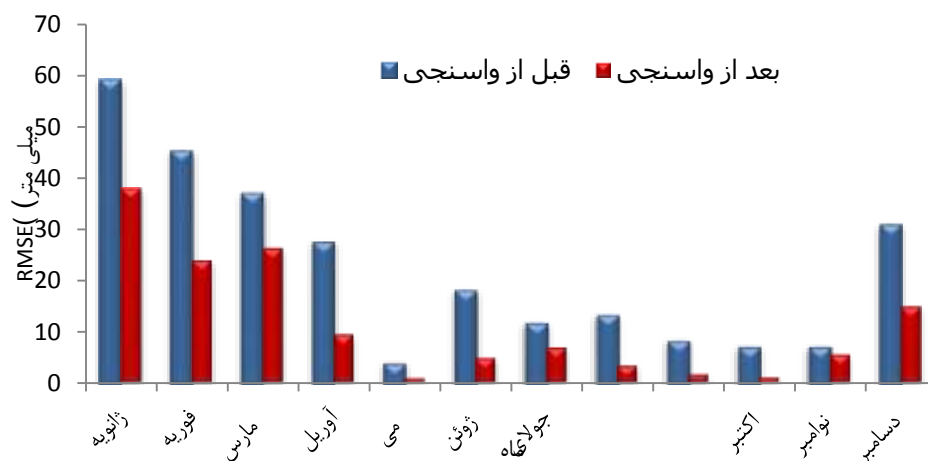


آگوست

دسامبر

شکل (۷): نقشه های پهنه بندی بارندگی داده های مشاهداتی، داده های ماهواره ای قبل از واسنجی و داده های ماهواره ای بعد از

واسنجی برای ماه های میلادی آگوست و دسامبر طی دوره ی آماری ۱۹۹۸-۲۰۱۲



شکل (۸): مقادیر خطای بین داده های تجمعی بارش مشاهده ای و TRMM قبل و بعد از واسنجی طی دوره ۱۹۹۸-۲۰۱۲

ژانویه نشان داد. در ماه های خشک چون فراوانی روزهای خشک یا بدون باران بیشتر است، می توان گفت حتی اگر خطای بین دو منبع داده ها زیاد باشد، ضریب همبستگی بین آن ها بالاتر از سایر مناطق است. مقایسه ضرایب همبستگی و میانگین خطای نرمال شده، نشان از معنی دار بودن معادله بین داده های بارش زمینی و ماهواره ای است. این همبستگی بالا حاکی از آن است که داده های بارش ماهواره ای به وسیله یک رگرسیون خطی بین مقادیر مشاهده شده به عنوان متغیر وابسته و مقادیر ماهواره ای به عنوان متغیر توضیحی قابل تصحیح و استفاده در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی و زمینه های مرتبط با آن می باشد. در مجموع، نتایج این تحقیق حاکی از آن است که داده های بارش ماهواره ای از دقت خوبی برخوردارند و با انجام تصحیحات ساده قابل استفاده در زمینه های مختلف علوم آب و هواشناسی می باشد. با توجه به اینکه در این مطالعه از داده های ماهواره TRMM3B43 نسخه هفتم استفاده شده است، پیشنهاد می شود این بررسی با ماهواره های دیگر و در مناطق دیگر کشور یا اقلیم متفاوت انجام شود.

نتیجه گیری

اطلاعات بارش یکی از ضروری ترین و اصلی ترین نیازها در مدیریت منابع آب است. از طرفی، در بسیاری از نقاط جهان و از جمله در ایران کمبود داده های بارش در مقیاس زمانی و مکانی بسیار محسوس است. یکی از راهکارهای نوین برای برآورد بارش در نقاط فاقد آمار استفاده از داده های ماهواره ای است. در تحقیق حاضر به بررسی دقت داده های بارش سری 3B43 ماهواره TRMM و ارائه ضرائب تصحیح (پس از واسنجی داده ها) در استان هرمزگان که دارای موقعیت و اقلیم ویژه ای است، پرداخته شده است. هم چنین استفاده از معیارهای آماری مختلف R_p ، $RMSE$ ، R_s ، MAE ، $MSRE$ و شاخص های مطابقت (CSI ، TSS ، FAR ، POD) برای ارزیابی صحت داده های ماهواره ای از مزیت های دیگر تحقیق حاضر است. در مقیاس ماهانه، داده های ماهواره ای با داده های ایستگاه های مشاهداتی استان هرمزگان در ماه دسامبر بیشترین همبستگی را نشان داد. همچنین ماهواره TRMM مقدار بارندگی ماهانه را در ماه می با کمترین مقدار خطا برآورد کرد. از طرفی ماهواره TRMM بیشترین میزان خطای برآورد را در ماه

منابع

- امیدوار، ک.، م. فنودی، و ع. بنی واهب. ۱۳۹۲. بررسی تطابق آمار بارندگی ماهواره TRMM با ایستگاه های اقلیمی زمینی مطالعه موردی: ایستگاه های همدید استان خراسان رضوی. نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان.
- سایت سازمان هواشناسی کشور. ۱۳۹۴. <http://www.irimo.ir>
- شیروانی، ا. و ا. فخاری زاده شیرازی. ۱۳۹۳. مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس. نشریه هواشناسی کشاورزی. شماره ۲، صفحه ۱۵-۱.
- عرفانیان، م.، س. کاظم پور، ح. حیدری. ۱۳۹۵. واسنجی داده های باران سری 3B42 و 3B43 ماهواره TRMM در زون های اقلیمی ایران. پژوهش های جغرافیای طبیعی ۴۸(۲): ۳۰۳-۲۸۷.
- کاویانی، م. و ب. علیجانی. ۱۳۸۸. مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت. صفحه ۵۹۴.
- Almazroui, M. 2011. Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998-2009. Atmospheric Research, P.400-414.
- heng, C., Yu, Z., Li, L. and Yang, c. 2011. Adaptability Evaluation of TRMM Satellite Rainfall and Its Application in the Dongjiang River Basin. Procedia Environmental Sciences, 10: 402-396.

- Chokngamwong, R. and Chiu, L.S. (2008). Thailand Daily Rainfall and Comparison with TRMM Products, *Journal of Hydrometeorology*, 9(2): 256-266.
- Huffman, G. J. and Bolvin, D. T. 2012. TRMM and other data precipitation data set documentation. Laboratory for Atmospheres, NASA Goddard Space Flight Center and Science Systems and Applications, Inc [WWW document] Available at: ftp://meso-a.gsfc.nasa.gov/pub/trmmdocs/3B42_3B43_doc.pdf (accessed 23 March 2012).
- Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. New York: Oxford University Press.
- Karaseva, M., Prakash, S. and Gairola, R. M. 2012. Validation of High Resolution TRMM 3B43 Precipitation Product Using Rain Gauge Measurements over Kyrgyzstan. *Theoretical and Applied Climatology*, 108(1-2): 147-157.
- Khan, A.J., Koch, M. and Chinchilla, K.M. 2015. Evaluation of gridded multi-satellite precipitation (TRMM -TMPA) estimation performance in the Upper Indus Basin (UIB). *International Conference on Water resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE 2015)*.
- Kizza, M., I. Westerberg, A. Rodhe and H. K. Ntale. 2012. Estimating areal rainfall over Lake Victoria and its basin using ground-based and satellite data. *J. Hydrol.* 464: 401-411.
- 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*, 426: 28-38.
- Milewski, A., R. Elkadiri and M. Durham. 2015. Assessment and comparison of TMPA satellite precipitation products in varying climatic and topographic regimes in Morocco. *Remote Sens.* 7(5): 5697-5717.
- Moazami, S., S. Golian, M. R. Kavianpour and Y. Hong. 2013. Comparison of PERSIANN and V7 TRMM Multisatellite precipitation analysis (TMPA) products with rain gauge data over Iran. *Int. J. Remote Sens.* 34(22): 8156-8171.
- Moazami, S., S. Golian, Y. Hong, C. Sheng and M. R. Kavianpour. 2014. Comprehensive evaluation of four highresolution satellite precipitation products over diverse climate conditions in Iran. *Hydrol. Sci. J.* 61(2): 420-440.
- Qin, Y., Chen, Z., Shen, Y., Zhang, S., & Shi, R. (2014). Evaluation of satellite rainfall estimates over the Chinese Mainland. *Remote Sensing*, 6(11), 11649-11672.
- Wilks, D. S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, 2nd ed., International Geophysics Series, vol. 91, Academic Press, San Diego, CA, 627 pp.
- Wilks, D. S., 2011, *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Vol. 100, Academic press.

Calibration of TRMM 3B43 precipitation data in Hormozgan province

Maryam Safavi Gherdini¹, Masoomeh Delbari², Meysam Amiri³, Jamshid Piri

Abstract

Precipitation is one of the important climatic parameters in hydrological models. Therefore, the accurate estimation of its amount and spatial distribution in a watershed is of great importance. In recent years, due to the limited number of raingage stations especially in mountainous areas, the use of satellite precipitation data as an effective tool for predicting regional distribution of rainfall has gained lots of attention by the researchers. In the present study, the accuracy of TRMM 3B43 data, which is one of the TRMM products, was evaluated in 40 raingage stations and 9 synoptic stations in Hormozgan province in a monthly scale. Comparison of satellite data with the observation data was performed for the time period 1998-2012. To assess the agreement between TRMM rainfall data with observation data, the statistical criteria including Spearman correlation coefficients (Rs), Pearson correlation coefficient (Rp), mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE) and mean square error (MSE), as well as probability of detection (POD), false alarm ratio (FAR), true skill statistics (TSS) and critical success index (CSI) were used. Based on the results, the highest value of POD (1) was observed in August and the lowest POD (0.92) was obtained in May. Moreover, the highest FAR (0.91) and the lowest CSI (0.08) were observed in May, and the lowest FAR (0.16) and the highest CSI (0.83) was obtained in January. In addition, the highest Rp (0.64) and Rs (0.76) were seen in December while the lowest Rp and Rs were occurred in April, May and July. These results indicate that the TRMM satellite has the highest accuracy of predicting rainfall in winter and spring while it has the lowest performance in summer. In other words, the TRMM satellite is able to predict rainfall in cold months better than in warm months of the year. The results also showed that TRMM overestimates rainfall in most months of the year, however the results were significantly improved after calibration especially in August and December as seen in spatial distribution maps.

Key words: Monthly rainfall, estimation, agreement index, calibration, TRMM

¹ Graduated, Master of Water Resources, Zabol University Maryamsafavi66@gmail.com

Masoomeh.delbari@uoz.ac.ir² Associate Professor, Department of Water Engineering, Department of Water and Soil, University of Zabol, Corresponding Author

³ Instructor, Faculty of Hamoon International Pond Research Institute, Zabol University Meysam65am@gmail.com

⁴ Instructor, Faculty of Water and Soil University, Zabol University jamshideng@gmail.com