

تساویر ماهواره ای راهکاری موثر جهت برآورد بارش و لزوم توجه به استحصال آن

علی آزاده‌دل^{۱*}، پیام مرادی^۱، ناصر امید^۱، حبیب نظرنژاد^۲

*- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه ارومیه، پست الکترونیک (aliazadedel71@gmail.com)

۲- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ارومیه

چکیده

با توجه به اینکه ایران در کمربند خشک کره زمین واقع شده و کمتر از $\frac{1}{3}$ متوسط بارندگی کره زمین را دریافت می‌کند استفاده از سیستم‌های سطوح آبیگر جهت استحصال و مدیریت بارندگی‌ها در کشوری که حدود ۸۰٪ از نزولات آسمانی در آن از دسترس خارج می‌شود بسیار حائز اهمیت است، بطوری‌که با بهره‌گیری از روش‌های مختلف استحصال آب باران و بهینه‌سازی آب‌های استحصال می‌توان تا حد قابل قبولی کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک را جبران نمود. نقش و اهمیت این موضوع، یکی از اساسی‌ترین نکات به ویژه با هدف صرفه‌جویی در وقت و هزینه مشخص کردن نقاط مناسب برای احداث سامانه‌های سطوح آبیگر است که امروزه امکان آن با استفاده از ابزارها و تکنیک‌های سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی میسر می‌باشد. امروزه روش‌های مختلفی برای برآورد بارش متوسط سالانه وجود دارد که یکی از آن‌ها روش‌های درون‌یابی است. عدم وجود یک سیستم دیده‌بانی قابل اعتماد و گسترده یکی از چالش‌های مهم در تجزیه و تحلیل بارش، پیش‌بینی هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب در ایران است. همچنین عدم وجود یا وجود داده‌های بارش با کیفیت پائین در برخی از مناطق کشور ضرورت استفاده از محصولات بارش ماهواره‌ای، که می‌تواند به عنوان منبع جایگزین برای حوضه‌هایی با داده‌های پراکنده یا فاقد آمار باشد را در کشورهای در حال توسعه مانند ایران بیشتر می‌کند. لذا هدف از این پژوهش ارزیابی، مقایسه و پهنه‌بندی میزان دقت بارش ماهانه به دست آمده از محصولات بارش ماهواره‌ی TRMM 3B43 v7 با بارش ایستگاه‌ها است. محصول بارش TRMM به صورت شبکه‌ای و با تفکیک 0.25×0.25 درجه در مقیاس ماهانه برای سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ استخراج و ۵ ایستگاه سینوپتیک برای ارزیابی و مقایسه بارش در شمال غرب کشور انتخاب شد. شاخص‌های آماری RMSE و ضریب همبستگی پیرسون برای ارزیابی دقت بارش برآوردی ماهانه استفاده شد. نتایج معیارهای ارزیابی دقت نشان داد که بارش برآوردی ماهواره نتایج قابل قبولی دارد. مقادیر معیارهای خطای ارزیابی دقت هم نشان می‌دهد که ماهواره در ایستگاه اردبیل با میانگین مربعات خطای $41/58$ و همبستگی پیرسون $0/64$ و ایستگاه زنجان با $9/69$ و $0/90$ در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه به عنوان ضعیف‌ترین و بهترین برآورد بارش توسط ماهواره TRMM در طی دوره ۲۰۱۴-۲۰۱۷ داشته است. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که داده‌های بارش ماهواره TRMM در مقیاس ماهانه در اکثر نقاط کشور از دقت قابل قبولی برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی:

بارش، TRMM، ارومیه، RMSE، ایستگاه سینوپتیک

مقدمه

بارش مهم‌ترین متغیر هیدرولوژیکی است که اتمسفر را به فرآیندهای سطح زمین ارتباط می‌دهد و نقش اساسی در آب و هوا و اقلیم ایفا می‌کند (Sorooshian et al. 2000). در مدل‌های هیدرولوژیکی، بارش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ورودی‌های جوی مدل بوده و اندازه‌گیری دقیق بارش برای پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی بسیار ضروری است (Su et al. 2008). ارزیابی توزیع فضایی دقیق بارش ماهانه و مقایسه شبیه‌سازی مدل‌های منطقه‌ای در علوم محیطی به‌ویژه اقلیم‌شناسی اهمیت فراوان دارد. با توجه به تغییرپذیری زمانی و مکانی زیاد بارش و تراکم ایستگاه‌های باران‌سنجی، پیشرفت‌ها در زمینه تخمین بارش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بسیار با اهمیت جلوه می‌کند (حجازی و همکاران، ۱۳۹۱). امروزه بیشتر داده‌های بارش از ایستگاه‌های زمینی باران‌سنجی و هواشناسی جمع‌آوری می‌شود. این در حالی است که شبکه ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در بیشتر مناطق به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه از توزیع مکانی خوبی برخوردار نمی‌باشد. بنابراین کیفیت و فراهم بودن داده‌های مناسب بارش در مناطق مختلف جهت استفاده در زمینه‌های علمی و عملی اهمیت زیادی دارد (میان‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۲). در دهه‌های اخیر روش‌های مختلفی جهت توسعه تخمین بارش از روی تصاویر ماهواره‌ای در مناطق بدون ایستگاه صورت گرفته است. با ورود ماهواره‌های هواشناسی در دهه ۱۹۷۰، تخمین و ارزیابی بارش از طریق تصاویر ماهواره‌ای امکان‌پذیر شد (Levizzani et al., 2002). در این زمینه مدل‌هایی با توان تفکیک مکانی و زمانی بالا ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به مدل‌های ^۱PERSIANN، ^۲CMORPH، ^۳TMPA، ^۴NOAA اشاره کرد (Sorooshian et al. 2000; Hong et al. 2007; Huffmann et al. 1997; Hsu et al. 2004; Joyce et al. 2004; al. 2004). ارزیابی و تخمین بارش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با پرتاب ماهواره TRMM^۵ در اواخر نوامبر سال ۱۹۹۷ پشرفت قابل توجهی کرده است (Kummerow et al., 1996; Simpson et al., 2000).

غضنفری مقدم و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه خود با عنوان مقایسه مدل PERSIANN با روش‌های درون‌یابی به‌منظور کاربرد در تخمین مقادیر بارندگی روزانه، داده‌های به‌دست آمده از روش‌های مختلف درون‌یابی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های استان خراسان شمالی برای ایستگاه بجنورد را با داده‌های دیده‌بانی شده در ایستگاه و داده‌های بارش روزانه PERSIANN مقایسه کردند. نتایج نشان داد، که ضریب همبستگی داده‌های PERSIANN با داده‌های دیده‌بانی بیشتر از ضریب همبستگی بین داده‌های دیده‌بانی با داده‌های حاصل از میان‌یابی است. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به معرفی و مقایسه پایگاه‌های داده‌ای بارشی TRMM و اسفزاری پرداختند. نتایج حاکی از همبستگی بالا بین بارش ماهانه اسفزاری و TRMM 3B43 بود که نشان‌دهنده نزدیکی زیاد این دو پایگاه داده است. اختلاف این دو پایگاه داده نیز نشان داد که پایگاه داده‌ای TRMM در زاگرس مرکزی دارای کم‌برآوردی و در بخش‌هایی از رشته کوه‌های البرز و زاگرس دارای بیش برآوردی است. بطور کلی در بارش‌هایی از نوع کوهستانی خطای ماهواره TRMM افزایش می‌یابد.

جیان فانگ و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای با عنوان ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارش ماهواره TRMM تحت تأثیر توپوگرافی و هواشناسی در مناطق کوهستانی که در حوزه آبخیز رودخانه خیائو^۶ انجام شد، با استفاده از داده‌های بارش ماهواره TRMM بر اساس روابط بارش، توپوگرافی و پوشش گیاهی ریزمقیاس‌نمایی انجام دادند. رگرسیون حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی افزایش یافت، سپس از یک معادله رگرسیونی مربوط به شاخص بارش با متغیر توپوگرافی، با استفاده از روش کرجینگ، نقشه‌های بارندگی در مناطق کوهستانی اسکاتلند ترسیم نمودند. پارکاش و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای با عنوان بررسی خطای ماهواره TMPA در هند در فصول مختلف سال پرداختند. نتایج نشان داد که داده‌های TMPA برای مناطق و فصل‌های مناسب قبل از اینکه در کارهای هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد با استفاده از خطای BIAS مورد ارزیابی قرار گیرد. گوفنگ و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای در جنوب غربی منطقه موسمی چین به بررسی صحت داده‌های بارش TRMM پرداختند. نتایج نشان داد که داده‌های بارش ماهواره TRMM باید برای برنامه‌های هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب در

1 Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks

2 Climate Prediction Center (CPC) morphing technique

3 Tropical Multi-satellite Precipitation Analysis

4 National Oceanic Atmospheric Administration

5 Tropical Rainfall Measuring Mission

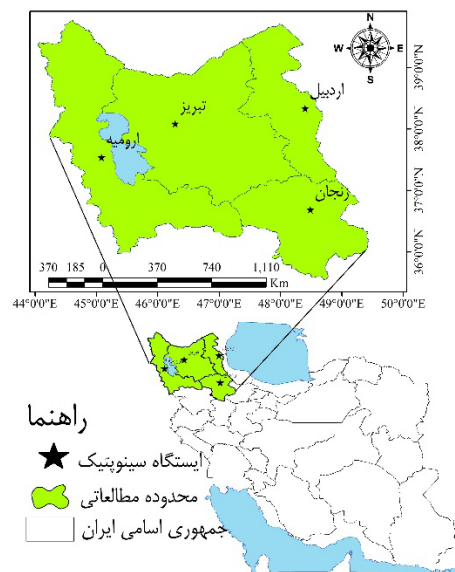
6 Xiao

ایستگاه‌های هواشناسی که دارای توزیع ناهمگن و مناطقی که فاقد ایستگاه هستند می‌تواند به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به مطالعات صورت گرفته در کشورهای دیگر و یافته‌های تحقیقات داخلی مطالعه مذکور با هدف ارزیابی و پهنه‌بندی خطای داده‌های بارش ماهواره TRMM در شمال غرب کشور جهت ارزیابی بارش در سامانه سطوح آبیگر باران و طرح‌های استحصال آب در آبخیزهای کشور صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر در شمال غرب جمهوری اسلامی ایران و شامل استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل و استان زنجان است. در هر استان، ایستگاه سینوپتیک مرکز استان به عنوان ایستگاه مطالعاتی انتخاب و با داده‌های بارش ماهواره مورد مقایسه قرار گرفت. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های منتخب و محدوده منطقه مطالعاتی را در ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌ها و محدوده مطالعاتی در ایران

داده‌های بارش ماهواره TRMM

اندازه‌گیری بارش در سطح جهانی به‌ویژه برای کاربردهای نزدیک در حال حاضر به توانایی سامانه‌های ماهواره‌ای در تولید داده و فاصله زمانی دیده‌بانی در مقیاس جهانی بستگی دارد. ماهواره TRMM در سال ۱۹۹۶ با همکاری ایالات متحده و ژاپن به فضا پرتاب شد. طرح اندازه‌گیری بارش استوا (TRMM) با هدف اندازه‌گیری دقیق بارش در مناطق استوایی و جنب‌حاره در سال ۱۹۹۷ شروع به کار کرد. این ماهواره با استفاده از ۵ ابزار سنجش موجود بر روی خود و به کمک الگوریتم‌های متفاوت، محصولات مختلفی را در رابطه با بارش ارائه می‌دهند، این محصولات شامل بارش ۳ ساعته، روزانه، ماهانه و تفکیک‌های مختلف از ۵ × ۵ درجه تا ۰/۲۵ × ۰/۲۵ درجه می‌باشد (سیمپسون و همکاران، ۱۹۹۶). داده‌های بارش شبکه‌ای TRMM 3B43 از ۱۹۹۸ تا به امروز با تأخیری دو ماهه و تفکیک مکانی $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ درجه طول و عرض جغرافیایی در دسترس است. پوشش مکانی این داده‌ها از ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی و از ۱۸۰ درجه غربی تا ۱۸۰ درجه شرقی است. به جهت اینکه داده‌های ماهواره‌ای از سال ۱۹۹۸ تولید و عرضه شده‌اند بنابراین شروع دوره تحقیق از سال ۱۹۹۸ تا سال ۲۰۱۴ در نظر گرفته شد. در این تحقیق از داده‌های بارش ماهانه 3B43 ماهواره TRMM نسخه ۷ با قدرت تفکیک مکانی $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ برای سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ با فرمت NetCDF استخراج شد. جهت تحلیل داده‌های بارش زمینی، داده‌های بارش ماهانه ۵ ایستگاه سینوپتیک برای سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ در سطح شمال غرب کشور از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. پس از دانلود تصاویر بارش ماهانه ماهواره TRMM با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.3 تصاویر به لایه رستری با فرمت TIF تبدیل شده سپس مقادیر بارش مربوطه به هریک از ایستگاه‌ها از روی تصاویر برای هر یک از ماه‌های سال استخراج شد.

معیارهای ارزیابی خطا

جهت ارزیابی دقت برآورد بارش ماهانه از داده‌های ماهواره TRMM از معیار ارزیابی خطا ریشه دوم میانگین مربع خطا^۷، ضریب همبستگی^۸، استفاده شده است که روابط آنها به شرح ذیل می‌باشد. در این روابط، P_i و O_i به ترتیب مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای و t و i مربوط به رتبه داده‌ها می‌باشند (کاظم زاده و همکاران، ۱۳۹۳).

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{N} (P_i - O_i)^2} \quad (1)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (2)$$

نتایج و بحث

خطاهای برآورد بارش ماهواره

شاخص‌های آماری که برای بررسی میزان دقت مجموع بارش ماهانه برآوردی ماهواره TRMM 3B43 به‌کار رفتند، برای ایستگاه‌های مختلف در جدول شماره ۲ و ۳ ارائه شده است. خطای RMSE (mean square error) میانگین مربعات خطا که نشان‌دهنده میزان خطای بارش برآوردی مدل با مقدار واقعی است. واضح است که هر چقدر مقدار این خطا کم باشد مدل برآورد بهتری داشته است (دزفولی و همکاران، ۱۳۹۵). بیشترین مقدار معیار RMSE برای ایستگاه اردبیل و کمترین مقدار برای ایستگاه زنجان و به ترتیب برابر با ۸۹/۲۸ و ۳/۶۱ می‌باشد. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که در بین داده‌های ماهواره TRMM با مقیاس سالانه و ماهانه کمترین مقدار RMSE مربوط به داده‌های مقیاس ماهانه می‌باشد، که نشان‌دهنده مشابهت بارش برآوردی ماهواره TRMM و بارش مشاهده‌ای است. همچنین مطالعه مقادیر همبستگی بین بارش برآوردی ماهواره و بارش ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی منتخب نشان می‌دهد که به‌طور میانگین بیشترین میزان همبستگی مربوط به ایستگاه ارومیه و ۰/۹۱ می‌باشد. حال آنکه کمترین مقدار همبستگی هم به‌طور میانگین در طی دوره ۲۰۱۴-۲۰۱۷ مربوط به ایستگاه اردبیل و برابر با ۰/۷۱ است.

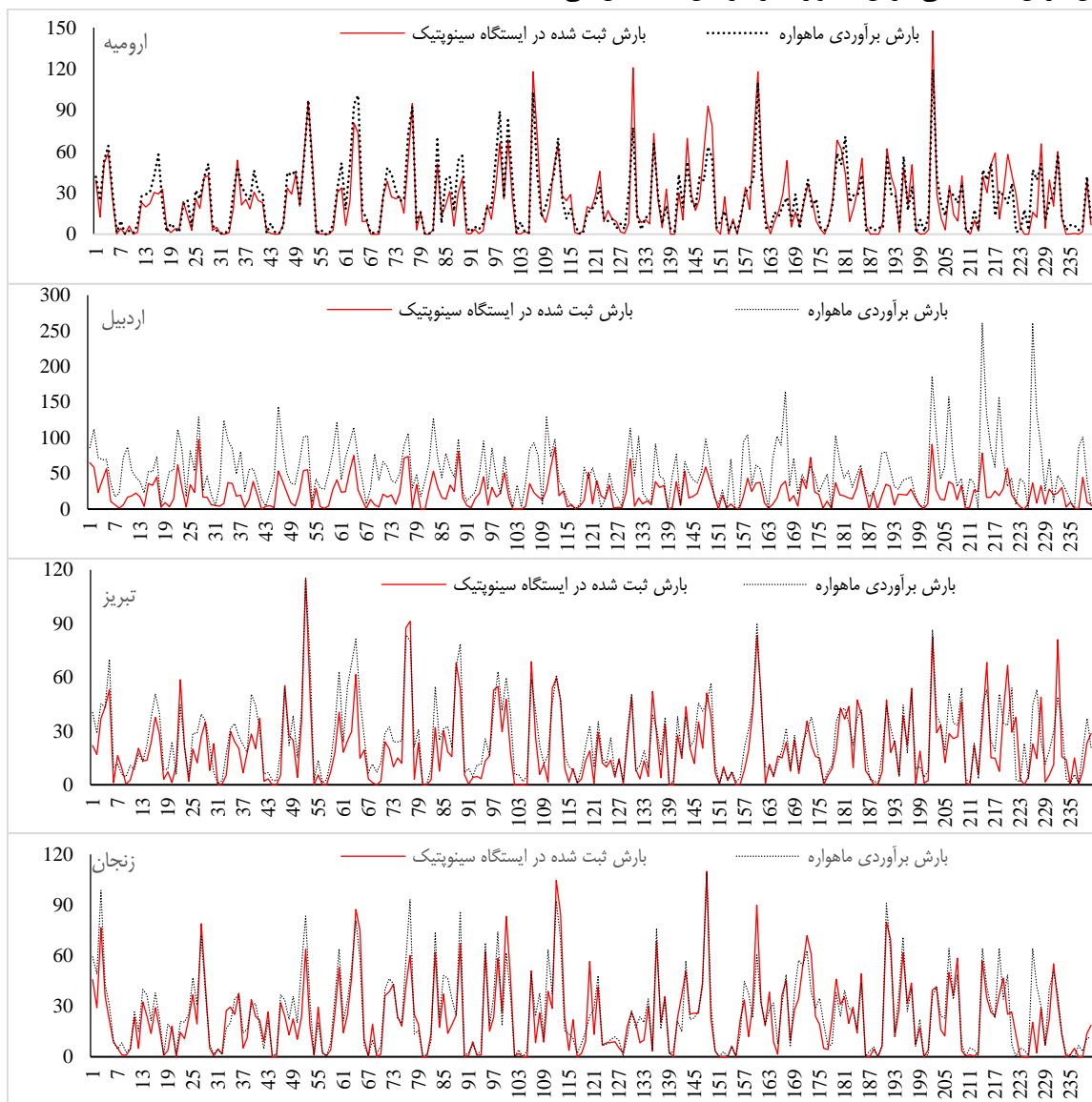
جدول ۱. نتایج مربوط به میزان بارش برآوردی ماهواره و ایستگاه زمینی و میزان خطای بین آنها

	زنجان				ارومیه				اردبیل				تبریز			
	R	RMSE	ایستگاه	ماهواره	R	RMSE	ایستگاه	ماهواره	R	RMSE	ایستگاه	ماهواره	R	RMSE	ایستگاه	ماهواره
۱۹۹۸	۰.۹۹	۱۰.۶۸	۲۵۷.۷۰	۳۵۱.۸۲	۰.۹۹	۴.۹۲	۲۲۳.۴۰	۲۶۳.۳۶	۰.۷۰	۳۹.۹۰	۳۲۵.۵۰	۷۴۳.۷۸	۰.۹۳	۹.۳۴	۲۳۳.۱۰	۲۹۶.۴۱
۱۹۹۹	۰.۹۱	۸.۰۲	۱۸۷.۵۰	۲۶۳.۹۶	۰.۸۳	۱۰.۹۰	۱۸۸.۲۰	۲۴۷.۸۳	۰.۸۶	۳۲.۱۱	۲۵۹.۴۰	۵۹۴.۲۴	۰.۸۳	۱۰.۶۳	۲۲۰.۸۰	۲۸۰.۲۲
۲۰۰۱	۰.۹۵	۶.۹۷	۳۰۹.۷۰	۳۱۰.۵۷	۰.۹۶	۶.۶۲	۲۳۰.۶۰	۲۷۷.۸۲	۰.۶۷	۴۷.۲۱	۳۰۲.۸۰	۷۵۰.۲۴	۰.۷۶	۱۰.۲۲	۲۰۵.۰۰	۲۷۴.۱۲
۲۰۰۲	۰.۸۹	۶.۰۰	۳۰۱.۰۰	۲۲۵.۵۴	۰.۹۸	۸.۰۱	۱۹۴.۰۰	۲۶۵.۱۶	۰.۸۷	۴۱.۲۵	۲۲۱.۷۰	۶۲۵.۸۷	۰.۸۴	۱۱.۶۰	۲۰۳.۸۰	۲۷۸.۴۱
۲۰۰۳	۰.۹۴	۱۳.۱۹	۲۵۵.۴۰	۳۵۸.۲۶	۰.۹۸	۵.۹۱	۳۳۸.۲۰	۲۶۳.۱۳	۰.۸۹	۴۱.۹۳	۲۵۱.۸۰	۷۰۱.۵۵	۰.۹۸	۱۱.۳۹	۳۰۳.۰۰	۴۱۱.۸۷
۲۰۰۴	۰.۹۶	۷.۵۰	۳۵۴.۹۰	۳۵۸.۸۰	۰.۹۷	۱۳.۶۹	۲۹۶.۱۰	۴۱۵.۲۲	۰.۸۱	۳۹.۹۲	۲۷۷.۲۰	۷۱۱.۹۱	۰.۸۹	۱۹.۰۸	۲۱۸.۸۰	۴۰۰.۴۱
۲۰۰۵	۰.۹۶	۱۱.۹۲	۳۲۳.۸۰	۳۷۴.۶۹	۰.۹۷	۸.۴۵	۳۰۴.۵۰	۳۵۱.۲۶	۰.۸۷	۳۵.۵۶	۳۴۳.۲۰	۷۲۵.۵۲	۰.۹۶	۱۲.۳۵	۲۸۴.۶۰	۳۷۸.۵۱
۲۰۰۶	۰.۹۴	۱۲.۲۸	۲۵۱.۳۰	۳۴۱.۸۱	۰.۹۶	۱۱.۴۳	۱۶۷.۲۰	۲۷۱.۲۸	۰.۸۲	۲۹.۴۳	۲۸۰.۴۰	۵۷۲۰.۷۴	۰.۹۵	۹.۹۴	۲۳۳.۵۰	۳۱۳.۹۶
۲۰۰۷	۰.۹۱	۱۱.۰۴	۳۲۸.۰۰	۳۴۶.۸۴	۰.۹۲	۱۴.۱۷	۴۲۷.۶۰	۴۶۵.۶۴	۰.۷۳	۳۷.۹۴	۲۱۶.۵۰	۵۸۲.۶۶	۰.۹۲	۱۱.۳۶	۳۰۵.۱۰	۳۸۷.۴۵
۲۰۰۸	۰.۹۰	۱۴.۲۹	۳۸۱.۶۰	۳۶۳.۳۰	۰.۹۲	۷.۶۴	۲۶۴.۷۰	۲۶۲.۷۴	۰.۶۶	۳۳.۶۶	۳۰۵.۹۰	۵۰۱.۵۶	۰.۹۵	۷.۸۵	۲۳۰.۱۰	۲۸۱.۹۹
۲۰۰۹	۰.۸۶	۶.۹۶	۱۶۷.۶۰	۲۰۳.۲۰	۰.۹۴	۱۵.۱۱	۲۷۴.۰۰	۲۳۰.۶۶	۰.۵۹	۳۷.۰۲	۲۳۳.۷۰	۵۲۶.۵۰	۰.۹۶	۵.۵۲	۱۷۱.۴۰	۲۱۸.۱۵
۲۰۱۰	۰.۹۳	۷.۰۸۶	۳۰۶.۳۰	۳۰۵.۷۲	۰.۹۵	۸.۴۴	۲۹۱.۸۰	۲۹۴.۰۱	۰.۸۰	۳۶.۳۰	۲۴۱.۷۰	۴۷۲.۹۳	۰.۹۳	۶.۶۹	۲۴۱.۹۰	۲۶۸.۷۸
۲۰۱۱	۰.۹۹	۳.۶۱	۲۵۹.۸۰	۲۵۸.۴۸	۰.۹۵	۱۳.۹۶	۳۲۹.۲۰	۲۷۶.۶۱	۰.۸۲	۲۴.۳۵	۲۲۹.۴۰	۴۱۵.۶۹	۰.۹۲	۹.۶۶	۱۸۴.۰۰	۲۵۰.۴۹
۲۰۱۲	۰.۷۸	۱۴.۲۵	۳۵۶.۳۰	۳۷۰.۳۲	۰.۹۳	۱۳.۳۰	۴۰۹.۱۰	۳۴۳.۷۹	۰.۶۰	۵۹.۱۸	۲۷۵.۱۰	۸۳۹.۱۰	۰.۹۷	۶.۸۸	۲۸۲.۳۰	۳۲۸.۵۵
۲۰۱۳	۰.۷۷	۱۳.۰۵	۴۰۰.۸۰	۴۰۹.۷۱	۰.۹۴	۷.۶۲	۲۸۱.۹۰	۲۸۹.۳۸	۰.۵۱	۳۳.۰۲	۲۸۲.۳۰	۵۶۵.۴۰	۰.۸۶	۷.۶۸	۲۱۷.۳۰	۲۶۳.۳۶
۲۰۱۴	۰.۹۸	۵.۳۰	۳۰۹.۱۰	۳۲۵.۵۷	۰.۸۷	۱۱.۰۳	۲۷۹.۵۰	۲۹۹.۰۶	۰.۵۲	۲۹.۸۱	۲۶۹.۴۰	۵۶۱.۸۶	۰.۹۱	۸.۳۲	۲۶۲.۶۰	۲۹۶.۹۴
۲۰۱۵	۰.۹۷	۵.۲۰	۳۰۲.۶۰	۳۲۱.۴۳	۰.۹۷	۱۱.۷۳	۳۴۷.۳۰	۳۵۲.۵۸	۰.۹۲	۴۰.۲۶	۲۵۴.۸۰	۵۸۴.۷۹	۰.۹۸	۵.۵۳	۳۱۰.۹۰	۳۳۱.۹۷
۲۰۱۶	۰.۹۶	۶.۹۴	۲۸۴.۶۰	۳۲۴.۳۷	۰.۹۴	۷.۵۸	۲۴۲.۸۰	۲۹۴.۲۲	۰.۷۸	۷۷.۸۷	۲۹۷.۹۰	۹۳۳.۸۲	۰.۹۰	۹.۷۵	۲۸۷.۲۰	۳۴۴.۵۱
۲۰۱۷	۰.۵۲	۲۱.۴۶	۲۲۴.۷۰	۳۲۴.۳۷	۰.۳۲	۲۳.۶۸	۳۳۰.۰۰	۲۹۴.۲۲	۰.۲۶	۸۹.۲۸	۲۵۰.۷۰	۹۳۳.۸۲	۰.۱۴	۲۵.۸۰	۲۹۱.۰۰	۳۴۴.۵۱
Mean	۰.۹۰	۹.۶۵	۲۸۱.۵۷	۳۱۶.۵۰	۰.۹۱	۱۰.۵۲	۲۸۰.۱۹	۳۰۳.۳۴	۰.۷۱	۴۱.۵۸	۲۶۵.۰۶	۶۴۰.۳۲	۰.۸۶	۱۰.۷۲	۲۴۴.۵۴	۳۰۹.۰۶
Max	۰.۹۹	۲۱.۴۶	۴۰۰.۸۰	۴۰۹.۷۱	۰.۹۹	۲۳.۶۸	۴۲۷.۶۰	۴۶۵.۶۴	۰.۹۲	۸۹.۲۸	۳۴۳.۲۰	۹۳۳.۸۲	۰.۹۸	۲۵.۸۰	۳۱۰.۹۰	۴۱۱.۸۷
Min	۰.۵۲	۳.۶۱	۱۶۷.۶۰	۱۸۴.۲۷	۰.۳۲	۴.۹۳	۱۶۷.۲۰	۲۰۸.۶۳	۰.۲۶	۲۴.۳۵	۱۸۱.۸۰	۴۱۵.۶۹	۰.۱۴	۵.۵۲	۱۷۱.۴۰	۲۱۸.۱۵

7- Root Mean Squared Error

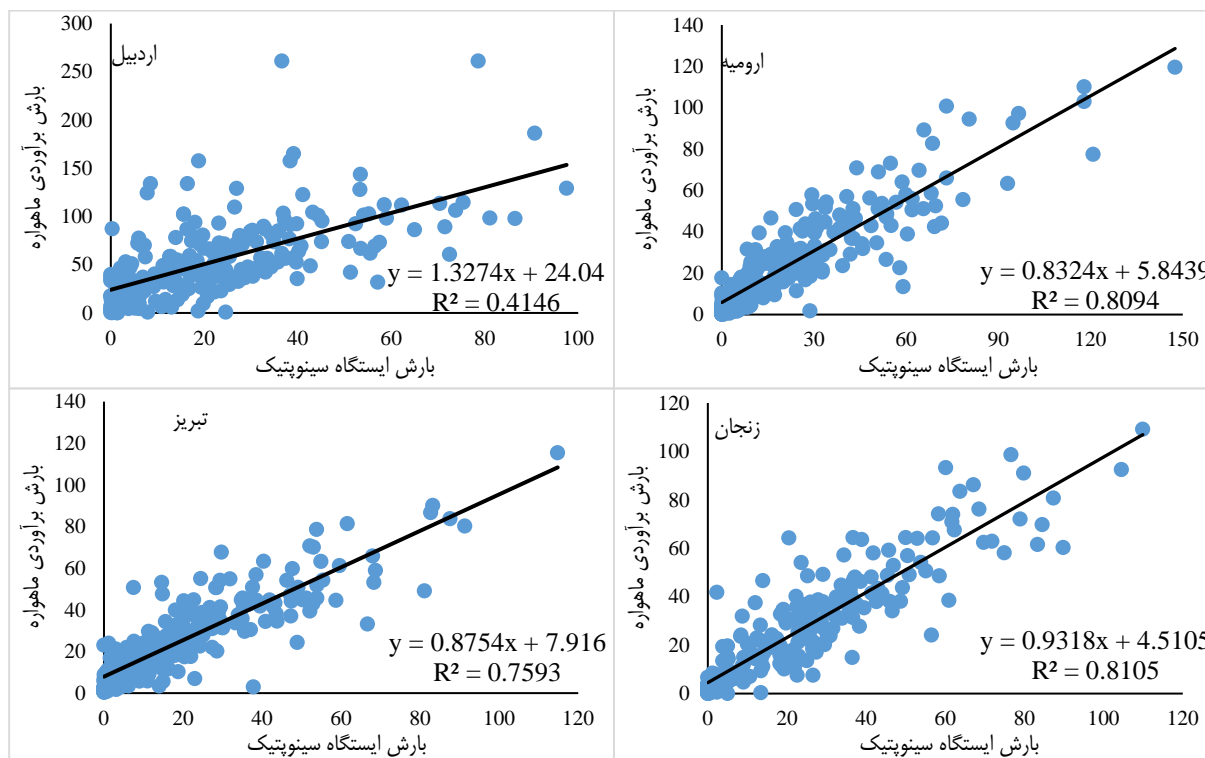
8- Correlation Coefficient

بطور کلی ارزیابی نتایج معیارهای خطا نشان‌دهنده بارش برآوردی قابل قبول برای ماهواره TRMM 3B43 در مقیاس ماهانه است. در شکل ۲ مقادیر بارندگی ماهانه و بارش برآوردی ماهواره TRMM 3B43 برای ایستگاه‌های منتخب در شمال غرب کشور دوره مطالعاتی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ نشان داده شده است. دزفولی و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند که در مقیاس زمانی ماهانه داده‌های بارش برآوردی ماهواره TRMM و بارش مشاهداتی رفتار نزدیک بهم دارند، به طوری که با افزایش یا کاهش بارش مشاهداتی بارش ماهواره نیز افزایش یا کاهش می‌یابد.



شکل ۲- مقادیر بارش ماهانه برآوردی ماهواره و بارش ماهانه ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک در طی دوره ۱۹۹۸-۲۰۱۷

شکل ۳ همبستگی بین بارش برآوردی ماهواره با بارش مشاهده شده در ایستگاه زمینی منتخب را نشان می‌دهد. مقدار ضریب همبستگی پیرسون برای ایستگاه‌های اردبیل، ارومیه، تبریز و زنجان به ترتیب برابر با ۰/۹۰، ۰/۸۷، ۰/۹۰ و ۰/۹۰ می‌باشد که نشان‌دهنده همبستگی بسیار بالا در بین بارش برآوردی ماهواره و ایستگاه است. شیروانی و همکاران (۱۳۹۳)، مددی و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند که همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای در مقیاس‌های ماهانه وجود دارد. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که بارش برآوردی ماهواره TRMM در مقیاس ماهانه کارایی قابل قبولی دارد.



شکل ۳. همبستگی بین مقادیر بارش مشاهداتی و برآوردی حاصل از TRMM ایستگاه‌های منتخب

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

روند بارندگی در ایران حاکی از آن است که این کشور به‌سوی خشکسالی پیش می‌رود و می‌بایست برنامه‌ریزی‌ها و تدابیر در مدیریت منابع آب بر این اساس پی‌ریزی شود. مناطق خشک دارای امکانات بالقوه کشاورزی هستند که مورد استفاده کامل قرار نگرفته‌اند و می‌توان با روش‌های خاص که برای این مناطق مناسب هستند از این امکانات بالقوه به بهترین نحو استفاده کرد. داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد بارش در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند. تا کنون محصولات متنوعی بر حسب نوع داده و روش برآورد با تفکیک مکانی و زمانی در دنیا عرضه شده و مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از این تحقیق ارزیابی بارش ماهانه محصول ماهواره TRMM 3B43 v7 و تحلیل مکانی معیارهای خطای مورد ارزیابی در ایران است. محصول بارش TRMM به‌صورت شبکه ای و با تفکیک $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ درجه در مقیاس ماهانه برای سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ استخراج شد. شاخص‌های آماری RMSE و میزان همبستگی بین داده‌های بارش ماهواره و ایستگاه (R) برای ارزیابی دقت بارش برآوردی ماهانه استفاده شد. مقدار همبستگی پیرسون و میانگین مربعات خطا نشان می‌دهد که در ایستگاه اردبیل خطای برآورد ماهواره نسبت به سایر مناطق بیشتر است که دلیل آن بیشتر به خاطر اقلیم سرد شهرستان اردبیل است. Moazami و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند در مناطق سرد ایران در ماه‌هایی که دمای هوا پایین است یخ موجود در هوا توسط حسگر MW باران تلقی شده و باعث بیش برآوردی بارش توسط ماهواره می‌شود. استحصال آب باران یکی از مهمترین تکنیک‌های جمع‌آوری آب است و چنانچه رواناب حاصل از آن، جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گیرد، باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و مدیریت بهینه آن خواهد شد.

منابع

- حجازی زاده، زهرا. علیجانی، بهلول. ضیاییان، پرویز. کریمی، مصطفی. رفعتی، سمیه (۱۳۹۱). ارزیابی بارش ماهواره ۳B۴۳ و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درون‌یابی کریجینگ. نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال چهارم، شماره سوم، ص ۴۶-۶۴.
- خام‌چین مقدم فرهاد. رضایی پزند حجت. ۱۳۸۸. نقد روش اقلیم بندی دومارتن برای بارش حداکثر روزانه در ایران به کمک روش گشتاور خطی. مجله فنی مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد. شماره دوم. ۱۳۸۸.

- دزفولی دنیا، سید محمد حسینی موعاری، کیومرث ابراهیمی، ۱۳۹۵. مقایسه اطلاعات بارش ماهواره ای PERSIANN و TRMM 3B42 v7 با مشاهدات ایستگاه‌های زمینی (مطالعه موردی: حوضه گرگان رود). نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). سال بیستم. شماره ۷۶. ۱۳۹۵.
- شیروانی امین، فخاری الهام، ۱۳۹۳. مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس. نشریه هواشناسی کشاورزی. جلد ۲. شماره ۲.
- صادقی، سیدهادی، قاسمیه، سمیه، مومنی دمنه، جواد، موسوی سید حجت (۱۳۹۵) پهنه بندی کیفیت آب آبیاری و شهری با استفاده از GIS. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال ۶. شماره ۲۴. ۱۳۹۵.
- عرفانیان مهدی، وفايي نسرین، رضاییان زاده مهدی، ۱۳۹۳. ارائه یک روش نوین برای ارزیابی ریسک خشک سالی استان فارس با تلفیق داده‌های ماهانه بارندگی ماهواره TRMM و داده‌های شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجنده terra/modis. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۱. ص ۱۰۸-۹۳.
- غضنفری مقدم، محمد صادق، علیزاده، امین، موسوی بایگی، سید محمد، فرید حسینی، علیرضا، بنایان اول، محمد (۱۳۹۰). مقایسه مدل PERSIANN با روشهای درون یابی به منظور کاربرد در تخمین مقادیر بارندگی روزانه. نشریه آب و خاک. جلد ۲۵. شماره ۱. ص ۲۰۷-۲۱۵.
- کاظم زاده، م، عظیمی، و، خلیقی سیگارودی، ش. ۱۳۹۳. ارزیابی کارایی مدل‌های M5 و MLP در برآورد میزان کل جامدات محلول (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ليقوان)، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری، سال ۸، شماره ۲۷.
- مددی غزاله، حمزه سعید، نوروزی علی اکبر، ۱۳۹۴. ارزیابی بارش در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه با استفاده از تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی: حوزه مرزی غرب ایران). نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیای در منابع طبیعی. شماره ۲. صفحه ۷۴-۵۹.
- مسعودیان، سید ابوالفضل، رعیت پیشه، فاطمه، کیخسروی کیانی، محمد صادق (۱۳۹۳). معرفی و مقایسه پایگاه‌های داده بارشی TRMM و اسفزاری. مجله ژئوفیزیک ایران. جلد ۸. شماره ۴. ص ۳۱-۱۵.
- میان آبادی، آمنه، علیزاده امین، ثنایی نژاد حسین، بنایان اول محمد، فرید حسینی علیرضا (۱۳۹۲). ارزیابی آماری خروجی مدل CMORPH در برآورد بارش شمال شرق ایران (مطالعه موردی: خراسان شمالی). نشریه آب و خاک. جلد ۲۷. شماره ۵. ص ۹۱۹-۹۲۷.
- Fang, J., Du, J., Xu, W., Shi, P., Li, M., & Ming, X. (2013). Spatial downscaling of TRMM precipitation data based on the orographical effect and meteorological conditions in a mountainous area. *Advances in Water Resources*, 61, 42-50.
- Guofeng, Z., Dahe, Q., Yuanfeng, L., Fenli, C., Pengfei, H., Dongdong, C., & Kai, W. (2016). Accuracy of TRMM precipitation data in the southwest monsoon region of China. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-10.
- Hong, Y., Hsu, K. L., Sorooshian, S., & Gao, X. (2004). Precipitation estimation from remotely sensed imagery using an artificial neural network cloud classification system. *Journal of Applied Meteorology*, 43(12), 1834-1853.
- Hsu, K. L., Gao, X., Sorooshian, S., & Gupta, H. V. (1997). Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. *Journal of Applied Meteorology*, 36(9), 1176-1190.
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Wolff, D. B., Adler, R. F., Gu, G., ... & Stocker, E. F. (2007). The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8(1), 38-55.
- Joyce, R. J., Janowiak, J. E., Arkin, P. A., & Xie, P. (2004). CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, 5(3), 487-503.
- Kummerow, C., Simpson, J., Thiele, O., Barnes, W., Chang, A. T. C., Stocker, E., ... & Ashcroft, P. (2000). The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. *Journal of Applied Meteorology*, 39(12), 1965-1982.
- Levizzani, V., Amorati, R., & Meneguzzo, F. (2002). A review of satellite-based rainfall estimation methods. European Commission Project MUSIC Report (EVK1-CT-2000-00058), 66.
- Moazami, S., Golian, S., Kavianpour, M. R., & Hong, Y. (2013). Comparison of PERSIANN and V7 TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) products with rain gauge data over Iran. *International journal of remote sensing*, 34(22), 8156-8171.

- Prakash, S., Mitra, A. K., AghaKouchak, A., & Pai, D. S. (2015). Error characterization of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA-3B42) products over India for different seasons. *Journal of Hydrology*, 529, 1302-1312.
- Simpson, J., Kummerow, C., Tao, W. K., & Adler, R. F. (1996). On the tropical rainfall measuring mission (TRMM). *Meteorology and Atmospheric physics*, 60(1-3), 19-36.
- Sorooshian, S., Hsu, K. L., Gao, X., Gupta, H. V., Imam, B., & Braithwaite, D. (2000). Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(9), 2035-2046.
- Su, F., Hong, Y., & Lettenmaier, D. P. (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.
- Tesfagiorgis, K., Mahani, S. E., Krakauer, N. Y., & Khanbilvardi, R. (2011). Bias correction of satellite rainfall estimates using a radar-gaugeproduct—A case study in Oklahoma (USA). *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(8), 2631.