نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۴، خرداد - تیر ۱۳۹۹، ص. ۶۸۵-۶۷۳

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 14, Jan.-Jul. 2020, p. 673-685

واسنجی یک مدل تصحیح بارش ماهواره‌ای فصلی برای افزایش دقت بیلان آبی در مناطق خشک ایران

هادی غفوریان[۱]، سیدحسین ثنائی‌نژاد[۲*]، مهدی جباری نوقابی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۶

چکیده

بارندگی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای ورودی برآورد بیلان یک حوضه آبریز، همواره مورد توجه قرار گرفته است. ارزیابی و تصحیح داده‌های سنجش از دور بارش به‌عنوان مکمل داده‌های بارش زمینی در ایران که بیشترین وسعت آن را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد، ضروری می‌باشد. بر همین اساس در این پژوهش، داده‌های بارش ۶ ایستگاه سینوپتیک در ۳ اقلیم ایران (فراخشک، خشک و نیمه‌خشک) به‌عنوان مبنا در دوره زمانی ۲۰ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۷) انتخاب گردید. داده‌های بارش ماهانه ماهواره‌ای TMPA(3B43–v7) (به‌صورت فصلی) مورد ارزیابی قرار گرفته و با کمک مدل حاصل‌ضربی تصحیح شدند. ارزیابی نتایج با کمک شاخص‌های ضریب همبستگی (R)، میانگین انحراف خطا(MBE)، میانگین قدرمطلق خطا(MAE) و جذر میانگین مربعات خطا(RMSE) انجام پذیرفت. بر اساس نتایج مقادیر تصحیح‌نشده، ضریب همبستگی از ۰/۷۹ برای ایستگاه گرمسار تا ۰/۹۵ برای ایستگاه رامهرمز متغیر بود. در هر سه اقلیم داده‌های ماهواره‌ای بیش‌برآوردی داشتند. پس از اعمال مدل حاصل‌ضربی بر داده‌ها، پارامتر فصلی V جهت تصحیح داده‌های ماهواره‌ای برای اقلیم‌های مختلف به دست آمد. پس از تصحیح، شاخص‌های ارزیابی به‌ویژه در معیار میانگین انحراف خطا با کاهش قابل‌ملاحظه‌ای مواجه شدند. مقادیر این خطا در پیکسل‌های متناظر ایستگاه‌های گرمسار، بشرویه، ساوه به ترتیب به ۰/۱ برای فصل بهار، ۰/۴ برای فصل پاییز و ۰/۷ برای فصل زمستان برحسب میلی‌متر کاهش یافت. با توجه به نتایج پارامتر تصحیح در هر سه اقلیم مورد مطالعه، در فصل پاییز بیشترین بیش‌برآوردی مشاهده شد. برای ایستگاه‌های قزوین(نیمه‌خشک)، گرمسار(فراخشک) و ساوه(خشک) در این فصل به ترتیب با ضرایب تصحیح ۰/۶۴، ۰/۶۷ و ۰/۷۹ بیشترین تصحیح اعمال شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان از مدل واسنجی استفاده‌شده برای تصحیح داده‌های فصلی سنجش از دور در مناطق خشک بهره برد.

واژه‌های کلیدی: بارش فصلی، تصحیح خطا، داده ماهواره‌ای، مدل حاصل‌ضربی

مقدمه

در مطالعات منابع آب، آگاهی از میزان بارندگی و تحلیل نوسانات آن در بازه‌های زمانی و مکانی مختلف، امری ضروری و لازم است. می‌توان گفت بارندگی یکی از مهم‌ترین عناصر تعیین‌کننده شرایط اقلیمی می‌باشد که همواره مورد توجه متخصصان رشته‌های مختلف قرار گرفته است (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۰).

دقت تخمین بارندگی در مواردی از قبیل مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی آبیاری، محاسبات بیلان آب، شبیه‌سازی وقایع هیدرولوژیکی، تخمین رواناب، تنظیم دریچه‌های خروجی آب از سدها، پیش‌بینی سیل و میزان تجمعی آب در حوضه‌های آبریز و مطالعات اقلیم‌شناسی ضروری است. دسترسی سخت یا هزینه‌بر بودن احداث ایستگاه در بعضی مناطق، از مهم‌ترین مشکلات ایستگاه‌های زمینی است؛ به‌طوری‌که در هر نقطه‌ای از زمین نمی‌توان ایستگاه باران‌سنجی یا سینوپتیک احداث نمود. این مشکل باعث می‌شود در بعضی مناطق، نزدیک‌ترین ایستگاه، کیلومترها فاصله داشته باشد که درنتیجه‌ی آن، برآورد قابل قبولی از میزان بارش در آن منطقه‌ی خاص، به دست ندهد. همه این موارد باعث می‌شود روش‌های دقیق‌تر و قابل‌اعتمادتری برای برآورد بارندگی موردنیاز باشد (مکوندی، ۱۳۸۷).

امروزه با پیشرفت فن‌آوری، برآورد بارندگی به‌وسیله علم سنجش از دور امکان‌پذیر شده است. یکی از روش‌های سنجش از دور استفاده از ماهواره‌ها برای تخمین بارندگی است. امروزه ماهواره‌های مختلفی

۱- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استادیار گروه آمار، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: sanaein@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

و با کاربردهای متنوعی به فضا پرتاب‌شده‌اند. این کاربردها می‌تواند یک یا چند مورد از کاربردهای مخابراتی، زمین‌شناسی، نظامی و هواشناسی باشد (Sorooshian et al., 2000).

استفاده از منابع سنجش از دوری که بتوانند به‌صورت عددی مقادیر داده‌های هواشناسی مانند بارش را ارائه دهند باید بیش از پیش مورد استفاده قرار گیرند. از جمله این ماهواره‌ها می‌توان به ماهواره TRMM[1] اشاره نمود. این ماهواره در نوامبر سال ۱۹۹۷ با همکاری سازمان فضایی دو کشور امریکا و ژاپن به فضا پرتاب شد. هدف از پرتاب این ماهواره اندازه‌گیری بارش در سطح اقیانوس‌ها و دریاها است، چراکه معمولاً احداث ایستگاه‌های باران‌سنجی در دریاها دشوار می‌باشد. علاوه بر این از اطلاعات این ماهواره می‌توان در اندازه‌گیری بارش در سطح خشکی‌ها و مخصوصاً مناطقی که دارای آمار و اطلاعات ثبت‌شده مناسبی نمی‌باشند، استفاده نمود (NASA, 2001). ماهواره GPM[2] که نام پروژه‌ای مشترک بین آژانس کاوش‌های هوافضای ژاپن، ناسا و دیگر آژانس‌های فضایی بین‌المللی است در فوریه ۲۰۱۴ به فضا پرتاب شد و از مارس ۲۰۱۴ داده‌های آن با دقت ۰/۱ درجه موجود می‌باشد. این ماهواره بخشی از برنامه مأموریت سیستماتیک زمینی ناسا است و کل جهان را پوشش می‌دهد. این پروژه نقشه‌های بارش جهانی را برای کمک به محققان در بهبود پیش‌بینی وقایع شدید، مطالعه آب‌وهوای جهانی و اضافه کردن قابلیت‌های فعلی برای استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را فراهم می‌کند (Huffman, 2018).

در زمینه کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در برآورد بارش، مطالعاتی در سراسر دنیا انجام شده است که از این جمله می‌توان به مطالعه اسلام و اویدا (۲۰۰۷) اشاره کرد. ایشان با داده‌های روزانه و ماهانه ماهواره TRMM در دوره ۵ ساله (۲۰۰۲-۱۹۹۸میلادی) و شبکه ایستگاه هواشناسی در بنگلادش به تحلیل مشخصات اقلیمی بارش در این کشور پرداختند. بر اساس نتایج ایشان داده ماهواره بیش‌برآوردی در قبل از وقوع مانسون و در مناطق خشک، و کم برآوردی در طی وقوع مانسون و در مناطق مرطوب دارد. در داده‌های به‌روز شده (نسخه جدید) ماهواره TRMM بیش‌برآوردی و کم برآوردی کاهش‌یافته است (Islam and Uyeda, 2007).

جوانمرد و همکاران برای ارزیابی داده‌های ماهواره TRMM، برآوردهای بارندگی محصول روزانه TRMM را با داده‌های شبکه‌بندی شده زمینی باقدرت تفکیک بالا یعنی تفکیک مکانی ۰/۲۵ برای ناحیه ایران بود، مقایسه کردند و نتیجه گرفتند مقایسه بارش میانگین فصلی و سالانه داده‌های زمینی و ماهواره از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶ تطابق خوبی در دو الگوی بارش دریای خزر و رشته‌کوه‌های زاگرس نشان می‌دهد، به‌طوری‌که ضریب همبستگی بارش سالانه میانگین در کل کشور، در طول دریای خزر و رشته‌کوه‌های زاگرس به ترتیب ۰/۵۷، ۰/۷۷ و ۰/۷۵ است (Javanmard et al., 2010).

حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) دقت مجموع بارش ماهانه و سالانه 3B43 را در طول سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک بررسی کردند. بر اساس آن، نتایج به‌طور متوسط بیش‌برآوردی را برای بارش‌های اندک و کم‌برآوردی را برای بارش‌های زیاد، نشان می‌دهد. میزان دقت این داده‌ها هم در سطح ایران متفاوت است. به‌طوری‌که در جنوب رشته‌کوه البرز و نواحی مرکزی و تااندازه‌ای در نواحی شرقی ایران دقت مناسبی ندارند. اما در برخی نواحی غربی و جنوبی کشور، دقت آن‌ها را می‌توان مناسب برشمرد.

شیروانی و فخاری‌زاده شیرازی (۱۳۹۳) داده‌های روزانه بارش ۴۹ ایستگاه زمینی را برای ارزیابی محصول نسخه ۷ ماهواره TRMM در استان فارس طی دوره ۱۳ ساله (۲۰۱۱-۱۹۹۸) مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای در بیشتر مناطق این استان به‌ویژه برای مقیاس ماهانه وجود دارد.

اکبری ینگه قلعه و همکاران (۱۳۹۶) جهت برآورد میزان بارش و بررسی تغییرات زمانی -مکانی از داده‌های محصول بارش 3B42 ماهواره TRMM برای دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ میلادی با شبکه‌های ۰/۲۵ درجه (تفکیک مکانی) در استان خراسان رضوی استفاده کردند. در بررسی داده‌های ماهانه، مشخص گردید که اطلاعات حاصل از ماهواره با داده‌های زمینی در توزیع زمانی و مکانی، هم‌خوانی زیادی به‌ویژه در ماه‌های پر بارش استان، مانند ماه‌های آذر، اسفند و فروردین داشته است. در بررسی فصلی نیز مشخص شد که هم‌خوانی معناداری بین داده‌های حاصل از ماهواره TRMMبا داده‌های زمینی به‌خصوص در فصول پاییز و زمستان وجود دارد.

عبدالهی و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی دقت داده‌های بارش ماهواره‌ای CMORPH و TMPA-3B42RT در حوضه گرگان رود پرداختند. مطابق نتایج به دست آمده توسط ایشان داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه و فصلی از دقت بالاتری نسبت به مقیاس روزانه برخوردار هستند.

در برخی مطالعات علاوه بر ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای، تصحیح این داده‌ها نیز انجام شده است. بیشتر این پژوهش‌ها برای داده‌های روزانه انجام شده‌اند. بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام شده به دلیل عدم تبعیت داده‌های بارش از توزیع نرمال، تصحیح خطاهای بارش با استفاده از مدل خطی میسر نبوده و مدل‌های غیرخطی باید مورد استفاده قرار گیرند (Habib et al., 2009).

کاندام و همکاران در مطالعه‌ای برای سال‌های (۲۰۰۷-۱۹۹۸) با

1- Tropical Rainfall Measuring Mission
2- Global Precipitation Measurement

www.SID.ir

Archive of SID

کمک داده‌های زمینی در مناطق کوهستانی و در ۲۹ ایستگاه موجود و در هفت منطقه مشخص در پرو، داده‌های ماهواره TRMM را با کمک معیارهای RMSE و R^2 ارزیابی نموده و سپس با کمک روش‌های موجود به تصحیح داده‌های ماهواره پرداختند. پژوهش ایشان ثابت کرد که برای استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، باید ابتدا آن‌ها را تصحیح کرد. آن‌ها دو مدل برای تصحیح داده‌های ماهواره‌ای پیشنهاد کردند؛ مدل حاصل‌جمعی[1] و مدل حاصل‌ضربی[2]. پس از تصحیح هم نشان دادند که داده‌های ماهواره‌ای تصحیح‌شده نسبت به داده‌های تصحیح‌نشده ماهواره‌ای نزدیکی بیشتری به داده‌های شبکه ایستگاه‌های زمینی دارند (Condom et al., 2011).

ورنیمن و همکاران در مطالعه‌ای در اندونزی نشان دادند که داده‌های ماهانه ماهواره TRMM پتانسیل پایش خشکسالی در مناطق با داده پراکنده را نیز دارد. محققین این پژوهش سه منبع داده‌ای TRMM، PERSIANN و CMORPH[3] را باهم ازنظر دقت با داده‌های زمینی مقایسه نمودند. در طی این پژوهش نشان داده شد که داده‌های حاصل از دو ماهواره PERSIANN و CMORPH بسیار متفاوت از داده‌های زمینی است و همچنین هردوی این‌ها بسیار متفاوت از مقدار داده حاصل از ماهواره TRMM هستند. ثابت شد که داده‌های ماهواره TRMM با تصحیح توسط یک معادله تجربی واحد، ازنظر مکانی و زمانی یکنواخت می‌شوند. بر اساس این پژوهش نشان داده شد که مقدار برآوردی از داده‌های ماهواره TRMM نسبت به دو ماهواره دیگر دارای دقت بیشتری است و تصحیح خطای آن برای مقدار ماهانه هم دارای دقت بیشتری می‌باشد (Vernimmen et al., 2012).

حبیب و همکاران و تیان و همکاران رابطه‌ای را برای تفکیک خطای کل به سه جزء ارائه کردند که در ادامه توسط همین محققین مورد استفاده قرار گرفت (Tian et al., 2009; Habib et al., 2009). تیان و همکاران مدل حاصل‌ضربی را نسبت به مدل حاصل‌جمعی جهت تعیین و تصحیح خطای بارش مناسب‌تر تشخیص دادند (Tian et al., 2013). چراکه مدل حاصل‌ضربی (غیرخطی) قابلیت تصحیح خطاهای سیستمی و تصادفی را با دقت مناسب داراست. بر همین اساس تانگ و همکاران مدل حاصل‌ضربی را برای تصحیح بارش TMPA روزانه در آمریکا مورد استفاده قراردادند (Tang et al., 2015).

لی یو و همکاران با استفاده از رگرسیون خطی (LRMs) به تصحیح داده‌های ماهواره TRMM پرداختند. بدین منظور از ۲۲۵۷ ایستگاه زمینی موجود در دوره ۲۰۱۲-۱۹۹۸ استفاده کردند. سپس با کمک داده‌های ۸۳۹ ایستگاه واسنجی نتایج را انجام دادند. بر اساس نتایج ایشان هر دو مدل رگرسیونی ماهانه و سالانه در کاهش خطا بسیار خوبی عمل کردند. هرچند با توجه به تفکیک مکانی داده‌های ماهواره‌ای و تراکم پایین ایستگاه‌های زمینی خطای بارش بعد از تصحیح محسوس بوده است. مدل به دست آمده ماهانه ایشان نسبت به سالانه در قسمت شرق و مرکزی چین عملکرد بهتری داشت (Liu et al., 2016).

هاشمی و همکاران برای مناطق با ارتفاع بیش از ۱۵۰۰ متر اقدام به تصحیح داده‌های بارش ماهانه TMPA برای دوره ۱۷ساله ۲۰۱۵-۱۹۹۸ با کمک رابطه بین انحراف خطا با ارتفاع، اقدام به تصحیح داده‌های ماهواره‌ای نمودند (Hashemi et al., 2017).

لو و همکاران با کمک مدل رگرسیونی وابسته به متغیر توپوگرافی به دست آمده از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) اقدام به افزایش دقت داده‌های ماهانه بارش ماهواره‌های TRMM و GPM در منطقه ژینجیانگ چین کردند. ایشان برای پژوهش خود بازه زمانی آوریل ۲۰۱۴ تا اوت ۲۰۱۷ را انتخاب کردند. بر اساس مقایسه صورت گرفته داده‌های هر دو ماهواره دارای بیش برآوردی بودند. اما داده‌های ماهواره GPM عملکرد بهتری داشتند. درصد خطای انحراف برای ماهواره‌های TRMM و GPM را به ترتیب ۱۰/۲۴ و ۷/۷۶ درصد و ضریب همبستگی نیز ۰/۶۲ و ۰/۶۸ بوده است. درصد خطای انحراف داده‌های تصحیح‌شده ماهواره GPM به ۱/۶۵ کاهش و ضریب همبستگی به ۰/۷۳افزایش یافت (Lu et al., 2018).

در ایران نیز ارزیابی صحت داده‌های باران ماهواره TRMM در ایستگاه‌های منتخب سینوپتیکی ایران در مقیاس‌های روزانه و ماهانه انجام شده است. مقایسه بین داده‌های ماهواره‌ای و مشاهده‌ای در ایستگاه‌های انتخابی واقع در شش ناحیه اقلیمی در دور آماری ۲۰۰۹-۱۹۹۸ انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد داده‌های ماهواره‌ای دارای خطای قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشد. بر همین اساس مقادیر تخمینی TRMMدر دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه به تفکیک ناحیه‌های اقلیمی و ایران واسنجی شد. ضرایب تصحیح بر اساس روش رگرسیون خطی ارائه شد. بیشترین مقدار ضریب همبستگی در دو مقیاس روزانه و ماهانه در ناحیه نیمه کوهستانی به ترتیب برابر ۰/۸۶ و ۰/۹۹ و کمترین مقدار آن‌ها ۰/۴۹ و ۰/۷۸ در ناحیه مرطوب ساحلی به‌دست‌آمده آمد (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۵).

زنگنه اینالو و همکاران (۱۳۹۸) ارزیابی تصاویر ماهواره‌ای TRMMدر برآورد مقادیر بارش ایستگاهی و رواناب در حوضه آبریز رودخانه شاپور در استان فارس را انجام دادند. ایشان از اطلاعات بارش ساعتی، روزانه و ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه مورد مطالعه طی سال‌های ۹۵-۱۳۹۰ استفاده و به مقایسه نتایج آن‌ها با مقادیر داده‌های ماهواره‌ای TRMM پرداختند. نتایج برآورد بارش از مدل‌های TRMM و TRMM اصلاح‌شده بارش ساعتی و روزانه

1- Additive
2- Multiplicative
3- The Climate Prediction Center morphing

www.SID.ir

Archive of SID

نسبت به ماهانه دقت کمتری داشتند. نتایج برآورد بارش از مدل TRMM اصلاح‌شده در مدل ماهانه دارای ضریب تبیین بیش از ۰/۸۶ در ایستگاه‌های مورد بررسی می‌باشد.

با توجه به این‌که تصحیح داده‌های بارش ماهواره‌ای در کشور ایران به‌ویژه در مناطق خشک ضروری است؛ در پژوهش حاضر دقت مدل حاصل‌ضربی اصلاح‌شده جهت واسنجی داده‌های ماهانه بارش ماهواره‌ای برای ۳ اقلیم ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. بر همین اساس اهداف ذیل مدنظر بوده‌اند:

۱) تفکیک خطاهای بارش ماهواره‌ای در اقلیم‌های فراخشک، خشک و نیمه‌خشک ایران در مقیاس فصلی.

۲) ارائه مدل واسنجی غیرخطی و مستقل از داده‌های زمینی جهت تصحیح خطای داده‌های فصلی بارش ماهواره‌ای.

۳) بررسی دقت مدل واسنجی به‌دست‌آمده با کمک شاخص‌های ارزیابی.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کشور ایران، در محدوده‌ای با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب برابر با ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه شرقی قرار دارد و دارای وسعتی در حدود ۱/۷ میلیون کیلومترمربع است (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۱). برای انجام پژوهش حاضر، داده‌های بارش ماهانه ۶ ایستگاه سینوپتیک در ۳ اقلیم متفاوت (با کمک روش دومارتن گسترش‌یافته[1]) (Rahimi et al, 2013) (۱۷)، به‌عنوان داده‌های مرجع انتخاب و داده‌های ماهانه بارش سنجش از دوری (3B43-v7) TMPA در مقیاس فصلی تصحیح شدند. جهت قابل‌اعتماد بودن نتایج، انتخاب ایستگاه‌ها کاملاً تصادفی از ۶ استان مجزا و با شرایط توپوگرافی مختلف صورت گرفت. مشخصات ایستگاه‌های انتخابی و پیکسل‌های متناظر در جدول (۱) نشان داده‌شده‌اند.

منابع داده مورد استفاده

در این پژوهش، داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک از سایت سازمان هواشناسی کشوری (IMO, 2018) و داده‌های ماهواره‌ای TMPA با کد 3B43-V از پایگاه داده‌های سازمان فضایی آمریکا (NASA)[2] در دوره آماری ۲۰۱۷- ۱۹۹۸ و با فرمت ASCII[3] گردآوری شد (NASA, 2018). این داده‌ها دارای قدرت تفکیک زمانی ماهانه و قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه هستند و ۵۰ درجه جنوب تا ۵۰ درجه شمال عرض جغرافیایی را پوشش می‌دهند. هدف الگوریتم 3B43، تولید داده‌های اندازه‌گیری بارندگی حاره‌ای و برآورد میزان بارش در مقیاس ماهانه است. داده‌های ماهانه استخراج‌شده به‌صورت فصلی تجمیع شدند. داده‌های فصل بهار از مجموع ماه‌های آوریل، مه و ژوئن، فصل تابستان از ماه‌های ژوئیه، اوت و سپتامبر، فصل پاییز از اکتبر، نوامبر و دسامبر و فصل زمستان از ژانویه، فوریه و مارس به دست آمدند.

آزمون‌های پایه آماری

پس از بررسی مقدماتی نمونه، سری داده‌ها باید دارای معیارهای پایه‌ای باشند تا بتوان تابع چگالی را بر آن‌ها برازش داد. این معیارها عبارت‌اند از: تصادفی‌بودن، همگنی، ایستایی و نداشتن داده پرت (رضای پژند، ۱۳۸۰).

برای تعیین داده‌های پرت، از نمودار جعبه‌ای استفاده گردید (جباری نوقابی،۱۳۹۰). تعیین داده‌های پرت با کمک نرم‌افزار آماری R انجام پذیرفت. پس از شناسایی، این داده‌ها با روش همبستگی بازسازی شدند (علیزاده، ۱۳۸۶). در این پژوهش آزمون ناپارامتری ران-تست (Run Test) برای بررسی تصادفی بودن و همگنی مورد استفاده قرار گرفته و تأیید شد (علیزاده، ۱۳۸۶). یکی از سودمندترین آزمون‌ها در زمینه ایستایی داده‌ها، آزمون دیکی‌فولر تعمیم‌یافته است (Dickey and Fuller, 1979). بر اساس آزمون دیکی‌فولر و با کمک نرم‌افزار R، ایستا بودن داده‌ها تأیید گردید.

مدل واسنجی

پس از آزمون‌های آماری پایه و تأیید صحت داده‌ها، با توجه به مشخص بودن موقعیت ایستگاه‌ها، پیکسل‌هایی که ایستگاه‌های زمینی درون آن‌ها قرار گرفته‌اند تعیین گردید. در پژوهش حاضر سعی بر آن شد مدل واسنجی به گونه‌ای باشد که بتواند خطاها را بهتر تفکیک نماید (Tia et al., 2013). ضمن اینکه رابطه نهایی مستقل از داده‌های زمینی (رابطه ۴) و اصلاح‌شده روش محققین گذشته (Condom et al., 2011) باشد. روش مورد استفاده در پژوهش حاضر با روش کاندام و همکاران مشابه بوده اما تغییراتی در جهت بهبود تصحیح خطاها انجام شده است. در روش کاندام برای تمامی داده‌های بارش تبدیل لگاریتمی انجام می‌شود؛ اما در پژوهش حاضر ابتدا خطاها تفکیک و سپس تبدیل لگاریتمی انجام شد.

بر همین اساس در سال ۲۰۱۳ مدلی ارائه شد که خطاهای سنجش از دور بارش را به‌صورت ذیل به سه دسته تقسیم‌بندی نموده است (Tian et al., 2013):

$$T = H - M + F \qquad (۱)$$

1- Extended De Martonne
2- National Aeronautics and Space Administration
3- American Standard Code for Information Interchange

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱- خصوصیات جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

اقلیم	استان	ایستگاه	بارش سالیانه (میلی‌متر)	طول جغرافیایی (درجه شرقی)	عرض جغرافیایی (درجه شمالی)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی پیکسل ماهواره (درجه)	عرض جغرافیایی پیکسل ماهواره (درجه)
فراخشک (بیابانی)	سمنان	گرمسار	۱۱۱/۱	۵۲/۲۷	۳۵/۲۰	۸۲۵/۲	۵۲/۳۷۵	۳۵/۱۲۵
	خراسان جنوبی	بشرویه	۷۵/۱	۵۷/۴۵	۳۳/۹۰	۸۸۵	۵۷/۳۷۵	۳۳/۸۷۵
خشک	مرکزی	ساوه	۱۷۵/۱	۵۰/۳۳	۳۵/۰۵	۱۱۰۸	۵۰/۳۷۵	۳۵/۱۲۵
	فارس	آباده	۱۴۳/۲	۵۲/۶۷	۳۱/۱۸	۲۰۳۰	۵۲/۶۲۵	۳۱/۱۲۵
نیمه‌خشک	خوزستان	رامهرمز	۲۶۳/۸	۴۹/۶۰	۳۱/۲۷	۱۵۰/۵	۴۹/۶۲۵	۳۱/۳۷۵
	قزوین	قزوین	۳۰۲/۱	۵۰/۰۵	۳۶/۲۵	۱۲۷۹/۲	۵۰/۱۲۵	۳۶/۱۲۵

T: خطای کل

H: خطای دقت[1]

M: بارش ثبت‌نشده[2]

F: بارش کاذب[3]

خطای دقت بارش (H)، زمانی که هر دو منبع بارش مقدار بارندگی را ثبت نموده باشند؛ در این حالت فقط در مقدار دقیق بارش بین دو مقدار ثبت‌شده اختلاف وجود دارد. این خطا می‌تواند مثبت و یا منفی باشد.

خطای بارش کاذب (F) زمانی که ماهواره بارش رخ نداده را به اشتباه برآورد کرده باشد. همیشه مقدار این خطا مثبت خواهد بود.

خطای بارش ثبت‌نشده (M) خطایی است که بارش رخداده است اما توسط ماهواره برآورد نشده باشد. مقدار این خطا همواره منفی می‌باشد.

کاندام و همکاران رابطه‌ای لگاریتمی را برای تصحیح نامتقارنی داده‌های بارش به‌صورت زیر ارائه نمودند (Condom et al., 2011):

$$NP_k = \log(R_k + 1) \qquad (۲)$$

NP_k بارش تبدیل‌شده لگاریتمی در مقیاس فصلی و R_k بارش در فصل مورد نظر می‌باشد (برای پیکسل ماهواره و ایستگاه زمینی).

محققین مختلفی با انجام پژوهش‌هایی دریافتند که مدل حاصل‌ضربی و غیرخطی نسبت به مدل‌های حاصل‌جمعی و خطی جهت تصحیح داده‌های بارش مناسب‌تر هستند (Tian et al., 2013 and Habib et al., 2001). در ادامه با کمک رابطه زیر پارامتر V معرفی می‌شود (به‌عنوان مدل حاصل‌ضربی) (Condom, 2011):

$$V_k = \frac{\sum_{k,z=1}^{n} \left(\frac{NP_{g_{k,z}}}{NP_{s_{k,z}}}\right)}{n} \qquad (۳)$$

$NP_{s_{k,z}}$ و $NP_{g_{k,z}}$ مقدار بارش تبدیل‌شده لگاریتمی در فصل k در هر سال(به ترتیب برای ماهواره و ایستگاه زمینی). z شماره سال و k فصل‌های سال، n تعداد سال‌های مورد استفاده و V_k پارامتر تصحیح در فصل k است. بنابراین ۴ مقدار پارامتر V_k برای فصل‌های مختلف سال به دست می‌آید. اگر پارامتر V_k را نسبت داده‌های لگاریتمی تصحیح‌شده و اولیه ماهواره در نظر بگیریم؛ در نهایت مقدار بارش تصحیح‌شده ماهواره‌ای از رابطه زیر به دست خواهد آمد:

$$R_{S_v} = (R_{s_{k,z}} + 1)^{V_k} - 1 \qquad (۴)$$

که R_{S_v} بارش تصحیح‌شده ماهواره و $R_{sk,z}$ بارش ماهواره در فصل k و سال z می‌باشد.

با روش معرفی‌شده درنهایت مقدار بارش ماهواره‌ای در مناطق فاقد ایستگاه با کمک پارامتر V و داده‌های ماهواره‌ای موجود قابل تصحیح خواهند بود. همان‌طور که در رابطه (۳) مشاهده می‌شود، بر اساس رابطه معرفی‌شده توسط کاندام و همکاران، چنانچه مقادیر داده‌های بارش فصلی ماهواره‌ای ($NP_{s_{k,z}}$) برابر با صفر باشند، محاسبات با مشکل مواجه می‌شوند. بر همین اساس، ابتدا با استفاده از رابطه (۱)، خطاها تجزیه شدند. چنانچه مقادیر خطای M قابل‌چشم‌پوشی باشد، می‌توان از مقادیر صفر داده‌های ماهواره‌ای صرفه نظر کرده و تصحیح خطاها را برای سایر داده‌ها انجام داد.

ارزیابی مدل واسنجی

ارزیابی داده‌ها و مقایسه آن‌ها با کمک چندین معیار مختلف آماری انجام شد که در ذیل آورده شده است. معیار ضریب همبستگی (R) بین ۱+ تا ۱- متغیر است و مقدار صفر آن نشان‌دهنده عدم همبستگی بین متغیر مستقل و وابسته است. معیار متوسط انحراف خطا (MBE) میزان بیش یا کم‌برآوردی متغیر وابسته را نشان می‌دهد. معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE) بزرگی مقدار خطا را فارغ از مثبت یا منفی بودن تعیین می‌کند. معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای تعیین بهتر خطاها به‌ویژه خطاهای

1- Hit Bias
2- Missed Precipitation
3- False Precipitation

www.SID.ir

Archive of SID

بزرگتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (چون خطاها را قبل از میانگین‌گیری به توان دوم می‌رساند). بهترین عملکرد متغیر وابسته زمانی است که هریک معیارهای MBE ، MAE و RMSE برابر صفر شود (Isaaks and Srivastava, 1989).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_{S_i}-\overline{P}_S)(P_{g_i}-\overline{P}_g)}{\sum_{i=1}^{n}(P_{S_i}-\overline{P}_S)\sum_{i=1}^{n}(P_{g_i}-\overline{P}_g)} \quad (۵)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_{S_i}-P_{g_i})}{n} \quad (۶)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|(P_{S_i}-P_{g_i})|}{n} \quad (۷)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_{S_i}-P_{g_i})^2}{n}} \quad (۸)$$

P_{S_i} = مقدار بارش ماهواره در ماه i ام

P_{g_i} = مقدار بارش ایستگاه زمینی در ماه i ام

$\overline{P}_{S_i}$ = میانگین بارش ماهواره

$\overline{P}_{g_i}$ = میانگین بارش ایستگاه زمینی

n = تعداد کل داده‌های استفاده‌شده

نتایج و بحث

نتایج مربوط به خطاهای تفکیک‌شده بارش برای پیکسل‌های متناظر با ایستگاه‌های سینوپتیک در جدول (۲) ارائه شده‌اند. به‌منظور جلوگیری از تکرار بیش از حد در نمایش و بررسی نتایج، از ذکر عبارت "پیکسل متناظر" خودداری شده است. بیان نام ایستگاه در بررسی شاخص‌های ارزیابی، به مفهوم مقادیر این شاخص‌ها برای پیکسل متناظر با آن ایستگاه می‌باشد.

با توجه به عدم وجود خطای بارش ثبت‌نشده (M) در جدول ۲ (خطاهای تفکیک‌شده)، می‌توان از این خطا چشم‌پوشی کرده و مقادیر بارش صفر سنجش از دوری را حذف نمود. در این صورت داده‌ها نیازی به تصحیح نخواهند داشت. این عمل دقت نتایج به‌دست‌آمده را افزایش می‌دهد. ضمن اینکه مقادیر صفر که در مخرج رابطه (۳) ایجاد مشکل می‌نمایند، حذف می‌شود. واسنجی داده‌های ماهواره‌ای در اقلیم‌های مورد مطالعه به‌طور جداگانه انجام شد. در جدول ۳ نتایج مربوط به شاخص‌های ارزیابی برای ۶ پیکسل متناظر با ایستگاه‌های مورد مطالعه قبل و بعد از تصحیح ارائه شده‌اند.

همانطور که جدول ۲ نشان می‌دهد، داده‌های فصلی ماهواره‌ای در هر سه اقلیم (فراخشک، خشک و نیمه‌خشک) بیش برآوردی دارند؛ که مطابق با پژوهش‌های سایر محققین می‌باشد (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۵؛ Vernimmen et al., 2012). داده‌های اولیه TMPA مقدار بارش فصلی را در فصل تابستان برای همه اقلیم‌ها با کمترین مقدار انحراف خطا برآورد کردند؛ که با توجه به کمترین میزان بارش در این فصل، منطقی است. درصد خطا در این فصل از سایر فصل‌ها بیشتر است؛ چرا که با توجه مقدار بارش کم، کمترین خطا نیز سبب ایجاد درصد خطای بالا در این فصل می‌شود.

بیشترین مقدار خطا مربوط به فصل‌های بارشی سال یعنی پاییز و زمستان می‌باشد. به‌عنوان مثال در اقلیم فراخشک بیشترین انحراف خطا در هر دو ایستگاه گرمسار و بشرویه در زمستان (به ترتیب ۱۵/۱ و ۷/۹ میلی‌متر) بوده است. در اقلیم خشک نیز در ایستگاه آباده در زمستان (۸/۴) انحراف خطا حداکثر است. حداکثر انحراف خطا برای اقلیم نیمه‌خشک در ایستگاه قزوین در پاییز (۲۲/۱) و در ایستگاه رامهرمز در زمستان (۱۸/۱) رخ داده است (جدول ۲).

داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاه‌های ساوه، آباده و رامهرمز(به ترتیب ۰/۹، ۰/۹۲و ۰/۹۵) بیشترین همبستگی را نشان دادند. به دلیل تعداد داده‌های کم در برخی از فصل‌های سال (تعداد بالای فصل‌های بدون بارش)، از محاسبه ضریب همبستگی فصلی صرفه نظر شده است. با توجه نتایج جدول ۳، پس از تصحیح شاخص‌های ارزیابی به‌ویژه در معیار MBE با کاهش قابل‌ملاحظه‌ای مشاهده می‌شود. اگر از نتایج تصحیح فصل تابستان به‌عنوان کم بارش‌ترین فصل سال و صفر بودن مقدار بارش بسیاری از سال‌های آماری در این فصل صرفه نظر شود؛ نتایج سایر فصل‌ها بدین شرح می‌باشد (جدول ۳):

غیر از ایستگاه‌های ساوه و گرمسار که در فصل پاییز کمترین انحراف خطا(MBE) را با مقادیر ۲/۲ و ۷/۱ میلی‌متر داشتند، در سایر ایستگاه‌ها در فصل بهار کمترین مقدار این شاخص مشاهده شد؛ ایستگاه آباده با یک میلی‌متر کمترین انحراف خطا را داراست. بعد از تصحیح، این شاخص در ایستگاه‌های رامهرمز، آباده و ساوه در فصل پاییز (به ترتیب ۰/۶-، ۰/۱- و ۰/۴ میلی‌متر) و در سایر ایستگاه‌ها در فصل بهار بهترین نتیجه را به همراه داشت.

برای شاخص MAE، در ایستگاه گرمسار با ۷/۲ میلی‌متر بارش فصل پاییز بهترین نتیجه به دست آمد. در سایر ایستگاه‌ها بهترین نتایج این شاخص در فصل بهار مشاهده شد. ایستگاه آباده با ۱/۸ میلی‌متر بهترین نتیجه را در فصل بهار در میان کل ایستگاه‌های مورد مطالعه داشت. بعد از تصحیح داده‌های ماهواره‌ای، همه ایستگاه‌ها در این شاخص برای فصل بهار بهترین نتیجه را نشان دادند. ایستگاه‌های بشرویه و آباده با ۱/۶ و ۲ میلی‌متر کمترین خطای مطلق را برای فصل بهار برآورد کردند.

کمترین خطای RMSE در ایستگاه‌های آباده و بشرویه به ترتیب با مقادیر ۳/۴ و ۳/۹ میلی‌متر برای فصل بهار به دست آمد. در سایر ایستگاه‌ها نیز در فصل بهار کمترین مقدار این شاخص مشاهده شد. بعد از تصحیح، این شاخص در ایستگاه‌های آباده و ساوه در فصل پاییز (به ترتیب ۳/۴ و ۴/۳ میلی‌متر) و در سایر ایستگاه‌ها در فصل بهار بهترین نتیجه را به همراه داشت.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- خطاهای تفکیک‌شده بارش در مناطق مورد مطالعه

اقلیم	ایستگاه	فصل سال	خطای کل (T) (میلی‌متر)	خطای کل (درصد)	خطای دقت (H) (میلی‌متر)	بارش کاذب (F) (میلی‌متر)	بارش ثبت‌نشده (M) (میلی‌متر)
فراخشک	گرمسار	بهار	۷/۳	۱۸/۹	۷/۳	۰	۰
		تابستان	۳/۷	۶۱/۱	۲/۷	۱	۰
		پاییز	۷/۱	۱۱/۸	۷/۱	۰	۰
		زمستان	۱۵/۱	۲۱/۵	۱۵/۱	.	۰
		سالانه	۳۳/۲	۱۹/۹	۳۲/۲	۱	۰
	بشرویه	بهار	۱/۹	۱۴/۴	۱/۹	۰	۰
		تابستان	۰/۱	۳۳/۳	۰	۰/۱	۰
		پاییز	۲/۷	۱۵/۳	۲/۷	۰	۰
		زمستان	۷/۹	۱۷/۹	۷/۹	۰	۰
		سالانه	۱۲/۶	۱۶/۸	۱۲/۵	۰/۱	۰
خشک	ساوه	بهار	۴	۱۰/۳	۴	۰	۰
		تابستان	۱/۱	۳۴/۴	۰/۶	۰/۵	۰
		پاییز	۲/۲	۳/۳	۲/۲	۰	۰
		زمستان	۳/۶	۱/۱	۳/۶	۰	۰
		سالانه	۱۰/۹	۵/۹	۱۰/۴	۰/۵	۰
	آباده	بهار	−۱	−۴/۳	−۱	۰	۰
		تابستان	۰/۱	۶/۷	۰	۰/۱	۰
		پاییز	۳/۱	۸/۱	۳/۱	۰	۰
		زمستان	۸/۴	۱۴/۱	۸/۴	۰	۰
		سالانه	۱۰/۶	۸/۶	۱۰/۵	۰/۱	۰
نیمه‌خشک	رامهرمز	بهار	۲/۷	۱۳/۲	۲/۷	۰	۰
		تابستان	−۰/۱	−۹/۱	−۰/۲	۰/۱	۰
		پاییز	۱۰/۳	۹/۲	۱۰/۳	۰	۰
		زمستان	۱۸/۱	۱۳/۹	۱۸/۱	۰	۰
		سالانه	۳۱	۱۱/۸	۳۰/۹	۰/۱	۰
	قزوین	بهار	۹	۱۱/۳	۹	۰	۰
		تابستان	۱۱/۴	۸۳/۹	۱۱/۲	۰/۲	۰
		پاییز	۲۲/۱	۲۲/۶	۲۲/۱	۰	۰
		زمستان	۱۴/۱	۱۲/۲	۱۴/۱	۰	۰
		سالانه	۵۶/۶	۱۸/۷	۵۶/۴	۰/۲	۰

ایستگاه‌های بشرویه و ساوه به ترتیب با ۲/۴ و ۲/۸ میلی‌متر، بهترین عملکرد را در شاخص RMSE بعد از تصحیح داشتند.

به‌منظور یکسان‌سازی نتایج و نمایش بهتر تغییر شاخص‌ها پس از تصحیح، اختلاف شاخص‌ها قبل و بعد از تصحیح در جدول ۴ ارائه شده است. برای مقایسه بهتر در اقلیم‌های مختلف، تغییرات به‌صورت درصد نیز در ستون‌های جداگانه در همین جدول نمایش داده شده‌اند.

اگر روزهای بدون بارش از داده‌ها حذف نشوند، هرچه اقلیم خشک‌تر باشد فارغ از عملکرد مدل، همبستگی نتایج بیشتر می‌شود. بر همین اساس چون روزهای بدون بارش برای اجرای مدل تصحیح حذف شده‌اند و بررسی همبستگی قبل از تصحیح با وجود داده‌های بدون بارش انجام شده است، از مقایسه ضریب همبستگی قبل و بعد از تصحیح داده‌ها صرفه نظر شده است. ضمن اینکه به همین دلیل در مقیاس فصلی ضریب همبستگی محاسبه نشده است.

بر اساس نتایج جدول ۴ در اقلیم نیمه‌خشک بیشترین کاهش شاخص‌های ارزیابی خطا برای ایستگاه رامهرمز در فصل زمستان به دست آمد. شاخص RMSE با ۱۵/۹- میلی‌متر در فصل زمستان و شاخص MBE در فصل پاییز با ۹۴/۲ درصد بیشترین کاهش خطا را داشت. در ایستگاه قزوین فصل پاییز بیشترین تغییر و کاهش خطا مشاهده شد. در این ایستگاه بیشترین کاهش در فصل پاییز با ۱۷/۷ میلی‌متر برای شاخص MBE و همین شاخص در فصل بهار با ۹۷/۸ درصد بود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- نتایج شاخص‌های ارزیابی برای مناطق مورد مطالعه (قبل و بعد از تصحیح)

اقلیم	ایستگاه	دوره زمانی	R_1	MBE_1 (میلی‌متر)	MBE_2 (میلی‌متر)	MAE_1 (میلی‌متر)	MAE_2 (میلی‌متر)	$RMSE_1$ (میلی‌متر)
فراخشک	گرمسار	بهار	-	۷/۳	۰/۱	۷/۴	۳	۹/۳
		تابستان	-	۳/۷	۰/۲	۳/۷	۱/۲	۵/۴
		پاییز	-	۷/۱	۱/۳	۷/۲	۳/۴	۹/۷
		زمستان	-	۱۵/۱	۳/۵	۱۵/۱	۴/۴	۱۸/۱
		سالانه	۰/۷۹	۳۳/۲	۵/۱	۳۳/۳	۱۱/۹	۴۲/۶
	بشرویه	بهار	-	۱/۹	۰/۲	۲/۶	۱/۶	۳/۹
		تابستان	-	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۲	۰/۴
		پاییز	-	۲/۷	۰/۴	۳	۱/۷	۵/۷
		زمستان	-	۷/۹	۱/۸	۸/۲	۳/۲	۱۱/۹
		سالانه	۰/۸۹	۱۲/۶	۲/۵	۱۴/۱	۶/۷	۲۲
خشک	ساوه	بهار	-	-۰/۱	-۰/۷	۱/۸	۲	۳/۴
		تابستان	-	۰/۱	-۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۶
		پاییز	-	۳/۱	-۰/۱	۳/۳	۲/۴	۵/۵
		زمستان	-	۸/۴	۱/۷	۸/۴	۳/۲	۱۳/۱
		سالانه	۰/۹۲	۱۱/۵	۰/۹	۱۳/۸	۷/۹	۲۲/۶
	آباده	بهار	-	۴	۱/۴	۴/۱	۲/۱	۵/۳
		تابستان	-	۱/۱	۰/۳	۱/۵	۰/۹	۲/۲
		پاییز	-	۲/۲	۰/۴	۵/۸	۵/۴	۷/۷
		زمستان	-	۳/۶	۰/۷	۴/۶	۳/۴	۶/۱
		سالانه	۰/۹۰	۱۰/۹	۲/۸	۱۵/۹	۱۱/۸	۲۱/۳
نیمه‌خشک	رامهرمز	بهار	-	۲/۷	-۰/۸	۳/۳	۲/۳	۵/۵
		تابستان	-	-۰/۱	-۰/۱	۰/۳	۰/۳	۱/۲
		پاییز	-	۱۰/۳	-۰/۶	۱۰/۸	۵/۸	۱۷/۷
		زمستان	-	۱۸/۱	۲/۷	۱۹/۷	۷/۵	۲۷/۳
		سالانه	۰/۹۵	۳۱	۱/۳	۳۴/۲	۱۶	۵۱/۶
	قزوین	بهار	-	۹	۰/۲	۹/۱	۵/۲	۱۱/۴
		تابستان	-	۱۱/۵	۰/۷	۱۱/۵	۲/۲	۱۳/۵
		پاییز	-	۲۲/۱	۴/۴	۲۲/۱	۷/۸	۲۷/۲
		زمستان	-	۱۴/۱	۳	۱۴/۶	۶/۱	۱۷/۲
		سالانه	۰/۸۱	۵۶/۶	۸/۲	۵۷/۳	۲۱/۳	۶۹/۳

۱. قبل از تصحیح ۲. بعد از تصحیح

در اقلیم خشک بیشترین کاهش شاخص‌های خطا برای ایستگاه آباده همانند ایستگاه رامهرمز در فصل زمستان به دست آمد. شاخص RMSE با ۸/۳- میلی‌متر در فصل زمستان و شاخص MBE در فصل پاییز با ۹۶/۸ درصد بیشترین کاهش خطا را داشت. در ایستگاه ساوه شاخص MBE برای فصل زمستان و شاخص‌های MAE و RMSE در فصل بهار بیشترین تغییر و کاهش خطا را نشان داد. در این ایستگاه بیشترین کاهش در فصل زمستان با ۲/۹ میلی‌متر برای شاخص MBE و همین شاخص در فصل پاییز با ۸۱/۸ درصد بود.

در اقلیم فراخشک بیشترین کاهش شاخص‌های خطا برای هر دو ایستگاه این اقلیم در فصل زمستان به دست آمد. شاخص RMSE در هر دو ایستگاه بیشترین کاهش را در این فصل داشت. این کاهش برای ایستگاه گرمسار ۱۲/۴ و برای بشرویه ۷/۱ میلی‌متر بود. شاخص MBE در فصل بهار برای هر دو ایستگاه گرمسار و بشرویه به ترتیب ۹۸/۶ و ۸۹/۵ درصد بیشترین کاهش خطا را داشت.

نتایج مربوط به پارامتر تصحیح (V) در جدول ۵ برای ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. هرچه این مقدار پارامتر تصحیح به یک

www.SID.ir

Archive of SID

نزدیک‌تر باشد داده‌های ماهواره‌ای به داده‌های زمینی نزدیک‌تر و تصحیح کمتری مورد نیاز خواهد بود. مقادیر بزرگ‌تر از یک نشان‌دهنده کم‌برآوردی در هر فصل و مقادیر کمتر از یک نشان‌دهنده بیش‌برآوردی داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد. در اکثر نقاط برای هر سه اقلیم مورد مطالعه، در فصل پاییز بیشترین بیش‌برآوردی مشاهده شد. برای این فصل کمترین مقادیر پارامتر تصحیح (بیشترین تغییر) موردنیاز خواهد بود.

در اقلیم نیمه‌خشک برای هر چهار فصل سال نیاز به اعمال مقادیر تصحیح کاهشی می‌باشد. در فصل پاییز به دلیل ابرناکی بیشتر و ورود جبهه‌های بارشی، اعمال مقدار کاهشی بیشتر مورد انتظار خواهد بود. این پارامتر برای ایستگاه رامهرمز ۰/۸۶ می‌باشد. در این اقلیم در ایستگاه رامهرمز برای فصل زمستان با مقدار پارامتر تصحیح ۰/۹۴ و در ایستگاه قزوین برای فصل بهار با ۰/۹۴ کمترین تغییر برای داده‌های ماهواره‌ای موردنیاز است. در فصل پاییز برای ایستگاه قزوین بیشترین تصحیح بیش‌برآوردی با (۰/۶۴) به دست آمد.

جدول ٤- تفاوت شاخص‌های ارزیابی برای بارش ماهواره‌ای (قبل و بعد از تصحیح)

اقلیم	ایستگاه	فصل	ΔMBE* (میلی‌متر)	(ΔMBE) %	ΔMAE (میلی‌متر)	(ΔMAE) %	ΔRMSE (میلی‌متر)	(ΔRMSE) %
فراخشک	گرمسار	بهار	-۷/۲	-۹۸/۶	-۴/۴	-۵۹/۵	-۴/۶	-۴۹/۵
		تابستان	-۳/۵	-۹۴/۶	-۲/۵	-۶۷/۶	-۳/۷	-۶۸/۵
		پاییز	-۵/۸	-۸۱/۷	-۳/۸	-۵۲/۸	-۵/۴	-۵۵/۷
		زمستان	-۱۱/۶	-۷۶/۸	-۱۰/۷	-۷۰/۹	-۱۲/۴	-۶۸/۵
		سالانه	-۲۸/۱	-۸۴/۶۴	-۲۱/۴	-۶۴/۲۶	-۲۶/۲	-۶۱/۵
	بشرویه	بهار	-۱/۷	-۸۹/۵	-۱	-۳۸/۵	-۱/۵	-۳۹/۳
		تابستان	۰	۰	-۰/۱	-۳۳/۳	-۰/۱	-۲۵
		پاییز	-۲/۳	-۸۵/۲	-۱/۳	-۴۳/۳	-۳	-۵۲/۶
		زمستان	-۶/۱	-۷۷/۲	-۵	-۶۰/۹	-۷/۱	-۵۹/۷
		سالانه	-۱۰/۱	-۸۰/۲	-۷/۴	-۵۲/۵	-۱۱/۸	-۵۳/۶
خشک	آباده	بهار	-۰/۳	-۳۰	۰/۲	۱۰	۰	۰
		تابستان	۰	۰	۰	۰	-۰/۱	-۱۶/۷
		پاییز	-۳	-۹۶/۸	-۰/۹	-۲۷/۳	-۲/۱	-۳۸/۲
		زمستان	-۶/۷	-۷۹/۸	-۵/۲	-۶۱/۹	-۸/۳	-۶۳/۴
		سالانه	-۹/۷	-۹۱/۵	-۵/۹	-۴۲/۸	-۱۰/۵	-۴۶/۵
	ساوه	بهار	-۲/۶	-۶۵	-۲	-۴۸/۸	-۲/۵	-۴۷/۲
		تابستان	-۰/۸	-۷۲/۷	-۰/۶	-۴۰	-۰/۸	-۳۶/۴
		پاییز	-۱/۸	-۸۱/۸	-۰/۴	-۶/۹	-۰/۴	-۵/۲
		زمستان	-۲/۹	-۸۰/۶	-۱/۲	-۲۶/۱	-۱/۱	-۱۸/۱
		سالانه	-۸/۱	-۷۴/۳	-۴/۱	-۲۵/۸	-۴/۸	-۲۲/۵
نیمه‌خشک	رامهرمز	بهار	-۱/۹	-۷۰/۴	-۱	-۳۰/۳	-۰/۹	-۱۶/۴
		تابستان	۰	۰	۰	۰	-۰/۱	-۸/۳
		پاییز	-۹/۷	-۹۴/۲	-۵	-۴۶/۳	-۹/۷	-۵۴/۸
		زمستان	-۱۵/۴	-۸۵/۱	-۱۲/۲	-۶۱/۹	-۱۵/۹	-۵۸/۲
		سالانه	-۲۹/۷	-۹۵/۸	-۱۸/۲	-۵۳/۲	-۲۶/۵	-۵۱/۴
	قزوین	بهار	-۸/۸	-۹۷/۸	-۳/۹	-۴۲/۹	-۴/۵	-۳۹/۵
		تابستان	-۱۰/۸	-۹۳/۹	-۹/۳	-۸۰/۹	-۱۰/۶	-۷۸/۵
		پاییز	-۱۷/۷	-۸۰/۱	-۱۴/۳	-۶۴/۷	-۱۶/۷	-۶۱/۴
		زمستان	-۱۱/۱	-۷۸/۷	-۸/۵	-۵۸/۲	-۸/۸	-۵۱/۲
		سالانه	-۴۸/۴	-۸۵/۵	-۳۶	-۶۲/۸	-۴۰/۵	-۵۸/۴

*اختلاف بین قدر مطلق MBE_1 و قدر مطلق MBE_2

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- پارامتر تصحیح بارش (V) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه

اقلیم	ایستگاه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
فراخشک	گرمسار	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۶۷	۰/۸۹
	بشرویه	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۹۰
خشک	آباده	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۳
	ساوه	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۷۹	۰/۹۸
نیمه‌خشک	رامهرمز	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۸۶	۰/۹۴
	قزوین	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۶۴	۰/۹۱

برای اقلیم خشک نیز مقادیر کاهشی برای تمامی فصل‌های سال به دست آمد. در ایستگاه آباده در فصل تابستان پارامتر تصحیح ۰/۹۷ به دست آمد. این عدد نشان‌دهنده این است که داده‌های ماهواره در این فصل به داده‌های زمینی نزدیک‌تر هستند. مقادیر این پارامتر، با توجه تعداد رخداد کم بارش در این فصل، مورد تأیید می‌باشد. در ایستگاه ساوه در فصل پاییز با توجه به مقدار پارامتر کاهشی (۰/۷۹) تصحیحات بیشتری نسبت به سایر فصل‌ها موردنیاز است. مقادیر پارامتر V در اقلیم فراخشک بیانگر اعمال مقادیر کاهشی برای تصحیح داده‌های ماهواره‌ای برای تمامی فصل‌ها دارد؛ چراکه مقادیر این پارامتر برای تمامی ماه‌ها در اقلیم فراخشک کمتر از یک به‌دست‌آمده است. عدد کمتر از یک به مفهوم کمتر بودن مقدار داده-های زمینی نسبت به ماهواره‌ای در این مناطق دارد که تأییدکننده بیش‌برآوردی داده‌های ماهواره‌ای در این مناطق می‌باشد. در این اقلیم ایستگاه گرمسار در فصل پاییز، پارامتر V کاهش قابل ملاحظه‌تری (۰/۶۷) دارد.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی داده‌های بارش ماهواره‌ای TMPA و تصحیح خطای آن در اقلیم‌های فراخشک، خشک و نیمه‌خشک ایران در مقیاس فصلی بوده است. نتایج تحقیق نشان داد که داده‌های اولیه برآوردی ماهواره‌ای TMPA در مقیاس ماهانه توزیع مشابهی با الگوی به‌دست‌آمده از داده‌های زمینی دارد (به دلیل همبستگی بالای ۷۹ درصد ($R^2 > ۰/۶۲$)). ضمن اینکه داده‌های ماهواره‌ای در هر سه اقلیم دارای بیش‌برآورد می‌باشند. با این حال، ضرایب همبستگی (R) در اقلیم‌های مختلف بیانگر همبستگی خوب بین دو منبع اطلاعاتی است.

داده‌های اولیه TMPA مقدار بارش فصلی را برای ایستگاه‌های آباده و ساوه با کمترین مقدار انحراف خطا و در ایستگاه‌های قزوین و گرمسار با بیشترین مقدار خطا برآورد کردند. بعد از اعمال مدل حاصل‌ضربی، غیر از ایستگاه‌های قزوین و ساوه، در سایر ایستگاه‌ها بیشترین کاهش شاخص‌های ارزیابی در فصل زمستان مشاهده شد.

مقادیر پارامتر تصحیح V در هر سه اقلیم بیانگر اعمال مقادیر کاهشی برای تصحیح داده‌های ماهواره‌ای برای تمامی فصل‌ها می‌باشد. با توجه به نتایج پارامتر تصحیح در هر سه اقلیم مورد مطالعه، در فصل پاییز بیشترین بیش‌برآوردی مشاهده شد. برای ایستگاه‌های قزوین، گرمسار و ساوه در این فصل به ترتیب با ضرایب تصحیح ۰/۶۴، ۰/۶۷ و ۰/۷۹ بیشترین تصحیح اعمال شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان از مدل واسنجی استفاده‌شده برای تصحیح داده‌های بارش فصلی مبتنی سنجش از دور به‌ویژه در مناطق خشک بهره برد. پیشنهاد می‌گردد قبل از تصحیح داده‌های سنجش از دور، ریزمقیاس‌نمایی مکانی برای این داده‌ها انجام شود تا به نتایج دقیق‌تری دست یافته شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه فردوسی مشهد به سرانجام رسیده است. لذا نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از کمک‌های صورت گرفته توسط آن نهاد دولتی در به ثمر رسیدن این پژوهش تشکر و سپاسگزاری نمایند.

منابع

اکبری ینگه قلعه، م.، ثنایی نژاد، س.ح.، فریدحسینی، ع.، و اکبری، م. ۱۳۹۶. بررسی زمانی-مکانی بارش با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال هشتم، بهار (۲۹): ۱۸-۱.

جباری نوقابی، م. ۱۳۹۰. داده‌های پرت، مفهوم و کاربرد آن. نشریه ندا، ۹(۱): ۱-۱۶.

حجازی‌زاده، ز.، علیجانی، ب.، ضیاییان، پ. کریمی، م.، و رفعتی، س. ۱۳۹۱. ارزیابی بارش ماهواره‌ای 3B43 و مقایسه آن با مقادیر حاصل از تکنیک درون‌یابی کریجینگ. سنجش از دور و GIS ایران، سال چهارم، پاییز (۳): ۶۴-۴۹.

رضایی پژند، ح. ۱۳۸۰. کاربرد آمار و احتمال در منابع آب. چاپ اول. انتشارات سخن‌گستر.

www.SID.ir

Archive of SID

زنگنه اینالو, م, قهرمان, ب, فریدحسینی, ع. ۱۳۹۸. ارزیابی دقت ماهواره TRMM در برآورد مقادیر بارش و رواناب حوضه رودخانه شاپور استان فارس .نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۱). ۲۱۶-۲۰۳.

شیروانی، ا.، و فخاری‌زاده شیرازی، ا. ۱۳۹۳. مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس، هواشناسی کشاورزی. ۲، ۲: ۱۵-۱.

عبدالهی، ب.، حسینی موغاری. م.، و ابراهیمی، ک. ۱۳۹۶. ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای TRMM 3B42RT V7 و CMORPH به‌منظور تخمین بارش در حوضه آبریز گرگان‌رود. نشریه علوم مهندسی و آبخیزداری ایران. ۳۶. ۱۱: ۶۹-۵۵.

عرفانیان، م.، کاظم‌پور، س.، حیدری, ح. ۱۳۹۵. واسنجی داده‌های باران سری B42 و B43 ماهواره TRMM در زون‌های اقلیمی ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۸ (۲): ۳۰۳-۲۸۷.

علیزاده، ا. ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ بیست و سوم. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). ویرایش هفتم. مشهد.

علیزاده، ا.، کمالی، غ.ع.، موسوی، ف.، و موسوی بایگی، م. ۱۳۹۱. هوا و اقلیم‌شناسی. چاپ پانزدهم. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

کاویانی، م. علیجانی، ب. ۱۳۸۰. مبانی آب و هواشناسی. چاپ هشتم. انتشارات سمت. تهران.

مکوندی، ه. ۱۳۸۷. کالیبراسیون رادار هواشناسی با استفاده از داده‌های باران‌سنج خودکار به‌منظور ارزیابی دقت تخمین بارندگی رادار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد.

Condom, T., Rau, P. and J.C. Espinoza, 2011: Correction of TRMM 3B43 monthly precipitation data over the mountainous areas of Peru during the period 1998–2007. Hydrol. Processes, 25, 1924–1933.

Dickey, D., and Fuller, W. 1979. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. Journal of the American statistical association, 74(366a): 427-431.

Habib, E., Krajewski, W.F., and Ciach, G.J., 2001. Estimation of rainfall interstation correlation. J. HydrometeorAol. 2 (6): 621-629.

Habib, E., Larson, B.F., and Graschel, J., 2009. Validation of NEXRAD multisensory precipitation estimates using an experimental dense rain gauge network in south Louisiana. J. Hydrol. 373 (3–4), 463–478.

Hashemi, H., Nordin, M., Lakshmi, V., Huffman, G., and Knight, R., 2017. Bias Correction of Long-Term Satellite Monthly Precipitation Product (TRMM 3B43) over the Conterminous United States. J. HYDROMETEOROL. 18(9). 2491-2509.

Huffman, G.J. 2018. The Transition in Multi-Satellite Products from TRMM to GPM (TMPA to IMERG). NASA Goddard Space Flight Center and Science Systems and Applications. 27th august.

Iranian Meteorological Organization. Available at http://irimo.ir/far/wd/2703.html. (Visited 15 Aug. 2018).

Isaaks, E.H. and Srivastava, R. M. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. New York: Oxford University Press.

Islam, M.N., and H. Uyeda, 2007: Use of TRMM in determining the climatic characteristics of rainfall over Bangladesh. Remote Sens. Environ., 108, 264–276.

Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M., BodaghJamali, J., and Kawamoto H. 2010: Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM_ 3B42 over Iran. Adv. Geosci., 25, 119–125.

Liu, S., Yan, D., Qin, Weng, T., and Li, M. 2016. Correction of TRMM 3B42V7 Based on Linear Regression Models over China. Advances in Meteorology. ID: 3103749, 13 pages.

Lu, X., Wei, M., Tang, G., & Zhang, Y. 2018. Evaluation and correction of the TRMM 3B43V7 and GPM 3IMERGM satellite precipitation products by use of ground-based data over Xinjiang, China. Environmental Earth Sciences, 77(5).

National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2001. TRMM Data Users Handbook, February. 226p.

National Aeronautics and Space Administration (NASA), Homepage of Rainfall Archives, https://disc2.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opendap/TRMM_L3/TRMM_3B43.7/contents.html Visited: 2018/04/10.

Rahimi, J., Ebrahimpour, M. and Khalili, A., 2013. Spatial changes of Extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. Theoretical and Applied Climatology. Volume 112, Issue 3–4, pp 409–418.

Sorooshian, S., Hsu, K., Gao, X., Gupta, H.V., Imam, B., and Braithwaite, D. 2000. Evaluation of PERSIANN system satellite based estimates of tropical rainfall, B. Am. Meteor. Soc., 81, 2035–2046.

Tang, L., Tian, Y., Yan, F., Habib, E., 2015. An improved procedure for the validation of satellite-based precipitation estimates. J.Atmos. Res. Volume 163, 61-73.

Tian, Y., Peters-Lidard, C.D., Eylander, J.B., Joyce,

www.SID.ir

Archive of SID

multiplicative? Geophys. Res. Lett. 40 (10), 2060–2065.

Vernimmen, R.E., Hooijer, A. Mamenun, A. and Aldrian, E. 2012. Evaluation and bias correction of satellite rainfall data for drought monitoring in Indonesia. Hydrology Earth Syst. Sci., 8. 5969–5997.

R.J., Huffman, G.J., Adler, R.F., Hsu, K., Turk, F.J., Garcia, M., Zeng, J., 2009. Component analysis of errors in satellite-based precipitation estimates. J. Geophys. Res. 114 (D24), 1–15.

Tian, Y., Huffman, G.J., Adler, R.F., Tang, L., Sapiano, M., Maggioni, V., Wu, H., 2013. Modeling errors in daily precipitation measurements: Additive or

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 14, Jan.-Jul. 2020, p. 673-685

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۴، خرداد - تیر ۱۳۹۹، ص. ۶۸۵-۶۷۳

Validation of a Seasonal Satellite Precipitation Correction Model to increase the Accuracy of Water Balance in Arid Regions of Iran

H. Ghafourian[1], S.H. Sanaei Nejad[2]*, M. Jabbari Nooghabi[3]
Recived: Sep.05, 2019 Accepted: Jan.06, 2020

Abstract

Rainfall always has been considered as one of the most important variables for estimating the balance of watershed. The evaluation and correction of precipitation data as a supplement to the ground data in Iran, which it most regions is located in arid and semi-arid zone, is necessary. In this study, the precipitation data from 6 synoptic stations in 3 climate of Iran (extra arid, arid and semi-arid) were selected as the basis for the period of 20 years (1998-2017). The satellite monthly precipitation data (TMPA-3B43) was corrected with the multiplicative model, and results were evaluated by using R, MBE, MAE, and RSME indices. Based on uncorrected results, the correlation coefficient (R) varied from 0.79 for Garmsar station to 0.95 for Ramhormoz station. In all three climates, satellite data had overestimated values. After applying the multiplicative model, a seasonal parameter has been obtained for satellite data correction. All evaluation indices, especially the MBE, were significantly reduced after the correction. The lowest values for this error in the corresponding pixels of Garmsar, Boshrouyeh, Saveh stations were reduced to 0.1(spring), 0.4(autumn), and 0.7(winter) respectively. According to the results of the correction parameter in all three studied climates, the highest overestimate was observed in the autumn season. Also, this correction coefficient was 0.64, 0.67, and 0.79 for Qazvin (semi-arid), Garmsar (extra-arid), and Saveh (arid) stations, respectively. Based on the obtained results, the calibration model can be used to correct the seasonal data of the remote sensing in dry regions.

Keywords: Seasonal Precipitation, Bias Correction, Satellite Data, Multiplicative Model.

1- Ph.D. Student., Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- Assistant Prof., Department of Statistics, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: sanaein@gmail.com)

www.SID.ir